

# 核技术利用建设项目

## 厦门大学附属第一医院核技术利用项目 环境影响报告表

厦门大学附属第一医院（盖章）

二〇二〇年十一月

环境保护部监制

# 核技术利用建设项目

## 厦门大学附属第一医院核技术利用项目 环境影响报告表

建设单位名称：厦门大学附属第一医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：厦门市思明区镇海路 55 号

邮政编码：361003

联系人：谢义峰

电子邮箱：

联系电话：

## 目 录

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 表 1 项目基本情况.....         | 1   |
| 表 2 放射源.....            | 21  |
| 表 3 非密封放射性物质.....       | 33  |
| 表 4 射线装置.....           | 34  |
| 表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）..... | 36  |
| 表 6 评价依据.....           | 37  |
| 表 7 保护目标与评价标准.....      | 39  |
| 表 8 环境质量和辐射现状.....      | 52  |
| 表 9 项目工程分析与源项.....      | 64  |
| 表 10 辐射安全与防护.....       | 77  |
| 表 11 环境影响分析.....        | 105 |
| 表 12 辐射安全管理.....        | 150 |
| 表 13 结论与建议.....         | 157 |
| 表 14 审批.....            | 1   |

### 附件：

附件 1：委托书

附件 2：医疗机构执业许可证

附件 3：辐射安全许可证

附件 4：法人证书

附件 5：法人身份证

附件 6：本项目监测报告

附件 7：医院规章制度

附件 8：厦门大学附属第一医院辐射安全与环境保护管理领导小组

附件 9：辐射工作人员辐射安全与防护培训情况统计表

### 附表：

建设项目环评审批基础信息表

**表 1 项目基本情况**

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                       |                                                                                                                                                       |                    |                        |   |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------|---|
| 建设项目名称          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 厦门大学附属第一医院核技术利用项目                                                                                                                     |                                                                                                                                                       |                    |                        |   |
| 建设单位            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 厦门大学附属第一医院                                                                                                                            |                                                                                                                                                       |                    |                        |   |
| 法人代表            | 王占祥                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 联系人                                                                                                                                   | 谢义峰                                                                                                                                                   | 联系电话               | ***                    |   |
| 注册地址            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 厦门市思明区镇海路 55 号                                                                                                                        |                                                                                                                                                       |                    |                        |   |
| 项目建设地点          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 厦门市思明区镇海路 55 号                                                                                                                        |                                                                                                                                                       |                    |                        |   |
| 立项审批部门          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | /                                                                                                                                     |                                                                                                                                                       | 批准文号               | /                      |   |
| 建设项目总投资<br>(万元) | 7500                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 项目环保投资<br>(万元)                                                                                                                        | 550                                                                                                                                                   | 投资比例(环保<br>投资/总投资) | 7.3%                   |   |
| 项目性质            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它 |                                                                                                                                                       |                    | 占地面积 (m <sup>2</sup> ) | — |
| 应用<br>类<br>型    | 放射源                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <input type="checkbox"/> 销售                                                                                                           | <input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类       |                    |                        |   |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/> 使用                                                                                                           | <input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类 |                    |                        |   |
|                 | 非密封放<br>射性物质                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <input type="checkbox"/> 生产                                                                                                           | <input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物                                                                                                                |                    |                        |   |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/> 销售                                                                                                           | /                                                                                                                                                     |                    |                        |   |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <input checked="" type="checkbox"/> 使用                                                                                                | <input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙                                                                                      |                    |                        |   |
|                 | 射线装置                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <input type="checkbox"/> 生产                                                                                                           | <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类                                                                                            |                    |                        |   |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/> 销售                                                                                                           | <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类                                                                                            |                    |                        |   |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <input checked="" type="checkbox"/> 使用                                                                                                | <input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类                                                                                 |                    |                        |   |
|                 | 其他                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | —                                                                                                                                     |                                                                                                                                                       |                    |                        |   |
|                 | <p><b>项目概述:</b></p> <p><b>1、建设单位概况</b></p> <p>厦门大学附属第一医院创办于 1937 年,前身为福建省立医院,现已形成拥有 5 所分院(思明院区、杏林分院、鼓浪屿院区、翔安院区、海沧院区)、2 家内设专科医院(肿瘤医院、糖尿病医院)、2 家护理院、6 家社区卫生服务中心的医疗集团,是集医疗、教学、科研、预防、康复为一体的闽西南规模最大的三级甲等综合性医院。</p> <p>福建省首家通过 HIMSS EMRAM 七级评审,成为全国首家“双料”通过 HIMSS EMRAM 七级和国际 JCI 学术医学中心认证的大型综合性医院。</p> <p>医院编制床位 3500 张(其中 2500 张床位运营中,1000 张床位在建),成立 53 个临床医技科室,医院科室设置有重症医学科(ICU)、核医学科、内科、儿科、临床护理等临床科。</p> |                                                                                                                                       |                                                                                                                                                       |                    |                        |   |

厦门大学附属第一医院已执有医疗机构执业许可证（见附件 2）和福建省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》（见附件 3），许可证号为闽环辐证[00173]，许可的种类和范围为使用 III、V 类放射源；使用 II、III 类射线装置；乙级非密封放射性物质工作场所；制备 PET 用放射性药物。

## 2、项目由来和规模

第一医院总院区现有核医学科位于医院西南部闽南楼（一、二层为 PET 中心，三层为核医学科），开展核素治疗工作。核医学科于 1976 年 12 月建成，是福建省最早建立的核医学专业科室之一，该辐射工作场所已取得辐射安全许可，许可范围为：乙级非密封放射性物质工作场所。其中许可的<sup>131</sup>I 核素日等效最大操作量为 $3.7\text{E}+09$ ，年最大用量为 $8.88\text{E}+12$ （Bq）；根据医院提供材料，目前实际现有核医学科<sup>131</sup>I 核素治疗仅开展甲亢治疗，日等效最大操作量为 $1.85\text{E}+08$ ，年最大用量为 $1.85\text{E}+09$ 。

非密封型放射性同位素明细

| 核素                                                                                  | 用途 | 物理状态 | 最大等效日操作量 (Bq)      | 最大等效年操作量 (Bq)        | 操作场所 | 经办人及日期 | 变更情况 |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|------|--------------------|----------------------|------|--------|------|--------|
|                                                                                     |    |      |                    |                      |      |        | 变更事项 | 经办人及日期 |
|  | 液体 | 液体   | $3.7 \times 10^8$  | $3.7 \times 10^{10}$ | 核医学科 |        |      |        |
|                                                                                     | 液体 | 液体   | $2.2 \times 10^8$  | $2.2 \times 10^{10}$ |      |        |      |        |
|                                                                                     | 液体 | 液体   | $1.85 \times 10^8$ | $1.85 \times 10^9$   |      |        |      |        |
|                                                                                     | 液体 | 液体   | $1.48 \times 10^7$ | $1.48 \times 10^8$   |      |        |      |        |
|                                                                                     | 液体 | 液体   | $3.7 \times 10^4$  | $3.7 \times 10^5$    |      |        |      |        |

为进一步提高医院的医疗水平，适应医学发展的趋势，更好地服务于临床，满足日益增长的医疗卫生服务需求，厦门大学附属第一医院拟将现有院内闽南楼 3 层核医学科的<sup>131</sup>I 核素治疗室单独搬迁至闽南楼北侧距离 3 米的独栋原直线加速器楼（以下简称“原直加楼”）二层并改造病房开展甲亢、甲癌治疗，本次改建项目<sup>131</sup>I 核素使用量仍在原有辐射安全许可证许可的使用量范围内（详见表 1-1），目前<sup>131</sup>I 核素治疗室内土建以及部分基础和防护设施已经基本完成，尚未投入使用；拟在一号病房楼负一

层放疗科新增一台螺旋断层放射治疗系统（TOMO 系统），同时位于一号病房楼负一层放疗科的一台直线加速器（1#机，型号 Varian Truebeam）机房于 2012 年 1 月开工建设、2012 年 5 月建成、2013 年 9 月正式投入运营，该直线加速器自建设运营以来一直未办理相关环评手续，属于未批先建项目，根据环境保护部函关于建设项目“未批先建”违法行为法律适用问题的意见（环政法函〔2018〕31 号），本项目自建设行为终了之日起二年内未被发现而未予行政处罚，建设单位委托本次一并补办该设备的环评手续；本次内科综合楼介入中心评价内容共包含 5 台 DSA，拟在内科综合楼三层和六层分别新增 2 台 DSA，共新增 4 台 DSA，并将病房大楼一层的 1 台 DSA 迁移至中医内科综合楼三层。本次项目具体评价内容见表 1-1。

**表 1-1 厦门大学附属第一医院拟进行核技术利用项目具体情况一览表（本次环评）**

| 非密封放射性物质                                                                                                                                                    |                  |        |                                   |                         |                                   |           |                                 |                     |          |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|---------------------------------|---------------------|----------|----------|
| 序号                                                                                                                                                          | 核素名称             | 工作场所等级 | 实际日最大操作量（Bq）                      | 日等效最大操作量（Bq）            | 年最大操作量（Bq）                        | 原有场地      | 拟建工作场所                          | 使用情况                | 用途       | 备注       |
| 1                                                                                                                                                           | <sup>131</sup> I | 乙级     | 1.48×10 <sup>9</sup>              | 1.48×10 <sup>8</sup>    | 1.48×10 <sup>1</sup> <sub>1</sub> | 闽南楼三层核医学科 | 搬迁至原直线加速器室二层 <sup>131</sup> I病房 | 拟购                  | 甲亢治疗     | 原有，已获得许可 |
|                                                                                                                                                             |                  |        | 2.96×10 <sup>1</sup> <sub>0</sub> | 2.96×10 <sup>9</sup>    | 2.96×10 <sup>1</sup> <sub>2</sub> |           |                                 | 拟购                  | 甲癌治疗     |          |
| 注：该院核素 <sup>131</sup> I 的使用已获得许可，许可的活动种类为生产、使用，许可的日等效最大操作量为 3.7E+09 Bq，年最大操作量为 8.88E+12。本次评价的活动种类为使用，通过计算得，场所日等效最大操作量为 3.108E+09Bq，场所等级不变，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。 |                  |        |                                   |                         |                                   |           |                                 |                     |          |          |
| 射线装置                                                                                                                                                        |                  |        |                                   |                         |                                   |           |                                 |                     |          |          |
| 序号                                                                                                                                                          | 射线装置名称           | 数量     | 型号                                | 管电压（kV）                 | 管电流（mA）                           | 射线装置类别    | 原有场地                            | 拟建工作场所              | 使用情况     | 备注       |
| 1                                                                                                                                                           | 医用直线加速器（1#机）     | 1      | Varian Truebeam                   | X 线：≤15MV<br>电子线：≤20MeV |                                   | II        | 1 号病房楼负一层放疗科 1oF108             | 1 号病房楼负一层放疗科 1oF108 | 现有（补办手续） | 放射治疗     |
| 2                                                                                                                                                           | TOMO 系统          | 1      | Radixact                          | X 射线：6MV                |                                   | II        | /                               | 1 号病房楼负一层放疗科 1oF113 | 拟购       | 放射治疗     |
| 3                                                                                                                                                           | 东 1#DSA          | 1      | PHILIPS                           | ≤150                    | ≤800                              | II        | 1 号病房                           | 内科综合                | 移机       | 显像诊断     |

|   |         |   |                                 |      |       |    |              |             |    |      |
|---|---------|---|---------------------------------|------|-------|----|--------------|-------------|----|------|
|   |         |   | Allura<br>Xper FD<br>20         |      |       |    | 楼 1 层导<br>管室 | 楼三层         |    |      |
| 4 | 东 2#DSA | 1 | UNIQ<br>Clarity<br>FD20/15      | ≤150 | ≤1250 | II | /            |             | 拟购 | 显像诊断 |
| 5 | 东 3#DSA | 1 | 西门子<br>Artis zee<br>III ceiling | ≤150 | ≤1000 | II | /            |             | 拟购 | 显像诊断 |
| 6 | 南 1#DSA | 1 | UNIQ<br>Clarity,<br>FD10        | ≤100 | ≤1000 | II | /            | 内科综合<br>楼六层 | 拟购 | 显像诊断 |
| 7 | 南 2#DSA | 1 | Artis Q<br>ceiling              | ≤125 | ≤1000 | II | /            |             | 拟购 | 显像诊断 |

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境保护管理条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的规定，应对建设项目进行环境影响评价。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本次项目使用<sup>131</sup>I核素的日等效最大操作量，本项目<sup>131</sup>I核素治疗区域非密封放射性物质工作场所等级为乙级；根据《关于发布<射线装置分类>的公告》环境保护部•国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，本项目涉及的直线加速器、TOMO 系统、DSA 等属于 II 类射线装置。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（原环境保护部令第 44 号公布，根据 2018 年生态环境部令第 1 号修正）和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 年修订）的规定，本项目辐射工作的种类和范围为使用 II 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所，需编制环境影响报告表。因此，厦门大学附属第一医院于 2020 年 7 月委托我单位对其核技术利用项目进行环境影响评价工作。

我单位在接受委托后，派技术人员到现场进行调查和资料收集，在完成污染源分析等工作的基础上结合本项目的特点，依照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关要求编制完成了《厦门大学附属第一医院核技术利用项目环境影响报告表》。本次环境影响评价重点是对项目在运营中存在的环境影响因素和可能产生的环境影响进行分析，并在此基础上提

出相应的环境保护措施，为环境管理部门和建设单位提供环境保护管理的依据。

### 3、评价目的

(1) 对项目周边的辐射环境现状进行现场调查和监测，以掌握该场址的辐射水平和辐射环境质量现状。

(2) 通过环境影响评价，预测建设项目对其周围环境影响的程度和范围，提出环境污染控制对策，为建设项目的工程设计和环境管理提供科学依据。

(3) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低的水平”。

(4) 给出明确的环评结论，为有关部门的辐射环境管理提供科学依据。

### 4、产业性政策分析

经对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目属于国家鼓励类的“三十七、卫生健康 5、医疗卫生服务建设”。

厦门大学附属第一医院核医学科及医用射线装置应用项目可满足日益增长的医疗卫生服务需求，符合辐射防护“实践正当性”原则。因此，该项目的建设是正当可行的，满足社会经济发展的需要，符合国家产业政策。

### 5、项目选址情况

厦门大学附属第一医院（总院区）位于厦门市思明区镇海路 55 号，镇海路及石泉路以东，白鹿路以西。医院南侧为镇海社区，北侧为镇海花园，西侧为石泉路及福建省厦门双十中学（镇海校区）足球场，东侧为虎溪社区。项目地理位置和医院平面布置图详见图 1-1~图 1-3。

本次项目评价涉及的改建  $^{131}\text{I}$  核素治疗室位于医院内的原直加楼二层，医院将现有闽南楼核医学科 3 层的  $^{131}\text{I}$  核素治疗室搬迁至闽南楼北侧距离 3 米的独栋原直线加速器楼二层，目前  $^{131}\text{I}$  核素治疗室内土建以及部分基础和防护设施已经基本完成。根据勘察，以项目核素治疗室实体屏蔽为边界，项目北侧相距约 3m 为院内道路，相距约 16m 为门诊楼；东侧相距约 3m 为院内道路，相距约 18m 为一号病房楼；南侧约 3m 为闽南楼（核医学楼和 PET 中心），相距约 26m 为镇海社区石泉路 7 号居民楼；西侧相距约 2m 为太平间，相距约 22m 为石泉路，相距约 30m 为福建省厦门双十中学的足球场；核素治疗室上方为屋顶，人员无法进入，核素治疗室下方一层为原加速器室改建的 MRI 检查室，中间夹层部分作为办公室。 $^{131}\text{I}$  核素治疗室所在楼层平面图和楼下平面布置详见图 1-4~图 1-6。

本次项目评价所涉及放疗科 1#直线加速器机房和 TOMO 系统机房位于一号病房楼负一层，所处区域相对独立，避开了人员往来密集区，一般的就诊人员很少到达。1#直线加速器机房楼顶为路面停车场、道路和 CT 室，西侧为 2#直线加速器机房，东侧为过道、风机、冷却机房，北侧为过道，南侧为和楼下为土壤层；TOMO 系统机房楼顶为路面停车场、道路和 DSA 室，西侧为后装机机房，东侧为 3#直线加速器机房，北侧为过道，南侧和楼下为土壤层。放疗科 1#直线加速器机房和 TOMO 系统机房楼层平面图和楼上平面布置详见图 1-7~图 1-8。

本次项目评价涉及的 5 台 DSA 机房位于内科综合楼三层和六层介入中心，其中内科楼三层设置 3 台 DSA，内科楼六层设置 2 台 DSA，内科综合楼东侧紧邻院内道路，东侧约 26m 为虎溪社区，南侧临近院内道路，南侧约 22m 为院内宿舍楼，西侧为院内空地，西侧 18m 为医院入口道路，北侧为科研楼，介入中心三层和六层楼上楼下分别为设备层和病房。5 台 DSA 机房楼层平面图和楼上、楼下平面布置详见图 1-9~图 1-14。

本项目所有辐射工作场所设置相对独立，可避免无关人员任意出入而受到不必要的辐射照射或扩大污染范围。项目辐射工作场所符合“尽量集中设置”的原则，便于辐射安全管理。根据环境影响分析和预测结果可知，项目运营过程产生的电离辐射经采取一定的辐射防护措施后满足相关标准要求，对周围环境与公众的辐射影响较小，选址可行。本项目核技术应用场所所在楼层及相邻楼层的周边现状照片见图 1-15。



图 1-1 医院所在地理位置图

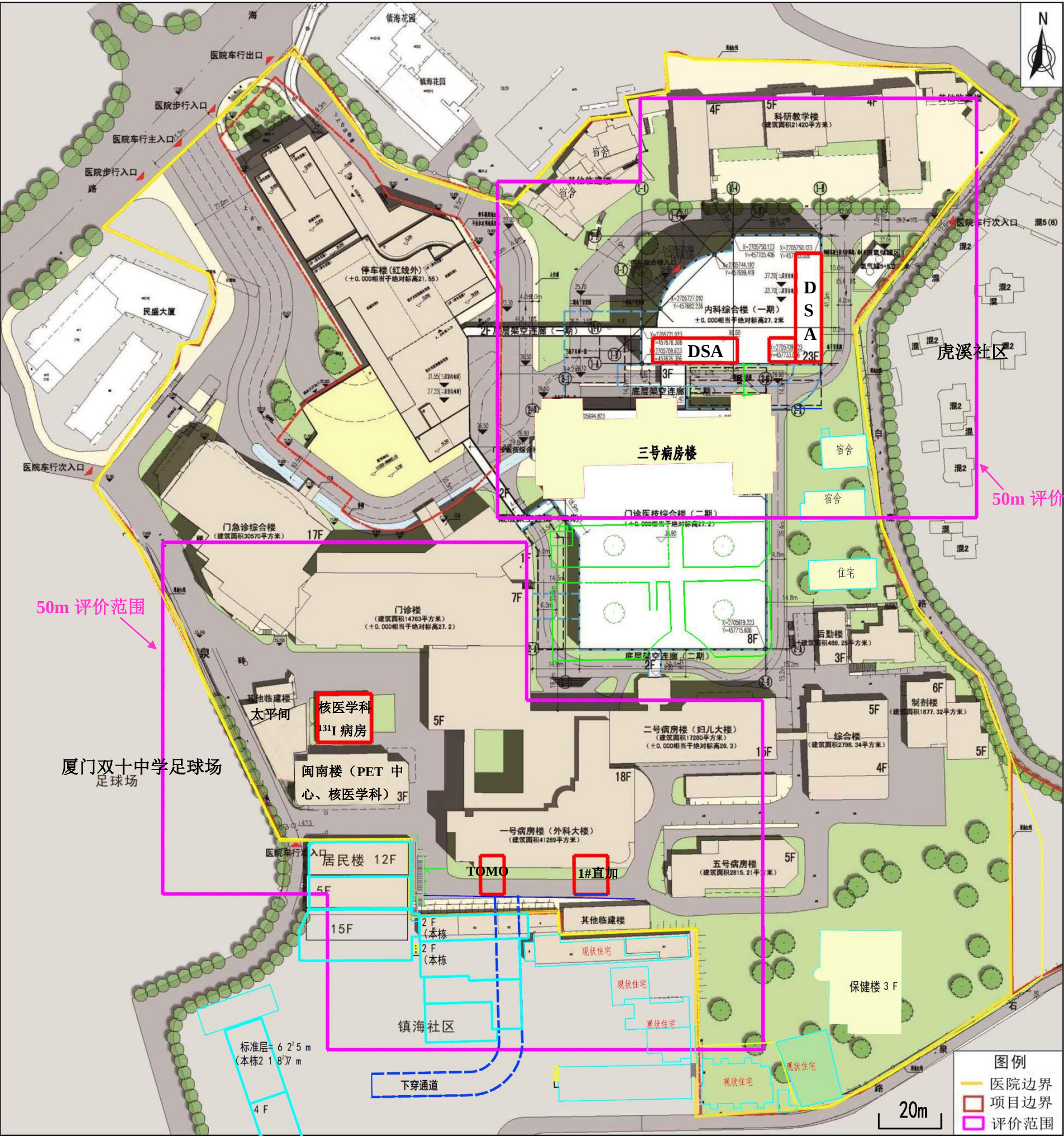


图1-2 医院院区平面布置图、本次项目分布及评价范围示意图

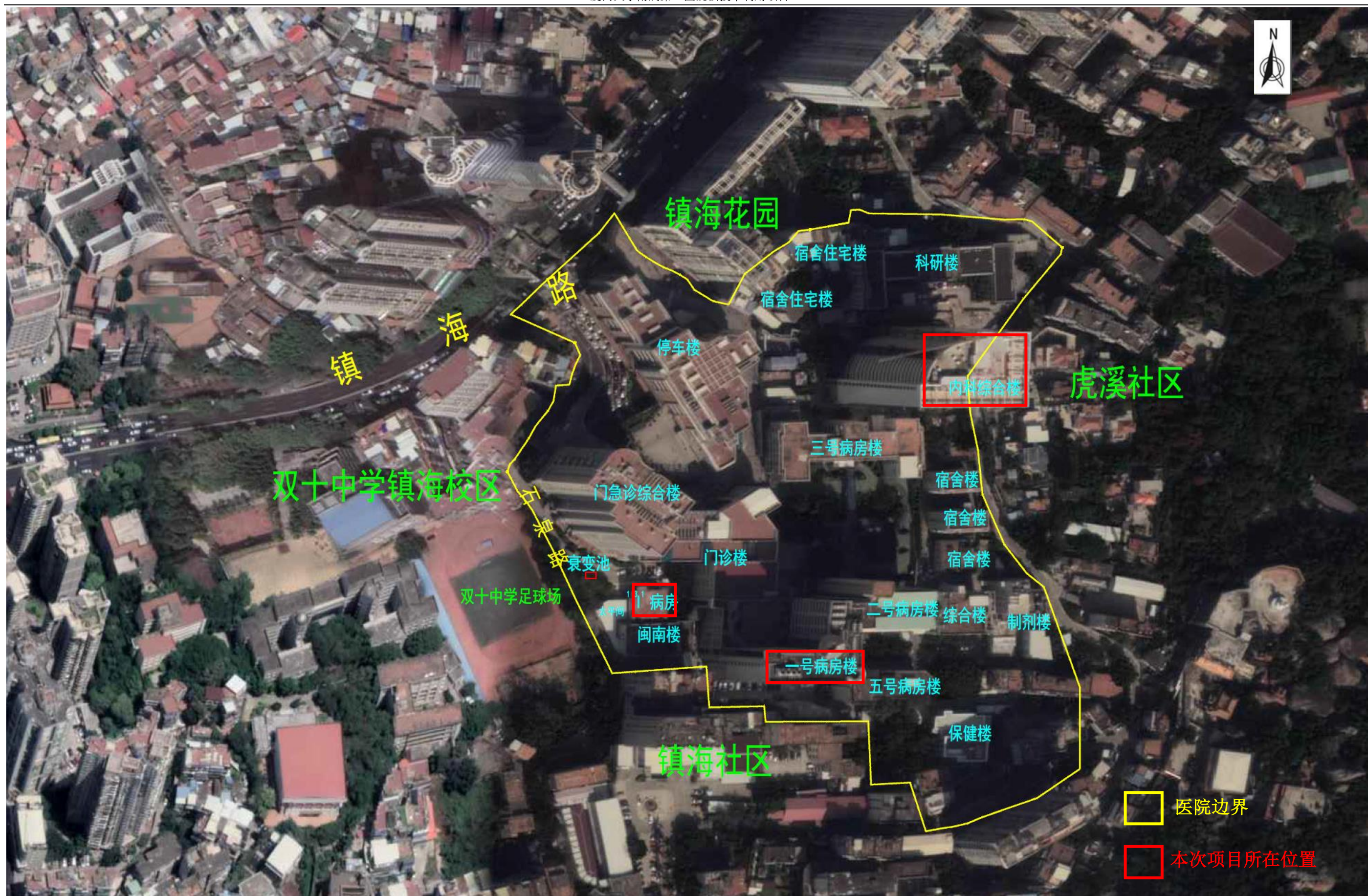


图1-3 医院院区平面布置卫片图

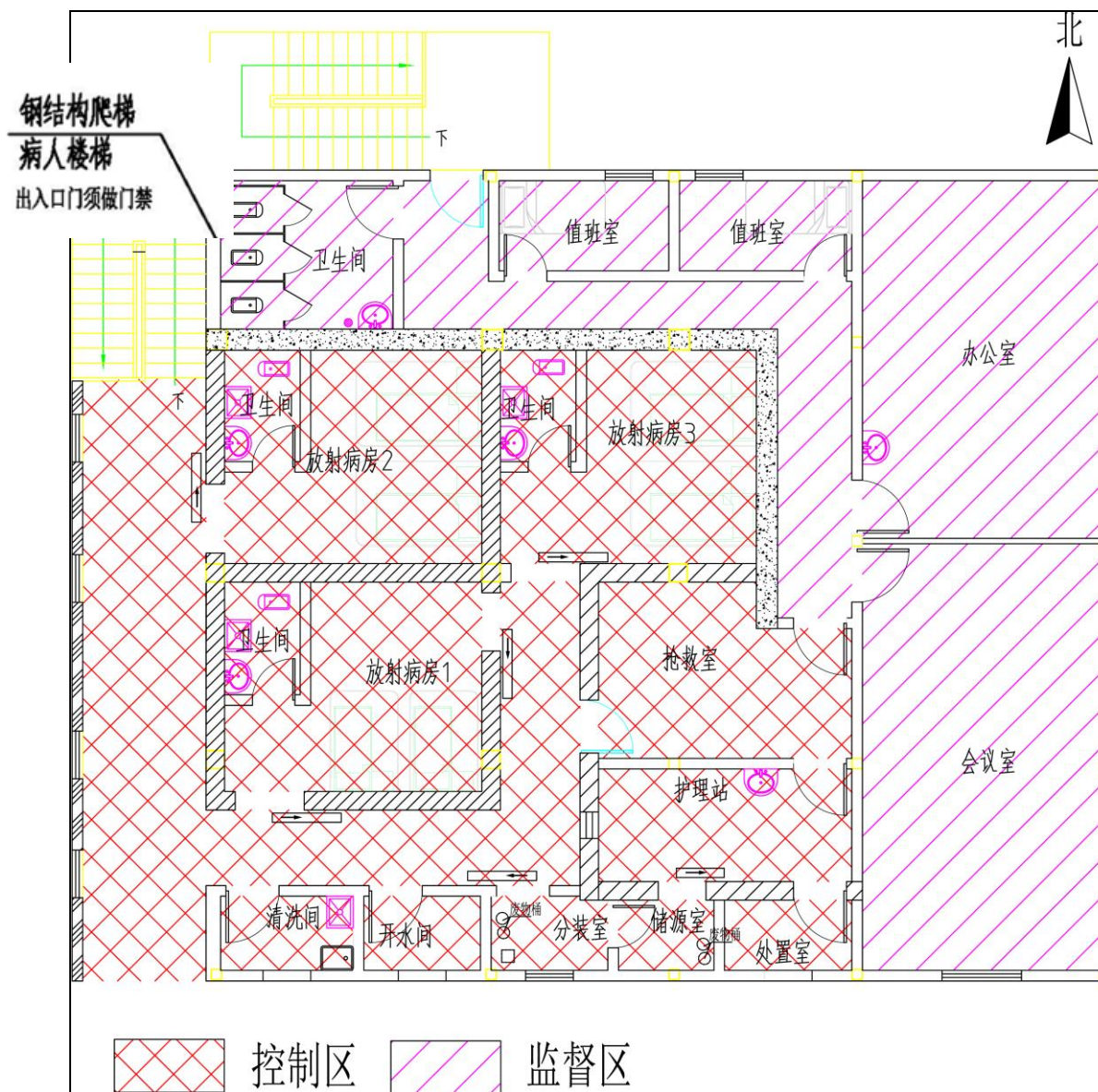


图1-4 厦门大学附属第一医院核医学科<sup>131</sup>I病房（原直加楼2层）项目平面布置图

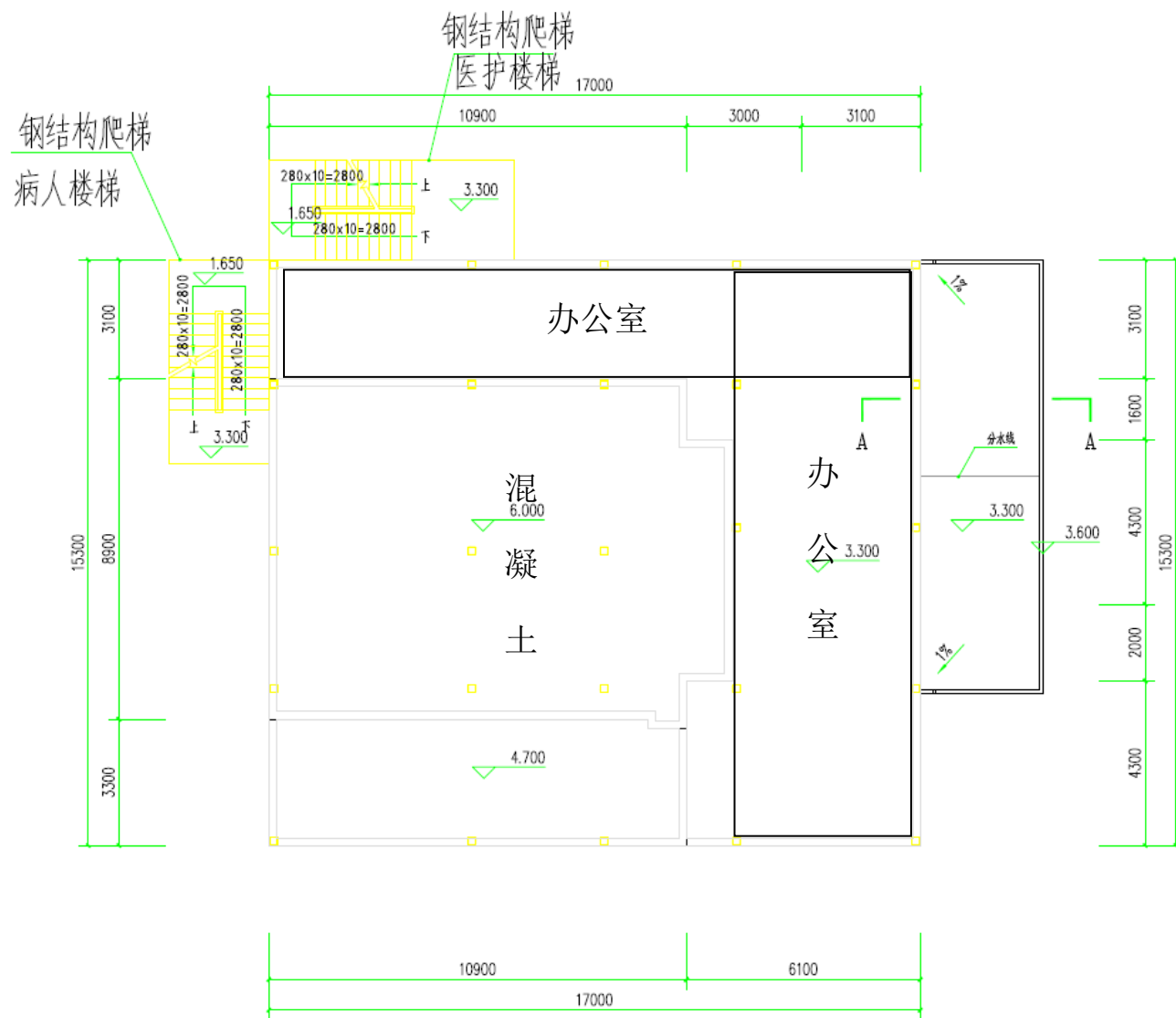


图1-5 厦门大学附属第一医院核医学科<sup>131</sup>I病房楼下（原直加楼夹层）平面布置图

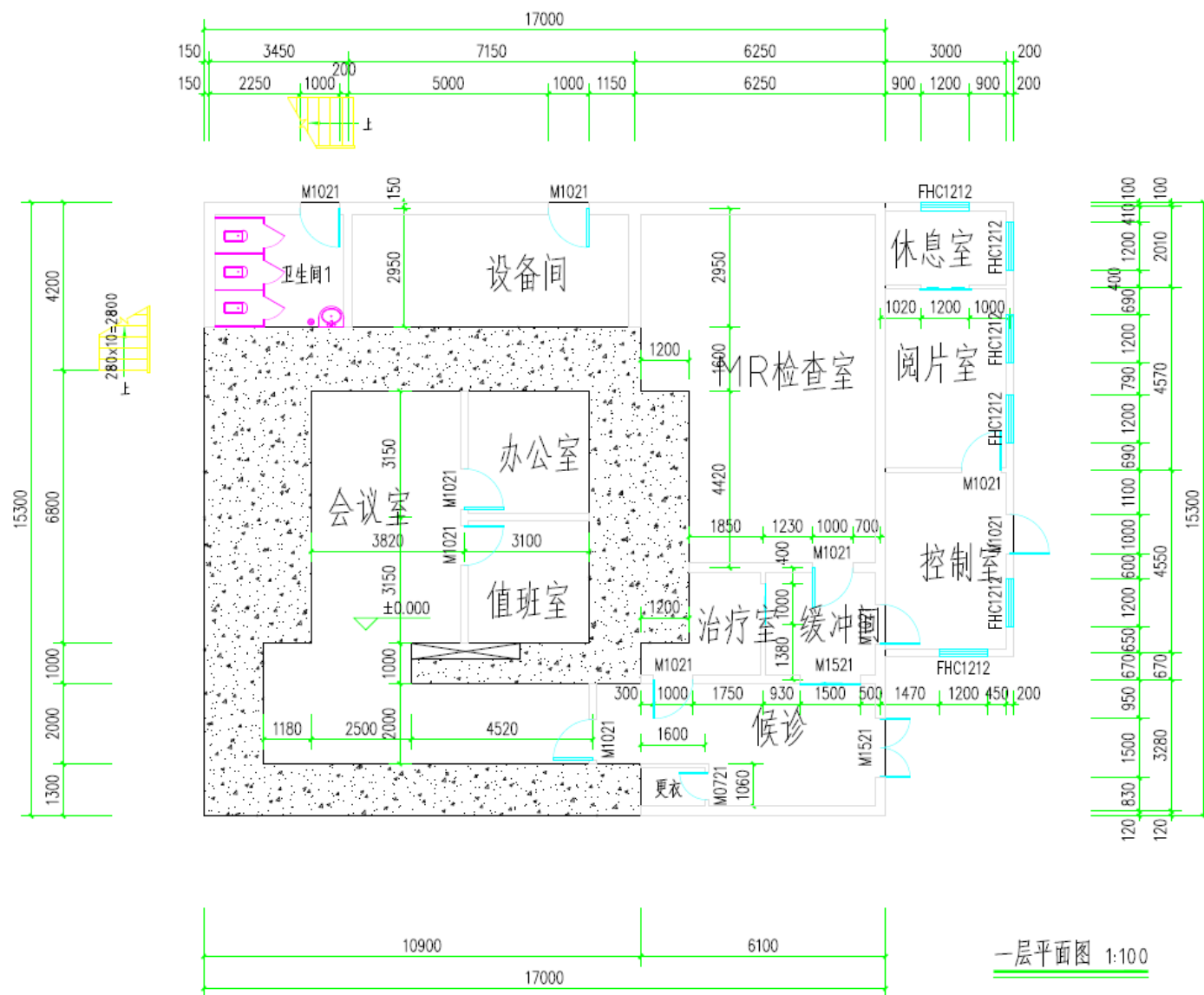


图1-6 核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房楼下一层MR室（原直加楼一楼）平面布置图

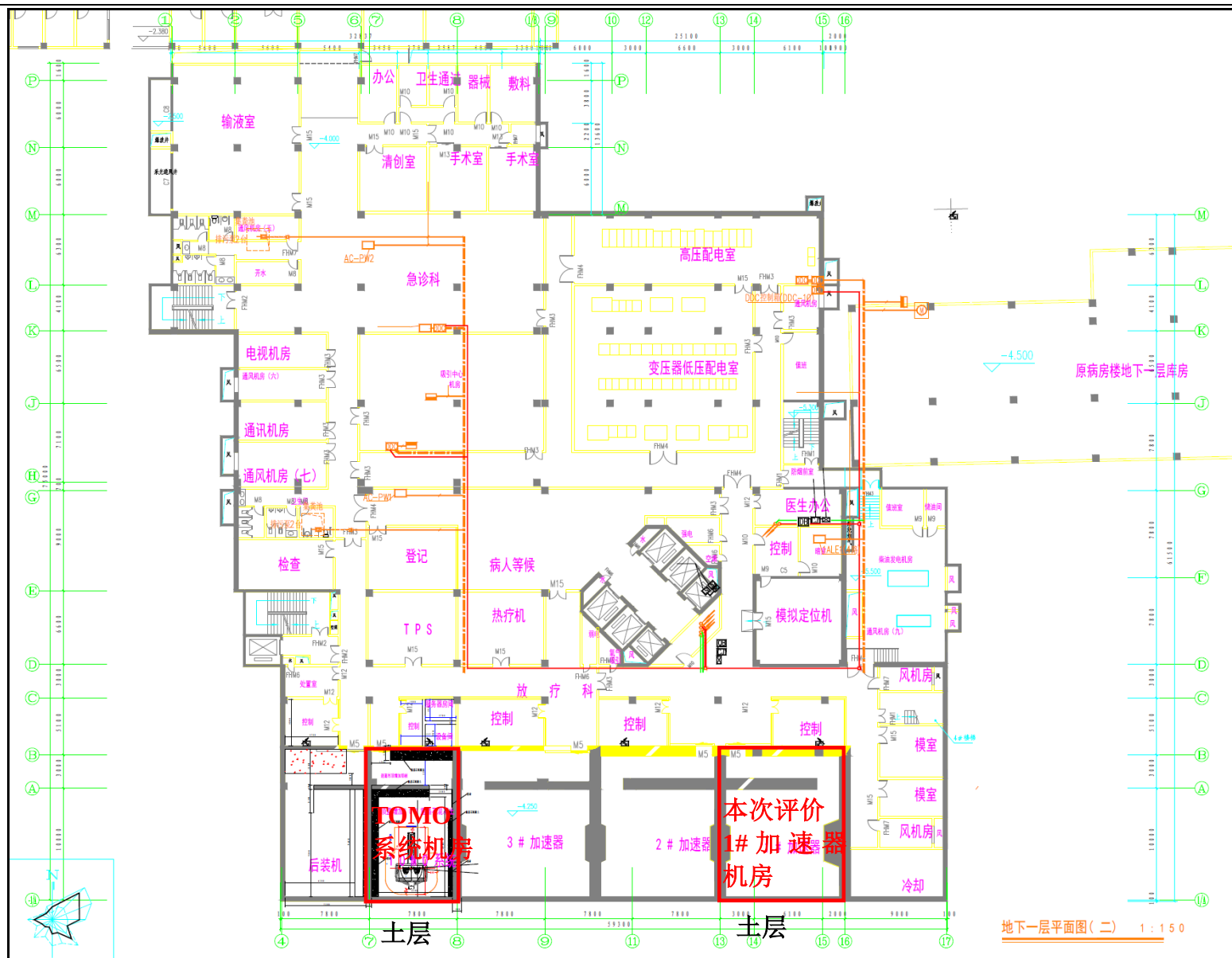


图1-7 一号病房楼放疗科平面布置图（位于负一层）

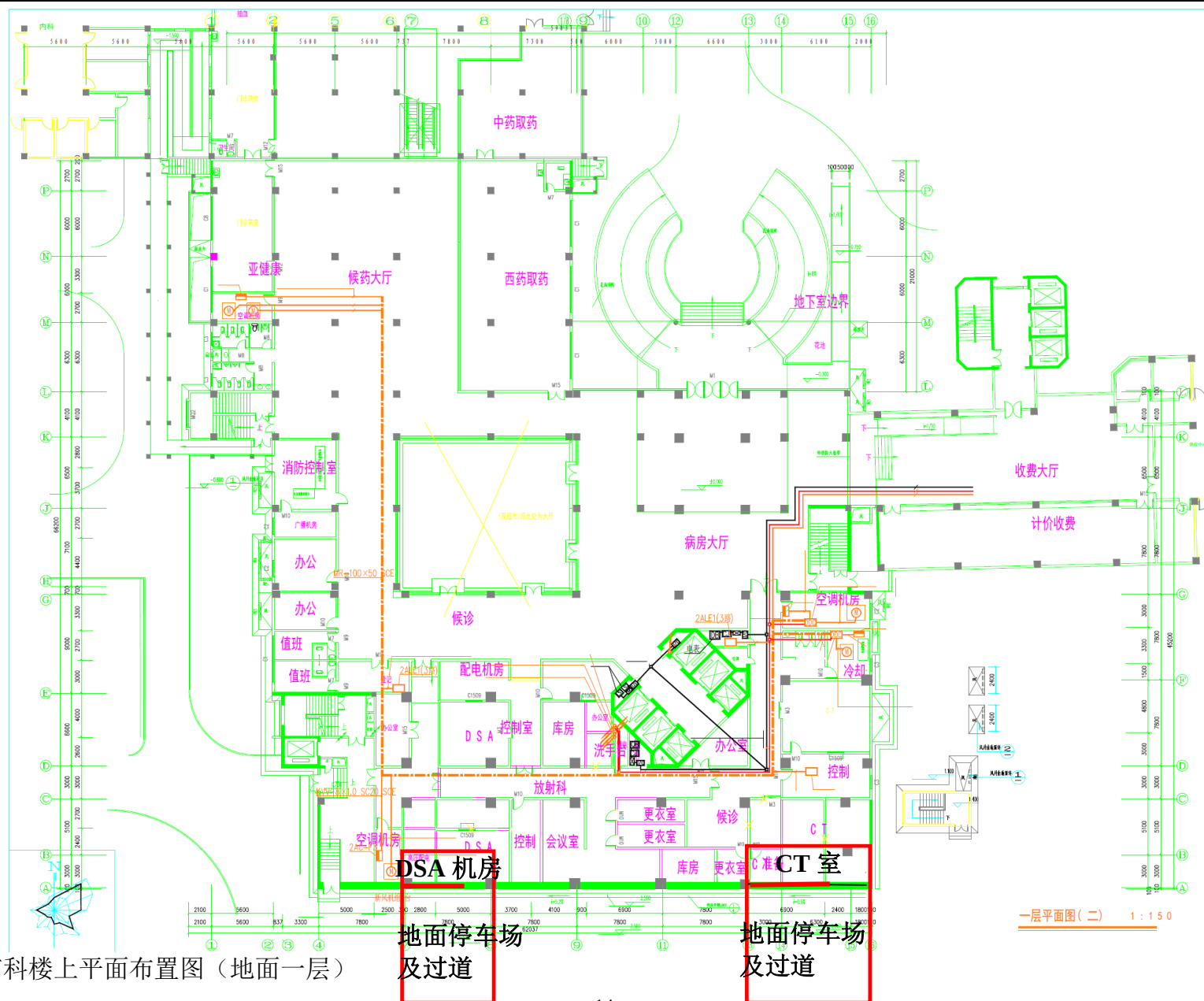


图1-8 放疗科楼上平面布置图 (地面一层)

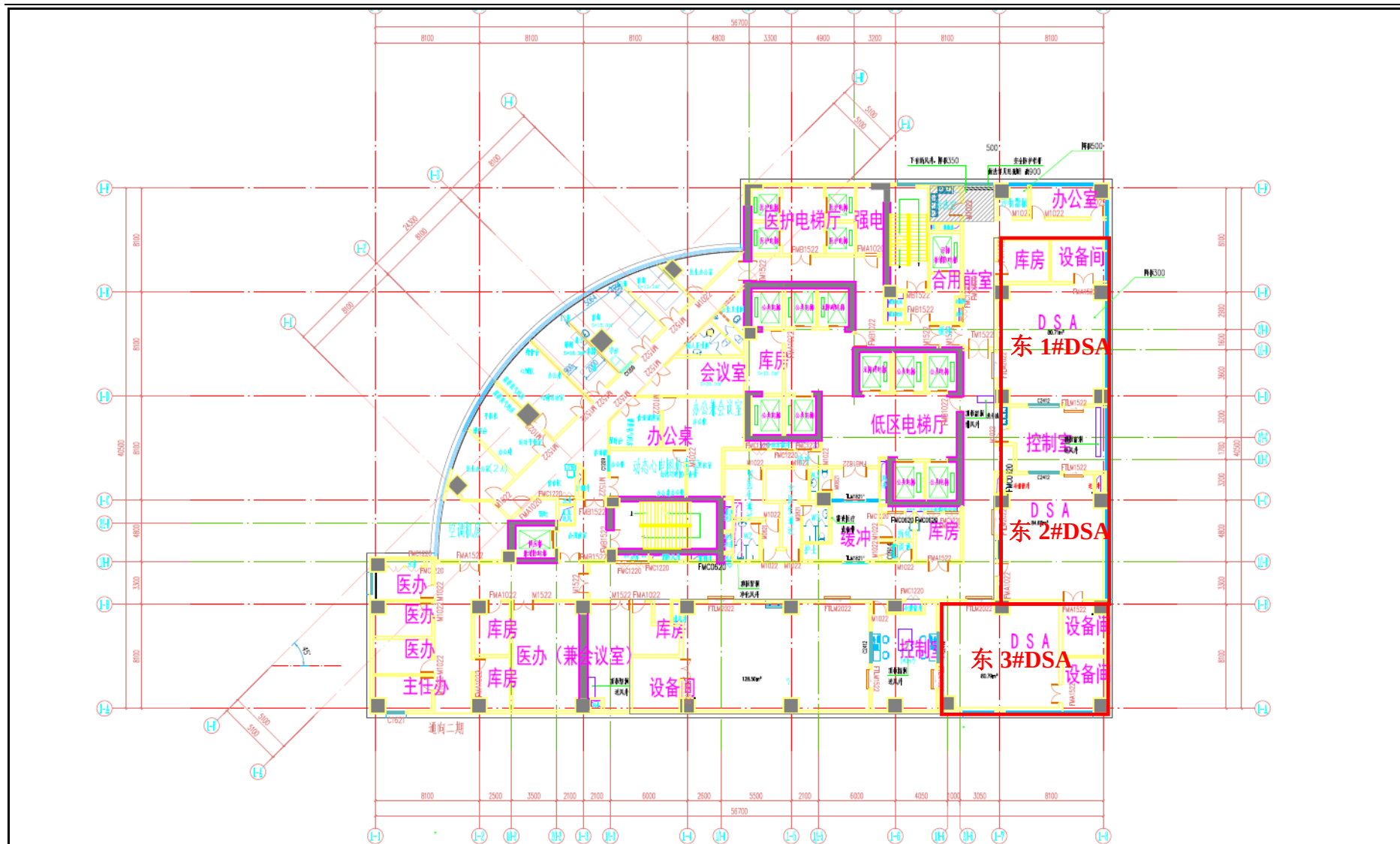


图1-9 内科综合楼介入室三层平面布置图

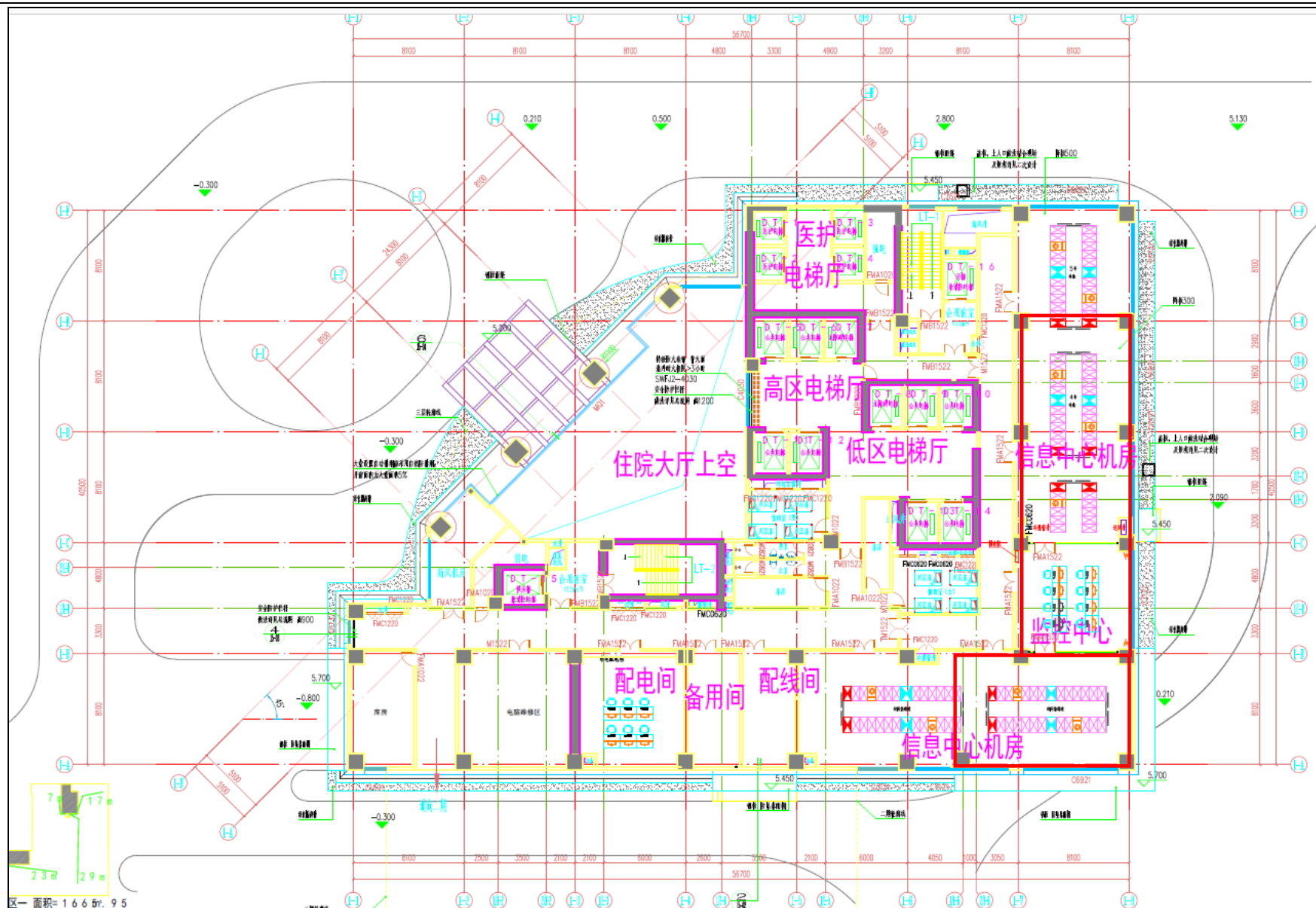


图1-10 内科综合楼三层介入室楼下（投影）二层设备层平面布置图

-17-

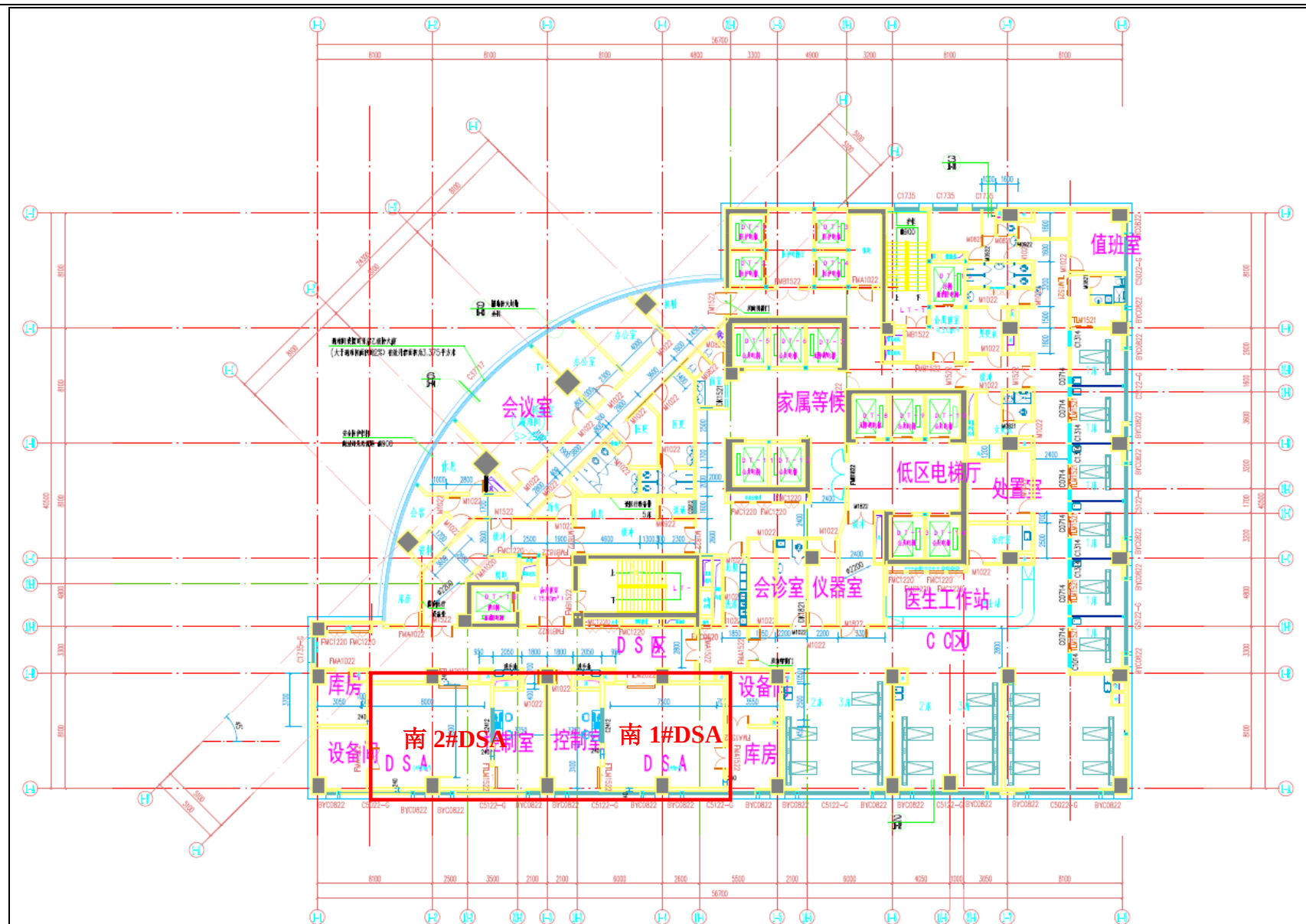


图1-12 内科综合楼六层介入室平面布置图

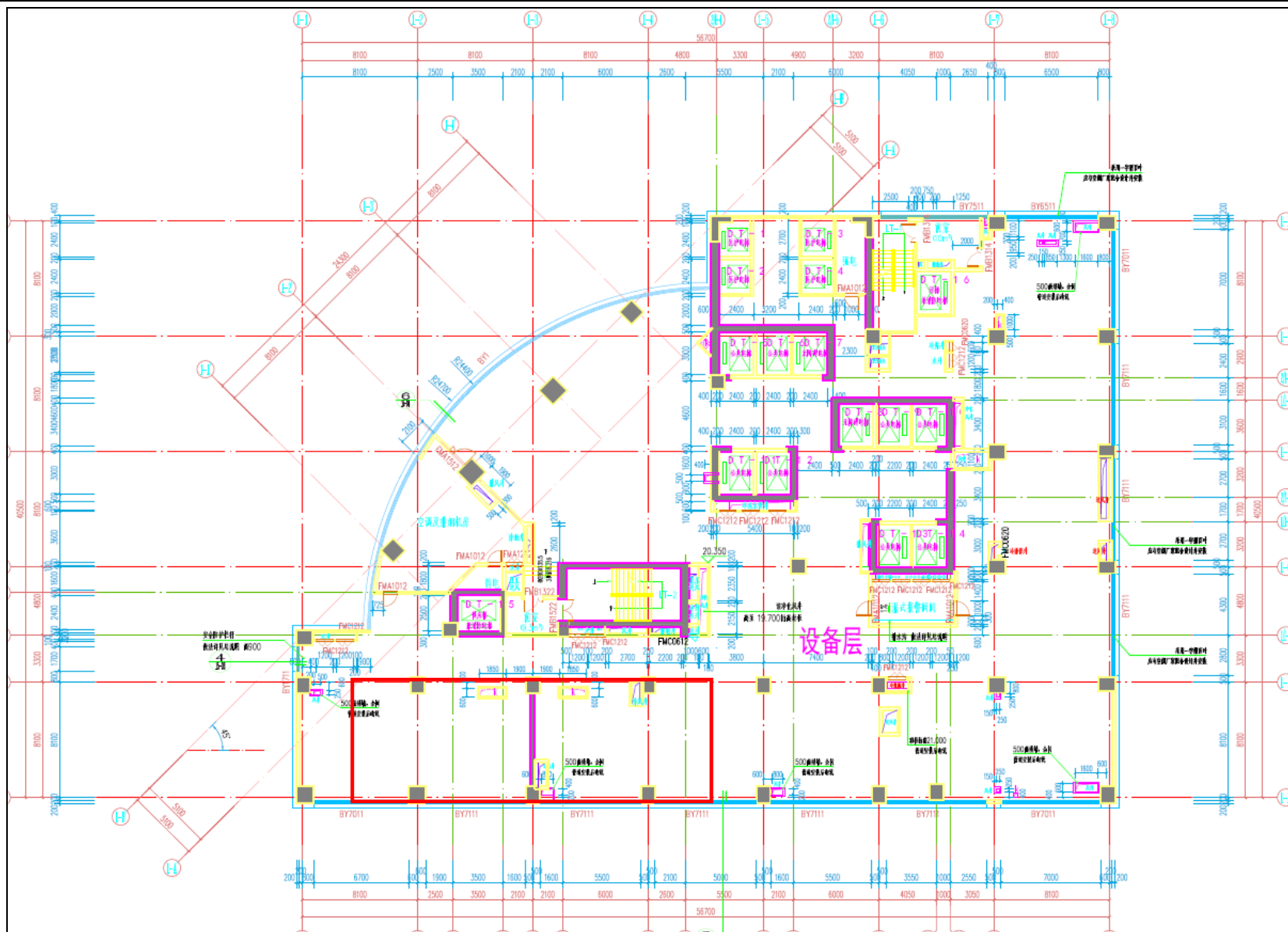


图1-13 内科综合楼六层介入室楼下（投影）五层设备夹层平面布置图

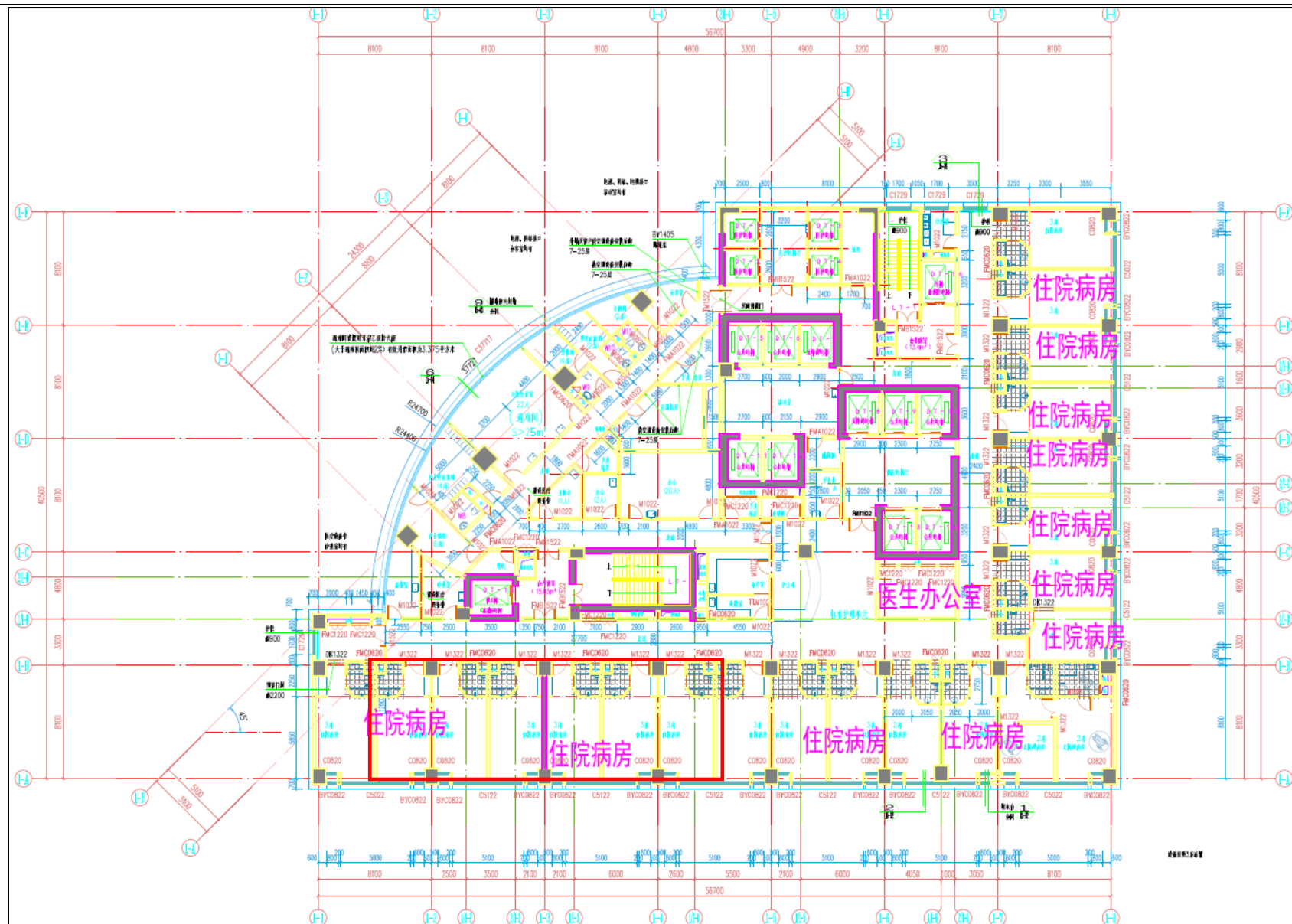
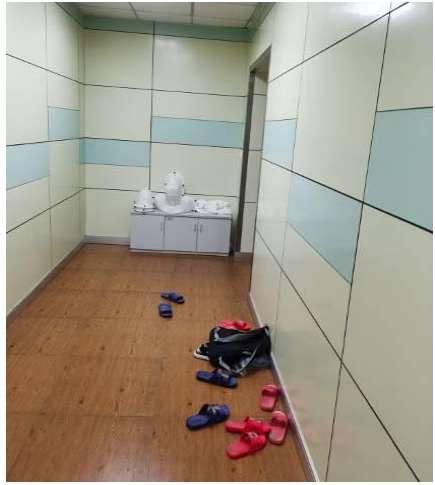
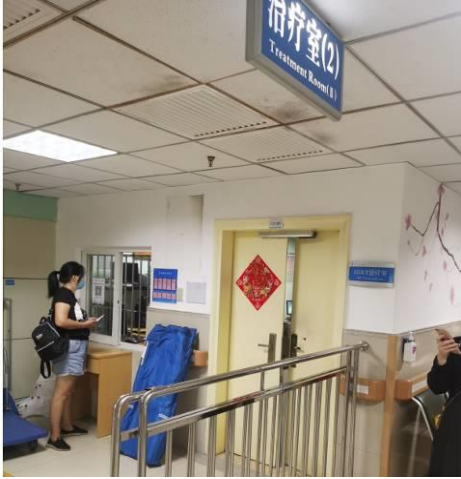


图1-14 内科综合楼六层介入室楼上（投影）七层住院病房平面布置图

|                                                                                     |                                                                                      |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
|    |    |  |
| <p>原直加楼(本次<sup>131</sup>I核素治疗室所在地)<br/>外观现状</p>                                     | <p>原直加楼二层核医学科<sup>131</sup>I改建<br/>病房内现状</p>                                         |  |
|   |   |  |
| <p>原直加楼一层 MR 室</p>                                                                  | <p>原直加楼夹层办公室现状</p>                                                                   |  |
|  |  |  |
| <p>原直加楼西侧太平间</p>                                                                    | <p>原直加楼西侧石泉路及双十中学<br/>足球场</p>                                                        |  |

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| <p>原直加楼南侧紧邻闽南楼<br/>(核医学楼和 PET 中心)</p>                                               | <p>原直加楼南侧 25m 居民楼现状</p>                                                              |
|   |   |
| <p>原直加楼东南侧一号病房楼</p>                                                                 | <p>原直加楼北侧门诊楼</p>                                                                     |
|  |  |
| <p>放疗科 1#直线加速器机房现状</p>                                                              | <p>放疗科 1#直线加速器机房现状</p>                                                               |

|  |                                                                                     |                                                                                      |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |    |    |
|  | 1#直线加速器机房控制室现状                                                                      | 1#直线加速器机房通风系统现状                                                                      |
|  |   |   |
|  | 1#直线加速器机房迷道现状                                                                       | 1#直线加速器机房紧急按钮                                                                        |
|  |  |  |
|  | 1#直线加速器机房西侧 2#直加机房                                                                  | 1#直线加速器机房防护门                                                                         |

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| 1#直线加速器机房上方停车场及过道                                                                   | 1#直线加速器机房上方 CT 及准备室                                                                  |
|   |   |
| 放疗科 TOMO 系统机房内现状                                                                    | 放疗科 TOMO 系统机房西侧后装机                                                                   |
|  |  |
| TOMO 系统机房内现状                                                                        | TOMO 系统机房内现状                                                                         |

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| <p>TOMO 系统机房东侧 3#直加机房</p>                                                           | <p>TOMO 系统机房上方停车场及过道</p>                                                             |
|   |   |
| <p>TOMO 系统机房上方的 DSA 室</p>                                                           | <p>TOMO 系统机房西侧后装机</p>                                                                |
|  |  |
| <p>内科综合楼三层东 1#DSA 机房现状</p>                                                          | <p>内科综合楼三层东 1#DSA 机房现状</p>                                                           |

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| 内科综合楼三层东 2#DSA 机房现状                                                                 | 内科综合楼三层东 2#DSA 机房现状                                                                  |
|   |   |
| 内科综合楼三层东 3#DSA 机房现状                                                                 | 内科综合楼三层东 3#DSA 机房现状                                                                  |
|  |  |
| 内科综合楼二层设备间现状                                                                        | 内科综合楼四层 ICU 病房现状                                                                     |

|                                                                                     |                                                                                      |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
|    |    |  |
| 内科综合楼六层南 1#DSA 机房现状                                                                 | 内科综合楼六层南 1#DSA 机房现状                                                                  |  |
|   |   |  |
| 内科综合楼六层南 2#DSA 机房现状                                                                 | 内科综合楼六层南 2#DSA 机房现状                                                                  |  |
|  |  |  |
| 内科综合楼五层设备夹层现状                                                                       | 内科综合楼七层病房现状                                                                          |  |

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| 内科综合楼北侧科研楼现状                                                                       | 内科综合楼西侧医院入口                                                                         |
|  |  |
| 内科综合楼东侧居民区现状                                                                       | 内科综合楼南侧 33m 的宿舍楼                                                                    |

图 1-15 拟建项目周边环境现状照片

## 6、原有核技术利用项目许可情况

医院于 2006 年对其 PET 中心、核医学科、放疗科和使用各类 X 射线机建设项目办理了环境影响评价手续并于 2006 年 12 月 7 日取得了原福建省环境保护局的批复，并于 2011 年委托福建省辐射环境监督站对其 PET 中心、2 台直线加速器（Varian Clinac 23 EX、西门子 Mevatron KD-II 已报废）、1 台后装近距离治疗机、2 台 DSA 及 III 类 X 射线装置项目开展竣工环境保护验收监测工作，通过了验收，并取得闽环辐[2011]验收 080 号文件。

医院于 2014 年委托核工业二七〇研究所对其一台 6MeV（型号 Unique）直线加速器项目开展了环境影响评价工作，并编制了《厦门大学附属第一医院拟建 6MeV 直线加速器项目辐射环境影响报告表》，该报告通过了福建省环境保护厅的审批取得了批文（闽环辐评[2015]18 号），于 2016 年委托福建省辐射环境监督站对其 6Mev 直线加速器项目开展竣工环境保护验收监测工作，通过了验收，并于 2016 年 12 月 27 日取得了闽环辐验[2016]14 号文件。

医院于 2016 年对其 1 台后装治疗机及治疗室进行设备更新并对治疗室进行改造，原有后装治疗机已报废并由厂家回收。2016 年委托吉林省龙桥辐射环境工程有限公司开展了环境影响评价工作，并编制了《厦门大学附属第一医院 1 台后装治疗机及治疗室项目环境影响报告表》，该报告通过福建省环境保护厅的审批取得了批文（闽环辐评[2016]13 号）。

医院于 2019 年委托湖北君邦环境技术有限责任公司对其 PET 中心 1 台 PET/CT 机扩建项目开展了环境影响评价工作，并编制了《厦门大学附属第一医院 PET 中心 1 台 PET/CT 扩建项目环境影响报告表》，该报告通过福建省生态环境厅的审批取得了批文（闽环辐评[2019]4 号）。

2020 年 1 月 7 日厦门大学附属第一医院组织了验收组（建设单位、验收监测单位以及特邀专家）对厦门大学附属第一医院 1 台后装治疗机及治疗室项目及 PET 中心 1 台 PET/CT 扩建项目进行验收，并出具了“厦门大学附属第一医院 1 台后装治疗机及治疗室项目及 PET 中心 1 台 PET/CT 扩建项目竣工环境保护验收意见”。

该院原有核技术利用项目已取得辐射安全许可，该院于 2020 年 4 月 9 日取得福建省环境保护厅最新发放的辐射安全许可证（许可证编号：闽环辐证

[00173]号)，许可证有效期至 2023 年 6 月 6 日，许可种类和范围为：使用Ⅲ、Ⅴ类放射源；使用 II、III 类射线装置；乙级非密封放射性物质工作场所；制备 PET 用放射性药物。

表1-2 厦门大学附属第一医院原有核技术利用项目使用情况一览表

| 放射源                       |                 |      |                 |                     |                |               |               |
|---------------------------|-----------------|------|-----------------|---------------------|----------------|---------------|---------------|
| 序号                        | 核素              | 类别   | 活度(Bq)          | 数量                  | 活动种类           | 所在场所          | 备注            |
| 1                         | Ir-192          | III  | 3.7E+11         | 7                   | 使用             | 核医学科后装机机房     | 取得闽环辐证[00173] |
| 2                         | Ge-68           | V    | 5.50E+07        | 5                   | 使用             | 核医学科、PET 中心   |               |
| 3                         | Ge-68           | V    | 3.50E+06        | 1                   | 使用             | 核医学科、PET 中心   |               |
| 4                         | Gd-153          | V    | 9.25E+09        | 1                   | 使用             | 核医学科          |               |
| 5                         | Sr-90<br>(Y-90) | V    | 1.48E+09        | 1                   | 使用             | 核医学科          |               |
| 非密封放射性物质                  |                 |      |                 |                     |                |               |               |
| 序号                        | 工作场所名称          | 场所等级 | 核素              | 日等效最大操作量(Bq)        | 年最大用量(Bq)      | 活动种类          | 备注            |
| 7                         | PET 中心          | 乙    | F-18            | 3.7E+09             | 1.67E+12       | 使用            | 取得闽环辐证[00173] |
| 8                         | PET 中心          | 乙    | Ga-68           | 7.4E+07             | 7.4E+10        | 使用            |               |
| 9                         | 核医学科            | 乙    | Tc-99m          | 3.7E+09             | 8.88E+12       | 使用            |               |
| 10                        | 核医学科            | 乙    | I-131           | 3.7E+09             | 8.88E+12       | 使用            |               |
| 11                        | 核医学科            | 乙    | I-125<br>(液态)   | 3.7E+04             | 4.44E+07       | 使用            |               |
| 12                        | 核医学科            | 乙    | Sr-89           | 4.44E+08            | 1.48E+10       | 使用            |               |
| 13                        | 核医学科            | 乙    | Sr-90<br>(Y-90) | 1.85E+06            | 1.85E+09       | 使用            |               |
| 14                        | 核医学科            | 乙    | P-32            | 3.7E+07             | 8.88E+08       | 使用            |               |
| 15                        | 核医学科            | 乙    | I-125<br>(粒子)   | 1.85E+09            | 1.85E+12       | 使用            |               |
| 16                        | 核医学科            | 乙    | Lu-177          | 7.4E+07             | 7.4E+10        | 使用            |               |
| 17                        | 核医学科            | 乙    | Zr-89           | 3.7E+07             | 3.7E+09        | 使用            |               |
| 其中 Lu-177 和 Zr-89 均暂未投入使用 |                 |      |                 |                     |                |               |               |
| 射线装置                      |                 |      |                 |                     |                |               |               |
| 序号                        | 装置名称            | 数量   | 类别              | 型号                  | 使用场所           | 备注            |               |
| 18                        | 直线加速器           | 1    | II 类            | Varian Clinac 23 EX | 放疗科            | 取得闽环辐证[00173] |               |
| 19                        | 直线加速器           | 1    | II 类            | unique              | 放疗科            |               |               |
| 20                        | DSA             | 1    | II 类            | FD20                | 导管室            |               |               |
| 21                        | DSA             | 1    | II 类            | 西门子 Artis DSA       | 导管室            |               |               |
| 22                        | 回旋加速器           | 1    | II 类            | MINI trace          | 核医学科<br>PET 中心 |               |               |

另有 III 类射线装置 57 台

## 7.原有核技术利用项目辐射安全管理情况

### (1) 辐射防护管理制度

为保证医院辐射工作安全开展，2019年医院调整人员重新设立了以王占祥为主任的放射诊疗安全管理委员会（厦一院医【2020】14号），全面负责医院辐射防护管理工作。每年依据相关法律法规对医院辐射工作的安全和防护状况，编写年度评估报告，并向环境主管部门上报年度评估报告。

根据原国家环境保护总局〈2006〉145 号通知《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》的规定，厦门大学附属第一医院制定了《辐射防护事故应急预案》，一旦发生辐射事故，立即启动应急预案，并采取必要的应急措施，并于2019年9月重新制订了应急预案。

同时医院依照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第449号令）和《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》（中华人民共和国环境保护部令 第3 号），结合医院的情况和实践，已制定一套较完善的管理制度和操作规程，其中包括《安全防护管理制度》、《岗位职责》、《操作规程》、《人员培训计划、监测方案》等。

### (2) 辐射工作人员培训、个人剂量监测和体检情况

医院按照《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》中的规定执行持证上岗制度，医院现共计234人从事放射工作，取得辐射安全培训合格证人数210人，医院已制定培训计划，其余人员将逐步接受培训并要求他们取得辐射安全与防护培训证书。

该院辐射工作人员（共234人）均按照规范佩戴个人剂量计，由专人负责收集个人剂量计，并委托有资质单位承担个人剂量监测工作，监测频度为90天1次；每季度的个人剂量检测结果和每年度的个人体检报告均存档备案。根据医院2018年第四季度至2019年前三季度个人剂量监测报告和个人体检报告均未发现异常情况，2018.10-2019.09医院辐射工作人员年累积剂量在0.01mSv~0.72mSv范围内，现有射线装置的辐射工作人员所受累积剂量均不会超过项目剂量约束限值，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于职业人员的剂量限值（20mSv）的要求。

（3）工作场所及辐射环境监测情况

在设备正常运行状态下，每年委托有监测资质的单位对工作场所及周围辐射环境剂量率进行监测，监测频次为1次/年，并将监测数据记录存档。医院在2019年的年度监测中未发现有监测数据超标的现象。医院已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展核技术利用项目的辐射安全防护要求，经医院核实，自核技术利用项目开展以来，未发生过辐射事故。

（4）其他问题整改要求落实情况

2019年，省生态环境厅、厦门市生态环境局、思明生态环境局多次对医院辐射安全工作检查，针对新增PET/CT机房项目竣工环境保护验收工作及后装机竣工环境保护验收工作未验收问题，医院依据程序整改完毕，目前已经办理自主验收并通过专家评审；对于辐射安全管理工作制度和制度还不完善，医院协调医务部门专门负责辐射安全管理等制度对于人员辐射安全教育问题，医院越来越重视相关问题，逐步安排人员参加培训并要求取得辐射安全证书。

表 2 放射源

| 序号 | 核素名称 | 总活度(Bq)/<br>活度(Bq)枚数 | 类别 | 活动种类 | 用途 | 使用场所 | 贮存方式与地点 | 备注 |
|----|------|----------------------|----|------|----|------|---------|----|
| /  | /    | /                    | /  | /    | /  | /    | /       | /  |
| /  | /    | /                    | /  | /    | /  | /    | /       | /  |
| /  | /    | /                    | /  | /    | /  | /    | /       | /  |
| /  | /    | /                    | /  | /    | /  | /    | /       | /  |
| /  | /    | /                    | /  | /    | /  | /    | /       | /  |

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子强度（n/s）。

表 3 非密封放射性物质

| 序号 | 核素名称  | 理化性质                 | 活动种类 | 实际日最大操作量（Bq）          | 日等效最大操作量（Bq）         | 年最大用量（Bq）             | 用途   | 操作方式 | 使用场所                               | 贮存方式与地点                     |
|----|-------|----------------------|------|-----------------------|----------------------|-----------------------|------|------|------------------------------------|-----------------------------|
| 1  | 碘-131 | 液态，半衰期8.04d，毒性分组为中毒组 | 使用   | 1.48×10 <sup>9</sup>  | 1.48×10 <sup>8</sup> | 1.48×10 <sup>11</sup> | 甲亢治疗 | 简单操作 | 原直加楼二层核医学科 <sup>131</sup> I 核素治疗病房 | 按需订购，当天供给，当天使用，暂存在全自动分装柜铅罐内 |
|    |       |                      |      | 2.96×10 <sup>10</sup> | 2.96×10 <sup>9</sup> | 2.96×10 <sup>12</sup> | 甲癌治疗 |      |                                    |                             |
| /  | /     | /                    | /    | /                     | /                    | /                     | /    | /    | /                                  | /                           |
| /  | /     | /                    | /    | /                     | /                    | /                     | /    | /    | /                                  | /                           |
| /  | /     | /                    | /    | /                     | /                    | /                     | /    | /    | /                                  | /                           |

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

**表 4 射线装置**

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

| 序号 | 名称                       | 类别 | 数量 | 型号                 | 加速<br>粒子 | 最大能量 (MeV)                                          | 额定电流 (mA) /剂量<br>率 (Gy/h)  | 用途       | 工作场所                | 备注       |
|----|--------------------------|----|----|--------------------|----------|-----------------------------------------------------|----------------------------|----------|---------------------|----------|
| 1  | 医用直线<br>加速器              | II | 1  | Varian<br>Truebeam | 电子       | X 线: $\leq 15\text{MV}$<br>电子线: $\leq 20\text{MeV}$ | X 线: $\leq 360\text{Gy/h}$ | 放射<br>治疗 | 一号楼负一层放疗科<br>1oF108 | 补办手<br>续 |
| 2  | 螺旋断层放<br>射治疗系统<br>(TOMO) | II | 1  | Radixact           | 电子       | X 射线: $6\text{MV}$                                  | $\leq 8.5\text{Gy/min}$    | 放射<br>治疗 | 一号楼负一层放疗科<br>1oF113 | 拟购       |

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

| 序<br>号 | 名称  | 类别 | 数量 | 型号                              | 最大管电压<br>(kV) | 最大管电流<br>(mA) | 用途   | 工作场所                        | 备注 |
|--------|-----|----|----|---------------------------------|---------------|---------------|------|-----------------------------|----|
| 1      | DSA | II | 1  | PHILIPS<br>Allura Xper FD<br>20 | $\leq 150$    | $\leq 1250$   | 显像诊断 | 从一号病房楼 1 层导管室<br>移机至内科综合楼三层 | 移机 |
| 2      | DSA | II | 1  | 西门子 Artis<br>zee III ceiling    | $\leq 150$    | $\leq 1000$   | 显像诊断 | 内科综合楼三层                     | 拟购 |
| 3      | DSA | II | 1  | UNIQ Clarity<br>FD20/15         | $\leq 150$    | $\leq 1250$   | 显像诊断 | 内科综合楼三层                     | 拟购 |
| 4      | DSA | II | 1  | UNIQ Clarity,<br>FD10           | $\leq 100$    | $\leq 1000$   | 显像诊断 | 内科综合楼六层                     | 拟购 |
| 5      | DSA | II | 1  | Artis Q ceiling                 | $\leq 125$    | $\leq 1000$   | 显像诊断 | 内科综合楼六层                     | 拟购 |

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

| 序号   | 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 最大管电压<br>(kV) | 最大靶电流<br>(μA) | 中子强度<br>(n/s) | 用途 | 工作场所 | 氚靶情况    |      |    | 备注 |
|------|----|----|----|----|---------------|---------------|---------------|----|------|---------|------|----|----|
|      |    |    |    |    |               |               |               |    |      | 活度 (Bq) | 贮存方式 | 数量 |    |
| 以下空白 |    |    |    |    |               |               |               |    |      |         |      |    |    |
| /    | /  | /  | /  | /  | /             | /             | /             | /  | /    | /       | /    | /  | /  |
| /    | /  | /  | /  | /  | /             | /             | /             | /  | /    | /       | /    | /  | /  |

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

| 名称                                | 状态 | 核素名称             | 活度 | 月排放量 | 年排放总量               | 排放口浓度               | 暂存情况                 | 最终去向                       |
|-----------------------------------|----|------------------|----|------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|
| 放射性废液<br>（来源：操作过程中产生、清洗、患者洗涤和排泄等） | 液体 | $^{131}\text{I}$ | /  | /    | 129.5m <sup>3</sup> | 总 $\beta < 10$ Bq/L | 衰变池暂存                | 经监测满足排放标准后排入医院污水处理站        |
| 含放射性核素的气溶胶                        | 气态 | $^{131}\text{I}$ | /  | /    | /                   | /                   | /                    | 经活性炭过滤后经专用排气管道引至高于本建筑屋顶排放。 |
| 臭氧、氮氧化物                           | 气态 | —                | —  | 少量   | 少量                  | —                   | /                    | 通过排风系统排入外环境                |
| 沾有放射性核素的注射器、手套、擦拭纸、纱布、废活性炭        | 固体 | $^{131}\text{I}$ | /  | /    | 350kg               | /                   | 固体废物包扎好注明日期后贮存在铅污物桶中 | 贮存 10 个半衰期后，可作为免管废物。       |
| 直线加速器退役期照射头、辅助过滤装置等感生放射性部件        | 固体 | /                | /  | /    | /                   | /                   | /                    | 厂家回收                       |
| 衰变池沉积物污泥                          | 固体 | /                | /  | /    | /                   | /                   | /                    | 贮存 10 个半衰期后，可作为免管废物。       |

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为mg/L，固体为mg/kg，气态为mg/m<sup>3</sup>；年排放总量用kg。

2. 含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L或Bq/kg或Bq/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 法规文件 | <p>1) 《中华人民共和国环境保护法》2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>2) 《中华人民共和国环境影响评价法》2016 年 9 月 1 日起施行，主席令第 24 号，2018 年 12 月 29 日起实施；</p> <p>3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院令第 449 号，2005 年 12 月 1 日起施行；国务院令第 709 号修订，2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>5) 《放射性物品运输安全管理条例》国务院令第 562 号，2010 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>6) 《放射性废物品安全管理条例》国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行；</p> <p>7) 《建设项目环境保护管理条例》国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》生态环境部第 7 号令修订，2019 年 8 月 22 日起施行；</p> <p>9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>10) 《放射性物品运输安全许可管理办法》，中华人民共和国环境保护部第 11 号令，2010 年 11 月 1 日起施行；</p> <p>11) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，中华人民共和国环境保护部第 44 号令，2017 年 9 月 1 日起施行；生态环境部令第 1 号修订，2018 年 4 月 28 日起施行；</p> <p>12) 《关于发布射线装置分类办法的公告》，环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日起实施；</p> <p>13) 《关于发布放射源分类办法的公告》，原国家环境保护总局公告，2005 年第 62 号，2006 年 12 月 23 日起实施；</p> <p>14) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》，原国家环保总局，环发[2006]145 号；</p> <p>15) 《关于加强放射性物品运输监督检查的通知》，中华人民共和国环境保护部，环办[2010]158 号；</p> <p>16) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，中华人民共</p> |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | <p>和国环境保护部，环办辐射函[2016]430 号；</p> <p>17) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》，中华人民共和国卫生部令第 55 号，2007 年 3 月 23 日经卫生部部务会议讨论通过，2007 年 11 月 1 日起施行。</p> <p>18) 《福建省环保厅关于印发〈核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲〉（试行）的通知》，闽环保辐射〔2013〕10 号；</p> <p>19) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 技<br>术<br>标<br>准 | <p>1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；</p> <p>2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）；</p> <p>4) 《环境地表 <math>\gamma</math> 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）；</p> <p>5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>6) 《医疗照射放射防护基本要求》（GBZ179-2006）；</p> <p>7) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>8) 《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）；</p> <p>9) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）；</p> <p>10) 《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）；</p> <p>11) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>12) 《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ 165-2012）；</p> <p>13) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）；</p> <p>14) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）；</p> <p>15) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）。</p> |
| 其<br>他           | <p>1) 厦门大学附属第一医院核技术利用项目环境影响评价委托书及相关基础技术资料；</p> <p>2) 《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护总局 1995 年）；</p> <p>3) 厦门大学附属第一医院提供的其他相关资料。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围：

根据《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016）的规定，“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围。”本项目非密封放射性工作场所等级为乙级，并使用射线装置，因此，本项目评价范围为各核技术应用场所各屏蔽体外 50m 范围。根据图 1-2，本项目评价范围主要为院区内及周边居民区，核医学科  $^{131}\text{I}$  病房主要涉及院区西侧双十中学足球场和南侧镇海社区居民楼，放疗科直线加速器和 TOMO 系统主要涉及南侧镇海社区，DSA 介入中心东侧涉及虎溪社区，南侧和西北侧涉及院内宿舍楼。

### 7.2 保护目标：

本项目评价范围内的主要环境保护目标有：辐射工作人员、病人、病人家属及辐射工作场所 50m 范围内的公众。目标区域内的辐射剂量必须满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的剂量管理约束值的标准要求。本项目周围环境及主要环境保护目标见表 7-1 和表 7-2。

表 7-1 评价范围内环境保护目标一览表

| 序号 | 敏感对象 | 方位                           | 距离              | 规模      | 保护要求                       |
|----|------|------------------------------|-----------------|---------|----------------------------|
| 1  | 职业人员 | 核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房工作人员 | 原直加楼二层          | 50m 范围内 | 约 8 人<br>年剂量不超过 5mSv/a     |
| 2  |      | 直线加速器及 TOMO 系统工作人员           | 1 号楼放疗科内        | 50m 范围内 |                            |
| 3  |      | DSA 工作人员                     | 内科综合楼三层、六层介入中心内 | 50m 范围内 |                            |
| 4  | 公众成员 | 原直加楼内公众成员                    | 原直加楼            | 50m 范围内 | 约 20 人<br>年剂量不超过 0.25mSv/a |
| 5  |      | 院内道路公众成员                     | 原直加楼北侧和东侧       | 50m 范围内 |                            |
| 6  |      | 门诊楼和门急诊综合楼内公众成员              | 原直加楼北侧          | 50m 范围内 |                            |
| 7  |      | 石泉路公众成员                      | 原直加楼西侧          | 50m 范围内 |                            |
| 8  |      | 一号病房楼内公众                     | 放疗科直线加速器        | 50m 范围内 |                            |

|    | 成员                | 和 TOMO 系统所在楼               |         | 人       |  |
|----|-------------------|----------------------------|---------|---------|--|
| 9  | 二号病房楼内公众成员        | 放疗科东北侧                     | 50m 范围内 | 约 200 人 |  |
| 10 | 五号病房楼内公众成员        | 放疗科东侧                      | 50m 范围内 | 约 100 人 |  |
| 11 | 内科综合楼内公众成员        | DSA 机房所在楼                  | 50m 范围内 | 约 500 人 |  |
| 12 | 镇海社区居民楼           | 1 号病房楼放疗科南侧                | 50m 范围内 | 约 400 人 |  |
| 13 | 福建省厦门双十中学的球场活动的人员 | 核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房西侧 | 50m 范围内 | 流动人员    |  |
| 14 | 镇海社区石泉路 7 号居民楼    | 核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房南侧 | 25-40 m | 约 100 人 |  |
| 15 | 虎溪社区居民楼           | DSA 机房东侧                   | 26-50m  | 约 30 人  |  |
| 16 | 院内宿舍楼             | DSA 机房南侧                   | 22-50m  | 约 70 人  |  |
| 17 | 西北侧居民楼            | DSA 机房西北侧                  | 35-50m  | 约 100 人 |  |

表 7-2 机房相邻功能房及保护区人群

| 场所名称                    | 位置描述 |          | 环境保护目标         | 距离 (m) |
|-------------------------|------|----------|----------------|--------|
| $^{131}\text{I}$ 核素治疗病房 | 东侧   | 院内道路     | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻     |
|                         | 南侧   | 过道       | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻     |
|                         | 西侧   | 太平间      | 工作人员           | 毗邻     |
|                         | 北侧   | 过道       | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻     |
|                         | 楼下   | MR 室、办公室 | 医护人员、病人及病人家属   | 4-6    |
| 1#直线加速器机房 (位于负一层)       | 东侧   | 风机、冷却房   | 检修人员           | 毗邻     |
|                         | 南侧   | 地下土壤层    | /              | /      |
|                         | 西侧   | 2#直加机房   | 辐射工作人员、病人      | 毗邻     |
|                         | 北侧   | 放疗科过道    | 辐射工作人员、病人及病人家属 | 毗邻     |
|                         | 楼上地面 | 停车场及过道   | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻     |

|                      |    |            |                |    |
|----------------------|----|------------|----------------|----|
|                      |    | CT 室       | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻 |
|                      | 楼下 | 地下土壤层      | /              | /  |
| TOMO 系统机房<br>(位于负一层) | 东侧 | 3#直加机房     | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻 |
|                      | 南侧 | 地下土壤层      | /              | /  |
|                      | 北侧 | 放疗科过道      | 辐射工作人员、病人及病人家属 | 毗邻 |
|                      | 西侧 | 后装机房       | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻 |
|                      | 楼上 | 停车场及过道     | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻 |
|                      |    | CT 室       | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻 |
|                      | 楼下 | 地下土壤层      | /              | /  |
| 三层 DSA 机房            | 东侧 | 内科综合楼外院内道路 | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻 |
|                      | 南侧 | 内科综合楼外院内道路 | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻 |
|                      | 西侧 | 楼内过道       | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻 |
|                      | 北侧 | 设备间、库房     | 医护人员           | 毗邻 |
|                      | 楼下 | 二层设备房      | 工作人员           | 毗邻 |
|                      | 楼上 | ICU 病房     | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻 |
| 六层 DSA 机房            | 东侧 | 设备间、库房     | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻 |
|                      | 南侧 | 内科综合楼外院内道路 | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻 |
|                      | 西侧 | 设备间、库房     | 医护人员           | 毗邻 |
|                      | 北侧 | 楼内过道       | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻 |
|                      | 楼下 | 五层设备夹层     | 工作人员           | 毗邻 |
|                      | 楼上 | ICU 病房     | 医护人员、病人及病人家属   | 毗邻 |

### 7.3 评价标准:

#### (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002):

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定:

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

#### ① 剂量限值

##### B1 剂量限值(本标准附录 B)

##### B1.1 职业照射

##### B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的的职业照射水平进行控制,使之不超过下述限值: a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均), 20mSv。特殊情况下,依照审管部门的规定,剂量平均期可破例延长到 10 个连续年,并且在此期间内,任何工作人员所接受的年平均有效剂量不应超过 20mSv,任何单一年份不应超过 50mSv; 本项目取 20mSv 的 1/4 即 5mSv 作为职业工作人员的剂量管理值。

##### B1.2 公众照射

##### B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值:

a) 年有效剂量, 1mSv; 本项目取其 1/4 即 0.25mSv/a 作为公众成员的剂量管理值。

#### ② 表面污染控制水平

表 7-3 附录 B2 表面污染控制水平

| 表面类型         |      | $\alpha$ 放射性物质 (Bq/cm <sup>2</sup> ) |                    | $\beta$ 放射性物质 (Bq/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|
|              |      | 极毒性                                  | 其他                 |                                     |
| 工作台、设备、墙壁、地面 | 控制区* | 4                                    | 4×10               | 4×10                                |
|              | 监督区  | 4×10 <sup>-1</sup>                   | 4                  | 4                                   |
| 工作服、手套、工作鞋   | 控制区  | 4×10 <sup>-1</sup>                   | 4×10 <sup>-1</sup> | 4                                   |
|              | 监督区  |                                      |                    |                                     |
| 手、皮肤、内衣、工作袜  |      | 4×10 <sup>-2</sup>                   | 4×10 <sup>-2</sup> | 4×10 <sup>-1</sup>                  |

\*该区内的高污染子区除外

#### ③ 非密封源工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中的规定, 非密

密封放射性物质工作场所的分级见表7-4。

表 7-4 附录 C1 非密封源工作场所分级

| 级别 | 日等效最大操作量 (Bq)                      |
|----|------------------------------------|
| 甲  | $>4 \times 10^9$                   |
| 乙  | $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ |
| 丙  | 豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$       |

放射性核素的日等效操作量的计算：

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量 (Bq) 与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 7-5 和表 7-6，放射性核素的毒性分组见附录 D (标准的附录)。

表 7-5 放射性核素毒性组别修正因子

| 毒性组别 | 毒性组别修正因子 |
|------|----------|
| 极毒   | 10       |
| 高毒   | 1        |
| 中毒   | 0.1      |
| 低毒   | 0.01     |

表 7-6 操作方式与放射源状态修正因子

| 操作方式    | 放射源状态           |               |              |                             |
|---------|-----------------|---------------|--------------|-----------------------------|
|         | 表面污染水平<br>较低的固体 | 液体、溶液、<br>悬浮液 | 表面有污染的<br>固体 | 气体，蒸汽，粉<br>末，压力很高的<br>液体，固体 |
| 源的贮存    | 1000            | 100           | 10           | 1                           |
| 很简单的操作  | 100             | 10            | 1            | 0.1                         |
| 简单操作    | 10              | 1             | 0.1          | 0.01                        |
| 特别危险的操作 | 1               | 0.1           | 0.01         | 0.001                       |

根据院方给出的数据： $^{131}\text{I}$  甲癌治疗区域的使用量为每名患者最大用量  $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$  (200mCi)，2 间病房最多4人，日最大操作量为  $2.96 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；甲亢治疗区域的使用量为每名患者最大用量  $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$  (20mCi)，1 间病房最多2人，日最大操作量为  $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ 。经计算 $^{131}\text{I}$ 核素治疗病房区域使用的放射性核素日最大操作量为  $3.108 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，总日等效最大操作量  $3.108 \times 10^8 \text{Bq}$ ，介于  $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$  之间，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

表 7-7 本项目  $^{131}\text{I}$  核素诊疗非密封放射性物质工作场所分级

| 工作场所 | 核素名称 | 日实际最大操 | 毒性组别修 | 操作性质 | 日等效最 | 总日等效最 |
|------|------|--------|-------|------|------|-------|
|------|------|--------|-------|------|------|-------|

|            |                       | 作量 (Bq)                        | 正因子 | 修正因子 | 大作量 (Bq)           | 大操作量 (Bq)           |
|------------|-----------------------|--------------------------------|-----|------|--------------------|---------------------|
| 核素治疗区域工作场所 | $^{131}\text{I}$ (甲亢) | $1.48 \times 10^9$<br>(2 人)    | 0.1 | 1    | $1.48 \times 10^8$ | $3.108 \times 10^9$ |
| 核素治疗区域工作场所 | $^{131}\text{I}$ (甲癌) | $2.96 \times 10^{10}$<br>(4 人) | 0.1 | 1    | $2.96 \times 10^9$ |                     |

#### ④ 放射性废液向环境排放的控制

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定：不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流的普通下水道，并应对每次排放做好记录：

a) 每月排放的总活度不超过  $10\text{ALI}_{\min}$ ； b) 每一次排放的活度不超过  $1\text{ALI}_{\min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

(2) 《医疗照射放射防护基本要求》(GBZ179-2006)；

(3) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)；

**重点引用：**6.1.1 治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB 18871 的要求，保障职业场所和周围环境安全。

6.1.2 有用线束直接投照的防护墙包括天棚按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T 201.1 的要求。

6.1.3 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

6.1.5 X 射线能量超过 10MV 的加速器屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

6.1.7 治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于  $45\text{m}^2$ 。

6.1.8 治疗室人口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。

6.1.9 相关位置例如治疗室人口处上方等应安装醒目的辐射指示灯及辐射标志。

6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

(4)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)；

(5)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》

(GBZ/T201.2-2011)；

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)，第4.2.1，治疗机房外关注点的剂量率参考控制水平：

治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量参考水平应不大于下述①②③④所确定的剂量率参考控制水平  $H_c$ ：

①由周剂量参考控制水平  $H_c$  求得关注点的导出剂量率参考控制水平  $H_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )：

放射治疗机房外控制区工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

放射治疗机房外非控制区人员： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ ；

②人员居留因子  $T \geq 1/2$  的场所， $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

人员居留因子  $T \leq 1/2$  的场所， $H_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ ；

③有上述①中的导出剂量率参考水平  $H_{c,d}$  和②中的最高剂量率参考水平  $H_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平  $H_c$ 。

④治疗室房顶的剂量控制： $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

(6) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)；

① 应从源头控制，减少放射性废物的产生，防止污染扩散；

② 应分类收储废物，采取有效方法尽可能进行减容或再利用，努力实现废物最小化。

③ 应做好废物产生、处理、处置（包括排放）的记录，建档保存；

④ 不得将放射性废液排入普通下水道；不允许利用生活污水系统洗涤被放射性污染的物品；

⑤ 废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器，除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。

⑥ 经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。

⑦ 使用少量或短寿命放射性核素的单位，可设立采取衰变方式进行放射性废液处理系统，该系统应有足够的防渗漏能力。

⑧ 对于半衰期短的废物可用放置衰变的方法，待放射性废物衰变到清洁解控水平后作普通废物处理，以尽量减少放射性废物的数量。

(7) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)；

根据《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ 120-2006)的要求。为便于操作，针对临床核医学实践的具体情况，可以依据计划操作最大量放射性核素的加权活度，把工作场所分为I、II、III等三类，见表 7-8。

表7-8 临床核医学工作场所具体分类

| 分类  | 操作最大量放射性核素的加权活* (MBq) |
|-----|-----------------------|
| I   | >50000                |
| II  | 50-50000              |
| III | <50                   |

注：\*加权活度=（计划的日最大操作活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子

表7-9 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

| 类别 | 放射性核素                                                                                                                                                                                                 | 核素的毒性权重因子 |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| A  | <sup>75</sup> Se, <sup>89</sup> Sr, <sup>125</sup> I, <sup>131</sup> I                                                                                                                                | 100       |
| B  | <sup>11</sup> C, <sup>13</sup> N, <sup>15</sup> O, <sup>18</sup> F, <sup>51</sup> Cr, <sup>67</sup> Ge, <sup>99m</sup> Tc, <sup>111</sup> In, <sup>113m</sup> In, <sup>123</sup> I, <sup>201</sup> Tl | 1         |
| C  | <sup>3</sup> H, <sup>14</sup> C, <sup>81m</sup> Kr, <sup>127</sup> Xe, <sup>133</sup> Xe                                                                                                              | 0.01      |

表7-10 不同操作性质的修正因子

| 操作方式与地区                  | 核素的毒性权重因子 |
|--------------------------|-----------|
| 贮存                       | 100       |
| 废物处理闪烁法计数和显像候诊区及诊断病床区    | 10        |
| 配药、分装以及施给药简单放射性药物制备治疗病床区 | 1         |
| 复杂放射性药物制备                | 0.01      |

表7-11 核医学工作场所的室内表面及装备结构要求

| 工作场所       | 核素名称             | 日实际最大操作量 (Bq)          | 毒性组别修正因子 | 操作性质修正因子 | 操作最大量放射性核素的加权活度 (Bq)   | 加权活度 (Bq) 分类 |
|------------|------------------|------------------------|----------|----------|------------------------|--------------|
| 核素治疗区域工作场所 | <sup>131</sup> I | 3.108×10 <sup>10</sup> | 100      | 1        | 3.108×10 <sup>12</sup> | 1            |

本项目核医学科工作场所为I类核医学工作场所。I类核医学工作场所室内表面及装备结构的基本防护要求见表7-12。

表7-12 核医学工作场所的室内表面及装备结构要求

| 场所分类 | 地面        | 表面  | 通风橱 | 室内通风  | 管道                 | 清洗去污设备 |
|------|-----------|-----|-----|-------|--------------------|--------|
| I    | 地板与墙壁接缝无缝 | 易清洗 | 需要  | 应设抽风机 | 特殊要求 <sup>3)</sup> | 需要     |

注：1)仅指实验室。

2)下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

第 4.5 款：合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 1m/s），排气口应高于本建筑屋脊，并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值。

第 4.6 款：凡 I 类工作场所和开展放射性药物治疗的单位应设有放射性污水池，以存放放射性污水直至符合排放要求时方可排放。废原液和高污染的放射性废液应专门收集存放。

第 4.7 款：临床核医学工作场所应备有收集放射性废物的容器，容器上应有放射性标志。放射性废物应按长半衰期和短半衰期分别收集，并给予适当屏蔽。固体废物如污染的针头、注射器和破碎的玻璃器皿等应贮于不泄漏、较牢固、并有合适屏蔽的容器内。放射性废物应及时按 GBZ133 进行处理。

第 4.8 款：临床核医学诊断及治疗用工作场所（包括通道）应注意合理安排与布局。其布局应有助于实施工作程序，如一端为放射性物质贮存室，依次为给药室、候诊室、检查室、治疗室等。并且应避免无关人员通过。

第 4.9 款：临床核医学诊断用给药室与检查室应分开。如必须在检查室给药，应具有相应的放射防护设备。

第 4.10 款：临床核医学诊断用候诊室应靠近给药室和检查室，宜有受检者专用厕所。

#### **（8）《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）；**

本标准规定了对医用放射性废物管理的基本防护、液体废物、气载废物、含放射性核素尸体的卫生防护管理要求及废物管理制度。

本标准适用于医学实践中所产生的含有放射性核素或被放射性核素所污染且不再利用的废弃物即医用放射性废物（以下简称放射性废物）的管理。

#### **重点引用：5 液体废物的管理**

##### **5.1 放射性废液**

5.1.1 使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于  $2 \times 10^7 \text{Bq}$  的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防渗漏措施；

5.1.2 经审管部门确认的下列低放废液可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道：每月排放总活度或每一次排放活度不超过 GB18871-2002 中 8.62 规定的限制

要求，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲先，每次排放应做记录并存档。

## 5.2 注射或服用过放射性药物的患者排泄物

5.2.1 使用放射性药物治疗患者的临床核医学单位。应为住院患者治疗提供有防护标志的专用厕所，对患者排泄物实施统一收集和管理。规定患者住院治疗期间不得使用其他厕所；

5.2.2 专用厕所应具备使患者排泄物迅速全部冲洗入专用化粪池的条件，而且随时保持便池周围清洁；

5.2.3 专用化粪池内排泄物在贮存衰变后，经审管部门核准方可排入下水道系统。池内沉渣如难于排出，可进行酸化预处理后再排入下水道系统；

5.2.4 对不可设置专用厕所和专用化粪池的单位，应为注射或服用放射性药物（如<sup>131</sup>I、<sup>32</sup>P 等）的住院治疗患者提供具有辐射防护性能的尿液、粪便收集器和呕吐物收集器。收集器内的排泄物在贮存衰变后，经审管部门批准可作免管废物处理；

5.2.5 收集含<sup>131</sup>I 排泄物时，应同时加入 NaOH 或 10%KI 溶液后密闭存放待处理；

5.2.6 对含有放射性核素的实验动物排泄物，如本单位不具备专用化粪池，可以按照④处理；

5.2.7 对同时含有病原体的患者排泄物应使用专用容器单独收集，在贮存衰变、杀菌和消毒处理后，经审管部门批准可排入下水道系统；

5.2.8 符合下列条件之一的病人排泄物不需要统一管理：

- a) 注射或服用放射性药物的门诊患者排泄物；
- b) 符合出院条件的病人排泄物。

## 6 固体废物的管理

### 6.1 废物收集

6.1.1 按第 4.2 条放射性废物分类和废物的可燃与不可燃，可压实与不可压实、有无病原体毒性，分开收集废物；

6.1.2 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。污物桶放置点应避开工作人员工作和经常走动的区域；

6.1.3 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，并及时转送贮存室，并放入专用容器中贮存；

6.1.4 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入专用塑料袋内。

6.1.5 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。

## 7 气载废物的管理

7.1 操作放射性碘化物等具有挥发性的放射性物质时，应在备有活性炭过滤或其他专用过滤装置的通风柜内进行。

### (9) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)

重点引用：

## 6 X射线设备机房防护设施的技术要求

### 6.1 X射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置X射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护和安全。

6.1.3 每台固定使用的X射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。

6.1.5 除床边摄影设备、便携式X射线设备和车载式诊断X射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的X射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表7-13的规定。

表 7-13 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

| 设备类型           | 机房内最小有效使用面积      | 机房内最小单边长度 |
|----------------|------------------|-----------|
| 双管头或多管头 X 射线设备 | 30m <sup>2</sup> | 4.5m      |
| 单管头 X 射线设备     | 20m <sup>2</sup> | 3.5m      |

### 6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 7-14 的规定。

表 7-14 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

| 机房类型              | 有用线束方向铅当量（mm） | 非有用线束方向铅当量（mm） |
|-------------------|---------------|----------------|
| 标称 125kV 及以上的摄影机房 | 3.0           | 2.0            |
| 标称 125kV 及以下的摄影机房 | 2.0           | 1.0            |

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表7-15的要求。

6.2.4 距X射线设备表面100cm处的周围剂量当量率不大于2.5μSv/h时且X射线设

备表面与机房墙体距离不小于100cm时，机房可不作专门屏蔽防护。

### 6.3 X射线设备机房屏蔽体外剂量水平

#### 6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

- a) 具有透视功能的X射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；测量时，X射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。
- b) CT机、乳腺摄影、乳腺CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔CBCT和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

### 6.4 X射线设备工作场所防护

6.4.1 机房应设有观察窗或摄影监控装置，其设置的位置便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

### 6.5 X射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台X射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表7-15基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护服。

**表 7-15 个人防护用品和辅助防护设施配置要求**

| 放射检查类型  | 工作人员               |                      | 患者和受检者                               |        |
|---------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|--------|
|         | 个人防护用品             | 辅助防护设施               | 个人防护用品                               | 辅助防护设施 |
| 介入放射学操作 | 铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、 | 铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧 | 铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、阴影屏蔽器具。 | ——     |

|  |                    |                   |  |  |
|--|--------------------|-------------------|--|--|
|  | 介入防护手套<br>选配：铅橡胶帽子 | 防护屏<br>选配：移动铅防护屏风 |  |  |
|--|--------------------|-------------------|--|--|

6.5.3除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于2mmPb。

6.5.4 应为儿童的X射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于0.5mmPb。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

**7 X射线设备操作的防护安全要求**

7.8 介入放射学和近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备操作的防护安全要求

7.8.1 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备应满足其相应设备的防护安全操作要求。

7.8.2 介入放射学用X射线设备应具有记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。

7.8.3 除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。

7.8.4 穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合GBZ 128的规定。

**（10）医疗机构水污染物排放标准（GB18466-2005）；**

**重点引用：4.1 污水排放要求**

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。（见表 7-16）

5.4 医疗机构的各种特殊排水应单独收集并进行处理后，再排入医院污水处理站。

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理。

**表 7-17 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）**

| 序号 | 控制项目       | 排放标准 |
|----|------------|------|
| 23 | 总 β/（Bq/L） | 10   |

表 8 环境质量和辐射现状

**1、项目地理位置、布局和周边环境**

厦门大学附属第一医院（总院区）位于厦门市思明区镇海路 55 号，镇海路及石泉路以东，白鹿路以西。医院南侧为镇海社区居民楼，西侧为石泉路及福建省厦门双十中学（镇海校区）足球场。医院所在地理位置图详见图 1-2。医院总平面布置图详见图 1-3。

本项目所涉及的核医学科  $^{131}\text{I}$  病房位于原有直加楼二层，东侧为道路和一号病房楼，南侧为闽南楼（PET 中心、核医学科）和镇海社区居民楼，西侧为太平间和福建省厦门双十中学的操场，北侧为院内道路和门诊楼，楼下为夹层办公室和一层 MR 室。

本项目所涉及的放疗科 1#直线加速器机房和 TOMO 系统机房位于一号病房楼负一层，所处区域相对独立，避开了人员往来密集区，一般的就诊人员很少到达。1#直线加速器机房楼上为路面停车场、道路和 CT 室，西侧为 2#直线加速器机房，东侧为过道、风机、冷却机房，北侧为过道，南侧和楼下为土层；TOMO 系统机房楼上为路面停车场、道路和 DSA 室，西侧为后装机机房，东侧为 3#直线加速器机房，北侧为过道，南侧和楼下为土层。

本项目涉及的 5 台 DSA 机房位于内科综合楼三层和六层介入中心，内科综合楼东侧紧邻院内道路，东侧约 26m 为虎溪社区，南侧临近院内道路，南侧约 22m 为院内宿舍楼，西侧为院内空地，西侧 18m 为医院入口道路，北侧为科研楼，介入中心三层和六层楼上楼下分别为设备层和病房。

**2、辐射环境现状评价**

为掌握项目工作场所辐射环境现状，特委托福建闽环检测技术服务有限公司和河北冀辐源环保科技有限公司对本次环评项目的工作场所周围辐射环境进行监测（其中福建闽环检测技术服务有限公司负责 X- $\gamma$  辐射剂量率的监测，河北冀辐源环保科技有限公司负责  $\beta$  表面污染因子和中子的监测），两家检测单位均于 2020 年 10 月 13 日对该项目应用场所及周边环境进行辐射环境现状本底进行了监测，采用的 X- $\gamma$  射线巡测仪、 $\alpha\beta$  表面污染测量仪、便携式中子检测仪均在检定有效期范围内，监测仪器参数详见表 8-1。监测结果详见表 8-2~表 8-4，监测报告详见附件七。

表 8-1 监测仪器主要技术参数一览表

| 监测项目          | 监测仪器                             |                                                                    |                                                                           | 使用环境     |
|---------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------|
|               | 名称及型号                            | 技术指标                                                               | 检定情况                                                                      |          |
| X-γ 辐射空气吸收剂量率 | 名称: X、γ 射线巡测仪<br>型号: FH40G       | 能响范围: >25keV,<br>范围内误差-10%~10%<br>测量范围: 0.01μSv/h~50.00mSv/h (剂量率) | 检定单位: 上海市剂量测试技术研究院·东华国家计量测试中心<br>检定有效期: 2019 年 12 月 06 日-2020 年 12 月 05 日 | 符合仪器使用条件 |
| β 表面污染因子      | 名称: αβ 表面污染测量仪<br>型号: WF-PRM-203 | 测量范围或量程: 0.1cps-99999cps, 探测窗面积50cm <sup>2</sup> , 发射率 0.39        | 检定单位: 国家科技工业电离辐射一级计量站<br>检定有效期: 2020 年 1 月 20 日有效期至 2021 年 1 月 19 日       | 符合仪器使用条件 |
| 中子            | 名称: 便携式中子检测仪<br>型号: WF-PRM-N     | 测D量范围或量程: 0.01μSv/h-100mSv/h                                       | 检定单位: 国家科技工业电离辐射一级计量站<br>检定有效期: 2020 年 1 月 9 日有效期至 2021 年 1 月 8 日         | 符合仪器使用条件 |

#### 监测方案:

监测布点: 参照《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001) 中的方法布设监测点, 根据本次项目周围环境现状, 监测点位的选取覆盖项目区域及周围公众人员工作区域。根据上述布点原则与方法, 本项目监测点位布置如图 8-1 至图 8-13 所示。

监测对象: 核医学科<sup>131</sup>I病房治疗区域、放疗科1#直线加速器机房和TOMO机房及周边、内科大楼介入中心DSA机房及周边区域;

监测因子: X-γ 辐射剂量率、β 表面污染因子、中子。

监测工况: 本次评价项目周边环境本底值监测(均在设施、设备未运行状态工况下监测)。

#### 质量保证措施:

- ①合理布设监测点位, 保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- ②监测方法采用国家有关部门颁布标准, 监测人员经考核持有合格证书上岗。
- ③监测仪器每年定期经计量部门检定, 检定合格方可使用。

- ④每次测量前后均检查仪器的工作状态是否正常。
- ⑤由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- ⑥检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由授权签字人审定。

监测结果：

表 8-2 核医学科环境质量现状监测结果

| 监测编号 | 监测点位                                        | 平均 X-γ 辐射剂量率 nSv/h                   |
|------|---------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1#   | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房北侧（室外）            | *                                    |
| 2#   | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房西侧（室外）            | *                                    |
| 3#   | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房南侧（室外）            | *                                    |
| 4#   | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房东侧（室外）            | *                                    |
| 5#   | 拟建核医学科 3#放射病房东侧过道（室内）                       | *                                    |
| 6#   | 拟建核医学科 2#放射病房北侧过道（室内）                       | *                                    |
| 7#   | 拟建核医学科 1#放射病房南侧过道（室内）                       | *                                    |
| 8#   | 拟建核医学科 2#放射病房西侧过道（室内）                       | *                                    |
| 9#   | 拟建核医学科 1#放射病房东侧过道（室内）                       | *                                    |
| 10#  | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房抢救室（室内）           | *                                    |
| 11#  | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房护理站（室内）           | *                                    |
| 12#  | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房楼下夹层办公室（室内）       | *                                    |
| 13#  | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房楼下一层 MR 检查室（室内）   | *                                    |
| 14#  | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房北侧 11m 门诊楼（室外）    | *                                    |
| 15#  | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房西侧 10m 一号病房楼（室外）  | *                                    |
| 16#  | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房南侧 26m 居民楼（室外）    | *                                    |
| 17#  | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房西侧 30m 双十中学操场（室外） | *                                    |
| 18#  | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房衰变池处（室外）          | *                                    |
| 监测编号 | 监测点位                                        | $\beta$ 表面污染检测 (Bq/cm <sup>2</sup> ) |
| 1#   | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房分装室（室内）           | *                                    |
| 2#   | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房储源室（室内）           | *                                    |
| 3#   | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房抢救室（室内）           | *                                    |
| 4#   | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房护理站（室内）           | *                                    |
| 5#   | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房 3#放射病房（室内）       | *                                    |
| 6#   | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房 2#放射病房（室内）       | *                                    |
| 7#   | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房 1#放射病房（室内）       | *                                    |
| 8#   | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房 1#放射病房西侧过道（室内）   | *                                    |
| 9#   | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房 1#放射病房西侧过道（室内）   | *                                    |
| 10#  | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房办公室（室内）           | *                                    |
| 11#  | 拟建核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房 3#放射病房北侧过道（室内）   | *                                    |

|     |                                  |   |  |
|-----|----------------------------------|---|--|
| 12# | 拟建核医学科 <sup>131</sup> I 病房处置（室内） | * |  |
|-----|----------------------------------|---|--|

| 表 8-3 放疗科 1#直线加速器和 TOMO 系统周围环境质量现状监测结果 |                     |                    |               |
|----------------------------------------|---------------------|--------------------|---------------|
| 监测编号                                   | 监测点位                | 平均 X-γ 辐射剂量率 nSv/h | 中子辐射剂量率 μSv/h |
| 1#                                     | 1#直线加速器机房西侧（室内）     | *                  | *             |
| 2#                                     | 1#直线加速器屏蔽门外（室内）     | *                  | *             |
| 3#                                     | 1#直线加速器控制室（室内）      | *                  | *             |
| 4#                                     | 1#直线加速器东侧过道（室内）     | *                  | *             |
| 5#                                     | 1#直线加速器上方停车场（室外）    | *                  | *             |
| 6#                                     | 1#直线加速器上方 CT 室（室内）  | *                  | *             |
| 监测编号                                   | 监测点位                | 平均 X-γ 辐射剂量率 nSv/h |               |
| 7#                                     | TOMO 系统控制室（室内）      | *                  |               |
| 8#                                     | TOMO 系统东侧（室内）       | *                  |               |
| 9#                                     | TOMO 系统西侧（室内）       | *                  |               |
| 10#                                    | TOMO 系统机房内（室内）      | *                  |               |
| 11#                                    | TOMO 系统上方停车场（室外）    | *                  |               |
| 12#                                    | TOMO 系统上方 DSA 室（室内） | *                  |               |
| 13#                                    | TOMO 系统北侧过道（室内）     | *                  |               |

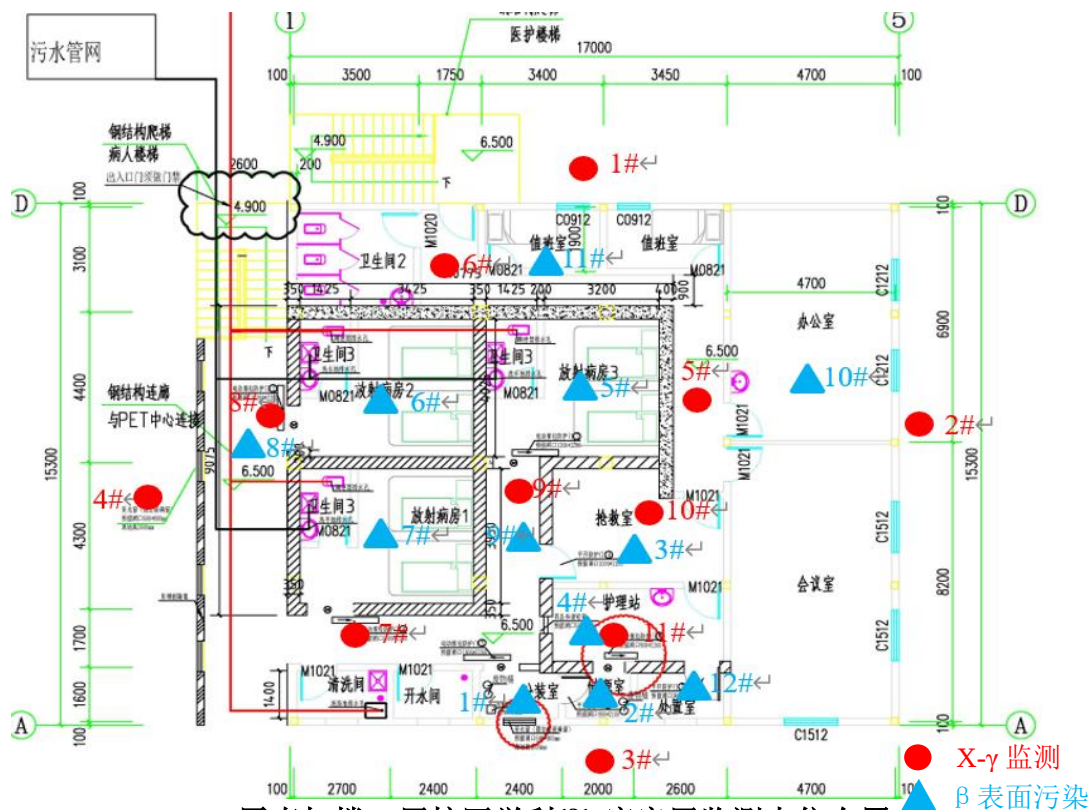
| 表 8-4 内科综合楼介入科环境质量现状监测结果 |                             |                    |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 监测编号                     | 监测点位                        | 平均 X-γ 辐射剂量率 nSv/h |
| 1#                       | 东 1#DSA 机房（室内）              | *                  |
| 2#                       | 东 1#DSA 机房西侧过道（室内）          | *                  |
| 3#                       | 东 1#DSA 机房北侧库房（室内）          | *                  |
| 4#                       | 东 1#DSA 机房北侧设备间（室内）         | *                  |
| 5#                       | 东 1#DSA 机房南侧控制室（室内）         | *                  |
| 6#                       | 东 1#DSA 机房楼下投影二层设备层（室内）     | *                  |
| 7#                       | 东 1#DSA 机房楼上投影 ICU 病房 1（室内） | *                  |
| 8#                       | 东 1#DSA 机房楼上投影 ICU 病房 2（室内） | *                  |
| 9#                       | 东 2#DSA 机房北侧控制室（室内）         | *                  |
| 10#                      | 东 2#DSA 机房（室内）              | *                  |
| 11#                      | 东 2#DSA 机房西侧过道（室内）          | *                  |
| 12#                      | 东 2#DSA 机房南侧设备间（室内）         | *                  |
| 13#                      | 东 2#DSA 机房楼下投影设备层（室内）       | *                  |
| 14#                      | 东 2#机房楼上投影四层 ICU 病房 1（室内）   | *                  |
| 15#                      | 东 2#机房楼上投影四层 ICU 病房 2（室内）   | *                  |
| 16#                      | 东 3#DSA 机房楼下投影二层设备层（室内）     | *                  |

|     |                               |   |
|-----|-------------------------------|---|
| 17# | 东 3#DSA 机房东侧设备间（室内）           | * |
| 18# | 东 3#DSA 机房（室内）                | * |
| 19# | 东 3#DSA 机房北侧过道（室内）            | * |
| 20# | 东 3#DSA 机房西侧控制室（室内）           | * |
| 21# | 东 3#DSA 机房楼上投影四层 ICU 病房 1（室内） | * |
| 22# | 东 3#DSA 机房楼上投影四层 ICU 病房 2（室内） | * |
| 23# | 东 3#DSA 机房楼上投影四层 ICU 病房 3（室内） | * |
| 24# | 南 1#DSA 机房东侧病房（室内）            | * |
| 25# | 南 1#DSA 机房东侧设备间（室内）           | * |
| 26# | 南 1#DSA 机房东侧库房（室内）            | * |
| 27# | 南 1#DSA 机房（室内）                | * |
| 28# | 南 1#DSA 机房北侧过道（室内）            | * |
| 29# | 南 1#DSA 机房西侧控制室（室内）           | * |
| 30# | 南 1#DSA 机房楼上投影七层病房 1（室内）      | * |
| 31# | 南 1#DSA 机房楼上投影七层病房 2（室内）      | * |
| 32# | 南 1#DSA 机房楼上投影七层病房 3（室内）      | * |
| 33# | 南 2#DSA 机房楼上投影七层病房 1（室内）      | * |
| 34# | 南 2#DSA 机房楼上投影七层病房 2（室内）      | * |
| 35# | 南 2#DSA 机房东侧控制室（室内）           | * |
| 36# | 南 2#DSA 机房（室内）                | * |
| 37# | 南 2#DSA 机房北侧过道（室内）            | * |
| 38# | 南 2#DSA 机房西侧设备间（室内）           | * |
| 39# | 南 2#DSA 机房西侧库房（室内）            | * |
| 40# | 南 1#DSA 机房楼下投影五层夹层（室内）        | * |
| 41# | 南 2#DSA 机房楼下投影五层夹层（室内）        | * |
| 42# | 六层北部家属候诊区（室内）                 | * |
| 43# | 内科综合楼北侧科研楼（室外）                | * |
| 44# | 内科综合楼东侧居民楼（室外）                | * |
| 45# | 内科综合楼南侧宿舍楼（室外）                | * |
| 46# | 内科综合楼东侧医院进口道路（室外）             | * |

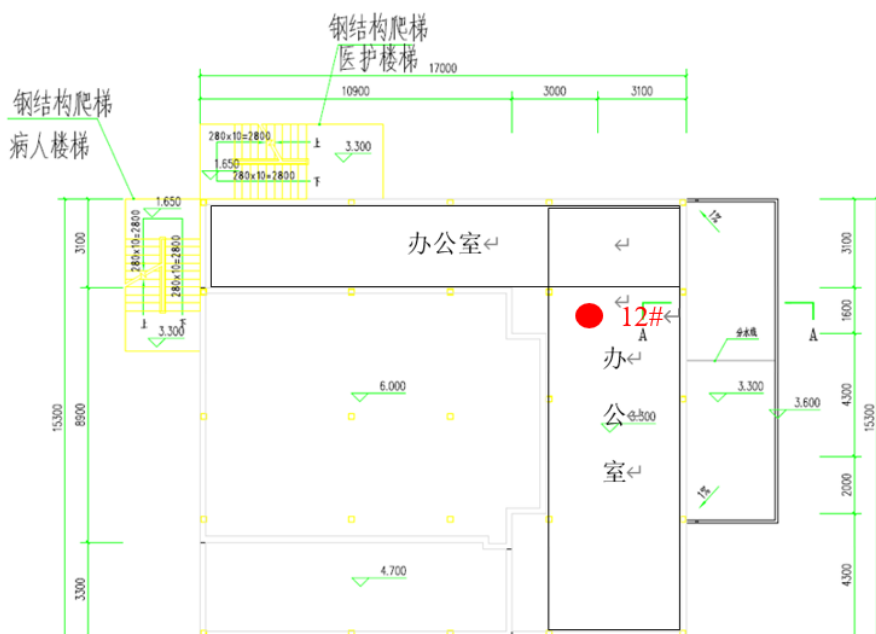
注：表中检测结果均未扣除天然辐射本底。

由表 8-2、表 8-3、表 8-4 可知本项目拟建场所周围环境本底监测值室内在 128~175nSv/h，即 128~176nGy/h(辐射权重因子取 1，即 1Sv 数值上等于 1Gy)，属于福建省正常天然本底辐射水平 70.9~351.7nGy/h 内（来源于《中国环境天然放射性水平》，1995 年）；本底监测值室外在 135~173nSv/h，即 135~173nGy/h(辐射权重因子取 1，即 1Sv 数值上等于 1Gy)，属于福建省室外辐射环境本底水平范围 25.9~399.1nGy/h 内（来源于《中国环境天然放射性水平》，1995 年）；1#直线加速器机

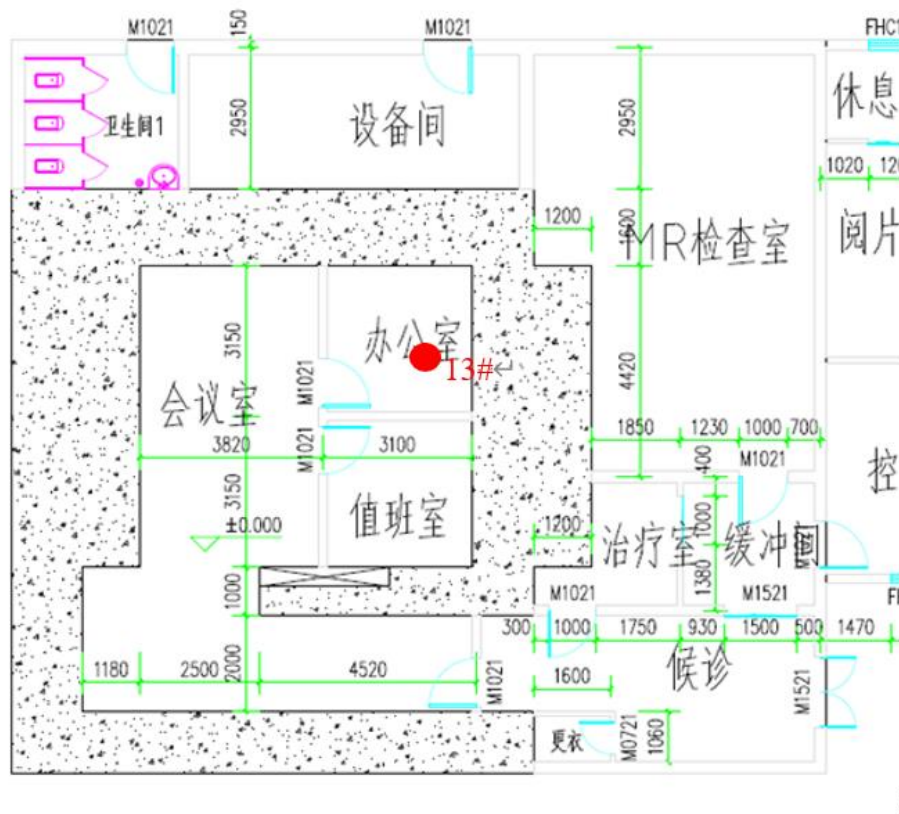
房周边环境现状中子剂量率均未检出；核医学科  $^{131}\text{I}$  病房区域  $\beta$  表面污染活度测量数值为  $0.26\sim 0.38\text{Bq/m}^2$ 。监测结果表明，本项目拟建场所处于正常环境本底水平。



8-1 原直加楼二层核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房层监测点位布置



8-2 原直加楼夹层（核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房层楼下）点位



8-3 原直加楼一层MR室（核医学科<sup>131</sup>I病房楼下）监测点位布置



图 8-4 原直加楼核医学科 <sup>131</sup>I 病房周边监测布点图

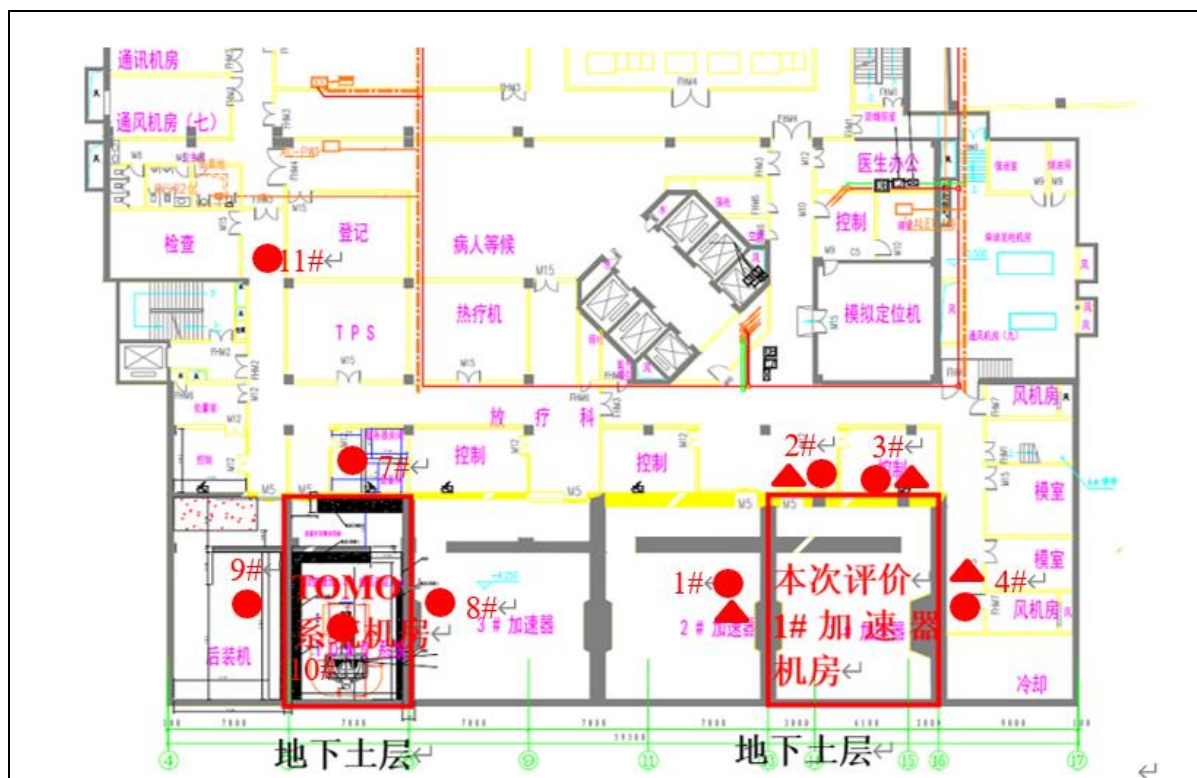


图 8-5 一号病房楼负一层放疗科环境本底监测布点图

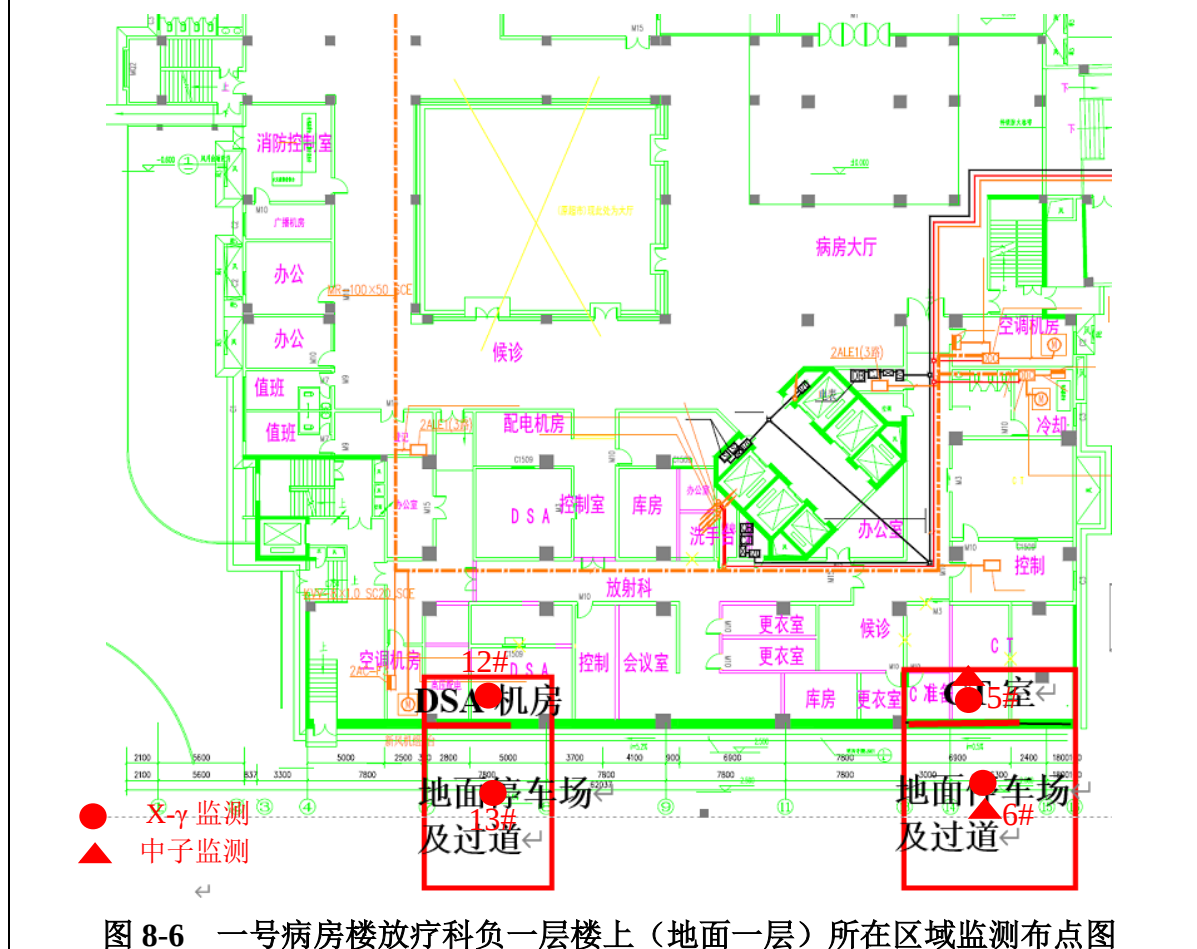


图 8-6 一号病房楼放疗科负一层楼上（地面一层）所在区域监测布点图

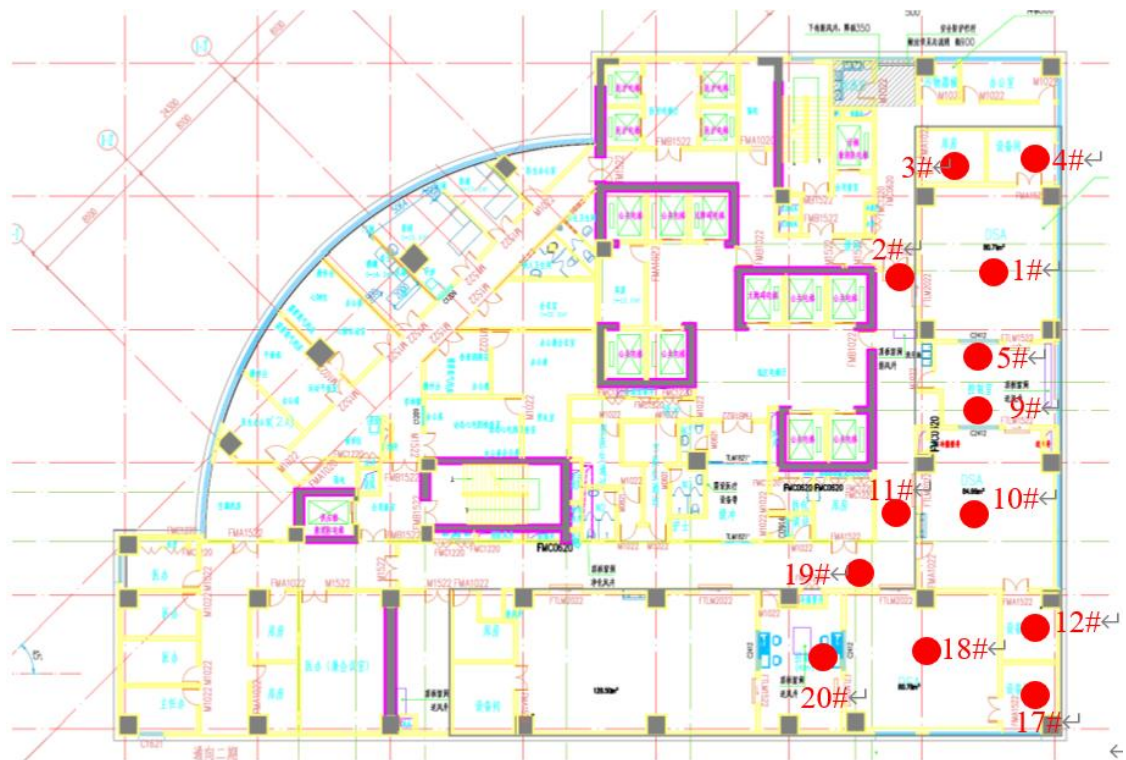


图8-7 内科综合楼介入中心三层东1#~东3#DSA机房监测布点图

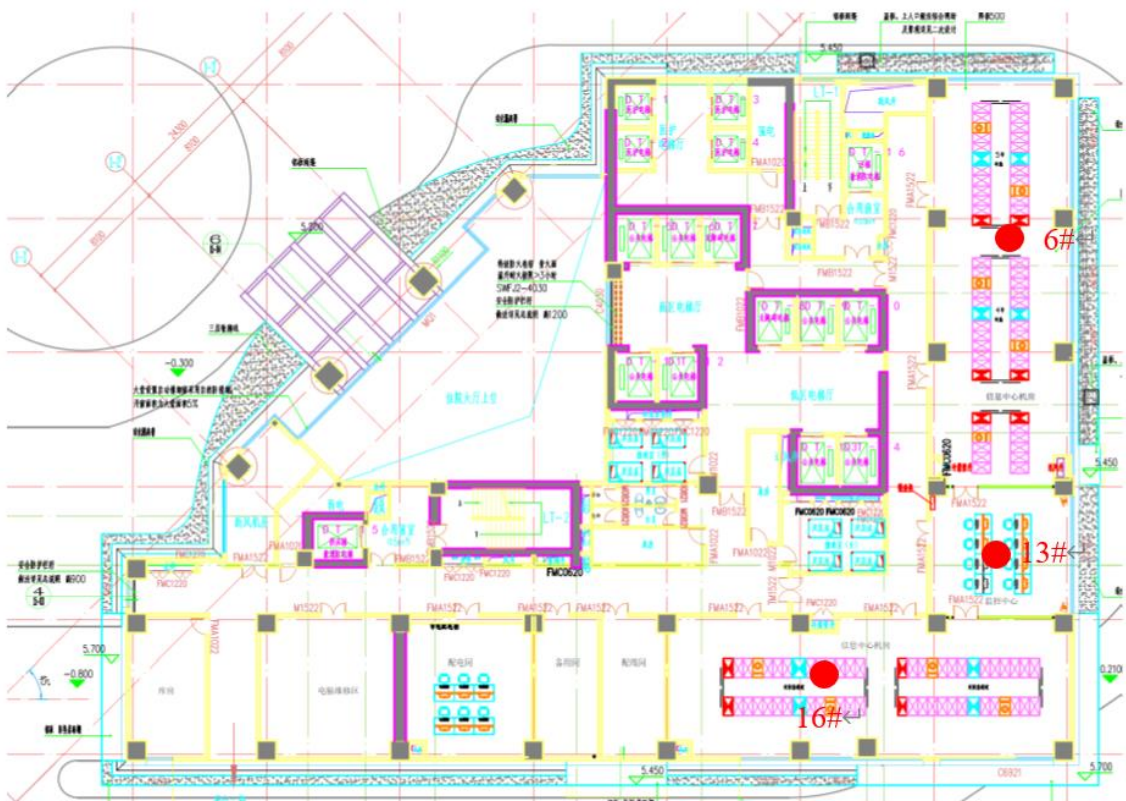


图8-8 内科综合楼介入中心三层楼下（投影）二层设备层监测布点图

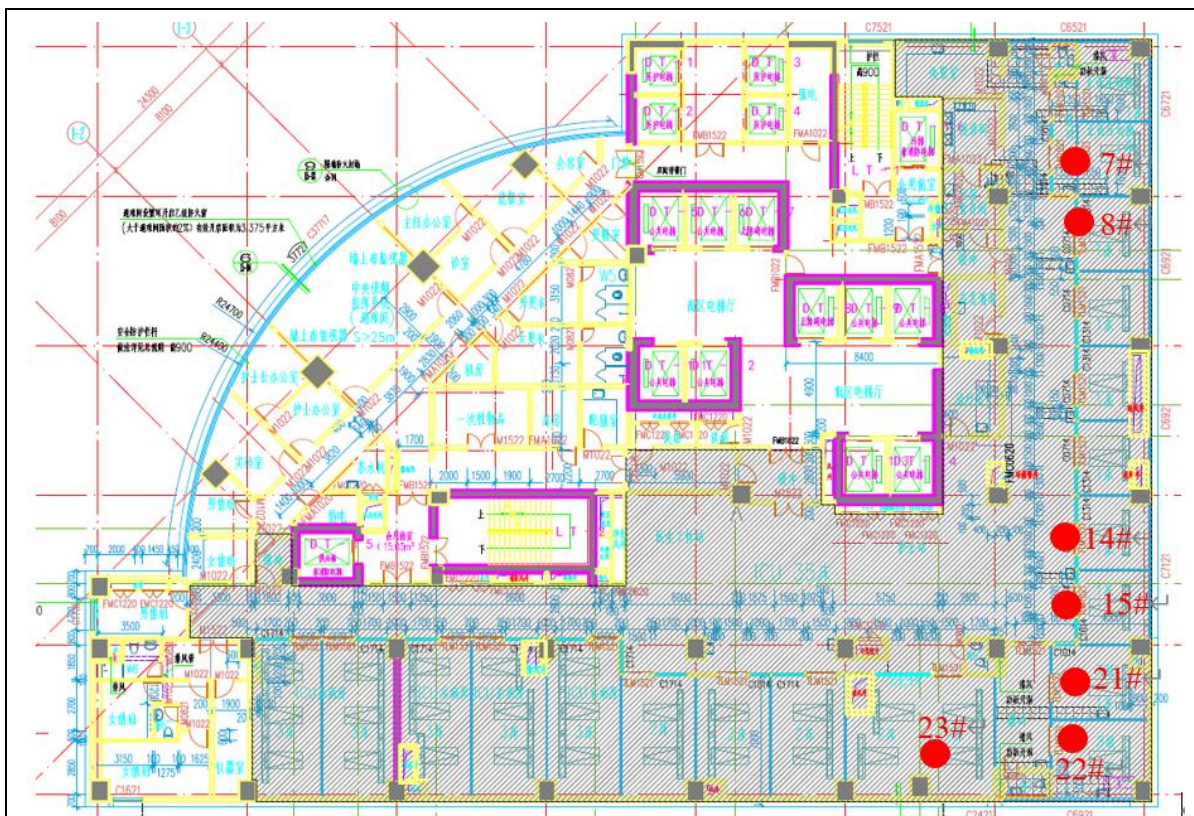


图8-9 内科综合楼介入中心三层楼上（投影）四层设备层监测布点图

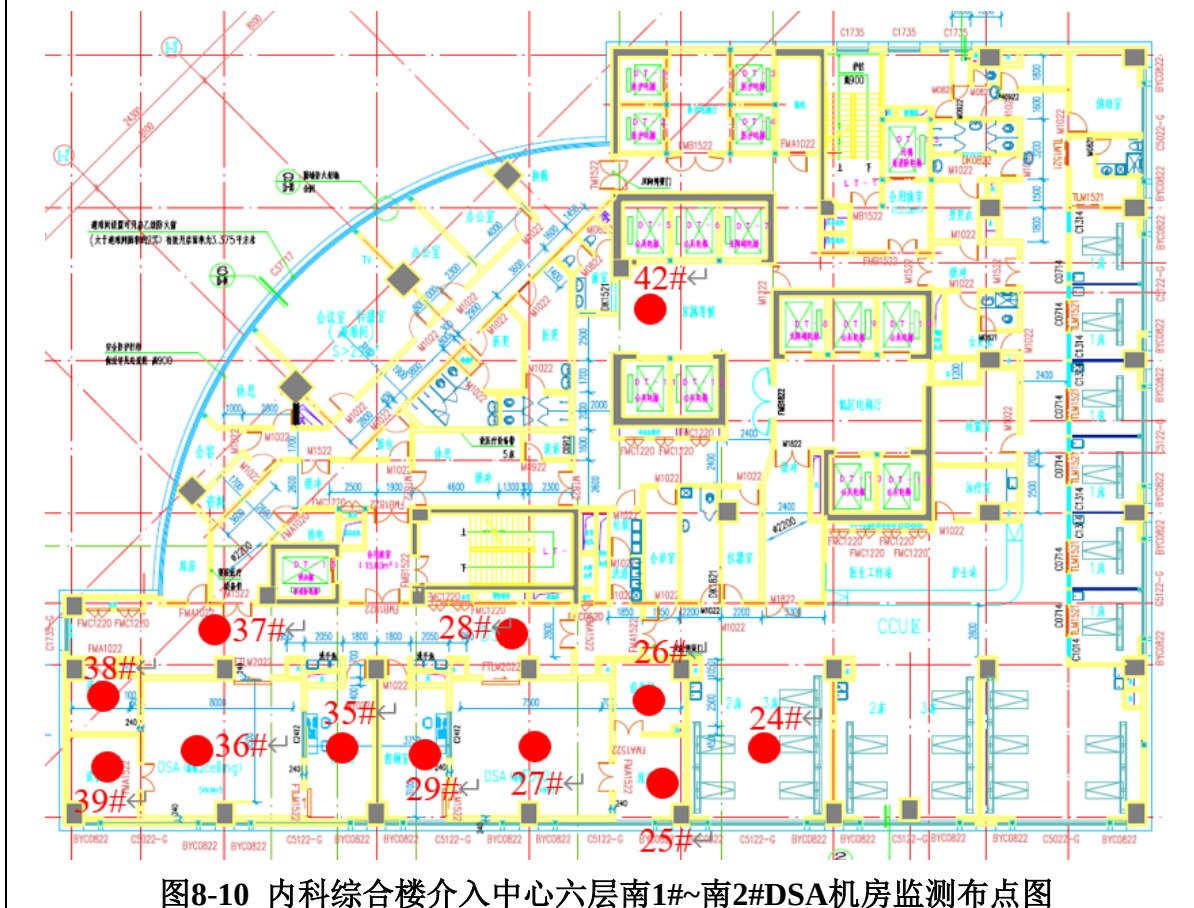


图8-10 内科综合楼介入中心六层南1#~南2#DSA机房监测布点图

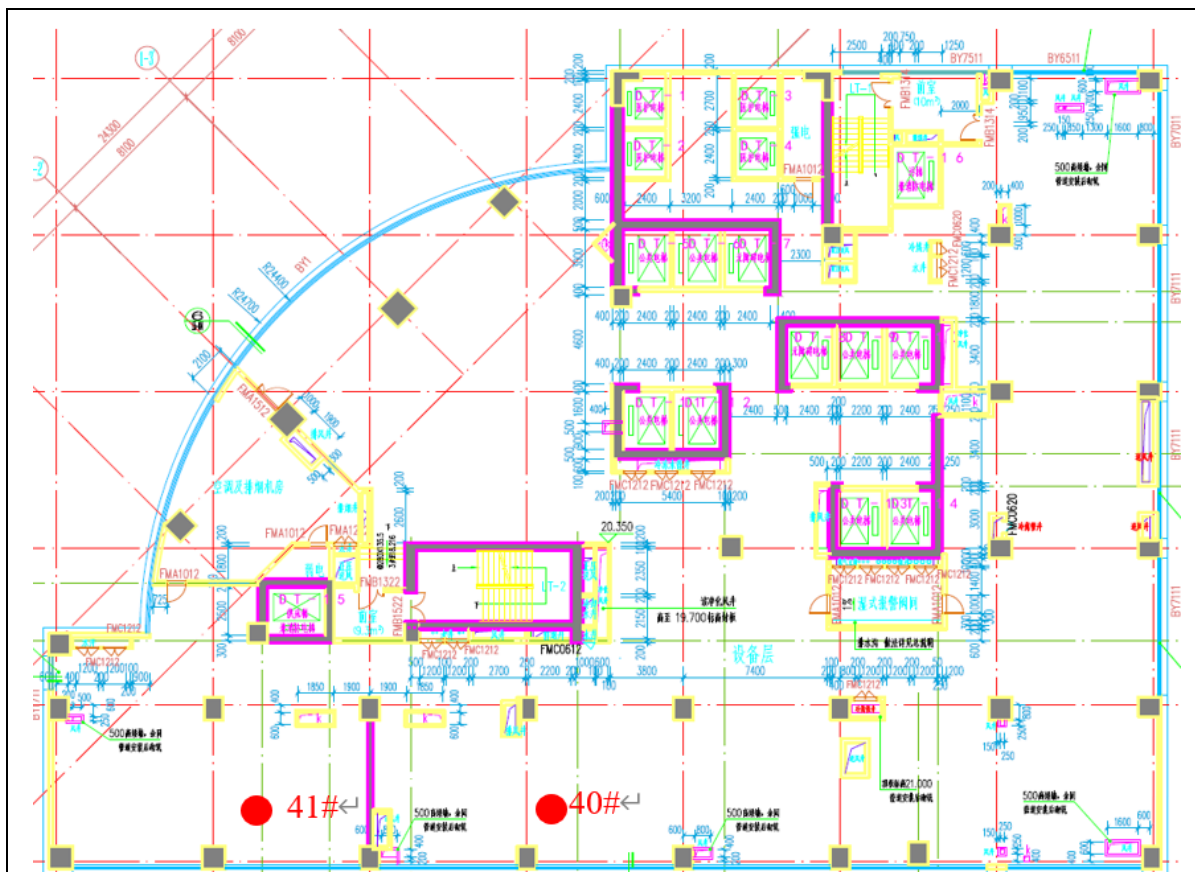


图8-11 内科综合楼介入中心六层楼下（投影）五层设备夹层监测布点图

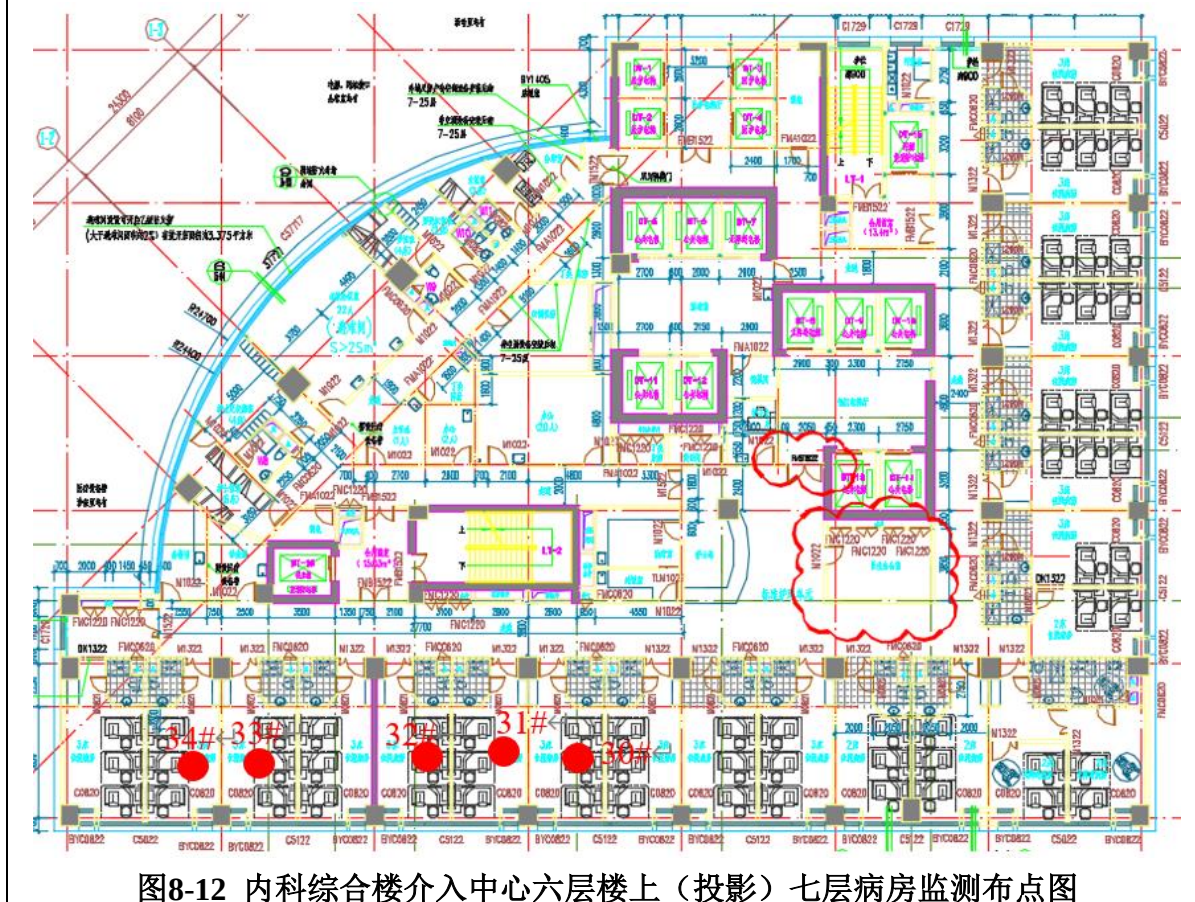


图8-12 内科综合楼介入中心六层楼上（投影）七层病房监测布点图

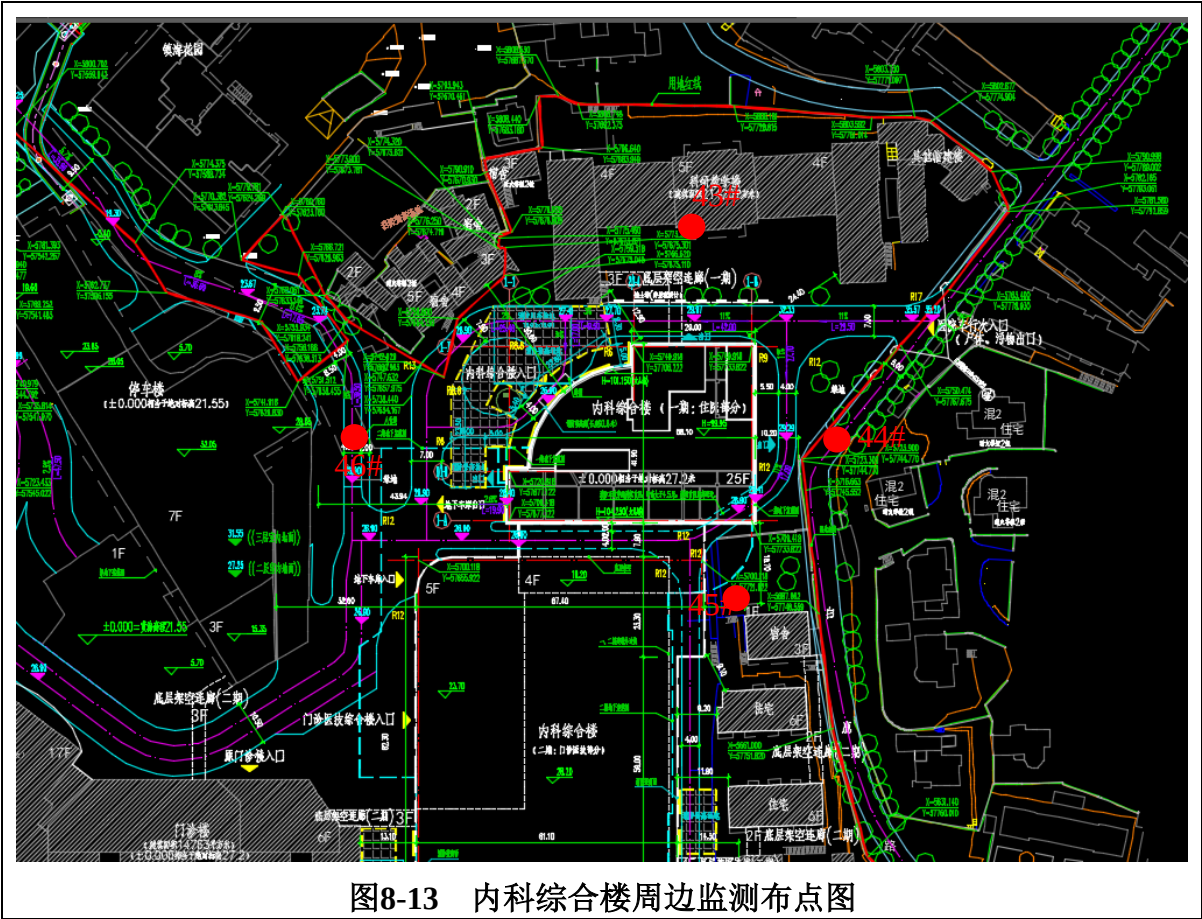


表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析:

1、核医学科  $^{131}\text{I}$  病房

1.1  $^{131}\text{I}$  治疗甲亢工作原理及工作流程

(1) 碘-131 治疗甲亢工作原理

甲状腺具有高度选择性摄取  $^{131}\text{I}$  的功能，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多。 $^{131}\text{I}$  在甲状腺内停留的时间较长，在甲亢患者甲状腺内的有效半衰期约 3~5 天。在患者服用  $^{131}\text{I}$  后，90%以上的  $^{131}\text{I}$  都会聚集到患者的甲状腺，其余的  $^{131}\text{I}$  随代谢排出体外。 $^{131}\text{I}$  衰变时主要发射  $\beta$ -粒子，且射程短，仅约 2~3mm，对周围正常组织一般无影响。因此， $^{131}\text{I}$  治疗可使部分甲状腺组织受到  $\beta$  射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

(2) 碘-131 治疗甲亢工作流程

治疗流程：患者的准备：患者停用相关药物和含碘食物（一般为 2~6 周），空腹口服  $\text{Na}^{131}\text{I}$  (2~10uCi)后 2、4、24h，测定甲状腺部位及速率，计算甲状腺摄取  $^{131}\text{I}$  率，绘制  $^{131}\text{I}$  率曲线，并注明各时间点的摄  $^{131}\text{I}$  率。

医生首先对甲亢患者进行检查，根据病情确定服药量，与患者预约，根据患者数量订购  $^{131}\text{I}$  药物，口服前进行分装，指导病人口服。病人将在分装室服药，待  $^{131}\text{I}$  治疗操作人员通过自动分装给药装置将病人所需剂量分装、给药完毕后（每周安排两批 4 人，每人最多 20mCi 的量），患者即可直接服用，此过程采用一次性塑料杯盛装药物。甲亢治疗患者服药后可住院观察或离开（ $^{131}\text{I}$  剂量低于 400MBq 可离开），甲亢病人通过患者专用通道离开工作场所，甲亢治疗流程图见 9-1：

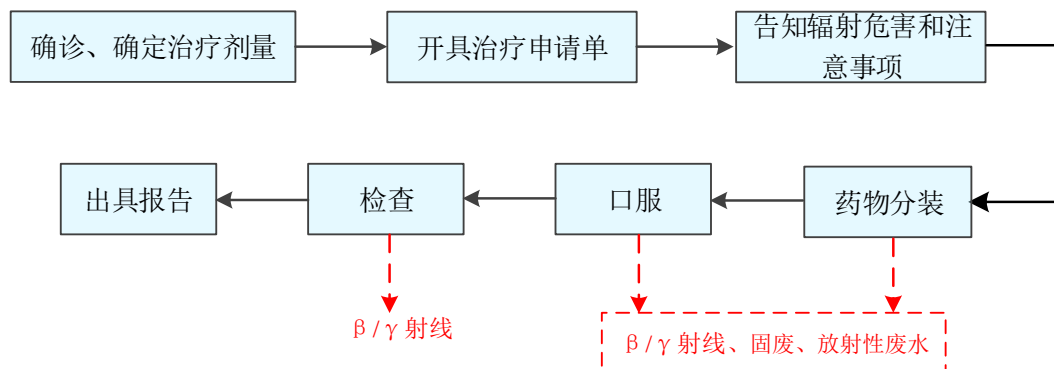


图9-1 碘-131治疗甲亢一般工作流程及产污环节图

## 1.2 碘-131 治疗甲癌工作原理及诊治流程

### (1) 碘-131 治疗甲癌工作原理

碘-131 是一种带有放射性的碘，摄入体内主要聚集在有甲状腺和其他摄取碘的组织里。由于分化型甲状腺癌细胞分化较好，因此具备部分摄取碘的能力，但通常比甲状腺组织弱很多，当正常甲状腺组织被去除后，分化好的甲状腺癌组织能够摄取一定量的  $^{131}\text{I}$ ，利用  $^{131}\text{I}$  衰变发出的  $\beta$  射线破坏肿瘤细胞，达到治疗的目的。因此，也被称为“体内放疗”。

### (2) 碘-131 治疗甲癌工作流程

治疗流程：病人在甲功能测定室内测定结束后，若患者需要进行口服  $^{131}\text{I}$  进行治疗，则病人将在服药室服药（甲癌患者与甲亢患者错时进行检查、服药），待  $^{131}\text{I}$  治疗操作人员通过自动分装给药装置将病人所需剂量分装、给药完毕后（每周安排两批 8 人，每人最多 200mCi 的量），患者即可直接服用，此过程采用一次性塑料杯盛装药物；全过程进行严格监控，由于储源室铅罐内药物几乎不对周围外环境产生附加的照射剂量，因此分装室内操作人员基本不会受到药物的辐射影响。甲癌患者直接进入  $^{131}\text{I}$  病房隔离住院 3-7 天后，直到体内  $^{131}\text{I}$  活度降低到 400MBq 以下，方可出院。

甲癌治疗流程图见 9-2：

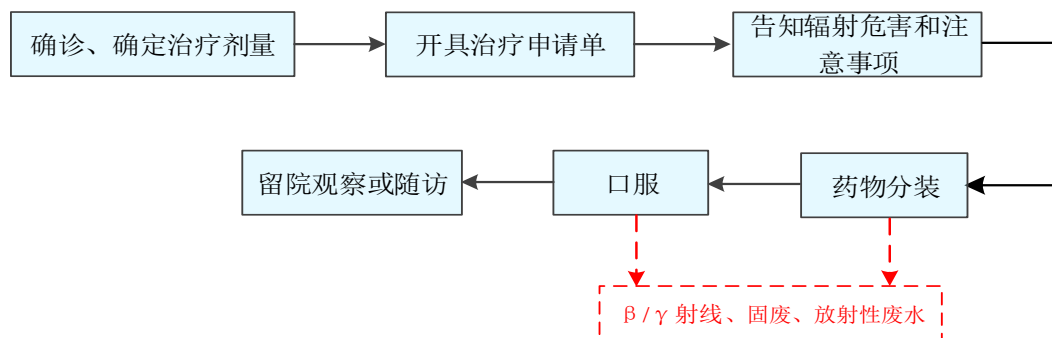


图 9-2 碘-131 治疗甲癌工作流程及产污环节图

## 2、医用直线加速器

本项目已建补办手续，直线加速器型号为 Varian Truebeam，参数为 X 线能量  $\leq 15\text{MV}$ ，电子线能量  $\leq 20\text{MeV}$  的直线加速器。本项目医用直线加速器技术参数详见表 9-1。

**表 9-1 本项目现有补办手续 1#电子直线加速器主要技术参数**

| 项目               | 参数                                     |
|------------------|----------------------------------------|
| 型号               | Varian Truebeam                        |
| 数量               | 1 台                                    |
| 射线类型             | X 射线、电子线                               |
| 射线类别             | II类射线装置                                |
| X 射线能量           | 6MV、8MV、10MV、15MV                      |
| 电子线能量            | 6、9、12、15、18、20MeV                     |
| 正常治疗距离           | 1000mm                                 |
| 治疗角度             | 0°~360°                                |
| X 射线最大剂量率（1m 处）  | 360Gy/h<br>10MV 调强模式为 2400cGy/min（极少例） |
| 最大照射野（SSD=100cm） | 40×40cm <sup>2</sup>                   |
| 每天治疗人数           | 每天：50 人，出束时间平均 4min                    |
| 每周工作天数           | 5 天                                    |
| 每年工作周数           | 50 周                                   |

## 2.1 设备组成与工作原理

医用直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。主要由机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机联锁保护电路等组成。从电子枪发出的同步电子束注入已建立高梯度的驻波加速场中加速，在加速管末端，电子束加速到所需能量后经过漂移管进入 270 度偏转磁场。在偏转磁场中，电子束偏转 270 度后由水平入射变为垂直出射，并同时完成聚集和消除能谱色差形成直径 2mm 左右的平行束流，经过引出窗到达移动靶件处。移动靶件具有不同工位，可根据治疗需要使电子束轰击合金靶产生 X 辐射或直接穿透初级散射箔产生电子辐射。医用直线加速器示意图及内部结构图见图 9-3 和图 9-4。



图 9-3 本次医用直线加速器

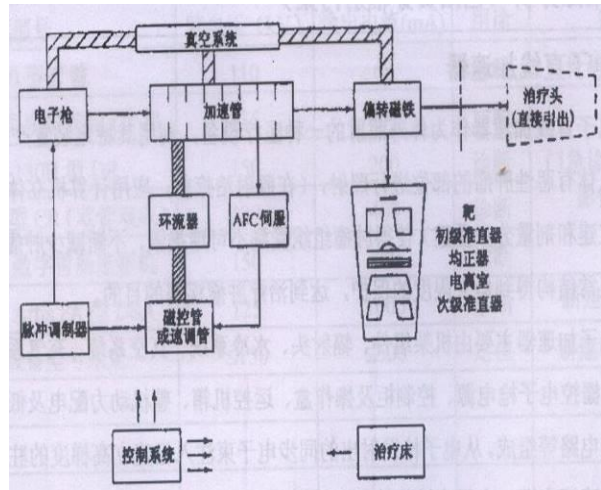


图 9-4 医用直线加速器结构图

## 2.2 直线加速器工作流程

**操作流程：**医生根据患者所患肿瘤的种类和部位确定治疗剂量和照射时间，然后进行 X 射线或 MRI 模拟定位。接着病人在候诊室候诊，然后到医用电子直线加速器机房进行治疗，治疗完毕后离开治疗机房。本项目医用电子直线加速器就是用 X 射线对患者进行治疗，同时也可利用电子束，用于浅表皮肤肿瘤治疗，如皮肤癌、乳腺癌胸壁型、头颈部肿瘤等用电子束治疗，射线出射方向朝北。

**产污环节：**医院使用的直线加速器能量为 15MV，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.12001）和《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011），X 射线能量大于 10MV 的加速器，需考虑中子辐射及中子俘获  $\gamma$  射线。因此，在开机期间，X 射线、中子、感生放射性、臭氧和氮氧化物为加速器污染环境的因子。

医用电子直线加速器肿瘤治疗的基本流程及产污环节见下图 9-5。

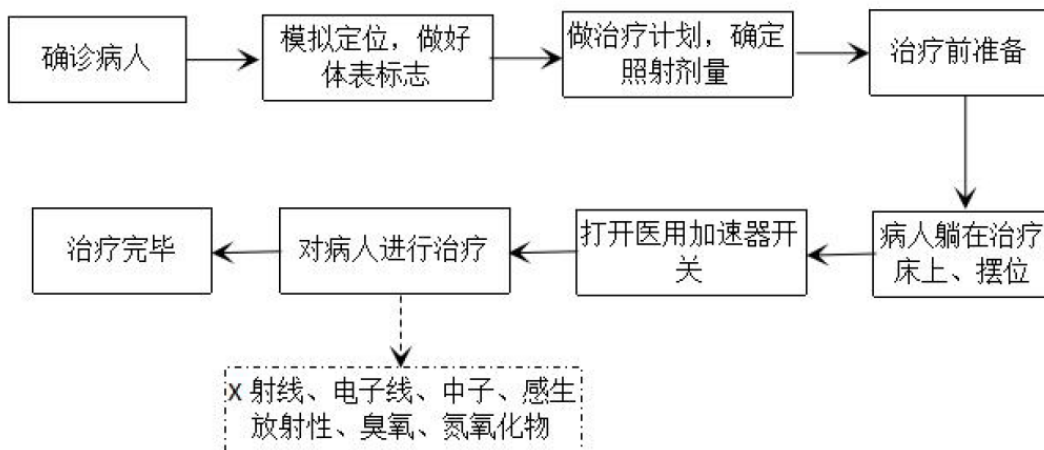


图 9-5 直线加速器工作流程及产污位置示意图

### 3、TOMO 系统

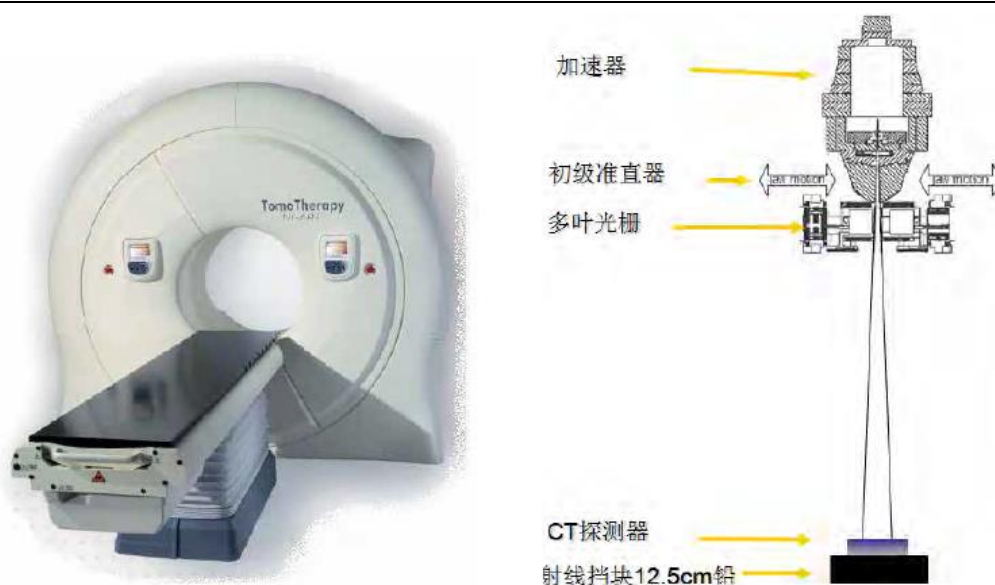
#### 3.1 设备组成

TOMO 系统是一个将治疗计划、剂量计算、兆伏级 CT 扫描、定位和螺旋照射治疗功能集为一体的调强放疗系统。核心部件是 6MV X 射线加速器，属于一种窄束调强放射治疗装置。治疗束在等中心处的照射野：长 4mm 至 5cm，宽 40cm。在加速器机架旋转、多叶光栅的窄束适形调强“断层”照射的同时，治疗床推移，使待照射区通过窄治疗束，待照射区以断层截面扫描照射的方式获得治疗计划的准确、均匀的治疗剂量，整个工作过程类似于螺旋 CT。

表 9-2 TOMO 系统主要技术参数

| 项目             | 参数                   |
|----------------|----------------------|
| 型号             | Varian Truebeam      |
| 数量             | 1 台                  |
| 射线类型           | X 射线                 |
| 射线类别           | II类射线装置              |
| X 射线能量         | 6MV，单能               |
| 成像 X 射线能量      | 3.5MV                |
| 射线源到中心轴距离（SAD） | 85cm                 |
| 治疗剂量率（常规）      | 8.5Gy/min（即 510Gy/h） |
| 成像剂量率（常规）      | 0.45Gy/min（即 27Gy/h） |
| 等中心相对水平地面高度    | 1.13m                |
| 系统等中心处最大照射野尺寸  | 5cm×40cm             |
| 系统自带主束挡铅厚度     | 12.5cm               |
| 每天治疗人数         | 每天：50 人，出束时间平均 4min  |
| 每周工作天数         | 5 天                  |
| 每年工作周数         | 50 周                 |

螺旋断层放射治疗系统一般包括计划工作站、优化服务器、数据库服务器、旋转机架组件、患者治疗床和照射执行系统等组成。其中照射执行系统由直线加速器、次级准直器、多叶光栅、探测器、主射野挡铅（13cm 铅）等组成。结构示意图见图 9-6。



TOMO 系统外观图

加速器出束示意图

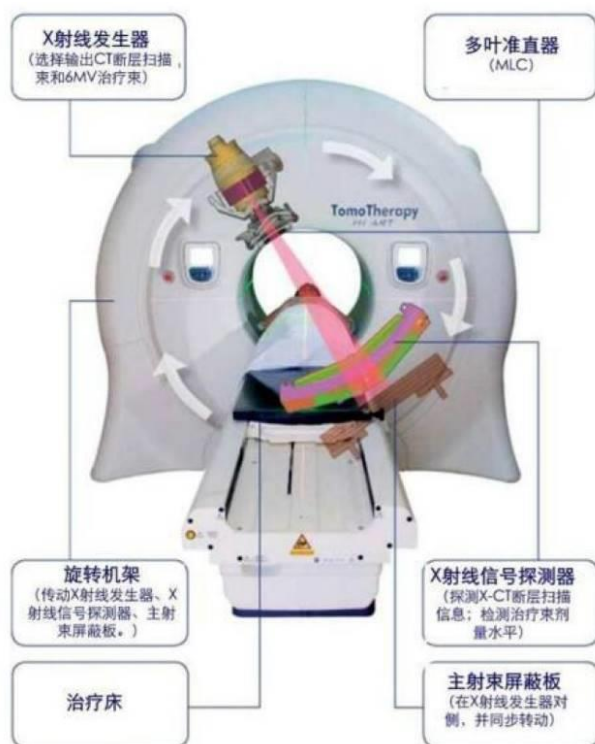


图 9-6 螺旋断层放射治疗系统结构示意图

### 3.2 工作原理

螺旋断层放射治疗系统是专门设计进行调强治疗的设备，是将6MV 的直线加速器安装在孔径为85cm 的CT 滑环架上，治疗时机头随机架绕患者进行360°旋转形成扇形束照射，同时治疗床缓慢跟进，实施全身调强治疗，连续螺旋断层照射消除了层与层相连处可能产生的冷、热点问题。螺旋断层放射治疗可以产生几万个子野，计划设

计时就有更多的调制能力，从而取得了更高的肿瘤剂量适型度，降低正常组织并发症风险。

螺旋断层放射治疗系统采用的是同源双束结构，即两种工作状态，成像状态和治疗状态。成像状态时能量为3.5MV的X射线，治疗状态能量为6MV的X射线。成像状态即直线加速器发射出3.5MV的X射线对患者进行MVCT 扫描，形成影像，为验证患者摆位精度、剂量评估等提供基础影像资料，从而实现图像引导下的调强治疗。治疗状态即直线加速器发射出6MV的X射线对患者病灶进行出束治疗。

产污环节：TOMO系统在CT 模式扫描、出束治疗时产生X 射线，另有少量臭氧和微量氮氧化物产生。

### 3.3 工作流程

①使用CT 或自身成像系统进行扫描，获取三维CT 影像序列，根据CT 影像对靶区和危机器官进行勾画，制定治疗计划。

②患者摆位，进行MVCT 扫描以验证患者摆位精度。

③精确确定了患者位置和体内解剖位置后，根据治疗计划实施照射治疗。

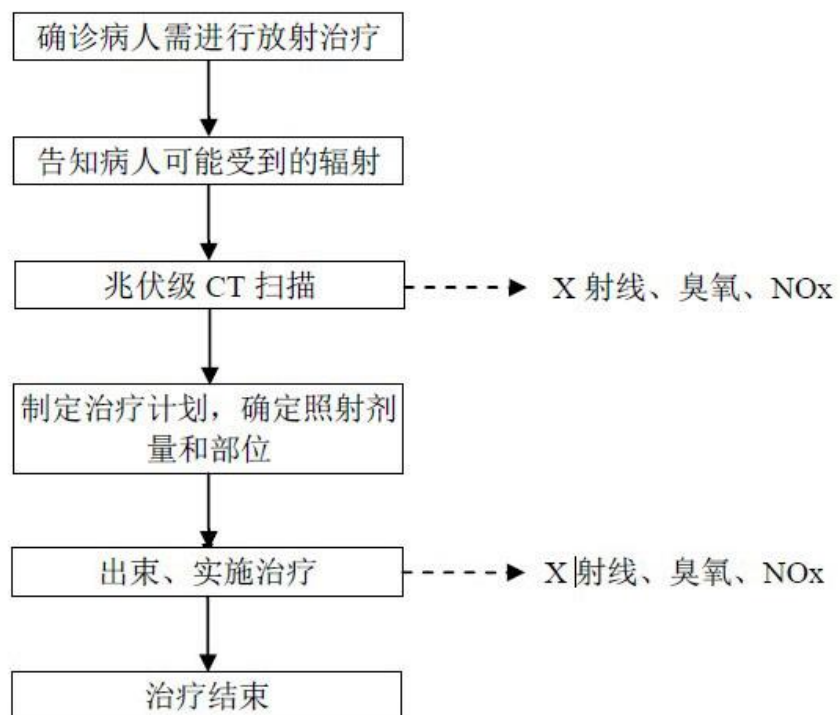


图9-7 螺旋断层放射治疗系统工作流程及产污环节示意图

## 4、DSA

### 4.1 工作原理

DSA 为采用 X 射线进行摄影或诊断的技术设备。由产生 X 射线的 X 射线管、供

给 X 射线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 射线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置等设备组成。X 射线管由阴极和阳极组成，阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝，阳极靶则根据应用的需要，由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难熔金属（如钨、铂、金、钽等）制成，典型 X 射线管示意图见图 9-8。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速到很高的速度，这些高速电子到达靶面被靶突然阻挡从而产生 X 射线。

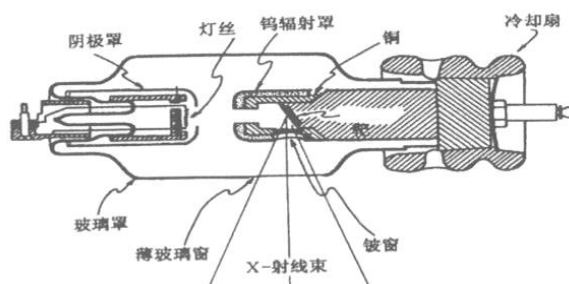


图 9-8 典型 X 射线管示意图

数字血管造影（DSA）是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术多种科技手段于一体的系统。DSA 主要采用时间减影法，即将造影剂未达到欲检部位前摄取的蒙片与造影剂注入后摄取的造影片在计算机中进行数字相减处理，仅显示有造影剂充盈的结构，具有高精密度和灵敏度。

## 4.2 操作流程

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺动静脉，送入导丝及扩张管与外鞘，退出导丝及扩张管将外鞘保留于动静脉内，经鞘插入导管，推送导管在 X 线透视下将导管送达靶动脉、靶静脉，顺序取血测定相关指标或者进行灌注、栓塞、球囊扩张、支架置入等血管介入治疗，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。同时也可在 X 线透视监视下，进行经食管、胃肠道、气管、泌尿道、生殖道或者经皮穿刺腔道、器官、病变组织进行非血管介入治疗。本项目 DSA 工作流程及产污环节图见图 9-9。

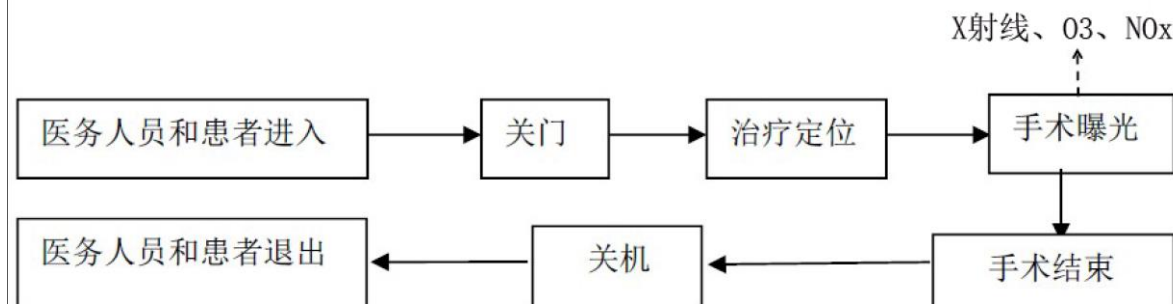


图 9-9 DSA 工作流程及产污位置示意图

## 污染源项描述：

### 1、建设阶段污染源项

本项目辐射工作场所在建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性废气，本项目机房部分为新建建筑，机房所在场所框架现已建成，本项目机房建设涉及对部分已有框架的改建，产生的环境影响主要是施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等环境影响。本项目工程量较小，没有大型机械设备进入施工场地，施工场地安排有序，施工人员较少，有抑尘措施，施工期短，合理安排施工秩序，施工时间，本项目对周围敏感点的影响在可接受的范围内，随着施工期的结束，这些影响也随即结束。

#### （1）废气

本项目的环境空气影响主要是扬尘，由散装水泥和建筑材料运输等施工活动产生，本项目的工程量小，产生的扬尘量叫少。

#### （2）噪声

本项目产生噪声的主要是施工机械、运输、混凝土浇筑等。噪声值一般在 65-80dB（A）之间，施工场地的噪声对周围环境有一定的影响，但随着施工的结束而结束。

#### （3）废水

施工期污水主要来自两个方面：一是施工废水，二是施工人员的生活污水。

#### （4）固体废弃物

本项目主要依托厦门大学附属第一医院主体建筑施工，工程量小，产生的建筑垃圾较少。

### 2、运行阶段的污染源项

#### 2.1 正常工况

##### 2.1.1 核医学科

### 2.1.2.1 I-131 甲亢、甲癌治疗

$^{131}\text{I}$  发生  $\beta$  衰变时伴随发射 0.364MeV 的  $\gamma$  射线，物理半衰期 8 天。主要的辐射源项为  $\gamma$  射线、 $\beta$  表面污染、放射性废液、废水和固体废弃物、病人排泄物以及携带的  $^{131}\text{I}$  对他人的影响。

① $\beta$  射线和少量  $\gamma$  射线：核素在衰变过程中释放  $\beta$  射线和少量  $\gamma$  射线， $\beta$  射线穿透力很弱，在组织内辐射距离很短，不会对环境产生明显影响。

②表面污染：患者服药后，一次性杯子表面残留的  $^{131}\text{I}$  撒漏，对地面造成放射性表面污染。

③放射性废气： $^{131}\text{I}$  是挥发性核素，但本项目使用的  $^{131}\text{I}$  以碘化钠液体形式存在，为非挥发性核素，不存在升华现象。暂存期间密闭在铅罐内，使用时采用碘自动分装仪分装后，直接给患者口服，因此产生的放射性气溶胶很少。

④放射性废水：使用过程不产生放射性废液，但会产生一定量的放射性废水，主要来源于服药患者的排泄物以及冲洗用水等。

⑤放射性固废：治疗时（含甲亢和甲癌），放射性固体废物主要来源于患者使用的一次性纸杯、擦拭铅罐及污染地面的物品等。另外，甲癌患者需要住院治疗，住院患者会产生一定的放射性废物。特殊情况下残留放射性核素放置于通风橱铅罐内，残留核素及铅罐由供应商厂家回收。

综上， $^{131}\text{I}$  核素治疗项目的污染因子主要为  $\gamma$  射线、表面污染、放射性废水、放射性气溶胶以及放射性固体废物。

### 2.1.2 放疗科（医用直线加速器、TOMO 系统）

#### 1) 放射性污染源分析

由上述产污环节可知，直线加速器、TOMO系统运行期间高能电子束与靶物质相互作用时将产生高能X射线，其中直线加速器X射线能量最高为15MV，TOMO系统X射线能量最高为6MV。X射线随机器的开、关而产生和消失。

①电子束：加速器用电子束治疗时，因电子束的屏蔽要求远低于高能 X 线，故在机房屏蔽墙厚度计算时不用考虑，但由于电子束的强度高，若发生人员意外照射，会造成伤害。

当电子轰击靶时，与靶物质发生作用产生韧致辐射。韧致辐射平均能量仅为电子线最高能量的三分之一，远小于 X 射线能量，且电子线使用概率较小（约 10%），

故在机房屏蔽墙厚度计算时不用考虑。用电子束治疗时，要绝对禁止非治疗人员误入治疗室，以防被误照射造成事故。

②X 射线：当医用直线加速器加速的电子与物质相互作用时，会产生轫致辐射（X 射线）。由加速器工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶阻止而产生高能 X 射线，然后，以此 X 射线对患者的肿瘤病灶进行治疗。因为 X 射线具有较大的贯穿能力，如果没有采取足够防护措施对其进行屏蔽，一旦泄入环境，势必对工作人员和公众造成不必要的辐射照射，危及人们健康与安全。但这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。可见，在开机的一段时间里，X 射线成为加速器污染环境的主要污染源。

③中子和感生放射性：在医用直线加速器上，中子是由各种核反应产生的，电子与靶材料相互作用产生轫致辐射，轫致辐射又与靶材料及其他材料相互作用得到中子；加速器的结构材料、冷却水及加速器治疗室内的空气受中子照射会产生感生放射性。

绝大多数天然核素的（X，n）反应阈能在 10MV 以上，对于 X 射线能量大于 10MV 的加速器，会产生中子，中子产生方式主要按  $^{14}\text{N}(\text{X}, \text{n})^{13}\text{N}$  反应式进行，轫致辐射在空气中诱发的感生放射性核素是  $^{13}\text{N}$  和  $^{15}\text{O}$ 。

该医院医用直线加速器的最大 X 射线能量和电子束能量分别为 15MV 和 20MeV，在辐射屏蔽时，要考虑中子的影响。感生放射性在加速器停机后仍然存在，加速器停机后，进入加速器机房时，要考虑感生放射性的影响。

#### ④感生放射性固体废物

本项目运行过程中产生的放射性固体废物为直线加速器在使用一定年限（一般约 4-5 年）或退役时产生的加速器废靶、辅助过滤装置。

#### 2) 非放射性污染源

医用直线加速器机房内的空气受到 X 线及电子线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物，若在机房内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害。由类似工程可知，只要确保每小时排风不小于 4 次，产生的臭氧和氮氧化物对机房内外环境影响较小。

本项目固废主要为工作人员产生的少量生活垃圾，生活垃圾分类收集后，定期交由环卫部门处置。

### 2.1.3 DSA

由 DSA 的工作原理可知，X 射线是随机器的开关而产生和消失。因此，在非诊疗状态下不产生 X 射线，只有在开机处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线为污染环境的主要因子。

除此之外，X 射线与空气作用产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，但由于该项目血管造影仪工作时的管电压、管电流较小，因此产生的臭氧和氮氧化物也较少。

## 2.2 事故工况

### 2.2.1 核医学科

1) 工作人员违反操作规程或操作不慎打翻放射性药物，产生较多的放射性废物或导致放射性污染；

2) 操作台面或仪器设备受到放射性沾污；

3) 操作间内通风橱通风设备失效，导致空气中挥发的微量放射性同位素聚集，工作人员吸入后，造成内照射；

4) 放射性核素被盗、丢失等，并可能通过食物链转移或伤口造成人体内照射危害。

事故工况下的污染因子与正常工况下基本相同，主要为：表面污染、 $\beta$  射线、 $\gamma$  射线、X 射线、放射性废液、废水、废气、固体废弃物。

### 2.2.2 医用电子直线加速器

本项目辐射工作场所可能发生的辐射事故为：

①工作人员或病人家属在防护门关闭前未撤离治疗室，加速器运行可能产生误照射。

②安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器治疗室，造成额外的照射。

③工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，对工作人员造成辐射伤害。

④加速器控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到额外照射。

⑤加速器维修期间，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

通过对可能发生的辐射事故分析，在事故工况下 X 射线、中子及电子束是本项目主要污染因子。

从理论上讲，发生上述这种事故的几率极小，为防止事故的发生，在购置设备时要注意安全联锁设施的可靠性与稳定性的设计水平，使用过程中要经常定期检查和维

护联锁系统及安全保障系统，仪器操作人员应严格按照操作规程进行运行操作，每次开机前必须要确认机房内无人员时，才能进行开机运行。

### **2.2.3 DSA**

1) 由于管理不善，设备运行时，无关人员若误留或误入机房，因为机房内为高辐射区，人员会受到不必要照射。

2) 当控制设备出现故障或工作人员操作失误，装置出束过大，病人可能接受额外照射。

3) 设备进行维修时，若发生意外出束，可导致维修人员受到不必要的照射。

事故工况下的污染因子和污染途径与正常工况下基本相同，主要为 X 射线对辐射工作人员及周围公众造成外照射。

**表 10 辐射安全与防护**

## 项目安全设施

本项目中非密封放射性物质  $^{131}\text{I}$  的使用位于位于医院原直加楼二层的核医学科，加速器、TOMO 位于一号病房楼负一层放疗科，DSA 位于位于内科综合大楼三楼和六楼。

### 1. 核医学科

#### 1.1 工作场所布局 and 分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《医学与生物学实验室使用非密封放射性物质的放射卫生防护基本要求》（WS 457-2014），将需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，将不需要专门的防护手段和措施，但需要经常对照射条件进行监督和评价的区域划分为监督区。本项目核医学科工作场所分区划分情况见图 10-1。

控制区包括患者通道、清洗间、开水间、分装室、储源室、处置室、护理站、抢救室、放射病房 1~3 及其卫生间；监督区包括会议室、办公室、医护人员通道、值班室、医护人员卫生间等。

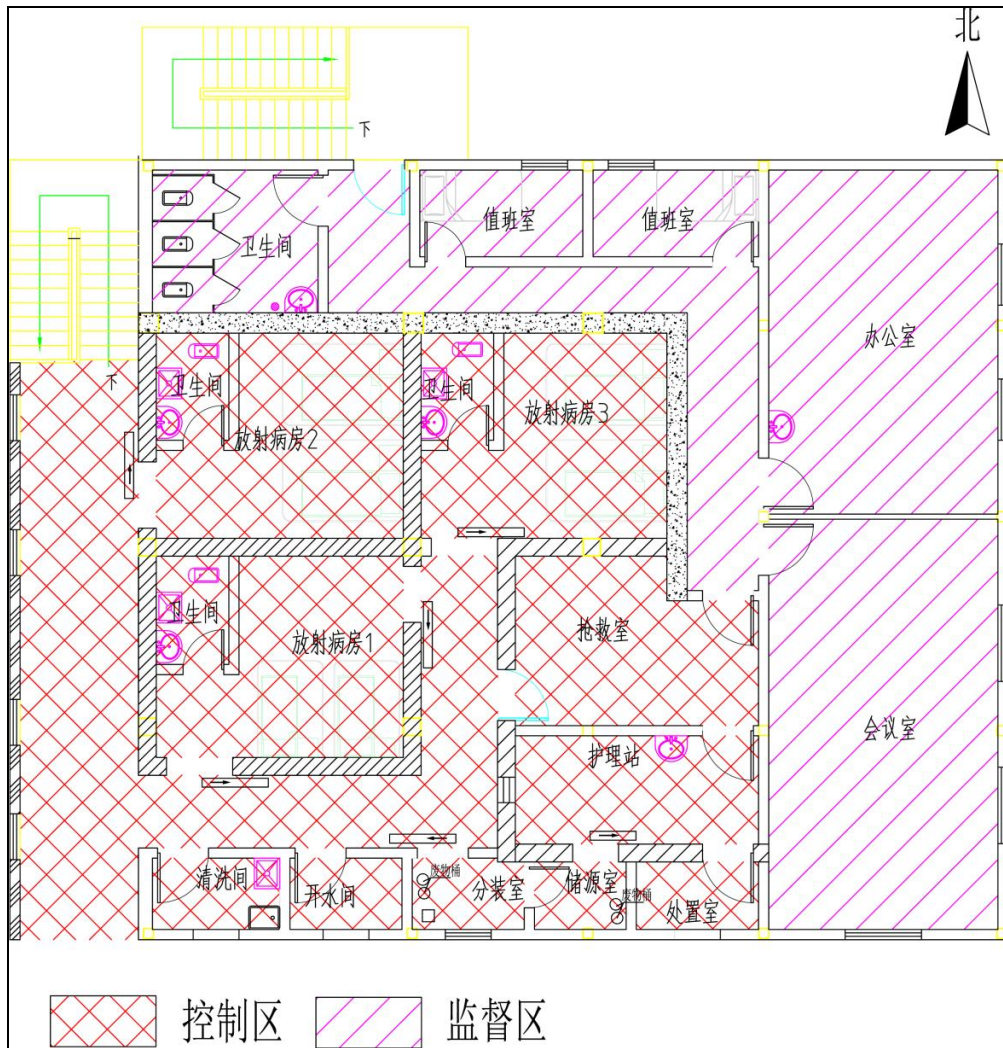


图 10-1 核医学科  $^{131}\text{I}$  治疗工作场所分区图

## 1.2 人流物流的路线走向

### 1) 人流路线

本项目辐射工作场所的医护人员、患者和放射性药品设计了独立分开的专用通道，这样的设计可避免交叉污染，具体路线详见图 10-2，具体专用通道情况如下。

#### (1) 医护人员走向

医护人员由西北部楼梯进入医护通道，经过抢救室、护理站进入处置室、储源室和分装室，远程操控分装室内自动给药机，护理站设有应急淋浴冲洗等配套设施。工作结束后，进行污染监测和清洗后返回非放射性区域。

#### (2) 患者走向

$^{131}\text{I}$  放射病房区域：患者通过西南侧门进入核素治疗区域，甲亢患者则在分装室内由工作人员在处置室远程操控自动分装柜，给出指定剂量的放射性药物，指导患者服用药物，若服

用剂量小于 400MBq，则通过西北侧楼梯离开；若服用剂量大于 400MBq，则入住放射病房 2 至符合出院条件，通过西北侧楼梯离开。若是甲癌患者则到  $^{131}\text{I}$  分装室由工作人员在处置室远程操控自动分装柜，给出指定剂量药物，指导患者服用药物，安排患者到放射病房 1 或放射病房 3 内住院至符合出院条件，通过西北侧楼梯离开。

## 2) 物流路线

(1)  $^{131}\text{I}$  进入路径：由西北角楼梯口向南进入走廊，然后向东进入分装室和储源室，存放放射性药物。

(2) 放射性废物：工作场所当天产生的放射性废物暂存在专用废物铅桶内，至少 10 个半衰期后，作为非放射性医疗废物处理。

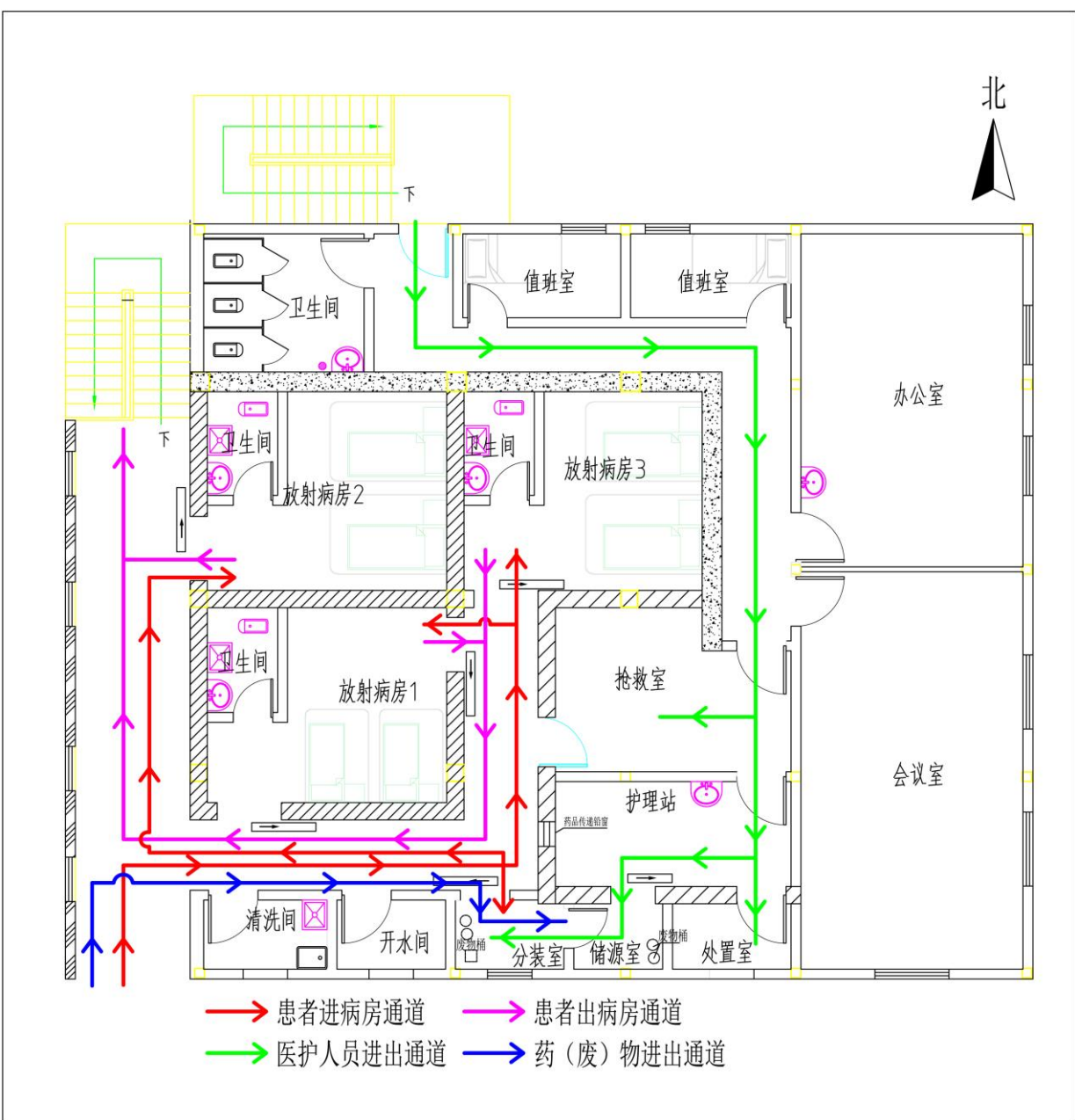


图 10-2 核医学科  $^{131}\text{I}$  治疗工作场所人流物流图

1.3 放射性工作场所分级

1) 日等效最大操作量计算公式

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 规定的非密封放射源工作场所分级标准进行分级。附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性组别修正因子}}{\text{操作方式与放射源状态修正因子}}$$

2) 分级依据及计算参数

表 10-1 给出了非密封源工作场所的分级依据,表 10-2 给出了放射性核素毒性组别修正因子。

**表 10-1 非密封源工作场所的分级**

| 级别 | 日等效最大操作量/Bq                        |
|----|------------------------------------|
| 甲  | $>4 \times 10^9$                   |
| 乙  | $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ |
| 丙  | 豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$       |

**表 10-2 放射性核素毒性组别修正因子**

| 毒性组别 | 毒性组别修正因子 |
|------|----------|
| 极毒   | 10       |
| 高毒   | 1        |
| 中毒   | 0.1      |
| 低毒   | 0.01     |

操作方式与放射源状态修正因子如表 10-3 所示,根据环保部 2016 年 3 月 7 日发布的《关于明确核技术利用辐射安全监督有关事项的通知》(环办辐射函[2016]430 号)的要求,医疗机构使用使用  $^{131}\text{I}$  核素相关活动视为“简单操作”。

**表 10-3 操作方式与放射源状态修正因子**

| 操作方式    | 放射源状态           |                |              |                             |
|---------|-----------------|----------------|--------------|-----------------------------|
|         | 表面污染水平较<br>低的固体 | 液体, 溶液,<br>悬浮液 | 表面有污染<br>的固体 | 气体, 蒸汽, 粉末, 压力<br>很高的液体, 固体 |
| 源的贮存    | 1000            | 100            | 10           | 1                           |
| 很简单的操作  | 100             | 10             | 1            | 0.1                         |
| 简单操作    | 10              | 1              | 0.1          | 0.01                        |
| 特别危险的操作 | 1               | 0.1            | 0.01         | 0.001                       |

### 3) 分级计算结果

$^{131}\text{I}$  用于治疗甲亢和甲癌。根据患者患病状况确定用药剂量,然后按用量进行订购,采用碘全自动分装仪进行分装。

根据医院提供的资料, $^{131}\text{I}$  治疗甲亢每日最多接诊 2 人,每人用量最大  $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$  (20mCi),每日最大使用量  $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$  (40mCi),医院计划每周集中 2 天治疗,每年按 50 周计,则每年最多接诊 200 人,每年  $^{131}\text{I}$  最大使用量  $1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$  (4Ci)。

$^{131}\text{I}$  治疗甲癌每批次最多接诊 4 人,每人最大用量为  $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$  (200mCi),则每日最大用量为  $2.96 \times 10^{10} \text{Bq}$  (0.8Ci)。根据《分化型甲状腺癌患者的  $^{131}\text{I}$  有效半衰期》(易艳玲等,原子能科学与技术, Vol44, suppl. 2010.9)报道,甲癌患者的  $^{131}\text{I}$  平均有效半衰期为  $(14.6 \pm 6.5) \text{h}$ ,本评价取最大值 21.1h,则患者留院观察 3-4 天后体内留存药物活度约为 310MBq (约

8.4mCi)，小于 400 MBq 则可以出院，因此医院计划每周集中两天进行治疗，每年按 50 周计，则每年最多接诊 400 人，每年  $^{131}\text{I}$  最大使用量为  $2.96 \times 10^{12}\text{Bq}$ （80Ci）。

则  $^{131}\text{I}$  治疗的每日最大使用量为  $3.108 \times 10^{10}\text{Bq}$ （0.84Ci），每年最大使用量  $3.108 \times 10^{12}\text{Bq}$ （84Ci）。

根据本项目使用的  $^{131}\text{I}$  的特性、操作方式、日最大操作量等，计算得出日等效最大操作量及工作场所分级判定如表 10-4 所示。

表 10-4 核医学科  $^{131}\text{I}$  治疗工作场所分级

| 使用核素             | 日最大操作量 (Bq)            | 用途   | 毒性 | 毒性组别修正因子 | 物理、化学性状 | 操作方式修正因子 | 日等效操作量(Bq)          |
|------------------|------------------------|------|----|----------|---------|----------|---------------------|
| $^{131}\text{I}$ | $3.108 \times 10^{10}$ | 放射治疗 | 中毒 | 0.1      | 液态      | 1        | $3.108 \times 10^9$ |

由表 10-5 可知，本项目使用放射性核素的日等效最大操作量为  $3.108 \times 10^9\text{Bq}$ ，在  $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$  之间，因此，本项目核医学科  $^{131}\text{I}$  治疗工作场所为乙级非密封源工作场所。

#### 1.4 辐射防护措施

##### 1) 工作场所的实体屏蔽

核医学科主要放射性工作场所的防护设施情况见表 10-5。

表 10-5 核医学科  $^{131}\text{I}$  治疗工作场所辐射屏蔽措施一览表

| 工作场所 | 墙体屏蔽材料及厚度                                   | 室顶屏蔽材料及厚度 | 地板屏蔽材料及厚度  | 防护门（观察窗）屏蔽材料及厚度                         |
|------|---------------------------------------------|-----------|------------|-----------------------------------------|
| 分装室  | 四面墙体为 200mm 混凝土实心砖；南侧窗为有 6mm 铅当量的铅玻璃        | 150mm 混凝土 | 2000mm 混凝土 | 与患者走廊相通防护门为 12mm 铅当量；与储源室相通防护门为 5mm 铅当量 |
| 储源室  | 东、西、南侧墙体为 200mm 混凝土实心砖；北侧墙体为 350mm 混凝土      | 150mm 混凝土 | 2000mm 混凝土 | 与护理站相通防护门为 5mm 铅当量                      |
| 处置室  | 东、西、南侧墙体为 200mm 混凝土实心砖；北侧墙体为 350mm 混凝土      | 150mm 混凝土 | 2000mm 混凝土 | 与护理站相通防护门为 5mm 铅当量                      |
| 护理站  | 东、北侧墙体为 200mm 混凝土实心砖；南、西侧墙体为 350mm 混凝土      | 150mm 混凝土 | 2000mm 混凝土 | 与抢救室相通防护门为 5mm 铅当量；西墙铅窗为 30mm 铅当量的铅玻璃   |
| 抢救室  | 东、南侧墙体为 200mm 混凝土实心砖；北、西侧墙体为 350mm 混凝土      | 150mm 混凝土 | 2000mm 混凝土 | 与患者走廊相通防护门为 10mm 铅当量                    |
| 患者通道 | 放射病房、护理站、抢救室一侧墙体为 350mm 混凝土，其它为 200mm 混凝土实心 | 150mm 混凝土 | 2000mm 混凝土 | /                                       |

|        | 砖                                   |           |            |                           |
|--------|-------------------------------------|-----------|------------|---------------------------|
| 放射病房 1 | 四周墙体为 350mm 混凝土                     | 150mm 混凝土 | 2000mm 混凝土 | 东侧和南侧与患者通道相通防护门为 15mm 铅当量 |
| 放射病房 2 | 东、南、西侧墙体为 350mm 混凝土；北侧墙体为 400mm 混凝土 | 150mm 混凝土 | 2000mm 混凝土 | 西侧与患者通道相通防护门为 15mm 铅当量    |
| 放射病房 3 | 南、西侧墙体为 350mm 混凝土；北、东侧墙体为 400mm 混凝土 | 150mm 混凝土 | 2000mm 混凝土 | 南侧与患者通道相通防护门为 15mm 铅当量    |

## 2) 重要房间的防护设施与功能

(1) 患者通道、清洗间、开水间、分装室、储源室、处置室、护理站、抢救室、放射病房 1~3 及其卫生间等划为控制区的房间拟设置易清洗、房屋性能好且不易渗透的墙面、地面、办公桌椅等，并配置清洗及去污设备。

(2) 在分装室内设一个通风橱，进行  $^{131}\text{I}$  的分装，防护效果为 20mm 铅当量，配有机械排风装置，在半开的条件下，风速不低于 1m/s。在层顶设置废气过滤装置，内置活性炭过滤器，对废气进行吸附过滤后，通过屋顶的烟筒排放。

各房间还装有视频监控探头，随时查看患者的状态，有情况时及时采取应对或应急措施。

(3) 核医学科通风气流设计原则为：

气压设计：非放射性区域气压 > 监督区气压 > 控制区气压，使气体由非放射性区域流向监督区，再流向控制区。核医学科通风系统见图 10-3。

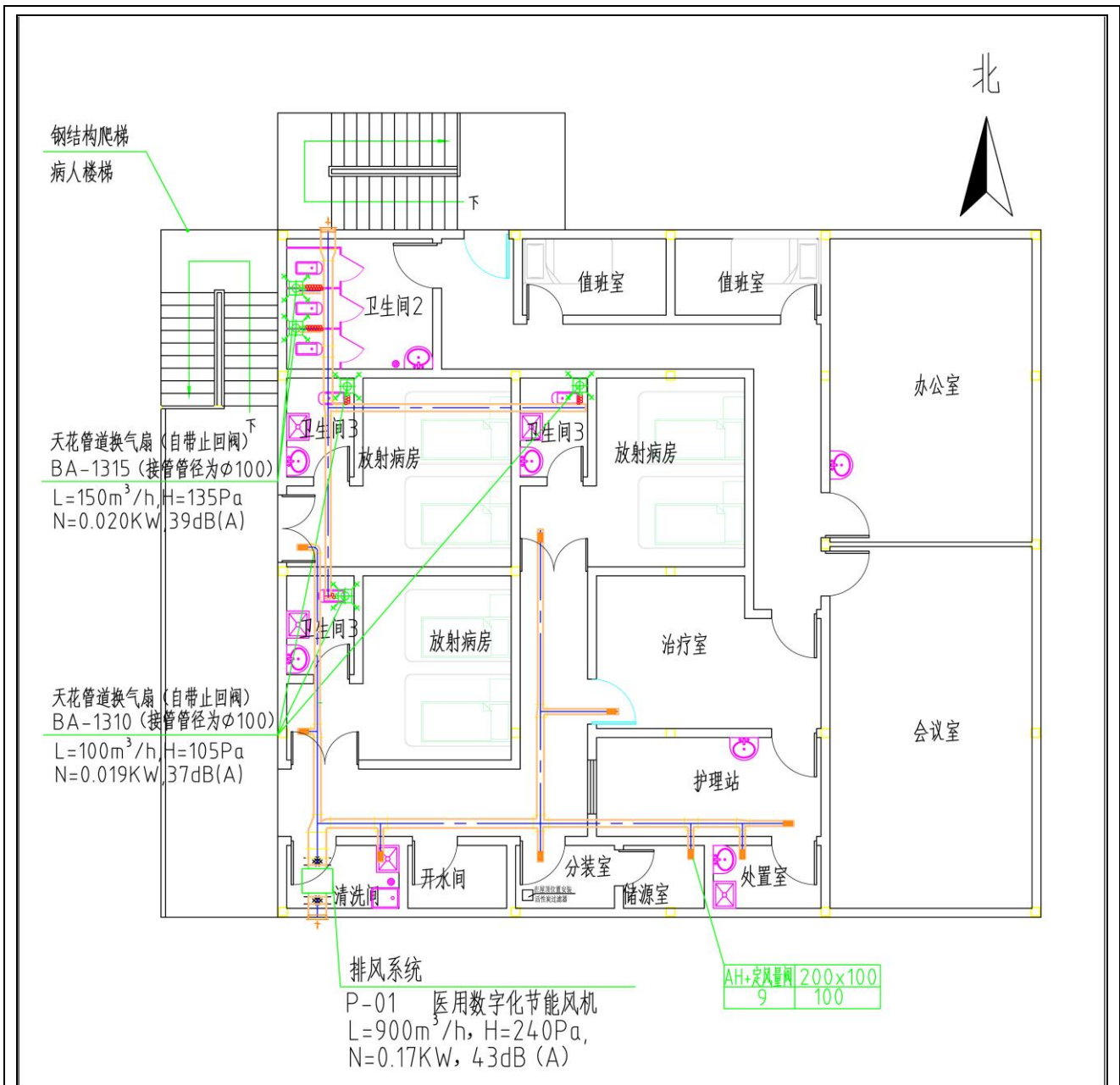


图 10-3 核医学科  $^{131}\text{I}$  治疗工作场所通风系统图

(4) 在核医学科入口、出口以及设置带有门禁系统的单向门，对人员实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线，加强对控制区带药患者的管理，并防止无关人员入内。告知检查完成后病人离开路线，防止其对其他公众造成不必要照射。

(5) 电动防护门门洞口设置红外线光幕安全保护装置，感应区为 0-1800mm，保证防护门关闭时不会造成夹人或物。防护门和墙壁重叠的宽度大于其间缝隙的 10 倍，可有效防止散射线及漏射线对门缝周围的辐射影响。

(6) 拟设 3 间  $^{131}\text{I}$  病房，均带有病人专用卫生间，均设有专用下水道通往衰变池。同时，在清洗间内拟设置盥洗池，产生的废水通过专用下水道通往衰变池，下水管道外包 10mm 厚

铅皮。放射性废水排放系统见图 10-4。

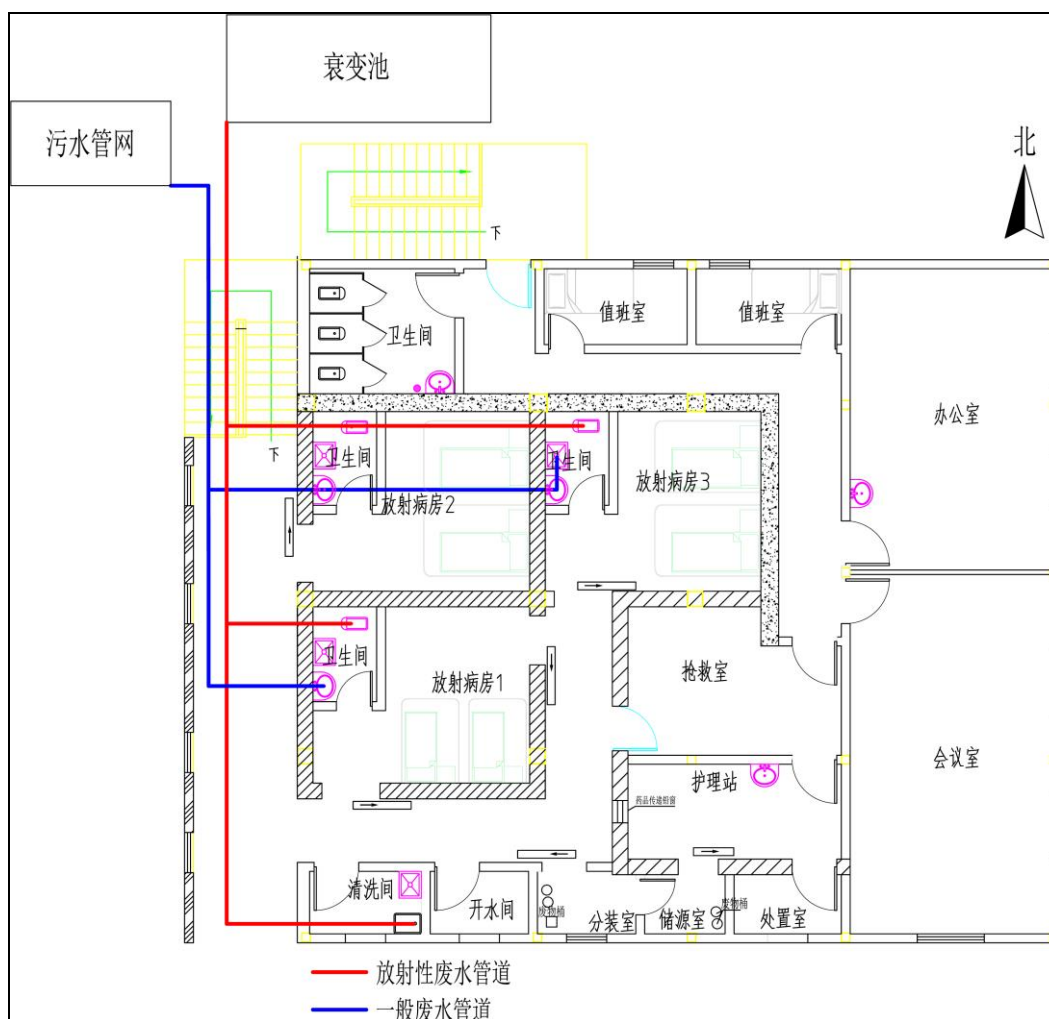


图 10-4 核医学科  $^{131}\text{I}$  治疗工作场所废水流向图

(7) 在位于原直加楼西北侧衰变处理机房内拟建一套由 1 个沉淀池、3 个衰变池和 1 个缓冲池组成的间歇式放射性废水衰变系统，沉淀池容积为  $26.25\text{m}^3$ ，每个衰变池的容积为  $20.25\text{m}^3$ ，缓冲池容积为  $15\text{m}^3$ ，总容积为  $102\text{m}^3$ 。

每个衰变池配一个进水电动阀、一个潜污泵等装置。放射性区域废水流入沉淀池，经 1#潜水泵打入衰变区域，此时 A1 电动阀打开，废水流入 1#衰变池，其内置液位计检测经检测达到预设高液位时关闭 A1 电动阀，同时开启 A2 电动阀，放射性废水流入 2#衰变池，依次循环流入 3#衰变池，当 3#衰变池达到高液位时关闭 A3 电动阀，放射性废水流入沉淀池，当水量与衰变池相同时，排空 1#衰变池，A1 电动阀打开，沉淀池废水流入 1#衰变池，然后放射性废水流入沉淀池，当水量与衰变池相同时，排空 2#衰变池，将衰变完成的废水排入集水井（集水井接入市政排水管网），沉淀池废水流入 2#衰变池，依次进行沉淀池与衰变池的进水和出水。所有衰变池满后，缓冲池视个别时期或个别池蓄满或未达到排放标准而启用暂存。

衰变池池底和池壁采用混凝土浇筑后再附一层防渗透和耐酸碱腐蚀的材料，混凝土厚度为200mm。衰变池平面和剖面结构见图 10-5 和图 10-6，废水流向见图 10-7。

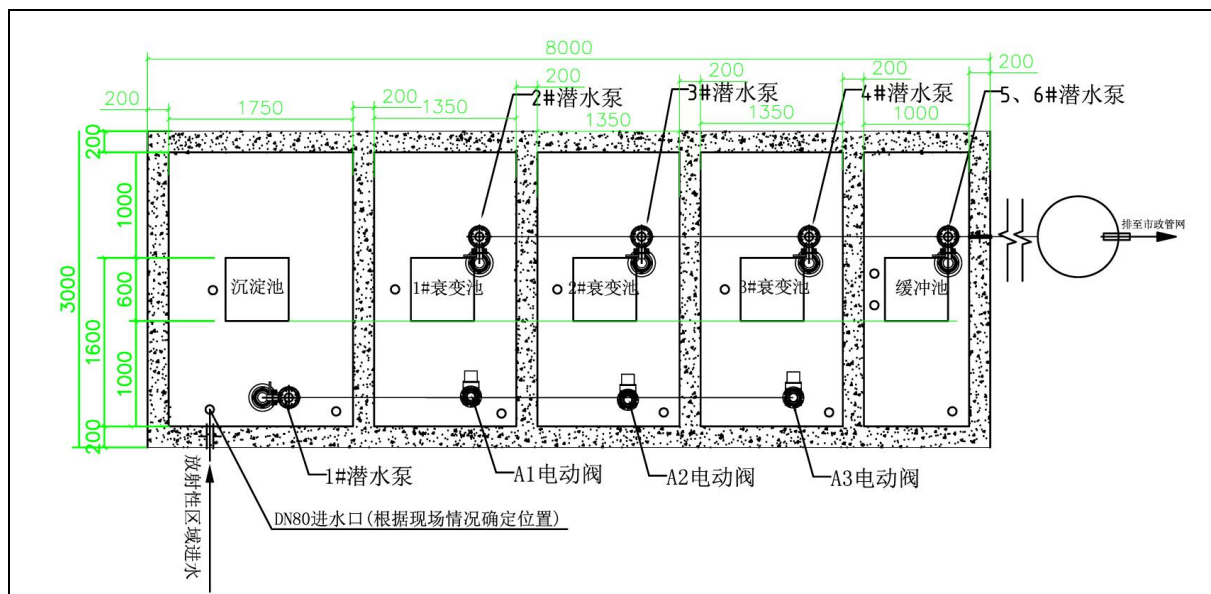


图 10-5 衰变池平面结构图

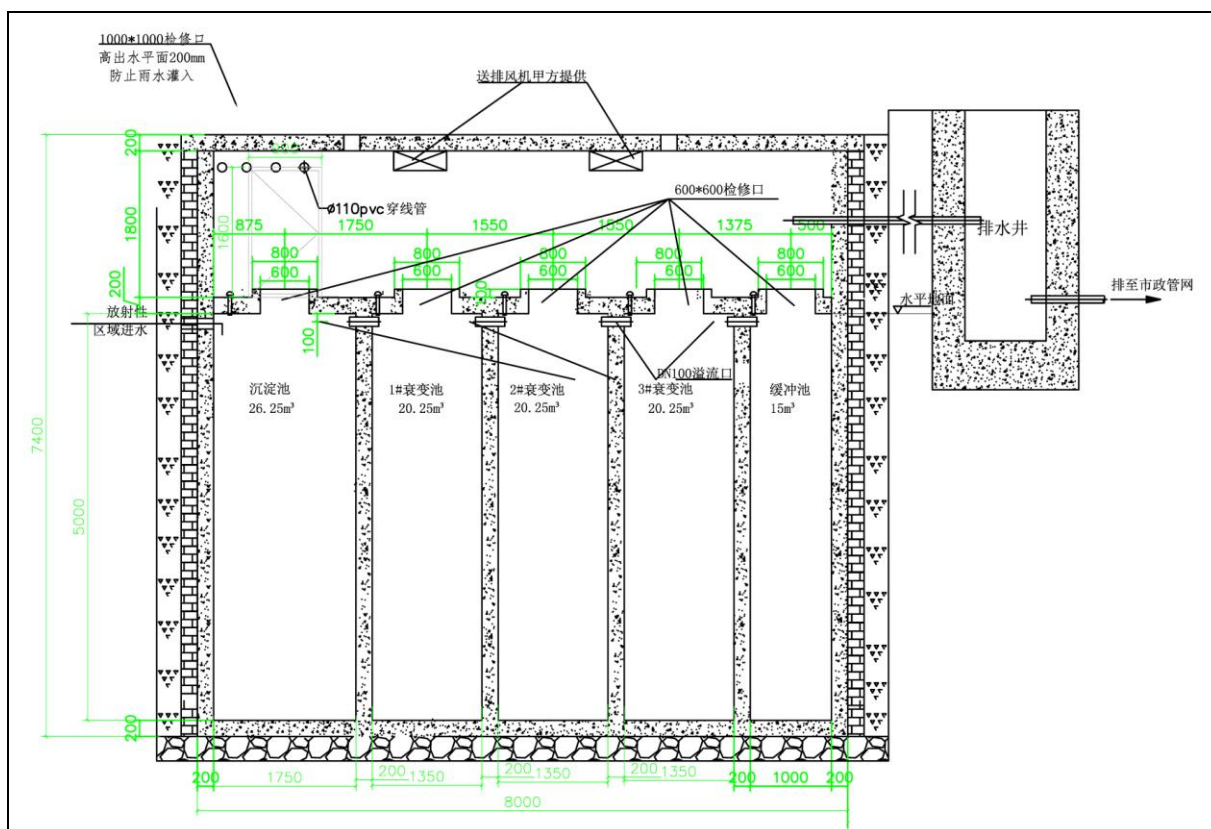


图 10-6 衰变池剖面结构图

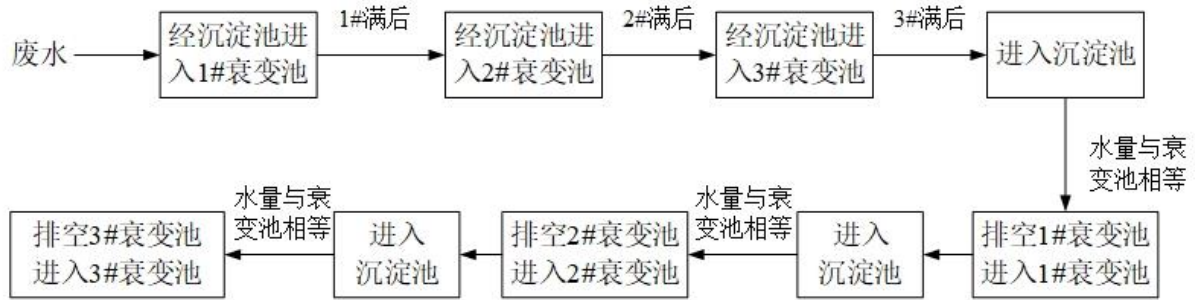


图 10-7 衰变池废水流向图

（8）分装室和储源室各配置 2 个 20mmpb 放射性废物桶。废物桶内拟放置专用塑料袋，在其外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并应做好相应的记录，废物桶体上拟设电离辐射警告标志。

（9）工作场所控制区入口处拟设置电离辐射警告标志，禁止非有关工作人员入内，不允许服药的患者随便出入；监督区入口处拟张贴监督区标牌，禁止无关公众人员进入。

（10）医院拟购 1 台便携式 X-γ 剂量率仪（全院共用），拟配备一台便携式 α、β 表面污染监测仪。医院拟为核医学科工作人员配置个人防护用品，包括铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等，防护厚度为 0.5mmPb；为每位工作人员拟配置个人剂量计及个人剂量报警仪，并委托有资质单位进行定期监测。同时在药物分装时拟配备活度计。

## 2. 加速器

### 2.1 工作场所布局和分区

直线加速器位于一号楼负一层放疗科的东南角区域，北侧为控制室和直线加速器大厅，控制室北侧为走廊，机房东侧为冷却室和风机房，南侧为土层，西侧为直线加速器机房 2。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），将需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，将不需要专门的防护手段和措施，但需要经常对照射条件进行监督和评价的区域划分为监督区。本项目直线加速器场所分区划分情况见图 10-8。

直线加速器机房内部为控制区，加速器机房除了接受治疗的病人、进行摆位等相关操作的医生和助手，不允许其他的任何人进入此区域（治疗时，加速器机房内不允许除病人外的任何人逗留）。控制区采取以下防护手段和措施：

（1）在机房入口处设置电离辐射警告标志，在防护门上方设置工作状态指示灯，且设有门灯连锁；

(2) 加速器机房配有门机联锁装置。

控制室、冷却室、模室、走廊等划为监督区。边界设置醒目的电离辐射警示标志，定期检查其辐射水平。

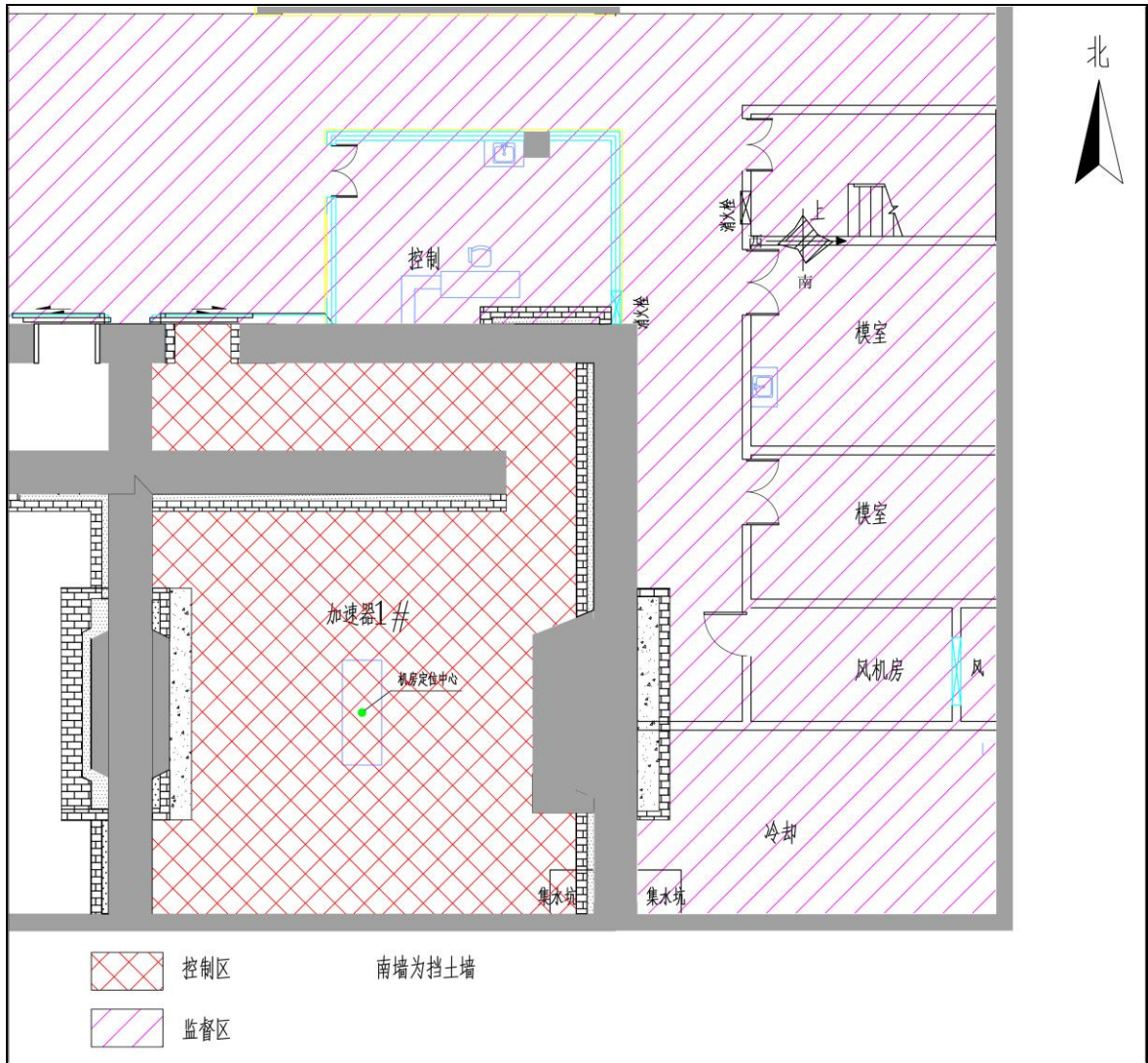


图 10-8 直线加速器工作场所分区图

2.2 辐射防护措施

直线加速器机房各屏蔽墙及防护门的屏蔽材料及厚度详见表 10-6。

表 10-6 加速器机房的屏蔽措施一览表

| 屏蔽防护设计 |      | 屏蔽设计参数（厚度及材质）                 | 折合混凝土厚度（cm） | 折合铅厚度（cm） |
|--------|------|-------------------------------|-------------|-----------|
| 北墙     | 迷道内墙 | 100cm 混凝土+15cm 硫酸钡砂浆+24cm 实心砖 | 144.30      | /         |
|        | 迷道外墙 | 90cm 混凝土                      | 90.00       | /         |
| 东墙     | 主屏蔽  | 240cm 混凝土+50cm 混凝土+24cm 实心砖   | 306.85      | /         |
|        | 次屏蔽  | 100cm 混凝土+15cm 硫酸钡砂浆+24cm 实心砖 | 144.30      | /         |

|     |           |                                        |        |      |
|-----|-----------|----------------------------------------|--------|------|
| 南墙  | 侧屏蔽（外侧土层） | 40cm 混凝土                               | 40.00  | /    |
| 西墙  | 主屏蔽       | 50cm 混凝土+180cm 混凝土+20cm 硫酸钡砂浆+48cm 实心砖 | 300.30 | /    |
|     | 次屏蔽       | 100cm 混凝土+15cm 硫酸钡砂浆+24cm 实心砖          | 144.30 | /    |
| 屋顶  | 主屏蔽       | 260cm 混凝土+10cm 钢板                      | 260    | 6.55 |
|     | 次屏蔽       | 260cm 混凝土                              | 260    | /    |
| 防护门 | 防护门 1     | 10mm 钢板+10mmpb+120mm 防中子层（硼酸+石蜡）       | /      | 1.65 |
|     | 防护门 2     | 90cm 实心砖                               | 63.19  | /    |

注：混凝土密度为  $2.35\text{g/cm}^3$ ，硫酸钡砂浆密度为  $4.30\text{g/cm}^3$ ，实心砖墙密度为  $1.65\text{g/cm}^3$ ；铅板密度为  $11.3\text{g/cm}^3$ ，钢板密度为  $7.4\text{g/cm}^3$ 。加速器机房底部为土层，屋顶为室外停车场。

### 2.3 辐射安全和防护、环保相关设施

（1）加速器机房设置门机联锁装置，只有防护门完全关闭时，加速器的高压才能加上及出束，当防护门打开时，加速器终止出束。

（2）在屏蔽门的顶部安装工作状态指示灯，且设有门灯联锁，门或墙的明显位置设置电离辐射标志及中文警示说明。

（3）每名职业工作人员配备个人剂量计，工作时将个人剂量计佩戴在左胸前，并按要求领取和交回。

（4）加速器迷道走廊、加速器机房墙上、治疗床上、控制台上设置紧急停机按钮。

（5）配电室设置独立的机械送、排风系统，换气次数 6 次/h，排风系统见图 10-9，风管穿墙见图 10-10。

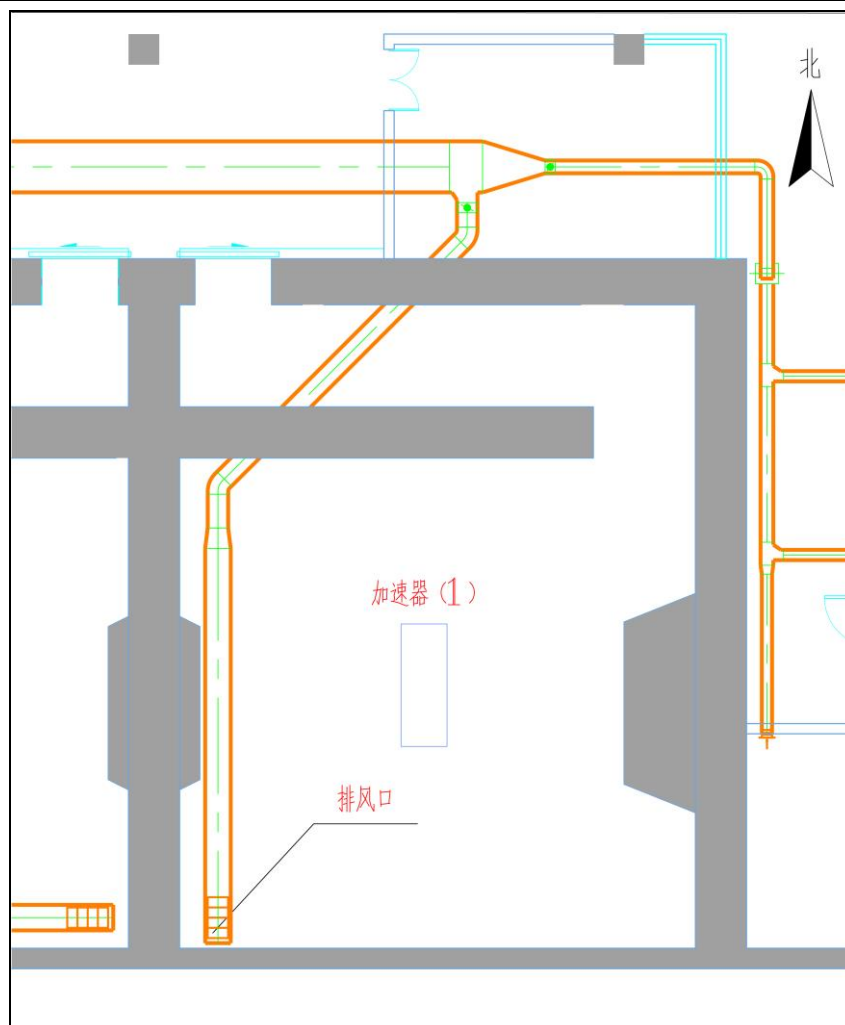


图 10-9 直线加速器机房排风系统图

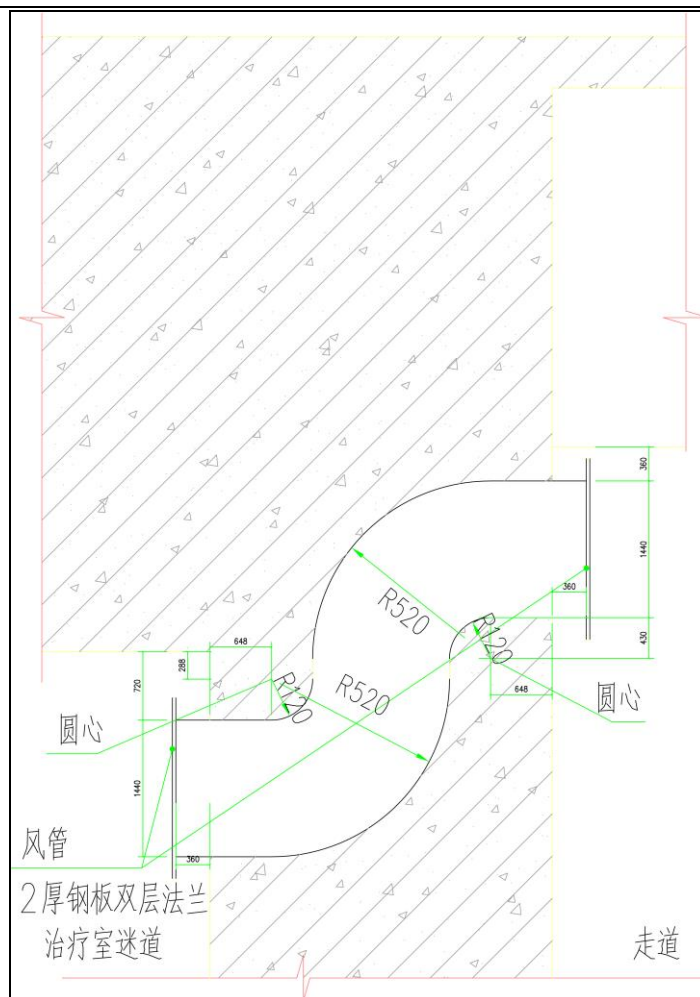


图 10-10 直线加速器机房风管穿墙图

- (6) 加速器机房内设置通风系统，风量为  $3000\text{m}^3/\text{h}$ 。
- (7) 机房和控制室之间安装监视及对讲设备。
- (8) 管沟或穿墙管不在主屏蔽墙上，在其他方向上不影响其防护效果，管沟穿墙见图

10-11。

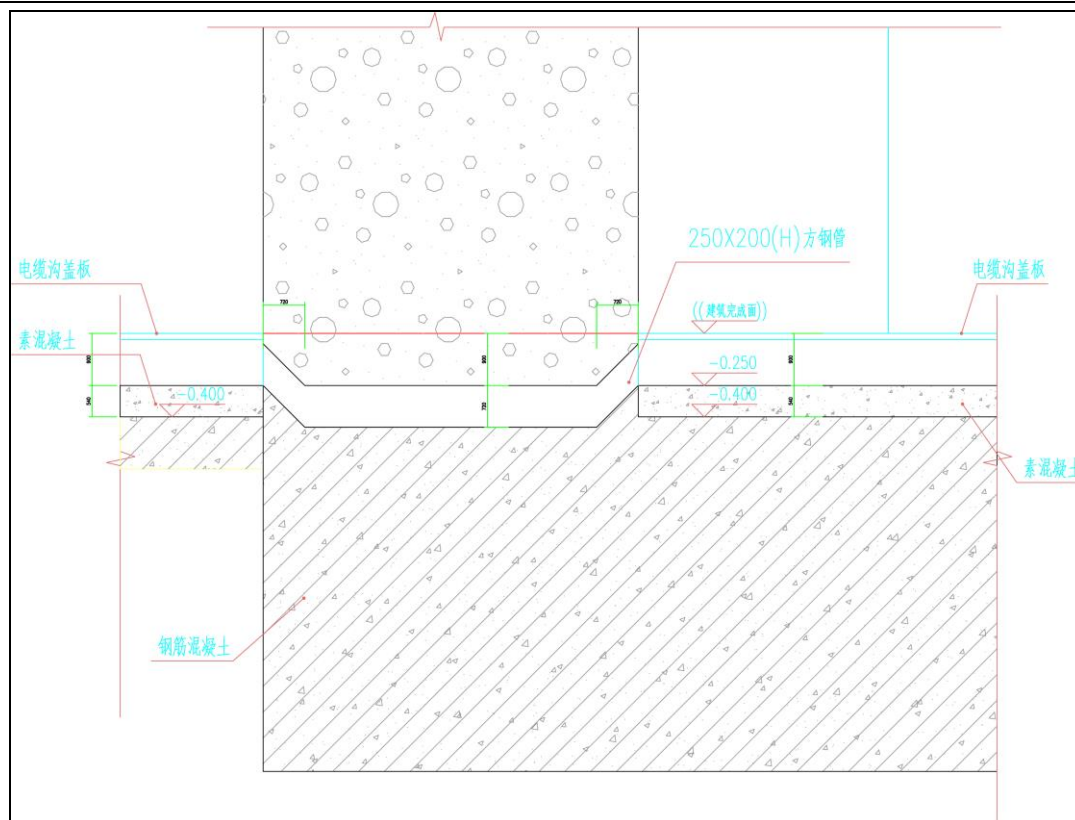


图 10-11 直线加速器机房电缆沟穿墙图

(9) 配备便携式 X- $\gamma$  剂量率仪，可监测加速器机房周边的剂量率水平。

(10) 个人剂量报警仪用于职业工作人员个人防护，当辐射水平达到预设的阈值时，发出报警。

### 3. TOMO

#### 3.1 工作场所布局 and 分区

新增 TOMO 机房位于一号楼负一层放疗科的西南角区域，北侧为控制室、设备间和机房外走廊大厅，控制室北侧为走廊，机房东侧为直线加速器机房，南侧为土层，西侧为后装机机房。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），将需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，将不需要专门的防护手段和措施，但需要经常对照射条件进行监督和评价的区域划分为监督区。本项目直线加速器场所分区划分情况见图 10-12。

TOMO 机房内部为控制区，机房除了接受治疗的病人、进行摆位等相关操作的医生和助手，不允许其他的任何人进入此区域（治疗时，TOMO 机房内不允许除病人外的任何人逗留）。

控制区采取以下防护手段和安全措施：

（1）在机房入口处设置电离辐射警告标志，在防护门上方设置工作状态指示灯，且设有门灯联锁；

（2）TOMO 机房配有门机联锁装置。

控制室、设备间、服务器房间、走廊等划为监督区。边界设置醒目的电离辐射警示标志，定期检查其辐射水平。

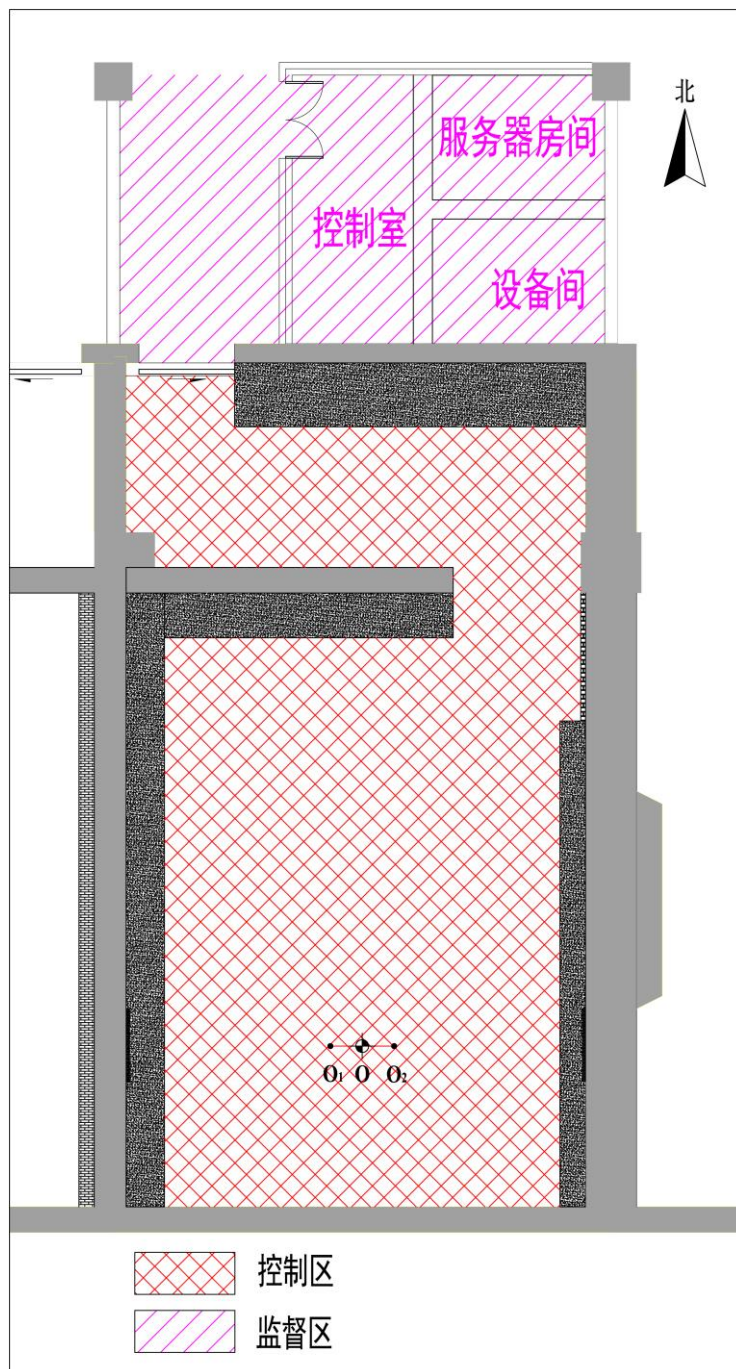


图 10-12 TOMO 工作场所分区图

### 3.2 辐射防护措施

TOMO 机房各屏蔽墙及防护门的屏蔽材料及厚度详见表 10-7。

表 10-7 TOMO 机房的屏蔽措施一览表

| 屏蔽防护设计 |           | 屏蔽设计参数（厚度及材质）                       | 折合混凝土厚度（cm） | 折合铅厚度（cm） |
|--------|-----------|-------------------------------------|-------------|-----------|
| 北墙     | 迷道内墙      | 40cm 混凝土+70cm 重晶石混凝土                | 117.45      | /         |
|        | 迷道外墙      | 30cm 混凝土+100cm 重晶石混凝土               | 140.64      | /         |
| 东墙     | 主屏蔽       | 80cm 混凝土+40cm 重晶石混凝土+5cm 铅          | 124.26      | 5         |
|        | 次屏蔽（南）    | 80cm 混凝土+40cm 重晶石混凝土                | 124.26      | /         |
|        | 次屏蔽（中）    | 120cm 混凝土+40cm 重晶石混凝土               | 164.26      | /         |
|        | 次屏蔽（北）    | 80cm 混凝土+7.5cm 铅                    | 80.00       | 7.5       |
| 南墙     | 侧屏蔽（外侧土层） | 40cm 混凝土                            | 40.00       | /         |
| 西墙     | 主屏蔽       | 50cm 混凝土+60cm 重晶石混凝土+24cm 实心砖+5cm 铅 | 133.23      | 5         |
|        | 次屏蔽       | 50cm 混凝土+60cm 重晶石混凝土                | 133.23      | /         |
| 屋顶     | 主屏蔽       | 200cm 混凝土+80cm 重晶石混凝土               | 288.51      | /         |
| 防护门    | 防护门       | 15mm 铅                              | /           | 1.5       |

注：混凝土密度为  $2.35\text{g/cm}^3$ ，重晶石混凝土密度为  $2.60\text{g/cm}^3$ ，实心砖墙密度为  $1.65\text{g/cm}^3$ ；铅板密度为  $11.3\text{g/cm}^3$ 。TOMO 机房底部为土层，屋顶为室外停车场。

### 3.3 辐射安全和防护、环保相关设施

（1）TOMO 机房设置门机联锁装置，只有防护门完全关闭时，加速器的高压才能加上及出束，当防护门打开时，加速器终止出束。

（2）在屏蔽门的顶部安装工作状态指示灯，且设有门灯联锁，门或墙的明显位置设置电离辐射标志及中文警示说明。

（3）每名职业工作人员配备个人剂量计，工作时将个人剂量计佩戴在左胸前，并按要求领取和交回。

（4）机房迷道走廊、机房墙上、治疗床上、控制台上设置紧急停机按钮。

（5）配电室设置独立的机械送、排风系统，换气次数 6 次/h，排风系统见图 10-13，风管穿墙见图 10-14。

（6）机房内设置通风系统，风量为  $3000\text{m}^3/\text{h}$ 。

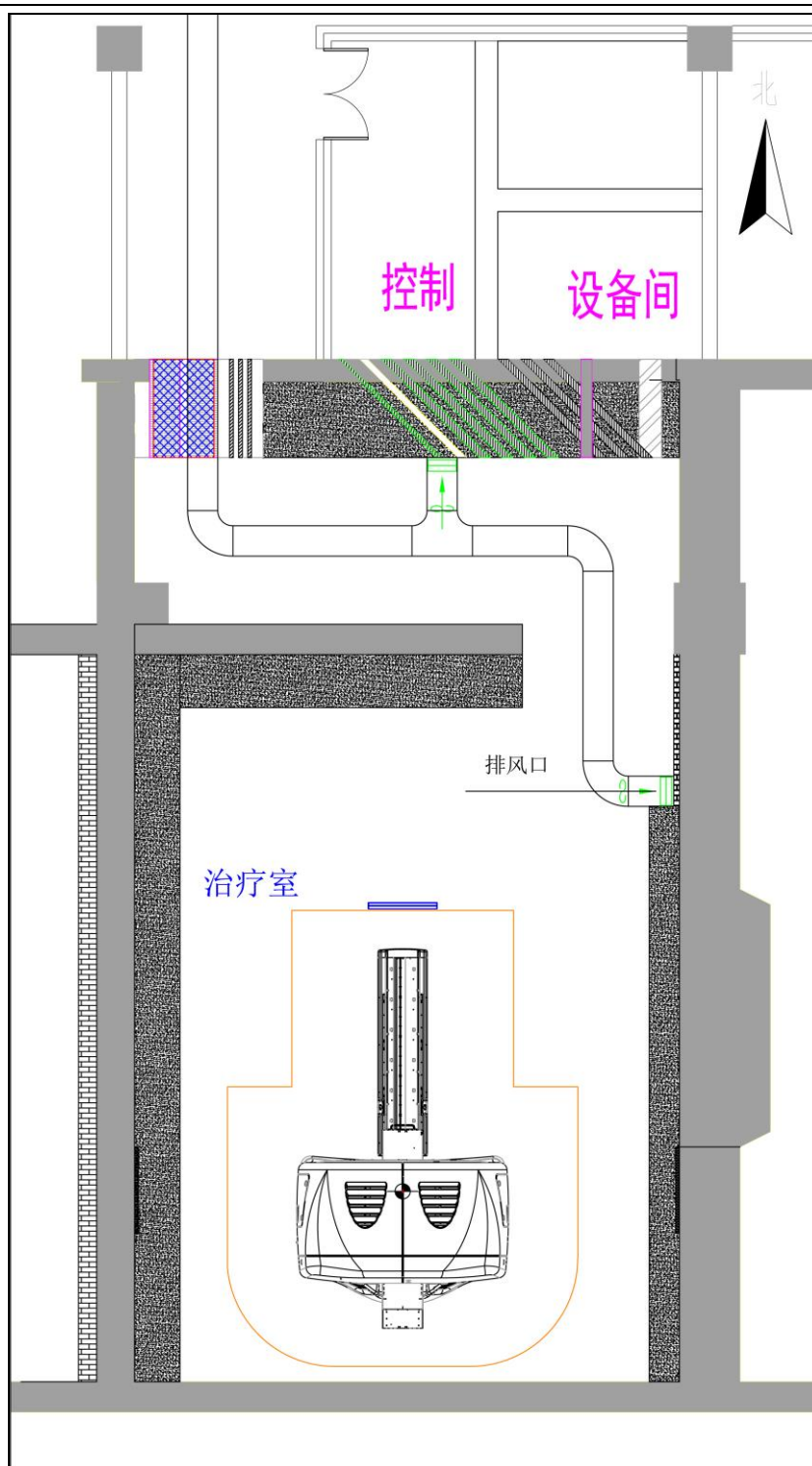


图 10-13 TOMO 机房排风系统图

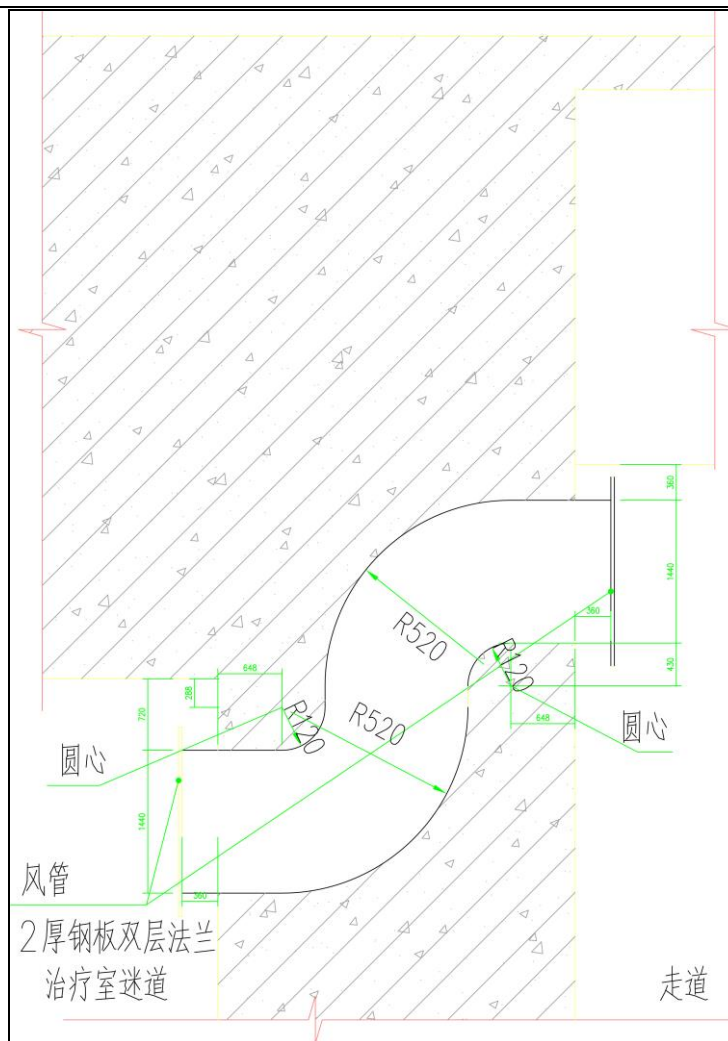


图 10-14 TOMO 机房风管穿墙图

(7) 机房和控制室之间安装监视及对讲设备。

(8) 管沟或穿墙管不在主屏蔽墙上，在其它方向上不影响其防护效果，电缆沟穿墙见图 10-15。

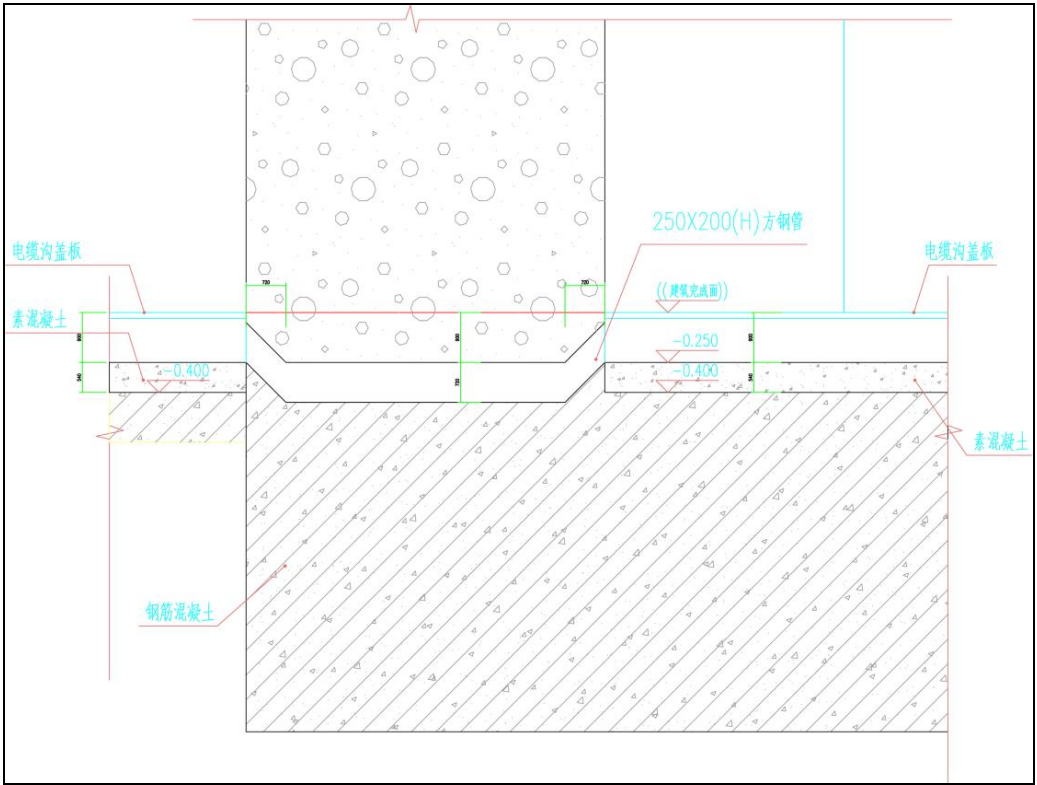


图 10-15 TOMO 机房电缆沟穿墙图

(9) 配备便携式 X- $\gamma$  剂量率仪，可监测 TOMO 机房周边的剂量率水平。

(10) 个人剂量报警仪用于职业工作人员个人防护，当辐射水平达到预设的阈值时，发出报警。

4. DSA

4.1 工作场所布局和分区

本项目移机和新增的 5 台 DSA 位于内科大楼三楼和六楼，分别布置 3 台和 2 台，导管室的结构尺寸如表 10-8 所示。

表 10-8 各导管室的结构尺寸一览表

| 装置名称 | 机房位置  | 长(m) | 宽(m) | 高(m) | 面积(m <sup>2</sup> ) | 《放射诊断放射防护要求》<br>(GBZ130-2020) |           | 是否满足要求 |
|------|-------|------|------|------|---------------------|-------------------------------|-----------|--------|
|      |       |      |      |      |                     | 最小有效使用面积(m <sup>2</sup> )     | 最小单边长度(m) |        |
| DSA  | 三楼东 1 | 9.30 | 8.22 | 3.60 | 76.45               | 20                            | 3.5       | 满足     |
|      | 三楼东 2 | 9.72 | 8.26 | 3.60 | 80.29               |                               |           | 满足     |
|      | 三楼东 3 | 9.31 | 8.22 | 3.60 | 76.53               |                               |           | 满足     |
|      | 六楼南 1 | 8.42 | 7.26 | 3.60 | 61.13               |                               |           | 满足     |
|      | 六楼南 2 | 8.46 | 7.26 | 3.60 | 61.42               |                               |           | 满足     |

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定，应把辐射工作场

所划分为监督区和控制区，以便于辐射防护管理和职业照射控制，将需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。监督区通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

本项目拟将 DSA 导管室划分为控制区，将控制室、设备间、库房划分为监督区，无关人等不得进入，区域划分明确，布局合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中有关辐射工作场所分区的规定，工作场所分区见图 10-16 和图 10-17。

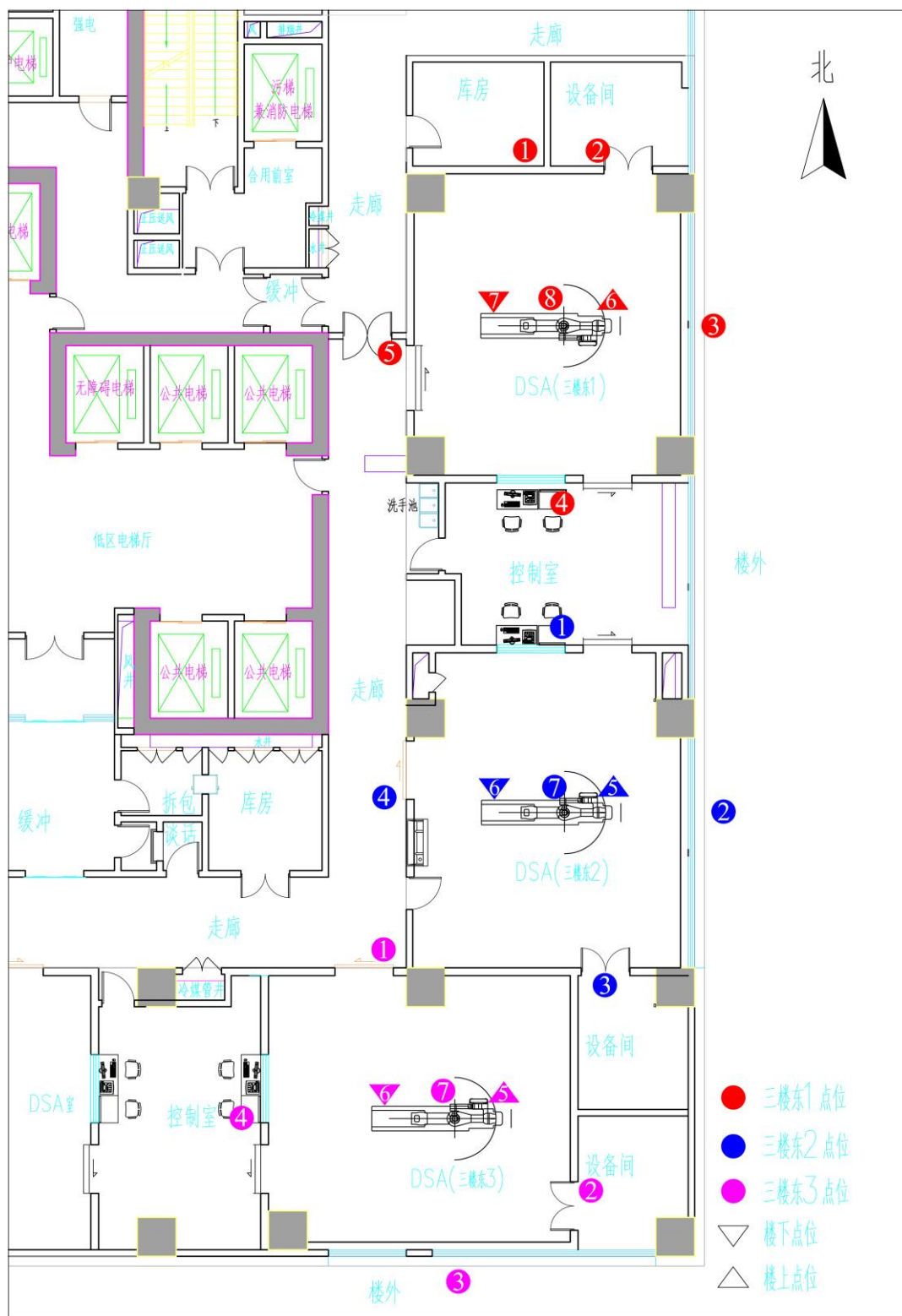


图 10-16 内科大楼三楼 DSA 工作场所分区图

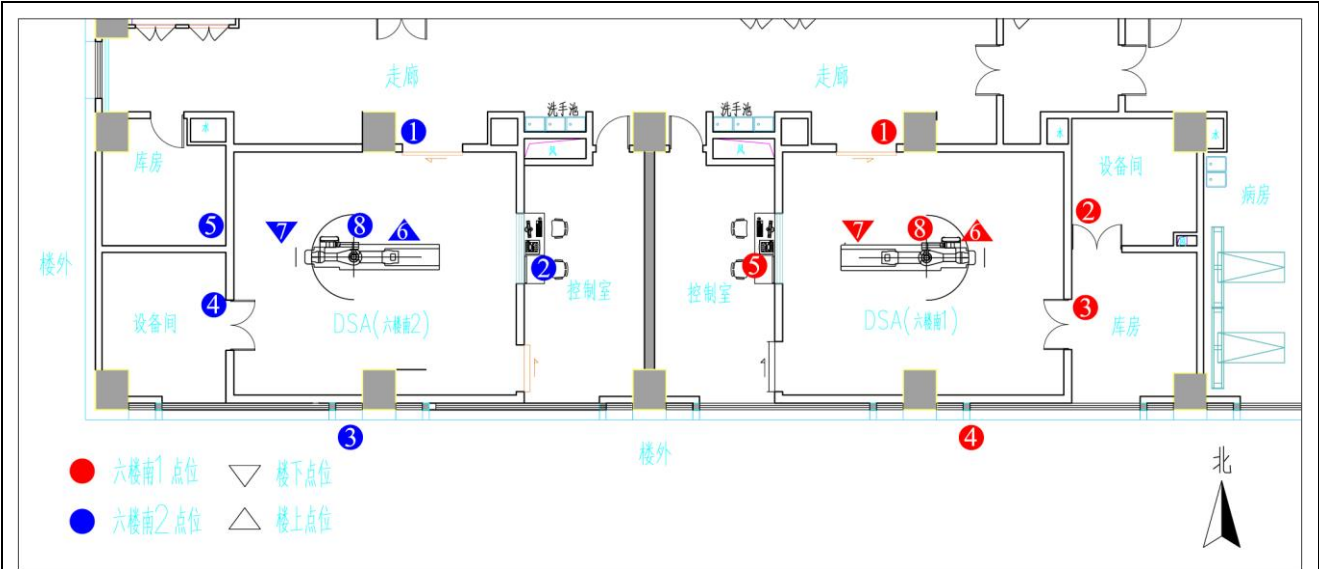


图 10-17 内科大楼六楼 DSA 工作场所分区图

4.2 辐射防护措施

各导管室的屏蔽体的屏蔽措施如表 10-9 所示。

表 10-9 各导管室的屏蔽措施一览表

| 机房               | 序号 | 屏蔽位置   | 屏蔽措施               | 合计铅当量<br>mmPb | 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）<br>要求铅当量 mmPb |         | 是否满足要求 |
|------------------|----|--------|--------------------|---------------|-----------------------------------------|---------|--------|
|                  |    |        |                    |               | 有用线束方向                                  | 非有用线束方向 |        |
| 三<br>楼<br>东<br>1 | 1  | 北侧库房   | 24cm 墙体+4mmPb 涂料   | 6.5           | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 2  | 北侧设备间  | 4mm 铅防护门           | 4             | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 3  | 东侧墙外   | 24cm 墙体+4mmPb 涂料   | 6.5           | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 4  | 南侧控制室  | 4.5mm 铅玻璃          | 4.5           | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 5  | 西侧走廊   | 4mm 铅防护门           | 4             | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 6  | 四楼病房   | 200mm 混凝土+3mmPb 涂料 | 7             | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 7  | 二楼信息中心 | 200mm 混凝土+3mmPb 涂料 | 7             | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 8  | 医生手术位  | 0.5mm 铅衣+0.5mm 铅屏风 | 1             | 2                                       | 2       | 满足     |
| 三<br>楼<br>东<br>2 | 1  | 北侧控制室  | 4.5mm 铅玻璃          | 4.5           | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 2  | 东侧墙外   | 24cm 墙体+4mmPb 涂料   | 6.5           | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 3  | 南侧设备间  | 4mm 铅防护门           | 4             | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 4  | 西侧走廊   | 4mm 铅防护门           | 4             | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 5  | 四楼病房   | 200mm 混凝土+3mmPb 涂料 | 7             | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 6  | 二楼监控中心 | 200mm 混凝土+3mmPb 涂料 | 7             | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 7  | 医生手术位  | 0.5mm 铅衣+0.5mm 铅屏风 | 1             | 2                                       | 2       | 满足     |
| 三<br>楼<br>东      | 1  | 北侧走廊   | 4mm 铅防护门           | 4             | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 2  | 东侧设备间  | 4mm 铅防护门           | 4             | 2                                       | 2       | 满足     |
|                  | 3  | 南侧墙外   | 24cm 墙体+4mmPb 涂料   | 6.5           | 2                                       | 2       | 满足     |

|                  |   |        |                    |     |   |   |    |
|------------------|---|--------|--------------------|-----|---|---|----|
| 3                | 4 | 西侧控制室  | 4.5mm 铅铅玻璃         | 4.5 | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 5 | 四楼病房   | 200mm 混凝土+3mmPb 涂料 | 7   | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 6 | 二楼监控中心 | 200mm 混凝土+3mmPb 涂料 | 7   | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 7 | 医生手术位  | 0.5mm 铅衣+0.5mm 铅屏风 | 1   | 2 | 2 | 满足 |
| 六<br>楼<br>南<br>1 | 1 | 北侧走廊   | 4mm 铅防护门           | 4   | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 2 | 东侧设备间  | 24cm 墙体+4mmPb 涂料   | 6.5 | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 3 | 东侧库房   | 4mm 铅防护门           | 4   | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 4 | 南侧墙外   | 24cm 墙体+4mmPb 涂料   | 6.5 | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 5 | 西侧控制室  | 4.5mm 铅铅玻璃         | 4.5 | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 6 | 七楼病房   | 200mm 混凝土+3mmPb 涂料 | 7   | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 7 | 五楼病房   | 200mm 混凝土+3mmPb 涂料 | 7   | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 8 | 医生手术位  | 0.5mm 铅衣+0.5mm 铅屏风 | 1   | 2 | 2 | 满足 |
| 六<br>楼<br>南<br>2 | 1 | 北侧走廊   | 4mm 铅防护门           | 4   | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 2 | 东侧控制室  | 4.5mm 铅铅玻璃         | 4.5 | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 3 | 南侧墙外   | 24cm 墙体+4mmPb 涂料   | 6.5 | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 4 | 西侧设备间  | 4mm 铅防护门           | 4   | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 5 | 西侧库房   | 24cm 墙体+4mmPb 涂料   | 6.5 | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 6 | 七楼病房   | 200mm 混凝土+3mmPb 涂料 | 7   | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 7 | 五楼病房   | 200mm 混凝土+3mmPb 涂料 | 7   | 2 | 2 | 满足 |
|                  | 8 | 医生手术位  | 0.5mm 铅衣+0.5mm 铅屏风 | 1   | 2 | 2 | 满足 |

注：混凝土的密度为  $2.35\text{g/cm}^3$ ，砖墙密度为  $1.60\text{g/cm}^3$ 。

管电压为 100kV 时，240mm 砖墙相当于 2.5mm 的铅当量，200mm 混凝土相当于 3mm 的铅当量。

### 4.3 安全环保措施

(1) 在导管室四周各个防护门上方拟安装工作状态指示灯，并建立门灯联锁，同时防护门的明显位置设置电离辐射标志及中文警示说明。

(2) 在导管室内医生手术位处和控制室的控制台观察窗处分别拟设置 1 个紧急停机按钮，共 2 个。

(3) 在导管室内安装排风系统，风量为  $800\text{m}^3/\text{h}$ ，机房空间体积为  $167\text{m}^3$ ，则每小时换气可达 3 次以上，可将室内产生的废气排出室外。

(4) 医院为导管室拟配备 1 台便携式 X- $\gamma$  剂量率仪。

(5) 医院为控制室拟配备 1 台个人剂量报警仪，若控制室剂量率超标会发出报警。

(6) 本项目为 25 名职业工作人员拟配备辅助防护用品：铅衣（0.5mmPb）25 套、铅帽（0.5mmPb）25 个、铅颈套（0.5mmPb）25 件、铅眼镜（0.5mmPb）25 副、铅手套（0.5mmPb）25 副，（0.5mmPb）铅屏风 5 个。

(7) 为患者拟配备个人防护用品：铅衣（0.5mmPb）5 件、铅橡胶防护方巾（0.5mmPb）5 件、铅橡胶颈套（0.5mmPb）5 件、铅橡胶帽子（0.5mmPb）5 件。

(8) 本项目拟为 25 名职业工作人员均配备 1 个个人剂量计，工作时将个人剂量计佩戴在左胸前，并按要求定期领取和交回。

(9) 本项目为导管室拟配备的 25 名职业工作人员都参加了辐射安全培训，经考试合格后持证上岗。

(10) 建立了职业健康档案，工作人员上岗前、在岗期间、离岗时均应进行健康检查，检查结果存入职业健康档案；在岗期间体检频次为 1 次/1 年。

(11) 射线装置按要求定期检修及维护，保证其安全无故障运行。

### 三废治理

#### 1. 核医学科

##### 1) 放射性废液和废水

核医学科产生的放射性废液主要为病人的排泄、呕吐及洗漱产生。根据核素使用状况分析，病人排泄物中涉及的放射性核素主要为  $^{131}\text{I}$ 。在  $^{131}\text{I}$  病房（3 个）内均设有专用卫生间，将服药病人的排泄物及冲洗废水进行收集，经衰变池处理满足排放标准后排放。

(1) 甲状腺癌病人服用  $^{131}\text{I}$  药物后，需要在核医学科病房 1 和病房 3 住院观察 3-4 天，按同时接诊 4 位病人计算。甲亢病人若服用剂量大于 400MBq（约 11mCi），则入住放射病房 2 至符合出院条件，按同时接诊 2 位病人计算。病人每天排泄物及冲洗粪便废水按 60L 考虑，废水排放量约为 360L/d，医生每周刷洗物品等用水约 70L。

(2) 在原直加楼西北侧衰变处理机房内拟建一套由 1 个沉淀池、3 个衰变池和 1 个缓冲池组成的间歇式放射性废水衰变系统，沉淀池容积为  $26.25\text{m}^3$ ，每个衰变池的容积为  $20.25\text{m}^3$ ，缓冲池容积为  $15\text{m}^3$ ，总容积为  $102\text{m}^3$ 。每个衰变池配一个进水电动阀、一个潜污泵等装置。放射性区域废水流入沉淀池，经 1#潜水泵打入衰变区域，此时 A1 电动阀打开，废水流入 1#衰变池，其内置液位计检测经检测达到预设高液位时关闭 A1 电动阀，同时开启 A2 电动阀，放射性废水流入 2#衰变池，依次循环流入 3#衰变池，当 3#衰变池达到高液位时关闭 A3 电动阀，放射性废水流入沉淀池，当水量与衰变池相同时，排空 1#衰变池，A1 电动阀打开，沉淀池废水流入 1#衰变池，然后放射性废水流入沉淀池，当水量与衰变池相同时，排空 2#衰变池，

将衰变完成的废水排入集水井（集水井接入市政排水管网），沉淀池废水流入 2#衰变池，依次进行沉淀池与衰变池的进水和出水。所有衰变池满后，缓冲池视个别时期或个别池蓄满或未达到排放标准而启用暂存。

（3）第一个衰变池达到设定的衰变天数后，活度浓度达到排放标准后可排放至医院废水处理设施进行处理。

（4）医院放射性废水衰变池废水达标排放的分析情况见表 10-10。待第一个衰变池液位高度到达设定点后，开始衰变计时，保守考虑，衰变时间取沉淀池和后 2 个衰变池均装至  $20.15\text{m}^3$  所需的时间，每个衰变池可容纳八周废水，经八周后，核素剩余量约为所有入水核素的 15%。

**表 10-10 放射性废水衰变池废水达标排放分析**

| 核素种类                     | $^{131}\text{I}$      |
|--------------------------|-----------------------|
| 每周的使用量 (Bq)              | $6.22 \times 10^{10}$ |
| 进入水中比例                   | 60%                   |
| 进入水中核素量 (Bq)             | $3.73 \times 10^{10}$ |
| 日废水产生量 (L/d)             | 370                   |
| 周废水产生量 (L/wk)            | 2590                  |
| 衰变池容纳体积 ( $\text{m}^3$ ) | 60.75                 |
| 衰变天数 (d)                 | 164                   |
| 半衰期 (d)                  | 8.04                  |
| 经过半衰期个数                  | 20.4                  |
| 核素剩余量 (Bq)               | $3.98 \times 10^3$    |
| 出水的核素浓度 (Bq/L)           | 1.54                  |
| 废水排放浓度限值 (Bq/L)          | 10                    |
| 达标情况                     | 达标                    |

由上表计算分析可知，医院新建放射性废水衰变池的废水排放浓度为  $1.54\text{Bq/L}$ ，能够满足核医学科产生的放射性废水的达标排放。

## 2) 放射性固体废弃物

由污染源分析可知，放射性固体废弃物主要包括核医学科分装瓶、吸水纸、消毒棉签、手套等物品。

需医院处理的核医学科放射性固废量为  $1\text{kg/d}$ ，医院将固体废弃物先收集在工作场所分装室和储源室的专用废物铅桶内，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，待其经过 10 个半衰期的存储衰变后，可作为一般医疗废物处理，对环境的影响很小。

核医学科病房的床单、被罩、病号服等用品可能存在表面污染，均包好后暂存到污洗间，

经检测，衰变到放射性核素活度浓度小于或等于清洁解控水平推荐值后，清洗再利用。

### 3) 放射性废气

由污染源分析可知，医务人员在放射性药物进行标记分装时，会有少量放射性核素挥发到空气中，产生放射性气溶胶。放射性核素分装稀释等在专用的通风橱内进行（通风橱内保持合适负压、高效过滤）。在通风橱层顶设置废气过滤装置，内置活性炭过滤器，清除废气中有害气体，使废气达到排放标准。

## 2. 直线加速器

加速器在运行过程中不产生放射性废水、放射性废气。

加速器运行过程中产生的 X 射线致空气电离会产生一定量的臭氧和氮氧化物等非放射性废气，加速器机房内设置通风系统，换气次数为 6-8 次/h，能及时排出产生的有害气体。

直线加速器靶物质以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生感生放射性，机器退役后更换下来的废靶间等应当做放射性废物处理，送有资质单位回收处理。

## 3. TOMO

TOMO 在运行过程的污染因子为 X 射线，同时还有少量辐解气体的产生，无废水、固废的产生。对 X 射线的防护措施，主要通过屏蔽的方式进行防护，确保出束时墙外的剂量率水平满足标准的要求。TOMO 机房内设置通风系统，能及时排出产生的辐解气体。

## 4. DSA

本项目 DSA 的主要污染因子为使用过程中产生的 X 射线，项目运行期间不产生放射性废气、废液及固体废物。本项目射线装置运行期间会产生电离粒子束流，故而产生臭氧和氮氧化物有害气体，但由于产生的粒子束流较小，臭氧和氮氧化物的量较少，且导管室内设有通风设施，每小时换气三次以上，通风条件较好，故所产生的有害气体对周围环境空气质量及周围工作人员影响极小。

表 11 环境影响分析

**建设阶段对环境的影响**

本项目核技术利用项目用房为医院院区建设内容的组成部分，本项目机房改造主要为在原有机房墙体厚度基础上采用混凝土现浇（回填）、重晶石混凝土涂抹、铅砖（或铅板）加厚等方式对墙体增加防护，对防护门增加防护，并对原有配套辅助用房等进行功能的重新分配及装修等，产生的环境影响主要是施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等环境影响。本项目工程量较小，没有大型机械设备进入施工场地，施工场地安排有序，施工人员较少，有抑尘措施，施工期短，合理安排施工秩序，施工时间，本项目对周围环境保护目标的影响在可接受的范围内。

1、施工噪声本项目产生噪声影响的主要是施工机械、运输、混凝土浇注及现场处理等。噪声值一般在 65~80dB（A）之间，施工场地的噪声对周围环境有一定的影响，但随着施工的开始而结束。

为了降低施工噪声对周围环境的影响，施工时应文明施工，合理安排施工时间，加快施工进度；同时应选择噪声级尽可能低的施工机械进行施工，对施工机械采取消声降噪措施，施工场所应采取消声减震措施，避免对放射科其他科室产生影响。

**2、施工扬尘**

本项目位于核医学科、内科大楼和放疗中心楼内，对现有机房进行改造，施工过程中由于散装水泥和建筑材料运输等活动会产生少量的扬尘，因此，要求合理安排施工时间，加快施工进度，通过缩短施工时间、封闭施工、洒水等相关措施，将对外环境扬尘影响降至最低。

**3、施工废水**

施工期污水主要来自两个方面：一是施工废水，二是施工人员的生活污水。

施工废水主要为清洗废水，除含有少量油污和泥沙外，基本没有其他污染因子，具有产生量小且成分相对简单的特性，可依托医院现有污水处理设施进行处理，对周围环境影响较小。

**4、施工固体废弃物**

本项目工程量小，项目施工期间固废主要为施工人员生活垃圾、少量建筑垃圾及施工废弃物。生活垃圾分类收集至相应的垃圾箱，后交由环卫部门清运。机房装修及设备拆除、安装过程将产生少量建筑装修垃圾及包装纸箱、泡沫填充物等。建筑装修垃圾由施工方统一交

由有资质的渣土运输公司处置，对包装纸箱等可回收利用的施工废物料应予以回收利用，其他部分分类收集后交由环卫部门清运。

综上所述，项目施工期环境影响只是一个短期效应，其影响将随着施工期停止而结束，在采取相应的污染防治措施后，项目施工期环境影响较小。

本项目在设备安装调试过程中，只要严格按照相关使用说明、相关管理制度执行，加强辐射防护管理和措施，在安装调试的过程中对环境的辐射影响不大。

## 运行阶段对环境的影响

本报告分别对核医学科非密封放射性物质、放疗中心加速器、TOMO、5 台 II 类射线装置（DSA）在使用过程中的辐射环境影响进行分析、预测和评价。主要对导管室周围剂量率水平，职业工作人员和公众人员所受的年有效剂量进行定量分析，并与标准要求进行了对比，得出是否满足标准要求的结论，最后对事故风险进行分析并给出预防措施及应急预案。

### 1. 非密封放射性物质环境影响分析

#### 1.1 计算公式

##### 1) $\gamma$ 外照射辐射剂量率计算公式

根据《辐射防护基础》（李星洪 等编）中照射率、吸收剂量率的关系，经整理后得出放射性核素产生的  $\gamma$  射线经屏蔽后的空气吸收剂量率计算公式如下：

$$\dot{D} = 8.69 \times 10^{-3} \times \frac{A_i \times \Gamma_i \times 10^{-x/T}}{r_i^2} \quad (\text{式 11-1})$$

式中：

$\dot{D}$ ——计算点的  $\gamma$  空气吸收剂量率，Gy/h；

$A_i$ ——操作某种放射性核素的活度，Ci；

$\Gamma_i$ ——某种放射性核素的  $\gamma$  照射率常数， $R \cdot m^2 / (h \cdot Ci)$ ；

$r_i$ ——源到计算点的距离，m；

$8.69 \times 10^{-3}$ ——单位换算系数，Gy/R，数据源自《辐射防护基础》中式 2.33；

$x$ ——屏蔽体厚度，mm；

$T$ ——屏蔽体半值层厚度，mm。

本项目涉及到的放射性核素的  $\gamma$  空气吸收剂量率计算参数见表 11-1。

表 11-1 放射性核素的  $\gamma$  空气吸收剂量率计算参数

| 核素        | $\gamma$ 照射率常数, $R \cdot m^2 / (h \cdot Ci)$ | 混凝土什值层, mm          | 铅什值层, mm           |
|-----------|----------------------------------------------|---------------------|--------------------|
| $^{131}I$ | 0.218 <sup>a)</sup>                          | 176.3 <sup>b)</sup> | 12.3 <sup>b)</sup> |

注: a) 数据引自《辐射防护手册》(第三分册 辐射安全)表 2.11。

b) 数据引自《辐射防护手册》(第三分册 辐射安全)表 2.12 中 1/10 值层厚度进行插值所得。

c) 本项目使用混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>。

## 2) 年有效剂量估算公式

根据《辐射防护基础》(李星洪 等编)中剂量当量的计算公式,整理后得出年有效剂量估算公式如下:

$$H = 10^3 \times \dot{D} \times Q \times N \times t \times q \quad (\text{式 11-2})$$

式中:

H——年有效剂量, mSv/a;

$10^3$ ——单位转换系数;

$\dot{D}$ ——计算点的  $\gamma$  吸收剂量率, Gy/h;

Q——品质因素, 对于  $\gamma$  射线, Q 取 1;

N——所有其他修正因素的乘积, ICRP26 号出版物指定 N=1;

t——年受照时间, h/a;

q——居留因子。

## 1.2 $^{131}I$ 治疗辐射环境影响分析

本项目  $^{131}I$  用于治疗甲亢和甲癌。由  $^{131}I$  污染因素分析,在核素治疗过程中,对环境的影响主要为  $\gamma$  射线、放射性废水及放射性固体废物。

### 1.2.1 $^{131}I$ 药物周围 $\gamma$ 辐射剂量率

本医院用于甲亢治疗日最大用量为  $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$  (40mCi), 甲癌治疗用量最大为  $2.96 \times 10^{10} \text{Bq}$  (800mCi), 则本项目日最大用量为  $3.108 \times 10^{10} \text{Bq}$  (840mCi) 进行预测。

#### 1) 储源室墙外 $^{131}I$ 产生的 $\gamma$ 辐射剂量率

储源室东、西、南侧墙体为 200mm 混凝土实心砖, 北侧墙体为 350mm 混凝土, 室顶为 150mm 混凝土, 地板为 2000mm 混凝土, 北侧、西侧 2 个防护门均为 5mm 铅当量。根据医院提供资料,  $^{131}I$  在给患者服用前, 存放在储源室的铅罐中, 铅罐厚度为 60mm。采用每批次最大用量  $3.108 \times 10^{10} \text{Bq}$  (0.84Ci), 对铅罐外 1m 处的  $\gamma$  辐射剂量率进行计算, 得到  $\gamma$  辐射剂量率为  $2.02 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ , 可知, 铅罐内药物对外环境产生的附加照射的辐射剂量率很小, 对储源室墙外的影响可以忽略不计。

## 2) 施药过程

工作人员将存有原液的铅罐置于碘全自动分装仪内，即在远程计算机设定样品的分配活度、体积和计划使用时间，系统会自动完成将放射性原料（母液）进行稀释处理、定量分配、在线活度测量和样品体积配比的全部工作。设备自动将原液稀释后引入设备内预先放置好的一次性杯子中，病人自己直接拿取盛有分装好药液的一次性杯子，在分装室自行服药即可。全过程进行严格监控，由于储源室铅罐内药物几乎不对周围外环境产生附加的照射剂量，因此分装室内操作人员基本不会受到药物的辐射影响。

碘全自动分装仪采用专用液面传感器和精密计量泵，可精确测量、设置药液的体积，并能够准确稀释和准确分配。全程使用计算机程序控制，提供了分配的准确性和一致性。

综上所述分析可知，在药物分装和病人服药过程中，工作人员不近距离接触药物。

工作人员近距离接触药物的过程为将铅罐从储源室转移至分装室过程以及将盛有药物的铅罐放在分装仪上。

按医院提供的资料，铅罐厚度为 60mm，医院每批次订购药物的最大量为  $3.108 \times 10^{10} \text{Bq}$  (0.84Ci)，转移过程中工作人员穿着 0.5mmPb 当量防护衣，戴 0.5mmPb 当量的防护手套，药物距离身体约为 30cm。工作人员在监控室中操作分装仪，有仪器自动打开铅罐进行分装。根据式 11-1，计算得出施药过程中人体所受  $\gamma$  辐射剂量率见表 11-2。

表 11-2 施药过程  $\gamma$  辐射剂量率预测

| 项目     | 考察点 | 屏蔽措施           | 辐射剂量率                      |
|--------|-----|----------------|----------------------------|
| 转移铅罐过程 | 身体  | 0.5mmPb 当量的防护衣 | 0.204 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) |

## 3) 分装室外的 $\gamma$ 辐射剂量率

本项目患者在分装室内服用  $^{131}\text{I}$ ，分装室内只容纳 1 名患者，服药后甲亢患者、甲癌患者均前往病房，本评价采用  $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$  (200mCi) 和  $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$  (20mCi) 作为源强总活度，计算  $\gamma$  辐射剂量率。

分装室四面墙体为 200mm 混凝土实心砖，地板为 2000mm 混凝土，与储源室相通防护门为 5mm 铅当量。根据式 11-1，计算得出  $^{131}\text{I}$  使用时处置室和地板下方的  $\gamma$  辐射剂量率如表 11-3 所示。

表 11-3  $^{131}\text{I}$  分装室外  $\gamma$  辐射剂量率

| 序号 | 治疗方式 | 计算点            | 屏蔽厚度         | 计算点到源距离 (m) | 计算点辐射剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|----|------|----------------|--------------|-------------|-------------------------------|
| 1  | 甲癌   | 东侧处置室墙内 30cm 处 | 200mm 混凝土实心砖 | 3.6         | 1.55                          |
| 2  |      | 地板下方 30cm 处    | 2000mm 混凝土   | 2.1         | $3.92 \times 10^{-10}$        |

|   |    |                |              |     |                        |
|---|----|----------------|--------------|-----|------------------------|
| 3 | 甲亢 | 东侧处置室墙内 30cm 处 | 200mm 混凝土实心砖 | 3.6 | 0.155                  |
| 4 |    | 地板下方 30cm 处    | 2000mm 混凝土   | 2.1 | $3.92 \times 10^{-11}$ |

由上表可知，分装室东侧处置室及地板下方  $\gamma$  辐射剂量率最大值为  $1.55 \mu\text{Gy/h}$ ，均小于  $2.5 \mu\text{Gy/h}$ ，满足墙外剂量率管理目标值要求。

#### 4) 病房外 $^{131}\text{I}$ 产生的 $\gamma$ 辐射剂量率

核医学科为  $^{131}\text{I}$  治疗共安排了 3 间放射病房，房间尺寸相近，屏蔽措施各不相同。每间病房每次最多有 2 人住院，病房 1 和病房 3 源强活度为  $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$  ( $200 \text{mCi}$ )，病房 2 源强活度为  $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$  ( $20 \text{mCi}$ )，对各放射病房预测  $^{131}\text{I}$  病房墙外  $\gamma$  辐射剂量率。根据式 11-1，计算得出病房外  $^{131}\text{I}$  产生的  $\gamma$  辐射剂量率如表 11-4 所示。

表 11-4  $^{131}\text{I}$  各病房外  $\gamma$  辐射剂量率

| 病房    | 序号 | 计算点              | 屏蔽厚度                    | 计算点到源距离<br>(m) | 计算点辐射剂量率<br>(μGy/h)   |                       |
|-------|----|------------------|-------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| 放射病房1 | 1  | 东侧抢救室内（东床）       | 350mm 混凝土               | 3.43           | 5.11×10 <sup>-2</sup> | 7.58×10 <sup>-2</sup> |
|       |    | 东侧抢救室内（西床）       | +10mm 铅                 | 4.93           | 2.47×10 <sup>-2</sup> |                       |
|       | 2  | 东侧会议室内（东床）       | 350mm 混凝土               | 8.10           | 9.14×10 <sup>-3</sup> | 1.56×10 <sup>-2</sup> |
|       |    | 东侧会议室内（西床）       | +10mm 铅                 | 9.60           | 6.51×10 <sup>-3</sup> |                       |
|       | 3  | 东侧护理站内（东床）       | 700mm 混凝土               | 3.48           | 3.36×10 <sup>-3</sup> | 5.01×10 <sup>-3</sup> |
|       |    | 东侧护理站内（西床）       |                         | 4.97           | 1.65×10 <sup>-3</sup> |                       |
|       | 4  | 西侧走廊外 30cm 处（东床） | 350mm 混凝土               | 7.10           | 7.79×10 <sup>-2</sup> | 2.04×10 <sup>-1</sup> |
|       |    | 西侧走廊外 30cm 处（西床） |                         | 5.58           | 1.26×10 <sup>-1</sup> |                       |
| 放射病房2 | 1  | 北墙外 30cm 处（北床）   | 400mm 混凝土               | 1.97           | 5.27×10 <sup>-2</sup> | 6.64×10 <sup>-2</sup> |
|       |    | 北墙外 30cm 处（南床）   |                         | 3.85           | 1.38×10 <sup>-2</sup> |                       |
|       | 2  | 北墙外值班室（北床）       | 400mm 混凝土               | 3.82           | 1.40×10 <sup>-2</sup> | 2.12×10 <sup>-2</sup> |
|       |    | 北墙外值班室（南床）       | 400mm 混凝土               | 5.34           | 7.17×10 <sup>-3</sup> |                       |
|       | 3  | 东墙外 30cm 处       | 400mm 混凝土<br>+350mm 混凝土 | 6.85           | 9.03×10 <sup>-5</sup> |                       |
|       | 4  | 东墙外办公室处          | 400mm 混凝土<br>+350mm 混凝土 | 8.43           | 5.96×10 <sup>-5</sup> |                       |
|       | 4  | 西侧走廊外 30cm 处（北床） | 350mm 混凝土               | 6.90           | 8.25×10 <sup>-3</sup> | 5.57×10 <sup>-2</sup> |
|       |    | 西侧走廊外 30cm 处（南床） | 15mm 铅                  | 6.90           | 4.75×10 <sup>-2</sup> |                       |
| 放射病房3 | 1  | 北墙外 30cm 处（北床）   | 400mm 混凝土               | 1.97           | 5.27×10 <sup>-1</sup> | 6.64×10 <sup>-1</sup> |
|       |    | 北墙外 30cm 处（南床）   |                         | 3.85           | 1.38×10 <sup>-1</sup> |                       |
|       | 2  | 北墙外值班室（北床）       | 400mm 混凝土               | 2.57           | 3.09×10 <sup>-1</sup> | 4.13×10 <sup>-1</sup> |
|       |    | 北墙外值班室（南床）       |                         | 4.45           | 1.03×10 <sup>-1</sup> |                       |
|       | 3  | 东墙外 30cm 处       | 400mm 混凝土               | 2.16           | 8.76×10 <sup>-1</sup> |                       |
|       | 4  | 东墙外办公室           | 400mm 混凝土               | 3.34           | 3.66×10 <sup>-1</sup> |                       |
|       | 5  | 东墙外会议室（北床）       | 400mm 混凝土               | 4.73           | 9.13×10 <sup>-2</sup> | 2.51×10 <sup>-1</sup> |
|       |    | 东墙外会议室（南床）       |                         | 3.58           | 1.59×10 <sup>-1</sup> |                       |

|   |                       |                    |            |      |                        |      |
|---|-----------------------|--------------------|------------|------|------------------------|------|
|   | 6                     | 南墙外(抢救室)30cm 处(北床) | 350mm 混凝土  | 3.41 | $3.38 \times 10^{-1}$  | 2.01 |
|   |                       | 南墙外(抢救室)30cm 处(南床) |            | 1.53 | 1.68                   |      |
|   | 7                     | 南墙外护理站内(北床)        | 350mm 混凝土  | 6.63 | $8.93 \times 10^{-2}$  | 0.26 |
|   |                       | 南墙外护理站内(南床)        |            | 4.75 | $1.74 \times 10^{-1}$  |      |
| 8 | 病房 1 和病房 3 地板外 30cm 处 |                    | 2000mm 混凝土 | 2.10 | $7.84 \times 10^{-10}$ |      |
| 9 | 病房 2 地板外 30cm 处       |                    | 2000mm 混凝土 | 2.10 | $7.84 \times 10^{-11}$ |      |

由上表可知,各病房墙外及地板外工作人员和公众人员经过或停留处 $\gamma$ 辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Gy/h}$ ,满足剂量率管理目标值要求。

### 5) 病房内 $^{131}\text{I}$ 产生的 $\gamma$ 辐射剂量率

对服用 $^{131}\text{I}$ 的甲癌患者,甲状腺切除, $^{131}\text{I}$ 进入患者体内后,会随着身体代谢,很快随着尿液、粪便等排出。根据《分化型甲状腺癌患者的 $^{131}\text{I}$ 有效半衰期》(易艳玲等,原子能科学与技术, Vol44, suppl. 2010.9)报道,甲癌患者的 $^{131}\text{I}$ 平均有效半衰期为 $(14.6 \pm 6.5)\text{h}$ ,本评价取最大值 $21.1\text{h}$ ,据此计算甲癌患者服药后的 $\gamma$ 辐射剂量率。

$^{131}\text{I}$ 对人体软组织的什值层为 $166\text{mm}$ ,人体屏蔽厚度取 $10\text{mm}$ 。根据式 11-1, $^{131}\text{I}$ 患者服药后的 $\gamma$ 辐射剂量率见表 11-5。

表 11-5 患者服药后病房内 $\gamma$ 辐射剂量率预测结果

| 项目 | 核素                           | 距患者距离 | $\gamma$ 辐射剂量率 $\mu\text{Gy/h}$ |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------------------------------|-------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|    |                              |       | 服用当天                            | 第2天  | 第3天  | 第4天  | 第5天  | 第6天  | 第7天  | 第8天  | 30天后 |
| 甲癌 | $^{131}\text{I}$<br>(200mCi) | 1m    | 330                             | 150  | 68.1 | 31.0 | 14.1 | 6.40 | 2.91 | 1.32 | --   |
| 甲亢 | $^{131}\text{I}$ (20mCi)     | 1m    | 33.0                            | 15.0 | 6.8  | 3.1  | 1.4  | 0.64 | 0.29 | 0.13 | --   |

从上表的预测值中可以看出,服药后患者对周围辐射环境影响随时间的增加而逐渐减小。甲癌患者服药后初期体外 $1\text{m}$ 处 $\gamma$ 辐射剂量率为 $330\mu\text{Gy/h}$ ,随时间增加而产生衰变,服药8天后,患者体外 $1\text{m}$ 处 $\gamma$ 辐射剂量率为 $1.32\mu\text{Gy/h}$ 。甲亢患者服药后初期体外 $1\text{m}$ 处 $\gamma$ 辐射剂量率为 $33\mu\text{Gy/h}$ ,随时间增加而产生衰变,服药5天后,患者体外 $1\text{m}$ 处 $\gamma$ 辐射剂量率为 $1.4\mu\text{Gy/h}$ 。为减少患者之间的相互影响,患者之间采用铅屏风隔开。

### 1.2.2 $^{131}\text{I}$ 治疗相关人员年有效剂量估算

#### 1) 转移铅罐和分装职业工作人员年有效剂量

$^{131}\text{I}$ 治疗过程中,主要考虑转移铅罐职业工作人员的辐射影响。由医院提供的资料可知:工作人员穿 $0.5\text{mm}$ 铅当量的铅衣将装有 $^{131}\text{I}$ 的铅罐从储源室转移至分装室,需时 $2\text{min}$ ,每周开展2次治疗(每次治疗6人),则每年操作100次。

工作人员在处置室操作分装,每次药物分装出至病人服药过程需时 $1\text{min}$ ,每周开展2次

分装过程，每次共计 6min，则每年操作 100 次。

职业工作人员在转移铅罐和分装过程中受到的附加年有效剂量如表 11-6 所示。

表 11-6  $^{131}\text{I}$  治疗职业工作人员转移铅罐和分装所受年有效剂量

| 操作   |    | 单次操作时间, min | 日操作时间, h | 年工作时间, h | 剂量率, $\mu\text{Gy/h}$ | 居留因子 | 年有效剂量, mSv/a          |                       |
|------|----|-------------|----------|----------|-----------------------|------|-----------------------|-----------------------|
| 转移铅罐 |    | 2           | 0.033    | 3.33     | 0.204                 | 1    | $6.81 \times 10^{-4}$ |                       |
| 分装   | 甲癌 | 1           | 0.067    | 6.67     | 0.155                 | 1    | $1.03 \times 10^{-2}$ | $1.08 \times 10^{-2}$ |
|      | 甲亢 | 1           | 0.033    | 3.33     | 1.546                 | 1    | $5.15 \times 10^{-4}$ |                       |
| 合计   |    |             |          |          |                       |      | $1.15 \times 10^{-2}$ |                       |

由上表计算结果可知，在  $^{131}\text{I}$  治疗过程中，转移铅罐和分装职业工作人员所受到的年有效剂量满足本项目职业工作人员年剂量约束值要求。

## 2) 病房周围人员年有效剂量

根据核医学科平面布局图，医院  $^{131}\text{I}$  治疗区域可能存在工作人员和公众人员受到辐射影响的位置主要有：病房周边房间以及地板下方。根据式 11-2 计算得出公众人员年有效剂量，其中公众受照时间为 2000h（每天最多 8h，全年 250d），公众人员受到的年有效剂量如表 11-7 所示。

表 11-7  $^{131}\text{I}$  治疗区域病房周边人员年有效剂量

| 序号 | 计算点                   | 人员   | 辐射剂量率（μGy/h）           |                       | 居留因子 | 年有效剂量（mGy/h）           |
|----|-----------------------|------|------------------------|-----------------------|------|------------------------|
| 1  | 北墙外值班室                | 公众人员 | 2.12×10 <sup>-2</sup>  | 4.34×10 <sup>-1</sup> | 1    | 8.67×10 <sup>-1</sup>  |
|    |                       |      | 4.13×10 <sup>-1</sup>  |                       |      |                        |
| 2  | 东墙外办公室                | 公众人员 | 5.96×10 <sup>-5</sup>  | 3.66×10 <sup>-1</sup> | 1    | 7.33×10 <sup>-1</sup>  |
|    |                       |      | 3.66×10 <sup>-1</sup>  |                       |      |                        |
| 3  | 东侧抢救室内                | 工作人员 | 7.58×10 <sup>-2</sup>  | 2.09                  | 1/4  | 8.77×10 <sup>-1</sup>  |
|    |                       |      | 2.01                   |                       |      |                        |
| 4  | 东侧护理站内                | 工作人员 | 5.01×10 <sup>-3</sup>  | 2.68×10 <sup>-1</sup> | 1    | 5.37×10 <sup>-1</sup>  |
|    |                       |      | 2.63×10 <sup>-1</sup>  |                       |      |                        |
| 5  | 东侧会议室                 | 公众人员 | 1.56×10 <sup>-2</sup>  | 2.67×10 <sup>-1</sup> | 1/4  | 1.33×10 <sup>-1</sup>  |
|    |                       |      | 2.51×10 <sup>-1</sup>  |                       |      |                        |
| 6  | 西侧走廊外 30cm 处          | 公众人员 | 2.04×10 <sup>-1</sup>  | 2.60×10 <sup>-1</sup> | 1/8  | 6.49×10 <sup>-2</sup>  |
|    |                       |      | 5.57×10 <sup>-2</sup>  |                       |      |                        |
| 7  | 病房 1 和病房 3 地板外 30cm 处 | 公众人员 | 7.84×10 <sup>-10</sup> |                       | 1    | 1.57×10 <sup>-9</sup>  |
| 8  | 病房 2 地板外 30cm 处       | 公众人员 | 7.84×10 <sup>-11</sup> |                       | 1    | 1.57×10 <sup>-10</sup> |

由上表计算结果可知，在  $^{131}\text{I}$  治疗过程中，病房周围工作人员所受的年有效剂量最大为  $8.77 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ ，小于工作人员年有效剂量管理目标值  $5 \text{mSv/a}$ 。病房周围公众人员所受的年

有效剂量最大为  $8.67 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ ，小于工作人员年有效剂量管理目标值  $0.25 \text{mSv/a}$ 。

## 2. 直线加速器

### 2.1 加速器技术参数及工作负荷

本报告对 X 射线能量为 15MV 的医用直线加速器对环境产生的影响进行评价。医用直线加速器的技术参数及工作负荷见表 11-8。

表 11-8 医用直线加速器的技术参数及工作负荷明细表

|      |                 |                                               |
|------|-----------------|-----------------------------------------------|
|      | 设备名称            | 医用直线加速器                                       |
|      | 生产厂家            | 瓦里安                                           |
|      | 型号              | Varian Truebeam                               |
|      | 电子线能量           | 20MeV 电子线                                     |
|      | X 线最大能量         | 15MV                                          |
| 技术参数 | 最大输出剂量率         | 15MV 时为 600cGy/min;<br>10MV 调强模式为 2400cGy/min |
|      | 电子束的最大剂量率       | 2200cGy/min                                   |
|      | 照射野范围           | 40cm×40cm                                     |
|      | 机架旋转范围          | ±180°                                         |
|      | 泄漏率（X 线、电子线、中子） | X 线：≤0.1%；电子：≤0.1%；中子：≤0.02%                  |
|      |                 |                                               |
| 工作负荷 | 每个病人每次出束时间      | 4min                                          |
|      | 每天治疗的人次数量       | 50 人                                          |
|      | 年工作时间           | 250 天                                         |
|      | 年曝光时间           | 833.34h                                       |

加速器产生的高能电子射线通过物质时主要与电子相碰撞而损失能量，从而引起物质的电离与激发。电子射线的特点是射程短，穿透能力弱。15MeV 的电子在空气中的最大射程约为 50.5m，电子在其通过的路径上遇到空气或材料会发生散射。加速器在运行时产生的高能电子束最大射程与所产生的 X 射线的射程相比很小，其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽，所以在屏蔽防护设计中主要考虑对 X 射线的防护。

### 2.2 机房面积符合性分析

本项目加速器机房的可使用面积约为  $80.3 \text{m}^2$ ，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“6.1.7 治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于  $45 \text{m}^2$ ”的要求。

### 2.3 加速器 15MV 运行时机房的屏蔽分析

#### 1) 有用线束主屏蔽区宽度核算

《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T

201.2-2011) 附录 D.1.2.5 给出的有用线束主屏蔽区半宽度计算公式如下:

$$Y = (100 + a + X) \lg 14^\circ + 30 \quad (\text{式 11-3})$$

式中:

Y—主屏蔽区半宽度, cm;

a—等中心点到最近主屏蔽墙的垂直距离, cm;

X—主屏蔽墙多于次屏蔽墙厚度, cm。

医用直线加速器机房有用线束屏蔽墙宽度核算结果及评价如下表所示。

**表 11-9 有用线束屏蔽墙宽度计算参数及结果**

| 直线加速器机房 |         |         |
|---------|---------|---------|
| 参数      | 取值      |         |
|         | 东墙主屏蔽   | 西墙主屏蔽   |
| a       | 390cm   | 390cm   |
| X       | 100cm   | 9cm     |
| Y       | 177.1cm | 174.6cm |
| 计算宽度    | 354.2cm | 349.2cm |
| 设计宽度    | 408cm   | 530cm   |
| 评价      | 满足      | 满足      |

## 2) 屏蔽透射因子 B 的计算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZT 201.2-2011) “5 屏蔽估算方法” 中在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时, 首先计算有效厚度  $X_e$  (cm), 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B, 再计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率。

$$X_e = X / \cos \theta = X \cdot \sec \theta \quad (\text{式 11-4})$$

式中:

X—设计屏蔽厚度, cm;

$\theta$ —斜射角;

$X_e$ —射线在斜射路径上的有效屏蔽厚度, cm。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11-5})$$

式中,  $TVL_1$  (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度, 当未指明  $TVL_1$  时,  $TVL_1 = TVL$ 。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T201.2-2011 的附录 B 表 B.1。

## 3) 主屏蔽屏墙蔽效果预测 (a 点、b 点、l 点)

射线路径（射线类型）： $O_1 \rightarrow a$ （主射线）、 $O_2 \rightarrow b$ （主射线）、 $O_3 \rightarrow l$ （主射线）。如图 11-1 和图 11-2 所示。

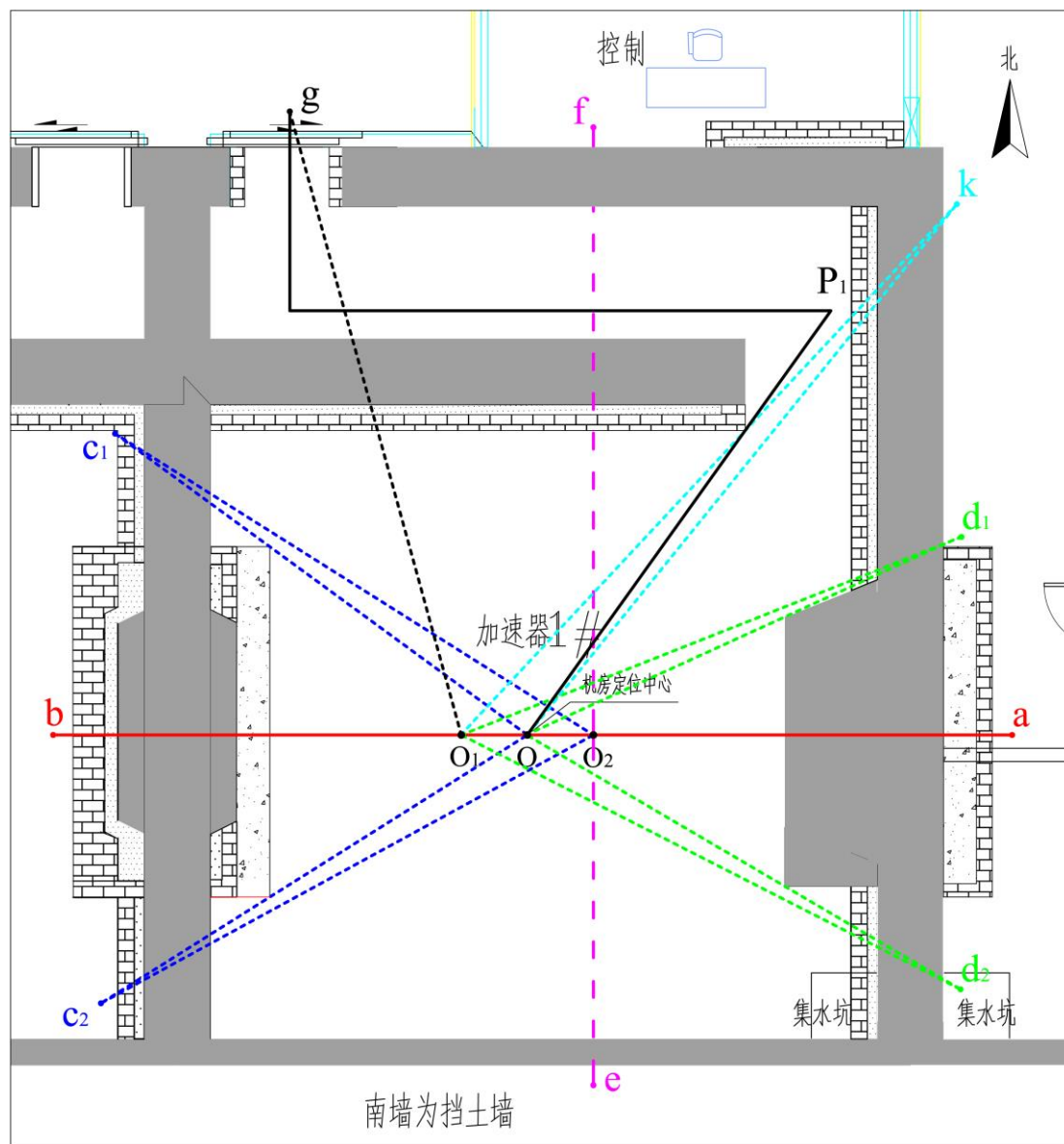


图 11-1 加速器运行时墙体周围的射线类型及路径 1

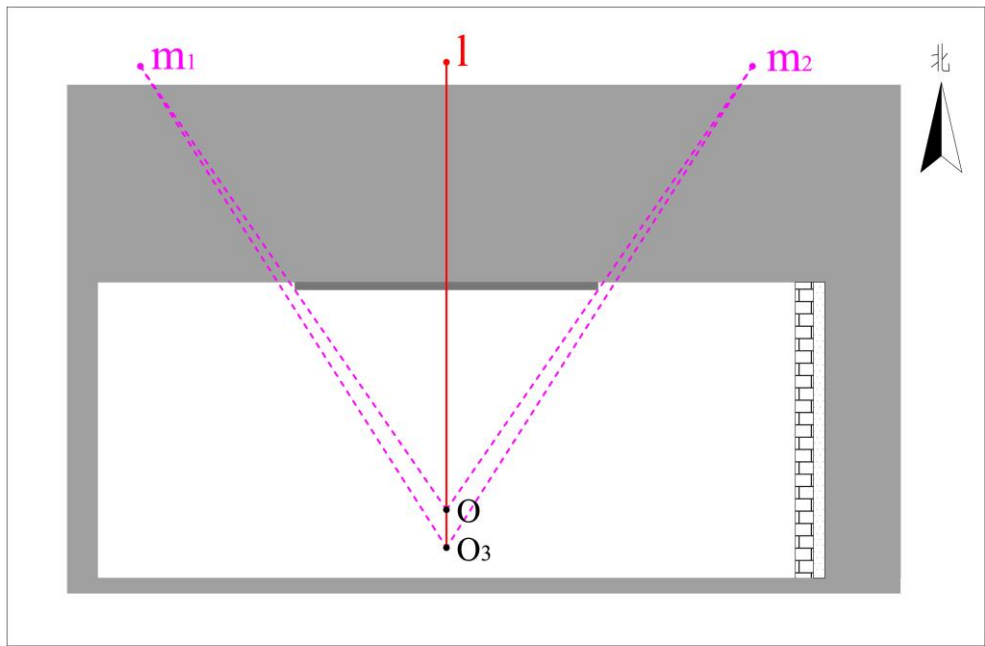


图 11-2 加速器运行时墙体周围的射线类型及路径 2

根据式 11-6 可以得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率，辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-11 所示。

$$H = H_0 \cdot f \cdot B / R^2 \tag{式 11-6}$$

式中：

$H$ —相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ （以  $\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{min}$  为单位的值乘以  $6 \times 10^7$ ），本项目 15MV 情况下为  $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，仅 10MV 以下的调强模式时为  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

$R$ —辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

$f$ —对有用线束为 1；对泄漏辐射为泄露辐射比率，本项目泄漏率为 0.1%；

$B$ —辐射屏蔽透射因子，根据式 11-5 计算。

将各个参数代入相应公式进行计算，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率，辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-10 所示。

表 11-10 主屏蔽区外关注点辐射剂量率计算参数和计算结果

| 参数           | 东墙主屏蔽（a 点） | 西墙主屏蔽（b 点） | 屋顶主屏蔽（l 点）     |
|--------------|------------|------------|----------------|
| $X$ （cm）     | 306.85 混凝土 | 300.30 混凝土 | 260 混凝土+10cm 钢 |
| $\theta$ （°） | 0          | 0          | 0              |
| $X_e$ （cm）   | 306.85 混凝土 | 300.30 混凝土 | 260 混凝土+10cm 钢 |

|                                                    |                       |                       |                       |
|----------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| TVL (cm)                                           | 41                    | 41                    | 41                    |
| TVL <sub>1</sub> (cm)                              | 44                    | 44                    | 44                    |
| B                                                  | $3.88 \times 10^{-8}$ | $5.61 \times 10^{-8}$ | $6.65 \times 10^{-8}$ |
| R (m)                                              | 8.34                  | 8.18                  | 6.40                  |
| $H_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ) | $3.60 \times 10^8$    | $3.60 \times 10^8$    | $3.60 \times 10^8$    |
| f                                                  | 1                     | 1                     | 1                     |
| $H$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )                    | 0.201                 | 0.302                 | 0.584                 |
| H ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 剂量率限值                | 2.5                   | 2.5                   | 2.5                   |
| 评价结果                                               | 满足                    | 满足                    | 满足                    |

注：Xe 由图纸中直接测量所得。

#### 4) 侧屏蔽墙屏蔽效果预测 (e 点、f 点)

射线路径 (射线类型)：O<sub>2</sub>→e (泄漏射线)、O<sub>2</sub>→f (泄漏射线)。根据式 11-6，可以得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率，辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-11 所示。

表 11-11 直线加速器机房侧屏蔽外关注点剂量率

| 参数                                                 | 北侧屏蔽墙 (f 点)           |
|----------------------------------------------------|-----------------------|
| X (cm)                                             | 234.3 混凝土             |
| $\theta$ (°)                                       | 0                     |
| Xe (cm)                                            | 234.3 混凝土             |
| TVL (cm)                                           | 33                    |
| TVL <sub>1</sub> (cm)                              | 36                    |
| B                                                  | $9.79 \times 10^{-8}$ |
| R (m)                                              | 9.2                   |
| $H_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ) | $3.60 \times 10^8$    |
| f                                                  | 0.001                 |
| $H$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )                    | $4.17 \times 10^{-4}$ |
| H ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 剂量率限值                | 2.5                   |
| 评价结果                                               | 满足                    |

注：Xe 由图纸中直接测量所得。

#### 5) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区的屏蔽效果预测 (c<sub>1</sub> 点、c<sub>2</sub> 点、d<sub>1</sub> 点、d<sub>2</sub> 点、m<sub>1</sub> 点、m<sub>2</sub> 点)

射线路径 (射线类型)：O<sub>2</sub>→O→c<sub>1</sub> (散射射线)、O<sub>2</sub>→O→c<sub>2</sub> (散射射线)、O<sub>1</sub>→O→d<sub>1</sub> (散射射线)、O<sub>1</sub>→O→d<sub>2</sub> (散射射线)、O<sub>3</sub>→O→m<sub>1</sub> (散射射线)、O<sub>3</sub>→O→m<sub>2</sub> (散射射线)。

$O_2 \rightarrow c_1$ （泄漏射线）、 $O_2 \rightarrow c_2$ （泄漏射线）、 $O_1 \rightarrow d_1$ （泄漏射线）、 $O_1 \rightarrow d_2$ （泄漏射线）、 $O_3 \rightarrow m_1$ （泄漏射线）、 $O_3 \rightarrow m_2$ （泄漏射线）。

对于位置  $c_1$  点、 $c_2$  点、 $d_1$  点、 $d_2$  点和  $m_1$  点、 $m_2$  点，考虑泄漏辐射和散射辐射的复合作用。

#### （1）泄漏辐射计算

泄漏辐射屏蔽估算利用式 11-6 进行计算。 $f=0.001$ ，为泄漏辐射比率。 $TVL_1$  和  $TVL$  保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为  $TVL_1=36\text{cm}$ ， $TVL=33\text{cm}$ 。

#### （2）散射辐射屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度  $X$ （cm）时，首先计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度  $X_e$ （cm），估算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ （其中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表 B.4 知，对于 15MV 的 X 射线，当散射角为  $30^\circ$  时，患者散射辐射在混凝土中什值层为 31cm，当散射角为  $45^\circ$  时，患者散射辐射在混凝土中什值层为 26cm，再按照式 11-7 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）。

$$H = \frac{H_0 \alpha_{ph} (F / 400)}{R_s^2} B \quad (\text{式 11-7})$$

式中：

$H$ —经患者身体一次散射辐射，在屏蔽体外关注点的剂量率水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ （以  $\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{min}$  为单位的值乘以  $6 \times 10^7$ ），本项目为  $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

$\alpha_{ph}$ —患者  $400\text{cm}^2$  面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称  $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子；

$F$ —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， $\text{cm}^2$ ；

$R_s$ —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

$B$ —辐射屏蔽透射因子，根据式 11-5 计算。

叠加次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的瞬时剂量率值，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平  $H$  相比较，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-12。

表 11-12 与主屏蔽区相连的次屏蔽区外关注点剂量率计算结果

| 参数 | 西墙次屏蔽 | 西墙次屏蔽 | 东墙次屏蔽 | 东墙次屏蔽 | 屋顶次屏蔽 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
|----|-------|-------|-------|-------|-------|

|                                       |                                        | (c <sub>1</sub> 点)            | (c <sub>2</sub> 点)    | (d <sub>1</sub> 点)            | (d <sub>2</sub> 点)    | (m <sub>1</sub> 、m <sub>2</sub> 点) |
|---------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
|                                       | X (cm)                                 | 100cm 混凝土+15cm 硫酸钡砂浆+24cm 实心砖 |                       | 100cm 混凝土+15cm 硫酸钡砂浆+24cm 实心砖 |                       | 260 混凝土                            |
|                                       | Xe (cm)                                | 171.3 混凝土                     | 165.5 混凝土             | 155.6 混凝土                     | 163.0 混凝土             | 308.5 混凝土                          |
|                                       | H <sub>0</sub> (μSv·m <sup>2</sup> /h) | 3.60×10 <sup>8</sup>          | 3.60×10 <sup>8</sup>  | 3.60×10 <sup>8</sup>          | 3.60×10 <sup>8</sup>  | 3.60×10 <sup>8</sup>               |
| 泄漏辐射                                  | TVL (cm)                               | 33                            | 33                    | 33                            | 33                    | 33                                 |
|                                       | TVL <sub>1</sub> (cm)                  | 36                            | 36                    | 36                            | 36                    | 36                                 |
|                                       | B                                      | 7.76×10 <sup>-6</sup>         | 1.19×10 <sup>-5</sup> | 2.37×10 <sup>-5</sup>         | 1.42×10 <sup>-5</sup> | 5.53×10 <sup>-10</sup>             |
|                                       | R (m)                                  | 8.56                          | 8.47                  | 8.15                          | 8.48                  | 7.52                               |
|                                       | f                                      | 0.001                         | 0.001                 | 0.001                         | 0.001                 | 0.001                              |
|                                       | H <sub>d1</sub>                        | 3.81×10 <sup>-2</sup>         | 5.96×10 <sup>-2</sup> | 1.29×10 <sup>-1</sup>         | 7.09×10 <sup>-2</sup> | 3.52×10 <sup>-6</sup>              |
| 散射辐射                                  | TVL (cm)                               | 31                            | 31                    | 31                            | 31                    | 26                                 |
|                                       | TVL <sub>1</sub> (cm)                  | 31                            | 31                    | 31                            | 31                    | 26                                 |
|                                       | R <sub>s</sub> (m)                     | 7.73                          | 7.63                  | 7.22                          | 7.61                  | 7.11                               |
|                                       | α <sub>ph</sub>                        | 2.77×10 <sup>-3</sup>         | 2.77×10 <sup>-3</sup> | 2.77×10 <sup>-3</sup>         | 2.77×10 <sup>-3</sup> | 1.05×10 <sup>-3</sup>              |
|                                       | B                                      | 2.91×10 <sup>-6</sup>         | 4.60×10 <sup>-6</sup> | 9.55×10 <sup>-6</sup>         | 5.52×10 <sup>-6</sup> | 1.36×10 <sup>-12</sup>             |
|                                       | F(cm <sup>2</sup> )                    | 1600                          | 1600                  | 1600                          | 1600                  | 1600                               |
|                                       | H <sub>p</sub> (μSv/h)                 | 1.94×10 <sup>-1</sup>         | 3.15×10 <sup>-1</sup> | 7.31×10 <sup>-1</sup>         | 3.80×10 <sup>-1</sup> | 4.06×10 <sup>-8</sup>              |
| H <sub>d</sub> 泄漏辐射和散射辐射的复合作用 (μSv/h) |                                        | 2.32×10 <sup>-1</sup>         | 3.74×10 <sup>-1</sup> | 8.59×10 <sup>-1</sup>         | 4.51×10 <sup>-1</sup> | 3.56×10 <sup>-6</sup>              |
| H (μSv/h) 剂量率限值                       |                                        | 2.5                           | 2.5                   | 2.5                           | 2.5                   | 2.5                                |
| 评价结果                                  |                                        | 满足                            | 满足                    | 满足                            | 满足                    | 满足                                 |

注: Xe 由图纸中直接测量所得。

#### 6) 迷道外墙屏蔽效果预测 (k 点)

射线路径 (射线类型): O<sub>1</sub>→k (为有用线束向迷路内墙照射时的泄漏射线)、O<sub>1</sub>→O→k (散射射线)。

根据式 11-6 和式 11-7, 可以得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率, 辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-13 所示。

表 11-13 迷道外墙屏蔽区外关注点剂量率计算参数和计算结果

| 参数                                     |                       | 迷道外墙屏蔽 (k 点)                  |
|----------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| X (cm)                                 |                       | 100cm 混凝土+15cm 硫酸钡砂浆+24cm 实心砖 |
| Xe (cm)                                |                       | 211.8 混凝土                     |
| H <sub>0</sub> (μSv·m <sup>2</sup> /h) |                       | 3.6×10 <sup>8</sup>           |
| 泄漏辐射                                   | TVL (cm)              | 33                            |
|                                        | TVL <sub>1</sub> (cm) | 36                            |
|                                        | B                     | 4.71×10 <sup>-7</sup>         |
|                                        | R (m)                 | 11.0                          |
|                                        | f                     | 0.001                         |

|                                           |                            |                       |
|-------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
|                                           | $H_d$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | $1.40 \times 10^{-3}$ |
| 散射<br>辐射                                  | TVL ( $\text{cm}$ )        | 26                    |
|                                           | TVL1 ( $\text{cm}$ )       | 26                    |
|                                           | $R$ ( $\text{m}$ )         | 10.34                 |
|                                           | $\alpha_{\text{ph}}$       | $1.05 \times 10^{-3}$ |
|                                           | $B$                        | $7.15 \times 10^{-9}$ |
|                                           | $F$ ( $\text{cm}^2$ )      | 1600                  |
|                                           | $H_p$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | $1.01 \times 10^{-4}$ |
| $H_d$ 泄漏辐射和散射辐射的复合作用 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |                            | $1.50 \times 10^{-3}$ |
| $H$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 剂量率限值            |                            | 2.5                   |
| 评价结果                                      |                            | 满足                    |

### 7) 迷道入口屏蔽效果预测 (g 点)

15MV 直线加速器机房的迷道散射主要考虑活化产生的中子 (包括加速器机头外的杂散中子、杂散中子在机房内壁的散射中子和相互作用生成的热中子) 在迷道内的散射中子和中子俘获  $\gamma$  射线在屏蔽门外的剂量率之和。

迷道散射的路径为: 加速器的出束点位向患者照射再散射至迷道拐角  $P_1$ , 再由迷道拐角散射至迷道口, 散射路径见图 11-2 中的  $O_1$ - $P_1$ -g。射线入射到人体时入射角为  $0^\circ$ , 散射角为  $90^\circ$ ; 经患者身体散射后的射线作为入射线照射至迷道拐角时, 入射角为  $45^\circ$ , 拐角至迷道口的散射角为  $0^\circ$ 。

#### (1) 总中子注量 $\Phi_{P1}$

散射路径中的  $P_1$  点是从等中心点与迷道内墙端的连线和迷道长轴之间的交点。在  $P_1$  点的总中子注量  $\Phi_{P1}$  按下式计算:

$$\Phi_{P1} = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \quad (\text{式 11-8})$$

式中的三项分别是加速器机头外的杂散中子、杂散中子在机房内壁的散射中子及所形成的热中子。

式中:

$\Phi_{P1}$ : 等中心处 1Gy 治疗照射时  $P_1$  处的总中子注量, (中子数/ $\text{m}^2$ ) Gy;

$Q_n$ : 在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数, 中子数/Gy, 由加速器供应商提供, NCRP No.151 的表 B.9 列出了一些型号加速器的  $Q_n$  值, 暂取 Varian 1800(15MV) 的值  $0.76 \times 10^{12}$ ;

$d_1$ : 等中心点  $O_1$  至  $P_1$  点的距离;

S: 加速器机房的总内表面积, 包括四壁墙、顶面和底面, 不包括迷道内各面积, 本项目为 308.1m<sup>2</sup>。

(2) 机房入口的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率 ( $H_\gamma$ )

机房内及迷道中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获  $\gamma$  射线, 机房入口门外的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率按下式计算:

$$H_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \times \Phi_{P1} \times 10^{-d_2/TVD} \times 10^{-X_\gamma/T_\gamma} \times H_0 \times 6 \times 10^7 \quad (\text{式 11-9})$$

式中:

$H_\gamma$ : 机房入口门外中子俘获  $\gamma$  射线剂量率,  $\mu\text{Gy/h}$ ;

$6.9 \times 10^{-16}$ : 该方法中的经验因子,  $\text{Sv}/(\text{中子数}/\text{m}^2)$ ;

$\Phi_{P1}$ : 等中心处 1Gy 治疗照射时 P1 处的总中子注量,  $(\text{中子数}/\text{m}^2)/\text{Gy}$ ;

$d_2$ : P1 点至机房入口的距离, m;

TVD: 将  $\gamma$  辐射剂量率减至其十分之一的距离 (称为什值距离), 对于 15MV 加速器为 3.9m;

$X_\gamma$ : 15MV 直线加速器机房屏蔽门中屏蔽  $\gamma$  射线的铅板厚度, 本项目为 20mm;

$\text{TVL}_\gamma$ : 导出的铅对中子俘获  $\gamma$  射线的十分之一值层厚度, 取 31mm, 数据来源于《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011) 附录 C.2;

$H_0$ : 距离加速器焦点 1m 处的辐射源强 ( $\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$ ), 本项目 15MV 直线加速器为  $6\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$ ;

$6 \times 10^7$ : 将单位  $\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$  换算为  $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$  的换算系数。

(3) 机房入口的中子剂量率 ( $H_n$ )

机房内的中子经迷道散射后在机房入口门外的中子剂量率按下式计算:

$$H_n = 2.4 \times 10^{-15} \times \Phi_{P1} \times \sqrt{S_0/S_1} \times [1.64 \times 10^{-d_2/1.9} + 10^{-d_2/T_n}] \times 10^{-X_n/\text{TVL}_n} \times H_0 \times 6 \times 10^7 \quad (\text{式 11-10})$$

式中:

$H_n$ : 机房入口门外中子剂量率,  $\mu\text{Gy/h}$ ;

$2.4 \times 10^{-15}$ : 该计算方法中的经验因子,  $\text{Sv}/(\text{中子数}/\text{m}^2)$ ;

$\Phi_{P1}$ : 等中心处 1Gy 治疗照射时 P1 处的总中子注量,  $(\text{中子数}/\text{m}^2)/\text{Gy}$ ;

$S_0$ : 迷道内口的面积, m<sup>2</sup>;

$S_1$ : 迷道横截面积, m<sup>2</sup>;

$d_2$ :  $P_1$  点至机房入口的距离, m;

$T_n$ : 迷道中能量相对高的中子剂量组 (上式方括号中第二项) 衰减至十分之一行径的距离 (m), 称为什值距离。 $T_n$  是一个经验值, 与迷道横截面积有关,  $T_n$  按下式计算:

$$T_n = 2.06\sqrt{S_1} \quad (\text{式 11-11})$$

$X_n$ : 屏蔽门内用于中子的含硼聚乙烯厚度, mm;

$TVL_n$ : 含硼聚乙烯的十分之一值层厚度, mm;

$H_0$ : 距离加速器靶 1m 处的辐射源强 ( $\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$ ), 对 15MV 直线加速器为  $6\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$

$6\times 10^7$ : 将单位  $\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$  换算为  $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{h}$  的换算系数。

根据上式可以得到机房入口门外关注点的剂量率, 辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-14 所示。

表 11-14 直线加速器机房迷道口屏蔽门外剂量率水平

| 编号 | 迷道<br>散射<br><br><br>g   | 中子注量          | Q <sub>n</sub>                 |                                | d <sub>1,m</sub>    |                        | S,m <sup>2</sup>      |                       | Φ <sub>P1</sub>        |  | 合<br>计,μGy/h |
|----|-------------------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|--|--------------|
| g  |                         |               | 7.6×10 <sup>11</sup>           |                                | 7.9                 |                        | 308.1                 |                       | 3.58×10 <sup>9</sup>   |  | 1.010        |
|    |                         | 中子俘获<br>γ 剂量率 | d <sub>2</sub> , m             |                                | X <sub>γ</sub> , mm |                        | TVL <sub>γ</sub> ,mm  |                       | H <sub>γ</sub> , μGy/h |  |              |
|    |                         |               | 8.2                            |                                | 16.55               |                        | 31                    |                       | 6.90×10 <sup>-1</sup>  |  |              |
|    |                         | 中子剂量<br>率     | S <sub>0</sub> ,m <sup>2</sup> | S <sub>1</sub> ,m <sup>2</sup> | d <sub>2</sub> ,m   | Xn,mm                  | TVLn,mm               | Hn,μGy/h              |                        |  |              |
|    |                         |               | 7.8                            | 7.8                            | 8.2                 | 120                    | 45                    | 2.52×10 <sup>-1</sup> |                        |  |              |
| 漏射 |                         | 屏蔽体厚<br>度(mm) |                                | 距离(m)                          | T<br>(mm)           | T <sub>1</sub><br>(mm) | T <sub>铅</sub> (mm)   | H <sub>d</sub>        |                        |  |              |
|    | 1497 混凝<br>土+16.55<br>铅 |               | 9.8                            | 330                            | 360                 | 57                     | 6.89×10 <sup>-2</sup> |                       |                        |  |              |

根据上述计算结果可知: 本项目直线加速器机房周围 30cm 处剂量率水平最大值出现在直线加速器机房门外 30cm 处, 为  $1.01\mu\text{Gy}/\text{h}$ , 小于《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 标准要求的墙外及门外 30cm 处的剂量率限值  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

## 2.4 加速器 10MV 运行时机房的屏蔽分析

加速器 10MV 运行时, 在一般情况下 1m 处的常用最高剂量率与 15MV 运行情况下相同, 为  $3.6\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ , 理论上该运行模式下其机房外剂量率小于《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 标准要求的墙外及门外 30cm 处的剂量率限值  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

加速器 10MV 运行时, 可能会采用调强模式, 即最大输出剂量率可达  $2400\text{cGy}/\text{min}$ , 1m 处的最高剂量率可达  $1.44\times 10^9\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ , 本项目选择各主要方向屏蔽较薄处典型点位进行预

测计算，结果见表 11-15。

**表 11-15 直线加速器机房机房外典型点位剂量率水平**

| 预测点位         | 辐射类型                                                   | 剂量率, $\mu\text{Sv/h}$ |                       |
|--------------|--------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|              |                                                        | 15MV                  | 10MV                  |
| 屋顶 (1 点)     | 主射方向辐射                                                 | 0.584                 | 0.522                 |
| 北侧屏蔽墙 (f 点)  | 泄露辐射                                                   | $4.17 \times 10^{-4}$ | $6.34 \times 10^{-4}$ |
| 东墙次屏蔽 (d1 点) | 泄露和散射辐射                                                | 0.859                 | 1.251                 |
| 西墙次屏蔽 (c2 点) | 泄露和散射辐射                                                | 0.374                 | 0.511                 |
| 机房迷道口 (g 点)  | 15MV 为中子俘获 $\gamma$ 剂量率、中子剂量率和漏射辐射; 10MV 为泄露辐射和迷道散射辐射。 | 1.010                 | 0.344                 |

注: 屋顶主射线 TVL 为 37cm, TVL1 为 41cm; 漏射线 TVL 为 31cm, TVL1 为 35cm。

机房迷道口散射辐射剂量率采用 GBZT 201.2-2011 中 5.2.6.1 计算公式预测。

根据上述计算结果可知: 本项目直线加速器以 10MV 运行时, 机房周围 30cm 处剂量率水平最大值出现在直线加速器机房东墙次屏蔽 (d1 点) 处, 为  $1.251\mu\text{Gy/h}$ , 小于《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 标准要求的墙外及门外 30cm 处的剂量率限值  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

## 2.5 加速器相关人员年有效剂量估算

根据医院提供的资料, 直线加速器机房内的设备年出束时间为 833.34h, 由于 10MV 运行时调强模式使用几率很低 (年治疗小于 10 例), 故采用 15MV 运行状态计算医用直线加速器机房周围职业工作人员和公众人员的年有效剂量, 如表 11-16 所示。

**表 11-16 直线加速器机房周围相关人员年有效剂量**

| 序号 | 点位              | 人员类别   | 年受照时间 (h/a) | 剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 居留因子 | 年有效剂量 (mSv/a)         |
|----|-----------------|--------|-------------|--------------------------|------|-----------------------|
| 1  | 加速器控制室          | 职业工作人员 | 833.34      | $1.83 \times 10^{-1}$    | 1    | $3.47 \times 10^{-4}$ |
| 2  | 加速器机房东墙外        | 公众人员   | 833.34      | $8.59 \times 10^{-1}$    | 1/16 | $4.47 \times 10^{-2}$ |
| 3  | 加速器机房门外         | 公众人员   | 833.34      | 1.01                     | 1/16 | $5.26 \times 10^{-2}$ |
| 4  | 加速器机房屋顶 (室外停车场) | 公众人员   | 833.34      | $5.84 \times 10^{-1}$    | 1/16 | $3.04 \times 10^{-2}$ |

由上表计算结果可知, 直线加速器机房控制室职业工作人员所受年有效剂量为  $3.47 \times 10^{-4}\text{mSv/a}$ , 小于  $5\text{mSv/a}$  的职业工作人员年有效剂量限值要求; 直线加速器机房的公众人员所受的年有效剂量最大值为  $5.26 \times 10^{-2}\text{mSv/a}$ , 小于公众人员年有效剂量限值  $0.25\text{mSv/a}$ 。因此, 医院医用直线加速器机房周围职业工作人员和公众人员的年有效剂量均满足年有效剂量限值的要求。

## 2.6 加速器机房外剂量率实测值

根据《厦门大学附属第一医院核技术利用项目电离辐射环境现状检测报告》，加速器运行前后，对机房四周及屋顶进行 X- $\gamma$  剂量率实地监测，布点图见图 11-3，结果见表 11-17。根据《厦门大学附属第一医院核技术利用项目电离辐射环境现状检测报告》，加速器运行前后，对机房四周及屋顶进行中子剂量当量率实地监测，布点图见图 11-4，结果见表 11-18。

表 11-17 直线加速器运行时机房周围 X- $\gamma$  剂量率监测值

| 监测编号 | 监测点位                  | 平均 X- $\gamma$ 辐射剂量率 nSv/h |          |           | 加速器运行贡献剂量率 nSv/h |           |
|------|-----------------------|----------------------------|----------|-----------|------------------|-----------|
|      |                       | 运行前                        | 15MVX 射线 | 20MeV 电子线 | 15MVX 射线         | 20MeV 电子线 |
| 1#   | 1#直线加速器屏蔽门左侧门缝 30cm 处 | 169                        | 367      | 163       | 198              | /         |
| 2#   | 1#直线加速器屏蔽门中部 30cm 处   |                            | 445      | 162       | 276              | /         |
| 3#   | 1#直线加速器屏蔽门右侧门缝 30cm 处 |                            | 356      | 153       | 187              | /         |
| 4#   | 1#直线加速器屏蔽门上侧门缝 30cm 处 |                            | 352      | 145       | 183              | /         |
| 5#   | 1#直线加速器屏蔽门下侧门缝 30cm 处 |                            | 370      | 157       | 201              | /         |
| 6#   | 1#直线加速器控制室            | 145                        | 245      | 189       | 100              | 44        |
| 7#   | 1#直线加速器西侧通道 1         | 154                        | 192      | 178       | 38               | 24        |
| 8#   | 1#直线加速器西侧通道 2         |                            | 281      | 262       | 127              | 108       |
| 9#   | 1#直线加速器西侧冷却机房         |                            | 235      | 218       | 81               | 64        |
| 10#  | 1#直线加速器东侧             | 159                        | 224      | 215       | 65               | 56        |
| 11#  | 1#直线加速器东侧             |                            | 258      | 203       | 99               | 44        |
| 12#  | 1#直线加速器东侧             |                            | 234      | 224       | 75               | 65        |
| 13#  | 1#直线加速器上方停车场          | 169                        | 177      | 173       | 8                | 4         |
| 14#  | 1#直线加速器上方 CT 室        | 148                        | 240      | 233       | 92               | 85        |

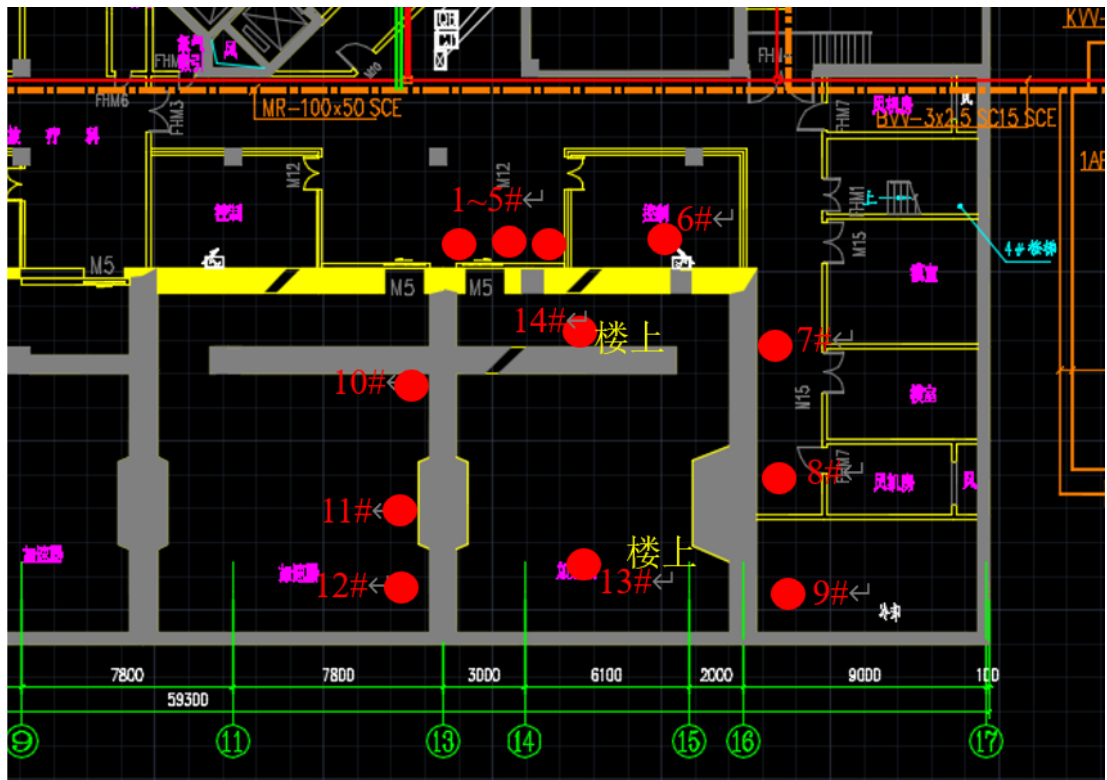


图 11-3 直线加速器运行状态监测布点图 1 (X- $\gamma$  剂量率)

表 11-18 直线加速器运行时机房周围中子剂量当量率监测值

| 序号 | 检测对象  | 检测点位                  | 中子剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |       |
|----|-------|-----------------------|------------------------------|-------|
|    |       |                       | 关机                           | 开机    |
| 1  | 加速器机房 | 1#直线加速器屏蔽门左侧门缝 30cm 处 | 未检出                          | 未检出   |
| 2  |       | 1#直线加速器屏蔽门中部 30cm 处   | 未检出                          | 未检出   |
| 3  |       | 1#直线加速器屏蔽门右侧门缝 30cm 处 | 未检出                          | 未检出   |
| 4  |       | 1#直线加速器屏蔽门上侧门缝 30cm 处 | 未检出                          | 未检出   |
| 5  |       | 1#直线加速器屏蔽门下侧门缝 30cm 处 | 未检出                          | 未检出   |
| 6  |       | 1#直线加速器控制室            | 未检出                          | 0.021 |
| 7  |       | 1#直线加速器东侧             | 未检出                          | 未检出   |
| 8  |       | 1#直线加速器西侧通道           | 未检出                          | 未检出   |
| 9  |       | 1#直线加速器上方 CT 室        | 未检出                          | 未检出   |
| 10 |       | 1#直线加速器上方停车场          | 未检出                          | 未检出   |

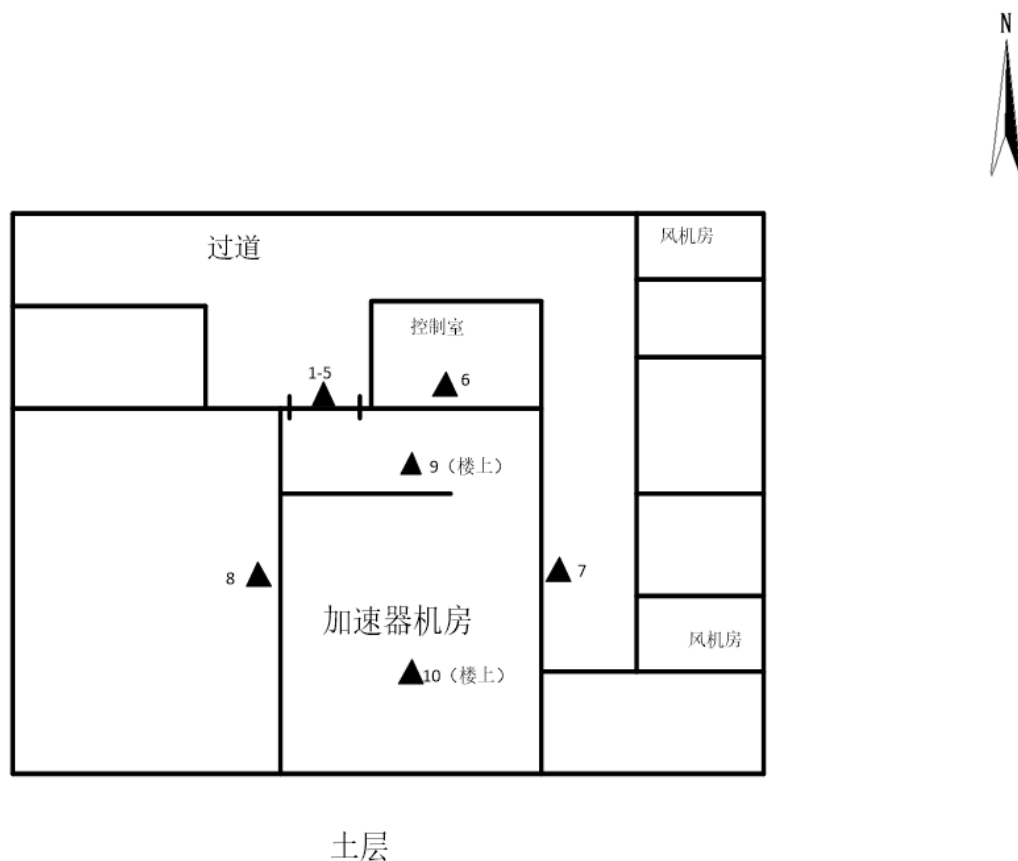


图 11-4 直线加速器运行状态监测布点图 2（中子监测）

根据《厦门大学附属第一医院核技术利用项目电离辐射环境现状检测报告》，直线加速器运行过程机房周边 X- $\gamma$  辐射剂量率范围为 145~370nSv/h，中子剂量当量率最大为 21 nSv/h，小于《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）标准要求的墙外及门外 30cm 处的剂量率限值 2.5 $\mu$ Sv/h。此外，加速器运行贡献的 X- $\gamma$  辐射剂量率范围为 4~276nSv/h，中子剂量当量率最大为 21 nSv/h，贡献值均较小。

此外，福建省正常天然本底辐射水平为 25.9~399.1nGy/h（《中国环境天然放射性水平》，1995 年），直线加速器运行过程中机房周围辐射剂量率与本底值处于同一水平。

## 2.7 加速器运行时产生的 O<sub>3</sub> 和氮氧化物分析

空气中的 O<sub>2</sub> 在  $\gamma$  光子的作用下，生成自由基，与空气中的 O<sub>2</sub> 结合生成 O<sub>3</sub>，O<sub>3</sub> 是与辐射相关的非辐射危害因素。O<sub>3</sub> 的主要毒性是氧化作用，对粘膜有很强的刺激作用，中毒症状为肺功能下降，呼吸道感染、鼻炎等。氮氧化物主要引起神经毒性的症状和体征：嗜睡、精神萎靡、注意力涣散、记忆力减退、四肢麻木、小腿肌痉挛等。

### 1) O<sub>3</sub> 的分析

### (1) 估算方法

加速器 X 射线和电子线是扩展辐射束，根据 IAEA188 《Radiological Safety Aspects of the Operation of Electron Linear Accelerators》（《电子直线加速器工作的辐射安全问题》）和《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 VoL, 2, P101, 1994），加速器辐射所致 O<sub>3</sub> 的产额估算方法如下：

#### ① 有用线束所致 O<sub>3</sub> 的产额

$$P = 2.43 \times D_0^{\square} (1 - \cos \theta) \times R \times G \quad (\text{式 11-12})$$

式中：

P—O<sub>3</sub> 产额，mg/h；

$D_0^{\square}$ —辐射有用线束在距靶 1m 处的输出量，Gy · m<sup>2</sup>/min；

R—靶到屏蔽物（墙）的距离，m；

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O<sub>3</sub> 分子数（G=10）；

θ—有用线束的半张角，本次预算 θ=14°。

#### ② 泄露辐射的 O<sub>3</sub> 产额

将泄露辐射看成 4π 方向均匀分布的点源（包括有用线束区限定的空间区），并考虑机房壁的散射线使室内 O<sub>3</sub> 的产额增加 10%，O<sub>3</sub> 的产额 P（mg/h）为：

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \times \dot{D}_0 \times G \times V^{1/3} \quad (\text{式 11-13})$$

式中：

V—加速器机房的体积，m<sup>3</sup>；

其余符号同式（11-12）。

#### ③ O<sub>3</sub> 的浓度

设：O<sub>3</sub> 的分解时间为 t<sub>d</sub>（通常取为 0.83h），机房通风换气周期为平均每次换气需通风时间为 t<sub>v</sub>（h）。

则机房最高饱和 O<sub>3</sub> 浓度（mg/m<sup>3</sup>）为：

$$Q = \frac{P}{V} \bar{T} \quad (\text{式 11-14})$$

式中：

V—加速器机房的体积，m<sup>3</sup>；

$\bar{T}$ —O<sub>3</sub> 的有效清除时间, h, 计算公式如下:

$$\bar{T} = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (\text{式 11-15})$$

式中:

$t_v$ —机房换气一次所需通风时间, h;

$t_d$ —O<sub>3</sub> 的分解时间, 通常取 0.83h;

(2) 估算结果

①O<sub>3</sub> 的产额

该直线加速器的参数及 O<sub>3</sub> 的产额计算结果如下表所示:

表 11-19 医用直线加速器的参数及 O<sub>3</sub> 的产额

| 序号 | 加速器机房   | D <sub>0</sub><br>(Gy·m <sup>2</sup> /min) | R (m) | 半张角<br>θ (°) | 机房体积<br>V, (m <sup>3</sup> ) | 有用线束<br>O <sub>3</sub> 产额<br>(mg/h) | 泄露辐射<br>的 O <sub>3</sub> 产额<br>(mg/h) | 总的 O <sub>3</sub> 产<br>额 (mg/h) |
|----|---------|--------------------------------------------|-------|--------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1  | 直线加速器机房 | 6                                          | 4.9   | 14           | 397.61                       | 21.26                               | 1.46                                  | 22.73                           |

② O<sub>3</sub> 的浓度

以每小时通风换气次数为 6 次计算,  $t_v=0.167h$ ,  $t_d=0.83h$ , 按公式 11-15 计算得出  $\bar{T}=0.139h$ , V 为含迷道的机房体积。则直线加速器机房产生的 O<sub>3</sub> 浓度计算结果见表 11-20。

表 11-20 医用直线加速器机房的 O<sub>3</sub> 浓度

| 序号 | 加速器机房   | $t_v$ (h) | $t_d$ (h) | $\bar{T}$ (h) | P (mg/h) | V (m <sup>3</sup> ) | Q (mg/m <sup>3</sup> ) |
|----|---------|-----------|-----------|---------------|----------|---------------------|------------------------|
| 1  | 直线加速器机房 | 0.167     | 0.83      | 0.139         | 22.73    | 397.61              | $7.95 \times 10^{-3}$  |

综上所述, 15MV 直线加速器工作时, O<sub>3</sub> 产额为 22.73mg/h, 设计的通风换气次数为 6-8 次/小时, 直线加速器机房内 O<sub>3</sub> 最大饱和浓度分别为  $7.95 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$ , 满足《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分: 化学有害因素》(GBZ 2.1-2007) 中“工作场所空气中 O<sub>3</sub> 的容许浓度不高于 0.3mg/m<sup>3</sup>”的规定。

## 2) 氮氧化物的分析

在多种氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 中, 以 NO<sub>2</sub> 为主, 其产额约为 O<sub>3</sub> 的三分之一, 工作场所中的限值为 O<sub>3</sub> 浓度的 1.5 倍, 《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中规定的外部环境中 NO<sub>2</sub> 的浓度限值与 O<sub>3</sub> 相近。在 O<sub>3</sub> 浓度能满足标准要求的情况下, 氮氧化物的浓度也能满足标准要求。

### 3. TOMO

根据医院提供的资料，TOMO 用房包括治疗室（含迷路）、控制室以及候诊区。治疗室（不含迷路）最小内空几何尺寸为 8.9m（长）×6.2m（宽）×3.9m（吊顶后净空高 3m），迷路位于机房北侧，为二阶迷路。治疗室南面为土层，无地下层。

#### 3.1 TOMO 治疗室屏蔽能力估算要点

（1）拟建项目配置的 TOMO 带有两种工作状态，即成像状态和治疗状态。成像状态时能量为 3.5MV 的 X 射线，治疗状态能量为 6MV 的 X 射线。本次理论估算按最大能量 6MV 的 X 射线进行计算。TOMO 治疗室以 TOMO 治疗状态下 6MV 的 X 射线相关参数作为屏蔽计算依据。

（2）在 TOMO 机架旋转治疗筒内，有用线束对应的筒壁区带有 15.2cm 的铅板，由于其和治疗筒件的总屏蔽效能，使有用束对应的治疗筒外的辐射剂量与泄漏辐射相当。因此，按屏蔽泄漏和散射辐射考虑治疗室屏蔽，对有用线束直接投射的区域，也按屏蔽泄漏和散射辐射考虑。TOMO 治疗设备不同角度 1m 处漏射和散射比可通过设备说明获取，角度分布见图 11-5。

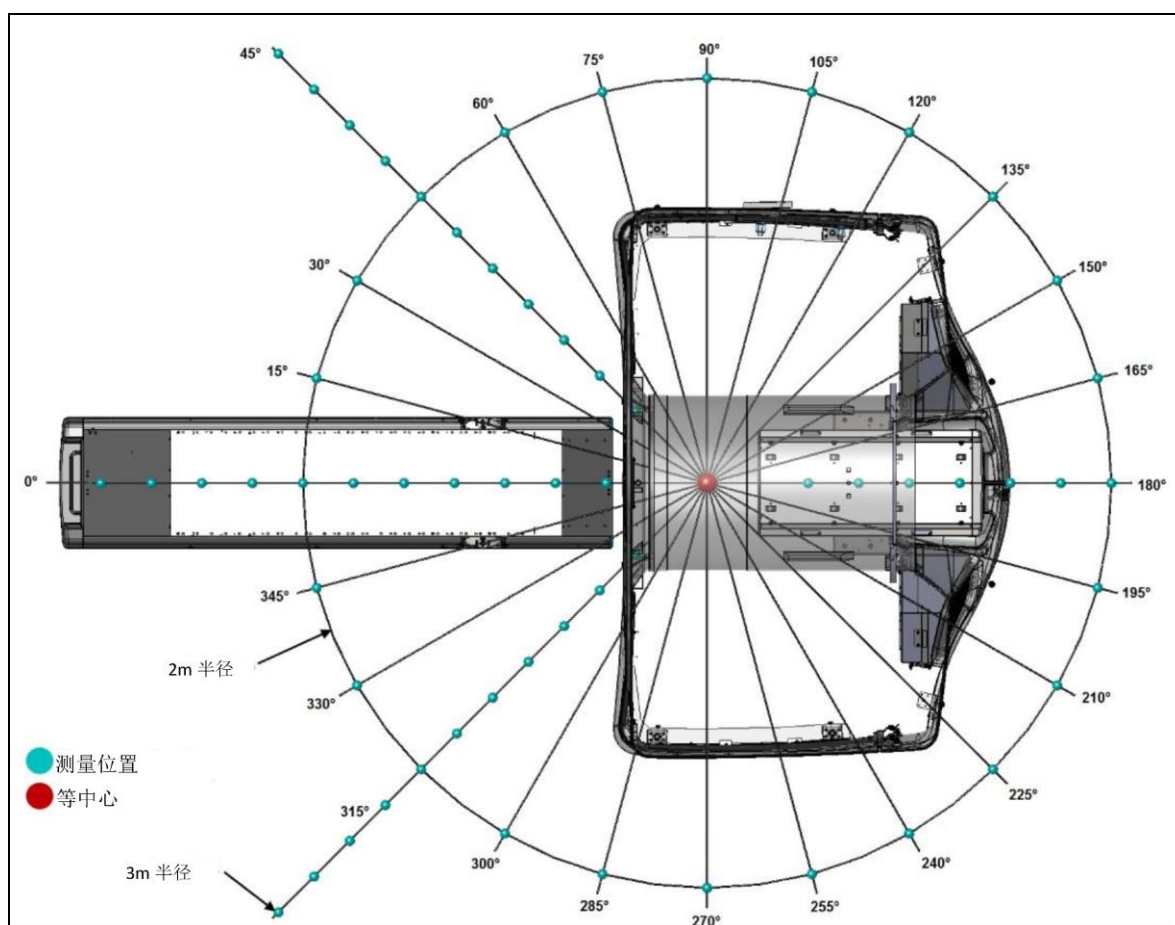


图 11-5 TOMO 泄漏和散射辐射的角度水平面（与等中心相交）

(3)拟建项目配置的 TOMO 的 X 射线最大能量为 6MV,最大输出剂量率为 850cGy/min,即 8.5Gy/min,按照加速器(≤10MV)机房的迷路散射辐射公式进行机房迷路及防护门屏蔽计算。

本报告对 X 射线能量为 6MV 的 TOMO 对环境产生的影响进行评价。TOMO 的工作负荷见表 11-21。

表 11-21 TOMO 的工作负荷明细表

|      | 设备名称       | TOMO    |
|------|------------|---------|
| 工作负荷 | 每个病人每次出束时间 | 4min    |
|      | 每天治疗的人次数量  | 50 人    |
|      | 年工作时间      | 250 天   |
|      | 年曝光时间      | 833.34h |

### 3.2 机房面积符合性分析

本项目 TOMO 机房的可使用面积约为 55.2m<sup>2</sup>,满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)中“6.1.7 治疗室应有足够的使用面积,新建治疗室不应小于 45m<sup>2</sup>”的要求。

### 3.3 TOMO 机房的屏蔽分析

#### 1) 屏蔽透射因子 B 的计算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分:电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)“5 屏蔽估算方法”中的公式计算在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时,首先计算有效厚度 X<sub>e</sub> (cm),估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B,再计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率。

$$X_e = X / \cos \theta = X \cdot \sec \theta \quad (\text{式 11-16})$$

式中:

X—设计屏蔽厚度, cm;

θ—斜射角;

X<sub>e</sub>—射线在斜射路径上的有效屏蔽厚度, cm。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11-17})$$

式中, TVL<sub>1</sub> (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。根据 TOMOX 射线能量查 GBZ/T201.2-2011 的附录 B 表 B.1,对于混凝土得 TVL<sub>1</sub>=34cm, TVL=29cm, 对于铅得 TVL<sub>1</sub>=TVL=5.7cm。

## 2) 四周墙体屏蔽效果预测

TOMO 机房四周墙体外剂量率均考虑漏射和散射，治疗设备不同水平角度的漏射和散射占最大剂量率的比是不同的，根据四周墙体的屏蔽措施确定辐射计算点位，见图 11-6，各点位信息见表 11-22。

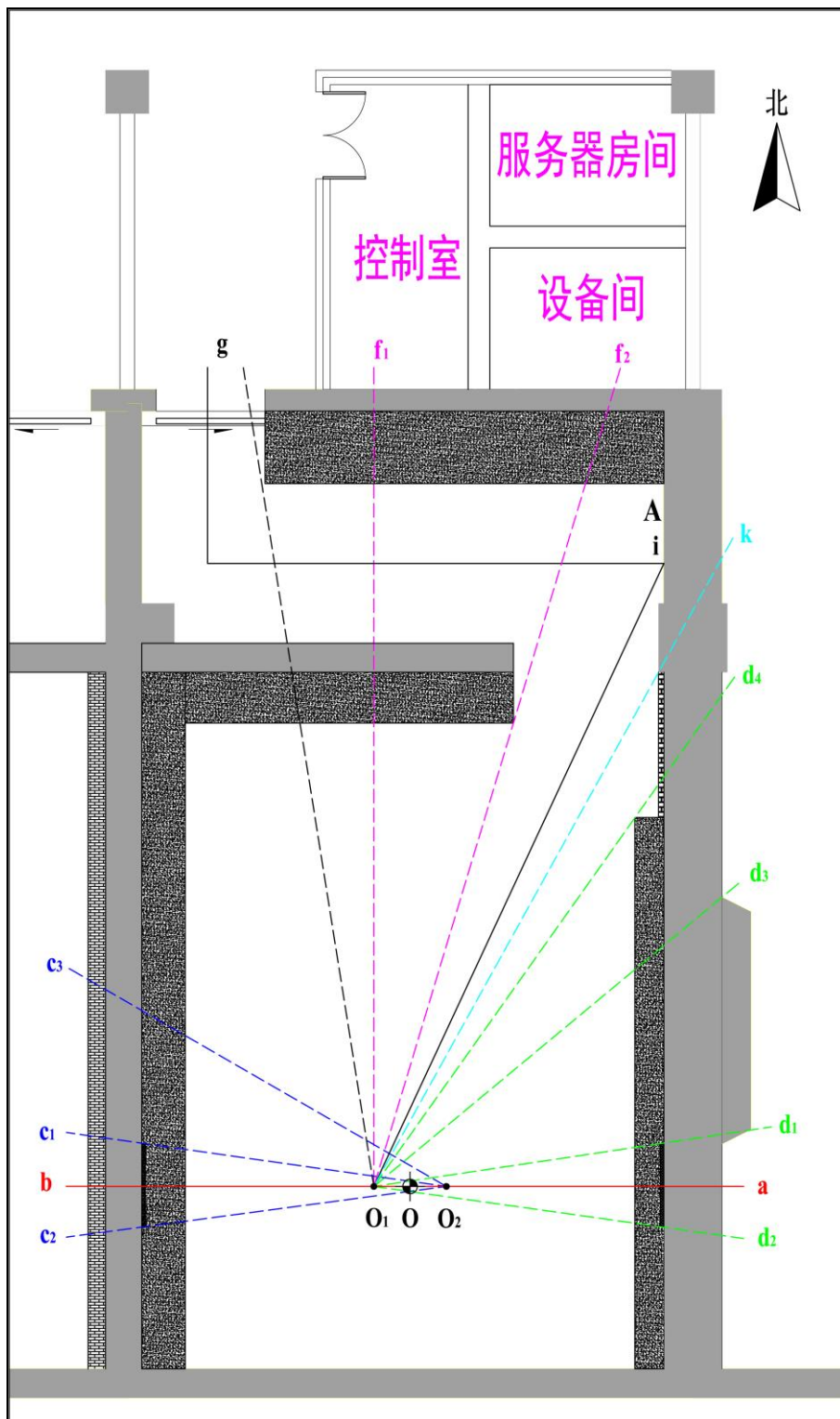


图 11-6 TOMO 运行时墙体周围的射线类型及路径

表 11-22 TOMO 机房各计算点位一览表

| 点位    | 屏蔽措施                                | 折合混凝土      |                       | 铅          |                       | 水平<br>角度 | 1m 处漏射<br>散射比率 $f$    |
|-------|-------------------------------------|------------|-----------------------|------------|-----------------------|----------|-----------------------|
|       |                                     | 厚度<br>(cm) | 屏蔽透射<br>因子            | 厚度<br>(cm) | 屏蔽透射因<br>子            |          |                       |
| 东墙 a  | 80cm 混凝土+40cm 重晶石混凝土+5cm 铅          | 124.26     | $7.72 \times 10^{-5}$ | 5          | $1.33 \times 10^{-1}$ | 90       | $1.13 \times 10^{-4}$ |
| 西墙 b  | 50cm 混凝土+60cm 重晶石混凝土+24cm 实心砖+5cm 铅 | 133.23     | $3.79 \times 10^{-5}$ | 5          | $1.33 \times 10^{-1}$ | 270      | $9.87 \times 10^{-5}$ |
| 西墙 c1 | 50cm 混凝土+60cm 重晶石混凝土+24cm 实心砖       | 133.23     | $3.79 \times 10^{-5}$ | /          | /                     | 285      | $1.19 \times 10^{-4}$ |
| 西墙 c2 | 50cm 混凝土+60cm 重晶石混凝土+24cm 实心砖       | 133.23     | $3.79 \times 10^{-5}$ | /          | /                     | 255      | $1.14 \times 10^{-4}$ |
| 西墙 c3 | 57.9cm 混凝土+69.3cm 重晶石混凝土+27.4cm 实心砖 | 153.97     | $7.30 \times 10^{-6}$ | /          | /                     | 300      | $1.47 \times 10^{-4}$ |
| 东墙 d1 | 120cm 混凝土+40cm 重晶石混凝土               | 164.26     | $3.22 \times 10^{-6}$ | /          | /                     | 75       | $1.29 \times 10^{-4}$ |
| 东墙 d2 | 80cm 混凝土+40cm 重晶石混凝土                | 124.26     | $7.72 \times 10^{-5}$ | /          | /                     | 105      | $1.15 \times 10^{-4}$ |
| 东墙 d3 | 104cm 混凝土+52cm 重晶石混凝土               | 161.53     | $4.00 \times 10^{-6}$ | /          | /                     | 60       | $1.27 \times 10^{-4}$ |
| 东墙 d4 | 138.4cm 混凝土+13cm 铅                  | 138.40     | $2.51 \times 10^{-5}$ | 13         | $5.24 \times 10^{-3}$ | 30       | $1.06 \times 10^{-4}$ |
| 东墙 k  | 180.5cm 混凝土                         | 180.50     | $8.88 \times 10^{-7}$ | /          | /                     | 30       | $4.98 \times 10^{-5}$ |
| 北墙 f1 | 70cm 混凝土+170cm 重晶石混凝土               | 258.09     | $1.87 \times 10^{-9}$ | /          | /                     | 0        | $6.88 \times 10^{-5}$ |
| 北墙 f2 | 31.3cm 混凝土+104.4cm 重晶石混凝土           | 146.81     | $1.29 \times 10^{-5}$ | /          | /                     | 15       | $6.89 \times 10^{-5}$ |
| 屋顶    | 200cm 混凝土+80cm 重晶石混凝土               | 288.51     | $6.20 \times 10^{-7}$ | /          | /                     | /        | $1.47 \times 10^{-4}$ |

注：混凝土密度为  $2.35\text{g/cm}^3$ ，重晶石混凝土密度为  $4.30\text{g/cm}^3$ ，实心砖墙密度为  $1.65\text{g/cm}^3$ ；铅板密度为  $11.3\text{g/cm}^3$ 。

根据式 11-18 可以得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率，辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-22 所示。

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \cdot f \cdot B / R^2 \quad (\text{式 11-18})$$

式中：

$\dot{H}$  —相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_0$  —TOMO 有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用

最高剂量率,  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$  (以  $\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{min}$  为单位的值乘以  $6 \times 10^7$ ), 本项目为  $5.1 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ;

$R$ —辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

$f$ —对有用线束为 1; 对泄漏散射辐射为泄露辐射比率, 见表 11-20;

$B$ —辐射屏蔽透射因子, 根据式 11-17 计算。

将各个参数代入相应公式进行计算, 得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率, 辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-23 所示。

表 11-23 四周墙体外辐射剂量率计算参数和计算结果

| 点位    | 1m 处漏射散射比率 $f$        | 距离 $R$ (m) | 剂量率 $\mu\text{Sv/h}$  |
|-------|-----------------------|------------|-----------------------|
| 东墙 a  | $1.13 \times 10^{-4}$ | 5.10       | $2.27 \times 10^{-2}$ |
| 西墙 b  | $9.87 \times 10^{-5}$ | 5.24       | $9.21 \times 10^{-3}$ |
| 西墙 c1 | $1.19 \times 10^{-4}$ | 5.30       | $8.18 \times 10^{-2}$ |
| 西墙 c2 | $1.14 \times 10^{-4}$ | 5.30       | $7.84 \times 10^{-2}$ |
| 西墙 c3 | $1.47 \times 10^{-4}$ | 6.00       | $1.52 \times 10^{-2}$ |
| 东墙 d1 | $1.29 \times 10^{-4}$ | 5.54       | $6.91 \times 10^{-3}$ |
| 东墙 d2 | $1.15 \times 10^{-4}$ | 5.15       | $1.71 \times 10^{-1}$ |
| 东墙 d3 | $1.27 \times 10^{-4}$ | 6.54       | $6.06 \times 10^{-3}$ |
| 东墙 d4 | $1.06 \times 10^{-4}$ | 8.60       | $9.62 \times 10^{-5}$ |
| 东墙 k  | $4.98 \times 10^{-5}$ | 10.20      | $4.61 \times 10^{-4}$ |
| 北墙 f1 | $6.88 \times 10^{-5}$ | 11.29      | $3.74 \times 10^{-7}$ |
| 北墙 f2 | $6.89 \times 10^{-5}$ | 11.78      | $3.26 \times 10^{-3}$ |
| 屋顶    | $1.47 \times 10^{-4}$ | 4.50       | $6.20 \times 10^{-7}$ |

### 3) 迷道入口外屏蔽效果预测 (g 点)

自 TOMO 靶点  $O_1$  外 1m 处的漏射和散射向迷道 i 点的散射角接近  $45^\circ$ ; i 处墙向 g 处的二次散射的散射角小于  $10^\circ$ , 通常按  $0^\circ$  对待。

漏射和散射射线经 i 处散射后的 g 点剂量率用式 11-19 计算。

$$H = \frac{H_0 \cdot f \cdot A \cdot \alpha_w}{R_L^2 \cdot R^2} \cdot B \quad (\text{式 11-19})$$

$H$ —计算点 g 处的辐射剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$f$ —漏射散射比率;

$A$ —i 处的散射面积, 为自辐射始点和计算点共同可视见的散射区域面积,  $\text{m}^2$ ;

$\alpha_w$ —散射体的散射因子, 保守使用 6MV 的散射因子;

$B$ —辐射屏蔽透射因子, 根据式 11-17 计算, 其中铅中的 TVL 值为 0.5cm;

$R_L$ —辐射始点至散射体中心点的距离, m;

$R$ —散射体中心点至计算点的距离，m。

根据上式可以得到机房入口门外关注点的剂量率，辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-24 所示。

表 11-24 TOMO 机房迷道口屏蔽门外剂量率水平

| 辐射路径                | 参数                         | 至迷道外 g 点过程值           |
|---------------------|----------------------------|-----------------------|
| O <sub>1</sub> -i-g | 等中心点至 i 点水平角度              | 30°                   |
|                     | 漏射散射比率 $f$                 | $1.06 \times 10^{-4}$ |
|                     | 散射面积 $A$ (m <sup>2</sup> ) | 10.14                 |
|                     | $\alpha_w$                 | $6.4 \times 10^{-3}$  |
|                     | 铅门厚度 (cm)                  | 1.5                   |
|                     | 透射因子 $B$                   | $4.64 \times 10^{-1}$ |
|                     | $R_L$ (m)                  | 9.47                  |
|                     | $R$ (m)                    | 8.69                  |
|                     | 剂量率 $\dot{H}$ (μSv/h) *    | $8.01 \times 10^{-2}$ |
| O <sub>1</sub> -g   | 等中心点至 i 点水平角度              | 345°                  |
|                     | 漏射散射比率 $f$                 | $6.69 \times 10^{-5}$ |
|                     | 混凝土厚度 (cm)                 | 118.94                |
|                     | 混凝土透射因子 $B$                | $1.18 \times 10^{-4}$ |
|                     | 铅门厚度 (cm)                  | 1.5                   |
|                     | 铅门透射因子 $B$                 | $5.46 \times 10^{-1}$ |
|                     | $R$ (m)                    | 11.42                 |
|                     | 剂量率 $\dot{H}$ (μSv/h) **   | $1.68 \times 10^{-2}$ |
| 复合值 (μSv/h)         |                            | $9.70 \times 10^{-2}$ |

\*：按式 11-19 计算，对于二阶迷道，取计算值的 1/3；\*\*：按式 11-18 计算。

根据上述计算结果可知：本项目新增 TOMO 机房周围 30cm 处剂量率水平最大值出现在机房东墙外 30cm 处（d<sub>2</sub> 点位），为  $1.71 \times 10^{-1} \mu\text{Gy/h}$ ，其次为机房门口，为  $9.70 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ ，小于墙外及门外 30cm 处的剂量率限值  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。其中机房下方和南侧为土层，因此可不考虑其剂量率的问题。

### 3.4 TOMO 相关人员年有效剂量估算

根据医院提供的资料，TOMO 机房内的设备年束出束时间为 833.34h，则计算得出医用直线 TOMO 机房周围职业工作人员和公众人员的年有效剂量如表 11-25 所示。

表 11-25 TOMO 机房周围相关人员年有效剂量

| 序号 | 点位 | 人员类别 | 年受照时间 (h/a) | 剂量率 (μGy/h) | 居留因子 | 年有效剂量 (mSv/a) |
|----|----|------|-------------|-------------|------|---------------|
|----|----|------|-------------|-------------|------|---------------|

|   |         |        |        |                       |      |                       |
|---|---------|--------|--------|-----------------------|------|-----------------------|
| 1 | 北侧控制室   | 职业工作人员 | 833.34 | $7.74 \times 10^{-7}$ | 1    | $3.11 \times 10^{-7}$ |
| 2 | 北侧设备间   | 职业工作人员 | 833.34 | $3.26 \times 10^{-3}$ | 1    | $2.72 \times 10^{-3}$ |
| 3 | 机房门外    | 公众人员   | 833.34 | $9.70 \times 10^{-3}$ | 1/16 | $5.05 \times 10^{-3}$ |
| 4 | 屋顶室外停车场 | 公众人员   | 833.34 | $6.20 \times 10^{-7}$ | 1/16 | $3.23 \times 10^{-8}$ |

由上表计算结果可知，TOMO 职业工作人员所受年有效剂量最大为为  $2.72 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，小于  $5 \text{mSv/a}$  的职业工作人员年有效剂量限值要求；机房外的、公众人员所受的年有效剂量最大值为  $5.05 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，小于公众人员年有效剂量限值  $0.25 \text{mSv/a}$ 。因此，医院 TOMO 机房周围职业工作人员和公众人员的年有效剂量均满足相关限值的要求。

### 3. DSA 环境影响分析

本项目对新增的 5 台 DSA 对环境所产生的辐射影响进行分析。

DSA 在进行介入手术时分透视和摄影两种模式。设备在正常工作时具有自动调强功能，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低；如果受检者体型偏胖，功率自动增强。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和功率通常留有一定余量，管电压通常控制在  $100 \text{kV}$  以内。本项目保守去透视和摄影最大运行工况的参数进行估算。根据建设单位提供的资料，透视时管电压最大约  $100 \text{kV}$ ，管电流约  $20 \text{mA}$ ；摄影时，管电压最大约  $100 \text{kV}$ ，管电流约  $600 \text{mA}$ 。

#### 3.1 剂量率计算

##### 1) 1m 处初级射线空气比释动能率的计算公式

根据《辐射防护导论》（原子能出版社，方杰主编，1991 年） $P_{117X}$  射线剂量率计算公式如下：

$$D_0 = I \cdot \delta \quad (\text{式 11-20})$$

式中：

$D_0$ —距出束点 1m 处剂量率水平， $\text{mGy/min}$ ；

$I$ —管电流， $\text{mA}$ ；

$\delta$ —发射率常数， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

保守考虑，由《辐射防护导论》附图三得出本项目设备在  $100 \text{kV}$  管电压时，发射率常数取  $1.5 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，则透视时 1m 处空气比释动能率为  $30 \text{mGy/min}$ ，即  $1800 \text{mGy/h}$ ；摄影时 1m 处空气比释动能率为  $900 \text{mGy/min}$ ，即  $5.4 \times 10^4 \text{mGy/h}$ 。

##### 2) 散射射线剂量率水平计算公式

(1) 根据联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) —2000 年报告附录 A, X 射线产生的散射线最大能量的计算公式如下:

$$E_s = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{0.511} (1 - \cos \theta_s)} \quad (\text{式 11-21})$$

式中:

$E_s$ : 散射线最大能量, MeV;

$E_0$ : 入射线最大能量, MeV;

$\theta_s$ : 散射角。散射角为  $90^\circ$  时, 此时散射射线能量最大。

对于本项目, 散射射线能量最大值为 83.6KeV。

(2) 根据《辐射防护导论》(原子能出版社, 方杰主编, 1991 年) P<sub>117</sub>, 散射线剂量率水平计算公式如下:

$$D = \frac{\zeta \cdot \alpha_M \cdot t}{r_0^2 \cdot r_s^2} \cdot \frac{\alpha}{400} \cdot k \cdot 1 \quad (\text{式 11-22})$$

式中:

$D$ : 经散射辐射, 在关注点处产生的剂量率 mSv/h;

$\zeta$ : 屏蔽体的透射系数,  $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , 与散射线能量和屏蔽体铅当量有关。本项目取 100kV ( $90^\circ$  非有用线束) 时的铅当量, 保守考虑 24cm 厚实心砖墙为 2.5mm 铅当量, 200mm 混凝土为 3mm 铅当量, 见《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 附录 C; 透射系数通过《辐射防护导论》(原子能出版社, 方杰主编, 1991 年) 附图 18 查得;

$\alpha_M$ : 初级射线在病人身体表面上的散射比, 通过查询《辐射防护导论》P116 中表 3.8 得知, 在入射能量为 100kV, 散射角保守取值为  $90^\circ$  时, 散射比为 0.0013;

$t$ : 每小时工作负荷, 是一小时内管电流(mA)与开机时间(min)的乘积, 本项目 (DSA) 透视时为  $1.8 \times 10^3 \text{mA} \cdot \text{min} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 摄影时为  $3.6 \times 10^4 \text{mA} \cdot \text{min} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

$\alpha$ : 散射体表面的照射面积, 一般取为  $4 \times 10^{-2} \text{m}^2$ ;

$r_0$ : 病人受照表面到辐射源的距离, 本项目取为 0.2m;

$r_s$ : 计算点到病人受照表面中心的垂直距离, m;

$k$ : 对不同管电压的修正系数,  $V < 500 \text{kV}$ ,  $k$  取 1;

1: 单位转换因子。

### 3) 漏射射线剂量率水平计算公式

漏射射线剂量率估算模式，按式11-23计算。

$$D_{\text{漏}} = D_0 \times B / R^2 \times \eta \quad (\text{式11-23})$$

式中:

$D_{\text{漏}}$ : 关注点的漏射线剂量率,  $\mu\text{Gy/h}$ ;

$D_0$ : 距靶1m处的有用线束的辐射剂量率,  $\mu\text{Gy/h}$ ;

$R$ : 辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

$B$ : 屏蔽透射因子按式11-24计算;

$\eta$ : 设备的漏射比率, 保守估计取0.1%。

$$B = \left[ \left( 1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{式11-24})$$

式中:

$B$ : 给定铅厚度的屏蔽透射因子;

$X$ : 铅当量厚度, 本项目取100kV(有用线束)时的铅当量, 保守考虑24cm厚实心砖墙为2.5mm铅当量, 200mm混凝土为3mm铅当量, 见《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录C;

$\alpha$ : 铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数, 见《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录C, 本项目取100kV(主束)值2.500;

$\beta$ : 铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数, 见《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录C, 本项目取100kV(主束)值15.28;

$\gamma$ : 铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数, 见《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录C, 本项目取100kV(主束)值0.7557。

### 3.2 人员所受年有效剂量估算公式

导管室相关人员所受年有效剂量的计算公式为:

$$H = 10^{-3} \times D \times t \times q \quad (\text{式 11-25})$$

式中:

$H$ —人员所受年有效剂量, mSv/a;

$D$ —计算点位处的剂量当量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$t$ —工作时间, h/a 设备运行过程中, 每次手术透视出束时间平均 100s, 摄影时间约为 30s。

医院每台设备全年治疗约 300 例, 则年透视总出束时间为 8.3h, 摄影出束时间为 2.5h。

$q$ —居留因子。

### 3.3 计算结果

#### 1) 剂量率水平计算结果

手术过程中, 导管室内及周围屏蔽体外 30cm 处的辐射剂量率水平计算点位和结果如图 11-7、图 11-8 和表 11-26 所示。

根据表 11-26 中数据可知, 本项目导管室周围 30cm 处的剂量率水平最大值出现在六楼南 1 导管室的北侧墙外 30cm 处(北侧走廊), 透视和摄影剂量率分别为  $4.21 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$  和  $1.26 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ , 低于《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的剂量当量率控制目标值。综上可知, 本项目 DSA 投入使用后机房周围剂量率水平满足剂量当量率控制目标值的要求。

#### 2) 人员有效剂量计算结果

本项目对 DSA 相关各类人员受到的年有效剂量进行估算, 计算结果如表 11-27。

由表 11-27 可知, 本项目职业工作人员年有效剂量最大为 0.446mSv, 满足 5mSv/a 的职业工作人员年有效剂量约束值的要求。院内公众人员的年有效剂量最大值为  $4.37 \times 10^{-6} \text{mSv/a}$ , 满足 0.25mSv/a 的公众人员年有效剂量约束值要求。

综上所述, 本项目 DSA 投入使用后对职业工作人员和公众人员产生的外照射年有效剂量满足剂量约束值的要求。

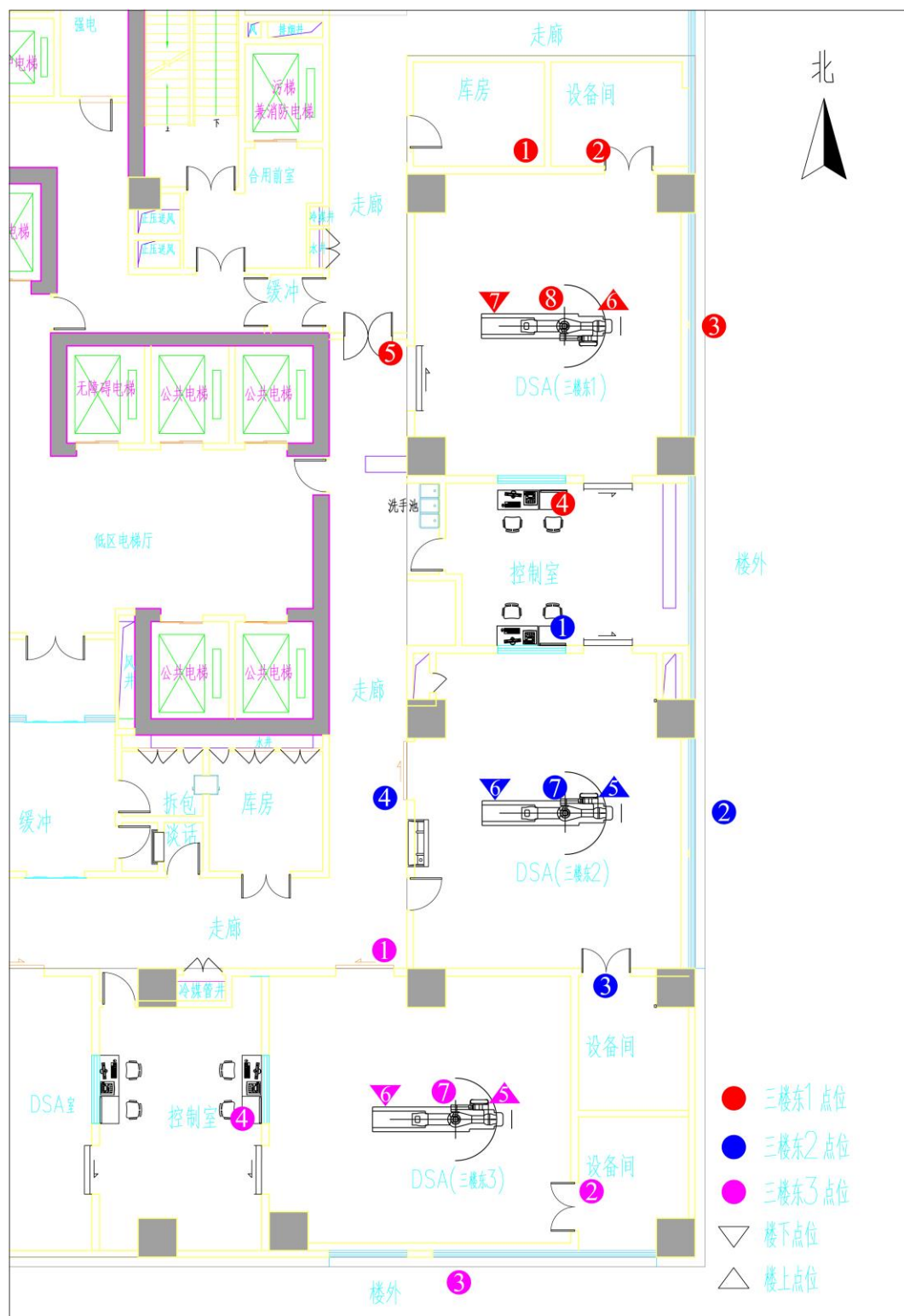


图 11-7 三楼导管室辐射剂量率计算点位图

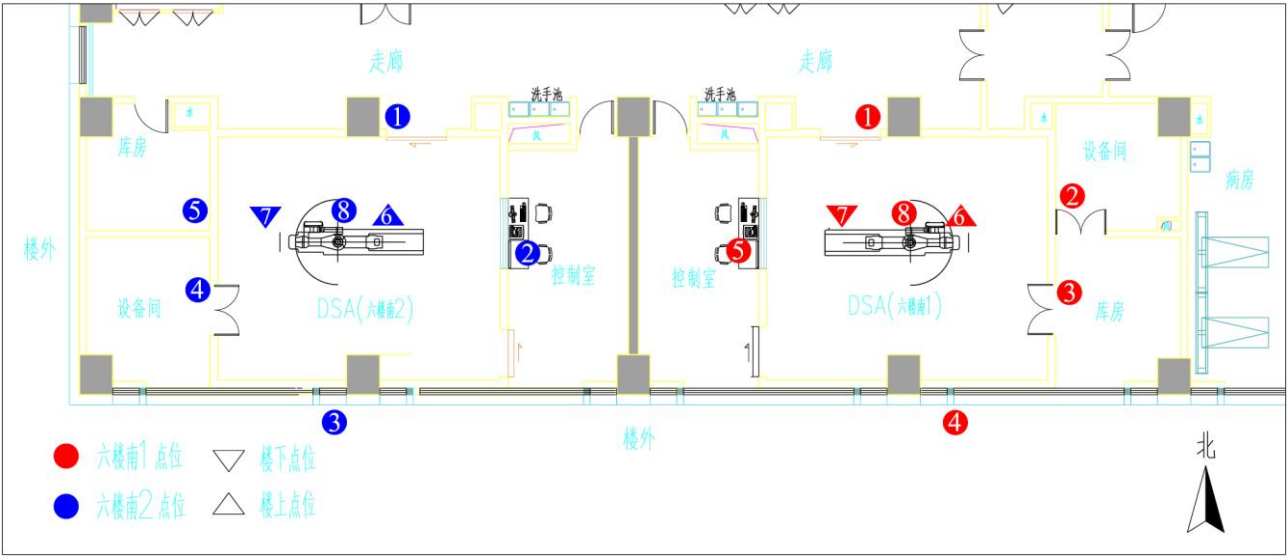


表 11-25 各导管室内及周围剂量率水平计算结果

| 导管室              | 序号 | 位置     | 铅当量<br>(mm) | 距离<br>(m) | 屏蔽体透<br>射系数           | 散射剂量率 (μSv/h)         |                       | 屏蔽透射<br>因子            | 漏射剂量率 (μSv/h)         |                       | 透视剂量率<br>(μSv/h)      | 摄影剂量<br>率 (μSv/h)     |
|------------------|----|--------|-------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                  |    |        |             |           |                       | 透视                    | 摄影                    |                       | 透视                    | 摄影                    |                       |                       |
| 三<br>楼<br>东<br>1 | 1  | 北侧库房   | 6.5         | 5.23      | $2.07 \times 10^{-7}$ | $4.43 \times 10^{-8}$ | $8.86 \times 10^{-7}$ | $6.54 \times 10^{-9}$ | $4.30 \times 10^{-7}$ | $1.29 \times 10^{-5}$ | $4.74 \times 10^{-7}$ | $1.38 \times 10^{-5}$ |
|                  | 2  | 北侧设备间  | 4           | 5.23      | $6.95 \times 10^{-6}$ | $1.49 \times 10^{-6}$ | $2.97 \times 10^{-5}$ | $3.39 \times 10^{-6}$ | $2.23 \times 10^{-4}$ | $6.69 \times 10^{-3}$ | $2.24 \times 10^{-4}$ | $6.72 \times 10^{-3}$ |
|                  | 3  | 东侧墙外   | 6.5         | 4.34      | $2.07 \times 10^{-7}$ | $6.43 \times 10^{-8}$ | $1.29 \times 10^{-6}$ | $6.54 \times 10^{-9}$ | $6.25 \times 10^{-7}$ | $1.87 \times 10^{-5}$ | $6.89 \times 10^{-7}$ | $2.00 \times 10^{-5}$ |
|                  | 4  | 南侧控制室  | 4.5         | 5.15      | $3.46 \times 10^{-6}$ | $7.64 \times 10^{-7}$ | $1.53 \times 10^{-5}$ | $9.70 \times 10^{-7}$ | $6.58 \times 10^{-5}$ | $1.98 \times 10^{-3}$ | $6.66 \times 10^{-5}$ | $1.99 \times 10^{-3}$ |
|                  | 5  | 西侧走廊   | 4           | 5.16      | $6.95 \times 10^{-6}$ | $1.53 \times 10^{-6}$ | $3.05 \times 10^{-5}$ | $3.39 \times 10^{-6}$ | $2.29 \times 10^{-4}$ | $6.87 \times 10^{-3}$ | $2.31 \times 10^{-4}$ | $6.90 \times 10^{-3}$ |
|                  | 6  | 四楼病房   | 7           | 2.90      | $1.21 \times 10^{-7}$ | $8.39 \times 10^{-8}$ | $1.68 \times 10^{-6}$ | $1.87 \times 10^{-9}$ | $4.01 \times 10^{-7}$ | $1.20 \times 10^{-5}$ | $4.85 \times 10^{-7}$ | $1.37 \times 10^{-5}$ |
|                  | 7  | 二楼信息中心 | 7           | 1.70      | $1.21 \times 10^{-7}$ | $2.44 \times 10^{-7}$ | $4.88 \times 10^{-6}$ | $1.87 \times 10^{-9}$ | $1.17 \times 10^{-6}$ | $3.50 \times 10^{-5}$ | $1.41 \times 10^{-6}$ | $3.99 \times 10^{-5}$ |
|                  | 8  | 医生手术位  | 1           | 0.50      | $2.33 \times 10^{-2}$ | $5.44 \times 10^{-1}$ | /                     | $7.36 \times 10^{-3}$ | 53.0                  | /                     | 53.5                  | /                     |
| 三<br>楼<br>东<br>2 | 1  | 北侧控制室  | 4.5         | 5.47      | $3.46 \times 10^{-6}$ | $6.77 \times 10^{-7}$ | $1.35 \times 10^{-5}$ | $9.70 \times 10^{-7}$ | $5.84 \times 10^{-5}$ | $1.75 \times 10^{-3}$ | $5.90 \times 10^{-5}$ | $1.76 \times 10^{-3}$ |
|                  | 2  | 东侧墙外   | 6.5         | 4.32      | $2.07 \times 10^{-7}$ | $6.49 \times 10^{-8}$ | $1.30 \times 10^{-6}$ | $6.54 \times 10^{-9}$ | $6.30 \times 10^{-7}$ | $1.89 \times 10^{-5}$ | $6.95 \times 10^{-7}$ | $2.02 \times 10^{-5}$ |
|                  | 3  | 南侧设备间  | 4           | 5.33      | $6.95 \times 10^{-6}$ | $1.43 \times 10^{-6}$ | $2.86 \times 10^{-5}$ | $3.39 \times 10^{-6}$ | $2.15 \times 10^{-4}$ | $6.44 \times 10^{-3}$ | $2.16 \times 10^{-4}$ | $6.47 \times 10^{-3}$ |
|                  | 4  | 西侧走廊   | 4           | 5.18      | $6.95 \times 10^{-6}$ | $1.51 \times 10^{-6}$ | $3.03 \times 10^{-5}$ | $3.39 \times 10^{-6}$ | $2.27 \times 10^{-4}$ | $6.82 \times 10^{-3}$ | $2.29 \times 10^{-4}$ | $6.85 \times 10^{-3}$ |
|                  | 5  | 四楼病房   | 7           | 2.90      | $1.21 \times 10^{-7}$ | $8.39 \times 10^{-8}$ | $1.68 \times 10^{-6}$ | $1.87 \times 10^{-9}$ | $4.01 \times 10^{-7}$ | $1.20 \times 10^{-5}$ | $4.85 \times 10^{-7}$ | $1.37 \times 10^{-5}$ |
|                  | 6  | 二楼监控中心 | 7           | 1.70      | $1.21 \times 10^{-7}$ | $2.44 \times 10^{-7}$ | $4.88 \times 10^{-6}$ | $1.87 \times 10^{-9}$ | $1.17 \times 10^{-6}$ | $3.50 \times 10^{-5}$ | $1.41 \times 10^{-6}$ | $3.99 \times 10^{-5}$ |
|                  | 7  | 医生手术位  | 1           | 0.50      | $2.33 \times 10^{-2}$ | $5.44 \times 10^{-1}$ | /                     | $7.36 \times 10^{-3}$ | 53.0                  | /                     | 53.5                  | /                     |
| 三<br>楼<br>东<br>3 | 1  | 北侧走廊   | 4           | 5.33      | $6.95 \times 10^{-6}$ | $1.43 \times 10^{-6}$ | $2.86 \times 10^{-5}$ | $3.39 \times 10^{-6}$ | $2.15 \times 10^{-4}$ | $6.44 \times 10^{-3}$ | $2.16 \times 10^{-4}$ | $6.47 \times 10^{-3}$ |
|                  | 2  | 东侧设备间  | 4           | 4.70      | $6.95 \times 10^{-6}$ | $1.84 \times 10^{-6}$ | $3.68 \times 10^{-5}$ | $3.39 \times 10^{-6}$ | $2.76 \times 10^{-4}$ | $8.28 \times 10^{-3}$ | $2.78 \times 10^{-4}$ | $8.32 \times 10^{-3}$ |
|                  | 3  | 南侧墙外   | 6.5         | 4.55      | $2.07 \times 10^{-7}$ | $5.85 \times 10^{-8}$ | $1.17 \times 10^{-6}$ | $6.54 \times 10^{-9}$ | $5.68 \times 10^{-7}$ | $1.70 \times 10^{-5}$ | $6.27 \times 10^{-7}$ | $1.82 \times 10^{-5}$ |
|                  | 4  | 西侧控制室  | 4.5         | 6.30      | $3.46 \times 10^{-6}$ | $5.10 \times 10^{-7}$ | $1.02 \times 10^{-5}$ | $9.70 \times 10^{-7}$ | $4.40 \times 10^{-5}$ | $1.32 \times 10^{-3}$ | $4.45 \times 10^{-5}$ | $1.33 \times 10^{-3}$ |
|                  | 5  | 四楼病房   | 7           | 2.90      | $1.21 \times 10^{-7}$ | $8.39 \times 10^{-8}$ | $1.68 \times 10^{-6}$ | $1.87 \times 10^{-9}$ | $4.01 \times 10^{-7}$ | $1.20 \times 10^{-5}$ | $4.85 \times 10^{-7}$ | $1.37 \times 10^{-5}$ |
|                  | 6  | 二楼监控中心 | 7           | 1.70      | $1.21 \times 10^{-7}$ | $2.44 \times 10^{-7}$ | $4.88 \times 10^{-6}$ | $1.87 \times 10^{-9}$ | $1.17 \times 10^{-6}$ | $3.50 \times 10^{-5}$ | $1.41 \times 10^{-6}$ | $3.99 \times 10^{-5}$ |
|                  | 7  | 医生手术位  | 1           | 0.50      | $2.33 \times 10^{-2}$ | $5.44 \times 10^{-1}$ | /                     | $7.36 \times 10^{-3}$ | 53.0                  | /                     | 53.5                  | /                     |
| 六<br>楼           | 1  | 北侧走廊   | 4           | 3.82      | $6.95 \times 10^{-6}$ | $2.78 \times 10^{-6}$ | $5.57 \times 10^{-5}$ | $3.39 \times 10^{-6}$ | $4.18 \times 10^{-4}$ | $1.25 \times 10^{-2}$ | $4.21 \times 10^{-4}$ | $1.26 \times 10^{-2}$ |
|                  | 2  | 东侧设备间  | 6.5         | 4.65      | $2.07 \times 10^{-7}$ | $5.60 \times 10^{-8}$ | $1.12 \times 10^{-6}$ | $6.54 \times 10^{-9}$ | $5.44 \times 10^{-7}$ | $1.63 \times 10^{-5}$ | $6.00 \times 10^{-7}$ | $1.74 \times 10^{-5}$ |

厦门大学附属第一医院核技术利用项目

|                  |   |       |     |      |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|------------------|---|-------|-----|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 南<br>1           | 3 | 东侧库房  | 4   | 4.82 | $6.95 \times 10^{-6}$ | $1.75 \times 10^{-6}$ | $3.50 \times 10^{-5}$ | $3.39 \times 10^{-6}$ | $2.62 \times 10^{-4}$ | $7.87 \times 10^{-3}$ | $2.64 \times 10^{-4}$ | $7.91 \times 10^{-3}$ |
|                  | 4 | 南侧墙外  | 6.5 | 4.86 | $2.07 \times 10^{-7}$ | $5.13 \times 10^{-8}$ | $1.03 \times 10^{-6}$ | $6.54 \times 10^{-9}$ | $4.98 \times 10^{-7}$ | $1.49 \times 10^{-5}$ | $5.49 \times 10^{-7}$ | $1.60 \times 10^{-5}$ |
|                  | 5 | 西侧控制室 | 4.5 | 4.85 | $3.46 \times 10^{-6}$ | $8.61 \times 10^{-7}$ | $1.72 \times 10^{-5}$ | $9.70 \times 10^{-7}$ | $7.42 \times 10^{-5}$ | $2.23 \times 10^{-3}$ | $7.51 \times 10^{-5}$ | $2.24 \times 10^{-3}$ |
|                  | 6 | 七楼病房  | 7   | 2.90 | $1.21 \times 10^{-7}$ | $8.39 \times 10^{-8}$ | $1.68 \times 10^{-6}$ | $1.87 \times 10^{-9}$ | $4.01 \times 10^{-7}$ | $1.20 \times 10^{-5}$ | $4.85 \times 10^{-7}$ | $1.37 \times 10^{-5}$ |
|                  | 7 | 五楼病房  | 7   | 1.70 | $1.21 \times 10^{-7}$ | $2.44 \times 10^{-7}$ | $4.88 \times 10^{-6}$ | $1.87 \times 10^{-9}$ | $1.17 \times 10^{-6}$ | $3.50 \times 10^{-5}$ | $1.41 \times 10^{-6}$ | $3.99 \times 10^{-5}$ |
|                  | 8 | 医生手术位 | 1   | 0.50 | $2.33 \times 10^{-2}$ | $5.44 \times 10^{-1}$ | /                     | $7.36 \times 10^{-3}$ | 53.0                  | /                     | 53.5                  | /                     |
| 六<br>楼<br>南<br>2 | 1 | 北侧走廊  | 4   | 3.98 | $6.95 \times 10^{-6}$ | $2.57 \times 10^{-6}$ | $5.13 \times 10^{-5}$ | $3.39 \times 10^{-6}$ | $3.85 \times 10^{-4}$ | $1.15 \times 10^{-2}$ | $3.88 \times 10^{-4}$ | $1.16 \times 10^{-2}$ |
|                  | 2 | 东侧控制室 | 4.5 | 5.41 | $3.46 \times 10^{-6}$ | $6.92 \times 10^{-7}$ | $1.38 \times 10^{-5}$ | $9.70 \times 10^{-7}$ | $5.97 \times 10^{-5}$ | $1.79 \times 10^{-3}$ | $6.04 \times 10^{-5}$ | $1.80 \times 10^{-3}$ |
|                  | 3 | 南侧墙外  | 6.5 | 4.86 | $2.07 \times 10^{-7}$ | $5.13 \times 10^{-8}$ | $1.03 \times 10^{-6}$ | $6.54 \times 10^{-9}$ | $4.98 \times 10^{-7}$ | $1.49 \times 10^{-5}$ | $5.49 \times 10^{-7}$ | $1.60 \times 10^{-5}$ |
|                  | 4 | 西侧设备间 | 4   | 4.34 | $6.95 \times 10^{-6}$ | $2.16 \times 10^{-6}$ | $4.31 \times 10^{-5}$ | $3.39 \times 10^{-6}$ | $3.24 \times 10^{-4}$ | $9.71 \times 10^{-3}$ | $3.26 \times 10^{-4}$ | $9.76 \times 10^{-3}$ |
|                  | 5 | 西侧库房  | 6.5 | 4.13 | $2.07 \times 10^{-7}$ | $7.10 \times 10^{-8}$ | $1.42 \times 10^{-6}$ | $6.54 \times 10^{-9}$ | $6.90 \times 10^{-7}$ | $2.07 \times 10^{-5}$ | $7.61 \times 10^{-7}$ | $2.21 \times 10^{-5}$ |
|                  | 6 | 七楼病房  | 7   | 2.90 | $1.21 \times 10^{-7}$ | $8.39 \times 10^{-8}$ | $1.68 \times 10^{-6}$ | $1.87 \times 10^{-9}$ | $4.01 \times 10^{-7}$ | $1.20 \times 10^{-5}$ | $4.85 \times 10^{-7}$ | $1.37 \times 10^{-5}$ |
|                  | 7 | 五楼病房  | 7   | 1.70 | $1.21 \times 10^{-7}$ | $2.44 \times 10^{-7}$ | $4.88 \times 10^{-6}$ | $1.87 \times 10^{-9}$ | $1.17 \times 10^{-6}$ | $3.50 \times 10^{-5}$ | $1.41 \times 10^{-6}$ | $3.99 \times 10^{-5}$ |
|                  | 8 | 医生手术位 | 1   | 0.50 | $2.33 \times 10^{-2}$ | $5.44 \times 10^{-1}$ | /                     | $7.36 \times 10^{-3}$ | 53.0                  | /                     | 53.5                  | /                     |

表 11-26 不同位置处各类人员所受年有效剂量

| 导管室   | 序号 | 位置     | 人员   | 居留因子  | 透视       |                             |                        | 摄影          |                             |                       | 累计年剂量<br>(mSv/a)      |
|-------|----|--------|------|-------|----------|-----------------------------|------------------------|-------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
|       |    |        |      |       | 工作时间 (h) | 剂量率<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 年剂量<br>(mSv/a)         | 工作时间<br>(h) | 剂量率<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 年剂量<br>(mSv/a)        |                       |
| 三楼东 1 | 1  | 北侧库房   | 公众人员 | 0.25  | 8.33     | $4.74 \times 10^{-7}$       | $9.88 \times 10^{-10}$ | 2.5         | $1.38 \times 10^{-5}$       | $8.62 \times 10^{-9}$ | $9.61 \times 10^{-9}$ |
|       | 2  | 北侧设备间  | 职业人员 | 0.25  | 8.33     | $2.24 \times 10^{-4}$       | $4.68 \times 10^{-7}$  | 2.5         | $6.72 \times 10^{-3}$       | $4.20 \times 10^{-6}$ | $4.67 \times 10^{-6}$ |
|       | 3  | 东侧墙外   | 公众人员 | 0.125 | 8.33     | $6.89 \times 10^{-7}$       | $7.18 \times 10^{-10}$ | 2.5         | $2.00 \times 10^{-5}$       | $6.26 \times 10^{-9}$ | $6.97 \times 10^{-9}$ |
|       | 4  | 南侧控制室  | 职业人员 | 1     | 8.33     | $6.66 \times 10^{-5}$       | $5.55 \times 10^{-7}$  | 2.5         | $1.99 \times 10^{-3}$       | $4.98 \times 10^{-6}$ | $5.53 \times 10^{-6}$ |
|       | 5  | 西侧走廊   | 公众人员 | 0.125 | 8.33     | $2.31 \times 10^{-4}$       | $2.40 \times 10^{-7}$  | 2.5         | $6.90 \times 10^{-3}$       | $2.16 \times 10^{-6}$ | $2.40 \times 10^{-6}$ |
|       | 6  | 四楼病房   | 公众人员 | 0.25  | 8.33     | $4.85 \times 10^{-7}$       | $1.01 \times 10^{-9}$  | 2.5         | $1.37 \times 10^{-5}$       | $8.56 \times 10^{-9}$ | $9.57 \times 10^{-9}$ |
|       | 7  | 二楼信息中心 | 公众人员 | 1     | 8.33     | $1.41 \times 10^{-6}$       | $1.18 \times 10^{-8}$  | 2.5         | $3.99 \times 10^{-5}$       | $9.97 \times 10^{-8}$ | $1.11 \times 10^{-7}$ |
|       | 8  | 医生手术位  | 职业人员 | 1     | 8.33     | 53.5                        | $4.46 \times 10^{-1}$  | 2.5         | /                           | /                     | $4.46 \times 10^{-1}$ |
| 三楼东 2 | 1  | 北侧控制室  | 职业人员 | 1     | 8.33     | $5.90 \times 10^{-5}$       | $4.92 \times 10^{-7}$  | 2.5         | $1.76 \times 10^{-3}$       | $4.41 \times 10^{-6}$ | $4.90 \times 10^{-6}$ |
|       | 2  | 东侧墙外   | 公众人员 | 0.125 | 8.33     | $6.95 \times 10^{-7}$       | $7.24 \times 10^{-10}$ | 2.5         | $2.02 \times 10^{-5}$       | $6.32 \times 10^{-9}$ | $7.04 \times 10^{-9}$ |
|       | 3  | 南侧设备间  | 职业人员 | 0.25  | 8.33     | $2.16 \times 10^{-4}$       | $4.50 \times 10^{-7}$  | 2.5         | $6.47 \times 10^{-3}$       | $4.04 \times 10^{-6}$ | $4.49 \times 10^{-6}$ |
|       | 4  | 西侧走廊   | 公众人员 | 0.125 | 8.33     | $2.29 \times 10^{-4}$       | $2.38 \times 10^{-7}$  | 2.5         | $6.85 \times 10^{-3}$       | $2.14 \times 10^{-6}$ | $2.38 \times 10^{-6}$ |
|       | 5  | 四楼病房   | 公众人员 | 0.25  | 8.33     | $4.85 \times 10^{-7}$       | $1.01 \times 10^{-9}$  | 2.5         | $1.37 \times 10^{-5}$       | $8.56 \times 10^{-9}$ | $9.57 \times 10^{-9}$ |
|       | 6  | 二楼监控中心 | 公众人员 | 1     | 8.33     | $1.41 \times 10^{-6}$       | $1.18 \times 10^{-8}$  | 2.5         | $3.99 \times 10^{-5}$       | $9.97 \times 10^{-8}$ | $1.11 \times 10^{-7}$ |
|       | 7  | 医生手术位  | 职业人员 | 1     | 8.33     | 53.5                        | $4.46 \times 10^{-1}$  | 2.5         | /                           | /                     | $4.46 \times 10^{-1}$ |
| 三楼东 3 | 1  | 北侧走廊   | 公众人员 | 0.125 | 8.33     | $2.16 \times 10^{-4}$       | $2.25 \times 10^{-7}$  | 2.5         | $6.47 \times 10^{-3}$       | $2.02 \times 10^{-6}$ | $2.25 \times 10^{-6}$ |
|       | 2  | 东侧设备间  | 职业人员 | 0.25  | 8.33     | $2.78 \times 10^{-4}$       | $5.79 \times 10^{-7}$  | 2.5         | $8.32 \times 10^{-3}$       | $5.20 \times 10^{-6}$ | $5.78 \times 10^{-6}$ |
|       | 3  | 南侧墙外   | 公众人员 | 0.125 | 8.33     | $6.27 \times 10^{-7}$       | $6.53 \times 10^{-10}$ | 2.5         | $1.82 \times 10^{-5}$       | $5.69 \times 10^{-9}$ | $6.35 \times 10^{-9}$ |
|       | 4  | 西侧控制室  | 职业人员 | 1     | 8.33     | $4.45 \times 10^{-5}$       | $3.71 \times 10^{-7}$  | 2.5         | $1.33 \times 10^{-3}$       | $3.33 \times 10^{-6}$ | $3.70 \times 10^{-6}$ |
|       | 5  | 四楼病房   | 公众人员 | 0.25  | 8.33     | $4.85 \times 10^{-7}$       | $1.01 \times 10^{-9}$  | 2.5         | $1.37 \times 10^{-5}$       | $8.56 \times 10^{-9}$ | $9.57 \times 10^{-9}$ |
|       | 6  | 二楼监控中心 | 公众人员 | 1     | 8.33     | $1.41 \times 10^{-6}$       | $1.18 \times 10^{-8}$  | 2.5         | $3.99 \times 10^{-5}$       | $9.97 \times 10^{-8}$ | $1.11 \times 10^{-7}$ |
|       | 7  | 医生手术位  | 职业人员 | 1     | 8.33     | 53.5                        | $4.46 \times 10^{-1}$  | 2.5         | /                           | /                     | $4.46 \times 10^{-1}$ |
| 六楼南 1 | 1  | 北侧走廊   | 公众人员 | 0.125 | 8.33     | $4.21 \times 10^{-4}$       | $4.38 \times 10^{-7}$  | 2.5         | $1.26 \times 10^{-2}$       | $3.93 \times 10^{-6}$ | $4.37 \times 10^{-6}$ |
|       | 2  | 东侧设备间  | 职业人员 | 0.25  | 8.33     | $6.00 \times 10^{-7}$       | $1.25 \times 10^{-9}$  | 2.5         | $1.74 \times 10^{-5}$       | $1.09 \times 10^{-8}$ | $1.22 \times 10^{-8}$ |
|       | 3  | 东侧库房   | 公众人员 | 0.25  | 8.33     | $2.64 \times 10^{-4}$       | $5.50 \times 10^{-7}$  | 2.5         | $7.91 \times 10^{-3}$       | $4.94 \times 10^{-6}$ | $5.49 \times 10^{-6}$ |

厦门大学附属第一医院核技术利用项目

|           |   |       |      |       |      |                       |                        |     |                       |                       |                       |
|-----------|---|-------|------|-------|------|-----------------------|------------------------|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|           | 4 | 南侧墙外  | 公众人员 | 0.125 | 8.33 | $5.49 \times 10^{-7}$ | $5.72 \times 10^{-10}$ | 2.5 | $1.60 \times 10^{-5}$ | $4.99 \times 10^{-9}$ | $5.56 \times 10^{-9}$ |
|           | 5 | 西侧控制室 | 职业人员 | 1     | 8.33 | $7.51 \times 10^{-5}$ | $6.26 \times 10^{-7}$  | 2.5 | $2.24 \times 10^{-3}$ | $5.61 \times 10^{-6}$ | $6.24 \times 10^{-6}$ |
|           | 6 | 七楼病房  | 公众人员 | 0.25  | 8.33 | $4.85 \times 10^{-7}$ | $1.01 \times 10^{-9}$  | 2.5 | $1.37 \times 10^{-5}$ | $8.56 \times 10^{-9}$ | $9.57 \times 10^{-9}$ |
|           | 7 | 五楼病房  | 公众人员 | 0.25  | 8.33 | $1.41 \times 10^{-6}$ | $2.94 \times 10^{-9}$  | 2.5 | $3.99 \times 10^{-5}$ | $2.49 \times 10^{-8}$ | $2.79 \times 10^{-8}$ |
|           | 8 | 医生手术位 | 职业人员 | 1     | 8.33 | 53.5                  | $4.46 \times 10^{-1}$  | 2.5 | /                     | /                     | $4.46 \times 10^{-1}$ |
| 六楼<br>南 2 | 1 | 北侧走廊  | 公众人员 | 0.125 | 8.33 | $3.88 \times 10^{-4}$ | $4.04 \times 10^{-7}$  | 2.5 | $1.16 \times 10^{-2}$ | $3.62 \times 10^{-6}$ | $4.03 \times 10^{-6}$ |
|           | 2 | 东侧控制室 | 职业人员 | 1     | 8.33 | $6.04 \times 10^{-5}$ | $5.03 \times 10^{-7}$  | 2.5 | $1.80 \times 10^{-3}$ | $4.51 \times 10^{-6}$ | $5.01 \times 10^{-6}$ |
|           | 3 | 南侧墙外  | 公众人员 | 0.125 | 8.33 | $5.49 \times 10^{-7}$ | $5.72 \times 10^{-10}$ | 2.5 | $1.60 \times 10^{-5}$ | $4.99 \times 10^{-9}$ | $5.56 \times 10^{-9}$ |
|           | 4 | 西侧设备间 | 职业人员 | 0.25  | 8.33 | $3.26 \times 10^{-4}$ | $6.79 \times 10^{-7}$  | 2.5 | $9.76 \times 10^{-3}$ | $6.10 \times 10^{-6}$ | $6.78 \times 10^{-6}$ |
|           | 5 | 西侧库房  | 公众人员 | 0.25  | 8.33 | $7.61 \times 10^{-7}$ | $1.58 \times 10^{-9}$  | 2.5 | $2.21 \times 10^{-5}$ | $1.38 \times 10^{-8}$ | $1.54 \times 10^{-8}$ |
|           | 6 | 七楼病房  | 公众人员 | 0.25  | 8.33 | $4.85 \times 10^{-7}$ | $1.01 \times 10^{-9}$  | 2.5 | $1.37 \times 10^{-5}$ | $8.56 \times 10^{-9}$ | $9.57 \times 10^{-9}$ |
|           | 7 | 五楼病房  | 公众人员 | 0.25  | 8.33 | $1.41 \times 10^{-6}$ | $2.94 \times 10^{-9}$  | 2.5 | $3.99 \times 10^{-5}$ | $2.49 \times 10^{-8}$ | $2.79 \times 10^{-8}$ |
|           | 8 | 医生手术位 | 职业人员 | 1     | 8.33 | 53.5                  | $4.46 \times 10^{-1}$  | 2.5 | /                     | /                     | $4.46 \times 10^{-1}$ |

## 放射性三废环境影响分析

### 1. 核医学科

#### 1) 放射性固体废物环境影响分析

由污染源分析可知，放射性固体废弃物主要包括核医学科分装瓶、吸水纸、消毒棉签、手套等物品。

需医院处理的核医学科放射性固废量为 1kg/d，医院将固体废弃物先收集在工作场所分装室和储源室的专用废物铅桶内，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，待其经过 10 个半衰期的存储衰变后，可作为一般医疗废物处理，对环境影响很小。

#### 2) 放射性废水环境影响分析

根据工程设计，在患者通道设有清洗间，患者病房内设有供服药病人使用的专用厕所，病人冲洗废水及排泄物设有设施收集废水，拟采用衰变池进行衰变，满足排放标准后排放。

甲状腺癌和甲亢病人服用  $^{131}\text{I}$  药物后，需要在核医学科病房住院观察，病人每天排泄物及冲洗粪便废水按 60L 考虑，按同时接诊 6 位病人计算，废水排放量约为 360L/d，医生每周刷洗物品等用水约 70L。

在原直加楼西北侧衰变处理机房内拟建一套由 1 个沉淀池、3 个衰变池和 1 个缓冲池组成的间歇式放射性废水衰变系统，沉淀池容积为  $26.25\text{m}^3$ ，每个衰变池的容积为  $20.25\text{m}^3$ ，缓冲池容积为  $15\text{m}^3$ ，总容积为  $102\text{m}^3$ 。待第一个衰变池液位高度到达设定点后，开始衰变计时，保守考虑，衰变时间取沉淀池和后 2 个衰变池均装至  $20.15\text{m}^3$  所需的时间。

根据表 10-10 分析可知，医院新建放射性废水衰变池的废水排放时，已经历至少 20 个半衰期，排放浓度为  $1.54\text{Bq/L}$ ，能够满足核医学科产生的放射性废水的达标排放。

#### 3) 放射性废气环境影响分析

由核医学科污染源分析可知，医务人员在放射性药物进行标记分装时，会有少量放射性核素挥发到空气中，产生放射性气溶胶。放射性核素分装稀释等在专用的通风橱内进行（通风橱内保持合适负压、高效过滤）。在通风橱层顶设置

废气过滤装置，内置活性炭过滤器，清除废气中有害气体，使废气达到排放标准。

加速器运行过程中产生的 X 射线致空气电离会产生一定量的臭氧和氮氧化物等非放射性废气，加速器机房内设置通风系统，换气次数为 6-8 次/h，能及时排出产生的有害气体。

## 事故影响分析

### 1. 核医学科

#### 1.1 事故风险识别

主要考虑电离辐射损伤、放射性药物失控对环境的影响。

1) 由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因造成工作时放射性药物洒漏，造成意外照射和辐射污染。

2) 通风及过滤系统发生故障，从事核素分装的工作人员可能会受到一定量的内照射。

3) 由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等，致使放射性药物丢失，可能对公众和周围环境造成辐射危害。

4) 核素诊疗患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊区，可能对接近患者的人员造成附加的照射剂量。

5) 放射性废物管理不善

(1) 放射性废水：患者服药初期将放射性药物呕吐到环境中，可能对环境在一定范围内造成暂时性的污染；放射性废水未经足够的时间衰变即进行排放，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害。

(2) 放射性固体废物：放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短，即进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

6) 工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成附加照射剂量增加。

7) 由于操作人员违规操作、误操作造成附加照射剂量增加。

#### 1.2 事故风险防范措施

上述辐射风险可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，使辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行

过程中可能发生的事故，医院采取了一系列的预防措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响。主要表现在以下几个方面：

1) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生。一旦发生洒漏等事故，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装好去污过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦拭，直到擦干污染区。并用手持式表面污染监测仪测量污染区，如果  $\beta$  表面污染大于  $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区  $\beta$  表面污染小于  $40\text{Bq}/\text{cm}^2$  为止。擦拭物收集放到放射性固体废物衰变箱中，作为放射性固体废物进行处理。

2) 工作人员从事放射性核素分装操作前，应检查通风橱通风装置的状态，并定期检查过滤装置的工作状态。每天接诊病人前，工作人员应检查储源室、分装室、放射病房等从事放射性操作房间的排风系统，确保其处于正常工作状态。

3) 制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。储源分装室设置双人双锁、红外视频监控，做好防火防盗工作。

4) 加强对用药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其注射药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的用药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公共场所去活动，并避免与家人近距离密切接触。

5) 加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在衰变箱外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废水和固体废物经足够长的时候衰变后，方可排放或按照普通医疗废物处理，并做好监测记录。

6) 核医学科个人防护用品主要包括：防护服等基本防护用品；工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人计量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行配制及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩，必要时戴防护眼镜。为病人注射放射性

药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应戴防护手套。医院放射防护管理工作小组负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

一旦发生意外受照事故，立即启动《辐射事故应急处理预案》。

## **2. 直线加速器**

### **2.1 事故风险识别**

- 1) 工作人员或病人家属尚未撤离机房时误开机，可能产生误照射。
- 2) 安全联锁装置、工作指示灯等安全措施失效或发生故障状况下，人员误入正在出束的机房而造成误照射。
- 3) 控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射。
- 4) 维修期间的事故，加速器维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

### **2.2 事故风险防范措施**

- 1) 医务人员必须严格按照直线加速器操作程序进行放射治疗，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。
- 2) 工作人员每次上班时首先要检查加速器机房防护门上的灯光警示装置是否正常，并定期进行保养维护，使其处于良好工作状态。
- 3) 加速器出束前，确认室内无不相关人员时方可启动出束开关。
- 4) 辐射工作人员全部参加了生态环境部评估并推荐的单位开展的辐射安全与防护专业知识及相关法律法规的培训，经考试合格后持证上岗，并应严格按照操作规程进行操作。
- 5) 医务人员进入机房时，全程携带个人剂量报警仪。
- 6) 定期对各设备进行维护。

## **3. TOMO**

### **3.1 事故风险识别**

- 1) 工作人员或病人家属尚未撤离机房时误开机，可能产生误照射。
- 2) 安全联锁装置、工作指示灯等安全措施失效或发生故障状况下，人员误入正在出束的机房而造成误照射。
- 3) 控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射。

4) 维修期间的事故, TOMO 维修工程师在检修期间误开机出束, 造成辐射伤害。

### 3.2 事故风险预防措施

1) 医务人员必须严格按照 TOMO 操作程序进行放射治疗, 避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。

2) 工作人员每次上班时首先要检查 TOMO 机房防护门上的灯光警示装置是否正常, 并定期进行保养维护, 使其处于良好工作状态。

3) TOMO 出束前, 确认室内无不相关人员时方可启动出束开关。

4) 辐射工作人员全部参加了生态环境部评估并推荐的单位开展的辐射安全与防护专业知识及相关法律法规的培训, 经考试合格后持证上岗, 并应严格按照操作规程进行操作。

5) 医务人员进入机房时, 全程携带个人剂量报警仪。

6) 定期对各设备进行维护。

## 4. DSA

### 4.1 事故风险识别

数字减影血管造影系统 (DSA) 受开机和关机控制, 关机时没有 X 射线发出, 一般不易发生事故, 在意外情况下, 可能出现的辐射事故如下:

1) 无关人员误进入正在出束的机房, 对人形成误照射。

2) DSA 出束时, 非手术人员在机房内没有撤离, 形成误照射。

3) 导管室操作人员未穿戴好个人辐射防护用品时, 误进行曝光。

### 4.2 事故风险预防措施

为防止辐射事故的发生, 采取如下措施, 把事故风险降至最低。

1) 严格执行 DSA 标准操作规程, 除患者和职业工作人员外一般人员禁止在手术室内逗留。

2) 定期检查屏蔽门外指示灯, 使其处于良好工作状态。

3) 设备应进行定期的清洁, 维护工作, 以保证其正常运转。

4) 设备应建立运行记录, 使用过程中的任何故障情况都做详细记录, 并及

时修理。

5) 手术开始前, 确保防护门等处于关闭状态, 且导管室内除医护人员和患者外无其它人员后, 方可启动出束开关。

6) 制定了辐射事故应急预案。

表 12 辐射安全管理

**12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置**

为了进一步做好放射诊疗安全管理工作，保障放射工作人员、患者、公众及环境安全，厦门大学附属第一医院已成立了放射诊疗安全管理委员会，全面负责对辐射工作的安全管理，贯彻国家、省有关法律规定，制定有关管理制度。设立以院长王占祥为主任的放射诊疗安全管理委员会，负责医院日常辐射安全防护管理工作，管理工作组成员 33 名，主要为各相关科室负责人组成（详见附件 8）。

委员会职责如下：

- （一）制定放射安全与防护管理相关制度。
- （二）组织召开放射安全与防护管理会议，每年至少两次。
- （三）组织院内放射安全与防护专项检查，每年至少两次。
- （四）组织迎接辐射安全相关检查，组织整改并追踪整改效果。

医院成立放射诊疗安全管理委员会负责辐射安全与环境保护管理工作，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环保部令第 3 号）中规定的：“使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。”

**12.2 辐射安全与防护培训**

根据《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》的规定，使用射线装置操作人员与辐射防护负责人应进行辐射安全培训，并持证上岗。目前医院现共计 234 人从事放射工作，取得辐射安全培训合格证人数 210 人，医院已制定培训计划，其余人员将逐步接受培训并要求他们取得辐射安全与防护培训证书。

**（1）放射工作人员的配置及培训情况**

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条之规定，从事辐射活动应具备相应的条件。本项目改建的核医学科  $^{131}\text{I}$  核素治疗病房辐射工作人员配备共 14 人，拟依托核医学科现有工作人员，均取得培训合格证书；放疗科目前 1#直线加速器已配备工作人员 13 人，TOMO 系统拟配备 13 人，均取得培训合格证书；介入中心 5 台 DSA 配备工作人员 25 人，均取得培训合格证书，因此本项目辐射工作人员的配置是满足要求的，后续根据医院实际诊疗情况再增加

辐射工作人员。

辐射工作人员熟悉专业技术，能胜任各项工作，对安全防护与相关法规知识了解，实际操作能按安全操作规程行事，自觉遵守规章制度，确保做好各项安全工作。

## （2）职业人员的辐射安全与防护再培训计划要求

根据环境保护部令第 3 号第十五条的规定：从事放射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。环境保护部令第 18 号第二十二条规定：取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每四年接受一次再培训。辐射安全再培训包括新颁布的相关法律、法规和辐射安全与防护专业标准、技术规范，以及辐射事故案例分析与经验反馈等内容。医院制定了相应的培训计划。

### 12.3 辐射安全管理规章制度

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环保部令第 3 号）、《突发环境事件信息报告办法》（环保部令第 17 号）及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部令第 18 号）相关规定，厦门大学附属第一医院制定了《辐射事故应急预案》、《放射安全管理制度》、《放射工作人员个人剂量监测管理制度》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《监测计划》等辐射安全管理制度。相关制度见表 12-1。

表12-1 厦门大学附属第一医院已建立的管理制度

| 序号 | 医院成立的管理制度   | 可行性分析                                                            |
|----|-------------|------------------------------------------------------------------|
| 1  | 辐射防护和安全管理制度 | 医院成立了放射诊疗安全管理委员会，制定了《安全防护管理制度》对医院辐射工作人员职责、工作程序和个人防护做出要求。         |
| 2  | 辐射事故应急预案    | 医院制定了《辐射防护事故应急预案》，规定了发生辐射事故时医院相关人员职责和处理程序，将辐射事故的影响减少到最小。         |
| 3  | 岗位职责        | 医院制定的《岗位职责》明确了辐射工作人员和管理人员在辐射工作中各自的责任。                            |
| 4  | 监测计划        | 医院制定的《监测计划》中规定了委托监测和日常监测的频率和内容，并要求对监测结果存档保留。                     |
| 5  | 培训计划        | 医院制定的《辐射工作人员培训制度》中规定了辐射工作人员必须参加环保部门组织的辐射安全与防护培训，持证上岗，并对内部培训做了要求。 |
| 6  | 操作规程        | 医院制定的《操作规程》中规定了辐射工作人员操作的详细流程，能减少辐射事故的发生。                         |

|   |                |                                                                   |
|---|----------------|-------------------------------------------------------------------|
| 7 | 设备检修维护制度       | 医院制定的《设备检修维护制度》中提出了对机房安全防护设备和射线装置的定期检修和维护要求，能防止因设备损坏造成辐射事故。       |
| 8 | 职业健康监护制度       | 医院制定的《职业健康管理规定》和《放射工作人员个人剂量监测规定》中提出对辐射工作人员个人剂量监测和体检的要求，并要求档案保存终身。 |
| 9 | 辐射工作人员个人剂量档案制度 |                                                                   |

医院应严格执行辐射安全管理规章制度，并根据医院的发展，及时对辐射安全管理规章制度进行补充完善，在此基础上医院的辐射安全管理规章制度符合中华人民共和国环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等管理规定。

## 12.4 辐射监测

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61—2001）及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关标准和规范的要求，针对此次核技术应用项目制定了相应的辐射监测计划，包括：

①每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

②本项目运营前、运营中需对工作场所进行辐射环境监测。同时本项目内容取得环评批复并运行后，将及时委托有相关监测资质的监测单位对辐射工作场所的辐射防护设施进行全面的验收监测。

③辐射工作人员应配备个人剂量计，并定期送检。

④辐射工作在岗人员需定期进行放射职业健康体检，两次检查的时间间隔不应超过2年，避免出现不检漏检的现；医院对于新上岗人员、离岗人员需进行体检，并对检查记录妥善长期保留。

辐射监测计划表见表 12-1。

表 12-1 辐射监测方案

| 监测对象                        | 监测点位                           | 监测方案 | 监测项目              | 监测频率     |
|-----------------------------|--------------------------------|------|-------------------|----------|
| 核医学科<br><sup>131</sup> I 病房 | 核素治疗工作场所的分装室、服药间、留观室、甲癌病房、抢救室等 | 实测   | X-γ 辐射剂量率         | 每月一次     |
|                             | 工作台、设备和墙壁、地面                   | 表面沾污 | 满足 GB18871-2002 附 | 每次操作使用放射 |

|         |                                  |           |                         |          |
|---------|----------------------------------|-----------|-------------------------|----------|
|         |                                  |           | 录 B2 要求                 | 性物质结束后   |
|         | 衰变池                              | 实测        | 总 $\beta$ 放射性           | 放射性废水排放前 |
| 医用直线加速器 | 操作位、机房防护门外、门缝、四周墙壁等屏蔽体外表面 30cm 处 | 实测        | X- $\gamma$ 辐射剂量率、中子剂量率 | 每月一次     |
|         | 安全联锁装置                           | 检查        | 安全                      | 每天一次     |
| TOMO 系统 | 操作位、机房防护门外、门缝、四周墙壁等屏蔽体外表面 30cm 处 | 实测        | X- $\gamma$ 辐射剂量率       | 每月一次     |
|         | 安全联锁装置                           | 检查        | 安全                      | 每天一次     |
| DSA 机房  | 操作位、机房防护门外、门缝、四周墙壁等屏蔽体外表面 30cm 处 | 实测        | X- $\gamma$ 辐射剂量率       | 每年一次     |
|         | 辐射防护装置                           | 检查        | 安全                      | 每天一次     |
| 外环境     | 辐射工作场所周围的环境                      | 实测        | X- $\gamma$ 辐射剂量率       | 每年一次     |
| 辐射工作人员  | /                                | 佩戴个人辐射剂量计 | 年累计剂量                   | 每季度送检    |
|         |                                  | /         | 健康体检                    | 两年一次     |

此外, 根据《建设项目环境保护管理条例》, 本项目竣工后, 建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序, 对配套建设的环境保护设施进行自主验收, 编制验收报告, “三同时”验收清单见表 12-2。

表 12-2 “三同时”验收一览表

| 项目   | “三同时”验收内容                                                                                                                                                                                                                                          | 验收要求                                                                                                 |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 防护措施 | 核医学科<br><b>废水:</b> 医院在核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房西北侧设置一套由 1 个沉淀池、3 个衰变池和 1 个缓冲池组成的并联式放射性废水衰变系统, 用于收集处理核医学科 $^{131}\text{I}$ 病房产生的放射性废水, 为钢筋混凝土结构, 总容积约为 $102\text{m}^3$ 。放射性废水经衰变池处理自然衰变满足排放标准后, 依托医院污水处理站处理后满足医疗机构水污染物排放标准 (GB18466-2005) 后接入城市污水管网。 | 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009)、《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006) 中相关要求。 |
|      | <b>废气:</b> 本项目核医学科设置通风橱, 放射性核素的淋洗分装等操作均在通风橱内操作, 通风橱系统的排气速率不低于 $1\text{m/s}$ , 在通风橱顶壁设置活性炭过滤装置。核医学科工作场所采用一套专用的放射性气体排风管道用于排风处理, 设有专用的排风竖井, 排气管道设置活性炭过滤器及回风阀, 核医学科放射性废气经活性炭装                                                                          |                                                                                                      |

|  |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                        |
|--|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|  |         | 置过滤后，通过专用排气管道和排风竖井排至屋顶。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                        |
|  |         | <b>固废：</b> 使用后的注射器、一次性手套、吸水纸、口罩、更换下的废活性炭放射性污染的物品，暂存在放射废物间内放射性废物桶，储存超过 10 个半衰期后，经有资质的单位检测达到排放水平，由环保主管部门批准后，方可作为医疗废物处理；放射性废水衰变池产生的沉积物污泥，经过十个半衰期以上衰变后，经有资质的单位检测达到排放水平，由环保主管部门批准后，可作为免管废物处理。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                        |
|  |         | <b>屏蔽措施：</b> ①分装室四面墙体为 200mm 混凝土实心砖；南侧窗为有 6mm 铅当量的铅玻璃，室顶和地板屏蔽材料及厚度分别为 150mm 混凝土和 2000mm 混凝土，与患者走廊相通防护门为 12mm 铅当量，与储源室相通防护门为 5mm 铅当量；储源室东、西、南侧墙体为 200mm 混凝土实心砖，室顶和地板屏蔽材料及厚度分别为 150mm 混凝土和 2000mm 混凝土，北侧墙体为 350mm 混凝土，室顶和地板屏蔽材料及厚度分别为 150mm 混凝土和 2000mm 混凝土；处置室东、西、南侧墙体为 200mm 混凝土实心砖；北侧墙体为 350mm 混凝土，室顶和地板屏蔽材料及厚度分别为 150mm 混凝土和 2000mm 混凝土，与护理站相通防护门为 5mm 铅当量；护理站东、北侧墙体为 200mm 混凝土实心砖，南、西侧墙体为 350mm 混凝土，室顶和地板屏蔽材料及厚度分别为 150mm 混凝土和 2000mm 混凝土，与患者走廊相通防护门为 10mm 铅当量；患者通道放射病房、护理站、抢救室一侧墙体为 350mm 混凝土，其它为 200mm 混凝土实心砖，室顶和地板屏蔽材料及厚度分别为 150mm 混凝土和 2000mm 混凝土；放射病房 1 四周墙体为 350mm 混凝土，室顶和地板屏蔽材料及厚度分别为 150mm 混凝土和 2000mm 混凝土，东侧和南侧与患者通道相通防护门为 15mm 铅当量；放射病房 2 东、南、西侧墙体为 350mm 混凝土；北侧墙体为 400mm 混凝土，室顶和地板屏蔽材料及厚度分别为 150mm 混凝土和 2000mm 混凝土，西侧与患者通道相通防护门为 15mm 铅当量；放射病房 3 南、西侧墙体为 350mm 混凝土；北、东侧墙体为 400mm 混凝土，室顶和地板屏蔽材料及厚度分别为 150mm 混凝土和 2000mm 混凝土，南侧与患者通道相通防护门为 15mm 铅当量。 | 辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv |
|  | 1#直线加速器 | 加速器机房空间几何尺寸为：长（主屏蔽墙间距）9.2m，宽 7.7m，高 3.9m，加速器治疗室迷路为 L 型，迷路宽均为 2.0m，迷路内墙为 100cm 混凝土+15cm 硫酸钡砂浆+24cm 实心砖，迷路外墙为 90cm 混凝土，东侧主屏蔽墙为 240cm 混凝土+50cm 混凝土+24cm 实心砖，次                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 满足（GBZ126-2011）要求；辐射工作人员年有效剂量不超过       |

|      |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                          |
|------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|      |         | 屏蔽墙 100cm 混凝土+15cm 硫酸钡砂浆+24cm 实心砖，西侧主屏蔽墙为 50cm 混凝土+180cm 混凝土+20cm 硫酸钡砂浆+48cm 实心砖，次屏蔽墙为 100cm 混凝土+15cm 硫酸钡砂浆+24cm 实心砖，南墙为 40cm 混凝土，顶板主屏蔽墙为 260cm 混凝土+10cm 钢板，次屏蔽墙为 260cm 混凝土。直线加速器机房防护门 1 安装 10mm 钢板+10mmpb+120mm 防中子层（硼酸+石蜡），防护门 2 为 90cm 实心砖。                                                                                                                                                  | 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv。 |
|      | TOMO 系统 | TOMO 系统机房空间几何尺寸为：长（主屏蔽墙间距）8.9m，宽 6.2m，高 3.9m，TOMO 系统治疗室迷路为 L 型，迷路宽均为 2.0m，迷路内墙为 40cm 混凝土+70cm 重晶石混凝土，迷路外墙为 30cm 混凝土+100cm 重晶石混凝土，东侧主屏蔽墙为 80cm 混凝土+40cm 重晶石混凝土+5cm 铅，次屏蔽墙（南）为 80cm 混凝土+40cm 重晶石混凝土，次屏蔽墙（中）为 120cm 混凝土+40cm 重晶石混凝土，次屏蔽墙（北）为 80cm 混凝土+7.5cm 铅，西侧主屏蔽墙为 50cm 混凝土+60cm 重晶石混凝土+24cm 实心砖+5cm 铅，次屏蔽墙为 50cm 混凝土+60cm 重晶石混凝土，南墙为 40cm 混凝土，顶板屏蔽墙为 200cm 混凝土+80cm 重晶石混凝土。直线加速器机房防护门为 15mm 铅。 |                          |
|      | DSA 机房  | 内科综合楼三层和六层介入中心 5 台 DSA 机房四周墙体为 240mm 实心砖+4.0mmPb 涂料，顶板和地板均为 200mm 混凝土+3.0mmPb 涂料，医生手术位采用 0.5mm 铅衣+0.5mm 铅屏风，防护门为 4mm 铅防护门，观察窗为 4.5mm 铅玻璃。                                                                                                                                                                                                                                                       | 满足 (GBZ130-2020)要求       |
| 安全措施 |         | 核医学科 <sup>131</sup> I 病房严格分区管理，各区之间通过门禁系统进行分隔，限制人员流通                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 满足 (GBZ120-2006)要求       |
|      |         | 直线加速器机房和 TOMO 系统机房设置门机联锁装置，所有紧急按钮开关和防护门均设双路供电系统，在停电状态下由医院应急电源供电，以确保在停电状态下能正常开启防护门，安装监控和对讲系统，治疗室和控制室内安装紧急停机按钮                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 满足 (GBZ126-2011)要求       |
|      |         | DSA 机房设置空调换风系统，防护门为设有闭门装置的电动门                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 按要求设置                    |
|      |         | 机房外均张贴警示标志、安装工作指示灯，放射性废物桶张贴电离辐射标志                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 按要求张贴                    |
|      |         | 岗位职责和操作规程等工作制度在合适张贴上墙                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 按要求张贴                    |
|      |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                          |
| 个人防护 |         | 医院配置的辐射工作人员，均计划参加辐射安全与防护培训，考核合格后上岗                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 辐射工作人员均取得培训合格证           |
|      |         | 配备辐射巡测仪、剂量报警仪和表面沾污仪                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 按要求送检，并确保运行正常            |

|      |      |                                                                                                                                                                                                                |                |
|------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|      |      | 辐射工作人员均佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测，                                                                                                                                                                                       | 按要求佩带/送检       |
|      |      | 配置铅衣、铅橡胶颈套、铅屏风、铅橡胶围裙、铅防护眼镜等防护用品                                                                                                                                                                                | 按要求配置/佩带       |
| 管理措施 | 管理机构 | 建立医院放射诊疗安全管理委员会，辐射安全和防护负责人需参加辐射安全与防护培训。                                                                                                                                                                        | 辐射安全负责人取得培训合格证 |
|      | 管理制度 | 已制定了《辐射事故应急预案》、《辐射防护与安全保卫制度》、《辐射工作人员的岗位职责》、《放射性同位素及射线装置台账管理制度》、《核医学科放射防护管理规定》、《操作规程与安全防护》、《射线装置操作规程》、《直线加速器操作规程》、《DSA 操作规程》、《放射性同位素及射线装置台账管理制度》、《设备检修维护制度》、《放射工作人员剂量监测制度》、《放射工作人员健康体检制度》、《放射工作人员培训制度》等一系列规章制度。 | 根据要求制定         |

## 12.5 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，医院成立了放射诊疗安全管理委员会，委员会成员由各相关科室负责人组成。

医院根据可能发生的辐射事故的风险，于 2019 年 9 月 2019 年 9 月根据《放射安全管理制度》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》实施情况，重新制订了《放射安全事故应急预案（XYH-YWL-I/C-170920-060）》（附件 9）。发生辐射事故时，医院应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要的防护措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护主管部门、公安部门和卫生部门报告。禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

医院应在本项目正式运营前进行一次应急演练。同时在日常的工作中需定期、具有针对性的对可能发生的放射事故进行演练，演练内容包括放射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性。并根据实际情况组织修订放射事故应急预案。

**表 13 结论与建议**

### **13.1 结论**

#### **13.1.1 项目概况**

厦门大学附属第一医院（以下简称“第一医院”）位于厦门市思明区镇海路 55 号（总院区），创办于 1937 年，为进一步提高医院的医疗水平，适应医学发展的趋势，更好地服务于临床，满足日益增长的医疗卫生服务需求，厦门大学附属第一医院拟将现有院内闽南楼 3 层核医学科的  $^{131}\text{I}$  核素治疗室单独搬迁至闽南楼北侧距离 3 米的独栋原直线加速器楼（以下称“原直加楼”）二层并改造病房开展甲亢、甲癌治疗；拟在一号病房楼负一层放疗科新增一台螺旋断层放射治疗系统（TOMO 系统），同时位于一号病房楼负一层放疗科的一台直线加速器（1#机，型号 Varian Truebeam）机房于 2012 年 1 月开工建设、2012 年 5 月建成、2013 年 9 月正式投入运营，该直线加速器自建设运营以来一直未办理相关环评手续，属于未批先建项目，根据环境保护部函关于建设项目“未批先建”违法行为法律适用问题的意见（环政法函〔2018〕31 号），本项目自建设行为终了之日起二年内未被发现而未予行政处罚，建设单位委托本次一并补办该设备的环评手续；本次内科综合楼介入中心评价内容共包含 5 台 DSA，拟在内科综合楼三层和六层分别新增 2 台 DSA，共新增 4 台 DSA，并将病房大楼一层的 1 台 DSA 迁移至中医内科综合楼三层。

#### **13.1.2 实践正当性**

核技术在医学上的应用在我国是一门成熟的技术，它在医学诊断、治疗方面有其他技术无法代替的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。厦门大学附属第一医院核技术利用项目，符合区域医疗服务需要，能有效提高区域医疗服务水平。

对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目属于国家鼓励类的“三十七、卫生健康 5、医疗卫生服务建设”项目，符合国家产业政策。

#### **13.1.3 环境现状评价**

监测结果表明：厦门大学附属第一医院核技术利用项目拟建场所周围环境本底监测值室内在 128~175nSv/h，即 128~176nGy/h(辐射权重因子取 1，即 1Sv 数值上等于 1Gy)，属于福建省正常天然本底辐射水平 70.9~351.7nGy/h 内（来源于《中国环境天然放射性水平》，1995 年）；本底监测值室外在 135~173nSv/h，即 135~173nGy/h(辐射权重因子取 1，即 1Sv 数值上等于 1Gy)，属于福建省室外辐射环境本底水平范围

25.9~399.1nGy/h 内（来源于《中国环境天然放射性水平》，1995 年）；1#直线加速器机房周边环境现状中子剂量率均未检出；核医学科  $^{131}\text{I}$  病房区域  $\beta$  表面污染活度测量数值为 0.26~0.38Bq/m<sup>2</sup>。监测结果表明，本项目拟建场所处于正常环境本底水平。

#### 13.1.4 辐射安全与防护措施评价

项目采取的辐射环境管理措施：医院设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并建立完善的规章制度，落实安全、保卫、环保等措施，制定了辐射事故应急预案等。

采取的污染防治措施：各工作场所有满足辐射屏蔽要求的防护墙、防护门、观察窗等；门口设置明显的电离辐射警示标识、状态指示灯，辐射工作人员佩戴个人剂量计等。

从总体上看，项目的辐射环境保护和污染防治措施考虑到了辐射管理、屏蔽防护、安全保卫等各个方面，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）中的有关要求。

#### 13.1.5 辐射环境影响评价

厦门大学附属第一医院核医学科及医用射线装置应用项目已采取的辐射安全和防护措施适当，能满足标准的屏蔽防护要求。

##### （1）核医学科 $^{131}\text{I}$ 核素治疗病房

通过理论预测可知：核医学科各工作场所工作人员受到的附加年有效剂量最大为  $8.77 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ ，公众成员受到的附加年有效剂量最大值为  $8.67 \times 10^{-1} \text{mSv}$ ，满足项目管理限值（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv）要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

##### （2）直线加速器

根据预测结果可知：医院直线加速器机房墙体及防护门外的辐射剂量率值最大值为  $1.251 \mu\text{Gy/h}$ ，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）的相关要求，即“在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”。同时根据实际监测结果可知现有直线加速器机房周边 X- $\gamma$  辐射剂量率范围为 145~370nSv/h，中子剂量当量率最大为 21 nSv/h，贡献值均较小，说明现有直线加速器机房正常运行时的剂量当量率实际影响比预测结果小。

直线加速器职业人员最大附加年有效剂量为  $3.47 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，低于管理限值

5mSv，公众成员附加年有效剂量最大为  $5.26 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，低于管理限值 0.25mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB188 71-2002）中关于“剂量限值”的要求。

### （3）TOMO 系统

根据预测结果可知：医院 TOMO 系统机房墙体及防护门外的辐射剂量率值最大值为  $1.71 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)的相关要求，即“在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”。

直线加速器职业人员最大附加年有效剂量为  $2.72 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，低于管理限值 5mSv，公众成员附加年有效剂量最大为  $5.05 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，低于管理限值 0.25mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB188 71-2002）中关于“剂量限值”的要求。

### （4）DSA

通过理论预测可知，本项目 5 台 DSA 投入运行后，对职业人员产生的最大附加有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值 20mSv/a，也低于管理限值 5mSv/a 的要求；对公众照射的最大附加年有效剂量值满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值 1mSv/a，也低于管理限值 0.25mSv/a 的要求。

综上所述，厦门大学附属第一医院核技术利用项目符合“实践的正当性”要求。辐射工作场所的防护设计合理，辐射管理中的各项规章制度和防护措施较健全。只要切实落实并严格执行本评价中所提出的辐射管理、辐射防护、事故应急等各项措施，严格按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）中的有关规定进行管理，其运行后对放射工作人员和公众及其周围环境造成的辐射污染影响较小。因此，从辐射环境保护角度分析，该项目的建设是可行的。

### 建议：

（1）在项目建设同时，应确保辐射防护设施和管理措施的建设，切实做到环保设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时投产”。

（2）本项目竣工后，建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行自主验收。

(3) 建设单位若未来如需增加本报告表所涉及之外的核技术应用项目或对其使用功能进行调整,则应按要求及时向有关环保部门进行申报,并按污染控制目标采取相应的辐射防护措施。

(4) 建议建设单位今后进一步加强辐射制度管理,做好环保手续及相关材料的档案管理。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

公 章

经办人

年 月 日

审批意见：

公 章

经办人

年 月 日