

核技术利用建设项目

厦门弘爱医院新增放射性核素应用项目

环境影响报告表

(公示稿)



生态环境部监制

## 核技术利用建设项目

# 厦门弘爱医院新增放射性核素应用项目

## 环境影响报告表



建设单位名称：厦门弘爱医院

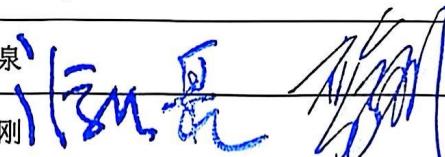
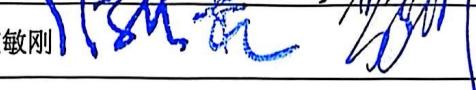
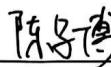
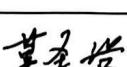
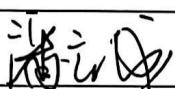
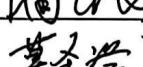
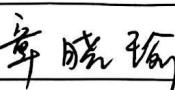
建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：厦门市湖里区仙岳路3777号

邮政编码：361008 联系人：陈宇博

电子邮箱：/ 联系电话：\*\*\*\*\*

## 编制单位和编制人员情况表

|   |  |          |   |
|---|--|----------|---|
| 项目编号  | 856961   |          |   |
| 建设项目名称  | 厦门弘爱医院新增放射性核素应用项目  |          |   |
| 建设项目类别  | 55--172核技术利用建设项目   |          |   |
| 环境影响评价文件类型  | 报告表     |          |   |
| <b>一、建设单位情况</b><br>    |  |          |   |
| 单位名称 (盖章)   | 厦门弘爱医院  |          |   |
| 统一社会信用代码  | 52350200MJB963084F   |          |   |
| 法定代表人 (签章)  | 游兴泉    |          |   |
| 主要负责人 (签字)  | 应敏刚    |          |   |
| 直接负责的主管人员 (签字)  | 陈宇博    |          |   |
| <b>二、编制单位情况</b><br>  |  |          |   |
| 单位名称 (盖章)   | 浙江君安检测技术有限公司   |          |   |
| 统一社会信用代码  | 913301065930539754   |          |   |
| <b>三、编制人员情况</b><br>  |  |          |   |
| <b>1. 编制主持人</b><br>  |  |          |   |
| 姓名  | 职业资格证书管理号  | 信用编号     | 签字  |
| 莫圣浩   | 2023050353300000014  | BH064685 |  |
| <b>2. 主要编制人员</b><br> |  |          |   |
| 姓名  | 主要编写内容   | 信用编号     | 签字  |
| 潘立成   | 表9、表10、表11、表12、表13   | BH038966 |  |
| 莫圣浩   | 表1、表2、表3、表4  | BH064685 |  |
| 章晓瑜   | 表5、表6、表7、表8  | BH068848 |  |



## 目 录

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 表1 项目基本情况.....                 | 1   |
| 表2 放射源.....                    | 15  |
| 表3 非密封放射性物质 .....              | 15  |
| 表4 射线装置.....                   | 16  |
| 表5 废弃物（重点是放射性废弃物） .....        | 17  |
| 表6 评价依据.....                   | 19  |
| 表7 保护目标与评价标准 .....             | 22  |
| 表8 环境质量和辐射现状 .....             | 32  |
| 表9 项目工程分析与源项 .....             | 41  |
| 表10 辐射安全与防护 .....              | 67  |
| 表11 环境影响分析.....                | 92  |
| 表12 辐射安全管理 .....               | 127 |
| 表13 结论与建议.....                 | 135 |
| 表14 审批.....                    | 141 |
| 附图1： 本项目地理位置图 .....            | 142 |
| 附图2： 本项目周边概况图 .....            | 143 |
| 附图3： 核医学科改造前平面布置图 .....        | 144 |
| 附图4： 核医学科改造后平面布置图 .....        | 145 |
| 附图5： 门诊综合大楼一层平面布置图 .....       | 146 |
| 附图6： 门诊综合大楼负一层平面布置图 .....      | 147 |
| 附图7： 门诊综合大楼负二层平面布置图 .....      | 148 |
| 附图8： 甲癌治疗区域排风改造管道布置图 .....     | 149 |
| 附图9： 核医学科显像诊疗区域排风改造管道布置图 ..... | 150 |
| 附件1： 项目委托书 .....               | 151 |
| 附件2： 《民办非企业单位登记证书》 .....       | 152 |
| 附件3： 《辐射安全许可证》 .....           | 154 |
| 附件4： 现有项目环评批复 .....            | 162 |
| 附件5： 本项目辐射环境现状监测报告 .....       | 180 |
| 附件6： 辐射安全管理规章制度 .....          | 188 |
| 附件7： 核医学科相关人员资料 .....          | 217 |

**表1 项目基本情况**

|             |   |  |   |                        |       |
|-------------|---|--|---|------------------------|-------|
| 建设项目名称      | 厦门弘爱医院新增放射性核素应用项目   |  |   |                        |       |
| 建设单位        | 厦门弘爱医院  |  |   |                        |       |
| 法人代表        | 游兴泉   | 联系人                                    | 陈宇博   | 联系电话                   | ***** |
| 注册地址        | 厦门市湖里区仙岳路3777号  |  |   |                        |       |
| 项目建设地点      | 厦门市湖里区仙岳路3777号  |  |   |                        |       |
| 立项审批部门      | /   | 批准文号                                   | /   |                        |       |
| 建设项目总投资（万元） | 350   | 项目环保投资（万元）                             | 30  | 投资比例（环保投资/总投资）         | 8.57% |
| 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> ) | /     |
| 应用类型        | 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 type="checkbox"/> 使用            | <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类  |                        |       |
|             | 其他  | /                                      |   |                        |       |

## 1.1项目概述

### 1.1.1 建设单位情况简介

厦门弘爱医院是由厦门建发集团有限公司发起设立厦门仁爱医疗基金会，并以基金会为投资主体建设的一家集医疗、急救、预防、保健、康复、教学、科研于一体的现代化大型非营利性三级综合性医院。医院地处厦门岛内五缘湾片区，规划占地126 亩，总建筑面积33 万平方米。医院于2018 年9 月正式投入运营。医院共设有包括神经内科、介入治疗科、病理科、医学影像中心、肿瘤中心等在内的42 个临床医技科室。目前医院配备了医用直线加速器、模拟定位机、PET/CT、SPECT/CT、DSA、CT、DR 等医疗设备，开展了X 射线诊断、放射治疗、核医学诊疗等放射诊疗活动。（详见附件2：《民办非企业单位登记证书》）

### 1.1.2 项目由来

医院核医学科设置在其门诊综合大楼负一层东侧，设置有核医学科显像诊疗区域和甲

癌治疗区域，原已获批的诊疗项目包括：PET显像诊断（涉及使用放射性核素<sup>13</sup>N、<sup>11</sup>C、<sup>15</sup>O和<sup>18</sup>F）、SPECT显像诊断（涉及使用放射性核<sup>99m</sup>Tc、<sup>201</sup>TI和<sup>67</sup>Ga，其中<sup>99m</sup>Tc采用<sup>99</sup>Mo淋洗或外购）、<sup>32</sup>P敷贴治疗、核素治疗（<sup>90</sup>Y、<sup>89</sup>Sr、<sup>131</sup>I（甲癌治疗、甲亢治疗、甲功测定））、<sup>125</sup>I粒籽植入治疗。

随着医学科技的迅猛发展，核医学凭借其精准诊断与靶向治疗的独特优势，成为现代医学不可或缺的重要组成部分。在临床需求与科研创新的双重驱动下，医院积极响应国家对前沿医疗技术发展的战略部署，为进一步满足患者日益多元化的诊疗需求，同时推动前沿医疗诊疗临床试验的开展，现计划在门诊综合大楼负一层东侧核医学科显像诊疗区域和甲癌治疗区域，新增非密封放射性核素用于患者的核素诊疗工作。本次新增的核素诊疗项目，不仅能为患者提供更精准、更全面的医疗服务，还将为前沿医疗诊疗临床试验搭建关键平台，助力探索疾病治疗的新方法、新路径。同时，依据相关工作需要，医院将重新调整核医学科部分区域布局，新增<sup>18</sup>F、<sup>68</sup>Ga、<sup>177</sup>Lu、<sup>99m</sup>Tc药物合成分装热室及相关质控场所，全面提升核医学科的技术水平与服务能力，推动医院在核医学领域实现高质量发展，更好地服务广大患者群体。具体规划如下：

- ① 拟在核医学科显像诊疗区域新增放射性核素<sup>223</sup>Ra用于前列腺癌骨转移治疗，每天最多治疗人数1人，每年最多治疗人数250人，每人单次最大用量 $3.70 \times 10^6$ Bq (0.1mCi)；
- ② 拟在甲癌治疗区域新增核素<sup>177</sup>Lu用于成人中肠神经内分泌肿瘤治疗、前列腺癌、神经内分泌肿瘤及骨转移癌的治疗，每天最多治疗人数1人，每年最多治疗人数100人，每人单次最大用量 $5.55 \times 10^9$ Bq(150mCi)；
- ③ 拟在核医学科显像诊疗区域新增核素<sup>225</sup>Ac用于前列腺癌、神经内分泌肿瘤、非小细胞肺癌及乳腺癌治疗，每天最多治疗人数1人，每年最多治疗人数250人，每人单次最大用量 $3.70 \times 10^6$ Bq (0.1mCi)；
- ④ 拟在核医学科显像诊疗区域新增放射性核<sup>153</sup>Sm用于骨转移治疗、缓解骨疼痛，每天最多治疗人数1人，每年最多治疗人数250人，每人单次最大用量 $2.96 \times 10^9$ Bq (80mCi)；
- ⑤ 拟在核医学科显像诊疗区域新增核素<sup>133</sup>Xe进行SPECT-CT核素显像检查，每天最多诊断人数2人，每年最多诊断人数500人，每人单次最大用量 $1.85 \times 10^8$ Bq (5mCi)；
- ⑥ 拟在核医学科显像诊疗区域新增核素<sup>68</sup>Ga和<sup>64</sup>Cu进行PET-CT核素显像检查，分别每

天最多诊断人数2人，每年最多诊断人数500人，每人单次最大用量 $1.85\times10^8\text{Bq}$  (5mCi)；

- ⑦ 拟在核医学科显像诊疗区域新增核素 $^{161}\text{Tb}$ 用于前列腺癌、甲状腺癌治疗，每天最多治疗人数1人，每年最多治疗人数250人，每人单次最大用量 $3.70\times10^7\text{Bq}$  (1mCi)；
- ⑧ 拟在核医学科显像诊疗区域新增核素 $^{212}\text{Pb}$ 用于晚期前列腺癌、神经内分泌肿瘤、卵巢癌腹膜转移、急性髓系白血病、黑色素瘤脑转移治疗，每天最多治疗人数1人，每年最多治疗人数250人，每人单次最大用量 $3.70\times10^7\text{Bq}$  (1mCi)；
- ⑨ 拟在核医学科显像诊疗区域新增核素 $^{211}\text{At}$ 用于难治性甲状腺癌、胶质母细胞瘤、血液系统恶性肿瘤、卵巢癌腹膜转移、罕见靶点实体瘤治疗，每天最多治疗人数1人，每年最多治疗人数250人，每人单次最大用量 $3.70\times10^7\text{Bq}$  (1mCi)；
- ⑩ 拟在核医学科显像诊疗区域新增核素 $^{213}\text{Bi}$ 用于血液系统恶性肿瘤、实体瘤、黑色素瘤脑转移治疗，每天最多治疗人数1人，每年最多治疗人数250人，每人单次最大用量 $3.70\times10^7\text{Bq}$  (1mCi)；
- ⑪ 取消原有的 $^{32}\text{P}$ 敷贴治疗项目，改用 $^{90}\text{Sr}$ 敷贴器（密封型放射源）进行敷贴治疗， $^{90}\text{Sr}$ 敷贴器属V类密封型放射源，待活度确定后再进行环评登记备案工作；
- ⑫ 拟在核医学科显像诊疗区域新增 $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物合成分装热室及相关质控场所，自行合成（淋洗） $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物，供核医学科诊疗项目使用。

本项目增加相关核素诊断治疗项目后，综合考虑核医学科的实际诊疗情况，医院拟核减部分原有核素诊疗项目的操作量，整体调整后，核医学科工作场所非密封放射性核素日等效最大操作量由原来的 $3.87\times10^9\text{Bq}$ 扩量为 $3.91\times10^9\text{Bq}$ ，仍属于乙级非密封放射性物质工作场所。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第20号，2021年修订）：辐射工作单位在申请领取辐射安全许可证前，应当组织编制或者填报环境影响评价文件，并依照国家规定程序报生态环境主管部门审批。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（生态环境部令第16号），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—乙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源植入治疗用放射性粒子源的除外），应编制环境影响报告表”的要求，该项目涉及乙级非密封放射性物质工作场所，故应编制环境影响报告

表。

为保护环境，保障公众健康，厦门弘爱医院委托浙江君安检测技术有限公司对该项目进行辐射环境影响评价。评价单位在现场踏勘和收集有关资料的基础上，并结合项目特点，按照《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》(HJ10.1-2016) 等规定要求编制了本环评报告表，供环保审批部门审查。

## 1.2 项目概况

### 1.2.1 项目名称、性质、建设地点

- (1) 项目名称：厦门弘爱医院新增放射性核素应用项目
- (2) 建设单位：厦门弘爱医院
- (3) 建设性质：改扩建
- (4) 建设地点：厦门市湖里区仙岳路3777号。

### 1.2.2 项目建设内容及规模

本项目建设地点位于厦门市湖里区仙岳路3777号，厦门弘爱医院门诊综合大楼负一层东侧核医学科（包含：显像治疗区域和甲癌治疗区域）。

#### (1) 甲癌治疗区域

医院拟在门诊综合大楼负一层东侧的甲癌治疗区域内新增非密封放射性核素<sup>177</sup>Lu用于成人中肠神经内分泌肿瘤治疗、前列腺癌、神经内分泌肿瘤及骨转移癌的治疗。

**本项目拟对甲癌治疗区域进行改造：**将原抢救室改造为<sup>177</sup>Lu专用病房，在病房北侧设置污物暂存间；将分装室扩大，增加<sup>177</sup>Lu注射窗和为固废间。本项目涉及的甲癌治疗区域包括：卫生通过间、分装室、储源室、固废间、患者走廊、取餐间、污物暂存间、<sup>177</sup>Lu病房、患者卫生间和淋浴间等。改造区域内部分排污管道，利旧原甲癌病房专用衰变池（甲癌病房楼下负二楼临近位置）进行放射性废水处理；在利旧场所内原有部分通排风装置的基础上，新增部分改造区域的通排风设施。

#### (2) 核医学科显像诊疗区域

医院拟在门诊综合大楼负一层东侧的核医学科显像诊疗区域内新增非密封放射性核<sup>68</sup>Ga和<sup>64</sup>Cu进行PET-CT核素显像诊断；新增<sup>133</sup>Xe进行SPECT-CT核素显像诊断；新增<sup>223</sup>Ra用于前列腺癌骨转移治疗；新增<sup>225</sup>Ac用于前列腺癌、神经内分泌肿瘤、非小细胞肺癌及乳腺癌治疗治疗；新增<sup>153</sup>Sm用于骨转移治疗、缓解骨疼痛；新增<sup>161</sup>Tb用于前列腺癌、甲状腺癌治疗；新增<sup>212</sup>Pb用于晚期前列腺癌、神经内分泌肿瘤、卵巢癌腹膜转移、急性髓系白血病、

黑色素瘤脑转移治疗；新增<sup>211</sup>At用于难治性甲状腺癌、胶质母细胞瘤、血液系统恶性肿瘤、卵巢癌腹膜转移、罕见靶点实体瘤治疗；新增<sup>213</sup>Bi用于血液系统恶性肿瘤、实体瘤、黑色素瘤脑转移治疗；新增<sup>18</sup>F、<sup>68</sup>Ga、<sup>177</sup>Lu、<sup>99m</sup>Tc药物合成分装热室及相关质控场所，自行合成（淋洗）<sup>18</sup>F、<sup>68</sup>Ga、<sup>177</sup>Lu、<sup>99m</sup>Tc药物，供核医学科诊疗项目使用。

**本项目拟对核医学科显像诊疗区域进行改造：**将原服药室、SPECT/CT注射室改为<sup>177</sup>Lu合成分装热室，原甲功测定室改为摄碘间和无菌检测，原<sup>32</sup>P敷贴室和服药室改为阳性对照和放化实验室/理化实验室，原运动负荷室改为SPECT分装注射室、SPECT固废间，原储源间改为淋浴缓冲间、SPECT储源间，将原SPECT留观室改为运动负荷室，将诊室2改为敷贴室，将原PET/CT分装注射区域和PET/CT注射后休息室改为FDG合成分装热室、<sup>68</sup>Ga合成分装热室、PET固废间、PET分装注射室、PET储源间。

本项目涉及的核医学科显像诊疗区域包括：核医学科入口、诊室、候诊区、病人通道、运动负荷室、摄碘室、更衣室、无菌检测、阳性对照、放化实验室/理化实验室、<sup>177</sup>Lu合成分装热室、SPECT固废间、SPECT分装注射室、SPECT储源间、<sup>99m</sup>Tc合成分装热室、SPECT-CT机房及控制室、SPECT注射后休息室、PET分装注射室、FDG合成分装热室、<sup>68</sup>Ga合成分装热室、PET固废间、PET储源间、PET-CT机房及控制室、PECT注射后休息室、抢救室、留观室、卫生间等。利旧原显像诊疗区域SPECT-CT机房和PET-CT机房进行显像诊断工作；改造区域内部分排污管道，利旧原显像诊疗区域专用衰变池（核医学科东侧负二层）进行放射性废水处理；在利旧场所内原有部分通排风装置的基础上，新增部分改造区域的通排风设施。

具体改造内容详见附图3：核医学科改造前平面布置图和附图4：核医学科改造后平面布置图。

### 1.2.3 本项目涉及的核素用量情况

本项目涉及的放射性核素用量情况详见表1-1。

表1-1本项目各核素用量情况表

| 序号 | 核素种类              | 日最大诊疗人数(人) | 年最大诊疗人数(人) | 单人次最大使用量(Bq) | 年最大使用量(Bq) | 诊疗项目           | 来源     |
|----|-------------------|------------|------------|--------------|------------|----------------|--------|
| 1  | <sup>177</sup> Lu | 1          | 100        | 5.55E+09     | 5.55E+11   | 核素治疗           | 外购/自合成 |
| 2  | <sup>133</sup> Xe | 2          | 500        | 1.85E+08     | 9.25E+10   | SPECT-CT核素显像诊断 | 外购     |
| 3  | <sup>99m</sup> Tc | 40         | 10000      | 9.25E+08     | 9.25E+12   | SPECT-CT核素显像诊断 | 外购/自淋洗 |
| 4  | <sup>18</sup> F   | 20         | 5000       | 3.70E+08     | 1.85E+12   | PET-CT核素显像诊断   | 外购/自合成 |

|    |                   |      |        |          |          |                      |        |
|----|-------------------|------|--------|----------|----------|----------------------|--------|
| 5  | <sup>68</sup> Ga  | 2    | 500    | 1.85E+08 | 9.25E+10 | PET-CT核素显像诊断         | 外购/自合成 |
| 6  | <sup>64</sup> Cu  | 2    | 500    | 1.85E+08 | 9.25E+10 | PET-CT核素显像诊断         | 外购     |
| 7  | <sup>223</sup> Ra | 1    | 250    | 3.70E+06 | 9.25E+08 | 核素治疗                 | 外购     |
| 8  | <sup>225</sup> Ac | 1    | 250    | 3.70E+06 | 9.25E+08 | 核素治疗                 | 外购     |
| 9  | <sup>153</sup> Sm | 1    | 250    | 2.96E+09 | 7.40E+11 | 核素治疗                 | 外购     |
| 10 | <sup>161</sup> Tb | 1    | 250    | 3.70E+07 | 9.25E+09 | 核素治疗                 | 外购     |
| 11 | <sup>212</sup> Pb | 1    | 250    | 3.70E+07 | 9.25E+09 | 核素治疗                 | 外购     |
| 12 | <sup>211</sup> At | 1    | 250    | 3.70E+07 | 9.25E+09 | 核素治疗                 | 外购     |
| 13 | <sup>213</sup> Bi | 1    | 250    | 3.70E+07 | 9.25E+09 | 核素治疗                 | 外购     |
| 14 | <sup>99</sup> Mo  | 2柱/周 | 100柱/年 | /        | 2.96E+12 | 淋洗 <sup>99m</sup> Tc | 外购     |

#### 1.2.4 本项目涉及的核素特性

本项目涉及的放射性核素特性见表1-2。

表1-2 本项目各核素特性表

| 核素                | 半衰期     | 物态 | 毒性 | 衰变类型                      | $\alpha/\beta$ 最大能量 (MeV)         | 主要 $\gamma/X$ 能量 (MeV)  | 周围剂量当量率常数(裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ | 用途                   | 来源     |
|-------------------|---------|----|----|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---|----------------------|--------|
| <sup>177</sup> Lu | 6.73d   | 液态 | 中毒 | $\beta^-$                 | 0.2058                            | 0.208                   | 0.00517   | 核素治疗                 | 外购/自合成 |
| <sup>131</sup> I  | 8.02d   | 液态 | 中毒 | $\beta^-(100)$            | 0.602                             | 0.284<br>0.365<br>0.637 | 0.0595  |                      | 外购     |
| <sup>133</sup> Xe | 5.245d  | 液态 | 低毒 | $\beta^-$                 | 0.346                             | 0.1001                  | 0.014   | SPECT-CT显像诊断         | 外购     |
| <sup>99m</sup> Tc | 6.015h  | 液态 | 低毒 | IT(100)                   | —                                 | 0.140                   | 0.0303  |                      | 外购/自淋洗 |
| <sup>68</sup> Ga  | 68.3min | 液态 | 低毒 | EC、 $\beta^+$             | $\beta^+1.899$                    | 0.511                   | 0.134   | PET-CT显像诊断           | 外购/自合成 |
| <sup>64</sup> Cu  | 12.7h   | 液态 | 低毒 | EC、 $\beta^+$ 、 $\beta^-$ | $\beta^+0.657$<br>$\beta^-0.571$  | 0.511                   | 0.029   |                      | 外购     |
| <sup>18</sup> F   | 110min  | 液态 | 低毒 | $\beta^+(97)$<br>EC(3)    | 0.635                             | 0.511                   | 0.143   |                      | 外购/自合成 |
| <sup>223</sup> Ra | 11.43d  | 液态 | 极毒 | $\alpha$                  | 5.716                             | 0.269                   | 0.062   |                      | 外购     |
| <sup>225</sup> Ac | 10.0d   | 液态 | 极毒 | $\alpha$                  | 5.830                             | 0.099                   | 0.000195  | 核素治疗                 | 外购     |
| <sup>153</sup> Sm | 46.44h  | 液态 | 中毒 | $\beta^-$                 | 0.705                             | 0.0103                  | 0.072   |                      | 外购     |
| <sup>161</sup> Tb | 7.21d   | 液态 | 中毒 | $\beta^-$                 | 0.520                             | 0.155                   | 0.001   |                      | 外购     |
| <sup>212</sup> Pb | 10.64h  | 液态 | 中毒 | $\beta^-$                 | 0.335                             | 0.239                   | 0.0274  |                      | 外购     |
| <sup>211</sup> At | 7.2h    | 液态 | 高毒 | $\alpha$ 、EC              | 5.87                              | 0.687                   | 0.0092  |                      | 外购     |
| <sup>213</sup> Bi | 46min   | 液态 | 高毒 | $\alpha$ 、 $\beta^-$      | $\alpha: 5.869$<br>$\beta: 1.420$ | 0.7273                  | 0.0282  |                      | 外购     |
| <sup>99</sup> Mo  | 65.94h  | 液态 | 中毒 | $\beta^-$                 | 1.214                             | 0.739                   | /   | 淋洗 <sup>99m</sup> Tc | 外购     |

注：本项目核素的物理参数参考GBZ120-2020、NCRP151和《辐射防护手册》（潘自强主编）。

### 1.2.5 工作规模和劳动定员

**工作制度：**本项目核医学科每天工作8h，每周工作5天，每年工作50周。

**诊疗规模：**本项目涉及的非密封放射性核素诊疗规模见下表。

表1-3 本项目非密封放射性核素诊疗规模

| 场所         | 非密封放射性核素   | 诊疗规模  |
|------------|--|---|
| 甲癌治疗区域     | $^{177}\text{Lu}$  | 本项目拟设置1张 $^{177}\text{Lu}$ 治疗病床，单次治疗住院时长不超过3天，正式投入使用后， $^{177}\text{Lu}$ 治疗项目每天最多治疗1人，每周最多治疗2人。 |
| 核医学科显像诊疗区域 | $^{133}\text{Xe}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{161}\text{Tb}$ 、 $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{211}\text{At}$ 、 $^{213}\text{Bi}$ | 正式投入使用后，核医学科显像诊疗区域预计最大接诊量约为75人/每天。  |

**劳动定员：**医院核医学科现有9名辐射工作人员，本项目投入使用后，拟沿用现有辐射工作人员开展相关核素诊疗工作。另外医院拟增加2名辐射工作人员开展药物合成生产和质检工作。本项目辐射工作人员均不参与其他科室与机房的工作。

### 1.2.6 项目依托环保设施情况

医院门诊综合大楼负一层核医学科已取得原福建省环境保护厅批复文件（闽环辐评[2016]16号、闽环辐评[2021]15号、闽环辐评[2023]5号），并分别于2020年11月、2021年11月、2024年4月完成自主验收。

**污水处理设施：**本项目使用非密封放射性核素进行诊疗过程中会产生放射性废水，日常办公和休息过程中会产生生活污水和医疗废水。因此，项目运营期间外排水主要为放射性废水和医护人员日常办公产生的生活污水。另核医学科工作场所改造期间会产生极少量施工废水和清洗废水。

放射性废水依托医院现有配套衰变池进行衰变处理，待衰变后的放射性废水a) 所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放；b) 所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB 18871中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 $\alpha$ 不大于1Bq/L、总 $\beta$ 不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L。生活污水和施工期废水和清洗废水均依托医院现有医疗废水处理站处理达《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2预处理标准后，排入市政污水管网进入污水处理厂。

**固体废物处理设施：**本项目运营期固体废物主要为使用非密封放射性核素过程中产生的放射性固体废物，以及少量医务人员日常办公产生的生活垃圾。非密封放射性物质工作

场所内均设有废物处置专用房间和铅衰变箱用于日常收集和衰变，放射性固体废物收集后置于铅衰变箱中衰变至要求时长后统一交由有资质的单位回收处理。办公区域内设有生活垃圾收集桶，生活垃圾定点袋装收集，日产日清，定期交当地环卫部门清运处置。

另在核医学科工作场所改造期间会产生极少量建筑固废，因施工量小、工期短，施工当天即可收集运至医院垃圾收集站由环卫统一清运。

**气体排放设施：**本项目运营期气体主要为放射性气体和极少量臭氧、氮氧化物。所在建筑和楼层内均设有通排风系统，在非密封放射性物质工作场所内铺设专用排风管道和新风管道，场所内气体通过专用排风管道引至楼顶排出。另在排风管道内设有过滤装置并定期更换。更换后的过滤装置作为放射性固体废物处理。

另在核医学科工作场所改造期间会产生极少量灰尘，施工期短且施工过程中采取必要的洒水措施，施工结束则不再产生灰尘，不会对周围大气环境产生影响和破坏。

本项目所依托的环保设施均已通过环境影响评价，现有环保设施处理能力可以满足本项目产生的生活废水、生活垃圾、医疗废物处置等需求，做到达标排放，不存在原有环境污染问题和环境现状问题，不会对周边环境造成污染。

## 1.3 项目选址及周边环境保护目标

### 1.3.1 项目地理位置

厦门弘爱医院位于厦门市湖里区仙岳路3777号，本项目地理位置图见附图1。医院平面布局、项目位置和周围环境示意图见附图2。医院北侧为金山西路，南侧为桥头路，西侧为洪水头东路，东侧为金山路。

医院建筑有门诊综合大楼、一号住院楼、二号住院楼、三号住院楼、康复中心、月子中心、后勤楼、医技科研楼等。

### 1.3.2 本次环评辐射工作场所周边关系

本项目核医学科工作场所位于门诊综合大楼负一层，门诊综合大楼位于医院东侧，共计七层，包括地下两层（加速器区域仅有地下一层）和地上五层。该门诊综合大楼北部区域的六层以上加建医院住院楼（6~17层）。门诊综合大楼东侧依次为院内道路、绿化、医院东围墙，围墙外为金山路；南侧依次为桥头路、公共绿地、仙岳路；西侧依次为院内道路、康复中心楼和三号住院楼；北侧依次为院内绿化、道路、医院北围墙，围墙外为金山西路。

本项目核医学科位于门诊综合大楼负一层东侧，距离核医学科东侧边界约52米处为金

山路；距离核医学科南侧边界约71米处为桥头路；距离核医学科西侧边界约137米处为康复中心楼；距离核医学科北侧边界约67米处为金山西路。核医学科工作场所四周边界50米内均为院内建筑和院内道路。

核医学科东侧为放射治疗区域，南侧为负一层地下车库，西侧为药房，北侧为电梯、楼梯间、工具间等，上方为急诊大厅、抢救室、室外，下方为负二层地下车库、电梯、机房。

**分析：**本项目核医学科工作场所均位于医院大楼的地下楼层的一端。工作场所独立设置，不涉及产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，无人员长期居留建筑和场所。设置有单独出、入口，出口远离门诊大厅、收费处等人员稠密区域。各工作场所内平面布置相对集中，位于所在楼层一端，诊疗区域设置门锁权限和单向门禁等安全措施，限制患者或受检者随意流动。场所内设有患者独立卫生间和工作人员专用卫生间，且患者、工作人员和药物路线独立区分，避免通道交叉。各工作场所内设置有专门放射性药物操作区、源库和污物间，设有应急场所和辅助用房。场所内明确划分监督区和控制区，各区域内设有相应的工作用房，满足非密封放射性核素使用的工作需求。核医学科工作场所均进行辐射屏蔽设计，避免辐射源的对周围的影响。符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)和《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中关于核医学工作场所选址和布局的要求。

综上所述，本项目核医学科工作场所周围50m范围内均为医院内部建筑、院内道路，不存在自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等敏感目标，项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的防护治理措施后对周围环境造成的辐射影响是可接受的，故本项目的选址是可行的。

#### 1.4 土地利用总体规划符合性、区域规划符合性分析

本项目核医学科工作场所位于门诊综合大楼负一层东侧，项目用地属于医疗卫生用地，符合土地利用要求。项目为医院配套诊疗项目，不属于二类、三类工业项目，符合土地利用总体规划和区域规划要求。

#### 1.5 产业政策符合性分析

根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员令第7号，2023年12月27日发布），本项目属鼓励类第六项“核能”第4条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”以及第十三项“医药”第4条“新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，

高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”项目，符合国家产业政策。

## 1.6实践正当性分析

本项目的运行，可为患者提供核医学诊断及治疗服务，方便群众就医，同时有利于提高福建省医疗卫生服务水平，促进当地医疗卫生事业发展，具有良好的社会效益和经济效益。本项目总投资350万元，其中环保投资30万，占总投资的8.57%，与同类项目环保投资指标相比，本项目环保投资比例合理、适当，可保证环保措施的落实。根据下文分析，本项目经辐射防护屏蔽和安全管理后，可保证项目辐射环境剂量率和人员年受照剂量满足项目管理目标要求。

因此，从代价利益方面分析，本项目获得的利益远大于对环境的影响，具有明显的经济效率、社会效益，该项目的建设利益大于其所付出的代价，因此符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

## 1.7项目环保投资

本项目环保投资明细见表1-4。

表1-4 本项目环保投资明细一览表

| 序号 | 项目                      | 投资金额(万元) |
|----|-------------------------|----------|
| 1  | 配套辐射防护用品、辐射安全规章制度上墙     | 9        |
| 2  | 个人剂量监测、职业健康体检、辐射安全与防护考核 | 5        |
| 3  | 辐射监测仪器                  | 3        |
| 4  | 环境影响评价、竣工环保验收           | 13       |
| 5  | 合计                      | 30       |

## 1.8现有核技术利用项目许可情况

建设单位现有《辐射安全许可证》许可内容为“使用III类、V类放射源；使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所”，证书编号为“闽环辐证[00292]”，有效期至2029年02月01日。（详见附件3：《辐射安全许可证》）建设单位核技术应用项目许可情况见表1-5、表1-6和表1-7。

表1-5现有放射源情况一览表

| 序号 | 放射源名称 | 类别 | 总活度(贝克)/活度(贝克)×枚数 | 工作场所名称 | 使用情况 | 环评情况 | 验收日期 |
|----|-------|----|-------------------|--------|------|------|------|
|    |       |    |                   |        |      |      |      |

|   |                   |      |                              |          |     |                   |         |     |
|---|-------------------|------|------------------------------|----------|-----|-------------------|---------|-----|
| 1 | <sup>192</sup> Ir | III类 | $3.7 \times 10^{11}$ (Bq) *1 | 后装机机房    | 使用  | 闽环辐评[2016]16号,已许可 | 2022.7  |     |
| 2 | <sup>22</sup> Na  | V类   | $3.7 \times 10^6$ (Bq) *2    | /        | 未使用 |                   | 未验收     |     |
| 3 | <sup>68</sup> Ge  | V类   | $3.5 \times 10^6$ (Bq) *1    | PET/CT机房 | 使用  |                   | 2020.11 |     |
| 4 | <sup>68</sup> Ge  | V类   | $5.5 \times 10^7$ (Bq) *1    |          | 使用  |                   | 2020.11 |     |
| 5 | <sup>137</sup> Cs | V类   | $1.11 \times 10^6$ (Bq) *2   | /        | 未使用 |                   | 未验收     |     |
| 6 | <sup>90</sup> Sr  | V类   | $1.48 \times 10^9$ (Bq) *1   | /        | 未使用 |                   | 已备案     | 未验收 |

表1-6现有非密封放射性物质情况一览表

| 序号 | 场所等级 | 核素                      | 日等效最大操作量              | 工作场所名称                                 | 使用情况 | 环评情况                             | 验收日期            |  |
|----|------|-------------------------|-----------------------|--|------|----------------------------------|-----------------|--|
| 1  | 乙级   | <sup>18</sup> F         | $7.4 \times 10^7$ Bq  | 核医学科                                   | 使用   | 闽环辐评[2016]16号, 已许可               | 2020.11         |  |
| 2  |      | <sup>11</sup> C         | $7.4 \times 10^6$ Bq  |  | 未使用  |                                  | 未验收             |  |
| 3  |      | <sup>13</sup> N         | $7.4 \times 10^6$ Bq  |  | 未使用  |                                  | 未验收             |  |
| 4  |      | <sup>15</sup> O         | $7.4 \times 10^6$ Bq  |  | 未使用  |                                  | 未验收             |  |
| 5  |      | <sup>99m</sup> Tc       | $5.55 \times 10^7$ Bq |  | 使用   |                                  | 2020.11         |  |
| 6  |      | <sup>99</sup> Mo        | $5.92 \times 10^6$ Bq |  | 未使用  |                                  | 未验收             |  |
| 7  |      | <sup>201</sup> Tl       | $9.25 \times 10^6$ Bq |  | 未使用  |                                  | 未验收             |  |
| 8  |      | <sup>67</sup> Ga        | $1.85 \times 10^8$ Bq |  | 未使用  |                                  | 未验收             |  |
| 9  |      | <sup>89</sup> Sr        | $7.4 \times 10^7$ Bq  |  | 未使用  |                                  | 未验收             |  |
| 10 |      | <sup>32</sup> P         | $2.31 \times 10^8$ Bq |  | 使用   | 闽环辐评[2021]15号及备案, 已许可            | 2021.11         |  |
| 11 |      | <sup>90</sup> Y         | $6 \times 10^7$ Bq    |  | 使用   | 闽环辐评[2023]5号, 已许可                | 2024.4          |  |
| 12 |      | <sup>131</sup> I        | $3.15 \times 10^9$ Bq |  | 使用   | 闽环辐评[2016]16号、闽环辐评[2021]15号, 已许可 | 2020.11、2021.11 |  |
| 13 |      | <sup>125</sup> I<br>粒籽源 | $3.7 \times 10^6$ Bq  | 核医学科购入、DSA机房和CT机房内植入、肿瘤和介入病区粒籽植入专用病房住院 | 使用   | 闽环辐评[2016]16号, 已许可               | 2020.11         |  |
| 14 |      | <sup>90</sup> Y         | $5 \times 10^7$ Bq    | 血管造影室                                  | 使用   | 闽环辐评[2023]5号, 已许可                | 2024.4          |  |

表1-7现有射线装置情况一览表

| 序号 | 装置名称 | 数量(台) | 类别 | 最大管电压 | 最大管电流 | 工作场所 | 使用情况 | 环评情况 | 验收日期 |
|----|------|-------|----|-------|-------|------|------|------|------|
|----|------|-------|----|-------|-------|------|------|------|------|

|    |   |    |      | (kV)                    | (mA)   |     |                    |            |  |  |
|----|---|----|------|-------------------------|--|-----|--------------------|------------|--|--|
| 1  | 医用电子直线加速器                               | 1  | II类  | 电子线≤22MeV, X线≤15MV      | 门诊综合大楼负一层4#加速器机房                             | 未安装 | 闽环辐评[2018]5号, 已许可  | 未验收        |  |  |
| 2  | 医用电子直线加速器                               | 1  | II类  | 电子线≤22MeV, X线≤15MV      | 门诊综合大楼负一层3#加速器机房                             | 未安装 | 闽环辐评[2016]16号, 已许可 | 未验收        |  |  |
| 3  | 医用电子直线加速器                               | 1  | II类  | 电子线≤22MeV, X线≤15MV      | 门诊综合大楼负一层2#加速器机房                             | 使用  |                    | 2020.11    |  |  |
| 4  | 螺旋断层放疗设备(TOMO刀)                         | 1  | II类  | 电子线≤6MeV, X线≤6MV        | 门诊综合大楼负一层TOMO刀机房                             | 未安装 |                    | 未验收        |  |  |
| 5  | DSA                                     | 1  | II类  | 125 1000                | 门诊综合大楼四楼DSA杂交手术室                             | 使用  | 闽环辐评[2018]34号, 已许可 | 2020.11    |  |  |
| 6  | DSA                                     | 1  | II类  | 125 813                 | 门诊综合大楼三楼1#导管室                                | 使用  | 闽环辐评[2016]16号, 已许可 | 2020.11    |  |  |
| 7  | DSA                                     | 1  | II类  | 125 813                 | 门诊综合大楼三楼2#导管室                                | 未安装 |                    | 未验收        |  |  |
| 8  | PET/CT                                  | 1  | III类 | 150 715                 | 门诊综合大楼负一楼PET/CT机房                            | 使用  |                    | 2020.11    |  |  |
| 9  | SPECT                                   | 1  | III类 | / /                     | 门诊综合大楼负一楼2#SPECT/CT机房                        | 使用  |                    | 2020.11    |  |  |
| 10 | 模拟定位CT                                  | 1  | III类 | 125 1250                | 门诊综合大楼负一楼模拟定位CT机房                            | 使用  |                    | /          |  |  |
| 11 | BNCT                                    | 1  | II类  | 能量: 2.75MeV<br>流强: 10mA | 9号楼负一、负二层                                    | 未使用 | 闽环辐评(2019)49号, 已许可 | 正在履行竣工环保手续 |  |  |
| 12 | 碎石机、移动DR、牙片机、体检CT、乳腺机、口腔CT、急诊CT、骨密度仪、C型 | 21 | III类 | / /                     | 分布于门诊综合大楼1-2层放射科、3层口腔科、4层手术室, 及新建康复中心楼2层的体检科 | 使用  | 已备案、已许可            | /          |  |  |

|   |        |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|
|   | 臂、ERCP |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 注：厦门弘爱医院部分放射源、非密封性放射性物质及射线装置环评批复时间为2016年7月14日，截止目前尚未安装使用， |        |  |  |  |  |  |  |  |  |

## 1.9 现有核技术利用管理情况

### （1）辐射安全与环境保护管理机构

厦门弘爱医院已成立了由许树根为组长的辐射安全与环境保护管理机构负责辐射安全与环境保护管理工作（详见附件6），并以正式文件形式任命，满足管理机构的要求。

### （2）辐射安全管理规章制度

厦门弘爱医院已针对现有核技术利用项目制定了辐射安全管理规章制度（详见附件6），主要包括《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射安全操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《放射性同位素、放射装置使用登记制度》、《人员培训计划》、《个人剂量监测和职业健康管理制度》、《辐射环境监测方案》及《医院辐射事故应急处理预案》。

建设单位原有管理制度内容较为全面，符合相关要求，原有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

### （3）辐射监测和年度评估

厦门弘爱医院每年均委托有资质单位对本单位的辐射工作场所和设备性能进行年度监测，监测结果满足相关标准要求。每年对本单位辐射工作场所的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交了上一年度的评估报告，满足环保相关管理要求。

### （4）个人剂量监测与健康体检

厦门弘爱医院现有辐射工作人员均已配备个人剂量计，已定期（每季度一次）送有资质单位（厦门亿科特检测技术有限公司）进行个人剂量监测，建立了个人剂量档案，现有辐射工作人员的受照剂量均未超过职业人员年剂量管理限值要求。

医院已定期（不超过2年/次）组织现有辐射工作人员进行职业健康体检，并建立辐射工作人员职业健康监护档案，根据最新一次职业健康体检报告，医院现有辐射工作人员均可继续原放射工作，满足相关辐射管理要求。

### （5）辐射安全和防护知识培训

厦门弘爱医院现有辐射工作人员130余名，核医学科辐射工作人员9名，根据医院提供

的证件信息，9名核医学科辐射工作人员均已参加福建省核技术利用辐射安全与防护考核，成绩合格。

#### **(6) 辐射工作运行情况**

厦门弘爱医院开展核技术利用项目至今，未发生过辐射安全事故。

表2 放射源

| 序号 | 核素名称 | 总活度 (Bq) / 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 |
|----|------|-------------------------|----|------|----|------|---------|----|
|    | 以下空白 |                         |    |      |    |      |         |    |

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流强度 (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 | 日最大用量 (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                | 来源     |
|----|-------------------|------------------|------|------------|--------------|------------|----------------|-------|--------------------|------------------------|--------|
| 1  | <sup>177</sup> Lu | 液态，中毒，半衰期6.73d   | 使用   | 5.55E+09   | 5.55E+08     | 5.55E+11   | 核素治疗           | 简单操作  | 门诊综合大楼负一层东侧的甲癌治疗区域 | 甲癌治疗区域病房区的源库           | 外购/自合成 |
| 2  | <sup>133</sup> Xe | 液态，低毒，半衰期5.245d  | 使用   | 3.70E+08   | 3.70E+06     | 9.25E+10   |                | 简单操作  |                    | SPECT储源间               | 外购     |
| 3  | <sup>99m</sup> Tc | 液态，低毒，半衰期6.015h  | 使用   | 3.70E+10   | 3.70E+07     | 9.25E+12   |                | 很简单操作 |                    |                        |        |
| 4  | <sup>18</sup> F   | 液态，低毒，半衰期110min  | 使用   | 7.40E+09   | 7.40E+07     | 1.85E+12   | SPECT-CT核素显像诊断 | 简单操作  |                    | PET储源间                 | 外购/自合成 |
| 5  | <sup>68</sup> Ga  | 液态，低毒，半衰期68.3min | 使用   | 3.70E+08   | 3.70E+06     | 9.25E+10   |                | 简单操作  |                    |                        |        |
| 6  | <sup>64</sup> Cu  | 液态，低毒，半衰期12.7h   | 使用   | 3.70E+08   | 3.70E+05     | 9.25E+10   |                | 很简单操作 |                    |                        |        |
| 7  | <sup>223</sup> Ra | 液态，极毒，半衰期11.43d  | 使用   | 3.70E+06   | 3.70E+07     | 9.25E+08   | PET-CT核素显像诊断   | 简单操作  |                    | 门诊综合大楼负一层东侧的核医学科显像诊疗区域 | 外购/自合成 |
| 8  | <sup>225</sup> Ac | 液态，极毒，半衰期10.0d   | 使用   | 3.70E+06   | 3.70E+07     | 9.25E+08   |                | 简单操作  |                    |                        |        |
| 9  | <sup>153</sup> Sm | 液态，中毒，           | 使用   | 2.96E+09   | 2.96E+08     | 7.40E+11   |                | 简单操作  |                    |                        |        |

|    |                   |                      |    |          |          |          |  |                      |    |                                 |    |
|----|-------------------|----------------------|----|----------|----------|----------|--|----------------------|----|---------------------------------|----|
|    |                   | 半衰期46.44             |    |          |          |          |  |                      |    |                                 |    |
| 10 | <sup>161</sup> Tb | 液态, 中毒,<br>半衰期7.21d  | 使用 | 3.70E+07 | 3.70E+06 | 9.25E+09 |  | 简单操作                 |    |                                 |    |
| 11 | <sup>212</sup> Pb | 液态, 中毒,<br>半衰期10.64h | 使用 | 3.70E+07 | 3.70E+06 | 9.25E+09 |  | 简单操作                 |    |                                 |    |
| 12 | <sup>211</sup> At | 液态, 高毒<br>半衰期7.2h    | 使用 | 3.70E+07 | 3.70E+07 | 9.25E+09 |  | 简单操作                 |    |                                 |    |
| 13 | <sup>213</sup> Bi | 液态, 高毒<br>46min      | 使用 | 3.70E+07 | 3.70E+07 | 9.25E+09 |  | 简单操作                 |    |                                 |    |
| 14 | <sup>99</sup> Mo  | 液态, 中毒,<br>半衰期65.94h | 使用 | 5.92E+10 | 5.92E+06 | 2.96E+12 |  | 淋洗 <sup>99m</sup> Tc | 贮存 | <sup>99m</sup> Tc合<br>成分装<br>热室 | 外购 |

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 | 装置名称 |  | 类别 | 数量 | 型号 | 加速<br>粒子 | 最大能量<br>(MeV) | 额定电流<br>(mA) | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|----|------|--|----|----|----|----------|---------------|--------------|----|------|----|
|    | 以下空白 |  |    |    |    |          |               |              |    |      |    |

(二) X射线机, 包括工业探伤、医用诊和治疗、分析等用途

| 序号 | 装置名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 最大管电压 (kV) | 最大管电流 (mA) | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|----|------|----|----|----|------------|------------|----|------|----|
|    | 以下空白 |    |    |    |            |            |    |      |    |
|    |      |    |    |    |            |            |    |      |    |

(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<br>压 (kV) | 最大靶电<br>流 (μA) | 中子强<br>度(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/设备名称  | 月排放量    | 年排放总量    | 排放口浓度                         | 暂存情况   | 最终去向  |
|--|----|--|---------|----------|-------------------------------|--|---|
| 放射性废水  | 液态 | $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{133}\text{Xe}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{161}\text{Tb}$ 、 $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{211}\text{At}$ 、 $^{213}\text{Bi}$ | <0.01Bq | <0.01Bq  | 总α放射性<br><1Bq/L，<br>总β≤10Bq/L | 甲癌治疗区域产生的放射性废水排入负二层的三个槽式不锈钢衰变罐，每个衰变罐有效容积均为36.7m <sup>3</sup> ，总有效容积为110m <sup>3</sup> 。核医学科显像诊疗区域产生的放射性废水排入核医学科东侧负二层衰变池，衰变池共四格，单格容积约16 m <sup>3</sup> ，总容积64m <sup>3</sup> 。 | a) 所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放；b) 所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB 18871中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L。 |
| 放射性固废（污染物的注射器、针头、试管、手套、棉签、纱布、滤纸、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品和更换的废活性炭） | 固态 | $^{77}\text{Lu}$ 、 $^{133}\text{Xe}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{161}\text{Tb}$ 、 $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{211}\text{At}$ 、 $^{213}\text{Bi}$  | /       | 1264.5kg | /                             | 置于污物间的铅桶内暂存  | 所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天，所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍，含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天后，达到清洁解控水平，作为医疗废物处理   |
| 废 $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器        | 固态 | $^{99}\text{Mo}$   | /       | /        | /                             | 不暂存，厂家回收   | 厂家回收  |
| 非放气态废物（臭氧、氮氧化物、气溶胶）                                      | 气态 | 臭氧、氮氧化物  | 极少量     | 极少量      | /                             | /  | 经屋顶排气筒排放、排风系统、中央空调新风系统  |
| 放射性废气  | 气态 | $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{133}\text{Xe}$ 、  | 极少量     | 极少量      | /                             | /  | 甲癌治疗区域和核医学科内  |

|              |    |   |   |   |   |          |  |
|--------------|----|---|---|---|---|----------|--|
|              |    | $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{161}\text{Tb}$ 、 $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{211}\text{At}$ 、 $^{213}\text{Bi}$ |   |   |   |          | 均设有排风口，通过专用管道与楼层放射性废气专用排风管道相连接，并经排风井将废气引至楼顶排出。   |
| 改造过程中产生的固体废物 | 固态 | $^{131}\text{I}$ 、 $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{90}\text{Y}$  | / | / | / | 暂存在改造区域内 | 经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，控制区内物品 $\beta$ 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，监督区内物品 $\beta$ 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控并作为普通废物处理。 |
| 以下空白         |    |   |   |   |   |          |  |

注：1、常见废弃物排放浓度，对于液态单位为 $\text{mg}/\text{L}$ ，固体为 $\text{mg}/\text{m}^3$ ，气态为 $\text{mg}/\text{m}^3$ ；年排放总量用 $\text{kg}$ ；

2、含有放射性的废弃物要标明其排放浓度、年排放总量，单位分别为 $\text{Bq}/\text{L}$ （ $\text{kg}$ 、 $\text{m}^3$ ）和活度（ $\text{Bq}$ ）。

## 表6 评价依据

|                  |   |
|------------------|---|
| 法<br>规<br>文<br>件 | <p>(1)《中华人民共和国环境保护法》(1989年12月26日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过; 2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订), 2015年1月1日施行;</p> <p>(2)《中华人民共和国环境影响评价法》(2002年10月28日通过, 自2003年9月1日起施行; 2016年7月2日第一次修正; 2018年12月29日第二次修正);</p> <p>(3)《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第六号), 2003年10月1日施行;</p> <p>(4)《建设项目环境保护管理条例》(1998年11月29日中华人民共和国国务院令第253号发布施行; 2017年7月16日中华人民共和国国务院第682号令修订, 自2017年10月1日起施行);</p> <p>(5)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》, (2005年9月14日经国务院令第449号公布, 2014年7月29日经国务院令第653号修改, 2019年3月2日经国务院令第709号修改);</p> <p>(6)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2006年1月18日, 国家环境保护总局令第31号公布, 2008年12月6日经环境保护部令第3号修改, 2017年12月20日经环境保护部令第47号修改, 2019年8月22日经生态环境部令第7号修改, 2021年1月4日经生态环境部令第20号修改);</p> <p>(7)《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令第18号), 自2011年5月1日起施行;</p> <p>(8)《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), 自2017年12月5日起施行;</p> <p>(9)《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》(公告2019年第57号);</p> <p>(10)《关于进一步优化辐射安全考核的公告》(生态环境部公告2021年第9号);</p> <p>(11)《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021年版)》(生态环境部令第16号), 自2021年1月1日起施行;</p> |
|------------------|---|

|      |   |
|------|---|
|      | <p>(12)《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，中华人民共和国环境保护部办公厅，环办辐射函[2016]430号，2016年3月7日发布；</p> <p>(13)《关于发布&lt;放射性废物分类&gt;的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告2017年第65号），自2018年1月1日施行；</p> <p>(14)《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》（国家环保总局，环发[2006]145号）；</p> <p>(15)《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（生态环境部令第9号），2019年11月1日施行；</p> <p>(16)关于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中免于编制环境影响评价文件的核技术利用项目有关说明的函（中华人民共和国环境保护部办公厅，环办函[2015]1758号）；</p> <p>(17)《放射性废物安全管理条例》，国务院令第612号，2012年3月1日起施行；</p> <p>(18)《关于启用环境影响评价信用平台的公示》，生态环境部公告2019年第39号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(19)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，2013年3月15日印发；</p> <p>(20)《福建省生态环境厅关于印发福建省辐射事故应急预案的函》，闽环函〔2020〕22号，2020年9月23日印发；</p> <p>(21)《福建省生态环境保护条例》（福建省第十三届人民代表大会常务委员会第三十二次会议通过，2022年5月1日施行）。</p> |
| 技术标准 | <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)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(4)《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)；</p> <p>(5)《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(6)《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(7)《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB8999-2021)；</p>   |

|                | <p>(8)《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020);</p> <p>(9)《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020);</p> <p>(10)《放射性废物管理规定》(GB14500-2002);</p> <p>(11)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019);</p> <p>(12)《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》(HJ421-2008);</p> <p>(13)《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005);</p> <p>(14)《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)。</p>  |                         |                         |                         |                         |    |           |            |             |                |                |                 |
|----------------|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----|-----------|------------|-------------|----------------|----------------|-----------------|
| 其<br>他         | <p>一、参考资料</p> <p>(1)《辐射防护导论》，方杰主编。</p> <p>(2)《辐射防护手册-辐射源与屏蔽》，李德平、潘自强主编。</p> <p>(3)《中国环境天然放射性水平》，国家环境保护局，1995年。</p> <p>(4)福建省环境天然贯穿辐射水平调查，陈夏冠等。</p>   |                         |                         |                         |                         |    |           |            |             |                |                |                 |
|                | <p><b>表6-1福建省厦门市原野、道路、建筑物室内<math>\gamma</math>辐射空气吸收剂量率(单位: nGy/h)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>原野<math>\gamma</math>辐射剂量率<br/>范围</th> <th>道路<math>\gamma</math>辐射剂量率<br/>范围</th> <th>室内<math>\gamma</math>辐射剂量率<br/>范围</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>范围</td> <td>72.7~85.6</td> <td>78.2~129.4</td> <td>161.9~193.5</td> </tr> <tr> <td>按点均值<math>\pm</math>标准差</td> <td>80.2<math>\pm</math>5.8</td> <td>94.9<math>\pm</math>23.3</td> <td>177.2<math>\pm</math>14.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>二、相关附件</p> <p>(1)项目委托书(附件1);</p> <p>(2)《民办非企业单位登记证书》(附件2);</p> <p>(3)《辐射安全许可证》(附件3);</p> <p>(4)现有项目环评批复(附件4);</p> <p>(5)本项目辐射环境现状监测报告(附件5);</p> <p>(6)辐射安全管理规章制度(附件6);</p> <p>(7)核医学科相关人员资料(附件7)。</p> |                         | 原野 $\gamma$ 辐射剂量率<br>范围 | 道路 $\gamma$ 辐射剂量率<br>范围 | 室内 $\gamma$ 辐射剂量率<br>范围 | 范围 | 72.7~85.6 | 78.2~129.4 | 161.9~193.5 | 按点均值 $\pm$ 标准差 | 80.2 $\pm$ 5.8 | 94.9 $\pm$ 23.3 |
|                | 原野 $\gamma$ 辐射剂量率<br>范围  | 道路 $\gamma$ 辐射剂量率<br>范围 | 室内 $\gamma$ 辐射剂量率<br>范围 |                         |                         |    |           |            |             |                |                |                 |
| 范围             | 72.7~85.6  | 78.2~129.4              | 161.9~193.5             |                         |                         |    |           |            |             |                |                |                 |
| 按点均值 $\pm$ 标准差 | 80.2 $\pm$ 5.8   | 94.9 $\pm$ 23.3         | 177.2 $\pm$ 14.2        |                         |                         |    |           |            |             |                |                |                 |

## 表7 保护目标与评价标准

### 7.1评价范围

本项目为使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所），运行期主要环境影响为电离辐射影响，根据本项目的特点，结合《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）的相关规定，本辐射环境评价范围取本项目辐射工作场所实体边界外50m范围，评价范围情况详见附图2。

### 7.2保护目标

根据附图2可知，本项目核医学科工作场所位于门诊综合大楼负一层，实体边界外50m评价范围内主要为医院内部建筑和院内道路，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。

因此本项目的保护目标为医院内部建筑和院内道路，上述场所内包括从事本项目的辐射工作人员（职业人员）和评价范围内其他医患和流动人群（公众人员）。具体情况见表7-1。

表7-1本项目环境保护目标信息

| 保护目标名称    | 方位            |  | 最近距离  | 规模            | 年剂量约束值   |
|-----------|---------------|--|-------|---------------|----------|
| 本项目辐射工作人员 | 门诊综合大楼负一层核医学科 |  | —     | 约11人          | 5mSv/a   |
| 门诊综合大楼    | 医护人员          | 东侧：放射治疗区域、过道<br>南侧：地下车库<br>西侧：药房<br>北侧：电梯、楼梯间、工具间<br>上侧：急诊大厅、抢救室、室外过道<br>下侧：地下车库、电梯、机房、污物周转区、精密仪器储藏间、模拟操作间、污水间 | 约0.3m | 约100人<br>流动人口 | 0.1mSv/a |
|           | 患者及患者家属       | 门诊综合大楼北侧、东侧、南侧   | 约5.5m | 流动人口          |          |
| 院内道路行人    |               |  |       |               |          |

### 7.3评价标准

#### 7.3.1剂量限制

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

表 7-2 剂量限值的相关内容

| 相关条款      | 具体内容  |
|-----------|---|
| B1.1 职业照射 | B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：<br>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 |

|               |  |
|---------------|--|
| B1.2 公众<br>照射 | B1.2.1 实践使公众中有关关键人群的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：<br>a) 年有效剂量, 1mSv |
|---------------|--|

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 4.4.2剂量约束值：

4.2.2.1 一般情况下, 职业照射的剂量约束值不超过5mSv/a;

4.2.2.2 公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a。

结合GB18871-2002和HJ 1188-2021的相关要求, 本项目中职业照射取5mSv作为辐射剂量约束值, 公众照射取0.1mSv作为辐射剂量约束值。

### 7.3.2 辐射管理分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 要求, 应把辐射工作场所分为控制区和监督区, 以便于辐射防护管理和职业照射控制。

#### 6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把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。

#### 6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区, 在其中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。

### 7.3.3 核医学科工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附录C规定的非密封源工作场所的分级, 应按表C1将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 C1 非密封源工作场所的分级

| 级别 | 具体内容                               |
|----|------------------------------------|
| 甲  | $>4 \times 10^9$                   |
| 乙  | $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ |
| 丙  | 豁免活度值以上~ $2 \times 10^7$           |

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 C2 和表 C3。

表 C2 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 C3 操作方式与放射源状态修正因子

| 操作方式    | 放射源状态       |             |          |                         |
|---------|-------------|-------------|----------|-------------------------|
|         | 表面污染水平较低的固体 | 液体, 溶液, 悬浮液 | 表面有污染的固体 | 气体, 蒸汽, 粉末, 压力很高的液体, 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                   |

根据《核医学放射防护标准》(GBZ 120-2020)对核医学工作场所具体分类, 核医学工作场所属于非密封源工作场所, 依据计划操作最大量放射性核素的加权活度, 将工作场所分为I、II、III等三类(见表 G.1)。

表 G.1 核医学工作场所分类一览表

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

供计算操作最大量放射性核素的加权活度用的核医学常用放射性核素毒性权重因子和不同操作性质的修正因子分别见表 G.2 和表 G.3。

表 G.2 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

| 类别 | 放射性核素   | 核素的毒性因子 |
|----|---|---------|
| A  | $^{75}\text{Se}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{90}\text{Y}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{153}\text{Sm}$  | 100     |
| B  | $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{67}\text{Ga}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{111}\text{In}$ 、 $^{123}\text{I}$ 、 $^{201}\text{Tl}$ | 1       |
| C  | $^{3}\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 、 $^{127}\text{Xe}$ 、 $^{133}\text{Xe}$   | 0.01    |

表 G.3 不同操作性质的修正因子

| 操作方式和地区   | 操作性质修正因子 |
|-----------|----------|
| 贮存        | 100      |
| 废物处理      |          |
| 闪烁法计数和显像  | 10       |
| 候诊区及诊断病床区 |          |
| 配药、分装及施给药 |          |
| 简单放射性药物制备 | 1        |
| 治疗病床区     |          |
| 复杂放射性药物制备 | 0.1      |

工作场所室内表面及装备结构的基本放射防护要求见下表。

表 1 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

| 种类   | 分类       |          |     |
|------|----------|----------|-----|
|      | I        | II       | III |
| 结构屏蔽 | 需要       | 需要       | 不需要 |
| 地面   | 与墙壁接缝无缝隙 | 与墙壁接缝无缝隙 | 易清洗 |

| 表面    | 易清洗                    | 易清洗                    | 易清洗              |
|-------|------------------------|------------------------|------------------|
| 分装柜   | 需要                     | 需要                     | 不必               |
| 通风    | 特殊的强制通风                | 良好通风                   | 一般自然通风           |
| 管道    | 特殊的管道 <sup>a</sup>     | 普通管道                   | 普通管道             |
| 盥洗与去污 | 洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备 | 洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备 | 洗手盆 <sup>b</sup> |

\*注: <sup>a</sup>下水道宜短,大水流管道应有标记以便维修检测。  
<sup>b</sup>洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

### 7.3.4 表面污染控制水平

根据《核医学放射防护标准》(GBZ 120-2020),核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见表2。

表2 核医学工作场所放射性表面污染控制水平(单位: Bq/cm<sup>2</sup>)

| 表面类                       | $\beta$ 放射性物质 (Bq/cm <sup>2</sup> ) |                    |
|---------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 工作台、设备、墙壁、地面              | 控制区 <sup>1)</sup>                   | $4 \times 10$      |
|                           | 监督区                                 | 4                  |
| 工作服、手套、工作鞋                | 控制区                                 | 4                  |
|                           | 监督区                                 |                    |
| 手、皮肤、内衣、工作袜               |                                     | $4 \times 10^{-1}$ |
| <sup>1)</sup> 该区内的高污染子区除外 |                                     |                    |

### 7.3.5 改造过程中工作场所内部及设备的表面污染控制水平

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

B2.2 规定,工作场所的某些设备与用品,经去污使其污染水平降低到7.3.4 中表2所列设备类的控制水平的五十分之一以下时,经主管部门确认同意后,可当作普通物品使用。即控制区内表面污染 $\leq 0.8 \text{Bq/cm}^2$ 。

### 7.3.6 辐射剂量率控制水平

#### (1) 根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房,应根据使用的核素种类、能量和最大使用量,给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处,距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ , 控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于  $25 \mu\text{Sv/h}$ , 宜不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ; 核医学工作场所的分装柜或生物安全柜,应采取一定的屏蔽防护,以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于  $25 \mu\text{Sv/h}$ ; 同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

#### (3) 根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应不小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，

6.1.7 固体放射性废物收集桶、暴露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

### 7.3.7 工作场所辐射安全与防护要求

#### （1）根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。回旋加速器机房内应装备应急对外通讯设施。

5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。

5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。

### 6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

#### 6.1.1 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录K），其数量应满足开展工作需要。对操作 $^{131}\text{I}$ 的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

#### 6.1.2 辅助用品

根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。防护通风柜的典型屏蔽厚度参见附录I。

### 7.3.8核医学科选址、布局规定

#### (1) 根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

- a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；
- b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；
- c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；
- d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

- c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房。

#### (2) 根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

5.2.3核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。

### 7.3.9放射性废物处理

#### (1) 放射性废液

##### 根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)

8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

##### 根据《电离辐射与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

8.6.2 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倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

a) 每月排放的总活度不超过  $10ALI_{min}$  ( $ALI_{min}$  是相应于职业照射的食入和吸入ALI值中的较小者，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得)；

b) 每一次排放的活度不超过  $1ALI_{min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素  $j$  的年摄入量限值：

$$ALI = I_{j,L} = DL/e_j$$

式中：  $DL$ —相应的有效剂量的年剂量限值；

$e_j$ —放射性核素  $j$  的年摄入量限值所致的待积有效剂量的相应值。

##### 根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)

#### 7.3.1放射性废液收集

7.3.1.1核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

7.3.1.2核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.1.4放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

### 7.3.2放射性废液贮存

7.3.2.1经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.2含碘-131治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为2组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。

7.3.2.3核医学诊断和门诊碘-131治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为3-5级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

### 7.3.3放射性废液排放

#### 7.3.3.1对于槽式衰变池贮存方式：

- a) 所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放；
- b) 所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 $\alpha$ 不大于1Bq/L、总 $\beta$ 不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于24小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足GB 18871附录A表A1的要求。

7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

## （2）放射性固体废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

### 7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过20 kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

### 7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

7.2.2.4 含放射性的实验动物尸体或器官应装入废物袋做好防腐措施（如存放至专用冰柜内），并做好屏蔽防护。不需要特殊防护措施即可处理的尸体含放射性常用核素的上限值见附录C。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

### 7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$  表面污染小于  $0.08 \text{ Bq/cm}^2$ 、 $\beta$  表面污染小于  $0.8 \text{ Bq/cm}^2$  的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过  $0.1 \text{ mSv/h}$ ，表面污染水平对  $\beta$  和  $\gamma$  发射体以及低毒性  $\alpha$  发射体应小于  $4 \text{ Bq/cm}^2$ 、其他  $\alpha$  发射体应小于  $0.4 \text{ Bq/cm}^2$ 。

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

### (3) 放射性废气

#### 根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)

核医学工作场所的通风按 5.2.3 中表 1 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于  $0.5 \text{ m/s}$ 。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

### 7.3.10 服药患者出院要求

#### 根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)

4.5.2 接受碘-131 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至  $400 \text{ MBq}$  以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于  $25 \mu\text{Sv/h}$  方可出院。

$^{177}\text{Lu}$  出院标准参考  $^{131}\text{I}$ ，当患者体内  $^{177}\text{Lu}$  活度为  $400 \text{ MBq}$  时，距患者 1m 处的辐射剂量率低于  $25 \mu\text{Sv/h}$  后离开病房出院。

## 表8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理和场所位置

厦门弘爱医院位于厦门市湖里区仙岳路3777号，医院北侧为金山西路，南侧为桥头路，西侧为洪水头东路，东侧为金山路。**建设项目地理位置详见附图1。**

医院建筑有门诊综合大楼、一号住院楼、二号住院楼、三号住院楼、康复中心、月子中心、后勤楼、行政科研楼等。本项目核医学科工作场所位于门诊综合大楼负一层，门诊综合大楼位于医院东侧，共计七层，包括地下两层（加速器区域仅有地下一层）和地上五层。该门诊综合大楼北部区域的六层以上加建医院住院楼（6~17层）。门诊综合大楼东侧依次为院内道路、绿化、医院东围墙，围墙外为金山路；南侧依次为桥头路、公共绿地、仙岳路；西侧依次为院内道路、康复中心楼和三号住院楼；北侧依次为院内绿化、道路、医院北围墙，围墙外为金山西路。**项目周围环境关系详见附图2。**

### 8.2 辐射环境现状

#### 辐射环境现状

为了解本项目辐射工作场所周围辐射环境现状水平，浙江君安检测技术有限公司于2025年02月17日对辐射工作场所周围 $\gamma$ 辐射剂量率、 $\alpha$ 表面污染水平和 $\beta$ 表面污染水平进行了监测。**监测报告见附件5。**

本项目拟建场所环境现状见图8-1和图8-3。



图8-1 本项目甲癌治疗区域现状图



图8-2 本项目核医学科显像诊疗区域SPECT区域走廊现状图

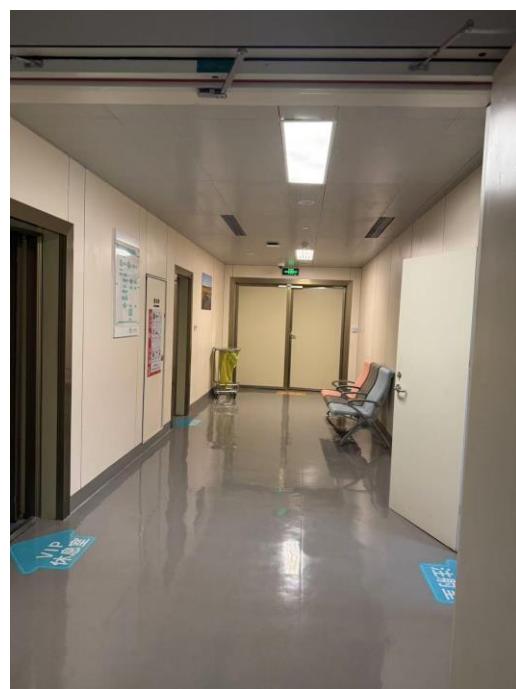


图8-3 本项目核医学科显像诊疗区域PET区域走廊现状图

### 8.2.1环境现状评价对象

本项目辐射工作场所区域及周边环境，场所包含门诊综合大楼负一层东侧的甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域。

### 8.2.2监测项目

$\gamma$ 辐射剂量率、 $\alpha$ 表面污染水平、 $\beta$ 表面污染水平

### 8.2.3 监测点位

监测点位：根据《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）有关布点原则进行布点，分别布置在本项目工作场所及四周。门诊综合大楼负一层东侧的甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域环境现状监测点位图见图8-4、8-5，本项目辐射工作场所外环境监测布点示意图见图8-6。

下图中，“○”表示场所区域及周围环境监测点位置，“△”表示上方监测点位置，“▽”表示下方监测布点位置。

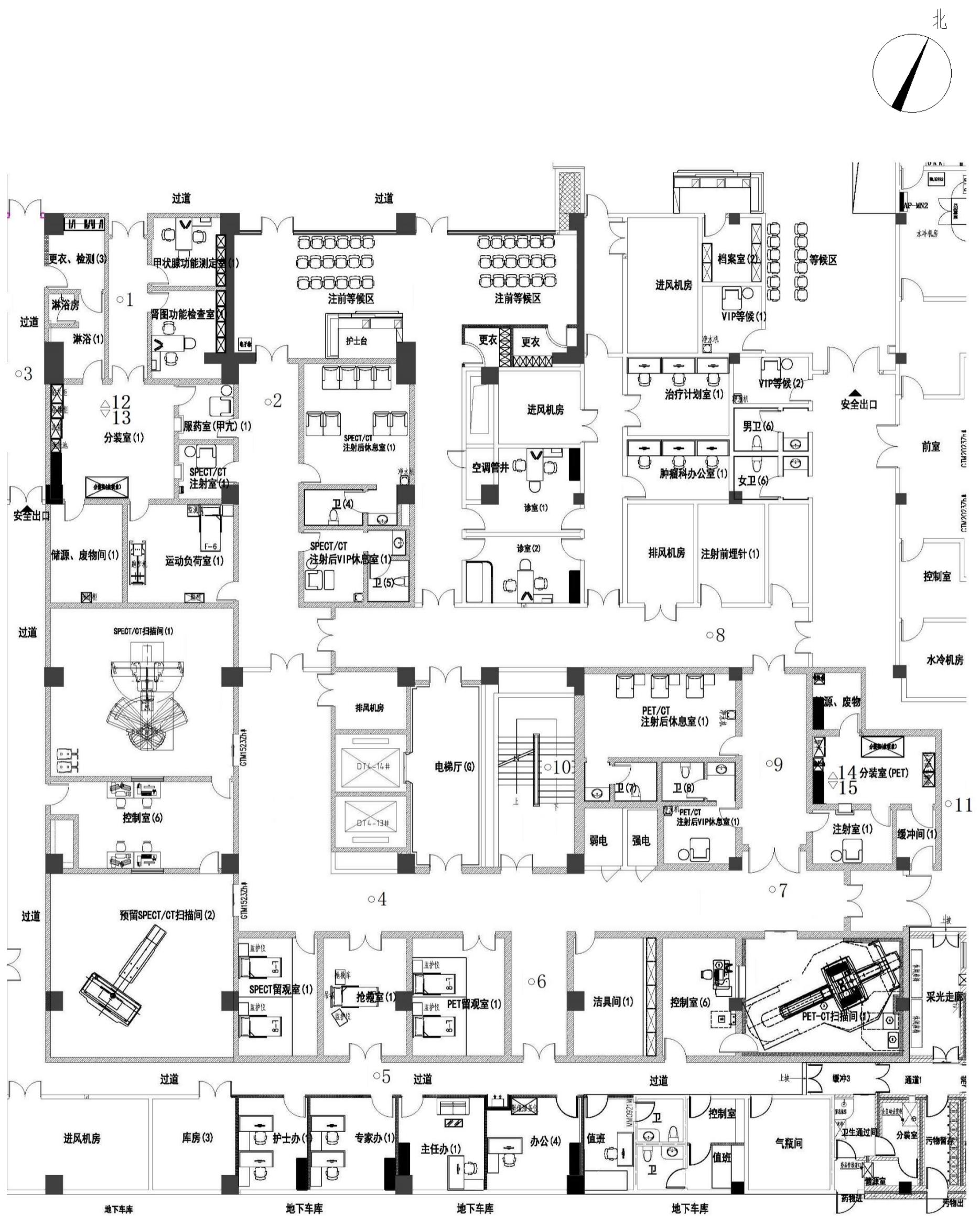


图8-4 门诊综合大楼负一层东侧的核医学科显像诊疗区域内环境现状监测点位示意图

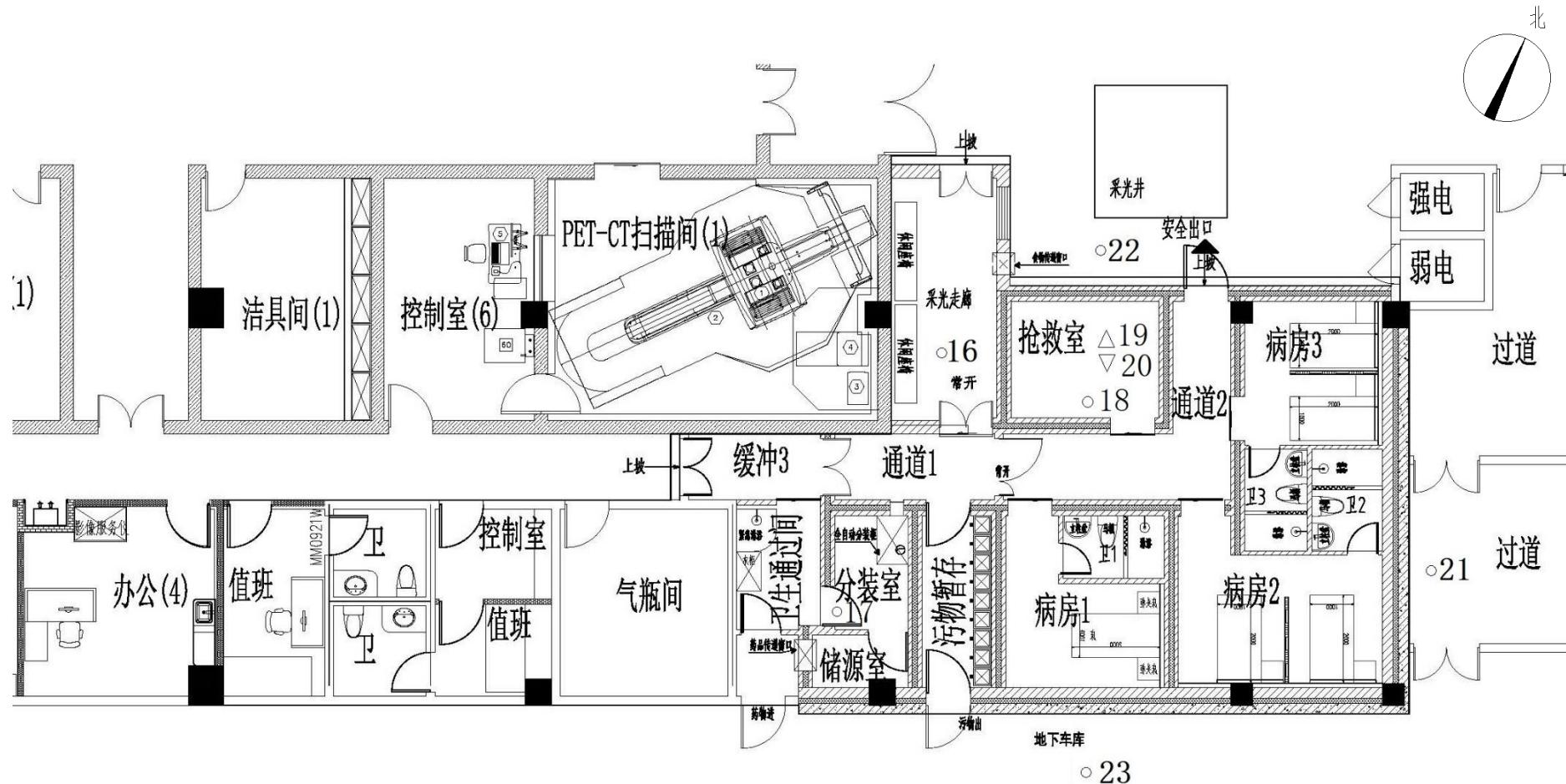


图8-5 门诊综合大楼负一层东侧的甲癌治疗区域内环境现状监测点位示意图

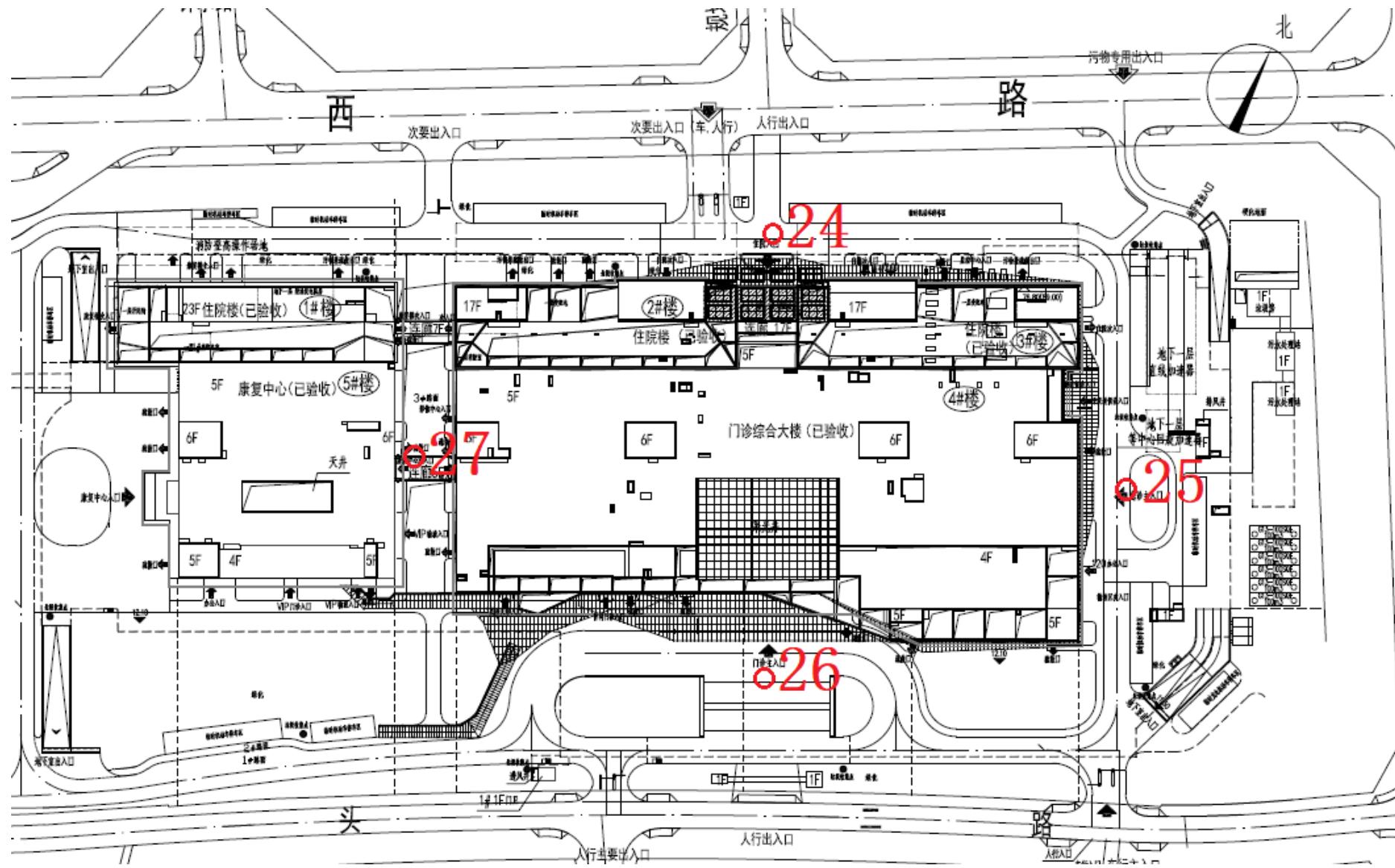


图8-6 本项目辐射工作场所外环境现状监测点位示意图

## 8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

### 8.3.1 监测方案

- (1) 监测单位: 浙江君安检测技术有限公司
- (2) 监测日期: 2025年02月17日
- (3) 监测方式: 现场检测
- (4) 监测依据: 《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)、《表面污染测定 第1部分:  $\beta$ 发射体( $E\beta\max>0.15$  MeV)和 $\alpha$ 发射体》(GB/T 14056.1-2008)
- (5) 监测频次: 依据标准予以确定
- (6) 监测工况: 辐射环境现状
- (7) 天气环境条件: 温度: 22°C; 相对湿度: 31%, 多云。
- (8) 监测设备

表8-1 辐射防护用X、 $\gamma$ 辐射剂量当量率仪

|      |                           |
|------|---------------------------|
| 仪器名称 | 便携式X、 $\gamma$ 辐射周围剂量当量率仪 |
| 仪器型号 | FH40G-X+FHZ672E-10        |
| 生产厂家 | Thermo SCIENTIFIC         |
| 仪器编号 | JAYQ-42                   |
| 测定范围 | 1nSv/h~100 $\mu$ Sv/h     |
| 能量响应 | 48keV~6MeV                |
| 校准因子 | 0.99                      |
| 检定单位 | 华东国家计量测试中心                |
| 检定证书 | 2024H21-10-5433154001     |
| 检定日期 | 2024年08月14日               |

表8-2  $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| 仪器名称                           | $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪                                 |
| 仪器型号                           | CoMo170  |
| 生产厂家                           | WED  |
| 仪器编号                           | JAYQ-33  |
| $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪表面活度响应 | 45.332s <sup>-1</sup> •Bq <sup>-1</sup> •cm <sup>2</sup> |
| 检定单位                           | 华东国家计量测试中心   |
| 检定证书                           | 2024H21-205354355001                                     |
| 检定日期                           | 2024年07月08日  |

### 8.3.2 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发的标准, 监测人员经考核并持合格证书上岗;
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定, 检定合格后方可使用;
- (4) 每次测量前后均检查仪器的工作状态是否正常, 并用检验源对仪器进行校

验；

（5）由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

### 8.3.3 监测结果

本项目各监测点位的辐射环境现状监测结果见表8-3。

**表8-3 门诊综合大楼负一层东侧的核医学科显像诊疗区域和甲癌治疗区域及周围环境辐射现状监测结果**

| 监测点号 | 监测点位                 | 监测结果                      |     |             | 备注        |
|------|----------------------|---------------------------|-----|-------------|-----------|
|      |                      | $\gamma$ 射线剂量率<br>(nGy/h) |     | $\beta$     |           |
|      |                      | 测量值                       | 标准差 | $(Bq/cm^2)$ |           |
| 1    | 核医学科西北侧甲功区域          | 132                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 2    | 核医学科服药室东侧过道          | 148                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 3    | 核医学科分装室（1）西侧过道       | 126                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 4    | 核医学科抢救室（1）北侧过道       | 120                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 5    | 核医学科抢救室（1）南侧过道       | 128                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 6    | 核医学科PET留观室（1）东侧过道    | 111                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 7    | 核医学科PET/CT注射室南侧过道    | 140                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 8    | 核医学科PET/CT注射后休息室北侧过道 | 110                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 9    | 核医学科分装室（PET）西侧过道     | 102                       | 1   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 10   | 核医学科PET/CT注射后休息室西侧楼梯 | 105                       | 1   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 11   | 核医学科分装室（PET）东侧过道     | 109                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 12   | 核医学科分装室（1）上方         | 114                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 13   | 核医学科分装室（1）下方         | 101                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 14   | 核医学科分装室（PET）上方       | 117                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 15   | 核医学科分装室（PET）下方       | 103                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 16   | 甲癌治疗区域西北侧采光走廊        | 117                       | 1   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 17   | 甲癌治疗区域分装室            | 103                       | 3   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 18   | 甲癌治疗区域抢救室            | 104                       | 1   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 19   | 甲癌治疗区域抢救室上方          | 110                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 20   | 甲癌治疗区域抢救室下方          | 107                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 21   | 甲癌治疗区域东侧室内过道         | 103                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 22   | 甲癌治疗区域北侧室外过道         | 99                        | 2   | <0.36       | 未检出 室外，道路 |
| 23   | 甲癌治疗区域南侧地下车库         | 115                       | 2   | <0.36       | 未检出 室内    |
| 24   | 门诊综合大楼北侧             | 117                       | 1   | <0.36       | 未检出 室外，道路 |
| 25   | 门诊综合大楼东侧             | 125                       | 2   | <0.36       | 未检出 室外，道路 |
| 26   | 门诊综合大楼南侧             | 121                       | 2   | <0.36       | 未检出 室外，道路 |
| 27   | 门诊综合大楼西侧             | 115                       | 1   | <0.36       | 未检出 室外，道路 |

注：1、测量 $\gamma$ 射线剂量率时仪器探头距离地面约1m；

2、每个监测点测量10个数据取平均值，以上监测结果均已对宇宙射线的响应值进行了修

正；

3、环境 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率=读数平均值 $\times$ 校准因子 $k_1$  $\times$ 仪器检验源效率因子 $k_2$  $\times$ 屏蔽修正因子 $k_3$  $\times$ 测量点宇宙射线响应值 $D_C$ ，其中校准因子 $k_1$ 为0.99，仪器使用 $^{137}\text{Cs}$ 进行校准效率因子 $k_2$ 取1，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取1.20Sv/Gy， $k_3$ 楼房取0.8、平房取0.9、原野和道路取1，测量点宇宙射线的响应值 $D_C$ 为**8.2nGy/h**；

4、 $0.36\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为CoMo170型 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪(JAYQ-33)的 $\beta$ 放射性物质表面污染探测下限。

## 8.4 环境现状调查结果的评价

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家相关标准实施；测量不确定度符合统计学要求；布点合理、人员合格、结果可信，能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平，可以作为本次评价的科学依据。

本次评价辐射环境监测点位涵盖了项目拟建场址及其周边等区域，监测的数据覆盖较为全面，可以反映项目场址及其周边代表性区域、点位的辐射环境现状。

本项目拟建场址周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率在99~148nGy/h范围内，由《中国环境天然放射性水平》可知，福建省厦门市原野、道路、建筑物室内 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率在72.7~193.5nGy/h之间，该项目建设地址 $\gamma$ 辐射本底水平未见异常。

拟建场址环境 $\alpha$ 表面污染水平检测未检出， $\beta$ 表面污染水平检测结果均低于 $0.36\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，未见异常。

## 表9 项目工程分析与源项

### 9.1原核医学科改造工程分析

#### 9.1.1 原核医学科开展项目及辐射源项情况

医院核医学科设置在其门诊综合大楼负一层东侧，设置有核医学科显像诊疗区域和甲癌治疗区域，原已获批的诊疗项目包括：PET 显像诊断（涉及使用放射性核素  $^{13}\text{N}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{15}\text{O}$  和  $^{18}\text{F}$ ，设置一台 PET-CT）、SPECT 显像诊断（涉及使用放射性核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{201}\text{TI}$  和  $^{67}\text{Ga}$ ，其中  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  采用  $^{99}\text{Mo}$  淋洗或外购，设置一台 SPECT-CT）、 $^{32}\text{P}$  敷贴治疗、核素治疗（ $^{90}\text{Y}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{I}$ （甲癌治疗、甲亢治疗、甲功测定））、 $^{125}\text{I}$  粒籽植入治疗。其中采用  $^{13}\text{N}$ 、 $^{11}\text{C}$  和  $^{15}\text{O}$  进行 PET 显像诊断项目未开展，采用  $^{99}\text{Mo}$  淋洗  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  项目未开展，采用  $^{201}\text{TI}$  和  $^{67}\text{Ga}$  进行 SPECT 显像诊断项目未开展，采用  $^{89}\text{Sr}$  进行核素治疗项目未开展，SPECT-CT 扫描间（2）的设备暂未购置。

建设单位原核医学科使用的放射性药物均为外购，由供应单位负责运送至核医学科的储源间内暂存，医院内不会长期存放大量的非密封放射性核素。原核医学科使用的非密封放射性核素的种类及有关参数见表9-1，原核医学科现有项目许可情况详见本报告1.8章节内容。

表 9-1 原核医学科使用的各核素特性表

| 核素                       | 半衰期    | 物态 | 毒性 | 衰变类型            | $\alpha/\beta$ 最大能量 (MeV) | 主要 $\gamma/X$ 能量 (MeV)           | 周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ | 用途            | 来源 |
|--------------------------|--------|----|----|-----------------|---------------------------|----------------------------------|--|---------------|----|
| $^{131}\text{I}$         | 8.02d  | 液态 | 中毒 | $\beta^-$       | 0.602                     | 0.284<br>0.365<br>0.637          | 0.0595   | 核素治疗          | 外购 |
| $^{90}\text{Y}$          | 2.67d  | 液态 | 中毒 | $\beta^-$       | 2.284                     | —                                | —  | 核素治疗          | 外购 |
| $^{125}\text{I}$         | 59.4d  | 固态 | 中毒 | EC              | —                         | 0.027<br>0.028<br>0.031<br>0.036 | 0.0165   | 粒籽植入治疗        | 外购 |
| $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 6.015h | 液态 | 低毒 | IT              | —                         | 0.140                            | 0.0303   | SPECT-CT 显像诊断 | 外购 |
| $^{18}\text{F}$          | 110min | 液态 | 低毒 | $\beta^+$<br>EC | 0.635                     | 0.511                            | 0.143  | PET-CT 显像诊断   | 外购 |
| $^{32}\text{P}$          | 14.26d | 液态 | 中毒 | $\beta^-$       | 1.71                      | —                                | —  | 敷贴治疗          | 外购 |

注：核素的物理参数参考 GBZ120-2020、NCRP151 和《辐射防护手册》（潘自强主编）。

#### 9.1.2 原核医学科改造区域拆除方案

建设单位计划在项目取得环评批复后停止原核医学科的运营。在最后一批受检者/患者结束诊疗离开辐射工作场所后，核医学科辐射工作人员全面检查清点放射性核素和放射性污染物的情况，具体如下：

（1）射线装置的处理

本项目不涉及原有射线装置的处理。本次核医学科改造区域的原SPECT-CT机房和PET-CT机房及其配套的SPECT-CT和PET-CT设备均利旧且不改动。

（2）放射性核素的处理

核查原核医学科涉及的放射性核素（ $^{131}\text{I}$ 、 $^{90}\text{Y}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 和 $^{32}\text{P}$ ）是否全部使用完，对于剩余未使用完的放射性核素，封存在分装柜中，并做好相关信息的登记。待分装柜中的放射性核素自然衰变一周后倒入对应衰变池中。

（3）放射性污染物的处理

①放射性废物

最后一批产生的固态放射性污染物按照原核医学科正常运作时的处理方式暂存，并做好相关信息登记，在其放射性活度浓度低于相应的清洁解控水平后按普通医疗固体废物处理。

②放射性废液

记录最后一批受检者/患者的诊疗时间，封闭衰变池，放射性废液在衰变池中暂存至满足排放要求后排入医院的总排污系统。

③放射性废气

原核医学科在停止运营后，区域内通排风系统保持运行状态，将区域内残留的放射性废气吸附过滤后引至楼顶排出。

（4）其它物品或设施的处理

在最后一批受检者/患者离开后，建设单位关闭原核医学科工作场所，保存辐射工作场所内的所有物件，原核医学科的辐射工作场所在用的铅衣、铅围脖、铅废物桶、环境辐射巡测仪、活度计、分装柜、注射台、座椅、病床等可利用物品或设施经去污后在改造后的核医学科继续使用；改造场所内部分不可利用物品或设施经去污监测或衰变超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），其放射性活度浓度低于相应的清洁解控水平后按普通医疗固体废物处理。

（5）受污染的工作场所处理

本项目原核医学科SPECT-CT机房、PET-CT机房及控制室、患者走廊、甲癌治疗病房1~病房3等区域不涉及改造，区域内相关物品或设施在改造后的核医学科继续使用。原核医学科工作场所内部经去污监测或衰变，达到清洁解控水平后进行改造。

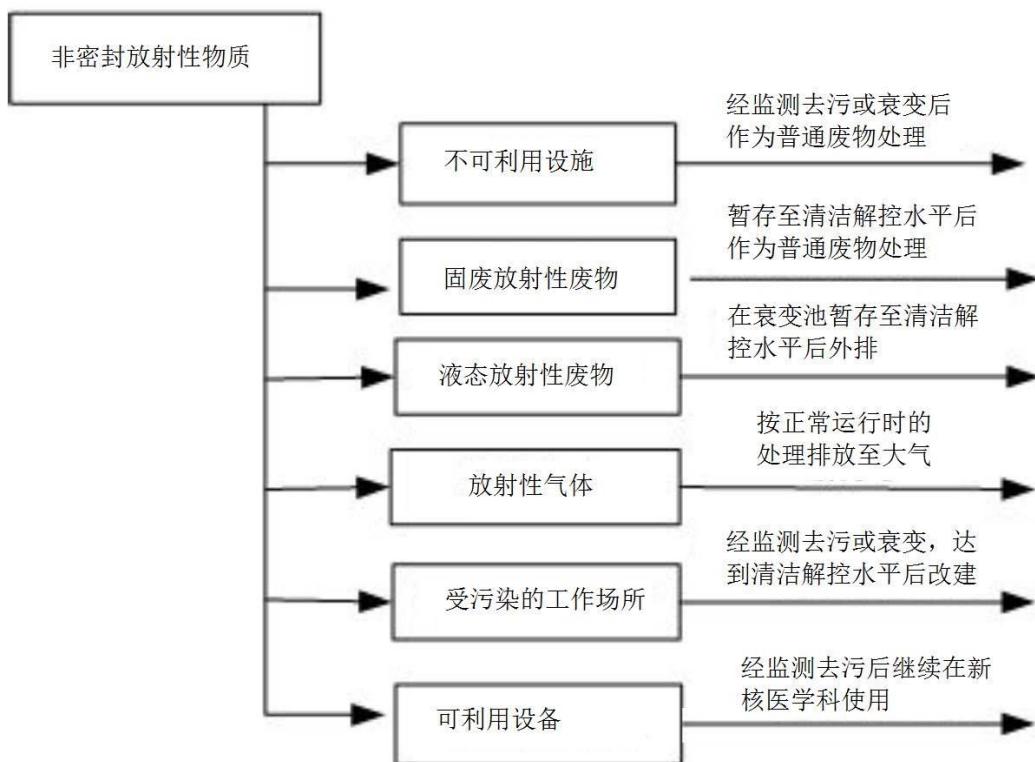


图9-1 原核医学科相关放射性污染流向图

### 9.1.3 原核医学科改造区域拆除过程源项分析

原核医学科工作场所属于非密封放射性物质的工作场所，使用放射性药物后会产生放射性污染物，包括放射性固体废物、液态放射性污染物和放射性气体。正常操作状态下，工作场所和设备也可能有轻微放射性表面沾污。本项目在原核医学科改造区域拆除过程中可能涉及的辐射源项具体如下：

#### (1) 放射性废气

拆除过程已停止核素使用，将不会有放射性废气产生。

#### (2) 放射废水

拆除过程去污采用擦拭去污，无放射性废水产生。衰变池内的废水采取放置衰变的方法使其自然衰变，满足标准要求后排放。

#### (3) 放射性固废

拆除过程中，涉及的放射性固废主要包括：拆除去污过程中的废抹布、拖布、手套；去污后无法满足解控标准的材料；拆除前运行过程中产生的放射性固废，如注射器、棉球、滤纸、活性炭滤芯等。经暂存监测满足清洁解控水平后，作为普通废物处理。

#### 9.1.4 建设阶段工程分析

本项目主要对医院核医学科进行内部改造、装修以及设备安装，以满足各工作场所的辐射屏蔽防护要求。本项目建设阶段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。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）噪声

本项目产生噪声影响的主要是施工机械、运输及现场处理等。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，但随着施工的结束而结束。

##### （2）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中产生。本项目的工程量小，产生的扬尘量很小。

##### （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。

施工废水主要为混凝土搅拌及养护，这类生产废水量小，一般通过蒸发，不外排。

项目施工期间施工人员约10人，根据给水排水设计规范，按每人每天用水80L计算，施工时间按60天计算，则施工期总用水量约为48t（0.8t/d），污水排放量按用水量的90%计算，则生活污水总排放量约43.2t。

##### （4）固体废弃物

本项目工程量较小，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物料。施工期间，施工人员按10人计，生活垃圾量按0.5kg/人·d计算，则施工期内产生生活垃圾约300kg(5kg/d)。生活垃圾分类收集至相应的垃圾箱，后交

由环卫部门清运。

核医学科的装修及设备安装过程将产生少量建筑装修垃圾、包装纸箱、泡沫填充物和废胶桶等。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，包装纸箱等可回收利用的施工废物料应予以回收利用，废胶桶等由厂家回收，其他部分分类收集后交由环卫部门清运。

## 9.2 改造后核医学科工程设备和工艺分析

### 9.2.1 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{18}\text{F}$ 药物合成制备

#### (1) 工作原理

本项目拟在核医学科显像诊疗区域的 $^{177}\text{Lu}$ 合成分装热室中自行合成制备 $^{177}\text{Lu}$ -dotatate、 $^{177}\text{Lu}$ -PSMA和 $^{177}\text{Lu}$ -TBM药物，在FDG合成分装热室中自行合成制备 $^{18}\text{F}$ -FDG药物，在 $^{68}\text{Ga}$ 合成分装热室中自行合成制备 $^{68}\text{Ga}$ 药物。

在热室内对外购的 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{18}\text{F}$ 核素原料进行较为简单的分装，根据不同的治疗需求，加入不同配体通过化学合成、金属络合法等化学方法进行放射性核素标记，生成核医学科当天所需用量的放射性药物，并对放射性药物进行放射性纯度检测，从而验证放射性药物的质量，确保放射性药物的安全和诊疗效果。

#### (2) 工作流程及产污环节

##### ① 配制前体溶液

辐射工作人员根据当天的生产任务，提前准备好所需的目标前体溶液：在玻璃瓶中加入目标前体溶液，溶于缓冲溶液中，调节溶液PH值，完成前体溶液的配置。前体溶液配置不涉及放射性核素操作。

##### ② 放射性药物的化学合成

辐射工作人员提前将合成模块安装到合成热室内，盛装前体溶液的玻璃瓶与合成模块相应接口连接。将装有放射性核素的铅罐放置在合成热室内，将铅罐打开，放射性核素瓶口与合成模块相应接口连接，利用化学反应生成放射性药物，最后经无菌滤网过滤，合成过程采用计算机全自动控制。

##### ③ 分装\质检

###### a) 分装

在合成热室中合成的放射性药物利用合成热室和分装热室之间的专用通道自动传送到分装热室，辐射工作人员将放射性药物分装至贴有内标签的一次性无菌注射器中，并将分装好的一次性无菌注射器置于20mmPb铅罐进行传递。

此外，根据药物的质检要求，辐射工作人员分装制作成质检样品（样品活度约50 $\mu$ Ci）。

### b) 样品检测

质检样品放至铅罐中，送至放化实验室/理化实验室对放射性药物的性状、浓度、PH值、放射化学纯度等进行检验，经质检满足药监相关法律法规要求后，方可开展后续诊疗工作。

### ④ 成品转运

质量检验合格后，将生产的放射性药物转运至相应储源室内暂存。

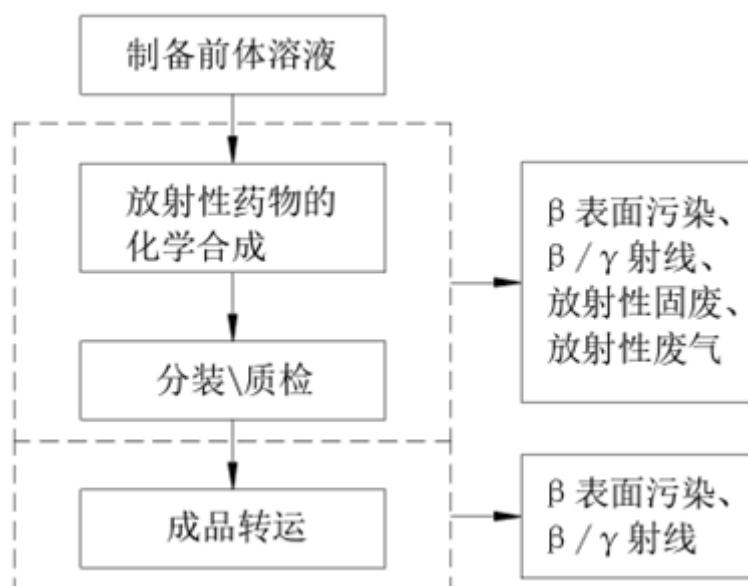


图9-2  $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{18}\text{F}$ 药物生产工艺流程及产污环节图

### (3) 工作负荷

本项目 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{18}\text{F}$ 药物生产涉及的辐射工作人员情况以及工作负荷情况见表9-2。

表9-2 本项目 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{18}\text{F}$ 药物生产涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

| 药物生产              | 工艺   | 日最大操作量<br>(Bq) | 年操作次数<br>(次) | 操作时间    | 人员数量        |
|-------------------|------|----------------|--------------|---------|-------------|
| $^{177}\text{Lu}$ | 合成   | 5.55E+09       | 100          | 30min/次 | 生产质检<br>共2人 |
|                   | 分装   | 5.55E+09       | 100          | 10s/次   |             |
|                   | 质检转移 | 1.85E+06       | 100          | 20s/次   |             |
|                   | 成品转运 | 5.55E+09       | 100          | 10min/次 |             |
|                   | 质检   | 1.85E+06       | 100          | 10min/次 |             |
| $^{68}\text{Ga}$  | 合成   | 3.70E+08       | 250          | 30min/次 |             |

|                 |      |          |     |         |  |
|-----------------|------|----------|-----|---------|--|
|                 | 分装   | 3.70E+08 | 250 | 10s/次   |  |
|                 | 质检转移 | 1.85E+06 | 250 | 5min/次  |  |
|                 | 成品转运 | 3.70E+08 | 250 | 20s/次   |  |
|                 | 质检   | 1.85E+06 | 250 | 10min/次 |  |
|                 | 合成   | 7.40E+09 | 500 | 30min/次 |  |
| <sup>18</sup> F | 分装   | 7.40E+09 | 500 | 10s/次   |  |
|                 | 质检转移 | 1.85E+06 | 500 | 5min/次  |  |
|                 | 成品转运 | 7.40E+09 | 500 | 20s/次   |  |
|                 | 质检   | 1.85E+06 | 500 | 10min/次 |  |

#### (4) 路径规划分析

##### ①生产工作人员

生产<sup>177</sup>Lu药物的工作人员从核医学科西北角工作人员通道进入，经核医学科西北侧生产区域一更、二更、洁净走廊（分装热室区域）、缓冲间、<sup>99m</sup>Tc合成分装热室、缓冲间进入<sup>177</sup>Lu合成分装热室，在热室中完成药物合成标记、分装、转运后原路返回，辐射工作人员若在更衣间检测不合格，则必须进入去污间进行去污处理，而后再检测合格后方可离开。

生产<sup>68</sup>Ga和<sup>18</sup>F药物的工作人员从核医学科东侧（PET诊断患者入口北侧区域）进入，经核医学科东侧生产区域一更、二更、洁净走廊、缓冲间分别进入<sup>68</sup>Ga合成分装热室和FDG合成分装热室，在热室中完成药物合成标记、分装、转运后原路返回，辐射工作人员若在更衣间检测不合格，则必须进入去污间进行去污处理，而后再检测合格后方可离开。

##### ②质检工作人员

工作人员从核医学科西北角工作人员通道进入，经核医学科西北侧生产区域一更、二更、洁净走廊（质控区域）进入缓冲间，从传递窗中取出质检样品后（其中<sup>68</sup>Ga和<sup>18</sup>F药物质检样品从放化实验室东侧传递窗中取出），经洁净走廊分别进入阳性对照室和放化实验室/理化实验室，完成相应质检工作后原路返回。辐射工作人员若在更衣间检测不合格，则必须进入去污间进行去污处理，而后再检测合格后方可离开。

##### ③放射性核素运输路径

<sup>177</sup>Lu、<sup>68</sup>Ga和<sup>18</sup>F核素供货商工作人员将运输车辆停在地下一层核医学科西南侧的卸货区，利用小推车将核素货包通过工作人员通道向北，<sup>177</sup>Lu核素货包经核医学科西北侧生产区域一更、二更、洁净走廊（分装热室区域）、缓冲间、<sup>99m</sup>Tc合成分

装热室、缓冲间进入<sup>177</sup>Lu合成分装热室。核医学科生产工作人员接收后，经脱包后暂存在热室的分装柜内。

<sup>68</sup>Ga和<sup>18</sup>F核素货包经核医学科东侧生产区域一更、二更、洁净走廊、缓冲间、分别进入<sup>68</sup>Ga合成分装热室和FDG合成分装热室。核医学科生产工作人员接收后，经脱包后暂存在热室的分装柜内。

#### ④药物转运路径

<sup>177</sup>Lu合成分装热室生产的<sup>177</sup>Lu药物经东侧的传递窗、患者走廊、外部过道，最后从甲癌治疗区域南侧的药品传递窗转运至储源室暂存；<sup>177</sup>Lu质检样品经西侧的传递窗转运至放化实验室/理化实验室进行检测。

<sup>68</sup>Ga合成分装热室和FDG合成分装热室生产的<sup>177</sup>Lu药物<sup>68</sup>Ga和<sup>18</sup>F-FDG药物经缓冲间、洁净走廊，后从PET分装注射室东侧的传递窗转运至储源间暂存；<sup>68</sup>Ga和<sup>18</sup>F-FDG质检样品分别经南侧和西侧的传递窗，经患者走廊向西后向北，从放化实验室东侧的传递窗转运至放化实验室、理化实验室和阳性对照室进行检测。

#### ⑤放射性废物运输路径

<sup>177</sup>Lu合成分装热室及放化实验室产生的放射性废物收集暂存至衰变桶内，每周工作前将上一周产生的<sup>177</sup>Lu放射性固体废物转移至SPECT固废间暂存，存放超过10个半衰期，经检测达到清洁解控水平后，定期交由有资质单位按照普通医疗废物处置。

<sup>68</sup>Ga合成分装热室和FDG合成分装热室产生的放射性废物收集暂存至衰变桶内，每周工作前将上一周产生的<sup>68</sup>Ga和<sup>18</sup>F放射性固体废物转移至PET固废间暂存，存放超过30天，经检测达到清洁解控水平后，作为一般固体废物处理。

核医学科路径规划详见图9-7。

### 9.2.2 <sup>99m</sup>Tc药物生产

#### (1) 工作原理

<sup>99m</sup>Tc 的生产主要通过<sup>99</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc（钼锝）发生器，钼锝发生器是从长半衰期的母体核素<sup>99</sup>Mo 中分离短半衰期的子体<sup>99m</sup>Tc的装置。钼锝发生器的具体工作原理为：<sup>99</sup>Mo 以钼酸铵的形式溶解于氨水中，再转化到0.01mol/L 盐酸体系，pH=3-3.5 条件下，<sup>99</sup>Mo 以 (Mo-99) O<sub>4</sub><sup>2-</sup>吸附在Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 色层柱上，<sup>99</sup>Mo 衰变时产生<sup>99m</sup>Tc，<sup>99m</sup>Tc是以 (Tc-99m) O<sub>4</sub><sup>-</sup>的形式存在，由于两者电荷不同，可利用Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 对其吸附能力差

异，通过生理盐水将<sup>99m</sup>Tc淋洗下来，而母体仍留在发生器内。钼锝发生器结构示意图见图9-3。



图9-3 钼锝发生器结构示意图

## (2) 工作流程及产污环节

本项目通过淋洗钼锝发生器制备<sup>99m</sup>Tc的放射性显像剂。钼锝发生器存放于<sup>99m</sup>Tc合成分装热室的分装柜内，根据核医学科当天的诊疗需求总活度，对发生器进行淋洗。

①贮存：本项目钼锝发生器均从具备发生器销售资质的公司直接购买，并由该公司负责运输至核医学科<sup>99m</sup>Tc合成分装热室，拟购的钼锝发生器自带铅屏蔽套，发生器经脱包后暂存在热室的分装柜内。在此过程中，辐射工作人员距离辐射源的最近距离为100cm，整个过程持续3.0min。

②淋洗：在分装柜内用消毒水对西林瓶、发生器的接口位置进行消毒，然后将洗脱液的西林瓶接入发生器，然后将负压瓶接入发生器。借助负压瓶的负压，使洗脱液淋洗发生器的吸附柱。这时<sup>99m</sup>Tc被洗脱入负压瓶中，获得高锝酸钠淋洗液，淋洗下来的<sup>99m</sup>Tc的活度约为<sup>99</sup>Mo活度的88%。在此过程中，辐射工作人员距离辐射源的最近距离为30cm，整个过程持续1.5min。

③标记：事先准备好需要生产标记的冻干药品，然后在分装柜内将高锝[<sup>99m</sup>Tc]酸钠淋洗液注入冻干药品盒，迅速拔出注射器，充分振摇，标记完成。在放射性同位素<sup>99m</sup>Tc的标记过程中，辐射工作人员距离辐射源的最近距离为30cm，平均每份标记药物标记整个过程持续1.5min。

④质检：淋洗下来的<sup>99m</sup>Tc 核素标记完成后，药物样品至无菌瓶内，放至铅罐中，送至放化实验室/理化实验室和阳性对照室对放射性药物的性状、浓度、PH值、放射化学纯度等进行检验，经质检满足药监相关法律法规要求后，方可开展后续显像诊断工作。质检过程中，辐射工作人员距离辐射源的最近距离为30cm，整个过程持续10min。

⑤分装转运：辐射工作人员将标记药物<sup>99m</sup>Tc 分装至贴有内标签的一次性无菌注射器中，并将分装好的一次性无菌注射器置于20mmPb铅罐，而后由传递窗送至SPECT储源间暂存。

本项目<sup>99m</sup>Tc核素生产流程如下：

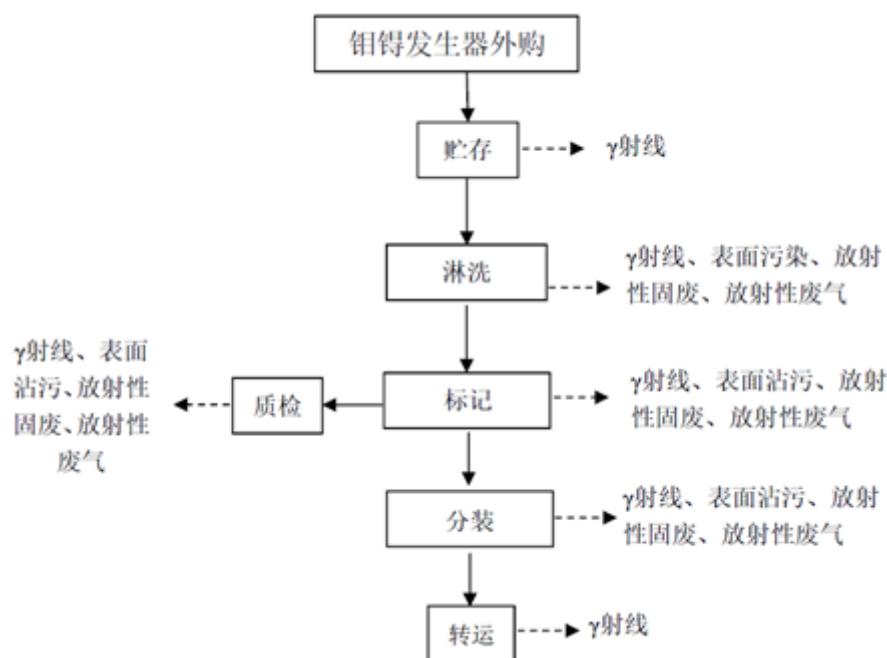


图9-4  $^{99m}\text{Tc}$ 药物生产工艺流程及产污环节图

### (3) 工作负荷

本项目<sup>99m</sup>Tc药物生产涉及的辐射工作人员情况以及工作负荷情况见表9-3。

表9-3 本项目<sup>99m</sup>Tc药物生产涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

| 药物生产              | 工艺   | 日最大操作量<br>(Bq) | 年操作次数<br>(次) | 操作时间     | 人员数量        |
|-------------------|------|----------------|--------------|----------|-------------|
| <sup>99m</sup> Tc | 贮存   | 5.92E+10       | 500          | 3min/次   | 生产质检<br>共2人 |
|                   | 淋洗   | 3.70E+10       | 500          | 1.5min/次 |             |
|                   | 标记   | 1.85E+06       | 500          | 1.5min/次 |             |
|                   | 质检转移 | 1.85E+06       | 500          | 20s/次    |             |
|                   | 分装转运 | 3.70E+10       | 500          | 30s/次    |             |
|                   | 质检   | 1.85E+06       | 500          | 10min/次  |             |

#### (4) 路径规划分析

### ①生产工作人员

工作人员从核医学科西北角工作人员通道进入，经核医学科西北侧生产区域一更、二更、洁净走廊（分装热室区域）、缓冲间进入<sup>99m</sup>Tc合成分装热室，在热室中完成药物淋洗、标记、分装、转运后原路返回，辐射工作人员若在更衣间检测不合格，则必须进入去污间进行去污处理，而后再检测合格后方可离开。

#### ②质检工作人员

工作人员从核医学科西北角工作人员通道进入，经核医学科西北侧生产区域一更、二更、洁净走廊（质控区域）进入缓冲间，从传递窗中取出质检样品后，经洁净走廊分别进入放化实验室/理化实验室和阳性对照室，完成相应质检工作后原路返回。辐射工作人员若在更衣间检测不合格，则必须进入去污间进行去污处理，而后再检测合格后方可离开。

#### ③钼锝发生器运输路径

钼锝发生器供货商工作人员将运输车辆停在地下一层核医学科西南侧的卸货区，利用小推车将钼锝发生器通过工作人员通道向北，后经核医学科西北侧生产区域一更、二更、洁净走廊（分装热室区域）、缓冲间进入<sup>99m</sup>Tc合成分装热室。核医学科生产工作人员接收后，经脱包后暂存在热室的分装柜内。

#### ④药物转运路径

<sup>99m</sup>Tc合成分装热室生产的<sup>99m</sup>Tc药物经南侧的传递窗转运至SPECT储源间暂存，<sup>99m</sup>Tc质检样品经北侧的传递窗转运至放化实验室/理化实验室和阳性对照室进行检测。

#### ⑤放射性废物运输路径

<sup>99m</sup>Tc合成分装热室及放化实验室产生的放射性废物收集暂存至衰变桶内，每周工作前将上一周产生的<sup>99m</sup>Tc 放射性固体废物转移至SPECT固废间暂存，存放超过30天，经检测达到清洁解控水平后，定期交由有资质单位按照普通医疗废物处置。废钼锝发生器由供货商回收处理。

核医学科路径规划详见图9-8。

### 9.2.3 <sup>177</sup>Lu核素治疗项目

#### (1) 工作原理

本项目拟在甲癌治疗区域新增非密封放射性核素<sup>177</sup>Lu用于神经内分泌肿瘤、前列腺癌及骨转移癌的治疗。<sup>177</sup>Lu属于一组药物，专门用于肽受体放射性核素治疗。

此外，药物分子还包含一个转运部分（一种蛋白质分子），可以识别位于癌细胞表面并与之结合的靶向受体。放射性成分附着在这种蛋白质载体上，从而可以将放射性核素靶向递送至恶性细胞。

**神经内分泌肿瘤治疗：**神经内分泌肿瘤生长缓慢，因此即使在晚期被发现，患者也可以长期生存。因此，神经内分泌肿瘤的治疗需要使用可以长期给药的有效且安全的药物。这些肿瘤积极表达生长抑素受体。生长抑素是一种在大脑中合成的激素。由于药物的结构，<sup>177</sup>Lu可以结合生长抑素受体。在疾病的治疗中，医生通常使用一种叫做<sup>177</sup>Lu-dotatate的药物，该药物属于新兴的肽受体放射性核素疗法，是一种<sup>177</sup>Lu标记的生长抑素类似物，也就是一种放射性同位素标记的奥曲肽。Lutathera作为一种有放射性同位素标记的药物，一方面具有抗癌的成分，同时其所携带的放射性同位素是一种放射性粒子，可以通过物理辐射的方式杀伤癌细胞。Lutathera注射到患者体内后，借助受体-配体的靶向识别作用，捕捉到肿瘤细胞，继而将放射性核素导入肿瘤组织，<sup>177</sup>Lu释放高能量的β射线，最终杀灭肿瘤细胞，也可以称之为“靶向内照射治疗”。

**前列腺癌：**<sup>177</sup>Lu用于治疗晚期前列腺癌时主要与前列腺癌细胞表面上的前列腺特异性膜抗原(PSMA)结合的蛋白质发生作用，可精准识别表达前列腺特异性膜抗原的前列腺癌细胞，与其表达的PSMA结合后通过胞吞作用被内化至癌细胞内，<sup>177</sup>Lu会在癌细胞内部辐射出足以杀死癌细胞的β射线，使癌细胞的DNA断裂，从而实现治疗前列腺癌的目的。该疗法影响原发性肿瘤和远处转移。

**骨转移癌：**放射性核素靶向治疗骨转移是将与骨转移灶有高亲和力的放射性药物静脉注射进入患者体内，该药物可选择性沉积在骨转移病灶处，而正常器官组织中则无或较少沉积。进入体内的放射性药物可释放射线，射线射程较短，对周围其他组织和脏器无明显影响。放射性核素靶向治疗骨转移能明显缓解骨痛，尤其是对于全身多发骨转移的患者，且治疗的毒副作用小，是一种安全、有效的治疗方式。<sup>177</sup>Lu-TBM经静脉注射给药后，背景清除快，未与骨组织结合的部分迅速从血液中清除，主要经泌尿系统排出体外；其病灶摄取高，骨转移与正常骨的摄取比值(T/NT)可高达26.8。<sup>177</sup>Lu-TBM以溶液的形式静脉推注给药，给药前后均会输注生理盐水溶液进行水化，促进未被骨转移病灶吸收的放射性药物排出体内。

## （2）工作流程及产污环节

本项目<sup>177</sup>Lu用于成人前列腺癌、神经内分泌肿瘤及骨转移癌的治疗，患者需要住院治疗，单人次治疗周期约3天，本项目拟将甲癌治疗区域北侧的一间抢救室改造为<sup>177</sup>Lu治疗病房。

本项目拟在核医学科显像诊疗区域的<sup>177</sup>Lu合成分装热室中自行合成制备<sup>177</sup>Lu药物，药物合成后分装在注射器或西林瓶内，放置在铅罐中保存，使用时无需分装。每次开展治疗工作前，工作人员将<sup>177</sup>Lu合成分装热室中合成制备的<sup>177</sup>Lu药物送至甲癌治疗区域储源室内暂存。医院相关工作人员在监控下进行药物的核查、接收、登记等交接工作，为后续的治疗工作做准备。

完成预约登记的患者自甲癌治疗区域西北侧入口进入治疗区，在<sup>177</sup>Lu注射窗口进行药物静脉注射，注射后进入<sup>177</sup>Lu治疗病房住院治疗和观察。住院期间的治疗、就餐等活动均通过语音系统指导。治疗结束后，需要经过淋浴并检测，患者满足出院条件即可出院（参照甲癌患者出院要求，病人1m处剂量率小于25 $\mu$ Sv/h要求后即可出院）。

治疗过程中工作人员注射完毕后的一次性注射器、棉签等固体废物均先收集在铅桶内暂存，衰变后再统一做医废处理。患者住院时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池内衰变。

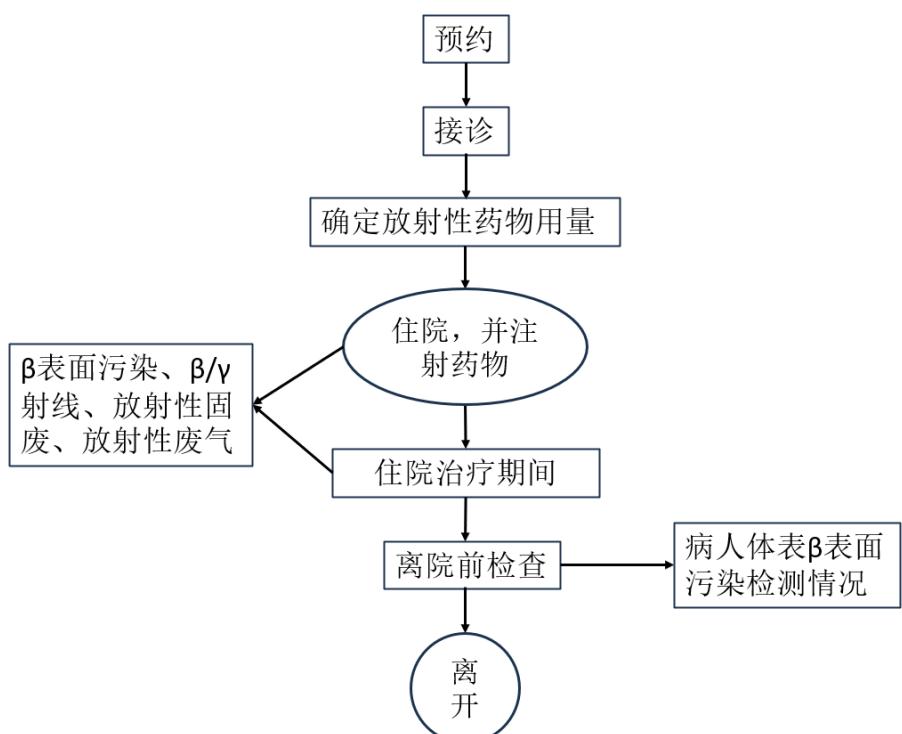


图9-5 <sup>177</sup>Lu治疗工艺流程及产污环节图

### (3) 工作负荷

根据甲癌治疗区域实际诊疗量及医院规划，本项目开展后，甲癌治疗区域原有诊疗项目及拟开展诊疗项目的工作负荷调整如下：

#### ① 甲癌治疗区域原有诊疗项目

医院甲癌治疗区域共设有5张床位供患者住院观察和治疗。根据当下诊疗量显示，<sup>131</sup>I甲癌住院治疗患者每周约2人，医院拟将日最大治疗人数由5人调整为4人，年最大诊疗人数为200人，平均单人次使用量为 $5.55 \times 10^9 \text{ Bq}$  (150mCi)。

#### ② 甲癌治疗区域拟开展诊疗项目

根据医院提供的资料，<sup>177</sup>Lu核素治疗项目正式开展后，日最大诊疗人数为1人，年最大诊疗人数为100人，单人次平均用药量为 $5.55 \times 10^9 \text{ Bq}$  (150mCi)。

表9-4 本项目各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

| <sup>177</sup> Lu核素治疗 |    |                           |       |      |
|-----------------------|----|---------------------------|-------|------|
| 工作场所                  | 工艺 | 操作内容                      | 操作时   | 人员数量 |
| 分装室                   | 测活 | 测活 <sup>177</sup> Lu药物    | 10s/次 | 3人轮岗 |
| 源库、分装室                | 转运 | 转运 <sup>177</sup> Lu药物    | 30s/次 |      |
| <sup>177</sup> Lu注射窗口 | 注射 | 给患者注射 <sup>177</sup> Lu药物 | 20s/次 | 3人轮岗 |

### (4) 路径规划分析

#### ① 工作人员路线

甲癌治疗区域位于门诊综合大楼负一层东侧，甲癌治疗区域的工作人员自西侧核医学科通道向东进入甲癌治疗区域内，护士经卫生通过间完成更衣、洗手、消毒等准备工作后进入储源室取出<sup>177</sup>Lu药物，在药物分装室完成药物测活等准备工作后，通过<sup>177</sup>Lu注射窗给患者静脉注射<sup>177</sup>Lu药物。施药后原路返回，在卫生通过间进行淋浴，检测表面污染合格才能回到非放区域。

该路径上在卫生通过配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施，产生的固体废弃物暂存于铅桶内。

送餐工作人员将病人餐食送至取餐间后通过配餐台窗口在语音系统的远程指导下，通知病人到窗口按号取餐。本区域所有工作人员完成工作后均原路返回。

#### ② 患者路线

由相关科室确认需进行<sup>177</sup>Lu治疗的患者首先在预约时间内通过电梯或楼梯进入门诊综合大楼负一层东侧的甲癌治疗区域，从北侧患者入口防护门进入甲癌治疗区域，经患者走廊到<sup>177</sup>Lu注射窗口静脉注射<sup>177</sup>Lu药物，注射后入住<sup>177</sup>Lu治疗病房。

住院就餐通过患者走廊至北侧的取餐间内，由工作人员通过配餐台窗口发放。

住院患者住院期间和出院前，在病房内的患者洗浴间进行洗浴。

### ③ 放射性药物路线

自合成的<sup>177</sup>Lu药物路径同<sup>177</sup>Lu药物生产转运路径；另外部分外购的<sup>177</sup>Lu药物由供应商工作人员将运输车辆停在地下一层核医学科西南侧的卸货区，利用小推车将<sup>177</sup>Lu药物货包通过地下车库过道向东，最终从甲癌治疗区南侧的药品传递窗口送至储源室暂存。

### ④ 污物路线

甲癌治疗区域每天产生的废物收集暂存至衰变桶内，每周工作前将上一周产生的放射性固体废物转移至污物暂存间暂存，存放超过一定时长（含<sup>131</sup>I的存放超过180天，其余存放超过10个最长半衰期），经检测达到清洁解控水平后，定期交由有资质单位按照普通医疗废物处置。

废弃的原液和高污染废液专门收集存放，其他废液（清洗手部和医疗器具、打扫工作场所、排便用水、呕吐物等）通过排污管道进入负二层过道下方的三个槽式不锈钢衰变罐内存储衰变。

为防止工作人员受到放射性药物和服药后患者的交叉污染，送药时间在开展工作之前，患者住院期间的洗浴和观察均在甲癌治疗区域内。

核医学科路径规划详见图9-8。

## 9.2.4 核医学科显像治疗项目

本项目拟在核医学科显像诊疗区域新增<sup>68</sup>Ga和<sup>64</sup>Cu进行PET-CT显像诊断工作，新增<sup>133</sup>Xe进行SPECT-CT显像诊断工作，依托核医学科现有PET-CT机房、SPECT-CT机房进行扫描；新增<sup>223</sup>Ra、<sup>225</sup>Ac、<sup>153</sup>Sm、<sup>161</sup>Tb、<sup>212</sup>Pb、<sup>211</sup>At和<sup>213</sup>Bi进行核素治疗工作。

### （1）工作原理

**SPECT-CT设备组成及工作原理：**SPECT是单光子发射型计算机断层显像仪 (single photon emission computed tomography)。首先病人需要摄入含有半衰期适当的放射性同位素药物，在药物到达所需要成像的断层位置后，由于放射性衰变，将从断层处发出 $\gamma$ 光子，位于外层的 $\gamma$ 照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线(Ray)进来的 $\gamma$ 光子，通过闪烁体将探测到的高能 $\gamma$ 射线转化为能量较低但数量很大的光信号，通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表人体在

该投影线上的放射性之和。在同一条直线上的灵敏点可探测人体一个断层上的放射性药物，它们的输出称作该断层的一维投影(Projection)。图中各条投影线都垂直于探测器并互相平行，故称之为平行束，探测器的法线与X轴的交角 $\theta$ 称为观测角(View)。 $\gamma$ 照相机是二维探测器，安装了平行孔准直器后，可以同时获取多个断层的平行束投影，这就是平片。平片表现不出投影线上各点的前后关系。要想知道人体在纵深方向上的结构，就需要从不同角度进行观测。可以证明，知道了某个断层在所有观测角的一维投影，就能计算出该断层的图像。从投影求解断层图像的过程称作重建(Reconstruction)。这种断层成像术离不开计算机，所以称作计算机断层成像术(Computed Tomography, CT)。CT设备的主要功能是获取投影数据和重建断层图像。

**PET-CT设备组成及工作原理：** PET是Positron Emission Computed Tomography(正电子断层显像)的缩写，是目前最先进的放射性核素显像技术。PET的基本结构由探头(晶体、光电倍增管、高压电源)、电子学线路、数据处理系统、扫描机架及同步检查床组成。PET工作的目的是显示正电子核素标记的示踪剂在体内的分布。通过化学方法，将发射正电子的核素与生物学相关的特定分子连接而成的正电子放射性药物注入体内后，正电子放射性药物参加相应的生物活动，同时发出正电子射线，湮灭后形成能量相同(511keV)、方向相反的两个 $\gamma$ 光子。在PET的探测器接收光子过程中应用电子准直或符合探测技术，即可得到正电子放射性药物的分布情况，并经计算机图像重建后进一步转化为肉眼可视的图像。在很多情况下，它可提供其他方法所不能提供的重要的诊断信息。PET-CT是将PET功能图像和高分辨率的CT解剖图像结合起来，把两者的定性和定位优势进行了有机结合，提高了诊断的准确性。

**核素显像：** 放射性核素显像是利用放射性核素示踪技术在活体内实现正常和病变组织显像的核医学检查法。放射性核素或其标记化合物与天然元素或其化合物一样，引入体内后根据其化学及生物学特性有其一定的生物学行为，它们选择性地聚集在特定脏器、组织或受检病变部位中的主要机制有：①细胞选择性摄取(包括特需物质、特价物质和代谢产物或异物)；②特异性结合；③化学吸附；④微血管栓塞；⑤简单在某一生物区通过和积存等。

核医学影像技术是一种利用放射性同位素的特性来观察人体内的代谢、功能和

结构信息的现代医学技术。同位素扫描也被称为核素扫描或核医学显像。同位素扫描的步骤通常包括以下几个方面：

1、核素注射：患者接受一种含有放射性同位素的注射剂。这些同位素通常与特定的生物活性分子结合，如葡萄糖类似物、白蛋白微粒等。注射后，放射性同位素会进入体内，并与目标组织或器官发生特定的代谢或摄取反应。

2、探测器记录：扫描设备上安装了一组探测器，用于检测放射性同位素发射的 $\gamma$ 射线或正电子。这些探测器可以记录 $\gamma$ 射线或正电子的位置、能量和计数信息。

3、数据重建和图像生成：计算机系统根据探测器记录的数据进行数据重建和图像生成。根据放射性同位素在体内的分布和活动，生成代表组织或器官的图像。这些图像可以显示代谢活动、血液灌注、器官结构等信息。

**核素治疗：**放射性核素治疗是利用放射性核素在衰变过程中发射出来的射线（ $\beta$ 射线或 $\alpha$ 射线）的辐射生物效应来抑制或破坏病变组织的一种治疗方法。治疗原理是通过放射性核素或其标记化合物高度选择性聚集在病变部位进行照射，受到大剂量照射的细胞因繁殖能力丧失、代谢紊乱、细胞衰老或死亡，从而抑制或破坏病变组织，达到治疗目的。

## （2）工作流程及产污环节

### ①SPECT-CT和PET-CT显像诊断项目：

根据现场调查情况，本项目工作流程可分为预约，放射性药物采购送药，药物注射，受检者候诊，影像显现检查等若干个部分。

#### a、采购送药

核医学科每天显像诊断用药除部分自合成/淋洗的<sup>18</sup>F、<sup>68</sup>Ga和<sup>99m</sup>Tc药物外，其余药物均由专业的放射性药物生产厂家生产配送，在每天核医学工作开始前，相应药物经核医学科西南侧的卸货区配送至核医学科内各源库进行暂存。

#### b、注射和候诊

**注射前候诊：**受检者首先在前台登记后经诊室医生确认，在PET候诊区或SPECT候诊区内等待叫号后进入核医学科，并在注射窗口接受药物注射。

**注射：**受检者在语音叫号的引导下到达指定注射室窗口（PET分装注射室或SPECT分装注射室），在注射窗口接受注射。注射护士通过工作人员通道进入注射室，对受检者注射静脉留置针，从通风橱中取出注射器注射放射性药物。护士每次

最多注射3位受检者，每隔约20min注射下一批受检者。

注射后候诊：受检者注射后进入注射后等候间静待40~60min。

### c、SPECT-CT/PET-CT检查和留观

摆位：注射药物的受检者在候诊40~60min后，在工作人员通过语音通话系统引导下进入SPECT-CT/PET-CT机房。工作人员进入机房指导受检者摆体位（与受检者近距离接触的时间约60s）。

检查：摆位结束，工作人员离开机房并关闭防护门后，工作人员在控制室内通过操作台控制完成自动诊断扫描检查程序（操作时间约30min）。检查过程中，操作人员通过观察窗监控机房内情况。

留观：检查完毕后，受检者进入候诊室，留观约5~10min，经主管医生确认图像质量可行后，受检者由东侧通道离开。

诊断：SPECT-CT/PET-CT图像重建，出具报告。检查资料原始数据及图像储存。

工作人员注射完毕后的一次性注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池内衰变。

SPECT-CT/PET-CT显像诊断项目的工作流程与产污环节详见图9-6。

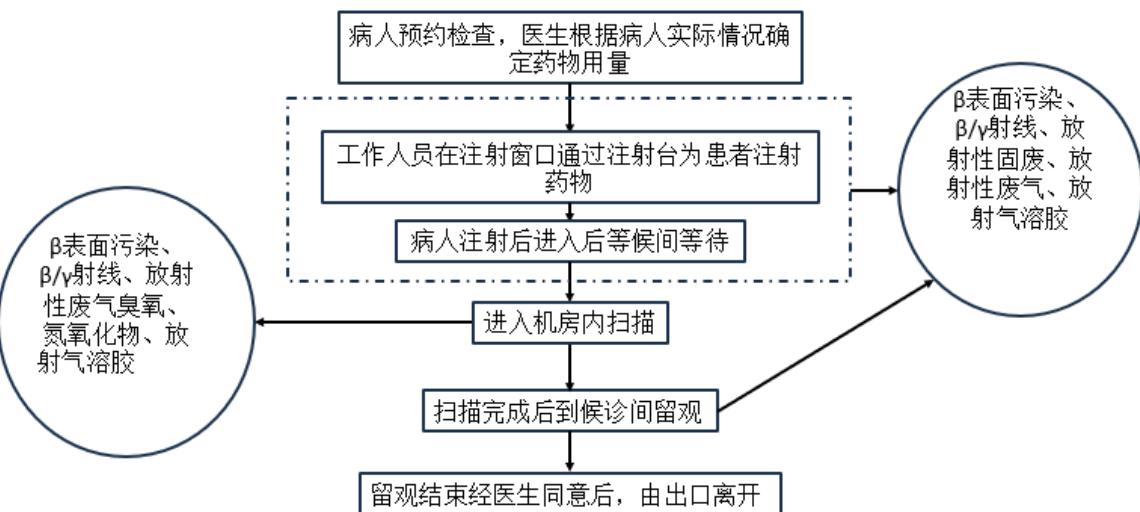


图9-6 核医学科SPECT-CT/PET-CT显像诊断工作流程及产污环节分析示意图  
②核素治疗项目：

门诊诊断：患者在门诊经过诊断后，医生临床诊断确定患者所需药物的使用

量，并告知患者可能受到的辐射和治疗期间的相关注意事项。

**订药：**本项目显像治疗区域核素治疗注射用药物均为外购的单支成品药物，工作人员根据患者临床诊断所需药物的使用量，提前向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间送药品，医院核医学科安排专人接收放射性核素，药物货包经核医学科西南侧的卸货区配送至核医学科内各源库进行暂存。工作人员需和送药人员确认无误，并完成相关交接、登记手续后，送药人员原路返回。

**服药：**患者在治疗前进入核医学科诊室，医生告知患者注射前后注意事项，并要求患者在注射前上洗手间。患者进入核医学科候诊间后等待语音系统叫号提示，治疗时在语音提示下通过核医学科走廊到达对应注射窗口，由医护人员为患者进行药物注射，患者在注射药物后进入指定候诊间留观20min，待医生确认后方可离开。

医护人员注射完毕后的一次性注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池内衰变。具体工作流程及产污环节点图9-7。

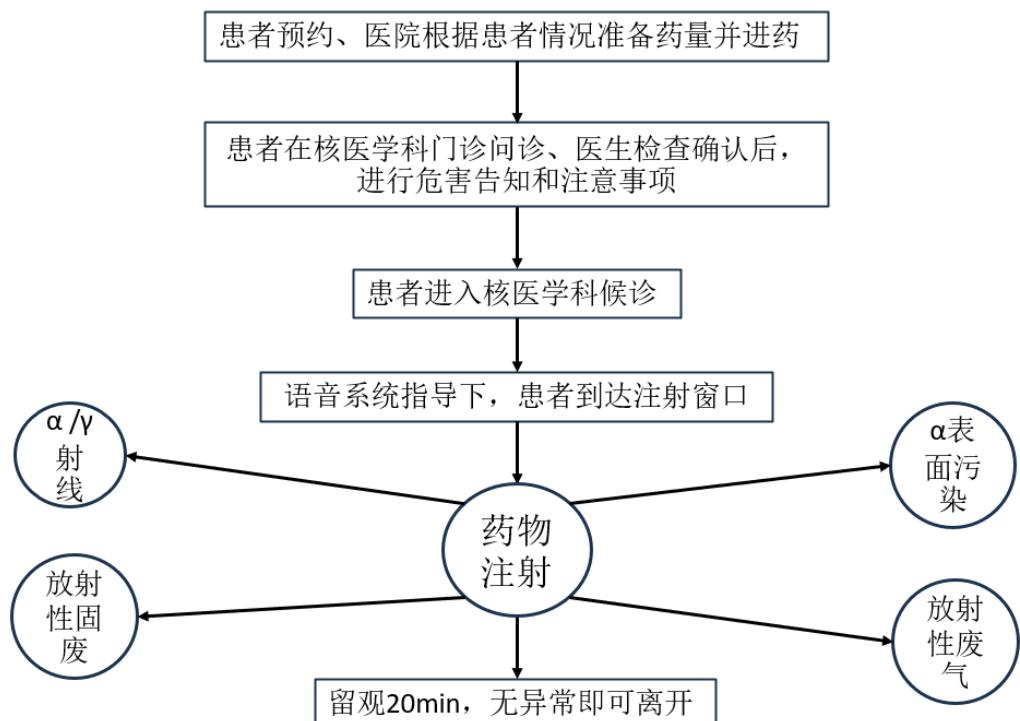


图9-7 核医学科核素治疗工作流程及产污环节分析示意图

另在核医学科工作场所改造过程中会产生少量的灰尘、施工废水、清洁废水、施工噪声和施工固废，因项目工程量小、施工期短，污染物随着施工结束而消失，期间依托医院现有污水处理系统、垃圾收集系统和必要的洒水、区域隔离等措施，不会对周围环境产生影响。

### (3) 工作负荷

根据医院提供的资料，核医学科每天工作8h，每周工作5天，每年工作50周。根据核医学科实际诊疗量及医院规划，本项目开展后，核医学科原有诊疗项目及拟开展诊疗项目的工作负荷调整如下：

#### ① 核医学科原有诊疗项目

医院核医学科已许可并在使用的非密封放射性核素项有<sup>18</sup>F、<sup>99m</sup>Tc、<sup>32</sup>P、<sup>90</sup>Y、<sup>131</sup>I和<sup>125</sup>I粒籽源。<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O、<sup>99</sup>Mo、<sup>201</sup>Tl、<sup>67</sup>Ga和<sup>89</sup>Sr尚未开始使用。

根据医院提供的诊疗数据和整体规划：现<sup>99m</sup>Tc每天约60人次，医院拟降为40人次每天，单人次使用量为 $9.25 \times 10^8$ Bq (25mCi)。医院拟取消原有<sup>32</sup>P敷贴治疗，改为<sup>90</sup>Sr敷贴治疗。

<sup>18</sup>F每天约20人次，单人次使用量为 $3.7 \times 10^8$ Bq (10mCi)。<sup>131</sup>I甲亢治疗患者在给药后进入核医学科PET-CT机房内扫描检查，甲功能测定患者在给药后规定时间内进入核医学科甲功能测定室进行测定。<sup>125</sup>I粒籽源由核医学科购入，在DSA机房和CT机房内进行植入并在肿瘤和介入病区粒籽植入专用病房住院。医院借助介入科1#导管室的DSA将<sup>90</sup>Y树脂微球通过肝动脉插管直接输注至肿瘤病灶，并把二号住院楼10层两间病房设置为<sup>90</sup>Y树脂微球患者专用留观病房。以上核素保持用量规模不变。

另根据医院整体规划，拟变更已备案暂未开展使用的核素规模，具体如下：  
<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O拟将日最大诊疗人数8人降为2人，<sup>67</sup>Ga拟将日最大诊疗人数5人降为1人。

#### ② 核医学科拟开展诊疗项目

##### a、 PET-CT显像诊断项目：

本项目拟新增<sup>68</sup>Ga和<sup>64</sup>Cu进行PET-CT显像诊断工作，各核素每天最多接诊2人次，单人次最大使用量均为 $1.85 \times 10^8$ Bq (5mCi)。

##### b、 SPECT-CT显像诊断项目：

本项目拟新增<sup>133</sup>Xe进行SPECT-CT显像诊断工作，每天最多接诊2人次，单人次最大使用量为 $1.85 \times 10^8$ Bq (5mCi)。

##### c、 核素治疗项目：

本项目拟新增<sup>223</sup>Ra、<sup>225</sup>Ac、<sup>153</sup>Sm、<sup>161</sup>Tb、<sup>212</sup>Pb、<sup>211</sup>At和<sup>213</sup>Bi进行核素治疗，各核素治疗项目每天最多接诊1人次。

$^{223}\text{Ra}$ 和 $^{225}\text{Ac}$ 单人次最大使用量均为 $3.7 \times 10^6 \text{Bq}$  (0.1mCi);  $^{153}\text{Sm}$ 单人次最大使用量均为 $2.96 \times 10^9 \text{Bq}$  (80mCi);  $^{161}\text{Tb}$ 、 $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{211}\text{At}$ 和 $^{213}\text{Bi}$ 单人次最大使用量均为 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$  (1mCi)。

表9-5 本项目核医学科显像诊疗区域各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

| SPECT-CT诊断  |       |   |         |      |
|-------------|-------|---|---------|------|
| 工作场所        | 工艺    | 操作内容  | 操作时间    | 人员数量 |
| 分装室         | 分装、测活 | 分装、测活 $^{133}\text{Xe}$   | 10s/次   | 3人轮岗 |
| 源库、SPECT注射室 | 转运    | 转运 $^{133}\text{Xe}$  | 20s/次   | 3人轮岗 |
|             | 注射    | 给患者注射 $^{133}\text{Xe}$   | 20s/次   |      |
| SPECT-CT机房  | 摆位    | 指导患者躺至正确的位置   | 30s/次   | 3人轮岗 |
| SPECT-CT控制室 | 扫描    | 技师操作设备进行扫描  | 20min/次 | 3人轮岗 |
| PET-CT诊断    |       |   |         |      |
| 工作场所        | 工艺    | 操作内容  | 操作时间    | 人员数量 |
| 分装室         | 分装、测活 | 分装、测活 $^{68}\text{Ga}$ 和 $^{64}\text{Cu}$   | 10s/次   | 3人轮岗 |
| 源库、PET注射室   | 转运    | 转运 $^{68}\text{Ga}$ 和 $^{64}\text{Cu}$  | 20s/次   | 3人轮岗 |
|             | 注射    | 给患者注射 $^{68}\text{Ga}$ 和 $^{64}\text{Cu}$   | 20s/次   | 3人轮岗 |
| PET-CT机房    | 摆位    | 指导患者躺至正确的位置   | 30s/次   | 3人轮岗 |
| PET-CT控制室   | 扫描    | 技师操作设备进行扫描  | 20min/次 | 3人轮岗 |
| 核素治疗        |       |   |         |      |
| 工作场所        | 工艺    | 操作内容  | 操作时间    | 人员数量 |
| 分装室         | 测活    | 测活 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{161}\text{Tb}$ 、 $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{211}\text{At}$ 和 $^{213}\text{Bi}$    | 10s/次   | 3人轮岗 |
| 源库、SPECT注射室 | 转运    | 转运 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{161}\text{Tb}$ 、 $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{211}\text{At}$ 和 $^{213}\text{Bi}$    | 20s/次   | 3人轮岗 |
| SPECT注射室    | 注射    | 给患者注射 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{161}\text{Tb}$ 、 $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{211}\text{At}$ 和 $^{213}\text{Bi}$ | 20s/次   | 3人轮岗 |

#### (4) 路径规划分析

##### ①工作人员路线

核医学科工作场所位于医院门诊综合大楼负一层东侧, 核医学科门诊医生在诊室内对患者进行问诊、确认、注意事项和危害告知等工作, 射线装置操作技师向南经医护通道进入SPECT-CT机房控制室, 再向东经医护通道进入PET-CT机房控制室。核医学科护士自医护通道进入进行更衣、消毒、防护用具穿戴等准备工作后进入分装注射室等核素操作区, 经缓冲区分别进入SPECT-CT注射室和PET-CT注射室, 在注射室内通过注射台和注射窗口对患者进行核素药物注射, 完成核素操作后原路返回。

该路径上在第二消洗间内配置有表面污染监测设备, 设置有感应式洗手池和淋浴设施, 对预约患者所需药物用量提前向药物厂家订购后送入核医学科对应储源柜

内暂存，需要分装的药物在分装室的通风橱内操作，产生的固体废弃物暂存于处置室内。

### ② 患者路线

由相关科室确认需进行核医学检查或治疗的患者首先到核医学科登记预约，按照预约的时间到核医学科内，在到诊室确认方案和相关注意事项后，通过患者走廊向南进入核医学科诊疗区。通过语音叫号顺序到达PET注射窗口/SPECT注射窗口接受药物注射后进入对应的注射后休息室静待40-60min，待语音系统叫号后进入SPECT-CT机房或PET-CT机房内检查，检查结束后返回候诊室内留观，经医生确认无误后从东侧离开核医学科。

该路径上患者入口防护门和患者出口防护门均设置为单向门禁，仅允许受检者或患者单向通行。核医学科内设有卫生间，患者在候诊室候诊，在专用卫生间内如厕，不随意走动。

### ③ 放射性药物路线

核医学科每天用药中部分自合成/淋洗的药物路径同药物生产转运路径，其余药物均由专业的放射性药物生产厂家生产配送，在每天核医学工作开始前，药物从核医学科西南侧的卸货区经内部走道送至相应的储源间内暂存。

### ④ 废物路线

核医学科每天产生的废物收集暂存至衰变桶内，每周工作前将上一周产生的放射性固体废物转移至对应固废间，按要求衰变一定时长并经监测达标后通过东侧病人出口运出，定期交由有资质单位按照普通医疗废物处置。

废弃的原液和高污染废液专门收集存放，其他废液（清洗手部和医疗器具、打扫工作场所、排便用水、呕吐物等）通过排污管道进入核医学科配套的衰变池来进行衰变。

为防止工作人员受到放射性药物和服药后患者的交叉污染，核医学科设有独立的患者路径、送药路径和医护人员工作路径。

核医学科路径规划详见图9-8。

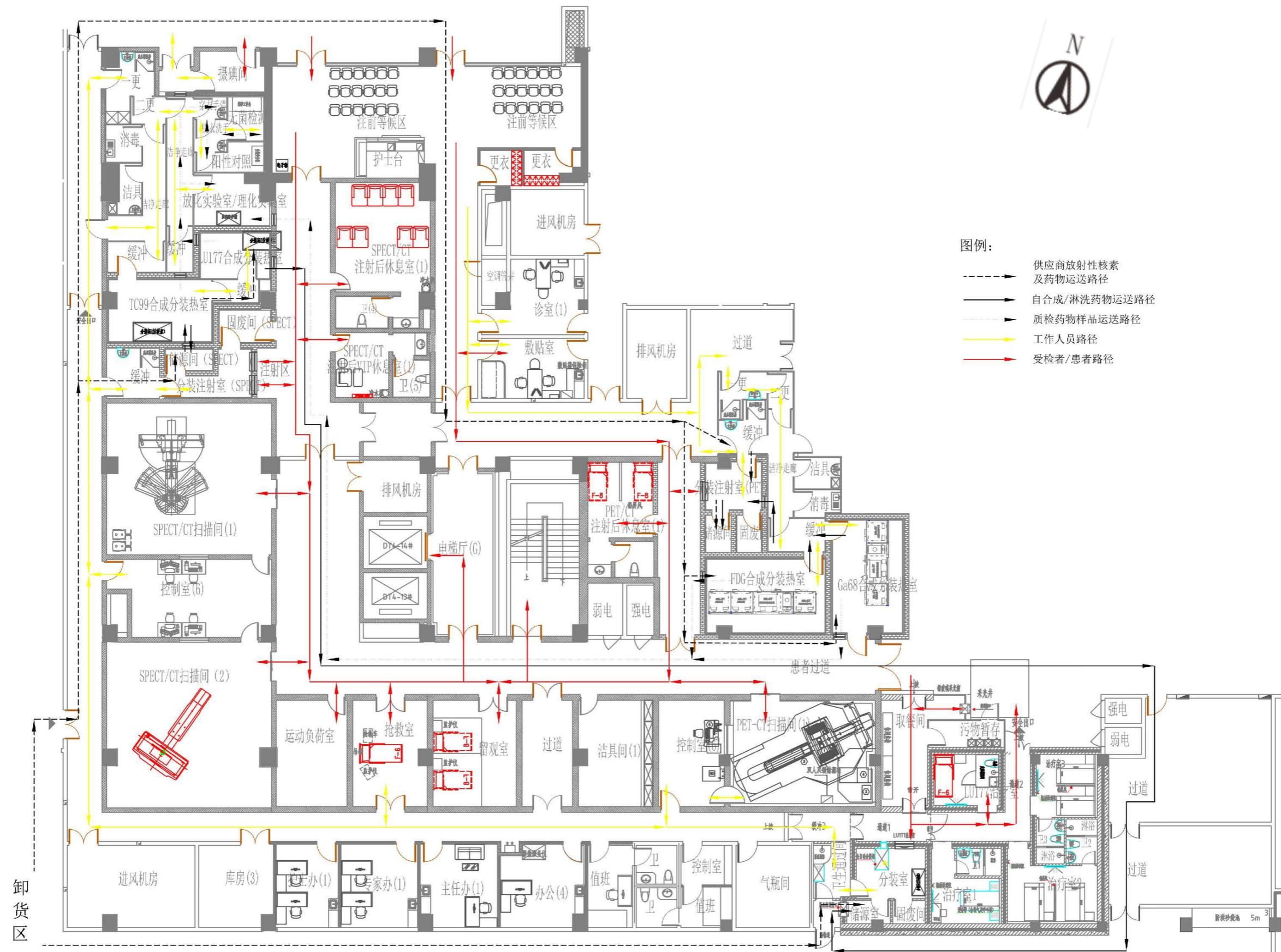


图9-8 核医学科工作场所路径规划图

### 9.3 污染源项描述

#### (1) 放射性污染物

##### ① X射线、 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线、 $\alpha$ 射线

SPECT-CT/PET-CT扫描时产生的X射线；各核素药物在核医学科工作场所运输、注射、注射后候诊、扫描和留观，以及甲癌治疗区域中注射药物并住院治疗等过程中产生的 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线和 $\alpha$ 射线。

##### ② $\alpha$ 、 $\beta$ 放射性表面污染

工作人员在对放射性药物的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 $\alpha$ 、 $\beta$ 放射性表面污染。

##### ③ 放射性废气

在放射性药物转运时，药物挥发产生的含放射性核素的废气。

##### ⑤ 放射性废水

本项目放射性药物淋洗合成及质控过程中仅产生少量清洗废液，清洗废液暂存在铅罐中，储存超过10倍最长半衰期后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放按照一般废水处置（不排入本项目衰变池内）。本项目产生的放射性废水主要是患者候诊产生的废水和发生药物泼洒等意外情况时，辐射工作人员淋浴或洗手产生的含有放射性废水（按每日清洗废水整体考虑）。本项目增加核素后，核医学科整体放射性废水产生情况见表9-5。

表9-5 放射性废水排放汇总表

| 场所                               | 核素名称                          | 半衰期     | 产生来源 | 预计产生废水量(L/次·人) | 日最大患者数(人) | 日废水产生量(L/d) |
|----------------------------------|-------------------------------|---------|------|----------------|-----------|-------------|
| 甲癌<br>核素<br>治疗<br>区域             | $^{177}\text{Lu}$ (新增)        | 6.73d   | 患者产生 | 70             | 1         | 70          |
|                                  | $^{131}\text{I}$ (原有)         | 8.02d   | 患者产生 | 70             | 4         | 280         |
| 每日清洗废水30L                        |                               |         |      |                |           |             |
| 核医<br>学科<br>核素<br>显像<br>治疗<br>区域 | $^{133}\text{Xe}$ (新增)        | 5.245d  | 患者产生 | 5              | 2         | 约390<br>/   |
|                                  | $^{68}\text{Ga}$ (新增)         | 68.3min | 患者产生 | 5              | 2         |             |
|                                  | $^{64}\text{Cu}$ (新增)         | 12.7h   | 患者产生 | 5              | 2         |             |
|                                  | $^{223}\text{Ra}$ (新增)        | 11.43d  | 患者产生 | 极少量            |           |             |
|                                  | $^{225}\text{Ac}$ (新增)        | 10.0d   | 患者产生 | 极少量            |           |             |
|                                  | $^{153}\text{Sm}$ (新增)        | 46.44h  | 患者产生 | 极少量            |           |             |
|                                  | $^{161}\text{Tb}$ (新增)        | 7.21d   | 患者产生 | 极少量            |           |             |
|                                  | $^{212}\text{Pb}$ (新增)        | 10.64h  | 患者产生 | 极少量            |           |             |
|                                  | $^{211}\text{At}$ (新增)        | 7.2h    | 患者产生 | 极少量            |           |             |
|                                  | $^{213}\text{Bi}$ (新增)        | 46min   | 患者产生 | 极少量            |           |             |
|                                  | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (原有) | 6.015h  | 患者产生 | 5              | 40        |             |

|                        |          |      |     |    |  |
|------------------------|----------|------|-----|----|--|
| <sup>13</sup> N (原有)   | 9.965min | 患者产生 | 5   | 2  |  |
| <sup>11</sup> C (原有)   | 0.340h   | 患者产生 | 5   | 2  |  |
| <sup>15</sup> O (原有)   | 122.24s  | 患者产生 | 5   | 2  |  |
| <sup>67</sup> Ga (原有)  | 3.26d    | 患者产生 | 5   | 1  |  |
| <sup>201</sup> Tl (原有) | 3.04d    | 患者产生 | 5   | 5  |  |
| <sup>131</sup> I (原有)  | 8.02d    | 患者产生 | 极少量 | /  |  |
| <sup>18</sup> F (原有)   | 110min   | 患者产生 | 5   | 20 |  |
| <sup>90</sup> Y (原有)   | 2.67d    | 患者产生 | 极少量 | /  |  |
| <sup>125</sup> I (原有)  | 59.7d    | /    | /   |    |  |
| 每日清洗废水30L              |          |      |     |    |  |

注: <sup>223</sup>Ra、<sup>225</sup>Ar、<sup>153</sup>Sm、<sup>161</sup>Tb、<sup>212</sup>Pb、<sup>211</sup>At和<sup>213</sup>Bi为核素治疗, 患者注射药物留观后即可离开, 可能产生极少量废水, 不作定量分析。<sup>90</sup>Y和<sup>131</sup>I核素治疗患者仅利用在核医学科显像治疗区域进行SPECT-CT进行扫描, 扫描结束后立即离开, 不产生放射性废水, 不作定量分析。另外, 本项目放射性药物淋洗合成及质控过程中仅产生少量清洗废液, 清洗废液暂存在铅罐中, 储存超过10倍最长半衰期后, 按照GB 18871中8.6.2规定方式进行排放按照一般废水处置(不排入本项目衰变池内)。

#### ⑤放射性固废

非放射性固废: 本项目产生非放射性医疗废物包括一些药棉、纱布、手套等医用辅料。

放射性固废: 放射性固废产生情况见表9-6。

表9-6本项目放射性固废汇总表

| 核素名称   | 产生来源  | 产生量<br>(g/d·人) | 日最大病人<br>数(人) | 日产生量<br>(kg/d) | 年产生量<br>(kg/a) |
|--|---|----------------|---------------|----------------|----------------|
| <sup>177</sup> Lu (新增)、 <sup>131</sup> I (原有)  |   | 200            | 5             | 1              | 250            |
| 新增: <sup>133</sup> Xe、 <sup>68</sup> Ga、<br><sup>64</sup> Cu、 <sup>223</sup> Ra、 <sup>225</sup> Ar、<br><sup>153</sup> Sm、 <sup>161</sup> Tb、 <sup>212</sup> Pb、<br><sup>211</sup> At和 <sup>213</sup> Bi;<br>原有: <sup>99m</sup> Tc、 <sup>131</sup> I、<br><sup>18</sup> F、 <sup>90</sup> Y、 <sup>125</sup> I | 一次性注射器、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物等                        | 50             | 75            | 3.75           | 937.5          |
| <sup>68</sup> Ga、 <sup>18</sup> F、 <sup>177</sup> Lu、 <sup>99m</sup> Tc  | 本项目放射性药物淋洗合成及质控过程:<br>滤纸、脱脂棉、手套、破碎杯皿、擦拭污染物的物品 | 20g/次          | /             | /              | 27             |
| <sup>99</sup> Mo   | 废 <sup>99</sup> Mo- <sup>99m</sup> Tc发生器      |                | 厂家回收          |                |                |
| /  | 活性炭过滤器  | /              | /             | /              | 50             |

⑥气溶胶: 本项目运营过程中产生少量气溶胶。

#### (2) 非放射性污染物

生活污水: 本项目工作人员会产生少量的生活污水, 核医学科工作场所改造期

间产生极少量施工废水和清洗废水，项目生活污水和施工期废水均依托医院污水处理设施处置。

**废气：**本项目废气为电离辐射产生的O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>等废气经通排风系统后排出室外分解氧化，不会对周围大气环境产生影响。核医学科工作场所改造过程中产生极少量的灰尘，因施工量小、施工期短且采取必要的洒水措施后不会对周围大气环境产生影响。

**固废：**本项目的固体废物主要为工作人员产生的办公垃圾；核医学科工作场所改造过程中会产生极少量施工固废，因工程量小，施工期短，施工当天即可及时清运至医院垃圾站，连同办公垃圾收集至医院垃圾站后统一由环卫清运。

**噪声：**本项目噪声主要为设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声，经设备隔声减震措施、墙体和距离衰减后对周围环境不会产生影响。核医学科工作场改造过程中的施工噪声，因工期短，施工量小，不涉及机械使用，且期间内该区域进行隔离，该场所位于地下一层一端，经距离和墙体衰减后不会对周围环境产生影响。

表10 辐射安全与防护

## 10.1 原核医学科拆除过程的辐射安全与防护

### 10.1.1原核医学科项目安全设施情况

建设单位对原核医学科工作场所进行分区管理，将分装室、注射室、注射后休息室、甲状腺功能测定室、敷贴室、服药室、运动负荷室、留观室、抢救室、SPECT-CT机房、PET-CT机房、储源间、废物间、患者过道、病房、污物暂存间、取餐间等高辐射区域划定为控制区，将控制区外的相邻区域（如更衣、检测、淋浴、卫生通过间、缓冲间、控制室、医护通道、电梯间、楼梯间等）划定为监督区。

在核医学科控制区各场所设置屏蔽防护措施，在控制区出入口防护门设置门禁管控和电离辐射警告标志，禁止无关人员进入控制区。监督区的边界设置醒目的监督区标识牌，并定期对以上场所进行辐射监测，确保辐射安全。原核医学科辐射场所屏蔽防护设计达到标准要求，防护设施齐全。



图10-1 原核医学科工作场所分区图

### 10.1.2原核医学科拆除过程的安全防护

建设单位原核医学科计划在本项目取得环评批复后停止使用放射性核素，核医学科改建场所计划围蔽，非特殊情况，无人员进入。场所原产生的固态放射性污染物按照正常运作时的处理方式暂存至其放射性活度浓度低于相应的清洁解控水平后按普通医疗固体废物处理，液态放射性污染物均排入衰变池，在衰变池中停留至满足排放要求后排入建设单位的总排污系统。拆除前对分装柜、注射台、废物桶等设施进行辐射剂量率和表面污染水平进行检测，如果检测出存在放射性污染将进一步采取相应的去污措施。拆除过程中的废气排放管道、废水管道等废弃材料经监测符合标准要求后按照普通废物处理，如果检测出存在放射性污染将进一步采取相应的去污措施。

建设单位委托相关监测机构对原辐射工作场所进行 $\gamma$ 辐射剂量率和放射性 $\beta$ 表面污染检测，达到清洁解控水平后再对工作场所进行拆除。

## 10.2工作场所布局分析及分区情况

### 10.2.1布局分析

#### （1）甲癌治疗区域：

本项目甲癌治疗区域位于医院门诊综合大楼负一层东侧，甲癌治疗区域东侧为过道，南侧为地下车库，西侧为核医学科显像诊疗区域，北侧为采光井，上方为室外过道、绿化，下方为污物周转区、精密仪器储藏间、模拟操作间、污水间等。

本项目涉及的甲癌治疗区域包括：卫生通过间、分装室、储源室、固废间、患者走廊、取餐间、污物暂存间、 $^{177}\text{Lu}$ 病房、患者卫生间和淋浴间等。

#### （2）核医学科显像诊疗区域：

本项目核医学科显像诊疗区域位于医院门诊综合大楼负一层东侧，核医学科显像诊疗区域东侧为放射治疗区域，南侧为地下车库，西侧为药房，北侧为电梯、楼梯间、工具间等，上方为急诊大厅、抢救室、室外，下方为地下车库、电梯、机房。

本项目涉及的核医学科显像诊疗区域包括：核医学科入口、诊室、候诊区、病人通道、运动负荷室、摄碘室、更衣室、阳性对照、放化实验室/理化实验室、<sup>177</sup>Lu合成分装热室、SPECT固废间、SPECT分装注射室、SPECT储源间、<sup>99m</sup>Tc合成分装热室、SPECT-CT机房及控制室、SPECT注射后休息室、PET分装注射室、FDG合成分装热室、<sup>68</sup>Ga合成分装热室、PET固废间、PET储源间、PET-CT机房及控制室、PECT注射后休息室、抢救室、留观室、卫生间等。

从本项目甲癌治疗区域所和核医学科显像诊疗区域布局看，各辐射工作场所相对独立，与其他场所有明显隔断，辐射场所内各功能用房布局分区明确，不相互穿插、干扰。辐射场所设有屏蔽门和工作人员进出门进出口均设有屏蔽门，既方便工作人员和病人的进出，又利于辐射防护辐射工作场所与周围环境设有一定的辐射安全防护距离。从环境保护和辐射安全与防护的角度来看，本项目辐射工作场所的平面布置是合理的。



图10-2 本项目核医学科工作场所分区图

## 10.2.2 工作场所分区

### (1) 分区原则

**控制区：**在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

**监督区：**未被确定为控制区，通常不需要采取专门防护手段或安全措施，但要经常对其职业照射状况进行监督和评价的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；定期审查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

### (2) 管理要求

控制区需要最优化的辐射屏蔽和冗余的安全联锁系统，入口设置明显的电离辐射警告标志，标志图形、颜色、字体等均按照GB18871-2002规定要求设置，预防潜在照射及事故照射的发生。只有经授权的放射性工作人员才能进入监督区进行操作，公众不允许进入。

医院根据GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》和《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)的相关要求，并结合该院实际情况以及该项目的特点，本项目拟将核医学科下列区域划分为控制区：甲癌治疗区域的分装室、储源室、固废间、患者走廊、取餐间、污物暂存间、<sup>177</sup>Lu病房、患者卫生间和淋浴间；显像诊疗区域的病人通道、运动负荷室、摄碘室、阳性对照、放化实验室/理化实验室、<sup>177</sup>Lu合成分装热室、<sup>99m</sup>Tc合成分装热室、SPECT固废间、SPECT储源间、SPECT分装注射室、SPECT-CT机房、SPECT注射后休息室、FDG合成分装热室、<sup>68</sup>Ga合成分装热室、PET-CT机房、PET注射后休息室、PET分装注射室、PET固废间、PET储源间、抢救室、留观室、洁具间等。以防护门窗和屏蔽体为界。

本项目监督区主要包括消毒、洁具、缓冲间、空调机房、楼道间、电梯厅、弱电强电机房、排风机房、医护走廊、PET-CT控制室、SPECT-CT控制室、卫生通过间等。对该区不采取专门的防护手段和安全措施，但应定期对该区的辐射剂量进行监测和评价。本项目核医学科工作场所分区详见图10-1。

本项目核医学科工作场所的监督区、控制区划分明确、独立，设置合理，满足辐射防护管理和职业照射控制要求。

### 10.2.3 工作场所分级

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号，2016年3月7日施行），满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：

- (1) 有相对独立、明确的监督区和控制区划分；
- (2) 工艺流程连续完整；
- (3) 有相对独立的辐射防护措施。

本项目将核医学科工作场所（核医学科显像诊疗区域和甲癌治疗区域）整体作为一个场所进行日等效操作量核算。

根据GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》和GBZ120-2020《核医学放射防护要求》规定，核医学科工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施，非密封源工作场所按照日等效最大操作量进行分级，可分为甲、乙、丙三级。

日等效最大操作量=(实际日最大操作量×毒性组别修正因子)/操作方式修正因子

根据院方提供的资料，医院原已许可的非密封放射性物质中，<sup>18</sup>F、<sup>99m</sup>Tc、<sup>32</sup>P、<sup>90</sup>Y、<sup>131</sup>I和<sup>125</sup>I粒籽源已投入使用。根据实际使用量可知各原有非密封源放射工作场所分级情况，应累计本项目拟新增核素后进行工作场所分级。则本项目非密封源放射工作场所分级情况见表10-1。

表10-1 本项目非密封源工作场所分级情况

| 核素种类  | 计划最大日操作量(Bq)      | 毒性组别修正因子 | 操作方式修正因子 | 计划日等效最大操作量(Bq) | 分级       |
|---|-------------------|----------|----------|----------------|----------|
| 本项目新增核素，其中 <sup>177</sup> Lu和 <sup>68</sup> Ga药物自合成 | <sup>177</sup> Lu | 5.55E+09 | 0.1      | 1 (简单操作)       | 5.55E+08 |
|   | <sup>133</sup> Xe | 3.70E+08 | 0.01     | 1 (简单操作)       | 3.70E+06 |
|   | <sup>68</sup> Ga  | 3.70E+08 | 0.01     | 1 (简单操作)       | 3.70E+06 |
|   | <sup>64</sup> Cu  | 3.70E+08 | 0.01     | 10 (很简单操作)     | 3.70E+05 |
|   | <sup>223</sup> Ra | 3.70E+06 | 10       | 1 (简单操作)       | 3.70E+07 |
|   | <sup>225</sup> Ac | 3.70E+06 | 10       | 1 (简单操作)       | 3.70E+07 |
|   | <sup>153</sup> Sm | 2.96E+09 | 0.1      | 1 (简单操作)       | 2.96E+08 |
|   | <sup>161</sup> Tb | 3.70E+07 | 0.1      | 1 (简单操作)       | 3.70E+06 |
|   | <sup>212</sup> Pb | 3.70E+07 | 0.1      | 1 (简单操作)       | 3.70E+06 |
|   | <sup>211</sup> At | 3.70E+07 | 1        | 1 (简单操作)       | 3.70E+07 |
|   | <sup>213</sup> Bi | 3.70E+07 | 1        | 1 (简单操作)       | 3.70E+07 |

|                   |              |                      |          |      |             |                 |  |
|-------------------|--------------|----------------------|----------|------|-------------|-----------------|--|
| 原有核素              | 操作量减少        | <sup>99m</sup> Tc    | 3.70E+10 | 0.01 | 10 (很简单操作)  | 3.70E+07        |  |
|                   | 操作量减少        | <sup>13</sup> N      | 1.85E+09 | 0.01 | 10 (很简单操作)  | 1.85E+06        |  |
|                   | 操作量减少        | <sup>11</sup> C      | 1.85E+09 | 0.01 | 10 (很简单操作)  | 1.85E+06        |  |
|                   | 操作量减少        | <sup>15</sup> O      | 1.85E+09 | 0.01 | 10 (很简单操作)  | 1.85E+06        |  |
|                   | 不变           | <sup>125</sup> I粒籽源  | 3.70E+09 | 0.1  | 100 (很简单操作) | 3.70E+06        |  |
|                   | 操作量不变, 药物自合成 | <sup>18</sup> F      | 7.40E+09 | 0.01 | 1 (简单操作)    | 7.40E+07        |  |
|                   | 不变           | <sup>99</sup> Mo     | 5.92E+10 | 0.1  | 1000 (贮存)   | 5.92E+06        |  |
|                   | 取消           | <sup>32</sup> P      | /        | /    | /           | /               |  |
|                   | 不变           | <sup>131</sup> I(甲吸) | 2.78E+06 | 0.1  | 1 (简单操作)    | 2.78E+05        |  |
|                   | 不变           | <sup>131</sup> I(甲亢) | 3.70E+09 | 0.1  | 1 (简单操作)    | 3.70E+08        |  |
|                   | 不变           | <sup>131</sup> I(甲癌) | 2.22E+10 | 0.1  | 1 (简单操作)    | 2.22E+09        |  |
|                   | 不变           | <sup>201</sup> Tl    | 9.25E+08 | 0.01 | 1 (简单操作)    | 9.25E+06        |  |
|                   | 不变           | <sup>90</sup> Y      | 6.00E+09 | 0.1  | 10 (很简单操作)  | 6.00E+07        |  |
|                   | 不变           | <sup>89</sup> Sr     | 7.40E+08 | 0.1  | 1 (简单操作)    | 7.40E+07        |  |
|                   | 不变           | <sup>67</sup> Ga     | 3.70E+08 | 0.1  | 1 (简单操作)    | 3.70E+07        |  |
| <b>日等效最大操作量合计</b> |              |                      |          |      |             | <b>3.91E+09</b> |  |

注: (1) 本表数据未考虑核素半衰期, 结果偏保守。日等效最大操作量 $>4\times10^9$ Bq为甲级;  $2\times10^7$ Bq~ $4\times10^9$ Bq为乙级; 豁免活度值以上~ $2\times10^7$ Bq为丙级。  
(2) 根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函(2016)430号)的有关规定, 1、放射性药品生产中, 分装、标记等活动视为“简单操作”; 2、医疗机构使用<sup>18</sup>F、<sup>99m</sup>Tc、<sup>125</sup>I粒子源相关活动视为“很简单的操作”, 使用<sup>131</sup>I核素相关活动视为“简单操作”。  
(3) 同时参考《辐射防护手册》(第三分册, 原子能出版社1990年版)中第5章5.3.2内容, 则涉及核素中, 核素<sup>177</sup>Lu、<sup>133</sup>Xe、<sup>223</sup>Ra、<sup>153</sup>Sm、<sup>225</sup>Ac、<sup>161</sup>Tb、<sup>212</sup>Pb、<sup>211</sup>At、<sup>213</sup>Bi、<sup>201</sup>Tl、<sup>89</sup>Sr、<sup>67</sup>Ga和<sup>32</sup>P视为“简单操作”, 其操作方式修正因子取1。核素<sup>68</sup>Ga、<sup>64</sup>Cu、<sup>13</sup>N、<sup>11</sup>C和<sup>15</sup>O视为“很简单的操作”, 其操作方式修正因子取10。

由表10-1可知本项目核医学科工作场所日等效最大操作量为 $3.91\times10^9$ Bq, 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)划分, 本项目核医学科工作场所属于乙级非密封源工作场所。

#### 10.2.4 工作场所分类

根据GBZ120-2020《核医学放射防护要求》规定, 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理, 把工作场所分为I、II、III三类。

核医学工作场所分类见表10-2。

表10-2 核医学工作场所分类一览表

| 分类  | 操作最大量放射性核素的加权活度MBq |
|-----|--------------------|
| I   | $>50000$           |
| II  | $50\sim50000$      |
| III | $<50$              |

加权活度=(计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子)/操作性质修正因子

核医学常用放射性核素的毒性权重因子如表10-3所示。

**表10-3 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  | $^{75}\text{Se}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{90}\text{Y}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{153}\text{Sm}$  | 100       |
| B  | $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{67}\text{Ga}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{123}\text{I}$ 、 $^{111}\text{In}$ 、 $^{113\text{m}}\text{In}$ 、 $^{201}\text{TI}$ | 1         |
| C  | $^{14}\text{C}$ 、 $^{3}\text{H}$ 、 $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 、 $^{127}\text{Xe}$ 、 $^{133}\text{Xe}$   | 0.01      |

核医学常用放射性核素不同操作性质的修正因子如表10-4所示。

**表10-4 不同操作性质的修正因子**

| 操作方式和地区                          | 操作性质修正因子 |
|----------------------------------|----------|
| 贮存                               | 100      |
| 废物处理<br>闪烁法计数和显像<br>候诊区及诊断病床区    | 10       |
| 配药、分装以及施给药<br>简单放射性药物制备<br>治疗病床区 | 1        |
| 复杂放射性药物制备                        | 0.1      |

注：表4.2数据来源自INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Medicine Resources Manual, IAEA, Vienna (2006)。

根据院方提供的资料，本项目核医学科非密封源放射工作场所日最大加权活度计算结果与工作场所分类见表10-5、表10-6。

**表10-5 本项目病房治疗区域分类表**

| 工作场所             | 核素                | 计划日操作最大活度 (Bq) | 毒性权重因子 | 操作修正因子 | 核素加权活度 (Bq) | 合计加权活度 (Bq) | 场所分类 |
|------------------|-------------------|----------------|--------|--------|-------------|-------------|------|
| 储源室              | $^{177}\text{Lu}$ | 5.55E+09       | 100    | 100    | 5.55E+09    | 3.15E+10    | II类  |
|                  | $^{131}\text{I}$  | 2.59E+10       | 100    | 100    | 2.59E+10    |             |      |
| 病房、分装室           | $^{177}\text{Lu}$ | 5.55E+09       | 100    | 1      | 5.55E+11    | 3.15E+12    | I类   |
|                  | $^{131}\text{I}$  | 2.59E+10       | 100    | 1      | 2.59E+12    |             |      |
| 配餐间、走廊、病人卫生间及洗浴间 | $^{177}\text{Lu}$ | 5.55E+09       | 100    | 10     | 5.55E+10    | 3.15E+11    | I类   |
|                  | $^{131}\text{I}$  | 2.59E+10       | 100    | 10     | 2.59E+11    |             |      |
| 污物暂存间、固废间        | $^{177}\text{Lu}$ | 1.11E+08       | 100    | 10     | 1.11E+09    | 6.29E+09    | II类  |
|                  | $^{131}\text{I}$  | 5.18E+08       | 100    | 10     | 5.18E+09    |             |      |

注： $^{177}\text{Lu}$ 的毒性权重因子GBZ120-2020中未明确， $^{177}\text{Lu}$ 属于中毒组核素，本项目参考其他中毒组核素的毒性权重因子，将 $^{177}\text{Lu}$ 毒性权重因子取100。

**表10-6 本项目核医学科显像诊疗区域分类表**

| 工作场所                   | 核素    | 计划日操作最大活度 (Bq) | 毒性权重因子 | 操作修正因子 | 核素加权活度 (Bq) | 合计加权活度 (Bq) | 场所分类 |
|------------------------|-------|----------------|--------|--------|-------------|-------------|------|
| 68Ga合成分装热室             | 68Ga  | 3.70E+08       | 1      | 1      | 3.70E+08    | 3.70E+08    | II类  |
| FDG合成分装热室              | 18F   | 7.40E+09       | 1      | 1      | 7.40E+09    | 7.40E+09    | II类  |
| PET分装注射室               | 68Ga  | 3.70E+08       | 1      | 1      | 3.70E+08    | 1.37E+10    | II类  |
|                        | 64Cu  | 3.70E+08       | 1      | 1      | 3.70E+08    |             |      |
|                        | 13N   | 1.85E+09       | 1      | 1      | 1.85E+09    |             |      |
|                        | 11C   | 1.85E+09       | 1      | 1      | 1.85E+09    |             |      |
|                        | 15O   | 1.85E+09       | 1      | 1      | 1.85E+09    |             |      |
|                        | 18F   | 7.40E+09       | 1      | 1      | 7.40E+09    |             |      |
| PET注射后休息室、PET-CT机房     | 68Ga  | 3.70E+08       | 1      | 10     | 3.70E+07    | 1.37E+09    | II类  |
|                        | 64Cu  | 3.70E+08       | 1      | 10     | 3.70E+07    |             |      |
|                        | 13N   | 1.85E+09       | 1      | 10     | 1.85E+08    |             |      |
|                        | 11C   | 1.85E+09       | 1      | 10     | 1.85E+08    |             |      |
|                        | 15O   | 1.85E+09       | 1      | 10     | 1.85E+08    |             |      |
|                        | 18F   | 7.40E+09       | 1      | 10     | 7.40E+08    |             |      |
| PET储源间                 | 68Ga  | 3.70E+08       | 1      | 100    | 3.70E+06    | 1.37E+08    | II类  |
|                        | 64Cu  | 3.70E+08       | 1      | 100    | 3.70E+06    |             |      |
|                        | 13N   | 1.85E+09       | 1      | 100    | 1.85E+07    |             |      |
|                        | 11C   | 1.85E+09       | 1      | 100    | 1.85E+07    |             |      |
|                        | 15O   | 1.85E+09       | 1      | 100    | 1.85E+07    |             |      |
|                        | 18F   | 7.40E+09       | 1      | 100    | 7.40E+07    |             |      |
| PET固废间                 | 68Ga  | 7.40E+06       | 1      | 10     | 7.40E+05    | 2.74E+07    | II类  |
|                        | 64Cu  | 7.40E+06       | 1      | 10     | 7.40E+05    |             |      |
|                        | 13N   | 3.70E+07       | 1      | 10     | 3.70E+06    |             |      |
|                        | 11C   | 3.70E+07       | 1      | 10     | 3.70E+06    |             |      |
|                        | 15O   | 3.70E+07       | 1      | 10     | 3.70E+06    |             |      |
|                        | 18F   | 1.48E+08       | 1      | 10     | 1.48E+07    |             |      |
| 99mTc合成分装热室            | 99Mo  | 5.92E+10       | 100    | 1      | 5.92E+12    | 5.96E+12    | I类   |
|                        | 99mTc | 3.70E+10       | 1      | 1      | 3.70E+10    |             |      |
| 177Lu合成分装热室            | 177Lu | 5.55E+09       | 100    | 1      | 5.55E+11    | 5.55E+11    | I类   |
| 放化实验室/理化实验室            | 99mTc | 1.85E+06       | 1      | 1      | 1.85E+06    | 1.91E+08    | II类  |
|                        | 177Lu | 1.85E+06       | 100    | 1      | 1.85E+08    |             |      |
|                        | 18F   | 1.85E+06       | 1      | 1      | 1.85E+06    |             |      |
|                        | 68Ga  | 1.85E+06       | 1      | 1      | 1.85E+06    |             |      |
| SPECT分装注射室             | 133Xe | 3.70E+08       | 0.01   | 1      | 3.70E+06    | 6.64E+11    | I类   |
|                        | 223Ra | 3.70E+06       | 100    | 1      | 3.70E+08    |             |      |
|                        | 225Ac | 3.70E+06       | 100    | 1      | 3.70E+08    |             |      |
|                        | 153Sm | 2.96E+09       | 100    | 1      | 2.96E+11    |             |      |
|                        | 161Tb | 3.70E+07       | 100    | 1      | 3.70E+09    |             |      |
|                        | 212Pb | 3.70E+07       | 100    | 1      | 3.70E+09    |             |      |
|                        | 211At | 3.70E+07       | 100    | 1      | 3.70E+09    |             |      |
|                        | 213Bi | 3.70E+07       | 100    | 1      | 3.70E+09    |             |      |
|                        | 99mTc | 3.70E+10       | 1      | 1      | 3.70E+10    |             |      |
|                        | 201TI | 1.85E+08       | 1      | 1      | 1.85E+08    |             |      |
|                        | 90Y   | 3.00E+09       | 100    | 1      | 3.00E+11    |             |      |
|                        | 89Sr  | 1.48E+08       | 100    | 1      | 1.48E+10    |             |      |
| SPECT注射后休息室、SPECT-CT机房 | 67Ga  | 3.70E+08       | 1      | 1      | 3.70E+08    | 3.76E+09    | II类  |
|                        | 133Xe | 3.70E+08       | 0.01   | 10     | 3.70E+05    |             |      |
|                        | 99mTc | 3.70E+10       | 1      | 10     | 3.70E+09    |             |      |
|                        | 201TI | 1.85E+08       | 1      | 10     | 1.85E+07    |             |      |
|                        | 67Ga  | 3.70E+08       | 1      | 10     | 3.70E+07    |             |      |
|                        | 133Xe | 3.70E+08       | 0.01   | 100    | 3.70E+04    | 1.03E+10    |      |

|          |                                     |          |      |     |          |          |     |
|----------|-------------------------------------|----------|------|-----|----------|----------|-----|
| SPECT储源间 | <sup>223</sup> Ra                   | 3.70E+06 | 100  | 100 | 3.70E+06 | II类      |     |
|          | <sup>225</sup> Ac                   | 3.70E+06 | 100  | 100 | 3.70E+06 |          |     |
|          | <sup>153</sup> Sm                   | 2.96E+09 | 100  | 100 | 2.96E+09 |          |     |
|          | <sup>161</sup> Tb                   | 3.70E+07 | 100  | 100 | 3.70E+07 |          |     |
|          | <sup>212</sup> Pb                   | 3.70E+07 | 100  | 100 | 3.70E+07 |          |     |
|          | <sup>211</sup> At                   | 3.70E+07 | 100  | 100 | 3.70E+07 |          |     |
|          | <sup>213</sup> Bi                   | 3.70E+07 | 100  | 100 | 3.70E+07 |          |     |
|          | <sup>99m</sup> Tc                   | 3.70E+10 | 1    | 100 | 3.70E+08 |          |     |
|          | <sup>201</sup> Tl                   | 1.85E+08 | 1    | 100 | 1.85E+06 |          |     |
|          | <sup>90</sup> Y                     | 3.00E+09 | 100  | 100 | 3.00E+09 |          |     |
|          | <sup>89</sup> Sr                    | 1.48E+08 | 100  | 100 | 1.48E+08 |          |     |
|          | <sup>67</sup> Ga                    | 3.70E+08 | 1    | 100 | 3.70E+06 |          |     |
|          | <sup>125</sup> I <sub>粒</sub><br>籽源 | 3.70E+09 | 100  | 100 | 3.70E+09 |          |     |
|          |                                     |          |      |     |          |          |     |
| SPECT固废间 | <sup>133</sup> Xe                   | 7.40E+06 | 0.01 | 10  | 7.40E+03 | 1.33E+09 | II类 |
|          | <sup>223</sup> Ra                   | 7.40E+04 | 100  | 10  | 7.40E+05 |          |     |
|          | <sup>225</sup> Ac                   | 7.40E+04 | 100  | 10  | 7.40E+05 |          |     |
|          | <sup>153</sup> Sm                   | 5.92E+07 | 100  | 10  | 5.92E+08 |          |     |
|          | <sup>161</sup> Tb                   | 7.40E+05 | 100  | 10  | 7.40E+06 |          |     |
|          | <sup>212</sup> Pb                   | 7.40E+05 | 100  | 10  | 7.40E+06 |          |     |
|          | <sup>211</sup> At                   | 7.40E+05 | 100  | 10  | 7.40E+06 |          |     |
|          | <sup>213</sup> Bi                   | 7.40E+05 | 100  | 10  | 7.40E+06 |          |     |
|          | <sup>99m</sup> Tc                   | 7.40E+08 | 1    | 10  | 7.40E+07 |          |     |
|          | <sup>201</sup> Tl                   | 3.70E+06 | 1    | 10  | 3.70E+05 |          |     |
|          | <sup>90</sup> Y                     | 6.00E+07 | 100  | 10  | 6.00E+08 |          |     |
|          | <sup>89</sup> Sr                    | 2.96E+06 | 100  | 10  | 2.96E+07 |          |     |
|          | <sup>67</sup> Ga                    | 7.40E+06 | 1    | 10  | 7.40E+05 |          |     |
|          |                                     |          |      |     |          |          |     |
| 留观室      | <sup>68</sup> Ga                    | 3.70E+08 | 1    | 10  | 3.70E+07 | 3.78E+10 | II类 |
|          | <sup>64</sup> Cu                    | 3.70E+08 | 1    | 10  | 3.70E+07 |          |     |
|          | <sup>13</sup> N                     | 1.85E+09 | 1    | 10  | 1.85E+08 |          |     |
|          | <sup>11</sup> C                     | 1.85E+09 | 1    | 10  | 1.85E+08 |          |     |
|          | <sup>15</sup> O                     | 1.85E+09 | 1    | 10  | 1.85E+08 |          |     |
|          | <sup>18</sup> F                     | 7.40E+09 | 1    | 10  | 7.40E+08 |          |     |
|          | <sup>133</sup> Xe                   | 3.70E+08 | 0.01 | 10  | 3.70E+05 |          |     |
|          | <sup>223</sup> Ra                   | 3.70E+06 | 100  | 10  | 3.70E+07 |          |     |
|          | <sup>225</sup> Ac                   | 3.70E+06 | 100  | 10  | 3.70E+07 |          |     |
|          | <sup>153</sup> Sm                   | 2.96E+09 | 100  | 10  | 2.96E+10 |          |     |
|          | <sup>161</sup> Tb                   | 3.70E+07 | 100  | 10  | 3.70E+08 |          |     |
|          | <sup>212</sup> Pb                   | 3.70E+07 | 100  | 10  | 3.70E+08 |          |     |
|          | <sup>211</sup> At                   | 3.70E+07 | 100  | 10  | 3.70E+08 |          |     |
|          | <sup>213</sup> Bi                   | 3.70E+07 | 100  | 10  | 3.70E+08 |          |     |
|          | <sup>99m</sup> Tc                   | 3.70E+10 | 1    | 10  | 3.70E+09 |          |     |
|          | <sup>201</sup> Tl                   | 1.85E+08 | 1    | 10  | 1.85E+07 |          |     |
|          | <sup>89</sup> Sr                    | 1.48E+08 | 100  | 10  | 1.48E+09 |          |     |
|          | <sup>67</sup> Ga                    | 3.70E+08 | 1    | 10  | 3.70E+07 |          |     |
| 摄碘室      | <sup>131</sup> I                    | 2.78E+06 | 100  | 10  | 3.70E+10 | 3.70E+10 | II类 |

注：<sup>68</sup>Ga、<sup>64</sup>Cu、<sup>223</sup>Ra、<sup>225</sup>Ac、<sup>161</sup>Tb、<sup>212</sup>Pb、<sup>211</sup>At和<sup>213</sup>Bi的毒性权重因子GBZ120-2020中未明确，<sup>161</sup>Tb和<sup>212</sup>Pb属于中毒组，<sup>211</sup>At和<sup>213</sup>Bi 属于高毒组，<sup>223</sup>Ra和<sup>225</sup>Ac属于极毒组，参考已有明确核素的毒性权重因子，取值100。<sup>68</sup>Ga和<sup>64</sup>Cu属于低毒组，参考已明确毒性权重因子，取值1。

根据表10-5、10-6可知，本项目核素工作场所含有I类、II类和III类工作场所，对照GBZ120-2020《核医学放射防护要求》对核医学工作场所具体分类办法，各工作场

所室内表面及装备结构的基本要求设计按照所对应的要求进行设计，本项目核医学工作场所的防护设计要求见下表。

**表10-7 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求**

| 种类    | 分类                     |                        |                  |
|-------|------------------------|------------------------|------------------|
|       | I                      | II                     | III              |
| 结构屏蔽  | 需要                     | 需要                     | 不需要              |
| 地面    | 与墙壁接缝无缝隙               | 与墙壁接缝无缝隙               | 易清洗              |
| 表面    | 易清洗                    | 易清洗                    | 易清洗              |
| 分装柜   | 需要                     | 需要                     | 不必               |
| 通风    | 特殊的强制通风                | 良好通风                   | 一般自然通风           |
| 管道    | 特殊的管道 <sup>a</sup>     | 普通管道                   | 普通管道             |
| 盥洗与去污 | 洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备 | 洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备 | 洗手盆 <sup>b</sup> |

a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。  
b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

建设单位核医学科工作场所已采取相应的辐射防护措施，本项目拟在原有工作场所新增非密封放射性核素。项目运行后，建设单位拟针对增加的诊疗项目完善防护设施并加强管理要求，工作场所内表面和装备结构均根据I类场所要求进行防护，本项目核医学科工作场所采取的辐射防护措施与标准要求对照情况见下表。

**表10-8 采取的防护措施符合性分析**

| 标准要求            | 采取的措施        | 是否满足要求   |    |
|-----------------|--------------|--|----|
| 工作场所室内表面及装备结构要求 | 地面：与墙壁接缝无缝隙  | 甲癌治疗区域：病房、患者卫生间及洗浴间、分装室、工作人员卫生通过间和淋浴间、储源室和患者通道地面与墙壁的连接处均采用圆弧设计，保证连接处无缝隙。<br>核医学科显像诊疗区域：PET-CT机房、PET注射后休息室、PET分装注射室、合成分装热室、摄碘室、固废间、患者卫生间、SPECT-CT机房、SPECT注射后休息室、SPECT分装注射室和患者通道地面与墙壁的连接处均采用圆弧设计，保证连接处无缝隙。 | 满足 |
|                 | 表面：易清洗       | 甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域的工作台面和注射台表面已采用不锈钢等易清洗材料。  | 满足 |
|                 | 分装柜：需要       | 已在甲癌治疗区域设置1个分装柜，核医学科显像诊疗区域各设置1个分装柜。  | 满足 |
|                 | 室内通风：特殊的强制通风 | 已在甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域设置机械通风系统。<br>甲癌治疗区域：已在各病房、储源室、分装室、污物暂存间等场所设置独立的机械排风装置，各区域内气流拟由低活度区流向高活度区（高活度区负压于低活度区），通过专用管道与楼层放射性废气专用排风管道相连接，并经排风井将废气引至楼顶排出；分装柜设立单独排风管道，安装独立风机，保证通风效果；总排风口设置于该楼楼                     | 满足 |

|           |  |  |    |
|-----------|--|--|----|
|           |  | 顶, 高于本建筑屋脊, 并设置活性炭吸附过滤装置。<br>核医学科显像诊疗区域: 已在SPECT-CT机房/PET-CT机房、SPECT注射室/PET注射室、SPECT注射后休息室/PET注射后休息室等场所设置独立的机械排风装置, 各区域内气流拟由低活度区流向高活度区(高活度区负压于低活度区), 通过专用管道与楼层放射性废气专用排风管道相连接, 并经排风井将废气引至楼顶排出; 分装柜设立单独排风管道, 安装独立风机, 保证通风效果; 总排风口设置于该楼楼顶, 高于本建筑屋脊, 并设置活性炭吸附过滤装置。 |    |
|           | 管道: 特殊的管道。   | 甲癌治疗区域衰变池设于甲癌病房东侧过道下方, 核医学科显像诊疗区域衰变池设于核医学科东侧负二层, 各衰变池下水管道与核医学辐射工作场所距离较近, 管道较短。大水流管道处按要求设置标记, 以便维修检测。管道使用防腐蚀和渗漏的材料, 并对管道各接口处进行防护加固。   | 满足 |
|           | 盥洗与去污: 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制和去污设备                             | 甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域的卫生间洗手盆均设置感应式或脚踏式等手部非接触开关控制, 卫生通过间均配备一套去污工具。  | 满足 |
| 对于通风橱的要求  | 合成和操作放射性药物所用的通风橱, 工作中应有足够的通风(不小于0.5米/秒), 排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置 | 甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域配备分装柜和通风橱内风速满足不小于0.5m/s, 放射性药物质控、分装操作在通风橱内进行, 通风橱通过专用管道与楼层放射性废气专用排风管道相连接, 并经排风井将废气引至楼顶排出, 排放前经高效活性炭过滤吸附装置过滤, 在过滤装置前后分别设置采样口, 以检测过滤效果, 并定期更换活性炭吸附装置。   | 满足 |
| 放射性污水池的要求 | 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。                                | 甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域均设置了衰变池, 专门用于存放放射性废水  | 满足 |

### 10.3 甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域屏蔽设计

本项目拟利旧甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域部分原有辐射防护材料进行改造, 具体设计参数见表10-9、10-10。

表10-9 本项目甲癌治疗区域辐射防护屏蔽设计

| 工作用房名称                | 屏蔽体   | 拟采取的屏蔽防护材料及厚度                |
|-----------------------|-------|------------------------------|
| <sup>177</sup> Lu治疗病房 | 四周墙体  | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡+12cm厚实心砖墙 |
|                       | 顶棚    | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层            |
|                       | 地坪    | 12cm厚混凝土+10cm厚硫酸钡涂料          |
|                       | 防护门   | 15mmPb                       |
| 储源室                   | 东墙、北墙 | 12cm厚实心砖墙+4cm厚硫酸钡            |
|                       | 南墙    | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡           |

|  |                        |                      |                                      |  |
|--|------------------------|----------------------|--------------------------------------|--|
|  |                        |                      | +地下车库20cm厚混凝土墙                       |  |
|  |                        | 西墙                   | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡<br>+12cm厚实心砖墙     |  |
|  |                        | 顶棚                   | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层                     |  |
|  |                        | 地坪                   | 12cm厚混凝土+10cm厚硫酸钡涂料                  |  |
|  |                        | 防护门                  | 12mmPb                               |  |
|  |                        | 传药窗                  | 12mmPb                               |  |
|  | 固废间                    | 东墙                   | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡<br>+12cm厚实心砖墙     |  |
|  |                        | 南墙                   | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡<br>+地下车库20cm厚混凝土墙 |  |
|  |                        | 西墙、北墙                | 12cm厚实心砖墙+4cm厚硫酸钡                    |  |
|  |                        | 顶棚                   | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层                     |  |
|  |                        | 地坪                   | 12cm厚混凝土+10cm厚硫酸钡涂料                  |  |
|  |                        | 防护门                  | 12mmPb                               |  |
|  | 分装室                    | 东墙、西墙、北墙             | 12cm厚实心砖墙+12cm硫酸钡<br>+12cm厚实心砖墙      |  |
|  |                        | 南墙                   | 12cm厚实心砖墙+4cm厚硫酸钡                    |  |
|  |                        | 顶棚                   | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层                     |  |
|  |                        | 地坪                   | 12cm厚混凝土+10cm厚硫酸钡涂料                  |  |
|  |                        | 防护门                  | 12mmPb                               |  |
|  |                        | 分装柜                  | 20mmPb                               |  |
|  |                        | <sup>177</sup> Lu注射窗 | 50mmPb                               |  |
|  | 污物暂存间                  | 东墙、西墙                | 钢架+4mmPb铅板                           |  |
|  |                        | 北墙                   | 钢架+18mmPb铅板                          |  |
|  |                        | 南墙                   | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡<br>+12cm厚实心砖墙     |  |
|  |                        | 顶棚                   | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层                     |  |
|  |                        | 地坪                   | 12cm厚混凝土+4mmPb铅板                     |  |
|  |                        | 防护门1、防护门2            | 4mmPb                                |  |
|  | 取餐间                    | 西墙                   | 30cm厚混凝土墙+8mmPb铅板                    |  |
|  |                        | 东墙、南墙、北墙             | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡<br>+12cm厚实心砖墙     |  |
|  |                        | 顶棚                   | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层                     |  |
|  |                        | 地坪                   | 12cm厚混凝土+10cm厚硫酸钡涂料                  |  |
|  |                        | 北侧防护门                | 10mmPb                               |  |
|  | 扩建部分                   | 东墙、南墙、北墙             | 钢架+18mmPb铅板                          |  |
|  |                        | 顶棚                   | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层                     |  |
|  |                        | 地坪                   | 12cm厚混凝土+6mmPb铅板                     |  |
|  |                        | 食物传递窗                | 18 mmPb                              |  |
|  |                        | 采光窗                  | 21 mmPb                              |  |
|  | 安全出口门                  |                      | 12mmPb                               |  |
|  | 甲癌病房专用放射性废水间（甲癌病房下方，负二 | 四周墙体                 | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡<br>+12cm厚实心砖墙     |  |

|  |       |                   |
|--|-------|-------------------|
| 层)   | 顶棚    | 12cm厚混凝土+12cm厚硫酸钡 |
|  | 防护门   | 15 mmPb           |
| <b>表10-10 本项目核医学科显像诊疗区域辐射防护屏蔽设计</b>                  |       |                   |
| 工作用房名称   | 屏蔽体   | 采取的屏蔽防护材料及厚度      |
| <sup>99m</sup> Tc合成分装热室、<br><sup>177</sup> Lu合成分装热室、 | 四周墙体  | 24cm厚实心砖墙+4cm厚硫酸钡 |
|  | 顶棚    | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层  |
|  | 地坪    | 25cm厚混凝土          |
|  | 防护门   | 4mmPb             |
|  | 传药窗   | 20mmPb            |
|  | 注射窗   | 20mmPb            |
|  | 分装柜   | 20mmPb            |
| SPECT分装注射室、<br>SPECT储源间、SPECT固<br>废间                 | 非共墙墙体 | 24cm厚实心砖墙+2cm厚硫酸钡 |
|  | 顶棚    | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层  |
|  | 地坪    | 25cm厚混凝土          |
|  | 防护门   | 4mmPb             |
| FDG合成分装热室、<br><sup>68</sup> Ga<br>合成分装热室             | 四周墙体  | 30cm厚实心砖墙+6cm厚硫酸钡 |
|  | 顶棚    | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层  |
|  | 地坪    | 25cm厚混凝土          |
|  | 防护门   | 4mmPb             |
|  | 传药窗   | 20mmPb            |
| PET分装注射室   | 四周墙体  | 24cm厚实心砖墙+6cm厚硫酸钡 |
|  | 顶棚    | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层  |
|  | 地坪    | 25cm厚混凝土          |
|  | 防护门   | 16mmPb            |
|  | 注射窗   | 50mmPb            |
|  | 传药窗   | 20mmPb            |
| PET注射后休息室  | 四周墙体  | 24cm厚实心砖墙+6cm厚硫酸钡 |
|  | 顶棚    | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层  |
|  | 地坪    | 25cm厚混凝土          |
|  | 防护门   | 18mmPb            |
| PET储源间、PET固废间  | 非共墙墙体 | 24cm厚实心砖墙+2cm厚硫酸钡 |
|  | 顶棚    | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层  |
|  | 地坪    | 25cm厚混凝土          |
|  | 防护门   | 4mmPb             |
| PET-CT注射后休息室   | 东墙    | 24cm厚实心砖墙+6cm厚硫酸钡 |
|  | 其余墙体  | 30cm厚混凝土墙+5cm厚硫酸钡 |
|  | 顶棚    | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层  |
|  | 地坪    | 25cm厚混凝土          |
|  | 防护门   | 18mmPb            |
| SPECT-CT注射后休息室、<br>SPECT-CT注射后VIP休息<br>室             | 四周墙体  | 24cm厚实心砖墙+3cm厚硫酸钡 |
|  | 顶棚    | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层  |
|  | 地坪    | 25cm厚混凝土          |
|  | 防护门   | 4mmPb             |
| 两间SPECT-CT机房   | 四周墙体  | 24cm厚实心砖墙+3cm厚硫酸钡 |
|  | 顶棚    | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层  |
|  | 地坪    | 25cm厚混凝土          |
|  | 防护门   | 4mmPb             |
|  | 观察窗   | 5 mmPb            |
| PET-CT机房   | 四周墙体  | 30cm厚混凝土墙+5cm厚硫酸钡 |

|      |      |                  |  |
|------|------|------------------|--|
|      | 顶棚   | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层 |  |
|      | 地坪   | 25cm厚混凝土         |  |
|      | 防护门  | 7mmPb            |  |
|      | 观察窗  | 8mmPb            |  |
| 患者走廊 | 顶棚   | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层 |  |
|      | 地坪   | 25cm厚混凝土         |  |
|      | 患者入口 | 20 mmPb          |  |
|      | 患者出口 | 16 mmPb          |  |

## 10.4 辐射安全防护、环保相关设施

### 10.4.1 辐射安全措施

#### (1) 警示设施

医院已在甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域控制区各房间防护门外及衰变池外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。在核医学科SPECT-CT/PET-CT机房受检者防护门与工作人员防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联锁，防护门关闭时指示灯为红色，防护门打开时，指示灯灭。

#### (2) 紧急止动装置

在核医学科SPECT-CT/PET-CT控制台上、机房内、设备治疗床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急止动按钮即可停止设备运行。

#### (3) 视频监控和对讲装置

在甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域范围内均设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、工作场所进/出口情况。SPECT-CT/PET-CT机房和控制室之间、注射室和注射窗口内外、以及甲癌治疗区域分装注射室和注射窗口内外、各病房内、取餐间均安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置与受检者联系。

### 10.4.2 防护用品配置

根据国家标准要求，应为相关人员配备防护用品，以减少不必要的照射，该项目甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域已配备防护设施，原有种类和数量能基本满足医院日常工作的开展，本项目拟利旧原有防护用品，不需要增加防护设施及用品数量，具体种类及数量见表10-11。

表10-11 本项目项目甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域防护设施及用品配备情况

| 核医学科显像诊疗区域 |        |    |      |    |
|------------|--------|----|------|----|
| 序号         | 防护用品名称 | 数量 | 防护厚度 | 备注 |

|               |                            |      | (mmPb)           |   |
|---------------|----------------------------|------|------------------|---|
| 1             | 储源铅罐                       | 6台   | 20               | 原有, 新增: 储源室、传药窗   |
| 2             | 分装柜                        | 2台   | 20               | 新增: $^{99m}\text{Tc}$ 合成分装热室、 $^{177}\text{Lu}$ 合成分装热室  |
| 3             | 质控防护箱                      | 1台   | 40               | 新增: 放化实验室/理化实验室   |
| 4             | 分装柜                        | 2台   | 60               | 新增: FDG合成分装热室、 $^{68}\text{Ga}$ 合成分装热室  |
| 5             | 活度计                        | 2台   | /                | 原有: PET/SPECT分装注射室  |
| 6             | 入墙式注射窗                     | 3套   | 20; 50           | 新增: SPECT分装注射室2套、PET分装注射室1套   |
| 7             | 注射器屏蔽套                     | 2套   | 2                | 原有: PET/SPECT分装注射室  |
| 8             | 放射性废物桶                     | 8个   | 20               | 原有, 新增: PET/SPECT分装注射室、PET/SPECT固废间、 $^{99m}\text{Tc}$ 合成分装热室、 $^{177}\text{Lu}$ 合成分装热室、FDG合成热室、摄碘室 |
| 9             | 铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅屏风 | 若干   | 0.5、0.35、0.025、2 | 原有: PET/SPECT分装注射室、PET-CT机房/SPEC-CT机房控制室  |
| 10            | 去污工具                       | 2套   | /                | 原有: 卫生通过间   |
| 11            | 表面污染监测仪                    | 2台   | /                | 原有: 卫生通过间   |
| 12            | 个人剂量报警仪                    | 2台   | /                | 原有: 人员随身携带  |
| 13            | 个人剂量计                      | 1个/人 | /                | 原有: 人员随身携带  |
| 14            | 防护应急物品                     | 若干   | /                | 原有: PET/SPECT候诊室  |
| <b>甲癌治疗区域</b> |                            |      |                  |   |
| 序号            | 防护用品名称                     | 数量   | 防护厚度<br>(mmPb)   | 设置场所  |
| 1             | 储源铅罐                       | 1台   | 20               | 原有: 储源室   |
| 2             | 分装柜                        | 1台   | 20               | 原有: 分装室   |
| 3             | 活度计                        | 1台   | /                | 原有: 分装柜内  |
| 4             | 入墙式注射窗                     | 1套   | 50               | 新增: 分装室注射窗  |
| 5             | 注射器屏蔽套                     | 2套   | 2                | 原有: 分装室注射台  |
| 6             | 放射性废物桶                     | 2个   | 20               | 原有: 服碘窗口内外各一个   |
| 7             | 放射性废物箱                     | 13个  | 20               | 原有, 新增: 污物暂存间, 分为四组, 每组3个。固废间1个   |
| 8             | 铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅屏风 | 若干   | 0.5、0.35、0.025、5 | 分装室、取餐间、病房  |
| 9             | 去污工具                       | 1套   | /                | 原有: 卫生通过间   |
| 10            | 表面污染监测仪                    | 1台   | /                | 原有: 卫生通过间   |
| 11            | 个人剂量报警仪                    | 7台   | /                | 原有: 甲癌治疗各区域   |
| 12            | 个人剂量计                      | 1个/人 | /                | 原有: 人员随身携带  |
| 13            | 防护应急物品                     | 若干   | /                | 原有  |

#### 10.4.3 放射性药物的存放控制措施

本项目涉及的非密封放射性核素药物由医院提前一天向供药单位订购, 供药单位在约定的时间, 将预约用量的药物送至甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域,

各工作场所相关工作人员接收放射性核素，进行核准、登记等相关交接手续，并经确认无误后暂存在储源室内。建设单位必须配备专（兼）职人员负责放射性药物的管理并建立健全放射性物质的保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账（如交收账、库存帐、消耗账），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性物质的容器，必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。放射性药物要设有专门可靠的防火防盗等安全设施的贮存场所，且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起。

#### **10.4.4核素使用工作场所放射性表面污染防护**

为了防止该项目放射性物质进入体内造成内照射，必须重视对放射性物质表面污染的防护，建设单位已采取以下防护措施。

##### **(1) 工作场所分区管理**

该项目按照开展临床使用放射性核素的种类及用量，对甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域进行了划分，工作人员从非放射性工作区进出放射性工作区需经卫生通过间，并在卫生通过间内配备表面污染监测仪等检测设备。

##### **(2) 工作场所表面污染防护**

涉及放射性药物操作的工作场所拟按表10-7相关要求采用易清洗且不易渗透材料（如PVC板等），拐角使用弧线处理。

地面要求平整光滑，易于清洗，已采用表面光滑的材料和涂刷塑料油漆。

墙面要求平整光滑，1米以下部位已采用易于清洗的涂料。

工作台面要求平整、光滑、易于清洗。已铺砌磨光板材或不锈钢面板等。墙面与地面、墙面连接转角处，以及工作台边沿采取弧形，以尽可能减少表面污染。

除注射、给药外其余涉及放射性药物的所有操作均在通风橱内进行，通风橱操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都将在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

##### **(3) 工作人员的防护措施**

工作人员进入放射工作场所经卫生通过间更换服装，并穿戴工作衣、裤、帽、

鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。工作人员离开放射工作场所，需返经卫生通过间，清洗、更衣、并对手部等体表部位进行污染测定，确认未受放射污染，方可离开。

#### (4) 对受检者/患者的防护

受检者/患者根据预约按时来院，在给药处接受注射药物，到指定地点候诊、检查，不应随意走动，并在患者专用卫生间如厕。检查完毕由专门出口离开，尽量减少对其他人员的影响。

该项目核医学放射工作场所采取的放射性表面污染控制与防护措施符合国家标准要求，可有效降低对该项目相关人员的影响。

#### 10.4.5 辐射安全防护措施的可行性

将本项目在设计阶段拟采取的上述防护措施汇总列入表10-12。

**表10-12 本项目设计阶段拟采取的安全防护措施汇总表**

| 甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域 |                                   |      |      |
|-------------------|-----------------------------------|------|------|
| 项目                | 检查内容                              | 设计内容 | 符合情况 |
| 射线装置工作场所设施        | 隔室操作                              | 已设置  | 符合   |
|                   | 观察窗防护                             | 已设置  | 符合   |
|                   | 门防护                               | 已设置  | 符合   |
|                   | 候诊区                               | 已设置  | 符合   |
|                   | 辅助防护用品                            | 已配备  | 符合   |
|                   | 通风设施                              | 已设置  | 符合   |
|                   | 入口处电离辐射警告标志                       | 已设置  | 符合   |
|                   | 入口处工作状态显示                         | 已设置  | 符合   |
| 核素操作场所设施          | 分区管理                              | 已执行  | 符合   |
|                   | 场所门外电离辐射警示标志                      | 已设置  | 符合   |
|                   | 通风设施                              | 已设置  | 符合   |
|                   | 注射用屏蔽设施                           | 已设置  | 符合   |
|                   | 病人专用卫生间                           | 已设置  | 符合   |
|                   | 患者进出口单向门禁                         | 已设置  | 符合   |
| 其它                | 门外电离辐射警示标志                        | 已设置  | 符合   |
|                   | 储源场所防火、防水、防盗、防丢失、防破坏措施            | 已设置  | 符合   |
|                   | 通风橱                               | 已设置  | 符合   |
| 监测设备              | 便携式辐射辐射剂量仪器仪表（污染、辐射水平等）           | 已设置  | 符合   |
|                   | 个人剂量计                             | 已配置  | 符合   |
| 放射性废液和放射性废物       | 放射性下水及标识（衰变池）                     | 已设置  | 符合   |
|                   | 放射性废物暂存间，防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏措施 | 已设置  | 符合   |
|                   | 放射性固体废物收集容器、标识、标签                 | 已设置  | 符合   |
| 防护器材              | 个人防护用品                            | 已配置  | 符合   |

|   | 放射性表面去污用品和试剂 | 已配置 | 符合 |
|---|--------------|-----|----|
| <p>从表10-12可见，本项目涉及的相关核素操作场所的辐射设备、工作场所及其人员采取的辐射安全措施符合《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令第18号）、《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序（第三版）》、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关文件的要求。根据本报告“表11”中的预测结果，本项目在正常运行工况下，产生的辐射经原有屏蔽实体以及个人防护用品屏蔽后，所致工作人员的职业照射剂量和公众照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本次评价标准的要求，说明本项目甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域的屏蔽材料和防护厚度是满足屏蔽防护要求的。综上所述，按建设单位原有的辐射工作场所，其采用的防护措施能够有效屏蔽辐射源产生的射线，符合相关标准要求。环评认为，本项目拟新增的非密封放射性核素在投入运营后，医院在原有辐射防护措施和相关制度的基础上，保持辐射工作场所的防护设施及要求，加强管理，继续落实各项辐射防护措施和人员管理措施，则本项目涉及的甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域及其辐射安全防护措施是合理可行的。</p> |              |     |    |

## 10.5“三废”分析

### 10.5.1放射性废液

#### （1）甲癌治疗区域

甲癌治疗区域已建设有衰变池以暂存含<sup>131</sup>I核素的放射性废水，本项目<sup>177</sup>Lu治疗沿用该衰变池。甲癌病房专用衰变池设置在甲癌病房楼下负二楼区域，该衰变池由专用管道接至甲癌住院病区的四个卫生间，**新增<sup>177</sup>Lu病房的卫生间管道拟接入原放射性废液排放管道**，该衰变池仅用于收集存放五个卫生间下水及卫生通过间应急淋浴的下水。下水管道走楼下负二楼地下车库吊顶，为铸铁管道，包裹4mm铅皮以补偿屏蔽。衰变池出水口接入医院污水管网，进入医院污水处理中心作为医疗废水处理。

该甲癌病房专用衰变池位于甲癌病房楼下负二楼临近位置，由专用放射性废水间+三个槽式衰变罐及附属设施构成，属槽式排放结构。

放射性废水间为实体屏蔽房间，其墙体与甲癌病房墙体设计一致，为“12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡+12cm厚实心砖”，顶部为“12cm厚混凝土的基础上加铺12cm

厚硫酸钡砂浆”，防护门15mmPb。整个放射性废水间地面及墙面0.3m以下均做防水处理，防护门处设置有10cm高的门槛，防止极端情况下罐体漏水造成的放射性废水外溢。

放射性废水间内设一套槽式排放衰变罐系统，由一个自搅拌自冲槽体+三个管道连接的槽式不锈钢衰变罐构成。三个槽式不锈钢衰变罐均为有效容积36.7m<sup>3</sup>的罐体，该套放射性废水衰变系统总有效容积为110m<sup>3</sup>。来自甲癌病房和<sup>177</sup>Lu病房卫生间的放射性废水先进入自搅拌自冲槽体充分破碎后，流入第一个罐内，满罐后该罐体入口电动阀门自动关闭；依次装满第二、三个罐体；当第三个罐体装满时，第一个罐体的放射性废水出口阀门打开，废液取样监测系统监测放射性废水总放，确认达标（总α<1Bq/L，总β<10Bq/L）后，总出水口阀门打开，排空第一个罐体废水后，继续使用该罐体。放射性废水在三个槽式不锈钢衰变罐中交替储存衰变和排放废液。该套系统还预留有一个0.5m×0.5m×0.5m的集水坑以对于突发的放射性废水（如处理泼洒的<sup>131</sup>I药物造成的放射性废水）。此外，三个罐体均预留有手动阀门，防止极端情况下电动阀门失效，可手动切换各罐体的进排水管道。控制系统监测各衰变罐的管道流量、液面等情况，并确保各罐放射性废水在取样监测合格的情况下能外排至医院污水管网。

该放射性废水间及不锈钢槽式排放衰变罐系统能够满足GBZ133-2009中“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，应有防泄漏措施”的要求。

甲癌治疗区域衰变池对放射性废水的处理分析详见11.2.3“三废”影响分析。

## （2）核医学科显像诊疗区域

医院核医学科显像诊疗区域现有放射性废水衰变池为连续式推流结构，位于核医学科东侧负二层，衰变池共四格，单格容积约为16m<sup>3</sup>，有效总容积48m<sup>3</sup>。衰变池最后一格的抽水管伸入底部，24小时持续运转的抽水泵将经过充分衰变的放射性废水抽入医院污水系统，作为医疗废水处理，故该衰变池为三级串联式。

核医学科显像诊疗区域产生的放射性废液通过专用管道排入衰变池，已通过审批，可满足原有核医学科显像诊疗区域放射性废水衰变。该衰变池外围池壁采用

35cm砼浇筑，四格衰变池顶部均留有检修口，检修口设置厚20cm的砼盖板，能够保证放射性废水的良好屏蔽。其检修口所在的负一层房间不做其他用途。

根据核医学科一期竣工验收报告，该衰变池现状如图10-3。根据竣工验收报告检测结果，该衰变池表面辐射水平与环境本底相比未见异常。



图10-3 核医学科在用衰变池现状

另外，医院应严格控制药品使用量，根据最优化原则预定药品，对剩余微量原液应存放原容器内，经衰变10个半衰期后按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放，避免随意出现未用完但没有医用价值的放射性药品（废原液）。

核医学科显像诊疗区域衰变池对放射性废水的处理分析详见11.2.3“三废”影响分析。

#### 10.5.2 放射性固体废物

##### (1) 甲癌治疗区域

本项目甲癌治疗区域设置有1间固废间用于存放放射性固废。放射性废物主要是工作人员操作过程产生的服药杯子、注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料等。。每个病人每天产生放射性固体废物约200g，甲癌治疗区域每天最多5名病人，故每天产生放射性固体废物最多1kg。

甲癌治疗区域还设置有1间污物暂存间，污物暂存间内设置有12个放射性固废箱，每个均为20mmPb，分为四组，每组3个。主要用于暂存病房内更换的污被和污衣，以及每个病房产生的沾污生活用品

## **(2) 核医学科显像诊疗区域**

本项目核医学科显像诊疗区域拟设置2间固废间，分别位于SPECT和PET区域，用于暂存项目开展过程中产生的放射性废物。

本项目核医学科显像诊疗区域可能产生的放射性固体废物主要有服药杯子、污染物的注射器、针头、手套、棉签、纱布、滤纸、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品以及其他可能受放射性污染的物品等。医院拟在SPECT/PET分装注射室、摄碘室分别设置铅桶（20mmPb当量），容器内放置塑料袋；对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入塑料袋内。每袋废物的表面剂量率应不超过  $0.1\text{mSv/h}$ ，重量不超过20kg。到达一定量时转入处置室（固废间）进行暂存衰变。每个病人每天产生放射性固体废物约50g，核医学科每天最多75名病人，故每天产生放射性固体废物最多3.75kg。

为保证吸附效率，本项目通风装置设置的吸附用活性炭应定期更换（一般一年更换一次），作为放射性固体废物处理，每年约50kg。

另外，本项目放射性药物淋洗合成及质控过程中，会产生滤纸、脱脂棉、手套、破碎器皿、擦拭污染物的物品，每年约27kg。

### **10.5.3 放射性废气处理措施**

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第5.2.3 款：核医学工作场所的通风按表1（见表10-6）要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于0.5 m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准的要求。

该项目放射性废气主要来源：核素操作过程中会产生一定量的放射性废气，如核素质控、分装、注射等。

### **(1) 甲癌治疗区域**

针对放射性废气，医院拟在甲癌治疗区域内采取相关处理措施，具体如下：

针对 $^{131}\text{I}$ 治疗，医院原有在服碘室内配备带通风橱的碘自动分装仪，该全自动分

装柜具有至少20mm铅当量，自带活性炭过滤装置。整罐<sup>131</sup>I药物放入全自动分装柜后，后续药物分装及活度测量均由机器自动完成，无需人工干预。护士通过对讲和监控指导隔墙走廊上服碘窗口的病人，病人自取一次性口杯，接药，服药。该自动分装柜自带通风装置，风速不小于1m/s。甲癌病区原设置有四路排风，在服碘区、控制区内各病房和患者走廊上均设置了排风口、也预留了碘自动分装仪的排风口，上述排风管道汇总为一条独立管道，自吊顶引至甲癌病区专用风井（医院借用各层辅房约1m<sup>2</sup>面积，砸穿各层楼板建设该甲癌病区专用独立风井），并通往楼顶，外排气口也位于本建筑主楼17层楼顶，排放口醒目位置设置电离辐射警示标志。甲癌病区新风自病房东侧的新风风井由独立管道引入。

本次针对<sup>177</sup>Lu治疗，医院拟在分装室内设置专用分装柜，放射性药物质控、分装操作均在分装柜内进行，分装柜新增一路专用管道接入原甲癌病区排风管道，设计总排风量为1000m<sup>3</sup>/h，最终合并经北侧风井将废气引至楼顶排出，分装柜的风速不小于0.5m/s。在固废间新增一路排风管道，设计总排风量为200m<sup>3</sup>/h，最终合并经北侧风井将废气引至楼顶排出。另外本项目涉及新增的污物暂存间、<sup>177</sup>Lu病房及其卫生间内增设排风管道，最终接入原甲癌病区排风管道，并经北侧风井将废气引至楼顶排出，排风管道出口处设置活性炭过滤器，能有效的过滤及吸附废气中的放射性气载流出物，吸附效率不低于95%，达到气体排放要求。

综上所述，甲癌治疗区域各病房、过道、分装室、取餐间、固废间、污物暂存间等场所内设有通风系统，并设有单独的排风口，各区域内气流拟由低活度区流向高活度区（高活度区负压于低活度区），通过专用管道与楼层放射性废气专用排风管道相连接，并经排风井将废气引至楼顶排出。

为保证过滤效率的有效性，医院根据设备特性定期进行过滤器维护，每半年对过滤器的过滤效率进行校核，如果有必要每半年进行一次更换，正常情况一年一次，以防止过滤器失效，造成放射性污染事故，且更换下的过滤器作为放射性固废进行管理和处理，解控后需作为危险废物进行管理和处理。

## （2）核医学科显像诊疗区域

针对放射性废气，医院拟在核医学科显像诊疗区域内采取相关处理措施，具体

如下：

本项目拟为显像诊疗区域内各分装合成柜、分装柜、质控防护箱设置专用独立管道，并经排风井将废气引至楼顶排出，各分装合成柜、分装柜、质控防护箱内的风速不小于0.5m/s。拟在本项目改建区域内的合成分装热室、洁净走廊、缓冲间、更衣间、分装注射室、储源间、固废间、放化实验室/理化实验室等场所内设置排风口，排风管道自核医学科北侧的排风井将废气引至楼顶排出，设计总排风量为10600m<sup>3</sup>/h，拟在排风管道出风口设置活性炭过滤装置。

本项目未改造区域拟沿用核医学放射性工作场所现有机械通风系统，核医学科已在SPECT-CT/PET-CT机房、SPECT/ PET注射后休息室等场所设置单独的排风口，各区域内气流由低活度区流向高活度区（高活度区负压于低活度区），通过专用管道与楼层放射性废气专用排风管道相连接，并经排风井将废气引至楼顶排出，排风管道设置有活性炭过滤装置。

医院为该项目核医学科设置独立的排风系统，管道布置合理，气流排向正确，设置的排气口高于屋脊，设置活性炭过滤装置，符合要求。

## 10.6 非放射性污染防治措施

### （1）废水处理措施

本项目工作人员工作中会产生少量的生活污水，患者给药前候诊过程中和患者家属在住院治疗过程中的休息区会产生少量的生活污水，依托医院污水处理系统进行处理。

### （2）废气处理措施

本项目使用的射线装置在工作状态时，会使空气电离产生少量的臭氧(O<sub>3</sub>)和氮氧化物(NO<sub>x</sub>)，少量臭氧和氮氧化物可通过动力排风装置排出，臭氧50分钟后自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响满足相关标准要求，本项目不作定量分析。

### （3）噪声治理措施

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值一般低于60dB(A)，噪声较小，考虑到噪声的远距离衰减作用，无需采用专门的降噪措施，对周围环境影响可以忽

略不计，本项目不作定量分析。

（4）固废处理措施：

本项目工作人员工作中会产生少量的办公垃圾，患者给药前候诊过程中和患者家属在住院治疗过程中的休息区会产生少量的生活垃圾，依托医院生活垃圾收集系统进行处理。

## 表11 环境影响分析

### 11.1建设阶段对环境的影响

#### 11.1.1原核医学科拆除过程对环境的影响

##### 11.1.1.1解控水平的确定

对于原核医学科工作场所，通过检测、分析使原核医学科辐射工作场达到无限制开放可拆除的水平。评价根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关规定控制工作场所和设施的辐射水平。

###### （1） $\gamma$ 辐射剂量率

对原核医学科原辐射工作场所进行 $\gamma$  辐射剂量率检测，确认其 $\gamma$  辐射剂量率水平尽可能低。

###### （2）放射性表面污染

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的相关规定确定该评价项目对工作场所和设施的去污控制水平。首先通过 $\beta$  放射性污染检测，确认是否存在放射性表面污染，存在污染的去除表面松散污染。

对于该评价项目工作场所控制区工作台、设备、墙壁、地面的 $\beta$  放射性表面放射性污染为解控水平低于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，工作场所监督区及工作服、手套、工作鞋的 $\beta$  放射性表面污染解控水平低于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，当作普通物品处理。如果工作场所的墙壁、地面以及其中的设备经采取适当的去污措施后，仍超过 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 时，则视为固定污染。鉴于该评价项目使用的非密封放射性核素均为短半衰期核素，所以对于这部分如果去污后仍属于固定污染的不再使用的设备或工作场所，建议采用自然衰变的方式使其放射性污染降至解控水平后再进行下一步处理。

###### （3）放射性三废排放要求

###### ①放射性废水排放标准

根据标准《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），所含核素半衰期小于24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。或者按照《医疗机构水污染排放标准》（GB 18466-2005），含放射性废液总 $\beta$  不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$  的要求后排放。

### ②放射性固体废物清洁解控

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天，所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍，含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\beta$ 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控并作为普通废物处理。

### ③放射性废气的排放

原核医学科在拆除的时候已经不再进行核素操作，不涉及放射性废气的排放。

## 11.1.1.2拆除过程的环境影响分析

### (1) 非密封放射性核素处理分析

建设单位核医学科拆除时将停止使用所有放射性核素，核医学科改建场所处于关闭封存状态，非特殊情况，无人员进入。本项目拆除场所仅涉及使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，不含射线装置，主要是核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 对环境的影响。

### (2) 其他相关设施的拆除分析

活度计、移动注射车、铅废物桶等在新核医学科再次利用的设施，由于在放射诊疗项目开展过程中与放射性核素或服用的放射性核素的患者直接接触，会有一定的放射性表面沾污，如果在沾污了相关放射性核素后未加以去污或屏蔽而直接搬运，可能会污染搬运人员的身体、衣物和环境。所以对于这部分拟搬迁继续使用的设施，建设单位拟采取辐射检测和去污的防治措施达到辐射防护和污染防治的目的。

### (3) 污染物处理分析

停止使用所有放射性核素后，该工作场所原产生的固态放射性污染物按照原核医学科正常运作时的处理方式暂存至其放射性活度浓度低于相应的清洁解控水平后按普通固体废物处理；液态放射性污染物均排入原衰变池，同样按照原核医学科正常运作时的处理方式，在衰变池中停留至满足排放要求后排入医院的总排污系统；放射性气体则在放射诊疗项目开展过程中通过相应的通风设施排至外环境。

## 11.1.1.3 拆除过程中人员受照剂量分析

### (1) 辐射工作人员

根据建设单位工作安排，原核医学科场所最后一位受检者/患者诊疗完毕后，围蔽改建区域。按照辐射现状监测情况，医院核医学科在诊疗完最后1名病人后，对工作场

所辐射剂量率进行检测，场所内 $\gamma$ 辐射剂量率最大值为148nGy/h（见表8-3，按照标准HJ 1157-2021，Sv/Gy的转换因子为1.2，转换后剂量率为178nSv/h）。

根据计划，建设单位针对核医学科辐射工作场内的活度计、分装柜、铅废物桶等小型设备的搬迁集中在核医学科停用后的7天内完成，因此辐射工作人员在搬迁过程中的最大受照剂量 $E=D\cdot t=0.178\times 7\times 8\times 10^{-3}=0.071\text{mSv}\approx 0.01\text{mSv}$ 。

则辐射工作人员在搬迁过程中可能受到的最大照射剂量约为0.01mSv，叠加兼职改造后核医学科运行估算的受照剂量2.55mSv/a（来源于表11-7，取受照剂量最大岗位辐射工作人员）后最大为2.56mSv/a，低于职业照射剂量约束值（5mSv/a）。

辐射工作人员进入核医学科辐射工作场所搬运前，会对核医学科辐射工作场所进行辐射水平检测，确保无放射性污染后，才进入场所内进行搬运。

退役过程中的辐射事故主要为辐射工作人员由于操作不慎，在进行场所去污时，可能受到的微量沾污。本项目配置有专用的表面污染检测仪，对于清洁去污后人员穿戴的衣物进行检测，当出现表面污染活度超标时，则立即脱去衣物，并对人员通过清洗等方式进行去污，确保人员的安全。

## （2）公众

在实施拆除和废物转移过程时，在现场辐射工作人员的监督下，一般公众人员无法近距离靠近实施区域，公众停留时间短。因此，公众成员所受照射剂量预计低于公众剂量约束值（0.1mSv/a）。

### 11.1.2核医学科建设过程对环境的影响

本项目主要对医院核医学科进行内部改造、装修以及设备安装，以满足各工作场所的辐射屏蔽防护要求。本项目工程量较小，工期约60天，每天施工人员约10人，均为日间施工，平均每天施工8h。本项目建设施工时产生的环境影响主要是噪声、扬尘、废水、固体废物等。没有大型机械设备进入施工场地，施工场地安排有序，有抑尘措施，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）施工噪声环境影响分析

本项目产生噪声影响的主要施工机械、运输及现场处理等。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，但随着施工的结束而结束。

为了降低施工噪声对周围环境的影响，满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》

(GB 12523-2011) 的要求, 本项目应通过文明施工, 合理安排施工时间, 加快施工进度; 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; 施工场所以采取消声减震等措施, 避免对其他科室产生影响。

#### (2) 施工期扬尘影响分析

本项目位于医院门诊综合大楼负一层东侧核医学科, 施工过程中会产生少量的扬尘, 其施工扬尘影响局限在核医学科范围内, 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) 施工期废水影响分析

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。

施工废水主要为混凝土搅拌及养护, 这类生产废水量小, 一般通过蒸发, 不外排。

项目施工期间施工人员约10人, 根据给水排水设计规范, 按每人每天用水80L计算, 施工时间按60 天计算, 则施工期总用水量约为48t (0.8t/d), 污水排放量按用水量的90% 计算, 则生活污水总排放量约43.2t。项目施工生活污水主要是依托现有设施 (卫生间), 通过下水管道排入医院污水处理设施处理达标后排放, 对周围环境影响较小。

#### (4) 施工期固体废物影响分析

本项目工程量较小, 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物料。施工期间, 施工人员按10 人计, 生活垃圾量按0.5kg/人·d 计算, 则施工期内产生生活垃圾约300kg(5kg/d)。生活垃圾分类收集至相应的垃圾箱, 后交由环卫部门清运。

核医学科的装修及设备安装过程将产生少量建筑装修垃圾、包装纸箱、泡沫填充物和废胶桶等。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, 包装纸箱等可回收利用的施工废物料应予以回收利用, 废胶桶等由厂家回收, 其他部分分类收集后交由环卫部门清运。

#### (5) 施工期施工人员辐射影响分析

根据表8环境质量和辐射现状可知: 本项目拟建场址区域及周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率在99~148nGy/h范围内。采用公式 (11-6) 对施工期间施工人员受照剂量进行估算, 取施工区域内最大 $\gamma$ 辐射剂量率值148nGy/h (见表8-3, 按照标准HJ 1157-2021, Sv/Gy 的转换因子为1.2, 转换后剂量率为178nSv/h) 进行保守估算, 则60天施工期内, 本项目施工人

员最大受照剂量为 $0.178 \times 60 \times 8 \times 10^{-3} \approx 0.085 \text{ mSv}$ ，考虑施工期间不同工种施工人员之间的轮换，本项目施工人员施工期间实际受照剂量将小于 $0.085 \text{ mSv}$ ，低于公众人员年有效剂量约束值 $0.1 \text{ mSv/a}$ ，符合要求。

本项目拆除及建设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，施工过程采取抑尘措施、合理安排施工秩序、施工时间等措施，尽量将环境影响降低到最小。

拆除期间，辐射工作人员和公众可能最大受照剂量均低于职业人员及公众人员年有效剂量约束值；施工期间，施工人员可能最大受照剂量低于公众人员年有效剂量约束值。因此，总体来说，本项目施工期对周围环境的影响较小。

## 11.2 改造后核医学科运行阶段对环境的影响

### 11.2.1 工作场所辐射水平分析

#### （1） $\alpha$ 射线辐射影响分析

本项目使用的 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{211}\text{At}$ 和 $^{213}\text{Bi}$ 衰变过程产生 $\alpha$ 粒子，其中 $^{213}\text{Bi}$ 衰变产生的 $\alpha$ 粒子能量最高，约为 $5.869 \text{ MeV}$ 。根据《辐射防护手册》（第一分册，P419），能量在几个兆电子伏范围内， $\alpha$ 粒子在标准状态下空气中的射程 $R$ 可近似的表示为下式：

$$R = 0.323E_{\alpha}^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots \quad (11-1)$$

对于机体组织和水，射程可简化为： $R' = 0.00122R$

式中：

$E$ — $\alpha$ 粒子能量（MeV）；

$R$ —空气中最大射程（cm）；

$R'$ —机体组织和水中最大射程（cm）。

根据上式估算，本项目涉及使用的核素衰变过程中释放的 $\alpha$ 粒子在空气中的最大射程约 $4.59 \text{ cm}$ ，在机体组织和水中的最大射程约 $0.006 \text{ cm}$ ，工作人员戴上手套足以屏蔽 $\alpha$ 射线。本项目涉及的上述药物使用过程中均通过注射进入患者体内，注射针筒具有 $2 \text{ mmPb}$ 屏蔽防护，同时工作人员穿戴防护用品，公众和核素之间采取距离隔离措施，且放射性核素最终通过注射进入患者体内，机体内组织能对 $\alpha$ 射线进行屏蔽，因此 $\alpha$ 射线对职业人员和公众的辐射影响很小。

因此，本次评价不再考虑 $\alpha$ 射线所致外照射影响。

## (2) $\beta$ 射线辐射影响分析

根据《放射防护实用手册》(主编: 赵兰才、张丹枫),  $\beta$ 射线在空气中的射程计算公式如下:

$$d = \frac{1}{2\rho} \cdot E_{MAX} \dots \dots \dots \quad (11-2)$$

式中:

$d$ — $\beta$ 射线在介质中射程 (cm) ;

$\rho$ —介质的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), 空气密度为  $1.29 \times 10^{-3} \text{ g}/\text{cm}^3$ ; 铅密度为  $11.3 \text{ g}/\text{cm}^3$ ; 铅玻璃密度为  $4.6 \text{ g}/\text{cm}^3$ ;

$E_{MAX}$ — $\beta$ 射线的最大能量 (MeV) 。

本项目涉及使用的 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{133}\text{Xe}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{161}\text{Tb}$ 、 $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{213}\text{Bi}$ 和 $^{99}\text{Mo}$ 衰变过程中产生 $\beta$ 射线, 其中 $^{213}\text{Bi}$ 衰变产生的 $\beta$ 射线能量最高, 约为  $1.42 \text{ MeV}$ 。根据上式估算, 本项目涉及使用的核素衰变过程中产生的 $\beta$ 射线在空气中的最大射程约  $550 \text{ cm}$ , 在铅玻璃中的最大射程约  $0.15 \text{ cm}$ , 在铅中的最大射程约  $0.06 \text{ cm}$ 。本项目工作场所设置了较大空间, 且工作场所设有墙体、铅门、铅玻璃进行屏蔽, 医护人员在操作过程中穿戴防护服。本项目放射性药物产生的 $\beta$ 射线在各屏蔽体中的射程均小于各自屏蔽体厚度, 易被现有屏蔽防护设施屏蔽, 对职业人员和公众的辐射影响很小。

但 $\beta$ 射线在与物质作用会产生轫致辐射, 韧致辐射所致 X 射线辐射剂量率估算根据根据《辐射防护导论》(方杰主编) P133页:

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} \cdot A \cdot Z_e \cdot \left( \frac{E_b}{r} \right)^2 \cdot \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right) \cdot q \cdot \eta \dots \dots \dots \quad (11-3)$$

式中:  $H_r$ —距离屏蔽层源  $r$  米处的辐射剂量率,  $\text{Gy}/\text{h}$ ;

$r$ —参考点与屏蔽层的距离,  $\text{m}$ ;

$A$ —放射源活度,  $\text{Bq}$ ;

$Z_e$ —屏蔽材料的有效原子序数;

$E_b$ —轫致辐射的平均能量,  $\text{MeV}$ ;  $E_b$ 是入射 $\beta$ 粒子的最大能量的  $1/3$ , 即  $E_b = E_{MAX}/3$ ;

本项目放射性药物注射前均装在西林瓶或塑料注射器中, 本次评价保守考虑在受照物体为普通玻璃的情况下, 对 $\beta$ 粒子能量最高的 $^{213}\text{Bi}$ 核素导致的轫致辐射剂量率进行估

算。参考《辐射防护导论》(方杰主编) P129 页表4.4, 普通玻璃的有效原子序数为 10.6; P98 页表3.5可推导出: 在<sup>213</sup>Bi核韧致辐射的平均能量条件下, 在铅中的什值层厚度约为 1.03cm。根据公式 (11-3), 职业人员注射 (施药) 时, 操作位处的韧致辐射剂量率估算结果见表11-1。

表11-1 <sup>213</sup>Bi核素各关注点韧致辐射剂量率估算结果

| 关注点  | 源活度<br>(Bq) | 屏蔽<br>物质<br>原子<br>序数 | $E_b$<br>(MeV) | $\mu_{en}/\rho$<br>( $m^2/kg$ ) | TVL<br>(cm) | 距<br>离<br>(m) | 剂量率<br>( $\mu Sv/h$ ) |
|--|-------------|----------------------|----------------|---------------------------------|-------------|---------------|-----------------------|
| 药物转运 (0.5mmPb铅衣 +2mmPb铅防护套)                                | 3.70E+07    | 10.6                 | 0.47           | 9.564E-03                       | 1.03        | 0.5           | 8.68E-02              |
| 注射 (施药) 操作位处<br>(0.5mmPb铅衣 +2mmPb铅<br>防护套+20 mmPb注射窗<br>台) |             |                      |                |                                 |             |               | 9.93E-04              |

注: ①普通玻璃的原子序数数据取自《辐射防护导论》表4.4;  
②表格中 $\mu_{en}/\rho$ 数据取自《辐射防护导论》附表1, 保守取0.5MeV $\gamma$ 射线在铅中的数据;  
③表格中TVL数据取自《辐射防护导论》表3.5, 保守取0.5MV 宽束X射线在铅中的数据;  
④Gy到Sv的转换因子取1。

根据计算结果可以得知, 本项目核素在操作过程中的韧致辐射剂量率极低, 基本可以忽略不计。

因此, 本次评价不再考虑 $\beta$ 射线影响和 $\beta$ 射线所致的韧致辐射的影响。

### (3) 放射性核素产生的 $\gamma$ 射线外照射

本项目甲癌治疗区域使用<sup>177</sup>Lu 进行患者肿瘤/癌症治疗。核医学科显像诊疗区域利用<sup>18</sup>F、<sup>68</sup>Ga和<sup>64</sup>Cu进行PET-CT核素显像诊断, 利用<sup>99m</sup>Tc、<sup>131</sup>Xe进行SPECT-CT核素显像诊断, 使用<sup>225</sup>Ac、<sup>223</sup>Ra、<sup>153</sup>Sm、<sup>161</sup>Tb、<sup>212</sup>Pb、<sup>211</sup>At、<sup>213</sup>Bi进行患者癌症/肿瘤治疗。辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的合成、分装、质控、转运和给药, 这个过程主要是放射性核素产生的 $\gamma$ 射线引起的辐射照射。当病人注射或服用了放射性药物之后, 病人又成为一个活动的辐射体, 其所在的工作场所则要考虑来自病人身体的射线辐射。

评价对象及参数选取:

表11-2 本项目涉及核素的使用情况表

| 核素               | 单次最大用量<br>(Bq) | 日最大用量 (Bq) | 周围剂量当量率常数<br>( $\mu Sv \cdot m^2 / MBq \cdot h$ ) | 场所         |
|------------------|----------------|------------|---|------------|
| <sup>18</sup> F  | 3.70E+08       | 7.40E+09   | 0.143   | 显像诊<br>断区域 |
| <sup>68</sup> Ga | 1.85E+08       | 3.70E+08   | 0.134   |            |
| <sup>64</sup> Cu | 1.85E+08       | 3.70E+08   | 0.029   |            |

|                       |          |          |        |        |
|-----------------------|----------|----------|--------|--------|
| <sup>99m</sup> Tc     | 9.25E+08 | 3.70E+10 | 0.0303 | 甲癌治疗区域 |
| <sup>133</sup> Xe     | 1.85E+08 | 3.70E+08 | 0.014  |        |
| <sup>131</sup> I (甲吸) | 1.85E+05 | 2.78E+06 | 0.0595 |        |
| <sup>177</sup> Lu     | 5.55E+09 | 5.55E+09 | 0.0067 |        |
| <sup>131</sup> I (甲癌) | 5.55E+09 | 2.22E+10 | 0.0595 |        |

从上表中可以看出，用于PET显像诊断的<sup>18</sup>F单次最大用量最大，<sup>18</sup>F的日最大用量比<sup>68</sup>Ga和<sup>64</sup>Cu用量高10倍，照射率常数最大，因此PET显像诊断中需要考虑日最大操作量时以<sup>18</sup>F作为关键代表核素进行环境影响分析。

用于SPECT显像诊断区域的<sup>99m</sup>Tc单次最大用量大于<sup>133</sup>Xe，<sup>99m</sup>Tc的日最大用量比<sup>133</sup>Xe用量高100倍，照射率常数大于<sup>133</sup>Xe；此外该区域中用于核素治疗的<sup>225</sup>Ac、<sup>223</sup>Ra、<sup>153</sup>Sm、<sup>161</sup>Tb、<sup>212</sup>Pb、<sup>211</sup>At、<sup>213</sup>Bi药物衰变过程中主要产生 $\alpha$ 和 $\beta$ 射线，因此SPECT显像诊断区域中需要考虑日最大操作量时以<sup>99m</sup>Tc作为关键代表核素进行环境影响分析。

本项目显像诊断区域若以<sup>18</sup>F和<sup>99m</sup>Tc核素理论评估满足评价要求，则该区域拟新增的其他核素也满足评价要求。

本项目涉及的<sup>99m</sup>Tc合成分装热室涉及<sup>99</sup>Mo和<sup>99m</sup>Tc核素，<sup>99</sup>Mo衰变过程中主要产生 $\beta$ 射线，故用<sup>99m</sup>Tc进行环境影响分析；FDG合成分装热室涉及<sup>18</sup>F核素，<sup>68</sup>Ga合成分装热室涉及<sup>68</sup>Ga核素，保守均采用<sup>18</sup>F进行环境影响分析；<sup>177</sup>Lu合成分装热室仅涉及<sup>177</sup>Lu核素，采用<sup>177</sup>Lu进行环境影响分析；药物质控区域涉及<sup>99m</sup>Tc、<sup>18</sup>F、<sup>68</sup>Ga和<sup>177</sup>Lu，保守均采用<sup>18</sup>F进行环境影响分析；

本项目病房区域涉及<sup>177</sup>Lu和<sup>131</sup>I核素，因<sup>131</sup>I日最大用量大于<sup>177</sup>Lu，<sup>131</sup>I照射率常数大于<sup>177</sup>Lu，故病房区域中公共区域按<sup>131</sup>I核作为关键代表核素进行环境影响分析。

根据医院提供的工作负荷指标，本次辐射影响预测的工作负荷为：<sup>177</sup>Lu单次使用量 $5.55 \times 10^9$ Bq (150mCi)，<sup>18</sup>F单次使用量 $3.7 \times 10^8$ Bq(10mCi)、<sup>99m</sup>Tc单次使用量 $9.25 \times 10^8$ Bq (25mCi)，<sup>131</sup>I单次使用量 $5.55 \times 10^9$ Bq (150mCi)。

参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)，所有核素工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。将放射源看成点源来进行计算，计算公式如下：

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \cdot \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2}\right) \dots \dots \dots \quad (11-4)$$

式中：

$x$ —屏蔽厚度,单位为毫米 (mm)；

TVL— $\gamma$ 射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm），见表11-3；

A—单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为兆贝可（MBq）；

$\Gamma$ —距源1m处的周围剂量当量率常数，单位为 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，见表1-2；

$H_p$ —屏蔽体外关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）；

r—参考点与放射源间的距离，单位为米（m）。

即：经x屏蔽厚度后，参考点处的 $\gamma$ 辐射剂量率H的计算公式如下：

$$H = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \times 10^{(-\frac{x}{TVL})} \quad \dots \dots \dots \quad (11-5)$$

式中：

H—屏蔽体外关注点剂量计算值，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）。

表11-3 常用核素屏蔽材料十分之一层厚度(TVL)

| 核素                | 铅（11.3g/cm <sup>3</sup> ），mm | 混凝土（2.35g/cm <sup>3</sup> ），mm | 实心砖（1.65g/cm <sup>3</sup> ），mm | 硫酸钡（3.5g/cm <sup>3</sup> ），mm |
|-------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| <sup>177</sup> Lu | 7.5                          | 165                            | 218                            | 145                           |
| <sup>18</sup> F   | 16.6                         | 176                            | 263                            | 83                            |
| <sup>99m</sup> Tc | 1                            | 110                            | 160                            | 95                            |
| <sup>131</sup> I  | 11                           | 170                            | 240                            | 142                           |

注：①<sup>99m</sup>Tc和<sup>18</sup>F的TVL值来源于《核医学放射防护要求》GBZ120-2020。

②<sup>177</sup>Lu的TVL取值参考《辐射防护手册》（第三分册）中图2.16几种常用屏蔽材料宽束 $\gamma$ 射线的十分之一值层厚度。

表11-4 辐射工作场所辐射剂量率预测结果

| 甲癌治疗区域   |              |          |                                  |               |                                    |
|--|--------------|----------|----------------------------------|---------------|------------------------------------|
| 工作场所<br>(计算参考辐射源)                                    | 屏蔽体          | R<br>(m) | 设计屏蔽材料及厚度                        |               | 剂量率<br>( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) |
| <sup>177</sup> Lu单人病房<br>(5550MBq <sup>177</sup> Lu) | 北墙、南墙、<br>西墙 | 1.5      | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡+12cm厚<br>实心砖墙 |               | 0.150                              |
|  | 东墙           | 3.0      |                                  |               | 0.038                              |
|  | 顶棚           | 5.0      | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层                 |               | 0.093                              |
|  | 地坪           | 2.5      | 12cm厚混凝土+10cm厚硫酸钡涂料              |               | 0.176                              |
|  | 防护门          | 2.0      | 15mmPb                           |               | 0.072                              |
|  | 抢救人员身位       | 0.5      | 0.5mmPb铅衣                        |               | 98.44                              |
| 分装室<br>(5550MBq <sup>177</sup> Lu)                   | 东墙、西墙、<br>北墙 | 2.5      | 12cm厚实心砖墙+12cm硫酸钡<br>+12cm厚实心砖墙  | 20mmPb<br>分装柜 | <0.001                             |
|  | 南墙           | 1.5      | 12cm厚实心砖墙+4cm厚硫酸<br>钡            |               | 0.004                              |
|  | 顶棚           | 5.0      | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土<br>层             |               | 0.093                              |
|  | 地坪           | 2.5      | 12cm厚混凝土+10cm厚硫酸钡                |               | <0.001                             |

|  |           |     |                                      |                      |        |
|--|-----------|-----|--------------------------------------|----------------------|--------|
| 取餐间<br>(5550MBq <sup>131</sup> I)  |           |     | 涂料                                   |                      |        |
|  | 防护门       | 2.5 | 12mmPb                               |                      | <0.001 |
|  | 转运人员身位    | 0.5 | 0.5mmPb铅衣+20mmPb铅罐                   | 0.212                |        |
|  | 分装柜外30cm处 | 0.5 | 20mmPb分装柜                            | 0.247                |        |
|  | 注射人员身位    | 0.5 | 0.5mmPb铅衣+2mmPb注射器防护套<br>+50mmPb注射窗台 | <0.001               |        |
|  | 东墙        | 2.0 | 东墙南侧: 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡+12cm厚实心砖墙   | 1.156                |        |
|  |           | 2.0 | 东墙北侧: 钢架+18mmPb铅板                    | 1.869                |        |
|  |           | 2.0 | 18 mmPb食物传递窗                         | 1.869                |        |
|  | 南墙        | 3.5 | 南墙西侧: 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡+12cm厚实心砖墙   | 0.377                |        |
|  |           | 2.0 | 南墙东侧: 钢架+18mmPb铅板                    | 1.869                |        |
| 污物暂存间<br>(1110MBq <sup>131</sup> I、<br>1110MBq <sup>177</sup> Lu)<br>按照初始活度的20%计 | 西墙        | 1.5 | 30cm厚混凝土墙+8mmPb铅板                    | 0.463                |        |
|  | 北墙        | 1.5 | 北墙西侧: 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡+12cm厚实心砖墙   | 2.055                |        |
|  |           | 1.5 | 21mmPb采光窗                            | 1.773                |        |
|  | 顶棚        | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层                    | 1.130                |        |
|  | 地坪        | 3.0 | 12cm厚混凝土+10cm厚硫酸钡涂料                  | 1.392                |        |
|  |           |     | 12cm厚混凝土+6mmPb铅板                     | 2.015                |        |
|  | 北墙        | 1.0 | 钢架+18mmPb铅板                          | 20mmPb<br>放射性<br>废物箱 | 0.023  |
|  | 东墙        | 1.0 | 钢架+4mmPb铅板                           |                      | 0.429  |
|  | 西墙        | 3.0 |                                      |                      | 0.048  |
|  | 南墙        | 1.0 | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡+12cm厚实心砖墙         |                      | 0.014  |
|  | 顶棚        | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层                    |                      | 0.004  |
|  | 地坪        | 2.5 | 12cm厚混凝土+4mmPb铅板                     |                      | 0.014  |
|  | 防护门1、防护门2 | 2.0 | 4mmPb                                |                      | 0.109  |
| 固废间<br>(1110MBq <sup>131</sup> I、<br>1110MBq <sup>177</sup> Lu)<br>按照初始活度的20%计   | 东墙        | 1.0 | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡+12cm厚实心砖墙         | 20mmPb<br>放射性<br>废物箱 | 0.014  |
|  | 南墙        | 1.0 | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡+地下车库20cm厚混凝土墙     |                      | 0.003  |
|  | 西墙、北墙     | 1.0 | 12cm厚实心砖墙+4cm厚硫酸钡                    |                      | 0.168  |
|  | 顶棚        | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层                    |                      | 0.004  |
|  | 地坪        | 2.5 | 12cm厚混凝土+10cm厚硫酸钡涂料                  |                      | 0.006  |
|  | 防护门       | 1.0 | 12mmPb                               |                      | 0.082  |
| 储源室<br>(11100MBq <sup>131</sup> I、5550<br>MBq <sup>177</sup> Lu)                 | 东墙、北墙     | 1.5 | 12cm厚实心砖墙+4cm厚硫酸钡                    | 20mmPb<br>储源罐        | 0.742  |
|  | 南墙        | 1.0 | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡+地下车库20cm厚混凝土墙     |                      | 0.030  |
|  | 西墙        | 1.0 | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸                    |                      | 0.144  |

|   |   |          |                                  |             |                      |
|---|---|----------|----------------------------------|-------------|----------------------|
|   | 顶棚  | 5.0      | 钡+12cm厚实心砖墙<br>18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层 |             | 0.035                |
|   | 地坪  | 2.5      | 12cm厚混凝土+10cm厚硫酸钡涂料              |             | 0.063                |
|   | 防护门   | 1.0      | 12mmPb                           |             | 0.816                |
|   | 传药窗   | 1.0      | 12mmPb                           |             | 0.816                |
|   | 安全出口门外<br>(一个体内残余400MBq的 <sup>131</sup> I的病人) | 1.0      | 12mmPb                           |             | 1.892                |
| 甲癌病房专用放射性废水间<br>(3885MBq <sup>177</sup> Lu)                         | 四周墙体  | 2.5      | 12cm厚实心砖墙+12cm厚硫酸钡+12cm厚实心砖墙     |             | 0.038                |
|   | 顶棚  | 5.0      | 12cm厚混凝土+12cm厚硫酸钡                |             | 0.022                |
|   | 防护门   | 3.0      | 15 mmPb                          |             | 0.023                |
| <b>核医学科显像诊疗区域</b>   |   |          |                                  |             |                      |
| 工作场所<br>(计算参考辐射源)   | 屏蔽体   | R<br>(m) | 设计屏蔽材料及厚度                        |             | 剂量率<br>( $\mu$ Sv/h) |
| <sup>177</sup> Lu合成分装热室<br>(5550MBq <sup>177</sup> Lu)<br>每天最多1人次   | 四周墙体  | 2.5      | 24cm厚实心砖墙+4cm厚硫酸钡                | 20mmPb分装柜   | <0.001               |
|   | 顶棚  | 5.0      | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层                |             | <0.001               |
|   | 地坪  | 2.5      | 25cm厚混凝土                         |             | <0.001               |
|   | 防护门   | 2.5      | 4mmPb                            |             | 0.003                |
|   | 传药窗   | 2.5      | 20mmPb                           |             | <0.001               |
|   | 转运人员身位  | 0.5      | 0.5mmPb铅衣+20mmPb铅罐               |             | 0.212                |
|   | 分装柜外30cm处                                     | 0.5      | 20mmPb分装柜                        |             | 0.247                |
| <sup>99m</sup> Tc合成分装热室<br>(37000MBq <sup>99m</sup> Tc)<br>每天最多40人次 | 四周墙体  | 2.5      | 24cm厚实心砖墙+4cm厚硫酸钡                | 20mmPb分装柜   | <0.001               |
|   | 顶棚  | 5.0      | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层                |             | <0.001               |
|   | 地坪  | 2.5      | 25cm厚混凝土                         |             | <0.001               |
|   | 防护门   | 2.5      | 4mmPb                            |             | <0.001               |
|   | 传药窗   | 2.5      | 20mmPb                           |             | <0.001               |
|   | 转运人员身位  | 0.5      | 0.5mmPb铅衣+20mmPb铅罐               |             | <0.001               |
|   | 分装柜外30cm处                                     | 0.5      | 20mmPb分装柜                        |             | <0.001               |
| 放化实验室/理化实验室<br>(1.85MBq <sup>18</sup> F)                            | 南墙  | 2.5      | 24cm厚实心砖墙+4cm厚硫酸钡                | 40mmPb质控防护箱 | <0.001               |
|   | 北墙、西墙、东墙                                      | 2.5      | 彩钢板                              |             | <0.001               |
|   | 顶棚  | 5.0      | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层                |             | <0.001               |
|   | 地坪  | 2.5      | 25cm厚混凝土                         |             | <0.001               |
|   | 防护门   | 2.5      | 4mmPb                            |             | <0.001               |
|   | 传药窗   | 2.5      | 20mmPb                           |             | <0.001               |
|   | 质控转移人员身位                                      | 0.5      | 0.5mmPb铅衣+20mmPb铅罐               |             | 0.062                |
|   | 质控防护箱外  | 0.5      | 40mmPb质控防护箱                      |             | 0.004                |

|  |             |     |                                |              |        |
|--|-------------|-----|--------------------------------|--------------|--------|
|  | 30cm处       |     |                                |              |        |
| 放化实验室/理化实验室<br>(1.85MBq $^{99m}\text{Tc}$ )                  | 南墙          | 2.5 | 24cm厚实心砖墙+4cm厚硫酸钡              | 40mmPb质控防护箱  | <0.001 |
|  | 北墙、西墙、东墙    | 2.5 | 彩钢板                            |              | <0.001 |
|  | 顶棚          | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层              |              | <0.001 |
|  | 地坪          | 2.5 | 25cm厚混凝土                       |              | <0.001 |
|  | 防护门         | 2.5 | 4mmPb                          |              | <0.001 |
|  | 传药窗         | 2.5 | 20mmPb                         |              | <0.001 |
|  | 质控转移人员身位    | 0.5 | 0.5mmPb铅衣+40mmPb铅罐             |              | <0.001 |
|  | 质控防护箱外30cm处 | 0.5 | 40mmPb质控防护箱                    |              | <0.001 |
| SPECT储源室<br>(37000MBq $^{99m}\text{Tc}$ )<br>每天最多40人次        | 北墙          | 0.5 | 24cm厚实心砖墙+4cm厚硫酸钡              | 20mmPb储源铅罐   | <0.001 |
|  | 西墙、南墙、东墙    | 1.0 | 24cm厚实心砖墙+2cm厚硫酸钡              |              | <0.001 |
|  | 顶棚          | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层              |              | <0.001 |
|  | 地坪          | 2.5 | 25cm厚混凝土                       |              | <0.001 |
|  | 防护门         | 0.5 | 4mmPb                          |              | <0.001 |
| SPECT-CT分装注射室<br>(1850 MBq $^{99m}\text{Tc}$ )<br>每次同时注射2人次  | 四周墙体        | 1.5 | 24cm厚实心砖墙+2cm厚硫酸钡              |              | 0.485  |
|  | 顶棚          | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层              |              | 0.052  |
|  | 地坪          | 2.5 | 25cm厚混凝土                       |              | 0.048  |
|  | 传药窗         | 1.5 | 20mmPb                         |              | <0.001 |
|  | 防护门         | 2.0 | 4mmPb                          |              | 0.001  |
|  | 注射人员身位      | 0.5 | 0.5mmPb铅衣+2mmPb铅防护套+20mmPb注射窗台 |              | <0.001 |
| SPECT固废间<br>(7400MBq $^{99m}\text{Tc}$ )<br>按照初始活度的20%       | 北墙、西墙       | 1.0 | 24cm厚实心砖墙+4cm厚硫酸钡              | 20mmPb放射性废物箱 | <0.001 |
|  | 南墙、东墙       | 1.0 | 24cm厚实心砖墙+2cm厚硫酸钡              |              | <0.001 |
|  | 顶棚          | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层              |              | <0.001 |
|  | 地坪          | 2.5 | 25cm厚混凝土                       |              | <0.001 |
|  | 防护门         | 1.0 | 4mmPb                          |              | <0.001 |
| SPECT-CT注射后休息室<br>(9250MBq $^{99m}\text{Tc}$ )<br>每次同时等候10人次 | 四周墙体        | 3.0 | 24cm厚实心砖墙+3cm厚硫酸钡              |              | 0.476  |
|  | 顶棚          | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层              |              | 0.259  |
|  | 地坪          | 2.5 | 25cm厚混凝土                       |              | 0.239  |
|  | 防护门         | 3.0 | 4mmPb                          |              | 0.003  |
| SPECT-CT注射后VIP休息室<br>(925MBq $^{99m}\text{Tc}$ )<br>每次等候1人次  | 四周墙体        | 1.0 | 24cm厚实心砖墙+3cm厚硫酸钡              |              | 0.428  |
|  | 顶棚          | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层              |              | 0.026  |
|  | 地坪          | 2.5 | 25cm厚混凝土                       |              | 0.024  |
|  | 防护门         | 1.0 | 4mmPb                          |              | 0.003  |
| SPECT-CT抢救人员身位<br>(925MBq $^{99m}\text{Tc}$ )                |             | 0.5 | 0.5mmPb铅衣                      |              | 35.452 |
| 两间SPECT-CT机房<br>(925 MBq $^{99m}\text{Tc}$ )                 | 四周墙体        | 5.0 | 24cm厚实心砖墙+3cm厚硫酸钡              |              | 0.017  |
|  | 顶棚          | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层              |              | 0.026  |

|   |           |     |                                 |           |
|---|-----------|-----|---------------------------------|-----------|
|   | 地坪        | 2.5 | 25cm厚混凝土                        | 0.024     |
|   | 防护门       | 5.0 | 4mmPb                           | <0.001    |
|   | 观察窗       | 5.0 | 5 mmPb                          | <0.001    |
|   | 摆位人员身位    | 0.5 | 0.5mmPb铅衣                       | 35.452    |
|   | 四周墙体      | 2.5 | 30cm厚实心砖墙+6cm厚硫酸钡               | 60mmPb分装柜 |
| FDG合成分装热室、<br>$^{68}\text{Ga}$ 合成分装热室<br>(3700MBq $^{18}\text{F}$ )<br>单次分装最多10人次 | 顶棚        | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层               |           |
|   | 地坪        | 2.5 | 25cm厚混凝土                        |           |
|   | 防护门       | 3.0 | 4mmPb                           |           |
|   | 传药窗       | 3.0 | 20mmPb                          |           |
|   | 分装柜外30cm处 | 0.5 | 60mmPb分装柜                       |           |
| $^{18}\text{F}$ 每次转运人员转运2个人量 (740 MBq $^{18}\text{F}$ )                           |           | 0.5 | 0.5mmPb铅衣+20mmPb铅罐              | 24.643    |
| PET储源室<br>(7400MBq $^{18}\text{F}$ )<br>每天最多20人次                                  | 北墙        | 1.0 | 24cm厚实心砖墙+6cm厚硫酸钡               | 1.529     |
|   | 南墙        |     | 30cm厚实心砖墙+6cm厚硫酸钡               | 0.904     |
|   | 西墙、东墙     |     | 24cm厚实心砖墙+2cm厚硫酸钡               | 4.637     |
|   | 顶棚        | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层               | 0.251     |
|   | 地坪        | 2.5 | 25cm厚混凝土                        | 0.401     |
|   | 防护门       | 2.0 | 4mmPb                           | 9.478     |
| PET-CT分装注射室<br>(370 MBq $^{18}\text{F}$ )   | 四周墙体      | 1.5 | 24cm厚实心砖墙+6cm厚硫酸钡               | 0.544     |
|   | 顶棚        | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层               | 0.201     |
|   | 地坪        | 2.5 | 25cm厚混凝土                        | 0.322     |
|   | 防护门       | 2.0 | 16mmPb                          | 1.437     |
|   | 传药窗       | 1.5 | 20mmPb                          | 1.467     |
|   | 注射人员身位    | 0.5 | 0.5mmPb铅衣+2mmPb铅防护套+50 mmPb注射窗台 | 0.146     |
| PET固废间<br>(1480MBq $^{18}\text{F}$ )<br>按照初始活度的20%                                | 北墙        | 1.0 | 24cm厚实心砖墙+6cm厚硫酸钡               | 0.306     |
|   | 南墙        |     | 30cm厚实心砖墙+6cm厚硫酸钡               | 0.181     |
|   | 西墙、东墙     |     | 24cm厚实心砖墙+2cm厚硫酸钡               | 0.927     |
|   | 顶棚        | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层               | 0.050     |
|   | 地坪        | 2.5 | 25cm厚混凝土                        | 0.080     |
|   | 防护门       | 2.0 | 4mmPb                           | 1.899     |
| PET-CT注射后休息室<br>(740MBq $^{18}\text{F}$ )<br>每次同时等候2人次                            | 东墙        | 2.0 | 24cm厚实心砖墙+6cm厚硫酸钡               | 0.612     |
|   | 西墙、北墙、南墙  | 2.0 | 30cm厚混凝土墙+5cm厚硫酸钡               | 0.130     |
|   | 顶棚        | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层               | 0.402     |
|   | 地坪        | 2.5 | 25cm厚混凝土                        | 0.643     |
|   | 防护门       | 2.0 | 18mmPb                          | 2.179     |
| PET-CT抢救人员身位  |           | 0.5 | 0.5mmPb铅衣                       | 197.459   |

|                                       |        |     |                   |         |
|---------------------------------------|--------|-----|-------------------|---------|
| (370 MBq <sup>18</sup> F)             |        |     |                   |         |
| PET-CT机房<br>(370 MBq <sup>18</sup> F) | 四周墙体   | 3.5 | 30cm厚混凝土墙+5cm厚硫酸钡 | 0.005   |
|                                       | 顶棚     | 5.0 | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层 | 0.201   |
|                                       | 地坪     | 2.5 | 25cm厚混凝土          | 0.322   |
|                                       | 防护门    | 3.5 | 7mmPb             | 1.636   |
|                                       | 观察窗    | 3.5 | 8mmPb             | 1.424   |
|                                       | 摆位人员身位 | 0.5 | 0.5mmPb铅衣         | 197.459 |
| 患者入口防护门 (259MBq <sup>18</sup> F)      |        | 1.5 | 20mmPb            | 1.027   |
| 患者出口防护门 (259 MBq <sup>18</sup> F)     |        | 1.5 | 16mmPb            | 1.355   |

注: ①表格中混凝土为标准混凝土(密度为 $2.35\text{g/cm}^3$ ), 砖为实心砖(密度为 $1.65\text{g/cm}^3$ ) 防护门均为铅防护材料(密度为 $11.3\text{g/cm}^3$ ), 防护涂料(密度约 $3.5\text{g/cm}^3$ ), 按物质密度与射线吸收呈正比的关系, 可粗略换算出硫酸钡防护涂料对不同核素产生 $\gamma$ 射线的什值层厚度;

- ②  $^{177}\text{Lu}$ 病房为单人病房;  $^{177}\text{Lu}$ 和 $^{131}\text{I}$ 共用污物暂存间和固废间, 按照初始活度的20%计;  $^{177}\text{Lu}$ 和 $^{131}\text{I}$ 共用储源室;
- ③ 病房区患者取餐轮流进行, 按 $^{131}\text{I}$ 患者进行核算取餐区防护效果;
- ④ 甲癌病房专用放射性废水间按照初始活度的70%计;
- ⑤ 核医学科显像区域固废间按照初始活度的20%计;
- ⑥ 患者总出入口防护门按 $^{18}\text{F}$ 单人次初始活度的70%计;
- ⑦ 甲癌治疗区域的病房内、核医学科显像诊疗区域PET-CT候诊室/SPECT-CT候诊室内均设置抢救和应急物品, 抢救人员在该场所内进行;
- ⑧ 上表中核医学科场所顶棚外剂量率计算中, 保守忽略了上方1m厚土层的屏蔽防护效果。

依据表11-4可知, 本项目核医学工作场所剂量率预测值能够满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 和《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 的相关要求。

#### (4) SPECT-CT/PET-CT运行的X射线辐射及叠加分析

根据建设单位机房屏蔽防护设计, 结合标准GBZ130-2020中对于CT机房的屏蔽防护铅当量厚度要求, SPECT-CT/PET-CT机房的屏蔽防护见表11-5。

表11-5 SPECT-CT/PET-CT机房屏蔽防护设计

| 机房名称           | 屏蔽体  | 拟采取的屏蔽防护设计        | 标准要求   | 评价 |
|----------------|------|-------------------|--|----|
| SPECT-CT<br>机房 | 四周墙体 | 24cm厚实心砖墙+3cm厚硫酸钡 | 有用线束方向和<br>非有用线束方向<br>的铅当量均应不<br>小于 $2.5\text{mmPb}$ | 符合 |
|                | 顶棚   | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层 |  |    |
|                | 地坪   | 25cm厚混凝土          |  |    |
|                | 防护门  | 4mmPb             |  |    |
|                | 观察窗  | 5 mmPb            |  |    |
| PET-CT机房       | 四周墙体 | 30cm厚混凝土墙+5cm厚硫酸钡 |  |    |
|                | 顶棚   | 18cm厚混凝土, 上覆1m厚土层 |  |    |
|                | 地坪   | 25cm厚混凝土          |  |    |
|                | 防护门  | 7mmPb             |  |    |
|                | 观察窗  | 8mmPb             |  |    |

注: 根据《辐射防护技术与管理》(第一卷)中第五章的表5-5、5-6及相关内容, 1cm硫酸钡防护涂料约等于1mmPb; 1mm铅板约等于1mmPb; 12cm实心砖约等于1mmPb; 8cm混凝土约等于1mmPb。

由表11-5可知, 建设单位原有SPECT-CT/PET-CT机房四周墙体、顶棚、地坪、防护门和观察窗的屏蔽防护厚度均能够满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中对CT机房的屏蔽防护要求。

PET-CT/SPECT-CT进行CT扫描时，场所周围存在CT散射与患者体内释放的 $\gamma$ 射线的叠加辐射贡献，故单独进行分析。参数保守按管电压150kV，管电流800mA进行预测；由于CT自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响。根据国际放射防护委员会第33号出版物《医用外照射源的辐射防护》P23页：“（77）用于诊断目的的每一个X线管必须封闭在管套内，以使得位于该套内的X射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点1米处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过1mGy”，故本项目泄漏辐射比释动能率保守取值为1000 $\mu$ Gy/h。根据《辐射防护导论》表3.5，保守考虑取150kV宽束X射线铅当量层0.96mm。各侧屏蔽墙体的辐射剂量率计算结果见11-6。

表11-6 SPECT-CT/PET-CT机房屏蔽防护设计

| 机房名称       | 屏蔽体  | 拟采取的屏蔽防护设计及铅当量    | 辐射源点至屏蔽体外距离（m） | 铅当量厚度（mm） | 辐射剂量率（ $\mu$ Gy/h） |
|------------|------|-------------------|----------------|-----------|--------------------|
| SPECT-CT机房 | 四周墙体 | 24cm厚实心砖墙+3cm厚硫酸钡 | 5.0            | 5mm       | 2.476E-04          |
|            | 顶棚   | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层  | 5.0            | 2mm       | 3.302E-01          |
|            | 地坪   | 25cm厚混凝土          | 2.5            | 2.78mm    | 2.034E-01          |
|            | 防护门  | 4mmPb             | 5.0            | 4mm       | 2.725E-03          |
|            | 观察窗  | 5 mmPb            | 5.0            | 5mm       | 2.476E-04          |
| PET-CT机房   | 四周墙体 | 30cm厚混凝土墙+5cm厚硫酸钡 | 3.5            | 8.33mm    | 1.72E-07           |
|            | 顶棚   | 18cm厚混凝土，上覆1m厚土层  | 5.0            | 2mm       | 3.302E-01          |
|            | 地坪   | 25cm厚混凝土          | 2.5            | 2.78mm    | 2.034E-01          |
|            | 防护门  | 7mmPb             | 3.5            | 7mm       | 4.171E-06          |
|            | 观察窗  | 8mmPb             | 3.5            | 8mm       | 3.789E-07          |

由表11-6可见，核医学科场所SPECT-CT/PET-CT机房控制区边界外的附加剂量率估算结果叠加CT运行所致附加剂量率，也不超过设定的2.5 $\mu$ Sv/h的剂量率控制水平，故本项目工作场所采取的屏蔽措施能够满足屏蔽防护的需求。

## 11.2.2 工作人员及公众个人剂量估算

### （1）工作负荷及计算参数

#### （a）药物生产合成分装、质控

本项目<sup>177</sup>Lu药物的合成分装以及<sup>99m</sup>Tc药物贮存、淋洗、标记操作均在20mmPb的分装柜中进行，<sup>177</sup>Lu和<sup>99m</sup>Tc药物操作过程中辐射剂量率分别保守取分装柜外表面30cm处的值0.247 $\mu$ Sv/h和0.001 $\mu$ Sv/h；<sup>18</sup>F和<sup>68</sup>Ga药物的合成分装在60mmPb的分装合成柜中进行，合成分装过程中辐射剂量率保守取合成分装柜外表面30cm处的值0.514 $\mu$ Sv/h；

<sup>177</sup>Lu和<sup>99m</sup>Tc药物质控转移人员身位处的辐射剂量率均取0.001 $\mu$ Sv/h；质控操作过程

中辐射剂量率保守取质控防护箱外表面30cm处的值0.001 $\mu$ Sv/h;  $^{177}\text{Lu}$ 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物成品转运过程中辐射剂量率取转运人员身位处的值，分别为0.212 $\mu$ Sv/h和0.001 $\mu$ Sv/h;

$^{18}\text{F}$ 和 $^{68}\text{Ga}$ 药物质控转移人员身位处的辐射剂量率均取0.066 $\mu$ Sv/h; 质控操作过程中辐射剂量率保守取质控防护箱外表面30cm处的值0.066 $\mu$ Sv/h;  $^{18}\text{F}$ 和 $^{68}\text{Ga}$ 药物成品转运过程中辐射剂量率取转运人员身位处的值24.643 $\mu$ Sv/h。

药物生产过程中的相关合成分装、质控等环节操作时间详见表9-1和表9-2。

(b) 药物诊断治疗过程中分装、测活

本项目药物分装和测活在20mmPb 的分装柜中进行，药物分装和测活时间约为10s/次，辐射剂量率保守取分装时分装柜外表面30cm处的值：甲癌治疗区域分装柜表面取0.247 $\mu$ Sv/h；核医学科显像诊疗区域分装柜表面均保守取0.514 $\mu$ Sv/h。

(c) 药物诊断治疗过程中转运

甲癌治疗区域药物转运工作人员身位处的辐射剂量率为0.212 $\mu$ Sv/h，药物转运时间约为30s/次；核医学科显像诊疗区域取 $^{18}\text{F}$ 转运时工作人员身位处的辐射剂量率26.643 $\mu$ Sv/h，药物转运时间约为20s/次。

(d) 药物注射

药物注射时间约为20s/人次，其中甲癌治疗区域 $^{177}\text{Lu}$ 注射工作人员身位处的辐射剂量率为0.001 $\mu$ Sv/h；核医学科显像诊疗区域SPECT-CT注射室内注射人员身位处的剂量率为0.001 $\mu$ Sv/h，PET-CT注射室内注射人员身位处的剂量率为0.146 $\mu$ Sv/h。

(e) 诊断患者摆位

SPECT-CT/PET-CT诊断患者摆位时间约为30s/人次，患者在技师的辅助下（直线距离约0.5m）进行摆位，摆位人员接触患者的整个过程中均穿戴 0.5mmPb个人防护用具。SPECT-CT机房内摆位人员处的辐射剂量率为35.452 $\mu$ Sv/h，PET-CT机房内摆位人员处的辐射剂量率为197.459 $\mu$ Sv/h。

(f) 影像扫描

SPECT-CT/PET-CT扫描时间约为20min/人次，工作人员采用隔室操作SPECT-CT/PET-CT进行扫描。依据表11-4计算结果可知，SPECT-CT工作人员操作位处的辐射剂量率为0.001 $\mu$ Sv/h，PET-CT工作人员操作位处的辐射剂量率为1.424 $\mu$ Sv/h。

(g) 抢救患者

本项目甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域内保守估计一年内需抢救10次患者，

每次抢救需0.5小时，抢救时工作人员均穿戴 0.5mmPb个人防护用具，距离患者约0.5m，<sup>177</sup>Lu病房抢救人员身位的辐射剂量率为98.44μSv/h，核医学科显像诊疗区域抢救人员身位取PET-CT抢救身位处的辐射剂量率197.459μSv/h。

## (2) 辐射工作人员受照剂量估算

个人有效剂量估算公式如下：

$$H_r = H \times t \times T \times 10^{-3} \dots \dots \dots \quad (11-6)$$

式中：

$H_r$ —辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

$H$ —辐射剂量率，μSv/h；

$t$ —年工作时间，h；

$T$ —居留因子，保守均按照1考虑。

表11-7 辐射工作人员年有效剂量估算

| 项目                    | 操作               | 工作负荷                 |       | 辐射剂量率<br>(μSv/h) | 年有效剂量 (mSv) |
|-----------------------|------------------|----------------------|-------|------------------|-------------|
|                       |                  | 秒/次                  | 次/年   |                  |             |
| <sup>177</sup> Lu治疗   | 测活               | 10                   | 100   | 0.247            | 6.86E-05    |
|                       | 转运               | 30                   | 100   | 0.212            | 1.77E-04    |
|                       | 注射               | 20                   | 100   | 0.001            | 5.56E-07    |
|                       | 抢救               | 一次抢救按0.5小时，一年最多抢救10次 |       | 98.44            | 0.49        |
| SPECT-CT诊断及核素治疗       | 分装、测活            | 10                   | 10000 | 0.514            | 0.01        |
|                       | 转运               | 20                   | 10000 | 0.001            | 5.56E-05    |
|                       | 注射               | 20                   | 10000 | 0.001            | 5.56E-05    |
|                       | 摆位               | 30                   | 10000 | 35.452           | 2.95        |
|                       | 扫描<br>(叠加CT附加剂量) | 20min                | 10000 | 0.001            | 3.33E-03    |
| PET-CT诊断              | 分装、测活            | 10                   | 5000  | 0.514            | 0.01        |
|                       | 转运               | 20                   | 5000  | 26.643           | 0.74        |
|                       | 注射               | 20                   | 5000  | 0.146            | 4.06E-03    |
|                       | 摆位               | 30                   | 5000  | 197.459          | 8.23        |
|                       | 扫描<br>(叠加CT附加剂量) | 20min                | 5000  | 1.424            | 2.37        |
| 显像诊疗区域抢救              |                  | 一次抢救按0.5小时，一年最多抢救10次 |       | 197.459          | 0.99        |
| <sup>177</sup> Lu药物生产 | 合成               | 30min                | 100   | 0.247            | 0.01        |
|                       | 分装               | 10                   | 100   | 0.247            | 6.86E-05    |
|                       | 质检转移             | 20                   | 100   | 0.001            | 5.56E-07    |
|                       | 成品转运             | 10min                | 100   | 0.212            | 3.53E-03    |
|                       | 质检               | 10min                | 100   | 0.001            | 1.67E-05    |
| <sup>68</sup> Ga、     | 合成               | 30min                | 750   | 0.514            | 0.19        |

|                       |      |        |     |        |          |  |
|-----------------------|------|--------|-----|--------|----------|--|
| <sup>18</sup> F药物生产   | 分装   | 10     | 750 | 0.514  | 1.07E-03 |  |
|                       | 质检转移 | 20     | 750 | 0.066  | 2.75E-04 |  |
|                       | 成品转运 | 5min   | 750 | 24.643 | 1.54     |  |
|                       | 质检   | 10min  | 750 | 0.066  | 8.25E-03 |  |
| <sup>99</sup> mTc药物生产 | 贮存   | 3min   | 500 | 0.001  | 2.50E-05 |  |
|                       | 淋洗   | 1.5min | 500 | 0.001  | 1.25E-05 |  |
|                       | 标记   | 1.5min | 500 | 0.001  | 1.25E-05 |  |
|                       | 质检转移 | 20     | 500 | 0.001  | 2.78E-06 |  |
|                       | 分装转运 | 30     | 500 | 0.001  | 4.17E-06 |  |
|                       | 质检   | 10min  | 500 | 0.001  | 8.33E-05 |  |

注：①本项目显像诊疗区域每天核素诊疗（包含PET-CT显像诊断、SPECT-CT显像诊断和门诊核素治疗项目）人数不超过60人，对辐射工作人员年有效剂量进行估算时，保守按SPECT-CT显像诊断项目40人次/天（10000人次/年）和PET-CT显像诊断项目20人次/天（5000人次/年）进行核算。②本项目药物生产工作负荷按<sup>177</sup>Lu药物每周生产2次，<sup>68</sup>Ga药物每天生产1次，<sup>18</sup>F药物每天生产2次，<sup>99</sup>mTc药物每天生产2次保守考虑。

由表11-7计算结果可知，本项目核医学科<sup>177</sup>Lu治疗区域辐射工作人员所受年有效剂量最大为0.16mSv；显像诊疗区域中诊疗操作辐射工作人员所受年有效剂量最大为2.55mSv，药物生产操作辐射工作人员所受年有效剂量最大为0.88mSv，均低于职业照射年有效剂量约束值5mSv/a。

### （3）公众个人剂量估算

本项目甲癌治疗区域东侧取取餐间东墙外剂量率进行公众个人剂量估算；南墙取储源室南墙外剂量率进行公众个人剂量估算；西侧取储源室西墙外剂量率进行公众个人剂量估算，北侧取取餐间北侧采光窗处剂量率进行公众个人剂量估算，楼上取取餐间顶棚处剂量率进行公众个人剂量估算，楼下取取餐间地坪处剂量率进行公众个人剂量估算。

核医学科显像诊疗区域东侧取SPECT-CT注射后休息室东墙外剂量率进行公众个人剂量估算；南侧取SPECT-CT机房南侧墙体外剂量率进行公众个人剂量估算；西侧取SPECT-CT机房西侧墙体外处剂量率进行公众个人剂量估算，北侧取SPECT-CT注射后休息室北墙外剂量率进行公众个人剂量估算，楼上取PET-CT注射后休息室顶棚处剂量率进行公众个人剂量估算，楼下取PET-CT注射后休息室地坪处剂量率进行公众个人剂量估算。

周围公众年可能最大受照时间按1000h估算。居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）选取，具体数值见表11-8。

表 11-8 不同场所的居留因子

| 场所  | 居留因子 (T) |    | 停留位置   |
|-----|----------|----|--|
|     | 典型值      | 范围 |  |
| 全停留 | 1        | 1  | 管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区 |

|      |      |          |  |
|------|------|----------|--|
| 部分停留 | 1/4  | 1/2~1/5  | 1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室<br>1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室  |
| 偶然停留 | 1/16 | 1/8~1/40 | 1/8: 各治疗室房门<br>1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室<br>1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯 |

根据公式(11-6)可估算出工作场所周围公众年有效剂量, 估算结果详见表11-9。

表11-9 公众个人年有效剂量估算

| 场所                         | 估算对象                            | 剂量率<br>( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) | 居留因<br>子 | 受照时<br>间 (h) | 年有效剂<br>量 (mSv) |
|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------|--------------|-----------------|
| 甲癌<br>治疗<br>区域             | 东侧: 几乎无人过道                      | 1.869                              | 1/40     | 1000         | 0.047           |
|                            | 南侧: 地下车库                        | 0.030                              | 1/20     |              | 0.002           |
|                            | 西侧: 核医学科显像诊疗区域                  | 0.144                              | 1/4      |              | 0.036           |
|                            | 北侧: 采光井                         | 1.773                              | 1/40     |              | 0.044           |
|                            | 楼上: 室外过道、绿化                     | 1.130                              | 1/20     |              | 0.028           |
|                            | 楼下: 污物周转区、精密仪器储藏间、模拟<br>操作间、污水间 | 2.015                              | 1/40     |              | 0.050           |
| 核医<br>学科<br>显像<br>诊疗<br>区域 | 东侧: 放射治疗区域                      | 0.476                              | 1/8      | 1000         | 0.060           |
|                            | 南侧: 地下车库                        | 0.017                              | 1/20     |              | 0.001           |
|                            | 西侧: 药房                          | 0.017                              | 1/4      |              | 0.004           |
|                            | 北侧: 电梯、楼梯间、工具间                  | 0.476                              | 1/20     |              | 0.024           |
|                            | 楼上: 急诊大厅、抢救室、室外                 | 0.402                              | 1/8      |              | 0.050           |
|                            | 楼下: 地下车库、电梯、机房                  | 0.643                              | 1/20     |              | 0.032           |

由表11-9计算结果可知, 本项目甲癌治疗区域周围公众所受年有效剂量最大为0.050mSv, 核医学显像治疗区域周围公众所受年有效剂量最大为0.060 mSv, 均低于公众人员年有效剂量约束值0.1mSv/a。

由以上估算结果及分析可知, 本项目核医学科辐射工作人员和公众成员所受到的额外年有效剂量, 均符合《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”的要求以及本项目剂量约束值的要求。

### 11.2.3“三废”影响分析

#### 11.2.3.1放射性废液

该项目的放射性废液的主要来源: ①工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时产生的放射性废液; ②清洗受到污染的注射器容器、铅防护套等辅助防护用品产生的放射性废液; ③受检者/患者冲洗排便用水、呕吐物。

上述放射性废液中, 除废弃的原液和高污染废液需专门收集存放外, 其他放射性废液通过专用水泵及管道排入衰变池来进行存储。

## (1) 甲癌治疗区域

本项目甲癌治疗区域利旧原有配套衰变池设施进行放射性废液处理，衰变池结构和尺寸如图11-1所示。

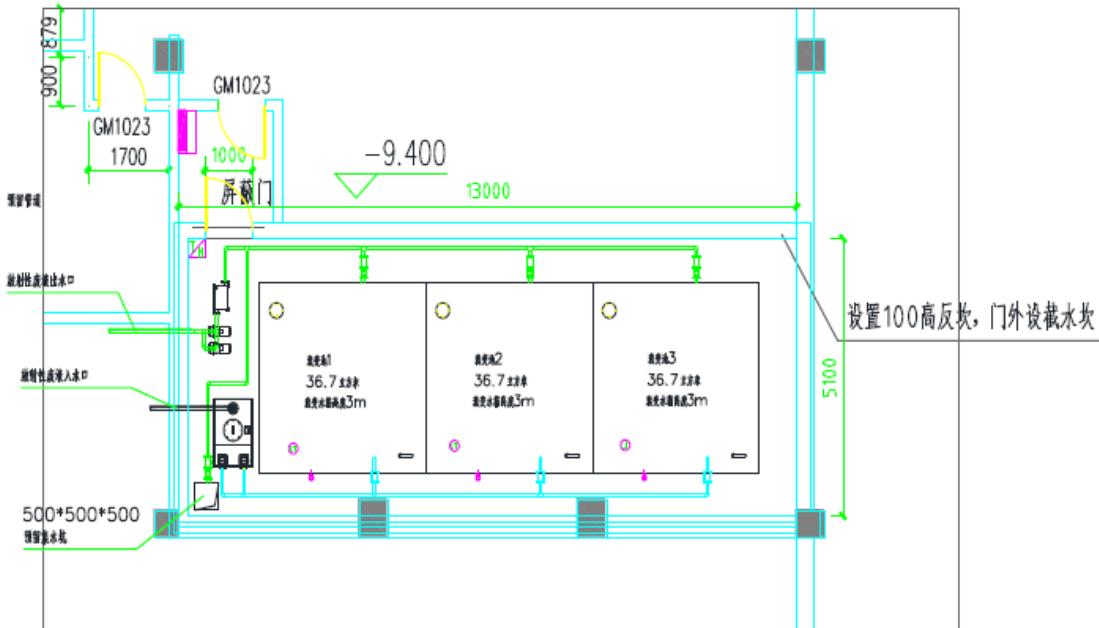


图11-1 甲癌病房专用衰变池平面布局及尺寸示意图

该甲癌病房专用衰变池位于甲癌病房楼下负二楼临近位置，由专用放射性废水间+三个槽式衰变罐及附属设施构成，属槽式排放结构。

放射性废水间为实体屏蔽房间，其墙体与甲癌病房墙体设计一致，为“12cm 厚实心砖墙+12cm 厚硫酸钡+12cm 厚实心砖”，顶部为“12cm 厚混凝土的基础上加铺12cm 厚硫酸钡砂浆”，防护门15mmPb。整个放射性废水间地面及墙面0.3m 以下均做防水处理，防护门处设置有10cm 高的门槛，防止极端情况下罐体漏水造成的放射性废水外溢。衰变池池壁、池底拟设计有一定抗压强度，并附加耐酸碱、抗渗漏材料，专用水泵和专用排水管道均进行屏蔽防护。

放射性废水间内设一套槽式排放衰变罐系统，由一个自搅拌自冲槽体+三个管道连接的槽式不锈钢衰变罐构成。三个槽式不锈钢衰变罐均为有效容积36.7m<sup>3</sup>的罐体，该套放射性废水衰变系统总有效容积为110m<sup>3</sup>。来自甲癌病房和<sup>177</sup>Lu病房卫生间的放射性废水先进入自搅拌自冲槽体充分破碎后，流入第一个罐内，满罐后该罐体入口电动阀门自动关闭；依次装满第二、三个罐体；当第三个罐体装满时，第一个罐体的放射性废水出口阀门打开，废液取样监测系统监测放射性废水总放，确认达标（总α<1Bq/L，总β<10Bq/L）后，总出水口阀门打开，排空第一个罐体废水后，继续使用该罐体。放射性废

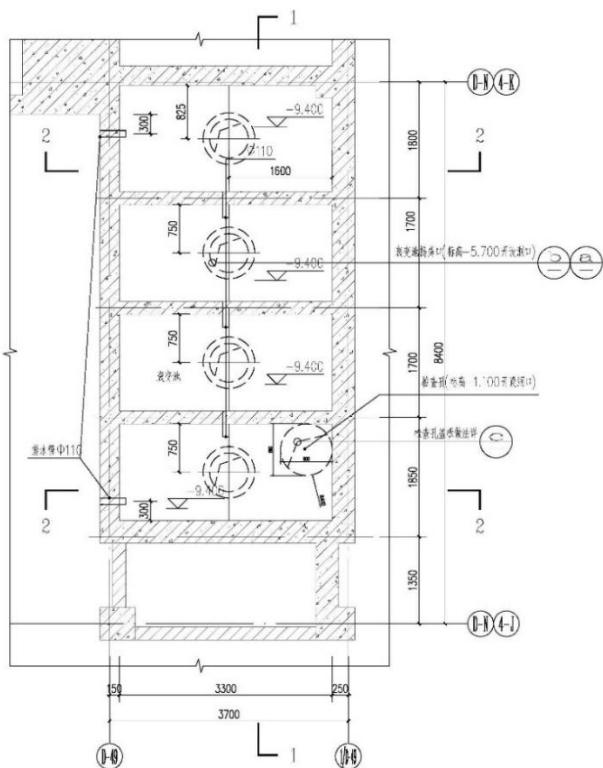
水在三个槽式不锈钢衰变罐中交替储存衰变和排放废液。该套系统还预留有一个  $0.5m \times 0.5m \times 0.5m$  的集水坑以对于突发的放射性废水（如处理泼洒的 $^{131}I$  药物造成的放射性废水）。此外，三个罐体均预留有手动阀门，防止极端情况下电动阀门失效，可手动切换各罐体的进排水管道。控制系统监测各衰变罐的管道流量、液面等情况，并确保各罐放射性废水在取样监测合格的情况下能外排至医院污水管网。

本项目投入运营后，原有 $^{131}I$ 治疗患者按最多每天4人估算，本次拟新增每天1名 $^{177}Lu$ 住院治疗患者。本项目结合甲癌治疗区域所原有衰变池处理能力的基础上，对拟新增的 $^{177}Lu$ 核素使用进行预测评估。按照医院核医学科运行期间统计数据，每位住院患者平均废水产生量（包括马桶用水和洗浴用水）不超过 $70L/(床 \cdot d)$ ，另外保守考虑每天清洁用水量为 $30L$ ，甲癌治疗区域一周工作5天，共5个病床，则每周产生的废液量为 $1900L$ （ $1.90m^3$ ）。

甲癌治疗区域配套衰变池的1号、2号和3号衰变池有效容积均为 $36.7m^3$ ，则注满每个衰变池各需要 $36.7/1.90 \approx 19.32$ 周，三个衰变池收集满约需 $57.96$ 周。当3号衰变池收集满时，1号衰变池最后一周病人产生的废液已经存放 $38.64$ 周（ $270.48$ 天），满足HJ 1188-2021中关于“含碘-131核素的废液暂存超过180天”的要求。

## （2）核医学科显像诊疗区域

本项目核医学科显像诊疗区域利旧原有配套衰变池设施进行放射性废液处理，衰变池位于核医学科东侧负二层。衰变池结构和尺寸如图11-2所示。



①衰变池平面大样图

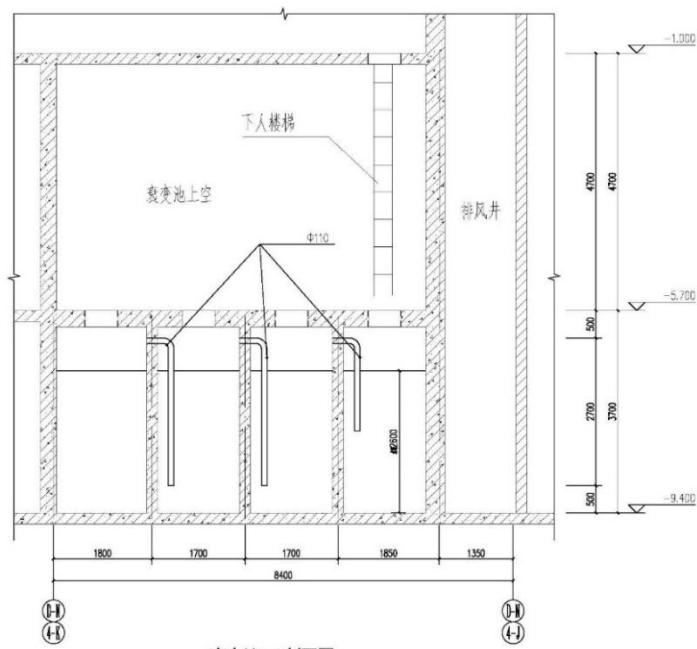


图11-2 核医学科配套衰变池平面图

医院核医学科显像诊疗区域现有放射性废水衰变池为连续式推流结构，位于核医学科东侧负二层，衰变池共四格，单格容积约为 $16m^3$ ，有效总容积 $48m^3$ 。衰变池最后一格的抽水管伸入底部，24小时持续运转的抽水泵将经过充分衰变的放射性废水抽入医院污

水系统，作为医疗废水处理，故该衰变池为三级串联式。

核医学科产生的放射性废液通过专用管道排入衰变池，已通过审批，可满足原有核医学科放射性废水衰变。该衰变池外围池壁采用35cm砼浇筑，四格衰变池顶部均留有检修口，检修口设置厚20cm的砼盖板，能够保证放射性废水的良好屏蔽。其检修口所在的负一层房间不做其他用途。各衰变池池壁、池底拟设计有一定抗压强度，并附加一定耐酸碱、抗渗漏材料。

本项目拟开展的<sup>223</sup>Ra、<sup>225</sup>Ac、<sup>153</sup>Sm、<sup>161</sup>Tb、<sup>212</sup>Pb、<sup>211</sup>At、<sup>213</sup>Bi核素治疗及核医学科原有的<sup>89</sup>Sr核素治疗，均为门诊病人，产生的放射性废水极少量，故不对其进行估算。原有<sup>90</sup>Y和<sup>131</sup>I核素治疗患者仅在核医学科显像治疗区域进行SPECT-CT扫描，扫描结束后立即离开，不产生放射性废水。另外，本项目放射性药物淋洗合成及质控过程中仅产生少量清洗废液，清洗废液暂存在铅罐中，储存超过10倍最长半衰期后，按照GB 18871中8.6.2规定方式进行排放（不排入本项目衰变池内）。

核医学科开展SPECT-CT显像检查使用的<sup>133</sup>Xe每天最大工作量为2人（次），<sup>99m</sup>Tc每天最大工作量为40人（次）；开展PET显像检查使用的<sup>68</sup>Ga和<sup>64</sup>Cu每天最大工作量为2人（次），<sup>18</sup>F每天最大工作量为20人（次），<sup>13</sup>N每天最大工作量为2人（次）；<sup>11</sup>C每天最大工作量为2人（次）；<sup>15</sup>O每天最大工作量为2人（次）；<sup>67</sup>Ga每天最大工作量为1人（次）；<sup>201</sup>Tl每天最大工作量为5人（次）。

按照每检查一人（次）产生放射性废液5L估算，则每天产生的最大废液量为390L（<sup>18</sup>F废液量100L、<sup>99m</sup>Tc废液量200L、<sup>68</sup>Ga废液量10L、<sup>64</sup>Cu废液量10L、<sup>133</sup>Xe废液量10L、<sup>13</sup>N废液量10L、<sup>11</sup>C废液量10L、<sup>15</sup>O废液量10L、<sup>67</sup>Ga废液量5L、<sup>201</sup>Tl废液量25L）。另外还需考虑每天清洁用水量为30L，则四级衰变池蓄满废液所需天数为： $64 \times 1000 \div 420 \approx 152$ （天）。

每名患者排泄到废液中的活度按照20%估算，则每天进入衰变池的<sup>18</sup>F放射性药物活度为 $370 \times 20 \times 20\% = 1480$  (MBq)、<sup>99m</sup>Tc放射性药物活度为 $925 \times 40 \times 20\% = 7400$  (MBq)、<sup>68</sup>Ga放射性药物活度为 $185 \times 2 \times 20\% = 74$  (MBq)、<sup>64</sup>Cu放射性药物活度为 $185 \times 2 \times 20\% = 74$  (MBq)、<sup>133</sup>Xe放射性药物活度为 $185 \times 2 \times 20\% = 74$  (MBq)。

查GB18871-2002附录表B3，取工作人员吸入 $e(g)_{1\mu m}$ 、吸入 $e(g)_{5\mu m}$ 和食入 $e(g)$ 放射性核素j所致的待积有效剂量的最大值 $e_j$ 计算ALImin： $ALImin = 20mSv/e_j$ ，计算结果见下表11-10。

表 11-10 放射性核素 ALImin 一览表

| 核素                | $e_j$ (Sv/Bq)         | 单一核素 ALImin (Bq)     |
|-------------------|-----------------------|----------------------|
| <sup>18</sup> F   | $9.3 \times 10^{-11}$ | $2.15 \times 10^8$   |
| <sup>99m</sup> Tc | $2.9 \times 10^{-11}$ | $6.90 \times 10^8$   |
| <sup>68</sup> Ga  | $8.1 \times 10^{-11}$ | $2.47 \times 10^8$   |
| <sup>64</sup> Cu  | $1.5 \times 10^{-10}$ | $1.33 \times 10^7$   |
| <sup>133</sup> Xe | $3.5 \times 10^{-10}$ | $5.7 \times 10^{10}$ |

参考《吴运涛, 某医院核医学科放射性废水环境影响评价, 海峡科学, 2015年第7期》中自流串联式n级分池的总活度减弱倍数公式:

$$K = \left( 1 + \frac{\lambda V}{n V_0} \right)^n \quad (11-7)$$

式中:

$K$ —总活度减弱倍数;

$\lambda$ —核素的物理衰变常数, 单位:  $d^{-1}$ ;

$V$ —n级相同分池串接的自流池总容积, L;

$n$ —衰变池的级数, 取3;

$V_0$ —进入衰变池废液的产生速率, 单位:  $L/d$ 。

其中, 核素的物理衰变常数  $\lambda$  计算公式如下:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} \quad (11-8)$$

式中:  $T$ —核素的半衰期, d。

表 11-11 衰变池放射性废水的排放活度计算结果

| 核素名称              | 排放药物总活度 (Bq)       | 物理衰变常数 ( $d^{-1}$ ) | 衰变池总容积 (L) | 废水的产生速率 (L/d) | 总活度减弱倍数               | 衰变后的活度 (Bq)           | ALImin一次排放限值 (Bq)    |
|-------------------|--------------------|---------------------|------------|---------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| <sup>18</sup> F   | $1.48 \times 10^9$ | 9.09                | 48000      | 100           | $3.08 \times 10^9$    | 0.48                  | $2.15 \times 10^8$   |
| <sup>99m</sup> Tc | $7.4 \times 10^9$  | 2.76                | 48000      | 200           | $1.09 \times 10^7$    | $6.78 \times 10^2$    | $6.90 \times 10^8$   |
| <sup>68</sup> Ga  | $7.4 \times 10^7$  | 14.61               | 48000      | 10            | $1.28 \times 10^{13}$ | $5.79 \times 10^{-6}$ | $2.47 \times 10^8$   |
| <sup>64</sup> Cu  | $7.4 \times 10^7$  | 1.31                | 48000      | 10            | $9.22 \times 10^9$    | $8.02 \times 10^{-3}$ | $1.33 \times 10^7$   |
| <sup>133</sup> Xe | $7.4 \times 10^7$  | 0.132               | 48000      | 10            | $9.56 \times 10^6$    | 7.74                  | $5.7 \times 10^{10}$ |

通过表11-11可知, 本项目核医学科显像诊疗区域衰变池满足GB18871-2002 的排放

要求：每月排放总活度不超过10ALImin，每次排放活度不超过1ALImin，加以严格控制并且做好排放纪录。

另外，放射性废水衰变池拟设废水取样口和检修口，首次排放前应对放射性废水进行取样监测，监测结果符合排放标准后方可排放。建设单位应根据首次监测数据，结合废水在衰变池中的储存周期，制定排水计划，按照计划定期将废水排放至院内污水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。每次排放应做好排放时间、监测数据、排放量等应详细记录，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

### 11.2.3.2 放射性固废

#### （1）甲癌治疗区域

本项目甲癌治疗区域设置有1间固废间用于存放放射性固废。放射性废物主要是工作人员操作过程产生的服药杯子、注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料等，按照每人0.2kg产生量进行估算，甲癌治疗区域每天最多5名病人，故每天产生放射性固体废物最多1kg，年工作250天，本项目甲癌治疗区域年放射性固体废物的产生量为250kg。

甲癌治疗区域还设置有1间污物暂存间，污物暂存间内设置有12个放射性固废箱，每个均为20mmPb，分为四组，每组3个。主要用于暂存病房内更换的污被和污衣，以及每个病房产生的沾污生活用品。

#### （2）核医学科显像诊疗区域

本项目核医学显像诊疗区域设置有2间固废间，分别位于SPECT和PET区域，用于暂存项目开展过程中产生的放射性废物。

放射性废物主要是工作人员操作过程产生的服药杯子、注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料等，按照每人0.05kg产生量进行估算，核医学科每天最多75名病人，故每天产生放射性固体废物最多3.75kg，年工作250天，本项目核医学科显像诊疗区域年放射性固体废物的产生量为937.5kg。

核医学科每年排风口更换的活性炭过滤器作为放射性固体废物处理，每年约50kg，根据核素类型分类收集，进行衰变贮存。

另外，本项目放射性药物淋洗合成及质控过程中，会产生滤纸、脱脂棉、手套、破碎器皿、擦拭污染物的物品，每年约27kg。

医院拟将上述放射性固体废物采用专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋及时转送至处置室。对放射性固体废物进行分类、分期收集装入塑料袋标明核素名称、日期并系

紧袋口，按半衰期分批分类暂存于不同的废物桶中，每天下班前将当天产生的放射性废物及时转移至处置室内，让放射性物质自行衰变。

放射性固废收集后应进行监测，需满足每袋废物表面剂量率不超过0.1mSv/h，重量不超过20kg的收集要求。每次收集后应做好固废排放台账，记录固废排放监测数据、收集时间及收集量，台账应有专人管理，存档保存。

所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天，含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天，衰变至符合清洁解控水平后，按照医疗废物交由资质单位进行处置。

### 11.2.3.3 放射性废气

该项目放射性废气主要来源：核素操作过程中会产生一定量的放射性废气，如核素质控、分装、注射等。

#### （1）甲癌治疗区域

针对放射性废气，医院拟在甲癌治疗区域内采取相关处理措施，具体如下：

针对<sup>131</sup>I治疗，医院原有在服碘室内配备带通风橱的碘自动分装仪，该全自动分装柜具有至少20mm铅当量，自带活性炭过滤装置。整罐<sup>131</sup>I药物放入全自动分装柜后，后续药物分装及活度测量均由机器自动完成，无需人工干预。护士通过对讲和监控指导隔墙走廊上服碘窗口的病人，病人自取一次性口杯，接药，服药。该自动分装柜自带通风装置，风速不小于1m/s。甲癌病区原设置有四路排风，在服碘区、控制区内各病房和患者走廊上均设置了排风口、也预留了碘自动分装仪的排风口，上述排风管道汇总为一条独立管道，自吊顶引至甲癌病区专用风井（医院借用各层辅房约1m<sup>2</sup>面积，砸穿各层楼板建设该甲癌病区专用独立风井），并通往楼顶，外排气口也位于本建筑主楼17层楼顶，排放口醒目位置设置电离辐射警示标志。甲癌病区新风自病房东侧的新风风井由独立管道引入。

本次针对<sup>177</sup>Lu治疗，医院拟在分装室内设置专用分装柜，放射性药物质控、分装操作均在分装柜内进行，分装柜新增一路专用管道接入原甲癌病区排风管道，设计总排风量为1000m<sup>3</sup>/h，最终合并经北侧风井将废气引至楼顶排出，分装柜的风速不小于0.5m/s。在固废间新增一路排风管道，设计总排风量为200m<sup>3</sup>/h，最终合并经北侧风井将废气引至楼顶排出。另外本项目涉及新增的污物暂存间、<sup>177</sup>Lu病房及其卫生间内增设排风管道，

最终接入原甲癌病区排风管道，并经北侧风井将废气引至楼顶排出，排风管道出口处设置活性炭过滤器，能有效的过滤及吸附废气中的放射性气载流出物，吸附效率不低于95%，达到气体排放要求。

各区域内气流由低活度区流向高活度区（高活度区负压于低活度区），通过专用管道与楼层放射性废气专用排风管道相连接，并经排风井将废气引至楼顶排出。另有医疗区（医生办公室、护士站、值班室）内设有单独的排风口和排风管道通过排风井引至室外排出。**甲癌治疗区域排风改造管道布置图见附图8。**

屋顶的排口不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标，排气口设置取样、采样平台，用于日常的环境监测。同时为防止公众进入楼顶避免不必要的误照射，建设单位将楼顶划为管控区域，并进行封闭管理。

本项目排风设施设置符合相关标准要求，项目投入使用后，排放的放射性气体对周围辐射环境影响较小。

## （2）核医学科显像诊疗区域

针对放射性废气，医院拟在核医学科显像诊疗区域内采取相关处理措施，具体如下：

核医学科各合成热室设置专用分装柜，放射性药物质控、分装操作均在分装柜内进行，分装柜通过专用管道排入风井内，经排风井将废气引至楼顶排出，分装柜的风速不小于0.5m/s。拟在本项目改建区域内的合成分装热室、洁净走廊、缓冲间、更衣间、分装注射室、储源间、固废间、放化实验室、理化实验室等场所内设置排风口，排风管道自核医学科北侧的排风井将废气引至楼顶排出，设计总排风量为10600m<sup>3</sup>/h，拟在排风管道出风口设置活性炭过滤装置。

核医学放射性工作场所不改造的区域沿用原有机械通风系统，在SPECT-CT/PET-CT机房、SPECT/ PET注射后休息室等场所设置单独的排风口，各区域内气流拟由低活度区流向高活度区（高活度区负压于低活度区），通过专用管道与楼层放射性废气专用排风管道相连接，并经排风井将废气引至楼顶排出。**核医学科显像诊疗区域排风改造管道布置图见附图9。**



图11-3 门诊综合大楼主楼17楼楼顶的核医学科污染区专用排风口

排风管道设置有过滤装置，安装过滤器和活性炭过滤器，排口不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标，排气口设置取样、采样平台，便于日常的环境监测。同时为防止公众进入楼顶避免不必要的误照射，建设单位将楼顶划为管控区域，并进行封闭管理。

本项目排风设施设置符合相关标准要求，项目投入使用后，排放的放射性气体对周围辐射环境影响较小。

#### 11.2.4 $\beta$ 表面污染物环境影响分析

医生在对放射性药物的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 $\beta$ 放射性表面污染。为了防止该项目放射性物质进入体内造成内照射，必须重视对放射性物质表面污染的防护，建设单位核医学科已采取相关防护措施如下：

##### (1) 工作场所分区管理

该项目按照开展临床核医学项目使用放射性核素的种类及用量，对工作场所进行了划分，工作人员从非放射性工作区进出放射性工作区需经卫生通过间，并在卫生通过间内配备表面污染监测仪等检测设备。

##### (2) 工作场所表面污染防护

核医学科涉及放射性药物操作的工作场所采用易清洗且不易渗透的钢板材料，拐角使用弧线处理。工作场所内地面平整光滑，已采用易于清洗的塑料材质；墙面平整光滑，采用易于清洗的涂料涂抹均匀并打磨至光滑。

工作台面要求平整、光滑、易于清洗。铺砌磨光花岗岩板材或不锈钢面板等。墙面与地面、墙面连接转角处，以及工作台边沿采取弧形，以尽可能减少表面污染。

除注射、给药外其余涉及放射性药物的所有操作均在通风橱或分装柜内进行，通风橱和分装柜操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都将在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

### (3) 工作人员的防护措施

工作人员进入放射工作场所经卫生通过间更换服装，并穿戴工作衣、裤、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。工作人员离开放射工作场所，需返经卫生通过间，清洗、更衣、并对手部等体表部位进行污染测定，确认未受放射污染，方可离开。

### (4) 对受检者/患者的防护

受检者/患者根据预约按时来院，在给药处接受注射药物，到指定地点候诊、检查，不应随意走动，并在患者专用卫生间如厕。检查完毕由专门出口离开，尽量减少对其他人员的影响。

## 11.2.5 非放射性污染物环境影响分析

### (1) 废水处理措施

本项目工作人员工作中会产生少量的生活污水，患者给药前候诊过程中和患者家属在住院治疗过程中的休息区会产生少量的生活污水，依托医院污水处理系统进行处理。

### (2) 废气处理措施

本项目使用的射线装置在工作状态时，会使空气电离产生少量的臭氧( $O_3$ )和氮氧化物( $NO_x$ )，少量臭氧和氮氧化物可通过动力排风装置排出，臭氧50分钟后自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响满足相关标准要求，本项目不作定量分析。

### (3) 噪声治理措施

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值一般低于 60dB(A)，噪声较小，考虑到噪声的远距离衰减作用，无需采用专门的降噪措施，对周围环境影响可以忽略不计，本项目不作定量分析。

### (4) 固废处理措施：

本项目工作人员工作中会产生少量的办公垃圾，患者给药前候诊过程中和患者家属在住院治疗过程中的休息区会产生少量的生活垃圾，依托医院生活垃圾收集系统进行处

理。

### 11.3环境影响风险分析

#### 11.3.1环境风险评价的目的

环境风险评价的目的是分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

#### 11.3.2事故等级分析

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第449号)，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表11-12。

根据国家环保总局2006年145号《辐射事故分级》规定，“一般辐射事故：是指IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。”假若本项目发生此种事故，事故等级应为一般辐射事故。“较大辐射事故是指III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致9人以下（含9人）急性重度放射病、局部器官残疾。”假若本项目发生此种事故，事故等级应为较大辐射事故。

表11-12 辐射事故等级划分表

| 事故等级     | 危害结果   |
|----------|--|
| 特别重大辐射事故 | 放射性同位素和射线装置失控导致3人以上（含3人）急性死亡。                            |
| 重大辐射事故   | 放射性同位素和射线装置失控导致2人以下（含2人）急性死亡或者10人以上（含10人）急性重度放射病、局部器官残疾。 |
| 较大辐射事故   | 放射性同位素和射线装置失控导致9人以下（含9人）急性重度放射病、局部器官残疾。                  |
| 一般辐射事故   | 放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。                           |

#### 11.3.3辐射事故影响分析

##### 11.3.3.1事故类型

按照《放射性同位素与放射装置安全和防护条例》和《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）要求，建设单位已编制辐射事故应急预案。

可能会发生以下辐射事故：

- (1) 操作人员失误，人员误入机房，造成误照射：工作人员或患者家属尚未撤离SPECT/CT、PET/CT机房时误开机，对工作人员或患者家属产生不必要的照射。
- (2) SPECT/CT、PET/CT等控制系统出现故障，照射不能停止，患者受到计划外照射。
- (3) 由于工作人员操作不熟练或违反辐射操作规程或误操作等其他原因造成的放射性药物泄漏，造成意外照射和辐射污染。
- (4) 保管不善造成放射性药物或放射源被盗、丢失，造成对公众和周围环境辐射污染。
- (5) 患者注射后未按规定线路离开，随意走动，与导致对医护人员或公众遭受较大的外照射。核素治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病房，可能对接近患者的人员造成额外照射。
- (6) 在放射性药物转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄，造成台面、地面辐射污染。
- (7) 工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外照射剂量。
- (8) 放射性废物管理不善，放射性废水或放射性固废未达到解控水平或排放标准即进行

### 11.3.3.2 辐射事故防范措施

辐射安全必须依靠必要的体制和管理，良好的设施和完整的工作制度等。引起意外（或事故）的不安全因素有两大类：一类是物的不安全因素，另类是人的不安全行为。从我国多年内所发生的放射事故来看，人为因素造成责任事故占事故总数的80%以上。责任事故主要由管理不善、领导失职、安全观念淡漠引起。为减少上述事故的发生，评价提出以下辐射事故防范措施。

- (1) 对所有操作场所进行严格的分区管理，设置控制区和监督区，控制区禁止无关人员进入，设置门禁系统、警示灯，悬挂电离辐射警示标识。同时，各辐射工作场所均应制定经常性自检制度，对门-灯联锁、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志灯等防护设施进行经常性检查，如发现这些防护设施不够完善或失灵，立即维护、修复。另外，针对SPECT-CT和PET-CT设备，应确保射线装置的“紧急止动”按钮、工作状态指示灯与机房门联锁等安全设施是否完好。

(2) 加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确配备的防护用品（铅衣、铅手套、铅围裙、铅颈套、铅眼镜等）及存放位置，进行相关辐射工作前一定要穿好防护铅服，戴铅眼镜，佩戴个人剂量计后方可进行手术作业。对于设备操作的防护措施，对操作人员须定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少意外照射事故的发生

(3) 核医学科显像诊疗区域和甲癌治疗区域均应加强放射性药物安全管理，落实放射性物质安保措施，以防止放射性药物丢失。放射机房的医务人员必须严格按照X射线装置操作程序进行诊断，确定机房内工作人员及病人家属均离开机房后方可开机，以避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射；

(4) 加强对有药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有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。核医学工作场所设置监控，进出口设置控制门，经核实达到离开条件方可允许患者离开；

(5) 在核医学科显像诊疗区域和甲癌治疗区域应重点加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶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间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

(6) 对工作人员进行岗前培训合格后上岗，核医学科显像诊疗区域和甲癌治疗区域的工作人员须熟练掌握放射性药物操作技能和熟悉辐射防护基本知识，能正确处置意外情况。

(7) 核医学科显像诊疗区域和甲癌治疗区域对放射性废物制定放射性三废的处理制度，设置放射性废物兼职管理员，对放射性废物单独收集，按照国家规定处理。

(8) 定期对工作场所辐射安全与环境保护措施的安全防护效果开展检测、维护、检修工作，核对发现的安全隐患立即整改，避免事故发生。

(9) 设备发生故障后，在未查明原因和维修结束前，不得重新启动。设备调试、维护检修工作，应由专业技术人员组织实施。开展设备调试、维修工作前，应确认已解除

必要的联锁装置。工作结束后，应及时恢复联锁装置并确认系统正常工作。

（10）加强工作场所的安保工作，确保门禁系统正常运行，减少放射性药品丢失、被盗事故的发生。

（11）制定事故应急预案，并定期进行演练，及时进行整改。

综上，本项目采取以上事故防范措施后，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目的正常运营，也保障了工作人员和公众的健康与安全。

### 11.3.3 辐射事故应急措施

根据以上分析，本项目可能发生的辐射事故及风险主要发生在管理问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用的治疗室。核医学科工作过程中须严格管理药物进入与废物管理，严格控制病人药物注射或服药剂量，对患者治疗后的检查进行严格把控和管理。

一旦发生辐射事故，根据以下处理原则采取措施：

①立即消除事故源，防治事故继续蔓延和扩大。

②及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

③出现事故后，应及时有计划的处理，尽量缩小事故影响，减小事故损失。

④在事故处理过程中，要在合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

⑤事故处理后应累计资料，及时报告总结。医院对于辐射事故进行记录：包括事故发生的事件和地点、所涉及的事故责任人和受害者名单、对任何可能受到照射的人员做的剂量估算结果、所作的任何医学检测及结果、采取的任何纠正措施、事故的可能原因、为防止类似事件再次发生所采取的措施。

⑥对可能发生的事故，应及时采取措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，并接受监督部门的处理，同时及时上报生态环境部门和卫生部门。

本项目涉及的辐射工作场所均为核素使用项目，针对可能发生的辐射事故，本项目工作场所须采取的防治措施如下：

(1) 一旦发生放射源或核素药物丢失或被盗，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，封闭场所应按规定启动本单位辐射事故应急方案，并及时报告当地生态环境主管部门、公安部门以及卫生部门。

(2) 配备去污清洁用品，发生核素泄漏应控制人员进入。选择合理的去污方法，防止交叉污染。去污时佩戴有效的个人防护用品。一般核素药物为液态，若发生撒漏，可用滤纸擦拭清除，擦拭后的滤纸作为放射性固体废物。为防止污染的扩散，去污程序应先从污染轻的周围渐向污染重的部位。如经反复清洗效果不明显时，可根据放射性核素的化学性质和污染表面的性质，选用有效的去污剂进一步去污。严重污染事故时，应立即通知在场的其他人员，同时迅速标出污染范围，防止其他人员进入污染区。

污染区的人员经采取减少危害和防止污染扩散的必要措施后，要脱去污染的衣服并将其留在污染区，立即离开此区。

事故发生后，应尽快通知防护负责人和主管人员，并立即向有关监督管理部门报告。防护人员应迅速提出全面处理事故的方案，并协助主管人员组织实施。污染区经去污、监测后，经防护人员批准方可重新工作。

(3) 工作人员佩戴有个人剂量计，每次检测周期不超过90天，可及时监控工作人员所受剂量，如发现超标现象应查明原因，改善防护条件或减少工作时间。

(4) 人员受到不必要的照射或超计划外照射时，应评估其受照剂量，并进行必要的医学处理。

#### 11.3.4 服务期满后的环境保护措施

本项目核医学科非密封放射性物质工作场所（包括运行期间建成的放射性废水衰变池）服务期满后，建设单位需根据相关要求实施场所退役。

核素工作场所退役工作的主要流程为：

- (1) 开展污染源调查，并准备相关监测仪器、工具、防护用品和劳保用品。
- (2) 退役场所现状监测，标注 $\beta$ 表面污染水平大于退役目标值 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的区域。
- (3) 场所内物品分类、处理、搬迁暂存；对有沾污物品和无沾污物品分类并标识。
- (4) 对有沾污物品暂存，并将暂存场所封闭管理至少10个半衰期以上；对无沾污物品另存其他场所后封闭管理。

(5) 进行终态监测。

射线装置退役流程：

(1) 射线装置进行申请报废流程；

(2) 依托专业厂家进行射线装置的拆解、去功能化、暂存和回收工作；

(3) 射线装置由厂家回收处理。

退役目标为拟退役核医学科场址达到清洁解控水平，实现场址无限制开放或使用。

同时对实施核素、固体废物转移的工作人员进行剂量估算，所受剂量应低于执业人员年剂量管理约束值 (5mSv)。

## 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

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位应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。

厦门弘爱医院已经成立了辐射安全管理领导小组，已明确了领导小组及各成员的职责。小组成员大部分为本科以上学历，其人员设置满足辐射安全与环境保护管理工作要求。

### 12.2 辐射人员管理

#### (一) 个人剂量检测

医院拟为辐射工作人员配备个人剂量计后上岗，个人剂量计每周期（不超过90天）到有资质的单位检测一次，并建立个人剂量档案，加强档案管理。个人剂量档案应保存至辐射工作人员年满75周岁或停止辐射工作满30年。

#### (二) 辐射工作人员培训

项目投入使用后，医院须定期组织从事辐射操作的工作人员参加相关辐射培训。如有新增辐射人员需及时安排参加辐射安全和防护知识考核培训，合格并取得相应资格上岗证才可上岗。

#### (三) 职业健康体检

按照国家有关规定，对在岗人员每隔1到2年进行一次体检，对新上岗和离岗人员分别进行岗前和离岗时体检。

医院拟新增的辐射人员应进行上岗前体检并每两年进行一次职业健康检查，建立个人健康档案。辐射工作的人员在离开该工作岗位时也要进行离岗放射性职业健康体检。

#### 环评要求：

①本项目拟新增的辐射工作人员需要组织参加辐射防护与安全培训、持证上岗，并按时接受再培训；辐射工作人员均应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案；辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗

职业健康检查，每一年或两年委托相关资质单位对辐射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康档案。

②本项目拟新增的辐射工作人员的职业卫生健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；辐射工作人员的个人剂量和职业健康档案应终身保存。

## 12.3 辐射安全管理规章制度

### 12.3.1 档案管理分类

医院应对相关资料进行分类归档放置，包括以下八大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”。

### 12.3.2 主要规章制度

结合建设单位现有辐射防护管理制度和本项目情况，医院拟制定一系列辐射安全规章制度。根据环境保护部令第3号《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2017年修正版)第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位应当有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射应急措施。

目前，医院已按照《放射性同位素与射线装置和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求制定有设备操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等辐射安全管理制度，上述辐射环境管理制度基本合理。医院应结合本项目实际情况，根据要求进一步完善辐射环境制度，并加强对辐射工作人员的安全防护意识教育。医院已制定的各项管理制度具有较好的可行性，只要在日常工作中严格落实，即能够满足核技术应用项目的管理。医院对于各项制度在日常工作中要加强检查督促，认真组织实施。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目。

医院拟根据规章制度内容认真组织实施，并且拟根据国家发布的新的相关法规内容，结合医院实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。建设单位在按照环评要求对制度、人员、场所、设施等落实后，项目符合辐射安全及环境保护要求。

## 12.4 辐射监测

### 12.4.1 监测仪器和防护设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射性同位素、射线装置的单位应该配置与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。根据以上要求，建设单位沿用原有核医学科辐射监测仪器，详见表12-1。

表12-1 现有辐射监测仪器配置情况

| 场所       | 监测仪器    | 数量(台) | 型号      |
|----------|---------|-------|---------|
| 核医学科工作场所 | 环境辐射巡测仪 | 1     | SCINTO  |
|          | 表面污染监测仪 | 1     | IA-V2   |
|          | 个人剂量报警仪 | 2     | RAD-60s |

### 12.4.2 监测计划

#### 12.4.2.1 原核医学科拆除过程监测计划

建设单位原核医学科内物品及设施在搬迁过程中，工作人员必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，设施或物品搬运、丢弃过程中，使用表面污染检测仪和辐射监测率仪进行实时监测，并做好监测记录，发现异常立即停止工作。

改建区域搬迁结束后，将委托相关监测机构对核医学科改建区域辐射工作场所进行 $\gamma$ 辐射剂量率和放射性 $\beta$ 表面污染检测：

对原核医学科显像诊疗区域分装室、储源间/废物间、敷贴室、甲功能测定室、服药室、注射室、注射后等候室、运动负荷室、患者走廊以及原核医学科甲癌治疗区域分装室、储源室、污物暂存间、抢救室、采光走廊、患者走廊等辐射工作场所进行 $\gamma$ 辐射剂量率和放射性 $\beta$ 表面污染检测。确认上述辐射工作场所达到清洁解控水平后再对工作场所进行拆除及改造作业。

#### 12.4.2.2 改造后核医学科监测计划

##### (1) 个人剂量监测

建设单位的辐射环境监测工作交由医院辐射安全管理领导小组统一领导，医务部负责组织具体实施，院人事处负责联系有剂量监测资质的机构对医院从事辐射工作的相关人员进行个人剂量监测。

个人剂量监测期内，个人剂量应每三个月检测一次。佩戴周期第三个月份的月底由人事部门将相关科室放射工作人员的个人剂量监测仪收齐后送至有检测资质的机构检测，并出具个人剂量季度、年度监测和评估报告。建立个人剂量监测档案。同时领

取新的个人剂量计。

剂量监测结果，每季度由人事处向各有关科室通报一次；当次剂量监测结果如有异常，人事处应通知具体放射工作人员、科室负责人和分管院长。

**环评要求：**

①如果在单个季度出现个人剂量超过1.25mSv 时需进行干预，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字。年剂量超过5mSv 的管理限制时，暂停该辐射工作人员继续从事放射性作业，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字，并上报当地环境保护主管部门。单年剂量超过20mSv标准时，构成辐射事故，按事故应急预案处理，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急处理领导小组上报当地环境保护主管部门及省级环境保护主管部门。同时上报公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。并及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工作。医院须建立个人剂量档案，辐射工作人员调离辐射工作岗位，个人剂量档案要终生保存。

②个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度评估报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。

③辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。建设单位应当将个人剂量档案终生保存。

**（2）辐射工作场所及周围环境监测**

①每年医务部负责联系有放射防护监测资质的机构对医院有射线装置及放射源的科室进行一次环境辐射安全防护监测及性能测试，出具评估报告并存档，监测数据每年底须向环境主管部门上报备案。

②对新增加射线设备做到先预评、环评后装机，手续齐全后再使用。

③内部监测：由医院环保辐射专职监测人员每三个月对全院有辐射装置及有放射源的科室进行一次安全监测并记录存档。

④应急监测：应急情况下，为查明放射性污染情况和辐射水平，可进行不定期的内部或外部监测。

⑤对诊疗过程中产生的辐射医疗垃圾、辐射废水等，进行分批次存储、衰变，经测试安全后按相关规定处理。

⑥甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域使用的同位素活度监测仪等监测设备，

每年由核医学科工作人员送至计量院进行校对并出示报告，科室存档。

#### ⑦监测内容和要求

A、监测内容：周围剂量当量率， $\alpha$ 、 $\beta$ 表面放射性污染等。

B、监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。选择的关注点具有代表性，分为控制区外关注点和控制区内关注点。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查，核医学科工作场所年度监测和日常监测计划可见表12-2和表12-3。

表12-2 核医学科工作场所辐射监测和日常监测计划一览表

| 工作场所    | 监测项目                       | 监测范围                                       | 自行监测频次 | 委托监测频次 |
|---------|----------------------------|--|--------|--------|
| 核医学工作场所 | 周围剂量当量率                    | 控制区四面墙体外、各机房防护门处、控制室操作位、注射室注射位及周围需要关注的监督区。 | 1次/4周  | 1次/年   |
|         | $\alpha$ 、 $\beta$ 表面放射性污染 | 工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套、工作鞋等                   | 每天检测1次 | 1次/年   |
|         | 排放口浓度                      | 放射性废水衰变池排放口                                | 排放前    | 1次/年   |
|         | 固废放射性水平                    | 放射性固废作为一般废物处理前放射性水平小于解控标准                  | 处置前    | 1次/年   |

C、监测范围：控制区和监督区域及周围环境

D、监测质量保证

a、制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与本单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

b、采用的国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

c、制定辐射环境监测管理制度和方案。此外，建设单位需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

### （3）放射性废水排放前监测

本项目放射性废水所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放，所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），每次排放前应进行监测，确保符合《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB18871-2002）规定的放射性废水排放活度限值，结合废水在衰变池中的储存周期，制定排水计划，按照计划定期将废水排放至院内污

水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。每次排放应做好废水排放台账，并记录存档。

#### **(4) 放射性废物处理前监测**

根据HJ1188-2021，本项目放射性废物所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存超过30天，所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间按超过核素最长半衰期的10倍，含<sup>131</sup>I核素的放射性固体废物暂存应超过180天，经监测辐射剂量率满足所处环境水平， $\alpha$ 表面污染小于0.08Bq/m<sup>2</sup>的， $\beta$ 表面污染小于0.8Bq/m<sup>2</sup>的，可作为医疗废物委托有资质的单位进行处置，并做好台账。

#### **(5) 验收监测**

本次评价项目竣工后，建设单位应根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）对配套建设的环境保护设施进行验收，建设单位应如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，报告编制完成5个工作日内，建设单位应公开验收报告，公示的期限不得少于20个工作日。建设单位在提出验收意见的过程中，可组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

#### **(6) 辐射监测的可行性**

环评认为，医院可以根据表12-2和表12-3的内容完善辐射工作场所和环境辐射水平监测方案与监测仪表使用与校验管理制度。制订的监测方案，应能够及时反映屏蔽设施的防护效能和放射废物排放达标情况。

### **12.5年度评估报告情况**

医院应按照规定的格式编写《辐射安全和防护状况年度评估报告》。医院应于每年1月31日前申报上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。

建设单位已提交2024年度的辐射安全防护状况年度评估报告，后期拟继续执行相关要求并落实到位。

## 12.6 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》等有关放射防护法律、法规的规定，结合医院自身的实际情况，在建设单位原有辐射事故应急处理预案的基础上，制定符合本项目和医院运营的辐射事故应急处理预案。

根据本项目的事故分析：本项目可能发生的辐射事故及风险主要发生在管理问题，所以医院应具有完善的应急管理小组和应急预案。建设项目投入使用后应成立辐射事故应急领导小组和应急预案详细内容，小组成员应包含相关职能部门的负责人及辐射相关临床医技科室负责人，明确领导小组的主要职责。医院根据需要在有必要的情况下可对应急组织架构和应急预案进行更新、修改和完善。预案拟设定内容主要包括：

（1）适用范围：

拟成立的应急组织和内容应适用于厦门弘爱医院的辐射工作的开展和管理，应明确辐射工作的范围和工作时在管理上的注意事项。

（2）组织管理：

明确辐射事故应急组织各成员的职责和分工（相应人员的联系电话）。

（3）事故分级：

结合医院实际情况，根据辐射事故发生带来的影响，对各项可能发生的辐射事故进行分级，并有相应的应对措施和管理办法。

（4）事故报告：

严格要求相关人员对辐射事故事件进行详细和了解和记录，并保存。事故报告内容应囊括事件、地点、应对措施、事故后的防止措施、人员名单、处理结果（含人员剂量估算结果、检查结果）、事故发生的原因、责任承担等。

（5）事故应急处理：

辐射事故发生的应对措施应有合理的流程、员配置和处理原则，医院拟制定的辐射事故应急处理应包含但不仅仅只有以下处理原则：

①尽快消除事故源，防治事故继续蔓延和扩大。

②及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

③出现事故后，应及时有计划的处理，尽量缩小事故影响，减小事故损失。

④在事故处理过程中，要在合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

⑤事故处理后应累计资料，及时报告总结。

⑥加强平时日常管理和检查，及时发现隐患并及时杜绝事故发生。

⑥对可能发生的事故，应及时采取措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，并接受监督部门的处理，同时及时上报生态环境部门和卫生部门。

建设单位拟制定的应急预案内容较完善，并且具有较好的针对性和可操作性，能够满足拟开展核技术利用项目的事故应急需求。

## 表13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 项目概况

- (1) 项目名称: 厦门弘爱医院新增放射性核素应用项目
- (2) 建设单位: 厦门弘爱医院
- (3) 建设性质: 改扩建
- (4) 建设地点: 厦门市湖里区仙岳路3777号
- (5) 建设内容:

**本项目拟将甲癌治疗区域进行改造:** 将原抢救室改造为<sup>177</sup>Lu专用病房, 将原甲癌治疗区域的分装室扩大, 并增加<sup>177</sup>Lu注射窗, 将污物暂存间改为固废间, 将新污物暂存间设置于<sup>177</sup>Lu病房西侧。本项目拟在甲癌治疗区域新增<sup>177</sup>Lu核素进行核素治疗。

**本项目拟将核医学科显像诊疗区域进行改造:** 将原服药室、SPECT/CT注射室改为<sup>177</sup>Lu合成分装热室, 原甲功测定室改为摄碘间和无菌检测, 原<sup>32</sup>P敷贴室和服药室改为阳性对照和放化实验室/理化实验室, 原运动负荷室改为SPECT分装注射室、SPECT固废间, 原储源间改为淋浴缓冲间、SPECT储源间, 将原SPECT留观室改为运动负荷室, 将诊室2改为敷贴室, 将原PET/CT分装注射区域和PET/CT注射后休息室改为FDG合成分装热室、<sup>68</sup>Ga合成分装热室、PET固废间、PET分装注射室、PET储源间。本项目拟核医学科显像诊疗区域新增<sup>133</sup>Xe、<sup>68</sup>Ga、<sup>64</sup>Cu、<sup>223</sup>Ra、<sup>225</sup>Ac、<sup>153</sup>Sm、<sup>161</sup>Tb、<sup>212</sup>Pb、<sup>211</sup>At和<sup>213</sup>Bi核素进行核素诊疗, 新增<sup>18</sup>F、<sup>68</sup>Ga、<sup>177</sup>Lu、<sup>99m</sup>Tc药物合成分装热室及相关质控场所, 自行合成(淋洗)<sup>18</sup>F、<sup>68</sup>Ga、<sup>177</sup>Lu、<sup>99m</sup>Tc药物, 供核医学科诊疗项目使用。

本项目增加核素用后量, 核医学科工作场所非密封放射性核素日等效最大操作量由原来的 $3.87 \times 10^9$ Bq扩量为 $3.91 \times 10^9$ Bq, 仍属于乙级非密封放射性物质工作场所。

#### 13.1.2 产业政策符合性与实践正当性分析

根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录(2024年本)》(中华人民共和国国家发展和改革委员令第7号, 2023年12月27日发布), 本项目属鼓励类第六项“核能”第4条“核技术应用: 同位素、加速器及辐照应用技术开发, 辐射防护技术开发与监测设备制造”以及第十三项“医药”第4条“新型基因、蛋白和细胞诊断设备, 新型医用诊断设备和试剂, 高性能医学影像设备, 高端放射治疗设备, 急危重症生命支持设备,

人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，医用材料、增材制造技术开发与应用”项目，符合国家产业政策。

本项目按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，可以将项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践正当性”的要求。

### 13.1.3 选址的合理性结论

厦门弘爱医院位于厦门市湖里区仙岳路3777号。本项目核医学科工作场所位于门诊综合大楼负一层，门诊综合大楼位于医院东侧，共计七层，包括地下两层（加速器区域仅有地下一层）和地上五层。该门诊综合大楼北部区域的六层以上加建医院住院楼（6~17层）。门诊综合大楼东侧依次为院内道路、绿化、医院东围墙，围墙外为金山路；南侧依次为桥头路、公共绿地、仙岳路；西侧依次为院内道路、康复中心楼和三号住院楼；北侧依次为院内绿化、道路、医院北围墙，围墙外为金山西路。

本项目核医学科位于门诊综合大楼负一层东侧，距离核医学科东侧边界约52米处为金山路；距离核医学科南侧边界约71米处为桥头路；距离核医学科西侧边界约137米处为康复中心楼；距离核医学科北侧边界约67米处为金山西路。核医学科工作场所四周边界约50米内均为院内建筑和院内道路。

本项目核医学科工作场所位于医院大楼的地下楼层的一端。工作场所均独立设置，不涉及产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，无人员长期居留建筑和场所。核医学科工作场所设置单独出、入口，出口远离门诊大厅、收费处等人员稠密区域。各工作场所内平面布置相对集中，位于所在楼层一端，诊疗区域设置门锁权限和单向门禁等安全措施，限制患者或受检者随意流动。场所内设有患者独立卫生间和工作人员专用卫生间，且患者、工作人员和药物路线独立区分，避免通道交叉。各工作场所内设置有专门放射性药物操作区、源库和污物间，设有应急场所和辅助用房。场所内明确划分监督区和控制区，各区域内设有相应的工作用房，满足非密封放射性核素使用的工作需求。核医学科工作场所已进行辐射屏蔽设计，避免辐射源的对周围的影响。符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于核医学工作场所选址和布局的要求。

本项目核医学科工作场所周围50m范围内均为医院内部建筑、院内道路，不存在自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等敏感目标，项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的防护治理措施后对周围环境造成的辐射影响是可接受的。符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)和《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中关于核医学工作场所选址和布局的要求。

综上分析，本项目的选址是合理的。

#### 13.1.4 辐射环境质量现状

本项目拟建场址周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率在99~148nGy/h范围内，由《中国环境天然放射性水平》可知，福建省厦门市原野、道路、建筑物室内 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率在72.7~193.5nGy/h之间，该项目建设地址 $\gamma$ 辐射本底水平未见异常。

拟建场址环境 $\alpha$ 表面污染水平检测未检出， $\beta$ 表面污染水平检测结果均低于0.36Bq/cm<sup>2</sup>，未见异常。

#### 13.1.5 环境影响评价结论

##### (1) 辐射环境影响分析

本项目甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域剂量率预测值，满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)和《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)的有关规定，对周围辐射环境影响是可以接受的。

本项目辐射工作场所工作人员和公众所受辐射年有效剂量符合《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，同时低于本评价提出的5.0mSv和0.1mSv的年管理剂量约束值。

##### (2) 废水环境影响分析

本项目利用衰变池，所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放，所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期(含碘-131核素的暂存超过180天)，首次监测达标后，按照排水计划定期排入院内污水处理站，对周围水环境影响轻微。生活污水依托院内污水处理站处理达标后排放，对周围水环境影响是可以接受的。放射性废液总排放口总 $\alpha$ 不大于1Bq/L、总 $\beta$ 不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L。

本项目拟对核医学科工作场所进行改造，产生极少量施工废水和清洗废水，均统一排入废水管道依托医院污水处理站处理达标后排放，对周围水环境影响是可以接受

的。

### **(3) 固废影响分析**

甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域产生的放射性固废先采用专门的固废收集桶收集后，暂存于固废间，所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天，所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍，含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天后，经监测达标后按照普通医疗废物由当地有资质单位定期处置，不会对周围环境产生影响。

本项目拟对核医学科工作场所进行改造，过程中产生少量建筑固废，施工当天即可清运至医院垃圾站，由环卫统一清运，不会对环境产生影响和破坏。

本项目运行后产生的生活垃圾和办公室垃圾依托医院垃圾收集设施进行处理，对环境影响很小。

### **(4) 废气影响分析**

本项目甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域产生的放射性废气经由专门的排管道排至所属大楼楼顶，排风口高于屋脊，排风口周围10m范围内无遮挡物，同时在排风管道内配置过滤器和活性炭吸附装置处理设施。

医院射线装置在运行过程中产生的臭氧经排风系统通风后进入大气逐渐分解氧化，不会对周围大气环境造成明显影响。

本项目对核医学科工作场所进行改造，施工期短且施工过程中采取必要的洒水措施，对周围环境不会产生影响和破坏。

### **(5) 声环境影响分析**

本项目涉及的甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域内均采用低噪声设备，本项目通排风设备运行过程中产生的噪声经房间隔声、距离衰减措施后，对项目区域的声环境影响很小。

核医学科工作场所改造期间产生施工噪声，因工期短，施工量小，不涉及机械使用，且期间内该区域进行隔离，该场所位于地下一层一端，经距离和墙体衰减后不会对周围环境产生影响。

### **(6) 事故风险与防范**

建设单位应按规定完善各项规章制度和事故防范措施，及时修订辐射事故应急预案并严格执行，项目建成投运后，应认真贯彻实施，以避免发生辐射事故。

### 13.1.6 辐射防护措施有效性结论

(1) 本项目甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域均设置铅注射窗、专用分装柜、铅衰变箱、铅桶、表面污染监测仪、环境辐射巡测仪、个人剂量报警仪等辐射防护用具，配备铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护衣等个人防护用品，在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射。

(2) 本项目甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域源库防护门为铅防盗门，钥匙由专人负责保管；日常期间由值班人员24小时监控；出入口安装摄像头及红外报警系统并入科室监控系统。

(3) 本项目甲癌治疗区域和核医学科显像诊疗区域设置放射性废水的专用管线及衰变池、放射性废气专用管线等，工作用房的通排风均能满足相关标准规范的要求。

(4) 辐射工作人员工作时穿戴铅衣、铅围脖，佩戴防护眼镜等辐射防护用品，辐射工作人员均配备个人剂量计。控制区设置相应的警示标志，限制无关人员进入。

综上所述，本项目拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

### 13.1.7 环保设施与保护目标

医院须按环评要求配备较全、效能良好的环保设施，使本次环评中确定的保护目标所受的辐射剂量保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

### 13.1.8 辐射安全管理的综合能力

建设单位已成立辐射安全管理领导小组，已指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；建设单位拟根据实际情况及本报告要求，完善相关辐射管理制度，以适应当前环保的管理要求。本项目建成后辐射工作人员拟继续定期进行上岗培训，拟继续定期进行职业健康监护和个人剂量监测，并建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

## 13.2 项目环保可行性结论

在坚持“三同时”的原则，采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施后，评价认为，本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

### 13.3 建议与承诺

#### 13.3.1 人员培训

根据生态环境部《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（环办辐射函〔2019〕853 号）和《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》（2019 年，第 57 号）精神，医院拟继续定期组织相关辐射工作人员进行相关辐射培训，运行后期若人员培训到期应及时组织培训到期人员到生态环境部培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。

### 13.3.2管理制度

- (1) 本项目竣工环境保护验收之前，确保拟制定的管理制度完成。
- (2) 严格执行本项目放射性核素送入、存储和使用过程的管理措施，控制人流、物流通道，落实分区管理措施。

### 13.3.3其它建议和要求

- (1) 医院应进一步加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。
- (2) 医院各辐射工作场所室内环境空气质量应达到《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）的相关要求。
- (3) 加强对辐射工作人员个人剂量的管理，若发现季度监测数据超过1.25mSv，应及时进行调查、查找原因，并采取相应的干预管理措施；定期将辐射监测设备送至有检定资质的单位进行检定，保证监测设备监测数据的有效性。
- (4) 医用射线装置报废前，医院应采取去功能化措施妥善处理，确保报废装置无法再次通电使用。
- (5) 医院应告知受检者检查完毕后，应避免出入公共场所，并控制与家庭成员及公众的接触距离。
- (6) 项目运行后，医院应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，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。
- (7) 本项目环评审批后，医院应及时到福建省生态环境厅变更《辐射安全许可证》。
- (8) 根据《建设项目环境保护管理条例》，工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设项目正式投产运行前，建设单位应按规范进行项目竣工环保验收。

## 表14 审批

下一级生态环境部门预审意见:

经办人:

公章

年 月 日

审批意见:

经办人:

公章

年 月 日