

核技术利用建设项目
苏州市相城人民医院新建核医学科、放疗科
及扩建 1 台 DSA 项目
环境影响报告表

苏州市相城人民医院

2026 年 4 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

苏州市相城人民医院新建核医学科、放疗科 及扩建 1 台 DSA 项目

环境影响报告表

建设单位名称： 苏州市相城人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）： _____

通讯地址： 江苏省苏州市相城区华元路 1060 号

邮政编码： 215100 联系人： _____

电子邮箱： / 联系电话： _____

目 录

| | |
|--------------------------|-----|
| 表 1 项目基本情况 | 1 |
| 表 2 放射源 | 8 |
| 表 3 非密封放射性物质 | 8 |
| 表 4 射线装置 | 9 |
| 表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） | 10 |
| 表 6 评价依据 | 13 |
| 表 7 保护目标与评价标准 | 18 |
| 表 8 环境质量和辐射现状 | 26 |
| 表 9 项目工程分析与源项 | 31 |
| 表 10 辐射安全与防护 | 63 |
| 表 11 环境影响分析 | 83 |
| 表 12 辐射安全管理 | 91 |
| 表 13 结论与建议 | 172 |
| 表 14 审批 | 178 |
| 附表 | 179 |

附图：

| | |
|---------------------------|--|
| 附图 1 本项目地理位置示意图 | |
| 附图 2 本项目周围环境示意图 | |
| 附图 3 本项目位置及评价范围示意图 | |
| 附图 4-1 精准医疗中心 1 楼平面布置图 | |
| 附图 4-2 精准医疗中心 2 楼平面布置图 | |
| 附图 4-3 精准医疗中心 3 楼平面布置图 | |
| 附图 4-4 精准医疗中心顶楼平面布置图（设备层） | |
| 附图 4-5 精准医疗中心负 1 楼平面布置图 | |
| 附图 4-6 精准医疗中心负 2 楼平面布置图 | |
| 附图 4-7 精准医疗中心剖面图 | |
| 附图 5 DSA 手术室改造前后平面布置图 | |
| 附图 6-1 SPECT 诊断区人流、物流路径图 | |
| 附图 6-2 PET 诊断区人流、物流路径图 | |

- 附图 6-3 甲癌治疗区人流、物流路径图
- 附图 7-1 放射性废水衰变系统内部结构及平面布置图
- 附图 7-2 SPECT 诊断产生的放射性废水排水管道布设图
- 附图 7-3 PET 诊断产生的放射性废水排水管道布设图
- 附图 7-4 甲癌治疗区产生的放射性废水排水管道布设图
- 附图 7-5 核医学科放射性废水排水管道布设图
- 附图 7-6 核医学科放射性废水接入衰变池示意图
- 附图 8-1 精准医疗中心 1 楼（SPECT 诊断区）送排风系统布设图
- 附图 8-2 精准医疗中心 2 楼（PET 诊断区）送排风系统布设图
- 附图 8-3 精准医疗中心 3 楼（甲癌治疗区）送排风系统布设图
- 附图 8-4 精准医疗中心楼顶排风系统布设图
- 附图 8-5 精准医疗中心楼负 1 楼放疗科送排风系统布设图
- 附图 8-6 精准医疗中心楼负 2 楼衰变室排风系统布设图
- 附图 9 本项目与苏州市相城区生态空间管控区域位置关系示意图
- 附图 10 本项目与江苏省生态环境分区管控区域位置关系图（江苏省生态环境分区管控综合服务网站截图）

附件：

- 附件 1 委托书
- 附件 2 射线装置使用承诺书
- 附件 3 放射性核素使用承诺书
- 附件 4 本项目屏蔽设计说明
- 附件 5 本项目辐射环境本底检测报告及检测单位资质
- 附件 6 苏州市相城人民医院辐射安全许可证及现有核技术利用项目情况
- 附件 7 苏州市相城人民医院场所年度检测报告
- 附件 8 苏州市相城人民医院辐射工作人员近 1 年个人剂量检测报告
- 附件 9 苏州市相城人民医院事业单位法人证书

表 1 项目基本情况

| | | | | | | |
|-----------------|------------------|--|--|--------------------|------------------------|---|
| 建设项目名称 | | 苏州市相城人民医院新建核医学科、放疗科及扩建 1 台 DSA 项目 | | | | |
| 建设单位 | | 苏州市相城人民医院 | | | | |
| 法人代表 | | 联系人 | | 联系电话 | | |
| 注册地址 | | 江苏省苏州市相城区华元路 1060 号 | | | | |
| 项目建设地点 | | 江苏省苏州市相城区华元路 1060 号 | | | | |
| 立项审批部门 | | / | | 批准文号 | / | |
| 建设项目总投资 (万元) | | 项目环保投资 (万元) | | 投资比例(环保 投资/总投资) | | |
| 项目性质 | | <input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他 | | | 占地面积 (m ²) | / |
| 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 checked="" 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 checked="" 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 checked="" type="checkbox"/> 使用 | <input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 | | | |
| | 其他 | / | | | | |

项目概述

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

1. 建设单位基本情况

苏州市相城人民医院位于江苏省苏州市相城区华元路 1060 号，医院于 2004 年 2 月 28 日正式建成投入使用，坐落于相城区中心地带，诊疗辐射范围广泛。建院以来，在“团结、奋进、求精、务实”医院精神的激励下，全院上下凝心聚力、艰苦创业，现已发展成为苏州市相城区内的唯一一所集医疗、急救、教学、科研为一体的三级乙等综合医院。医院先后荣获“江苏省文明单位”“苏州市卫生工作先进集体”“苏州市五一劳动奖状”等荣誉。

医院现开设消化内科、肿瘤内科、内分泌科、肾病科、血液科、心血管内科、神经内科、呼吸内科、骨科、肝胆外科、胸外科、胃肠外科、甲乳外科、肛肠外科、泌尿外科、神经外科、妇产科、儿科、重症医学科、介入科等 30 多个临床专科及 13 个医技科室。成功备案国家药物临床试验机构。认证成为国家标准版胸痛中心，积极推进苏州市健康市民“531”行动计划，已成为苏州市“创伤救治中心”“胸痛救治中心”“卒中救治中心”“高危孕产妇救治中心”“危重新生儿救治中心”。

苏州市相城人民医院总占地面积 96 亩，建筑面积约 12 万平方米。医院目前已有 1#门诊、住院楼（地上 9F，地下 1F）；2#食堂（3F）；3#高压氧舱（3F）；4#病房大楼（地上 16F，地下 1F）；5#门卫（1F）；6#垃圾集散房（1F）；7#开闭所（1F）；8#感染性疾病大楼（2F）。

医院拟在院内东北部新建 1 座精准医疗中心（H=14.4m，地上 3F，地下 2F），并将原预防保健科改为 DSA 手术室（H=4.5m，1F）。

2. 建设项目由来

为了改善城区及周边群众门诊服务质量，提升当地和周边区域群众的医疗服务水平，苏州市相城人民医院拟在院内开展以下核技术利用项目：

（1）新建 1 个核医学科和 1 个放疗科，核医学科和放疗科均设于拟建的精准医疗中心内。

①核医学科位于精准医疗中心 1 楼~3 楼，包括三个区域：SPECT 诊断区（1 楼）、PET 诊断区（2 楼）和甲癌治疗区（3 楼）；

②放疗科位于精准医疗中心负 1 楼，配备 1 台直线加速器，用于开展放射治疗，并配备 1 台 CT 模拟定位机，用于放射治疗前的模拟定位。

衰变室位于负 2 楼，用于核医学科放射性废水的衰变。

（2）将 1#门诊、住院楼内的原预防保健科改为 DSA 手术室（1F），并配备 1 台数字减影血管造影机（Digital Subtraction Angiography, DSA）。

3. 项目建设规模

本次核技术利用项目建设规模主要为：

（1）核医学科项目

① SPECT/CT 诊断：SPECT/CT 诊断位于精准医疗中心 1 楼，配备 1 台 SPECT/CT，使用 ^{99m}Tc 、 ^{111}In 、 ^{123}I 进行显像检查。核素到货时均为分装好的成品针剂，无需分装。

^{99m}Tc 影像诊断日最大门诊量约为 16 人，单人单次最大用药量 $1.11\times 10^9\text{Bq}$ (30mCi)，年门诊量约 4000 人； ^{111}In 影像诊断日最大门诊量约为 2 人，单人单次最大用药量 $1.85\times 10^8\text{Bq}$ (5mCi)，年门诊量约 250 人； ^{123}I 影像诊断日最大门诊量约为 2 人，单人单次最大用药量 $1.11\times 10^8\text{Bq}$ (3mCi)，年门诊量约 100 人。

本项目核医学科 ^{131}I 甲亢治疗依托 SPECT 诊断区（精准医疗中心 1 楼），甲亢病人服药后无需留观即可离开医院。日最大门诊量约为 5 人，单人单次最大用药量 $3.70\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi)，年门诊量约 600 人。如患者用药量大需要住院治疗则不属于门诊治疗范畴。

② PET/CT 诊断：PET/CT 诊断位于精准医疗中心 2 楼，配备 1 台 PET/CT，并配备 2 枚 ^{68}Ge V 类校准源，使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 正电子药物进行显像检查，其中 ^{18}F 为罐装，需要分装， ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 到货时均为分装好的成品针剂，无需分装。

^{18}F 影像诊断日最大门诊量约为 15 人，单人单次最大用药量 $3.70\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi)，考虑到放射性药物的衰变，每天分两批次进行送药，每批次送药量最大为 $8.325\times 10^9\text{Bq}$ (按照最大用药量的 3 倍备药)，确保足够的备药量。年门诊量约 3750 人； ^{68}Ga 影像诊断日最大门诊量约为 3 人，单人单次最大用药量 $3.70\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi)，年门诊量约 250 人； ^{64}Cu 影像诊断日最大门诊量约为 2 人，单人单次最大用药量 $1.20\times 10^8\text{Bq}$ (约 3.2mCi)，年门诊量约 250 人。

③ ^{131}I 甲癌治疗

本项目甲癌治疗位于精准医疗中心 3 楼，拟设置 3 间单人病房，使用 ^{131}I 核素进行甲癌治疗，每周开展一次，每次最多接收 3 名住院患者。单人单次最大用药量 $5.55\times 10^9\text{Bq}$ (150mCi)，年门诊量约 150 人。分装室内拟配备一台自动分装仪，医院购置 ^{131}I 药物后通过自动分装仪进行分装、给药。

(2) 放疗科项目

本项目放疗科位于精准医疗中心负 1 楼。

①直线加速器放射治疗：医院拟配备的 1 台直线加速器型号未定，直线加速器能量不超过 10MV；

②模拟定位系统：CT 模拟定位机型号未定，最大管电压不超过 140kV、最大管电流不超过 800mA。

(3) DSA 介入项目

拟将 1#门诊、住院楼的预防保健科改为 DSA 手术室，并配备 1 台 DSA，型号未

定，最大管电压不超过 125kV、最大管电流不超过 1000mA。

本次核技术利用具体情况见表 1-1。

表 1-1 本项目核技术利用一览表

| 放射源 | | | | | | | | | |
|--------------|------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------|---------------|--------|
| 序号 | 放射源名称 | 数量 | 单枚活度 (Bq) | 放射源类别 | 工作场所名称 | 活动种类 | 环评情况 | 许可情况 | 备注 |
| 1 | ⁶⁸ Ge | 2 | 1.11×10 ⁸ | V | 核医学科 PET/CT 扫描室 | 使用 | 新建项目 本次环评 | 未许可 | 校准源，新购 |
| 非密封放射性物质工作场所 | | | | | | | | | |
| 序号 | 工作场所等级 | 核素名称 | 活动种类 | 工作场所名称 | 日等效最大操作量 (Bq) | 年最大用量 (Bq) | 备注 | | |
| 1 | 乙级 | ^{99m} Tc | 使用 | 核医学科 | 1.78×10 ⁷ | 4.44×10 ¹² | 新建项目， 本次环评 | | |
| 2 | | ¹¹¹ In | 使用 | | 3.70×10 ⁷ | 4.63×10 ¹⁰ | | | |
| 3 | | ¹²³ I | 使用 | | 2.22×10 ⁶ | 1.11×10 ¹⁰ | | | |
| 4 | | ¹⁸ F | 使用 | | 1.67×10 ⁷ | 4.16×10 ¹² | | | |
| 5 | | ⁶⁸ Ga | 使用 | | 1.11×10 ⁷ | 9.25×10 ¹⁰ | | | |
| 6 | | ⁶⁴ Cu | 使用 | | 2.40×10 ⁶ | 3.00×10 ¹⁰ | | | |
| 7 | | ¹³¹ I (甲亢) | 使用 | | 1.85×10 ⁸ | 2.22×10 ¹¹ | | | |
| 8 | | ¹³¹ I (甲癌) | 使用 | | 1.67×10 ⁹ | 8.33×10 ¹¹ | | | |
| 射线装置 | | | | | | | | | |
| 序号 | 射线装置名称 | 数量 | 最大管电压 (kV) | 最大管电流 (mA) /剂量率 (Gy/h) | 类别 | 工作场所名称 | 许可情况 | 备注 | |
| 1 | SPECT/CT (型号未定) | 1 | ≤140kV | ≤800mA | III | 精准医疗中心 1 楼核医学科 SPECT/CT 扫描室 | 未许可 | 新建项目， 本次环评 | |
| 2 | PET/CT (型号未定) | 1 | ≤140kV | ≤800mA | III | 精准医疗中心 2 楼核医学科 PET/CT 扫描室 | 未许可 | | |
| 3 | CT 模拟定位机 | 1 | ≤140kV | ≤800mA | III | 精准医疗中心 负 1 楼放疗科 CT 模拟定位机房 | 未许可 | | |
| 4 | 直线加速器 | 1 | X 射线： 6/10MV， | X 射线最高剂量率： 6MV (3F)： | II | 精准医疗中心 负 1 楼放疗科 | 未许可 | | |

| | | | | | | | |
|---|---------------|---|----------------|---|----|----------------------|-----|
| | (型号未定) | | 电子线: ≤22MeV | 2400cGy/min 10MV: 600cGy/min 电子线最高剂量率: 2200cGy/min | | 直线加速器机房 | |
| 5 | DSA (型号未定) | 1 | ≤125kV | ≤1000mA | II | 1#门诊、住院楼 1 楼 DSA 手术室 | 未许可 |

本项目 PET/CT 质控用校准源 ^{68}Ge 属于 V 类放射源，核医学科使用非密封放射性物质属于乙级非密封放射性物质工作场所，SPECT/CT、PET/CT、CT 模拟定位机属于 III 类射线装置，DSA、直线加速器属于 II 类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），应编制环境影响报告表。受苏州市相城人民医院委托，江苏清全科技有限公司承担该医院本次核技术利用项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析，并结合现场勘察（委托南京宁亿达环保科技有限公司对项目拟建场址及周围环境进行辐射环境现状监测）等工作的基础上，编制了该项目的环境影响报告表。

二、项目周边保护目标及项目选址情况

1. 医院位置

苏州市相城人民医院位于江苏省苏州市相城区华元路 1060 号。医院东侧为采莲路，南侧为华元路，西侧为河道，北侧为惠民路。医院地理位置示意图见附图 1，医院周围环境情况见附图 2。

2. 精准医疗中心位置

本项目精准医疗中心拟建于医院东北部，精准医疗中心包括核医学科（1 楼~3 楼）和放疗科（负 1 楼），核医学科衰变室位于负 2 楼。其东侧为院内道路、采莲路；南侧为院内道路和停车场一，西侧为院内道路、1#门诊、住院楼、医院地下车库，北侧为院内道路、停车场二、医院地下车库。精准医疗中心周围环境示意图见附图 3，平面布置图和剖面图见附图 4-1~附图 4-7。

3. DSA 手术室项目位置

DSA 手术室为 1#门诊、住院楼原预防保健科改造，为单层建筑，其东侧为 DSA 手术室配套用房及 1#门诊、住院楼，南侧为 DSA 手术室配套用房、1#门诊、住院楼、院内道路、小游园，西侧为 DSA 手术室配套用房、院内道路、3#高压氧舱、2#食堂，北侧为 DSA 手术室配套用房、1#门诊、住院楼、院内道路、4#二期住院大楼，楼上无建筑，楼下为土层。本项目 DSA 手术室周围环境示意图见附图 3，平面布置图见附图

5。

4. 项目选址合理性分析

本项目核医学科和放疗科均位于精准医疗中心内，精准医疗中心为独栋建筑，位于院内东北部。核医学科与非放射性工作场所有明确的分界隔离，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区；放射治疗场所位于精准医疗中心的负1楼，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，周围无环境制约因素，项目选址合理。本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标，且不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区。环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内的其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员。

本项目拟建址位于苏州市中心城区（相城区），属于苏州市重点管控单元，对照苏州市重点管控单元生态环境准入清单，本项目符合生态环境准入清单的要求。根据现场监测与环评预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降，本项目的建设符合江苏省生态环境分区管控要求。本项目与江苏省生态环境分区管控区域、苏州市相城区生态空间管控区域位置关系图见附图9、附图10。

综上所述，本项目周围无环境制约因素，项目选址合理。

三、实践正当性评价

本项目投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

四、医院现有核技术利用项目许可及辐射安全管理情况

1. 医院现有核技术利用项目许可情况

苏州市相城人民医院目前持有的辐射安全许可证书编号为：苏环辐证[E0338]，许可种类和范围：使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所。许可有效期为2024年01月31日至2029年01月30日。医院辐射安全许可证及项目情况见附件6。

医院现有核技术利用项目均已履行了相关环保手续，无遗留环保问题。

2. 医院现有辐射安全管理情况

医院已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，已针对现有核技术利用项目制定了辐射安全管理制度，每年委

托有资质的单位对本单位的辐射工作场所进行监测，根据场所年度检测报告（附件 7）可知，检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评估，于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上一年度的放射性同位素与射线装置安全和防护状况评估报告，满足环保相关管理要求。

医院现有辐射工作人员约 90 名，均已参加并通过辐射安全与防护的培训，培训证书均在有效期内。医院现有辐射工作人员的数量满足现有核技术利用项目对人员的需求。医院已安排所有辐射工作人员参加了职业健康体检，并建立了辐射工作人员职业健康监护档案，根据辐射工作人员的职业健康体检报告，现有辐射工作人员均可继续从事原放射工作；医院委托有资质的单位对辐射工作人员进行了个人剂量监测，并建立了个人剂量档案，根据辐射工作人员的个人剂量检测报告（附件 8），现有辐射工作人员最近一年的受照剂量均未超过职业人员年剂量管理限值 5mSv/a ，满足环保相关管理要求。

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 |
|----|------------------|----------------------------|----|------|-----|-----------------|---|----------------------------------|
| 1 | ⁶⁸ Ge | 1.11×10 ⁸ × 2 枚 | V | 使用 | 校准源 | 核医学科 PET/CT 扫描室 | 贮存在储源罐中，放置在储源间的保险柜中；使用时从储源罐取出，放在检查床的支架上进行相关质控操作 | 定期更换，退役后交由原生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置 |

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 | 实际日最大操作量 (Bq) | 日等效最大操作量 (Bq) | 年最大用量 (Bq) | 用途 | 操作方式 | 使用场所 | 贮存方式与地点 |
|----|--------------------------|-------------------------------------|------|-----------------------|----------------------|-----------------------|------|--------|------|--------------------|
| 1 | ^{99m} Tc | 液态、低毒 T _{1/2} =6.02h | 使用 | 1.78×10 ¹⁰ | 1.78×10 ⁷ | 4.44×10 ¹² | 显像诊断 | 很简单的操作 | 核医学科 | 不贮存，按需购买，当天送达，当天使用 |
| 2 | ¹¹¹ In | 液态、中毒 T _{1/2} =2.83d | 使用 | 3.70×10 ⁸ | 3.70×10 ⁷ | 4.63×10 ¹⁰ | 显像诊断 | 简单操作 | 核医学科 | 不贮存，按需购买，当天送达，当天使用 |
| 3 | ¹²³ I | 液态、低毒 T _{1/2} =13.2h | 使用 | 2.22×10 ⁸ | 2.22×10 ⁶ | 1.11×10 ¹⁰ | 显像诊断 | 简单操作 | 核医学科 | 不贮存，按需购买，当天送达，当天使用 |
| 4 | ¹⁸ F | 液态、低毒 T _{1/2} =109.8min | 使用 | 1.67×10 ¹⁰ | 1.67×10 ⁷ | 4.16×10 ¹² | 显像诊断 | 很简单的操作 | 核医学科 | 不贮存，按需购买，当天送达，当天使用 |
| 5 | ⁶⁸ Ga | 液态、低毒 T _{1/2} =68.3min | 使用 | 1.11×10 ⁹ | 1.11×10 ⁷ | 9.25×10 ¹⁰ | 显像诊断 | 简单操作 | 核医学科 | 不贮存，按需购买，当天送达，当天使用 |
| 6 | ⁶⁴ Cu | 液态、低毒 T _{1/2} =12.7h | 使用 | 2.40×10 ⁸ | 2.40×10 ⁶ | 3.00×10 ¹⁰ | 显像诊断 | 简单操作 | 核医学科 | 不贮存，按需购买，当天送达，当天使用 |
| 7 | ¹³¹ I (甲亢) | 液态、中毒 T _{1/2} =8.02d | 使用 | 1.85×10 ⁹ | 1.85×10 ⁸ | 2.22×10 ¹¹ | 核素治疗 | 简单操作 | 核医学科 | 不贮存，按需购买，当天送达，当天使用 |

| | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|----------------------------------|----|-----------------------|----------------------|-----------------------|------|------|------|--------------------------|
| 8 | ¹³¹ I (甲癌) | 液态、中毒 T _{1/2} =8.02d | 使用 | 1.67×10 ¹⁰ | 1.67×10 ⁹ | 8.33×10 ¹¹ | 核素治疗 | 简单操作 | 核医学科 | 不贮存, 按需购买, 当天送达, 当天使用 |
|---|--------------------------|----------------------------------|----|-----------------------|----------------------|-----------------------|------|------|------|--------------------------|

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

表 4 射线装置

(一) 加速器: 包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

| 序号 | 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 加速粒子 | 最大能量 (MeV) | 额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h) | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|----|-------|----|----|----|------|--------------------------|--|----------|------------------------|---------------------|
| 1 | 直线加速器 | II | 1 | 未定 | 电子 | X 线: 6/10MV 电子线≤22MeV | X 射线最高剂量率: 6MV (3F): 2400cGy/min 10MV: 600cGy/min 电子线最高剂量率: 2200cGy/min | 放射 治疗 | 放疗科 直线加 速器机 房 | 精准医 疗中心 负 1 楼 |

(二) X 射线机, 包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

| 序号 | 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 |
|----|--------------|-----|----|------|---------------|---------------|---------------|----------------------|-------------|
| 1 | SPECT/CT | III | 1 | 型号未定 | ≤140 | ≤800 | 显像诊断 | 核医学科 SPECT/CT 扫描室 | 精准医疗中心 1 楼 |
| 2 | PET/CT | III | 1 | 型号未定 | ≤140 | ≤800 | 显像诊断 | 核医学科 PET/CT 扫描室 | 精准医疗中心 2 楼 |
| 3 | CT 模拟定 位机 | III | 1 | 型号未定 | ≤140 | ≤800 | 模拟定位 | 放疗科 CT 模拟定位机房 | 精准医疗中心负 1 楼 |
| 4 | DSA | II | 1 | 型号未定 | ≤125 | ≤1000 | 医疗诊断/ 介入治疗 | 1#门诊、住院 DSA 手术室 | / |

(三) 中子发生器, 包括中子管, 但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

| 名称 | 状态 | 核素名称 | 活度 | 月排放量 | 年排放总量 | 排放口浓度 | 暂存情况 | 最终去向 |
|--------------------------------------|----|---|----|----------|---------|-------|--------------------------------|--|
| SPECT 诊断区产生的一次性注射器、棉签、手套、口罩、滤纸、擦拭废纸等 | 固体 | ^{99m}Tc 、 ^{111}In 、 ^{123}I 、 ^{131}I | / | 约 41.3kg | 约 495kg | / | 暂存于注射分装室、注射后候诊室、留观室的废物铅桶内、废物间内 | 甲亢治疗产生的放射性废物单独收集，自然衰变至少 180 天；其他放射性废物集中收集，自然衰变至少 30 天后，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医疗废物处理 |
| PET 诊断区产生的一次性注射器、棉签、手套、口罩、滤纸、擦拭废纸等 | 固体 | ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu | / | 约 35.4kg | 约 425kg | / | 暂存于注射分装室、注射后候诊室、留观室的废物铅桶内、废物间内 | PET 诊断产生的放射性废物集中收集自然衰变至少 30 天，后经监测，辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医疗废物处理 |
| 甲亢治疗区产生的一次性手套、口罩、服药杯、擦拭废纸等 | 固体 | ^{131}I | / | 约 62.5kg | 约 750kg | / | 暂存于给药分装室、病房的废物铅桶内、废物间 | 集中收集放置在甲亢治疗区的放射性废物间中，自然衰变至少 180 天后，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医疗废物处理 |
| 介入手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗固体废物 | 固体 | / | / | 30kg | 360kg | / | 暂存在机房的垃圾桶中 | 手术结束集中收集后作为普通医疗废物处理 |
| 放疗过程中产生的定位体膜、一次性床单等医疗废物 | 固体 | / | / | 8.3kg | 100kg | / | 暂存在机房的垃圾桶中 | 集中收集后作为普通医疗废物处理 |

| | | | | | | | | |
|---|----|--|---|--------------------|-------------------|--|------------------------|--|
| SPECT 诊断区、PET 诊断区通风系统更换下来的废活性炭 | 固体 | ^{99m}Tc 、 ^{111}In 、 ^{123}I 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu | / | / | 约 48kg | / | 集中收集放置在 PET 诊断区放射性废物间中 | 自然衰变至少 30 天后，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物处理 |
| 甲癌治疗区通风系统、通风柜通风系统、衰变室通风系统更换下来的废活性炭 | 固体 | ^{131}I | / | / | 约 32kg | / | 集中收集放置在甲癌治疗区的放射性废物间中 | 自然衰变至少 180 天后，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物处理 |
| PET 诊断区和 SPECT 诊断区给药后患者产生的含放射性核素的排泄物和冲洗水以及含放射性核素的清洗废水 | 液体 | ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{99m}Tc 、 ^{111}In 、 ^{123}I | / | 约 11.3m^3 | 约 136m^3 | 总 $\alpha \leq 1\text{Bq}/\text{L}$ ， 总 $\beta \leq 10\text{Bq}/\text{L}$ | 经专用管道排至短半衰期放射性废水衰变系统 | 在衰变系统中自然衰变至少 30 天后，经监测满足总 α 不大于 $1\text{Bq}/\text{L}$ 、总 β 不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ ，监测结果经审管部门认可后，排至医院污水处理系统，作为医疗废水处理 |
| 甲癌治疗区给药后患者产生的含放射性核素的排泄物和冲洗水以及含放射性核素的清洗废水 | 液体 | ^{131}I | / | 约 6.7m^3 | 约 80m^3 | 总 $\alpha \leq 1\text{Bq}/\text{L}$ ， 总 $\beta \leq 10\text{Bq}/\text{L}$ ， $^{131}\text{I} \leq 10\text{Bq}/\text{L}$ | 经专用管道排至长半衰期放射性废水衰变系统 | 在衰变系统中自然衰变至少 180 天后，经监测满足总 α 不大于 $1\text{Bq}/\text{L}$ 、总 β 不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 、 ^{131}I 放射性活度浓度不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 的要求，监测结果经审管部门认可后，排放至医院污水处理系统，作为医疗废水处理 |
| PET 诊断区和 SPECT 诊断区产生的含微量放射性核素的挥发气体 | 气态 | ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{99m}Tc 、 ^{111}In 、 ^{123}I | / | 微量 | 微量 | 按标准要求排放 | 不暂存 | 经专用排风管道延伸至精准医疗中心楼顶排放 |
| 甲癌治疗区产生的含微量放射性核素的挥发气体 | 气态 | ^{131}I | / | 微量 | 微量 | 按标准要求排放 | 不暂存 | 经专用排风管道延伸至精准医疗中心楼顶排放 |

| | | | | | | | | |
|---|----|------------------|--------------------------|----|----|---------|--------------------------|--|
| PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室、DSA 手术室、直线加速器机房、CT 模拟定位机房产生的臭氧和氮氧化物 | 气态 | / | / | 微量 | 微量 | 按标准要求排放 | 不暂存 | 经专用排风管道延伸至精准医疗中心楼顶排放，臭氧常温下约 50min 可自行分解为氧气，对环境影响较小 |
| 核医学科的退役废源 | 固态 | ⁶⁸ Ge | <4.36×10 ⁷ Bq | / | / | 按标准要求排放 | 贮存在储源罐中，放置在 PET 诊断区的储源间内 | 交由原生产厂家回收或送省城市放射性废物库贮存 |

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³，年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/ m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

| | |
|-------------|---|
| <p>法规文件</p> | <p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），2015 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正版），2018 年 12 月 29 日起施行</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行</p> <p>(4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020 年修订版），2020 年 9 月 1 日起施行</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 449 号，2005 年 12 月 1 日起施行；2019 年修改，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版），生态环境部令第 20 号，自 2021 年 1 月 4 日起施行</p> <p>(8) 《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，2021 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行</p> <p>(10) 《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》，原国家环境保护总局文件，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行</p> <p>(11) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，原环境保护部 国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行</p> <p>(12) 《关于发布〈放射源分类〉办法的公告》，原国家环保总局公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日发布</p> <p>(13) 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行</p> <p>(14) 《关于修改〈放射性物品道路运输管理规定〉的决定》，交通运输部令 2026 年第 7 号，2026 年 3 月 20 日起施行</p> |
|-------------|---|

- (15) 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017 年第 65 号，自 2018 年 1 月 1 日起施行
- (16) 《国家危险废物名录（2025 年版）》，2025 年 1 月 1 日起施行
- (17) 《关于印发〈建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）〉的通知》，环办〔2013〕103 号，2014 年 1 月 1 日起施行
- (18) 《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 日起施行
- (19) 《关于发布〈建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法〉配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行
- (20) 《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年第 39 号，2019 年 10 月 25 日发布
- (21) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日起施行
- (22) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修订版），江苏省人大常委会公告第 2 号，2018 年 5 月 1 日起施行
- (23) 《江苏省辐射事故应急预案》（2020 年修订版）（苏政办函〔2020〕26 号）
- (24) 《江苏省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187 号
- (25) 《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74 号
- (26) 《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1 号
- (27) 《江苏省自然资源厅关于苏州市相城区生态空间管控区域调整方案的复函》，苏自然资函〔2025〕139 号
- (28) 《省政府办公厅关于印发江苏省生态空间管控区域管理办法的通知》，苏政办规〔2026〕1 号
- (29) 《江苏省生态环境分区管控实施方案》，苏办发〔2024〕25 号
- (30) 《江苏省生态环境分区管控管理实施细则》，苏环办〔2024〕295 号

| | |
|------|--|
| | <p>(31) 《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</p> <p>(32) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，辐射函〔2023〕20号</p> |
| 技术标准 | <p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)</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》(HJ 10.1-2016)</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)</p> <p>(4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)</p> <p>(5) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)</p> <p>(6) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)</p> <p>(7) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)</p> <p>(8) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021)</p> <p>(9) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)</p> <p>(10) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)</p> <p>(11) 《表面污染测定 第1部分：β发射体($E_{\beta\max} > 0.15 \text{ MeV}$)和$\alpha$发射体》(GB/T 14056.1-2008)</p> <p>(12) 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)</p> <p>(13) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)</p> <p>(14) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)</p> <p>(15) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)</p> <p>(16) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)</p> <p>(17) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)</p> |
| 其他 | <p>附图：</p> <p>附图1 本项目地理位置示意图</p> <p>附图2 本项目周围环境示意图</p> <p>附图3 本项目位置及评价范围示意图</p> <p>附图4-1 精准医疗中心1楼平面布置图</p> <p>附图4-2 精准医疗中心2楼平面布置图</p> |

| | |
|------------|---|
| 附图 4-3 | 精准医疗中心 3 楼平面布置图 |
| 附图 4-4 | 精准医疗中心顶楼平面布置图（设备层） |
| 附图 4-5 | 精准医疗中心负 1 楼平面布置图 |
| 附图 4-6 | 精准医疗中心负 2 楼平面布置图 |
| 附图 4-7 | 精准医疗中心剖面图 |
| 附图 5 | DSA 手术室改造前后平面布置图 |
| 附图 6-1 | SPECT 诊断区人流、物流路径图 |
| 附图 6-2 | PET 诊断区人流、物流路径图 |
| 附图 6-3 | 甲癌治疗区人流、物流路径图 |
| 附图 7-1 | 放射性废水衰变系统内部结构及平面布置图 |
| 附图 7-2 | SPECT 诊断产生的放射性废水排水管道布设图 |
| 附图 7-3 | PET 诊断产生的放射性废水排水管道布设图 |
| 附图 7-4 | 甲癌治疗区产生的放射性废水排水管道布设图 |
| 附图 7-5 | 核医学科放射性废水排水管道布设图 |
| 附图 7-6 | 核医学科放射性废水接入衰变池示意图 |
| 附图 8-1 | 精准医疗中心 1 楼（SPECT 诊断区）送排风系统布设图 |
| 附图 8-2 | 精准医疗中心 2 楼（PET 诊断区）送排风系统布设图 |
| 附图 8-3 | 精准医疗中心 3 楼（甲癌治疗区）送排风系统布设图 |
| 附图 8-4 | 精准医疗中心楼顶排风系统布设图 |
| 附图 8-5 | 精准医疗中心楼负 1 楼放疗科送排风系统布设图 |
| 附图 8-6 | 精准医疗中心楼负 2 楼衰变室排风系统布设图 |
| 附图 9 | 本项目与苏州市相城区生态空间管控区域位置关系示意图 |
| 附图 10 | 本项目与江苏省生态环境分区管控区域位置关系图（江苏省生态环境分区管控综合服务网站截图） |
| 附件： | |
| 附件 1 | 委托书 |
| 附件 2 | 射线装置使用承诺书 |
| 附件 3 | 放射性核素使用承诺书 |
| 附件 4 | 本项目屏蔽设计说明 |
| 附件 5 | 本项目辐射环境本底检测报告及检测单位资质 |

附件 6 苏州市相城人民医院辐射安全许可证及现有核技术利用项目情况
附件 7 苏州市相城人民医院场所年度检测报告
附件 8 苏州市相城人民医院辐射工作人员近 1 年个人剂量检测报告
附件 9 苏州市相城人民医院事业单位法人证书

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙级、丙级取半径 50m 的范围；放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围。

本项目为使用 V 类放射源，使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所），使用 II 类、III 类射线装置，根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，本项目评价范围分别为核医学科、直线加速器机房、CT 模拟定位机房、DSA 手术室实体屏蔽边界外 50m 以内区域。其中核医学科、直线加速器机房、CT 模拟定位机房均位于精准医疗中心楼内，故本项目核医学科、直线加速器机房、CT 模拟定位机房的评价范围保守取精准医疗中心楼的实体边界外 50m 以内区域。本项目评价范围见附图 3。

保护目标

根据医院提供的资料、现场调查及附图 2、附图 3 可知，本项目 50m 评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。

本项目环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员。本项目环境保护目标具体详见表 7-1~7-3。

表 7-1 本项目核医学科周围环境保护目标分布情况

| 名称 | 场所 | 环境保护目标 | 方位 | 距本项目最近距离 | 规模 | 环境保护要求 |
|----------------|----|--------|----|----------|----|---------------------------|
| 核医学科 辐射工作人员 | | | | | | 职业人员 年剂量约束值为 5mSv/a |
| 评价范围内公众 | | | | | | 公众年剂量 约束值为 0.1mSv/a |

| | | | | | | |
|--|----|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
| | 1# | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

表 7-2 本项目放疗科周围环境保护目标分布情况

| 名称 | 场所 | 环境保护目标 | 方位 | 距本项目最近距离 | 规模 | 受照类型 |
|-----------|----|--------|----|----------|----|---------------------------|
| 放疗科辐射工作人员 | | | | | | 职业人员 年剂量约束值为 5mSv/a |
| 评价范围内公众 | | | | | | 公众年剂量 约束值为 0.1mSv/a |

注：衰变室正下方为土层，无建筑。

表 7-3 本项目 DSA 手术室周围环境保护目标分布情况

| 名称 | 场所 | 环境保护目标 | 方位 | 距 DSA 机房最近距离 | 规模 | 受照类型 |
|---------------|----|--------|----|--------------|----|--------------------|
| DSA 手术室辐射工作人员 | | | | | | 职业人员年剂量约束值为 5mSv/a |
| 评价范围内公众 | | | | | | 公众年剂量约束值为 0.1mSv/a |

注：DSA 手术室为单层建筑，上方无建筑，下方为土层。

评价标准

1. 职业人员和公众年照射剂量限值

本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）执行，剂量限值见表 7-4：

表 7-4 照射剂量限值

| | 剂量限值 |
|----------|--|
| 职业照射剂量限值 | 工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①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； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。 |
| 公众照射剂量限值 | 实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； |

②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

2. 剂量约束值

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)

4.3.4 剂量约束和潜在照射危险约束：

4.3.4.1 除了医疗照射之外，对于一项实践中的任一特定的源，其剂量约束和潜在照射危险约束应不大于审管部门对这类源规定或认可的值，并不大于可能导致超过剂量限值和潜在照射危险限值的值；

4.3.4.2 对任何可能向环境释放放射性物质的源，剂量约束还应确保对该源历年释放的累积效应加以限制，使得在考虑了所有其他有关实践和源可能造成的释放累积和照射之后，任何公众成员（包括其后代）在任何一年里所受到的有效剂量均不超过相应的剂量限值。本项目职业人员按年有效剂量的 1/4 取值，公众按照年有效剂量的 1/10 取值。

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

“4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过5mSv/a；4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a”。

(3) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：“a) 一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为5 mSv/a。b) 公众照射的剂量约束值不超过0.1 mSv/a”。

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)，确定本项目剂量约束值如下：

职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv。

3. 周围剂量当量率参考控制水平

(1) 《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2.5μSv/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小于10μSv/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2.5μSv/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25μSv/h；

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝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30 cm处的周围剂量当量率小于2.5 μ Sv/h。

(2) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）

二、关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第6.1.5节规定，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30cm处的周围剂量当量率应小于2.5 μ Sv/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小于10 μ Sv/h。本条规定的具体含义为：

1.控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），周围剂量当量率应小于2.5 μ Sv/h。

2.控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于10 μ Sv/h。

(3) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面30 cm处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面30 cm处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列1)和2)所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录A选取），由以下周剂量参考控制水平（ \dot{H}_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ μ Sv/h）：

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

2) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ （ μ Sv/h）：

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量250 μ Sv加以控

制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面30cm处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

(4) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；测量时，X射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

b) CT机、乳腺摄影、乳腺CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔CBCT和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

综合考虑《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020），**确定本项目周围剂量当量率参考控制水平如下：**

①核医学科控制区内房间防护门、观察窗、注射窗、墙体、顶部外人员可达处表面30cm处以及楼下地面170cm处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ；通风橱外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ；衰变室表面30cm处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

②DSA手术室、CT模拟定位机房四周墙体、防护门、观察窗、顶部外表面30cm处以及底部下方人员可达处辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

③直线加速器机房周围关注点剂量率参考控制水平见表 7-5，直线加速器机房周围关注点设置见图 7-1。

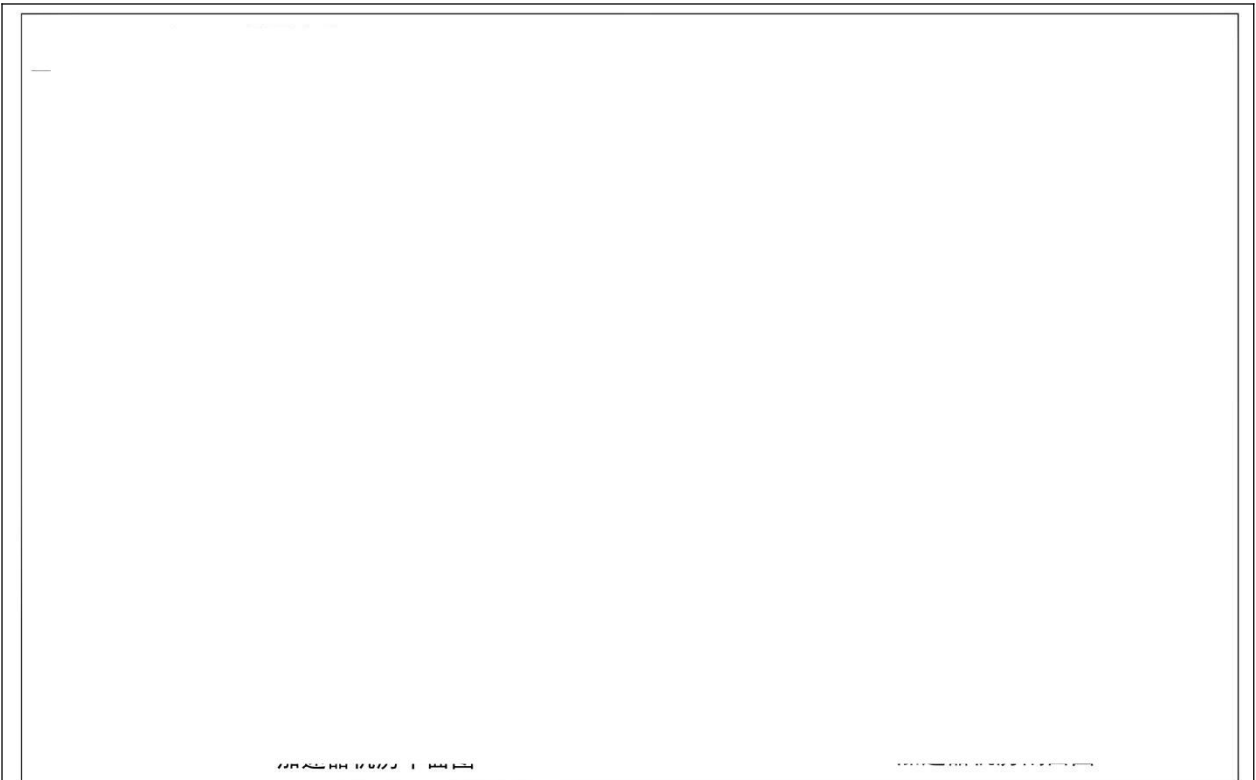


图 7-1 直线加速器机房关注点位示意图

表 7-5 直线加速器机房周围关注点剂量率参考控制水平

| 位置 | 对应场所 | 周剂量参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$) | 周工作时间 t (h) | 使用因子 U | 居留因子 T | 剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | | |
|--|-----------------|--|------------------|-------------|-------------|--|-------------------|-------------|
| | | | | | | $\dot{H}_{c,d}$ | $\dot{H}_{c,max}$ | \dot{H}_c |
| 南墙主屏蔽 (a 点) | 暂存 1 | 5 | 20 | 1/4 | 1/20 | 20 | 10 | 10 |
| 南墙次屏蔽 (c ₁ 点) | 水冷机房 | 100 | | 1 | 1/16 | 80 | 10 | 10 |
| 南墙次屏蔽 (c ₂ 点) | 暂存 2 | 5 | | 1 | 1/20 | 5 | 10 | 5 |
| 北墙主屏蔽 (b 点) | 地下车库 | 5 | | 1/4 | 1/40 | 40 | 10 | 10 |
| 北墙次屏蔽 (d ₁ 和 d ₂ 点) | | 5 | | 1 | 1/40 | 10 | 10 | 10 |
| 西墙屏蔽 (e ₁ 点) | 病患梯及患者走道 | 5 | | 1 | 1/20 | 5 | 10 | 5 |
| 西墙屏蔽 (e ₂ 点) | 控制室 | 100 | | 1 | 1 | 5 | 2.5 | 2.5 |
| 东侧迷道外墙 (f 点) | 患者走道 | 5 | | 1 | 1/20 | 5 | 10 | 5 |
| 东侧迷道外墙 (k 点) | 患者走道/ 库房 | 5 | | 1 | 1/20 | 5 | 10 | 5 |
| 顶部主屏蔽 (l 点) | SPECT- CT 诊断 | 5 | | 1/4 | 1/2 | 2 | 10 | 2 |

| | | | | | | | |
|---|------|---|---|-----|-----|----|-----|
| 屋顶次屏蔽 (m ₁ 和m ₂ 点) | 区 | 5 | 1 | 1/2 | 0.5 | 10 | 0.5 |
| 防护门(g点) | 患者准备 | 5 | 1 | 1/8 | 2 | 10 | 2 |

注：①居留因子取《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)中表 A.1 中值；

②北墙外为土层，故北墙外关注点取北墙土层外地下车库。

4. 表面污染控制水平

本项目核医学科表面污染控制水平执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中工作场所放射性表面污染控制水平，详见表7-6。

表 7-6 工作场所放射性表面污染控制水平 (单位: Bq/cm²)

| 表面类型 | | α放射性物质 | | β放射性物质 |
|--------------|------------------|--------|------|--------|
| | | 极毒性 | 其他 | |
| 工作台、设备、墙壁、地面 | 控制区 ^a | 4 | 40 | 40 |
| | 监督区 | 0.4 | 4 | 4 |
| 工作服、手套、工作鞋 | 控制区 | 0.4 | 0.4 | 4 |
| | 监督区 | | | |
| 手、皮肤、内衣、工作袜 | | 0.04 | 0.04 | 0.4 |

^a 该区内的高污染子区除外

5. 辐射环境质量现状监测评价参考值

《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》(辐射防护第13卷第2期, 1993年3月), 江苏省环境监测站。

表 7-7 江苏省环境天然γ辐射剂量率调查结果 单位: nGy/h

| 类别 | 原野 | 道路 | 室内 |
|--------|-----------|------------|------------|
| 测值范围 | 33.1~72.6 | 18.1~102.3 | 50.7~129.4 |
| 均值 | 50.4 | 47.1 | 89.2 |
| 标准差(s) | 7.0 | 12.3 | 14.0 |

注: 1.测量值已扣除宇宙射线响应值;

2.现状评价时, 以测值范围作为参考值。

6. 参考资料

(1) 《辐射防护导论》, 方杰主编

(2) 《辐射防护手册》(第一分册), 李德平 潘自强 主编

表 8 环境质量和辐射现状

一、环境质量和辐射现状

1. 医院位置

苏州市相城人民医院位于江苏省苏州市相城区华元路 1060 号。医院东侧为采莲路，南侧为华元路，西侧为河道，北侧为惠民路。

2. 精准医疗中心位置

本项目精准医疗中心拟建于医院东北部，精准医疗中心包括核医学科和放疗科。其东侧为院内道路、采莲路；南侧为院内道路和停车场一，西侧为院内道路、1#门诊、住院楼、医院地下车库，北侧为院内道路、停车场二、医院地下车库。

3. DSA 手术室项目位置

DSA 手术室为 1#门诊、住院楼原预防保健科改造，为单层建筑，其东侧为 DSA 手术室配套用房及 1#门诊、住院楼，南侧为 DSA 手术室配套用房、1#门诊、住院楼、院内道路、小游园，西侧为 DSA 手术室配套用房、院内道路、3#高压氧舱、2#食堂，北侧为 DSA 手术室配套用房、1#门诊、住院楼、院内道路、4#二期住院大楼，楼上无建筑，楼下为土层。医院及本项目拟建址周围环境现状见图 8-1。



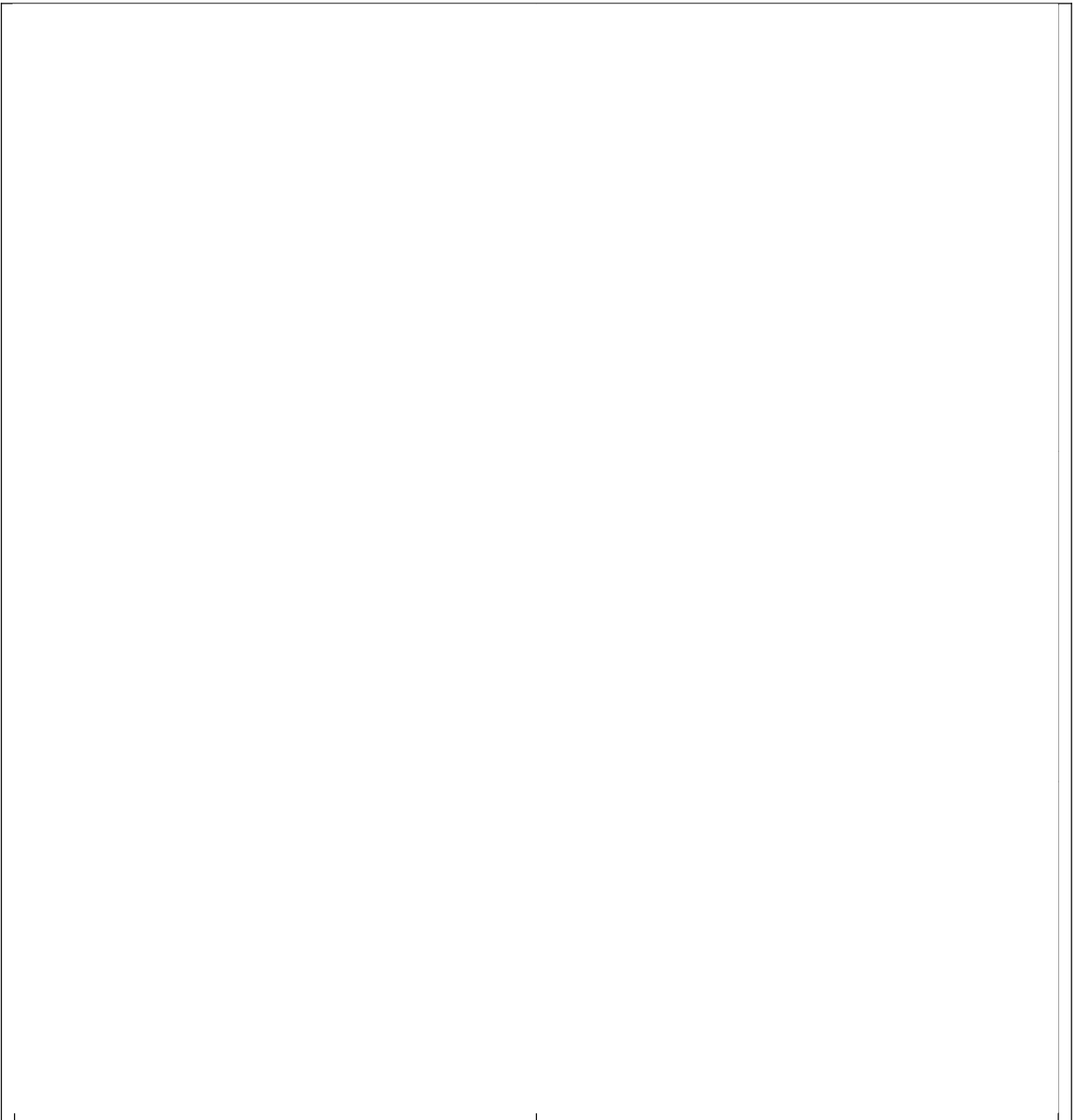


图 8-1 医院及项目拟建址周围环境现状图

二、环境现状检测

本项目运行期间主要的环境污染物为放射性核素、放射源产生的 γ 射线、 β 射线和 β 表面污染以及射线装置开机时产生的 X 射线等电离辐射污染。项目在进行现状调查时，主要调查核医学科和放疗科所在精准医疗中心拟建址及周围环境的 γ 辐射剂量率和 β 表面污染水平以及 DSA 手术室拟建址及周围环境的 γ 辐射剂量率。

1. 检测因子、检测方法

检测因子： X - γ 辐射剂量率、 β 表面沾污检测

检测方法：按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《表面污染测定 第1部分： β 发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{ MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）中的要求进行检测，每组读 10 个数据，取算术平均值计算结果。

2. 检测点位布设

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）有关布点原则进行布点，在精准医疗中心拟建址、DSA 手术室拟建场址及周围环境共计布设 15 个 γ 辐射剂量率检测点位，在精准医疗中心拟建场址及周围环境共计布设 5 个 β 表面沾污检测点位，具体点位分别见图 8-2 和图 8-3。

3. 检测单位、检测时间和检测仪器

| | | |
|---------|-------------------|--------------|
| 检测单位 | 南京宁亿达环保科技有限公司 | |
| 检测时间 | 2025 年 7 月 3 日 | |
| 检测因子 | X- γ 辐射剂量率 | β 表面沾污 |
| 检测方法 | | |
| 检测仪器 | | |
| 能量响应范围 | | |
| 量程范围 | | |
| 检定单位 | | |
| 检定证书编号 | | |
| 检定有效期 | | |
| 校准参考辐射源 | ^{137}Cs | / |

4. 质量保证措施

①委托的检测机构已通过资质认定（证书编号：241012340290，证书见附件 5），具备相应的检测资质和检测能力；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；

⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查；

⑥检测报告实行三级审核。

5. 检测结果及评价

本项目拟建场址及周围环境的 γ 辐射剂量率和 β 表面污染水平检测结果见表 8-1 和

表 8-2，检测点位见图 8-2 和图 8-3，详细检测结果见附件 5。

表 8-1 本项目拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

| 序号 | 检测点位 | 测量结果 ($\mu\text{Gy/h}$) * | 备注 |
|----|------|-----------------------------|----|
| 1 | | | 原野 |
| 2 | | | 道路 |
| 3 | | | 道路 |
| 4 | | | 道路 |
| 5 | | | 道路 |
| 6 | | | 道路 |
| 7 | | | 道路 |
| 8 | | | 平房 |
| 9 | | | 平房 |
| 10 | | | 平房 |
| 11 | | | 平房 |
| 12 | | | 平房 |
| 13 | | | 道路 |
| 14 | | | 道路 |
| 15 | | | 道路 |

注：测量结果已扣除仪器宇宙射线响应值（ $0.010\mu\text{Gy/h}$ ），并对宇宙射线响应值进行建筑物修正（其中平房取 0.9，道路、原野取 1）；仪器使用 ^{137}Cs 作为检定辐射源，换算系数取 1.20 Sv/Gy 。

表 8-2 本项目核医学科拟建址及周围环境 β 表面沾污检测结果

| 序号 | 检测点位 | 检测结果 (Bq/cm^2) | 备注 |
|----|------|---------------------------|----------|
| 1 | | | 本底 检测 |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |

注：仪器探测下限为 0.07Bq/cm^2 。

根据表8-1可知，本项目拟建址及周围环境辐射水平在（ $0.069\sim 0.130$ ） $\mu\text{Gy/h}$ 范围内。

其中道路环境辐射水平为 $69\text{nGy/h}\sim 102\text{nGy/h}$ ，处于江苏省道路环境天然 γ 辐射水平测量范围内；室内环境辐射水平为 $122\text{nGy/h}\sim 130\text{nGy/h}$ ，基本处于江苏省室内环境天然 γ 辐射水平测量范围内；原野环境辐射水平为 72nGy/h ，处于江苏省原野环境天然 γ 辐射水平测量范围内。

根据表8-2可知，本项目核医学科拟建址及周围环境未检出 β 表面污染。

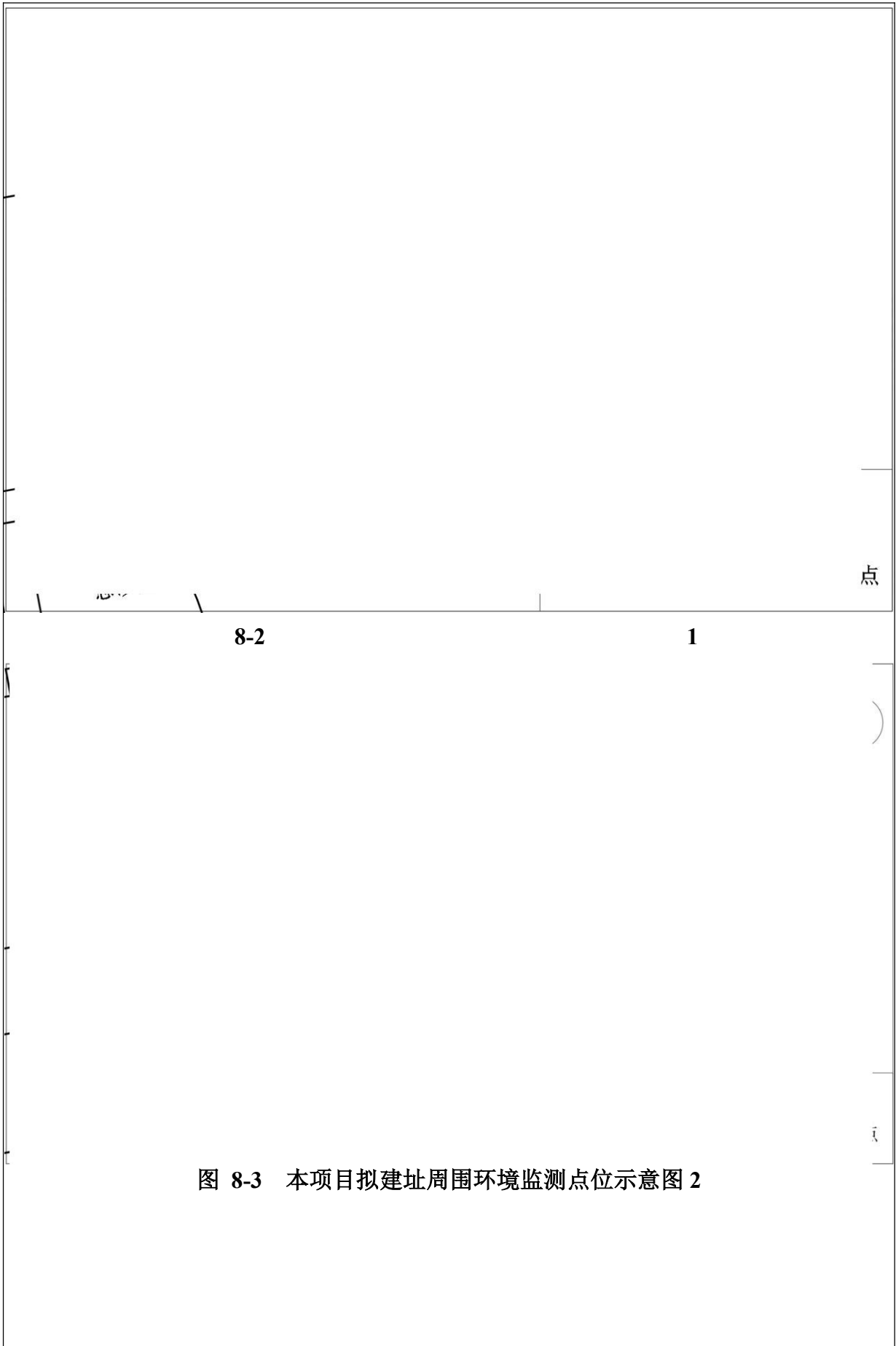


表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、核医学科

(一) 工程设备

1. SPECT/CT

SPECT/CT 是单光子发射计算机断层成像技术的英文缩写 (Single-Photon Emission Computed Tomography)，是一种进行功能代谢显像的分子影像学设备，其工作原理是利用仪器探测人体内同位素的动态分布而成像，特点是可做功能、代谢方面的影像观察。SPECT/CT 不仅能显示二维平面图像，更主要的还能给出脏器的断层图像。它实际上就是一个探头可以围绕病人某一脏器进行 360°旋转的 γ 相机，在旋转时每隔一定角度 (3°或 6°) 采集一帧图片，然后经电子计算机自动处理，将图像叠加，并重建为该脏器的横断面、冠状面、矢状面或任何需要的不同方位的断层和切面图像。利用专用的核医学应用软件，对断层图像和数据做进一步的分析处理，为核医学医生提供更多更精确的信息和定量分析的数据，从而极大地提高了诊断的灵敏度和准确性，将功能代谢与解剖结构完美结合显示成像，是目前临床核医学最广泛应用的医学影像诊断设备。医院拟购的 SPECT/CT 型号未定，根据医院招标计划，医院拟购置的 SPECT/CT 的最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 800\text{mA}$ ，常见 SPECT/CT 外观示意图见图 9-1。



图 9-1 常见 SPECT/CT 外观图

2. PET/CT

PET/CT 全称为正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是将 PET 与 CT 融为一体，由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息，而 CT 提供病灶的精确解剖定

位，一次显像可获得全身各方位的断层图像，具有灵敏、准确、特异及定位精确等特点，可一目了然的了解全身整体状况，达到早期发现病灶和诊断疾病的目的。

PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。许多块结构组成一个环，再由数十个环构成整个探测器。

CT 主要由扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。医院拟购的 PET/CT 型号未定，根据医院招标计划，医院拟购置的 PET/CT 的最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 800\text{mA}$ ，常见 PET/CT 外观示意图见图 9-2。



图 9-2 常见 PET/CT 外观图

(二) 工作原理、工作流程及产污环节

1. SPECT/CT 显像检查

(1) 工作原理

SPECT 显像原理是利用引入人体内的放射性核素发出的 γ 射线经碘化钠晶体产生闪光，闪烁光子再与光电倍增管的光阴极发生相互作用，产生光电效应。光电效应产生的光电子经光电倍增管的打拿极倍增放大后在光阳极形成电脉冲，其经过放大器放大成形，再经过位置计算电路形成 X、Y 位置信号。各个光电倍增管输出信号之和为能量信号 Z。X、Y 信号经处理后加入显示器偏转极，Z 信号加入启辉极，从而在荧光屏上形成闪烁影像。利用滤波反投影方法，借助计算机处理系统可以从一系列投影影像重建横向断层影像，由横向断层影像的三维信息再经影像重建组合获得矢状、冠状断层或任意斜位方向的断层影像。

本项目 SPECT/CT 使用含放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{111}In 、 ^{123}I 的药物进行显像，本项目所使用的核素均为外购。

(2) 工作流程及产污环节分析

本项目 SPECT/CT 显像检查流程如下：

①在核医学科开诊之前，供货商将分装好的成品药剂运至医院，由核医学科专职工作人员接收，暂存在注射分装室的 SPECT 手套箱内，医院订购的药物到货时均为分装好的针剂，无需分装；

②患者在候诊厅候诊时，在诊室进行问诊、称重、预埋留置针等相关准备工作，医生告知患者检查需要注意的事项等；

③患者在等候大厅候诊，经语音呼叫后，到注射窗口注射放射性药物。工作人员手持带铅防护套的一次性注射器，在注射窗口为患者注射。注射完毕后的一次性注射器等沾有放射性核素的固体废物放入分装室内的专用废物铅桶内，注射器铅防护套回收重复利用。每次注射过程中近距离接触药物的时间保守按 1min 估算；

④注射药物后的患者在 SPECT 注射后候诊室内候诊约 30min，待药物代谢至靶器官。部分患者可能需要在运动负荷室内加强运动，使心率达到一定水平，促使药物代谢至靶器官；

⑤药物代谢至靶器官的患者，进入 SPECT/CT 扫描室，经医护人员通过对讲装置指导摆位或现场指导摆位（每位患者现场摆位时间约 1min），开始 SPECT/CT 扫描检查，每次扫描约 15~30min，得到最终的 SPECT/CT 扫描图像；

⑥扫描完成后，患者进入 SPECT 留观室留观约 20~30min，无碍后从核医学科专用电梯离开。

本项目 SPECT/CT 显像检查具体工艺流程及产污环节见图 9-3。

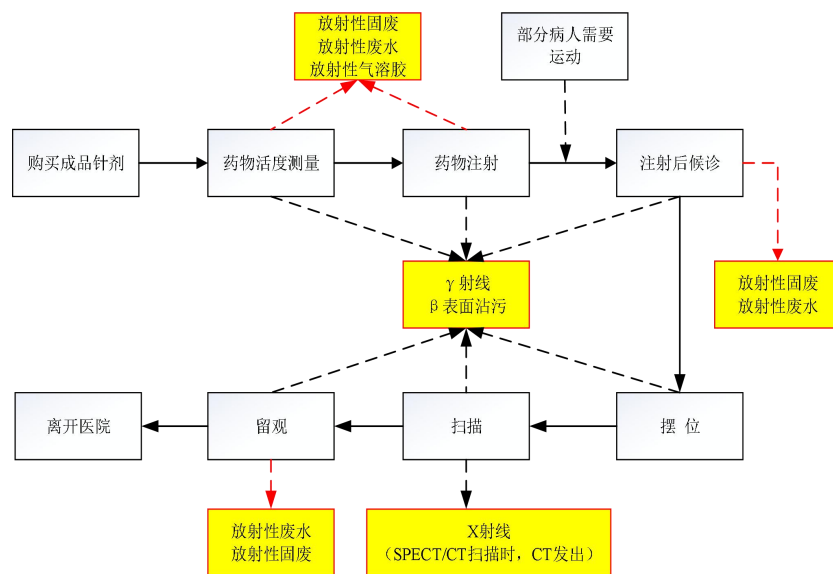


图 9-3 SPECT/CT 显像检查具体工艺流程及产污环节示意图

因此，SPECT 显像主要环境影响为：

活度测量、注射对工作人员产生的外照射；对工作台面、地面等造成的表面污染；测量、注射过程中产生的放射性废气、放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等；工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洗废水。

患者候诊及留观过程中产生的放射性废水，如注射放射性药物患者的排泄物和冲洗水、擦拭废纸、对地面造成的表面污染以及病人带有的 γ 射线。

SPECT/CT 扫描时产生的 X 射线。

2. PET/CT 显像检查

（1）工作原理

PET/CT 是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，借此诊断疾病，又称为生化显像或功能分子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床使用价值。

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒子，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的 γ 光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接收到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头连线之间。通过环绕 360° 排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线之间的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实际中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

本项目 PET/CT 使用含放射性同位素 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 的药物进行显像，所使用的核素均为外购。

（2） 工作流程及产污环节分析

PET/CT 配套校准源校准流程如下：

PET/CT 配备 2 枚 1.11×10^8 Bq ^{68}Ge 校准源， ^{68}Ge 衰变模式为电子俘获（EC），产生 β 射线。 ^{68}Ge 与其衰变产物 ^{68}Ga 通过正电子衰变保持平衡，同时 ^{68}Ga 也通过发射电子产生能量为 1.9MeV 的 β 射线和 0.511MeV 的 γ 射线。

①校准源操作流程

将 ^{68}Ge 校准源放置在病床上，进行放射源透射的质量控制，校准完成后将源卸下，置于专用铅罐中放入储源间保险柜保存。

②污染因子

^{68}Ge 校准源衰变放出 β 射线和 γ 射线，同时也会产生退役校准源。

本项目 PET/CT 显像检查流程如下：

①在科室开诊之前，供货商将药物运至医院，由核医学科专职人员接收，暂存在 PET 分装注射室的手套箱内；

②患者在等候大厅候诊时，在诊室进行问诊、称重、测血糖、预埋留置针等相关准备工作，医生告知患者检查需要注意的事项等；

③医院订购的正电子药物一般为成罐药剂，工作人员先在手套箱内进行药物分装及活度测量，医护人员在铅手套箱内根据患者用药情况将药物进行分装至带铅套的注射器内；每次分装保守按 1min 估算。建议医院在 PET 手套箱内配备自动分装装置，可减少药物操作人员的受照剂量。

④经语音呼叫后，病人经电梯到达 2 楼 PET 诊断区的注射窗口，工作人员在注射窗口为患者注射药物；

⑤注射药物后的患者进入 PET 注射后候诊室进行候诊；

⑥候诊约 30~40min，待药物代谢至靶器官后进入 PET/CT 扫描室，经医护人员指导摆位后进行扫描（每位患者现场摆位时间约 1min），单次扫描用时约 20~30min；

⑦扫描完成后，患者到 PET 留观室留观，留观约 20~30min，无碍后从核医学科专用电梯离开。

本项目 PET/CT 显像检查具体工艺流程及产污环节见图 9-4。

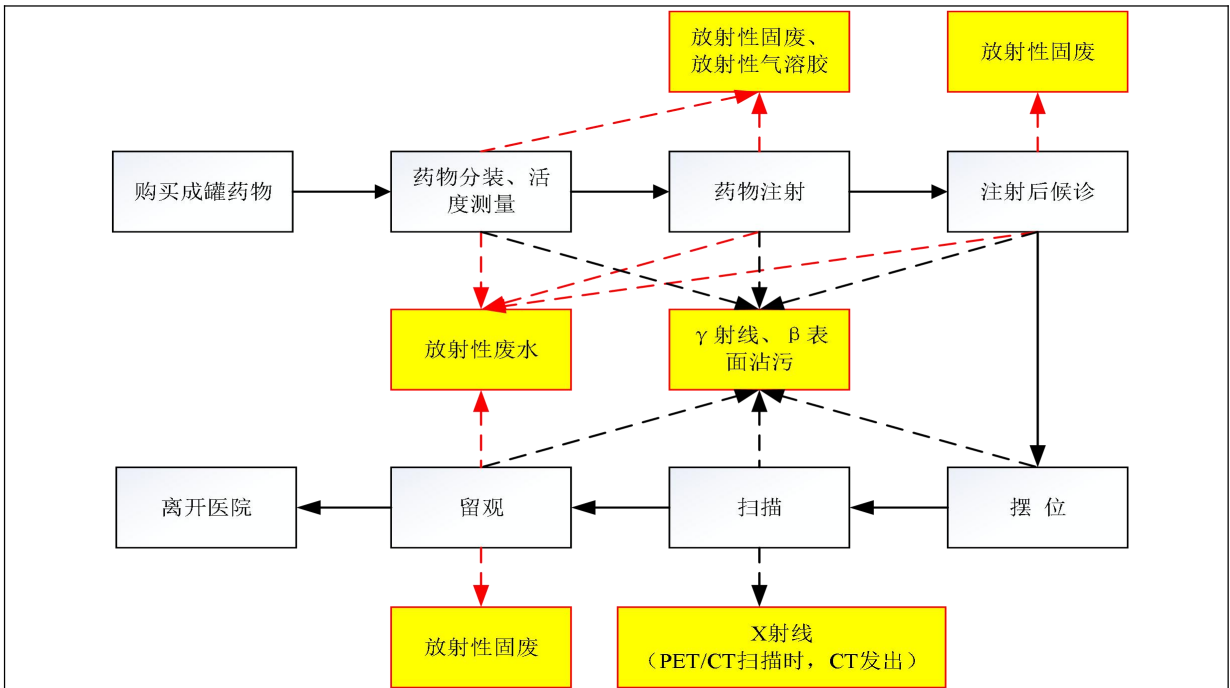


图 9-4 PET/CT 显像检查具体工艺流程及产污环节示意图

因此，PET 显像主要环境影响为：

分装、注射对工作人员产生的外照射；对工作台面、地面等造成的表面污染；分装、注射过程中产生的放射性废气、放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洗废水。

患者候诊及留观过程中产生的放射性废水，如注射放射性药物患者的排泄物和冲洗水、擦拭废纸、对地面造成的表面污染以及病人带有的 γ 射线。

PET/CT 扫描时产生的 X 射线。

3. 甲癌和甲亢治疗

(1) 工作原理

甲状腺是人体最大的内分泌腺，甲状腺控制使用能量的速度、制造蛋白质、调节身体对其他荷尔蒙的敏感性。甲状腺细胞从海带等产品中摄取碘来合成甲状腺激素。甲亢是甲状腺功能亢进的简称，它是由于人体内甲状腺激素的含量过高，而导致的以人体代谢率增高和交感神经兴奋性增强为主要特征的一种病症。甲状腺癌则是原发在甲状腺的癌症，属于甲状腺恶性肿瘤当中最常见的一个类型，甲状腺癌的病理类型主要可以分为乳头状腺癌、滤泡状腺癌、未分化癌和髓样癌。

甲状腺细胞对碘化物具有特殊的亲和力，正常的甲状腺细胞和甲状腺癌细胞具有同样的性质，服用含有放射性碘的溶液，口服的 ^{131}I 药剂大都被甲状腺细胞或甲状腺癌

细胞摄取聚集在甲状腺内， ^{131}I 衰变时能放射出 β 射线（占 99%）和 γ 射线（占 1%）。 β 射线在组织内有效射程仅 0.5~2 毫米，因此 β 粒子的能量几乎全部释放在甲状腺组织内，选择性地破坏甲状腺腺泡上皮而不影响邻近组织。甲状腺组织能受到长时间的集中照射，其腺体被破坏后逐渐坏死，代之以无功能的结缔组织，从而降低甲状腺的分泌功能，使甲亢得以治愈，达到类似甲状腺次全切除术的目的。

分化型甲状腺癌患者，手术切除癌变甲状腺组织后，同样可用 ^{131}I 去除残留的甲状腺组织，或者利用 ^{131}I 显像发现分化型甲状腺癌的转移灶，对其复发或者转移进行诊断。

（2）工作流程及产污环节分析

患者在甲亢和甲癌治疗前需进行吸碘率测定，医护人员在一楼 SPECT 手套箱中分装出微量的放射性药物（约 $10\mu\text{Ci}$ ），提前进行人工稀释后转移至甲测室，患者服药后分别于 2h、4h、24h 后返回医院甲测室进行吸碘率测试。根据吸碘率测试结果核算患者用药量，并根据患者用药量向厂家订购药品。

甲亢治疗用 ^{131}I 由专业供货商按需分装好后送至医院核医学科；甲癌治疗用 ^{131}I 药物由专业供货商每周按需供货一次，由核医学科专人接收、登记，分别暂存在 SPECT 诊断区的手套箱和甲癌分装室的全自动分装给药仪中。

1) 甲癌治疗工艺流程及产污环节

①医院在每周的周一上午，集中预约患者来院服药进行甲癌治疗；

②服药前，医护人员核对患者姓名、服药量等信息后，工作人员在分装控制室通过电脑控制全自动分装仪自动分装药物，并通过监控和语音系统指导患者服药；

③患者服药后将一次性纸杯、擦拭纸放入服药窗口旁的废物铅桶内，然后进入各自病房，住院观察治疗。

④甲癌患者出院前，使用测量体内活度的设备或测量周围剂量当量率的仪器对患者进行监测，待患者体内的放射性活度降至 400MBq 或距离患者体表 1 m 处的周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 后，方可出院。

由于甲癌患者的甲状腺已全部切除，其对碘的摄取量非常少，在核素衰变、大小便及汗液排出的同时作用下，约住院 5 天后体内的 ^{131}I 药物活度将小于 400MBq 。 ^{131}I 甲癌治疗具体工艺流程及产污环节见图 9-5。

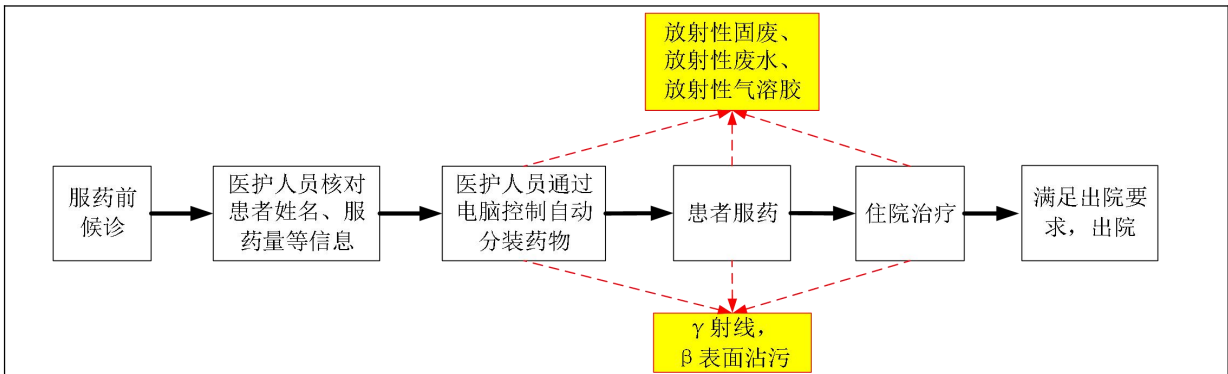


图 9-5 ¹³¹I 甲癌治疗具体工艺流程及产污环节示意图

2) 甲亢治疗工艺流程及产污环节

①在核医学科开诊之前，供货商将分装好的成品药剂运至医院，由核医学科专职工作人员接收，暂存在 SPECT 手套箱内；

②服药前，医护人员核对患者姓名、服药量等信息后，告知病人需要注意的事项；

③工作人员通过服药窗口给药，并指导患者服药；

④患者服药后将试剂瓶、擦拭纸放入废物铅桶内，然后直接离开医院。

¹³¹I 甲亢治疗具体工艺流程及产污环节见图 9-6。

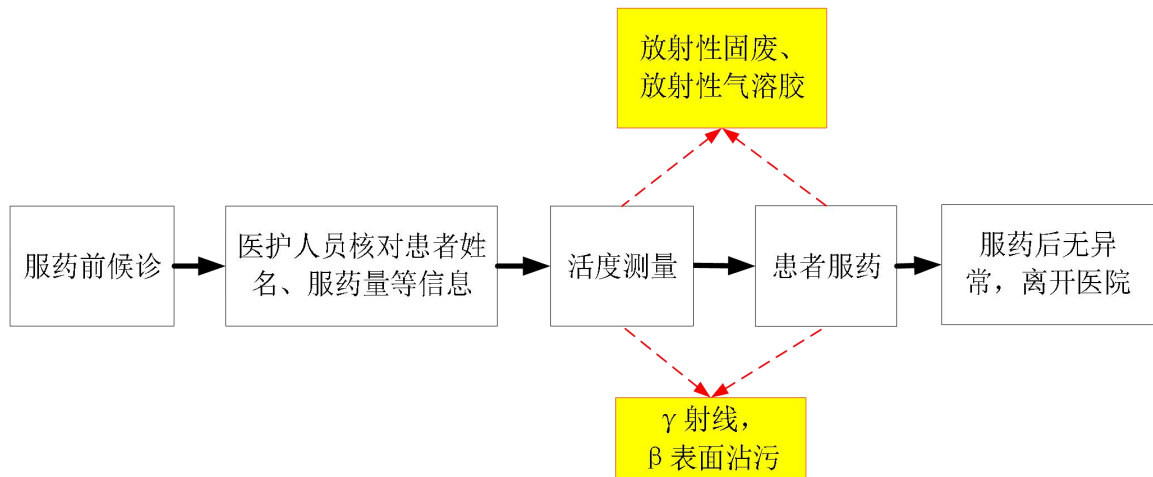


图 9-6 ¹³¹I 甲亢治疗具体工艺流程及产污环节示意图

因此，甲亢和甲亢核素治疗主要环境影响为：

操作过程中对工作人员产生的外照射；对工作台面、地面等造成的表面污染；分装、服药过程中产生的放射性废气、放射性固体废物，如试剂瓶、可能沾染放射性药物的服药杯、棉签、手套、口罩、污染擦拭等放射性固体废物。

患者住院过程中产生的放射性废水，如注射放射性药物患者的排泄物和冲洗水、

擦拭废纸、对地面造成的表面污染以及病人带有的 γ 射线。

(三) 人流、物流路径规划

1. SPECT 诊断区

甲亢患者服药依托 SPECT 诊断区，与 SPECT 诊断患者错峰进行，在 SPECT 患者诊断前集中进行甲亢服药，服药后无需留观，直接离开。

(1) 医护人员路径

操作技师路径：经精准医疗中心 1 楼医护入口进入，经医护门厅直接进入控制廊，在操作位进行设备的操作以及病人的摆位等工作；工作结束后，原路返回离开。

核素操作人员路径：经核医学科等候大厅进入卫生通过间，更衣后进入注射分装室，进行药物的测定、注射等工作；工作结束后，在卫生通过间进行表面沾污检测，若检测合格，直接更衣后离开，若其污染水平超过 GB18871-2002 规定值，则将被污染的工作服等防护用品脱下放入衣物篮并在淋浴间冲洗，直至检测合格，方可离开。

(2) 患者路径

患者首先在等候大厅等待，候诊时在诊室进行称重、问诊、预埋留置针等相关准备工作，准备工作完毕后进入 SPECT 诊断区。

SPECT/CT 诊断患者路径：在 SPECT 注射窗口注射药物，注射后需要进行运动的患者在运动负荷室加强运动一段时间后进入 SPECT 注射后候诊室候诊，待放射性药物代谢到相应的靶器官后，到 SPECT/CT 扫描室进行扫描，扫描完毕后再到 SPECT 留观室留观，在留观室留观约半小时后从患者出口离开。

甲亢患者路径：患者在服药窗口服药后，无需留观直接从患者出口离开。

(3) 放射性药物路径

进药时间与就诊时间错开，本项目订购 SPECT 诊断药物和甲亢治疗药物均为成品，由供货商每天在核医学科开诊之前送至医院核医学科，经核医学科工作人员刷卡后从核医学科出口处进入 SPECT 诊断区，然后经走廊将药物送至 SPECT 手套箱内，并由核医学科工作人员进行检查、登记等做好接收工作。

(4) 放射性固体废物路径

本项目 SPECT 诊断区产生的放射性固体废物先放在各房间的废物铅桶内，下班后再分类收集（SPECT 诊断产生的放射性固体废物集中收集，含有 ^{131}I 的放射性固体废物单独收集），放置在 SPECT 诊断场所的废物间，SPECT 诊断产生的放射性固体废物自然衰变至少 30 天后，甲亢服药产生的放射性固废单独收集，放置在废物间内，暂

存至少 180 天，并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，从患者出口运至医院医疗废物处理站，作为医疗废物处理。SPECT 诊断区人流、物流路径图见附图 6-1。

2. PET 诊断区

(1) 医护人员路径

操作技师路径：经医护入口进入核医学科，乘病患梯/楼梯到达 2 楼，直接进入控制廊，在操作位进行设备的操作以及在扫描室为病人摆位等工作；工作结束后，原路返回离开。

核素操作人员路径：经医护入口进入核医学科，乘病患梯/楼梯到达 2 楼，进入卫生通过间，经更衣后进入 PET 注射分装室，进行药物的分装、测定、注射等工作；工作结束后，在卫生通过间进行表面沾污检测，若检测合格，直接更衣后离开，若其污染水平超过 GB18871-2002 规定值，则将被污染的工作服等防护用品脱下放入衣物篮并在淋浴间冲洗，直至检测合格，方可离开。

(2) 患者路径

患者首先在等候大厅等待，候诊时在诊室进行称重、测血糖、问诊、预埋留置针等相关准备工作，准备工作完毕后乘病患梯到达 2 楼 PET 诊断区。

PET 诊断患者路径：在 PET 注射窗口注射药物，注射完毕后到 PET 注射后候诊室，待放射性药物代谢到相应的靶器官后，到 PET/CT 扫描室进行扫描，扫描完毕后再到 PET 留观室留观，留观后乘坐病患梯到达 1 楼从患者出口离开。

(3) 放射性药物路径

进药时间与就诊时间错开，本项目订购的 ^{18}F 放射性药物一般为成罐药剂、其他放射性药物为成品针剂，由供货商每天在核医学科开诊之前送至医院核医学科，经核医学科工作人员刷卡后从核医学科出口处进入，通过核医学科专用电梯进入 2 楼 PET 诊断区内，然后经走廊将药物送至 PET 手套箱，并由核医学科工作人员进行检查、登记等做好接收工作。

(4) 放射性固体废物路径

本项目 PET 诊断区各房间产生的放射性固体废物先放在各房间的废物铅桶内，下班后再集中收集，放置在 PET 诊断区的废物间，暂存至少 30 天，并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，从患者出口运至医院医疗废物处理站，作为医疗废物处理。PET 诊断区人流、物流路径图见附图 6-2。

3. 甲癌治疗区

(1) 医护人员路径

正常工作时，医护人员经精准医疗中心病患电梯/楼梯进入3楼甲癌治疗区的给药控制室，通过电脑叫号，并远程控制全自动分装仪分装药物，通过语音视频监控系统指导患者服药，无需进入控制区。

工作人员需进入控制区时，从卫生通过间经给药分装室进入，工作结束后，原路返回，如遇病人抢救，医护人员从给药分装室进入，将抢救器材推入病房内就地抢救。抢救完成后，在卫生通过间进行表面沾污检测，若检测合格，直接更衣后离开，若其污染水平超过GB18871-2002规定值，则将被污染的工作服等防护用品脱下放入衣物篮并在淋浴间冲洗，直至检测合格，方可离开。

(2) 患者路径

患者首先在等候大厅等待，候诊时在诊室进行称重、问诊等相关准备工作，准备工作完毕后乘病患梯到达3楼甲癌治疗区。

甲癌患者路径：经缓冲间到达给药窗口，根据医生语音指导服药，服药后进入各自病房住院治疗，满足出院要求后，乘坐病患梯到达1楼从患者专用出口离开。

(3) 放射性药物路径

进药时间与就诊时间错开，本项目订购的甲癌用 ^{131}I 药物由供货商每天在核医学科开诊之前送至医院核医学科，经核医学科工作人员刷卡后从核医学科出口处进入，通过核医学科专用电梯进入3楼甲癌治疗区内，然后经3楼走廊将药物送入分装室的全自动分装仪内，并由核医学科工作人员进行检查、登记等做好接收工作。

(4) 放射性固体废物路径

本项目甲癌治疗区各房间产生的放射性固体废物先放在各房间的废物铅桶内，病人出院后集中收集，放置在甲癌治疗区的废物间内，自然衰变至少180天后，并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，从患者出口运至医院医疗废物处理站，作为医疗废物处理。

(5) 送餐路径

医护人员将餐车从配餐间推入，经传递窗送入，并语音通知患者领餐，患者领餐后，可自行对饭菜进行加热。饮水间用于病人接水及加热饭菜。甲癌治疗区人流、物流路径图见附图6-3。

二、放疗科

(一) 工程设备

1. 直线加速器

医用直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。其主要由机架组件、照射头、加速管、微波功率源、微波传输系统、电子枪、束流系统、真空系统、恒温水冷却系统、电源及控制系统、治疗床等组成。

①加速管

加速管是医用电子直线加速器的核心部分，电子在加速管内通过微波电场加速。加速管主要有两种基本结构——盘荷波导加速管和边耦合加速管。

②微波功率源

微波功率源有两种，磁控管和速调管，行波医用电子直线加速器和低能医用电子直线加速器使用磁控管作为微波功率源，中高能驻波医用电子直线加速器使用速调管作为功率源。

③微波传输系统

微波传输系统主要包括隔离器、波导窗、波导、取样波导、输入输出耦合器、三端或四端环流器、终端吸收负载、频率自动稳频等组成。

④电子枪

电子枪为医用电子直线加速器提供被加速的电子，行波医用电子直线加速器的电子枪的阴极采用钨或钍钨制成，有直热式，间接式和轰击式三种加热方式，驻波医用电子直线加速器的电子枪由氧化物制成。

⑤束流系统

束流系统由偏转线圈、聚焦线圈等组成，可控制束流的方向，提高束流的品质。

⑥真空系统

真空系统为被加速的电子不因与空气中的分子相碰而损失掉提供保证，一般使用离子泵保持医用电子直线加速器的运行真空。

⑦恒温水冷却系统

恒温水冷却系统带走微波源等发热部件产生的热量，为保证整个系统恒温，恒温水冷却系统需要一定的水流压力和流量。

⑧机架组件、照射头、电源及控制系统、治疗床属于应用部分。

常见直线加速器外观见图 9-7，典型医用直线加速器示意图及内部结构图分别见

图 9-8 和图 9-9。

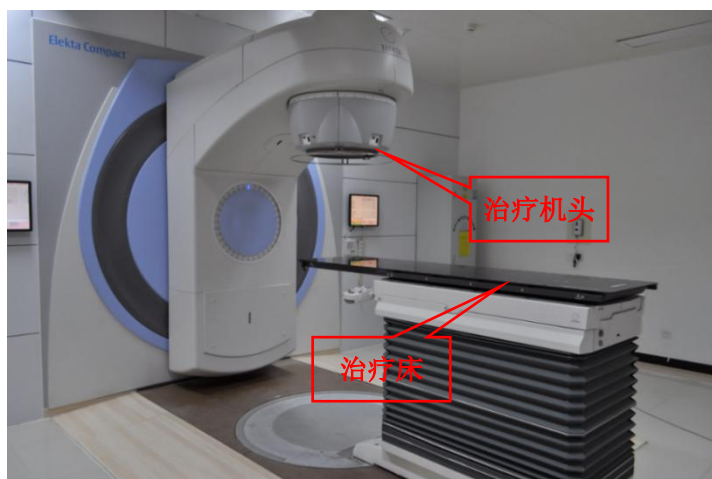


图9-7 常见直线加速器外观示意图

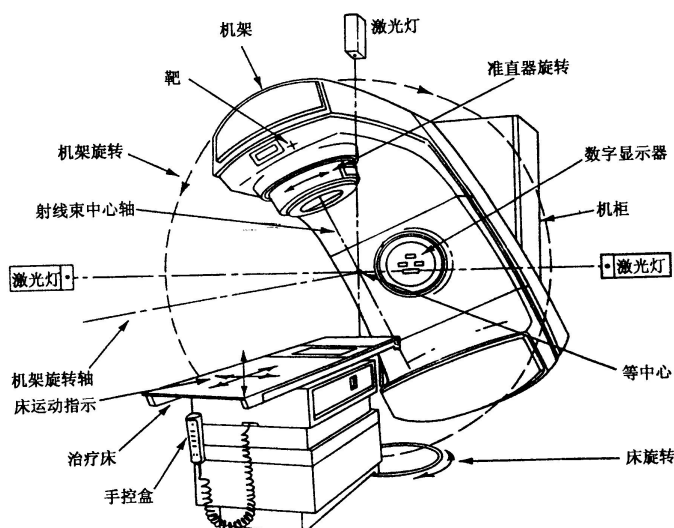


图 9-8 典型医用直线加速器示意图

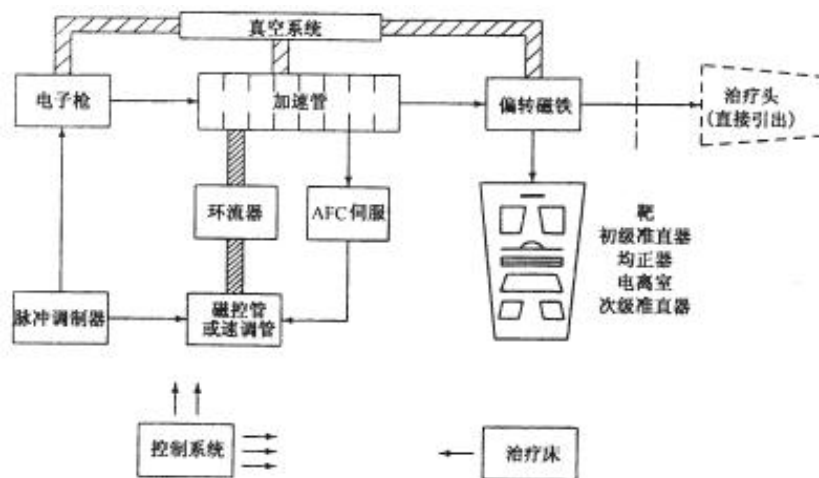


图 9-9 典型医用直线加速器结构图

医院拟购的直线加速器型号未定，根据医院招标计划，医院拟购的直线加速器主

要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目直线加速器技术参数一览表

| 项目 | 参数 | |
|--------------|----|-----|
| 设备型号 | | |
| 加速器粒子 | | |
| 能量 | | |
| 距靶 1m 处最大剂量率 | X | min |
| 泄漏 X 射线 | | , |
| 最大照射野 | | |
| 最大源轴距 | | |
| 射线最大出射角 | | |
| 机架旋转 | | |
| 等中心点离地高度 | | |

2. CT 模拟定位机

模拟定位机的全称是放射治疗模拟定位机，是在肿瘤放射治疗中制订放疗计划的关键设备之一，可分为常规模拟定位机和 CT 模拟定位机两种，本项目为使用 CT 模拟定位机进行定位。其主要作用是在进行真正的放射治疗前，需要采集患者肿瘤组织和正常解剖结构等信息，以确定肿瘤范围和正常危及器官的位置，为制订放射治疗计划做准备。

CT 模拟定位机是以 CT 为基础的模拟定位系统，CT 模拟定位系统由一台 CT 扫描机、一套虚拟定位及计划系统和一套三维（或四维）移动激光射野模拟系统三部分组成。与常规模拟定位机相比，CT 模拟定位机更偏向于定位，也就是通过扫描获取 CT 影像，从而确定肿瘤组织的位置、大小以及形状等信息，根据 CT 影像进行靶区勾画（危及器官勾画）和计划设计。CT 模拟定位机外观与影像科 CT 比较像，采用滑环机架，因为机架设计上的原因，CT 模拟定位机不具备灯光野，模拟不出某一角度照射野的投影形状，故在二维放疗和电子线放疗定位时更习惯使用常规模拟定位机。因为目前放疗技术以三维适形放疗和调强放疗为主，因此 CT 模拟定位机用到的更多。

医院拟购的 CT 模拟定位机型号未定，根据医院招标计划，医院拟购置的 CT 模拟定位机最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 800\text{mA}$ 。常见 CT 模拟定位机外观见图 9-10。



图 9-10 常见 CT 模拟定位机外观图

(二) 工作原理、工作流程及产污环节

1. 工作原理

(1) 直线加速器

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。在手术前先作一段放疗使肿瘤体积缩小些，便可使原来不能手术的患者争取到手术的机会。对晚期癌症则可通过姑息性放疗达到缓解压迫、止痛等效果。放疗可分为根治性放疗和姑息性放疗两种。前者剂量较大，照射较彻底，适用于较早期及部分晚期患者，以消灭原发灶、手术后可能的残余灶以及某些转移灶。后者适用于晚期患者，多属权宜之计。根据耐受情况给予剂量，以达到改善症状，减轻痛苦、延长生命之效。个别也可达到根治的效果。

本项目拟配置的直线加速器有两种治疗模式：①电子束治疗模式，当直线加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人，电子线到达预定部位后能量迅速下降，因而能大大减少射线对病变后面正常组织的危害，特别适用于体表或靠近体表的各种肿瘤，例如，采用电子线治疗乳腺癌，肺部及心脏；②X 线治疗模式，电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

(2) CT 模拟定位机

CT 模拟定位机和常规模拟定位机的核心部件是 X 射线管，X 射线管是一个内真空的玻璃管，其中一端是作为电子源的阴极，另一端是嵌有靶材料的阳极。当两端加

有高压时，阴极的灯丝热致发射电子。由于阴极和阳极两端存在电位差，电子向阳极运动，形成静电式加速，获取能量。具有一定动能的高速运动电子，撞击靶材料，产生大量 X 射线。

模拟定位机的机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动，都与医用加速器一样，因此它能准确地模拟加速器的一切机械运动。并通过模拟定位机的 X 线影像系统准确确定出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度等中心位置等几何参数，以及机架旋转、机头旋转角度、源瘤距、源皮距、限束器开度、升床高度等机械参数，为治疗摆位提供了有力的依据，确保放射治疗的正确实施。

2. 工艺流程及产污环节分析

(1) 医用直线加速器

医用直线加速器进行肿瘤放射治疗的一般工作流程为：

①制定治疗方案

放疗前，医师集体讨论每位患者的治疗方案，根据每位患者的临床特征、病理诊断、实验室和影像检查资料、一般情况等，制定合适的个体治疗方案，确定初步的放疗原则。

②体位固定

确定初步的放疗原则后，由医生、物理师和技师根据患者具体情况选择和制作固定模具，保证每次放疗时体位的重复性，并尽量使患者感觉舒适，减少体位变动误差对精确放疗的影响。

③影像学资料的获取

体位固定完成后，要由医生和技师共同完成患者影像学资料的获取工作，即放疗定位和扫描工作。本项目采用 CT 定位扫描技术，对放疗区域行断层扫描，获取患者肿瘤及其周围器官组织详细的影像数据。CT 扫描完成后，即将影像数据传输至 TPS 计划系统，由物理师进行初步的影像数据处理。

④放疗靶区的确定

影像数据经过初步的处理后，即由医师勾画放疗靶区和要保护的重要器官组织轮廓图，放疗靶区包括 GTV（CT 显示的肿瘤轮廓）、CTV（包括 GTV 和肿瘤可能侵犯的亚临床灶）、PTV（考虑了患者器官运动和摆位误差的 CTV）。

⑤计划设计和评估优化

放疗靶区和重要器官组织轮廓勾画完成后，由物理师根据医师要求设计放疗计划。放疗计划设计完成后，要由医师和物理师进行评估优化，评估优化目标是在保证肿瘤获得足够放疗剂量的同时，尽可能控制重要器官组织的照射剂量不超过其耐受剂量，而保护重要器官组织的功能和患者生活质量。

⑥挡块制作

放疗计划完成后，技师根据照射野形状，用切割机进行泡沫切割，在切割的泡沫基础上制作出与照射野形状一致的铅挡块，目的是遮挡住要保护的重要器官组织免受照射。

⑦放疗计划验证

放疗计划验证包括三项流程：放疗中心位置验证（即复位）、射野验证和剂量验证。

放疗中心位置验证：依照计划系统给出的肿瘤中心位置，找出对应的体表标志作为放疗时摆位的依据。

射野验证：指在确定放疗中心位置后，利用模拟机拍摄 X 光片，或在直线加速器下使用电子射野验证系统（EPID）、锥形束 CT 系统进行拍摄验证片，核对中心位置、每个照射野形状、入射角度和射野大小等是否正确，可将位置误差控制在 2~3mm 以内。

剂量验证：物理师核实体内所接受的射线照射剂量与计划系统所设计的照射剂量是否一致。

⑧放疗实施

上述准备工作全部完成且核对无误，才可实施真正的放射治疗。技师先在机房内进行摆位，按照标记线摆好患者，加入挡块、楔形板等辅助器材之后就可以离开机房，关闭迷道门后进入操作室输入放射治疗参数，开启直线加速器进行出束治疗，在治疗中通过患者监视系统和对讲系统，密切监视患者体位是否移动，如果发现患者体位移动或发出求助信息，应立即停止治疗并做相应处理，纠正后再行照射。此过程会产生 X 射线、电子线和微量的臭氧、氮氧化物。

医用直线加速器放疗实施一般工艺流程及产污环节示意图 9-11。

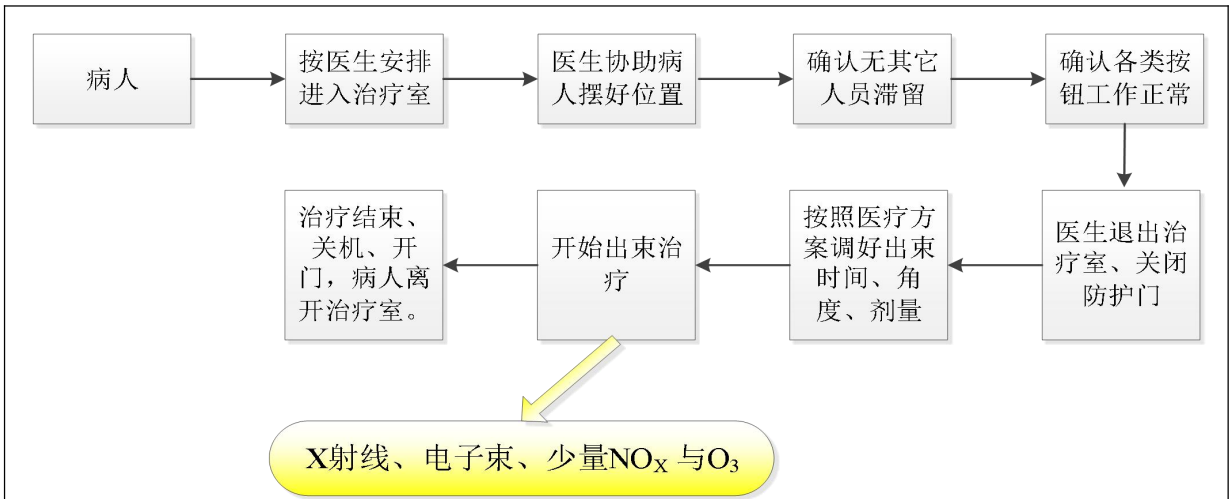


图 9-11 医用直线加速器放疗实施一般工艺流程及产污环节示意图

(2) CT 模拟定位机

模拟定位的全过程包括体位确定、固定，建立原始坐标系，图像采集、传输、重建，靶区勾画和确定，射野选择和布置，射野等中心确定并将原始坐标系原点移至等中心等一系列步骤，模拟定位的工艺流程及产污环节见图 9-12。

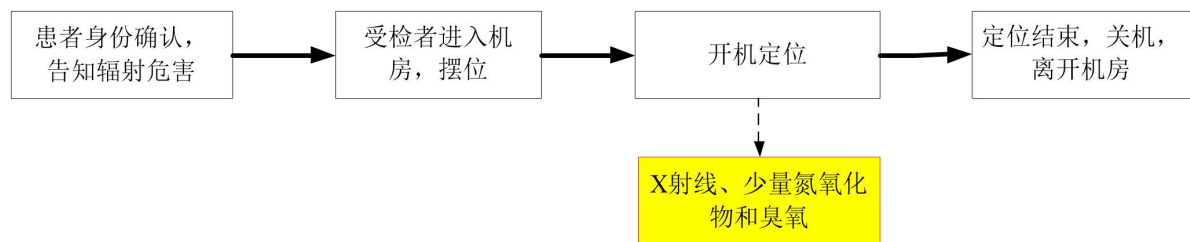


图 9-12 模拟定位一般工艺流程及产污环节示意图

三、DSA 项目

(一) 工程设备

DSA因其整体结构像大写的“C”，因此也称作C型臂X光机。DSA成像系统按功能和结构划分，主要由五部分构成：X线发生装置、影像检测和显示系统、影像处理和系统控制部分、机架系统和检查床、影像存储和传输系统。

① X线发生装置

X线发生装置主要包括X线球管、高压发生器和X线遮光器。介入治疗需要连续发射X射线，要求有较高的球管热容量和散射率，因此DSA必须具有阳极热容量在1MHU以上、具有大小焦点的X线球管。此外，还需具有一个能产生高千伏、短脉冲和恒定输出的高压发生器、X线遮光器用来限制X线照射视野，避免患者接受不必要的辐射。

② 影像检测和显示系统

影像检测和显示系统用于将X线信息影像转换成可见影像。目前数字成像系统共有两种：影像增强器和平板探测器。影像增强器接收穿过人体的X线并转换为亮度增强数千倍的输出图像后，经摄像机转换为电子图像，再经A/D转换成数字图像；而平板探测器是直接接收穿过人体的X线信息后转换成数字图像。现代大型DSA设备普遍使用平板探测器，其转换环节少，减少了噪声，使X线光子信号的损失降到了最低限度，大大提高了光电转换效率。不但保证了优质的图像质量，而且降低了射线剂量。

③ 影像处理和系统控制部分

DSA影像被数字化后，则需进行各种算术逻辑运算，并对减影的图像进行各种后处理。计算机系统是DSA的关键部件，具有快速处理能力，主要对数字影像进行对数变换处理、时间滤波处理和对比度增强处理。系统控制部分具有多种接口，用于协调X线机、机架、计算机处理器和外设联动等。

④ 机架系统和检查床

机架系统有悬吊式和落地式两种，各有利弊，可根据工作特点和机房情况选择。检查床具有手术床和透视诊断床两种功能，多采用高强度、低衰减系统的碳素纤维床面，减少对X线的吸收。

⑤ 影像存储和传输系统

影像存储和传输系统采用在线存储和近线存储两种存储方式，充分利用网络技术实现影像资料的共享，方便随时调阅，更加高效的交流和管理DSA影像信息。

DSA在工作时，能够实现曝光采集及透视功能。目前主流的DSA多采用脉冲透视功能，能够实现短时间、低电压、大电流连续脉冲式动态采集。同时还能自动根据成像区衰减状态调整kV、mA等参数，使X射线管保持最佳负荷状态，在安全辐射剂量范围内获取最佳图像质量。

医院拟购的DSA型号未定，根据医院招标计划，医院拟购的DSA主要技术参数见表9-2，常见DSA外观见图9-13。

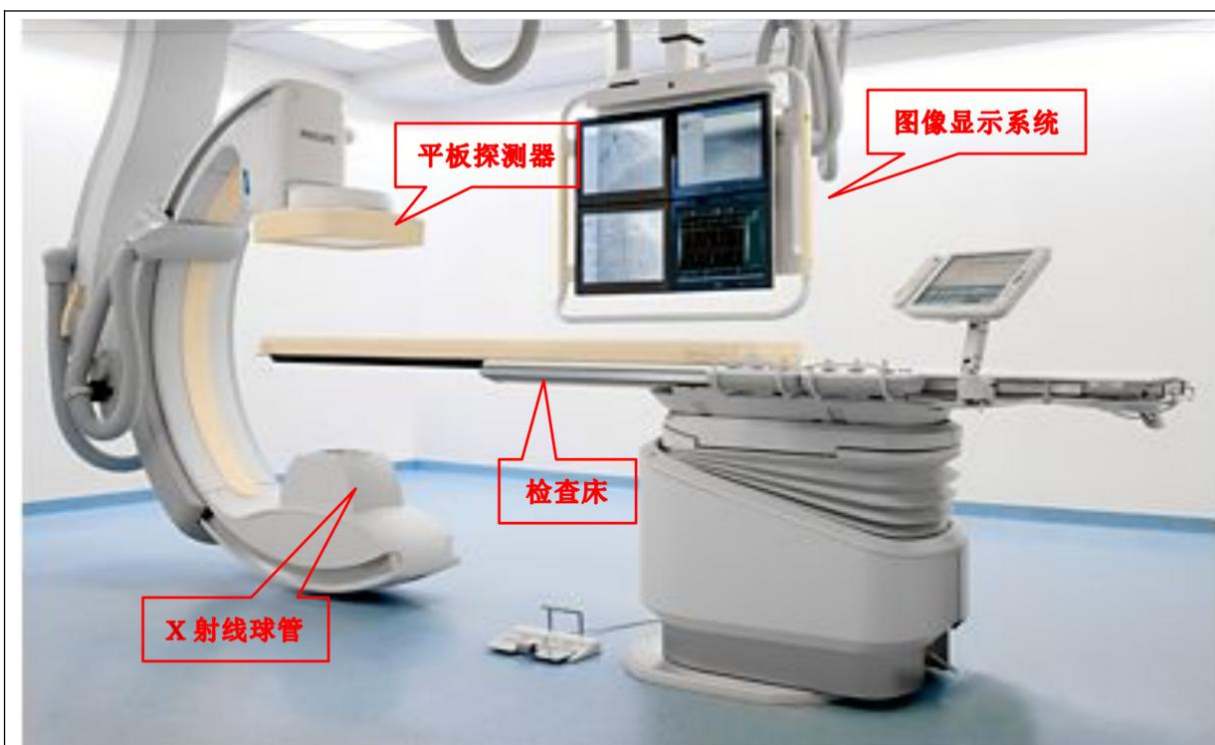


图 9-13 常见 DSA 的外观示意图

本项目 DSA 主要设备技术参数见表 9-2。

表 9-2 本项目 DSA 主要技术参数一览表

| 指标 | 技术参数 |
|-------|------|
| 型号 | |
| 最大管电压 | |
| 最大管电流 | |
| 滤过条件 | |

(二) 工作原理、工作流程及产污环节

1. 工作原理

数字减影血管造影技术（DSA）是常规血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物。DSA的成像基本原理为：将受检部位没有注入造影剂和注入造影剂后的血管造影X射线荧光图像，经电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，最终获得去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过DSA处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

本项目拟配备的DSA属于平板探测器型，其成像原理为：①曝光前对非晶硒两面的偏置电极板预先施加1~5000V正向电压形成偏执电场，像素矩阵处于预置初始状态；②X线曝光时在偏执电场作用下形成电流→垂直运动→电荷采集电极→给储存电

容充电；③读取TFT储存电容内的电荷→放大→A/D转换成数字信号→计算机运算→形成数字图像；④消除残存电荷，其系统结构示意图见图9-14。

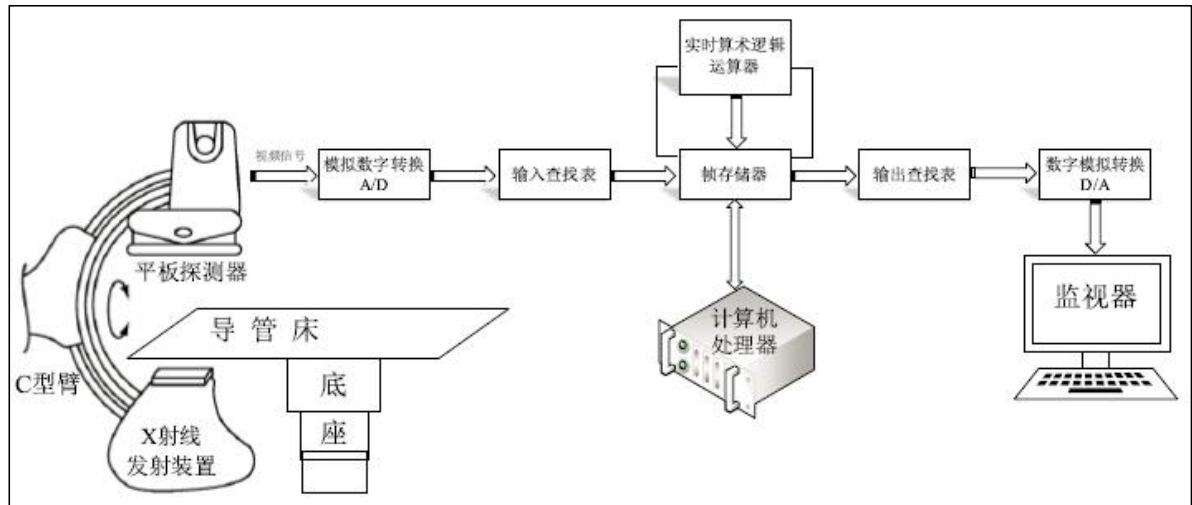


图9-14 平板探测器型DSA系统结构图

介入治疗是在医学影像设备的引导下，通过置入体内的各种导管的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点。

2. 工艺流程及产污环节分析

本项目 DSA 在工作时可分为两种情况：

①医疗诊断：DSA 诊断是根据采集的造影部位图像，对患者病变部位进行诊断，以选择合适的治疗方案。具体流程如下：患者准备好后进入手术室，医护人员指导患者摆位并调整 X 射线球管、人体、影像接收器三者之间的距离，然后进行出束摄影，获取底片；下一步为患者注射造影剂、出束摄影或透视，获取样片。计算机将样片信号减去底片信号后，得到仅显示造影剂分布的图像，即血管图像。医护人员根据该图像识别、判断患者病变的具体部位、病变程度及类型，以选择合适的治疗方案；

②介入治疗：介入治疗是医生、护士在 DSA 出束曝光条件下，根据影像引导，为患者实施如血管扩张、清淤、送入支架等治疗操作。具体流程如下：患者准备好后进入手术室，医护人员指导患者摆位并调整 X 射线球管、人体、影像接收器三者之间的距离，然后进行出束曝光，获取底片；下一步为患者注射造影剂，再次出束曝光，获取样片。计算机将样片信号减去底片信号后，得到仅显示造影剂分布的图像，即血管图像。介入治疗手术过程中，DSA 间歇多次出束透视，获取手术过程中的动态图像，医护人员根据图像引导完成治疗操作。

本项目采用先进的数字显影技术，电脑成像，不使用显（定）影液，不产生废显

影液、废定影液和废胶片。注入的造影剂不含放射性。设备运行过程中产生的污染物主要为 X 射线、少量臭氧和氮氧化物以及手术过程中产生的医疗废物。本项目 DSA 工艺流程及产污环节具体见图 9-15。

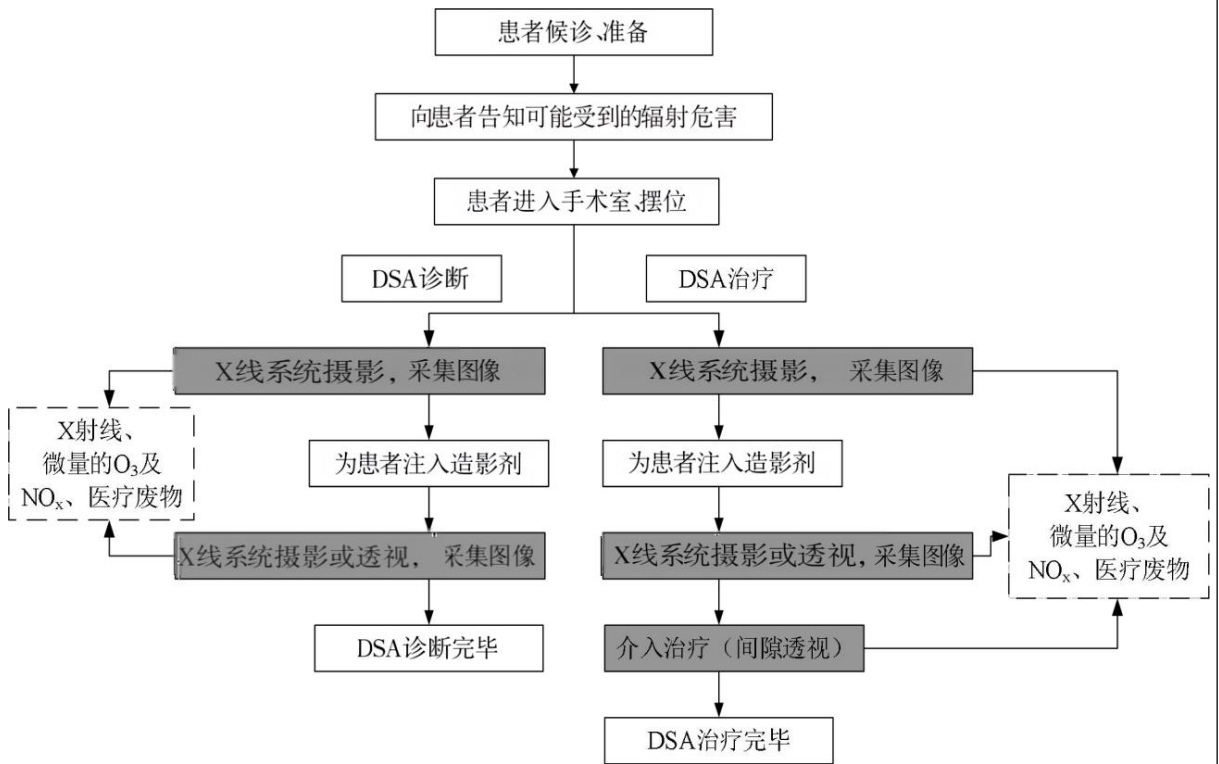


图 9-15 本项目 DSA 工作流程及产污环节示意图

污染源项描述

一、核医学科

1. 本项目核医学科劳动定员及工作时间

本项目核医学科拟配备 20 名辐射工作人员（新增），核医学科工作制度为：每周工作 5 天，每天 8 小时工作制，年工作 50 周，拟配置的辐射工作人员见表 9-3。

表 9-3 本项目核医学科辐射工作人员配置计划

| 工作场所 | | 人员分布及配置 | | | 受照时间（年） |
|------|--------------------|---------|----------------|----|--|
| | | 类别 | 分布位置 | 人数 | |
| 核医学科 | SPECT 诊断区 (1 楼) | 护士 | SPECT 注射分装室 | 1 | 72.5h（年操作量 4350 次，每次 1min） |
| | | | 甲亢给药 | | 10h（年操作 600 次，每次 1min） |
| | | 操作技师 | 控制室 | 2 | 2175h（年扫描 4350 次，每次 30min）+72.5h（年摆位 4350 次，每次摆位 1min） |
| | PET 诊断区 (2 楼) | 护士 | PET 注射分装室 | 1 | 70.8h（年操作量 4250 次，每次 1min） |
| | | 操作技师 | 控制室 | 2 | 2125h（年扫描 4250 次，每次 30min）+70.8h（年摆位 4250 次，每次摆位 1min） |
| | 甲癌治疗区 (3 楼) | 护士 | 分装控制室 | 2 | 50h（每周给药不超过 1h，年工作 50 周） |
| | 其他相关辐射工作人员 | 医师 | 诊室、医办 | 5 | 每天 8 小时，年工作 250 天 |
| | | 护士 | 登记导诊护士站、护士长办公室 | 5 | |
| | | 主任医师 | 主任办公室 | 2 | |

注：①SPECT 药物活度检测、扫描包括 ^{99m}Tc 、 ^{111}In 、 ^{123}I ，年操作量共计 4350 次，甲亢给药年操作量共计 600 次；

②PET 药物分装、活度检测、扫描包括 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu ，年操作量共计 4250 次。

2. 核医学科工作场所等级划分

(1) SPECT/CT 诊断：使用 ^{99m}Tc 、 ^{111}In 、 ^{123}I 进行显像检查。核素到货时均为分装好的成品针剂、无需分装。本项目 SPECT 诊断项目放射性核素用量见表 9-4。

表 9-4 本项目 SPECT 诊断放射性核素用量一览表

| 工作场所 | 核素 | 单人单次最大用量 (Bq) | 日最大门诊量 | 日最大操作量 (Bq) | 年门诊量 | 年最大用量 (Bq) |
|-----------|-------------------|--------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|
| SPECT 诊断区 | ^{99m}Tc | 1.11×10^9 | 16 人 | 1.78×10^{10} | 4000 人 | 4.44×10^{12} |
| | ^{111}In | 1.85×10^8 | 2 人 | 3.70×10^8 | 250 人 | 4.63×10^{10} |
| | ^{123}I | 1.11×10^8 | 2 人 | 2.22×10^8 | 100 人 | 1.11×10^{10} |

本项目核医学科 ^{131}I 甲亢治疗项目依托 SPECT 诊断区，甲亢病人在服药窗服药后无需留观即可离开医院。 ^{131}I 甲亢治疗基本情况见表 9-5。

表 9-5 本项目 ^{131}I 甲亢治疗项目基本情况一览表

| 工作场所 | 核素 | 单人单次最大用量 (Bq) | 日最大门诊量 | 日最大操作量 (Bq) | 年门诊量 | 年最大用量 (Bq) |
|-----------|--------------------------|--------------------|--------|--------------------|-------|-----------------------|
| SPECT 诊断区 | ^{131}I (甲亢) | 3.70×10^8 | 5 人 | 1.85×10^9 | 600 人 | 2.22×10^{11} |

(2) **PET/CT 诊断**：使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 正电子药物进行显像检查。本项目 PET 诊断项目放射性核素用量见表 9-6。

表 9-6 本项目 PET 诊断项目放射性核素用量一览表

| 工作场所 | 核素 | 单人单次最大用量 (Bq) | 日最大门诊量 | 日最大操作量 (Bq) | 年门诊量 | 年最大用量 (Bq) |
|---------|------------------|--------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|
| PET 诊断区 | ^{18}F | 3.70×10^8 | 15 人 | 1.67×10^{10} | 3750 人 | 4.16×10^{12} |
| | ^{68}Ga | 3.70×10^8 | 3 人 | 1.11×10^9 | 250 人 | 9.25×10^{10} |
| | ^{64}Cu | 1.20×10^8 | 2 人 | 2.40×10^8 | 250 人 | 3.00×10^{10} |

注：因 ^{18}F 的半衰期较短，为确保足够的备药量，按照最大用药量的 3 倍备药。

(3) **^{131}I 甲癌治疗项目**

本项目核医学科甲癌治疗区拟设置 3 间单人间病房，使用 ^{131}I 核素进行甲癌治疗，每周开展一次，每次最多接收 3 名住院患者。分装室内拟配备一台自动分装仪，医院购置 ^{131}I 药物后通过自动分装仪进行分装、给药。 ^{131}I 甲癌治疗基本情况见表 9-7。

表 9-7 本项目 ^{131}I 甲癌治疗项目基本情况一览表

| 工作场所 | 核素 | 单人单次最大用量 (Bq) | 日最大门诊量 | 日最大操作量 (Bq) | 年门诊量 | 年最大用量 (Bq) |
|-------|--------------------------|--------------------|--------|-----------------------|-------|-----------------------|
| 甲癌治疗区 | ^{131}I (甲癌) | 5.55×10^9 | 3 人 | 1.67×10^{10} | 150 人 | 8.33×10^{11} |

本项目核医学科包括 SPECT 诊断、PET 诊断和甲癌治疗，SPECT 诊断区位于精准医疗中心 1 楼；PET 诊断区位于精准医疗中心 2 楼；甲癌治疗区位于精准医疗中心 3 楼。因 3 个区域均位于独栋楼内，且共用患者出口，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）要求，本项目将 PET 诊断区、SPECT 诊断区和甲癌治疗区作为一个非密封放射性物质工作场所进行管理。

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）、《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》（GBZ 120-2020），核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的操作方式为很简单的操作；其余核素操作方式为简单操作，经过毒性组别及核素的操作方式双重修正后，本项目非密封放射性物质工作场所日等效操作量计算见表 9-8。

表 9-8 本项目非密封放射性工作场所日等效最大操作量及工作场所分级一览表

| 工作场所 | 核素 | 日最大操作量 (Bq) | 毒性组别修正因子 | 操作方式与放射源状态修正因子 | 日等效最大操作量 (Bq) |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------|----------------------|
| 核医学科 (乙级) | ^{99m} Tc | 1.78×10 ¹⁰ | 低毒, 0.01 | 很简单的操作 (液体), 10 | 1.78×10 ⁷ |
| | ¹¹¹ In | 3.70×10 ⁸ | 中毒, 0.1 | 简单操作 (液体), 1 | 3.70×10 ⁷ |
| | ¹²³ I | 2.22×10 ⁸ | 低毒, 0.01 | 简单操作 (液体), 1 | 2.22×10 ⁶ |
| | ¹⁸ F | 1.67×10 ¹⁰ | 低毒, 0.01 | 很简单的操作 (液体), 10 | 1.67×10 ⁷ |
| | ⁶⁸ Ga | 1.11×10 ⁹ | 低毒, 0.01 | 简单操作 (液体), 1 | 1.11×10 ⁷ |
| | ⁶⁴ Cu | 2.40×10 ⁸ | 低毒, 0.01 | 简单操作 (液体), 1 | 2.40×10 ⁶ |
| | ¹³¹ I (甲亢) | 1.85×10 ⁹ | 中毒, 0.1 | 简单操作 (液体), 1 | 1.85×10 ⁸ |
| | ¹³¹ I (甲癌) | 1.67×10 ¹⁰ | 中毒, 0.1 | 简单操作 (液体), 1 | 1.67×10 ⁹ |
| | 合计 (Bq) | | | | |

根据表 9-8 可知, 本项目核医学科日等效最大操作量为 1.94×10⁹Bq, 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的规定, 本项目核医学科属于乙级非密封放射性物质工作场所 (日等效最大操作量 2×10⁷~4×10⁹Bq)。

3. 辐射

SPECT/CT 显像检查用放射性核素 ^{99m}Tc、¹¹¹In、¹²³I 在操作过程以及注射后患者在候诊、扫描、留观等过程中会产生能量为 0.14MeV 的γ射线。SPECT/CT 扫描时 CT 发射出 X 射线, X 射线能量最大为 140kV。

PET/CT 显像检查用正电子药物 ¹⁸F、⁶⁸Ga、⁶⁴Cu 在操作过程以及注射后患者在候诊、扫描、留观等过程中会发射能量为 0.511MeV 的γ射线。PET/CT 扫描时 CT 发射出 X 射线, X 射线能量最大为 140kV。

甲癌和甲亢治疗用放射性核素 ¹³¹I 在操作过程以及服药患者在住院等过程中会发射平均能量为 0.365MeV 的γ射线。

根据表 11-2 计算结果可知, 患者单次最大用药在无屏蔽状态下, 其周围 1m 处的周围剂量当量率值见表 9-9。

表 9-9 放射性核素 1m 处的周围剂量当量率 (μSv/h)

| 距离 (m) | |
|---|------|
| 1.0 | 1.0 |
| 单次注射 ¹⁸ F 3.7×10 ⁸ Bq (10mCi) 时周围剂量当量率 | 52.9 |
| 单次注射 ^{99m} Tc 1.11×10 ⁹ Bq (30mCi) 时周围剂量当量率 | 33.6 |

| | |
|--|-------|
| 单次服用 ^{131}I $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) 时周围剂量当量率 | 22.0 |
| 单次服用 ^{131}I $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ (150mCi) 时周围剂量当量率 | 330.2 |

PET/CT 和 SPECT/CT 扫描时 CT 发出能量最大为 140kV 的 X 射线，日常使用中管电压范围为 80kV~120kV，根据《辐射防护导论》附图 3，在 120kV 下 1m 处的 X 射线发射率为 $9 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (过滤板保守取 2.5mmAl)。

综上，放射性核素发出的 β 射线穿透能力较弱，对周围环境影响很小，放射性核素衰变过程中产生的 γ 射线穿透能力较强，会对工作场所及周围环境产生一定的外照射影响。故本项目核医学科场所主要考虑放射性核素发出的 γ 射线的辐射影响。

本项目核医学科拟使用放射性核素特性见表 9-10。

表 9-10 核医学科拟使用放射性核素特性一览表

| 核素种类 | 半衰期 | 衰变类型及分支比 (%) | 主要 α 、 β 辐射能量 (keV) 与绝对强度 (%) | 主要 γ 、X 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%) | 周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$) |
|--------------------------|----------|--------------------------------|---|--|---|
| ^{18}F | 109.8min | EC (3.27) β^+ (96.73) | 633.5 (96.73) | XK:0.52 (0.01795) γ_{\pm} : 511 (≤ 193.46) | 0.143 |
| $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 6.02h | IT(100) | — | 140.511 (88.5) | 0.0303 |
| ^{64}Cu | 12.7h | EC (43.6) β^+ (17.4) | 653.09 (17.4) | 1345.77 (0.473) γ^{\pm} : 511 (34.79) | 0.029 |
| ^{68}Ga | 68.3min | EC (10.9) β^+ (89.1) | 1899.1 (88.0) | 1077.33 (3.0) γ^{\pm} : 511 (178.2) | 0.134 |
| ^{111}In | 2.80d | EC (100) | — | 150.81 (0.00282) 171.28 (90.66) 245.4 (94.09) XL: 3.13 (6.9) XK $_{\beta}$: 26.1 (14.5) XK $_{\alpha 2}$: 22.9841 (23.5) XK $_{\alpha 1}$: 23.1736 (44.3) | 0.0893 |
| ^{123}I | 13.2h | EC (100) | — | 158.97 (83.3) 528.96 (1.39) XK $_{\alpha 1}$: 27.4723 (46.0) | 0.061 |
| ^{131}I | 8.02d | β^- (100) | 247.9 (2.1) 333.8 (7.27) 606.3 (89.9) | 284.305 (6.14) 364.489 (81.7) 636.989 (7.17) | 0.0595 |
| ^{68}Ge | 270.8d | EC (100) | — | XK $_{\alpha 1}$: 9.25174 (25.6) XK $_{\alpha 2}$: 9.224824 (13.07) XK $_{\beta}$: 10.3 (5.45) | 0.0117 |

4. 放射性废水

本项目核医学科产生的放射性废水主要为用药患者的排泄物和冲洗水、工作人员的淋浴和清洗废水以及工作场所的清洗废水等。核医学科工作场所产生的放射性废水量见表 9-11。

表 9-11 核医学科放射性废水产生量及去向

| 废水产生位置 | 核素种类 | 来源 | 年门诊量/年工作天数 | 产生废水量 | 年产生量 | | 废水去向 |
|-----------|--|--------------------|------------|----------|--------------------|--------------------|---------|
| SPECT 诊断区 | ^{99m}Tc 、 ^{111}In 、 ^{123}I | 患者排泄及冲洗废水、医护人员清洗废水 | 4350 人 | 10L/人 | 43.5m ³ | 68.5m ³ | 短半衰期衰变池 |
| | | 场所清洗废水 | 250 天 | 100L/天 | 25m ³ | | |
| PET 诊断区 | ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu | 患者排泄及冲洗废水、医护人员清洗废水 | 4250 人 | 10L/人 | 42.5m ³ | 67.5m ³ | |
| | | 场所清洗废水 | 250 天 | 100L/天 | 25m ³ | | |
| 甲癌治疗区 | ^{131}I | 患者排泄及冲洗废水、医护人员清洗废水 | 150 人 | 100L/人/天 | 75m ³ | 80m ³ | 长半衰期衰变池 |
| | | 场所清洗废水 | 50 周 | 100L/周 | 5m ³ | | |

注：①核医学科年工作 50 周，每周工作 5 天，年工作 250 天；

②甲亢患者不留观，不产生放射性废水；

③甲癌治疗每周最多接收 3 名甲癌患者，每名患者最多住院 1 周（5 天），甲癌治疗区每周病人出院后打扫 1 次，其他诊断场所每天门诊结束后打扫一次。

5. 放射性废气

本项目核医学科的放射性药物的操作均在带有通风装置的手套箱或全自动分装给药仪内进行，全自动分装给药仪由工作人员远距离控制自动分装给药，手套箱和全自动分装给药仪分别在箱体顶部和排风口处设置活性炭过滤系统。空气中挥发散逸的放射性核素及放射性气溶胶很少。医院在选取活性炭过滤装置时，应选取微孔占比高的活性炭和增加填装密度，以增加对 ^{131}I 放射性气溶胶的吸附，并定期更换活性炭过滤装置，确保活性炭过滤装置的吸附效率；《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）辐射监测内容中未要求监测放射性气溶胶；但考虑到 ^{131}I 的挥发性较大，建议医院定期开展 ^{131}I 气溶胶的监测，并根据检测结果调整活性炭的更换频次，减小 ^{131}I 气溶胶的辐射影响，降低其对医务人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响。

6. 放射性固体废物

本项目核医学科产生的放射性固体废物主要为放射性药物操作过程中产生的如一

次性注射器、服药杯、手套、口罩、棉签、滤纸、擦拭纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物以及通风系统产生的废活性炭等。核医学科工作场所产生的放射性固废量见表 9-12。

表 9-12 核医学科放射性固废产生量及去向

| 固废产生位置 | 来源 | 年门诊量 | 固废产生量 | 年产生量 | 固废去向 |
|---------------------------|--------------------------|--------|---------|-------|----------|
| SPECT 诊断区 | 一次性注射器、棉签、手套、口罩、滤纸、擦拭废纸等 | 4950 人 | 0.1kg/人 | 495kg | 1 楼废物间暂存 |
| PET 诊断区 | | 4250 人 | 0.1kg/人 | 425kg | 2 楼废物间暂存 |
| SPECT 诊断区、PET 诊断区通风系统 | 废活性炭 | / | / | 48kg | 1 楼废物间暂存 |
| 甲癌治疗区 | 一次性手套、口罩、服药杯、擦拭废纸等 | 150 人 | 1kg/人/天 | 750kg | 3 楼废物间暂存 |
| 甲癌治疗区通风系统、手套箱通风系统、衰变室通风系统 | 废活性炭 | / | / | 32kg | 3 楼废物间暂存 |
| 核医学科 PET-CT 质控校准 | 退役废源 | / | / | / | 2 楼储源间 |

注：①甲癌治疗每周最多接收 3 名甲癌患者，每名患者最多住院 1 周（5 天）。

7. 非放射性污染

(1) 辐射工作人员工作中产生的生活污水和办公垃圾。

(2) PET/CT、SPECT/CT 开机扫描时，扫描室内产生的少量臭氧和氮氧化物。

二、放疗科

1. 放射性污染

(1) 直线加速器

①X 射线

直线加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。

本项目拟配置的加速器 X 射线最大能量为 10MV，由于 X 射线的贯穿能力极强，在未完全屏蔽的情况下会对工作人员、公众及周围环境造成辐射影响。

②电子束

当直线加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。

加速器在运行时产生的高能电子束，最大能量为22MeV，因其贯穿能力远弱于X射线，在X射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于X射线治疗。

③中子和感生放射性

本项目拟配备的直线加速器X射线最大能量为10MV，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020），其中子及感生放射性的辐射影响可忽略。

本项目直线加速器源项参数见表9-13。

表 9-13 本项目直线加速器源项参数一览表

| 参数 | 距靶 1m 处最大剂量率 |
|-------------|--------------|
| X 射线：6/10MV | |
| 电子线：22MeV | |
| 泄漏 X 射线 | 在 |

(2) CT 模拟定位机

本项目 CT 模拟定位机采用数字成像技术，不产生显影、定影废液和废胶片。CT 模拟定位机在出束状态下发出 X 射线，本项目拟配备的 CT 模拟定位机发出能量最大为 140kV 的 X 射线，日常使用中管电压范围为 40kV~120kV，根据《辐射防护导论》附图 3，在 120kV 下 1 米处的 X 射线发射率为 $9\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ （过滤板保守取 2.5mmAl）。

劳动定员及工作时间

本项目直线加速器拟配备 2 名操作技师以及医师、医学物理人员、护士等共约 6 名工作人员，每周工作 5 天，每天 8 小时工作制，年工作 50 周，年出束治疗时间约 500h。

本项目 CT 模拟定位机拟配备 2 名操作技师，并与直线加速器共用医师、医学物理人员、护士等工作人员，每周工作 5 天，每天 8 小时工作制，年工作 50 周，年出束定位时间不超过 500h。

2. 非放射性污染

(1) 直线加速器冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水；项目运行期不产生医疗废水，废水主要为工作人员产生少量的生活污水。

(2) 项目运行期产生的废气主要为射线装置出束定位或治疗时 X 射线与空气发

生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物。

(3) 项目运行期产生的固体废物主要为直线加速器治疗过程中产生的定位体膜、一次性床单等医疗废物，以及工作人员产生的少量办公垃圾。

三、DSA 项目

1. 放射性污染

根据 DSA 的工作原理可知，X 射线是随机器的开关而产生和消失。因此，在非诊疗状态下不产生 X 射线，只有在开机处于出束状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线为污染环境的主要因子。辐射场中的 X 射线包括有用线束（主束）、漏射线和散射线。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

(1) 有用线束

本项目 DSA 为下球管，有用线束投射方向为由下至上。有用线束的射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量。本项目使用的 DSA 型号未定，最大管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 1000\text{mA}$ 。根据医院提供资料，本项目 DSA 设备的主要操作模式为透视及摄影，DSA 正常运行时工况见表 9-14。

表 9-14 本项目 DSA 实际运行工况一览表

| 设备型号 | 实际运行时最大管电压 (kV) | | 实际运行时最大管电流 (mA) | |
|------------|-----------------|--|-----------------|--|
| | | | | |
| DSA (型号未定) | | | | |

DSA 运行时离靶 1 米处的 X 射线发射率根据运行时管电压和 X 射线管的过滤条件从《辐射防护导论》（方杰著）附图 3 中查取。本项目 DSA 保守按照过滤材料为 2.5mmAl 滤片进行剂量预测，DSA 正常运行时最大电压为 80kV，查《辐射防护导论》附图 3，保守取 2mmAl 滤片，离靶 1 米处的发射率约为 $6\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。

(2) 泄漏射线

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》“（77）用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h ”（在距离源 1m 处不超过 100cm^2 的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm^2 面积上进行平均测量），以及《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性

能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）中的相应要求，本项目 DSA 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h。

（3）散射线

本项目 DSA 的散射线主要考虑有用线束照射到受检者人体产生的侧向散射线，其强度与有用线束的 X 射线散射线能量、X 射线机的输出量、散射面积和距离等有关。

劳动定员及工作时间

根据医院提供的资料，本项目 DSA 工作负荷见表 9-15 和表 9-16。

表 9-15 本项目 DSA 工作时间一览表

| 场所名称 | 手术类型 | 单台手术曝光间 | | 年手术台数 | 年出束时间 | | 总计 |
|---------|----------|---------|-------|-------|-------|-----|-------------------|
| | | 摄影 | 透视 | | 摄影 | 透视 | |
| DSA 手术室 | 神经介入 | 1min | 15min | 120 台 | 2h | 30h | 摄影：5.5h 透视：70h |
| | 心脏介入 | 1.5min | 20min | 60 台 | 1.5h | 20h | |
| | 胸心血管综合介入 | 2min | 20min | 60 台 | 2h | 20h | |

表 9-16 本项目 DSA 劳动定员

| 场所名称 | 介入手术人员（人） | 操作技师（人） | 护士（人） | 备注 |
|---------|-----------|---------|-------|--------|
| DSA 手术室 | 2 | 2 | 1 | 负责介入手术 |

本项目 DSA 共配备 5 人，暂定为调配人员，辐射工作人员年工作 250 天。手术期间，控制室操作技师在控制室负责 DSA 的运行；DSA 护士负责造影剂的准备工作，一般情况下，DSA 出束时不进入机房内；介入手术人员负责介入手术，透视时在机房内进行介入手术，摄影时在控制室内观察患者情况。

苏州市相城人民医院本次核技术利用项目辐射工作人员配置情况见表 9-17。

表 9-17 本次核技术利用项目辐射工作人员配置计划总表

| 场所名称 | 位置 | 拟配备辐射工作人员 |
|---------|----------------------|-----------|
| 核医学科 | 精准医疗中心 1~3 楼 | 20 人 |
| 放疗科 | 精准医疗中心负 1 楼 | 8 人 |
| DSA 手术室 | 1#门诊、住院楼 1 楼 DSA 手术室 | 5 人 |
| 合计 | | 33 人 |

2. 非放射性污染源分析

（1）项目运行期产生的废气主要为 DSA 运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。

（2）项目运行期产生的固体废物主要为手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物和办公垃圾。

(3) 项目运行期不产生医疗废水，废水主要为工作人员产生的生活污水。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、核医学科

1. 工作场所布局与分区

(1) 核医学科选址

本次核医学科项目位于精准医疗中心 1~3 楼。精准医疗中心位于医院东北部，且为独栋建筑。核医学科项目未邻接产科、儿科、食堂等部门，且核医学科设置相对集中，并设有物理隔离和单独的人员、物流通道，避开了门诊大厅、收费处等人群稠密区域。选址合理。

(2) 核医学科工作场所布局

本项目核医学科设有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，SPECT 诊断与甲亢治疗错时开展，进药时间与就诊时间错开，医护通道出入口设有卫生通过间，为工作人员提供可更换的衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备，控制区内设有注射后候诊室、留观室、住院病房和给药后患者的专用卫生间，患者在控制区内为单向流动，给药后患者与给药前患者不交叉，可有效避免工作人员、患者与放射性药物之间的交叉污染，布局合理。

(3) 核医学科工作场所分区

医院拟对本项目核医学科进行分区管理，控制区与监督区的划分见表 10-1 和图 10-1~图 10-4。

表 10-1 本项目核医学科控制区和监督区划分一览表

| 场所 | | 控制区 | 监督区 |
|------|------------------------|--|--------------------------------------|
| 核医学科 | SPECT 诊断场所（精准医疗中心 1 楼） | SPECT 注射分装室、废物间、运动负荷/抢救室、注射后候诊室（含卫生间）、留观室（含卫生间）、SPECT/CT 扫描室、洁具间、患者走廊 | 控制廊、卫生通过间、患者出口走廊、专用电梯、楼梯 |
| | PET 诊断场所（精准医疗中心 2 楼） | PET 注射分装室、废物间、储源间、洁具间、无障碍卫生间、注射后候诊室（含卫生间）、留观/抢救室（含卫生间）、PET/CT 扫描室、设备间、患者走廊 | 控制廊、卫生通过间、患者出口走廊、专用电梯、楼梯 |
| | 甲亢治疗场所（精准医疗中心 3 楼） | 分装给药室、病房（含卫生间）、抢救器材室、废物间、污洗间、污物暂存间、患者走廊、 | 给药控制室、卫生通过间、患者出口走廊、专用电梯、楼梯、配餐间、护士/监控 |

| | | | |
|--|----------------|-----|----------|
| | | 饮水间 | 室 |
| | 衰变室（精准医疗中心负2楼） | 衰变室 | 楼梯间、污水提升 |

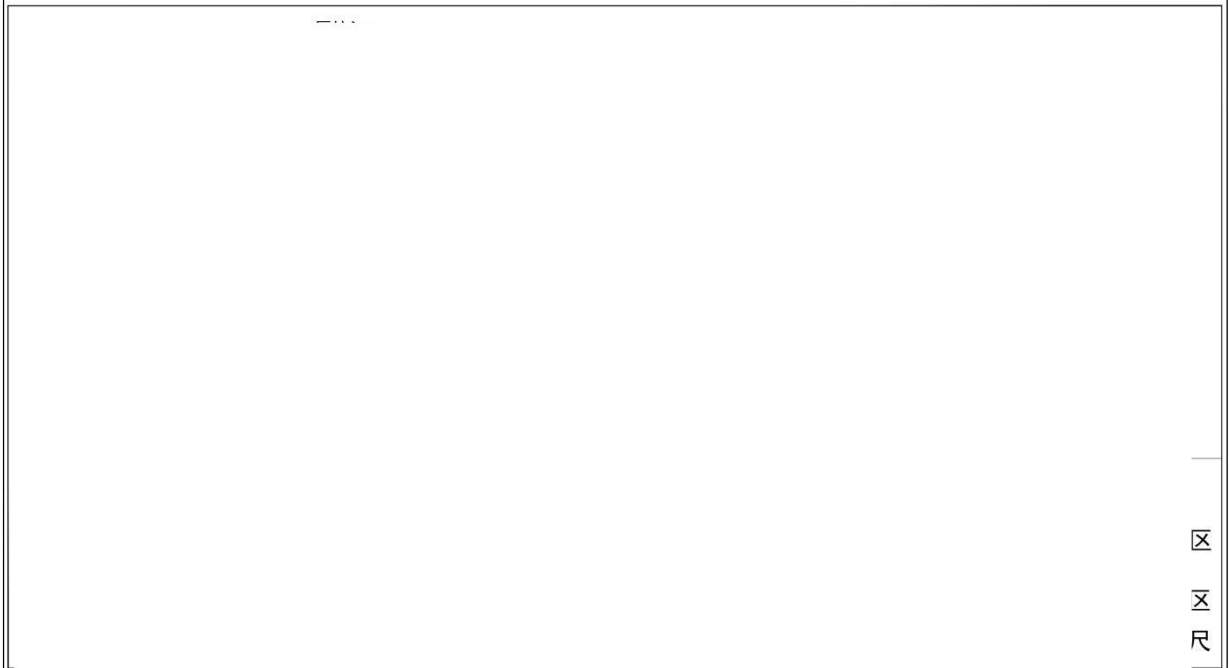


图 10-1 本项目核医学科 SPECT 诊断区分区图



图 10-2 本项目核医学科 PET 诊断区分区图



图 10-3 本项目核医学甲癌治疗区分区图

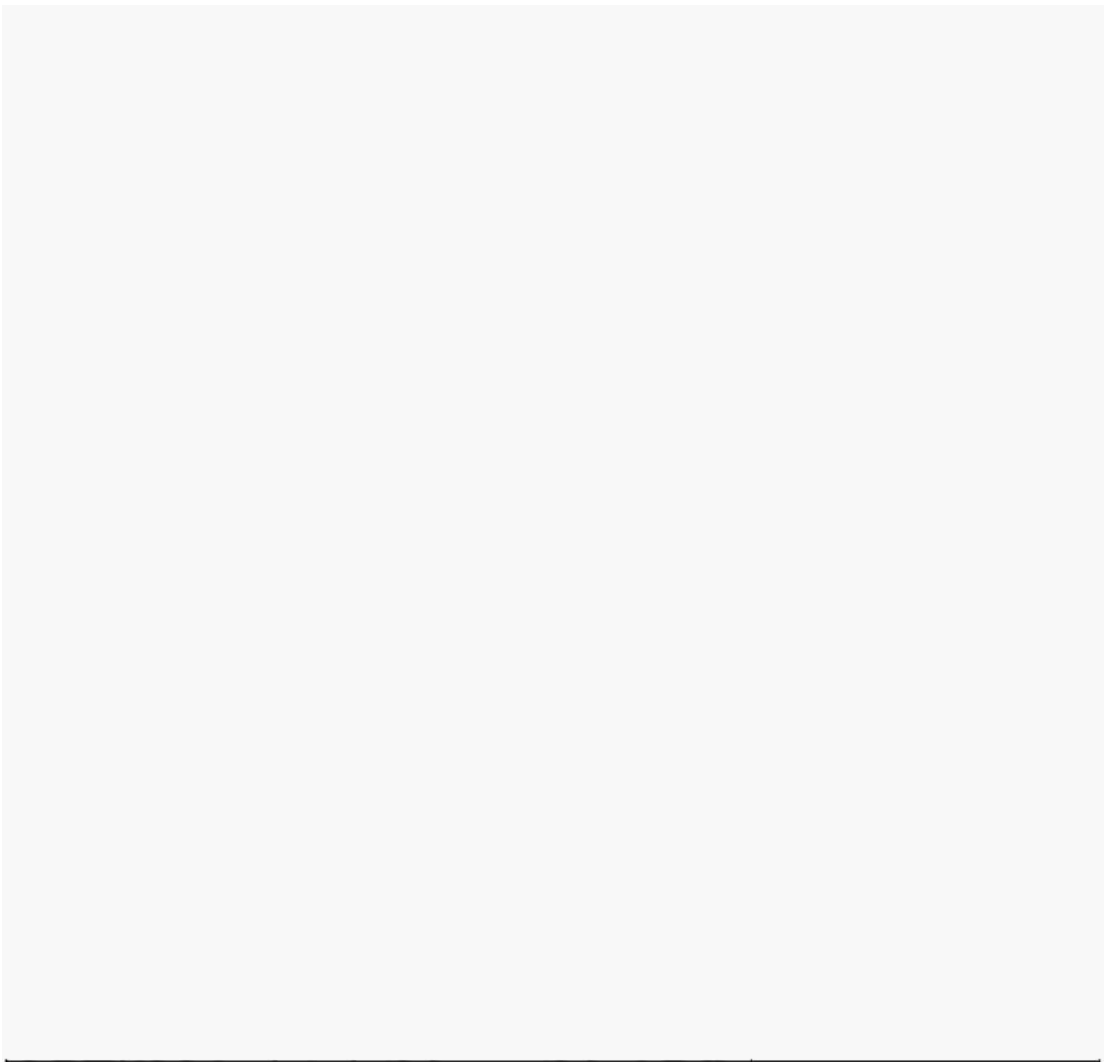


图 10-4 本项目衰变室分区图

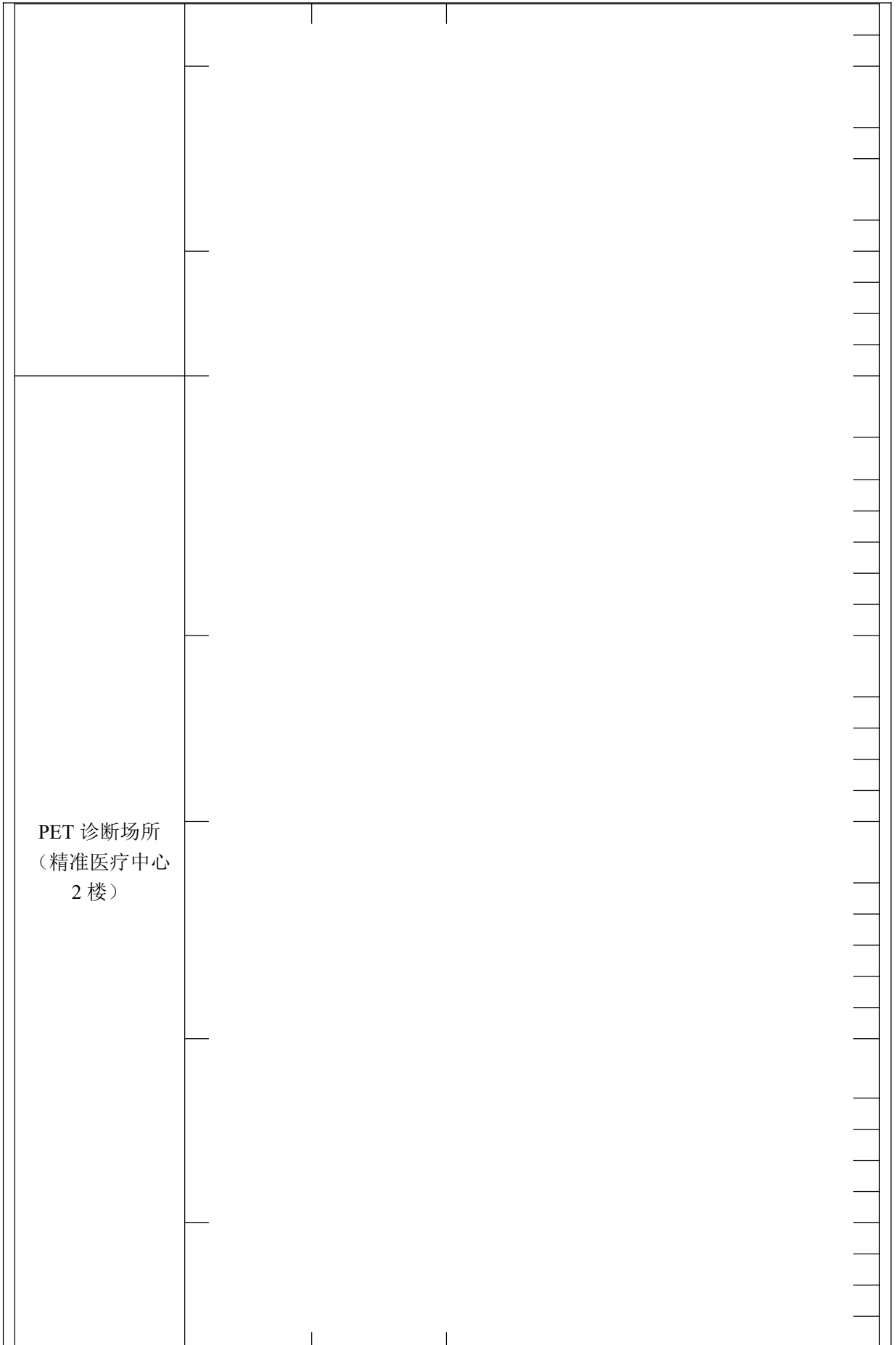
综上所述，本项目核医学科的控制区和监督区划分明显，布局合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中有关辐射工作场所的分区规定。

2. 辐射防护屏蔽设计

本项目核医学科工作场所控制区的屏蔽防护设计方案见表 10-2。

表 10-2 核医学科工作场所控制区屏蔽防护设计一览表

| 场所 | | 屏蔽体 | 屏蔽材料及厚度 |
|-------------------------------|--------------|-----|--------------|
| SPECT 诊断场所 (精准医疗中心 1 楼) | 注射分装室 | | 器机 (土) |
| | 运动负荷/抢救室 | | 器机 |
| | 注射后候诊室 | | 器机 |
| | SPECT/CT 扫描室 | | |
| | 留观室 | | 室东 器机 |
| | 废物间 | | |



| | | | |
|--------------------------|---|------|-------------------------|
| | P | 四周墙体 | 270mm 混凝土 |
| 甲癌治疗场所 (精准医疗中心 3楼) | | | 墙) 顶 墙) 区 区 |

| | |
|----------------|--|
| | |
| 衰变室（精准医疗中心负2楼） | |

注：混凝土密度不小于 2.35g/cm³；铅密度为 11.3g/cm³。

本项目 SPECT/CT 扫描室有效使用面积约为 55.6m²（长 8m、宽 6.95m），PET/CT 扫描室有效使用面积约为 54.54m²（长 8.08m、宽 6.75m），能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“CT 机房最小单边长度应不小于 4.5m、最小有效使用面积应不小于 30m²”的要求。

表 10-3 本项目 SPECT/CT 和 PET/CT 扫描室有效使用面积、单边长度一览表

| 机房名称 | 设备 | 机房内最小有效使用面积 m ² | | 机房内最小单边长度 m | |
|--------------|----|----------------------------|------|-------------|------|
| | | 本项目 | 标准要求 | 本项目 | 标准要求 |
| SPECT/CT 扫描室 | | | | | |
| PET/CT 扫描室 | | | | | |

表 10-4 本项目 SPECT/CT 和 PET/CT 扫描室屏蔽设计参数

| 机房名称 | 屏蔽体 | 屏蔽设计参数 |
|--------------|-----|--------|
| SPECT/CT 扫描室 | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| PET/CT 扫描室 | | |
| | | |

| | | |
|--|--|--|
| | | |
| | | |
| | | |

3. 辐射安全和防护措施分析

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），本项目核医学科设计有如下辐射安全和防护措施：

（1）工作状态指示灯

SPECT/CT 扫描室、PET/CT 扫描室的患者通道防护门上方设计有工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与患者通道防护门设置门灯联动装置。

（2）防夹和自动闭门装置

SPECT/CT 扫描室、PET/CT 扫描室的平开防护门设计有自动闭门装置，电动推拉门设计有防夹装置。

（3）门禁和监控系统

注射分装室、给药分装室、储源间设计有门禁和监控系统，监控显示器位于医院保卫处的值班室，实时监控放射性药物和校准源的情况。

（4）电离辐射警告标志

核医学科控制区入口、放射性废物桶表、手套箱表面、全自动分装给药仪表面、废物铅桶、储源间防护门、废物间防护门、PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房防护门上均设置电离辐射警告标志，警告无关人员不要靠近和逗留。

（5）单向门及门禁

患者进、出口防护门设计为单向门并设有门禁，入口只进不出，出口只出不进，禁止无关人员进入。患者出口专用电梯设有门禁，禁止无关人员使用，且电梯只能到达地 1 楼；患者出口楼梯间门设有门禁，禁止无关人员进入。

（6）监控及对讲系统

各注射分装室、注射后候诊室、扫描室、留观室、运动/抢救室、住院病房、抢救室、饮水间内及患者走廊设计有监控探头，并设计有对讲系统，监控显示器位于核医学科的护士站处，实时监控控制区给药后患者的情况，一旦发现给药后患者在核医学工作场所内随意走动，不在规定的区域内停留，工作人员应立刻通过语音系统告知，

使患者回到规定的区域内。

甲癌治疗区给药窗口处安装监控探头，并设置对讲系统，监控显示器位于护士站内，用于监控和指导患者服药，防止意外情况的发生。

(7) 自动闭门装置

控制区内各房间防护门设计有自动闭门装置，确保防护门处于常闭状态。

(8) 导向标识

控制区入口设计有符合 GB 18871-2002 要求的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处设计有标明监督区的标志，并标出患者进出口通道和流动路线及文字说明。

(9) 双人双锁

储源间内配置保险柜，用于贮存 PET 校准源，储源间和保险柜钥匙分别由专人保管，做到双人双锁。贮存、领取、使用、归还校准源时，应当进行登记、检查，做到账物相符。并对校准源定期进行盘存，确保其处于指定位置，具有可靠的安全保障。

除此之外，核医学科还拟采取如下辐射安全和防护措施：

(1) 工作场所内放射性药物操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。每次工作结束后应当使用表面污染监测仪对操作台面、地面、个人防护用品等进行表面污染测定，并配备放射性表面去污用品（如抹布、滤纸）、去污试剂、警戒线等应急物资。

(2) 辐射工作人员在控制区内不得进食、饮水、吸烟、化妆，也不得进行无关工作及存放无关物件，防止含有微量放射性核素的空气被医务人员吸入体内造成内照射。

(3) 各工作场所的卫生通过间配备 1 台 α - β 表面沾污仪，辐射工作人员操作放射性药物后离开控制区前应洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

(4) 核医学科工作场所的上水配备洗消处理设备，控制区内的淋浴、洗手池、拖把池选用脚踏式或自动感应式的开关，马桶采用节水模式，以上措施可减少放射性废水的产生和场所内的设备放射性污染；洗手池安装伸缩式水龙头，方便头、眼和面部受污染时，采用向上流动的水进行冲淋。

(5) 个人防护用品。

表10-5 核医学科个人防护用品和辅助防护设施配置要求

| 场所类型 | 类型 | | 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020） | 本项目拟采取的措施 |
|----------------------------------|--------|----|---------------------------|---|
| PET 和 SPECT 场所 | 工作人员 | 必备 | 铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖 | 每个场所各配备 2 套 0.5mmPb 防护铅橡胶衣、铅橡胶围裙、铅围脖、铅眼镜，若干放射性污染防护服 |
| | | 选备 | 铅橡胶帽、铅玻璃眼镜 | |
| | 患者或受检者 | | / | / |
| ¹³¹ I 的场所 (甲癌治疗场所) | 工作人员 | 必备 | 放射性污染防护服 | 2 套放射性污染防护服 |
| | | 选备 | / | / |
| | 患者或受检者 | | / | / |

(6) 在注射分装室、注射后候诊室、留观室、给药窗口、住院病房等位置放置废物铅桶，废物铅桶表面粘贴电离辐射警示标志。

(7) 废物铅桶内放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋密封，不破漏，及时转送放射性固废暂存间，放入废物桶中存储，每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h， α 、 β 表面污染水平 $<0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，质量不超过 20kg。

(8) 注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内；废物袋、废物桶安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

(9) 甲癌患者住院治疗前和患者签署知情同意书。

(10) 除医护人员之外的人员不应进入住院病房，医护人员通过病房外的缓冲区向病房内传递生活必需品。

(11) 患者住院治疗期间，禁止2名及以上患者近距离接触或者集聚。

(12) 医护人员应通过视频及对讲进行查房等医疗活动。当医护人员必须进入住院病房对患者进行救治时，应穿戴个人防污染用品。

(13) 甲癌住院病房出口处配备测量体内活度的设备或测量周围剂量当量率的仪器，患者出院前需进行监测，待患者体内的放射性活度降至400 MBq或距离患者体表1 m处的周围剂量当量率不大于25 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 后，方可出院。

(14) 住院患者食物选用产生废物少的食材，尽量减少放射性废物的产生量。

项目核医学科拟设置的辐射安全和防护措施在认真落实后，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）以及《放射

性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的相关辐射安全要求，符合本项目的辐射安全需要。

二、放疗科

1. 工作场所布局与分区

(1) 工作场所布局

本项目直线加速器工作场所设有治疗机房以及控制室、水冷机房，治疗机房与控制室、水冷机房分开设置，控制室避开有用线束照射区域，机房迷道采用直迷道设计，有用线束不向迷道照射，仅向南墙、北墙、屋顶及地面照射。本项目直线加速器工作场所的布局符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中相关要求及《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中治疗装置控制室应与治疗机房分离的规定以及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗机房应设置迷路等规定，布局合理。

本项目 CT 模拟定位机工作场所设有专用定位机房和控制室，定位机房和控制室分开设置，区域划分明确，布局基本合理。

(2) 工作场所分区

医院将直线加速器治疗机房、CT 模拟定位机房划为控制区，在机房入口处设置电离辐射警告标志，出束期间除病人外禁止任何人员进入；将直线加速器的控制室、水冷机房、患者准备间以及 CT 模拟定位机房的控制室划为监督区，出束期间禁止无关人员进入，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）有关辐射工作场所的分区规定。本项目放疗科工作场所控制区与监督区的划分见图 10-5。

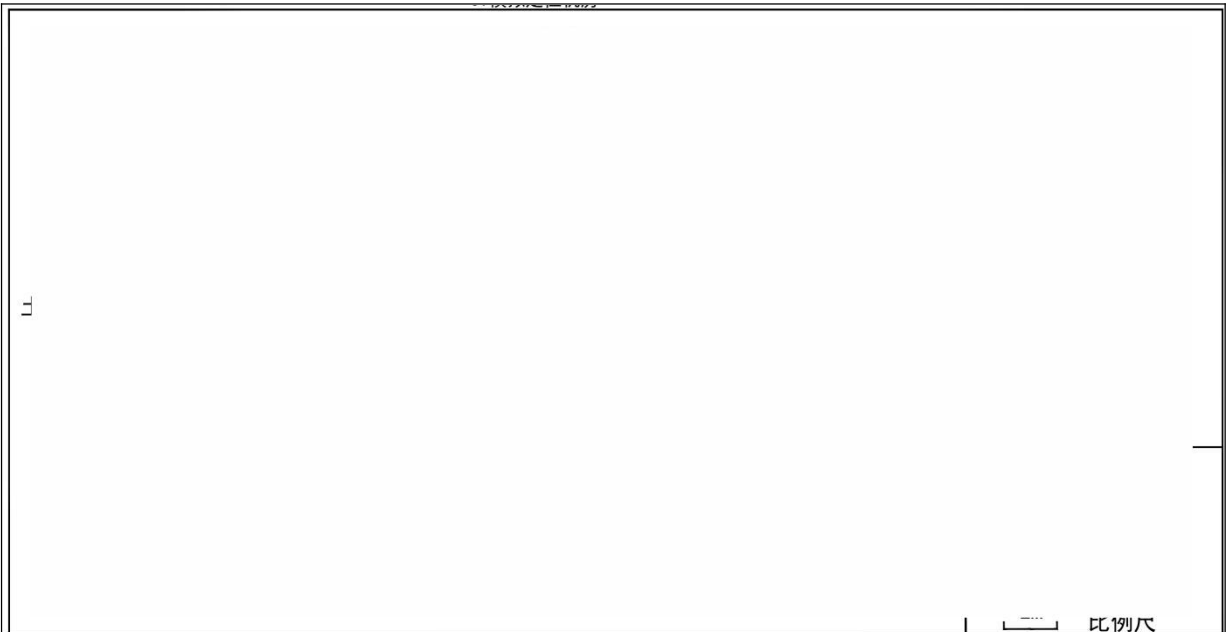


图 10-5 本项目放疗科控制区与监督区划分示意图

2. 辐射防护设计

本项目直线加速器机房屏蔽防护设计参数见表 10-6，CT 模拟定位机房屏蔽防护设计参数见表 10-7。

表 10-6 本项目直线加速器机房屏蔽防护设计参数一览表

| 分类 | | 设计厚度 | 宽度 |
|---------|---|------------|---------------|
| 直线加速器机房 | 主 | 2800mm 混 土 | 3.8m, 心点 1.9m |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

注：混凝土的密度为 2.35g/cm³，铅的密度为 11.3g/cm³。

表 10-7 本项目 CT 模拟定位机房屏蔽防护设计参数一览表

| 分类 | 设计厚度 |
|-----------|------|
| CT 模拟定位机房 | |
| | |
| | |
| | |

注：混凝土密度为 2.35g/cm³；铅的密度为 11.3g/cm³。

为避免辐射泄漏过大，机房在建设过程中，防护门与墙壁之间的缝隙应尽可能的小，机房防护门与墙体各侧搭接宽度大于缝隙的 10 倍。

3. 辐射安全和防护措施

为保障本项目直线加速器和模拟定位机的安全运行，避免在出束期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，医院根据国家相关标准要求设计有相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 直线加速器工作场所

① 钥匙开关

操作台设有钥匙开关，决定加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制，钥匙由专人保管。

② 电离辐射警告标志和工作状态指示灯

直线加速器机房入口处拟设置符合 GB 18871-2002 规范的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与加速器联锁，工作指示灯设有“预备”和“照射”工作状态指示说明，预备时绿灯亮，此时设备处于未出束状态，照射时红灯亮，此时设备处于出束状态。

③ 门-机联锁装置

直线加速器机房防护门拟设置门-机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束。

④ 紧急停机按钮

加速器的治疗床、机房内不同方向的墙面合适位置及迷道内、防护门内侧、控制室的操作台上均设置急停开关，并在醒目处设置标签，标明使用方法，紧急停机按钮按下后需要手动复位。

⑤ 监控及对讲系统

直线加速器机房内拟安装视频监控系统，在治疗过程中医务人员可以实时观察患者状态、治疗床和迷路区域情况；控制室与机房之间拟安装语音对讲装置，以便医务人员和患者之间进行双向交流，防止意外情况的发生。

⑥ 紧急开门按钮

直线加速器机房迷道内人员易接触的位置拟设置紧急开门按钮，在事故状态下人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸，且防护门设置防夹伤功能。

⑦ 固定式辐射剂量监测系统

直线加速器机房迷道内口处拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其显示单元设置在控制室内，可实时监测机房内辐射水平。在日常运行过程中，医院应确保固定式辐射剂量监测系统报警功能正常，防止意外情况的发生。

⑧通风系统

机房内拟设置强制排风系统，进风口拟设在机房东侧吊顶上，排风口拟设在机房西侧地面，进风口与排风口位置呈对角设置，以确保室内空气充分交换；拟设置的排风装置风量为 3800m³/h，机房内体积约为 400m³，每小时通风换气次数不少于 9 次。

⑨其他

直线加速器机房安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过操作台才能重新启动放射治疗活动；在安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过医院辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

(2) CT 模拟定位机工作场所

①电离辐射警告标志和工作状态指示灯

机房入口处拟设置符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与患者通道防护门设置门灯联锁装置。

②防夹和闭门装置

机房的平开门拟设置自动闭门装置，电动推拉门拟设置防夹装置并设置曝光时关闭的管理措施。

③监控与对讲装置

机房拟设置观察窗和实时监控装置与对讲装置，工作人员在控制室内可及时观察患者情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。

④个人防护用品

表10-8 CT模拟个人防护用品和辅助防护设施配置要求

| 放射检查类型 | 类型 | | 《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2020) | 本项目拟采取的措施 |
|-----------|------|--------|---|-----------------------------|
| CT 模拟定位扫描 | 工作人员 | 个人防护用品 | / | / |
| | | 辅助防护设施 | / | |
| | 受检者 | 个人防护用品 | 铅橡胶性腺防护围裙 (方形)或方巾、铅橡胶颈套 选配: 铅橡胶帽子 | 1 套 0.5mmPb 铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套 |
| | | 辅助防护设施 | / | / |

本项目放疗科工作场所拟采取的辐射安全措施布置示意图见图 10-6。

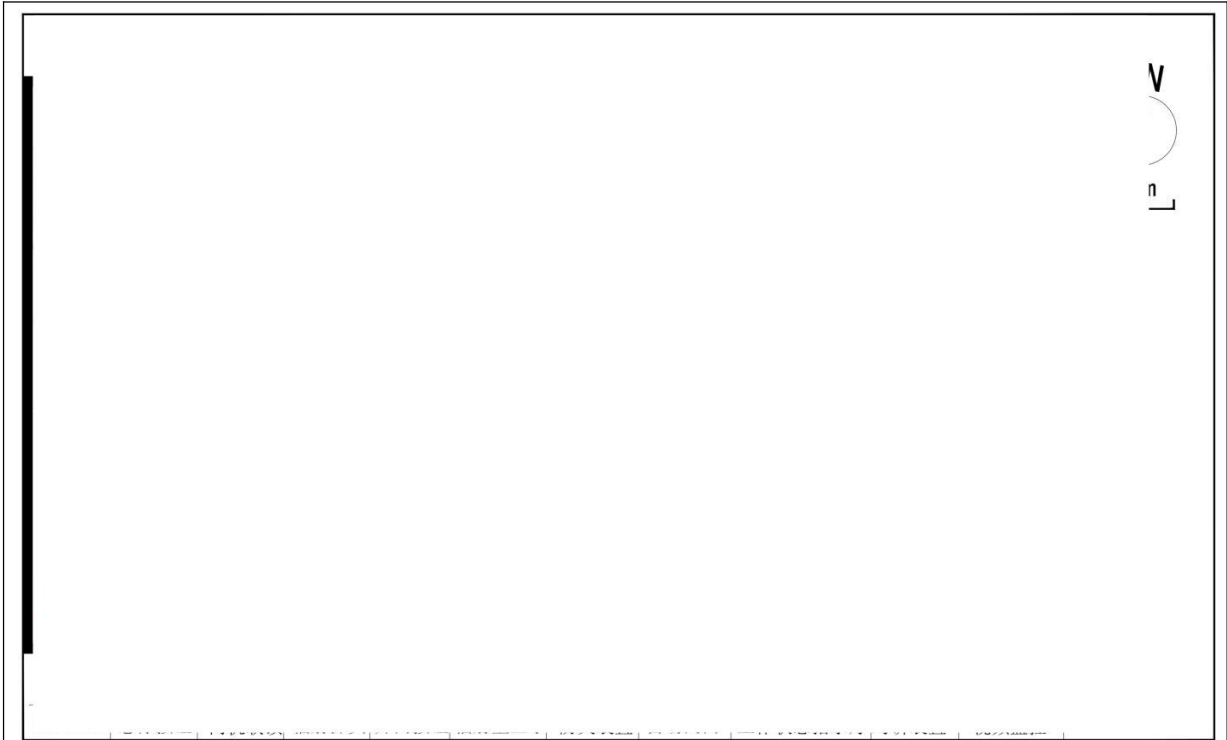


图 10-6 本项目放疗科所拟采取的辐射安全措施布置示意图

4. 电缆敷设

本项目直线加速器机房的控制电缆通过电缆沟经水冷机房接至控制室，电缆沟埋地“U”型斜穿墙，埋地深度 40cm，非有用线束在电缆沟内至少经过 3 次散射才能到达机房外，且电缆沟使用 20mm 铅厚的成品盖板进行屏蔽补偿，不会破坏机房的整体屏蔽效果。本项目直线加速器机房的电缆沟布设及穿墙示意图见图 10-7。

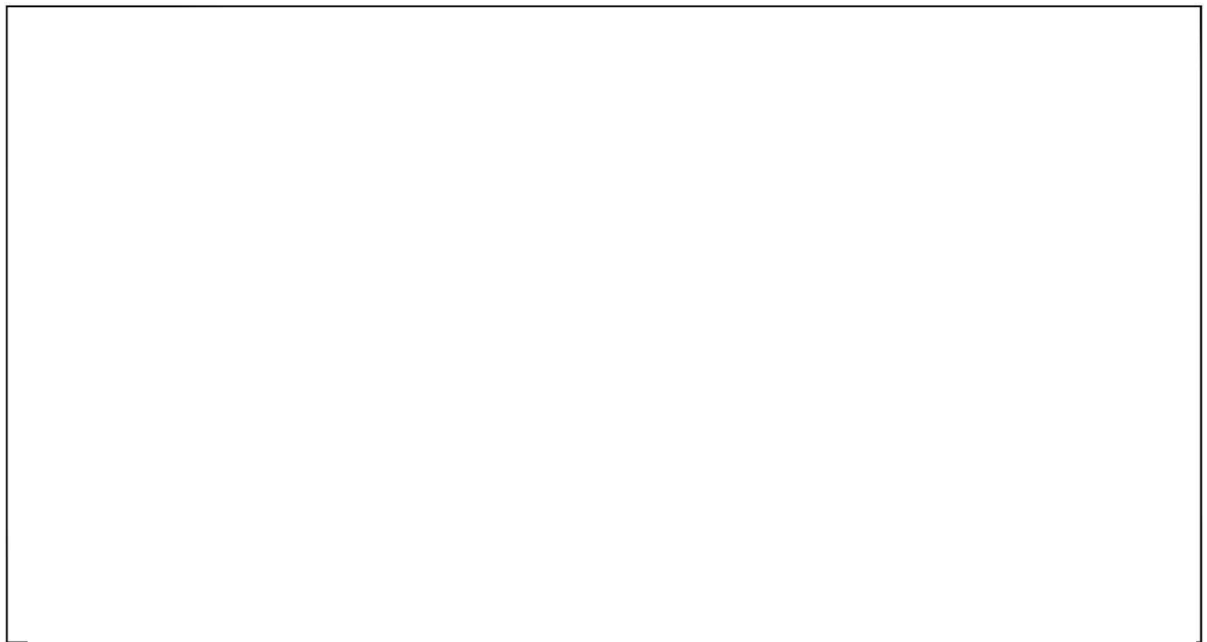


图 10-7 本项目直线加速器机房电缆沟布设及穿墙示意图（单位：mm）

三、DSA 项目

1. 工作场所布局与分区

(1) 工作场所布局

本项目 DSA 工作场所设有手术室、控制室、设备间，手术室与控制室、设备间分开单独设置，区域划分明确，布局基本合理。

本项目 DSA 手术室内最小有效使用面积、最小单边长度见表 10-9。

表 10-9 本项目 DSA 手术室使用面积、单边长度一览表

| 机房名称 | 使用设备 | 机房内最小有效使用面积 (m ²) | | 机房内最小单边长度 (m) | |
|---------|------|-------------------------------|------|---------------|------|
| | | 本项目 | 标准要求 | 本项目 | 标准要求 |
| DSA 手术室 | | | | | |

从表 10-9 可知，本项目 DSA 手术室最小有效使用面积、最小单边长度能够满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中“单管头 X 射线设备机房最小有效使用面积应不小于 20m²、最小单边长度应不小于 3.5m”的要求。

(2) 工作场所分区

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。

控制区：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。

监督区：通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

本项目对 DSA 工作场所进行分区管理，将 DSA 手术室划为控制区，工作期间禁止除介入手术人员和患者外的其他人员进入；将控制室、走廊、污物通道划为监督区，工作期间禁止任何无关人员进入。医院拟在边界处设置电离辐射警示标识以及中文警示说明，并在监督区入口处设立表明监督区的标识牌。

本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于辐射工作场所的分区规定。本项目 DSA 控制区与监督区的划分见图 10-8。

表 10-10 本项目 DSA 工作场所的控制区和监督区划分一览表

| 场所名称 | 控制区 | 监督区 |
|------|-----|-----|
|------|-----|-----|



图 10-8 本项目 DSA 工作场所控制区与监督区划分示意图

2. 辐射防护屏蔽设计

本项目 DSA 手术室的屏蔽防护参数见表 10-11。

表 10-11 本项目 DSA 手术室的屏蔽防护参数一览表

| 机房名称 | 四周墙壁 | 顶部 | 底板 | 防护门 | 观察窗 |
|---------|------|----|----|-----|-----|
| DSA 手术室 | | | | | |

注：①铅的密度为 11.3g/cm³；

②本项目 DSA 手术室为拆除原预防保健科部分墙体后采用钢结构+铅板搭建。

为避免辐射泄漏，手术室防护门与墙体各侧搭接均不少于 10cm，防护门与墙壁之间的缝隙均小于 1cm，铅板安装时铅板密拼，门、窗与墙搭接处采用相同厚度的铅板包裹，铅板用螺丝等固定时，固定处采用相同厚度的铅板包裹进行屏蔽补偿。

3. 辐射安全和防护措施

为保障 DSA 安全运行，避免在开机期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，本项目 DSA 工作场所设置有相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 工作状态指示灯

DSA 手术室患者通道防护门上方设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、

灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与患者通道防护门设置门灯联动装置。

(2) 防夹和闭门装置

DSA 手术室的平开门设置有自动闭门装置，电动推拉门设置有防夹装置并设置曝光时关闭的管理措施。

(3) 电离辐射警告标志

DSA 手术室各防护门外表面均设置电离辐射警告标志，提醒无关人员勿靠近手术室或在附近逗留，候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

(4) 监控与对讲装置

DSA 手术室设置有观察窗与对讲装置，工作人员在控制室内可及时观察患者情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。

(5) 紧急开门装置和急停开关

DSA 手术室内设置紧急开门装置，且设备上和控制室内均设置有急停开关，防止意外情况的发生。

(6) 个人防护用品

表10-12 介入放射学个人防护用品和辅助防护设施配置要求

| 放射检查类型 | 类型 | | 《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2020) | 本项目拟采取的措施 |
|---------|------|--------|--|--|
| 介入放射学操作 | 工作人员 | 个人防护用品 | 铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、 铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子 | 3 套铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、 铅防护眼镜和 0.025mmPb 的介入防护手套 |
| | | 辅助防护设施 | 铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、 床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风 | 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏、 床侧防护帘辅助防护设施 |
| | 受检者 | 个人防护用品 | 铅橡胶性腺防护围裙（方 形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子 | 1 套 0.5mmPb 的铅橡胶性腺 防护围裙、铅橡胶颈套 |
| | | 辅助防护设施 | / | / |

(6) 其他辐射安全措施

由于 DSA 介入治疗需要长时间的透视和大量的摄片，X 射线球管工作时产生的散射线对机房内介入手术人员有较大影响，根据辐射防护“三原则”，医院还应在以下方面加强对介入治疗的防护工作：

◆引入的辐射设备及配套设备必须符合国际的或者国家的标准，满足各种特殊操作的要求，其性能必须与操作性质相符合；设备应该常规调节到满足低剂量的有效范围内，并尽可能提高图像质量；

◆临床介入手术时，采用床侧立地防护屏、防护手术手套、床侧竖屏及床上防护屏、床下吊帘、床侧吊帘等屏蔽防护措施，能够有效降低介入手术人员的吸收剂量；

◆一般说来，降低患者的剂量的措施可以同时降低工作人员的辐射剂量，应加强对介入手术人员的培训，包括辐射防护的培训，参与介入手术的工作人员应该技术熟练、动作迅速，以减少患者和介入手术人员的剂量；

◆操作中减少透视时间和减少照相的次数可以显著降低工作人员的辐射剂量，介入手术人员在操作时应尽量远离检查床。

综上所述，本项目 DSA 工作场所采用以上辐射安全和防护措施后，能够满足开展本项目所需要的环保要求。

本项目 DSA 工作场所的部分辐射安全措施布置示意图分别见图 10-9。

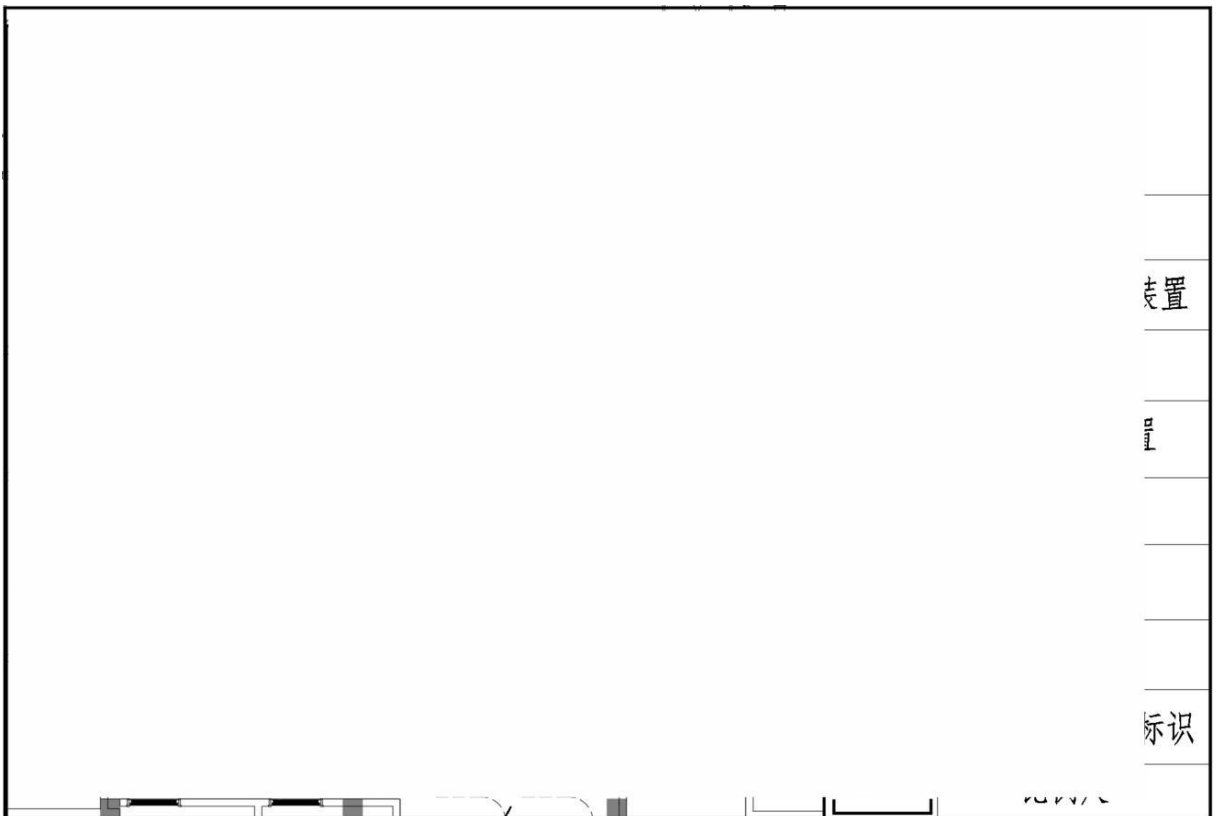


图 10-9 本项目 DSA 工作场所拟采取的辐射安全措施布置示意图

4. 电缆敷设

本项目 DSA 手术室的控制电缆通过电缆沟连接至控制室，电缆沟深 50mm、宽 200mm，X 线球管一般由下往上照射，X 射线至少经过 3 次散射才能通过电缆沟散射至手术室外，且电缆沟用 4mm 厚钢板进行覆盖，满足《放射诊断放射防护要求》

（GBZ130-2020）中的屏蔽防护要求，故电缆沟不会破坏手术室的整体屏蔽防护效果。电缆沟示意图见图 10-10。

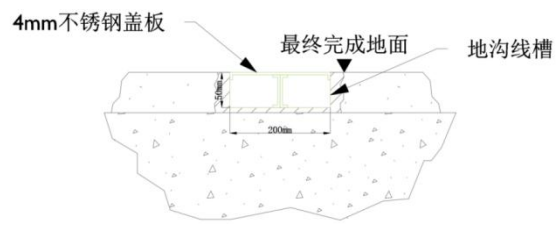


图 10-10 本项目 DSA 手术室内电缆沟示意图

三废的治理

一、核医学科

1. 放射性废水处理措施

医院拟在精准医疗中心最底层（负2楼）新建一间衰变室，衰变室周边为土层，避开了人群集中活动区域，衰变室入口处将设置电离辐射警告标志和警示标语，禁止公众靠近和在此逗留，衰变池选址合理。

本项目产生的放射性废水主要来自核医学科病人的排泄废水、工作人员应急淋浴废水及场所的清洗废水，核医学科设置有独立的病人专用卫生间，且设置有独立的排水系统，并与衰变池相连。为提高衰变池利用率，医院计划在衰变室内配备两套一体化不锈钢衰变系统即长半衰期衰变系统和短半衰期衰变系统。

本项目核医学科中的 SPECT 诊断和 PET 诊断项目产生的放射性废水经专用管道排至降解槽进行预处理（降解槽内设有两套铰刀泵），再排入短半衰期衰变池槽体处理，短半衰期衰变系统包含 3 个衰变池。甲癌治疗区产生的放射性废水经专用管道排至降解槽进行预处理（降解槽内设有两套铰刀泵），再排至长半衰期衰变池，长半衰期衰变系统包含 5 个衰变池，放射性废水衰变系统内部结构及平面布置图见附图 7-1。

(1) SPECT、PET 诊断产生的放射性废水处理措施

本项目 SPECT 和 PET 诊断产生的放射性废水经专用管道排至短半衰期衰变系统，其中核素 ^{111}In 半衰期最长为 2.80d。本项目短半衰期放射性废水衰变系统由 3 个衰变池组成，单个衰变池的有效容积为 7.65m^3 （ $1.5\text{m}\times 3\text{m}\times 1.7\text{m}$ ），衰变池内均设有电缆浮球液位计，顶部设有检修口，检修口设有不锈钢盖板。

本项目槽式放射性废水衰变系统具体工作流程为：PET 和 SPECT 显像检查产生的放射性废水首先排至降解槽内，经铰刀泵将所有的粪便等固态残渣彻底打碎后，随后再由泵将废液抽至衰变池内储存衰变，当衰变池 1#电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭衰变池 1#的进水阀，同时打开衰变池 2#的进水阀，当衰变池 2#电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭衰变池 2#的进水阀，同时打开衰变池 3#的进水阀，当衰变池 3#中放射性废水储存到该衰变池容积的 90%时，电子控制系统自动打开衰变池 1#的排水阀，通过泵排空衰变池 1#中放射性废水，当衰变池 3#电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭衰变池 3#的进水阀，同时打开衰变池 1#的进水阀，3 个衰变池轮流使用。每次排放前均需监测，监测结果满足总 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，方可排放至医院的污水处理

系统，作为医疗废水进行处理。

本项目 SPECT 和 PET 诊断年产生放射性废水 136m^3 ，平均每月产生放射性废水约 11.33m^3 。而本项目放射性废水衰变系统设有 3 个衰变池，单个衰变池有效容积为 7.65m^3 ，根据槽式放射性废水衰变系统的工作原理，放射性废水可在该衰变系统中衰变 1.28 个月（ $(7.65\text{m}^3+7.65\text{m}^3\times 0.9)/11.33\text{m}^3$ ），约 38 天，满足 HJ1188-2021 中“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”的要求。

本项目 PET 诊断场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至核医学科东侧的水井内（水井外层为 200mm 混凝土），并接至负一楼顶部的排水横干管（附图 7-5）。SPECT 诊断场所产生的放射性废水通过预埋好的管道接至负一楼顶部的排水横干管（附图 7-5），且为降低管道对周围环境的影响，拟在所有废水管道外包裹 3mm 铅皮，并在管道走向上设有标记，便于检测和维修。所有排水主管道均在下一层的吊顶内敷设，最后从衰变室西侧顶部进入衰变室（附图 7-6），无曝露于地面的放射性废液管道。核医学科 SPECT 和 PET 诊断产生的放射性废水排水管道布设见附图 7-2~附图 7-6。

（2）甲癌治疗区放射性废水处理措施

本项目甲癌用药患者产生的含有 ^{131}I 的排泄物及冲洗水、工作人员的应急淋浴和清洗废水、工作场所的清洗废水，因放射性核素 ^{131}I 半衰期较长，半衰期为 8.04d，上述放射性废水排至长半衰期放射性废水衰变系统。本项目长半衰期放射性废水衰变系统由 5 个衰变池组成，单个衰变池的有效容积约为 17.25m^3 （ $5\text{m}\times 1.5\text{m}\times 2.3\text{m}$ ），衰变池内均设有电缆浮球液位计，顶部设有检修口，检修口设有不锈钢盖板。

本项目长半衰期放射性废水衰变系统与短半衰期放射性废水衰变系统均采用槽式衰变池，工作流程参照短半衰期衰变系统。5 个衰变池轮流使用，每次排放前均需取样监测，监测结果满足总 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L 、 ^{131}I 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，方可排放至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理。

本项目甲癌治疗区的放射性废水周产生量为 1.6m^3 ，而本项目槽式放射性废水衰变系统设有 5 个衰变池，单个衰变池有效容积为 17.25m^3 ，根据槽式放射性废水衰变系统的工作原理，放射性废水可在该槽式衰变系统中衰变约 42 周（ $(17.25\text{m}^3\times 3+17.25\text{m}^3\times 0.9)/1.6\text{m}^3$ ），约 294 天，能够满足 HJ 1188-2021 中含 ^{131}I 核素的放射性废液暂存超过 180 天的要求。

为减少甲癌治疗对周围公众的影响，将甲癌治疗场所设置在 3 楼，甲癌治疗产生的放射性废水通过预埋好的管道（下一层吊顶内）排至核医学科东侧的水井内（水井外层为 200mm 混凝土），废水管道经水井接至负一楼东侧走道顶部的管道后通过放疗科底部预埋管道接入衰变室。且为降低管道对周围环境的影响，拟在所有废水管道外包裹 3mm 铅皮，并在管道走向上设有标记，便于检测和维修，无曝露于地面的放射性废液管道。甲癌治疗产生的放射性废水排水管道布设见附图 7-4~附图 7-6。

综上所述，本项目放射性废水衰变室和衰变系统的结构设计合理，满足防腐、防渗、耐酸碱腐蚀的要求。本项目核医学科产生的放射性废水经专用管道排至放射性废水衰变系统，自然衰变至少十个半衰期，满足排放标准后流至医院的污水处理系统作为普通医疗废水处理，满足放射性废水处置要求。

此外，医院应安排专人负责放射性废水的暂存和处理，并建立废水暂存和处理台账，详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间等信息。采取上述措施后，方能满足放射性废水的辐射安全管理要求。

2. 放射性废气处理措施

本项目核医学科的 SPECT 诊断场所、PET 诊断场所、甲癌治疗场所及衰变室内各设计一套独立的排风系统，核医学科场所内的手套箱、全自动分装给药仪设计独立的排风系统，监督区相对清洁区为微负压，控制区相对监督区为负压，手套箱相对控制区为负压，保证各工作场所内的空气由清洁区向监督区再向控制区流动。核医学科各房间的排风量为（100~600） m^3/h ，手套箱和全自动分装给药仪的风速不小于 0.5m/s，核医学科内空气经各自排风管道（内设止回阀）引至专用排风井，再经排风井引至精准医疗中心的楼顶排放，排风口处设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。手套箱和全自动分装给药仪分别在箱体顶部和排风口处设置两级活性炭过滤系统，各工作场所的排风管道在排风口处设置一级活性炭过滤系统。

精准医疗中心地上共 3 层，屋面高 14.4m，核医学科排气口位于精准医疗中心顶楼的东侧（高于屋面 3m，约 18m），排气口周围无高层建筑，对周围环境辐射影响很小。综上所述，本项目核医学科放射性废气的排放满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求。本项目核医学科的排风系统布设见附图 8-1~附图 8-6。

本项目排风管道采用不锈钢和镀锌钢材质，核医学科中挥发的放射性气溶胶非常

少，且排风管道布设在核医学科吊顶上方，对周围环境辐射影响很小，排风管道外无额外的屏蔽防护。本项目核医学科通风系统安装的活性炭过滤装置应不影响通风效率，并应定期更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间，建议每季度更换一次，更换的废活性炭作为放射性固体废物处理。

3. 放射性固体废物处理措施

本项目核医学科的 SPECT 诊断场所产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，每日工作结束后进行分类收集，沾有核素 ^{99m}Tc 、 ^{111}In 、 ^{123}I 的放射性固体废物集中收集，沾有核素 ^{131}I 的放射性固体废物单独收集，沾有核素 ^{99m}Tc 、 ^{111}In 、 ^{123}I 的放射性固体废物自然衰变至少 30 天，沾有核素 ^{131}I 的放射性固体废物自然衰变至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目核医学科的 PET 诊断场所产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，每日工作结束后集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在 PET 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 30 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目 PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所通风系统更换的废活性炭集中收集放置在 PET 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 30 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物处理。

本项目核医学科的甲癌治疗区产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，病人出院后集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在甲癌治疗区的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目甲癌治疗区通风系统更换的废活性炭集中收集放置在甲癌治疗区的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物

物处理。

本项目 SPECT 诊断场所、PET 诊断场所、甲癌治疗区内分别设置一间放射性固废暂存间，面积分别为 9.12 m²、5.7m²、11.38m²，放射性暂存间内设置废物桶，废物桶表面注明核素名称、入库信息等。SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间内设置 5 个废物桶，3 个废物桶用于暂存沾有核素 ^{99m}Tc、¹¹¹In、¹²³I 的放射性固体废物，每个废物桶至少能够暂存 30 天的废物量，3 个废物桶轮流使用；2 个废物桶用于暂存沾有 ¹³¹I 的放射性固体废物，2 个废物桶轮流使用。PET 诊断场所的放射性固废暂存间内设置 4 个废物桶，3 个废物桶用于暂存 PET 诊断区的放射性固体废物，每个废物桶至少能够暂存 30 天的废物量，3 个废物桶轮流使用；1 个废物桶用于暂存废活性炭，至少能够暂存一个季度的废活性炭。甲癌治疗区的放射性固废暂存间内设置 9 个废物桶，其中 8 个废物桶用于暂存沾有核素 ¹³¹I 的放射性固体废物，每个废物桶至少能够暂存 4 周的废物量，8 个废物桶轮流使用；1 个废物桶用于暂存废活性炭，至少能够暂存 3 个季度的废活性炭。本项目核医学科放射性固废暂存间的设计及废物桶的配置能够满足放射性固体废物的暂存需求。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 ¹³¹I 的放射性固体废物暂存时间超过 180 天，并经监测满足要求后集中处理，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。

此外，医院应安排专人负责放射性固体废物的存储和处理，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性固体废物的核素名称、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。采取上述措施后，方能满足放射性固体废物的辐射安全管理要求。

4. 甲癌病房更换的被服处理措施

根据《核医学放射防护要求》GBZ120-2020 中 10.1.9，本项目甲癌病房每次更换的被服集中收集放在专用塑料袋中，并放置在核医学科的污物暂存间内，暂存至少一个半衰期后再进行清洗重复利用，满足环保相关要求。

5. 非放废物处理措施

(1) 项目运行期间产生的生活污水将依托医院的污水处理系统进行处置；办公垃圾将依托医院的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理。

(2) SPECT/CT 扫描室、PET/CT 扫描室产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下约 50min 自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

二、放疗科

1. 废水治理措施

本项目加速器冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水。项目运行期间产生的生活污水依托医院的污水处理系统进行处置。

2. 废气治理措施

本项目直线加速器机房内拟设置机械通风系统，包括新风和排风装置，采用全排全送的通风方式。直线加速器机房送风口位于机房东部的吊顶处，室内排风口位于机房西部距地面高度为 200mm 处，送风口和排风口呈对角线布置，加速器机房内空气由排风管道引至加速器专用排风井，并由排风井引至精准医疗中心的楼顶排放。

本项目直线加速器机房的设计排风量为 3800m³/h，直线加速器机房内容积（包含迷道容积）约为 400m³，可使直线加速器机房通风换气不小于 9 次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出室外，臭氧在常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

本项目直线加速器机房通风系统的送排风管道从机房迷道出口处上方呈“Z”字型上翻穿墙（机房内穿墙管道外部包裹 20mm 厚铅板，与防护门铅当量相当），送排风管道穿墙孔避开初级射线直接照射，射线经迷道散射后，再经穿墙孔至少 3 次散射才能到达机房外，送排风管道穿墙孔外侧的辐射剂量将在控制范围内。本项目直线加速器机房送排风管道布设见附图 8-5。

综上所述，本项目加速器机房拟设置的通风系统能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关要求。

本项目 CT 模拟定位机房内拟设置机械排风装置，机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，经加速器专用通风井引至楼顶排放，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中机房应设置动力通风装置并保持良好通风的要求。

3. 固体废弃物治理措施

项目运行期间产生的定位体膜、一次性床单等医疗废物作为普通医疗废物处理；办公垃圾将依托医院的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理。

三、DSA 项目

1. 废气治理措施

项目运行期产生的废气主要为 DSA 运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。本项目 DSA 机房内安装有净化通风系统，产生的臭氧和氮氧化物可通过净化通风系统排出机房外，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响很小。

2. 固体废物治理措施

项目运行期产生的固体废物主要为医疗废物和生活垃圾，手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在机房内的垃圾桶中，手术结束集中收集后作为普通医疗废物处理；工作人员工作中产生的少量生活垃圾，依托医院的保洁措施，统一收集后交由环卫部门统一处理。

3. 废水治理措施

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水，生活污水先排入院内污水处理站，经预处理满足接管要求后接入市政污水管网。

采取上述措施后本项目的废物处置方式能够满足当前环保管理的要求。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目精准医疗中心为新建，DSA 项目为原预防保健科改建。本项目在建设阶段会产生一定量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物，将对周围环境产生一定的影响。现就施工期间的环境影响和相应的污染预防治理措施进行分析：

(1) 大气：本项目在建设施工期，各种施工作业将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：a.及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b.车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；c.施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

(2) 噪声：本项目在建设施工期，各种施工设备及运输车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时将严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，合理安排施工时间，禁止运输车辆鸣笛等措施，保证施工过程对施工现场附近区域的影响满足标准要求。同时严禁夜间进行强噪声作业，若需在夜间作业，需取得生态环境部门同意。

(3) 固体废物：本项目施工期间产生的固体废物主要有建筑施工过程中产生的建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾，建筑垃圾应堆放在指定地点并委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落；装修垃圾和生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理，做到日产日清。施工期临时堆放场地应妥善处理，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持工区环境的洁净卫生。

(4) 废水：本项目施工期污水主要为各种施工机械设备的清洗用水和施工现场清洗、建材清洗产生的废水以及施工人员的生活污水，生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网，清洗用水用于场地洒水抑尘、场地浇灌等，含有泥浆的建筑废水进行回收利用。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期的结束，对环境的影响也消除。医院只要在施工阶段采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院内，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、核医学科辐射环境影响分析

本项目核医学科使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{111}In 、 ^{123}I 、 ^{131}I 放射性药物开展核素诊断和治疗，这些核素主要考虑 γ 射线的辐射影响。 γ 射线穿透能力强，会对核医学科内的工作人员和公众，以及核医学科周围活动的公众产生外照射影响。

1. γ 射线辐射影响分析

发射 γ 射线的放射性药物，其周围剂量当量率可近似按照点源模式计算，采用《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中公式（I.1）计算参考点周围剂量当量率：

$$K_a = \frac{A \cdot \Gamma}{R^2} \cdot \eta \quad (\text{式 11-1})$$

上式中： K_a —周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A —放射性药物的活度， MBq ；

Γ —距源 1m 处周围剂量当量率常数， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ，其值见表 9-10；

R —距放射源的距离， m ；

η —透射比，无屏蔽情况下取 1，有屏蔽情况下，根据相对应屏蔽材料的什值层计算相应的透射比。

$$\eta = 10^{-X/\text{TVL}} \quad (\text{式 11-2})$$

上式中： X —屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位。

本项目使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{111}In 、 ^{123}I 进行 SPECT/CT 诊断，在进行 γ 射线辐射影响分析时，从核素周围剂量当量率、单人单次最大用药量及门诊量综合考虑，SPECT/CT 诊断选取核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行计算。

本项目核医学科使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 进行 PET/CT 诊断，因 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 发射的 γ 射线能量相同，而 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 的周围剂量当量率常数小于 ^{18}F ，且 ^{18}F 的单人单次最大用药量及年门诊量最大，故在进行 γ 射线辐射影响分析时，选取操作量最大、辐射影响最大的核素 ^{18}F 进行计算；

因此本项目预测 γ 射线辐射影响分析时只考虑核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 。

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020），放射性核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 对应铅、混凝土的什值层见表 11-1。

表 11-1 放射性核素对应屏蔽物质的什值层取值一览表（单位：mm）

| 核素 | 铅（11.3g/cm ³ ） | 混凝土（2.35g/cm ³ ） |
|-------------------|---------------------------|-----------------------------|
| ¹⁸ F | 16.6 | 176 |
| ^{99m} Tc | 1 | 110 |
| ¹³¹ I | 11 | 170 |

表 11-2 给出了患者单次最大用药在无屏蔽状态下，其周围 1m 处的周围剂量当量率值。

表 11-2 无屏蔽状态下不同距离的放射性核素周围剂量当量率（μSv/h）

| 距离（m） | 1.0 |
|-------|-----|
| | |
| | |
| | |
| | |

注：计算时保守不考虑注射器外部铅套，操作时注射器外均加铅屏蔽套。

从表中结果看出，裸露状态下的放射性核素辐射水平较高，对周围辐射影响较大；而用药后的患者都可以看作是近似裸源状态。因此，放射性核素的操作均需在良好的屏蔽下进行，而用药后的患者也必须在具有一定辐射防护的房间内候诊、留观，减小其 γ 射线对外环境的辐射影响。

（1）SPECT/CT 诊断中的 γ 射线辐射影响水平预测

根据工程分析可知，SPECT/CT 放射诊断项目辐射影响主要包括药物注射、注射后患者候诊、患者扫描和患者检后留观，主要对核医学科工作场所辐射工作人员及室外公众产生外照射辐射影响。

在开展核素诊断时，SPECT 注射后候诊室每次最多 4 名患者同时候诊，SPECT 留观室每次最多 2 名患者同时留观。

本项目甲亢治疗项目依托 SPECT 诊断区，甲亢病人在服药后无需留观即可离开医院。

根据公式（11-1）、（11-2）可估算出项目周围各关注点处的辐射水平，具体见表 11-3，参考点位置见图 11-1。

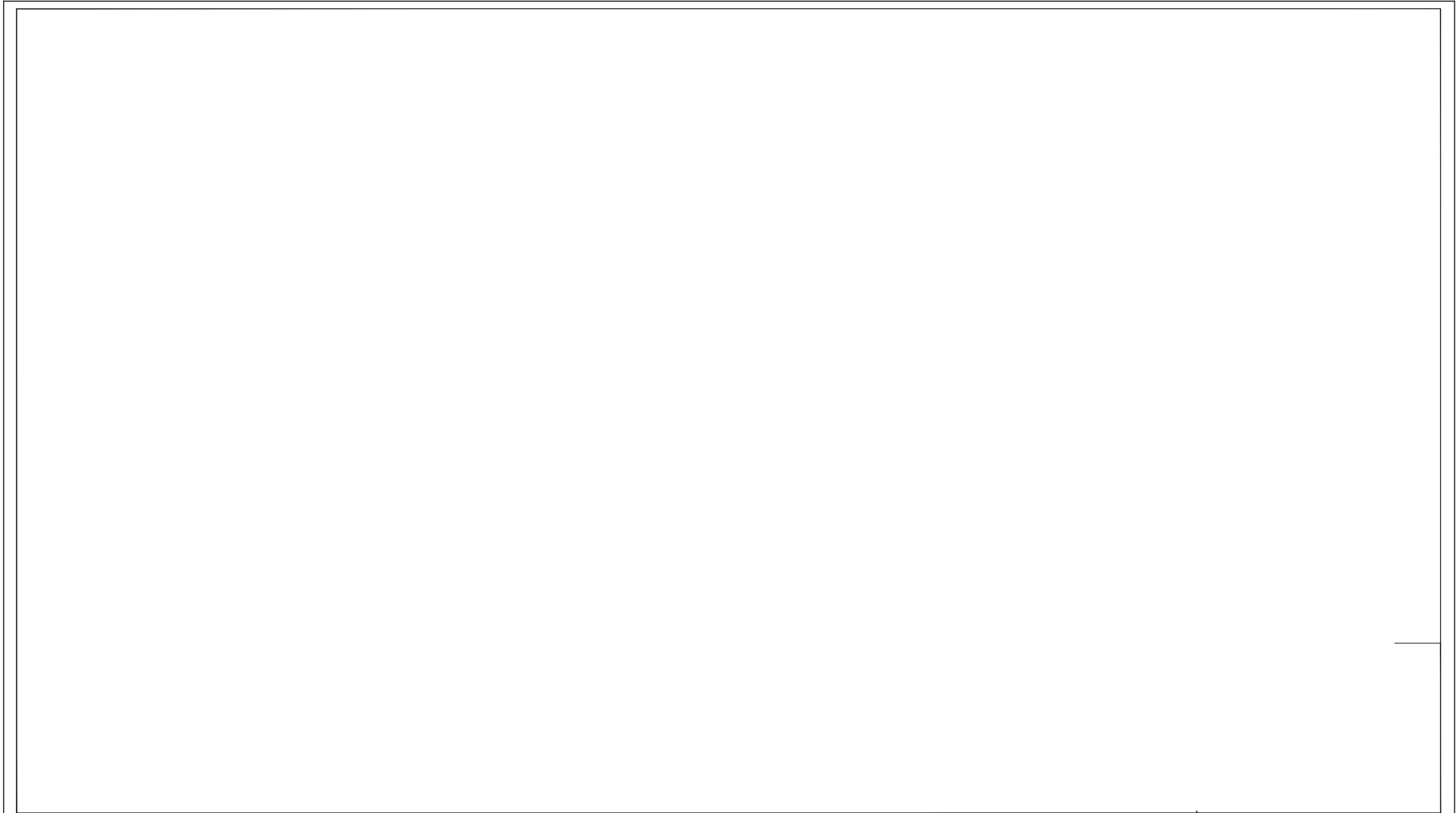


图 11-1 SPECT 诊断区参考点位示意图

表 11-3 本项目 SPECT/CT 诊断各参考点位辐射水平估算结果

| 参考点位 | | 活度 (Bq) | 衰减距离 (m) | 防护措施 | 透射比 | 参考点辐射水平 (μSv/h) | 控制目标值 (μSv/h) |
|-------|------------------------|-------------------------|----------|------|---------------------|-----------------|---------------|
| 注射分装室 | 1 | 1.1 | (99 (| | | | .5 |
| | | 3.7 | | | | | .5 |
| | 2 | SPECT 手套箱人员操作位表面 30cm | | | | | .5 |
| | 3 | SPECT 手套箱非正对人员操作位表面 5cm | | | | | 5 |
| | 4 | 东墙表面 30cm 处 (运动负荷/抢救室) | | | | | .5 |
| | 5 | 南墙表面 30cm 处 (废物间) | | | | | .5 |
| 6 | 西墙表面 30cm 处 (卫生通过间、公卫) | .5 | | | | | |
| | | | | | (¹³¹ I) | | |

| | | | | | | | | | |
|--------------|----|--------------------------|--------------------------------------|--|--|-------------------------------|------------------------|--|----|
| | 7 | 北墙表面 30cm 处 (患者走廊) | | | | 1.52×10^{-42} 99m | 3.35×10^{-41} | | 0 |
| | 8 | 北侧防护门表面 30cm 处 (患者走廊) | | | | | | | 0 |
| | 9 | 南侧防护门表面 30cm 处 (废物间) | | | | | | | .5 |
| | 10 | 西侧防护门表面 30cm 处 (卫生通过) | | | | | | | .5 |
| | 11 | 楼上地面 30cm 处 (PET 诊断区) | | | | | | | .5 |
| | 12 | 楼下地面 170cm 处 (放疗科) | | | | | | | .5 |
| 运动负荷/ 抢救室 | 13 | 东墙表面 30cm 处 (注射后候诊室) | 1.1 (^{99m} Tc, 单 大用) | | | | | | .5 |
| | 14 | 南墙表面 30cm 处 | | | | | | | .5 |

| | | | | | | | |
|------------------------|----|---------------------------|--|--|--|--|--|
| | | (注射后候诊室卫生间) | | | | | |
| | 15 | 西墙表面 30cm 处 (注射分装室) | | | | | |
| | 16 | 北墙表面 30cm 处 (患者走廊) | | | | | |
| | 17 | 防护门表面 30cm 处 (患者走廊) | | | | | |
| | 18 | 楼上地面 30cm 处 (PET 诊断区) | | | | | |
| | 19 | 楼下地面 170cm 处 (放疗科) | | | | | |
| SPECT/CT 注射后候 诊室 | 20 | 东墙表面 30cm 处 (病患梯) | | | | | |
| | 21 | 南墙表面 30cm 处 (院内道路) | | | | | |
| | 22 | 西墙表面 30cm 处 (运动负荷/抢救室) | | | | | |
| | 23 | 北墙表面 30cm 处 (洁具间、患者走廊) | | | | | |
| | 24 | 患者防护门表面 30cm 处 (患者走廊) | | | | | |
| | 25 | 楼上地面 30cm 处 (PET 诊断区) | | | | | |
| | 26 | 楼下地面 170cm 处 (放疗科) | | | | | |
| SPECT/CT 扫描室 | 27 | 东墙表面 30cm 处 (留观室) | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----------------|----|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| | 28 | 南墙表面 30cm 处 (患者走廊) | | | | | | | |
| | 29 | 西墙表面 30cm 处 (控制室、等候大厅) | | | | | | | |
| | 30 | 北墙表面 30cm 处 (院内道路) | | | | | | | |
| | 31 | 南侧患者防护门表面 30cm 处 (患者走廊) | | | | | | | |
| | 32 | 西侧工作人员防护门表面 30cm 处 (控制室) | | | | | | | |
| | 33 | 观察窗表面 30cm 处 (控制室) | | | | | | | |
| | 34 | 摆位处 | | | | | | | |
| | 35 | 楼上地面 30cm 处 (PET 诊断区) | | | | | | | |
| | 36 | 楼下地面 170cm 处 (放疗科) | | | | | | | |
| SPECT/CT 留观室 | 37 | 东墙表面 30cm 处 (楼梯) | | | | | | | |
| | 38 | 南墙表面 30cm 处 (患者走廊) | | | | | | | |
| | 39 | 西墙表面 30cm 处 (SPECT/CT 扫描室) | | | | | | | |
| | 40 | 北墙表面 30cm 处 (院内道路) | | | | | | | |
| | 41 | 患者防护门表面 30cm 处 (患者走廊) | | | | | | | |

(2) PET/CT 诊断中的 γ 射线辐射影响水平预测

根据工程分析可知，PET/CT 放射诊断项目辐射影响主要包括药物分装、药物注射、注射后患者候诊、患者扫描和患者检后留观，主要对核医学科工作场所辐射工作人员及室外公众产生外照射辐射影响。

本项目 PET/CT 每天分上午、下午两次送药，暂存于注射分装室 PET 手套箱内。每次送药最多 225mCi ($8.325 \times 10^9 \text{Bq}$)。在开展核素诊断时，每间 PET 注射后候诊室每次最多 2 名患者同时候诊，PET 留观室每次最多 2 名患者留观。

根据公式 (11-1)、(11-2) 可估算出项目周围各关注点处的辐射水平，具体见表 11-4，参考点位置见图 11-2。

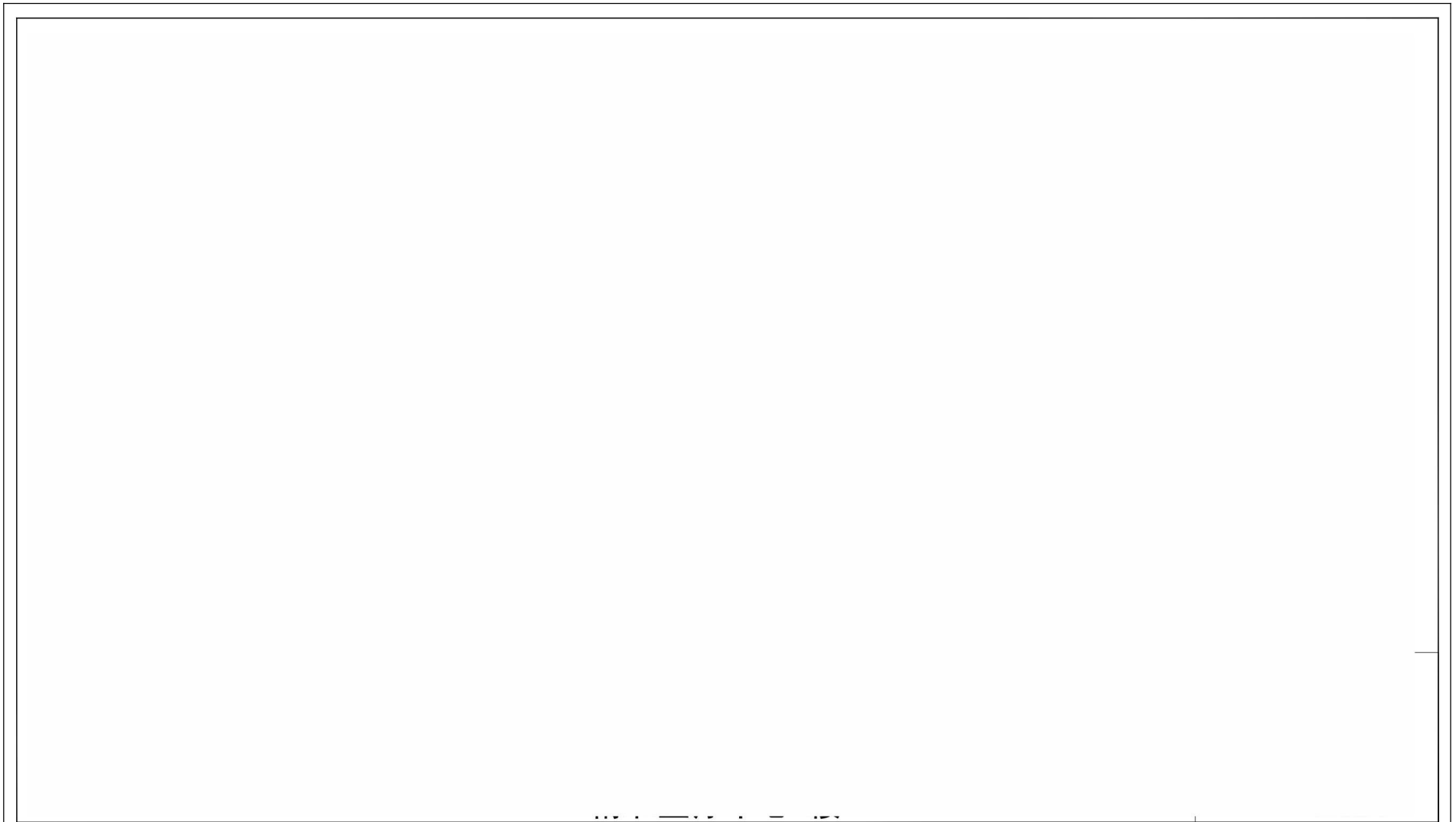


图 11-2 PET 诊断区参考点位示意图

表 11-4 本项目 PET/CT 诊断各参考点位辐射水平估算结果

| 参考点位 | | 活度 (Bq) | 衰减距离 (m) | 防护措施 | 透射比 | 参考点辐射水平 (μSv/h) | 控制目标值 (μSv/h) |
|-----------|----|---|----------|------|-----|-----------------|---------------|
| PET 注射分装室 | 1 | 3.7×10 ⁸ (¹⁸ F, 单名 | | | | | |
| | 2 | | PE | | | | |
| | 3 | | PE | | | | |
| | 4 | | | | | | |
| | 5 | | | | | | |
| | 6 | | (| | | | |
| | 7 | | | | | | |
| | 8 | | 北 | | | | |
| | 9 | | 南 | | | | |
| | 10 | | 西 | | | | |
| | 11 | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|----------|----|--------|--|--|-------|--|--|-------|--|
| | 12 | | | | | | | | |
| 注射后候诊室 1 | 13 | | | | | | | | |
| | 14 | | | | | | | | |
| | 15 | | | | | | | | |
| | 16 | | | | | | | | |
| | 17 | | | | | | | | |
| | 18 | | | | | | | | |
| | 19 | | | | | | | | |
| 注射后候诊室 2 | 20 | | | | | | | | |
| | 21 | | | | | | | | |
| | 22 | | | | | | | | |
| | 23 | | | | | | | | |
| | 24 | (患者走廊) | | | 6.154 | | | 0.461 | |

| | | | | | | | | | |
|------------|----|------|--|--|-------|--|--|-------|--|
| | 25 | | | | | | | | |
| | 26 | | | | | | | | |
| PET/CT 扫描室 | 27 | | | | | | | | |
| | 28 | | | | | | | | |
| | 29 | | | | | | | | |
| | 30 | | | | | | | | |
| | 31 | | | | | | | | |
| | 32 | 南 | | | | | | | |
| | 33 | | | | | | | | |
| | 34 | | | | | | | | |
| | 35 | | | | | | | | |
| | 36 | | | | | | | | |
| 37 | | | | | | | | | |
| 留观/抢救室 | 38 | (楼梯) | | | 5.893 | | | 0.111 | |

| | |
|--|---|
| | 3 |
| | 4 |
| | 4 |
| | 4 |
| | 4 |
| | 4 |
| | 4 |
| | 4 |

注：①参考点距离=辐射源至屏蔽体距离+0.3m，辐射源至屏蔽体距离见图 11-2，参考点距离保守取各座位/床位中心点至参考点的最短距离；

②PET 诊断场所层高 4.5m；1 楼层高 5.4m，故核医学科上方参考点距离=4.5m-1m+0.3=3.8m；PET 诊断场所下方参考点取 1 楼地面 1.7m 处=5.4m-1.7m+1m=4.7m；

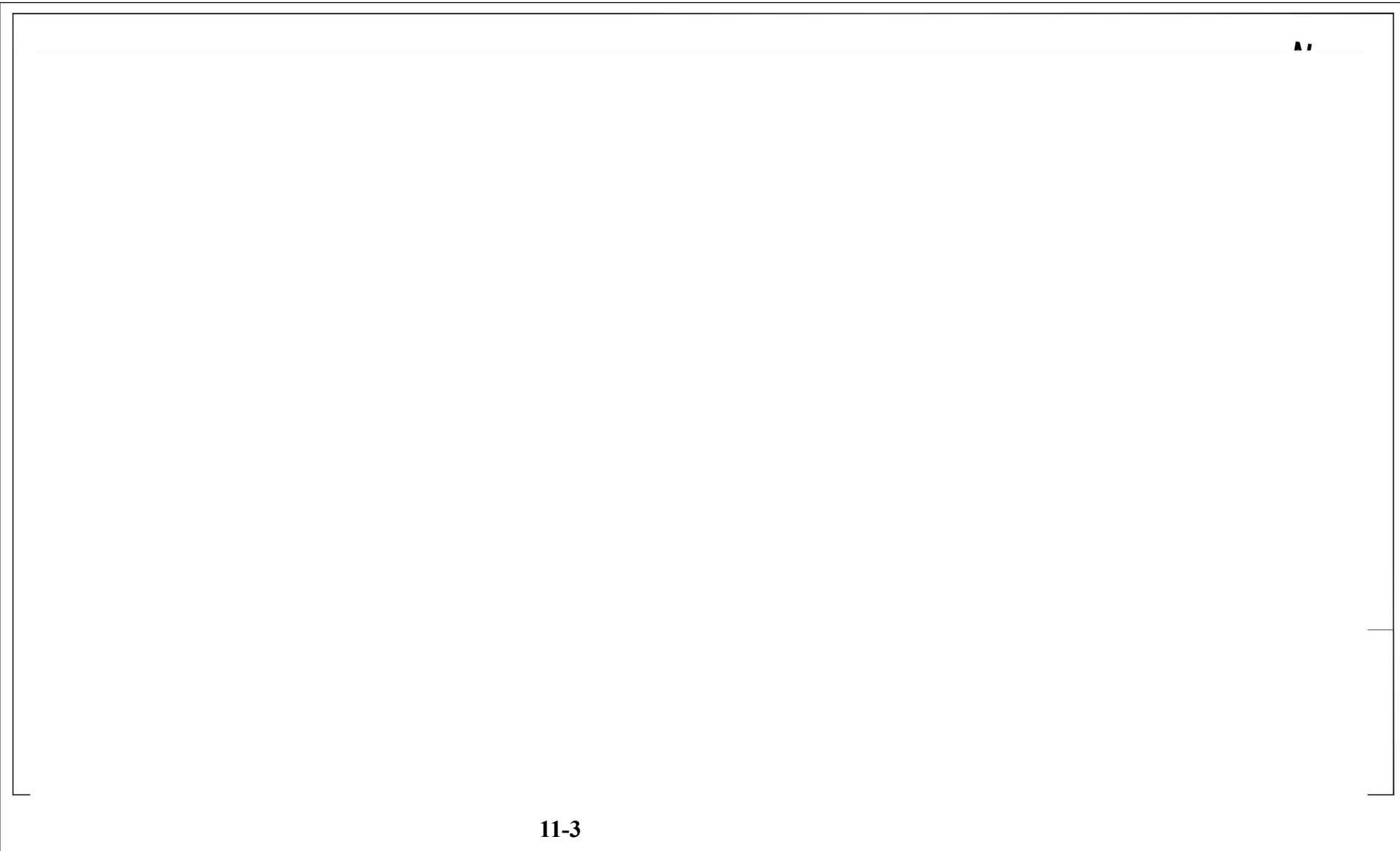
③参考点辐射水平分析时保守不考虑核素衰变情况，防护措施保守不考虑铅隔断的防护；

④铅密度为 11.3g/cm³，混凝土密度不小于 2.35g/cm³。

(3) 甲癌治疗中的 γ 射线辐射影响水平预测

本项目核医学科甲癌治疗区拟设置 3 间单人间病房，共 3 张病床，使用 ^{131}I 核素进行甲癌治疗，每周开展一次，每次最多接收 3 名住院患者。分装室内拟配备一台自动分装仪，医院购置 ^{131}I 药物后通过自动分装仪进行分装、给药。

根据公式 (11-1)、(11-2) 可估算出甲癌病房周围各关注点处的辐射水平，具体见表 11-5，参考点位置见图 11-3。



11-3

表 11-5 本项目甲癌治疗各参考点位辐射水平估算结果

| 参考点位 | | 活度 (Bq) | 衰减距离 (m) | 防护措施 | 透射比 | 参考点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$) | 控制目标值 ($\mu\text{Sv/h}$) |
|-------|----|---------|----------|------|-----|------------------------------|----------------------------|
| 给药分装室 | 1 | | | | | | |
| | 2 | | | | | | |
| | 3 | | | | | | |
| | 4 | | | | | | |
| | 5 | | | | | | |
| | 6 | | | | | | |
| | 7 | | | | | | |
| | 8 | | | | | | |
| | 9 | | | | | | |
| | 10 | | | | | | |
| | 11 | | | | | | |
| 病房 1 | 12 | | | | | | |

| | | |
|------|----|--|
| | 13 | |
| | 14 | |
| | 15 | |
| | 16 | |
| | 17 | |
| | 18 | |
| 病房 2 | 19 | |
| | 20 | |
| | 21 | |
| | 22 | |
| | 23 | |
| | 24 | |
| | 25 | |
| 病房 3 | 26 | |

| | | |
|-----|----|----|
| | 27 | |
| | 28 | |
| | 29 | |
| | 30 | |
| | 31 | |
| | 32 | |
| 配餐间 | 33 | 人) |

注：①参考点距离=辐射源至屏蔽体距离+0.3m，辐射源至屏蔽体距离见图 11-3，参考点距离保守取各座位/床位中心点至参考点的最短距离；

②甲癌治疗场所（3楼）层高 4.5m；2楼层高 4.5m，故上方参考点距离=4.5m-1m+0.3=3.8m；下方参考点取负二楼地面 1.7m 处=4.5m+1-1.7m=3.8m；

③参考点辐射水平分析时保守不考虑核素衰变情况，防护措施保守不考虑铅屏风的防护；

④铅密度为 11.3g/cm³，混凝土密度不小于 2.35g/cm³。

4. 核素诊断设备中CT装置的X射线辐射影响分析

(1) 机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性

对于 SPECT/CT 扫描室、PET/CT 扫描室，除考虑放射性药物产生的 γ 射线的辐射影响外，还需考虑 SPECT/CT、PET/CT 运行时 CT 产生的 X 射线的辐射影响。针对 CT 发出的 X 射线，根据表 10-3、10-4 并对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录表 C，SPECT/CT 扫描室、PET/CT 扫描室屏蔽体等效屏蔽铅当量及尺寸大小见表 11-6。

表 11-6 本项目 SPECT/CT 扫描室和 PET/CT 扫描室屏蔽符合性分析

| 场所名称 | 屏蔽体 | 屏蔽设计参数 | 等效铅当量 (mm) | 标准要求铅当量 (mm) | 评价结果 |
|--------------|-----|--|------------|--------------|------|
| SPECT/CT 扫描室 | | | | | 足要求 |
| | | | | | 足要求 |
| | | | | | 足要求 |
| | | | | | 足要求 |
| | | | | | 足要求 |
| PET/CT 扫描室 | | | | | 足要求 |
| | | | | | 足要求 |
| | | | | | 足要求 |
| | | | | | 足要求 |
| | | | | | 足要求 |
| | 尺寸 | 长 8.08m、宽 6.75m，有效使用面积约为 54.54m ² | | | |

注：屏蔽厚度取同侧最薄弱处，铅密度为 11.3g/cm³，混凝土密度不小于 2.35g/cm³。

根据表 11-6，本项目 SPECT/CT 扫描室和 PET/CT 扫描室的尺寸大小能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“CT 机房最小单边长度应不小于 4.5m、最小有效使用面积应不小于 30m²”的要求，扫描室四周墙体、顶部、防护门及观察窗屏蔽厚度均不小于 2.5mm 铅当量，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“CT 机房屏蔽防护铅当量厚度不小于 2.5mm 铅当量”的要求。

(2) 机房屏蔽效果预测

此外，SPECT/CT 和 PET/CT 中的 X 线球管和探测器分别安装在被扫描组织的两侧，方向相对，有用线束透射方向为朝向扫描床（即患者方向），当球管产生的 X 线

穿过患者扫描组织，透过组织的剩余射线为探测器所接收。因此，SPECT/CT 和 PET/CT 开机过程中主要考虑泄漏和散射辐射影响。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量，本项目 SPECT/CT 和 PET/CT 日常使用中管电压范围为 80kV~120kV、管电流为 20mA~200mA，本项目在计算漏射线和散射线辐射影响时，工况保守取 120kV、200mA 进行计算。

① 泄漏辐射预测

泄漏辐射剂量率 \dot{H}_L 采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_t \cdot B \cdot K}{R^2} \quad (\text{式 11-3})$$

式中： H_t —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h；参考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》“（77）用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”以及《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）中的相应要求，本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h；

R —靶点至关注点的距离，见图 11-1、图 11-2；

K —有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，从《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）附录表 G.2 查取，对于本项目运行时最大常用管电压 120kV， K 值保守取 1.71；

B —屏蔽透射因子，无量纲，计算公式见式（11-4）。

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha x} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{式 11-4})$$

式中： α 、 β 、 γ —铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，根据 GBZ 130-2020 表 C.2 管电压为 120kV（本项目正常运行最大管电压）下铅的 α 、 β 、 γ 数值分别为 2.246、5.73、0.547；

X —铅厚度。

将有关参数代入公式（11-3）和公式（11-4），PET/CT 和 SPECT/CT 扫描室四周墙体、顶部、防护门、观察窗外关注点处的泄漏辐射剂量率计算结果见表 11-7。

表 11-7 SPECT/CT 和 PET/CT 扫描室外关注点处泄漏辐射剂量率计算结果

| 场所名称 | 关注点位置 | H_i (mGy/h) | 等效铅当量 (mmPb) | R (m) | B | \dot{H}_L (μ Sv/h) |
|-----------------|---------------------|------------------|-----------------|----------|---|------------------------------|
| SPECT/CT 扫描室 | 东墙表面外 30cm | | | | | |
| | 南墙表面外 30cm | | | | | |
| | 西墙表面外 30cm | | | | | |
| | 北墙表面外 30cm | | | | | |
| | 南侧患者防护门表面外 30cm | | | | | |
| | 西侧医护防护门表面外 30cm | | | | | |
| | 观察窗表面外 30cm | | | | | |
| | 楼上地面 30cm | | | | | |
| | 楼下地面 170cm | | | | | |
| PET/CT 扫描室 | 东墙表面外 30cm | | | | | |
| | 南墙表面外 30cm | | | | | |
| | 西墙表面外 30cm | | | | | |
| | 北墙表面外 30cm | | | | | |
| | 东侧防护门表面外 30cm | | | | | |
| | 南侧患者防护门表面 外 30cm | | | | | |
| | 西侧医护防护门表面 外 30cm | | | | | |
| | 观察窗表面外 30cm | | | | | |
| | 楼上地面 30cm | | | | | |
| 楼下地面 170cm | | | | | | |

② 散射辐射预测

由《辐射防护手册》（第一分册）给出的X射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的辐射剂量率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s / 400) \cdot B_s \cdot K}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad (\text{式 11-5})$$

式中： H_0 —距靶点 1m 处的最大剂量率， $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ；本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 型号未定，根据《辐射防护手册（第一分册）》P232 可知，对于医用 X 射线机来说，为了减少低能光子对皮肤的照射，机头窗口处安装有符合要求的永久性过滤片，其中 100kV 以上用 2.5mm 铝片，本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 过滤板保守取 2.5mmAl，最大管电压 120kV，运行时离靶 1 米处的 X 射线发射率根据运行时管电压和设备 X 射线管的过滤条件从《辐射防护手册（第三册）》P58 图 3.1 查取（保守取 125kV，2.5mmAl 的曲线值），约为 $0.15\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ，即 $540000\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ；

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比，查《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1，对于本项目设备正常工作使用电压最大为 120kV 时的 a 保守取值为 0.0015；

S —主束在患者体上的散射面积，本项目取 100cm^2 ；

d_0 —源至受照点的距离，根据 GBZ 130-2020 第 5.2.1 条，本项目 d_0 保守取最小值 0.3m；

d_s —受照体至关注点的距离，m；

B_s —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha x} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{式 11-6})$$

式中： α 、 β 、 γ —铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，查 GBZ 130-2020 表 C.2 中 100kV 管电压下铅的 α 、 β 、 γ 拟合数据，分别为 2.507、15.33、0.9124。

此处的散射线指本项目最大常用管电压（120kV，即 0.12MV）下有用线束（初级 X 射线）的散射线，其能量偏保守取有用线束侧向（散射角 $\theta=90^\circ$ ）的一次散射线能量，可根据《辐射防护手册（第一分册）》康普顿散射线能量公式计算：

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{1 + \frac{E_0}{0.511}(1 - \cos\theta)} = 0.810 \quad (\text{式 11-7})$$

散射后的 X 射线能量可按 $120\text{kV} \times 0.810 = 97.2\text{kV}$ 的管电压 X 射线进行计算，本次散射后的 X 射线保守取值以 100kV 管电压 X 射线进行计算。

X—铅厚度。

K—意义同前，按前述 90° 方向一次散射线能量对应的 kV 值“100kV”，从《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）附录表 G.2 查取，保守取 1.71。

将有关参数代入公式（11-5），SPECT/CT 和 PET/CT 扫描室四周墙体、顶部、防

护门、观察窗外关注点处的散射辐射剂量率计算结果见表 11-8。

表 11-8 SPECT/CT 和 PET/CT 扫描室外关注点处散射辐射剂量率计算结果

| 场所名称 | 关注点位置 | H_0 ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$ $\text{nA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) | I (mA) | a | S (cm^2) | Bs | d_0 (m) | ds (m) | Hs ($\mu\text{Sv/h}$) |
|-----------------|------------------------|--|-----------|---|------------------------|----|--------------|-----------|----------------------------|
| SPECT/CT 扫描室 | 东墙表面外 30cm | | | | | | | | |
| | 南墙表面外 30cm | | | | | | | | |
| | 西墙表面外 30cm | | | | | | | | |
| | 北墙表面外 30cm | | | | | | | | |
| | 南侧患者防护 门表面外 30cm | | | | | | | | |
| | 西侧医护防护 门表面外 30cm | | | | | | | | |
| | 观察窗表面外 30cm | | | | | | | | |
| | 楼上地面 30cm | | | | | | | | |
| | 楼下地面 170cm | | | | | | | | |
| PET/CT 扫描室 | 东墙表面外 30cm | | | | | | | | |
| | 南墙表面外 30cm | | | | | | | | |
| | 西墙表面外 30cm | | | | | | | | |
| | 北墙表面外 30cm | | | | | | | | |
| | 东侧防护门 表面外 30cm | | | | | | | | |
| | 南侧患者防 护门表面外 30cm | | | | | | | | |
| | 西侧医护防 护门表面外 30cm | | | | | | | | |

| | | | | |
|--|-------------------|--|--|--|
| | 南侧患者防护门表面外 30cm | | | |
| | 西侧医护人员防护门表面外 30cm | | | |
| | 观察窗表面外 30cm | | | |
| | 楼上地面 30cm | | | |
| | 楼下地面 170cm | | | |

根据表 11-9 可知，SPECT/CT 和 PET/CT 扫描装置产生的 X 射线对扫描室外环境的辐射影响叠加放射性核素产生的 γ 射线对扫描室外环境的辐射影响仍满足小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

根据表 11-3~11-9 估算结果可知：

(1) 本项目核医学科 SPECT 手套箱表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $0.102\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 $0.407\mu\text{Sv/h}$ ；PET 手套箱表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $1.157\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 $4.629\mu\text{Sv/h}$ ；甲癌治疗区全自动分装给药仪表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $0.915\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 $3.662\mu\text{Sv/h}$ 。满足手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，手套箱非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 的要求；

(2) 本项目核医学科控制区内各房间墙体、顶部、防护门以及注射窗、观察窗外表面 30cm 处的辐射剂量率最大为 $2.382\mu\text{Sv/h}$ ，满足核医学科控制区内房间防护门、观察窗和墙体外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的患者走廊、设备间等区域，其周围剂量当量率最大为 $3.341\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

4. 保护目标剂量评价

保护目标的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{\text{Eff}}=K_{\alpha}\cdot t\cdot T\cdot U \quad (\text{式 11-8})$$

上式中： D_{Eff} —参考点人员有效剂量（Sv）；

K_{α} —参考点的周围剂量当量率（ $\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ）；

t—参考点处受照时间（h）；

T—居留因子；

U—使用因子，以点源考虑，U 取 1

(1) 核医学科辐射工作人员剂量评价

本项目核医学科辐射工作人员年受照剂量计算结果见表 11-10，参考点位图详见图 11-4~图 11-6。



图 11-4 核医学科辐射工作人员和公众参考点位示意图 1





表 11-10 本项目核医学科辐射工作人员年有效剂量估算

| 保护目标 | 参考点位置 | 参考点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | 年工作时间 (h) | 居留因子 | 年有效剂量 (mSv) | 叠加年有效剂量 (mSv) |
|------|-----------|-------------------------------|------------|------|-------------|---------------|
| S 测 | SPECT 手套箱 | | 82.5 (年检测) | | | 23 |
| SP | | | | | | 51 |
| 核 | | | | | | 48 |
| 室 | | | | | | 48 |
| 分量 | | | | | | 52 |

| | | | | | | |
|--|---------------------|----|-----------|--|----|--|
| | SPECT 注射分 | -4 | 82.5 (年检测 | | -5 | |
| | PE 操作 | | | | | |
| | PE 阅片 办公 人 | | | | | |
| | 甲癌 药控 工作 | | | | | |
| | 甲癌 士站 人 | | | | | |
| | 甲癌 房内 人 | | | | | |
| | 甲癌 任、 射工 | | | | | |
| | ▲11 | | | | | |

注
次

0

作

影
即

根据表 11-10 可知，本项目核医学科辐射工作人员年有效剂量最大约为 4.251mSv，能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的要求。

此外，PET/CT 操作技师还需用校准源对 PET/CT 进行质控，质控一般每周一次。操作技师在对设备进行质控前，穿戴 0.5mmPb 的铅衣和铅眼镜将装有校准源的储源罐

拎至检查床旁，用长柄镊子将校准源放置在检查床上，然后退出扫描室，在控制室的操作位对设备进行质控；质控结束后，穿戴 0.5mmPb 的铅衣和铅眼镜进入扫描室，用长柄镊子将校准源夹至储源罐，并将储源罐送回储源间内。

本项目使用的校准源 ^{68}Ge 的活度最大为 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ，根据表 9 工程分析可知 ^{68}Ge 衰变模式为电子俘获（EC），衰变成 ^{68}Ga ，因此计算时考虑其子体 ^{68}Ga （铅的 TVL 值：16，取值参考《EXPOSURE RATE CONSTANTS AND LEAD SHIELDING VALUES FOR OVER 1,100 RADIONUCLIDES》）。在取源、收源过程，工作人员处的辐射剂量率约为 $4.83 \mu\text{Sv/h}$ （距裸源约 0.5m，穿戴 0.5mm 铅衣），每次取源、收源共用时约 1min，则取源、收源过程所致操作技师的年有效剂量约为 0.004mSv；在质检过程，操作位处的辐射剂量率为 $0.015 \mu\text{Sv/h}$ （8mm 铅当量玻璃，距离 5.15m），每次质检用时约 15min，则质检过程所致操作技师年有效剂量约为 $1.29 \times 10^{-5} \text{mSv}$ ；在送、取源过程，工作人员处的辐射剂量率约为 $1.67 \mu\text{Sv/h}$ （距储源罐约 30cm，15mm 铅罐），每次送、取源共用时约 2min，则送、取源过程所致操作技师年有效剂量约为 0.003mSv；则整个质检过程所致操作技师的年有效剂量约为 0.007mSv，辐射影响较小，可忽略不计。

为防止核医学科个别岗位辐射工作人员的年有效剂量偏高，医院将采取每月轮岗的工作方式来平均工作量，降低个别岗位的年受照剂量。同时，根据表 11-10 可知，辐射工作人员近距离指导患者摆位时所致受照剂量较大，辐射工作人员应尽量使用语音系统远距离指导患者进行摆位，当必须要近距离指导患者摆位时，应尽量保持与患者之间的距离以及缩短摆位时间。医院应加强对辐射工作人员的个人剂量监测管理，当个人累积剂量将超过年有效剂量 5mSv 时，应及时告知本人，并减少其辐射工作量或为其调整工作岗位，确保其年累积剂量不超过项目管理目标。

（2）核医学科周围公众剂量评价

将相关参数代入公式（11-8），本项目核医学科周围公众年受照剂量计算结果见表 11-11，参考点位图详见图 11-4~图 11-6。

表 11-11 本项目核医学科周围公众年有效剂量估算

| 保护目标 | 参考点位置 | 参考点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | 年受照时间 (h) | 居留因子 | 年有效剂量 (mSv) |
|------|-------|----------------------------------|--------------|------|----------------|
| | | | | | |

求。

5. 三废治理措施评价

(1) 放射性废水处理措施评价

医院拟在精准医疗中心负2楼（底层）建设一间衰变室，衰变室内设置2套废水衰变系统，长半衰期衰变系统和短半衰期衰变系统。均能够满足防腐、防渗、耐酸碱腐蚀的要求。

本项目核医学科中的SPECT诊断和PET诊断项目产生的放射性废水经专用管道排至短半衰期衰变系统，甲癌治疗区产生的放射性废水经专用管道排至长半衰期衰变系统。其中短半衰期衰变系统包含3个衰变池，单个衰变池有效容积为7.65m³，放射性废水可在该衰变系统中衰变38天，满足HJ 1188-2021中“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”的要求；长半衰期衰变系统包含 5 个衰变池，单个衰变池有效容积为 17.25m³，放射性废水可在该衰变系统中衰变 294 天，满足 HJ1188-2021 中“含 ¹³¹I 核素的放射性废液暂存超过 180 天”的要求。

①衰变池环境影响分析

参考《放射毒理学》（朱寿彭主编）给出的放射性核素的生理代谢规律，核医学门诊注射或口服的放射性药物在就诊时间内，约有 10%排入衰变池。

本项目核医学科 SPECT/CT 每小时大约可诊断 3 名患者，每小时排入放射性废水衰变系统的核素活度约为 30mCi/名×3 名×10%=9mCi。考虑到核素的衰变，2 小时排入放射性废水衰变系统的核素总活度为 9mCi (1+e^{-0.693/6.02})；3 小时排入放射性废水衰变系统的核素总活度为 9mCi (1+e^{-0.693/6.02} + (e^{-0.693/6.02})²)。以此类推，本项目 SPECT 门诊每天最大门诊量约为 20 人，一天排入放射性废水衰变系统的核素总活度约为 9mCi (1+e^{-0.693/6.02} + (e^{-0.693/6.02})² + (e^{-0.693/6.02})³ + (e^{-0.693/6.02})⁴..... + (e^{-0.693/6.02})⁷) ≈49.81mCi，至第二天接纳新的放射性废水时，前一天的放射性废水已至少衰变 12h，前一天放射性废水中核素总活度已衰变至 12.51mCi，相对第二天的放射性废水中的核素活度较小。

本项目核医学科 PET/CT 每小时大约可诊断 3 名患者，每小时排入放射性废水衰变系统的核素活度约为 10mCi/名×3 名×10%=3mCi。考虑到核素的衰变，2 小时排入放射性废水衰变系统的核素总活度为 3mCi (1+e^{-0.693/1.83})；3 小时排入放射性废水衰变系统的核素总活度为 3mCi (1+e^{-0.693/1.83} + (e^{-0.693/1.83})²)。以此类推，本项目 PET 诊断每天最大门诊量约为 20 人，一天排入放射性废水衰变系统的核素总活度约为 3mCi (1+e^{-0.693/1.83} + (e^{-0.693/1.83})² + (e^{-0.693/1.83})³ + (e^{-0.693/1.83})⁴..... + (e^{-0.693/1.83})⁷) ≈9.06mCi，至第二天接纳新的放射性废水时，前一天的放射性废水已至少衰变 12h，前一天放射性废水中核素总活度已衰变至 0.096mCi，相对第二天的放射性废水中的核素活度可忽略不计。

本项目核医学科甲癌治疗每周 3 人。每周排入放射性废水衰变系统的核素活度约为 150mCi/名×3 名×10%=45mCi。考虑到核素的衰变，2 周排入放射性废水衰变系统的核素总活度为 45mCi (1+e^{-0.693/8.02×7})；3 周排入放射性废水衰变系统的核素总活度为 45mCi (1+e^{-0.693/8.02×7} + (e^{-0.693/8.02×7})²)。以此类推，至第 12 周时，第 1 周排放的放射性废水已衰变至 0.06mCi，放射性废水的总活度已趋于平衡。12 周排入放射性废水衰变系统的核素总活度约为 45mCi (1+e^{-0.693/8.02×7} + (e^{-0.693/8.02×7})² + (e^{-0.693/8.02×7})³ + (e^{-0.693/8.02×7})⁴ + (e^{-0.693/8.02×7})⁵..... + (e^{-0.693/8.02×7})¹¹) ≈99.08mCi。

本项目衰变室土层侧为 120mm 混凝土，其余侧墙体为 180mm 混凝土，顶部为 220mm 混凝土，防护门为 8mmPb，保守将衰变池作为点源，衰变池的中心至衰变室墙体表面 30cm 辐射剂量率计算结果见表 11-12。

表 11-12 核医学科衰变池外辐射水平估算结果

| 序号 | 参考点位置 | 源强 (mCi) | 屏蔽材料及厚度 | 屏蔽距离 (m) | 透射比 | 参考点辐射水平 (μSv/h) |
|----|-------|----------|---------|----------|-----|-----------------|
| 1 | | 99m | | | -2 | 089 |
| 2 | | | | | | 416 |
| 3 | | | | | | 592 |

注：铅密度为 11.3g/cm³，混凝土密度不小于 2.35g/cm³。

由表 11-12 估算结果可知，衰变池周围辐射剂量率最大为 2.416μSv/h，满足不大于 2.5μSv/h 的管理目标限值要求。本项目衰变池拟建址位于精准医疗中心负 2 楼，衰变室四周大多为土层，局部为进入衰变室的通道和楼梯，平时通往衰变室的通道关闭，基本无人员在此逗留，衰变室顶部为放疗科，下方为土层，本项目衰变室对周围公众辐射影响很小。

②放射性废水管道外环境影响分析

本项目核医学科产生的放射性废水管道均在吊顶内敷设，并最终接至负 1 楼的吊顶内的排水管，且为降低管道对周围环境的影响，拟在废水排水管道外包裹 3mm 铅皮。且所有接至负 1 楼的管道均经过排水井，排水井四周为 200mm 混凝土。最后从衰变室顶部进入衰变室，无曝露于地面的放射性废液管道。

参考《放射毒理学》（朱寿彭主编）给出的放射性核素的生理代谢规律，核医学门诊注射或口服的放射性药物在就诊时间内，约有 10%的放射性核素排出体外。本项目保守假设患者服药量 10%的药物一次性排出体外。

本项目计算放射性废水管道对外环境的辐射影响时，参照《辐射防护导论》P78 公式 (c)：

$$K_{\alpha} = \frac{2A\Gamma_K}{Lr} \text{tg}^{-1} \frac{L}{2r} \cdot \eta \quad (\text{式 11-9})$$

式中： K_{α} —周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

L —线源长度，取横管最短距离；

r —参考点至线源的垂直距离， m ；

A —线源活度， MBq ；

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

表 11-13 放射性废水排水管道周围辐射水平计算结果一览表

| 核素 | A (MBq) | Γ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$) | L (m) | r (m) | 屏蔽 | K_{α} ($\mu\text{Sv/h}$) | 备注 |
|--------------------------|------------|---|----------|----------|----|--------------------------------------|----|
| ^{18}F | | | | | | | |
| ^{131}I | | | | | | | |
| ^{18}F | | | | | | | |
| $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | | | | | | | |
| ^{131}I | | | | | | | |

由表 11-13 可知，本项目核医学科放射性废水排水管道下方人员可达处辐射剂量率最大约为 $0.423\mu\text{Sv/h}$ ，废水管道水井表面 30cm 处辐射剂量率最大约 $0.697\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中：曝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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。且本项目废水管道均敷设于下一层的吊顶内和水井内，人员一般无法接近，对周围环境辐射影响很小。

(2) 放射性固体废物处理措施评价

本项目核医学科的 SPECT 诊断场所产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，每日工作结束后进行分类收集，沾有核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{111}In 、 ^{123}I 的放射性固体废物集中收集，自然衰变至少 30 天；沾有核素 ^{131}I 的放射性固体废物单独收集，自然衰变至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面沾污小于 0.8Bq/cm^2 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目核医学科的 PET 诊断场所产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅

桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，每日工作结束后集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在 PET 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 30 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目 PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所通风系统更换的废活性炭集中收集放置在 PET 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 30 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物处理。

本项目核医学科的甲癌治疗区产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，病人出院后集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在甲癌治疗区的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目甲癌治疗区通风系统更换的废活性炭集中收集放置在甲癌治疗区的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物处理。

本项目退役的校准源 ^{68}Ge 贮存在储源罐中，放置在储源间的保险柜中，最终由生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置，满足相关要求，对周围环境辐射影响很小。

此外，医院应安排专人（辐射工作人员）负责放射性固体废物的存贮和处理，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性固体废物的核素名称、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。采取上述措施后，方能满足放射性固体废物的辐射安全管理要求。

由上述可知，本项目放射性固体废物的处理措施有效可行，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。本项目放射性固体废物本身沾染的放射性核素活度浓度较低，各房间每天产生的放射性固体废物较少，经过各房间废物铅桶的屏蔽后，废物铅桶外的辐射剂量率满足小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求，对周围环境辐射影响很小。

(3) 放射性废气处理措施评价

本项目核医学科内各场所和手套箱均设计有独立的排风系统，监督区相对清洁区为微负压，控制区相对监督区为负压，手套箱相对控制区为负压，保证工作场所内的空气由清洁区向监督区再向控制区流动。核医学科内空气经排风管道引至核医学科专用排风井，再经排风井引至精准医疗中心的楼顶排放，排风口处设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。手套箱分别在箱体顶部和排风口处设置两级活性炭过滤系统，场所的排风管道在排风口处设置一级活性炭过滤系统。精准医疗中心地上共3层，屋面高14.4m，核医学科排气口位于精准医疗中心顶楼（高于屋面3m，约18m），满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求，对周围环境辐射影响很小。

(4) 非放废物处理措施评价

①项目运行期间产生的生活污水将依托医院的污水处理系统进行处置；办公垃圾将依托医院的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理，对周围环境影响很小。

②PET/CT扫描室、SPECT/CT扫描室产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧在常温下可自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

采取上述措施后，本项目的废物处置方式合理恰当，能够满足当前环保管理的要求。

二、放疗科运行期辐射环境影响分析

(一) 直线加速器

根据建设单位提供的资料，医院拟配备的医用直线加速器型号未定，电子线最大能量为22MeV，X射线能量为6MV、10MV，射线最大出射角为 28° 。电子线穿透能力弱，容易被屏蔽；X射线具有很强的穿透力，6MV时1m处最大输出剂量率为2400cGy/min（3F模式），10MV时1m处最大输出剂量率为600cGy/min。故本项目在X射线能量为6MV、10MV的情况下分别进行辐射影响分析。本项目直线加速器机房外参考点见图11-7和图11-8。

图 11-7 本项目直线加速器机房平面布局参考点布设图（单位：mm）

图 11-8 本项目直线加速器机房剖面布局参考点布设图（单位：mm）

1. 有用线束主屏蔽区宽度核算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

$$Y_p = 2[(a + SAD) \cdot \tan\theta + 0.3] \quad (\text{式 11-10})$$

式中， Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，m；

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线）；

a —等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

根据图 11-7~图 11-8，将各参数代入公式（11-10），可得出本项目直线加速器机房的主屏蔽区理论计算宽度，核算结果见表 11-14。

表 11-14 本项目直线加速器机房主屏蔽区宽度设计核算结果

| 参数 | 南墙主屏蔽 | 北墙主屏蔽 | 屋顶主屏蔽 | |
|--------------------|-------|-------|-------|------|
| | | | 内凸部分 | 外凸部分 |
| a (m) | | | | |
| SAD (m) | | | | |
| θ (°) | | | | |
| 主屏蔽区计算宽度 Y_p (m) | | | | |
| 主屏蔽区设计宽度 (m) | | | | |
| 评价 | | | | |

2. 加速器机房屏蔽效果预测

(1) 主屏蔽墙屏蔽效果预测（a 点、b 点和 l 点）

射线路径（射线类型）： $o_1 \rightarrow b$ （主射线）， $o_2 \rightarrow a$ （主射线）， $o_3 \rightarrow l$ （主射线）。

使用 GBZ/T201.2 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算，在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时，首先按照公式（11-11）计算有效厚度 X_e (cm)，然后按照公式（11-12）计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，最后按照公式（11-13）计算屏蔽体外关注点的剂量率。

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

式中：

X—设计屏蔽厚度，cm；

θ —斜射角。

$$B = 10^{-(X_c + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11-12})$$

式中：

TVL₁ (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL₁ 时，TVL₁=TVL。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11-13})$$

式中：

\dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目 X 线能量为 10MV 时最大为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，X 线能量为 6MV FFF 模式时最大为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R—靶点至参考点的距离，m，本项目参考点为相应屏蔽体外 30cm；

f—对有用线束为 1。

将各参数代入模式计算，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)，辐射剂量率计算参数和计算结果表 11-15、表 11-16。

表 11-15 主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果 (10MV)

| 参数 | 南墙主屏蔽 (a 点) | 北墙主屏蔽 (b 点) | 屋顶主屏蔽 (1 点) |
|--|-------------|-------------|-------------|
| X (cm) | | | |
| θ (°) | | | |
| X _c | | | |
| TVL (cm) | | | |
| TVL ₁ (cm) | | | |
| B | | | |
| R (m) | | | |
| \dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$) | | | |
| f | | | |
| \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | | | |
| \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) (剂量率参考控制水平) | | | |

| | | | |
|------|----|----|----|
| 评价结果 | 满足 | 满足 | 满足 |
|------|----|----|----|

注：① $R_{(南)}=6.4\text{m}$ （等中心点 O 至南墙外表面距离）+1m（SAD 距离）+0.3m（参考点距离）=7.7m；

② $R_{(北)}=6.5\text{m}$ （等中心点 O 至北墙外表面距离）+1m（SAD 距离）+5.4m（土层厚度）+0.3m（参考点距离）=13.2m；

③ $R_{(顶)}=5\text{m}$ （等中心点 O 至顶部墙外表面距离）+1m（SAD 距离）+0.3m（参考点距离）=6.3m。

表 11-16 主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果（6MV）

| 参数 | 南墙主屏蔽（a 点） | 北墙主屏蔽（b 点） | 屋顶主屏蔽（1 点） |
|--|------------|------------|------------|
| X（cm） | | | |
| θ （°） | | | |
| X_e | | | |
| TVL（cm） | | | |
| TVL_1 （cm） | | | |
| B | | | |
| R（m） | | | |
| \dot{H}_0 （ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ） | | | |
| f | | | |
| \dot{H} （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ） | | | |
| \dot{H}_c （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ） （剂量率参考控制水平） | | | |
| 评价结果 | | | |

注：① $R_{(南)}=6.4\text{m}$ （等中心点 O 至南墙外表面距离）+1m（SAD 距离）+0.3m（参考点距离）=7.7m；

② $R_{(北)}=6.5\text{m}$ （等中心点 O 至北墙外表面距离）+1m（SAD 距离）+5.4m（土层厚度）+0.3m（参考点距离）=13.2m；

③ $R_{(顶)}=5\text{m}$ （等中心点 O 至顶部墙外表面距离）+1m（SAD 距离）+0.3m（参考点距离）=6.3m。

（2）侧屏蔽墙屏蔽效果预测（e 点、f 点）

射线路径（射线类型）：

西墙：o→e（泄漏射线），东墙：o→f（泄漏射线）。

泄漏辐射：估算方法类似主屏蔽区。TVL₁ 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，10MV 时，TVL₁=35cm、TVL=31cm；6MV 时，TVL₁=34cm、TVL=29cm。e 点、f 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-17、表 11-8。

表 11-17 侧屏蔽墙泄漏射线辐射率计算参数和计算结果 (10MV)

| 参数 | 西墙侧屏蔽 (e ₁ 点) | 西墙侧屏蔽 (e ₂ 点) | 东墙侧屏蔽 (f 点) |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|
| X (cm) | | | |
| θ (°) | | | |
| X _e | | | |
| TVL (cm) | | | |
| TVL ₁ (cm) | | | |
| B | | | 0 ⁻⁷ |
| R (m) | | | |
| \dot{H}_0 (μSv·m ² /h) | | | 8 |
| f | | | |
| \dot{H} (μSv/h) | | | 0 ⁻⁴ |
| \dot{H}_c (μSv/h) (剂量率参考控制水平) | | | |
| 评价结果 | | | |

注: ①R_(西)=5.2m (等中心点 o 至西墙外表面距离)+0.3m (参考点距离)=5.5m;

②R_(东)=9.4m (等中心点 o 至东墙外表面距离)+0.3m (参考点距离)=9.7m。

表 11-18 侧屏蔽墙泄漏射线辐射率计算参数和计算结果 (6MV)

| 参数 | 西墙侧屏蔽 (e ₁ 点) | 西墙侧屏蔽 (e ₂ 点) | 东墙侧屏蔽 (f 点) |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|
| X (cm) | | | |
| θ (°) | | | |
| X _e | | | |
| TVL (cm) | | | |
| TVL ₁ (cm) | | | |
| B | 5 | | |
| R (m) | | | |
| \dot{H}_0 (μSv·m ² /h) | 1 | | |
| f | | | |
| \dot{H} (μSv/h) | | | |
| \dot{H}_c (μSv/h) (剂量率参考控制水平) | | | |
| 评价结果 | | | |

注: ①R_(西)=5.2m (等中心点 o 至北墙外表面距离)+0.3m (参考点距离)=5.5m;

② $R_{(东)}=9.4\text{m}$ （等中心点 o 至南墙外表面距离）+0.3m（参考点距离）=9.7m。

（3）与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的屏蔽效果预测（ c_1 点、 c_2 点和 d_1 点、 d_2 点和 m_1 点、 m_2 点）

①射线路径（射线类型）

与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的辐射影响主要考虑有用线束水平或向顶照射时人体的散射辐射和加速器泄漏辐射，射线照射路径如下：

散射射线路径：

南墙： $o_2 \rightarrow o \rightarrow c_1$ （ c_2 ），北墙： $o_1 \rightarrow o \rightarrow d_1$ （ d_2 ），顶棚： $o_3 \rightarrow o \rightarrow m_1$ （ m_2 ）

泄漏射线路径：

南墙： $o \rightarrow c_1$ （ c_2 ），北墙： $o \rightarrow d_1$ （ d_2 ），顶棚： $o \rightarrow m_1$ （ m_2 ）

计算时， c_1 、 c_2 、 d_1 、 d_2 、 m_1 、 m_2 点处的斜射角与散射角 θ 均按 30° 来估算， c_1 和 c_2 、 d_1 和 d_2 、 m_1 和 m_2 的各项参数数值上是相等的，因此，该部分仅需预测 c_1 、 d_1 、 m_1 点即可代表与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的屏蔽效果。

②泄漏辐射屏蔽计算

在进行泄漏辐射防护计算时，为简化漏射线辐射计算，通常假定漏射线与有用线束射线具有相同的能量，且与靶心距离相同的漏射线辐射的最大强度不会超过有用射线强度的 0.1%（即 $f=0.001$ ），辐射防护预测模式与主射线估算相同。

③散射辐射屏蔽计算

散射辐射预测模式可采用 GBZ/T 201.2-2011 第 5.2 章中推荐的估算公式：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad (\text{式 11-14})$$

式中： \dot{H}_0 及 B 意义同前；

α_{ph} —为患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m （关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2；

F —治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ，取 $(40 \times 40)\text{cm}^2$ ；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离， m 。

与主屏蔽区相连的次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的计算参数和计算结果见表 11-19、表 11-20。

表 11-19 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算结果 (10MV)

| 参数 | | 南墙 (c ₁) | 南墙 (c ₂ 点) | 北墙 (d ₁ 或 d ₂ 点) | 顶棚 (m ₁ 或 m ₂ 点) |
|---|---|----------------------|-----------------------|--|--|
| 泄漏辐射 | \dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$) | | | | |
| | X (cm) | | | | |
| | θ (°) | | | | |
| | X _e | | | | |
| | TVL (cm) | | | | |
| | TVL ₁ (cm) | | | | |
| | B _L | | | | |
| | R (m) | | | | |
| | f | | | | |
| \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | | | | | |
| 散射辐射 | TVL (cm) | | | | |
| | TVL ₁ (cm) | | | | |
| | B _s | | | | |
| | α_{ph} | | | | |
| | R _s (m) | | | | |
| | F (cm ²) | | | | |
| \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | | | | | |
| 泄漏辐射和散射辐射的复合作用 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | | | | | |
| \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) (剂量率参考控制水平) | | | | | |
| 评价 | | | | | |

注：① $R_{\text{南墙}} = R_{s_{\text{南墙}}} =$ 等中心点到南墙主屏蔽外参考点距离 $6.4\text{m}/\cos 30^\circ + 0.3 = 7.69\text{m}$ ；
 ② $R_{\text{北墙}} = R_{s_{\text{北墙}}} =$ 等中心点到北墙覆土主屏蔽外参考点距离 $11.9\text{m}/\cos 30^\circ + 0.3 = 14.04\text{m}$ ；
 ③ $R_{\text{顶棚}} = R_{s_{\text{顶棚}}} =$ 等中心点到顶部外参考点距离 $5\text{m}/\cos 30^\circ + 0.3 = 6.07\text{m}$ 。

表 11-20 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算结果 (6MV)

| 参数 | | 南墙 (c ₁) | 南墙 (c ₂ 点) | 北墙 (d ₁ 或 d ₂ 点) | 顶棚 (m ₁ 或 m ₂ 点) |
|------|---|----------------------|-----------------------|--|--|
| 泄漏辐射 | \dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$) | 1 | | | |
| | X (cm) | | | | |
| | θ (°) | | | | |

| | | |
|--|--------------------------------|--|
| | X_e | |
| | TVL (cm) | |
| | TVL ₁ (cm) | |
| | B _L | |
| | R (m) | |
| | f | |
| | \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) | |
| 散射辐射 | TVL (cm) | |
| | TVL ₁ (cm) | |
| | B _s | |
| | α_{ph} | |
| | R _s (m) | |
| | F (cm ²) | |
| | \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) | |
| 泄漏辐射和散射辐射的复合作用 ($\mu\text{Sv/h}$) | | |
| \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) (剂量率参考控制水平) | | |
| 评价 | | |

注：① $R_{\text{南墙}} = R_{s \text{南墙}} =$ 等中心点到南墙主屏蔽外参考点距离 $6.4\text{m}/\cos 30^\circ + 0.3 = 7.69\text{m}$ ；
 ② $R_{\text{北墙}} = R_{s \text{北墙}} =$ 等中心点到北墙覆土主屏蔽外参考点距离 $11.9\text{m}/\cos 30^\circ + 0.3 = 14.04\text{m}$ ；
 ③ $R_{\text{顶棚}} = R_{s \text{顶棚}} =$ 等中心点到顶部外参考点距离 $5\text{m}/\cos 30^\circ + 0.3 = 6.07\text{m}$ 。

(4) 迷路外墙屏蔽效果预测 (k 点)

加速器主射线不向迷道照射，加速器机房内加速器机头位于 o_2 点时，迷路外墙 k 点处辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用，射线路径 (射线类型)： $o_2 \rightarrow k$ (漏射线)。

根据图 11-7， o_2 至 k 的泄漏辐射斜射角较小，估算时保守取泄漏辐射斜射角为 0° 。迷路外墙辐射防护预测模式与主射线估算相同，预测结果见表 11-21、表 11-22。

表 11-21 迷路外墙参考点辐射剂量率计算参数和计算结果 (10MV)

| 参 数 | 迷路外墙 (k 点) |
|-----|------------|
| | |
| | |

| | | |
|-------------------------------------|-----------------|--|
| X _e (cm) | | |
| TVL (cm) | | |
| TVL ₁ (cm) | | |
| B | | |
| R (m) | | |
| f | | |
| \dot{H}_0 (μSv·m ² /h) | | |
| 相应屏蔽体外关注点剂量率 \dot{H} (μSv/h) | \dot{H} 估算值 | |
| | \dot{H}_c 控制值 | |
| | 评价结果 | |

表 11-22 迷路外墙参考点辐射剂量率计算参数和计算结果 (6MV)

| | | |
|-------------------------------------|-----------------|--|
| 参 数 | | |
| X (cm) | | |
| θ (°) | | |
| X _e (cm) | | |
| TVL (cm) | | |
| TVL ₁ (cm) | | |
| B | | |
| R (m) | | |
| f | | |
| \dot{H}_0 (μSv·m ² /h) | | |
| 相应屏蔽体外关注点剂量率 \dot{H} (μSv/h) | \dot{H} 估算值 | |
| | \dot{H}_c 控制值 | |
| | 评价结果 | |

(5) 迷路入口处辐射水平核算 (g 点)

对≤10MV 的加速器机房, 有用线束不向迷路照射, 迷路入口应考虑以下辐射。

a. 散射辐射

射线路径 (射线类型): o₂→o→i→g (散射射线)。

g 点处的散射辐射剂量率按照公式 (11-15) 计算, g 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-23、表 11-24。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-15})$$

式中， \dot{H}_0 、F 意义同前文；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子，计算时取 45° 入射散射角的值；

\dot{H}_g —g 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α_2 —混凝土墙入射的患者散射辐射的散射因子，本项目 i 处的入射角取 45°，散射角取 0°，具体取值见 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值， 22.0×10^{-3} ；

A—i 处的散射面积，根据图 11-7 和图 11-8，o 点和 g 点共同可见宽度保守取迷道的截面积 $3.9\text{m} \times 2.5\text{m} = 9.75\text{m}^2$ ；

R_1 —等中心点到 i 之间的距离，m；

R_2 —i 到 g 之间的距离，m。

表 11-23 g 处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果（10MV）

| 参 数 | g 点 |
|--|-----|
| \dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$) | |
| α_{ph} | |
| α_2 | |
| F (cm^2) | |
| R_1 (m) | |
| R_2 (m) | |
| A (m^2) | |
| g 点剂量率 \dot{H}_g ($\mu\text{Sv/h}$) | |

注：① $R_1 = o$ 点到东墙次屏蔽内表面距离 $8.1\text{m}/\cos(45^\circ) = 11.46\text{m}$ ；

② $R_2 =$ 迷道的长度 $= 11.5\text{m}$ 。

表 11-24 g 处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果（6MV）

| 参 数 | g 点 |
|--|-----|
| \dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$) | |
| α_{ph} | |
| α_2 | |
| F (cm^2) | |
| R_1 (m) | |
| R_2 (m) | |
| A (m^2) | |
| g 点剂量率 \dot{H}_g ($\mu\text{Sv/h}$) | |

注：① $R_1 = o$ 点到东墙次屏蔽内表面距离 $8.1\text{m}/\cos(45^\circ) = 11.46\text{m}$ ；

数和计算结果见表 11-27、表 11-28。

$$\dot{H}=\dot{H}_g \cdot 10^{-(X / T V L)}+\dot{H}_{o g} \cdot 10^{-(X / T V L)} \quad (\text{式 } 11-16)$$

式中, \dot{H}_g 、 \dot{H}_{og} 意义同前文;

X—防护门铅屏蔽厚度, cm;

TVL—辐射在铅中的什值层, cm, 本项目 10MV 和 6MV 散射辐射铅的 TVL 值均取 0.5cm (依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》); 本项目 10MV 和 6MV 漏射辐射铅的 TVL 值分别取 5.6cm、5.1cm (依据《医用外照射源的辐射防护》ICRP33 号表 3)。

表 11-27 机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果 (10MV)

| 参 数 | \dot{H}_g/\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$) | X (cm) | TVL (cm) |
|---------|---|--------|----------|
| 入 | | | |
| 入 | | | |
| 入口 辐 | | | |

表 11-28 机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果 (6MV)

| 参 数 | \dot{H}_g/\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$) | X (cm) | TVL (cm) |
|-----|---|--------|----------|
| 入 | | | |
| 入 | | | |
| 入口 | | | |

(6) 汇总

本项目直线加速器机房屏蔽墙、屋顶及防护门外剂量率计算结果汇总见表 11-29。

表 11-29 本项目直线加速器机房屏蔽墙、顶、防护门外理论计算结果汇总一览表

| 位置 | | 关注点对应位置 | 剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$) | | 剂量率参考控制水平 | 评价结果 |
|-----------|----|---------|-----------------------------|-----|-----------|------|
| | | | 10MV | 6MV | | |
| 加速器 机房 | 南墙 | 主屏 | | | | |
| | | 次屏 | | | | |

| | | | |
|--|----|---|----|
| | 北墙 | | 满足 |
| | | | 满足 |
| | 西 | | 满足 |
| | | | 满足 |
| | 东墙 | 迷 | 满足 |
| | | 迷 | 满足 |
| | 顶部 | | 满足 |
| | | | 满足 |
| | 防护 | | 满足 |

根据表11-29可知，当直线加速器以X线能量为10MV运行时，本项目直线加速器机房外及顶部各关注点处剂量率估算值为 $(8.66 \times 10^{-4} \sim 0.455) \mu\text{Sv/h}$ ；当直线加速器以X线能量为6MV运行时，本项目直线加速器机房外及顶部各关注点处剂量率估算值为 $(1.31 \times 10^{-3} \sim 0.747) \mu\text{Sv/h}$ ，能够满足本项目直线加速器机房周围剂量当量率参考控制水平。

(二) CT 模拟定位机辐射影响分析

对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录表C，本项目CT模拟定位机房屏蔽体等效屏蔽铅当量及尺寸大小见表11-30。

表 11-30 本项目 CT 模拟定位机房屏蔽防护设计参数一览表

| 屏蔽体 | 设计厚度 | 等效铅当量 (mm) | 标准要求铅当 量 (mm) | 评价结果 |
|-------------|--|---------------|------------------|------|
| 四周墙体（东墙、北墙） | | | | |
| 四周墙体（南墙、西墙） | | | | |
| 顶部 | | | | |
| 底部 | | | | |
| 防护门 | | | | |
| 观察窗 | | | | |
| 尺寸大小 | 长 7.2m、宽 5.8m，有效使用面积约为 41.76m ² | | | |

注：南墙和西墙外为土层，不考虑；混凝土密度为 2.35g/cm³。

根据表 11-30，本项目 CT 模拟定位机房的尺寸大小能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“CT 机房最小单边长度应不小于 4.5m、最小有效使用面积应不小于 30m²”的要求，CT 模拟定位机房四周墙体、顶部、底部、防护门及观察窗屏蔽厚度均不小于 2.5mm 铅当量，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“CT 机房屏蔽防护铅当量厚度不小于 2.5mm 铅当量”的要求。

本项目CT模拟定位机的X线球管和探测器分别安装在被扫描组织的两侧，方向相对，有用线束透射方向为朝向扫描床（即患者方向），当球管产生的X线穿过患者扫描组织，透过组织的剩余射线为探测器所接收。因此，CT模拟定位机开机过程中主要考虑泄漏和散射辐射影响。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量，本项目CT模拟定位机日常使用中管电压范围为 40kV~120kV、管电流为25mA~600mA，本项目在计算漏射线和散射线辐射影响时，工况保守取120kV、600mA进行计算。

本项目 CT 模拟定位机房辐射源点至机房各侧屏蔽体的距离见图 11-9，将有关参数代入公式（11-3）~公式（11-5），CT 模拟定位机房四周墙体、顶部、底部、防护门、观察窗外关注点处的辐射剂量率计算结果见表 11-31~表 11-32。

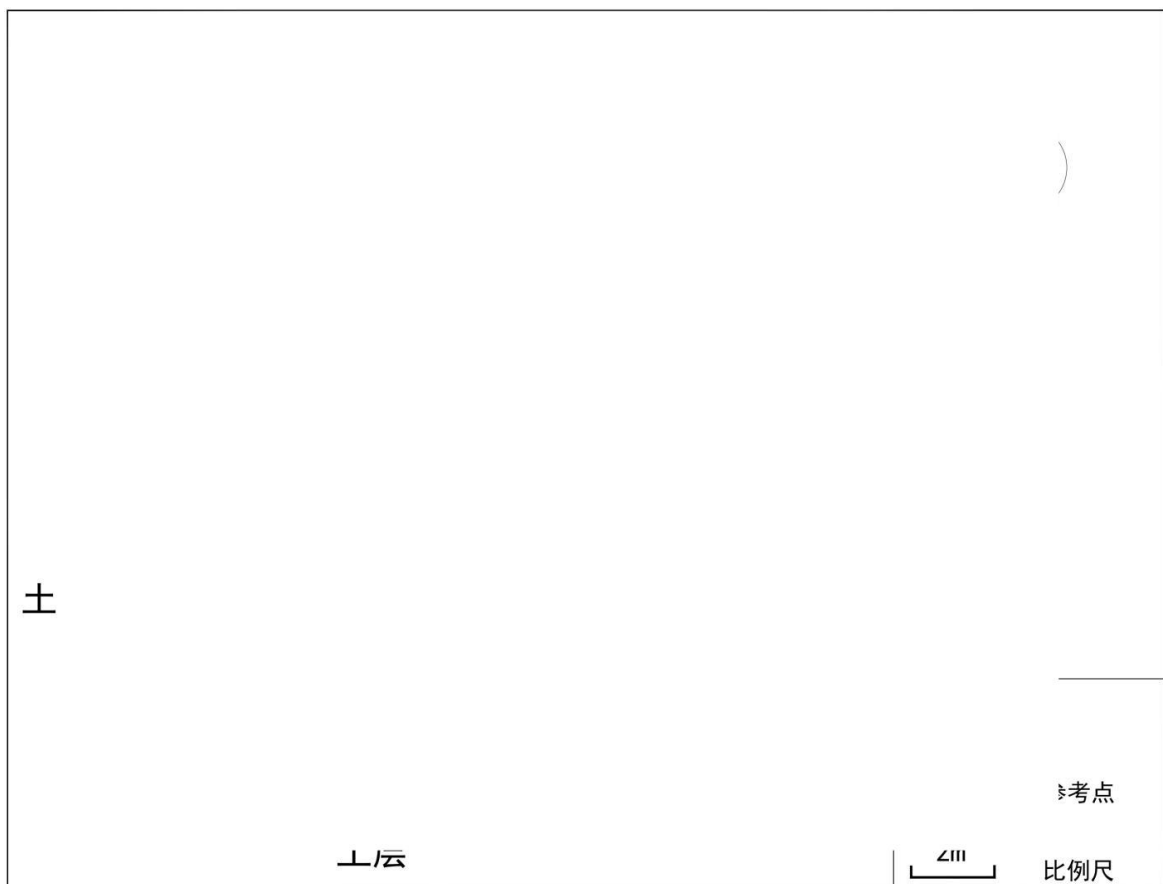


图 11-9 CT 模拟定位机房辐射源点至机房各侧屏蔽体的距离（单位：mm）

表 11-31 CT 模拟定位机房外关注点处泄漏辐射剂量率计算结果

| 场所名称 | 关注点位置 | H_t (mGy/h) | 等效铅当量 (mmPb) | R (m) | B | \dot{H}_t (μ Sv/h) |
|-------------------|-------------------------|------------------|-----------------|----------|---|------------------------------|
| CT 模拟 定位机 房 | 东墙表面外 30cm (点位 1) | | | | | -3 |
| | 北墙表面外 30cm (点位 2) | | | | | -3 |
| | 患者防护门表面外 30cm (点位 3) | | | | | -4 |
| | 医护防护门表面外 30cm (点位 4) | | | | | -3 |
| | 观察窗表面外 30cm (点位 5) | | | | | -3 |
| | 楼上地面 30cm (点位 6) | | | | | -3 |
| | 楼下地面 1.7m (点位 7) | | | | | -3 |

注：有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，从《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）附录表G.2查取；对于本项目CT模拟定位机运行时最大常用管电压120kV，K值保守取110kV下的1.71。

表 11-32 CT 模拟定位机房外关注点处散射辐射剂量率计算结果

| 场所名称 | 关注点位置 | H_0 (μ Gy·m ² · mA ⁻¹ ·h ⁻¹) | I (mA) | a | S (cm ²) | Bs | d ₀ (m) | ds (m) | Hs (μ Sv/h) |
|-----------------------|-----------------------------|---|-----------|---|-------------------------|----|-----------------------|-----------|---------------------|
| CT 模 拟定 位机 房 | 东墙表面外 30cm (点位 1) | | | | | | | | |
| | 北墙表面外 30cm (点位 2) | | | | | | | | |
| | 患者防护门 表面外 30cm (点位 3) | | | | | | | | |
| | 医护防护门 表面外 30cm (点位 4) | | | | | | | | |
| | 观察窗表面 外 30cm (点 位 5) | | | | | | | | |
| | 楼上地面 30cm (点位 6) | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--|------------------------|--------|-----|--------|-----|-----------------------|-----|------|-------|
| | 楼下地面 1.7m (点位 7) | 540000 | 600 | 0.0015 | 100 | 3.86×10^{-6} | 0.3 | 2.05 | 2.120 |
|--|------------------------|--------|-----|--------|-----|-----------------------|-----|------|-------|

注：有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，从《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）附录表G.2查取；对于本项目CT模拟定位机运行时最大常用管电压120kV，K值保守取110kV下的1.71。

表 11-33 CT 模拟定位机房外关注点处叠加辐射剂量率计算结果

| 场所名称 | 关注点位置 | 泄漏辐射 ($\mu\text{Sv/h}$) | 散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$) | 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | 剂量率限值 ($\mu\text{Sv/h}$) |
|---------------|-------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| CT 模拟定 位机房 | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

根据表 11-33 可知，本项目 CT 模拟定位机房外辐射剂量率最大为 $2.124\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

（三）放疗科保护目标剂量评价

（1）放疗科辐射工作人员剂量评价

本项目放疗科辐射工作人员中以操作技师所受照射剂量较大，故在计算放疗科辐射工作人员年有效剂量时，主要计算操作技师的年照射剂量。将相关参数代入公式（11-8），本项目放疗科辐射工作人员年受照剂量计算结果见表 11-34，参考点位图见图 11-10。

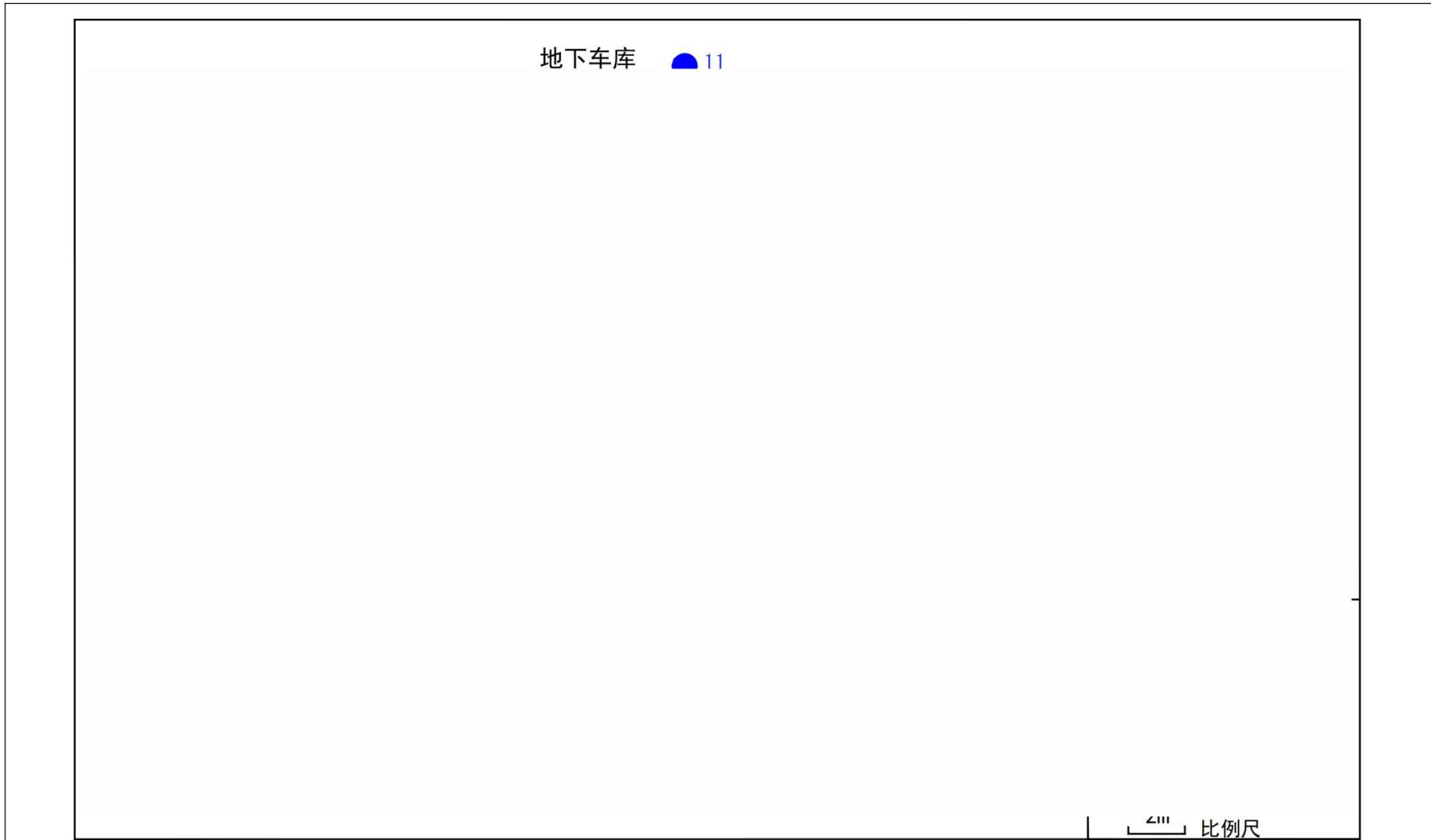


图 11-10 放疗科辐射工作人员和公众参考点位示意图

表 11-34 本项目放疗科辐射工作人员年有效剂量估算

| 保护目标 | 参考点位置 | 参考点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | 年工作时间 (h) | 居留 因子 | 使用 因子 | 年有效剂量 (mSv) | 叠加年有 效剂量 (mSv) |
|-------------------|-------|----------------------------------|--------------|----------|----------|----------------|----------------------|
| SPECT 活 度 注 | | | | | | | |
| 核 登 护 | | | | | | | -3 |
| 核 诊 测 人 | | | | | | | |
| 直 器 作 | | | | | | | |
| CT 位 工 | | | | | | | |
| 放 他 作 | | 0.795/4.5 ²) | | | | | |

注:

取各
机房

员及诊室内辐射工作人员受共同影响，
定位机房距离 6.55m；诊室距离加速器

由表 11-34 可知，本项目放疗科辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.917mSv，满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的要求。

(2) 放疗科周围公众剂量评价

本项目加速器机房和 CT 模拟定位机房均位于放疗科，且距离较近，故放疗科周

围公众年受照剂量受共同影响，计算结果见表 11-35。

表 11-35 本项目放疗科周围公众年有效剂量估算

| 关注对象 | 使用 | 年有效剂 | 叠加年有效 |
|-----------------|----|------|-----------------------|
| | | |) |
| | | | 4 |
| 放疗科病患及陪同家属等流动人员 | | | 6 |
| | | | 9 |
| 地下车库流动人员 | | | 0⁻⁵ |

注：①居留因子取值参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中附录 A；

②放疗科公众影响，取各侧最大值经距离衰减叠加，南侧走道距离加速器机房南侧 2.4m，距离模拟定位机房 2.05m；北侧地下车库距离加速器机房北侧 5.4m，距离模拟定位机房 15.4m；模拟定位机房经距离和屏蔽体衰减后对加速器机房东侧影响很小，可忽略不计，故东侧走道和库房仅考虑加速器机房的影响；

③加速器机房底部为土层，故不考虑。

根据表 11-35 可知，本项目放疗科所致四周公众年有效剂量最大约为 0.019mSv，50m 评价范围内其他公众距本项目放疗科相对较远，经距离的进一步衰减后，基本湮灭在环境本底辐射中。

（四）直线加速器和 CT 模拟定位机叠加辐射影响

本项目放疗科 CT 模拟定位机房东侧走道处的公众既会受到直线加速器的辐射影响，也会受到 CT 模拟定位机的辐射影响。根据表 11-34 和表 11-35，直线加速器和 CT 模拟定位机所致放疗科辐射工作人员和公众的年受照最大剂量仍能满足职业人员年有

效剂量不超过 5mSv 的要求，公众年受照剂量不超过 0.1mSv 的要求。

三、DSA 项目运行期辐射环境影响分析

1. DSA 手术室的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性分析评价

(1) 评价标准

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3 规定，有用线束方向、非有用线束方向屏蔽体的铅当量均不小于 2.0mmPb。

(2) 本项目 DSA 手术室各屏蔽部位的铅当量厚度核算

本项目 DSA 的有用线束投射方向为由下至上，顶部为有用线束投射方向，其余均为非有用线束投射方向。

本项目 DSA 手术室使用的屏蔽材料有铅板、铅玻璃，具体情况详见表 10-7。本项目 DSA 按额定管电压 125kV 的极端条件核算其机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。

1) 混凝土的等效铅当量厚度核算

按照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 b) 给出的计算公式进行计算：

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad (\text{式 11-17})$$

式中：

X—不同屏蔽物质的铅当量厚度；

α 、 β 、 γ —相应屏蔽物质对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

B—给定铅厚度的屏蔽透射因子；给定铅厚度的屏蔽透射因子 B 值对照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 a) 相应要求采用给出的计算公式进行计算：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{式 11-18})$$

式中：

B—给定铅厚度的屏蔽透射因子；

α 、 β 、 γ —铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X—铅厚度。

根据 GBZ 130-2020 中表 C.2，查取管电压 125kV 有用线束的辐射衰减有关的拟合参数，具体详见表 11-36。

表 11-36 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

| 管电压 | 屏蔽材料 | α | β | γ |
|-----------|------|----------|---------|----------|
| 125kV（主束） | 铅 | 2.219 | 7.923 | 0.5386 |

2) DSA 手术室的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性

根据前述等效铅当量厚度核算情况，可对本项目 DSA 手术室屏蔽体等效铅当量进行汇总，结果见表 11-37。

表 11-37 本项目 DSA 手术室屏蔽符合性分析

| 场所 | 屏蔽体 | 屏蔽设计参数 | 等效铅当量 (mm) | 标准要求铅当量 (mm) | 评价结果 |
|---------|------|---|------------|--------------|------|
| DSA 手术室 | 四周墙体 | | | | 求 |
| | 顶部 | | | | 求 |
| | 防护门 | | | | 求 |
| | 观察窗 | | | | 求 |
| | 尺寸大小 | 长 8.12m、宽 7.13m，有效使用面积约为 57.9m ² ； | | | |

根据表 11-37 可知，本项目 DSA 手术室的尺寸大小、屏蔽防护措施均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“单管头 X 射线设备机房最小有效使用面积应不小于 20m²、最小单边长度应不小于 3.5m；C 型臂 X 射线设备机房有用线束方向、非有用线束方向屏蔽防护铅当量厚度不小于 2.0mm 铅当量”的要求。

2. DSA 运行阶段分析

为进一步评价本项目 DSA 手术室的屏蔽防护效果，本项目采用理论预测的方法进行影响分析。本项目 DSA 设备主射线方向向上，介入手术过程中，DSA 图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NCRP147 号报告“Structural Shielding Design for Medical Imaging X-ray Facilities”4.1.6 节（Primary Barriers，P41-45）及 5.1 节（Cardiac Angiography，P72）指出，DSA 进行估算时不需要考虑主束照射。因此本项目 DSA 需要屏蔽的辐射仅考虑泄漏辐射和散射辐射。

（1）估算模式

① 泄漏辐射剂量率计算公式：

泄漏辐射剂量率 H_L 采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B \cdot K}{R^2} \quad (\text{式 11-19})$$

式中，d、B 意义同上：

H_L —关注点处泄漏辐射有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_i —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率， mGy/h ；本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1.0 mGy/h ；

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，从《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）附录表 G.2 查取，对于本项目 DSA 运行时最大常用管电压 80kV，K 值取为 1.67；

R—关注点至源点的距离，m；

B—给定铅厚度的屏蔽透射因子，机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子。

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha x} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{式 11-20})$$

式中：

X——铅厚度，本项目 DSA 机房屏蔽体的铅厚度见表 11-18；

α 、 β 、 γ ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，根据 NCRP147 报告中 TABLE A.1 查取拟合参数 α 、 β 、 γ 值，具体见表 11-38。

表 11-38 铅对管电压 80kV 的 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

| 管电压 | α | β | γ |
|------|----------|---------|----------|
| 80kV | | | |

② 散射辐射剂量率计算公式

由《辐射防护手册（第一分册）》给出的 X 射线机散射线在关注点的空气比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的辐射剂量率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s / 400) \cdot B_s \cdot K}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad (\text{式 11-21})$$

式中：

H_s —关注点处散射辐射有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$

H_0 —X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1m 处由主束产生的比释动能率）， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，本项目正常使用的最大管电压为 80kV、过滤条件保守取 2.5mmAl，从《辐射防护导论》附图 3，2mmAl（保守取值）过滤条件下，发射率常数约 $6\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / \text{mA} \cdot \text{min}$ ，即 $6 \times 10 \times 60 = 360000 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ ；

I —管电流，mA；本项目透视、摄影模式下正常使用的最大管电流分取 20mA、500mA；

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，查《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，对于本项目 DSA 正常工作使用电压最大为 80kV 时的 a 查取值为

0.0008（根据《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中管电压为 70kV、100kV、125kV 对应散射角为 90°的 a 值绘制拟合曲线，从曲线查取 80kV 对应的 a 值）；

S —主束在受照病人身体上的散射面积，考虑手术需要的最大照射面积，本项目取 100cm^2 ；

d_0 —源至受照点的距离，根据设备参数确定，本项目 d_0 取最小值 0.3m（根据 GBZ130-2020 第 5.2.1 条）；

d_s —受照体至关注点的距离，m；

B_s ——屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲。给定铅厚度的屏蔽透射因子，可根据公式 11-20 进行计算，其中 α 、 β 、 γ 为铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，根据《辐射防护手册（第一分册）》康普顿散射线能量公式计算：

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{1 + \frac{E_0}{0.511}(1 - \cos\theta)} = 0.865 \quad (\text{式 11-22})$$

散射后的 X 射线能量可按 $80\text{kV} \times 0.865 = 69.2\text{kV}$ 的管电压 X 射线进行计算，本次散射后的 X 射线保守取值以 70kV 管电压 X 射线进行计算。查 GBZ 130-2020 表 C.2 中 70kV 管电压 α 、 β 、 γ 拟合数据，具体见表 11-39。

表 11-39 铅对管电压 70kV 的 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

| 管电压 | α | β | γ |
|------|----------|---------|----------|
| 70kV | 5.369 | 23.49 | 0.5881 |

K —意义同前，按前述 90° 方向一次散射线能量对应的 kV 值“70kV”，从《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）附录表 G.2 查取，采用内插法取值为 1.60。

(2) 计算结果

本项目 DSA 的辐射影响构成情况见表 11-40。

表 11-40 本项目 DSA 的辐射影响构成情况

| 设备名称 | 操作模式 | 正常运行时最大工况 | 辐射影响对象 |
|------|------|------------|---------------------------|
| DSA | 摄影模式 | 80kV/500mA | 手术室外公众、控制室操作技师 |
| | 透视模式 | 80kV/20mA | 手术室外公众、控制室操作技师，手术室内介入手术人员 |

1) DSA 手术室计算结果

本项目 DSA 手术室内辐射源点至手术室各侧屏蔽体的距离见图 11-11，手术室内辐射源点至手术室外关注点的距离见表 11-41。

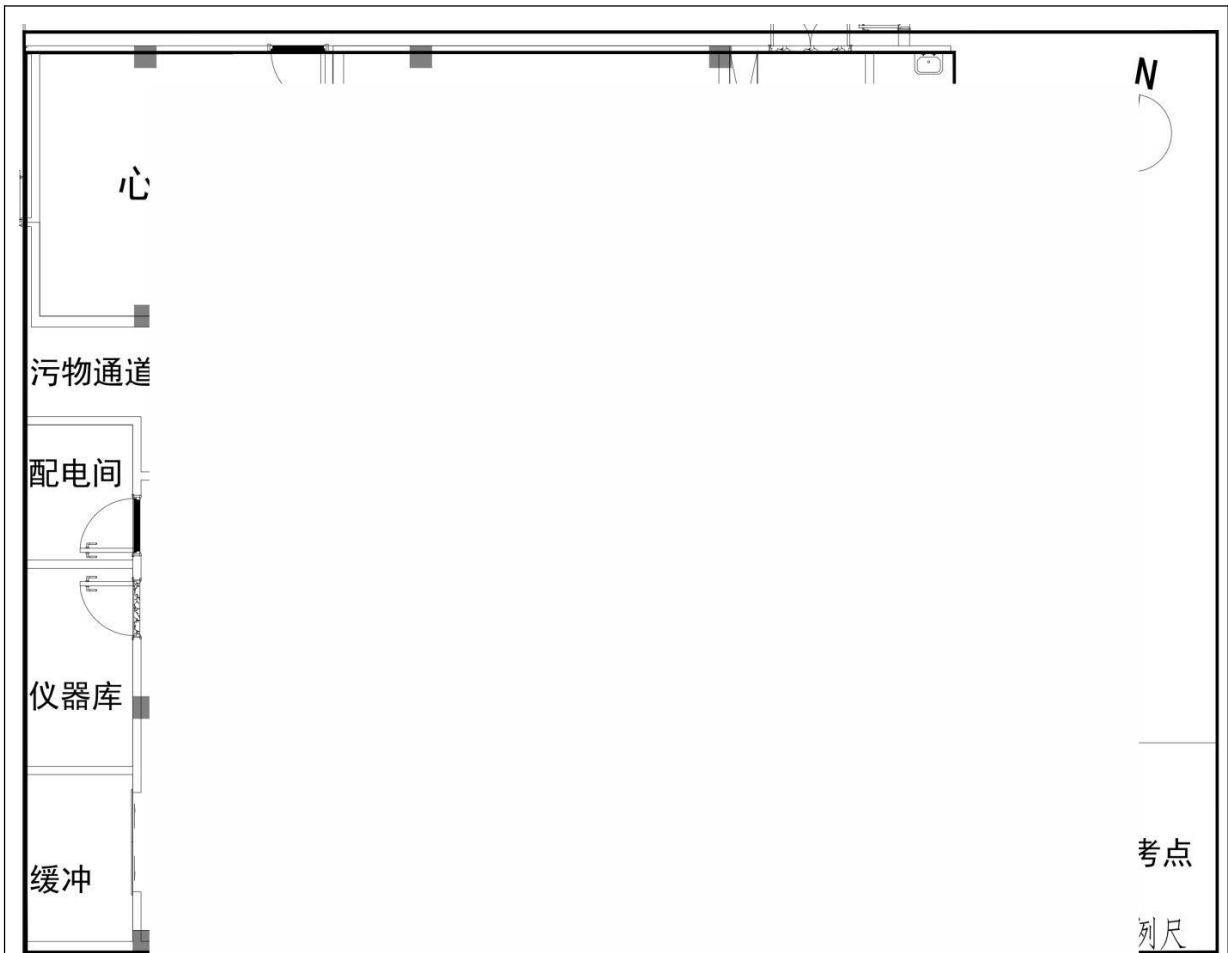


图 11-11 DSA 手术室内辐射源点至手术室各侧屏蔽体的距离（单位：mm）

表 11-41 DSA 手术室内辐射源点至机房外关注点的距离

| | 点位 | 关注点位置 | 辐射源点至关注点 距 d (m) |
|-------------|----|-------|-----------------------|
| DSA 手术室外 | ① | | |
| | ② | | |
| | ③ | | |
| | ④ | | |
| | ⑤ | | |
| | ⑥ | | |
| | ⑦ | | |
| | ⑧ | | |
| | ⑨ | | |
| DSA 手术室内 | / | | |
| | / | | |

注：单层建筑，层高为 4.5m，楼下为土层，不作分析。

①手术室外各关注点及手术室内手术位处泄漏辐射剂量率计算

将相关参数代入公式（11-19），DSA 手术室外各关注点、手术室内手术位处的泄漏辐射剂量率计算结果见表 11-42。

表 11-42 DSA 手术室关注点处泄漏辐射剂量率计算结果

| 关注点位置 | | H_i ($\mu\text{Gy/h}$) | R (m) | B | \dot{H}_L 估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$) | |
|---------|-----------------------------|-------------------------------|----------|---|--|--|
| DSA 手术室 | 东墙表面外 30cm (走廊) | | | | -5 | |
| | 南墙表面外 30cm (患者走廊) | | | | -5 | |
| | 西墙表面外 30cm (患者走廊) | | | | -5 | |
| | 北墙表面外 30cm (控制室、心电图室) | | | | -5 | |
| | 观察窗表面外 30cm (控制室) | | | | -5 | |
| | 医护人员防护门表面外 30cm (控制室) | | | | -5 | |
| | 患者通道防护门表面外 30cm (患者走廊) | | | | -5 | |
| | 污物通道防护门表面外 30cm (污物通道) | | | | -5 | |
| | 楼上地面 30cm (无建筑) | | | | -5 | |
| | 第一术者 | 铅衣内 (0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 铅帘) | | | | |
| | | 铅衣外 (0.5mmPb 铅帘) | | | | |
| 第二术者 | 铅衣内 (0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 铅帘) | | | | | |
| | 铅衣外 (0.5mmPb 铅帘) | | | | | |

②机房外各关注点及机房内手术位处散射辐射剂量率计算

将相关参数代入公式（11-21），DSA 手术室外各关注点、手术室内手术位处的散射辐射剂量率，计算结果见表 11-43。

表 11-43 DSA 手术室关注点处散射辐射剂量率计算结果

| 关注点位置 | | 操作模式 | H_0 ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) | I (mA) | B_s | d_0 (m) | d_s (m) | H_s ($\mu\text{Sv/h}$) |
|---------|-----------------|------|---|-----------|-------|--------------|--------------|-------------------------------|
| DSA 手术室 | 东墙表面外 30cm (走廊) | | | | | | | |
| | 南墙表面外 30cm (患 | | | | | | | |

表 11-44 DSA 手术室关注点处辐射剂量率叠加计算结果

| 关注点位置 | | 操作模式 | X 射线辐射剂量率 (μSv/h) | | | 目标限值 (μSv/h) | |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----|----|--------------|--|
| | | | 漏射线 | 散射线 | 合计 | | |
| DSA 手术室 | 东墙表面外 30cm (走廊) | — | | | | | |
| | 南墙表面外 30cm (患者走廊) | — | | | | | |
| | 西墙表面外 30cm (患者走廊) | — | | | | | |
| | 北墙表面外 30cm (控制室、心电室) | — | | | | | |
| | 观察窗表面外 30cm (控制室) | — | | | | | |
| | 医护人员防护门表面外 30cm (控制室) | — | | | | | |
| | 患者通道防护门表面外 30cm (患者走廊) | — | | | | | |
| | 污物通道防护门表面外 30cm (污物通道) | — | | | | | |
| | 楼上地面 30cm (无建筑) | — | | | | | |
| | 第一 术 者 | 铅衣内 (0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅帘) | — | | | | |
| | | 铅衣外 (0.5mmPb 铅帘) | — | | | | |
| 第二 术 者 | 铅衣内 (0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅帘) | — | | | | | |
| | 铅衣外 (0.5mmPb 铅帘) | — | | | | | |

(3) 小结

根据表 11-44 可知, 本项目 DSA 手术室周围辐射剂量率最大为 $2.97 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$, 能够满足本项目辐射剂量率管理限值要求, 即 DSA 手术室四周墙体、顶部、防护门、

观察窗外表面 30cm 处辐射剂量率不大于 2.5 μ Sv/h。

3. 保护目标剂量评价

(1) 控制室内操作技师、护士及手术室周围公众年有效剂量估算

本项目 DSA 操作技师、护士由现有辐射工作人员调配。将有关参数代入公式 (11-8)，DSA 手术室的操作技师、护士及手术室周围公众的年有效剂量估算结果见表 11-45。

表 11-45 DSA 手术室操作技师及周围公众年有效剂量估算结果

| 关注点 | 受照人群 | 模式 | t (h) | T | 辐射剂量率 (μ Sv/h) | 年有效剂量 $H_{E,r}$ (mSv/a) |
|------------------------|------|----|-------|---|------------------------|----------------------------|
| 东墙表面外 30cm (走廊) | | | | | | -6 |
| 南墙表面外 30cm (患者走廊) | | | | | | -6 |
| 西墙表面外 30cm (患者走廊) | | | | | | -6 |
| 北墙表面外 30cm (控制室、心电图室) | | | | | | -6 |
| 观察窗表面外 30cm (控制室) | | | | | | -6 |
| 医护人员防护门表面外 30cm (控制室) | | | | | | -6 |
| 患者通道防护门表面外 30cm (患者走廊) | | | | | | -6 |
| 污物通道防护门表面外 30cm (污物通道) | | | | | | -6 |
| 楼上地面 30cm (无建筑) | | 摄影 | 5.5 | 1 | 1.91×10^{-4} | 1.05×10^{-6} |

注：手术室顶部无建筑，人员不可达。

由表 11-45 可知，DSA 手术室的操作技师年有效剂量最大约为 5.34×10^{-6} mSv，满足职业人员年受照剂量不超过 5mSv 的要求，周围公众年有效剂量最大约为 5.61×10^{-6} mSv。

6mSv，满足公众年受照剂量不超过 0.1mSv 的要求。

(2) 手术室内介入手术人员及护士年有效剂量估算

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）的要求，每名介入手术人员需佩戴 2 枚个人剂量计，1 枚佩戴在铅围裙外锁骨对应的领口处，1 枚佩戴在铅围裙内躯干上。本项目 DSA 介入手术人员及护士年有效剂量可根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）中公式进行估算，估算方法如下：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad (\text{式 11-23})$$

式中：E—有效剂量中的外照射分量，单位为 mSv；

α —系数，本项目取有甲状腺屏蔽时的系数 0.79；

H_u —铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为 mSv；

β —系数，本项目取有甲状腺屏蔽时的系数 0.051；

H_o —铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为 mSv。

根据医院提供的资料，护士巡查时在手术室内居留时间很短，保守参考第二术者辐射剂量当量率估算年有效剂量，年受照时间不超过介入医生年受照时间的 1/5。将相关参数代入公式（11-23），可计算得出本项目每组介入手术人员及护士年有效剂量，计算结果见表 11-46。

表 11-46 介入手术人员及护士年有效剂量估算结果

| 工作人员 | 位置 | α | β | 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | | 年照射时间 (h) | 年有效剂量 (mSv) |
|---------|------|----------|---------|----------------------------|-----------|-----------|-------------|
| | | | | 部位 | 散射线和漏射线合计 | | |
| DSA 手术室 | 第一术者 | 0.79 | 0 | | | | |
| | 第二术者 | | | | | | |
| | 护士 | | | 铅衣外 | 159.58 | | |

注：介入医生、护士年有效剂量计算考虑铅帘屏蔽：铅衣内为 0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 铅帘，铅衣外为 0.5mmPb 铅帘。

根据表 11-46 可知，本项目 DSA 的介入手术人员年有效剂量最大为 4.41mSv，护士年有效剂量最大为 0.22mSv，介入医生和护士均能满足职业人员年受照剂量不超过 5mSv 的要求。

本项目 DSA 介入手术人员由原有人员调配，根据近一年辐射工作人员的个人剂量检测报告可知（附件 8），辐射工作人员仍能够从事本项目的工作。但在实际手术时，因不同的手术，其曝光或透视的管电压管电流不同，投照方位根据需要而变化，且投照出束时间不同，难以准确估算介入手术人员受到的准确照射剂量，只能依靠其佩戴的个人剂量计进行跟踪性监测。因此，医院应加强对介入手术人员的个人剂量监测管理，当个人累积剂量将超过年受照剂量 5mSv 时，应及时告知本人，并减少其辐射工作量或为其调整工作岗位，确保其年累积剂量不超过项目管理目标。

四、叠加辐射影响分析

1. 本项目核医学科、放疗科、DSA 手术室叠加辐射影响分析

(1) 核医学科、放疗科叠加辐射影响分析

本项目核医学科和放疗科均位于精准医疗中心楼内的不同层，因楼层垂直距离和多层墙体屏蔽作用，故不考虑隔层间的相互影响，仅考虑相邻楼层间的相互影响，核医学科内辐射工作人员和周围公众的相互影响情况见图 11-4~图 11-6、图 11-10，叠加结果见表 11-47、表 11-48。

表 11-47 本项目精准医疗中心内辐射工作人员年有效剂量叠加结果

| 保护目标 | 关注点位置 | 年有效剂量 (mSv) | 叠加年有效剂量 (mSv) |
|--------|----------------|----------------|------------------|
| | SPECT 手套箱人员操作位 | | |
| SPECT | | | |
| SPECT/ | | | |
| 核医学 | | | |
| 核医学 | | | |
| PET 分 | | | |

| | |
|--------------------------|--|
| | |
| PET/CT 操作技师 ▲6 | |
| PET/CT 阅片室、主任办公室等医护人员 ▲7 | |
| 甲癌治疗区给药控制室辐射工作人员 ▲8 | |
| 甲癌治疗区护士站辐射工作人员 ▲9 | |
| 甲癌治疗区药房 ▲10 | |
| 甲癌治疗区主任、护长等辐射工作人员 ▲11 | |
| 直线加速器辐射工作人员 ▲12 | |
| CT 模拟定位机辐射工作人员 ▲13 | |
| 放疗科其他辐射工作人员 ▲14 | |

注：①表中数据来源表 11 章节中的数据；

②衰变室对顶部辐射工作人员的影响取顶部最大值计算： $1.592\mu\text{Sv/h} \times 500\text{h} = 0.796\mu\text{Sv/h}$ 。

表 11-48 本项目精准医疗中心周围公众年有效剂量叠加结果

| 保护目标 | 关注点位置 | 年有效剂量 (mSv) | 叠加年有效剂量 (mSv) |
|-------|-------------|-------------|---------------|
| 负 1 楼 | SPECT 诊断区底部 | 0.028 | |
| | | | |
| 1 楼等 | | | |
| 1 楼 | | | |
| 1 楼 | | | |
| 1 楼 | | | |
| 2 楼西 | | | |
| 3 楼西 | | | |
| 顶 | | | |

| | | | |
|-------------|--|--|----|
| 直线加 房中 | | | |
| 直线加速 补风机 | | | |
| 地 | | | -5 |

注：①表中数据来源表 11 章节中的数据；

②衰变室对顶部辐射工作人员的影响取顶部最大值计算： $1.592\mu\text{Sv/h} \times 500\text{h} = 0.796\mu\text{Sv/h}$ 。

根据上表可知，在核医学科和放疗科的共同影响下，精准医疗中心内辐射工作人员年有效剂量最大为 4.336mSv ，周围公众年有效剂量最大为 0.084mSv ，仍能满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv ，公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的要求。

(2) 核医学科、放疗科与 DSA 项目叠加辐射影响分析

DSA 手术室距离精准医疗中心约 125m ，经距离和其他屏蔽体衰减后，与精准医疗中心内的项目之间的辐射影响可忽略不计。

2. 本项目与已有核技术利用项目叠加辐射影响分析

(1) 本项目 DSA 手术室北侧约 15m 处为放射科，介入医生、控制走廊内操作技师和护士会同时受到多台 X 射线机的辐射影响，根据年度检测结果可知（附件 7），已有 X 射线装置周围辐射剂量率最大为 $10.46\mu\text{Sv/h}$ ，经距离衰减至 DSA 手术室北侧剂量率为 $0.046\mu\text{Sv/h}$ ，对 DSA 手术室的影响很小，在考虑其他屏蔽墙体的衰减后，其 X 射线装置对本项目 DSA 的影响更小，经计算叠加后仍能满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv ，公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的要求。

(2) 本项目核医学科和放疗科与已有核技术利用项目的距离超过 50m ，故已有核技术利用项目对本项目核医学科和放疗科的影响很小，可忽略不计。

事故影响分析

一、核医学科

1. 本项目核医学科可能产生的辐射事故主要有：

(1) 由于保管或管理工作不到位导致放射性药物、校准源丢失、被盗等情况导致公众受到大剂量照射。

(2) 操作人员违反操作规程或误操作导致操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污。

(3) 射线装置机房门-机联锁失效或操作人员失误，人员误入机房，造成误照射。

(4) 放射性废物、废水、废气管理或处置不当，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

(5) 给药后患者未按要求在相应的场所内等候、留观，在本项目核医学科工作场所以外的区域随意走动，导致公众受到照射。

2. 事故预防措施

(1) 制定放射性药物、校准源的安全管理制度，在日常工作中，设置专人负责放射性药物、校准源的管理，做好日常检查，防止放射性药物和校准源的丢失、被盗。

(2) 工作人员进行岗前培训，合格后方可上岗；制定完善的操作规范，对辐射工作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生。操作过程中，操作者应穿戴防护服、防护眼镜及手套，如果意外事故下放射性液体溅到皮肤上，立即用自来水冲洗。

(3) 辐射工作场所按要求设置相应的辐射安全与防护设施，定期检查辐射工作场所和设备的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态。

(4) 加强放射性废物的管理，对放射性废物制定放射性三废的处理制度，设置放射性废物专职管理员，对放射性废物单独收集，按照国家规定处理，并做好相应的记录。

(5) 给药前，医生对患者进行健康教育，加强对患者的管理，避免给药后患者在注射后候诊室、留观室外随意走动。

3. 应急处理措施

(1) 一旦发现给药后患者在核医学工作场所内随意走动，不在规定的区域内停留，工作人员应立刻通过语音系统告知，使患者回到规定的区域内。

(2) 当发生放射性药物或者校准源丢失、被盗时，应立即启动本单位辐射事故应急预案，封锁现场，在工作场所外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止相关人员入内，并第一时间将事故情况通报有关主管部门（生态环境、公安、卫生健康等），向主管部门提供有用线索，并积极配合主管部门查找丢失的放射性药物。

(3) 当发生液态放射性药物泼洒、泄漏导致的表面沾污事故时，应及时去污，尽量转移至放射性固废。如：迅速用吸附衬垫或滤纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。去污结束后，需用 α 、 β 表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到去污控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，确保符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中表B11对于控制区的要求。

(4) 当放射性药物或放射性废物管理或处置不当造成污染时，应立即划定警戒区，设置放射性污染标识，限制人员随意走动或靠近，由专业人员处理，现场处置任务的工作人员应佩戴防护用具及个人剂量计和剂量报警仪。根据现场辐射强度，确定工作人员在现场处置的工作时间，现场经监测满足解控要求后方可解除警戒，并尽可能记录下现场有关情况，对工作人员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。

(5) 如发生误照射，应立即切断电源，确保射线装置停止工作，误入或误留人员应在最短的时间内撤离机房。

(6) 对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

医院应加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行操作，并在实际工作中不断对辐射安全管理制度进行完善，加强对职工辐射防护知识的培训，定期检查辐射安全措施的有效性，定期对工作场所进行检测，定期、具有针对性的对可能发生的放射事故进行演练，尽可能避免辐射事故的发生。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急预案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，同时在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。

二、放疗科

1. 本项目放疗科可能产生的辐射事故主要有：

(1) 直线加速器

①门机联锁装置、工作状态指示灯等发生故障，人员误入正在运行的加速器机房导致误照射；

②其他医护人员还未全部撤离机房，即进行出束治疗，致使人员受到不必要的照射；

③门机联锁装置发生故障，在防护门未关闭的情况下即开始出束治疗，给工作人员和周围公众造成不必要的照射。

(2) CT 模拟定位机

①工作状态指示灯等发生故障，人员误入正在运行的机房导致误照射；

②其他医护人员还未全部撤离机房，即进行出束扫描，致使人员受到不必要的照射；

③在防护门未关闭的情况下出束扫描，给工作人员和周围公众造成不必要的照射。

2. 事故预防措施

(1) 定期对直线加速器机房、CT 模拟定位机房的安全和防护措施的安全防护效果进行检查、检测，严格执行门机联锁、急停开关、工作状态指示灯等辐射安全措施定期检查制度，并将检查结果记录备案。一旦发现门机联锁系统、急停开关或工作状态指示灯存在故障，应立即停止工作，组织技术人员对其进行检查维修，只有在确认门机联锁系统、急停开关、工作状态指示灯等辐射安全措施恢复正常后，设备方能重新投入使用。

(2) 加强对工作人员安全教育，严格按操作规程操作，每次开机运行前均确认机房内无其他无关人员时，才能开机出束。

(3) 定期对直线加速器、CT模拟定位机的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期更换，并建立维护、维修台账。

3. 应急处理措施

(1) 如发生误照射，应立即切断电源或按下急停按钮，确保射线装置停止工作。

(2) 立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入。

(3) 对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

三、DSA 项目

1. 本项目 DSA 可能产生的辐射事故主要有：

- (1) DSA 正常工作时，人员误留、误入机房，导致发生误照射。
- (2) 操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。
- (3) 工作状态指示灯发生故障的状况下，人员误入 DSA 正在运行的机房。

2. 事故预防措施

(1) 定期对 DSA 机房的安全和防护措施的安全防护效果进行检查、检测，严格执行工作状态指示灯等辐射安全措施定期检查制度，并将检查结果记录备案。一旦发现工作状态指示灯存在故障，应立即停止工作，组织技术人员对其进行检查维修，只有在确认工作状态指示灯等辐射安全措施恢复正常后，设备方能重新投入使用。

(2) 加强对工作人员安全教育，严格按操作规程操作，每次开机运行前均确认机房内无其他无关人员时，才能开机出束。

(3) 定期对 DSA 的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期更换，并建立维护、维修台账。

3. 应急处理措施

- (1) 如发生误照射，应立即切断电源，确保射线装置停止工作。
- (2) 立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入。
- (3) 对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

医院应加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行操作，并在实际工作中不断对辐射安全管理制度进行完善，加强对职工辐射防护知识的培训，定期检查辐射安全措施的有效性，定期对工作场所进行检测，尽可能避免辐射事故的发生。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急预案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，同时在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。

表 12 辐射安全管理

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》《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》等法律法规要求，使用射线装置、放射性同位素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；辐射工作人员必须通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核。

医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确了各成员管理职责。本项目运行前医院应根据本项目人员配备情况、医院机构管理要求修订辐射安全与环境保护管理机构、各成员管理职责等。医院辐射防护专职管理人员及现有辐射工作人员均已参加辐射安全和防护的培训，培训证书均在有效期内。

本项目核医学科辐射工作人员、直线加速器辐射工作人员、DSA辐射工作人员和医院辐射安全专职管理人员均应通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名，学习相应的辐射安全和防护知识（核医学、放射治疗、医用X射线诊断与介入放射学、辐射安全管理），通过考核后，方能满足辐射工作人员的岗位要求。

医院CT模拟定位机等III类射线装置辐射工作人员可由医院自行组织考核，通过考核后，方能满足辐射工作人员的岗位要求。

医院应及时关注辐射工作人员辐射安全和防护专业知识的培训时间，辐射安全培训合格证书快到期人员应当及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名，重新学习并通过相应考核后，方能继续从事辐射工作。

辐射安全管理规章制度

苏州市相城人民医院已根据《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》和《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，制定相关的辐射安全管理制度，主要包括《辐射防护和安全保卫制度》《操作规程》《岗位职责》《设备检修维护制度》《人员培训计划》《监

测方案》《台账管理制度》《辐射事故应急预案》及《监测异常报告制度》等。现对医院应制定的辐射安全管理规章制度提出相应的建议和要求：

辐射防护和安全保卫制度：根据单位的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪保持良好工作状态；②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；③合理安排核医学科进药时间，确保进药时间与就诊时间错开，减少对公众的辐射影响；④做好辐射工作场所的安全保卫工作，并定期检查。

操作规程：明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中应采取的具体防护措施及步骤。重点是：①确保开展辐射工作时所有辐射安全措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；②从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

岗位职责：明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位职责，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

设备检修维护制度：明确设备和辐射安全装置等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效运转；重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器等必须保持良好工作状态。

放射性同位素、射线装置使用登记制度：制定相应的使用登记制度，规范放射性同位素、射线装置台账和使用登记记录，对购入的放射性同位素、射线装置的使用情况进行专人登记和跟踪记录，确保正确无误、账物相符。

人员培训计划：明确辐射工作人员的培训内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

个人剂量监测方案和职业健康管理：明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：购置辐射监测设备，明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。每年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日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上一年度的评估报告。

事故应急预案：针对可能产生的辐射事故制定辐射事故应急措施，该措施中应明确应急机构和职责分工、应急人员的组织、培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

监测异常报告制度：明确按照相关标准要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测；当发现辐射工作场所及周围环境监测出现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境部门报告；当发现个人剂量监测结果异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理。

本项目辐射工作人员应在医院辐射安全与防护领导小组的领导下，明确各人员岗位职责，严格落实辐射安全管理规章制度，定期对设备的辐射安全措施进行检查。医院在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各项管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。

辐射监测

1. 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警、便携式辐射监测、表面污染监测等设备，对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。项目运行后定期监测并做好监测记录。本项目拟配置的监测仪器见表12-1，配备后将能够满足本项目辐射监测仪器配置要求。

表12-1 本项目配置的辐射监测一览表

| 序号 | 名称 | 数量 | 用途 |
|----|--------------------------|----|--|
| 1 | 便携式辐射巡测仪 | 1 | 用于项目周围剂量当量率的日常监测 |
| 2 | α 、 β 表面沾污仪 | 3 | 分别放置在PET诊断场所、SPECT诊断场所、甲癌治疗区的卫生通过间内，用于工作后的表面污染检测 |

| | | | |
|---|------------------------|---------|-------------------------|
| 3 | 测量体内活度的设备或测量周围剂量当量率的仪器 | 1 | 放置于甲癌治疗区出口处，用于病人出院前监测 |
| 4 | 个人剂量报警仪 | 核医学科 | 6 |
| | | 放疗科 | 2 |
| | | DSA 手术室 | 2 |
| 5 | 固定式辐射剂量监测系统 | 1 | 放置于加速器机房迷道内，用于监控机房内辐射水平 |

2. 监测方案

根据国家相关法律法规要求，开展辐射工作的单位应当对其工作场所防护以及放射工作人员职业受照情况定期开展自主或者委托监测，以保障辐射工作的正常开展以及人员的健康和安。本项目监测计划如下：

(1) 个人剂量和职业健康监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《职业性外照射个人监测规范》中的相关要求，医院委托有资质的单位定期（不少于 1 次/3 个月）对辐射工作人员个人剂量进行监测（根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）的 5.3.2、5.3.3，对于介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，建议采用双剂量计进行监测），并建立辐射工作人员个人剂量档案，个人剂量档案应当终生保存。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《放射工作人员健康要求及监护规范》中的相关要求，医院组织辐射工作人员定期进行职业健康检查，职业健康检查包括上岗前、在岗期间、离岗时、受到应急照射或者事故照射时的健康检查，以及职业性放射性疾病患者和受到过量照射的放射工作人员的医学随访观察；放射工作人员在岗期间职业健康检查周期为 1~2 年，但不得超过 2 年，必要时可适当增加检查次数。医院对从事辐射工作的工作人员建立并终生保存职业健康监护档案，并由专人负责管理。

(2) 工作场所及周围环境监测

苏州市相城人民医院应根据辐射管理要求，制定如下监测方案：

1) 请有资质单位定期对辐射工作场所及周围环境辐射水平以及核医学科的表面污染水平进行监测，每年 1~2 次；

2) 定期请有资质的单位对产生辐射的仪器设备进行防护监测，包括仪器设备防护性能的检测，每年 1~2 次；

3) 利用配备的辐射监测仪器对医院的辐射工作场所定期进行自主监测，并记录

档案。

本项目落实上述监测方案后，方能满足辐射安全管理的要求。本项目监测方案见表 12-2~表 12-5。

表 12-2 本项目核医学科辐射监测计划

| 监测项目 | 监测类型 | 监测因子 | 监测点位和监测频次 | 监测点位 | 控制要求 |
|--------|----------|---|---|--------------------------|--|
| 工作场所监测 | 竣工环保验收监测 | 周围剂量当量率、 α 、 β 表面沾污 | 请有资质单位监测，建设项目竣工后 3 个月内 | 参考 HJ 1188-2021 中的表 1 | 详见评价标准中表面污染控制水平和辐射剂量率控制水平 |
| | 年度监测 | 周围剂量当量率、 α 、 β 表面沾污 | 请有资质单位监测，不少于 1 次/年 | | |
| | 日常监测 | 周围剂量当量率、 α 、 β 表面沾污 | 周围剂量当量率自主监测不少于 1 次/月， α 、 β 表面沾污自主监测为每次工作结束后进行监测（出现放射性药物洒落应及时进行监测） | | |
| | | 放射性废水总 β 、 ^{131}I 放射性活度 | 每次排放前，请有资质单位监测 | 参考 HJ1188-2021 中 7.3.3.1 | 总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ， $^{131}\text{I} \leq 10\text{Bq/L}$ |
| 个人剂量监测 | / | 职业性外照射个人剂量 | 定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月 | / | / |

表 12-3 本项目直线加速器辐射监测计划

| 监测项目 | 监测类型 | 监测因子 | 监测点位和监测频次 | 监测点位 | 控制要求 |
|--------|----------|------------|--------------------------|---|-------------------|
| 工作场所监测 | 竣工环保验收监测 | 周围剂量当量率 | 请有资质单位监测，建设项目竣工后 3 个月内 | ① 机房四周墙体、顶外 30cm； ② 各防护门外 30cm，门表面和四周门缝； ③ 控制室内人员操作位、机房周围人员经常活动的位置； ④ 管线孔洞处。 | 机房外辐射剂量率限值见表 7-14 |
| | 年度监测 | 周围剂量当量率 | 请有资质单位监测，不少于 1 次/年 | | |
| | 日常监测 | 周围剂量当量率 | 自主监测，建议不少于 1 次/季度 | | |
| 个人剂量监测 | / | 职业性外照射个人剂量 | 定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月 | / | / |

表 12-4 本项目 DSA 辐射监测计划

| 监测项目 | 监测类型 | 监测因子 | 监测点位和监测频 | 监测点位 | 控制要求 |
|--------|----------|------------|--------------------------|---|----------------------|
| 工作场所监测 | 竣工环保验收监测 | 周围剂量当量率 | 请有资质单位监测，建设项目竣工后 3 个月内 | ①机房四周墙体外 30cm； ②各防护门、观察窗外 30cm，门、窗表面和四周缝隙； ③控制室内人员操作位、机房周围人员经常活动的位置； ④管线孔洞处。 | 机房外辐射剂量率不大于 2.5μSv/h |
| | 年度监测 | 周围剂量当量率 | 请有资质单位监测，不少于 1 次/年 | | |
| | 日常监测 | 周围剂量当量率 | 自主监测，建议不少于 1 次/季度 | | |
| 个人剂量监测 | / | 职业性外照射个人剂量 | 定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月 | / | / |

表 12-5 本项目 CT 模拟定位机辐射监测计划

| 监测项目 | 监测类型 | 监测因子 | 监测点位和监测频 | 监测点位 | 控制要求 |
|--------|------|------------|--------------------------|--|----------------------|
| 工作场所监测 | 年度监测 | 周围剂量当量率 | 请有资质单位监测，不少于 1 次/年 | ① 机房四周墙体、顶外 30cm、楼下（距楼下地面 1.7m）； ② 各防护门、观察窗外 30cm，门、窗表面和四周缝隙； ③控制室内人员操作位、机房周围人员经常活动的位置； ④管线孔洞处。 | 机房外辐射剂量率不大于 2.5μSv/h |
| | 日常监测 | 周围剂量当量率 | 自主监测，建议不少于 1 次/季度 | | |
| 个人剂量监测 | / | 职业性外照射个人剂量 | 定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月 | / | / |

辐射事故应急

依照国家环保总局的《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》（环发〔2006〕145 号文）中的有关要求，辐射事故可分为特别重大辐射事故、重大事故、较大事故和一般辐射事故。本项目事故多为放射性药物的丢失、被盗或泼洒而发生污染，校准源的丢失、被盗以及开机误照射。

为加强辐射工作过程中的辐射安全和管理，预防和控制放射性突发事件的发生而造成的危害，保障辐射工作人员和周围公众的健康与安全，医院已根据现有核技术利

用项目制定了事故应急方案，应急方案内容包括：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (3) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- (4) 应急演习计划；
- (5) 辐射事故调查、报告和处理程序。

医院应依据《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》（环发〔2006〕145号文）的要求，明确辐射事故应急领导小组的组织机构、组成人员及职责；明确应急人员培训内容及培训周期等；明确辐射应急救援响应措施；明确事故情况下应采取的防护措施和执行程序，有效控制事故，及时制止事故的恶化；明确应急演练制度；加强管理，加强对职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演习，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，确保辐射工作安全有效运转。

根据《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》和《江苏省辐射污染防治条例》，发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，同时在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。

表 13 结论与建议

结论

1. 项目概况

为了改善城区及周边群众门诊服务质量，提升当地和周边区域群众的医疗服务水平，苏州市相城人民医院拟在院内开展以下核技术利用项目：

（1）新建1个核医学科和1个放疗科，核医学科和放疗科均位于拟建的精准医疗中心内。

①核医学科位于精准医疗中心1楼~3楼，包括三个区域：SPECT诊断区（1楼）、PET诊断区（2楼）和甲癌治疗区（3楼）。核医学科配备1台SPECT/CT（Ⅲ类射线装置）、1台PET/CT（Ⅲ类射线装置）、2枚⁶⁸Ge V类校准源，使用放射性核素¹⁸F、⁶⁸Ga、⁶⁴Cu、^{99m}Tc、¹¹¹In、¹²³I、¹³¹I开展核素诊断和治疗，日等效最大操作量为 1.94×10^9 Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所；

②放疗科位于精准医疗中心负1楼，配备1台直线加速器（型号未定，X射线能量为6/10MV，电子线能量 ≤ 22 MeV），用于开展放射治疗，并配备1台CT模拟定位机（型号未定，最大管电压140kV，最大管电流800mA），用于放射治疗前的模拟定位。

（2）将1#门诊、住院楼内的原预防保健科改为DSA手术室（1F），并配备1台DSA（型号未定，最大管电压为125kV，最大管电流为1000mA）

2. 实践正当性评价

本项目投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《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。

3. 选址、布局合理性评价

苏州市相城人民医院位于江苏省苏州市相城区华元路 1060 号。医院东侧为采莲路，南侧为华元路，西侧为河道，北侧为惠民路。

本项目核医学科和放疗科均位于精准医疗中心内，精准医疗中心为独栋建筑，位于院内东北部。核医学科与非放射性工作场所有明确的分界隔离，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区；放射治疗场所位于精准医疗中心的负1楼，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，周围无环境制约因素，项目选址合理。

本项目核医学科设有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，SPECT 诊断与 ^{131}I 核素治疗错时开展，进药时间与就诊时间错开，医护通道出入口设有卫生通过间，为工作人员提供可更换的衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备，控制区内设有注射后候诊室、留观室、住院病房和给药后患者的专用卫生间，患者在控制区内为单向流动，给药后患者与给药前患者不交叉，可有效避免工作人员、患者与放射性药物之间的交叉污染，布局合理。

本项目 DSA 工作场所设有单独的机房、控制室、设备间，机房与控制室、设备间分开单独设置，区域划分明确，布局基本合理。

医院将对本项目核医学科、放疗科和 DSA 工作场所进行分区管理，控制区和监督区划分明显，布局合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中有关辐射工作场所的分区规定。

4. 辐射防护措施评价

本项目核医学科整体采用混凝土结构，防护门采用铅防护门，观察窗、注射窗等采用铅玻璃等实体屏蔽防护措施；放疗科直线加速器机房采用混凝土进行防护，防护门采用铅板+含硼聚乙烯，CT 模拟定位机房整体采用混凝土，防护门采用铅防护门，观察窗采用铅玻璃实体屏蔽防护措施；DSA 机房四周采用铅板防护，顶部采用混凝土+铅板，防护门采用铅防护门，观察窗采用铅玻璃实体屏蔽防护措施。根据理论预测及分析，本项目核医学科、直线加速器机房、CT 模拟定位机房和 DSA 机房的屏蔽防护设计满足辐射防护要求，各辐射工作场所的辐射剂量率满足相应剂量率管理限值。

5. 辐射安全措施评价

本项目核医学科拟采取的辐射安全措施主要有：工作状态指示灯、防夹和自动闭门装置、门禁和监控系统、电离辐射警告标志、单向门及门禁、监控及对讲系统、自动闭门装置、导向标识、双人双锁等。

本项目直线加速器工作场所拟采取的辐射安全措施主要有：钥匙开关、电离辐射警告标志和工作状态指示灯、门-机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统、通风系统、个人防护用品、人工复位安全联锁等。

本项目 CT 模拟定位机工作场所拟采取的辐射安全措施主要有：电离辐射警告标志和工作状态指示灯、防夹和闭门装置、监控与对讲装置、个人防护用品等。

本项目 DSA 工作场所拟采取的辐射安全措施主要有：工作状态指示灯、防夹和闭门装置、电离辐射警告标志、对讲装置、个人防护用品等。

落实以上辐射安全和防护措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全防护要求。

6. 辐射防护监测仪器评价

医院应至少配备 1 台环境辐射巡测仪，还应为本项目核医学科配备 3 台 α 、 β 表面沾污仪、6 台个人剂量报警仪，并在甲癌住院病房出口处配备 1 台测量体内活度的设备或测量周围剂量当量率的仪器，用于甲癌患者出院前的监测。为直线加速器机房配备 2 台个人剂量报警仪和 1 台固定式辐射剂量监测系统，为 DSA 手术室配备 2 台个人剂量报警仪。落实后，能够满足辐射监测仪器配备要求。

7. 保护目标剂量评价

根据理论估算结果，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）的剂量限值要求。

8. 放射性废物处理措施评价

（1）放射性废水处理措施评价

医院拟在精准医疗中心负 2 楼新建一间衰变室，衰变室内配备一套长半衰期衰变系统和一套短半衰期衰变系统，其中短半衰期衰变系统可使放射性废水在该衰变系统中至少衰变 38 天，满足 HJ1188-2021 中“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”的要求；长半衰期衰变系统可使放射性废水在该衰变系统中至少衰变 294 天，满足 HJ1188-2021 中“含 ^{131}I 核素的放射性废液暂存超过 180 天”的要求。本项目核医学科产生的放射性废水通过专用管道排至放射性废水衰变系统，暂存满足上述要求且监测结果经审管部门认可后，可直接排至医院的污水处理系统作为医疗废水处理，满足放射性废水处置要求。

（2）放射性废气处理措施评价

本项目核医学科内场所、手套箱、衰变室均设计有独立的排风系统，工作场所内的空气由清洁区向监督区再向控制区流动。核医学科内空气经排风管道引至核医学科专用排风井，再经排风井引至精准医疗中心的楼顶排放，排风口处设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。手套箱分别在箱体顶部和排风口处设置两级活性炭过滤

系统，场所的排风管道在排风口处设置一级活性炭过滤系统。满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求，对周围环境辐射影响很小。

（3）放射性固体废物处理措施评价

本项目核医学科的 SPECT 诊断场所产生的放射性固体废物放置在 SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，自然衰变至少 30 天，甲亢治疗产生的放射性废物（含 ^{131}I ）单独收集，自然衰变至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目核医学科的 PET 诊断场所产生的放射性固体废物、PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所通风系统更换的废活性炭放置在 PET 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 30 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物、非放射性固体废物处理统一处理。

本项目核医学科的甲癌治疗区产生的放射性固体废物、甲癌治疗区通风系统、衰变室通风系统以及手套箱通风系统更换的废活性炭放置在甲癌治疗区的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物、非放射性固体废物处理统一处理。

本项目退役的校准源 ^{68}Ge 贮存在储源罐中，放置在储源间的保险柜内，最终由生产厂家回收或送省城市放射性废物库收贮，满足相关要求。

本项目放射性废物的收集和处理方法基本合理，放射性废物处置得当，符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。

9. 通风措施评价

本项目直线加速器机房拟设置机械通风系统，送风口和排风口呈对角线布置，排风量不小于 $3800\text{m}^3/\text{h}$ ，可使直线加速器机房通风换气不少于 9 次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中送排风口设置要求以及治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧在常温下自动分解为氧气，对周围环境影

响很小。

本项目 SPECT/CT 扫描室、PET/CT 扫描室、直线加速器机房、CT 模拟定位机房、DSA 机房拟设置机械排风装置，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中机房应设置动力通风装置并保持良好通风的要求，各机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧在常温下约 50min 自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

10. 辐射安全管理评价

苏州市相城人民医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并将以文件形式明确各成员的管理职责。医院辐射安全专职管理人员和本项目辐射工作人员均应参加并通过辐射安全和防护的培训及考核，医院应为辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，建立个人剂量监测档案及职业健康监护档案。医院还应根据本项目具体情况制定各项管理制度，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。医院在落实上述各项辐射防护措施及管理要求后，医院将具备从事本项目辐射活动的综合能力。

可行性结论：

综上所述，苏州市相城人民医院新建核医学科、放疗科及扩建 1 台 DSA 项目在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，该院具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

建议与承诺

（1）该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对医务人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

（2）项目取得批复并建成后，应根据有关规定及时申领辐射安全许可证。

（3）建设项目取得辐射安全许可证后，医院应按照国家生态环境行政主管部门规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

验收期限是指自建设项目环境保护设施竣工之日起至建设单位向社会公开验收报告之日止的时间。

本项目竣工环保验收“三同时”检查内容见附表。

附表

“三同时”措施一览表

| 项目 | “三同时”措施 | 预期效果 | 预计投资（万元） |
|-----------|---|--|----------|
| 辐射安全管理机构 | 医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员的管理职责。 | 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中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的管理或者至少有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的要求。 | / |
| 辐射安全和防护措施 | 屏蔽措施： 核医学科、放疗科、DSA 机房均采用实体屏蔽防护措施，具体见表 10-2、表 10-6、表 10-7、表 10-11。 | 各辐射工作场所表面外辐射剂量率满足本项目辐射剂量管理限值要求，辐射工作人员和周围公众年受照剂量应满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年受照剂量不超过 5mSv，公众年受照剂量不超过 0.1mSv。 | |
| | 核医学科辐射安全措施： 工作状态指示灯、防夹和自动闭门装置、门禁和监控系统、电离辐射警告标志、单向门及门禁、监控及对讲系统、自动闭门装置、导向标识、双人双锁等。 | 满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求。 | |
| | 放疗科直线加速器工作场所辐射安全措施： 钥匙开关、电离辐射警告标志和工作状态指示灯、门-机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮、通风系统、固定式辐射剂量监测系统、个人防护用品、人工复位安全联锁等。 | 满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中的要求。 | |
| | 放疗科 CT 模拟定位机工作场所辐射安全措施： 电离辐射警告标志和工作状态指示灯、防夹和闭门装置、监控与对讲装置、个人防护用品等。 | 满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的要求。 | |
| | DSA 工作场所辐射安全措施： 工作状态指示灯、防夹和闭门装置、电离辐射警告标志、对讲装置、个人防护用品等。 | 满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的要求。 | |

| | | | |
|-------------|--|--|--|
| 人员配备 | 本项目辐射工作人员应参加并通过辐射安全和防护专业知识的培训和考核。 | 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核的管理要求。 | |
| | 本项目辐射工作人员配备个人剂量计，每3个月定期送检，并建立辐射工作人员个人剂量档案。 | 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展个人剂量监测的管理要求。 | |
| | 本项目辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于1次/2年），并建立职业健康监护档案。 | 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展职业健康体检的管理要求。 | |
| 监测仪器和防护用品 | 应配备1台辐射巡测仪。 | 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射监测仪器和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中防护用品的配置要求。 | |
| | 核医学科配备3台表面沾污仪、6台个人剂量报警仪，1台测量体内活度的设备或测量周围剂量当量率的仪器；直线加速器机房配备2台个人剂量报警仪和1台固定式辐射剂量监测系统；DSA手术室配备2台个人剂量报警仪。 | | |
| | 配备足够的防护铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜、铅屏风等个人防护用品。 | | |
| 辐射安全管理制度 | 根据本项目制定《辐射防护和安全保卫制度》《操作规程》《岗位职责》《设备检修维护制度》《人员培训计划》《监测方案》《台账管理制度》《辐射事故应急预案》《监测异常报告制度》等辐射安全管理制度。 | 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位需具备有健全的辐射安全管理制度的管理要求。 | |
| 放射性“三废”处理措施 | 放射性废水处理措施： 医院拟在精准医疗中心负2楼新建一间衰变室，衰变室内配备一套长半衰期衰变系统和一套短半衰期衰变系统，其中短半衰期衰变系统可满足HJ1188-2021中“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”的要求；长半衰期衰变系统可使放射性废水可满足HJ1188-2021中“含 ¹³¹ I核素的放射性废液暂存超过180天”的要求。本项目核医学科产生的放射性废水通过专用管道排至放射性废水衰变系统，暂存满足上述要求后，直接排至医院的污水处理系统作为医疗废水处理。 | 满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废水处置要求。 | |

| | | | |
|------|--|--|--|
| | <p>放射性废气处理措施：核医学科内场所和手套箱均设计有独立的排风系统，手套箱的风速不小于 0.5m/s，工作场所内的空气由清洁区向监督区再向控制区流动，控制区内空气经排风管道引至排风井，再经排风井引至精准医疗中心的楼顶排放，排风口处设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。</p> | <p>满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求。</p> | |
| | <p>放射性固体废物处理措施：核医学科通风系统更换的废活性炭集中收集放置在放射性废物间的废物桶内，核医学科产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，每日工作结束后集中收集密封并贴上标签放置在放射性固废间的废物桶内，沾有核素 ^{131}I 的放射性固体废物单独收集，衰变至少 180 天。并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。</p> | <p>满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。</p> | |
| | <p>退役的校准源 ^{68}Ge 贮存在储源罐中，放置在储源间的保险柜中，最终由生产厂家回收或送省城市放射性废物库收贮。</p> | <p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。</p> | |
| 通风措施 | <p>直线加速器机房设置机械通风系统，排风量不小于 $3800\text{m}^3/\text{h}$，送风口位于机房内东侧吊顶处，室内排风口位于机房内西侧距地板 200mm 处，送风口和排风口呈对角线布置。</p> | <p>满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中送排风口设置要求以及治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。</p> | |
| | <p>PET 和 SPECT 扫描室内、CT 模拟定位机房和 DSA 机房内设置机械通风系统</p> | <p>满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中机房应设置动力通风装置并保持良好通风的要求。</p> | |

注：“三同时”措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。