核技术利用建设项目

阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目环境影响报告表

阜阳市肿瘤医院

二〇二一年七月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目

环境影响报告表

建设单位名称：阜阳市肿瘤医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：安徽省阜阳市河滨东路 146 号

邮政编码：236000 联系人：王易宇

电子邮箱：393471694 @qq.com 联系电话：17755850767

填表说明

1.此环境影响报告表按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求进行编制；

2.以下核技术利用建设项目需填报此环境影响报告表：

1）制备 PET 用放射性药物的；

2）医疗使用I类放射源的；

3）使用II类、III类放射源的；

4）生产、使用II类射线装置的；

5）乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）；

6）在野外进行放射性同位素示踪试验的。

放射源分类见《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号），射线装置的分类见《关于发布射线装置分类的公告》（环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）。

3.此环境影响报告表中当量剂量与有效剂量等效使用。

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="5">阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="5">阜阳市肿瘤医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>陈志军</td><td>联系人</td><td>王易宇</td><td>联系电话</td><td>17755850767</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="5">安徽省阜阳市河滨东路 146 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="5">阜阳市颍东区颍河东路南，工贸路以西，东兴路以东</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">阜阳市颍东区发展和改革委员会</td><td>项目编码</td><td colspan="2">发改中心社会[2020]73 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>20800</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>305</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>1.47%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建 □改建 □扩建 □其它</td><td>占地面积（㎡）</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="4">□Ⅰ类 □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">□Ⅰ类（医疗使用） □Ⅱ类 ☑Ⅲ类 □Ⅳ类 ☑Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☑生产</td><td colspan="4">☑制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="4">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">☑乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="4">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="4">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">☑II类 ☑III类</td></tr>
<tr><td colspan="2">其他</td><td colspan="5">—</td></tr>
</table>

项目概述：

1、建设单位概况、项目建设规模、目的和任务由来

1.1 建设单位概况

阜阳市肿瘤医院（原阜阳县人民医院）创建于 1949 年，1988 年改建为以肿瘤防治为特色的综合性医院，1995 年被卫生部授予“二级甲等医院”。阜阳市抗癌协会设在本院；阜阳市卫计委肿瘤内科质控中心挂靠本院；2007 年被卫生部定为“淮河流域癌症综合防治—肝癌筛查、早诊、早治”定点单位；2008 年被卫生部定为“肿瘤早诊、早治、普查定点单位”；2010 年 8 月被阜阳市组织部人才工作领导小组授予“阜阳市首批产业创新团队”—“阜阳市肿瘤医院肿瘤微创治疗创新团队”；2011 年被卫生部疾病预防控制局、国家癌症中心、安徽省卫生厅授予“淮河流域癌症早诊早治示范基地”。2020

年 6 月 16 日医院取得三级医院执业许可证。医院占地面积 90 余亩，固定资产 3 亿多元。现有在职职工 1066 名，其中专业技术人员 941 人，（卫生专业技术人员 890 人）。全院职称人员正高 6 人，副高 55 人，中级 281 人，硕士研究生 37 人。编制床位数 750 张，2019 年门诊总人次 239972 人次。

全院共设置 60 余个临床、医技、职能科室。其中肿瘤治疗相关科室有耳鼻咽喉头颈外科、口腔颌面外科、胸外科、乳腺外科、腹部肿瘤外科、肿瘤放射治疗科、肿瘤内科、肿瘤微创治疗中心、肿瘤介入科、妇瘤科等。肿瘤内科是阜阳市的市级临床重点学科；肿瘤放射治疗科、耳鼻咽喉头颈外科是阜阳市的市级特色学科。

近年来，颍东区大力建设发展颍东新城区，以建设成为优美宜居的生态公园、宜居家园为目标，以“一核、三心、六带、七区”的城市景观结构为规划布局，建设总面积约 21 平方公里，将以东岳庄公园为中心，辐射七大居住社区近 35 万人。全区将以最快的速度、优良的品质，打造阜阳东部具有独特魅力的生态活力中心。在此背景下，阜阳肿瘤医院在颍东新城区建设阜阳肿瘤医院新区项目，总建筑面积约 295692 平方米，其中地上建筑面积 187054 平方米，地下建筑面积约 108638 平方米，建成后主要开设有门诊、急诊、内科、外科、妇产科、妇女保健科、儿科、眼科、口腔科、耳鼻喉科、皮肤科、精神科、肿瘤科、康复医学科、急诊医学科、疼痛科、重症医学科、检验科、病理科、影像科、中医科等。

1.2 建设目的及规模

为提升阜阳市肿瘤医院新区医疗卫生服务水平，充分发挥医院医疗机构的实际作用，医院拟在新院区内科病房楼负二层放疗科设置 4 台医用直线加速器、1 台后装机（配套使用 ^{192}Ir 放射源 1 枚）、1 台模拟定位机；医技康复楼一层核医学科设置 1 台回旋加速器，生产放射性核素 ^{18}F，开展 ^{131}I 甲亢和甲癌治疗、^{89}Sr 骨转移癌治疗、^{90}Sr 敷贴治疗皮肤疾病、^{18}F 显像诊断——配套购置 1 台 PET/CT（3 枚 ^{68}Ge 校准源）、^{99}Mo-^{99m}Tc 显像诊断——配套购置 1 台 SPECT/CT；医技楼一层介入中心设置 3 台 DSA；医技楼三层内镜中心设置 1 台 ERCP（带数字减影血管造影功能）；医技楼三层手术室设置 1 台 DSA。上述设备与阜阳肿瘤医院老区现有的核技术利用项目均纳入阜阳肿瘤医院管理。阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目核技术应用项目详见表 1-1。

表 1-1　阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目具体情况一览表

放射源

序号	放射源名称	数量	单枚/套活度（Bq）	放射源类别	工作场所名称	使用情况	环评、许可及验收情况	备注
1	铱-192	1	3.7×10^{11}（10Ci）	III	内科病房楼负二层放疗科	拟购	**此次环评**	后装机
2	锶-90	1	1.48×10^{9}	V	医技康复楼一层核医学科	拟购	**此次环评**	敷贴治疗
3	锗-68	2	4.63×10^{7}	V		拟购	**此次环评**	校准源
4	锗-68	1	9.25×10^{7}	V		拟购	**此次环评**	校准源

非密封放射性物质

序号	工作场所等级	核素名称	拟申请的日等效最大操作量（Bq）	工作场所名称	使用情况	环评、许可及验收情况	备注
1	乙级	碘-131	2.22×10^{9}	医技康复楼一层核医学科	拟使用	**此次环评**	甲癌治疗
			7.40×10^{8}				甲亢治疗
2		钼-99	2.96×10^{7}				显像诊断
3		锝-99m	2.96×10^{8}				显像诊断
4		氟-18	1.11×10^{7}				显像诊断
5		锶-89	2.96×10^{7}				骨转移癌治疗
6		氟-18	3.44×10^{8}		拟生产	**此次环评**	放射性药物制备

射线装置

序号	射线装置名称	数量	管电压（kV）	管电流（mA）	射线装置类别	工作场所名称	使用情况	环评、许可及验收情况	备注
1	医用回旋加速器	1	能量：≤11MeV 束流强度：≤100mA		II	医技康复楼一层核医学科	拟购	**此次环评**	正电子放射性药物制备
2	医用直线加速器	4	X 线：≤10MV 电子线：≤22MeV		II	内科病房楼负二层放疗科	拟购	**此次环评**	放射治疗
3	CT 模拟定位机	1	≤140	≤1000	III				影像诊断
4	DSA	3	≤125	≤1250	II	医技楼一层介入中心	拟购	**此次环评**	介入治疗
5	ERCP（带数字减影血管造影功能）	1	≤125	≤1250	II	医技楼三层内镜中心	拟购	**此次环评**	介入治疗
6	DSA	1	≤125	≤1250	II	医技楼三层手术室	拟购	**此次环评**	介入治疗

7	SPECT/CT	1	≤140	≤1000	III	医技康复楼一层核医学科	拟购	**此次环评**	显像诊断
8	PET/CT	1	≤140	≤1000	III		拟购	**此次环评**	显像诊断

该项目已获阜阳市颍东区发展和改革委员会的批复（详见附件二），项目总投资20800万元，主要用于设备采购，场所屏蔽防护和防护用品采购等，详见表1-2。

表1-2 本项目总投资估算一览表

序号	投资分类	环保投资（万元）
1	设备采购	20495
2	环保投资	305
合计		20800

1.3 任务由来

本项目核技术应用项目用房主体工程均为医院建设内容的组成部分，随医院整体施工完成并投入使用，本项目为在原主体工程的基础上对场所进行防护施工和装修。

医院新区建设项目于2020年9月30日取得阜阳市颍东区生态环境分局的批复（详见《关于阜阳市肿瘤医院新区（阜阳市颍东区人民医院）建设项目环境影响报告书的批复》东环行审字 [2020]56号）。

因此，此次评价内容包括：本项目涉及的辐射工作场所防护施工和装修工程阶段的环境影响评价；4台医用直线加速器、1台后装机、4台DSA、1台ERCP（带数字减影血管造影功能）、1台模拟定位机以及核医学科（拟设置1台回旋加速器，生产放射性核素^{18}F，开展^{131}I甲亢和甲癌治疗、^{89}Sr骨转移癌治疗、^{90}Sr敷贴治疗皮肤疾病、^{18}F显像诊断——配套购置1台PET/CT（3枚^{68}Ge校准源）、^{99}Mo-^{99m}Tc显像诊断——配套购置1台SPECT/CT）运营期的环境影响评价。

该项目核技术利用类型涉及乙级非密封放射性物质工作场所、III类密封放射源、V类密封放射源和II、III类射线装置，对照《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，该项目应编制环境影响报告表。受阜阳市肿瘤医院委托，核工业二七O研究所承担该项目环境影响评价的工作。通过资料调研、现场监测、评价分析，编制此环境影响报告表。

1.4 项目选址及周边环境概况

阜阳市肿瘤医院新区位于安徽省阜阳市颍东区颍河东路以南，工贸路以西，东兴路以东，其所在地区域图详见图1-1。医院东侧为工贸路，南侧为临济北路，西侧为东兴路，北侧为颍河东路。

本项目涉及的医用直线加速器机房、后装机机房、模拟定位机机房位于内科病房楼负二层南侧，核医学科位于医技康复楼一层，4 台 DSA 分别位于医技楼一层和三层，1 台 ERCP 位于医技楼三楼。

内科病房楼东侧 87m 为外科病房楼，南侧为院区道路，西侧为高压氧舱和全科医生培训楼，北侧紧临医技康复楼；医技康复楼东侧 128m 为医技楼，南侧紧临内科病房楼，西侧为院区休闲绿地，北侧 22m 为专科治疗楼；医技楼东侧为院区道路，南侧紧临外科病房楼，西侧 128m 为医技康复楼，北侧紧临门诊楼。

本项目涉及的医用直线加速器机房位于内科病房楼负二层南侧，机房东侧为 CT 模拟定位机及控制室，南侧为土壤层，西侧为地下停车库，北侧为控制室和水冷机房，楼上为院区道路，楼下为土壤层。

本项目涉及的后装机房位于内科病房楼负二层南侧，机房东侧为土壤层，南侧为楼梯间，西侧为过道，北侧为控制室和准备间，楼上为备用机房，楼下为土壤层。

本项目涉及的核医学科位于医技康复楼一层，核医学科东侧为医疗街，南、西、北侧为院区过道，楼下为地下车库，楼上为放射科。

本项目涉及的介入中心 DSA 机房位于医技楼一层西侧，DSA1 号、2 号机房东侧为导管室和设备间，南侧为污物廊，西侧为洁净走廊，北侧为换车间和候诊大厅，DSA 3 号机房东侧为污物廊，南侧为介入中心走廊，西侧为设备间和导管室，北侧为控制廊，介入中心各 DSA 机房楼下为职工餐厅，楼上为中心供应室。

本项目涉及的内镜中心 ERCP 机房位于医技楼三层东侧，机房东侧、西侧为过道，南侧为操作室，北侧为卫生间和设备间，楼下为检验科会议、示教室，楼上为病理科诊断室。

本项目涉及的手术室 DSA 机房位于医技楼三层西侧，机房东侧、西侧为过道，南侧为 CT 机房，北侧为设备间和楼梯间，楼下为中心供应室，楼上为绿化屋面。

本项目涉及的模拟定位机机房位于内科病房楼负二层南侧，机房东侧为预留机房，南侧为控制室，西侧为直线加速器机房，北侧为准备室和体膜室，楼下为土壤层，楼上为备用机房。

本项目所在地周边环境关系及院区布局图详见图 1-2，拟建场址环境现状见图 1-3，各楼层平面布置图详见附图三至附图十五。

图 1-1　项目所在地区域图

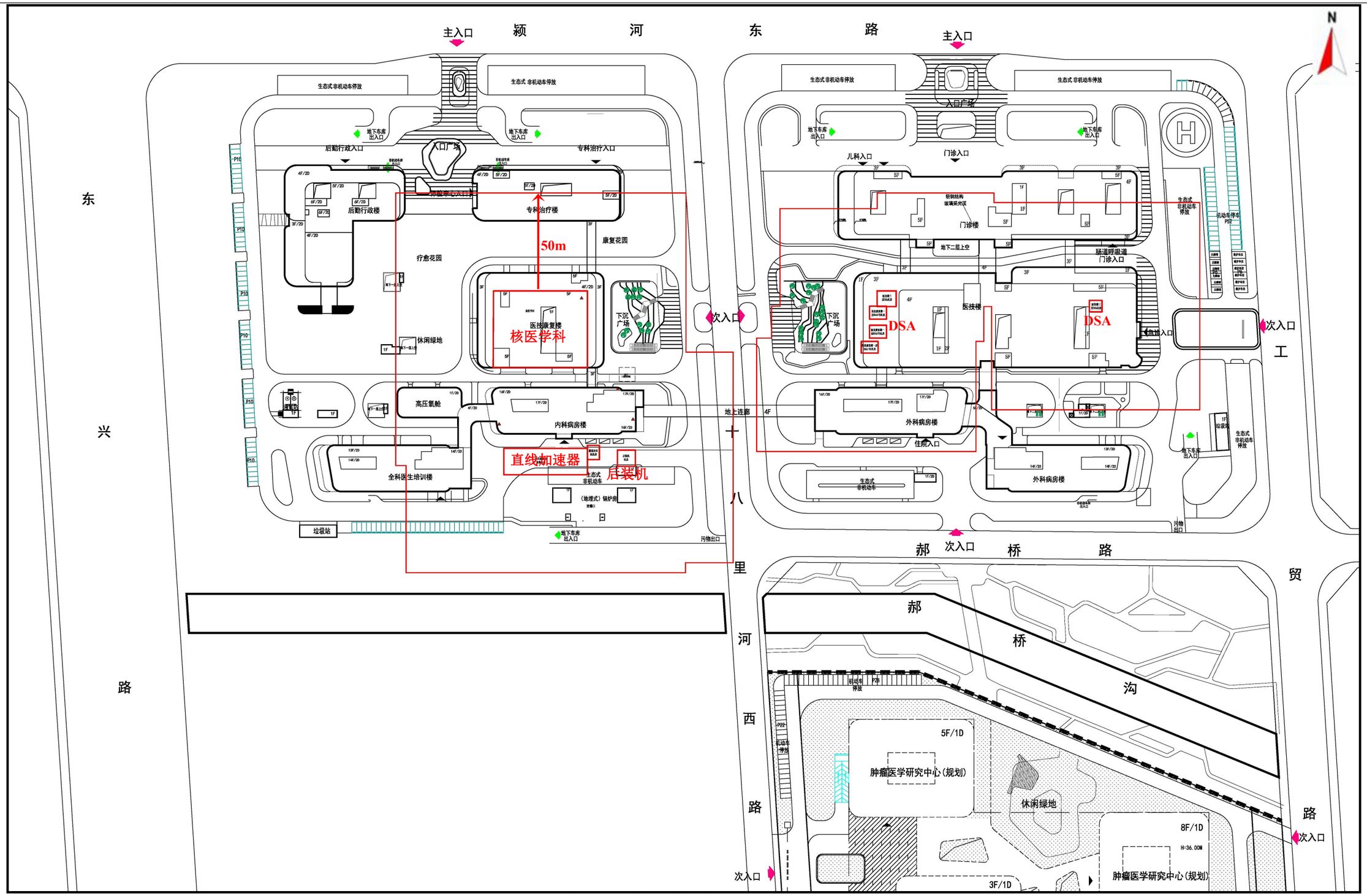


图 1-2　周边环境关系及院区布局图

图 1-3 拟建场址现状图

1.5“三线一单”符合性分析

（1）生态保护红线

本项目位于安徽省阜阳市颍东区颍河东路南，工贸路以西，东兴路以东阜阳市肿瘤医院新区内，与最近的生态红线（沙颍河）最近距离约为 2600m，本项目与生态红线图位置关系详见附图二。因此，本项目不在阜阳市生态保护红线范围内。项目建设符合生态保护红线要求。

（2）环境质量底线

①环境空气

根据《2019 年阜阳市环境质量概要》，2019 年全市 SO_2、NO_2、CO、O_3 均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准，PM_{10}、$PM_{2.5}$ 不满足二级标准，为不达标区。本项目施工期为在已有建筑物内进行场所防护施工和装修，而且施工时间短，对 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 贡献较小；运行期主要是直线加速器、后装机放射治疗室射线电离空气产生的臭氧和氮氧化物，排放量很少，且不产生 PM_{10}、$PM_{2.5}$，环境影响在可以接受的范围内，不会降低现有大气环境质量功能。因此，拟建项目符合大气环境质

量底线的要求。

②地表水

项目实施后，项目产生的废水（放射性废水经衰变出处理后）接入院区污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中的预处理标准后由市政管网排入颍东污水处理厂，经颍东污水处理厂处理后达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准后排入济河，不改变济河水质。因此，项目废水对地表水影响较小，不会降低所在地地表水环境质量。

③声环境

项目所在地厂界昼、夜间噪声均符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类标准要求。本项目建成后通过合理布局、加强噪声污染防治措施，项目厂界噪声可以达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 2 类标准，对外环境产生的影响较小，因此项目符合声环境质量底线的要求。

综上所述，本项目建设符合环境质量底线的要求。

（3）资源利用上线

本项目建成运行后通过内部管理、设备选择、原辅材料的选用和管理、废物回收利用、污染治理等多方面采取合理可行的清洁生产措施，以“节能、降耗、减污”为目标，有效地控制污染，较好地贯彻了清洁生产原则。

（4）环境准入负面清单

对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，该项目属于国家鼓励类的医疗卫生服务建设项目，符合当前国家产业政策要求，符合环境准入负面清单的要求。故不属于环境准入负面清单内的项目。

2、原有核技术利用项目许可情况

阜阳市肿瘤医院现有核技术应用项目均位于老院区，阜阳市肿瘤医院于 2018 年 12 月 14 日重新申请取得了安徽省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证书编号为：皖环辐证[00138]，其许可种类和范围为：使用V类放射源；使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2023 年 12 月 13 日（见附件五）。辐射安全许可证许可V类放射源 ^{90}Sr 1 枚，^{125}I 粒子植入丙级非密封放射性物质工作场所，射线装置 14 台（其中II类射线装置 3 台、III类射线装置 11 台）。医院拟在新建 9 号楼内配备 1 台后装治疗机和 SPECT/CT 显像诊断项目于 2020 年 10

月 20 日取得了安徽省生态环境厅的批复，批复文号为皖环函[2020]533 号，该项目暂未运行。

医院于 2015 年 5 月委托有资质单位对医院 1 枚 ^{90}Sr 放射源及 7 台射线装置（1 台医用直线加速器、2 台 C 臂机、1 台模拟定位机、1 台 CT 机、1 台数字胃肠机、1 台 DR）进行了竣工环境保护验收，并于 2015 年 6 月 5 日取得了原安徽省环境保护厅的验收批复，批复文号为皖环函[2015]675 号（见附件四）；于 2017 年 1 月委托有资质单位对医院 1 台 DSA 进行了竣工环境保护验收，并于 2017 年 2 月 7 日取得了原安徽省环境保护厅的验收批复，批复文号为皖环函[2017]155 号（见附件四）；2018 年 11 月 27 日对医院 1 台直线加速器进行了自主验收，并取得了自主验收意见（见附件四）。医院现有射线装置均于 2020 年底委托合肥金浩峰检测研究院有限公司进行了放射防护检测，检测结果显示，医院现有射线装置辐射防护情况均满足要求（部分检测报告详见附件八）。医院现有核技术应用情况一览表见表 1-3。

表 1-3 阜阳市肿瘤医院现有核技术应用项目具体情况一览表

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	使用情况	环评、许可及验收情况	备注
1	锶-90	1	1.5×10^9	V	门诊二层皮肤科	在用	已环评、许可及验收	敷贴治疗

非密封放射性物质

序号	工作场所等级	核素名称	拟批准的日等效最大操作量（Bq）	工作场所名称	使用情况	环评、许可及验收情况	备注
1	丙级	碘-125	8.88×10^6	放疗中心粒子植入中心	未使用	已环评、许可	粒子植入

射线装置

序号	射线装置名称	数量	管电压（kV）	管电流（mA）	射线装置类别	工作场所名称	使用情况	环评、许可及验收情况	备注
1	医用直线加速器	1	X 线：6、10MV		II	放疗中心	在用	已环评、许可及验收	CL23EX
2	C 臂机	1	30	100	III	手术室			ZEN3090
3	C 臂机	1	30	100	III	手术室			ARCADISOrbic
4	模拟定位机	1	125	500	III	放疗中心			SL-IE
5	数字胃肠机	1	125	800	III	放射科			GMM PEA
6	DR 机	1	120	900	III	放射科			Digtal D

7	CT 机	1	135	400	III	CT 室			AUQILION64
8	医用直线加速器	1	X 线：6MV		II	老放疗科		已环评、许可及验收	unique
9	DSA	1	125	800	II	放疗中心			INNOVA3100-IQ
10	乳腺钼靶机	1	35	120	III	放射科		已环评、许可（备案）	Dimensions
11	口腔全景机	1	77	10	III	放射科			Pan eXam
12	DR 机	1	150	1000	III	放射科			GMM-CALYTSO
13	CT 机	1	140	715	III	放疗中心			Discovery CT590 RT
14	移动 DR	1	85	500	III	放射科			GOptimaXR220amx

根据本次现场调查可知，现有核技术利用项目环保执行情况如下：

2.1 关于辐射安全与环境保护管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》2019 修正版（国家环境保护部第 7 号令）的要求，阜阳市肿瘤医院根据核技术应用现状，于 2020 年 7 月调整了辐射安全和放射防护管理领导小组，建立了以院领导郭兴来（证书编号为：皖环辐培 B1806026）为组长的辐射安全和放射防护管理领导小组，负责全院放射卫生防护监督管理工作，保障放射工作人员、社会公众的健康与安全。该领导小组的基本组成涵盖医院核技术应用各使用部门及相关科室。

2.2 关于监测计划和监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》2019 修正版（国家环境保护部第 7 号令）的要求，阜阳市肿瘤医院为对辐射工作人员所受辐射剂量进行控制，委托了合肥金浩峰检测研究院有限公司对放射工作人员进行例行个人累积剂量检测，医院现有 113 名辐射工作人员于 2020 年 2 月至 2021 年 2 月期间均配带个人剂量计，并进行了个人剂量检测，其中 2020 年 5 月至 2020 年 8 月邹曦、邵惠茹、丁鑫、王军、李曼婷，2020 年 8 月至 2020 年 11 月汝磊，共计 6 人由于个人原因丢失了个人剂量计，医院已出具情况调查表，详见附件十一。2020 年 2 月至 2021 年 2 月个人剂量计送检报告详见附件十。

送检结果表明：医院辐射工作人员年累积剂量在 0.009mSv~0.854mSv 范围内，现有辐射工作人员所受累积剂量均没有超过项目剂量约束限值，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GBl8871-2002）关于职业人员的剂量限值（20mSv）的要求。

医院在以后的日常工作中进一步加强辐射管理工作，加大检查力度并及时对不符合项进行整改，对医院所有在职辐射工作人员进行个人剂量监测，并按规定周期送检，不允许漏测和个人不交个人剂量计，建立剂量管理限值和剂量评价制度，对受到超过剂量管理限值的应进行评价，跟踪分析高剂量的原因，优化实践行为，做好个人剂量档案及身体健康检查。

目前，阜阳市肿瘤医院已制定了辐射工作场所及周围辐射水平日常监测计划，已配置了 1 台 AT1121 型 X、γ剂量率仪，1 台 CoMo170 型α、β表面污染仪、1 台 RM905a 型放射性活度计、1 台 DM-01C 便携式 X、γ剂量剂量监测仪（探测光子能量下限低于 20keV）用于开展日常监测工作，并且配备了 15 件铅橡胶围裙、15 顶铅橡胶帽子、15 个铅橡胶颈套、2 个铅防护眼镜、2 套铅防护手套、10 件铅橡胶三角裤等个人防护用品。

2.3 关于辐射安全与防护考核

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》2019 修正版（国家环境保护部第 7 号令）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令）的要求，阜阳市肿瘤医院为提高辐射工作人员的专业技能和放射防护工作重要性的认识，一直积极组织辐射工作人员参加辐射安全与防护知识学习和考核，目前医院 113 名辐射工作人员中 94 人均取得了培训合格证或考核合格证，其中有 16 名辐射工作人员 2016 取得的培训证书已过期，未取得考核合格证书的人员中有 18 人为 2020 年新进员工，1 名为医院老员工（卜磊磊），医院已在 2020 年 12 月 31 日下午 17:00 针对新进员工及培训过期人员召开会议，会上强调了辐射安全培训考核的重要性，要求积极备考，并对考试二次不通过的人员进行处理，培训证书过期人员和未取得考核合格证人员将按照国家要求参加 2021 年上半年度考试，详见附件十三。部分辐射工作人员辐射安全与防护培训证书详见附件九。

2.4 关于职业健康体检

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》2019 修正版（国家环境保护部第 7 号令）和《放射工作人员职业健康管理办法》（卫生部第 55 号令）的要求，阜阳市肿瘤医院制定了《放射工作人员健康体检制度》，制度规定对放射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年。医院现有 113 名辐射工作人员均于 2020 年 6 月进行了职业健康体检，体检结果显示其中 112 名辐射工作人员可

继续从事辐射工作，另外 1 名辐射工作人员体检结果显示需进行复查，复查结果显示可继续从事辐射相关工作，辐射工作人员职业健康体检结果详见附件十二。

2.5 关于年度安全状况评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的相关要求，阜阳市肿瘤医院应对各核技术应用项目的安全和防护状况进行年度评估，编写年度评估报告（年度评估报告应当包括核技术应用台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容），并于每年 1 月 31 日前编制上一年度评估报告并上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。发现安全隐患的，应当立即进行整改，阜阳市肿瘤医院已上将 2020 年年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

2.6 关于操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫等制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》2019 修正版（国家环境保护部第 7 号令）要求，阜阳市肿瘤医院根据现有核技术应用情况，制定了《辐射安全管理规定》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射防护管理制度》、《辐射防护安全保卫制度》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射环境监测方案》、《辐射工作人员健康管理制度》、《辐射事故应急预案》、《放射性同位素使用登记表》、《射线装置检修维护制度》、《核医学科工作制度》、《核医学科安全管理制度》、《放射性核素订购领取保管使用制度》、《核医学科仪器管理操作保养和维修制度》等一系列规章制度，基本能满足现有核技术应用项目的管理需要。

2.7 执法监督检查情况

根据安徽省生态环境厅关于 2020 年省管重点核技术利用单位“双随机、一公开”执法检查结果通报（详见附件十三），阜阳肿瘤医院存在的问题及整改措施详表 1-4，整改情况说明详见附件十三。

表 1-4 阜阳肿瘤医院存在的问题及整改情况

序号	存在的问题	修订建议
1	26 名辐射工作人员培训证书不在有效期内；	医院在 2020 年 12 月 31 日下午 17:00 针对新进员工及培训过期人员召开会议，会上强调了辐射安全培训考核的重要性，要求积极备考，并对考试二次不通过的人员进行处理，医院报名 2020 年 12 月 29 日阜阳专场通过考试 17 人，其余人员将按照国家要求参加 2021 年上半年度考试。
2	个人剂量片佩戴不规范	医院针对工作人员佩戴计量牌进行培训，要求从事介入工作的人员一个佩戴在左胸前铅衣内，另一个佩戴在衣领的位置，

		并将组织人员不定期的检查佩戴情况。
3	应急预案需要修订	已按要求对应急预案进行修订，详见附件十五。
4	新增辐射工作人员未通过辐射安全培训考核。	医院在 2020 年 12 月 31 日下午 17:00 针对新进员工及培训过期人员召开会议，会上强调了辐射安全培训考核的重要性，要求积极备考，并对考试二次不通过的人员进行处理，该院报名 2020 年 12 月 29 日阜阳专场通过考试 17 人，其余人员将按照国家要求参加 2021 年上半年度考试。

表 1-5　辐射工作人员个人剂量计送检、辐射安全培训及职业健康体检结果（单位：mSv）

序号	姓名	2020.2-2020.5	2020.5-2020.8	2020.8-2020.11	2020.11-2021.2	年剂量	辐射安全培训证书编号	职业健康体检日期	继续从事辐射工作（是/否）
1	范光东	0.044	0.035	0.014	0.044	0.137	皖环辐培 B1806029	2020.6	是
2	邹曦	0.049	丢失	0.063	0.049	0.161	皖环辐培 B1806008	2020.6	是
3	李新亚	0.030	0.015	0.019	0.073	0.137	皖环辐培 B1806007	2020.6	是
4	曾继贤	0.054	0.098	0.034	0.053	0.239	皖环辐培 B1806028	2020.6	是
5	董冬青	—	0.039	辞职		0.039	皖环辐培 B1806033	2020.6	是
6	张铁	0.079	0.059	0.073	0.068	0.279	皖环辐培 B1806041	2020.6	是
7	潘贝贝	0.069	0.069	0.029	0.083	0.250	皖环辐培 B1806001	2020.6	是
8	刘晓见	0.568	辞职			0.568	皖环辐培 B1806009	2020.6	是
9	邵惠茹	—	丢失	0.068	0.401	0.469	皖环辐培 B1805129	2020.6	是
10	陈文保	0.049	0.064	—	0.332	0.445	皖环辐培 B1806011	2020.6	是
11	夏帮红	0.044	0.030	—	0.322	0.396	皖环辐培 B1806002	2020.6	是
12	魏博文	0.069	0.020	0.044	0.107	0.240	皖环辐培 B1806030	2020.6	是
13	李诚泽	0.025	0.049	0.034	0.083	0.191	皖环辐培 B1806014	2020.6	是
14	杨俊岭	0.093	0.059	—	0.088	0.240	皖环辐培 B1806031	2020.6	是
15	李翔宇	0.572	0.132	0.048	0.102	0.854	FS21AH0100042	2020.6	是
16	卢瑛	0.049	0.025	0.083	0.093	0.250	皖环辐培 B1806035	2020.6	是
17	桑红	—	<MDL	<MDL	—	0	皖 2016061078（过期）	2020.6	是

18	常文婷	—	<MDL	0.044	0.097	0.141	FS21AH0100079	2020.6	是
19	张亮	0.083	0.083	0.097	0.078	0.341	皖环辐培 B1806044	2020.6	是
20	丁鑫	0.030	丢失	0.063	0.083	0.176	皖环辐培 B1911097	2020.6	是
21	王军	<MDL	丢失	<MDL	0.093	0.093	皖环辐培 B1911100	2020.6	是
22	李曼婷	0.064	丢失	0.029	0.073	0.166	皖环辐培 B1911098	2020.6	是
23	李建勇	0.010	0.010	<MDL	0.078	0.098	皖环辐培 B1806010	2020.6	是
24	夏伟宏	0.015	0.044	0.009	0.083	0.151	皖环辐培 B1806027	2020.6	是
25	李文军	0.044	0.030	0.039	0.058	0.171	皖环辐培 B1806024	2020.6	是
26	曹平	0.039	0.015	<MDL	0.044	0.098	皖环辐培 B1806012	2020.6	是
27	李珺	0.020	0.020	0.019	0.029	0.088	FS21AH0200011	2020.6	是
28	陈雪伟	0.048	0.030	0.860	0.053	0.991	FS21AH0200010	2020.6	是
29	张自强	0.010	0.015	<MDL	0.063	0.088	FS21AH0200009	2020.6	是
30	刘亚蕾	0.025	<MDL	<MDL	0.049	0.074	FS21AH0200007	2020.6	是
31	储继伟	辞职				0	皖环辐培 B1806042	2020.6	是
32	韦颖	0.035	0.054	0.029	0.053	0.171	皖 2016071083（过期）	2020.6	是
33	孙玲	0.054	0.039	0.053	0.063	0.209	FS21AH0200002	2020.6	是
34	李太平	0.030	0.059	0.034	0.068	0.191	皖环辐培 B1806049	2020.6	是
35	文娟	0.039	0.035	0.039	0.078	0.191	FS21AH0200008	2020.6	是
36	郭胜男	0.059	0.049	0.068	0.029	0.205	FS21AH0200004	2020.6	是
37	周莉红	0.064	0.074	0.053	0.097	0.288	FS21AH0300001	2020.6	是

38	祁蕾蕾	0.044	—	—	0.097	0.141	FS21AH0100013	2020.6	是
39	王伟	0.069	0.079	0.044	0.049	0.241	皖环辐培 B1806019	2020.6	是
40	孙文姗	0.098	0.054	0.039	0.068	0.259	皖环辐培 B1806025	2020.6	是
41	王瑜	0.039	0.083	0.029	0.044	0.195	皖环辐培 B1806032	2020.6	复查可继续从事
42	康婉英	0.088	0.088	0.068	0.078	0.322	皖环辐培 B1806006	2020.6	是
43	胡宪强	—	0.025	0.024	0.068	0.117	皖环辐培 B1806005	2020.6	是
44	张琳琳	0.044	0.049	0.053	0.083	0.229	FS21AH0200012	2020.6	是
45	江丽丽	0.074	0.054	0.073	0.053	0.254	FS21AH0200003	2020.6	是
46	卢峰	0.064	0.059	0.068	0.068	0.259	皖环辐培 B193304	2020.6	是
47	戴群	0.543	0.054	辞职		0.597	皖环辐培 B1806004	2020.6	是
48	牛雷雷	0.039	0.103	0.102	0.073	0.317	皖环辐培 B1806048	2020.6	是
49	张飞	—	0.025	0.083	0.063	0.171	皖环辐培 B1806037	2020.6	是
50	李璐璐	0.088	0.039	0.063	0.078	0.268	皖环辐培 B1806046	2020.6	是
51	岳倩倩	—	0.030	辞职		0.030	皖环辐培 B1805131	2020.6	是
52	王光明	0.064	0.059	0.048	0.107	0.278	皖环辐培 B1806022	2020.6	是
53	张震	0.582	0.035	0.029	0.097	0.743	皖环辐培 B1806036	2020.6	是
54	刘笑	—	0.049	0.019	—	0.068	皖 2017071095	2020.6	是
55	韦士勤	0.059	0.074	0.068	0.083	0.284	皖 2017071096	2020.6	是
56	冯丹	0.074	0.064	0.053	0.078	0.269	皖环辐培 B1806021	2020.6	是
57	常娟娟	0.054	—	0.029	0.073	0.156	皖环辐培 B1806045	2020.6	是

58	杜峰	—	0.020	0.073	0.068	0.161	皖环辐培 B1806047	2020.6	是
59	刘玉平	0.049	0.049	0.063	0.083	0.244	皖环辐培 B1806018	2020.6	是
60	张月锋	0.059	0.059	0.058	0.097	0.273	皖 2016071090（过期）	2020.6	是
61	饶国标	0.030	0.039	0.078	0.117	0.264	皖 2016071091（过期）	2020.6	是
62	王松	0.025	—	0.136	0.078	0.239	皖环辐培 B1806015	2020.6	是
63	郭兴来	0.035	0.049	0.078	0.102	0.264	皖环辐培 B1806026	2020.6	是
64	姜晓露	0.123	0.098	0.068	0.088	0.377	皖环辐培 B1911099	2020.6	是
65	王涛	0.103	0.054	0.068	0.083	0.308	皖环辐培 B1805133	2020.6	是
66	张金刚	—	0.020	0.029	0.102	0.151	皖环辐培 B1805134	2020.6	是
67	王永辉	0.049	0.064	0.107	0.083	0.303	FS21AH0100008	2020.6	是
68	卜磊磊	0.083	0.093	0.058	0.073	0.307	无	2020.6	是
69	锁六军	0.054	0.044	0.107	0.083	0.288	皖环辐培 B1805136	2020.6	是
70	韩忠奎	0.044	0.064	0.088	0.083	0.279	皖环辐培 B1805137	2020.6	是
71	支泽	0.088	0.083	0.083	—	0.254	皖环辐培 B1805138	2020.6	是
72	代俊杰	—	0.020	0.034	—	0.054	皖环辐培 B1805142	2020.6	是
73	袁根	0.054	0.054	0.004	0.244	0.356	皖环辐培 B1806017	2020.6	是
74	宗训付	0.044	0.035	0.009	0.626	0.714	皖 2016071076（过期）	2020.6	是
75	孙再冉	—	0.025	辞职		0.025	皖 2016071077（过期）	2020.6	是
76	欧阳超	0.025	0.030	0.048	—	0.103	皖 2016061085（过期）	2020.6	是
77	汝磊	0.039	0.044	丢失	—	0.083	皖 2016061090（过期）	2020.6	是

78	王飞	0.015	—	0.034	0.117	0.166	皖环辐培 B1806016	2020.6	是
79	江伟峰	0.030	0.035	0.014	—	0.079	皖 2016061087（过期）	2020.6	是
80	李俊龙	0.035	0.010	0.034	—	0.079	皖环辐培 B1805143	2020.6	是
81	张磊	0.059	—	0.078	0.176	0.313	皖 2016071073（过期）	2020.6	是
82	章振伟	0.054	0.035	0.019	0.146	0.254	皖 2016061080（过期）	2020.6	是
83	程健	0.049	0.025	—	0.283	0.357	皖 2016071072（过期）	2020.6	是
84	闫世虎	<MDL	0.044	0.039	0.122	0.205	皖 2016071075（过期）	2020.6	是
85	郑永光	0.020	0.025	0.053	0.053	0.151	皖 2016061081（过期）	2020.6	是
86	孙晓东	0.039	0.025	0.058	0.049	0.171	皖 2016071074（过期）	2020.6	是
87	王士锋	<MDL	0.020	<MDL	0.053	0.073	皖环辐培 B1806043	2020.6	是
88	王易宇	<MDL	0.015	<MDL	0.024	0.039	FS21AH0000007	2020.6	是
89	马筱旭	<MDL	0.005	0.014	0.009	0.028	FS21AH0000006	2020.6	是
90	徐会	新进员工		0.053	0.049	0.102	FS21AH0100015	2020.6	是
91	王利	新进员工	0.025	0.039	0.088	0.152	皖环辐培 B1806040	2020.6	是
92	许智铭	新进员工		<MDL	0.078	0.078	皖 2016071079（过期）	2020.6	是
93	李祥祥	新进员工		0.092	0.220	0.312	未通过考核	2020.6	是
94	杨利利	新进员工		—	0.415	0.415	未通过考核	2020.6	是
95	武四化	新进员工		0.034	0.034	0.068	皖环辐培 B1805145	2020.6	是
96	刘胜海	新进员工		0.777	—培	0.777	未通过考核	2020.6	是
97	刘飞	新进员工		0.029	—	0.029	未通过考核	2020.6	是

98	李宏祥	新进员工	0.063	0.117	0.180	皖环辐培 B1805146	2020.6	是
99	于立春	新进员工	—	0.606	0.606	皖环辐培 B1805147	2020.6	是
100	罗松江	新进员工	0.044	—	0.044	未通过考核	2020.6	是
101	李传乐	新进员工	0.068	—	0.068	未通过考核	2020.6	是
102	吴晓清	新进员工	0.039	—	0.039	未通过考核	2020.6	是
103	袁顺	新进员工	0.029	0.044	0.073	未通过考核	2020.6	是
104	关阳阳	新进员工	0.068	0.058	0.126	未通过考核	2020.6	是
105	胡金阳	新进员工	0.004	0.068	0.072	未通过考核	2020.6	是
106	王小宇	新进员工	0.088	—	0.088	未通过考核	2020.6	是
107	韩贺山	新进员工	0.014	0.039	0.053	未通过考核	2020.6	是
108	汪伟	新进员工	0.039	0.244	0.283	未通过考核	2020.6	是
109	汤易	新进员工	—	0.322	0.322	未通过考核	2020.6	是
110	李雷雨	新进员工	0.029	0.004	0.033	未通过考核	2020.6	是
111	尹俊辉	新进员工	0.063	0.029	0.092	未通过考核	2020.6	是
112	李秀丽	新进员工	0.034	0.063	0.097	未通过考核	2020.6	是
113	倪冰雪	新进员工	<MDL	0.009	0.009	未通过考核	2020.6	是

注：“—”表示休假或外出参加培训。“MDL”为测量系统的最低探测水平。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚(套)数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	铱-192	$3.7\times10^{11}\times1$枚	III	使用	肿瘤治疗	内科病房楼负二层放疗科	密封安装在后装机机头内	/
2	锶-90	$1.48\times10^{9}\times1$枚	V	使用	敷贴治疗	医技康复楼一层核医学科	核医学科敷贴治疗室	/
3	锗-68	$4.63\times10^{7}\times2$枚	V	使用	PET-CT校准	医技康复楼一层核医学科	核医学科 PET-CT 机房	/
		$9.25\times10^{7}\times1$枚	V	使用				/
以下空白								

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	碘-131	液态	使用	2.22×10^{10}	2.22×10^{9}	2.775×10^{11}	甲癌治疗	自动分装稀释、口服（简单）	医技康复楼一层核医学科	核医学科储源室
				7.40×10^{9}	7.40×10^{8}	1.85×10^{11}	甲亢治疗			
2	锶-89	液态	使用	2.96×10^{8}	2.96×10^{7}	8.88×10^{9}	骨转移癌治疗	注射（简单）		
3	钼-99	固态	储存	2.96×10^{10}	2.96×10^{7}	5.55×10^{12}	显像诊断	贮存		核医学科

4	锝-99m	液态	使用	2.96×10^{10}	2.96×10^{8}	5.55×10^{12}	显像诊断	淋洗、分装、注射（简单）		通风柜
5	氟-18	液态	使用	1.11×10^{10}	1.11×10^{7}	2.22×10^{12}	显像诊断	分装、注射（很简单）		核医学科通风柜
6	氟-18	液态	生产	3.44×10^{10}	3.44×10^{8}	6.88×10^{12}	制备PET用放射性药物	简单操作		按需生产，不贮存
以下空白										

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	医用回旋加速器	II	1	拟购待定	质子	≤11MeV	束流强度≤100μA	正电子放射性药物制备	医技康复楼一层核医学科	/
2	医用直线加速器	II	4	拟购待定	电子	X 线：≤10MV 电子线：≤22MeV	≤1400cGy/min	肿瘤治疗	内科病房楼负二层放疗科	/
以下空白										

（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	DSA	II	3	拟购待定	≤125	≤1250	介入治疗	医技楼一层介入中心	/
2	DSA	II	1	拟购待定	≤125	≤1250	介入治疗	医技楼三层内镜中心	/
3	ERCP（带数字减影血管造影功能）	II	1	拟购待定	≤125	≤1250	介入治疗	医技楼三层手术室	/
4	CT 模拟定位机	III	1	拟购待定	≤140	≤1000	影像诊断	内科病房楼负二层放疗科	/
5	SPECT/CT	III	1	拟购待定	≤140	≤1000	显像诊断	医技康复楼一层核医学科	/
6	PET/CT	III	1	拟购待定	≤140	≤1000	显像诊断		/
以下空白									

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（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（Bq）	贮存方式	数量	
以下空白													

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

<table>
<tr><th>名称</th><th>状态</th><th>核素名称</th><th>活度</th><th>月排放量</th><th>年排放总量</th><th>排放口浓度</th><th>暂存情况</th><th>最终去向</th></tr>
<tr><td>废弃放射源</td><td>固体</td><td>^{192}Ir</td><td>—</td><td>—</td><td>2 枚</td><td>—</td><td>后装机房内</td><td rowspan="3">厂家回收</td></tr>
<tr><td>废弃放射源</td><td>固体</td><td>^{68}Ge</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td rowspan="2">核医学科放射性废物间</td></tr>
<tr><td>^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器</td><td>固体</td><td>^{99}Mo
^{99m}Tc</td><td>—</td><td>—</td><td>50 只</td><td>—</td></tr>
<tr><td>回旋加速器产生的废气件（靶膜等）</td><td>固体</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>50kg/a</td><td>—</td><td>置于铅废物桶中，暂存在场所南侧的储源室</td><td>交厂家回收</td></tr>
<tr><td>放射性药物制取时产生放射性废物（硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜和废活性炭等）</td><td>固体</td><td rowspan="3">^{18}F</td><td>—</td><td>—</td><td>120kg/a</td><td>—</td><td rowspan="2">置于铅废物桶中，暂存在场所南部的储源室</td><td rowspan="2">贮存 10 个半衰期后，作为普通医疗垃圾处理</td></tr>
<tr><td>操作药物时产生的手套、口罩和清洁时用过的抹布、托布等</td><td>固体</td><td>—</td><td>—</td><td>20kg/a</td><td>—</td></tr>
<tr><td>放射性废液</td><td>液态</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>专用废物桶储存于场所南侧的储源室暂存</td><td>经过 10 个半衰期以上，作为医疗废物进行处置</td></tr>
<tr><td>试剂瓶、手套、移液器吸头、一次性注射器</td><td>固态</td><td rowspan="4">^{131}I、^{89}Sr、^{99m}Tc、^{18}F</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>核医学科放射性废物间</td><td>经十个半衰期后作医疗废物处置</td></tr>
<tr><td>废活性炭</td><td>固态</td><td>—</td><td>—</td><td>少量</td><td>—</td><td>—</td><td>厂家回收处理</td></tr>
<tr><td>放射性废水</td><td>液态</td><td>—</td><td>—</td><td>427m^3</td><td>—</td><td>衰变池</td><td>接入医院污水处理站</td></tr>
<tr><td>放射性废气</td><td>气态</td><td>—</td><td>少量</td><td>少量</td><td>—</td><td>不暂存</td><td>通过排风系统经活性炭吸附后排入外环境</td></tr>
<tr><td>臭氧
二氧化氮</td><td>气态</td><td>—</td><td>—</td><td>少量</td><td>少量</td><td>—</td><td>不暂存</td><td>排风系统排入外环境</td></tr>
</table>

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

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

表 6 评价依据

法规文件	1）《中华人民共和国环境保护法》2015 年 1 月 1 日起施行； 2）《中华人民共和国环境影响评价法》2016 年 9 月 1 日起施行；主席令第 24 号，2018 年 12 月 29 日起施行； 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； 4）《中华人民共和国大气污染防治法》2016 年 1 月 1 日起施行； 5）《中华人民共和国环境噪声污染防治法》1997 年 3 月 1 日起施行；主席令第 24 号，2018 年 12 月 29 日起施行； 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；国务院令第 709 号修改，2019 年 3 月 2 日起施行； 7）《放射性物品运输安全管理条例》国务院令第 562 号，2010 年 1 月 1 日起施行； 8）《放射性废物品安全管理条例》国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行； 9）《建设项目环境保护管理条例》国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行； 10）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，原国家环境保护总局令第 31 号，2006 年 3 月 1 日起施行；2019 年 8 月 22 日生态环境部令第 7 号《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》第三次修正； 11）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日起施行； 12）《放射性物品运输安全许可管理办法》，中华人民共和国环境保护部第 11 号令，2010 年 11 月 1 日起施行； 13）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，中华人民共和国生态环境部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行； 14）《关于发布射线装置分类的公告》，环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日起实施； 15）《关于发布放射源分类办法的公告》，原国家环境保护总局公告，2005 年第 62 号，2006 年 12 月 23 日起实施；

	16）《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》，原国家环保总局，环发[2006]145 号； 17）《关于加强放射性物品运输监督检查的通知》，中华人民共和国环境保护部，环办[2010]158 号； 18）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，中华人民共和国环境保护部，环办辐射函[2016]430 号； 19）《放射工作人员职业健康管理办法》，中华人民共和国卫生部令第 55 号，2007 年 3 月 23 日经卫生部部务会议讨论通过，自 2007 年 11 月 1 日起施行； 20）《安徽省环境保护条例》，安徽省第十二届人大常委会第四十一次会议审议通过，2018 年 1 月 1 日施行； 21）《安徽省放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，安徽省环保局 2008 年 9 月 18 日颁布； 22）《关于印发阜阳市建筑施工工地扬尘污染防治规定的通知》，阜阳市住房和城乡建设委员会，2014 年 3 月 19 日发布； 23）《关于印发建设项目环境影响报告表内容、格式及编制技术指南的通知》（环办环评[2020]33 号），2020 年 4 月 1 日起实施。
技术标准	1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； 2）《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）； 3）《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2009）； 4）《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）； 5）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2001）。 6）《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）； 7）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）； 8）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）； 9）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；

	10）《医疗照射放射防护基本要求》（GBZ179-2006）； 11）《10MeV~20MeV 范围内固定能量强流质子回旋加速器》（GB/T34127-2017）； 12）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； 13）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； 14）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； 15）《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）； 16）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； 17）《职业性外照射个人监测规范》（GB128-2019）； 18）《声环境质量标准》（GB3096-2008）； 19）《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）； 20）《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）； 21）《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599-2001）及其修改单要求； 22）《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）及修改单中的要求。
其他	1）阜阳市颍东区发展和改革委员会关于阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目项目建议书的批复； 2）阜阳市肿瘤医院新区（阜阳市颍东区人民医院）建设项目环境影响报告书及批复； 3）阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目环评委托书及相关基础技术资料。

表 7 保护目标与评价标准

评价内容及目的：

1）对项目拟建地址及周围进行环境质量本底现状监测，以掌握环境质量本底现状水平，并对运行后的环境影响进行预测评价。

2）对不利影响提出防治措施，把环境影响减少到“可合理达到的尽可能低水平”。

3）满足国家和地方环境保护部门对建设项目环境管理规定的要求，为项目的环境管理提供科学依据。

评价原则：

此次评价遵循《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的辐射防护“三原则”：

1）实践的正当性；

2）剂量限制和潜在照射危险限制；

3）防护与安全的最优化。

评价重点：

辐射环境：此次评价重点为医用直线加速器、回旋加速器机房、核医学科、后装机、DSA 机房、ERCP 机房和III类射线装置的屏蔽措施评价，核医学科工作场所分级分区、放射性废物处置措施评价，辐射工作人员和公众所受附加剂量评价。

非辐射环境：根据《关于印发建设项目环境影响报告表内容、格式及编制技术指南的通知》（环办环评[2020]33 号），对于废气定性分析废气排放情况，废水分析依托集中污水处理厂的可行性，噪声分析其厂界和环境敏感目标达标情况。因此，本项目产生的废水和固废均依托院区处理措施处理（放射性废水经衰变池处理达标后接入医院污水处理站，放射性废物在放射性废物库内储存衰变超过 10 个半衰期后与一般医疗废物一同收集处理），此次评价对废水和固废仅分析说明依托院区处理措施处理的可行性；加速器、后装机机房只要达到标准要求的通风换气次数，则加速器、后装机运行产生的臭氧和氮氧化物对环境空气影响很小，此次评价仅对加速器、后装机机房的通风换气次数进行达标性分析，噪声仅分析其厂界和环境敏感目标达标情况。

评价范围：

辐射环境：按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定，并结合项目特点，确定辐射环境评价范围为该项目核技术应用场所周围 50m 的区域。

声环境：按照《关于印发建设项目环境影响报告表内容、格式及编制技术指南的通知》（环办环评[2020]33 号）的规定，并结合项目实际情况，确定声环境影响评价范围为医院边界 50m 的区域。

保护目标：

项目周边 50m 范围均处于院区地块范围，声环境评价范围（50m）内无环境敏感目标，与最近的生态红线（颍河）最近距离约为 2600m。该项目环境保护目标为医院辐射工作人员和项目应用场所周围其他非辐射工作人员和公众成员，噪声关注医院四周边界。

表 7-1 本项目周边敏感目标一览表

环境要素	环境保护目标	方位与距离	规模（人数）
辐射环境	直线加速器机房周围辐射工作人员	加速器机房周围 50m 范围内	20
	直线加速器机房周围辐射工作人员	加速器机房周围 50m 范围内	
	后装治疗机机房周围辐射工作人员	后装治疗机机房周围 50m 范围内	
	核医学科辐射工作人员	核医学科范围内	15
	DSA 机房周围辐射工作人员	DSA 机房周围 50m 范围内	15
	ERCP 机房周围辐射工作人员	ERCP 机房周围 50m 范围内	5
	模拟定位机房周围辐射工作人员	模拟定位机房周围 50m 范围内	2
	医技康复楼内非辐射工作人员	核医学科周围 50m 范围内	约 180 人
	内科病房楼内非辐射工作人员	直线加速器、直线加速器、后装治疗机、模拟定位机机房周围 50m 范围内	约 1000 人
	医技楼内非辐射工作人员	DSA、ERCP 机房周围 50m 范围内	约 200 人
	公众	各放射工作场所周围 50m 范围内	流动人员
声环境	无敏感目标		

注：医技康复楼地下两层，地上四层；内科病房楼地下两层，地上十六层；医技楼地下两层，地上四层。

评价标准：

1、环境质量标准

1）大气环境质量标准

执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准。

2）地表水环境质量标准

济河执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中IV类标准。

3）声环境质量标准

执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）表 1 中的 2 类功能区标准。

具体标准限值详见表 7-2。

表 7-2 本项目环境质量标准限值

环境空气质量标准（单位：ug/m³）		
《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级标准	SO_2	年均值：60
		日均值：150
		小时均值：500
	NO_2	年均值：40
		日均值：80
		小时均值：200
	PM_{10}	日均值：35
		小时均值：75
	$PM_{2.5}$	日均值：70
		小时均值：150
	CO	日均值：4
		小时均值：10
	O_3	8 小时均值：160
		小时均值：200

地表水环境质量标准（单位：mg/L ，pH 无量纲，粪大肠菌群数 MPN/L）					
《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）IV类标准	pH	CODcr	BOD	NH_3-N	粪大肠菌群数
	6～9	30	6	1.5	20000

声环境质量标准（单位：dB（A））			
《声环境质量标准》(GB3096-2008)	2 类标准	昼间：60	夜间：50

2、污染物排放标准

1）废水

项目医疗废水、生活污水经过项目预处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中预处理标准后经市政管网收集，排入颍东区污水处理厂处理后排放，污水处理厂排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）表 1 中一级 A 标准限值要求。

2）噪声

运营期项目区噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）表1中2类功能区标准；施工期噪声执行《建筑施工厂界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）表1中标准值。

3）固废

医疗废物执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）及其修改单内容以及《医疗废物管理条例》中要求。

具体标准限值详见表7-3。

表7-3 污染物排放标准限值

大气污染物排放标准									
O_3 暂无排放标准									
噪声排放标准（单位：dB）									
《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)	2 类标准	昼间：60		夜间：50					
水污染物排放标准（mg/L,粪大肠菌群数:MPN/L）									
《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）	pH	CODcr	BOD	NH_3-N	SS	总α	总β	总余氯	粪大肠菌群数
	6～9	50	10	5（8）	10	/	/	/	1000
《医疗机构水污染物排放标准（GB18466-2005）	6～9	250	100	--	60	1	10	--	5000

4）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；

① 剂量限值

表7-4 附录B1 剂量限值

对象	要求
职业照射剂量限值	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；③眼晶体的年当量剂量，150mSv ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv
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，lmSv；②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过lmSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。

注：①根据《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020），对于近距离操作放射性药物的工作人员，宜进行手部剂量和眼晶状体剂量监测，保证眼晶状体连续 5 年期间，年平均当量剂量不超过20 mSv，任何1年中的当量剂量不超过50mSv；②此次评价DSA介入手术医生取GB18871-2002中

连续 5 年的年平均有效剂量限值的 1/2 作为剂量约束值，其他辐射工作人员和公众成员取国家标准的 1/4 作为剂量约束值（即：DSA 介入手术医生年有效剂量不超过 10mSv，其他辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv；公众成员年有效剂量不超过 0.25mSv）。

② 表面污染控制水平

表 7-5 附录 B2 表面污染控制水平

表面类型		β放射性物质（Bq/cm²）
工作台、设备、墙壁、地面	控制区*	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}

③ 非密封源工作场所分类

表 7-6 附录 C1 非密封源工作场所分级

级别	日等效最大操作量（Bq）
甲	＞4×10^{9}
乙	2×10^{7}～4×10^{9}
丙	豁免活度值以上～2×10^{7}

④ 放射性废液向环境排放的控制

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

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

根据附录 B1.3.4 和 B1.3.5 规定，对于职业照射，在一定的假设下可将 $I_{j,L}$ 用作 ALI。由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素 j 的年摄入量限值，$I_{j,L}$：

$$I_{j,L}=\frac{DL}{e_j}$$

式中：DL—相应的有效剂量的年剂量限值，本项目取 5mSv/a；

e_j—表 B3 和 B6、B7 中给出的放射性核素 j 的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值，本项目为使控制限值最优化，对于 e_j 吸入，选择单位摄入量所致的待积有

效剂量的最大值进行计算，参数选取详见表 7-7。

表 7-7 放射性废液排放限值

核素名称	DL (mSv)	$e_{j\,吸入}$ (Sv/Bq)	$e_{j\,食入}$ (Sv/Bq)	$ALI_{吸入}$	$ALI_{食入}$	ALI_{min}	月排放限值	单次排放限值
^{131}I	5	1.1×10^{-8}	2.2×10^{-8}	4.54×10^{5}	2.27×10^{5}	2.27×10^{5}	2.27×10^{6}	2.27×10^{5}
^{99m}Tc	5	2.9×10^{-11}	2.2×10^{-11}	1.72×10^{8}	2.27×10^{8}	1.72×10^{8}	1.72×10^{9}	1.72×10^{8}
^{18}F	5	9.3×10^{-11}	4.9×10^{-11}	5.37×10^{7}	1.02×10^{8}	5.37×10^{7}	5.37×10^{8}	5.37×10^{7}
^{89}Sr	5	1.4×10^{-9}	2.6×10^{-9}	3.57×10^{6}	1.92×10^{6}	1.92×10^{6}	1.92×10^{7}	1.92×10^{6}

5）《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）；

6）《10MeV~20MeV 范围内固定能量强流质子回旋加速器》（GB/T34127-2017）；

5.3.5 剂量监测安全联锁系统

剂量监测安全联锁系统应根据现场条件设计，并与控制系统相对独立。

剂量监测安全联锁系统的设计原则是确保工作人员的人身安全，当回旋加速器大厅有人时，回旋加速器不能开机，开机时任何人员不能进入。剂量监测安全联锁系统应具备以下功能：

a) 与防护门位置的联锁；当防护门被打开时，回旋加速器不能供束；

b) 与现场剂量监测装置的联锁；系统应监测回旋加速器大厅内的剂量（包括瞬发γ和中子），当监测的剂量率超过设定的阈值时，系统应报警或切断束流供应；

c) 与指示信号灯、警告装置的联锁：系统应监测回旋加速器大厅内参与γ的剂量率，当监测的剂量率超过设定阈值时，应触发仪表信号指示灯和蜂鸣器，发出声光报警信号；

d) 与紧急停机按钮的联锁；一旦按下紧急停机按钮，回旋加速器应立即停止供束；

e) 与“回旋加速器运行指示灯”的联锁：当回旋加速器运行时，安装在防护门外的“回旋加速器运行指示灯”应清晰、明亮显示“回旋加速器正在运行”；

f) 与清场按钮的联锁：回旋加速器大厅和靶室内应设置“清场按钮”，在开机前，只有依次按下“清场按钮”才能开机。

5.5 辐射安全

5.5.1 剂量限值

回旋加速器场所辐射剂量率限值如下：

a）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）：1μSv/h；

b）控制区（需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域）：10μSv/h”。

5.5.2 表面污染控制水平

工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-8。

表 7-8 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位为贝克每平方厘米

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	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4

7）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6..1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其它居留因子交到的用室，尽可能避开被有用线束直接照射；

6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷道；γ刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

6.1.7 使用移动式电子加速器的手术室应设在医院手术区的一端，并和相关工作用房（如控制室或专用于加速器调试、维修的储存室）形成一个相对独立区域，移动式电子加速器的控制台应与移动式电子加速器机房分离，实行隔室操作。

6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口和排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。

8）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；

9）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；

5 工作场所的放射防护要求

5.1 工作场所平面布局和分区

5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；

b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；

c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；

d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

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

a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室(根据放射性核素防护特性分别设置)、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；

b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；

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

5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB 18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。

5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

5.2 放射防护措施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为I、II、III三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 7-9，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

表 7-9 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

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

[a] 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

[b] 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

5.2.3 核医学工作场所的通风按表 7-8 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5 m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

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

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。

5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。

5.2.11 回旋加速器机房内、药物制备室应安装固定式剂量报警仪。

5.2.12 回旋加速器机房应设置门机联锁装置，机房内应设置紧急停机开关和紧急开门按键。

5.2.14 回旋加速器机房电缆、管道等应采用 S 型或折型穿过墙壁；在地沟中水沟和电缆沟应分开。不带自屏蔽的回旋加速器应有单独的设备间。

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μSv/h，宜不大于 2.5 μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5 cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μSv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。屏蔽计算中所涉及的常用放射性药物理化特性参见附录 H。PET 相关房间的辐射屏蔽计算方法和示例参见附录 I。

10）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；

重点引用：5.8 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备防护性能的专用要求。

5.8.1 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备应满足其相应设备类型的防护性能专用要求。

5.8.2 在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

5.8.3 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置。

5.8.4 介入操作中，设备控制台和机房内显示器上应能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

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

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

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房防护要求。

6.1.4 移动式 X 射线机（不含床旁摄影机和急救车配备设备）在使用时，机房应满足相应布局要求。

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-10 的规定。

表 7-10 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积	机房内最小单边长度
CT 机（不含头颅移动 CT）	$30m^2$	4.5m
单管头 X 射线机（含 C 型臂、乳腺 CBCT）	$20m^2$	3.5m

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 7-11 的规定。

6.2.2 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中表

C.4~表 C.7。

表 7-11 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量（mm）	非有用线束方向铅当量（mm）
C 型臂 X 射线设备机房	2	2
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

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 2.5μSv/h。

6.4 X 射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-12 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

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

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

表 7-12 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	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	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。	——
CT 体层扫描（隔室）	—	—	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。	—

参考资料：

1）根据《安徽省环境状况公报》（2019 年）中数据显示：全省伽玛辐射空气吸收剂量率（含宇宙射线贡献值）均值为 101nGy/h，范围为 60～130nGy/h；

2）《辐射防护手册》第一、三分册，李德平、潘自强主编。

表 8 环境质量和辐射现状

1、项目地理位置、布局和周边环境

阜阳市肿瘤医院新区位于安徽省阜阳市颍东区颍河东路南，工贸路以西，东兴路以东，其所在地区域图详见图 1-1。医院东侧为工贸路，南侧为临济北路，西侧为东兴路，北侧为颍河东路。

本项目涉及的医用直线加速器机房、后装机机房、模拟定位机机房位于内科病房楼，核医学科位于医技康复楼，4 台 DSA 和 1 台 ERCP 位于医技楼。

内科病房楼东侧 87m 为外科病房楼，南侧为院区道路，西侧为高压氧舱和全科医生培训楼，北侧紧临医技康复楼；医技康复楼东侧 128m 为医技楼，南侧紧临内科病房楼，西侧为院区休闲绿地，北侧 22m 为专科治疗楼；医技楼东侧为院区道路，南侧紧临外科病房楼，西侧 128m 为医技康复楼，北侧紧临门诊楼。

本项目涉及的医用直线加速器机房位于内科病房楼负二层南侧，机房东侧为 CT 模拟定位机及控制室，南侧为土壤层，西侧为地下停车库，北侧为控制室和水冷机房，楼上为院区道路，楼下为土壤层。

本项目涉及的后装机房位于内科病房楼负二层南侧，机房东侧为土壤层，南侧为楼梯间，西侧为过道，北侧为控制室和准备间，楼上为备用机房，楼下为土壤层。

本项目涉及的核医学科位于医技康复楼一层，核医学科东侧为医疗街，南、西、北侧为院区过道，楼下为地下车库，楼上为放射科。

本项目涉及的介入中心 DSA 机房位于医技楼一层西侧，DSA1 号、2 号机房东侧为导管室和设备间，南侧为污物廊，西侧为洁净走廊，北侧为换车间和候诊大厅，DSA 3 号机房东侧为污物廊，南侧为介入中心走廊，西侧为设备间和导管室，北侧为控制廊，介入中心各 DSA 机房楼下为职工餐厅，楼上为中心供应室。

本项目涉及的内镜中心 ERCP 机房位于医技楼三层东侧，机房东侧、西侧为过道，南侧为操作室，北侧为卫生间和设备间，楼下为检验科会议、示教室，楼上为病理科诊断室。

本项目涉及的手术室 DSA 机房位于医技楼三层西侧，机房东侧、西侧为过道，南侧为 CT 机房，北侧为设备间和楼梯间，楼下为中心供应室，楼上为绿化屋面。

本项目涉及的模拟定位机机房位于内科病房楼负二层南侧，机房东侧为预留机房，南侧为控制室，西侧为直线加速器机房，北侧为准备室和体膜室，楼下为土壤层，

楼上为备用机房。

该项目涉及的机房及场所周边环境概况详见表 8-1。该项目在院区的分布情况及周边关系详见附图三至附图十五（项目所在楼层及上下楼层平面布置图）。项目周边 50m 范围内基本全处于院区地块范围，声环境评价范围（50m）内无环境敏感目标，与最近的生态红线（颍河）最近距离约为 2600m。

表 8-1 项目机房及场所周边环境概况一览表

机房名称	所在位置	东侧	南侧	西侧	北侧	楼上	楼下
1 号加速器机房	内科病房楼负二层放疗科	2 号加速器机房	土壤层	地下车库	水冷机房、控制室和准备间	院区道路	土壤层
2 号加速器机房		3 号加速器机房	土壤层	1 号加速器机房	水冷机房、控制室和准备间	院区道路	土壤层
3 号加速器机房		4 号加速器机房	土壤层	2 号加速器机房	水冷机房、控制室和准备间	院区道路	土壤层
4 号加速器机房		模拟定位机房及控制室	土壤层	3 号加速器机房	水冷机房、控制室和准备间	院区道路	土壤层
后装机机房		土壤层	楼梯间	放疗科过道	控制室和准备间	备用机房	土壤层
核医学科	医技康复楼一层	医疗街	院区过道	院区过道	院区过道	放疗科	土壤层
DSA1 号机房	医技楼一层介入中心	设备间和导管室	控制室	洁净走廊	换车间和候诊大厅	中心供应室	职工餐厅
DSA1 号机房		设备间和导管室	污物廊	洁净走廊	控制室	中心供应室	职工餐厅
DSA3 号机房		污物廊	介入中心走廊	设备间和导管室	控制廊	中心供应室	职工餐厅
ERCP 机房	医技楼三层内镜中心	过道	操作室	过道	卫生间	病理科诊断室	检验科会议、示教室
DSA 机房	医技楼三层手术室	过道	CT 机房	过道	设备间和楼梯间	绿化屋面	中心供应室
模拟定位机房	内科病房楼负二层放疗科	预留机房	控制室	直线加速器机房	准备室和体膜室	备用机房	土壤层

2、项目所在地环境现状评价

2.1 大气环境现状评价

本次评价选取 2020 年作为评价基准年，引用《2020 年阜阳市环境质量概要》中

大气环境质量部分内容，项目所在地区阜阳市各评价因子数据见下表。

表 8-2 区域空气质量现状评价表

污染物	年评价指标	现状浓度/（ug/m³）	标准值/（μg/m³）	占标率/%	达标情况	达标情况
SO_2	年平均质量浓度	7	60	11.67	达标	不达标区
NO_2	年平均质量浓度	26	40	65.00	达标	
CO	百分位数日平均或 8h 平均质量浓度	600	4000	15.00	达标	
O_3	百分位数日平均或 8h 平均质量浓度	99	160	61.88	达标	
PM_{10}	年平均质量浓度	78	70	111.43	超标	
$PM_{2.5}$	年平均质量浓度	50	35	142.86	超标	

因此，项目位于不达标区。项目所在区域主要污染物为可吸入颗粒物（PM_{10}）和细颗粒物（$PM_{2.5}$），分别超标 0.11、0.43 倍。

依据《阜阳市大气污染防治行动计划实施方案》、《安徽省打赢蓝天保卫战三年行动计划实施方法》、《长三角地区 2020—2021 年秋冬季大气污染物综合治理攻坚行动方案》等工作要求，从优化产业布局、严控“两高”行业产能、强化“散乱污”企业综合整治、深化工业污染治理、大力培育绿色环保产业、加快调整能源结构，构建清洁低碳高效能源体系、积极调整运输结构，发展绿色交通体系、优化调整用地结构，推进面源污染治理、实施重大专项行动，大幅降低污染物排放、强化区域联防联控，有效应对重污染天气、完善政策法规体系，落实环境经济政策、加强基础能力建设，严格环境执法督察、落实和强化各方责任，发动全民广泛参与等方面着手，明显减少重污染天数，区域环境空气质量得到改善。

2.2 地表水环境现状评价

建设项目评价区域内的纳污水体为济河，根据《2020 年阜阳市环境质量概要》中地表水环境质量部分内容，济河各监测断面水质综合评价满足《地表述环境质量标准》（GB3838-2002）中IV类标准。

2.3 声环境现状评价

本项目现场踏勘时，医院主体结构正在施工建设，受建筑施工噪声影响，无法测定项目场址及周边声环境现状，特引用《阜阳市肿瘤医院新区（阜阳市颍东区人民医院）建设项目环境影响报告书》里面的声环境监测数据。安徽奥创环境监测有限公司于 2019 年 10 月 23 日~2019 年 10 月 24 日对本项目声环境质量进行了监测，声环境现

状监测数据见表 8-3。

表 8-3 本项目厂界声环境现状监测值（dB（A））

编号	监测点位	监测时间	昼间 Leq（A）	夜间 Leq（A）
N1	项目东边界外一米	2018-05-23	52.4	44.8
		2018-05-24	52.6	43.6
N2	项目南边界外一米	2018-05-23	51.8	44.5
		2018-05-24	51.6	44.3
N3	项目西边界外一米	2018-05-23	53.1	45.3
		2018-05-24	53.3	45.1
N4	项目北边界外一米	2018-05-23	52.2	44.4
		2018-05-24	51.8	44.2

由监测结果可知，医院各厂家外昼间噪声监测值为 51.6~53.3dB（A），夜间噪声监测值为 43.6~45.3dB（A），均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类标准的要求。

2.4 辐射环境现状评价

核工业二七 O 研究所 2020 年 5 月 20 日接受阜阳市肿瘤医院委托，开展阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目环境影响评价工作，并于 2021 年 6 月 3 日对该项目应用场所及周边环境进行辐射环境现状监测，辐射环境监测采用 AT1123 型便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪（仪器编号为 55532），在检定有效期范围内。监测结果详见表 8-5，监测报告详见附件十六。

表 8-4 测量仪器主要技术参数一览表

仪器名称	核辐射检测仪
仪器型号	AT1123
仪器编号	55532
仪器整体能量响应范围	0.015～10MeV
本次监测探头能量响应范围	0.025～3MeV
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心，检定证书编号为 2021H21-10-3153722003
有效期	2021 年 03 月 30 日～2022 年 03 月 29 日

监测方案：

监测布点：在拟建项目场所所在位置和医院四周边界处进行布点，辐射环境监测

共计布设 14 个点位。监测布点详见图 8-1 至图 8-6。

监测因子：X-γ辐射剂量率。

监测工况：该项目为拟建项目，未运行，为环境本底监测。

质量保证措施：

①合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。

② 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；

③ 测量前、后均检查仪器的工作状态是否良好；

④ 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗；

⑤ 由专业人员按照操作规程操作监测仪器，并认真做好记录；

⑥检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

监测结果：

表 8-5 辐射环境现状监测结果

编号	监测点描述	测量结果（nSv/h）
1	内科病房楼负二层拟建加速器机房所在位置	108
2	内科病房楼负二层拟建后装机房所在位置	110
3	内科病房楼负二层拟建模拟定位机房所在位置	109
4	医技康复楼一层 1 号核医学科所在位置	111
5	医技楼一层 1 号 DSA 机房所在位置	112
6	医技楼一层 2 号 DSA 机房所在位置	112
7	医技楼一层 3 号 DSA 机房所在位置	111
8	医技楼三层手术室 DSA 机房所在位置	112
9	医技楼三层内镜中心 ERCP 机房所在位置	110
10	医院场址东侧	113
11	医院场址南侧	112
12	医院场址西侧	110
13	医院场址北侧	112

注：本底监测主要辐射因子为γ射线，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），光子的辐射权重因子等于 1，当量剂量跟吸收剂量在数值上是相等的，即 1Sv 数值上等于 1Gy。

监测结果表明：该项目应用场所及周边环境辐射环境现状本底在 108～113nSv/h 范围内，与安徽省全省辐射环境现状水平（60～130nGy/h）基本保持一致，辐射水平

未见明显异常。

图 8-1　项目所在内科病房楼负二层监测布点图

图 8-2　项目所在医技康复楼一层监测布点图

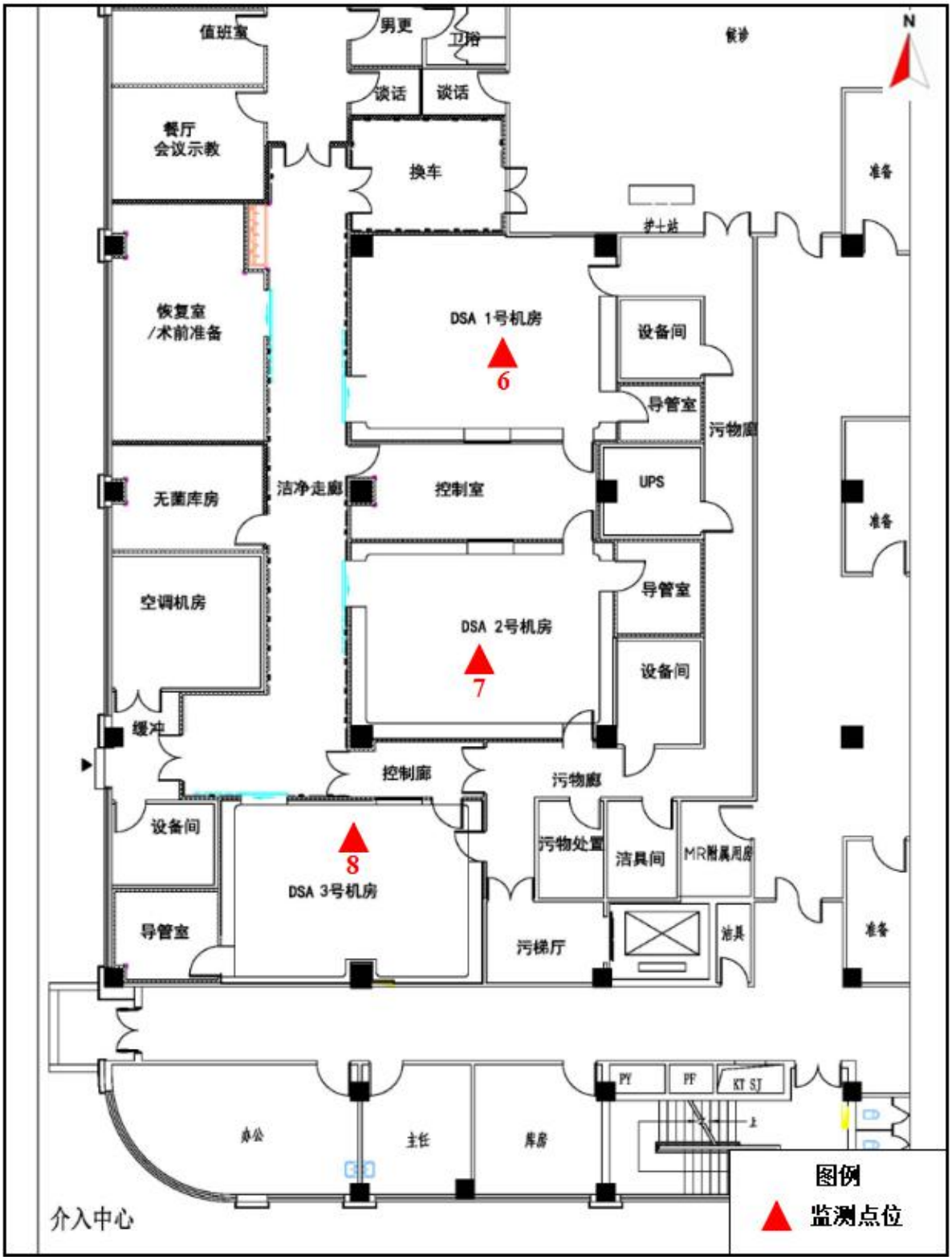


图 8-3　项目所在医技楼一层监测布点图

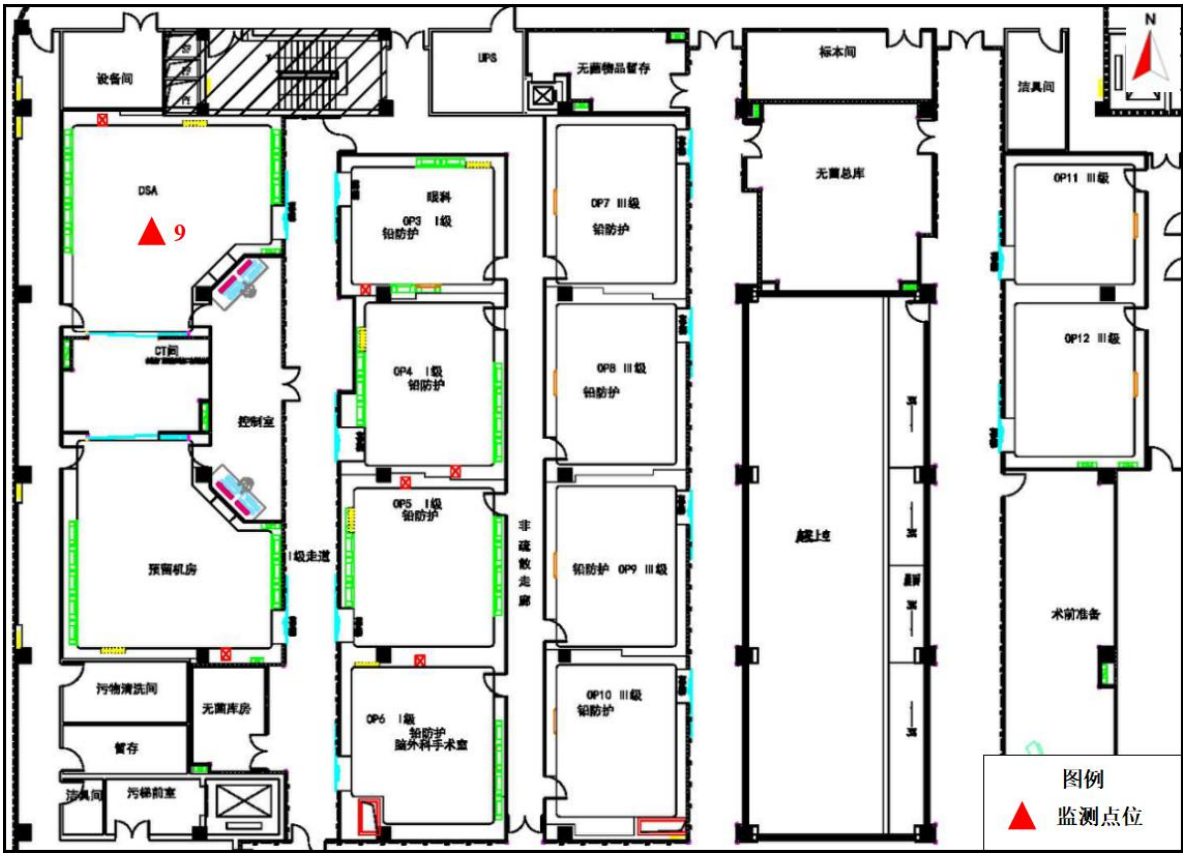


图 8-4　项目所在医技三层手术室监测布点图

图 8-5　医院周边监测布点图

图 8-6 项目所在医技三层内镜中心监测布点图

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析：

1、施工期

本项目核技术应用项目用房主体工程均为医院建设内容的组成部分，随医院整体施工完成并投入使用，本项目施工期为在原主体工程的基础上对场所进行防护施工和装修。因此，该项目施工工程量小、施工工艺简单、施工周期短，且施工期产生的少量废水和固体废物均可依托医院主体工程建设中的处理措施进行处理，只要建设单位和施工单位在施工过程中严格落实对施工扬尘的管理和控制措施，施工期的环境影响能降到最低程度。同时由于施工期对环境产生的影响均为暂时的、可逆的，随着施工期的结束，影响即自行消除。

本项目为在现有建筑内进行装修，并未新增用地。因此，项目施工期主要是对已有建筑物内部进行装修施工、设备安装，其工艺流程及产物环节如图 9-1。

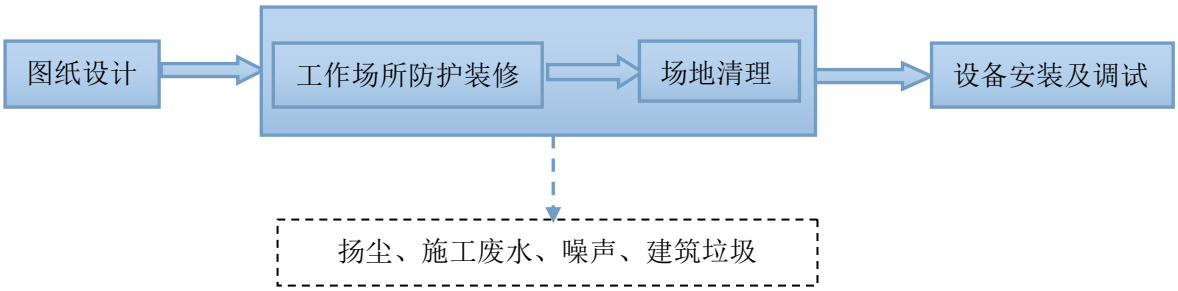


图 9-1 项目施工期工艺流程及产污环节图

2、运行期

2.1 医用直线加速器

2.1.1 设备组成与工作原理

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

辐射。典型医用直线加速器示意图及内部结构图见图 9-2 和图 9-3。

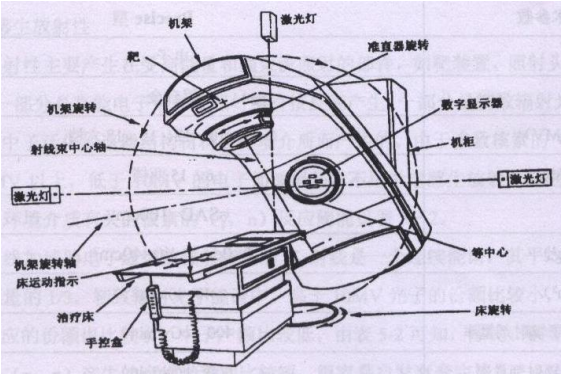


图 9-2　典型医用直线加速器示意图

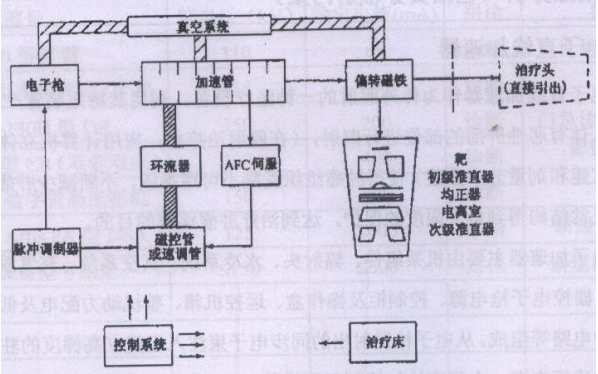


图 9-3　典型医用直线加速器结构图

2.1.2 操作流程

1）进行定位：先通过模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

2）制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

3）固定患者体位：在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及照射野。

4）开机治疗。

医用电子直线加速器肿瘤治疗的基本流程及产污环节见下图 9-4。

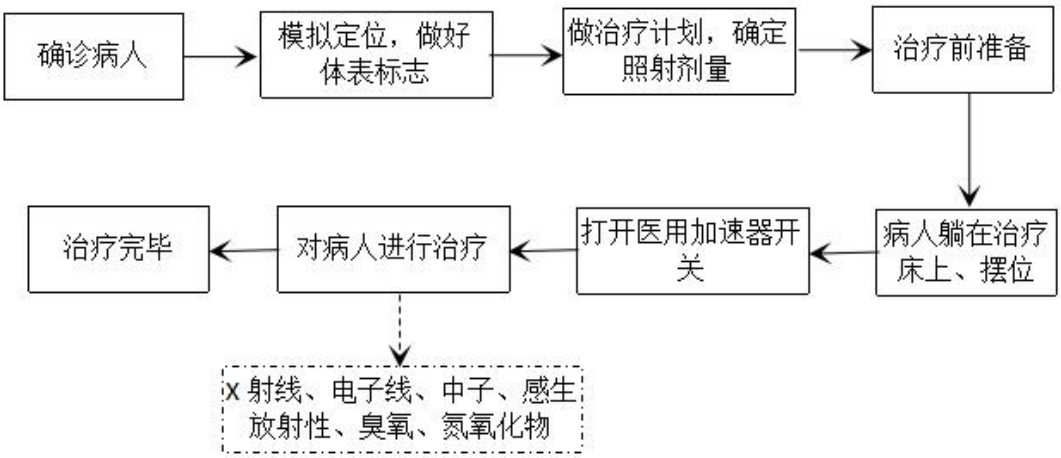


图 9-4　直线加速器工作流程及产污位置示意图

2.2 后装机

（1）工作原理

后装机属近距离放射治疗，为给肿瘤以足够的辐射剂量，采用不同途径，紧挨肿

瘤植入一个小的放射源，即将密封放射源置于病灶附近，提高局部剂量，利用射线的生物效应对肿瘤进行治疗。这种方式可用于治疗人体各种腔道周围的肿瘤，因所选取核素的射线能量较低，并以射线的距离衰减效应减少正常组织的损伤，同时也减少了操作人员接受的辐射剂量。

（2）设备组成

后装机使用的放射源是 Ir-192。依据患者诊断数据，由计算机制定治疗计划并实施对后装机的操作控制。根据“先插管后装源”的技术原理，由电脑选择 18 个输源管和施源器中最合适的一组，插入需要治疗的腔道并进行靶区定位，通过分度头的引导控制，将放射源送达治疗区域，按计划实施治疗。

（3）治疗流程

（1）制定治疗方案：医生根据影像信息和 TPS（放射治疗计划系统）制定治疗计划，并反复优化出最佳治疗方案；

（2）治疗装备：治疗前认真核对患者的科室、姓名、住院号及治疗计划，开机检查后装机、TPS 计划系统的各项参数，确保治疗设备处于正常工作状态；

（3）治疗实施：将施源器与后装机相连接，放射治疗技术人员对病人进行正确摆位；放射治疗医师和医学物理师分别核对治疗计划，确认无误后进行放疗；治疗过程中技术人员密切注视控制系统的各项显示与病人情况，以便及时发现和排除异常情况。

（4）治疗结束：放疗结束后，技术人员携带辐射测量设备进入治疗室，检测患者和后装机，验证放射源回到贮源器内后，将患者移除机房，按无菌要求取出施源器，并观察患者有无不适。

治疗完毕后，关闭后装机、TPS 计划系统，治疗结束。

后装机治疗实施一般工作流程及产污环节示意图见图 9-5。

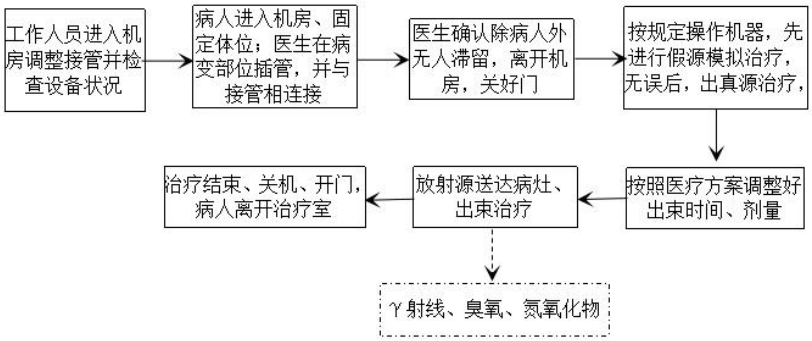


图 9-5 后装机工作流程及产污位置示意图

2.3 核医学科

2.3.1 回旋加速器

2.3.1.1 系统组成

（1）回旋加速器系统组成

本项目拟新增的回旋加速器是一套完整的全自动的、带有一定屏蔽功能的正电子药物生产系统。回旋加速器一般由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、束流提取系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等组成，各系统的主要作用如下：

磁场系统：提供被加速的带电粒子所在控制的轨道中做圆周运动所需的磁场强度；

射频系统：提供被加速带电粒子所需的高频振荡加速电压；

真空系统：建立离子加速所需的真空压力水平，降低束流的丢失，为高电压射频场提供绝缘；

离子源系统：产生需要加速的负离子；

束流提取系统：直接将加速的带电负离子从真空箱中引出，该系统的基础是剥离膜。被加速的负离子通过膜时被脱去 2 个电子而转变成阳离子，并能够调整引出的束流进入所选定的核素生产靶；

靶系统：是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，一般包括靶体、准直器、靶膜、管路阀门等；

冷却系统：从不同系统中将热量带出，带出的热量在二级冷却系统中进行热交换，并将热量传送到初级冷却系统。

（2）化学合成分装系统组成

该系统包括热室以及相应的仪器设备，用于合成和分装药物，热室内有 4 个厚壁工作箱，其中有 2 个合成柜，2 个分装柜。

回旋加速器打靶产生的放射性靶子由屏蔽输送管道直接输送到合成热室内的容纳合成装置，合成装置内有合成模块盒，通过自动控制进行溶解、过滤、氧化、分离等步骤，得到放射性药物。合成柜和分装柜为有自屏蔽设施和观察窗的密闭工作箱，内设有负压并带高效过滤器的通风系统，在计算机控制下自动化地完成药物的合成和分装。

2.3.1.2 回旋加速器工作原理

医用回旋加速器是制备 PET 用放射性核素的主要设备，其工艺原理是在回旋加速器中通过改变磁场加速质子从而使质子获得必要的能量，高速运动的质子轰击靶物质产生核反应生成放射性核素。放射性核素通过气动自动传输装置传输到化学合成器进行合成、检测、标定，最终成为所需要的放射性药品。在加速器运行过程中，通过改变靶物质可以获得不同的放射性核素供临床和科研应用。

回旋加速器工作原理主要是使处于真空室内的带电粒子在高频、交变磁场作用下，不断加速，当被加速粒子能量达到一定值时偏转引出，引出到加速器外部的入射粒子束与其路径上的靶核碰撞，入射粒子被靶核吸收，激活的靶核发生核反应发射出中子、质子或α粒子，同时可产生具有一定阈能的正电子放射性核素。通过回旋加速器的自屏蔽系统，可吸收核反应引起的瞬发射线，也可吸收在屏蔽块中由于碰撞而产生的热中子。其基本原理如下图 9-6。

2.3.1.3 工作流程

（1）放射性核素的生产

根据确定生产的核素及核素量，选择合适的靶及清洗靶和核素传输管，设定相应核素生产的相关参数，然后回旋加速器开机、定时辐照，最后轰击靶材料，得到核素，关机。回旋加速器停机后至少间隔 3~5min 工作人员才能进入回旋加速器机房。

回旋加速器生产放射性核素的流程及产污节点见图 9-7。

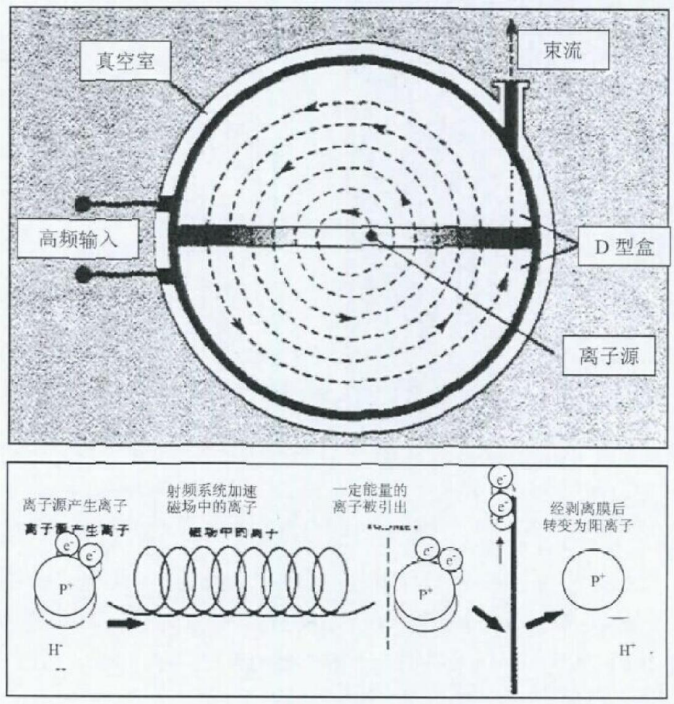


图9-6 医用回旋加速器工作原理简图

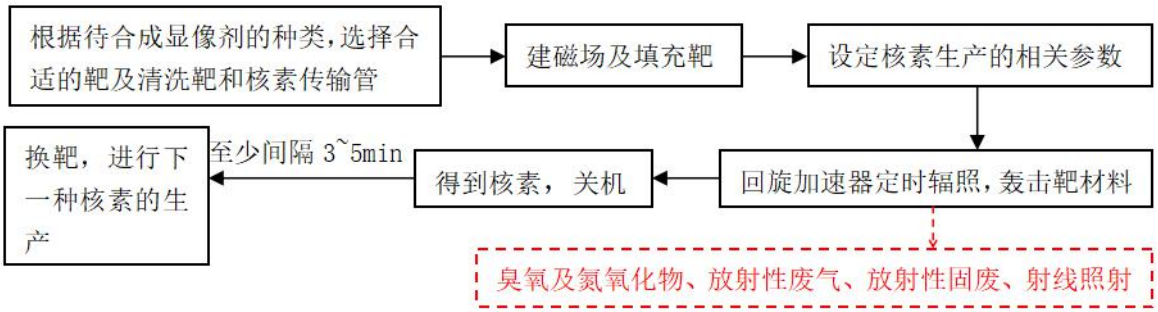


图 9-7 放射性核素生产流程及产污节点

医院回旋加速器暂未采购，根据医院提供的资料，本项目拟采购的回旋加速器是一套完整的全自动的，具有一定屏蔽功能的正电子药物生产系统，最大质子束流能量不高于 11MeV，引出质子束流强度不高于 100μA，并且回旋加速器在正常运行的情况下，1m 处的泄露辐射中子剂量率不超过 200μSv/h，1m 处的泄露辐射γ射线剂量率不超过 200μSv/h，回旋加速器参数说明详见附件一。

医院拟使用回旋加速器生产的核素为 ^{18}F，核素物理性质见表 9-1。根据医院提供资料，回旋加速器每天运行时间约 1 小时，年工作 250 天，年工作时间为 250h。核素用量及特征参数见表 9-2。

表9-1 回旋加速器主要生产核素物理性质一览表

核素	半衰期	毒性	衰变类型及（分支比）	主要β射线能量（keV）及（相对强度）	主要γ射线能量（keV）及（相对强度）
^{18}F	109.8min	低毒	EC（3.3%） β^+（96.7%）	633.5（96.7%）	511（193.46%）

表9-2 回旋加速器主要生产核素及参数一览表

核素	物理、化学性状	实际日最大操作量（Bq）	靶核材料	反应类型
^{18}F	液态	3.44×10^{10}	重氧水	^{18}O（p，n）^{18}F

（2）放射性药品的合成分装、质检、运输

回旋加速器生产出的核素从主屏蔽内部用气体推送方式，通过地沟中 30mm Pb 铅砖覆盖的管道传送到热室的药物合成器内，合成器均是放置在带有铅屏蔽的合成柜中（正面屏蔽 70mm Pb，其余五面屏蔽 60mm Pb），工作人员通过控制热室外面的工作站（计算机操作系统）控制合成器。通过自动控制进行溶解、过滤、氧化、分离等步骤，最后生成放射性药物，并通过压缩气体传输到无菌真空收集瓶内。抽取少量放射性药物由传递窗送至全检质控室进行质检。

合成后的药物经由地沟中 30mmPb 铅砖覆盖的管道自动传送到分装柜中，利用自动分装系统分装成需要的活度。分装系统均是放置在带有铅屏蔽的分装柜中（正面屏蔽 70mmPb，其余五面屏蔽 60mmPb），根据具体使用活度规格，利用自动分装系统进行分装，并将分装好的放射性药物装于专用调剂送药铅防护罐。

制备的 ^{18}F 放射性药物通过传递窗外包后由工作人员携带调剂送药铅防护罐从热室快速转移，经物流通道送至核医学科的注射室，供核医学科注射使用。

放射性药品合成、分装、运输的流程及产污节点见下图。

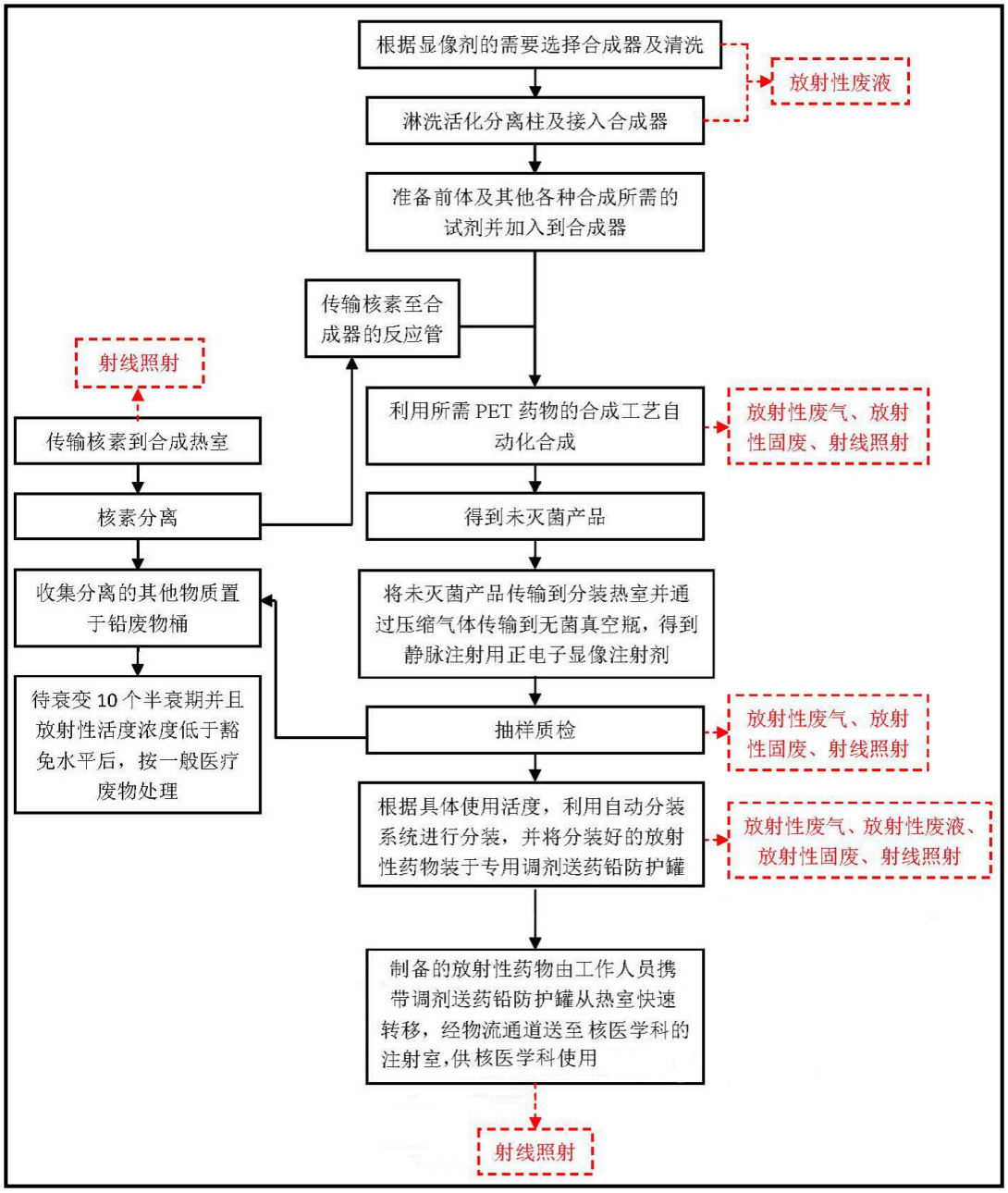


图 9-8 放射性药品的合成分装、质检、运输流程及产污节点

2.3.2 ECT 显像诊断

（1）工作原理

单光子发射计算机断层成像术（SPECT-CT）是核医学的一种 CT 技术，是对从病人体内（如 ^{99m}Tc 等）发射的γ射线成像，故统称为发射型计算机断层成像术（ECT），是计算机断层扫描的简称，是一种现代化诊断手段，其原理是：当某种放射性核素或其标记物通过注射或口服等方式进入体内后，依其化学及生物学特性不同，随血流等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织这个过程的差异，使其聚集这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用发射型计算机断层显像装置来探测这种放射性核素发射的γ射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器血流、功能、代谢和引流等方面定性和定量的信息。而血流、功能和代谢的异常，常是疾病的早期变化，出现在形态结构发生改变之前，有助于疾病的早期诊断。

（2）操作流程

根据确定的放射性同位素注射剂量，定量购买放射性同位素，在通风柜淋洗、分装并测试活度。受检者到达注射窗口注射药物后，进入候诊区等待，以便药物被病变组织摄取，然后进入 SPECT-CT 扫描间进行扫描，扫描结束后离开。

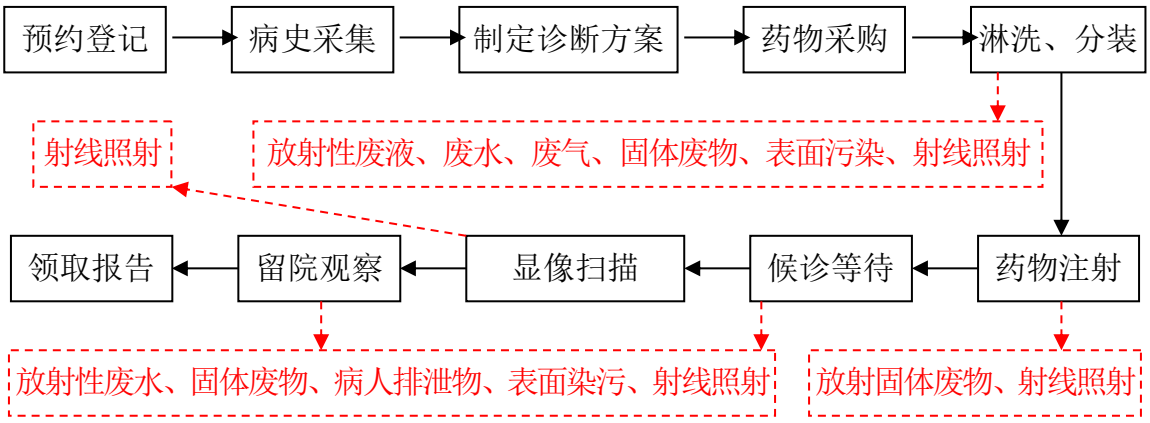


图 9-9 显像诊断流程及产污节点

2.3.3 PET-CT 显像诊断

2.3.3.1 工作原理

PET 是英文 Positron Emission Tomograpny 的缩写。其临床显像过程为：将发射正电子的放射性核素（如 ^{18}F 等）标记到能够参与人体组织血流或代谢过程的化合物（如脂肪酸、脱氧葡萄糖、氨基酸、核苷等）上，将标有带正电子放射性核素的化合物注

射到受检者体内，让受检者在 PET 的有效视野范围内进行 PET 显像。放射核素发射出的正电子在体内移动大约 0.22mm 后与组织中的负电子结合发生湮灭辐射，产生两个能量相等（511keV）、方向相反的γ光子。由于两个光子在体内的路径不同，到达两个探测器的时间也有一定差别，如果在规定的时间内（一般为 5～15μs），探头系统探测到两个互成 180 度（士 0.25 度）的光子时，即为一个符合事件，探测器便分别送出一个时间脉冲，脉冲处理器将脉冲变为方波，符合电路对其进行数据分类后，送入工作站进行图像重建。便得到人体各部位横断面、冠状断面和矢状断面的影像。同时结合应用 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 的临床影像，大大提高临床使用价值。

2.3.3.2 操作流程

根据确定的放射性同位素注射剂量，定量购买放射性同位素，在通风柜分装并测试活度。受检者到达注射窗口注射药物后，进入候诊区等待，以便药物被病变组织摄取，然后进入 PET-CT 扫描间进行扫描，扫描结束后离开。显像诊断流程及产物节点详见图 9-9。

2.3.4 I-131 治疗甲癌和甲亢

2.3.4.1 工作原理

甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的功能。^{131}I 在甲状腺内停留的时间较长，在甲癌（甲亢）患者甲状腺内的有效半衰期约 3-5 天。^{131}I 衰变时主要发射β⁻粒子，射程短，仅为 2-3mm，对周围正常组织一般无影响。因此，大剂量 ^{131}I 进入甲状腺组织，这些组织在β⁻粒子集中且较长时间的作用下将遭受部分抑制或破坏，从而取得类似部分切除甲状腺的效果，达到治疗甲癌（甲亢）的目的。

2.3.4.2 操作流程

医生首先对甲癌和甲亢患者进行检查，根据病情确定服药量，与患者预约，根据患者数量订购 ^{131}I 药物，口服前由自动分装机进行分装，指导病人口服。病人服药后，甲亢患者服碘后一般稍作观察后可直接离开，治疗甲癌的 ^{131}I 药物剂量较大，必须住院治疗。

2.3.5 Sr-89 治疗恶性肿瘤的骨转移

2.3.5.1 工作原理

^{89}Sr 是物理半衰期为 50.55 天，β^-衰变，产生 1.46MeVβ射线，同时伴有 0.91MeV

γ射线产生，强度为 0.009％。锶为亲骨核素，静脉注射后，^{89}Sr 能与骨骼中的羟基磷灰石结合，其β线在骨组织内射程达为 3mm，通过其电离损伤作用破坏骨组织中的肿瘤转移灶，对前列腺癌、乳癌的骨转移灶治疗效果最好，镇痛效果可维持 3～6 个月，不会引起造血系统的损害。

2.3.5.2 操作流程

用于恶性肿瘤的骨转移治疗的 $^{89}SrCl_2$ 药物在预约病人后订购，每份用于治疗的 $^{89}SrCl_2$ 药物由供应商事先分装，治疗时不需再分装，直接进行静脉注射，采取门诊治疗。

2.3.6 敷贴治疗

本项目拟使用^{90}Sr进行敷贴治疗，敷贴器均外购，放置于敷贴治疗室内。主要治疗皮肤毛细血管瘤、瘢痕疙瘩、慢性湿疹、鲜红斑痣、局限性神经性皮炎和牛皮癣等皮肤疾病。

^{90}Sr 敷贴治疗是利用核素 ^{90}Sr 发射β射线，使局部病灶产生辐射生物效应而达到治疗目的。由于治疗的几乎全是子体 ^{90}Y 衰变为 ^{90}Zr 过程中发射的 2.2MeVβ射线，其形状为圆形或方形，出厂时已标定其放射性活度及表面剂量率；由于 ^{90}Sr 半衰期较长（28.1 年），可以长期使用，但每年需做一次衰变校正。使用时根据病变形状在保护周围皮肤前提下直接敷贴，治疗可采用一次大剂量法或多次小剂量。

治疗流程为使用前根据标定的活度及日期计算敷贴现有活度剂量，估算拟投给的剂量；病人进入敷贴室，自行拿起敷贴器对病灶进行照射，达到照射时间后，在护士的指引下，放置好敷贴器后，出敷贴治疗室，完成治疗。

2.4 DSA 等 X 射线装置

2.4.1 工作原理

DSA、CT 机、普通 X 射线机（数字胃肠机、DR 机、乳腺钼靶机、口腔全景机、口腔 CT），均为采用 X 射线进行摄影或诊断的技术设备。因诊断目的不同有很大的差别，但其基本结构都是由产生 X 射线的 X 射线管、供给 X 射线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 射线的“量”和“质”及爆光时间的控制装置等设备组成。X 射线管由阴极和阳极组成，阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝，阳极靶则根据应用的需要，由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难熔金属（如钨、铂、金、钽等）制成，典型 X 射线管示意图见图 9-10。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，

而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速到很高的速度，这些高速电子到达靶面被靶突然阻挡从而产生 X 射线。

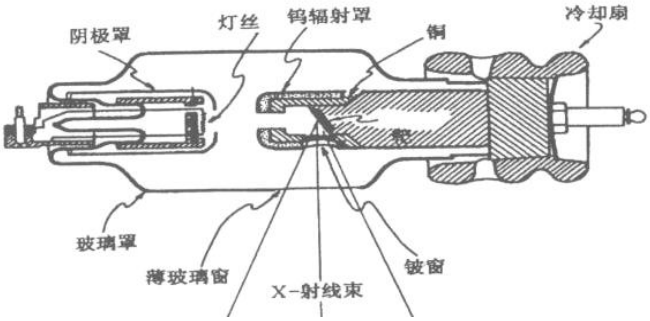


图 9-10 典型 X 射线管示意图

1）DSA

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

2）CT 机

CT 是计算机断层 X 射线摄影术（Computed Tomography）的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。

2.4.2 操作流程

1）数字减影血管造影系统（DSA）

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管在 X 线透视下将导管送达上腔静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

2）CT 机

确定患者体层摄影的体位，扫描定位，投照摆位，屏气曝光。扫描过程中，X 线球管连续地发射 X 线，扫描床持续同步前移，实现无间断容积数据采集。

污染源项描述：

1、正常工况

1.1 医用直线加速器

1）放射性污染源

①X 射线

由加速器的工作原理可知，医用直线加速器用于 X 线治疗时，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质及其他加速器结构材料相互作用时将产生高能 X 射线，根据医院计划采购能量≤10MV 的加速器，1m 处最大输出量为每分钟 600cGy，其可能对工作人员和公众造成危害。这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。

②电子线

加速器用电子束（≤22MeV）治疗时，最大束流强度为每分钟 1000cGy。电子束的屏蔽要求远低于高能 X 线，故在机房屏蔽墙厚度计算时不用考虑，但由于电子束的强度高，若发生人员意外照射，会造成伤害。

2）非放射性污染源

①废气

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

②噪声

根据医院提供的设计材料，加速器机房通风管道均以“Z”型管道穿过屏蔽墙（未破坏机房的屏蔽性能），医院拟在负二层送风机房内设置 2 台送风机，其中 1 台送风机为 2 间加速器机房和相关辅助用房进行送风，型号为 GX650D 风机，送风量为 5000m^3/h，风压为 310Pa，噪声源强为 62dB（A），另外 1 台送风机为 2 间加速器机房、1 间后装机机房及相关辅助用房进行送风，型号为 GX670D 风机，送风量为 7000m^3/h，风压为 410Pa，噪声源强不大于 60dB（A）。

本项目每间加速器安装 1 台排风机进行排风，排风机安装在负一层吊顶内，排风井排至内科病房楼楼顶排放，4 台排风机型号均为 JSF-280，排风量均为 2650m^3/h，风压为 316Pa，噪声源强不大于 71dB（A）。

由于排风机和送风机安装在地下一层和地下二层，排风机和送风机风口处产生的噪声功率级通过管道传输至室外，可减少风机产生的噪声，且风口拟安装管式消声器、接头处均采用软性接头和隔震基础，经过降噪后送排风机风口处的声功率级将大大减少，本项目按照保守估算，取每台送排风机声源强度进行理论预测。

1.2 后装机

1）放射性污染源分析

后装机使用的是 Ir-192 密封源，Ir-192 的半衰期为 74 天，其辐射类型为 EC 和β^-衰变，伴有γ射线产生，γ射线能量为 0.136～1.062MeV。由于 Ir-192 半衰期短，每次治疗的时间将会延长，在治疗时需按天计算放射性的衰变，几个月之后治疗的时间可能太长，一般约半年更换一次，废源由放射源供应厂家负责调换、运输、处置，医院负责日常安全管理。

2）非放射性污染源

①废气

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

②噪声

根据医院提供的设计材料，后装机机房通风管道均以 45°斜穿过屏蔽墙（未破坏机房的屏蔽性能），后装机房与加速器机房共用 1 台送风机，送风机位于负二层送风机房内，型号为 GX670D 风机，送风量为 7000m^3/h，风压为 410Pa，噪声源强不大于 60dB（A）。

本项目后装机房安装 1 台排风机进行排风，排风机安装在负一层吊顶内，经排风管道收集后经排风井排至内科病房楼前空地排放，排风机型号为 JSF-250，排风量均为 1890m^3/h，风压为 252Pa，噪声源强不大于 60dB（A）。

由于排风机和送风机安装在地下一层和负二层，排风机和送风机风口处产生的噪声功率级通过管道传输至室外，可减少风机产生的噪声，且风口拟安装管式消声器、接头处均采用软性接头和隔震基础，经过降噪后送排风机风口处的声功率级将大大减少，本项目按照保守估算，取每台送排风机声源强度进行理论预测。

1.3 回旋加速器

1.3.1 核素生产过程中污染源项分析

（1）放射性污染源项分析

①贯穿辐射

回旋加速器运行时产生的贯穿辐射有中子、γ射线。产生部位见表 9-3。

表 9-3 回旋加速器运行贯穿辐射发生位置

序号	发生位置	产生放射的主要原因	粒子类型
1	靶	生产放射性同位素的核反应	中子，γ
2	射束光闸	射束调整过程中粒子束撞击射束光闸产生的核反应	中子，γ
3	挡板缝隙	加速粒子撞击挡板缝隙产生的核反应	中子，γ
4	锡箔剥离器	加速粒子通过锡箔剥离器产生的核反应	中子，γ
5	真空室	加速粒子在真空室内撞击残气	中子，γ

以上中子和γ射线具有较强的穿透力，如果对其屏蔽不好则可以穿过屏蔽墙、防护门和屋顶对工作人员和公众会产生一定辐射危害。

②放射性废物

i 放射性废液：加速器冷却水被活化将产生的感生放射性核素主要是 ^{15}O、^{16}N，半衰期分别是 2.05min 和 7.3s，一般放置一段时间其活度可衰减到可忽略的水平。该项目回旋加速器采用密封循环水冷却方式，在正常运转状况下，不外排。

ii 放射性固废：靶废料，即靶窗、废弃的离子源灯丝等，一年产生约 50kg，为感生放射性废物。本项目将其置于铅废物桶中，暂存在放射性药品生产场所南部的储源室内，后交由厂家回收。

iii 放射性活化气体：加速器机房中的空气受中子照射后生成放射性活化气体，主要核素有 ^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F 和 ^{41}Ar，它们的半衰期在 7.3s～1.83h。本项目在加速器机房设置通风系统，通过排风系统经活性炭高效过滤装置过滤后排至风井自然上升至屋顶排放。同时回旋加速器停机后至少间隔 3~5min 工作人员才能进入回旋加速器机房换靶进行下一种核素的生产，产生的活化气体对机房内外环境影响较小。

（2）非放射性污染源项分析

i 回旋加速器机房内空气电离与空气中的氧相互作用会产生有毒气体臭氧和少量氮氧化物。其对人的呼吸系统、眼睛和粘膜有伤害，高浓度的臭氧和氮氧化物还可以使易燃材料的活性增强。本项目在拟在医技康复楼一层吊顶内设置 1 台排风机用于回旋加速器机房及相关辅助用房排风，风量为 2930m^3/h，回旋加速器机房体积为 238.46

m^3，可确保每小时排风不小于 4 次，产生的臭氧和氮氧化物对机房内外环境影响较小。

ii 根据医院提供的设计材料，回旋加速器机房排风管道以 45°斜穿过屏蔽墙（未破坏机房的屏蔽性能），拟在医技康复楼一层吊顶内设置 1 台排风机用于回旋加速器机房及相关辅助用房排风，经排风管道收集后排至排风井内，经排风井排至医技康复楼楼顶排放，排风机型号为 JSF-315 型风机，送风量为 2930m^3/h，风压为 767Pa，噪声源强为 78dB（A）。

由于排风机安装在一层吊顶内，排风机风口处产生的噪声功率级通过管道传输至室外，可减少风机产生的噪声，且风口拟安装管式消声器、接头处均采用软性接头和隔震基础，经过降噪后送排风机风口处的声功率级将大大减少，本项目按照保守估算，取排风机声源强度进行理论预测。

1.3.2 放射性药品的合成分装、质检、运输

①贯穿辐射

药物进行化学合成和分装时，在输送管道、药物合成、药量分装和质量检验时会产生γ射线。γ射线具有较强的穿透力，如果对其屏蔽不好则可以穿过屏蔽墙、防护门和屋顶对工作人员和公众会产生一定辐射危害。

②放射性废物

i 放射性气体：在放射性药物合成、分装、质检时，部分未被活性炭高效过滤净化的含 ^{18}F 的放射性气体经通风管道排入大气，会对环境产生污染；

ii 放射性液体废物：放射性药物合成、分装过程本身不产生放射性废液。放射性废液主要来自于药物合成、分装前对生产装置进行清洗，清洗废液中可能含有前一次工作时沾在设备表面的放射性物质。按照每次操作产生 2L 的放射性废液进行估算，且 ^{18}F 按操作 250 次/年估算，则放射性药物合成前共产生放射性废液 500L/a（0.5m^3/a）。产生的放射性废液由专用废物桶储存放置于核素生产场所南侧的储源室暂存，经过 10 个半衰期以上，作为医疗废物进行处置。

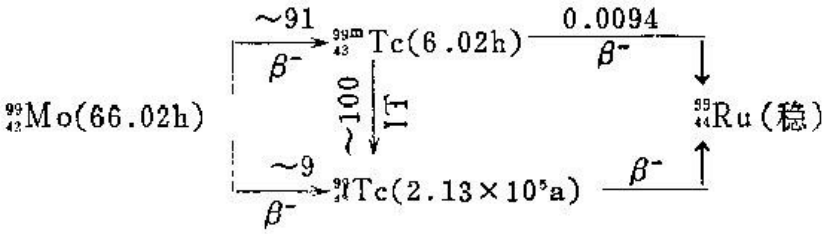
iii 放射性固体废物：放射性药物制取时产生放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜和废活性炭等，每年产生约 120kg；操作药物时主要产生的手套、口罩和清洁时用过的抹布、托布等，年产生量约 20kg，废物中核素为 ^{18}F 短寿命放射性核素。所有以上放射性废物包扎好编好日期后置于铅废物桶中，暂存在放射性药品生产场所南部的储源室。

1.4 核医学科诊疗项目

1）放射性污染源分析

①显像诊断

^{99}Mo 的衰变方式是，衰变时除发射β射线外还发射γ射线，^{99m}Tc 的主要衰变方式是同质异能跃迁，同时发射γ射线。



由于 ^{99}Tc 的半衰期长达 2.13×10^5 年，远远大于 ^{99}Mo 和 ^{99m}Tc 的半衰期，产生 ^{99}Tc 的相对活度量极小，因此，^{99}Tc 的放射性可以忽略不计。

^{99}Mo 及其衰变产物 ^{99m}Tc 等均非挥发性物质，洗脱过程在密闭发生器中负压条件下进行，洗脱一次的时间仅需 5 分钟左右，无放射性气体污染，但是放射性药物的分装、取药可能存在洒出污染危险，为安全起见，洗脱操作通常都在通风柜内进行。

SPECT-CT 显像诊断主要辐射源项为 ^{99}Mo-^{99m}Tc 衰变产生的γ射线和 CT 工作产生的 X 射线，操作放射性核素过程中对工作台面、地面等造成表面污染，以及产生放射性废液、废水和固体废弃物、病人排泄物。旧的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器由供源厂家回收，不会进入环境。

^{18}F 的衰变方式为β$^+$（97.1%）和 EC（2.9±2%），半衰期为 109.7min，β$^+$衰变发射正电子的最大能量为 635keV，平均能量为 203keV，发生湮灭反应发射γ射线，能量为 0.511MeV。

PET-CT 以锗-68 作为校准源，^{68}Ge 衰变方式为 EC（100%），半衰期为 280d，主要发射光子能量为 0.009～0.010MeV，衰变产物为 ^{68}Ga（半衰期为 68min）。

PET-CT 显像诊断主要辐射源项为 ^{18}F 衰变产生的γ射线、^{68}Ge 衰变产生的γ射线和 CT 工作产生的 X 射线，操作放射性核素过程中对台面、地面等造成表面污染，以及产生放射性废液、废水和固体废弃物、病人排泄物。旧的锗-68 校准源由供源厂家回收，不会进入环境。

②I-131 治疗甲癌和甲亢

I-131 发生β衰变时伴随发射 0.364MeV 的γ射线，物理半衰期 8 天，衰变量纲图见

图 9-11。主要的辐射源项为γ射线、β表面污染、放射性废液、废水、废气和固体废弃物、病人排泄物以及携带的 I-131 对他人的影响。

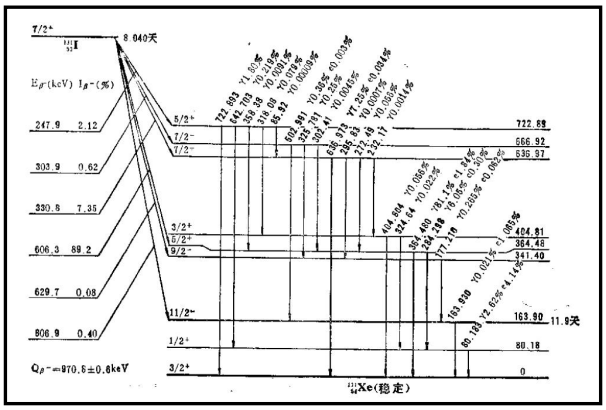


图 9-11　衰变量纲图

③ Sr-89 治疗恶性肿瘤的骨转移

Sr-89 是纯β射线体，不伴γ射线，其发射的β射线能量较高，在骨组织内的射程为 3mm。主要的辐射源项为β表面污染、放射性废液、废水和固体废弃物、病人排泄物。

（2）非放射性污染源项分析

核医学科诊疗项目区域设置 3 套排风装置，1 套送风装置。核医学科非放和低放区域共用 1 套排风系统，排风量型号为 JSF-250 型风机，排风量为 1890m^3/h，风压为 252Pa，噪声源强为 63dB（A）。核医学科分装注射室通风柜设置 1 套排风装置，风量较小，产生的噪声忽略不计。核医学科其他区域设置 1 套排风系统，排风量型号为 JSF-1-400 型风机，排风量为 3880m^3/h，风压为 256Pa，噪声源强为 72dB（A）。核医学科整个区域设置 1 套送风装置，送风机型号为 GX660D，送风量为 6000m^3/h，风压为 410Pa，噪声源强为 70dB（A）。

由于排风机和送风机均安装在核医学科一层吊顶内，排风机风口处产生的噪声功率级通过管道传输至室外，可减少风机产生的噪声，且风口拟安装管式消声器、接头处均采用软性接头和隔震基础，经过降噪后送排风机风口处的声功率级将大大减少，本项目按照保守估算，取排风机声源强度进行理论预测。同时本项目核医学科各送排风机相对于整个院区来说，可与回旋加速器的排风源强简化为 1 个声源，简化后声源源强为 78dB（A）。

1.5 DSA 等 X 射线装置

由 X 射线装置工作原理可知，X 射线是随机器的开关而产生和消失。因此，在非诊疗状态下不产生 X 射线，只有在开机处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在

开机期间，X 射线为污染环境的主要因子。

2、事故工况

2.1 医用直线加速器

加速器辐射最大可信事故通常在联锁系统失效，而加速器仍然处在工作状态时发生。此时如果医务人员或其他病人误入机房，或者当医务人员或病人陪护人员尚未离开机房时，可能会造成这些人员受到不必要的射线照射。事故工况下主要辐射污染因子为 X 射线。

从理论上讲，发生上述这种事故的几率极小，为防止事故的发生，在购置设备时要注意安全联锁设施的可靠性与稳定性的设计水平，使用过程中要经常定期检查和维护联锁系统及安全保障系统，仪器操作人员应严格按照操作规程进行运行操作，每次开机前必须要确认机房内无人员时，才能进行开机运行。

2.2 后装机

1）因工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装和换装放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。

2）设备检修时，工作人员误将治疗机的屏蔽装置打开或卸下放射源，都会对维修人员产生很强的辐射照射。

3）治疗机处于运行状态时，因故障，发生门机联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态的治疗室机房，受到不必要的辐射照射。

4）后装机换装放射源后产生的报废源，因管理不善发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。

2.3 回旋加速器

（1）生产放射性核素过程

①熔靶和靶水吸附事故

在加速器打靶时，由于冷却水失效（冷却水断流或流量减少），束流将局部靶片加热超过熔点，靶窗被打穿，靶水进入加速器真空系统，靶物质冷凝于真空管壁上，造成污染。另外，打靶完成后，靶水从靶室送到热室，如果输导太快，靶水有可能完全附着在聚四氟乙烯管壁内，不能进入工作箱。

预防及应急措施：生产前先检查靶密封膜片和传输管线的性能，确保性能良好；若发生熔靶和靶水吸附事故，加速器操作人员应立即停机，封闭加速器场所 24h，利

用 ^{18}F 等放射性核素半衰期短的特点，经自然衰变后，再由专业人员使用表面污染监测仪进入加速器机房确定污染范围，并配置合适的去污剂，合理选择去污方法，将去污产生的放射性废物收集装入放射性废物桶暂存，现场去污人员应做好个人防护，使用个人剂量报警仪。

②联锁系统失效导致误照射

加速器辐射最大可信事故通常在联锁系统失效，而加速器仍然处在工作状态时发生。此时如果医务人员误入机房，或者当医务人员尚未离开机房时，可能会造成这些人员受到不必要的射线照射。

预防及应急措施：工作人员必须对联锁系统定期检查、维护，确保始终保持在良好的工作状态下方可开机。加速器机房防护门与加速器设备之间应设有门机连锁装置，防护门上应设有警示信号灯，每当打开防护门时，加速器会自动断电并停机，不致出现误照射。只有当联锁装置或报警系统发生故障，操作人员还强行运行加速器时，才可能发生此类事故。因此，操作人员必须严格按照加速器操作规程操作，有效防止事故的发生。

③误操作致检修人员误照射

回旋加速器检修时，工作人员误将回旋加速器的屏蔽装置打开，会使检修人员受到不必要的射线照射。

预防及应急措施：加强工作人员的技能培训与考核，操作人员必须严格按照加速器操作规程操作，有效防止事故的发生。检修人员须佩戴个人剂量报警仪进入加速器机房，发生此类事故时，操作人员应及时关闭加速器屏蔽装置，检修人员及时撤离机房。

（2）放射性药品的合成分装、质检、运输

①放射性药物制取时反应器倾翻或破裂，会使工作人员受到不必要的射线照射。

预防及应急措施：用一次性手套和吸水纸进行清理，将污染的防渗吸水纸、手套和其他受到污染的物品放进塑料袋再转移到放射性废物桶。工作人员清除污染衣物，并用温水冲洗污染皮肤。

②热室内通风系统或合成柜、分装柜的通风设备失效发生故障时，会使含 ^{18}F 等的放射性气体在热室聚集，工作人员吸入后，造成内照射。

预防及应急措施：每次操作前须检查热室内通风系统或合成柜、分装柜的通风设

备是否处于良好的工作状态。发生此类事故时，应立即关闭操作台的各进、出风口，防止内部气体外溢，同时工作人员撤离、封锁现场。待自然衰变后，请设备厂家对通风设备进行修理或更换。

2.4 核医学科诊疗项目

1）操作人员违反操作规程或操作不慎打翻药物，产生了较多的放射性废物；

2）操作台面或仪器设备受到放射性沾污；

3）储源分装室内通风柜通风设备失效，导致放射性废气在储源分装室聚集，工作人员吸入后，造成内照射；

4）放射性核素被盗、丢失等，并可能通过食物链转移或伤口造成人体内照射危害。

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

2.5 DSA 等 X 射线装置

1）由于管理不善，设备运行时，无关人员若误入机房，因机房为高辐射区，人员会受到不必要照射。

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

3）设备进行维修时，若发生意外出束，可导致维修人员受到不必要的照射。

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

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施：

1、工作场所分区

本项目涉及的医用直线加速器机房位于内科病房楼负二层南侧，机房东侧为 CT 模拟定位机及控制室，南侧为土壤层，西侧为地下停车库，北侧为控制室和水冷机房，楼上为院区道路，楼下为土壤层。

本项目涉及的后装机房位于内科病房楼负二层南侧，机房东侧为土壤层，南侧为楼梯间，西侧为过道，北侧为控制室和准备间，楼上为备用机房，楼下为土壤层。

本项目涉及的核医学科位于医技康复楼一层，核医学科东侧为医疗街，南、西、北侧为院区过道，楼下为地下车库，楼上为放射科。

本项目涉及的介入中心 DSA 机房位于医技楼一层西侧，DSA1 号、2 号机房东侧为导管室和设备间，南侧为污物廊，西侧为洁净走廊，北侧为换车间和候诊大厅，DSA 3 号机房东侧为污物廊，南侧为介入中心走廊，西侧为设备间和导管室，北侧为控制廊，介入中心各 DSA 机房楼下为职工餐厅，楼上为中心供应室。

本项目涉及的内镜中心 ERCP 机房位于医技楼三层东侧，机房东侧、西侧为过道，南侧为操作室，北侧为卫生间和设备间，楼下为检验科会议、示教室，楼上为病理科诊断室。

本项目涉及的手术室 DSA 机房位于医技楼三层西侧，机房东侧、西侧为过道，南侧为 CT 机房，北侧为设备间和楼梯间，楼下为中心供应室，楼上为绿化屋面。

本项目涉及的模拟定位机机房位于内科病房楼负二层南侧，机房东侧为预留机房，南侧为控制室，西侧为直线加速器机房，北侧为准备室和体膜室，楼下为土壤层，楼上为备用机房。

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基标准》（GB18871-2002）中的要求应将辐射工作场所划分控制区和监督区，结合该项目核技术利用的特点，该项目重点关注非密封放射性物质工作场所——核医学科的分区管理，其他不属于非密封放射性物质工作场所的——放疗科、介入中心等，则将射线装置机房划为控制区，控制室、辅助设备间及射线装置机房防护门外 1m 宽范围划分监督区。

按照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求，核医学科位于医技康复

楼一层，核医学科东侧为医疗街，南、西、北侧为院区过道，楼下为地下车库，楼上为放射科。所处区域相对独立，有独立出入口。核医学科按照控制区、监督区进行分区管理。①回旋加速器室、热室房间、外包间、准备间、放化实验室、无菌检测、全检质控室、阳性对照、储源室、敷贴室、分装注射室、废物间、运动负荷实验室（抢救室）、PET/CT 候诊室、VIP 候诊室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、留观候检室、自动分装室、甲亢病房、甲癌病房等划为控制区。②核医学科其他区域划为监督区。

病患路线：①显像诊断病人由核医学科北侧进入，依次经过分装注射室、PET/CT 候诊室、VIP 候诊室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、留观候检室等，最后从核医学科南侧病人出口离开；②甲癌治疗病人由核医学科西侧病人入口进入，依次经过自动分装室、甲癌病房、留观候检室、SPECT/CT 机房检查后由至核医学科南侧病人出口进行放射性核素量检测达标后离开；③甲亢治疗病人由核医学科西侧病人入口进入，依次经过自动分装室、甲亢病房后由核医学科南侧甲亢病人出口离开；④Sr-89 核素治疗病人从核医学科北侧进入核医学科区域，经过分装给药室和注射室服药或注射药物后从核医学科南侧出口离开。

医生路线：①显像治疗区域医护人员由核医学科北侧的医生出入口进入核医学科区域，分别通过医生通道进入分装注射室、控制室等，操作完成后原路径返回；②回旋加速器生产正电子放射性核素的医护人员由核医学科东侧进入，操作完成后原路径返回。

药物通道：①医院回旋加速器生产的 F-18 放射性药物经回旋加速器通道运送至注射室；②购进的放射性药物（^{99}Mo-^{99m}Tc、^{89}Sr）在开诊前无人时经核医学科南侧的放射源入口，经回旋加速器通道运送至核医学科分装注射室；③放射性核素（^{131}I）在开诊前无人时经核医学科西侧的病人入口，运送至自动分装室内。

排风管道气流方向：本项目核医学科区域设置 5 套排风系统，回旋加速器室和核医学科各储源室共用 1 套排放系统，热室设置 1 套单独的机械排风装置，分装注射室通风橱设置 1 套单独的机械排风装置，核医学科非放和低放区域共用 1 套排风系统，核医学其他区域设置 1 套排风系统，上述排风口均设置活性炭过滤措施，引至所在建筑物屋脊排放。

核医学科人员流向图详见图 10-1，药物流向图详见图 10-2。

综上所述，本项目核医学科各区之间通过门禁系统进行分隔，病人在用药后，分别进入相应侯诊室，病人与医务人员实行双通道通行，病人与医务人员能做到完全分离。因此，阜阳肿瘤医院新区核医学科布局基本合理。

2、安全防护措施

阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目采取的安全防治措施见表 10-1。

表 10-1 安全防治措施

项目		采取的污染防治措施
屏蔽防治措施	医用直线加速器	本项目 4 台加速器机房均位于内科病房楼负二层放疗科，均采用密度为 2.35g/cm^3 混凝土浇筑。1 号加速器机房东侧主屏蔽墙厚为 3.0m，次屏蔽墙为 1.5m，南侧屏蔽墙厚为 1.5m，西侧主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙为 1.5m，北侧迷道内墙厚为 1.2m，迷道外墙厚为 1.2-1.4m，顶棚主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙厚为 1.6m；2 号加速器机房东侧主屏蔽墙厚为 2.7m，次屏蔽墙为 1.5m，南侧屏蔽墙厚为 1.5m，西侧主屏蔽墙厚为 3.0m，次屏蔽墙为 1.5m，北侧迷道内墙厚为 1.2m，迷道外墙厚为 1.2-1.4m，顶棚主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙厚为 1.6m；3 号加速器机房东、西侧主屏蔽墙厚为 2.7m，次屏蔽墙为 1.5m，南侧屏蔽墙厚为 1.5m，北侧迷道内墙厚为 1.2m，迷道外墙厚为 1.2-1.4m，顶棚主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙厚为 1.6m。4 号加速器机房东侧主屏蔽墙厚为 2.7m，次屏蔽墙为 1.5m，南侧屏蔽墙厚为 1.5m，西侧主屏蔽墙厚为 2.7m，次屏蔽墙为 1.5m，北侧迷道内墙厚为 1.2m，迷道外墙厚为 1.2-1.4m，顶棚主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙厚为 1.6m。四台加速器机房防护门铅当量均为 15mm 铅当量。
	后装机	①机房采用密度为 2.35g/cm^3 混凝土浇筑。西侧为迷道，迷道内墙厚为 0.6m，迷道外墙厚为 0.7m；东、南、北侧墙厚均为 0.7m，顶棚为 0.7m。②防护门铅当量为 5mm。
	核医学科	①回旋加速器机房：机房采用密度为 2.35g/cm^3 混凝土浇筑，机房采用密度为 2.35g/cm^3 混凝土浇筑，东侧屏蔽墙壁厚为 0.8m；南侧屏蔽墙壁厚为 0.8m；西侧屏蔽墙壁厚为 0.8m；北侧屏蔽墙壁厚为 0.8m；顶棚屏蔽厚为 0.8m；防护门屏蔽为 60mm 铅当量、150mm 聚乙烯。加速器制备的放射性同位素经管道自动传输到合成热室中，此管道设置在地沟内，地沟两侧及上方用 30mm 铅砖屏蔽。 ②热室：密度为 2.35g/cm^3 混凝土浇筑。东侧屏蔽墙壁厚 0.3m；南侧屏蔽墙壁屏蔽墙壁厚 0.3m；西侧屏蔽墙壁厚 0.3m；北侧屏蔽墙壁厚 0.8m，顶棚屏蔽厚为 0.3m，防护门为 15mmPb。热室内合成柜和分装柜正面为 70mm 铅当量，其余五面为 60mm 铅当量。药物传输地沟采用 30mmPb 铅砖覆盖。 ③核医学科诊疗区域甲癌病房墙体使用 480mm 厚页岩实心砖（密度不小于 1.65g/cm^3），PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房墙体使用 370mm 厚页岩实心砖，其余墙体均使用 240mm 厚页岩实心砖；核医学科诊疗区域甲癌病房顶棚使用 300mm 厚钢筋混凝土+40mm 厚细石混凝土，其他区域的顶棚均使用 250mm 厚钢筋混凝土；核医学科诊疗区域地板均采用 350mm 厚钢筋混

		凝土楼板+0.95m 回填土。 ③PET 机房防护门和观察窗为 8mm 铅当量，SPECT/CT 机房防护门和观察窗均为 4mm 铅当量。甲癌病房防护门为 8mm 铅当量，其他防护门均为 4mm 铅当量。 ④PET-CT 诊断项目通风柜正面铅当量为 50mmPb，其他各侧铅当量为 40mmPb，SPECT-CT 诊断项目通风柜铅当量为 20mmPb，针筒有专用防护盒和防护套，防护铅当量分别为 20mmPb 和 6mmPb，PET-CT 注射窗口防护铅当量为 30mm，SPECT-CT 注射窗口防护铅当量为 20mm。分装注射室、PET/CT 候诊室、VIP 室、SPECT/CT 候诊室、储源室和留观室等设置铅当量为 20mm 的放射性废物储存衰变桶。
	DSA	①介入中心 DSA1 号机房：7.60m×5.54m；2 号机房：7.60m×5.54m；3 号机房：7.60m×5.54m，内镜中心 ERCP 机房：7.29m×4.53m；手术室 DSA 机房：5.35m×8.79m。②4 台 DSA 和 ERCP 机房四周墙体均为 3mm 厚的铅板，顶板和底板厚为 180mm 混凝土+38mm 硫酸钡水泥（密度为 2.7g/cm^3），防护门和观察窗铅当量为 3mm。
	III类射线装置	①放疗科模拟定位机机房尺寸为 5.76m×7.26m。②四周墙体均为 240mm 页岩实心砖墙+38mm 硫酸钡水泥（密度为 2.7g/cm^3），顶板为 150mm 钢筋混凝土+38mm 硫酸钡水泥（密度为 2.7g/cm^3）和。防护门和观察窗为 3mmPb。
安全措施		回旋加速器机房内、药物制备室、直线加速器和后装机应安装固定式剂量率报警仪
		回旋加速器机房应设置门机联锁装置，机房内应设置紧急停机开关和紧急开门按键。
		医用直线加速器机房和后装机机房拟设置门机联锁装置，以及机房内设置紧急开门按钮
		后装机机房内安装固定式剂量监测报警装置，并保证正常使用
		后装机控制台和后装机设备表面人员易触及位置以及治疗机房内墙面各设置 1 个急停开关
		机房外均拟张贴警示标志、安装工作状态指示灯，放射性废物桶拟张贴电离辐射标志
		控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流
		岗位职责和操作规程等工作制度拟在合适张贴上墙
个人防护		辐射工作人员需在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习，考核取得合格成绩单方可上岗
		辐射工作人员均须佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测
		应至少购置 1 台活度计、1 台表面污染仪、1 台剂量巡测仪
		配置铅衣、铅橡胶颈套、铅橡胶围裙、铅防护眼镜、铅屏风等防护用品
管理措施		建立以院领导为第一责任人的辐射安全与防护管理领导小组构架，制定了《辐射安全管理规定》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射防护管理制度》、《辐射防护安全保卫制度》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射环境监测方案》、《辐射工作人员健康管理制度》、《辐射事故应急预案》、《放射性同位素使用登记表》、《射线装置检修维护制度》、《核医学科工作制度》、

	《核医学科安全管理制度》、《放射性核素订购领取保管使用制度》、《核医学科仪器管理操作保养和维修制度》等规章制度。

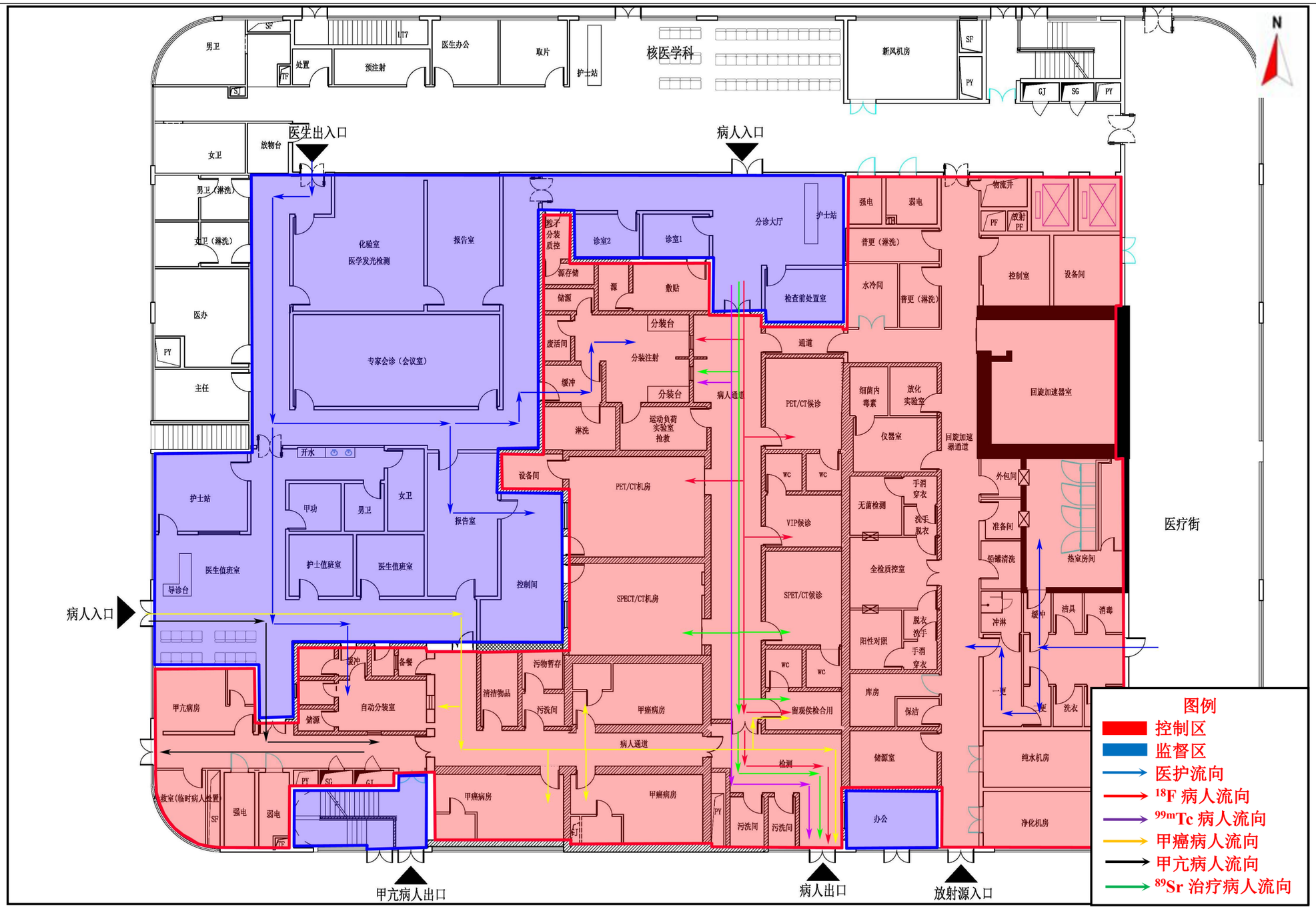


图 10-1　核医学科分区及人员流向图

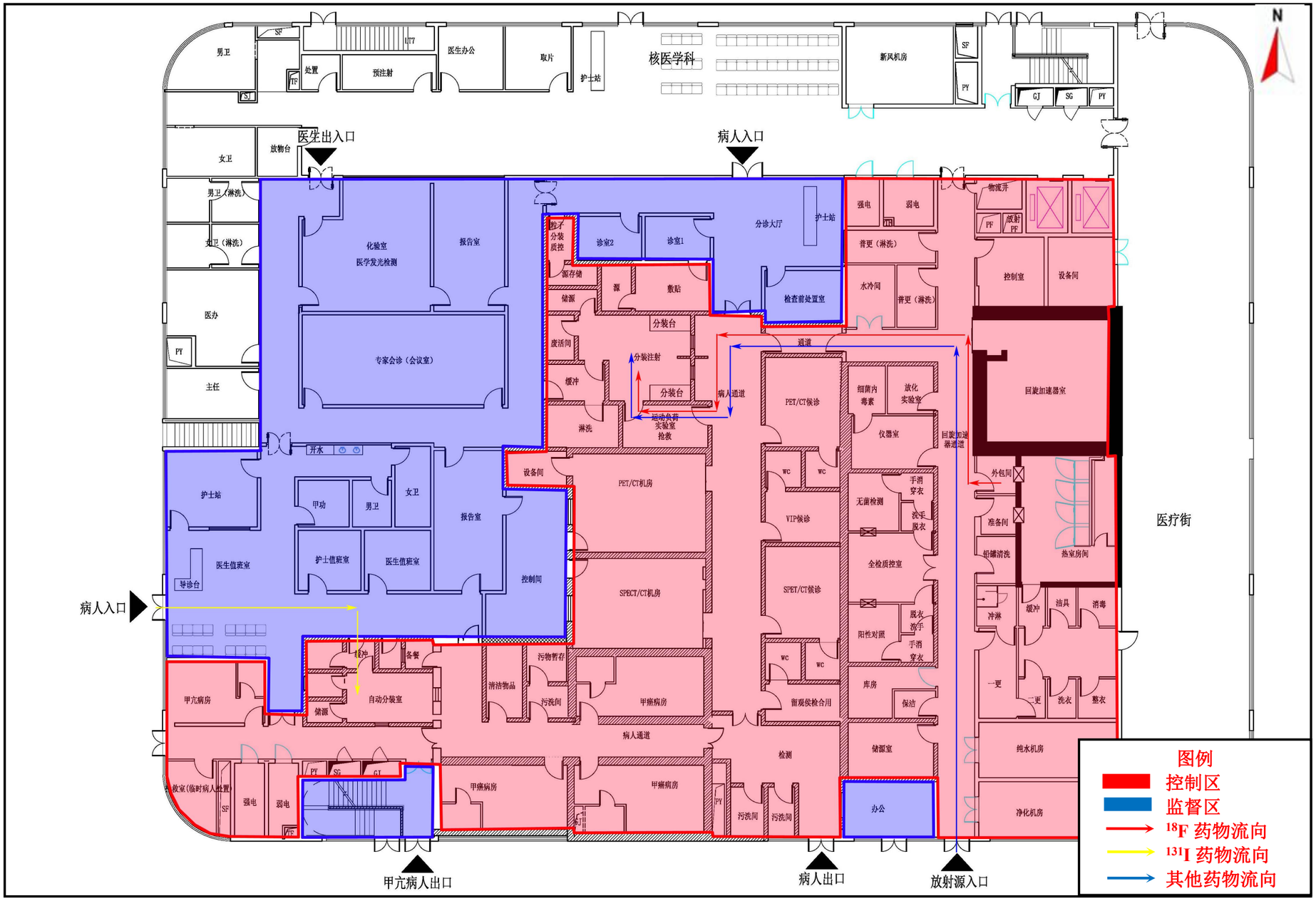


图 10-2　核医学科放射性药物流向图

三废的治理：

1、直线加速器加速器

加速器机房通风管道均以“Z”型管道穿过屏蔽墙（未破坏机房的屏蔽性能），医院拟在负二层送风机房内设置 2 台送风机，其中 1 台送风机为 2 间加速器机房和相关辅助用房进行送风，型号为 GX650D 风机，送风量为 5000m^3/h，风压为 310Pa，噪声源强为 62dB（A），另外 1 台送风机为 2 间加速器机房、1 间后装机机房及相关辅助用房进行送风，型号为 GX670D 风机，送风量为 7000m^3/h，风压为 410Pa，噪声源强不大于 60dB（A）。

本项目每间加速器安装 1 台排风机进行排风，排风机安装在负一层吊顶内，经排风管道收集后经排风井排至内科病房楼楼顶排放，4 台排风机型号均为 JSF-280，排风量均为 2650m^3/h，风压为 316Pa，噪声源强不大于 71dB（A）。

2、后装机

①废气

后装机机房通风管道均以 45°斜穿过屏蔽墙（未破坏机房的屏蔽性能），后装机房与加速器机房共用 1 台送风机，送风机位于负二层送风机房内，型号为 GX670D 风机，送风量为 7000m^3/h，风压为 410Pa，噪声源强不大于 60dB（A）。

②放射性固废

后装机使用的放射源 ^{192}Ir，一般约半年更换一次，废源由放射源供应厂家负责调换、运输、处置，医院负责日常安全管理。

3、核医学科

（1）回旋加速器

①废气

加速器机房中的空气受中子照射后生成放射性活化气体，主要核素有 ^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F 和 ^{41}Ar，它们的半衰期在 7.3s～1.83h。本项目在加速器机房设置通风系统，通过排风系统经活性炭过滤装置过滤后排至屋顶排放。

在放射性药物合成、分装过程中会产生放射性废气。热室配备药物专用超净层流通风柜，放射性废气通过通风系统经活性炭高效过滤装置过滤后排至屋顶排放，对外环境影响较小。

回旋加速器机房排风管道以 45°斜穿过屏蔽墙（未破坏机房的屏蔽性能），拟在医

技康复楼一层吊顶内设置 1 台排风机用于回旋加速器机房及相关辅助用房排风，经排风管道收集后排至排风井内，经排风井排至医技康复楼楼顶排放，排风机型号为 JSF-315 型风机，送风量为 2930m^3/h，风压为 767Pa，噪声源强为 78dB（A）。

②放射性固废

靶废料，即靶窗、废弃的离子源灯丝等，为感生放射性废物，放射性药物制取时产生放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜和废活性炭等。本项目将其置于铅废物桶中，暂存在放射性药品生产场所南侧的储源室，后交由厂家回收。

药物生产过程中操作药物时产生的手套、口罩和清洁时用过的抹布、托布等，废物中主要核素为 ^{18}F 等短寿命放射性核素。所有以上放射性废物包扎好编好日期后置于铅废物桶中，暂存在放射性药品生产场所南侧的储源室。经过十个半衰期以上衰变后，作为一般医疗废物处置。

③放射性废水

加速器冷却水被活化将产生的感生放射性核素主要是 ^{15}O、^{16}N，半衰期分别是 2.05min 和 7.3s，一般采取放置一段时间其活度可衰减到可忽略的水平。该项目回旋加速器采用密封循环水冷却方式，在正常运转状况下，不外排。

药物合成、分装前对生产装置进行清洗，清洗废液中可能含有前一次工作时沾在设备表面的放射性物质，产生的放射性废液由专用废物桶储存放置于核素生产场所南侧的储源室暂存，经过 10 个半衰期以上，作为医疗废物进行处置。

药物合成、分装过程中产生的放射性废水单独收集后排至衰变池处理，经衰变池处理达标后，依托医院自建污水处理站处理后经市政管网进入颍东区污水处理站处理，最终排入济河。

（2）核医学科诊疗场所

①放射性废水：该项目放射性废水单独收集。医院拟在核医学科东南侧设置地埋式并联衰变池一座（由 8 个小池组成），衰变池四周及顶部为 300mm 混凝土（密度为 2.35g/cm^3）浇筑而成，总容积为 240m^3。经衰变池处理达标后，依托医院自建污水处理站处理后经城市污水管网进入颍东区污水处理厂处理，最终排入济河。

②放射性废气：该项目在在淋洗分装室设置一个防护为 20mmPb 的通风柜，淋洗、分装和测试操作均在通风柜内进行，通风柜设有独立通风管道，引至门诊楼楼顶排放，放射工作场所采用统一的机械排风系统，排风管道气流方向从低活度区到高活度区排

至该建筑物屋脊上方。上述排风管道内均设置活性炭过滤措施，活性炭定期更换。

③废弃放射源：废弃校准放射源 ^{68}Ge 和 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器由供货商回收。本项目校准使用的放射源 ^{68}Ge，当活度达不到校准要求时，由厂家更换后回收，^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器一般使用一周后，因放射性活度下降已无实际医用价值，便连同原包装容器退还给供方。

④放射性固废：放射性药品瓶、一次性注射器、服用器皿、试管、手套和纱布、废弃活性炭等放射性废物则储存在储源室及注射准备室内的铅废物桶（20mmPb）中，10 个半衰期后作为一般医疗废物处置。

⑤核医学科诊疗项目区域设置 3 套排风装置，1 套送风装置。核医学科非放和低放区域共用 1 套排风系统，排风量型号为 JSF-250 型风机，排风量为 1890m^3/h，风压为 252Pa，噪声源强为 63dB（A）。核医学科分装注射室通风柜设置 1 套排风装置，风量较小，产生的噪声忽略不计。核医学科其他区域设置 1 套排风系统，排风量型号为 JSF-1-400 型风机，排风量为 3880m^3/h，风压为 256Pa，噪声源强为 72dB（A）。核医学科整个区域设置 1 套送风装置，送风机型号为 GX660D，送风量为 6000m^3/h，风压为 410Pa，噪声源强为 70dB（A）。

4、DSA

DSA 在运行状态下产生少量的臭氧和氮氧化物，无放射性废气、废水和固体废弃物产生。臭氧及氮氧化物气体对人体健康有害。因此本项目 DSA 机房拟设置动力排风，进行通风换气。

事故预防措施：

医务人员必须严格按照操作程序进行，防止事故照射的发生，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射，工作人员每次上班时首先要检查防护措施是否正常，若存在安全隐患，应立即修理，恢复正常。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和原国家环境保护总局 环发【2006】145 号文件之规定，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，采取必要防范措施，并在 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，涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响：

本项目建设阶段主要是对核技术应用项目用房进行防护施工和装修，由于本项目防护施工和装修工程规模相比主体工程很小，且与主体工程同步施工完成，因此本项目的施工不会加重主体工程施工对环境的影响，也不会延长施工期的环境影响。根据主体工程环评可知，在施工期设置围挡封闭防护、场地硬化施工并洒水降尘、砂石材料覆盖、运输车辆保洁、限速及规范装载；建设临时沉淀池，施工生产废水沉淀后回用处理施工废水；建设临时厕所和化粪池预处理后排入市政污水管网处理施工人员生活污水；施工开挖方量及时回填，产生弃土及时外运；建筑垃圾集中清运至制定地点，生活垃圾分类收集，能回收利用的回收利用，不能回收利用的交由环卫部门处理等相关措施后，施工期的环境影响是可以接受的。因此，此次评价不再对建设阶段进行详细环境影响分析。

运行阶段对环境的影响：

1、非辐射环境影响分析

1.1大气环境影响分析

（1）医用直线加速器

根据设计图纸，加速器机房新风口位于加速器机房的上部，排风口位于加速器机房下部，进风口和排放口斜对角设置，进排风风管均以“Z”型管道穿迷道防护门上方屏蔽墙（未破坏加速器机房的屏蔽性能）。风管穿墙示意图详见图 11-1。本项目每台直线加速器机房均在分别负一层吊顶内安装 1 台排风机，机房排风均由排风井引至内科病房楼楼顶排放，直线加速器机房每台排风机排风量为 2650m^3/h，加速器体积均约为 346m^3，能确保满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中关于通风换气次数的要求（机房通风换气次数应不小于 4 次/h）。

（2）后装机

根据设计图纸，后装机机房新风口位于后装机房的上部，排风口位于后装机房下部，新风口和排风口斜对角设置，风管均以 45°斜穿迷道防护门上方屏蔽墙（未破坏加速器机房的屏蔽性能）。风管穿墙示意图详见图 11-1。本项目后装机机房在负一层吊顶内安装 1 台排风机，机房排风均由排风井引至内科病房楼楼顶排放，后装机机房排风机排风量为 1890m^3/h，加速器体积为 186m^3，能确保满足《放射治疗放射防护要

求》（GBZ121-2020）中关于通风换气次数的要求（机房通风换气次数应不小于 4 次/h）。

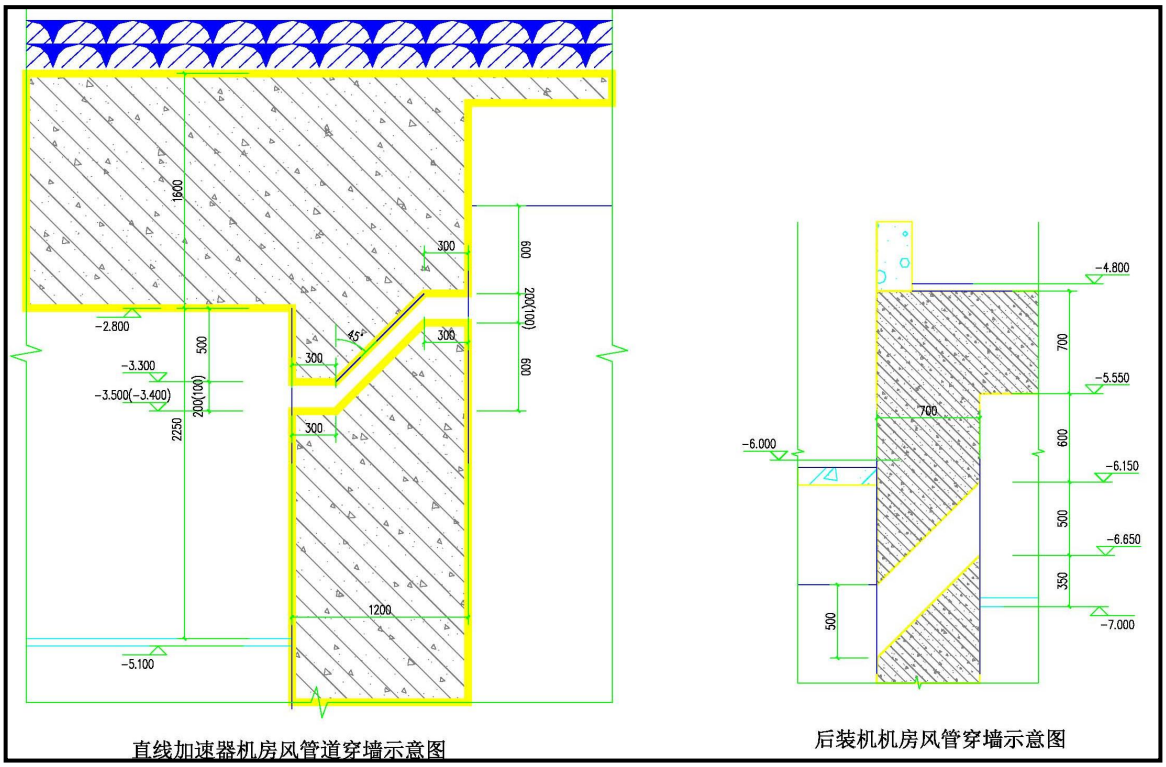


图 11-1　医用直线加速器、后装机机房风管穿墙示意图

（3）回旋加速器

回旋加速器机房内空气电离与空气中的氧相互作用会产生有毒气体臭氧和少量氮氧化物，若在机房内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害。另外，加速器机房中的空气受中子照射后会生成放射性活化气体，主要核素有 ^{11}C，^{13}N，^{15}O、^{18}F 和 ^{41}Ar。根据医院提供的设计材料，回旋加速器的废气处理排放系统由埋置在自屏蔽体中的延迟管组成，可处理加速器生产过程中产生的放射性废气。废气系统的输出端可直接连接在机房通风系统通过专用排风系统经活性炭高效过滤装置过滤后排至风井自然上升至屋顶排放，产生的废气对机房内外环境影响较小。

在放射性药物合成、分装过程中会产生放射性废气。热室配备药物专用超净层流通风柜，放射性废气通过通风系统经活性炭高效过滤装置过滤后排至风井自然上升至屋顶排放，对外环境影响较小。质检室、放化实验室仅操作少量放射性核素，产生的少量放射性废气通过空调通风换气，对外环境影响较小。

放射性气体排风管道设置止回阀和风量调节阀，防止气流的逆向流通，避免出现高活性区废弃流通到低活性区。通风管道中设计活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶

胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度。过滤吸附装置为可更换式，可定期（3 个月）或根据排风压差计的读数估算过滤器的堵塞情况及时更换过滤器，吸附材料更换下来后作为放射性固废处理。

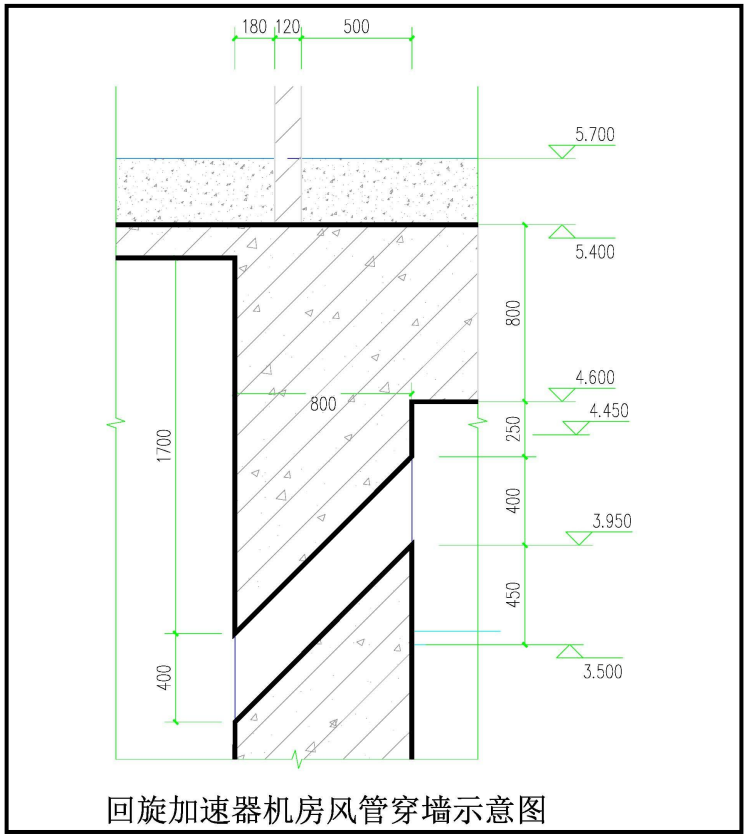


图 11-2　回旋加速器机房风管穿墙示意图

1.2声环境影响分析

由污染源分析可知，医院在负二层送风机房内设置 2 台送风机，其中 1 台送风机为 2 间加速器机房和相关辅助用房进行送风，型号为 GX650D 风机，送风量为 5000m^3/h，噪声源强为 62dB（A），另外 1 台送风机为 2 间加速器机房、1 间后装机机房及相关辅助用房进行送风，型号为 GX670D 风机，送风量为 7000m^3/h，噪声源强不大于 60dB（A）。

4 台直线加速器机房各安装 1 台排风机，每台排风机的噪声源强不大于 71dB（A），后装机机房设置 1 台排风机，排风机噪声源强不大于 60dB（A）。排风管道均引至内科病房楼楼顶排放，因此加速器机房的排风机和后装机机房的排风机可等效为 1 个等效声源，等效声源的噪声源强不大于 77dB(A)。

核医学科区域共计设置 5 套排风装置和 1 套送风装置，核医学科各风机所在位置相对于院区边界来说，可简化为一个点声源，简化后噪声源强为 78dB（A）。

由本项目平面布置图可知，本项目声环境影响评价范围内无敏感目标，因此，本项目主要关注医院四周边界。各噪声源与四周边界的距离见表 11-1。

表 11-1 噪声源与医院四周边界距离一览表

噪声源	东侧距离（m）	南侧距离（m）	西侧距离（m）	北侧距离（m）	备注
放疗科1号送风机	392.1	85.6	166.3	188.9	2 间加速器机房送风
放疗科2号送风机	323.4	85.6	234.2	188.9	2 间加速器、1 间后装机机房送风
放疗科排风机	331.3	105.3	226.3	171.2	/
核医学科风机	344.1	151.2	208.0	124.6	/

预测采用《环境影响评价技术导则-声环境》（HJ2.4-2009）的模式进行：

① 点声源模式

$$L_A(r)=L_A(r_0)-20\lg(r/r_0) \qquad 式（1）$$

式中：L_A（r）、L_A（r_0）分别为距声源 r、r_0 处的等效 A 声级（dB(A)）；

r、r_0 为接受点距声源的距离（m）。

② 噪声叠加模式

$$L_A(r)=10\lg\left(\frac{1}{T}\sum_{i=1}^{n}t_i 10^{0.1LAi(r)}\right) \qquad 式（2）$$

式中：L_A（r）为距声源 r 处的总 A 声级（dB(A)）；

n 为 n 个声源；

T 为预测计算的时间段，S；

t_i 为 i 声源在 T 时段内的运行时间，S；

L_{Ai}（r）为第 i 个声源的声级。

根据预测、主要施工机械及机械加工在不同距离处的噪声影响值见下表。

表 11-2 排风机噪声对院区边界预测参数与结果

预测点位	L_A（dB(A)）	r_0(m)	r（m）	本项目贡献值（dB(A)）	背景值（dB(A)）	预测值（dB(A)）	噪声增量（dB(A)）
N1 东场界外 1m	62	1	392.1	10.1	52.5	52.5	0
	60	1	323.4	9.8	52.5		

	77	1	331.3	26.6	52.5		
	78	1	344.1	27.3	52.5		
N2 南场界外 1m	62	1	85.6	23.4	51.7	51.7	
	60	1	85.6	21.4	51.7		
	77	1	105.3	36.6	51.7		
	78	1	151.2	34.4	51.7		
N3 西场界外 1m	62	1	166.3	17.6	53.2	53.2	
	60	1	234.2	12.6	53.2		
	77	1	226.3	29.9	53.2		
	78	1	208.0	31.6	53.2		
N4 北厂界外 1m	62	1	188.9	16.5	52.0	52.0	
	60	1	188.9	14.5	52.0		
	77	1	171.2	32.3	52.0		
	78	1	124.6	36.1	52.0		

由计算结果可知，该项目投入运行后，医院厂界环境噪声值变化很小，本项目运行后对院区厂界的预测值为9.8～36.6dB（A）。根据医院实际情况及治疗量，夜间放疗中心几乎不运行，不会改变院区厂界及周边环境保护目标声环境现状水平，本项目运行期四侧院区厂界噪声预测值满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2类标准的限值要求。

1.3 废水和固废处理措施依托可行性分析

根据《阜阳市肿瘤医院新区（阜阳市颍东区人民医院）建设项目环境影响报告书》的要求医院自建有污水处理站，污水处理站设计处理能力为 1200m^3/d，医院日产生污水量为 1123.5744m^3，污水采用二级生化+深度处理+消毒工艺处理医院废水（具体处理工艺见图 11-2），外排废水水质可满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理标准要求，排入市政污水管网，送入颍东污水处理厂，经处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排入济河。

根据污染源项分析，本项目运行后，日均产生放射性废水量为 1.17m^3/d，现有污水处理站能满足本项目产生的废水量，同时，本项目产生的放射性废水经衰变池处理

后，废水水质与普通医疗废水基本相同，污水水质满足现有污水处理站的进水水质要求。因此本项目产生的废水（放射性废水经衰变出处理后）接入院区污水处理站是可行的。

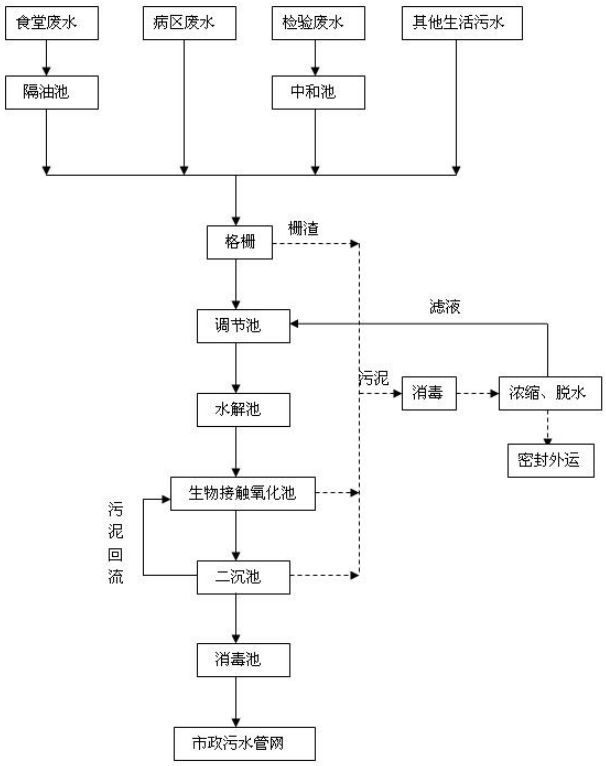


图 11-3 医院污水处理站处理工艺

根据《阜阳市肿瘤医院新区（阜阳市颍东区人民医院）建设项目环境影响报告书》的要求，医院拟在内科病房楼地下二层设置 1 间危废暂存间，面积 120m^2，医院全院产生医疗废物为 993.7kg/d，约合 362.689/a。由本项目污染源项分析可知，本项目固体废弃物主要为工作人员产生的生活垃圾及医疗过程中产生的医疗废物，相对产生的固体废物较少，本项目产生的医疗废物依托医院医疗废物暂存场所进行暂存，暂存后由有资质的单位（阜阳市利康医疗废物处置有限公司）处理，生活垃圾由市政环卫定期清运处理。本项目生活垃圾和医疗废物依托医院现行固体废物处理措施处理是可行的（医疗废物集中处置合同详见附件六）。

2、医用直线加速器辐射环境影响分析

2.1 医用直线加速器机房屏蔽设计分析

（1）医用直线加速器机房屏蔽设计

本项目 4 台加速器机房均位于内科病房楼负二层放疗科，均采用密度为 2.35g/cm3 混凝土浇筑。1 号加速器机房东侧主屏蔽墙厚为 3.0m，次屏蔽墙为 1.5m，南侧屏蔽墙

厚为 1.5m，西侧主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙为 1.5m，北侧迷道内墙厚为 1.2m，迷道外墙厚为 1.2-1.4m，顶棚主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙厚为 1.6m；2 号加速器机房东侧主屏蔽墙厚为 2.7m，次屏蔽墙为 1.5m，南侧屏蔽墙厚为 1.5m，西侧主屏蔽墙厚为 3.0m，次屏蔽墙为 1.5m，北侧迷道内墙厚为 1.2m，迷道外墙厚为 1.2-1.4m，顶棚主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙厚为 1.6m；3 号加速器机房东、西侧主屏蔽墙厚为 2.7m，次屏蔽墙为 1.5m，南侧屏蔽墙厚为 1.5m，北侧迷道内墙厚为 1.2m，迷道外墙厚为 1.2-1.4m，顶棚主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙厚为 1.6m。4 号加速器机房东侧主屏蔽墙厚为 2.7m，次屏蔽墙为 1.5m，南侧屏蔽墙厚为 1.5m，西侧主屏蔽墙厚为 2.7m，次屏蔽墙为 1.5m，北侧迷道内墙厚为 1.2m，迷道外墙厚为 1.2-1.4m，顶棚主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙厚为 1.6m。四台加速器机房防护门铅当量均为 15mm 铅当量。

本项目拟建 4 台加速器机房东侧为 CT 模拟定位机及控制室，南侧为土壤层，西侧为地下停车库，北侧为控制室和水冷机房，楼上为院区道路，楼下为土壤层。医用直线加速器机房设计结构及预测点位示意图详见图 11-4（预测点取墙体或者防护门外 0.3m 处，顶棚取距离地面高 1m 处）。

（2）主屏蔽宽度符合性分析

根据《放射治疗机房的屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）公式：

$$Y_P = 2\left[\left(a + SAD\right)\cdot \tan\theta + 0.3\right] \qquad 式（3）$$

式中：Y_P—机房有用线束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，m；

θ—治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

α—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。

将各参数带入公式（3）得出本项目的主屏蔽宽度核算结果见表 11-3。

表 11-3 直线加速器机房主屏蔽墙宽度计算参数及计算结果一览表

主屏蔽区	1 号加速器机房		2 号加速器机房		3 号加速器机房		4 号加速器机房		屋顶
	东侧	西侧	东侧	西侧	东侧	西侧	东侧	西侧	
SAD（m）	1	1	1	1	1	1	1	1	1
θ（°）	14	14	14	14	14	14	14	14	14

α（m）	6.60	4.90	6.30	6.60	6.30	6.30	4.80	6.30	5.80
Yp 计算值	4.38	3.54	4.24	4.39	4.24	4.24	3.49	4.24	3.99
Yp 设计值	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.15
评价结果	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

从表 11-5 可知，本项目 4 间直线加速器机房主屏蔽区的实际设计宽度均大于理论计算值，有用线束主屏蔽区的宽度设计满足《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）的相关要求。

（3）机房面积符合性分析

本项目 4 台加速器机房的有效使用面积均均为 57.6m^2，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要”的规定要求。

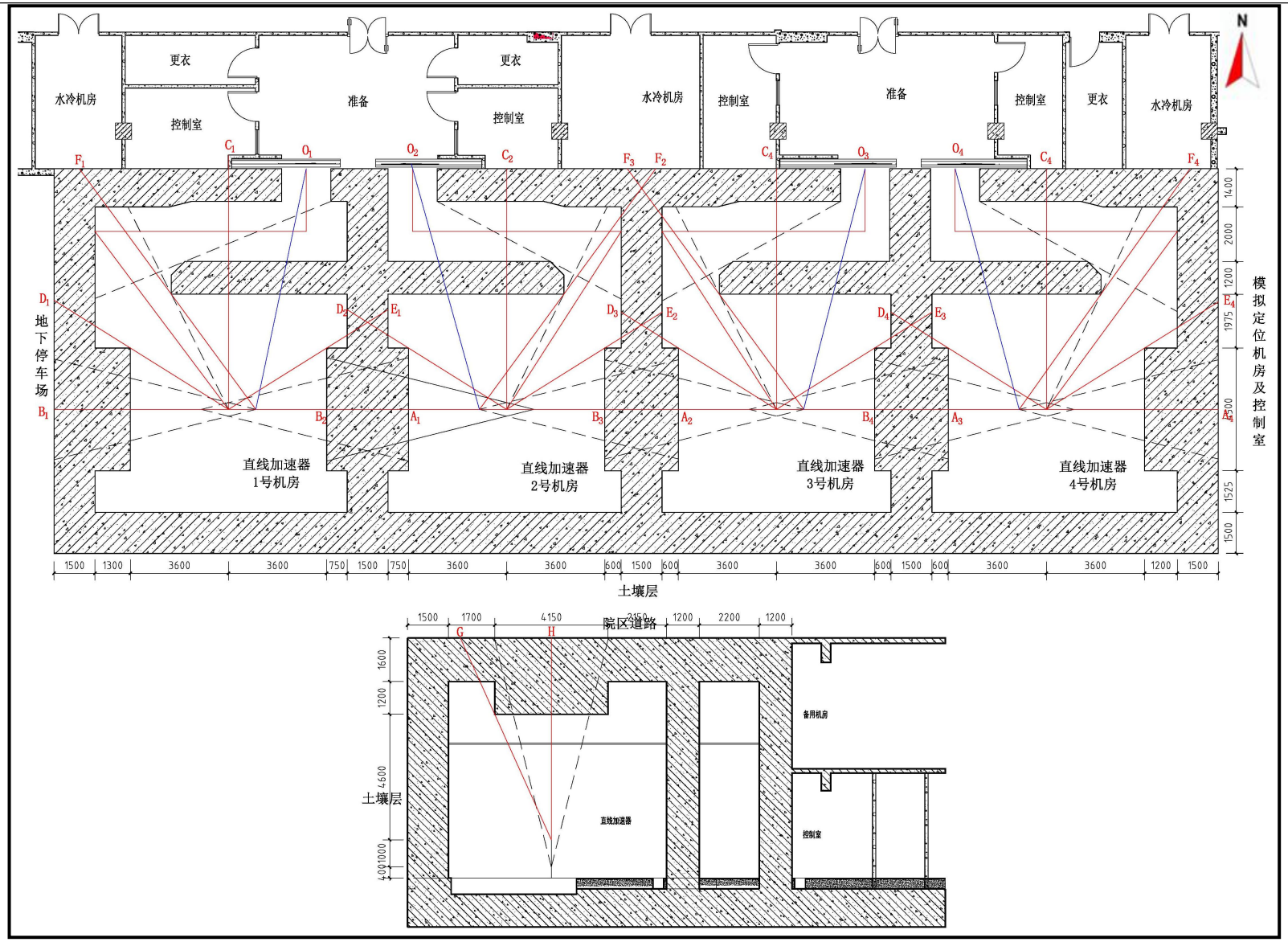


图 11-4　加速器机房屏蔽及预测点位设置示意图

2.2 加速器机房屏蔽措施评价

此评价报告对加速器机房屏蔽效果的评述，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》（GBZ/T201.2-2011）中的计算模式和相关参数。从保守角度出发，在加速器治疗室设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。计算时分别选取 10MV 时 1m 处剂量率 600cGy/min 和 6MeV 时 1m 处剂量率 1400cGy/min 模式（即 6MeV 时 X 射线 FFF 模式）进行分别计算。

2.2.1 选取 10MV 时 1m 处剂量率 600cGy/min 模式进行估算

（1）主屏蔽区

以下列方法进行有用线束和泄漏辐射的剂量估算：

对于给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按式（4）计算有效厚度 Xe，按式（5）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按式（10）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率。

① 有效屏蔽厚度

当 X 射线束以θ角斜入射厚度为 X(cm)的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 Xe(cm)见式（4）：

$$X_e = X/\cos\theta = X \cdot sec\theta \qquad 式（4）$$

其中，θ为斜射角，即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

② 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

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

TVL_1（cm）和 TVL（cm）为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时，TVL_1=TVL。

③ 屏蔽体外关注点的剂量率

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \qquad 式（6）$$

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，μSv·m²/h，本项目为 3.6×10⁸μSv·m²/h；

R —靶点至参考点的距离，m；

f —对有用束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率。

将各参数代入计算，得到主屏蔽墙外 30cm 处关注点的剂量见表 11-4。

表 11-4 主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	1 号加速器机房		2 号加速器机房		3 号加速器机房		4 号加速器机房		顶棚
	A_1	B_1	A_2	B_2	A_3	B_3	A_4	B_4	H
X（cm）	300cm 混凝土	280cm 混凝土	270cm 混凝土	300cm 混凝土	270cm 混凝土	270cm 混凝土	270cm 混凝土	270cm 混凝土	280cm 混凝土
Xe（cm）	300	280	270	300	270	270	270	270	280
TVL（cm）	37	37	37	37	37	37	37	37	37
TVL_1（cm）	41	41	41	41	41	41	41	41	41
B	1.00×10^{-8}	3.47×10^{-8}	6.47×10^{-8}	1.00×10^{-8}	6.47×10^{-8}	6.47×10^{-8}	6.47×10^{-8}	6.47×10^{-8}	3.47×10^{-8}
R（m）	6.90	6.70	6.60	6.90	6.60	6.60	6.60	6.60	8.40
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	3.6×10^8		3.6×10^8		3.6×10^8		3.6×10^8		3.6×10^8
f	1		1		1		1		1
$\dot{H}$（μSv/h）	7.56×10^{-2}	2.78×10^{-1}	5.35×10^{-1}	7.56×10^{-2}	5.35×10^{-1}	5.35×10^{-1}	5.35×10^{-1}	5.35×10^{-1}	1.77×10^{-1}

（2）侧屏蔽墙

泄漏辐射：估算方法类似主屏蔽墙（式（6））。侧屏蔽墙外参考点剂量率计算参数和计算结果见表 11-5。

表 11-5 侧屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	1 号加速器机房	2 号加速器机房	3 号加速器机房	4 号加速器机房
	C_1	C_2	C_3	C_4
X（cm）	240cm 混凝土	240cm 混凝土	240cm 混凝土	240cm 混凝土
Xe（cm）	240	240	240	240
TVL（cm）	31	31	31	31
TVL_1（cm）	35	35	35	35
B	2.44×10^{-8}	2.44×10^{-8}	2.44×10^{-8}	2.44×10^{-8}
R（m）	9.13	9.13	9.13	9.13
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
f	0.001	0.001	0.001	0.001
$\dot{H}$（μSv/h）	1.05×10^{-4}	1.05×10^{-4}	1.05×10^{-4}	1.05×10^{-4}

（3）与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

① 泄漏辐射：通过公式（6）进行计算。

② 散射辐射：

在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按照式（4）计算有效厚度 Xe（cm），再按式（5）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按式（7）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ （μSv/h）；

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \qquad 式（7）$$

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，μSv·m²/h，本项目为 3.6×10⁸μSv·m²/h；

α_{ph}—患者 400cm² 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 400cm² 面上的散射因子。根据散射线能量和参考点斜射角，查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²，本项目为 40cm×40cm=1600cm²。

R_s—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

叠加与主屏蔽区直接相连的次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的辐射剂量率值，计算参数和计算结果见表 11-6。

表 11-6 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点		1 号加速器机房		2 号加速器机房		3 号加速器机房		4 号加速器机房		顶棚
		D_1 点	E_1 点	D_2 点	E_2 点	D_3 点	E_3 点	D_4 点	E_4 点	G 点
泄漏辐射	X（cm）	150cm 混凝土		150cm 混凝土		150cm 混凝土		150cm 混凝土		160cm 混凝土
	Xe（cm）	177	177	177	177	177	177	177	177	176
	TVL（cm）	31	31	31	31	31	31	31	31	31
	TVL_1（cm）	35	35	35	35	35	35	35	35	35
	B	2.63×10^{-6}	2.63×10^{-6}	2.63×10^{-6}	2.63×10^{-6}	2.63×10^{-6}	2.63×10^{-6}	2.63×10^{-6}	2.63×10^{-6}	2.83×10^{-6}
	R（m）	7.85	7.20	7.20	7.02	7.02	7.02	7.02	7.73	8.42

	$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	3.6×10^{8}								
	f	0.001		0.001		0.001		0.001		0.001
	$\dot{H}$（μSv/h）	1.53×10^{-2}	1.82×10^{-2}	1.82×10^{-2}	1.92×10^{-2}	1.92×10^{-2}	1.92×10^{-2}	1.92×10^{-2}	1.58×10^{-2}	1.44×10^{-2}
散射辐射	TVL（cm）	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	B	4.77×10^{-7}	4.77×10^{-7}	4.77×10^{-7}	4.77×10^{-7}	4.77×10^{-7}	4.77×10^{-7}	4.77×10^{-7}	4.77×10^{-7}	5.18×10^{-7}
	R_s（m）	7.85	7.20	7.20	7.02	7.02	7.02	7.02	7.73	8.42
	α_{ph}	3.18×10^{-3}		3.18×10^{-3}		3.18×10^{-3}		3.18×10^{-3}		3.18×10^{-3}
	F（cm²）	1600		1600		1600		1600		1600
	$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	3.6×10^{8}		3.6×10^{8}		3.6×10^{8}		3.6×10^{8}		3.6×10^{8}
	$\dot{H}$（μSv/h）	3.54×10^{-2}	4.21×10^{-2}	4.1×10^{-2}	4.43×10^{-2}	4.43×10^{-2}	4.43×10^{-2}	4.43×10^{-2}	3.66×10^{-2}	3.35×10^{-2}
泄漏辐射和散射辐射的复合作用(μSv/h)		5.08×10^{-2}	6.04×10^{-2}	6.04×10^{-2}	6.35×10^{-2}	6.35×10^{-2}	6.35×10^{-2}	6.35×10^{-2}	5.24×10^{-2}	4.78×10^{-2}

注：本项目计算屏蔽体外泄漏辐射剂量率时，调强因子取 5。

（4）迷路外墙 F_1 点、F_2 点、F_3 和 F_4 点

当 1 号、2 号、3 号、4 号加速器分别向西侧、东侧、西侧、东侧出束时，F_1 点、F_2 点、F_3 和 F_4 点受到的辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用，因此，F_1 点、F_2 点、F_3 和 F_4 点考虑泄漏辐射：通过公式（6）进行计算。计算结果及参数见表 11-7。

表 11-7 迷路外墙关注点辐射剂量率计算参数及计算结果

关注点	1 号加速器机房	2 号加速器机房	3 号加速器机房	4 号加速器机房
	迷路外墙（F_1 点）	迷路外墙（F_2 点）	迷路外墙（F_3 点）	迷路外墙（F_4 点）
X（cm）	140cm 混凝土	140cm 混凝土	140cm 混凝土	140cm 混凝土
Xe（cm）	174	215	215	172
TVL（cm）	31	31	31	31
TVL_1（cm）	35	35	35	35
B	3.28×10^{-6}	1.56×10^{-7}	1.56×10^{-7}	3.81×10^{-6}
R（m）	11.25	11.19	11.24	11.12
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	3.6×10^{8}	3.6×10^{8}	3.6×10^{8}	3.6×10^{8}
f	0.001	0.001	0.001	0.001
$\dot{H}$（μSv/h）	9.34×10^{-3}	4.49×10^{-4}	4.45×10^{-4}	1.11×10^{-2}

（5）迷路入口处 O_1、O_2、O_3、O_4

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：

① 散射辐射：本项目迷道为 L 型迷道，散射辐射经过两次散射到达迷道入口处，本项目保守估算，对于散射辐射仅考虑一次散射。

迷道入口处的散射辐射剂量率按照式（8）进行计算，计算参数及计算结果见表 11-10。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} H_0 \qquad 式（8）$$

式中：

a_{ph} 、F、H_o 意义同前文。

$\dot{H}_g$：迷道入口处散射辐射剂量率，μSv/h；

α_2：屏蔽墙入射 0 的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/T201.2-2011 附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

A：散射面的散射面积，m^2；

R_1：等中心点到散射面之间的距离，m；

R_2：散射面到迷道入口之间的距离，m。

表 11-8 迷道入口处散射辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	1 号加速器机房	2 号加速器机房	3 号加速器机房	4 号加速器机房
	机房入口处（O_1 点）	机房入口处（O_2 点）	机房入口处（O_3 点）	机房入口处（O_4 点）
$\dot{H}_o$（μSv/h）	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
a_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
α_2	22×10^{-3}	22×10^{-3}	22×10^{-3}	22×10^{-3}
F(cm^2)	1600	1600	1600	1600
R_1（m）	8.16	7.76	7.76	8.10
R_2（m）	7.75	7.65	7.65	8.15
A(m^2)	22.38	19.05	19.40	25.11
迷道入口处剂量率 $\dot{H}_g$（μSv/h）	563.75	544.58	554.58	580.46

②泄漏辐射：通过式（6）进行计算，计算参数及计算结果见表 11-9。

表 11-9 迷道入口处泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	1 号加速器机房	2 号加速器机房	3 号加速器机房	4 号加速器机房
	机房入口处（O_1点）	机房入口处（O_2点）	机房入口处（O_3点）	机房入口处（O_4点）
X（cm）	120cm 混凝土	120cm 混凝土	120cm 混凝土	120cm 混凝土
Xe（cm）	123	125	124	124
TVL（cm）	31	31	31	31
TVL_1（cm）	35	35	35	35
B	1.45×10^{-4}	1.25×10^{-4}	1.35×10^{-4}	1.35×10^{-4}
R（m）	9.32	9.46	9.40	9.43
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	3.6×10^{8}	3.6×10^{8}	3.6×10^{8}	3.6×10^{8}
f	0.001	0.001	0.001	0.001
$\dot{H}_{og}$（μSv/h）	6.01×10^{-1}	5.03×10^{-1}	5.48×10^{-1}	5.45×10^{-1}

治疗室入口门外的总辐射剂量率按公式（9）计算，入口门外辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-10。

$$\dot{H} = H_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \qquad 式（9）$$

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，取 0.5cm。

表 11-10 治疗室入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	1 号加速器机房	2 号加速器机房	3 号加速器机房	4 号加速器机房
	机房入口处（O_1点）	机房入口处（O_2点）	机房入口处（O_3点）	机房入口处（O_4点）
$\dot{H}_g$（μSv/h）	563.75	544.58	554.58	580.46
X（cm）	1.5	1.5	1.5	1.5
TVL（cm）	0.5	0.5	0.5	0.5
$\dot{H}_{og}$（μSv/h）	6.01×10^{-1}	5.03×10^{-1}	5.48×10^{-1}	5.45×10^{-1}
入口门外关注点总辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）	1.16	1.05	1.10	1.13

2.2.2 选取 6MV 时 1m 处剂量率 1400cGy/min 模式进行估算

计算公式见式（6）至式（9），各关注点计算参数及计算结果见表 11-11 至表 11-18。

（1）主屏蔽区

表 11-11 主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	1 号加速器机房		2 号加速器机房		3 号加速器机房		4 号加速器机房		顶棚
	A_1	B_1	A_2	B_2	A_3	B_3	A_4	B_4	H
X（cm）	300cm 混凝土	280cm 混凝土	270cm 混凝土	300cm 混凝土	270cm 混凝土	270cm 混凝土	270cm 混凝土	270cm 混凝土	280cm 混凝土
Xe（cm）	300	280	270	300	270	270	270	270	280
TVL（cm）	33	33	33	33	33	33	33	33	33
TVL_1（cm）	37	37	37	37	37	37	37	37	37
B	1.07×10^{-9}	4.33×10^{-9}	8.70×10^{-9}	1.07×10^{-9}	8.70×10^{-9}	8.70×10^{-9}	8.70×10^{-9}	8.70×10^{-9}	4.33×10^{-9}
R（m）	6.90	6.70	6.60	6.90	6.60	6.60	6.60	6.60	8.40
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	8.4×10^{8}		8.4×10^{8}		8.4×10^{8}		8.4×10^{8}		8.4×10^{8}
f	1		1		1		1		1
$\dot{H}$（μSv/h）	1.89×10^{-2}	810×10^{-2}	1.68×10^{-1}	1.89×10^{-2}	1.68×10^{-1}	1.68×10^{-1}	1.68×10^{-1}	1.68×10^{-1}	5.15×10^{-2}

（2）侧屏蔽墙

表 11-12 侧屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	1 号加速器机房	2 号加速器机房	3 号加速器机房	4 号加速器机房
	C_1	C_2	C_3	C_4
X（cm）	240cm 混凝土	240cm 混凝土	240cm 混凝土	240cm 混凝土
Xe（cm）	240	240	240	240
TVL（cm）	29	29	29	29
TVL_1（cm）	34	34	34	34
B	7.88×10^{-9}	7.88×10^{-9}	7.88×10^{-9}	7.88×10^{-9}
R（m）	9.13	9.13	9.13	9.13
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}
f	0.001	0.001	0.001	0.001
$\dot{H}$（μSv/h）	7.94×10^{-5}	7.94×10^{-5}	7.94×10^{-5}	7.94×10^{-5}

（3）与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

表 11-13 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点		1 号加速器机房		2 号加速器机房		3 号加速器机房		4 号加速器机房		顶棚
		D_1 点	E_1 点	D_2 点	E_2 点	D_3 点	E_3 点	D_4 点	E_4 点	G 点
泄漏辐射	X（cm）	150cm 混凝土		150cm 混凝土		150cm 混凝土		150cm 混凝土		160cm 混凝土
	Xe（cm）	177	177	177	177	177	177	177	177	176
	TVL（cm）	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	TVL_1（cm）	34	34	34	34	34	34	34	34	34
	B	1.17×10^{-6}	1.17×10^{-6}	1.17×10^{-6}	1.17×10^{-6}	1.17×10^{-6}	1.17×10^{-6}	1.17×10^{-6}	1.17×10^{-6}	1.27×10^{-6}
	R（m）	7.85	7.20	7.20	7.02	7.02	7.02	7.02	7.73	8.42
	$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	8.4×10^{8}								
	f	0.001		0.001		0.001		0.001		0.001
	$\dot{H}$（μSv/h）	1.59×10^{-2}	1.90×10^{-2}	1.90×10^{-2}	1.92×10^{-2}	2.00×10^{-2}	2.00×10^{-2}	2.00×10^{-2}	1.65×10^{-2}	1.50×10^{-2}
散射辐射	TVL（cm）	26	26	26	26	26	26	26	26	26
	B	1.56×10^{-7}	1.56×10^{-7}	1.56×10^{-7}	1.56×10^{-7}	1.56×10^{-7}	1.56×10^{-7}	1.56×10^{-7}	1.56×10^{-7}	1.70×10^{-7}
	R_s（m）	7.85	7.20	7.20	7.02	7.02	7.02	7.02	7.73	8.42
	α_{ph}	2.77×10^{-3}		2.77×10^{-3}		2.77×10^{-3}		2.77×10^{-3}		2.77×10^{-3}
	F（cm²）	1600		1600		1600		1600		1600
	$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	8.4×10^{8}		8.4×10^{8}		8.4×10^{8}		8.4×10^{8}		8.4×10^{8}
	$\dot{H}$（μSv/h）	2.35×10^{-2}	2.80×10^{-2}	2.80×10^{-2}	2.94×10^{-2}	2.94×10^{-2}	2.94×10^{-2}	2.94×10^{-2}	2.43×10^{-2}	2.23×10^{-2}
泄漏辐射和散射辐射的复合作用(μSv/h)		3.95×10^{-2}	4.69×10^{-2}	4.69×10^{-2}	4.93×10^{-2}	4.93×10^{-2}	4.93×10^{-2}	4.93×10^{-2}	4.07×10^{-2}	3.74×10^{-2}

注：本项目计算屏蔽体外泄漏辐射剂量率时，调强因子取 5。

（4）迷路外墙 F_1 点、F_2 点、F_3 和 F_4 点

表 11-14 迷路外墙关注点辐射剂量率计算参数及计算结果

关注点	1 号加速器机房	2 号加速器机房	3 号加速器机房	4 号加速器机房
	迷路外墙（F_1 点）	迷路外墙（F_2 点）	迷路外墙（F_3 点）	迷路外墙（F_4 点）
X（cm）	140cm 混凝土	140cm 混凝土	140cm 混凝土	140cm 混凝土
Xe（cm）	174	215	215	172
TVL（cm）	29	29	29	29

TVL_1（cm）	34	34	34	34
B	3.28×10^{-6}	1.56×10^{-7}	1.56×10^{-7}	3.81×10^{-6}
R（m）	11.25	11.19	11.24	11.12
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}
f	0.001	0.001	0.001	0.001
$\dot{H}$（μSv/h）	9.87×10^{-3}	3.85×10^{-4}	3.8×10^{-4}	1.18×10^{-2}

（5）迷路入口处 O_1、O_2、O_3、O_4

① 散射辐射

表 11-15 迷道入口处散射辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	1 号加速器机房	2 号加速器机房	3 号加速器机房	4 号加速器机房
	机房入口处（O_1点）	机房入口处（O_2点）	机房入口处（O_3点）	机房入口处（O_4点）
$\dot{H}_o$（μSv/h）	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}
a_{ph}	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}
α_2	22×10^{-3}	22×10^{-3}	22×10^{-3}	22×10^{-3}
F(cm²)	1600	1600	1600	1600
R_1（m）	8.16	7.76	7.76	8.10
R_2（m）	7.75	7.65	7.65	8.15
A(m²)	22.38	19.05	19.40	25.11
迷道入口处剂量率 $\dot{H}_g$（μSv/h）	1145.82	1106.85	1127.19	179.79

②泄漏辐射

表 11-16 迷道入口处泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	1 号加速器机房	2 号加速器机房	3 号加速器机房	4 号加速器机房
	机房入口处（O_1点）	机房入口处（O_2点）	机房入口处（O_3点）	机房入口处（O_4点）
X（cm）	120cm 混凝土	120cm 混凝土	120cm 混凝土	120cm 混凝土
Xe（cm）	123	125	124	124
TVL（cm）	29	29	29	29
TVL_1（cm）	34	34	34	34
B	8.53×10^{-5}	7.28×10^{-5}	7.88×10^{-5}	7.88×10^{-5}

R（m）	9.32	9.46	9.40	9.43
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}
f	0.001	0.001	0.001	0.001
$\dot{H}_{og}$（μSv/h）	8.25×10^{-1}	6.83×10^{-1}	7.49×10^{-1}	7.44×10^{-1}

表 11-17 治疗室入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	1 号加速器机房	2 号加速器机房	3 号加速器机房	4 号加速器机房
	机房入口处（O_1点）	机房入口处（O_2点）	机房入口处（O_3点）	机房入口处（O_4点）
$\dot{H}_g$（μSv/h）	1145.82	1106.85	1127.19	179.79
X（cm）	1.5	1.5	1.5	1.5
TVL（cm）	0.5	0.5	0.5	0.5
$\dot{H}_{og}$（μSv/h）	0.5	0.5	0.5	0.5
入口门外关注点总辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）	1.97	1.79	1.88	1.92

综上所述，本项目加速器治疗室屏蔽体外辐射剂量率保守选取二种计算模式中辐射剂量率较大者进行评价，医院拟建直线加速器机房墙体及防护门外各关注点剂量率情况如下：

表 11-18 直线加速器机房外各关注点的剂量率情况统计表

关注点		所处位置	辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）
1 号加速器机房	机房东侧主屏蔽墙外 30cm 处 A_1	2 号加速器机房	7.56×10^{-2}
	机房西侧主屏蔽墙外 30cm 处 B_1	地下停车场	2.78×10^{-1}
	机房北侧屏蔽墙外 30cm 处 C_1	控制室	1.05×10^{-4}
	机房北侧迷道外墙外 30cm 处 F_1	水冷机房	9.88×10^{-3}
	机房西侧次屏蔽墙外 30cm 处 D_1	地下停车场	5.08×10^{-2}
	机房东侧次屏蔽墙外 30cm 处 E_1	2 号加速器机房	6.04×10^{-2}
	机房防护门外 30cm 处 O_1	准备间	1.97
2 号加速器机房	机房东侧主屏蔽墙外 30cm 处 A_2	3 号加速器机房	5.35×10^{-1}
	机房西侧主屏蔽墙外 30cm 处 B_2	1 号加速器机房	7.56×10^{-2}
	机房北侧屏蔽墙外 30cm 处 C_2	控制室	1.05×10^{-4}
	机房北侧迷道外墙外 30cm 处 F_2	水冷机房	4.49×10^{-4}

	机房西侧次屏蔽墙外 30cm 处 D_2	1 号加速器机房	6.04×10^{-2}
	机房东侧次屏蔽墙外 30cm 处 E_2	3 号加速器机房	6.35×10^{-2}
	机房防护门外 30cm 处 O_2	准备间	1.79
3 号加速器机房	机房东侧主屏蔽墙外 30cm 处 A_3	4 号加速器机房	5.35×10^{-1}
	机房西侧主屏蔽墙外 30cm 处 B_3	2 号加速器机房	5.35×10^{-1}
	机房北侧屏蔽墙外 30cm 处 C_3	控制室	1.05×10^{-4}
	机房北侧迷道外墙外 30cm 处 F_3	水冷机房	4.45×10^{-4}
	机房西侧次屏蔽墙外 30cm 处 D_3	2 号加速器机房	6.35×10^{-2}
	机房东侧次屏蔽墙外 30cm 处 E_3	4 号加速器机房	6.35×10^{-2}
	机房防护门外 30cm 处 O_3	准备间	1.88
4 号加速器机房	机房东侧主屏蔽墙外 30cm 处 A_4	模拟定位机机房及控制室	5.35×10^{-1}
	机房西侧主屏蔽墙外 30cm 处 B_4	3 号加速器机房	5.35×10^{-1}
	机房北侧屏蔽墙外 30cm 处 C_4	控制室	1.05×10^{-4}
	机房北侧迷道外墙外 30cm 处 F_4	水冷机房	1.18×10^{-2}
	机房西侧次屏蔽墙外 30cm 处 D_4	3 号加速器机房	6.35×10^{-2}
	机房东侧次屏蔽墙外 30cm 处 E_4	模拟定位机机房及控制室	4.78×10^{-2}
	机房防护门外 30cm 处 O_4	准备间	1.92
机房顶棚主屏蔽墙外 30cm 处 H		院区道路	1.77×10^{-1}
机房顶棚次屏蔽墙外 30cm 处 G		院区道路	1.11×10^{-2}

由表 11-18 可知，各加速器机房墙体及防护门外的辐射剂量率值为 1.05×10^{-4}～1.97μSv/h。

2.4 加速器治疗室电子线治疗时防护评价

本项目加速器最大 X 射线能量为 10MV，电子线最大能量为 22MeV，由于电子束的穿透能力远小于 X 射线，对治疗 X 射线的屏蔽机房完全满足屏蔽电子束的要求。电子束治疗时，平均束流为 nA 量级，X 射线治疗时平均束流为μA 量级，治疗电子束所产生的轫致辐射远小于 X 射线治疗时的辐射，即使电子能量大于治疗 X 射线的最大能量，对屏蔽电子束的轫致辐射所需要的厚度也低于对 X 射线的屏蔽要求。

2.5 附加年有效剂量估算

本项目加速器机房计算周边人员的年有效剂量，参考点处年有效剂量按公式（10）计算，计算参数和计算结果见表 11-19。

$$E = H \cdot U \cdot T \cdot \mathrm{t} \cdot 10^{-3}$$ 式（10）

式中：

$\dot{H}$：参考点处的辐射剂量率，μSv/h；

U：有用线束向关注位置的方向照射的使用因子；

T：人员在相应关注点驻留的居留因子，根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中表 A.1 确定；

t ：治疗装置年治疗照射时间，h。根据医院预测的诊疗需要，加速器机房投入使用后，预计平均每台每天接待治疗病人不超过 100 人次，常规治疗平均每位病人治疗时间约 1.5 分钟，每周工作 5 天，即周照射时间约为 12.5 小时，年治疗照射时间为 625h。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）规定，实际调强放射治疗中，相应有用线束和有用线束散射辐射每周与常规放射治疗人数相同时，周工作负荷与常规治疗相同；但对泄漏辐射，周工作负荷为常规放射治疗工作负荷的 N 倍（当调强因子为 N 时）。在屏蔽设计中，通常取 N 为 5。

表 11-19 加速器机房周边人员年有效剂量估算一览表

关注点		所处位置	辐射类别	$\dot{H}$（μSv/h）	调强因子	T	U	t(h)	E（mSv/a）
1 号加速器机房	机房东侧主屏蔽墙外 30cm 处 A_1	2 号加速器机房	有用线束	7.56×10^{-2}	1	1/16	1/4	625	7.38×10^{-4}
	机房西侧主屏蔽墙外 30cm 处 B_1	地下停车场	有用线束	2.78×10^{-1}	1	1/16	1/4	625	2.73×10^{-3}
	机房北侧屏蔽墙外 30cm 处 C_1	控制室	泄漏辐射	1.05×10^{-4}	5	1	1	625	3.28×10^{-4}
	机房北侧迷道外墙外 30cm 处 F_1	水冷机房	泄漏辐射	9.88×10^{-3}	5	1/4	1	625	7.72×10^{-3}
	机房西侧次屏蔽墙外 30cm 处 D_1	地下停车场	泄漏辐射	1.53×10^{-2}	5	1/16	1	625	3.33×10^{-3}
			散射辐射	3.54×10^{-2}	1		1/4		
	机房东侧次屏蔽墙外 30cm 处 E_1	2 号加速器机房	泄漏辐射	1.82×10^{-2}	5	1/16	1	625	3.98×10^{-3}
			散射辐射	4.21×10^{-2}	1		1/4		
	机房防护门外 30cm 处 O_1	准备间	泄漏辐射	8.25×10^{-1}	5	1/16	1	625	1.72×10^{-1}
			散射辐射	1.15	1		1/4		
2 号加速器机房	机房东侧主屏蔽墙外 30cm 处 A_2	3 号加速器机房	有用线束	5.35×10^{-1}	1	1/16	1/4	625	5.23×10^{-3}
	机房西侧主屏蔽墙外 30cm 处 B_2	1 号加速器机房	有用线束	7.56×10^{-2}	1	1/16	1/4	625	7.38×10^{-4}
	机房北侧屏蔽墙外 30cm 处 C_2	控制室	泄漏辐射	1.05×10^{-4}	5	1	1	625	3.28×10^{-4}
	机房北侧迷道外墙外 30cm 处 F_2	水冷机房	泄漏辐射	4.49×10^{-4}	5	1/4	1	625	3.51×10^{-4}
	机房西侧次屏蔽墙外 30cm 处 D_2	1 号加速器机房	泄漏辐射	1.82×10^{-2}	5	1/16	1	625	3.95×10^{-3}
			散射辐射	4.10×10^{-2}	1		1/4		
	机房东侧次屏蔽墙外 30cm 处 E_2	3 号加速器机房	泄漏辐射	1.92×10^{-2}	5	1/16	1	625	4.18×10^{-3}
			散射辐射	4.43×10^{-2}	1		1/4		
	机房防护门外 30cm 处 O_2	准备间	泄漏辐射	6.83×10^{-1}	5	1/16	1	625	1.44×10^{-1}
			散射辐射	1.11	1		1/4		
3 号加速	机房东侧主屏蔽墙外 30cm 处 A_3	4 号加速器机房	有用线束	5.35×10^{-1}	1	1/16	1/4	625	5.23×10^{-3}
	机房西侧主屏蔽墙外 30cm 处 B_3	2 号加速器机房	有用线束	5.35×10^{-1}	1	1/16	1/4	625	5.23×10^{-3}

器机房	机房北侧屏蔽墙外 30cm 处 C_3	控制室	泄漏辐射	1.05×10^{-4}	5	1	1	625	3.28×10^{-4}
	机房北侧迷道外墙外 30cm 处 F_3	水冷机房	泄漏辐射	4.45×10^{-4}	5	1/4	1	625	3.48×10^{-4}
	机房西侧次屏蔽墙外 30cm 处 D_3	2 号加速器机房	泄漏辐射	1.92×10^{-2}	5	1/16	1	625	4.18×10^{-3}
			散射辐射	4.43×10^{-2}	1		1/4		
	机房东侧次屏蔽墙外 30cm 处 E_3	4 号加速器机房	泄漏辐射	1.92×10^{-2}	5	1/16	1	625	4.18×10^{-3}
			散射辐射	4.43×10^{-2}	1		1/4		
	机房防护门外 30cm 处 O_3	准备间	泄漏辐射	7.49×10^{-1}	5	1/16	1	625	1.57×10^{-1}
			散射辐射	1.13	1		1/4		
4 号加速器机房	机房东侧主屏蔽墙外 30cm 处 A_4	模拟定位机机房及控制室	有用线束	5.35×10^{-1}	1	1/4	1/4	625	2.09×10^{-2}
	机房西侧主屏蔽墙外 30cm 处 B_4	3 号加速器机房	有用线束	5.35×10^{-1}	1	1/16	1/4	625	5.23×10^{-3}
	机房北侧屏蔽墙外 30cm 处 C_4	控制室	泄漏辐射	1.05×10^{-4}	5	1	1	625	3.28×10^{-4}
	机房北侧迷道外墙外 30cm 处 F_4	水冷机房	泄漏辐射	1.18×10^{-2}	5	1/4	1	625	9.22×10^{-3}
	机房西侧次屏蔽墙外 30cm 处 D_4	3 号加速器机房	泄漏辐射	1.92×10^{-2}	5	1/16	1	625	4.18×10^{-3}
			散射辐射	4.43×10^{-2}	1		1/4		
	机房东侧次屏蔽墙外 30cm 处 E_4	模拟定位机机房及控制室	泄漏辐射	1.58×10^{-2}	5	1/4	1	625	1.38×10^{-2}
			散射辐射	3.66×10^{-2}	1		1/4		
	机房防护门外 30cm 处 O_4	准备间	泄漏辐射	7.44×10^{-1}	5	1/16	1	625	1.57×10^{-1}
			散射辐射	1.18	1		1/4		
机房顶棚主屏蔽墙外 30cm 处 H		院区道路	有用线束	1.77×10^{-1}	1	1/16	1/4	625	1.73×10^{-3}
机房顶棚次屏蔽墙外 30cm 处 G		院区道路	泄漏辐射	1.44×10^{-2}	5	1/16	1	625	3.15×10^{-3}
			散射辐射	3.35×10^{-2}	1		1/4		

由表 11-19 可知，预测直线加速器职业人员最大附加年有效剂量为 3.28×10^{-4}mSv，低于管理限值 5mSv，公众成员附加年有效剂量最大为 1.72×10^{-1}mSv，低于管理限值 0.25mSv，且均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）的有关要求。

2.6 医用直线加速器机房安全联锁系统

该项目医用直线加速器机房拟在下述地方均设置紧急按钮开关：

控制室内的操作盒上；　　治疗床前侧；

固定机座两侧；　　机房内墙壁上；

设备室内的高压脉冲调制器门上

当遇到任何紧急情况需要立即停止辐照，只要按动以上开关中的任何一个，除控制库和真空电源外的大部分高、低压供电同时被切断，照射立即结束。所有应急按钮开关均设有自锁机构，按下后不会自动恢复，必须释放紧急按钮开关后才能恢复供电进入正常工作状态。

防护门和医用直线加速器实现门机联锁控制。防护门装有常开式开关，用于确保加速器运行时防护门始终处于关闭状态。防护门处于开启状态，加速器无法启动；加速器运行时，防护门意外打开，设备自动停机。

所有紧急按钮开关和防护门均设双路供电系统，在停电状态下由医院应急电源供电，以确保在停电状态下能正常开启防护门。

综上所述，该项目医用直线加速器机房屏蔽墙效果良好，配置了完善的安全联锁装置，对周围环境影响较小。

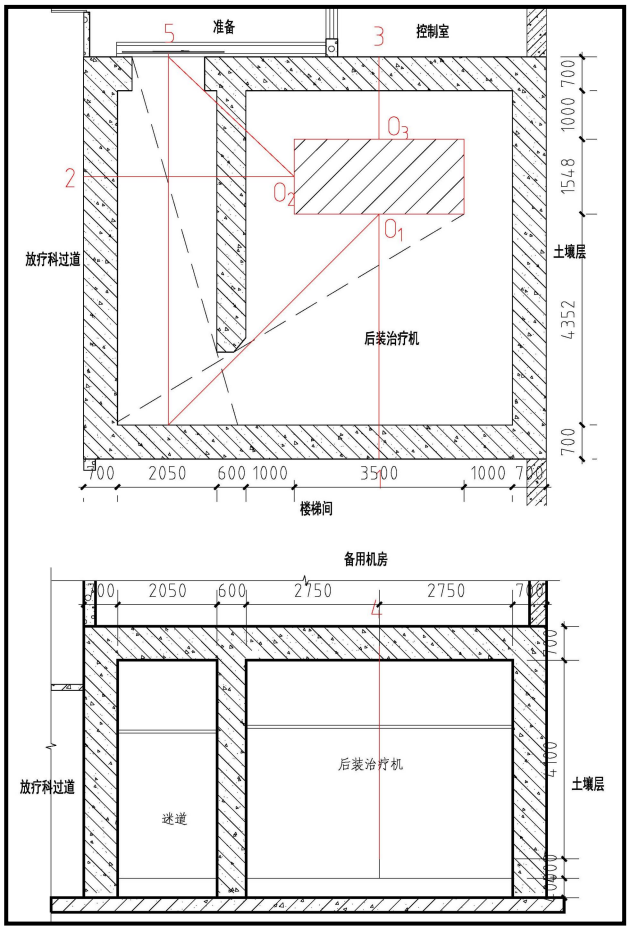
3、后装机辐射环境影响分析

3.1 后装机机房屏蔽设计分析

（1）后装机机房屏蔽设计

后装机机房位于内科病房楼负二层，机房采用密度为 2.35g/cm^3 混凝土浇筑。西侧为迷道，迷道内墙厚为 0.6m，迷道外墙厚为 0.7m；东、南、北侧墙厚均为 0.7m，顶棚为 0.7m。防护门铅当量为 5mm。通风管道均以 45°斜穿过屏蔽墙（未破坏机房的屏蔽性能）。

后装机机房东侧为土壤层，南侧为楼梯间，西侧为放疗科过道，北侧为控制室和准备间，楼上为备用机房。后装机机房设计结构及预测点位分布示意图详见图 11-5（阴影部分为治疗源可能活动的范围，对于不同关注点分别以最近距离进行保守预测，预测点取墙体或者防护门外 0.3m 处，顶棚取距离地面高 1m 处）。



注：摆位时医生与治疗头的距离平均约 1m。

图 11-5 后装机机房屏蔽及预测点位设置示意图

（2）机房符合性分析

后装机机房的有效使用面积约为 37.95m^2，控制室位于后装机房北侧屏蔽墙外，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置；6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

3.2 后装机房屏蔽措施评价

此评价报告对后装机机房屏蔽效果的评述，依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中的计算模式和相关参数。

（1）机房周边各关注点剂量估算

初级辐射屏蔽的计算：

①在给定的屏蔽物质厚度 X（mm）时，屏蔽体外关注点的剂量率 H 计算公式为：

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \qquad \text{式（11）}$$

式中：H—屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/h；

H_0—活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，μSv/h；

f—对有用线束为 1；对γ射线远距治疗装置的泄露辐射为泄露辐射比率；

R—辐射源到关注点的距离，m；

B—屏蔽物质的屏蔽透射因子。

②活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率计算公式如下：

$$H_0 = A \cdot K_r \qquad 式（12）$$

式中：A—源强总活度，MBq，该项目后装机拟使用活度为 10Ci 的 ^{192}Ir 密封源；

K_r—核素的空气比释动能常数，$\mu Sv \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$。

③对于给定的屏蔽物质的厚度，相应的屏蔽透射因子 B 的计算公式如下：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)} / TVL \qquad 式（13）$$

式中：B—屏蔽物质的屏蔽透射因子；

Xe—屏蔽厚度，mm；

TVL—辐射再屏蔽物质中的平衡十值层厚度，mm；

TVL_1—辐射再屏蔽物质中的第一个十值层厚度，mm；

式中 TVL、TVL_1 均查《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ放射源治疗机房》（GBZ/T301.3-2014）中表 C.1。当未指明 TVL_1 时，TVL_1=TVL。

散射辐射屏蔽的计算：

④迷道入口处散射辐射剂量

迷道入口处的散射辐射剂量 $\dot{H}$ 计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_r \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \qquad 式（14）$$

式中：A—源强总活度，MBq，该项目后装机拟使用活度为 10Ci 的 ^{192}Ir 密封源；

K_r—核素的空气比释动能常数，$\mu Sv \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$；

S_w—散射面积，m^2，取（2.55m×4.5m）；

α_w—散射系数，取 3.05×10^{-3}；

R_1—辐射源至散射体中心的距离，取 6.15m；

R_2—散射体中心至关注点的距离，取 7.60m。

由上述公式及参数计算结果见表 11-20。

表 11-20 初始射线辐射对后装机机房外环境的附加剂量率估算结果

参考点	*A*（MBq）	K_r（μSv·MBq^{-1}·h^{-1}）	*R*（m）	Xe（mm）	*TVL*（mm）	*B*	H（μSv/h）
1	3.70×10^{5}	0.111	5.35	700	152	2.48×10^{-5}	3.56×10^{-2}
2	3.70×10^{5}	0.111	4.65	1300	152	2.80×10^{-9}	5.32×10^{-6}
3	3.70×10^{5}	0.111	2.00	700	152	2.48×10^{-5}	2.53×10^{-1}
4	3.70×10^{5}	0.111	5.80	700	152	2.48×10^{-5}	3.03×10^{-2}

表 11-21 散射的剂量率估算结果

位置	*A*（MBq）	K_r（μSv·MBq^{-1}·h^{-1}）	S_w（m^2）	α_w	R_1（m）	R_2（m）	$\dot{H}$（μSv/h）
迷道入口处	3.70×10^{5}	0.111	11.475	3.05×10^{-3}	6.15	7.60	6.58×10^{-1}

表 11-22 防护门外的辐射剂量率

参考点	$\dot{H}$（μSv/h）	铅门厚度（mm）	TVL*（mm）	B	H（μSv/h）
5	6.58×10^{-1}	5	5	0.1	6.58×10^{-2}

注："*"初始射线能量为 0.37MeV，经 135°散射后的能量为 0.17MeV，保守取 0.2MeV，对应的 *TVL* 为 5mmPb。

（2）摆位医生辐射影响评价

根据《后装γ源近距离治疗卫生防护要求》（GBZ121-2017）第 4.2.2 条：距离贮源器表面 1m 处的球面上，因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5μSv/h。

3.3 附加年有效剂量估算

根据建设单位提供的资料，后装机房投入使用后，预计平均每天接待治疗病人不超过 20 人次，平均每位病人治疗时间约 10 分钟，年工作 250 天，即年最大照射时间约为 833 小时。本项目后装治疗机机房的职业工作人员及周围公众成员的附加年有效剂量估算结果见表 11-23。

表 11-23 后装治疗机房职业工作人员及公众成员的附加年有效剂量估算

关注点	对象	关注点剂量率（μSv/h）	时间（h）	居留因子	附加年有效剂量 H（mSv/a）
后装治疗机房南侧屏蔽墙外 30cm 处 1	公众成员	3.56×10^{-2}	833	1/4	7.42×10^{-3}

后装治疗机房西侧屏蔽墙外30cm处2	公众成员	5.32×10^{-6}	833	1/4	1.11×10^{-6}
后装治疗机房北侧屏蔽墙外30cm处3	职业人员	2.53×10^{-1}	833	1	2.12×10^{-1}
后装治疗机房顶棚屏蔽墙外1m处4	公众成员	3.03×10^{-2}	833	1/4	6.31×10^{-3}
后装治疗机房防护门外30m处5	公众成员	6.58×10^{-2}	833	1/4	1.36×10^{-2}
摆位医生处	职业人员	5.0	333	1	1.67

由表11-23可知，预测后装治疗机职业人员最大附加年有效剂量为1.67mSv，低于管理限值5mSv，公众成员附加年有效剂量最大为1.36×10^{-2}mSv，低于管理限值0.25mSv，且均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）的有关要求。

3.4 后装机房安全联锁系统

该项目后装机房拟安装防护门，并设置门机联锁。治疗室防护门上方设置工作状态指示灯。控制室内的操作台上和机房内墙壁上拟设置紧急按钮开关，当遇到任何紧急情况需要立即停止治疗，只要按动以上开关中的任何一个，放射源立即回到贮存位。所有应急按钮开关均设有自锁机构，按下后不会自动恢复，必须释放紧急按钮开关后才能恢复供电进入正常工作状态。

防护门装有常开式开关，用于确保放射源不处于贮存位时防护门始终处于关闭状态。防护门处于开启状态，放射源无法输源进行治疗；后装机处于输源或治疗状态时，防护门意外打开，后装机将自动回源到贮存位。

机房防护门设置手动开门系统，以确保在停电状态下可以手动打开防护门。

在治疗室迷道出、入口设置固定式辐射剂量监测仪并具有报警功能，显示单元设置在控制室内或机房门附近，剂量报警装置可对监测点辐射空气吸收剂量率进行实时监测，且报警仪设置安全阈值，当监测点的辐射空气吸收剂量率监测值超过设置阈值时进行报警。

综上所述，该项目后装机房屏蔽墙效果良好，配置了完善的安全联锁装置，对周围环境影响较小。

3.5 放射源安全管理

该项目后装机使用的铱-192为III类密封源，存在密封源失控的潜在危险。阜阳市肿瘤医院应建立放射源台帐，强化了安全保卫措施，防止放射源丢失。设备定期更换

的铱-192 放射源拟由生产厂家委托有放射性物质运输资质的单位负责将铱-192 运至阜阳市肿瘤医院，并委派安装调试人员前往医院负责安装调试，废源也将由生产厂家负责回收。

3.6 放射源安全管理

该项目后装机使用的铱-192 为III类密封源，存在密封源失控的潜在危险。阜阳肿瘤医院应建立放射源台帐，强化了安全保卫措施，防止放射源丢失。设备定期更换的铱-192 放射源拟由生产厂家委托有放射性物质运输资质的单位负责将铱-192 运至阜阳肿瘤医院，并委派安装调试人员前往医院负责安装调试，废源也将由生产厂家负责回收。

4、核医学科辐射环境影响分析

4.1 工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日最大等效操作量计算方法，可以计算得出放射性核素的日等效最大操作量。

表 11-24 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 11-25 操作方式与放射源状态修正因子

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

$$日等效操作量=\frac{实际日操作量\times核素毒性因子}{操作方式的修正因子}$$

表 11-26 非密封放射性核素使用情况

核素名称	物理、化学性状	实际操作量	操作方式	贮存方式与地点
^{131}I	液态	甲癌每人每次平均用量	电脑自动分装	病人付费后订购，药

	碘化钠	150mCi，年治疗 50 人次，一天最多治疗 4 人次	稀释、口服（简单）	到即用，最长暂存 15 小时，临时贮存在核医学科的储源间
		甲亢每人每次用量 10mCi，年治疗 500 人次，一天最多治疗 20 人次	电脑分装稀释、口服（简单）	
^{89}Sr	液态二氯化锶	每人每次用量 4mCi，年治疗 60 人次，每周开展一次，一天最多治疗 2 人次	注射（简单）	
^{99}Mo-^{99m}Tc	液态高锝酸钠	每人每次用量 25mCi，年诊断 6000 人次，一天最多 32 人次	淋洗、分装、注射（简单）	贮存在核医学科的通风柜内
^{18}F	液态 ^{18}F-FDG	每人每次用量 10mCi，年诊断 6000 人次，一天最多 30 人次	注射（很简单）	临时储存在核医学科通风柜
^{18}F	液态 ^{18}F-FDG	每人每次使用量 10mCi，一天最多 30 人次	生产（简单）	回旋加速器生产后进行合成、分装运至注射室

表 11-27 非密封放射性核素日等效操作量核算

核素名称	日最大操作量（Bq）	毒性组别	毒性组别修正因子	操作方式	操作状态	操作方式及状态修正因子	日最大等效操作量（Bq）
^{131}I	2.22×10^{10}	中毒	0.1	简单	液态	1	2.22×10^{9}（甲癌）
	7.40×10^{9}	中毒	0.1	简单	液态	1	7.40×10^{8}（甲亢）
^{89}Sr	2.96×10^{8}	中毒	0.1	简单	液态	1	2.96×10^{7}
^{99}Mo	2.96×10^{10}	中毒	0.1	贮存	液态	100	2.96×10^{7}
^{99m}Tc	2.96×10^{10}	低毒	0.01	简单	液态	1	2.96×10^{8}
^{18}F	1.11×10^{10}	低毒	0.01	很简单	液态	10	1.11×10^{7}
^{18}F	3.44×10^{10}	低毒	0.01	简单（生产）	液态	1	3.44×10^{8}
合计							3.67×10^{9}

注：1、日实际操作量以可能发生的最大情况取值；2、注：根据环办辐射函[2016]430 号，^{99}Mo 的操作视为“贮存”；医疗机构使用 ^{18}F 视为“很简单的操作”；使用 ^{131}I 视为“简单操作”；放射性药品生产中，分装、标记等活动视为“简单操作”。

所有非密封放射性同位素操作集中在核医学科，可视为同一工作场所，日最大等效操作量为 3.67×10^{9}Bq，属于乙级非密封源工作场所。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G 提供的核医学工作场所分类的加权活度计算方法，可以计算得出放射性核素的加权活度从而对核医学工作场所进行分类，具体分类见表 11-30。

$$加权活度=\frac{计划的日操作最大活度\times核素的毒性权重因子}{操作性质修正因子}$$

11-28 核医学 ^{18}F 放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	^{89}Sr、^{131}I、^{99}Mo	100
B	^{18}F、^{99m}Tc	1

11-29 不同操作性质的修正因子

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

表 11-30 非密封放射性核素日等效操作量核算

核素名称	日最大操作量（MBq）	毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度（MBq）
^{131}I	2.22×10^4	100	1	2.22×10^6（甲癌）
	7.40×10^3	100	1	7.40×10^5（甲亢）
^{89}Sr	2.96×10^2	100	1	2.96×10^4
^{99}Mo	2.96×10^4	100	100	2.96×10^4
^{99m}Tc	2.96×10^4	1	1	2.96×10^4
^{18}F	1.11×10^4	1	1	1.11×10^4
^{18}F（生产）	3.44×10^4	1	1	3.44×10^4
合计				3.09×10^6

根据表 11-30 可知，本项目核医学科工作场所日操作最大量放射性核素的加权活度为 3.09×10^6MBq，为I类工作场所。

4.2 放射性药品生产场所辐射环境影响分析

4.2.1 回旋加速器辐射影响分析

4.2.1.1 回旋加速器技术参数

医院回旋加速器暂未采购，根据医院提供的资料，本项目拟采购的回旋加速器是一套完整的全自动的，具有一定屏蔽功能的正电子药物生产系统，最大质子束流能量不高于 11MeV，引出质子束流强度不高于 100μA，并且回旋加速器在正常运行的情况下，1m 处的泄露辐射中子剂量率不超过 200μSv/h，1m 处的泄露辐射γ射线剂量率不超过 200μSv/h，回旋加速器参数说明详见附件一。

4.2.1.2 回旋加速器机房屏蔽设计分析

回旋加速器机房位于医技康复楼一层核医学科，机房采用密度为 2.35g/cm^3 混凝土浇筑，东侧屏蔽墙壁厚为 0.8m；南侧屏蔽墙壁厚为 0.8m；西侧屏蔽墙壁厚为 0.8m；北侧屏蔽墙壁厚为 0.8m；顶棚屏蔽厚为 0.8m；防护门屏蔽为 60mm 铅当量、150mm 聚乙烯。

回旋加速器机房上方为检验科，加速器机房东侧为医疗街，南侧为热室，西侧为回旋加速器通道，北侧为设备间和控制室，楼下为土壤层。回旋加速器机房设计结构及预测点位示意图详见图 11-6（预测点取墙体或者防护门外 30cm 处，顶棚取距离地面高 1m 处）。

4.2.1.3 回旋加速器机房屏蔽效果分析

（1）机房外各关注点剂量估算

本项目理论预测采用《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的计算公式进行理论预测，计算公式如下：

$$H_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \times \left(H_n \times 10^{-x/TVL_n} + H_\gamma \times 10^{-x/TVL_\gamma}\right) \qquad 式（15）$$

式中：H_R—回旋加速器室外关注点剂量率，μSv/h；

r_0—参考点距靶心的距离，1m；

R—屏蔽体外关注点距靶心的距离，m；

H_n—参考点 r_0 处的中子剂量率，本项目各侧均取医院提供资料中的最大值：300μSv/h；

H_γ—参考点 r_0 处的γ射线剂量率，本项目各侧均取医院提供资料中的最大值：200μSv/h；

X—屏蔽材料的厚度，cm；

TVL_n—中子射线的十分之一减弱层厚度，cm。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），对于 11MeV 回旋加速器泄露辐射中子的能量约为 5MeV，相应混凝土的十值层为 43cm，铅的十值层为 47.8cm，聚乙烯的十值层为 24cm。

TVLγ—γ射线的十分之一减弱层厚度，cm。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），对于 11MeV 回旋加速器泄露辐射γ射线的能量约为 8MeV，相应混凝土的十值层为 38cm，铅的十值层为 5cm，聚乙烯的十值层为 80cm。

预测回旋加速器运行过程中，加速器室外各评价点位的辐射水平，预测计算评价点的分布见图 11-6，各技术参数见表 11-31，剂量率及累计剂量估算结果见表 11-32。

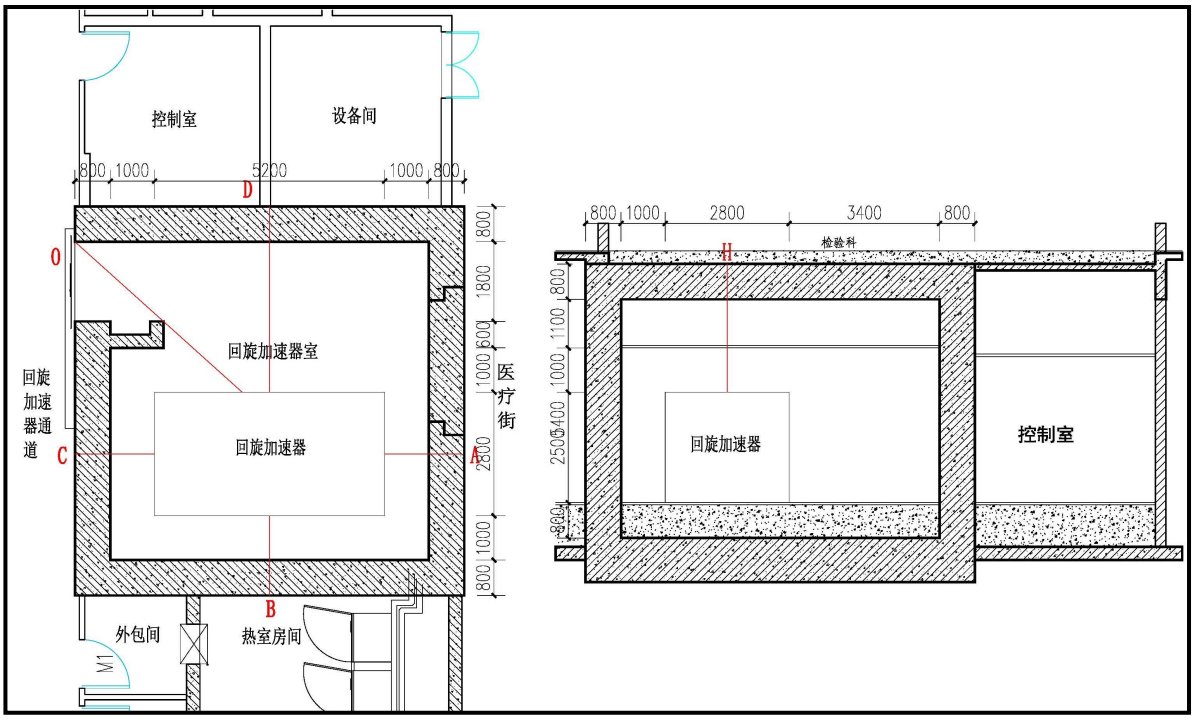


图 11-6　回旋加速器机房屏蔽及预测点位设置示意图

表 11-31　关注点各计算因子

位置		关注点至自屏蔽体表面距离（m）	屏蔽层厚度（mm）	TVL值（cm）	
				n中子	γ射线
A	机房东侧墙外（医疗街）	2.1	800	43	38
B	机房南侧墙外（热室）	2.1	800	43	38
C	机房西侧墙外（回旋加速器通道）	2.1	800	43	38
D	机房北侧墙外（设备间、控制室）	4.5	800	43	38
H	机房顶棚上	3.9	800	43	38
O	机房防护门外	5.4	屏蔽门铅当量60mm，聚乙烯厚度150mm	47.8+24	5+80

表 11-32　评价点剂量率及累计剂量估算结果

位置		中子屏蔽后的剂量率（μSv/h）	γ射线屏蔽后的剂量率（μSv/h）	合计（μSv/h）
A	机房东侧墙外（医疗街）	6.25×10^{-1}	3.56×10^{-1}	9.81×10^{-1}
B	机房南侧墙外（热室）	6.25×10^{-1}	3.56×10^{-1}	9.81×10^{-1}

C	机房西侧墙外（回旋加速器通道）	6.25×10^{-1}	3.56×10^{-1}	9.81×10^{-1}
D	机房北侧墙外（设备间、控制室）	1.36×10^{-1}	7.75×10^{-2}	2.14×10^{-1}
H	机房顶棚上	1.81×10^{-1}	1.03×10^{-1}	2.85×10^{-1}
O	机房防护门外	1.22	2.81×10^{-1}	1.50

由估算结果可知：回旋加速器正常运行时，机房周边辐射剂量率为 2.14×10^{-1}μSv/h～1.50μSv/h 之间，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中核医学区外人员可达处，距离屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量率控制目标值应不大于 25μSv/h 的要求。

（2）附加年有效剂量估算

回旋加速器操作人员的辐射剂量率为回旋加速器开机状态下控制室内的剂量率预测值，时间为出束时间；热室工作人员的辐射剂量率为回旋加速器开机状态下机房南侧墙外（热室房间内）的剂量率预测值；公众的辐射剂量率为回旋加速器开机状态下机房顶棚上的剂量率预测值。

由医院提供资料可知，回旋加速器每天运行时间约 1 小时，年工作 250 天，年工作时间为 250h，热室工作时间为 80h。本项目回旋加速器的职业工作人员及周围公众成员的附加年有效剂量估算结果见表 11-33。

表 11-33 回旋加速器职业工作人员及公众成员的附加年有效剂量估算

关注点	对象	关注点剂量率（μSv/h）	时间（h）	居留因子	附加年有效剂量 H（mSv/a）
机房东侧墙外（医疗街）	公众成员	9.81×10^{-1}	250	1/4	6.13×10^{-2}
机房南侧墙外（热室工作人员）	职业人员	9.81×10^{-1}	80	1	7.85×10^{-2}
机房西侧墙外（回旋加速器通道）	职业人员	9.81×10^{-1}	250	1/4	6.13×10^{-2}
机房北侧墙外（控制室操作人员）	职业人员	2.14×10^{-1}	250	1	5.34×10^{-2}
机房顶棚上	公众成员	2.85×10^{-1}	250	1/4	1.78×10^{-2}
机房防护门外	职业人员	1.50	250	1/4	9.38×10^{-2}

表 11-33 表明，回旋加速器正常运行时对工作人员职业照射的最大附加年有效剂量值为 9.38×10^{-2}mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业照射剂量限值 20mSv/a 的要求，也低于剂量管理目标值 5mSv/a。对公众照射的最大附加年有效剂量值为 6.13×10^{-2}mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）公众照射剂量限值 1mSv/a 的要求，也低于剂量管理目标值

0.25mSv/a。

（3）感生放射性的影响分析

当加速器加速粒子能量大于 10MeV 时，机房内会产生感生放射性。加速器感生放射性包括：

加速器冷却水被活化将产生的感生放射性核素主要是 ^{15}O、^{16}N，半衰期分别是 2.1min 和 7.3s，一般采取放置一段时间其活度可衰减到可忽略的水平。放射性固体废物有靶废料，即有靶窗、废弃的离子源灯丝等，为感生放射性废物。在加速器运行时，由于有足够的结构屏蔽，所以由靶废料产生的感生放射性不会对屏蔽体外的工作人员造成危害。但在停机后，工作人员必须等待一段时间并佩戴个人剂量报警仪进入。加速器检修时，工作人员必须佩带个人剂量报警仪和巡测仪，穿戴防污染手套、铅衣、铅围裙等防护用品。

（4）安全联锁系统

本项目回旋加速器机房拟在机房内设置紧急停机开关和紧急开门按键。

当遇到任何紧急情况需要立即停止辐照，只要按动机房内的紧急停机开关，照射立即结束。所有应急按钮开关均设有自锁机构，按下后不会自动恢复，必须释放紧急按钮开关后才能恢复供电进入正常工作状态。

防护门和回旋加速器实现门机联锁控制。防护门处于开启状态，加速器无法启动；加速器运行时，防护门意外打开，设备自动停机。

综上所述，该项目回旋加速器机房屏蔽墙效果良好，配置了安全联锁装置，符合《核医学放射防护要求》（GB120-2020）中的相关要求。

4.2.2 放射性药品制作场所辐射环境影响分析

4.2.2.1 放射性药品制备场所屏蔽体外剂量率符合性分析

本项目仅生产放射性核素 ^{18}F，放射性核素产生过程中的辐射影响采用理论估算进行评价。考虑到放射性核素 ^{18}F 生产出来到第一个病人注射的时间约为 10min，后面每隔 10min 再注射下一位病人，考虑到药物的衰减影响，则实际操作 30 人所需生产备用的药量为 931mCi（3.44×10^{10}Bq）。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）可知核医学科剂量率预测公式如下：

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{H_p \times r^2}\right) \rightarrow H_p = \frac{A\Gamma}{r^2}10^{-\frac{X}{TVL}} \qquad 式（16）$$

式中：

H_p—，屏蔽体外关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

x—屏蔽厚度，单位为毫米（mm）；

Γ —距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为μSv·m²/MBq·h，^{18}F 为 0.143μSv·m²/MBq·h；

A—单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为兆贝可（MBq）；

r—参考点与放射源间的距离，m。点源到合成柜/分装柜外表面距离为 0.5m、到合成、分装工作人员的距离为 0.8m；点源到质检工作人员、放化实验工作人员、研发实验工作人员的距离均为 0.5m，且工作人员穿 0.5mmPb 当量防护衣；送药铅罐内的点源到转运工作人员的距离为 0.36m；

TVL—γ射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm），^{18}F 核素混凝土的十值层厚度为 176mm，铅的十值层厚度为 16.6mm，实心砖的十值层厚度为 263mm。

合成、分装均为一次性分装、合成一天需要的最大操作量，全检质检室用药量约 6mCi/次，放化实验室用药量约 3mCi/次，核素转运均为一次性转运一天需要的最大操作量。

代入相关参数进行计算，计算结果见表 11-34。

表 11-34 放射性药品制备场所空气比释动能率估算结果

核素名称及位置		A（MBq）	Γ（μSv·m²/MBq·h）	r（m）	屏蔽物质及厚度	屏蔽后的空气比释动能率（μSv/h）
热室	合成分装操作位（合成柜/分装柜正面表面 30cm处）	3.44×10^4	0.143	0.80	70mmPb	4.66×10^{-1}
	东墙外 30cm			2.60	60mmPb+300 mm混凝土	3.49×10^{-3}
	南墙外 30cm			3.73	60mmPb+300 mm混凝土	1.70×10^{-3}
	西墙外 30cm			2.60	70mmPb+300 mm混凝土	8.72×10^{-4}
	北墙外 30cm			3.73	60mmPb+800 mm混凝土	2.45×10^{-6}

	顶棚			6.40	60mmPb+300 mm混凝土	5.76×10^{-4}
全检质控室	东侧墙外 30cm	2.22×10^{2}	0.143	2.83	240mm砖墙	1.72×10^{-1}
	西侧墙外 30cm			2.83	480mm砖墙	7.43×10^{-3}
	顶棚			6.40	300mm混凝土	1.53×10^{-2}
放化实验室	东墙外 30cm	1.11×10^{2}	0.143	1.66	240mm砖墙	2.49×10^{-1}
	北墙外 30cm			1.71	240mm砖墙	2.35×10^{-1}
	顶棚			6.40	300mm混凝土	7.65×10^{-3}

由估算结果可知：放射性药品制备场所周边辐射剂量率为 2.45×10^{-6}μSv/h～4.66×10^{-1}μSv/h 之间，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中核医学区外人员可达处，距离屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量率控制目标值应不大于 25μSv/h 的要求。

4.2.2.2 年有效剂量估算

（1）辐射工作人员剂量估算结果

由医院提供资料可知，合成、分装每年操作时间为 80h；质检每年操作时间约 40h；放化每年操作时间约 40h；核素运送均为一次性运送一天需要的最大操作量，整个运送过程用时约 10min，全年最多运送 250 次，则每年运送时间约 41.7h。

表 11-35 放射性药品制备场所人员附加年有效剂量估算结果表

人员		A（MBq）	Γ（μSv·m²/MBq·h）	r（m）	屏蔽物质及厚度	接触时间（h）	最大年有效剂量（mSv）
工作人员	合成、分装	3.44×10^{4}	0.143	0.8	70mmPb	80	3.73×10^{-2}
	质检	2.22×10^{2}	0.143	0.5	0.5mmPb	40	4.74
	放化实验	1.11×10^{2}	0.143	0.5	0.5mmPb	40	2.37
	运送	3.44×10^{4}	0.143	0.36	50mmPb	41.7	1.54

考虑到合成分装工作人员的附加年有效剂量估算应叠加回旋加速器生产过程及非密封源操作过程的影响，最终合成分装工作人员受到的辐射剂量剂量为 1.16×10^{-1}mSv。

（2）公众成员剂量估算结果

由于热室、质检室、放化实验室等工作场所为单独隔离区域，并设置隔离措施，无关人员无法入内，公众成员主要为清洁员，清洁人员主要在下班后打扫走廊及其他监督区，不对高活性室进行打扫，所受辐射剂量很小，符合《电离辐射防护与辐射源

安全基本标准》（GB18871-2002）公众照射剂量限值 1mSv/a 的要求，也低于剂量管理目标值 0.1mSv/a。

综上所述，放射性药品制作场所正常运行时对工作人员职业照射的最大附加年有效剂量值为 4.74mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业照射剂量限值 20mSv/a 的要求，也低于剂量管理目标值 5mSv/a。对公众照射的附加年有效剂量很小，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）公众照射剂量限值 1mSv/a 的要求，也低于剂量管理目标值 0.25mSv/a。

4.3 核医学科诊疗场所辐射影响分析

4.3.1 辐射防护措施

核医学科诊疗区域甲癌病房墙体使用 480mm 厚页岩实心砖（密度不小于 1.65g/cm^3），PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房墙体使用 370mm 厚页岩实心砖，其余墙体均使用 240mm 厚页岩实心砖；核医学科诊疗区域甲癌病房顶棚使用 300mm 厚钢筋混凝土+40mm 厚细石混凝土（保守估算，本次理论计算不考虑 40mm 厚细石混凝土），其他区域的顶棚均使用 250mm 厚钢筋混凝土；核医学科诊疗区域地板均采用 350mm 厚钢筋混凝土楼板+0.95m 回填土（保守估算，本次理论计算不考虑 0.95m 回填土）。

PET 机房防护门和观察窗为 8mm 铅当量，SPECT/CT 机房防护门和观察窗均为 4mm 铅当量，甲癌病房防护门为 8mm 铅当量，其他防护门均为 4mm 铅当量。

PET-CT 诊断项目通风柜铅当量为 50mmPb，SPECT-CT 诊断项目通风柜铅当量为 20mmPb，针筒有专用防护盒和防护套，防护铅当量分别为 20mmPb 和 6mmPb，PET-CT 注射窗口防护铅当量为 30mm，SPECT-CT 注射窗口防护铅当量为 20mm。注射准备室和储源室设置铅当量为 20mm 的放射性废物储存衰变桶。

该项目核医学科放射性废水的收集均采用含铅铸铁管道，具有一定的防护效果，且该项目核医学科位于一层，而衰变池位于地下一层，正常情况下竖直管道中无放射性废水滞留，其辐射影响很小。同时医院废水管道敷设需满足《综合医院建筑设计规范》GB51039-2014 的要求，即“排放含有放射性污水的管道应采用机制含铅铸铁管道，水平敷设在垫层内或专用防敷设吊顶内，立管应安装在壁厚不小于 150mm 的混凝土与管道井内”。

4.3.2 核医学科诊疗场所屏蔽体外剂量率符合性分析

^{89}Sr 放射性核素由厂家进行分装，骨转移灶病变部位 ^{89}Sr 药物浓聚量很高，正常

组织吸收很少，^{89}Sr 衰变产生能量 1.46MeV 的β^-射线穿透能力仅 2～3mm，对周围环境及人员无明显的辐射影响。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）可知核医学科屏蔽体外剂量率预测公式如下：

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{H_p \times r^2}\right) \rightarrow H_p = \frac{A\Gamma}{r^2} 10^{-\frac{X}{TVL}} \qquad 式（17）$$

式中：

H_p—屏蔽体外关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

x—屏蔽厚度，单位为毫米（mm）；

Γ—距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为μSv·m²/MBq·h，^{18}F 为 0.143μSv·m²/MBq·h、^{99m}Tc 为 0.0303μSv·m²/MBq·h、^{131}I 为 0.0595μSv·m²/MBq·h。

A—单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为兆贝可（MBq）；

r—参考点与放射源间的距离，m。根据美国 AAPM108 号报告，给出了计算关注点的原则，计算中将患者视为理想“点源”并位于病房中央，四周屏蔽墙关注点位置在墙外 0.3m 处，屋顶关注点位置在楼板地面上方 0.5m 处。楼下关注点在地面上方 1.7 米处；

TVL—γ射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm），^{18}F 核素混凝土的十值层厚度为 176mm，铅的十值层厚度为 16.6mm，砖的十值层厚度为 263mm，^{99m}Tc 核素混凝土的十值层厚度为 110mm，铅的十值层厚度为 1mm，砖的十值层厚度为 160mm，^{131}I 核素混凝土的十值层厚度为 170mm，铅的十值层厚度为 11mm，砖的十值层厚度为 240mm。

4.3.2.1 PET-CT 工作场所屏蔽体外剂量率符合性分析

（1）PET-CT 工作场所屏蔽体外剂量率符合性分析

^{18}F 显像诊断，年诊断 6000 人次，每人次平均用量为 370MBq，放射性药物均由医院回旋加速器生产并分装后运输至注射室，医务人员直接进行注射，本项目设置 1 间 PET/CT 候诊室和 1 间 VIP 候诊室，PET/CT 候诊室最大停留 2 人，VIP 候诊室最大停留 1 人，留观候检室内最大停留 4 人。带入相关的参数，PET-CT 工作场所屏蔽体外剂量率计算结果见表 11-36。

表 11-36 PET-CT 工作场所所屏蔽体外剂量率及相关参数

预测点位		*A*（MBq）	*R*（m）	*Γ*（μSvm²/MBqh）	x（mm）	*TVL*（mm）	H_p（μSv/h）	限值（μSv/h）
分装注射室	分装柜 5cm 处	1.11×10^{4}	0.3	0.143	50	16.6	17.15	25
	楼上距地板 30cm 处	370	3.5	0.143	250	176	1.64×10^{-1}	2.5
	楼下地面上 1.7m 处	370	3.3	0.143	350	176	4.99×10^{-2}	2.5
	控制区内墙外 30m	370	2.7	0.143	240	263	8.87×10^{-1}	25
	控制区内防护门外 30cm 处	370	2.8	0.143	4	16.6	3.87	25
PET/CT 候诊室	楼上距地板 30cm 处	740	3.5	0.143	250	176	3.28×10^{-1}	2.5
	楼下地面上 1.7m 处	740	3.3	0.143	350	176	9.97×10^{-2}	2.5
	控制区内墙外 30m 处	740	2.6	0.143	240	263	1.91	25
	控制区内防护门外 30cm 处	740	2.6	0.143	4	16.6	8.99	25
VIP 候诊室	楼上距地板 30cm 处	370	3.5	0.143	250	176	1.64×10^{-1}	2.5
	楼下地面上 1.7m 处	370	3.3	0.143	350	176	4.99×10^{-2}	2.5
	控制区内墙外 30m 处	370	2.6	0.143	240	263	9.57×10^{-1}	25
	控制区内防护门外 30cm 处	370	2.6	0.143	4	16.6	4.49	25
PET-CT 机房	楼上距地板 30cm 处	370	3.5	0.092	250	176	1.05×10^{-1}	2.5
	楼下地面上 1.7m 处	370	3.3	0.092	350	176	3.21×10^{-2}	2.5
	控制区内墙外 30cm 处	370	3.2	0.092	370	263	1.30×10^{-1}	25
	控制区外墙外 30cm 处	370	4.2	0.092	370	263	7.56×10^{-2}	2.5
	控制区外防护门外 30cm 处	370	4.2	0.092	8	16.6	6.36×10^{-1}	2.5
	控制区外观察窗外 30cm 处	370	4.2	0.092	8	16.6	6.36×10^{-1}	2.5
留观候检室	楼上距地板 30cm 处	1480	3.5	0.092	250	176	4.22×10^{-1}	2.5

	楼下地面上 1.7m 处	1480	3.3	0.092	350	176	1.28×10^{-1}	2.5
	控制区内墙外 30m 处	1480	1.4	0.092	240	263	8.50	25
	控制区内墙防护门 30m 处	1480	2.5	0.092	4	16.6	12.5	25

注：根据 AAPM Task Group 108，^{18}F 注射进入人体后，身体吸收了一些湮灭辐射，因此，自注射后候诊室之后，人体中放射性核素 ^{18}F 放射性核素剂量率常数变为 0.92×10^{-4}mSv·h^{-1}·MBq^{-1}·m^2。

经预测可知：在 PET-CT 工作场所控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3 m 处的辐射剂量率最大为 6.36×10^{-1}μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3 m 处的辐射剂量率最大为 12.5μSv/h；PET-CT 工作场所的分装柜外表面 5 cm 处的辐射剂量率为 17.15μSv/h。符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5 cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μSv/h”。

（2）PET-CT 工作场所周围人员所受年剂量预测

①辐射工作人员所受年剂量预测

^{18}F 显像诊断，年诊断 6000 人次，每人次平均用量为 370MBq。放射性药物均由医院回旋加速器生产并分装后运输至注射室，医务人员直接进行注射，每人次注射时间约为 20 秒，年诊断 6000 人次，则年注射时间为 33.3 小时，注射时距离约为 0.3m；PET-CT 机房拟安排 2 位护士轮流摆位，每位病人平均摆位时间约为 0.5 分钟，年诊断 6000 人次，年摆位时间为 50 小时，摆位时距离约为 1.0m；每人次扫描时间约为 20 分钟，年扫描时间约为 2000 小时。

PET-CT 工作场所辐射工作人员所受年剂量计算结果见表 11-37。

表 11-37 PET-CT 工作场所辐射工作人员所受年剂量预测参数及结果

预测点位		*A*（MBq）	*R*（m）	*Γ*（μSvm^2/MBqh）	*t*（h）	x（mm）	*TVL*（mm）	*H*（mSv/a）
分装注射室	注射护士	370	0.3	0.143	33.3	30	16.6	3.05×10^{-1}
PET/CT 机房	摆位医生	370	1.0	0.092	50/2	0.5	16.6	7.94×10^{-1}
	控制室医生	370	4.2	0.092	2000	8	16.6	1.27

由预测结果可知，PET-CT 工作场所辐射工作人员受到的附加年有效剂量最大为 1.27mSv，满足项目管理限值 5mSv 的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

②公众人员所受年剂量预测

根据本项目核医学科工作场所的平面布局图，本项目主要考虑对注射室西侧通道、PET-CT 机房西侧和北侧医护通道、工作场所楼上检验科的公众人员产生影响，本项目共计设置 1 间 PET/CT 候诊室和 1 间 VIP 候诊室，PET/CT 候诊室最大停留 2 人，VIP 候诊室最大停留 1 人，平均每位病人在注药后候诊室候诊时间约为 30 分钟，留观室内最大停留 4 名病人，每位病人留观室内停留时间为 15 分钟。

PET-CT 工作场所周围公众成员所受年剂量计算结果见表 11-38。

表 11-38 PET-CT 工作场所公众成员所受年剂量预测参数及结果

预测点位		A（MBq）	R（m）	*Γ*（μSvm²/MBqh）	t（h）	x（mm）	*TVL*（mm）	H（mSv/a）
分装注射室	楼上	370	3.5	0.143	33.3×1/4	250	176	1.36×10^{-3}
	楼下	370	3.3	0.143	33.3×1/4	350	176	4.15×10^{-4}
PET/CT 候诊室	楼上	370×2	3.5	0.143	1000×1/4	250	176	8.20×10^{-2}
	楼下	370×2	3.3	0.143	1000×1/4	350	176	2.49×10^{-2}
VIP 候诊室	楼上	370	3.5	0.143	1000×1/4	250	176	4.10×10^{-2}
	楼下	370	3.3	0.143	1000×1/4	350	176	1.25×10^{-2}
PET/CT 机房	楼上	370	3.5	0.092	2000×1/4	250	176	5.28×10^{-2}
	楼下	370	3.3	0.092	2000×1/4	350	176	1.60×10^{-2}
	西侧	370	4.2	0.092	2000×1/4	370	263	3.78×10^{-2}
留观候检室	楼上	370×4	3.5	0.092	375×1/4	250	176	3.96×10^{-2}
	楼下	370×4	3.3	0.092	375×1/4	350	176	1.20×10^{-2}

由预测结果可知，PET-CT 工作场所周围公众成员受到的附加年有效剂量最大为 8.20×10^{-2}mSv/a，低于项目管理目标（公众年有效剂量不超过 0.25mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB188 71-2002）中关于“剂量限值”的要求。

4.3.2.2 SPECT-CT 使用放射性核素 ^{99m}Tc、^{131}I 影响分析

（1）SPECT-CT 工作场所屏蔽体外剂量率符合性分析

^{99m}Tc 显像诊断，年诊断 6000 人次，每人次用量为 925MBq，^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器

每次淋洗分装的时间为 30 分钟，一年 250 次，淋洗分装时距离放射源的距离为 0.3m，每位病人摆位时间约为 0.5 分钟，摆位时距离约为 1m，每次扫描时间约为 15 分钟。

淋洗分装人员每天分装的 ^{99m}Tc 核素量最大为 32×25mCi=29600MBq，每天淋洗分装时间约为 30 分钟，一年 250 次，年淋洗分装时间为 125 小时；注射医生每次注射时间为 20 秒，年诊治病人数 6000，则年注射时间为 33.3 小时；摆位医生每次摆位时间 0.5 分钟，年诊治病人数 6000，则年摆位时间为 50 小时。控制室医生每次扫描时间为 15 分钟，年诊治病人数 6000，则年扫描时间为 1500 小时。

甲癌病人出院前需进行 SPECT-CT 扫描检查，按照病人离开时体内放射性活度最大 400MBq 进行计算，年扫描检查甲癌病人（^{131}I 扫描病人）50 人次，摆位时距离约为 1m，摆位医生每次摆位时间 0.5 分钟，则年摆位时间为 0.42 小时，每人次扫描时间为 15 分钟，年扫描时间 12.5 小时。

带入相关的参数，SPECT-CT 工作场所屏蔽体外剂量率计算结果见表 11-39。

表 11-39 SPECT-CT 工作场所屏蔽体外剂量率及相关参数

预测点位		*A*（MBq）	*R*（m）	*Γ*（μSvm²/MBqh）	x（mm）	*TVL*（mm）	H_p（μSv/h）	限值（μSv/h）	备注
分装注射室	分装柜 5cm 处	2.96×10^{4}	0.3	0.0303	20	1	9.97×10^{-17}	25	^{99m}Tc
	楼上距地板 30cm 处	925	3.5	0.0303	250	110	1.22×10^{-2}	2.5	^{99m}Tc
	楼下地面上 1.7m 处	925	3.3	0.0303	350	110	1.69×10^{-3}	2.5	^{99m}Tc
	控制区内墙外 30m	925	2.7	0.0303	240	160	1.22×10^{-1}	25	^{99m}Tc
	控制区内防护门外 30cm 处	925	2.8	0.0303	4	110	3.28	25	^{99m}Tc
SPECT-CT 候诊室	楼上距地板 30cm 处	925×8	3.5	0.0303	250	110	9.77×10^{-2}	2.5	^{99m}Tc
	楼下地面上 1.7m 处	925×8	3.3	0.0303	350	110	1.35×10^{-2}	2.5	^{99m}Tc
	控制区内墙外 30m 处	925×8	2.6	0.0303	240	160	1.05	25	^{99m}Tc
	控制区内防护门外 30cm 处	925×8	2.6	0.0303	4	1	3.31×10^{-3}	25	^{99m}Tc
SPECT-CT 机房	楼上距地板 30cm 处	925	3.5	0.0303	250	110	1.22×10^{-2}	2.5	^{99m}Tc
		400	3.5	0.0595	250	170	6.57×10^{-2}	2.5	^{131}I
	楼下地面上	925	3.3	0.0303	350	110	1.69×10^{-3}	2.5	^{99m}Tc

	1.7m 处	400	3.3	0.0595	350	170	1.91×10^{-2}	2.5	^{131}I
	控制区内墙外 30cm 处	925	3.2	0.0303	370	160	1.33×10^{-2}	25	^{99m}Tc
		400	3.2	0.0595	370	240	6.68×10^{-2}	25	^{131}I
	控制区外墙外 30cm 处	925	4.2	0.0303	370	160	3.77×10^{-2}	2.5	^{99m}Tc
		400	4.2	0.0595	370	240	1.11×10^{-1}	2.5	^{131}I
	控制区外防护门外 30cm 处	925	4.2	0.0303	4	1	1.59×10^{-4}	2.5	^{99m}Tc
		400	4.2	0.0595	4	11	5.84×10^{-1}	2.5	^{131}I
	控制区外观察窗外 30cm 处	925	4.2	0.0303	4	1	1.59×10^{-4}	2.5	^{99m}Tc
		400	4.2	0.0595	4	11	5.84×10^{-1}	2.5	^{131}I
留观候检室	楼上距地板 30cm 处	925×4	3.5	0.0303	250	110	4.88×10^{-2}	2.5	^{99m}Tc
	楼下地面上 1.7m 处	925×4	3.3	0.0303	350	110	6.77×10^{-3}	2.5	^{99m}Tc
	控制区内墙外 30m 处	925×4	1.4	0.0303	240	160	1.80	25	^{99m}Tc
	控制区内墙防护门 30m 处	925×4	2.5	0.0303	4	1	1.79×10^{-3}	25	^{99m}Tc

经预测可知：在 SPECT-CT 工作场所控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3 m 处的辐射剂量率最大为 5.84×10^{-1}μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3 m 处的辐射剂量率最大为 3.28μSv/h；SPECT-CT 工作场所的分装柜外表面 5 cm 处的辐射剂量率为 9.97×10^{-17}μSv/h。符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5 cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μSv/h”。

（2）SPECT-CT 工作场所周围人员所受年剂量预测

①辐射工作人员所受年剂量预测

表 11-40 核医学科 SPECT-CT 应用场所各关注点的屏蔽要求预测参数及结果

预测点位		*A*（MBq）	*R*（m）	*Γ*（μSvm²/MBqh）	t（h）	x（mm）	*TVL*（mm）	H（mSv/a）	备注
注射室	分装医生	2.96×10^{4}	0.3	0.0303	125	20	1	1.25×10^{-17}	^{99m}Tc
	注射护士	925	0.3	0.0303	33.3	2	1	1.04×10^{-1}	^{99m}Tc

SPECT/CT 扫描间	摆位医生	925	1.0	0.0303	50	0.5	1	4.43×10^{-1}	4.44×10^{-1}	^{99m}Tc
		400	1.0	0.0595	0.42	0.5	11	9.00×10^{-3}		^{131}I
	控制室医生	925	4.2	0.0303	1500	4	1	2.38×10^{-4}	7.54×10^{-3}	^{99m}Tc
		400	4.2	0.0595	12.5	4	11	7.30×10^{-3}		^{131}I

由预测结果可知，SPECT-CT 工作场所辐射工作人员受到的附加年有效剂量最大为 4.44×10^{-1}mSv，满足项目管理限值 5mSv 的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

②周围公众所受剂量

根据本项目核医学科工作场所的平面布局图，本项目主要考虑对注射室西侧通道、SPECT-CT 机房北侧医护通道、工作场所楼上检验科的公众人员产生影响，本项目共计设置 1 间 SPECT-CT 候诊室，每间候诊室最大停留 8 人，病人在候诊室内停留时间 15 分钟，留观室内最大停留 4 名病人，每位病人留观室内停留时间为 15 分钟。

SPECT-CT 工作场所周围公众成员所受年剂量计算结果见表 11-41。

表 11-41 SPECT-CT 工作场所公众成员所受年剂量预测参数及结果

预测点位		A（MBq）	R（m）	*Γ*（μSvm²/MBqh）	t（h）	x（mm）	*TVL*（mm）	H（mSv/a）		备注
分装注射室	楼上	925	3.5	0.0303	33.3×1/4	250	110	1.02×10^{-4}		^{99m}Tc
	楼下	925	3.3	0.0303	33.3×1/4	350	110	1.41×10^{-5}		^{99m}Tc
SPECT-CT 候诊室	楼上	925×8	3.5	0.0303	187.5×1/4	250	110	4.58×10^{-3}		^{99m}Tc
	楼下	925×8	3.3	0.0303	187.5×1/4	350	110	6.34×10^{-4}		^{99m}Tc
SPECT-CT 机房	楼上	925	3.5	0.0303	1500×1/4	250	110	4.58×10^{-3}	4.79×10^{-3}	^{99m}Tc
		400	3.5	0.0595	12.5×1/4	250	170	2.05×10^{-4}		^{131}I
	楼下	925	3.3	0.0303	1500×1/4	350	110	6.35×10^{-4}	6.95×10^{-4}	^{99m}Tc
		400	3.3	0.0595	12.5×1/4	350	170	5.96×10^{-5}		^{131}I
	西侧	925	4.2	0.0303	1500×1/4	370	160	2.90×10^{-3}	3.02×10^{-3}	^{99m}Tc
		400	4.2	0.0595	12.5×1/4	370	240	1.21×10^{-4}		^{131}I
留观室	楼上	925×4	3.5	0.0303	375×1/4	250	110	4.58×10^{-3}		^{99m}Tc

	楼下	925×4	3.3	0.0303	375×1/4	350	110	6.35×10^{-4}	^{99m}Tc

由预测结果可知，SPECT-CT 工作场所周围公众成员受到的附加年有效剂量最大为 4.79×10^{-3}mSv/a，低于项目管理目标（公众年有效剂量不超过 0.25mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB188 71-2002）中关于“剂量限值”的要求。

4.3.2.3 放射性核素 ^{131}I 影响分析

（1）^{131}I 工作场所屏蔽体外剂量率符合性分析

医院 ^{131}I 治疗甲亢和甲癌时，药物采取全自动分装仪自动分装。

由医院提供资料可知，甲癌患者人均服药量为 150mCi，日最大操作人次为 4 人，甲亢患者人均服药量为 10mCi，日最大操作人次为 20 人。

由于本项目 ^{131}I 甲亢和甲癌治疗药物采取全自动分装仪自动分装，分装过程可忽略分装阶段对周围环境的影响。病人自取药物服用，医生通过摄像头和对讲系统对病人进行指导服药。因此，分装给药过程对辐射工作人员无影响，仅对周围环境产生一定的影响。

甲癌病房对周边环境影响计算时，取其中具有代表性的甲癌病房（核医学科南侧）进行计算。甲癌病房内按照均按照 2 位服用 5550MBq（150mCi）的甲癌患者，服药病人按点源考虑，位于病房中央位置。

医院 ^{131}I 甲癌治疗病人约 50 人/年，每人次病人服药时间约为 30 秒，则年服药时间为 0.41 小时；医院拟设置 3 间甲癌病房（6 个床位）供甲癌病人居住，按照每位病人住院 7 天计算，则病人年住院时间为 7×24×50/6=1400 小时。对于病房周边主要是医院正常工作时间停留的人员，按照每天 8 小时进行计算。

医院 ^{131}I 甲亢治疗病人约 500 人/年，每人次病人服药时间约为 30 秒，年治疗病人 500 人，则年服药时间为 4.16 小时。甲亢治疗病人在甲亢病房停留时间约为 30 分钟，甲亢病房内最大停留人数为 4 人，则甲亢病房最大停留 4 人时间为 62.5 小时。

带入相关的参数，放射性核素 ^{131}I 工作场所屏蔽体外剂量率计算结果见表 11-42。

表 11-42 放射性核素 ^{131}I 工作场所所屏蔽体外剂量率及相关参数

预测点位		*A*（MBq）	*R*（m）	*Γ*（μSvm²/MBqh）	x（mm）	*TVL*（mm）	H_p（μSv/h）	限值（μSv/h）	备注
自动分装室	楼上距地板30cm 处	370	3.5	0.0595	250	170	6.08×10^{-2}	2.5	甲亢
		5550	3.5	0.0595	250	170	9.12×10^{-1}	2.5	甲癌
	楼下地面上	370	3.3	0.0595	350	170	1.77×10^{-2}	2.5	甲亢

	1.7m 处	5550	3.3	0.0595	350	170	2.65×10^{-1}	2.5	甲癌
甲癌病房	楼上距地板 30cm 处	5550×2	3.5	0.0595	300	170	9.27×10^{-1}	2.5	/
	楼下地面上 1.7m 处	5550×2	3.3	0.0595	350	170	5.30×10^{-1}	2.5	/
	控制区内墙外 30cm 处	5550×2	2.3	0.0595	480	240	1.25	25	/
	控制区内防护门外 30cm 处	5550×2	2.3	0.0595	8	11	23.4	25	/
	控制区外墙外 30m	5550×2	2.3	0.0595	480	240	1.25	2.5	/
甲亢病房	楼上距地板 30cm 处	370×4	3.5	0.0595	250	170	2.43×10^{-1}	2.5	/
	楼下地面上 1.7m 处	370×4	3.3	0.0595	350	170	7.06×10^{-2}	2.5	/
	控制区内墙外 30cm 处	370×4	2.1	0.0595	370	240	5.74×10^{-1}	25	/
	控制区内防护门外 30cm 处	370×4	2.1	0.0595	4	11	8.64	25	/
	控制区外墙外 30m	370×4	2.8	0.0595	370	240	3.23×10^{-1}	2.5	/

经预测可知：在 ^{131}I 工作场所控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3 m 处的辐射剂量率最大为 1.25μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3 m 处的辐射剂量率最大为 23.4μSv/h。符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μSv/h。

（2）SPECT-CT 工作场所周围人员所受年剂量预测

表 11-43 ^{131}I 工作场所公众成员所受年剂量预测参数及结果

预测点位		A（MBq）	R（m）	*Γ*（μSvm²/MBqh）	t（h）	x（mm）	*TVL*（mm）	H（mSv/a）		备注
自动分装室	楼上	5550	3.5	0.0595	0.41×1/4	250	170	9.35×10^{-5}	1.10×10^{-4}	甲癌
		370	3.5	0.0595	4.16×1/4	350	170	1.63×10^{-5}		甲亢
	楼下	5550	3.3	0.0595	0.41×1/4	250	170	1.05×10^{-4}	1.23×10^{-4}	甲癌
		370	3.3	0.0595	4.16×1/4	350	170	1.84×10^{-5}		甲亢

甲癌病房	楼上	5550×2	3.5	0.0595	466.7×1/4	300	170	1.08×10^{-1}	1.08×10^{-1}	/
	楼下	5550×2	3.3	0.0595	466.7×1/4	350	170	6.18×10^{-2}	6.18×10^{-2}	/
	南侧	5550×2	2.3	0.0595	466.7×1/4	480	240	1.46×10^{-1}	1.46×10^{-1}	/
	西侧	5550×2	4.0	0.0595	466.7×1/4	480	240	4.82×10^{-2}	4.82×10^{-2}	/
甲亢病房	楼上	370×4	3.5	0.0595	62.5×1/4	250	170	3.80×10^{-3}	3.80×10^{-3}	/
	楼下	370×4	3.3	0.0595	62.5×1/4	350	170	1.10×10^{-3}	1.10×10^{-3}	/
	西侧	370×4	3.2	0.0595	62.5×1/4	370	240	3.86×10^{-3}	3.86×10^{-3}	/

由预测结果可知，^{131}I 工作场所周围公众成员受到的附加年有效剂量最大为 1.46×10^{-1}mSv/a，低于项目管理目标（公众年有效剂量不超过 0.25mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB188 71-2002）中关于“剂量限值”的要求。

4.3.3 PET-CT、SPECT-CT 机房屏蔽措施对标分析（CT 部分）

根据阜阳肿瘤医院采购计划，本项目核医学科拟采购 1 台 PET-CT 和 1 台 SPECT-CT，管电压不超过 140kV。机房四周墙体均为 370mm 实心砖墙防护，顶板为 250mm 钢筋混凝土结构，底板为 350mm 钢筋混凝土结构，PET-CT 机房防护门和观察窗均按照 8mm 铅当量、SPECT-CT 机房防护门和观察窗均按照 4mm 铅当量要求进行招标采购，其机房屏蔽措施达标分析见表 11-44。

表 11-44 SPECT/CT 和 PET/CT 机房（CT 部分）符合性分析

	屏蔽材料及厚度	标准要求	符合性
PET/CT 机房			
墙体	四周墙体为 370mm 实心砖墙（约 3.0mm 铅当量）	2.5mm 铅当量	符合
顶板	250mm 混凝土（约 3.0mm 铅当量）	2.5mm 铅当量	符合
底板	350mm 混凝土（约 4.2mm 铅当量）	2.5mm 铅当量	符合
防护门	8mm 铅当量	2.5mm 铅当量	符合
观察窗	8mm 铅当量	2.5mm 铅当量	符合
内空尺寸	5.63m×7.58m	最小有效使用面积 30m^2 最小单边长度 4.5m	符合
SPECT/CT 机房			
墙体	四周墙体为 370mm 实心砖墙（约 3.0mm 铅当量）	2.5mm 铅当量	符合

顶板	250mm 混凝土（约 3.0mm 铅当量）	2.5mm 铅当量	符合
底板	350mm 混凝土（约 4.2mm 铅当量）	2.5mm 铅当量	符合
防护门	4mm 铅当量	2.5mm 铅当量	符合
观察窗	4mm 铅当量	2.5mm 铅当量	符合
内空尺寸	5.63m×7.63m	最小有效使用面积 30m^2 最小单边长度 4.5m	符合

从机房达标分析可知，本项目核医学科 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房拟采取的屏蔽措施、机房面积及最小单边长度均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。在投入使用前，医院还应在控制室适当位置张贴岗位职责和操作规程，防护门外应张贴电离辐射警示志，并设置醒目的工作状态指示灯。机房防护门和工作指示灯设置有效的联动，机房内设置机械排风系统。

4.4 敷贴治疗（^{90}Sr）环境影响分析

本项目核医学科设有专门的敷贴治疗室，该敷贴治疗室面积约 12.25m^2（4.41m×2.78m），满足《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）中规定的敷贴治疗应设置专用治疗室，该治疗室与诊断室、登记值班室和候诊室分开设置，治疗室内使用面积应满足治疗要求。治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度符合放射防护原则，能够保证工作场所以外人员受照剂量在相应的年剂量限值以下。治疗室内高 1.5m 以下的墙面应有易去污的保护涂层。地面，尤其在治疗患者位置，应铺有可更换的质地较软又容易去污染的辅料。

使用敷贴器时，必须考虑对β粒子产生的韧致辐射的防护。敷贴器不用时，应放在有屏蔽能力的容器内，容器屏蔽层结构应分内外两层，内层为铝或有机玻璃等低原子序数材料，其厚度应大于β辐射再相应材料中的最大射程。外层为适当厚度的铅、铸铁等重金属材料，并具有防火、防盗的性能。

治疗室内应制定敷贴治疗操作规程及卫生管理制度，并配有β污染检查仪等检测仪器。治疗室内应配备专用清洁设施及工具，不得与非治疗室混用。新购置或经检修后的敷贴器正式用于临床前，必须按照《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）的有关要求由放射卫生技术服务机构进行验收检测。

4.5 密封放射源 ^{68}Ge 辐射防护评价

PET-CT 校准使用的放射源 ^{68}Ge，不检测时，放射源放置于核医学科储源室的校准源储藏柜中，检测时源接近探测器或模体，源的能量几乎被其吸收，当活度达不到校准

要求时，由厂家更换后回收，其辐射环境影响较小。

4.6 放射性废气

放射性药物在操作过程中会产生气载放射性废物。核医学科在通风橱分装、稀释液态放射性药品，操作时间较短，在正常情况下，通风橱排出气体的放射性活度很小。通风橱的废气通过管道在核医学科所在楼的屋顶高出屋脊的排放口排放，通风橱风速不小于 0.5m/s，且设置活性炭过滤装置，符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求，即“合成和操作放射性药物所使用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。”

4.7 放射性废水

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）5.1.1 款规定，使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 2×10^{7}Bq 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防渗漏措施。

由工程分析可知，医院的放射性废水中含有 ^{131}I 、^{99m}Tc、^{89}Sr、^{18}F 四种核素。放射性废水主要包括工作人员操作过程中产生少量含放射性核素的废水、核医学科病人排泄物、清洁用水等。

为限制排放总量，医院拟在核医学科东南侧设置 1 座地埋式的衰变池，用于收集核医学科产生的放射性废水，衰变池为八级并联衰变池（衰变池平面及剖面布置图见附图十八），为钢筋混凝土结构，总容积为 240m^3。放射性废水经衰变池储存衰变，经衰变池处理达标后，依托医院自建污水处理站处理后经城市污水管网进入颍东区污水处理厂处理，最终排入济河。

核医学科放射性废水产生量，依据《建筑给排水设计规范》（GB50015-2010）中有关医院的用水定额，以及该项目核医学科的具体设置情况确定。

核医学科门诊病人预计年接待 12560 人次，每人次产生放射性废水量按照 15L 计算，甲癌住院病人预计年接待 50 人次，人均住院 7 天，每天每人产生废水量按 250L 计算，医务人员 15 名，年工作 250 天，每人每天产生放射性废水按 40L 计算，则日均产生放射性废水量约为 1.17m^3，因衰变池并联布置，则单池轮转时间约为

（$30m^3/1.17m^3$）×7=175 天。单池装满废水时间约为 25 天。

本项目衰变池为并联布设，因此，应对单次排放量进行控制。根据北京市疾病预防控制中心放射卫生防护所王时进 2009 年国家放射防护职业评价培训课件：甲癌患者用药后的前 5 天 ^{131}I 随尿排出量约为 85%。本项目使用的放射性核素 ^{89}Sr 半衰期长，且一般病人注射药物后即离开场所，因此，该项目放射性核素 ^{131}I、^{18}F 和 ^{99m}Tc 进入废水均保守按 90%进行分析，放射性核素 ^{89}Sr 进入废水按 5%进行分析。由年使用量可计算得到单日排放量，计算结果详见表 11-45。

表 11-45 放射性废水中放射性核素排放达标分析

核素名称	年使用量（Bq）	日平均使用量（Bq）	日平均排放量（Bq）
^{131}I	4.625×10^{11}	1.85×10^{9}	1.67×10^{9}
^{89}Sr	8.88×10^{9}	3.55×10^{7}	1.78×10^{6}
^{99m}Tc	5.55×10^{12}	2.22×10^{10}	2.00×10^{10}
^{18}F	2.22×10^{12}	8.88×10^{9}	7.99×10^{9}

对于第一级衰变池，第一天进入的水将衰变 199 天，第二天进入的水将衰变 198 天，以此类推，第 25 天进入的水将衰变 175 天，由此计算当第一级衰变池排水时，单次核素 ^{131}I 排放量为 4.82×10^{3}Bq，单次核素 ^{89}Sr 排放量为 6.87×10^{5}Bq，单次核素 ^{18}F 排放量为 3.34×10^{-43}Bq，单次核素 ^{99m}Tc 排放量为 8.35×10^{-43}Bq。

衰变池放射性废水排放量与标准对照情况见表 11-46。

表 11-46 衰变池单次核素排放量与标准限值对照表

核素名称	单次排放量（Bq）	单次排放限值（Bq）
^{131}I	4.82×10^{3}	2.27×10^{5}
^{89}Sr	6.87×10^{5}	1.92×10^{6}
^{99m}Tc	8.35×10^{-43}	1.72×10^{8}
^{18}F	3.34×10^{-43}	5.37×10^{7}

根据分析结果可知：在医院预计的工作负荷且正常工作状态下，衰变池的设计容积能确保核医学科放射性废水中放射性核素排放量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“放射性废液排放限值”的要求。

4.8 放射性固体废物

由工程分析可知，本项目核医学科产生的固废主要有：回旋加速器产生的靶废料，

即靶窗、废弃的离子源灯丝等；正电子药物合成分装过程中制取时产生放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜和废活性炭；废弃的校准放射源 ^{68}Ge 和 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器；核医学科使用后的注射器、一次性手套、吸水纸、口罩、更换下的废活性碳放射性污染的物品等；放射性废水衰变池时产生的沉积物污泥。

①靶废料，即靶窗、废弃的离子源灯丝等，为感生放射性废物，放射性药物制取时产生放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜和废活性炭等。本项目将其置于铅废物桶中，暂存在放射性药品生产场所西侧的废物储存室，后交由厂家回收。

②药物生产过程中操作药物时产生的手套、口罩和清洁时用过的抹布、托布等，废物中主要核素为 ^{18}F 等短寿命放射性核素。所有以上放射性废物包扎好编好日期后置于铅废物桶中，暂存在放射性药品生产场所西侧的废物储存室。废物桶放置专用的塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏。经过十个半衰期以上衰变后，经有资质的单位检测达到排放水平，由环保主管部门批准后，作为一般医疗废物处置。

③废弃校准放射源 ^{68}Ge 和 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器由供货商回收。本项目校准使用的放射源 ^{68}Ge，当活度达不到校准要求时，由厂家更换后回收，^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器一般使用一周后，因放射性活度下降已无实际医用价值，便连同原包装容器退还给供方，医院应加强暂存期间的管理工作，防止发生 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器丢失事故。废物间钥匙由两人分别保管，实行双人双锁管理，并于废物间门口设置视频监控，纳入医院保卫科的安全监控网络，方便值班人员实现 24 小时实时监控。

④核素诊疗过程中产生含放射性核素的废物分类放入废物袋专用污物桶内，再将污物桶内的固体废弃物连同垃圾袋暂存在放射性废物间，贮存 10 个半衰期后作为一般医疗废物处置。用来收集放射性固体废弃物的专用污物桶须贴上电离辐射标志，并把受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明废物类型、核素种类及最后一天的收集时间。

4.9 隔离管制

由于甲状腺癌病人用药后的体表剂量水平较高。同时，其排泄物中含有活度较高的 ^{131}I。因此对甲状腺癌治疗病人进行隔离管制。该项目核医学科设有 3 间甲癌病房，甲癌病房四周墙体采用 480mm 实心砖墙，顶板采用 300mm 钢筋混凝土，底板采用 350mm 钢筋混凝土防护。病人在用药后进入病房，病房内设有卫生间，病人限制在病房内休息和活动，减少其对其他病人及公众的影响，待病人体内放射性活度降至

400MBq 后由患者出口离开。

5、DSA 辐射环境影响分析

5.1 机房屏蔽符合性分析

本项目的 DSA 属于II类射线装置，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定：“不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 7-10 的规定。”

本项目拟在医技楼一层介入中心设置 3 间 DSA 机房，医技楼三层内镜中心设置 1 间 ERCP（带数字减影血管造影功能）机房，医技楼三层手术室设置 1 间 DSA 机房，最大管电压均为 125kV。机房四周墙体为 3mm 厚铅板，顶板和底板均为为 180mm 混凝土+38mm 硫酸钡水泥（密度为 2.7g/cm^3），防护门和观察窗均为 3.0mm 铅当量。

因本项目 ERCP 为带数字减影血管造影功能，特按照 DSA 的要求对其进行影响评价。

根据《辐射防护手册 第三分册》表 3.4，38mm 硫酸钡水泥（密度为 2.7g/cm^3）对于管电压为 150kV 的初级 X 射线相当于 2mm 铅当量，因此本项目保守取 2mm 铅当量。

本项目 X 射线机管电压 125kV，参照 GBZ130-2020 附录 C，180mm 混凝土保守折算铅当量约为 2.3mmPb。

具体计算过程如下：

参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中附录 C.1.2 进行计算，已知 X＝180mm，根据表 C.2 参数（砖），α＝0.03502　β＝0.07113　γ＝0.6974，由公式（18）。

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

进行反推计算，计算出 B＝3.78×10^{-4}

再根据公式（19）

$$X=\frac{1}{\alpha\gamma}\ln\left(\frac{B^{-\gamma}+\frac{\beta}{\alpha}}{1+\frac{\beta}{\alpha}}\right) \qquad 式（19）$$

根据表 C.2，α＝2.219　β＝7.923　γ＝0.5386

由公式（19）进行反推计算，计算出 X＝2.3mm。

机房采取的屏蔽厚度符合性分析见表 11-47。

表 11-47 DSA 机房符合性分析

项目		防护材料名称和厚度/机房尺寸	设计铅当量（mmPb）	标准要求	符合性
4 间 DSA 机房、1 间 ERCP 机房	四周墙体	3mm 铅板	3.0	2.0mm 铅当量	符合
	顶板	180mm 混凝土+38mm 硫酸钡水泥	4.3	2.0mm 铅当量	符合
	底板	180mm 混凝土+38mm 硫酸钡水泥	4.3	2.0mm 铅当量	符合
	防护门	3.0mm 铅当量	3.0	2.0mm 铅当量	符合
	观察窗	3.0mm 铅当量	3.0	2.0mm 铅当量	符合

从机房屏蔽措施符合性分析可知，本项目拟增加的 4 台 DSA 和 1 台 ERCP 机房的屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。在投入使用之前，医院还应在控制室适当位置张贴岗位职责和操作规程，防护门外应张贴电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯和警示语；防护门为设有自动闭门装置的平开门，且工作状态指示灯与防护门能有效联动。

5.2 机房外辐射环境影响分析

DSA 和 ERCP 机房外辐射环境影响采用类比分析的方式进行评价，选取太和县中医院在用 DSA 机房作为类比对象，类比条件见表 11-48。

表 11-48 类比条件对照一览表

	类比对象	评价项目
设备参数	设备型号 INF9000V，最大管电压 125kV、最大管电流 1000mA	设备型号待招标后才能确定，最大管电压≤125kV、最大管电流≤1000mA
屏蔽墙体	24cm 实心砖墙，（相当于 2.2mm 铅当量）	3mm 铅板（相当于 3.0mm 铅当量）
顶板	12cm 钢筋混凝土+2mm 铅板防护（当于 3.4mm 铅当量）	180mm 混凝土+38mm 硫酸钡水泥（当于 4.3mm 铅当量）
底板	12cm 钢筋混凝土+2mm 铅板防护（当于 3.4mm 铅当量）	180mm 混凝土+38mm 硫酸钡水泥（当于 4.3mm 铅当量）
防护门	2.0mm 铅当量	3.0mm 铅当量
观察窗	3.0mm 铅当量	3.0mm 铅当量
机房面积	54m^2（7.4m×7.35m）	介入中心机房：42.10m^2（7.60m×5.54m）、42.10m^2（7.60m×5.54m）、42.10m^2

		（7.60m×5.54m）； 内镜中心机房：33.02m²（7.29m×4.53m）； 手术室机房：47.03m²（5.35m×8.79m）

从类比条件对照分析可知：本项目拟购的 4 台 DSA、1 台 ERCP 型号未定，但目前市场上无论国产或进口 DSA，最大管电压和最大管电流基本一致；本次评价机房四周墙体、防护门、观察窗的 X 射线防护措施均优于类比项目 DSA 机房，底板、顶棚 X 射线防护措施与类比项目 DSA 机房一致；本项目 5 间机房有效使用面积小于类比项目，但差异不大，因此本项目与类比项目仍具有一定的可比性。

类比监测结果引用太和县中医院在用 DSA 机房（设备型号：INF9000V）2018 年度监测报告（见附件十七），监测结果见表 11-49。

表 11-49 类比监测结果表

编号	监测点描述	测量结果（μSv/h）	编号	监测点描述	测量结果（μSv/h）
28	铅玻璃左侧 30cm	0.12	39	病人防护门左上 30cm	0.12
29	铅玻璃右侧 30cm	0.10	40	病人防护门左中 30cm	0.12
30	铅玻璃上侧 30cm	0.11	41	病人防护门左下 30cm	0.14
31	铅玻璃下侧 30cm	0.09	42	病人防护门右上 30cm	0.14
32	医生操作台	0.10	43	病人防护门右中 30cm	0.11
33	医生防护门左上 30cm	0.11	44	病人防护门右下 30cm	0.12
34	医生防护门左中 30cm	0.11	45	机房南侧外墙 30cm	0.10
35	医生防护门左下 30cm	0.11	46	机房北侧外墙 30cm	0.10
36	医生防护门右上 30cm	0.12	47	机房楼上距地板 1m	0.10
37	医生防护门右中 30cm	0.13	48	机房楼下距地板楼上 1.7m	0.09
38	医生防护门右下 30cm	0.14			

注：监测结果未扣除本底值。

由监测结果可知，太和县中医院在用 DSA 在正常工作状态下，机房周围辐射剂量率在 0.09～0.14μSv/h 范围内，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

根据类比监测结果可以预测本项目 DSA 和 ERCP 投运后，机房外辐射剂量率能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

5.3 辐射工作人员和公众剂量估算

5.3.1 辐射工作人员剂量估算

在 DSA 发射 X 射线透视下近台为病人做介入手术的医生，因暴露在辐射场下会受到较大剂量照射。按照联合国原子辐射效应委员会（UNSCEAR）2000 年报告附录 A，X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量当量按式（20）预测：

$$H_{Er} = D_r \times t \qquad \text{式（20）}$$

式中：

H_{Er}：X-γ射线外照射人均年有效剂量，Sv；

D_r：X-γ射线空气吸收剂量率，Gy/h，按照《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）中表 B.1 X 射线透视设备通用检测项目与技术要求中透视防护区检测平台上周围剂量当量率≤400μSv/h，以此值对介入手术医生所受年有效剂量进行保守估算；

t：X-γ射线照射时间，h，据医院预测每位介入医生每年最多 300 台手术，平均每台手术曝光时间约为 20 分钟；

该项目介入手术医生在做手术时拟使用防护厚度不小于 0.5mmPb 的个人防护用品，在 DSA 透视病人条件下，总衰减倍数至少可达 5 倍，则介入医生所受年有效剂量为 8mSv。能满足项目剂量管理限值 10mSv 的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作人员剂量限值（20mSv）的要求。

由于本项目介入治疗手术过程中辐射工作人员的受照剂量受多种不确定因素的影响，工作人员的受照射情况复杂多变难以准确估算其年有效剂量。因此上述理论估算结果只能大致反映出工作人员受辐射照射程度。本项目参与介入手术的医务人员在手术过程中均应佩戴个人剂量计。医院应根据个人剂量检测结果及时对工作人员工作岗位进行调整。确保其年有效剂量满足本项目的目标管理值要求。

5.3.2 公众剂量估算

本项目 DSA 的屏蔽设计能够满足放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中介入 X 射线机机房的屏般防护铅当量为 2mm 的厚度要求，由类比项目太和县中医院 DSA 机房外瞬时剂量值 0.09～0.14μSv/h，采用最大值 0.14μSv/h 对周围公众人员所受年有效剂量进行保守估算。本项目预计年总手术量 500 台次，每台手术曝光时间按 20min 计，公众居留因子取 1/4 进行估算，则机房外周围公众人员所受年有效剂量为 0.0188mSv，满足 GB18871-2002 中对公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求。

5.4 介入治疗防护措施

介入放射需要长时间的透视和大量的摄片，对病人和医务人员来说辐射剂量较高，因此在评估介入的效应和操作时，其辐射损伤必须要加以考虑。由于需要医务人员在机房内，X 线球管工作时产生的散射线对医务人员有较大影响，为此医院为工作人员配备了铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等防护用品。医院除应加强对从事介入手术医务工作人员的个人剂量管理工作，确保每名介入医务人员年有效剂量不超过 10mSv 的目标管理限值，还应在以下方面加强对介入放射的防护工作：

1）操作中减少透视时间和次数可以显著降低工作人员的辐射剂量，介入人员在操作时应尽量远离检查床。

2）一般说来，降低病人的剂量的措施可以同时降低工作人员的辐射剂量，应加强对介入人员的培训，包括放射防护的培训，参与介入的人员应技术熟练，以减少病人和介入人员的剂量。

3）所有在介入放射手术室内的工作人员都应开展个人剂量监测，医院应结合工作人员个人剂量监测的数据采取措施，不断减少工作人员的受照剂量。

4）设备必须符合国际或者国家标准，满足各种特殊操作的要求，其性能必须与操作性质相符合；应该常规调节到满足低剂量的有效范围内，尽可能提高图像质量。

5）加强 DSA 设备的质量保证工作，设备的球管与发生器、透视和数字成像的性能以及其它相关设备应该定期进行检测。

6）从事手术操作的临床医生防护服的铅当量不应低于 0.35mm；其他的防护用品的铅当量不应低于 0.25mm（手套除外）。

7）介入人员应该结合设备的特点，了解一些降低剂量的方法，加强 DSA 设备的质量保证工作，设备的球管与发生器、透视和数字成像的性能以及其它相关设备应该定期进行检测。

8）介入操作时，个人剂量计的佩戴方式应在铅围裙内躯干上和铅围裙外锁骨对应的领口位置各佩戴一个，且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）。

$$E = \alpha \cdot H_{\mu} + \beta \cdot H_0 \qquad (21)$$

其中，E：有效剂量中的外照射分量，单位为毫希沃特（mSv）；

α：系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；

H_{μ}：铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 Hp (10)，单位为毫希沃特（mSv）；

β：系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；

H_0：铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 Hp (10)，单位为毫希沃特（mSv）。

当人员接受的剂量可能接近或超过剂量限值（例如大于 15mSv）时，如果需要，也可用模体模拟测量的方法，估算主要受照器官或组织的当量剂量 H_T，再按式（22）估算有效剂量：

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T \qquad (22)$$

其中，E：有效剂量中的外照射分量，单位为毫希沃特（mSv）；

W_T：受照器官或组织 T 的组织权重因子；

H_T：主要受照器官或组织 T 的当量剂量，单位为毫希沃特（mSv）。

9）介入放射学工作人员个人剂量监测值当年累积达到 10mSv 或超过时，该年度剩余时间内不得从事介入放射学工作。

6、III类射线装置辐射环境影响分析

根据医院的采购计划，拟购 1 台 CT 模拟定位机，管电压均不超过 140kV。其机房符合性分析见表 11-50。四周墙体均为 240mm 页岩实心砖墙+38mm 硫酸钡水泥（密度为 2.7g/cm^3），顶板为 150mm 钢筋混凝土+38mm 硫酸钡水泥（密度为 2.7g/cm^3）和。防护门和观察窗为 3mmPb。

表 11-50 III类射线装置机房符合性分析

	屏蔽材料及厚度	标准要求	符合性
墙体	240mm 页岩实心砖墙+38mm 硫酸钡水泥 约 3.5mm 铅当量	2.5mm 铅当量	符合
顶板	150mm 钢筋混凝土+38mm 硫酸钡水泥* 约 3.5mm 铅当量	2.5mm 铅当量	符合
底板	土壤层	2.5mm 铅当量	符合
防护门	3.0mm 铅当量	2.5mm 铅当量	符合
观察窗	3.0mm 铅当量	2.5mm 铅当量	符合
内空尺寸	CT 模拟机房为 5.76m×7.26m	最小有效使用面积 30m^2 最小单边长度 4.5m	符合

注“*”根据《辐射防护手册 第三分册》表 3.4，38mm 硫酸钡水泥（密度为 2.7g/cm^3）对于管电压为 150kV 的初级 X 射线相当于 2mm 铅当量，因此本项目保守取 2mm 铅当量。

从机房符合性分析可知，阜阳肿瘤医院拟增加的 CT 模拟定位机机房拟采取的屏

蔽措施、机房面积及最小单边长度均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。控制室内的辐射工作人员和机房外的公众所受附加年剂量不会超过项目剂量管理限值（辐射工作人员不超过 5mSv，公众不超过 0.25mSv）的要求，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于剂量限值的要求。在投入使用之前，医院应在控制室适当位置张贴岗位职责和操作规程，防护门外张贴电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯和警示语；防护门应有闭门装置，且工作状态指示灯与防护门能有效联动。

7、产业政策符合性分析

为提升阜阳市肿瘤医院新区医疗卫生服务水平，充分发挥医院医疗机构的实际作用，根据医院建设规划，医院拟设置 4 台医用直线加速器、1 台后装机、5 台 DSA、1 台模拟定位机以及核医学科（设置 1 台回旋加速器，生产放射性核素 ^{18}F，开展 ^{131}I 甲亢和甲癌治疗、^{89}Sr 骨转移癌治疗、^{90}Sr 敷贴治疗皮肤疾病、^{18}F 显像诊断——配套购置 1 台 PET/CT、^{99}Mo-^{99m}Tc 显像诊断——配套购置 1 台 SPECT/CT），该项目已取得阜阳市颍东区发展和改革委员会的批复（详见附件二）。

对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，该项目属于国家鼓励类的全科医疗服务、医疗卫生服务设施建设项目，符合国家产业政策。

8、实践正当性分析

核技术在医学上的应用在我国是一门成熟的技术，它在医学诊断、治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目符合所在地区医疗服务需要。因此，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践正当性”的要求。

9、选址合理性分析

本项目涉及的医用直线加速器机房位于内科病房楼负二层南侧，机房东侧为 CT 模拟定位机及控制室，南侧为土壤层，西侧为地下停车库，北侧为控制室和水冷机房，楼上为院区道路，楼下为土壤层。

本项目涉及的后装机房位于内科病房楼负二层南侧，机房东侧为土壤层，南侧为楼梯间，西侧为过道，北侧为控制室和准备间，楼上为备用机房，楼下为土壤层。

本项目涉及的核医学科位于医技康复楼一层，核医学科东侧为医疗街，南、西、

北侧为院区过道，楼下为地下停车库，楼上为放射科。

本项目涉及的介入中心 DSA 机房位于医技楼一层西侧，DSA1 号、2 号机房东侧为导管室和设备间，南侧为污物廊，西侧为洁净走廊，北侧为换车间和候诊大厅，DSA 3 号机房东侧为污物廊，南侧为介入中心走廊，西侧为设备间和导管室，北侧为控制廊，介入中心各 DSA 机房楼下为职工餐厅，楼上为中心供应室。

本项目涉及的内镜中心 ERCP 机房位于医技楼三层东侧，机房东侧、西侧为过道，南侧为操作室，北侧为卫生间和设备间，楼下为检验科会议、示教室，楼上为病理科诊断室。

本项目涉及的手术室 DSA 机房位于医技楼三层西侧，机房东侧、西侧为过道，南侧为 CT 机房，北侧为设备间和楼梯间，楼下为中心供应室，楼上为绿化屋面。

本项目涉及的模拟定位机机房位于内科病房楼负二层南侧，机房东侧为预留机房，南侧为控制室，西侧为直线加速器机房，北侧为准备室和体膜室，楼下为土壤层，楼上为备用机房。

项目周边 50m 范围内基本全处于院区地块范围，声环境评价范围（200m）内无环境敏感目标，与最近的生态红线（颍河）最近距离约为 2600m。

为保护该项目周边其他科室工作人员和公众，均加强了防护，从剂量预测结果可知，该项目周围公众年所受附加剂量满足项目管理限值 0.25mSv 的要求。

核医学科控制区和监督区划分清晰，患者与医务人员通道分开设置，患者与医务人员能做到完全分离。核医学科布局基本合理。

10、代价利益分析

阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目符合所在地区医疗服务需要，有利于提高疾病的诊断正确率和有效治疗方案的提出，能有效减少患者疼痛和对患者损伤，总体上大大节省了医疗费用，争取了宝贵的治疗时间，该项目在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。

为保护该项目周边其他科室工作人员和公众，各机房均加强了防护，从剂量预测结果可知，该项目周围公众年所受附加剂量能满足项目管理限值 0.25mSv 的要求。

因此，从代价利益分析看，该项目是正当可行的。

事故影响分析：

由工程分析可知：该项目可能产生的事故情况多样，但最值得关注是核医学科生

产核素过程、诊疗过程中操作人员由于操作不慎打翻放射性药物，从而导致操作台面、地面或仪器设备受到放射性沾污，并伴随着产生较多的放射性废水和废物，以及后装机治疗过程中发生放射源不能回到贮存位事故影响。

1、放射性核素的生产过程

①熔靶和靶水吸附事故

在加速器打靶时，由于冷却水失效（冷却水断流或流量减少），束流将局部靶片加热超过熔点，靶窗被打穿，靶水进入加速器真空系统，靶物质冷凝于真空管壁上，造成污染。另外，打靶完成后，靶水从靶室送到热室，如果输导太快，靶水有可能完全附着在聚四氟乙烯管壁内，不能进入工作箱。

预防及应急措施：生产前先检查靶密封膜片和传输管线的性能，确保性能良好；若发生熔靶和靶水吸附事故，加速器操作人员应立即停机，封闭加速器场所 24h，利用 ^{18}F 等放射性核素半衰期短的特点，经自然衰变后，再由专业人员使用表面污染监测仪进入加速器机房确定污染范围，并配置合适的去污剂，合理选择去污方法，将去污产生的放射性废物收集装入放射性废物桶暂存，现场去污人员应做好个人防护，使用个人剂量报警仪。

②联锁系统失效导致误照射

加速器辐射最大可信事故通常在联锁系统失效，而加速器仍然处在工作状态时发生。此时如果医务人员误入机房，或者当医务人员尚未离开机房时，可能会造成这些人员受到不必要的射线照射。

预防及应急措施：工作人员必须对联锁系统定期检查、维护，确保始终保持在良好的工作状态下方可开机。加速器机房防护门与加速器设备之间应设有门机连锁装置，防护门上应设有警示信号灯，每当打开防护门时，加速器会自动断电并停机，不致出现误照射。只有当联锁装置或报警系统发生故障，操作人员还强行运行加速器时，才可能发生此类事故。因此，操作人员必须严格按照加速器操作规程操作，有效防止事故的发生。

③误操作致检修人员误照射

回旋加速器检修时，工作人员误将回旋加速器的屏蔽装置打开，会使检修人员受到不必要的射线照射。

预防及应急措施：加强工作人员的技能培训与考核，操作人员必须严格按照加速

器操作规程操作，有效防止事故的发生。检修人员须佩戴个人剂量报警仪进入加速器机房，发生此类事故时，操作人员应及时关闭加速器屏蔽装置，检修人员及时撤离机房。

2、放射性药品的合成分装、质检、运输过程

①放射性药物制取时反应器倾翻或破裂，会使工作人员受到不必要的射线照射。

预防及应急措施：用一次性手套和吸水纸进行清理，将污染的防渗吸水纸、手套和其他受到污染的物品放进塑料袋再转移到放射性废物桶。工作人员清除污染衣物，并用温水冲洗污染皮肤。

②热室内通风系统或合成柜、分装柜的通风设备失效发生故障时，会使含 ^{18}F 等的放射性气体在热室聚集，工作人员吸入后，造成内照射。

预防及应急措施：每次操作前须检查热室内通风系统或合成柜、分装柜的通风设备是否处于良好的工作状态。发生此类事故时，应立即关闭操作台的各进、出风口，防止内部气体外溢，同时工作人员撤离、封锁现场。待自然衰变后，请设备厂家对通风设备进行修理或更换。

3、核医学科诊疗过程

当出现药物打翻的情况时，操作人员会立即进行标记，并用吸水纸吸取、棉纱擦拭、清洗等处理清洁方式处理，通过采取上述方式处理后放射性核素绝大部分进入固体废物，约 90%，剩余仅约 10%则在最终清洗过程中进入废水，每次清污产生的废水量约 250L。即：事故状态下放射性废水中的放射性核素浓度小正常情况产生的放射性废水，但因废水量较大，将减少事故前产生的放射性废水储存衰变时间。

事故状态下放射性废水单池轮转时间约为（（30-0.25）/1.17）×7=177 天。单池装满废水时间约为 25 天，与正常情况下基本无变化。即在事故状态下，放射性废水最短储存衰变时间也能确保核医学科放射性废水中放射性核素排放量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“放射性废液排放限值”的要求。

事故状态下产生的放射性固体废物，其处理方式与正常工况相同，在放射性废物间内贮存 10 个半衰期后作为一般医疗废物处置，不会造成二次污染。

4、后装机事故分析

后装机如果发生治疗过程中放射源不能回到贮存位的事故，医生应及时通知治疗室内的病人迅速离开治疗现场，如果病人无法自行撤离，医生应迅速打开防护门，在

最短时间内协助病人离开治疗室。在将病人救出治疗室后，封闭治疗室，并及时联系生产厂家，由生产厂家委派技术人员前往处理，到达现场后应及时制定详细的故障排除方案，本着剂量分担原则，专业技术人员在治疗机附近的工作时间不宜过长，进入现场应佩戴防护用品及个人剂量片，防护重点在头部及性腺部位。故障排除后，应对参加现场故障排除的工作人员进行剂量评估。

对于违反操作规程、设备失效、管理不善等原因造成的事故情况，医院应完善制度、加强管理和教育培训，使射线装置始终处于监控状态，防止事故照射的发生，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射，工作人员每次上班时首先要检查防护措施是否正常，若存在安全隐患，应立即修理，恢复正常。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和原国家环境保护总局 环发【2006】145 号文件之规定，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，采取必要防范措施，并在 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，涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

阜阳市肿瘤医院已建立以院领导为第一责任人的辐射防护与安全管理领导小组构架，并正在着手完善辐射事故应急预案等各项辐射安全管理制度，能确保事故情况下的影响处于可控范围内。

表 12 辐射安全管理

阜阳市肿瘤医院建立以院领导为组长的辐射安全和放射防护管理领导小组，制定了《辐射安全管理规定》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射防护管理制度》、《辐射防护安全保卫制度》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射环境监测方案》、《辐射工作人员健康管理制度》、《辐射事故应急预案》、《放射性同位素使用登记表》、《射线装置检修维护制度》、《核医学科工作制度》、《核医学科安全管理制度》、《放射性核素订购领取保管使用制度》、《核医学科仪器管理操作保养和维修制度》等规章制度。在该项目正式投入使用前，辐射安全和放射防护管理领导小组须牵头对辐射安全与防护相关管理制度进行系统修订，提高制度可操作性，做到所有辐射工作都有章可循，有制度保障。因此，该环评报告按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》2019 修正版（国家环境保护部第 7 号令）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号）的要求提出以下建议：

1、关于辐射安全与环境保护管理机构

阜阳市肿瘤医院应根据本项目核技术应用情况，及时对辐射安全与环境保护管理领导小组成员作相应调整，确保调整后的辐射安全与环境保护管理领导小组的人员组成涵盖本项目核技术利用所涉及的相关部门和科室，并根据管理需要明确领导小组职责。辐射安全和防护负责人须学习辐射安全与防护知识并通过考核。

2、关于监测计划和监测仪器

阜阳市肿瘤医院应制定完善的监测方案，明确监测点位、监测项目和频次，并购置相应的监测仪器（应至少购置 1 台活度计、1 台表面污染仪、1 台剂量巡测仪），其能量响应范围应满足医院核技术利用项目监测需要，并按监测方案对核技术应用场所及周围辐射水平进行监测，同时做好记录分析工作。评价单位建议的医院日常自查监测计划详见表 12-1。

表 12-1 日常监测计划

监测场所		监测项目	评价指标	监测频次
加速器及 DSA 等射线装置机房	控制室、防护门和屏蔽墙外	X-γ剂量率	参考验收监测结果，不应明显升高	每季度 1 次，现异常时适当增加监测频次
后装机机房	机房内和后装机表面；控制室、防护门和屏蔽墙外	X-γ剂量率	参考验收监测结果，不应明显升高	每季度 1 次现异常时适当增加监测频次

核医学科	储源室、分装给药室和候诊室、控制室和办公室等	X-γ剂量率	参考验收监测结果，不应明显升高	每季度 1 次，发现异常时适当增加监测频次
	工作台、设备和墙壁、地面	表面沾污	满足 GB18871-2002 附录 B2 要求	每次操作使用放射性物质结束后

还应委托具有相应资质能力的单位对辐射工作人员的个人剂量进行监测，并做好个人剂量档案管理工作。对于个人剂量异常情况应做到自查自纠，及时采取补救措施，自查自纠结果当事人、相关管理人员应签字、医院盖章后存档，对于个人剂量超标的情况医院还应立即向环保主管部门报告。每年医院应委托具有相应资质能力的单位对辐射工作场所及周边环境开展年度监测。

3、关于辐射安全与防护培训

阜阳市肿瘤医院应制定完善的辐射安全与防护学习计划，并按计划组织本项目拟配置的辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台上学习并考核合格，考核不合格的不得继续从事辐射相关工作。

4、关于职业健康体检

阜阳市肿瘤医院应制定完善的职业健康体检计划，明确体检对象、体检周期和指标，并按计划组织辐射工作人员开展岗前、岗中（每 2 年按排一次再体检）和退岗职业健康体检，对于体检结果出现异常的，不得安排从事辐射相关工作。

5、关于年度安全状况评估

阜阳市肿瘤医院应在每年 1 月 31 日前编制上一年度评估报告并上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。年度评估报告应当包括辐射安全和防护设施的运行与维护情况；辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素、射线装置台账；场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；辐射事故及应急响应情况；核技术利用项目新建、改扩建和退役情况；存在的安全隐患及其整改情况；其他有关法律、法规规定的落实情况等方面的内容。

6、关于操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫等制度

阜阳市肿瘤医应根据医院核技术应用情况，制定了《辐射安全管理规定》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射防护管理制度》、《辐射防护安全保卫制度》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射环境监测方案》、《辐射工作人员健康管理制度》、《辐射事故应急预案》、《放射性同位素使用登记表》、《射线装置检修维护制度》、

《核医学科工作制度》、《核医学科安全管理制度》、《放射性核素订购领取保管使用制度》、《核医学科仪器管理操作保养和维修制度》等规章制度。并应在日后的工作实践中根据遇到的实际问题，按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》2019 修正版（国家环境保护部第 7 号令）的要求及时进行更新完善，提高制度可操作性，做到所有辐射相关工作都有章可循，有制度保障。

表 13　三同时验收

“三同时”验收一览表：

针对阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目，提出以下“三同时”验收一览表，具体详见表 13-1。

表 13-1　“三同时”验收一览表

项目		“三同时”验收内容	验收要求
防护措施	直线加速器	本项目 4 台加速器机房均位于内科病房楼负二层放疗科，均采用密度为 2.35g/cm^3 混凝土浇筑。1 号加速器机房东侧主屏蔽墙厚为 3.0m，次屏蔽墙为 1.5m，南侧屏蔽墙厚为 1.5m，西侧主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙为 1.5m，北侧迷道内墙厚为 1.2m，迷道外墙厚为 1.2-1.4m，顶棚主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙厚为 1.6m；2 号加速器机房东侧主屏蔽墙厚为 2.7m，次屏蔽墙为 1.5m，南侧屏蔽墙厚为 1.5m，西侧主屏蔽墙厚为 3.0m，次屏蔽墙为 1.5m，北侧迷道内墙厚为 1.2m，迷道外墙厚为 1.2-1.4m，顶棚主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙厚为 1.6m；3 号加速器机房东、西侧主屏蔽墙厚为 2.7m，次屏蔽墙为 1.5m，南侧屏蔽墙厚为 1.5m，北侧迷道内墙厚为 1.2m，迷道外墙厚为 1.2-1.4m，顶棚主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙厚为 1.6m。4 号加速器机房东侧主屏蔽墙厚为 2.7m，次屏蔽墙为 1.5m，南侧屏蔽墙厚为 1.5m，西侧主屏蔽墙厚为 2.7m，次屏蔽墙为 1.5m，北侧迷道内墙厚为 1.2m，迷道外墙厚为 1.2-1.4m，顶棚主屏蔽墙厚为 2.8m，次屏蔽墙厚为 1.6m。四台加速器机房防护门铅当量均为 15mm 铅当量。	满足（GBZ126-2011）要求；辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv。
	后装机	①机房采用密度为 2.35g/cm^3 混凝土浇筑。西侧为迷道，迷道内墙厚为 0.6m，迷道外墙厚为 0.7m；东、南、北侧墙厚均为 0.7m，顶棚为 0.7m。②防护门铅当量为 5mm。	
	核医学科	**废水**：医院拟在核医学科东南侧设置 1 座地埋式的衰变池，用于收集核医学科产生的放射性废水，衰变池为八级并联衰变池（衰变池平面及剖面图详见附图十八），为钢筋混凝土结构，总容积为 240m^3。放射性废水经衰变池储存衰变，经衰变池处理达标后，依托医院自建污水处理站处理后经城市污水管网进入颍东区污水处理厂处理，最终排入济河。	满足（GB18871-2002）中的放射性废水月排放限值要求。
		废气：放射性药物在操作过程中会产生气载放射性废物。核医学科在通风橱分装、稀释液态放射性药品，操作时间较短，在正常情况下，通风橱排出气体的放射性活度很小。通风橱的废气通过管道在核医学科所在楼的屋顶高出屋脊的排放口排放，通风橱风速不小于 0.5m/s，且设置活性炭过滤装置，符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求，即“合成和操作放射性药物所使用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。”	减少放射性废气对工作人员的影响

		固废：靶废料，即靶窗、废弃的离子源灯丝等，为感生放射性废物，放射性药物制取时产生放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜和废活性炭等。本项目将其置于铅废物桶中，暂存在放射性药品生产场所南侧的储源室，后交由厂家回收。 药物生产过程中操作药物时产生的手套、口罩和清洁时用过的抹布、托布等，废物中主要核素为 ^{18}F 等短寿命放射性核素。所有以上放射性废物包扎好编好日期后置于铅废物桶中，暂存在放射性药品生产场所南侧的储源室。经过十个半衰期以上衰变后，经有资质的单位检测达到排放水平，由环保主管部门批准后，作为一般医疗废物处置。 废弃校准放射源 ^{68}Ge 和 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器由供货商回收。本项目校准使用的放射源 ^{68}Ge，当活度达不到校准要求时，由厂家更换后回收，^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器一般使用一周后，因放射性活度下降已无实际医用价值，便连同原包装容器退还给供方。 核医学科诊疗过程中产生的注射器、一次性手套、吸水纸、口罩、更换下的废活性碳放射性污染的物品等，经过十个半衰期以上衰变后，作为一般医疗废物处置。	不会产生二次污染
		屏蔽措施：①回旋加速器机房：机房采用密度为 2.35g/cm^3 混凝土浇筑，机房采用密度为 2.35g/cm^3 混凝土浇筑，东侧屏蔽墙壁厚为 0.8m；南侧屏蔽墙壁厚为 0.8m；西侧屏蔽墙壁厚为 0.8m；北侧屏蔽墙壁厚为 0.8m；顶棚屏蔽厚为 0.8m；防护门屏蔽为 60mm 铅当量、150mm 聚乙烯。加速器制备的放射性同位素经管道自动传输到合成热室中，此管道设置在地沟内，地沟两侧及上方用 30mm 铅砖屏蔽。 ②热室：密度为 2.35g/cm^3 混凝土浇筑。东侧屏蔽墙壁厚 0.3m；南侧屏蔽墙壁屏蔽墙壁厚 0.3m；西侧屏蔽墙壁厚 0.3m；北侧屏蔽墙壁厚 0.8m，顶棚屏蔽厚为 0.3m，防护门为 15mmPb。热室内合成柜和分装柜正面为 70mm 铅当量，其余五面为 60mm 铅当量。 ③核医学科诊疗区域甲癌病房墙体使用 480mm 厚页岩实心砖（密度不小于 1.65g/cm^3），PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房墙体使用 370mm 厚页岩实心砖，其余墙体均使用 240mm 厚页岩实心砖；核医学科诊疗区域甲癌病房顶棚使用 300mm 厚钢筋混凝土+40mm 厚细石混凝土，其他区域的顶棚均使用 250mm 厚钢筋混凝土；核医学科诊疗区域地板均采用 350mm 厚钢筋混凝土楼板+0.95m 回填土。 ③PET 机房防护门和观察窗为 8mm 铅当量，SPECT/CT 机房防护门和观察窗均为 4mm 铅当量。甲癌病房防护门为 8mm 铅当量，其他防护门均为 4mm 铅当量。 ④PET-CT 诊断项目通风柜铅当量为 50mmPb，SPECT-CT 诊断项目通风柜铅当量为 20mmPb，针筒有专用防护盒和防护套，防护铅当量分别为 20mmPb 和 6mmPb，PET-CT 注射窗口防护铅当量为 30mm，SPECT-CT 注射窗口防护铅当量为 20mm。注射准备室和储源室设置铅当量为 20mm 的放射性废物储存衰变桶。	辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv
	DSA	①介入中心 DSA1 号机房：7.60m×5.54m；2 号机房：7.60m×5.54m；	满足

	机房	3 号机房：7.60m×5.54m，内镜中心 DSA 机房：7.29m×4.53m；手术室 DSA 机房：5.35m×8.79m。②5 台 DSA 机房四周墙体均为 3mm 厚的铅板，顶板和底板厚为 180mm 混凝土+38mm 硫酸钡水泥（密度为 2.7g/cm^3），防护门和观察窗铅当量为 3mm。	(GBZ130-2020)要求
	III 类射线装置	①放疗科模拟定位机机房尺寸为 5.76m×7.26m。②四周墙体均为 240mm 页岩实心砖墙+38mm 硫酸钡水泥（密度为 2.7g/cm^3），顶板为 150mm 钢筋混凝土+38mm 硫酸钡水泥（密度为 2.7g/cm^3）和。防护门和观察窗为 3mmPb。	
安全措施		回旋加速器机房内、药物制备室安装固定式剂量率报警仪	满足（GBZ126-2011）要求
		回旋加速器机房应设置门机联锁装置，机房内设置紧急停机开关和紧急开门按键。	
		医用直线加速器机房和后装机机房拟设置门机联锁装置，以及机房内设置紧急开门按钮	
		后装机机房内安装固定式剂量监测报警装置	
		后装机控制台和后装机设备表面人员易触及位置以及治疗机房内墙面各设置 1 个急停开关	
		控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流	
		核医学科严格分区管理，各区之间通过门禁系统进行分隔，限制人员流通	满足（GBZ120-2020）要求
		DSA 机房设置空调换风系统，防护门为设有自动闭门装置的平开门	按要求设置
		机房外均张贴警示标志、安装工作指示灯，放射性废物桶张贴电离辐射标志	按要求张贴
		岗位职责和操作规程等工作制度在合适位置张贴上墙	按要求张贴
个人防护		辐射工作人员需在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习，考核取得合格成绩单方可上岗	辐射工作人员均取得培训合格证
		应至少购置 1 台活度计、1 台表面污染仪、1 台剂量巡测仪	按要求送检，并确保运行正常
		辐射工作人员均佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测	按要求佩带/送检
		配置铅衣、铅橡胶颈套、铅屏风、铅橡胶围裙、铅防护眼镜等防护用品	按要求配置/佩带
管理措施	管理机构	建立医院辐射安全与环境保护管理领导小组，辐射安全和防护负责人需参加辐射安全与防护培训。	辐射安全负责人取得培训合格证
	管理制度	制定了《辐射事故应急预案》、《辐射防护与安全保卫制度》、《辐射工作人员的岗位职责》、《放射性同位素及射线装置台账管理制度》、《核医学科放射防护管理规定》、《操作规程与安全防护》、《射线装置操作规程》、《回旋加速器操作规程》、《直线加速器操作规程》、	根据要求制定

		《后装机操作规程》、《DSA 操作规程》、《放射性同位素及射线装置台账管理制度》、《设备检修维护制度》、《放射工作人员剂量监测制度》、《放射工作人员健康体检制度》、《放射工作人员培训制度》等一系列规章制度。	

以上措施应在项目投入使用前落实到位。

该项目总投资 20800 万元主要用于设备采购，场所屏蔽防护和防护用品采购，其中安排用于环境保护方面的投资约 305 万元，占项目总投资的 1.47%。该项目具体环保投资估算详见表 13-2。

表 13-2 环保投资估算一览表

序号	环保措施	环保投资（万元）
1	机房防护	150
2	防护门及门机联锁系统	100
3	监视对讲系统	10
4	工作指示灯及警示标志	5
5	防护设施、监测仪器	10
6	衰变池	10
7	环境影响评价及竣工环保验收	20
合计		305

表 14 结论与建议

结论：

1、产业政策符合性

为提升阜阳市肿瘤医院新区医疗卫生服务水平，充分发挥医院医疗机构的实际作用，医院拟在新院区内科病房楼负二层放疗科设置 4 台医用直线加速器、1 台后装机（配套使用 ^{192}Ir 放射源 1 枚）、1 台模拟定位机；医技康复楼一层核医学科设置 1 台回旋加速器，生产放射性核素 ^{18}F，开展 ^{131}I 甲亢和甲癌治疗、^{89}Sr 骨转移癌治疗、^{90}Sr 敷贴治疗皮肤疾病、^{18}F 显像诊断——配套购置 1 台 PET/CT、^{99}Mo-^{99m}Tc 显像诊断——配套购置 1 台 SPECT/CT；医技楼一层介入中心设置 3 台 DSA；医技楼三层内镜中心设置 1 台 DSA；医技楼三层手术室设置 1 台 DSA，该项目已获阜阳市颍东区发展和改革委员会的批复（详见附件二）。

对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，该项目属于国家鼓励类的全科医疗服务、医疗卫生服务设施建设项目，符合国家产业政策。

2、实践正当性

核技术在医学上的应用在我国是一门成熟的技术，它在医学诊断、治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目符合所在地区医疗服务需要。因此，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践正当性”的要求。

3、从事辐射活动技术能力评价

阜阳市肿瘤医院已建立以院领导为第一责任人的辐射防护与安全管理领导小组构架，并正在拟定辐射事故应急预案、辐射防护与安全保卫制度、辐射工作场所监测制度、个人剂量管理制度、培训和职业健康体检计划、操作规程、岗位职责、辐射设备维修保养制度等各项辐射安全管理制度。

4、环境现状评价

监测结果表明：该项目应用场所及周边环境辐射环境现状本底在 108～113nSv/h 范围内，与安徽省全省辐射环境现状水平（60～130nGy/h）基本保持一致，辐射水平未见明显异常。

5、非辐射环境影响评价

5.1 大气环境影响分析

医用直线加速器、后装机、回旋加速器机房内的空气受到射线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物，若在机房内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害。根据医院提供的设计材料，通风管道以 Z 型或斜穿过屏蔽墙，加速器、后装机和回旋加速器机房均设置送风机进行送风。

每台直线加速器机房均在分别负一层吊顶内安装 1 台排风机，机房排风均由排风井引至内科病房楼楼顶排放，直线加速器机房每台排风机排风量为 2650m^3/h，加速器体积均约为 346m^3，能确保满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中关于通风换气次数的要求（机房通风换气次数应不小于 4 次/h）。

后装机机房在负一层吊顶内安装 1 台排风机，机房排风均由排风井引至内科病房楼楼顶排放，后装机机房排风机排风量为 1890m^3/h，加速器体积为 186m^3，能确保满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中关于通风换气次数的要求（机房通风换气次数应不小于 4 次/h）。

5.2 声环境影响分析

由计算结果可知，该项目投入运行后，医院厂界环境噪声值变化很小，本项目运行后对院区厂界的预测值为9.8～36.6dB（A）。根据医院实际情况及治疗量，夜间放疗中心几乎不运行，不会改变院区厂界及周边环境保护目标声环境现状水平，本项目运行期四侧院区厂界噪声预测值满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2类标准的限值要求。

5.3 废水和固废处理措施依托可行性

根据《阜阳市肿瘤医院新区（阜阳市颍东区人民医院）建设项目环境影响报告书》的要求医院自建有污水处理站，污水处理站设计处理能力为 1200m^3/d，医院日产生污水量为 1123.5744m^3，污水采用二级生化+深度处理+消毒工艺处理医院废水（具体处理工艺见图 11-2），外排废水水质可满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理标准要求，排入市政污水管网，送入颍东污水处理厂，经处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排入济河。

根据污染源项分析，本项目运行后，日均产生放射性废水量为 1.17m^3/d，现有污水处理站能满足本项目产生的废水量，同时，本项目产生的放射性废水经衰变池处理

后，废水水质与普通医疗废水基本相同，污水水质满足现有污水处理站的进水水质要求。因此本项目产生的废水（放射性废水经衰变出处理后）接入院区污水处理站是可行的。

根据《阜阳市肿瘤医院新区（阜阳市颍东区人民医院）建设项目环境影响报告书》的要求，医院拟在内科病房楼地下二层设置 1 间危废暂存间，面积 120m^2，医院全院产生医疗废物为 993.7kg/d，约合 362.689/a。由本项目污染源项分析可知，本项目固体废弃物主要为工作人员产生的生活垃圾及医疗过程中产生的医疗废物，相对产生的固体废物较少，本项目产生的医疗废物依托医院医疗废物暂存场所进行暂存，暂存后由有资质的单位（阜阳市利康医疗废物处置有限公司）处理，生活垃圾由市政环卫定期清运处理。本项目生活垃圾和医疗废物依托医院现行固体废物处理措施处理是可行的（医疗废物集中处置合同详见附件六）。

6、辐射环境影响评价

阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目采取的辐射安全和防护措施适当，能满足标准的屏蔽防护要求。

医用直线加速器：由预测结果可知，加速器机房屏蔽设计能确保辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv、公众年有效剂量不超过 0.25mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

后装机：由预测结果可知，在医院预测的工作负荷情况且在正常工作状态下，后装机机房的屏蔽设计能确保辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv、公众年有效剂量不超过 0.25mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

核医学科：从核医学科屏蔽设计符合性分析可知，核医学科各工作场所各屏蔽设计能确保辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv、公众年有效剂量不超过 0.25mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

DSA 及III类射线装置：从机房符合性分析可知，机房屏蔽防护措施、面积及最小单边长度均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。在投入使用前，医院还应在控制室适当位置张贴岗位职责和操作规程，防护门外应张贴电离辐射警示志，并设置醒目的工作状态指示灯。

7、代价利益分析

阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目符合所在地区医疗服务需要，有利于提高疾病的诊断正确率和有效治疗方案的提出，能有效减少患者疼痛和对患者损伤，总体上大大节省了医疗费用，争取了宝贵的治疗时间，该项目在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。

为保护该项目周边其他科室工作人员和公众，各机房均加强了防护，从剂量预测结果可知，该项目周围公众年所受附加剂量能满足项目管理限值 0.25mSv 的要求。

因此，从代价利益分析看，该项目是正当可行的。

综上所述，阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目符合实践正当性原则，其他采取的辐射安全和防护措施适当，辐射工作人员及周围公众受到的年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，在认真落实环评提出的要求，进一步完善辐射安全与环境保护管理机构和各项制度的前提下，从辐射安全和环境影响的角度而言，阜阳市肿瘤医院核技术应用项目II类及以上设备拟采购项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺：

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

2）各项环保设施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

3）定期进行辐射工作场所的检查及监测，对于监测结果偏高的地点应及时查找原因、排除事故隐患，把辐射影响减少到“可合理达到的尽可能低水平”。

4）尽早准备申请辐射安全许可证材料，待该环评报告审批后，及时申请辐射安全许可证，未取得辐射安全许可证相关设备不得投入使用。

5）项目投入使用前三个月内完成竣工环境保护验收手续

表 15 审批

下一级环保部门预审意见： 公 章 经办人 年 月 日
审批意见： 公 章 经办人 年 月 日