2023-F-040

核技术利用项目

南通市通州区中医院
迁扩建放射诊疗项目
环境影响报告表

南通市通州区中医院（公章）

2023 年 8 月

生态环境部监制

核技术利用项目

南通市通州区中医院
迁扩建放射诊疗项目
环境影响报告表

建设单位名称：南通市通州区中医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：南通市通州区金沙街道建设路 8 号

邮政编码：226399　　联系人：

电子邮箱：/　　联系电话：

打印编号：1693452999000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	19mz4j
建设项目名称	南通市通州区中医院迁扩建放射诊疗项目
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目
环境影响评价文件类型	报告表
一、建设单位情况	
单位名称（盖章）	南通市通州区中医院
统一社会信用代码	12320683467587378Y
法定代表人（签章）	秦晓纲
主要负责人（签字）	王海军
直接负责的主管人员（签字）	王海军
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	江苏玖清玖蓝环保科技有限公司
统一社会信用代码	91320105MA1MQU5T14
三、编制人员情况	

1.编制主持人

姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
吴小平	08353243507320555	BH001785	

2.主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
吴小平	表8 环境质量与辐射现状 表9 项目工程分析与源项 表10辐射安全与防护 表11环境影响分析 表12辐射安全管理 表13结论与建议	BH001785	
徐呈亮	表1 建设项目基本概况 表2 放射源 表3 非密封放射性物质 表4 射线装置 表5 废弃物 表6 评价依据 表7 保护目标与评价标准	BH006475	



持证人签名：
Signature of the Bearer

吴小平

管理号：08353243507320555
File No.：

姓名：吴小平
Full Name

性别：男
Sex

出生年月：1979年06月
Date of Birth

专业类别：
Professional Type

批准日期：2008年05月
Approval Date

签发单位盖章：
Issued by

签发日期：2008 年 07 月 29 日
Issued on

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试，取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.

中华人民共和国人力资源和社会保障部
approved & authorized
by
Ministry of Human Resources and Social Security
The People's Republic of China

中华人民共和国环境保护部
approved & authorized
by
Ministry of Environmental Protection
The People's Republic of China

编号：0008447
No.：

编制主持人现场照片

地址：南通市通州区金沙湾片区文河路南侧、金安路西侧、通灵桥路北侧地块
时间：2022 年 9 月 1 日
编制主持人：吴小平
职业资格证书管理号：08353243507320555



本项目建设单位大门

江苏省社会保险权益记录单（参保单位）

参保单位全称： 江苏玖清玖蓝环保科技有限公司　　**现参保地：** 建邺区

统一社会信用代码： 91320105MA1MQU5T14　　**查询时间：** 202306-202308

共1页，第1页

单位参保险种	养老保险	工伤保险	失业保险
缴费总人数	46	46	46

序号	姓名	公民身份号码（社会保障号）	缴费起止年月	缴费月数
1	徐呈亮		202306 - 202308	3
2	吴小平		202306 - 202308	3

说明：
1. 本权益单涉及单位及参保职工个人信息，单位应妥善保管。
2. 本权益单为打印时参保情况。
3. 本权益单已签具电子印章，不再加盖鲜章。
4. 本权益单记录单出具后有效期内（6个月），如需核对真伪，请使用江苏智慧人社APP，扫描右上方二维码进行验证（可多次验证）。

江苏省社会保险 电子专用章

打印时间：2023年8月31日

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">迁扩建放射诊疗项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">南通市通州区中医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>秦晓纲</td><td>联系人</td><td></td><td>联系电话</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">南通市通州区金沙街道建设路 8 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">南通市通州区金沙湾片区文河路南侧、金安路西侧、通灵桥路北侧地块</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td></td><td>项目环保投资（万元）</td><td></td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td colspan="2">6%</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（m^2）</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="5">□I类 □II类 □III类 □IV类 □V类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">□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="5">□制备 PET 用放射性物质</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="5">□II类 □III类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">□II类 □III类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑II类 ☑III类</td></tr>
<tr><td>其它</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

1 医院基本情况、项目建设规模及任务由来

1.1 医院基本情况

南通市通州区中医院始建于五十年代末，其注册地址位于南通市通州区金沙街道建设路 8 号。医院占地 55 亩，总建筑面积 1.86 万平方米，其中业务用房 14760 平方米。工作人员 421 人，各类专业技术人员 978 人，中高级以上职称 196 人。医院设 8 个病区，400 多张病床，拥有螺旋 CT、CR、彩超、电子胃肠镜、腹腔镜、数字胃肠机、全自动生化分析仪、放免检测仪等一系列现代化诊疗仪器，提高了中西医诊断的现代化水平。

为了更好地给南通通州地区及周边患者服务，南通市通州区中医院拟于南通市通

州区金沙湾片区文河路南侧、金安路西侧、通灵桥路北侧地块开展南通市金沙湾医学综合体（一期）建设项目，项目定位为一所集医疗、教学、科研、保健、康复为一体的三级中医医院，并打造成现代化、人文化、智慧化、园林化、环保型、节能型的区域医疗健康中心，成为传统医学与现代医学融合主阵地。南通市金沙湾医学综合体（一期）建设项目规划总床位 1000 张。项目建设内容包括新建医疗功能用房（含急诊、门诊、医技、住院病房等）、科教用房、行政管理、后勤保障用房及地下停车库，并配套建设院区室外给排水、室外照明、道路场地及绿化等。新院区建成后，医院拟将老院区整体搬迁至新院区，搬迁后老院区不再使用。医院老院区内原许可使用 6 台 III 类射线装置，搬迁后 6 台 III 类射线装置拟全部搬迁至新院区内使用。医院在 III 类射线装置搬迁前需根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》的要求，在建设项目环境影响登记表备案系统中对 III 类射线装置项目填报建设项目环境影响登记表。

1.2 项目建设规模及任务由来

南通市通州区中医院老院区位于南通市通州区金沙街道建设路 8 号。为了更好地给南通通州地区及周边患者服务，南通市通州区中医院于南通市通州区金沙湾片区文河路南侧、金安路西侧、通灵桥路北侧地块建设新院区，并拟在新院区内开展放射诊疗项目，主要包括：

放射肿瘤治疗项目：拟在新院区住院部负一层放疗中心开展放射肿瘤治疗项目，主要包括新建 2 座加速器机房（1#、2#加速器机房）、1 座 ^{192}Ir 后装机机房及相关配套用房，在 2 座加速器机房内各配备 1 台加速器（型号未定），拟在后装机机房内配备 1 台后装机（型号未定），初始总装源活度为 $3.7\times10^{11}Bq$，用于肿瘤治疗。医院还拟于住院部负一层放疗中心 CT 模拟机房内配备 1 台 CT 模拟定位机（型号未定），用于患者肿瘤位置定位。本项目投入运行后，医院拟为其配备 8 名辐射工作人员。

核医学科项目：拟在新院区住院部负一层建设核医学科，开展 ^{18}F、^{99m}Tc 核素放射诊断项目及 ^{131}I 甲亢治疗。核医学科工作场所主要包括新建 1 座 SPECT/CT 机房、1 座 PET/CT 机房及相关配套用房，拟在 SPECT/CT 机房及 PET/CT 机房内分别配备 1 台 SPECT/CT 及 PET/CT，用于患者影像诊断。本项目投入运行后，医院拟根据实际需要为其配备 8 名辐射工作人员，负责本项目核医学科相关工作。

DSA 项目：拟在新院区医技部三楼开展介入治疗项目，包括新建 3 座 DSA 机房及

相关配套用房，拟在每座机房内各配备 1 台 DSA（型号未定），用于患血管造影、介入手术。本项目投入运行后，医院拟为其配备 12 名辐射工作人员，负责本项目 DSA 相关工作。

医院本次核技术利用项目情况一览表见下表 1-1：

表 1-1 医院本次核技术利用项目一览表

放射源

序号	放射源名称	数量	总活度（Bq）	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况
1	^{192}Ir	1	3.7×10^{11}	III	住院部负一层放疗中心后装机机房	使用	新建项目本次环评	未许可

非密封放射性物质

序号	工作场所等级	核素名称	日等效最大操作量（Bq）	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况
1	乙级	^{18}F	7.4×10^{6}	住院部负一层核医学科	使用	新建项目本次环评	未许可
2		^{99m}Tc	1.85×10^{7}		使用	新建项目本次环评	未许可
3		^{131}I	7.4×10^{7}		使用	新建项目本次环评	未许可

射线装置

序号	射线装置名称及型号	数量	管电压 kV	管电流 mA	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况	备注
1	医用直线加速器	1	X 射线：≤15MV 电子线：≤20MeV		II	住院部负一层放疗中心 1#加速器机房	使用	新建项目本次环评	未许可	/
2	医用直线加速器	1	X 射线：≤15MV 电子线：≤20MeV		II	住院部负一层放疗中心 2#加速器机房	使用	新建项目本次环评	未许可	/
3	DSA（型号待定）	3	≤150	≤1250	II	医技部三楼 1#~3#DSA 机房	使用	新建项目本次环评	未许可	/
4	SPECT/CT（型号待定）	1	≤140	≤650	III	住院部负一层核医学科 SPECT/CT 机房	使用	新建项目本次环评	未许可	/
5	PET/CT（型号待定）	1	≤140	≤660	III	住院部负一层核医学科 PET/CT 机房	使用	新建项目本次环评	未许可	/
6	模拟定位 CT（型号待定）	1	≤140	≤1000	III	住院部负一层放疗中心 CT 模拟机房	使用	新建项目本次环评	未许可	/

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境保护管理条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及《建设项目环境影响评价分类管理名录》等法律法规的规定，本项目后装机使用医用 III 类放射源、核医学科工作场所为乙级非

密封放射性物质工作场所、医用直线加速器和 DSA 属于II类射线装置，应编制环境影响报告表。受南通市通州区中医院委托，江苏玖清玖蓝环保科技有限公司承担该项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、现场监测、评价分析，编制该项目环境影响报告表。

2 项目周边保护目标及项目选址情况

南通市通州区中医院迁扩建放射诊疗项目位于南通市通州区金沙湾片区文河路南侧、金安路西侧、通灵桥路北侧地块，地理位置见附图 1。其东侧为金安路，南侧为通灵桥路，西侧为金林路，北侧为文河路，医院平面布局见附图 2。

放射肿瘤治疗项目：本项目 2 座医用直线加速器机房及后装机机房均拟建于医院新院区放疗中心，2 座直线加速器机房及后装机机房并排建设。2 座直线加速器机房及后装机机房拟建址东侧依次为配电室、地下土层及地下停车场，南侧依次为控制室、水冷机稳压器室、准备间、医生办公室、主任办公室、技术员办公室、更衣室、值班室等，西侧依次为强电间、读片诊断室、地下土层、控制室、定位 CT 机房、更衣准备间及弱电间，北侧为地下土层，楼上为院内道路，楼下为地下土层。放射肿瘤治疗项目周围环境图见附图 3。

核医学科项目：本项目核医学科场所拟建于医院新院区住院部负一层，其东侧为楼梯、强电间、弱电间、合用前室、进风机房、地下停车场、库房等，南侧为楼梯、地下停车场、强电间、弱电间及下沉庭院，西侧依次为盥洗室、甲亢测试室、诊室、护士站、过道、前室、医护电梯厅及无障碍楼梯，北侧依次为医生通道、值班室、更衣室、办公室及设备间等，楼上为急诊留观室、库房、护士站、治疗室等，楼下为报警阀间、总务设备库房、消防水泵房、空压机房、冷库、太平间及进风机房，核医学科周围环境图见附图 3，核医学科楼上、楼下布局图见附图 4 及附图 5。

DSA 项目：本项目 3 座 DSA 机房（1#、2#、3#DSA 机房）均拟建于医院新院区医技部三楼 DSA 手术室，3 座机房相邻而建，1#、2#DSA 机房共用 1 间控制室。3 座 DSA 机房拟建址东侧依次为过道及楼梯间等，南侧依次为设备间、打包间、污洗间、洁净走道、缓冲间、OR19 百级手术室、防护服间、体外循环间、OR18 百级手术室、污物通道及庭院上空等，西侧依次为 OR14 百级手术室、预麻间、过道、换床间、苏醒室、麻醉药品室、医疗主街等，北侧依次为污物通道、无菌库房、OR6 万级手术室~OR13 万级手术室、仪器设备间、库房等，楼上为手术净化设备区，楼下为检验科。

DSA 机房平面及周围环境图见附图 12，DSA 机房楼下及楼上区域图分别见附图 13 及附图 14。

根据本项目特点，结合《辐射环境保护管理导则-核技术利用项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关规定，确定以本项目各场所边界外周围 50m 的范围作为评价范围。根据现场调查可知，本次评价项目所在区域 50m 范围内无居民区、学校等敏感点。因此，本项目保护目标主要为辐射工作人员及辐射工作场所拟建址周围评价范围内的医务人员、患者及患者家属。

3 建设单位已有核技术利用项目许可情况

南通市通州区中医院目前已申领南通市生态环境局发放的辐射安全许可证，证书编号为“苏环辐证【F0230】”，种类和范围为“使用 III 类射线装置”，发证日期为 2022 年 02 月 15 日，有效期至：2023 年 10 月 29 日。许可内容为使用 6 台 III 类射线装置。医院辐射安全许可证正副本复印件详见附件 4。医院现有核技术利用项目一览表见表 1-2。

表 1-2 医院现有核技术利用项目一览表

序号	射线装置名称	型号	类别	环评/备案情况	许可情况	验收情况
1	数字胃肠机	XUD-150B	III	已备案	已许可	/
2	DR	Yaslo Max	III			
3	DR	Definium 6000	III			
4	CT	Somatom Definition AS	III			
5	CT	SOMATOM go Now	III			
6	C 型臂	BV Endura	III			

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{192}Ir	3.7×10^{11}	III	使用	后装近距离治疗	住院部负一层放疗中心后装机机房	安装在后装机屏蔽体内	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	^{18}F	液态/低毒 $T_{1/2}$=109.8min	使用	7.4×10^{9}	7.4×10^{6}	1.85×10^{12}	核素诊断	很简单操作	住院部负一层核医学科	高活室手套箱内
2	^{99m}Tc	液态/低毒 $T_{1/2}$=6.02h	使用	1.85×10^{10}	1.85×10^{7}	4.625×10^{12}	核素诊断	很简单操作	住院部负一层核医学科	高活室手套箱内
3	^{131}I	液态/中毒 $T_{1/2}$=8.04d	使用	7.4×10^{8}	7.4×10^{7}	1.85×10^{11}	核素治疗	简单操作	住院部负一层核医学科	高活室手套箱内
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	医用直线加速器	II	1	待定	电子	X 射线：≤15MV 电子线：≤20MeV	X 射线：10MV 能量下≤2400cGy/min； 15MV 能量下≤600cGy/min	放射肿瘤治疗	放疗中心 1#加速器机房	/
2	医用直线加速器	II	1	待定	电子	X 射线：≤15MV 电子线：≤20MeV	X 射线：10MV 能量下≤2400cGy/min； 15MV 能量下≤600cGy/min	放射肿瘤治疗	放疗中心 2#加速器机房	/

（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	待定	≤150	1250	医用诊断及介入治疗	医技部三层 1#、2#、3#DSA 机房	/
2	SPECT/CT	III	1	待定	≤140	≤650	医用诊断	核医学科 SPECT/CT 机房	/
3	PET/CT	III	1	待定	≤140	≤660	医用诊断	核医学科 PET/CT 机房	/
4	模拟定位 CT	III	1	待定	≤140	≤1000	医用诊断	放疗中心 CT 模拟机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	

（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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
退役源	固态	^{192}Ir	通常使用 2.5 个半衰期退役，退役时源强约 $6.5\times10^{10}Bq$	/	/	/	暂存在后装机屏蔽体内	原生产厂家回收处置
放射性固废	固态	^{18}F、^{99m}Tc 及 ^{131}I	/	14.3 kg	约 172kg	小于清洁解控水平推荐值（^{99m}Tc、$^{131}I\leq1\times10^{2}Bq/g$，$^{18}F\leq1\times10^{1}Bq/g$）	暂存在放射性废物暂存库中自然衰变	所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；含 ^{131}I 核素的放射性固废暂存超过 180 天，经检测合格后，对废物清洁解控并作为医疗废物处理
放射性废水	液态	^{18}F、^{99m}Tc 及 ^{131}I	/	约 9.85 m^3	约 118.25 m^3	总α＜1Bq/L；总β<10Bq/L	衰变池	含 ^{18}F、^{99m}Tc 的放射性废水暂存 30 天后可直接解控排放；含 ^{131}I 的放射性废水暂存 180 天，达到排放标准后，排放至医院污水处理系统
放射性废气	气体	^{18}F、^{99m}Tc 及 ^{131}I	/	/	微量	微量	不暂存	通过专用通风管道延伸至核医学科所在大楼楼顶，经楼顶排放口活性炭装置过滤后排放
加速器废靶	固态	/	/	/	/	/	暂存于铅罐中	交由厂家回收
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	不暂存	通过通风系统排出各机房室，臭氧在大气中 50min 内可自动分解为氧气，对环境影响较小
废活性炭过滤器	固态	^{18}F、^{99m}Tc 及 ^{131}I	/	/	约 20kg	/	暂存在放射性废物暂存库中自然衰变	暂存超过 180 天（按照 ^{131}I 暂存时间取），经监测满足清洁解控要求后委托有资质的单位处理

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.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度用比活度(Bq/l，或 Bq/kg，或 Bq/m^3)，年排放总量分别用 Bq 和 kg。

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》（修订版），国家主席令第 9 号，2015 年 1 月 1 日施行 （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 修正版），中华人民共和国主席令第 24 号，2018 年 12 月 29 日修订，2018 年 12 月 29 起施行 （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，国家主席令第 6 号，2003 年 10 月 1 日起施行 （4）《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修正版），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日发布施行 （5）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修正版），国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日公布施行 （6）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日实施 （7）《关于发布放射性废物分类的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行 （8）《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，2005 年 12 月 23 日起施行 （9）《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年 第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行 （10）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版），生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日施行 （11）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行 （12）《放射性废物安全管理条例》国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行 （13）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日起施行 （14）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》生态环境部部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行

	（15）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行 （16）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》生态环境部公告第 39 号，2019 年 10 月 25 日印发 （17）《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正版），江苏省第十三届人民代表大会常委会公告第 2 号，2018 年 5 月 1 日起施行 （18）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》生态环境部公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日起施行 （19）《江苏省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74 号，2018 年 6 月 9 日 （20）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1 号，2020 年 1 月 8 日 （21）《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49 号，2020 年 6 月 21 日 （22）《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187 号，2021 年 11 月 9 日
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016） （2）《辐射环境保护管理导则-核技术利用项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016） （3）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021） （4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） （5）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） （6）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021） （7）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021） （8）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020） （9）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010） （10）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020） （11）《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） （12）《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） （13）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020） （14）《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） （15）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）
其它	**与本项目相关附件：** （1）项目委托书（附件 1） （2）放射源、非密封放射性物质、射线装置使用承诺书（附件 2） （3）废源退役承诺书（附件 3） （4）辐射安全许可证正副本复印件（附件 4） （5）本项目辐射环境现状监测报告复印件（附件 5） （6）辐射工作人员考核合格证明（附件 6） （7）2022 年年度检测报告复印件（附件 7） （8）2022 年 1 月~2022 年 12 月个人剂量检测报告复印件（附件 8）

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目后装机使用 III 类放射源，核医学科场所为乙级非密封放射性物质工作场所，加速器和 DSA 属于II类射线装置，根据《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中 1.5 的规定，本项目评价范围确定为核医学科乙级工作场所取其半径 50m 的范围，加速器机房、后装机机房及 DSA 机房取其机房边界外 50m 的范围。

保护目标

本项目评价范围内不涉及自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）及《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》（苏政发〔2020〕1 号），本项目评价范围不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。本次评价项目拟建址周围 50m 范围内均无居民区、学校等敏感点，且评价范围内未涉及《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号》中划分的环境管控单元中的优先保护单元，本项目的建设符合《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》的要求。因此，本项目保护目标主要为辐射工作人员及辐射工作场所拟建址周围评价范围内的医务人员、患者及患者家属。保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内保护目标情况一览表

项目名称	保护目标分类	方位	保护目标名称	最近距离（m）	规模
医用直线加速器、后装机	辐射工作人员	南侧	医务人员	1m	8 人
	公众	东侧、南侧、西侧及顶部	院内医务人员、患者、患者家属	3m	80~100 人
核医学科	辐射工作人员	控制室、控制区内	医务人员	/	8 人
	公众	楼上、楼下、四周	院内医务人员、患者、患者家属	1m	120~130 人
DSA	辐射工作人员	控制室内、DSA 机房内	医务人员	/	8 人
	公众	楼上、楼下、四周	院内医务人员、患者、患者家属	3m	110~130 人

评价标准

1《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

	剂量限值
职业照射剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

11.4.3.2 剂量约束值通常在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。但剂量约束的使用不应取代最优化要求，剂量约束值只能作为最优化值的上限（见 4.3.4）。

表 7-3 表面污染控制水平单位: Bq/cm²

表面类型		α放射性物质		β放射性物质
		极毒性	其它	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 1)	4	4×10^{1}	**4×10^{1}**
	监督区	4×10^{-1}	4	**4**
工作服手套、工作鞋	控制区、监督区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	**4**
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	**4×10^{-1}**
1）该区内的高污染子区除外。				

表 7-4 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4\times10^{9}$
乙	2×10^{7}~4×10^{9}
丙	豁免活度值以上~2×10^{7}

表 7-5 放射性核素的豁免活度浓度值

解控水平（Bq/g）	核素
1×10^{1}	^{18}F
1×10^{2}	^{131}I、^{99m}Tc
注 1：上述解控水平推荐值原则上只适用于在组织良好、人员训练有素的工作场所对产生小量放射性固体废物的医学应用或实验室。 注 2：严禁为申报清洁解控而采用人工稀释等方法来降低核素活度浓度。 注 3：本表数值取自 GB18871-2002 附录 A。	

2 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

4 一般要求

4.6 从事放射治疗的医疗机构应规范收集、妥善暂存和处理放射治疗活动中产生的放射性废物。

4.7 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射安全与防护措施的有效性。

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871-2002 中剂量限值相关规定。

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

a）一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5 mSv/a。

b）公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

4.10 开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

5 选址、布局与分区要求

5.1 选址与布局

5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1 屏蔽要求

6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

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

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

机房外辐射工作人员：$\dot{H}c$≤100 μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}c$≤5 μSv/周。

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

人员居留因子 T＞1/2 的场所： $\dot{H}c,max$≤2.5 μSv/h；

人员居留因子 T≤1/2 的场所： $\dot{H}c,max$≤10 μSv/h。

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

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

6.2 安全防护设施和措施要求

6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：

a）放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；

b）放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；

c）控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：

a）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门－机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c）应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在

上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

f ）安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

8 放射性废物管理要求

8.1 总体要求

医疗机构应尽量减少放射性废物的产生；对产生的放射性废物按核素的种类、活度、半衰期、理化性质等分类收集处理。

8.2 固态废物管理要求

8.2.1 废旧放射源管理要求

废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。

8.2.2 其他固态废物管理要求

8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固态废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3 建立放射性固态废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率)、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固态废物处置，并做好存档记录。

8.4 气态废物管理要求

8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

3 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

4《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部份：一般原则》（GBZ/T 201.1－2007）

3治疗机房辐射屏蔽的剂量参考控制水平

3.1治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率应同时满足下列3.1.1和3.1.2的参考控制水平。

3.1.1距治疗机房墙和入口门外表面30cm处和邻近治疗机房的居留因子较大（T>1/4）的人员驻留区域见式（1）。

$$\dot{H}_C \le H_C / t \cdot U \cdot T \quad \text{……（1）}$$

式（1）中：

$\dot{H}_c$ ---周围剂量当量率参考控制水平，μSv/h；

H_c---周剂量控制水平（μSv/周），其值如下：

放射治疗机房外控制区的工作人员：≤100μSv/周

放射治疗机房外非控制区的人员：≤5μSv/周

U---治疗装置向关注点位置的方向照射的使用因子；

T---人员在放射治疗机房外控制区和放射治疗机房外非控制区驻留的居留因子；

t---治疗装置周最大累积照射的小时数，h/周。

3.1.2距治疗机房墙和入口门外表面30cm处：

$\dot{H}_c$ ≤2.5μSv/h　　（人员全居留场所，T>1/2）

$\dot{H}_c$ ≤10μSv/h　　（人员部分和偶然居留场所，T≤1/2）

5《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）

6《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）

4.1 剂量控制要求

4.1.1 治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率参考控制水平

a)使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附录A，由以下周剂量参考控制水平Hc（μSv/周）求得关注点的导出剂量率参考控制水平Hc,d（μSv/h）：

放射治疗机房外控制区的工作人员：Hc≤100μSv/周；

放射治疗机房外非控制区的人员：Hc≤5μSv/周。

7《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）

5.3.1 辐射工作人员应熟练掌握安全与防护技能，取得相应资质。

5.3.2 辐射工作人员应根据实际需要配备适用、足够和符合标准的个人防护用具（器械、衣具），并掌握其性能和使用方法。个人防护用具应有备份，均应妥善保管，并应对其性能进行检验。

5.3.3 辐射工作场所应具备适当的防护手段与安全措施，做好个人防护工作。

5.3.4 在伴有外照射的工作场所，应做好个人外照射防护，包括β外照射防护。

5.3.5 在任何情况下均不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件的操作。

8《医用电气设备 第 2 部分：γ射束治疗设备安全专用要求》（GB 9706.17-2009）

9《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB18871 的规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录 A。

4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照 GB18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口应设置标明监督区的标志。

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB 18871 执行。

4.5 服药患者出院要求

4.5.1 为确保放射性核素治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，出院患者体内放射性核素活度应符合附录 B 的相关规定。

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

5 选址和布局

5.1 选址

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

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

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

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

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

尽可能短捷。

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

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。

6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。

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

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

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

6.2 场所安全措施要求

6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

7 放射性废物的管理

7.2.3 固体放射性废物处理

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

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；

c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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

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

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；

b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L。

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

A1 的要求。

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

7.4 气态放射性废物的管理

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

10《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

11《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

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。

6.1.5 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 2 的规定。

本项目为单管头 X 射线设备，机房最小有效使用面积、最小单边长度需要满足表 7-6 要求。

表 7-6 X 射线设备机房使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 m^2	机房内最小单边长度 m
双管头或多管头 X 射线设备[a]（含 C 形臂）	30	4.5
单管头 X 射线设备[b] (含 C 形臂，乳腺 CBCT)	20	3.5
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
a 双管头或多管头 X 射线设备的所有球管安装在同一间机房内。 b 单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。		

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 3 的规定。

本项目为 DSA 设备机房，机房的屏蔽防护铅当量需要满足表 7-7 的要求。

表 7-7 C 形臂 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 形臂 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大于仪器响应时间。

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。

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

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台X射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表4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。

本项目需要配备的防护用品及防护设施需要满足表7-8的要求。

表 7-8 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		受检者
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品

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

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

12 项目剂量约束值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《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）及《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）等评价标准要求，确定本项目的管理目标为：

（1）职业人员年有效剂量不超过 **5mSv**，公众年有效剂量不超过 **0.1mSv**；

（2）本项目加速器机房及后装机机房屏蔽体外 30cm 处按照《**放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）**中 6.1.4 的规定，通过计算、比较确定辐射工作人员及公众关注点的剂量率参考控制水平。计算比较结果见表 7-9。

表 7-9 加速器机房及后装机机房关注点的周围剂量当量率考控制水平核算值

放射治疗机房外人员类别	参考点	居留因子T	使用因子U	周剂量参考控制水平Hc（μSv/周）	周工作时间t（h）	剂量率参考控制水平（μSv/h）		
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_c$
1#、2#加速器机房外辐射工作人员*	南墙外e点（控制室）	1	1	100	10	10	2.5	**2.5**
	南墙外k点（水冷机稳压器室）	1/4	1	100	10	40	10	**10**
1#、2#加速器机房	东墙外a点（2#加速器机房）	1/2	1/4	5	10	4	10	**4**

外非辐射工作人员*	东墙外c_1点及c_2点（2#加速器机房）	1/2	1	5	10	1	10	**1**
	防护门外g点（准备间）	1/8	1	5	10	4	10	**4**
	西墙外b点（地下土层）	1/40	1/4	5	10	80	10	**10**
	西墙外d_2点（读片诊断室）	1/4	1	5	10	2	10	**2**
	西墙d_1点（地下土层）	1/40	1	5	10	20	10	**10**
	北墙外f点（地下土层）	1/40	1	5	10	20	10	**10**
	顶部外h点（院内道路）	1/16	1/4	5	10	32	10	**10**
	顶部外m_1点及m_2点（院内道路）	1/16	1	5	10	8	10	**8**
后装机机房外辐射工作人员	南墙外k点（控制室）	1	1	100	3.33	30	2.5	**2.5**
后装机机房外非辐射工作人员	东墙外a点（弱电间）	1/16	1	5	3.33	24	10	**10**
	南墙外b点（准备间）	1/4	1	5	3.33	6	10	**6**
	防护门外g点（准备间）	1/8	1	5	3.33	12	10	**10**
	西墙外c点（2#加速器机房）	1/2	1	5	3.33	3	10	**3**
	北墙外d点（地下土层）	1/40	1	5	3.33	60	10	**10**
	顶部外h点（院内道路）	1/16	1	5	3.33	24	10	**10**

*：1#、2#加速器机房呈东西向镜像分布，2座机房内部尺寸及屏蔽防护设计一致，故本次以1#加速器机房为例进行关注点剂量率计算。

（3）距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于**2.5μSv/h**，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于**10μSv/h**；放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于**2.5μSv/h**，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量

率小于**25μSv/h**；

（4）DSA和模拟定位机机房屏蔽体外30cm处周围剂量当量率不超过**2.5 μSv/h**。

13 参考资料

（1）《后装γ源近距离治疗治疗控制检测规范》（WS262-2017）

（2）《辐射防护导论》，方杰主编；《辐射防护手册（第一分册）》，李德平、潘自强著

（4）《医用外照射源的辐射防护》，国际放射防护委员会第 33 号出版物

（5）《医用电气设备第 1 部分：安全通用要求三.并列标准诊断 X 射线设备辐射防护通用要求》(GB9706. 12-1997)

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

表 7-10 江苏省环境天然γ辐射剂量率调查结果（单位：nGy/h）

	原野剂量率	道路剂量率	室内剂量率
测值范围	33.1～72.6	18.1～102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差（s）	7.0	12.3	14.0

注：[1]测量值已扣除宇宙射线响应值。

[2]现状评价时，以“均值±3s”作为参考值：原野为（50.4±21.0）nGy/h；道路为（47.1±36.9）nGy/h；室内为（89.2±42.0）nGy/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1 项目地理位置及场所位置

南通市通州区中医院迁扩建放射诊疗项目位于南通市通州区金沙湾片区文河路南侧、金安路西侧、通灵桥路北侧地块，地理位置见附图 1。其东侧为金安路，南侧为通灵桥路，西侧为金林路，北侧为文河路，医院平面布局见附图 2。

根据现场调查分析及附图 2 可知，本次各评价项目周围 50m 范围内无居民楼、学校等敏感点。因此，本项目保护目标主要为辐射工作人员及辐射工作场所周围的医务人员、患者、家属。本项目所在住院部及医技部拟建址及周围环境现状见图 8-1。

<table>
<tr><td>
本项目所在住院部及医技部拟建址东侧</td><td>
本项目所在住院部及医技部拟建址南侧</td></tr>
<tr><td>
本项目所在住院部及医技部建址西侧</td><td>
本项目所在住院部及医技部拟建址北侧</td></tr>
</table>



本项目所在住院部及医技部拟建址处

图 8-1 本项目各场所拟建址及周围环境现状图

2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

评价对象：本项目各场所拟建址及周围辐射环境

检测因子：γ辐射空气吸收剂量率、中子剂量率、β表面污染

检测点位：在本项目各场所拟建址及周围布置监测点位，γ辐射空气吸收剂量率共布 6 个监测点位，中子剂量率共布 6 个检测点位，β表面污染水平共布 6 个检测点位

3 监测方案、质量保证措施及监测结果

3.1 监测方案

检测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司

检测仪器：FH40G 型辐射剂量检测仪（探头型号 FHZ672E-10）（设备编号：J0317，检定有效期：2021.09.29~2022.09.28）

Como170 高灵敏α/β/γ便携式沾污检测仪（设备编号：J0417，检定有效期：2022.10.12~2023.10.11）

RJ37-7105He5 中子周围剂量当量仪（设备编号：J0519，检定有效期：2022.12.15~2023.12.14）

检测项目：γ辐射空气吸收剂量率、中子剂量率、β表面污染水平

检测布点：在本项目各场所拟建址及周围进行布点，具体点位见图 8-2

检测时间：2022 年 9 月 1 日、2023 年 8 月 18 日

检测方法：《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）

《表面污染测定 第 1 部分β发射体（Eβmax>0.15MeV）和α发射体》（GB/T14056.1-2008）

数据记录及处理：γ辐射空气吸收剂量率监测每个点位读取 10 个数据，读取间隔

不小于 20s，并待计数稳定后读取数值，每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021），本项目空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG 393，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源，换算系数取 1.20Sv/Gy。中子剂量率监测读取 5 个数据，读取间隔不小于 20s，并待计数稳定后读取数值，每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。β表面污染水平监测每个点位读取 5 个数据，读取间隔不小于 20s，并待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。

3.2 质量保证措施

检测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司

检测布点质量保证：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）有关布点原则进行布点

检测过程质量控制质量保证：本项目检测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求，实施全过程质量控制

检测人员、检测仪器及检测结果质量保证：检测人员均经过考核并持有合格证书，所有检测仪器均经过计量部门检定，并在有效期内，检测仪器使用前经过校准或检验，检测报告实行三级审核

3.3 检测结果

3.3.1 γ辐射空气吸收剂量率检测结果

评价方法：参照江苏省环境天然γ辐射剂量率调查结果，监测结果见表 8-1，详细检测结果见附件 5。

表 8-1 本项目各场所拟建址及周围环境γ辐射空气吸收剂量率

序号	监测点位描述	监测结果（nGy/h）	备注
1	本项目所在住院部及医技部拟建址东侧	68.3	室外
2	本项目所在住院部及医技部拟建址南侧	65.0	室外
3	本项目所在住院部及医技部拟建址西侧	64.2	室外
4	本项目所在住院部及医技部拟建址北侧	68.2	室外
5	本项目所在住院部拟建址处	67.1	室外
6	本项目所在医技部拟建址处	67.9	室外

注：测量数据已扣除仪器宇宙射线响应值；现场检测时，住院部、医技部等均未建设。

3.3.2 中子剂量率检测结果

在本项目各场所拟建址及周围进行布点，检测结果见表 8-2，检测点位见图 8-2。

表 8-2 本项目各场所拟建址及周围环境中子剂量率监测结果

序号	监测点位描述	监测结果（μSv/h）	备注

1	本项目所在住院部及医技部拟建址东侧	0	/
2	本项目所在住院部及医技部拟建址南侧	0	
3	本项目所在住院部及医技部拟建址西侧	0	
4	本项目所在住院部及医技部拟建址北侧	0	
5	本项目所在住院部拟建址处	0	
6	本项目所在医技部拟建址处	0	

3.3.3 β表面污染检测结果

在本项目各场所拟建址及周围进行布点，检测结果见表 8-3，检测点位见图 8-2。

表 8-2 本项目各场所拟建址以及周围环境β表面污染检测水平

序号	监测点位描述	测量结果（Bq/cm²）	备注
1	本项目所在住院部及医技部拟建址东侧	＜MDL	/
2	本项目所在住院部及医技部拟建址南侧	＜MDL	
3	本项目所在住院部及医技部拟建址西侧	＜MDL	
4	本项目所在住院部及医技部拟建址北侧	＜MDL	
5	本项目所在住院部拟建址处	＜MDL	
6	本项目所在医技部拟建址处	＜MDL	

注：表中β表面污染 MDL=3.1×10^{-2}Bq/cm²。

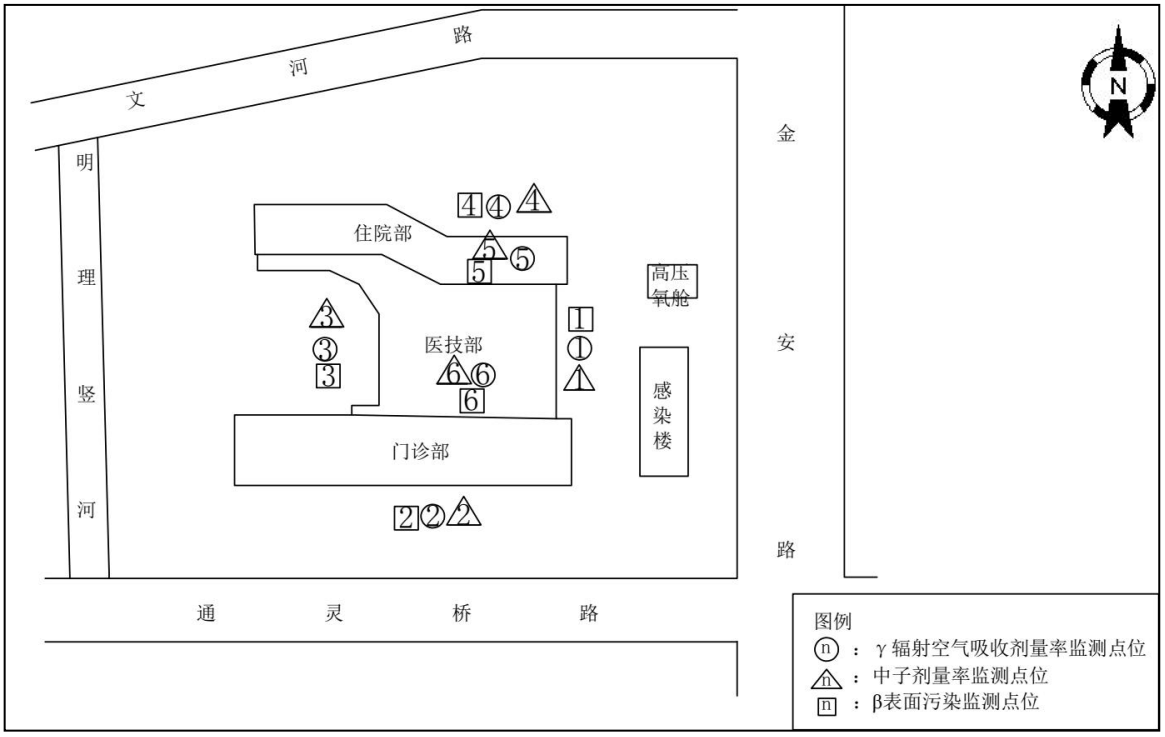

图 8-2 检测点位图

4 环境现状调查结果评价

从现场监测结果可知，本项目各场所拟建址及周围环境γ辐射空气吸收剂量率为（64.2～68.3）nGy/h，处于江苏省环境天然γ辐射剂量率涨落范围内。各场所拟建址及周围环境中子剂量率为 0μSv/h，各场所拟建址及周围环境β表面污染水平<MDL。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1 放射肿瘤治疗项目

1.1 工程设备

医院拟在新院负一层放疗中心开展放射肿瘤治疗项目，主要包括新建 2 座加速器机房（1#、2#加速器机房）、1 座后装机机房及相关配套用房，拟在 1#及 2#加速器机房内各配备 1 台加速器（型号未定），拟在后装机机房内配备 1 台后装机，用于肿瘤治疗。本项目投入运行后，医院拟为其配备 8 名辐射工作人员。医院拟配备的加速器技术参数见表 9-1，拟配备的后装机技术参数见表 9-2。

表 9-1 本项目拟配备的加速器技术参数

参数名称	1#加速器	2#加速器
加速器型号	未定	未定
最大能量	X 射线：≤15MV 电子线：≤20MeV	X 射线：≤15MV 电子线：≤20MeV
射线最大出射角	28°（等中心点每侧 14°）	28°（等中心点每侧 14°）
源轴距 SAD	1m	1m
距靶 1m 处剂量率	10MV 下 X 射线最大剂量率：2400cGy/min； 15MV 下 X 射线最大剂量率：600cGy/min	10MV 下 X 射线最大剂量率：2400cGy/min； 15MV 下 X 射线最大剂量率：600cGy/min
最大照射野大小	40cm×40cm	40cm×40cm
机架旋转	±180°	±180°

表 9-2 本项目拟配备的后装机主要技术参数

参数名称	参数值
后装机型号	未定
放射源种类	^{192}Ir
放射源初始总装源活度	3.7×10^{11}Bq（10Ci）

1.2 工作原理

1.2.1 加速器工作原理

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再

通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。医用直线加速器内部结构见图 9-1，常用加速器结构及实物图见图 9-2、图 9-3。

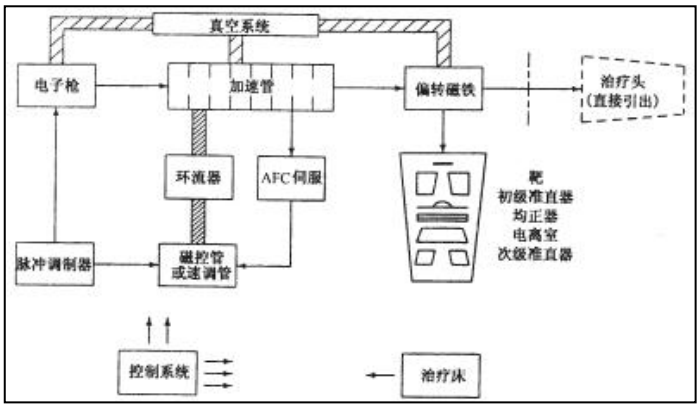

图 9-1 典型医用直线加速器内部结构框图

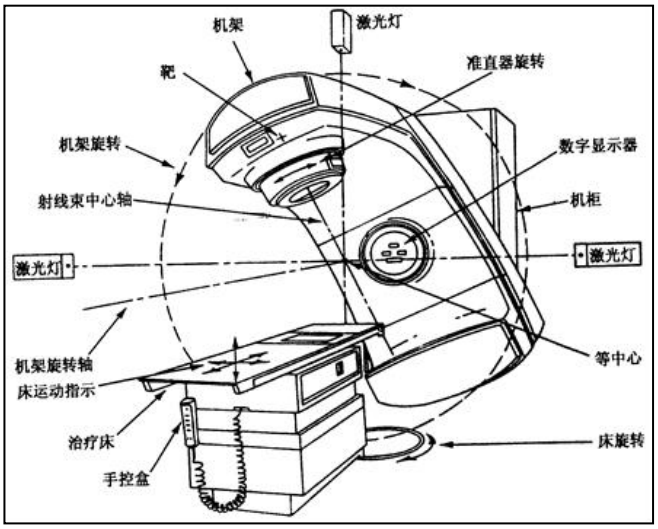

图 9-2 常用加速器结构图



图 9-3 常用加速器实物图

1.2.2 后装机工作原理

后装治疗是放射治疗的一种方法，所谓后装就是治疗时先将不带放射源的治疗容器（施源器）置于治疗部位，然后在安全防护条件下用遥控装置将放射源通过导

管送到已安装在患者体腔内的施源器内进行放射治疗，由于放射源是后来装上去的，故称之为“后装”。后装治疗属近距离放疗，治疗时依照临床要求，使γ放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的治疗手段，后装治疗具有治疗距离短、局部剂量高、周边剂量迅速跌落的特点，主要治疗不同部位的肿瘤以及手术难以切净而周围又有重要脏器限制外照射剂量的患者，广泛应用于治疗妇科、鼻咽、食道、支气管、直肠、膀胱、乳腺及胰腺等肿瘤。常见后装机外观图见图 9-4。



图9-4 后装机外观图

1.3 工作流程及产污环节

1.3.1 加速器项目工作流程及产污环节

本项目医用直线加速器 X 射线最大能量不超过 15MV，电子束最高能量不超过 20MeV。本项目加速器的工作流程及产污环节示意见图 9-5。

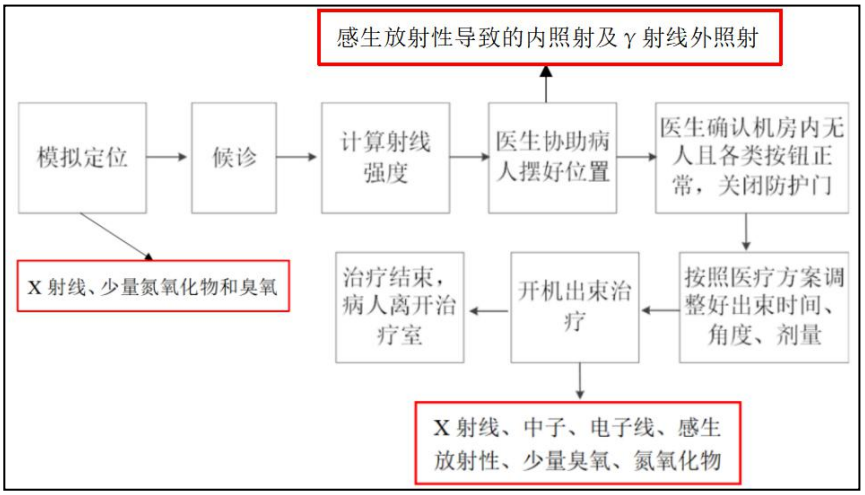

图 9-5 医用直线加速器项目作业流程及产污环节示意图

1）模拟定位：先通过模拟定位机对患者的病变部位进行详细检查，然后确定照

射的方向、角度和射野大小，拍片定位；

2）候诊登记：对已做模拟定位检查的患者进行登记候诊；

3）计算射线强度：根据患者疾病性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间；

4）摆位准备：在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位、标记，调整照射角度及视野，此过程辐射工作人员可能会受到感生放射性导致的内照射和γ射线外照射；

5）实施照射：根据已制定的诊疗计划，实施照射；照射过程加速器开机会产生的 X 射线、电子线、中子及感生放射性等，对治疗室外工作人员、公众及周围环境有一定的辐射影响； X 射线能使加速器机房内空气分子发生电离，产生的少量有害气体臭氧和氮氧化物。

6）治疗结束。

加速器工作人员进行肿瘤放射治疗时正常的开机治疗程序为：

①核对病人的姓名和治疗数据，仔细按治疗单要求摆位，除病人外全部离开治疗室，关闭治疗室门；

②选择运行模式；

③输入治疗参数；

④确认后开始治疗；

⑤治疗中通过电视屏幕监视病人情况和机器运行情况，一旦发现异常，立即停机、停束等妥善措施，及时报告维修、物理人员，做好记录。

1.3.2 后装机项目工作流程及产污环节

后装机治疗的作业流程及产污环节示意见图 9-6。

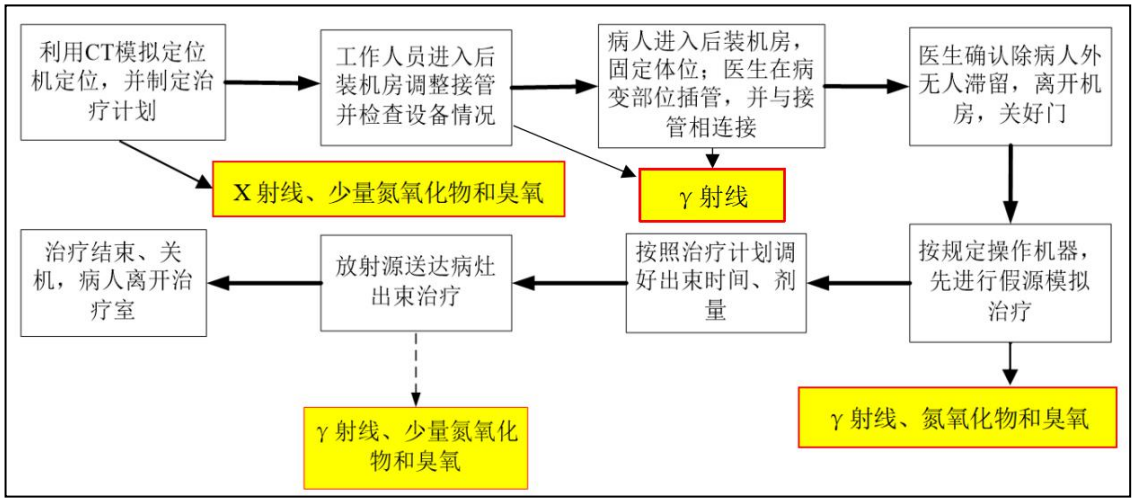

图9-6 后装机项目作业流程及产污环节示意图

①患者在经诊断确诊需要进行放射治疗后，根据病灶的部位确定定位体位，通

过 CT 模拟定位机扫描采集影像资料，用于确定靶区位置、形状和大小；

②放疗医师根据医学影像临床诊断资料，提出放射治疗方案和精确治疗计划；

③放射治疗计划完成，并经放疗医师确认后，放疗技师领患者进入治疗室，对患者进行摆位。将施源器与后装治疗机连接，放入腔内；

④技师确认治疗室内无其他人员滞留，确认各类按钮工作正常后，关闭防护门；

⑤技师在控制室内设置参数，按照医疗方案进行出源治疗。治疗过程会产生γ射线，治疗室内的空气会电离产生臭氧和氮氧化物；

⑥治疗结束，确认放射源回位后，患者离开治疗室。

2 核医学科项目

2.1 工程设备

医院拟在新院区住院部负一层建设核医学科，开展 ^{18}F、^{99m}Tc 核素放射诊断项目及 ^{131}I 甲亢治疗。核医学科工作场所主要包括新建 1 座 SPECT/CT 机房、1 座 PET/CT 机房及相关配套用房，拟在 SPECT/CT 机房及 PET/CT 机房内分别配备 1 台 SPECT/CT 及 PET/CT，用于患者影像诊断。在进行 ^{18}F 核素放射诊断时，单个病人用药量约为 10mCi，日最多接诊 20 名病人；在进行 ^{99m}Tc 核素放射诊断时，单个病人用药量约为 25mCi，日最多接诊 20 名病人；在进行 ^{131}I 甲亢治疗时，单个病人用药量约为 10mCi，日最多接诊 2 名病人。本项目投入运行后，医院拟为其配备 8 名辐射工作人员。

2.2 工作原理

2.2.1 SPECT/CT 项目工作原理

SPECT/CT 是单光子发射计算机断层成像技术的英文缩写（Single-Photon Emission Computed Tomography），是一种进行功能代谢显像的分子影像学设备，其工作原理是利用仪器探测人体内同位素的动态分布而成像，特点是可做功能、代谢方面的影像观察。SPECT/CT 不仅能显示二维平面图像，更主要的还能给出脏器的断层图像。它实际上就是一个探头可以围绕病人某一脏器进行 360°旋转的γ相机，在旋转时每隔一定角度（3°或 6°）采集一帧图片，然后经电子计算机自动处理，将图像叠加，并重建为该脏器的横断面、冠状面、矢状面或任何需要的不同方位的断层和切面图像，利用专用的核医学应用软件，对断层图像和数据做进一步的分析和处理，为核医学医生提供更多更精确的信息和定量分析的数据，从而极大地提高了诊断的

灵敏度和准确性。SPECT/CT 装置结合了诊断级多层 CT 的复合成像设备 SPECT/CT，可以精确定位病变的位置、性质和程度。

SPECT/CT 工作时，其 CT 的 X 射线管会产生 X 射线，日常运行时常用管电压为 80~120kV、管电流为 20~200mA。使用的单光子示踪剂属非密封放射性物质为 ^{99m}Tc，核素特性一览表见下表 9-3。

表 9-3 本项目核素特性一览表

核素种类	半衰期	衰变模式	主要α/β射线能量（keV）与绝对强度（%）	光子能量（keV）与绝对强度（%）	周围剂量当量率常数（裸源）μSv·m^2/MBq·h
^{99m}Tc	6.02h	同质异能跃迁	-	140.5（88.5）	0.0303

该院 ^{99m}Tc 药物由核医学科根据就诊病人预约情况确定药物使用量向医药公司预定，医药公司按约定的时间将单名病人用药量分装成针剂后配送至核医学科高活室，该院核医学科不自行分装药物。

2.2.2 PET/CT 项目工作原理

PET（正电子发射断层显像仪）显像的原理是把微量正电子示踪剂注射到人体内，利用 PET 探测这些正电子核素在体内的分布情况，经计算机重建成断层图像，从而反映组织器官的生理代谢情况和早期病理变化，从而为临床提供疾病的生物代谢信息。但 PET 显像空间分辨率较差，难以精确定位，只有当疾病发生到“形态改变”这一阶段才能被发现，因此不能达到“早期诊断”的目的。

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

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒籽，即正电子。正

电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的γ光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接受到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头间连线上。通过环绕 360°排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层面正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。PET/CT 设备外形见图 9-7。



图 9-7 PET/CT 设备外形图

PET/CT 工作时，其 CT 的 X 射线管会产生 X 射线，日常运行时常用管电压为 80~120kV、管电流为 20~200mA。使用的正电子示踪剂属非密封放射性物质为 ^{18}F，核素特性见表 9-4。

表 9-4 本项目正电子核素特性一览表

核素种类	半衰期	衰变模式	主要α/β射线能量（keV）与绝对强度（%）	光子能量（keV）与绝对强度（%）	周围剂量当量率常数（裸源）μSv·m²/MBq·h
^{18}F	109.8min	β+，EC	633.5 (96.73)	XK：0.52 (0.01795) γ±：511 (≤193.46)	0.143

该院 ^{18}F 正电子药物均由核医学科提前根据就诊病人预约情况确定药物使用量向医药公司预定，医药公司按约定的时间将单名病人用药量分装成针剂后配送至核医学科高活室，该院核医学科不自行分装药物。患者注射完药物后的患者进入 PET/CT 注射后候诊室等待，一定时间后进行扫描检查，检查完成后留观约 10~20 分钟后若无异常情况即可离开。

2.2.3 甲亢治疗项目工作原理

甲亢治疗是利用甲状腺具有强大的聚碘功能，口服一定量的 ^{131}I 后，可被甲状腺组织大量摄取。^{131}I 在衰变过程中，可释放β射线和γ射线。β射线可选择性地破坏甲状腺组织而不影响邻近组织（如甲状旁腺）。甲状腺组织被破坏后逐渐坏死，并纤维化，从而减少甲状腺激素的合成和分泌，达到类似于甲状腺全切除的目的。本项目甲亢治疗拟使用的放射性核素为 ^{131}I，其核素特性表见表 9-5。

表 9-5 核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	主要α/β射线能量（MeV）与绝对强度（%）	光子能量（MeV）与绝对强度（%）	周围剂量当量率常数（裸源）μSv•m²/MBq•h
^{131}I	8.02d	β^-	247.9（2.1） 333.8（7.27） 606.3（89.9）	80.185（2.62） 284.305（6.14） 364.489（81.7） 636.989（7.17） 722.911（1.77） $XK_{\alpha1}$：29.779（2.56）	0.0595

供货商将 ^{131}I 药物送至核医学科高活室的手套箱内，辐射工作人员在上班前把放于手套箱的 ^{131}I 药罐放在自动分装仪内，医务人员远程操控自动分装仪对药物进行分装，患者在 ^{131}I 给药室的服药窗口服药后进入 ^{131}I 留观室内留观。本项目甲亢治疗病人的单次口服剂量不超过 10mCi，满足 HJ1188-2021 中要求的放射治疗患者出院时体内放射性活度不大于 400MBq 的要求，病人在服药留观后若无异常情况即可离开。

2.3 工作流程及产污环节

2.3.1 SPECT/CT 诊断项目

本项目 SPECT/CT 拟使用的放射性核素为 ^{99m}Tc，根据表 9-3 可知，^{99m}Tc 为纯γ光子发射体，在使用过程中会对周围环境产生外照射辐射影响。SPECT/CT 项目整体工艺及操作程序见图 9-8。

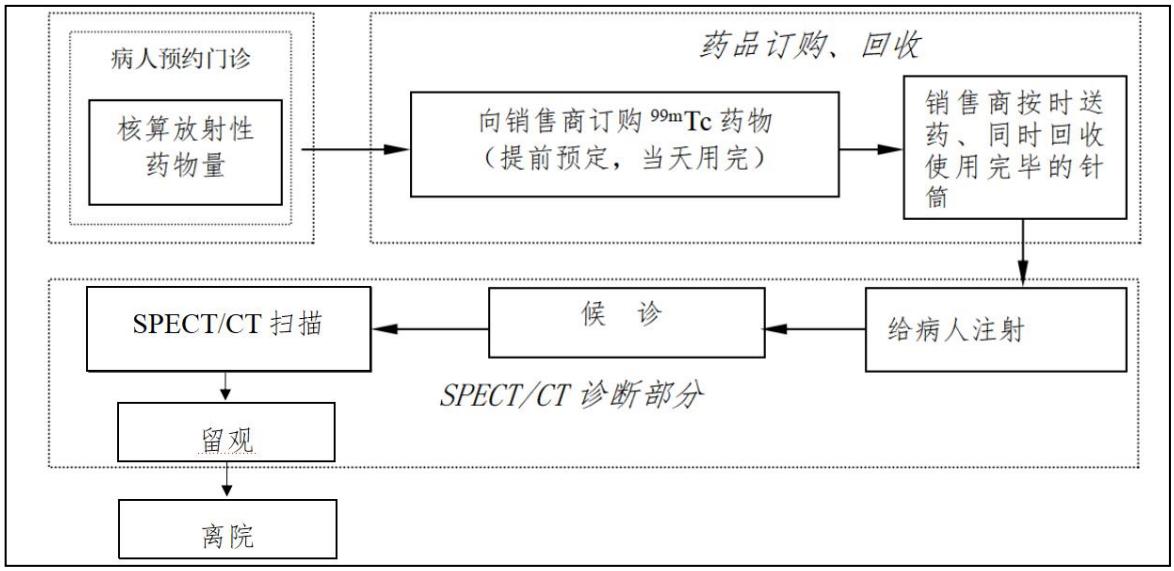

图 9-8　SPECT/CT 项目整体工艺及操作程序图

（1）医院根据患者预约情况，确定当天所使用的放射性核素及其剂量；

（2）医院向专业医药公司预订 ^{99m}Tc 药物，医药公司按照医院要求在规定时间内将药物按医院要求分装后送到医院；

（3）医护人员为患者注射药物，注射后患者在SPECT/CT候诊室停留一定时间后，进入SPECT/CT机房进行扫描诊断。

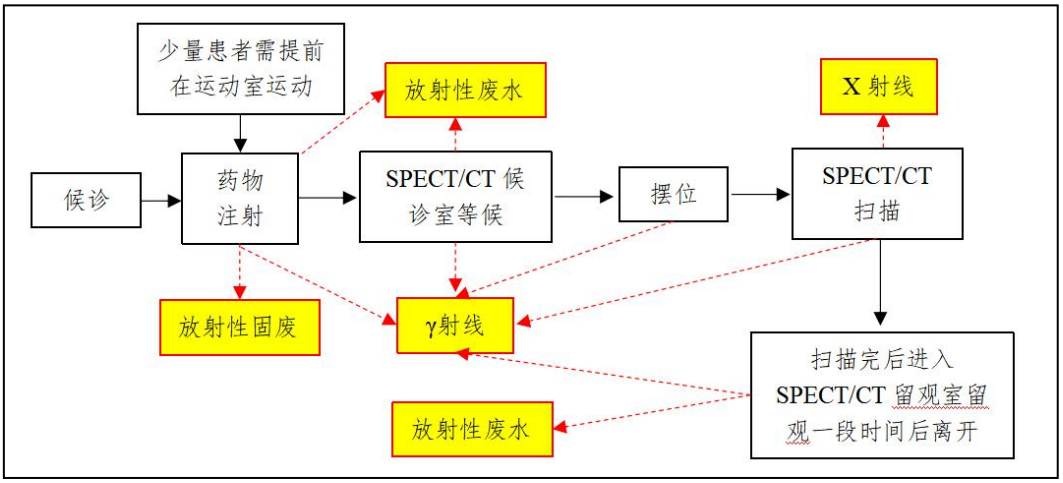

图 9-9 SPECT/CT 诊断部分具体工艺流程及产物环节图

SPECT/CT诊断部分具体工艺流程及产物环节见图9-9。

1、购置的^{99m}Tc药物在医药公司分装好后送至核医学科；

2、给病人注射药物（静推给药，少量患者注射前需提前在运动室运动）；

3、病人在SPECT/CT候诊室静坐候诊约20～30分钟；

4、到SPECT/CT检查床开始扫描（10～20分钟不等）；

5、扫描完成后进入 SPECT/CT 留观室内留观一段时间后离开。

2.3.2 PET/CT 诊断项目

由表9-4可知，^{18}F自然衰变过程中纯β辐射在空气及人体组织中射程均较短，不会对周围环境产生外照射辐射污染，但β^+粒子发生湮灭反应后产生的γ光子（0.511MeV）将会对周围环境产生外照射影响。

PET/CT项目整体工艺及操作程序见图9-10。

（1）医院根据患者预约情况，确定当天所使用的放射性核素及其剂量；

（2）医院提前向专业医药公司预订^{18}F药物，医药公司将按照医院要求在规定时间内将^{18}F药物送到医院高活室；

（3）^{18}F放射性药物到货时为装入铅罐内的整罐药液，需要由医护人员按照病人所需活度进行分装（在高活室手套箱内进行分装）；

（4）医护人员为患者注射分装好的^{18}F药物，注射后患者在PET/CT候诊室1/2停留一定时间后，进入PET/CT机房进行扫描诊断。

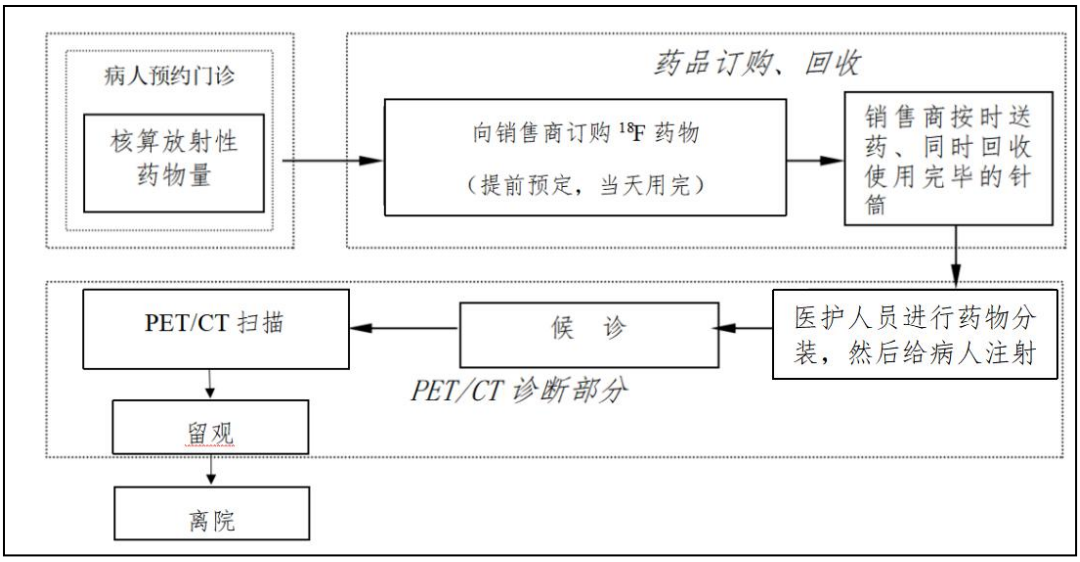

图9-10 PET/CT项目诊断操作流程示意图

PET/CT诊断部分具体工艺流程及产物环节见图9-11。

（1）医药公司将整罐^{18}F放射性药液送至医院核医学科高活室；

（2）医护人员按照病人所需活度进行^{18}F放射性药液分装；

（3）给病人注射药物（静推给药）；

（4）病人在PET/CT候诊室1/2静坐候诊约20～30分钟；

（5）到PET/CT检查床开始扫描（10～20分钟不等）；

（6）扫描完成后进入PET/CT留观室1/2内留观一段时间后离开。

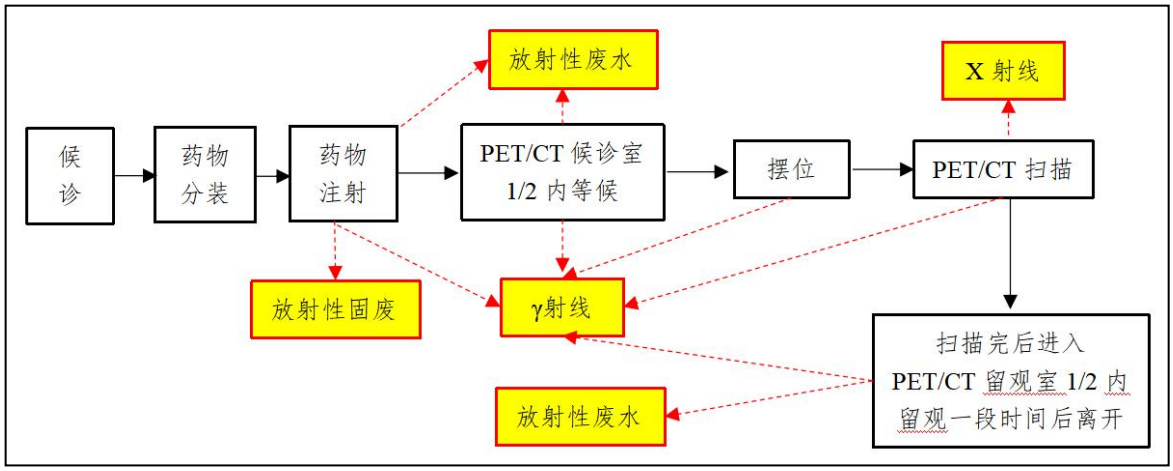

图9-11　PET/CT诊断部分具体工艺流程及产物环节

2.3.3 甲亢治疗流程及产物环节分析

本项目甲亢治疗使用 ^{131}I，其最大使用量为 3.7×10^{8}Bq/人（10mCi）。在甲亢治疗进行前，患者需于甲测室内进行吸碘率测量，在完成吸碘率测量后方可进行康将治疗。本项目中 ^{131}I 药物存放在高活室的手套箱内，辐射工作人员在上班前把放于手套箱的 ^{131}I 药罐放在自动分装仪内，医务人员远程操控自动分装仪对药物进行分装，患者在 ^{131}I 给药室的服药窗口服药后进入 ^{131}I 留观室内留观。本项目甲亢治疗病人的单次口服剂量不超过 10mCi，满足 HJ1188-2021 中要求的放射治疗患者出院时体内放射性活度不大于 400MBq 的要求，病人在服药留观后若无异常情况即可离开。甲亢治疗项目工艺流程及产污环节示意图见图 9-12。

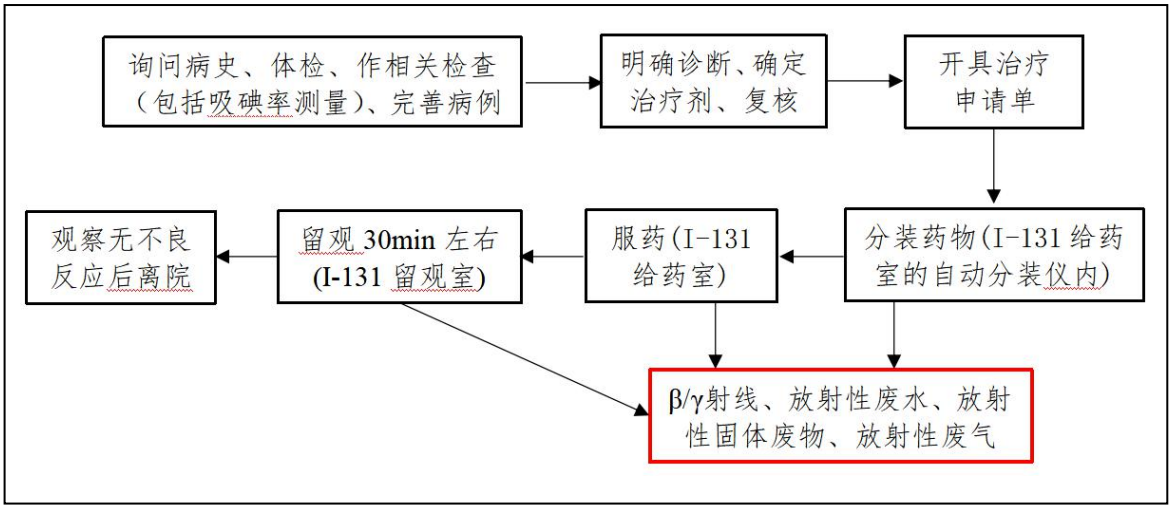

图 9-12 甲亢治疗项目工艺流程及产污环节示意图

甲亢治疗项目工艺流程及产污环节示意图见图9-12。

（1）订药：本项目^{131}I为药罐装载货包形式的外购药物。工作人员根据临床诊断

所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在用药当天送达药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将^{131}I药物放于高活室内的手套箱内；

（2）指导服药：辐射工作人员在上班前把放于手套箱的^{131}I药罐放在碘自动分装仪内，医护人员远程通过电脑控制系统操作碘自动分装仪自动分装药物，辐射工作人员通过给药窗将分装好的药物交由甲亢患者服用；

（3）服药后治疗：服药后病人在^{131}I留观室内留观约30分钟；

（4）留观后无不良反应即可离院。

2.4 工作场所人流、物流路径

本项目核医学科工作场所规划了医务人员、患者、放射性药物及放射性废物的通道和路线（见附图 8），有利于避免和减少放射性物质的污染和对相关人员的辐射影响。

给药、注射医务人员路线：给药、注射医务人员由北侧医生通道西侧入口进入核医学科→更衣室→高活室→^{131}I 给药室/源库/废物库。

PET/CT、SPECT/CT 操作医务人员路线：PET/CT、SPECT/CT 操作医务人员由北侧医生通道西侧入口进入核医学科→控制室。

^{18}F 显像患者路线：由病人通道西侧入口进入核医学科→高活室注射窗口→PET/CT 候诊室 1/2→PET/CT 扫描→PET/CT 留观室 1/2→病人通道东侧出口离开核医学科。

^{99m}Tc 显像患者路线：由病人通道西侧入口进入核医学科→高活室注射窗口→运动室→SPECT/CT 候诊室→SPECT/CT 扫描→SPECT/CT 留观室→病人通道东侧出口离开核医学科。

^{131}I 治疗患者路线：由病人通道西侧入口进入核医学科→^{131}I 给药室服药窗口→^{131}I 留观室→病人通道东侧出口离开核医学科。

放射性药物路线：南侧病人通道西侧入口送入核医学科→高活室注射窗下的传递柜→高活室。

放射性废物路线：放射性同位素操作过程中产生的固体废弃物，在各产生点（如各留观室、各候诊室、抢救室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房等）就近设置放射性废物收集桶（5mmPb），每天工作结束后由各活性区域分类收集，通过高活室注射窗下的传递柜送至废物库内。

3 DSA 项目

3.1 工程设备

医院拟在新院区医技部三楼开展介入治疗项目，包括新建 3 座 DSA 机房及相关配套用房，拟在每座机房内配备 1 台 DSA，用于患者血管造影、介入手术。本项目投入运行后，医院拟为其配备 12 名辐射工作人员。医院拟使用的 DSA 基本参数见表 9-6。

表 9-6 本项目拟配备的 DSA 基本参数一览表

序号	射线装置名称及型号	数量	管电压 kV	管电流 mA	类别	工作场所名称
1	DSA（型号待定）	3	≦150	≦1250	II	医技部三楼 1#、2#、3#DSA 机房

注：本项目 DSA 型号未定，参数由医院提供。

DSA 因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 型臂 X 光机，DSA 设备主要由 X 射线发生系统、影像增强接收器和显示系统、影像处理和系统控制部分、机架系统和导管床、影像存储和传输系统、防护屏及防护铅帘等构成。数字减影血管造影（DSA）是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，是 70 年代以来用于临床的一种崭新的 X 射线检查技术，是应用计算机程序两次成像完成的。常见数字减影血管造影机外观见图 9-13。

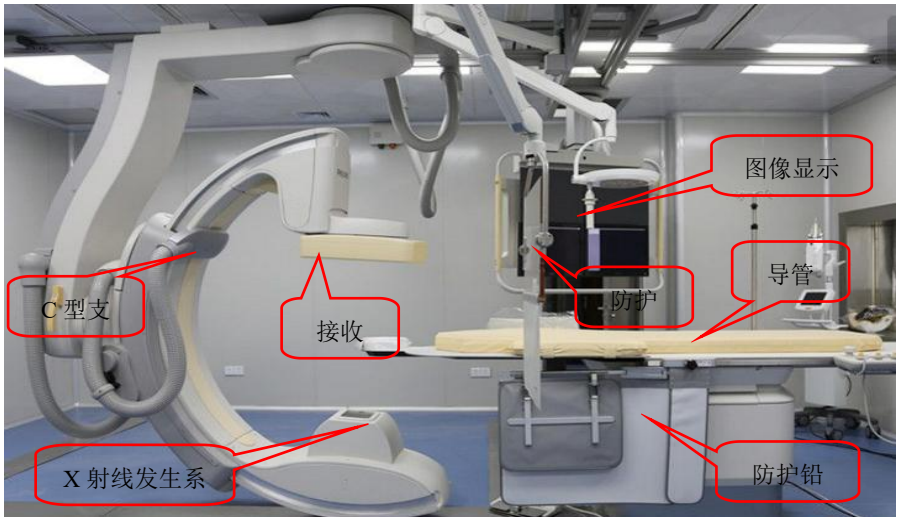

图 9-13 数字减影血管造影机外观图

3.2 工作原理

数字减影血管造影技术是常规血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物。DSA的成像基本原理为：将受检部位没有注入造影剂和注入造影剂后的血管造影X射线荧光图像，分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别存储起来，然

后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换成普通的模拟信号，获得了去除骨骼、肌肉和其它软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过DSA处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。DSA结构示意图见图9-14。

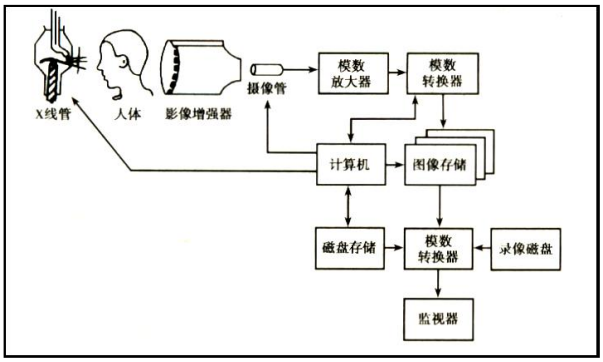

图9-14　DSA结构示意图

介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点。目前，基于数字血管造影系统指导的介入治疗医生已能把导管或其它器械，介入到人体几乎所有的血管分支和其它管腔结构（消化道、胆道、气管、心脏等），以及某些特定部位，对许多疾病实施局限性治疗。

3.3 工作流程及产污环节

患者进行放射性介入诊断及治疗时，先仰卧进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺动脉，送入引导钢丝及扩张血管与外鞘，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。

DSA在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况（拍片）：操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

第二种情况（透视）：医生需进行手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅屏风后身着铅服、戴铅眼镜等在曝光室内对病人进行直接的手术操作。

本项目DSA工作流程及产污环节如下图：

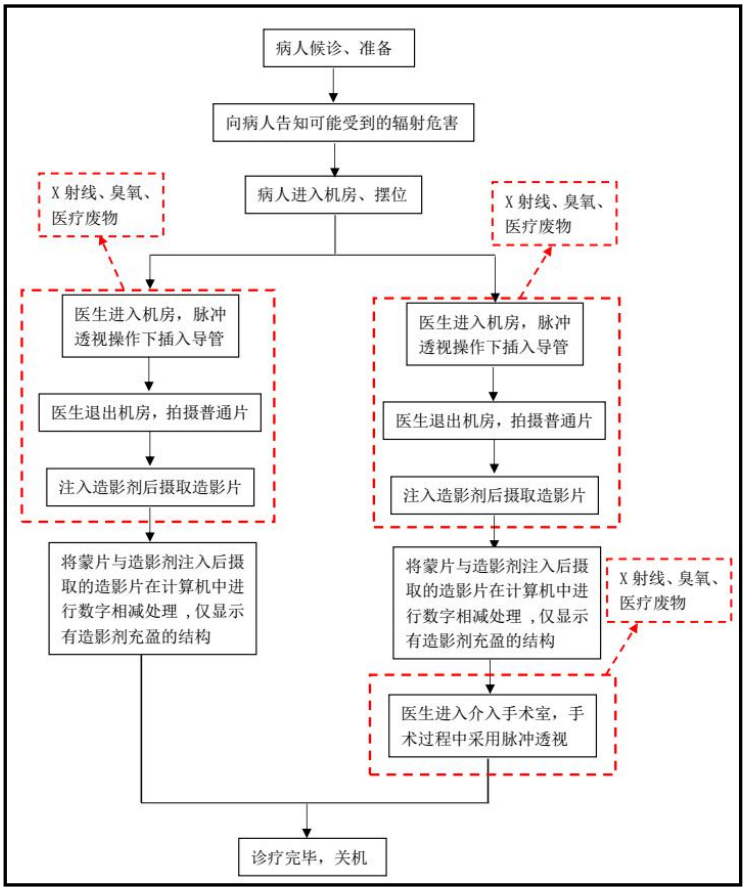

图 9-15　DSA 开展介入手术时工作流程及产污环节示意图

污染源项描述

1 放射肿瘤治疗项目

1.1 加速器项目

1.1.1 放射性污染源分析

本项目拟配备的 2 台医用直线加速器 X 射线最大能量均不超过 15MV，电子线能量均不超过 20MeV。在 10MV 能量下，2 台加速器的剂量率均不超过 2400cGy/min，在 15MV 能量下，2 台加速器的剂量率均不超过 600cGy/min。

（1）X 射线外照射

直线加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。医院拟新增的 2 台加速器 X 射线最大能量均不超过 15MV，由于 X 射线的贯穿能力极强，可能对工作人员、公众及周围环境造成辐射污染。

（2）电子束

当加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于X射线，在X射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时，电子线对周围环境辐射影响小于X 射线治疗。

（3）中子

当医用电子加速器的X射线能量大于10MeV时，光子与加速器的靶、准直器、均整器及电子束和光子束通道上的其他物质相互作用发生光核反应所产生的中子。包括直接光中子以及直接光中子与加速器厅壁作用发生弹性散射和非弹性散射后产生的散射中子。

中子的辐射生物效应远高于X、γ射线，因此在高能医用电子加速器的防护设计中需要考虑中子的防护。一般情况下，治疗室墙体、天花板的屏蔽厚度满足了对X 射线的防护要求时也能够满足对污染中子的防护要求，但要特别注意散射中子的防护，散射中子的影响主要考虑对防护门的影响。

（4）感生放射性

当入射电子加速电压大于10MeV，它发射的强电离辐射照射在加速器设备的结构材料，治疗室内的各种设备、器械，治疗室的墙壁等物质上时，都可能使它们活化而产生感生放射性。感生放射性主要包括加速器结构材料的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。感生放射性的剂量水平与加速器加速电子的能量、束流、靶体物质、照射时间等因素有关。它不与加速器辐射的发射同步。

加速器设备（特别是加速器管）材料中主要元素铝、不锈钢和铜，它们由于（n，r）反应生成的子体核素寿命很短，在加速器刚停机的时候影响最大。加速器机房内空气活化产生的放射性核素，主要有^{11}C、^{15}O、^{16}N、^{41}Ar，半衰期较小，范围从7.3秒至1.83小时，长半衰期的核素产生率很低，这些放射性气体在空气中存在时间较短。冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是^{15}O和^{16}N，它们的半衰期为2.1分钟和7.3秒，所以正常运行时被活化的水对人体的危害是不重要的，但在停机后立即检修水系统时，活化的放射性核素可能对人体造成危害。

（5）放射性固体废物

加速器靶物质（件）以及机头等金属部件由于受能量较高的电子和 X 射线的轰击会产生较强的感生放射性，机器退役（约使用 10 年）后更换下来的废靶件等应作为放射性废物处理。加速器退役拟委托原厂家进行整体回收处置。

综上所述，加速器产生的辐射源项有 X 射线、电子束、中子、感生放射性及放射性固体废物。

1.1.2 非放射性污染源分析

医用直线加速器工作时产生的高能 X 射线能使加速器机房内空气分子发生电离，产生的少量有害气体臭氧和氮氧化物。

1.2 后装机项目

1.2.1 放射性污染源分析

后装治疗机未使用时，放射源处于屏蔽位，少量的γ射线会穿透屏蔽体，对进入治疗机房治疗室的人员及室外公众等产生照射。

后装机在治疗过程中，机房治疗室内来自放射源的直射、散射和漏射γ射线会穿透屏蔽墙及防护门，对治疗机房治疗室外的工作人员和公众产生外照射影响。

表 9-7 ^{192}Ir 核素特性一览表

核素种类	半衰期	衰变类型及分支比（%）	主要α、β辐射能量（keV）与绝对强度（%）	主要γ、X 射线能量（keV）与绝对强度（%）	空气比释动能率常数（Gy•m^2•Bq^{-1}•h^{-1}）
^{192}Ir	74.2d	β⁻（95.42） ε（4.58）	536.0（41.3） 672.3（48.5） 255.9（5.59）	316.5（82.8） 468.07（48.0） 308.46（29.6） 295.96（28.7） 604.41（8.31）	1.11E-13

^{192}Ir 放射源使用到一定年限后产生退役的放射源，可能会对周围环境产生一定的危害。

本项目后装治疗机内配备有一枚 ^{192}Ir 放射源，最大装源活度为 3.7×10^{11}Bq，^{192}Ir 放射源特性见表 9-7。

1.4.2 非放射性污染源分析

后装机治疗过程中发射的γ射线，会使治疗机房治疗室内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过排风管排出治疗室，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

2 核医学科项目

2.1 非密封放射性工作场所等级

本项目核医学科共使用 3 种核素，分别为 ^{18}F、^{99m}Tc 及 ^{131}I。核医学科拟使用的放射性药物日使用量及年使用量见表 9-8，日等效最大操作量核算见表 9-9。

表 9-8 核医学科使用的放射性药物日使用量及年使用量

^{99m}Tc	日最大用量	单次平均使用量 25mCi×日最高峰人数 20 人=500mCi=1.85×10^{10}Bq
	年总量	单次平均用量 25mCi×年门诊量 5000 人=125Ci=4.625×10^{12}Bq
^{18}F	日最大用量	单次平均使用量 10mCi×日最高峰人数 20 人=200mCi=7.4×10^{9}Bq
	年总量	单次平均用量 10mCi×年门诊量 5000 人=50Ci=1.85×10^{12}Bq
^{131}I	日最大用量	单次平均使用量 10mCi×日最高峰人数 2 人=20mCi=7.4×10^{8}Bq
	年总量	单次平均用量 10mCi×年门诊量 500 人=5Ci=1.85×10^{11}Bq

表 9-9 核医学科使用的放射性药物日等效最大操作量核算

核素	状态/毒性组别	操作方式	日等效最大操作量
^{99m}Tc	液态/低毒	很简单操作	日最大操作量 1.85×10^{10}Bq×0.01（低毒）/10（液态/很简单操作）=1.85×10^{7}Bq
^{18}F	液态/低毒	很简单操作	日最大操作量 7.4×10^{9}Bq×0.01（低毒）/10（液态/很简单操作）=7.4×10^{6}Bq
^{131}I	液态/中毒	简单操作	日最大操作量 7.4×10^{8}Bq×0.1（中毒）/1（液态/简单操作）=7.4×10^{7}Bq
核医学科日等效最大操作量为 9.99×10^{7}Bq。			

由上述表 9-9 可知，核医学科日等效最大操作量为 9.99×10^{7}Bq，属于 GB18871 中**乙级**非密封放射性物质工作场所范围（2×10^{7}Bq~4×10^{9}Bq）。因此本项目核医学科为**乙级**非密封放射性物质工作场所。

2.2 放射性污染源分析

β、γ射线：在药物注射过程中，以及注射后病人等候、扫描及留观过程中，^{18}F、^{99m}Tc 及 ^{131}I 会持续发射β、γ射线对辐射工作人员和周围公众造成外照射；同时会产生β表面污染对辐射工作人员造成内照射影响。

X 射线：PET/CT 及 SPECT/CT 开机工作过程中会产生 X 射线，对辐射工作人员和周围公众造成外照射。

放射性固体废物：本项目放射性固体废物主要为核素操作过程中产生的注射器、手套、一次性口杯、滤纸等固体废弃物。

放射性废水：本项目产生的放射性废水主要有擦拭冲洗受放射性同位素污染物品用水、操作人员进行放射性药物操作后洗涤用水、用药患者的排泄物及其冲洗水等。

放射性废气：液态放射性同位素在进行操作时，空气中挥发的微量放射性同位

素；污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸，被医务人员和公众呼吸入体内造成的内照射。

3 DSA 项目

3.1 放射性污染源分析

DSA 产生的 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。本项目使用的 DSA 只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机出束期间，X 射线是主要污染因子。

（1）有用线束

本项目 DSA 的有用线束透射方向为由下至上。有用线束的射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量。本项目使用的 DSA 型号均未定，最大管电压均不大于 150kV，最大管电流均不大于 1250mA。常用 DSA 设备的主要操作模式为透视及拍片，透视运行时常用管电压为 70~80kV、管电流为 1~20mA；拍片运行时最大常用管电压为 70~80kV、管电流 100~500mA。

DSA 运行时离靶 1 米处的 X 射线发射率根据运行时管电压和 DSA 的 X 射线管的过滤条件从《辐射防护导论》（方杰著）附图 3 查取。常用 DSA 的滤过条件为 0.5mmCu，查《辐射防护导论》附图 3，额定电压 150kV 时离靶 1 米处的发射率约为 12.0mGy·m^2/（mA·min），在 80kV（运行时最大常用管电压）条件下，本项目 DSA 距靶点 1m 处的发射率约为 0.8mGy·m^2/（mA·min），即 4.8×10^4μGy•m^2/（mA·h）。

（2）泄漏射线

根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1 mGy/h”（在距离源 1m 处不超过 100cm^2 的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm^2 面积上进行平均测量），以及《医用电气设备 第 1 部分：安全通用要求 三.并列标准 诊断 X 射线设备辐射防护通用要求》（GB9706.12-1997）中 29.204.3 的相应要求，取本项目 DSA 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h。

（3）散射线

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

工作负荷：

根据医院提供的资料，每台 DSA 的工作负荷情况见表 9-10。

表 9-10 每台 DSA 工作负荷

透　视					
手术类别	年开展工作量		每台手术平均透视曝光时间		年透视曝光时间
心脏介入	200 台		约 15min		约 50h
神经介入	50 台		约 20min		约 16.7h
综合介入	100 台		约 20min		约 33.3h
小计	/		/		约 100h
拍 片					
手术类别	年开展工作量	单次采集时间	单台手术采集次数	单台手术最大采集时间	年采集时间
心脏介入	200 台	3～4s	6～10 次	约 0.7min	约 2.3h
神经介入	50 台	6～10s	4～10 次	约 1.7min	约 1.4h
综合介入	100 台	3～8s	7～15 次	约 2min	约 3.3h
小计	/	/	/	/	约 7.0h
总　计					约 107h

3.2 非放射性污染源分析

DSA 工作时，空气在 X 射线的作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体。

本项目 DSA 在投入使用后，会产生一定量的生活垃圾和医疗垃圾。手术时产生一定量的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂、废造影剂瓶等医用辅料及手术垃圾。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1 工作场所布局合理性分析

1.1 放射肿瘤治疗项目

医院放射肿瘤治疗项目拟建于医院新院区住院部负一层放疗中心，主要由 2 座加速器机房、1 座后装机机房及配套用房构成。医院拟将各机房的治疗室划为控制区，将加速器机房及后装机机房的控制室、水冷机稳压器室、准备间、读片诊断室、强电间、弱电间、设备库房等相关配套用房划为监督区，本项目加速器机房及后装机机房两区划分见附图 3。其中红色阴影部分表示控制区，蓝色阴影部分表示监督区。能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

本项目放射肿瘤治疗项目包括 2 座加速器机房、1 座后装机机房及相关配套用房。所有机房均设有控制室与治疗室，控制室与治疗室均分开设置，且所有机房治疗室均设有迷路，迷道入口均设有防护门。放射肿瘤治疗项目的分区及布局能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域”的要求。

1.2 核医学科项目

本项目核医学科场所拟建于医院新院住院部负一层，其工作场所布局及分区如附图 3 所示。核医学科项目未邻接产科、儿科、食堂等部门，且核医学科设置相对集中，并设有单独出、入口，出口位于核医学科东侧，避开了门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

本项目核医学科主要包括医生通道、更衣室、卫生间、设备室、控制室、进风机房、废物库、源库、^{131}I 给药室、高活室、运动室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、病人通道、^{131}I 留观室、SPECT/CT 候诊室、抢救室、PET/CT 候诊室 1、PET/CT 候诊室 2、SPECT/CT 留观室、PET/CT 留观室 1、PET/CT 留观室 2 及洁物间等场所。核医学科工作场所具体分区情况见表 10-1，核医学科平面布置及“两区”划分见附图 3。

表 10-1 核医学科工作场所分区情况一览表

控制区	监督区
甲测室、废物库、源库、^{131}I 给药室、高活室、运动室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、病人通道、^{131}I 留观室、SPECT/CT 候诊室、抢救室、PET/CT 候诊室 1、PET/CT 候诊室 2、SPECT/CT 留观室、PET/CT 留观室 1、PET/CT 留观室 2 及洁物间	过道、医生通道、更衣室、卫生间、设备室、控制室及进风机房

医院在核医学科控制区拟设置辐射屏蔽和安全防护设施，入口拟设置明显的符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志。核医学科工作场所设计有病人进出路线、医务人员进出路线及放射性废物路线；医院拟控制每个时段就诊患者数量，前一位病人注射（服药）完进入注射后候诊室后，医生通知下一位病人进行注射（服药），同理，当上一位病人扫描完从通道离开后，方通知下一位病人进行扫描，以避免病人之间交叉照射。本项目线路设置可有效避免带有放射性的病人对其它人员造成不必要照射，核医学科控制区和监督区划分明显，布局及通道设计合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

1.3 DSA 项目

医院拟在新院医技部三楼开展 DSA 介入治疗项目，医院拟将 3 座 DSA 机房划分为控制区，拟将每座 DSA 机房的控制室及设备间划分为监督区，无关人等不得进入。本项目工作场所布局和控制区、监督区的划分见附图 12，其中红色线表示控制区边界，蓝色线表示监督区边界。本项目 DSA 机房的布局及分区合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

2 辐射防护屏蔽设计

2.1 放射肿瘤治疗项目

本项目医用直线加速器机房及后装机机房平面剖面图见附图 6。医用直线加速器机房辐射防护屏蔽设计参数见表 10-2，后装机机房辐射防护屏蔽设计参数见表 10-3，加速器及后装置配套的模拟定位机房辐射防护屏蔽设计参数见表 10-4。

表 10-2 本项目医用直线加速器机房辐射防护屏蔽设计参数

分类		屏蔽参数	
		1#加速器机房	2#加速器机房
东墙	主屏蔽	2800mm 混凝土，宽度 4800mm	2800mm 混凝土，宽度 4000mm
	次屏蔽	1600mm 混凝土	1600mm 混凝土
南墙	次屏蔽	迷道内墙：800~1500mm 混凝土	迷道内墙：800~1500mm 混凝土

		迷道外墙：1000~1500mm 混凝土	迷道外墙：1000~1500mm 混凝土
西墙	主屏蔽	2800mm 混凝土，宽度 4000mm	2800mm 混凝土，宽度 4800mm
	次屏蔽	1600mm 混凝土	1600mm 混凝土
北墙	次屏蔽	1600mm 混凝土	1600mm 混凝土
顶部	主屏蔽	2800mm 混凝土，宽度 4800mm	2800mm 混凝土，宽度 4800mm
	次屏蔽	1600mm 混凝土	1600mm 混凝土
防护门		20mm 铅板+150mm 含硼聚乙烯板（5%硼）+1mm 铁锌合金钢板	
机房尺寸		10.33m（长）×8.0m（宽）×3.9m（高）	
注：混凝土密度为 2.35g/cm^3，铅板密度为 11.35g/cm^3。			

表 10-3 后装机机房辐射防护屏蔽设计参数

分类		屏蔽参数
东墙		700mm 混凝土
南墙	迷道内墙	400mm~700mm 混凝土
	迷道外墙	700mm 混凝土
西墙		1600mm~2800mm 混凝土
北墙		700mm 混凝土
顶部		900mm 混凝土
防护门		10mm 铅板+1mm 铁锌合金钢板
机房尺寸		7.2m（长）×5.8m（宽）×4.6m（高）
注：混凝土为 2.35g/cm^3，铅密度为 11.3g/cm^3		

表 10-4 模拟定位机房辐射防护屏蔽设计参数

分类	屏蔽参数
四周墙	24cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层
顶部	20cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层
底部	25cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层
防护门	5mm 铅板
观察窗	5mm 铅当量防护玻璃
注：混凝土为 2.35g/cm^3，铅密度为 11.3g/cm^3，硫酸钡涂层密度不低于 3.8g/cm^3。	

2.2 核医学科项目

核医学科项目辐射防护屏蔽设计参数见表 10-5。

表 10-5 核医学科项目工作场所屏蔽设计

场所	屏蔽设计参数
高活室、^{131}I 给药室、源库、废物间、SPECT/CT 机房、SPECT/CT 候诊室、^{131}I 留观室、运动室、更衣室、洁物间	四周墙体：24cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层； 顶棚：20cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层； 地面：25cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层； 防护门：6mm 铅板；
PET/CT 机房、PET/CT 候诊室 1、PET/CT 候诊室 2、PET/CT 留观室 1、PET/CT 留	四周墙体：24cm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡涂层； 顶棚：20cm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡涂层；

观室 2	地面：25cm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡涂层； 防护门：8mm 铅板；
抢救室	东侧墙体：24cm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡涂层； 南侧、西侧及北侧墙体：24cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层； 顶棚：20cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层； 地面：25cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层； 防护门：6mm 铅板；
SPECT/CT 留观室	东、西侧墙体：24cm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡涂层； 南、北侧墙体：24cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层； 顶棚：20cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层； 地面：25cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层； 防护门：6mm 铅板；
^{131}I 给药室服碘窗	40mm 铅当量
高活室	SPECT/CT 注射窗：20mm 铅当量； PET/CT 注射窗：40mm 铅当量；
观察窗	SPECT/CT 机房观察窗：6mm 铅当量； PET/CT 机房观察窗：8mm 铅当量；
手套箱	40mm 铅当量
自动分装仪器	40mm 铅当量
注：混凝土为 2.35g/cm^3，铅密度为 11.3g/cm^3，硫酸钡涂层密度不低于 3.8g/cm^3。	

2.3 DSA 项目

本项目共拟建 3 座 DSA 机房（1#、2#、3#DSA 机房），1#、2#、3#DSA 机房的尺寸、最小单边长度、有效使用面积及屏蔽参数见表 10-6。

表 10-6 本项目 3 座 DSA 机房辐射防护屏蔽参数一览表

1# DSA 机房	机房尺寸		最小有效使用面积：53.25m^2（7.5m×7.1m），最小单边长度：7.1m
	屏蔽设计	四侧墙体	4mm 铅板
		顶部	20cm 混凝土+4mm 铅板
		底部	20cm 厚的混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层
		观察窗	5mm 铅当量防护玻璃
		防护门	5mm 铅板
2# DSA 机房	机房尺寸		最小有效使用面积：47.955m^2（6.95m×6.9m），最小单边长度：6.9m
	屏蔽设计	四侧墙体	4mm 铅板
		顶部	20cm 混凝土+4mm 铅板
		底部	20cm 厚的混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层
		观察窗	5mm 铅当量防护玻璃
		防护门	5mm 铅板

3# DSA 机房	机房尺寸		最小有效使用面积：76.125m²（10.15m×7.5m），最小单边长度：7.5m
	屏蔽设计	四侧墙体	4mm 铅板
		顶部	20cm 混凝土+4mm 铅板
		底部	20cm 厚的混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层
		观察窗	5mm 铅当量防护玻璃
		防护门	5mm 铅板

3 辐射安全措施

3.1 放射肿瘤治疗项目

3.1.1 医用直线加速器项目

为保障医用电子直线加速器安全运行，避免在医用电子直线加速器治疗期间人员误留或误入治疗机房内而发生误照射事故，本项目 2 座加速器治疗机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施（安全措施图见图 10-1），主要有：

（1）拟设置电离辐射警告标志及工作状态指示灯：在 2 座加速器机房防护门上方均拟安装工作状态指示灯，其中红灯代表加速器开机工作，黄灯代表加速器准备工作，绿灯代表加速器停止工作。2 座加速器机房防护门外均拟张贴醒目、规范的电离辐射警告标志。

（2）拟设置监控与对讲装置：在 2 座加速器机房的治疗室及迷道内均拟安装实时监控装置，监控终端显示器位于控制室内，并拟配备对讲装置，在治疗过程中辐射工作人员可以及时观察病人情况，与病人交流，防止意外情况的发生

（3）拟设置辐射剂量监测：拟在 2 座加速器机房迷道内入口处设置固定式辐射剂量监测仪，其显示单位拟设置在控制室内，可实时监测治疗室内的辐射水平。

（4）拟设置门机联锁装置：2 座加速器防护门均拟安装门机联锁装置，只有当防护门完全关闭后才能开启加速器；在加速器出束状态下意外打开防护门，立即停止出束。

（5）拟设置开门开关和防夹装置：2 座加速器机房防护门内侧均拟设置紧急开门按钮，紧急情况下按开门按钮防护门打开；2 座加速器机房防护门均拟设置红外线防夹装置，防护门关闭过程中有人穿过防护门时，防护门自动开启。

（6）拟设置急停开关：拟在 2 座加速器机房的控制室内、迷道内和治疗室内四周屏蔽墙上合适位置处安装急停开关，加速器治疗床设有急停开关，急停按钮拟设置醒目标识及文字显示，能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动。

（7）通风措施：本项目 2 座加速器机房治疗室内均拟设置通风装置。加速器机房进风管道和排放管道均经防护门上方由迷道到达治疗室内。

（8）电缆布设：本项目 2 座加速器机房电缆线布设拟采用“Z”型穿墙管道，X 射线至少经过 3 次散射才能穿出管道口，能够满足辐射防护要求。

（9）防护监测设备配备：医院拟为 2 座加速器机房配备 1 台巡测仪、4 台个人剂量报警仪及 1 台中子剂量率仪，用于对 2 座加速器机房的辐射水平（X-γ辐射周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等）的监测。

3.1.2 后装机项目

本项目后装机机房拟采取的辐射安全和防护措施主要有：

（1）治疗室入口处拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，防止无关人员逗留和误入。

（2）治疗室拟安装门机联锁装置，开门状态不能出源照射，出源照射状态下若开门则放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

（3）后装机控制台上、治疗床上、治疗室内四周墙上及迷道墙上均拟安装紧急停机按钮，并明确标识和使用方法，按下紧急停机按钮应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

（4）拟在后装机房防护门内侧拟设置紧急开门按钮，紧急情况下按开门按钮防护门打开。防护门拟设置红外线防夹装置，防护门关闭过程中有人穿过防护门时，防护门自动开启。

（5）治疗室内拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其辐射监测探头位于治疗室内，迷道内安装有剂量报警灯，剂量显示单元设置在控制室内，可实时监测治疗室内的辐射水平。

（6）治疗室及迷道内拟安装监控系统，并拟在控制室和治疗室之间设置对讲系统，在治疗过程中医务人员可以及时观察病人情况，与病人交流，防止意外情况的发生。

（7）治疗室内拟配备合适的储源容器和长柄镊子等设备。

（8）治疗室的电缆管道拟采用“Z”型穿墙管道，X 射线至少经过 3 次散射才能穿出管道口，能够满足辐射防护要求。

医院 ^{192}Ir 放射源由生产厂家负责放射源运输、换装，放射源更换前保存在后装治疗机贮源罐中，医院不再设置放射源暂存柜或其他放射源暂存设施。医院承诺退役 ^{192}Ir 放射源委托原厂家回收处理。

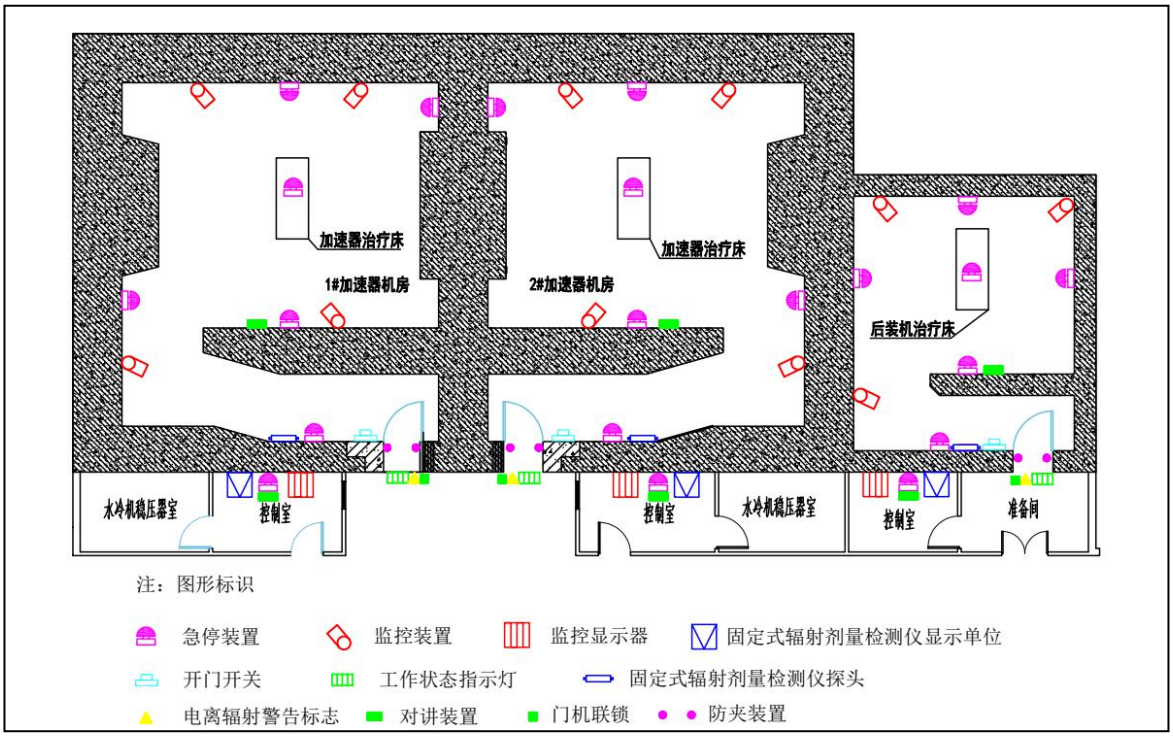

图10-1 本项目各放射诊疗机房辐射安全措施图

3.1.3 直线加速器及后装机房通风、电缆管线设置

本项目 2 座加速器机房及 1 座后装机房内均设计有通风系统。进风管道均拟从迷道防护门上方 45°斜向下到达治疗室迷道内，排风管道均拟从迷道防护门上方 45°斜向穿出治疗室，最终引至地面一层离地 4m 高处排放，排放口未朝向人员密集区。本项目 2 座加速器机房及 1 座后装机房新风管道及排风管道穿墙方式见附图 7。

本项目 2 座加速器机房及 1 座后装机房的电缆管道均拟以“Z”字型穿过迷路南墙，电缆管道直径约 250mm，电缆管道穿墙示意图见图 10-2。

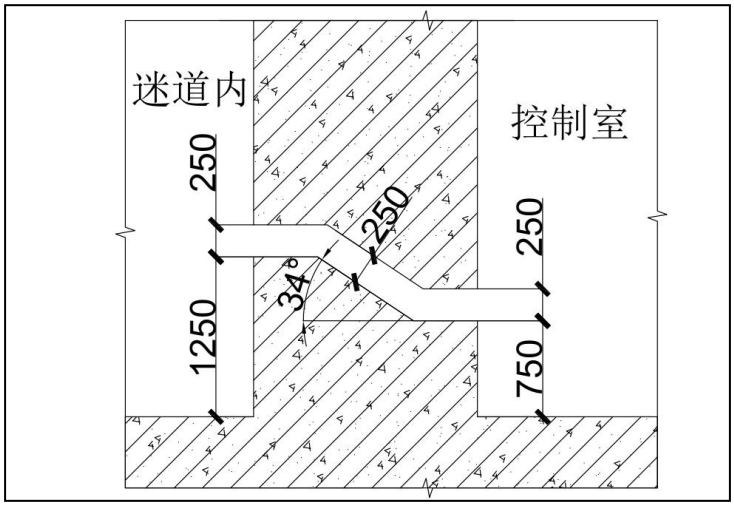

图 10-2 本项目各放射诊疗机房电缆管道穿墙示意图

3.2 核医学科项目

对于本项目放射诊断工作场所，医院拟设置如下辐射安全防护措施：

（1）医院拟在核医学科的控制区出入口、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、高活室、废物库、源库、^{131}I 给药室、抢救室、运动室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 候诊室 1、PET/CT 候诊室 2、PET/CT 留观室 1、PET/CT 留观室 2、SPECT/CT 留观室、^{131}I 留观室等场所外明显位置粘贴符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志，用于提醒无关人员不要靠近和逗留。

（2）医院拟在 SPECT/CT 及 PET/CT 机房门口设置工作状态指示灯，用于提示机房内设备的运行状态，同时拟在机房防护门安装闭门装置，确保防护门处于常闭状态，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

（3）医院拟在核医学科控制区病患入口及病患出口处设带门禁系统的单向门，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线，加强对控制区带药患者的管理，并防止无关人员入内。同时医务人员应告知检查完成后病人离开路线，防止其对其他公众造成不必要照射。核医学科患者出口在住院部一层东端，未经过病房大厅、收费处等人群稠密区域。

（4）医院拟在核医学科的控制区内安装监控及对讲设备，通过监控及对讲设备对控制区内用药后患者进行有序管理，使患者有序进入核医学科用药就诊。同时，除了使用监控及对讲设备对患者进行逐个叫号注射（服药）以及扫描外，医院计划在地面设置指示箭头以及指示牌指示患者进行有序注射（服药）以及扫描，通过加强管理的方式减少患者的交叉辐射影响。

（5）核医学科工作场所内不得安排与放射性无关的工作。

（6）本项目 ^{18}F 放射性药物的分装操作应在高活室的手套箱内进行，^{131}I 放射性药物的分装操作利用 ^{131}I 给药室内的自动分装仪器进行自动分装。^{18}F 放射性药物分装操作时应在衬有吸水纸的托盘内进行，药物在使用前有铅盒和铅套屏蔽。注射药物时，工作人员穿戴个人防护用品，并尽可能缩短操作时间。

（7）在控制区和监督区内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物件。辐射工作人员操作后离开工作室前洗手和进行表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

（8）使用操作应在指定的工作台或搪瓷盘内进行，操作人员需配戴个人防护用品，应避免皮肤直接接触放射性物质。

（9）非密封工作场所门窗及内部结构应尽量简单，墙面、地面应采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接应做成圆角，且应有一定的坡度朝向地漏（如设地漏）。

（10）医院计划为 SPECT/CT 工作人员配备铅当量不小于 0.5mm 的铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖、铅橡胶帽、铅玻璃眼镜；计划给 PET/CT 和 ^{131}I 核素治疗工作人员配备放射性污染防护服。

（11）医院计划为核医学科配备应急及去污用品，主要包括下列物品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂和硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨） 、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

（12）病人通道东北侧拟设置一扇消防门，消防门平常处于关闭状态，医院拟于消防门内、外张贴标志，提醒病人不要从内部打开消防门，同时提醒其他人员不要从外部打开消防门。消防门外拟张贴电离辐射警告标志。

（13）对于核医学科内西南侧的进风机房，医院拟采取管控措施，明确仅在核医学科内未进行放射诊断及治疗时，才允许相关人员进入。

3.3 DSA 项目

医院拟根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）为本项目设置的辐射安全装置和保护措施，主要有：

（1）控制台处均拟设置观察窗，工作人员通过观察窗观察机房内患者状态。

（2）医院在 3 座 DSA 机房入口处均拟设置工作警示灯，警示灯箱处设置警示语句，并在醒目位置张贴“当心电离辐射”以及放射防护注意事项。

（3）3 座 DSA 机房防护门外均拟设置电离辐射警告标志，机房防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害，亮灯勿入”的可视性标志语。

（4）3 座 DSA 机房防护门均拟设置闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

（5）医院拟为 DSA 项目配备 1 台辐射巡测仪及 6 台个人剂量报警仪。

（6）医院拟为本项目 DSA 工作人员配备个人剂量计，每 3 个月及时对剂量计送检，建立个人剂量健康档案。

（7）医院拟为本项目 DSA 机房的辐射工作人员配备个人防护用品铅橡胶围裙、

铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套（不低于 0.025mm 铅当量）等及辅助防护设施铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、铅玻璃屏风等，拟为患者配备个人防护用品铅橡胶性腺防护围裙或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子等。

（8）其它辐射安全措施

介入手术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，因此在评估介入放射的效应和操作时，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 射线球管工作时产生的散射线对医务人员有较大影响，根据辐射防护“三原则”，医院还应在以下方面加强对介入放射的防护工作：

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

b）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，参与介入的人员应该技术熟练、动作迅速，以减少病人和介入人员的剂量。

c）所有在 DSA 机房内的工作人员，并不仅限于介入手术医生，而包括周围护理人员，都应开展个人剂量监测，对于介入手术医生，应开展双个人剂量计监测，医院应结合工作人员个人剂量监测的数据采取措施，控制和减少工作人员的受照剂量。

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

e）介入人员应该结合 DSA 设备的特点，了解一些降低剂量的方法，比如采用小照射野、低频率脉冲透视等方法。

f）加强 DSA 设备的质量保证工作，设备的球管与高压发生器、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。

g）临床介入手术时，介入医生需站在 DSA 床边操作，仅依赖于医务人员身着铅衣、机器自带的铅吊帘等防护设备被动防护。一般来说，床下球管机对医务人员的辐射剂量，由头、颈、胸至腹部呈现剂量逐渐上升的趋势，故操作人员除个人防护用品（铅衣、铅围脖、铅帽及铅眼镜等）外，应着重考虑 X 射线机操作侧的屏蔽，该屏蔽要做到既不影响操作者的操作，又能达到防护目的，且能消毒。如：床侧立地防护屏、防护手术手套、床侧竖屏及床上防护屏、床下吊帘、床侧吊帘、床上防

护覆盖板等。以上组合屏蔽防护措施的使用，能够有效降低介入手术医务人员的吸收剂量，尤其是胸部以下部位屏蔽效果在 80%以上。

三废处理

1 放射肿瘤治疗项目

1.1 医用直线加速器项目

本项目医用直线加速器在工作状态时，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，本项目 2 座加速器机房内均拟设通风装置，通风装置最大风量均约为 1800m^3/h，2 座加速器机房净容积均为 391m^3（包括迷道），机房内通风换气频率约为 4.60 次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“换气次数不少于 4 次/h”的要求。

加速器机房内产生少量臭氧和氮氧化物能够通过排风系统及时排出治疗机房，臭氧在空气中短时间内可自动分解为氧气，因而其气体废物对环境影响很小。

加速器靶物质（件）以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生较强的感生放射性，更换靶会产生含放射性废靶件，医院拟将其交由厂家回收。

1.2 后装机项目

本项目后装机运行后会产生退役 ^{192}Ir 废源，医院已承诺退役放射源将交由生产厂家回收处置。

本项目后装机治疗室拟设置通风装置，通风装置的最大风量约为 1200m^3/h，后装机治疗室容积约 260m^3（含迷道），通风换气次数约为 4.61 次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“换气次数不少于 4 次/h”的要求。

2 核医学科项目

2.1 放射性固废处理措施

本项目在使用过程中产生的放射性固体废物为：^{99m}Tc、^{18}F 及 ^{131}I 等放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸、纸杯等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，通风管道内更换下来的废活性炭等，平均每天排放量约 0.8kg，每月排放量约 16kg，排放年总量约 192kg。

核医学科场所内拟设一间放射性废物间，废物间体积约为 46.25m^3，医院拟将含 ^{99m}Tc、^{18}F 及 ^{131}I 的固体废物收集于各工作场所铅污物桶（5mmPb）内的专用塑料包装袋内，包装袋标明收贮时间、种类及数量等内容。收集后的放射性废物拟通过两扇注射窗口之间下方传递柜统一贮存于放射性废物库内，按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）存放要求达到清洁解控水平推荐值后，由医院统一

作为医疗废物处理。本项目放射性固体废物本身沾染的放射性核素活度浓度很低，经过 5mmPb 的铅污物桶屏蔽后，铅污物桶表面 30cm 处的辐射剂量率能够满足小于 2.5μSv/h 标准要求。

2.2 放射性废水处理措施

本项目产生的放射性废水主要有体内含有放射性核素的病人排泄物、工作场所清洗废水等。医院拟在住院部东侧绿化带地下建设 1 座衰变池间，衰变池间四周及顶部均拟采用 300mm 混凝土，衰变池间内的两扇防护门均拟采用 5mmPb+6mmFe。为提高衰变池利用率，医院计划在衰变池间内配备两套衰变系统，长半衰期衰变系统及短半衰期衰变系统各 1 套。短半衰期衰变系统采用推流式排放的工作方式，包括 2 个生化池及 3 个衰变池，医院拟将 PET/CT 和 SPECT/CT 工作过程中产生的放射性废水排入短半衰期衰变系统；长半衰期衰变系统采用槽式排放的工作方式，包括 2 个生化池及 3 个衰变池，3 个衰变池均由 36 个槽罐搭建而成，医院拟将 ^{131}I 甲亢治疗产生的放射性废水排入长半衰期衰变系统。

本项目长半衰期废水处理系统的生化池A-1及生化池A-2尺寸均为1.7m（长）×1.2m（宽）×4.4m（高），单个容积均为6m^3，生化池池底均拟设由防止和去除污泥硬化淤积的措施，A-1#衰变池、A-2#衰变池及A-3#衰变池尺寸均为4.0m（长）×3.0m（宽）×3.0m（高），单个容积均为30m^3，长半衰期废水处理系统的总容积为90m^3；短半衰期废水处理系统的生化池B-1及生化池B-2尺寸均为1.7m（长）×1.2m（宽）×4.4m（高），单个容积均为6m^3，B-1#衰变池尺寸为2.7m（长）×1.7m（宽）×4.4m（高），容积为12m^3，B-2#衰变池尺寸为1.7m（长）×1.7m（宽）×4.4m（高），容积为8m^3，B-3#衰变池（检测池）尺寸为2.275m（长）×1.7m（宽）×4.4m（高），容积为10m^3，短半衰期废水处理系统的总容积为30m^3。

本项目长半衰期废水处理系统的衰变池均交替使用，放射性废水接出后首先经生化池A进入A-1#衰变池，此时，A-2#和A-3#衰变池进水口和三个衰变池的出水口全部处于关闭状态。当A-1#衰变池液面达到设定液位时，关闭A-1#池的进水阀，A-2#池的进水阀门开启，放射性废水经生化池A进入A-2#池。当2#池液面达到设定液位时，关闭A-2#池的进水阀，开启A-3#池进水阀，当A-3#池水液面达到设定液位时，打开A-1#池排水阀，此时A-1#池废水经缓冲池排出。当液位传感器感知到A-1#池液位排空后，关闭A-3#池进水阀，同时打开A-1#池进水阀，如此循环，确保每次排放的衰

变池内废液都是贮存时间最长的。本项目长半衰期衰变池设计图见附图11。

本项目短半衰期废水处理系统的工作方式为连续推流式，衰变池分三格串联工作，串联孔上下交错布置，使污水连续进出，依次进入避免断流。本项目PET/CT和SPECT/CT运行过程中产生的放射性废水首先进入生化池B进入B-1#衰变池，在B-1#衰变池存满水后，放射性废水经推流排入B-2#衰变池，在B-2#衰变池存满水后，放射性废水经推流排入B-3#衰变池（检测池）。短半衰期衰变池废水每次排放时，首先于B-3#衰变池（检测池）中取样检测，检测合格后方可将废水排出。本项目短半衰期衰变池设计图见附图11。

本项目含 ^{131}I 放射性废水的产生场所主要为 ^{131}I 给药室及 ^{131}I 留观室，其内产生的放射性废水均排入长半衰期衰变池中。^{131}I 甲亢治疗每天约 2 个病人，每人按 1 次洗手间计，每次冲厕水取 6.5L 计，则每天废水产生量约为 0.013m^3，辐射工作人员及工作场所每日冲洗废水按 0.1m^3 计，则 ^{131}I 甲亢治疗每天产生的废水量约为 0.113m^3。以 ^{131}I 核素贮存 180d（约 26 周，130 个工作日）的废水产生量约为 14.69m^3，本项目长半衰期废水处理系统的 2 个衰变池的容积为 60m^3，因此本项目长半衰期放射性废水处理系统的设计能够满足放射性废水的暂存衰变要求，本项目长半衰期衰变池的设计满足要求。

本项目含 ^{18}F 及 ^{99m}Tc 放射性废水的产生场所主要为卫生间、SPECT/CT 候诊室、SPECT/CT 留观室、抢救室、PET/CT 候诊室 1、PET/CT 候诊室 2、PET/CT 留观室 1、PET/CT 留观室 2 及洁物间，其内产生的放射性废水均排入短半衰期衰变池中。本项目核医学科 PET/CT 及 SPECT/CT 日门诊量均按 20 人计，每人按 1 次洗手间计，每次冲厕水取 6.5L 计，则每天废水产生量约为 0.26m^3，辐射工作人员每日冲洗废水按 0.1m^3 计，则 PET/CT 及 SPECT/CT 诊断每天产生的废水量约为 0.36m^3，则 ^{18}F 与 ^{99m}Tc 核素贮存 30d（约 22 个工作日）的废水产生量约 7.92m^3，本项目短半衰期系统 2 个衰变池的有效容量为 20m^3，因此本项目短半衰期放射性废水处理系统的设计能够满足放射性废水的暂存衰变要求，本项目短半衰期衰变池设计合理。

2.3 放射性废气处理措施

本项目 ^{131}I、^{18}F、^{99m}Tc 等放射性核素在进行操作时，由于空气的流动可能会“挥发”出微量放射性废气在空气中形成放射性气溶胶，尤其是易挥发性核素 ^{131}I，空气中挥发的微量核素会造成吸入性内照射。本项目 ^{131}I 拟在手套箱内贮存，以减少开放

液面挥发散逸的放射性同位素。整个核医学科控制区场所内拟单独设一套通风管道，排风经活性炭过滤后，从通风管道引至住院部屋顶排放，以保证控制区内空气保持与外界循环。

本项目核医学科高活室内拟配备手套箱，^{18}F、^{99m}Tc 及 ^{131}I 核素操作拟在手套箱中进行，手套箱内拟设专用通风管道，工作中设计风速不小于 0.5m/s，排放口位于屋顶，高于本建筑屋脊，开放液面挥发散逸的放射性同位素经通风系统内活性炭过滤后，从手套箱的通风管道直接抽出，由屋顶排放。核医学科排风图见附图 9。

3 DSA 项目

本项目各 DSA 机房内拟设置独立新风送风装置，机房内空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过排风装置排入大气，臭氧在空气中短时间内可自动分解为氧气，因而其气体废物对环境影响很小。

本项目 DSA 在投入使用后，会产生一定量的生活垃圾和医疗垃圾。手术时产生一定量的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂、废造影剂瓶等医用辅料及手术垃圾，按每台手术产生约 1kg 的医疗废物，每年固体废物产生量约为 1050kg。这些医疗废物经专用容器统一收集打包后运至医废暂存间，最终委托有资质的单位对其进行处理处置。

本项目 DSA 在投入使用后，工作人员还会产生一定量的生活垃圾和办公垃圾，医院拟按照管理部门要求，进行统一收集后由环卫部门统一定期清运。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目属于新建项目，项目建设施工时对环境会产生如下影响：

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

（2）噪声：整个建筑施工阶段，建筑设备在运行中将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定影响。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）标准，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

（3）固体废物：项目施工期间，产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

（4）废水：项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放。

该医院在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院局部区域，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

1 放射肿瘤治疗项目辐射环境影响分析

1.1 医用直线加速器项目

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）的要求，在本项目加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在加速器机房设计尺寸的基础上，以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。本项目两座加速器机房并排建设，加速器机房屏蔽呈对称式设计，所使用的加速器的 X 射线最大能量均不大于 15MV，在 15MV 下，加速器 X 射线的最大剂量率均为 600cGy/min；在 10MV 下，加速器 X 射线的最大剂量率均为 2400cGy/min。故本项目选取 1#加速器机房进行辐射环境影响分析，若 1#加速器机房辐射防护满足要求，则可推断 2#加速器机房也能满足辐射防护的要求。

加速器机房各主屏蔽墙、次屏蔽墙及侧屏蔽墙外的预测参考点见图 11-1。

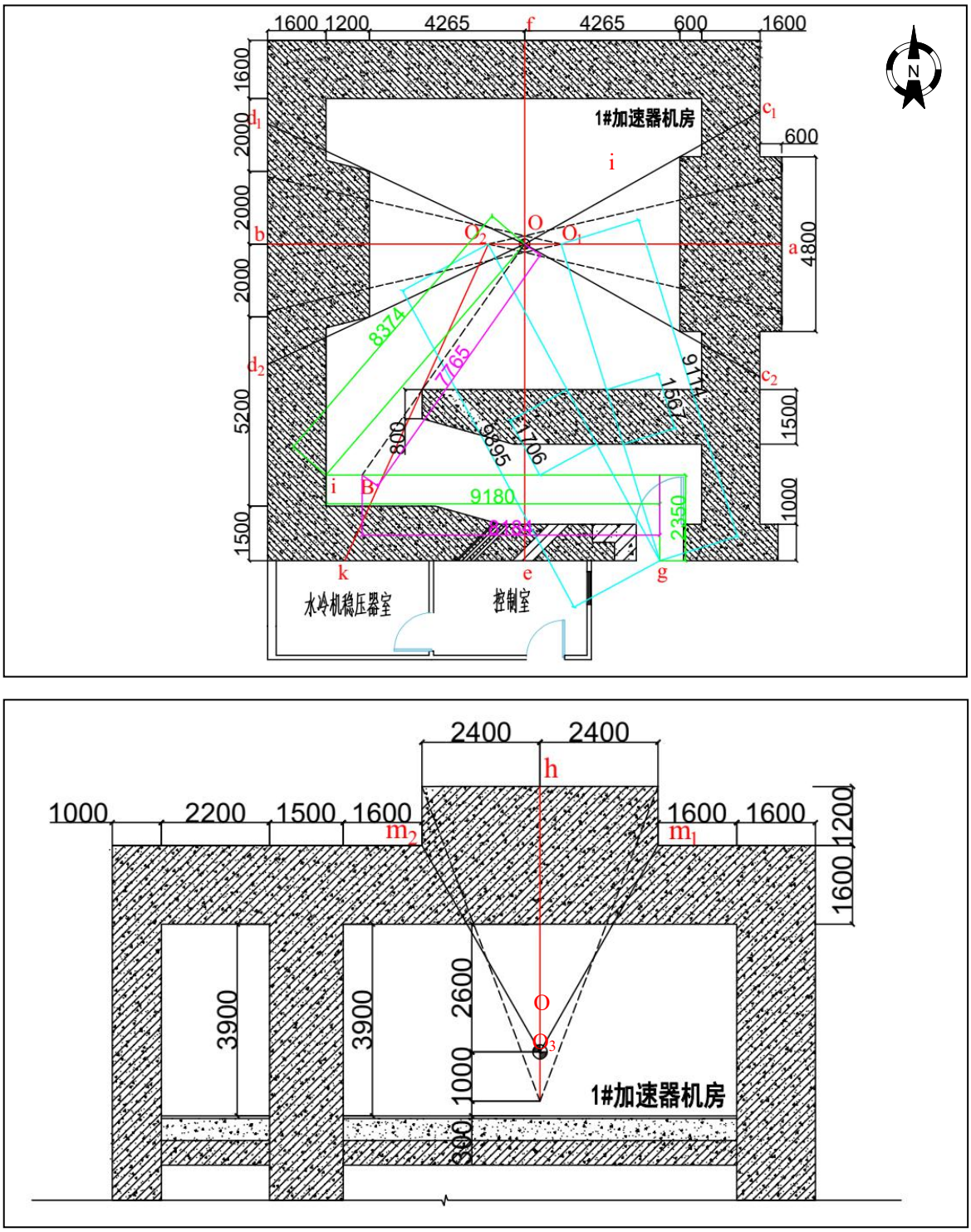

图 11-1 加速器机房屏蔽设计及参考点设置示意图

1.1.1 有用线束主屏蔽区宽度核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）的相关公式，可计算出有用线束主屏蔽区宽度。

$$Y_p=2[（a+SAD）\cdot\tan\theta+0.3] \quad \cdots\cdots（11\text{-}1）$$

式中，Y_p：机房有用束主屏蔽区域宽度，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；

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

将各参数代入式（11-1）可估算出加速器机房主屏蔽墙宽度，见下表：

表 11-1　本项目加速器机房主屏蔽区域宽度设计评价表

参数	取值		
	东侧主屏蔽	西侧主屏蔽	屋顶主屏蔽
a（m）*			
SAD（m）			
θ(°)			
计算宽度 Y_p（m）/半宽度	4.616/2.308	3.82/1.91	3.787/1.894
设计宽度（m）/最小半宽度	4.8/2.4	4.0/2.0	4.8/2.4
评价	满足	满足	满足

*：$a_{东侧屏蔽墙}$=4.265m+0.6m+1.6m+0.6m=7.065m

$a_{西侧屏蔽墙}$=4.265m+1.2m=5.465m

$a_{屋顶屏蔽墙}$=2.6m+1.6m+1.2m=5.4m

从上面的估算结果可以看出，加速器机房主屏蔽区域屏蔽墙宽度能够满足拟配置的医用加速器有用射线束宽度的防护要求。

1.1.2 主屏蔽墙防护效果预测（东侧主屏蔽墙 a 点、西侧主屏蔽墙 b 点和屋顶 h 点）

（1）主射线路径：东侧主屏蔽墙：O_2→a，西侧主屏蔽墙 O_1→b、屋顶 O_3→h

（2）计算模式及参数选择：

加速器主射线照射方向为东墙、西墙及屋顶。主屏蔽区域受到辐射主要有有用射线束、泄漏射线及散射射线。与有用射线相比，泄漏射线及散射射线影响较小，因此主要考虑有用射线的影响。辐射防护预测模式可采用 GBZ/T 201.2 -2011 第 5.2 章中推荐的估算公式，相关参数均取自该标准中的附录 B：

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

式中：$\dot{H}$：参考点辐射剂量水平，μSv·h^{-1}

$\dot{H}_0$：加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处最高剂量

率，μSv·m^2·h^{-1}，本报告分别以 10MV 及 15MV 下剂量率进行估算，10MV 下加速器的最大剂量率为 2400cGy/min，15MV 下加速器的最大剂量率为 600cGy/min

R：辐射源（靶点）至参考点的距离，m

f：对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率，一般取有用线束的 0.1%

B：屏蔽透射因子，可通过下式进行计算：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \text{……（11-3）}$$

式中：X_e 为有效屏蔽厚度（cm），TVL 和 TVL_1 为辐射在屏蔽物质中平衡什值层厚度和第一什值层厚度（cm）。

有效屏蔽厚度与射线与屏蔽墙的斜射角θ有关，主屏蔽墙取 0°。设屏蔽墙外参考点距离屏蔽墙的距离均为 30cm，各参考点处的辐射水平理论估算结果见表 11-2 及表 11-3。

表 11-2 加速器机房主屏蔽区域防护能力计算结果（10MV，2400cGy/min）

参数		东墙（a 点）	西墙（b 点）	屋顶（h 点）
混凝土建筑厚度 X（*cm*）				-
有效屏蔽厚度 Xe（cm）				-
TVL_1				-
TVL				-
B				-
$\dot{H}_0$（μSv·m^2·h^{-1}）（以 1m 处最大剂量率预测）				-
R（*m*）①		[illegible]	[illegible]	[illegible]
参考点处辐射剂量率 $\dot{H}$ (μSv·h^{-1})	$\dot{H}$ 估算值	0.714	0.714	1.114
	$\dot{H}$ 控制值	4	10	10
	评价结果	满足	满足	满足

注：①$a_{东侧、西侧屏蔽墙}$=辐射源到东墙（西墙）的距离 5.265m+墙厚 2.8m+墙外参考点 0.3m=8.365m

$a_{屋顶屏蔽墙}$=辐射源到顶部的距离 3.6m+墙厚 2.8m+墙外参考点 0.3m=6.7m

表 11-3 加速器机房主屏蔽区域防护能力计算结果（15MV，600cGy/min）

参数		东墙（a 点）	西墙（b 点）	屋顶（h 点）
混凝土建筑厚度 X（*cm*）				
有效屏蔽厚度 Xe（cm）				
TVL_1				
TVL				
B				
$\dot{H}_0$（μSv·m²·h⁻¹）（以 1m 处最大剂量率预测）				
R（*m*）①				
参考点处辐射剂量率 $\dot{H}$ (μSv·h⁻¹)	$\dot{H}$ 估算值	0.902	0.902	1.406
	$\dot{H}$ 控制值	4	10	10
	评价结果	满足	满足	满足

注：① $a_{东侧、西侧屏蔽墙}$=辐射源到东墙（西墙）的距离 5.265m+墙厚 2.8m+墙外参考点 0.3m=8.365m

$a_{屋顶屏蔽墙}$=辐射源到顶部的距离 3.6m+墙厚 2.8m+墙外参考点 0.3m=6.7m

1.1.3 与主屏蔽相连的次屏蔽防护效果预测（c_1、c_2 点、d_1、d_2 点和屋顶 m_1 点、m_2 点）

与主屏蔽区域相连的次屏蔽区域受到辐射主要为来自加速器机头的泄漏射线和来自患者的一次散射射线及机房地面、墙面的二次或多次散射射线。二次或多次散射射线影响较小，因此主要考虑泄漏射线和患者的一次散射射线的影响。

（1）射线路径：

泄漏辐射：东墙：O→c_1、O→c_2，西墙：O→d_1、O→d_2，屋顶：O→m_1、O→m_2

散射辐射：东墙：O_2→O→c_1、O_2→O→c_2；西墙：O_1→O→d_1、O_1→O→d_2；屋顶：O_3→O→m_1、O_3→O→m_2

根据图 11-1 可知，本项目东侧、西侧及屋顶的主屏蔽墙对称，因此本项目仅需预测 c_1、d_1 和 m_1 共 3 个参考点即可代表与主墙相连的次屏蔽墙的屏蔽效果。

（2）计算模式及参数选择：

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

同（同公式（11-2）），散射辐射的散射角θ、泄漏辐射的斜射角均取 30°。

患者一次散射、泄漏辐射散射屏蔽能力计算：散射辐射预测模式可采用 GBZ/T 201.2 -2011 第 5.2 章中推荐的估算公式，

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0\cdot\alpha_{ph}\cdot(F/400)}{R_s^2}\cdot B \qquad \text{……（11-4）}$$

式中：$\dot{H}$ 、$\dot{H}_0$ 及 B 均与（11-1）式相同

R_s^2：患者（位于等中心点）至参考点的距离，m

F：治疗装置有用束在等中心处的最大治疗面积（cm^2），取 $40\times40cm^2$

α_{ph}：$400cm^2$ 面积上的散射因子，查 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 中表 B.2，本项目均保守取能量为 10MV 散射角度 30° 下 α_{ph} 值，3.18×10^{-3}。

设屏蔽墙外参考点距离屏蔽墙的距离均为 30cm，各参考点处的泄漏辐射及散射辐射水平理论估算结果见表 11-4 及表 11-5。

表 11-4 加速器机房与主屏蔽相连次屏蔽区域防护能力计算结果（10MV，2400cGy/min）

参数		东墙	西墙	屋顶
		c_1 点（c_2 点）	d_1（d_2 点）	m_1 点（m_2 点）
泄漏辐射	混凝土建筑厚度 X（*cm*）			
	有效屏蔽厚度 Xe（cm）①			
	TVL_1			
	TVL			
	B			
	$\dot{H}_0$（$\mu Sv\cdot m^2\cdot h^{-1}$）			
	R（*m*）②			
	泄露辐射比 f			
	$\dot{H}$ 估算值($\mu Gy\cdot h^{-1}$)			
患者散射辐射	有效屏蔽厚度 Xe（cm）			
	TVL_1			
	TVL			
	B			
	α_{ph}			
	Rs			

	$\dot{H}$ 估算值(μGy·h^{-1})			
泄漏辐射和散射辐射的复合作用 $\dot{H}$ (μGy·h^{-1})				
$\dot{H}$ 控制值(μGy·h^{-1})		1	d_1 点：10 d_2 点：2	8
评价结果		满足	满足	满足

注：①有效厚度直接从 CAD 图中量取；②R 值取 CAD 图中量取值+0.3m。

表 11-5 加速器机房与主屏蔽相连次屏蔽区域防护能力计算结果（15MV，600cGy/min）

参数		东墙	西墙	屋顶
		c_1 点（c_2 点）	d_1（d_2 点）	m_1 点（m_2 点）
泄漏辐射	混凝土建筑厚度 X（*cm*）			
	有效屏蔽厚度 Xe（cm）①			
	TVL_1			
	TVL			
	B			
	$\dot{H}_0$ （μSv·m^2·h^{-1}）			
	R（*m*）②			
	泄露辐射比 f			
	$\dot{H}$ 估算值(μGy·h^{-1})			
患者散射辐射	有效屏蔽厚度 Xe（cm）			
	TVL_1			
	TVL			
	B			
	α_{ph}			
	Rs			
	$\dot{H}$ 估算值(μGy·h^{-1})			
泄漏辐射和散射辐射的复合作用 $\dot{H}$ (μGy·h^{-1})				
$\dot{H}$ 控制值(μGy·h^{-1})		1	d_1 点：10 d_2 点：2	8
评价结果		满足	满足	满足

注：①有效厚度直接从 CAD 图中量取；②R 值取 CAD 图中量取值+0.3m。

根据表 11-4 及表 11-5 可知，加速器机房与主屏蔽区域相连的次屏蔽区域辐射防护设计能够满足配置的加速器的泄漏射线和一次散射 X 射线的辐射防护要求。

1.1.4 侧屏蔽墙屏蔽效果预测（e 点、f 点）

（1）射线路径：南墙：O→e，北墙：O→f

（2）计算模式及参数选择：

加速器机房南墙、北墙为次屏蔽墙，主要考虑泄漏射线的辐射影响，辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（11-2））。

（3）预测计算结果

屏蔽墙外参考点 e、点 f 的位置见图 11-1，其辐射水平预测结果见表 11-6 及表 11-7。

表 11-6 加速器机房屏蔽墙防护能力计算结果（10MV，2400cGy/min）

参数		南墙（e 点）	北墙（f 点）
混凝土建筑厚度 X（*cm*）			
有效屏蔽厚度 Xe（cm）			
TVL_1			
TVL			
B			
f 泄漏辐射比率			
$\dot{H}_0$（$\mu Sv \cdot m^2 \cdot h^{-1}$）			
R（*m*）①			
参考点处辐射剂量率 $\dot{H}$（$\mu Sv \cdot h^{-1}$）	$\dot{H}$ 估算值	<0.001	0.384
	$\dot{H}$ 控制值	2.5	10
	评价结果	满足	满足

注：①$R_{南墙}$=2.0m+5.2m+1.5m+参考点 0.3m=9.0m

$R_{北墙}$=2.0m+2.0m+1.6m+参考点 0.3m=5.9m

表 11-7 加速器机房屏蔽墙防护能力计算结果（15MV，600cGy/min）

参数	南墙（e 点）	北墙（f 点）
混凝土建筑厚度 X（*cm*）		
有效屏蔽厚度 Xe（cm）		
TVL_1		
TVL		

B			
f 泄漏辐射比率			
$\dot{H}_0$（μSv·m²·h⁻¹）			
R（*m*）①			
参考点处辐射剂量率 $\dot{H}$ (μSv·h⁻¹)	$\dot{H}$ 估算值		
	$\dot{H}$ 控制值	2.5	10
	评价结果	满足	满足

注：①$R_{南墙}$=2.0m+5.2m+1.5m+参考点 0.3m=9.0m
$R_{北墙}$=2.0m+2.0m+1.6m+参考点 0.3m=5.9m

根据表 11-6 及表 11-7 可知，加速器机房侧屏蔽墙体的防护设计均能够满足配置的加速器的泄漏射线防护要求。

1.1.5 迷路外墙设计核算（k 点）

加速器机房主射线不向迷道照射，加速器靶点位于 O_2 点（偏离 O 点 1m）时，南侧迷道外墙 k 点处辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用。根据公式（11-2），可估算出加速器机房南侧迷道外墙 k 点处辐射剂量率水平，计算结果见表 11-8 及表 11-9。

表 11-8 迷路外墙 k 处的散射辐射剂量率（10MV，2400cGy/min）

参数	混凝土建筑厚度（cm）	有效厚度 Xe（cm）①	TVL_1	TVL	B	*R*（*m*）②	$\dot{H}$（μSv /h）
加速器机房							0.095

注：①有效厚度通过 CAD 图中直接量取；②R 值取 CAD 图中量取值+0.3m。

表 11-9 迷路外墙 k 处的散射辐射剂量率（15MV，600cGy/min）

参数	混凝土建筑厚度（cm）	有效厚度 Xe（cm）①	TVL_1	TVL	B	*R*（*m*）②	$\dot{H}$（μSv /h）
加速器机房							0.046

注：①有效厚度通过 CAD 图中直接量取；②R 值取 CAD 图中量取值+0.3m。

根据表 11-8 及表 11-9 可知，加速器机房南侧迷道外墙的防护设计能够满足拟配置的加速器的泄漏射线防护要求。

1.1.6 迷路入口处辐射水平核算（g 点）

根据 GBZ/T201.2-2011，当加速器能量≤10MV 时，g 点处同时受到迷道内散射辐射（O_1→O→i→P→g）及加速器的泄漏辐射 O_1、O_2 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口

g 点的辐射剂量，当加速器能量＞10MV 时，g 点处还需额外考虑中子散射（O→B→P→g）的影响。

1.1.6.1 10MV，2400cGy/min 工况下，迷路入口处辐射水平核算（g 点）

（1）穿透过迷路内墙的泄漏 X 射线在 g 点处的辐射影响

由图 11-1 可知，O_1 经迷路内墙屏蔽后到达迷路入口 g 点处的距离较 O_2 更短，且穿过本迷路内墙的有效屏蔽厚度比 O_2 更薄，因此在核算泄漏辐射时只需核算 O_1 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量即可，若 O_1 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量能够满足要求，则 O_2 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量也能满足要求。

射线路径（射线类型）：O_1→g（泄漏射线）

g 点泄露辐射剂量核算方法同 e 点，g 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-10。

表 11-10 治疗室入口门外参考点泄漏辐射剂量率计算结果

参　数		g 点
		O_1→g
X（cm）	迷道内墙	
X_e（cm）	迷道内墙	
TVL_1（cm）		
TVL（cm）		
B		
R（m）*		
f		
H_0（μSv•m²/h）		
入口门外关注点泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_{og}$（μSv/h）（无防护门）		

注：有效厚度及距离 R 均由 CAD 图中直接测量得出

由上述表 11-10 计算结果可知，在 10MV，2400cGy/min 工况下，加速器的泄露辐射经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量 $\dot{H}_{og}$ 为 **0.201**μSv/h，满足标准要求（剂量率应小于参考控制水平的 1/4，即 1.0μSv/h）。

（2）加速器机房的迷路散射辐射影响（g 点）

射线路径（射线类型）：O_1→O→i→P→g（散射射线）

迷路入口处 g 点的散射辐射剂量率可以通过下面的估算模式进行估算：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (11\text{-}5)$$

式中，$\dot{H}_g$：g 点处散射辐射剂量率，μSv /h，本次计算保守按照 P 点处剂量率取值

$\dot{H}_0$：加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv•m²/h

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

F：加速器有用线束在等中心处的最大治疗野面积，计算时取 40×40cm²

α_2：砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取 i 处的入射角为 45°，散射角为 0°。α_2 值见附录 B 表 B.6.通常使用其 0.5 MeV 栏内的值；

A：i 点处的散射面积，m²

R_1：O-i 的距离，m

R_2：i-P 的距离，m

根据公式（11-5），代入相关参数，可以估算出患者散射 X 射线经屏蔽墙（i 点）二次散射后在迷道入口处（g 点）的辐射剂量率，计算结果见表 11-11。

表 11-11 加速器机房迷道口处的散射辐射剂量率（10MV，2400cGy/min）

参数	$\dot{H}_0$（μSv /h）	α_{ph}	F（cm²）	α_2	A（m²）	R_1（m）	R_2（m）	$\dot{H}_g$（μSv /h）
1#加速器机房								

*距离 R_1 及 R_2 均由 CAD 图中直接测量得出

（3）防护门外辐射剂量率计算

该加速器机房拟设 20mm 铅板+150mm 含硼聚乙烯板（5%含硼）+1mm 铁锌合金钢板的防护门，在 10MV，2400cGy/min 的工况下，机房入口 g 点处无防护门时泄漏辐射剂量率最大为 0.201μSv/h，g 点处散射辐射水平约为 519.8μSv/h，根据 GBZ/T 201.2 -2011 第 5.2.6.1，防护门外的辐射水平计算公式见公式（11-6），计算结果见表 11-12。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-X/TVL} + \dot{H}_{og} \qquad \text{……（11-6）}$$

式中，$\dot{H}$：防护门外辐射剂量率，μSv/h

$\dot{H}_g$：迷道口处散射辐射剂量率，μSv/h

$\dot{H}_{og}$：穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率

X：屏蔽物质厚度 cm

TVL：屏蔽物质的什值层厚度，m

表 11-12 防护门外辐射剂量率计算结果

参数	X（cm）	E（MeV）	*TVL-Pb*	$\dot{H}_g$（μSv /h）	$\dot{H}_{og}$（μSv /h）	$\dot{H}$（μSv /h）
1#加速器机房						

注：E 为砼墙入射患者的散射辐射能量。

由理论估算结果可知，在 10MV，2400cGy/min 的工况下，加速器机房防护门能够满足配置的加速器防护要求。

1.1.6.2 15MV，600cGy/min 工况下，迷路入口处辐射水平核算（g 点）

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）中 4.2.3.6 条，对于大于 10 MV 加速器的机房，迷路入口需考虑下列辐射：

a）应估算三项中子（加速器机头外的杂散中子、杂散中子在机房内壁的散射中子和相互作用中生成的热中子）在迷路内的散射中子和中子俘获γ射线在 g 处的辐射剂量。

b）除 a）外，还应按 4.3.2.5. 1b）核算至 g 处的辐射剂量，注意到 4.3.2.5. 1a）的散射辐射能量相对中子俘获γ射线能量较低，在防护中子俘获γ射线的屏蔽门外，此部分剂量往往是可以忽略的。

（1）穿透过迷路内墙的泄漏 X 射线在 g 点处的辐射影响

根据前文描述，核算泄漏辐射时只需核算 O_1 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量即可。

射线路径（射线类型）：O_1→g

g 点泄露辐射剂量核算方法同 e 点，g 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-13。

表 11-13 治疗室入口门外参考点泄漏辐射剂量率计算结果

参 数		g 点
		O_1→g
X（cm）	迷道内墙	
X_e（cm）	迷道内墙	
TVL_1（cm）		
TVL（cm）		
B		

R（m）*			
f			
H_0（μSv•m²/h）			
入口门外关注点泄漏辐射剂量率$\dot{H}_{og}$（μSv/h）（无防护门）			

注：有效厚度及距离 R 均由 CAD 图中直接测量得出

根据表 11-13 结果可知，在 15MV，600cGy/min 工况下，加速器的泄露辐射经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量$\dot{H}_{og}$为 0.093μSv/h，满足标准要求（剂量率应小于参考控制水平的 1/4，即 1.0μSv/h）。

（2）中子辐射

射线路径（射线类型）：O_1→g（泄漏射线），O_1→O→i→P→g（散射射线），O→B→P→g（中子散射）。

1）总中子注量率（ϕ_B）

迷道的中子散射路径为“o-B-P-g”。B 点是从等中心点与迷道内墙端的连线和迷道长轴中心线之间的交点。总中子注量率计算采用公式（11-7）进行计算：

$$\varphi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \qquad \cdots\cdots（11\text{-}7）$$

式中：ϕ_B-等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量。(中子数/m^2)/ Gy；

Q_n-在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，中子数/Gy；

d_1-等中心点 O 至 i 点的距离，m；

S-治疗机房总内表面积（m^2）包括四壁墙、顶面和底面，不包括迷路内各面积。

2）机房入口的中子剂量率（$\dot{H}_n$）

机房内的中子经迷道散射后，在机房入口门外 30cm（g）处无防护门时的剂量率采用公式（11-8）进行计算：

$$\dot{H}_n = 2.4\times10^{-15}\cdot\phi_B\cdot\sqrt{\frac{S_0}{S_1}}\cdot\left[1.64\times10^{-(d_2/1.9)}+10^{-(d_2/T_n)}\right]\cdot\dot{H}_o \qquad \cdots\cdots（11\text{-}8）$$

式中，$\dot{H}_n$、$\dot{H}_o$、ϕ_B、d_2意义同前文；

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

S_0-迷路内口的面积，m^2；

d_2-B 点至机房入口的距离，m；

S_1-迷路横截面积，m^2；

T_n-迷路中能量相对高的中子剂量组分式（11-8）方括号中得第二项衰减至十分之一行径的距离（m），称为什值距离。Tn 是一个经验值，与迷路横截面积有关，Tn 按下式计算：$T_n = 2.06\sqrt{S_1}$

3）机房入口的中子俘获γ射线的剂量率（$\dot{H}_\gamma$）

机房内及迷路中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获γ射线，机房入口门外 30cm（g 点）无防护门时的中子俘获γ射线的剂量率采用公式（11-9）进行计算：

$$\dot{H}_\gamma = 6.9\times10^{-16}\cdot\phi_B\cdot10^{-d_2/TVD}\cdot\dot{H}_o \qquad \text{……（11-9）}$$

式中，$\dot{H}_\gamma$ 意义同前文；

6.9×10^{-16}-该计算方法中的经验因子，Sv/（中子数/m^2）；

ϕ_B-等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量，（中子数/ m^2）/Gy，B 点是从等中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线之间的交点；

d_2-B 点至机房入口（g）的距离，m；

TVD-什值距离，对于 15MV 加速器为 3.9m；

$\dot{H}_o$-等中心点处治疗 X 射线剂量率（μGy/h），本项目取 3.60×10^8；

对于二阶迷路在式（11-9）中，以二阶迷路 d_{2a} 和 d_{2b} 之和代替 d_2 ，并且 $\dot{H}_\gamma$ 为式（11-9）的 1/3。这种计算方法适用于 d_{2b} 并非过短、迷路宽度并非过小的情况。

4）入口门屏蔽（$\dot{H}$）

入口门屏蔽设计时，通常使中子和中子俘获γ射线屏蔽后有相同的辐射剂量率，对于中子俘获γ射线，以铅屏蔽；对于中子，以含硼（5%）聚乙烯屏蔽，当给定防护门屏蔽厚度 X_γ 和 X_n 时，防护门外的辐射剂量率按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma\cdot10^{-(X_\gamma/TVL_\gamma)} + \dot{H}_n\cdot10^{-(X_n/TVL_n)} + \dot{H}_{og}\cdot B_{og} \qquad \text{……（11-10）}$$

式中，$\dot{H}$ 意义同前文；

X_γ-防护门铅屏蔽厚度，cm；

X_n-防护门含硼（5%）聚乙烯屏蔽厚度，cm；

$\dot{H}_\gamma$-意义同前文；$\dot{H}_n$-意义同前文；

$\dot{H}_{og}$-穿过迷路内墙的泄漏辐射在防护门入口处无防护门时的剂量率，μSv/h；

B_{og}-防护门对 $\dot{H}_{og}$ 的屏蔽透射因子，在 $\dot{H}_{og}$ 相对防护门入口处的总剂量率较小

时，可以忽略 $\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$ 项；

TVL_{γ}-中子俘获γ射线在铅屏蔽中的什值层，cm；

TVL_n-中子在含硼（5%）聚乙烯屏蔽中的什值层，cm。

5）机房入口辐射剂量预测计算结果

机房入口辐射剂量预测计算参数及计算结果见表 11-14。

表 11-14 机房入口辐射剂量预测计算参数及计算结果

参　数		防护门屏蔽设计核算
总中子注量率Φ_B计算结果		
Q_n（中子数/Gy）①		
d_1（m）		
S（m^2）		
Φ_B（中子数/m^2）/Gy		
机房入口的中子俘获γ射线的剂量率 H_{γ}计算结果		
d_2（m）②		
TVD（m）		
H_0（μGy/h）		
H_{γ}（μSv/h）		
机房入口的中子剂量率 H_n 计算结果		
S_0（m^2）		
S_1（m^2）		
$T_n=2.06\times(S_1)^{0.5}$		
H_n (μSv/h)		
入口门屏蔽计算结果		
X_{γ}（cm）		
X_n（cm）		
TVL_{γ}（cm）		
TVL_n 此处引用 附表 C 5%聚乙烯（cm）		
H_{og}（μSv/h）		
B_{og}③		
相应屏蔽体外关注点剂量率 H （μSv/h）	H 估算值	**0.183**
	Hc 控制值	4
	评价结果	满足

注：①根据 NCRP No.151 的表 B.9，拟配备的加速器 Q_n 取 0.76×10^{12} 中子数/Gy；

②d_2=8.184m+2.35m=10.534m；

③根据 NCRP No.151 的表 B.2 查得在 15MV 能量下，铅的 TVL 为 5.7cm，再根据 $B=10^{-(X/TVL)}$ 计算得出。

根据上述结果可知，在 15MV，600cGy/min 工况下，1#加速器机房防护门能够

满足拟配置的加速器防护要求，由此可推断出 2#加速器机房防护门也能够满足拟配置的加速器防护要求。

1.1.7 本项目加速器机房辐射防护评价

1.1.7.1 10MV，2400cGy/min 的工况下，本项目加速器机房辐射防护评价

在 10MV，2400cGy/min 的工况下，本项目加速器机房屏蔽墙、顶部及防护门外理论估算结果汇总见表 11-15。

表 11-15 本项目加速器机房屏蔽防护设计理论估算结果汇总表

位置	东墙		西墙		屋顶		南墙		北墙	防护门
	主屏蔽	次屏蔽	主屏蔽	次屏蔽	主屏蔽	次屏蔽	次屏蔽	迷路外墙	次屏蔽	
参考点	a	c_1（c_2）	b	d_1（d_2）	h	m_1（m_2）	e	k	f	g
辐射类型	有用	泄漏、散射	有用	泄漏、散射	有用	泄漏、散射	泄漏	泄漏	泄漏	泄露、散射
参考点剂量率值（μSv/h）	0.714	0.172	0.714	0.191	1.114	0.511	<0.001	0.095	0.384	0.253
剂量率控制水平（μSv/h）	4	1	10	10（2）	10	8	2.5	10	10	4
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

从表 11-15 中理论估算结果可以看出，在 10MV，2400cGy/min 的工况下，本项目加速器机房的治疗室屏蔽墙、屋顶及防护门的防护设计能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中的相关要求。

1.1.7.2 15MV，600cGy/min 的工况下，本项目加速器机房辐射防护评价

在 15MV，600cGy/min 的工况下，本项目加速器机房屏蔽墙、顶部及防护门外理论估算结果汇总见表 11-16。

表 11-16 本项目加速器机房屏蔽防护设计理论估算结果汇总表

位置	东墙		西墙		屋顶		南墙		北墙	防护门
	主屏蔽	次屏蔽	主屏蔽	次屏蔽	主屏蔽	次屏蔽	次屏蔽	迷路外墙	次屏蔽	
参考点	a	c_1（c_2）	b	d_1（d_2）	h	m_1（m_2）	e	k	f	g
辐射类型	有用	泄漏、散射	有用	泄漏、散射	有用	泄漏、散射	泄漏	泄漏	泄漏	泄露、散射
参考点剂量率值（μSv/h）	0.902	0.152	0.902	0.165	1.406	0.443	<0.001	0.046	0.181	0.183
剂量率控制水平（μSv/h）	4	1	10	10（2）	10	8	2.5	10	10	4

结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

从表 11-16 中理论估算结果可以看出，在 15MV，600cGy/min 的工况下，本项目加速器机房的治疗室屏蔽墙、屋顶及防护门的防护设计能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中的相关要求。

1.1.7.3 两座加速器机房同时运行时的叠加影响分析

当 1#、2#加速器机房共同运行时，将产生辐射叠加影响。本次评价选取各工况下加速器防护门外参考点处剂量率进行叠加分析。根据表 11-15 可知，在 10MV，2400cGy/min 的工况下，加速器防护门外的辐射剂量率约为 0.253μSv/h，则 2 座机房同时运行时，防护门外的叠加剂量率保守取 2 倍系数，即 0.506μSv/h；根据表 11-16 可知，在 15MV，600cGy/min 的工况下，加速器防护门外的辐射剂量率约为 0.183μSv/h，则 2 座机房同时运行时，防护门外的叠加剂量率保守取 2 倍系数，即 0.366μSv/h，均能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中的相关要求。

1.1.8 通风系统及电缆沟辐射防护评价

根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 指出：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。”本项目 2 座加速器治疗室内均设计有通风装置，加速器机房进风管道 45°斜向下经迷道外墙上方由迷道到达治疗室内，排风管道采用 45°斜向下经防护门上方由迷道穿出治疗室（见附图 7），最终引至地面一层离地 4m 高处排放。本项目射线至少经过三次散射才能到达通风口出口处，本项目通风管道的设置能够满足辐射防护要求。

加速器机房电缆线布设拟采用“Z”型穿墙管道，管道位于南侧迷道外墙（见附图 6），射线至少经过 3 次散射才能出电缆口，线缆管布设示意图见图 11-2，电缆管道的设计能够满足辐射防护要求。

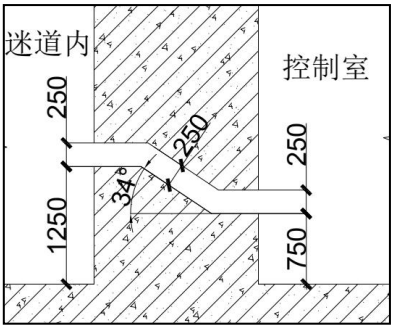

图 11-2 线缆管布设示意图

1.1.9 防护门门缝辐射防护评价

本项目 2 座加速器机房防护门与墙体重叠部分不小于防护门与墙体缝隙宽度的 10 倍，射线经过多次散射后才能出门缝隙，可推断 2 座加速器机房防护门缝隙处的辐射剂量率均能够满足标准要求。

1.1.10 加速器机房电子线治疗时防护评价

本项目加速器最大 X 射线能量为 15MV，电子线最大能量为 20MeV。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韧致辐射远小于 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，对屏蔽电子束的韧致辐射所需要的厚度也低于对 X 射线的屏蔽要求。

1.1.11 感生放射性的影响分析与评价

对于能量大于 10MV 的医用直线加速器，每次开机治疗时会产生感生放射性，它主要包括以下两个方面：①加速器结构材料的固态感生放射性：在加速器运行期间，由于有足够的结构屏蔽，由部件产生的感生放射性不会危害到屏蔽体外的人员。但当加速器停机后，人员进入机房会对人员造成一定的辐照危害。②气态感生放射性核素：加速器治疗室内的空气受到高能粒子照射时产生的感生放射核素（如 ^{11}C、^{13}N 和 ^{15}O 等）。参考《高能医用直线加速器感生放射性辐射场特点和防护研究》（职业与健康，2014 年 7 月第 30 卷第 13 期）中的表 2 和表 3：

表 11-17 15MV X 射线 600MU 不同照射野和不同时间机头感生放射性水平（μSv/h）

照射野（cm×cm）	30s	1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min	10min

表 11-18 15MV X 射线 600MU 机房内不同位置和不同时间感生放射性水平（μSv/h）

位置	1min	2min	3min	5min	8min	10min
机头						
治疗床平面照射野中心处						
治疗床平面照射野中心 50cm 处						
治疗床平面照射野中心 100cm 处						
治疗床平面照射野中心 150cm 处						
治疗床平面照射野中心 200cm 处						

从上述两个表可知，在加速器照射结束后短时间内会对进入治疗室的工作人员

造成一定的辐射危害。因此，在保证放疗质量的同时，应使放疗工作人员所遭受的辐射剂量合理保持在可以做到的最低水平作为放疗防护的目标，可以从以下几个方面减少其对工作人员造成的危害：

①提高摆位效率，缩短滞留机房时间；

②待第一位病人治疗结束后，第二位病人可合理推迟进入治疗室（最少 5min 后再进入治疗室）；

③加强加速器室内通风，减少加速器室内空气中感生放射性核素的含量。

1.1.12 辐射工作人员和公众年有效剂量评价

辐射工作人员及公众年有效剂量可通过下式进行估算：

$$\dot{H}_{e,d} = H_e /(t \cdot U \cdot T) \quad \text{……（11-11）}$$

由式（11-11）可得到：

$$H_e = \dot{H}_{e,d} \cdot t \cdot U \cdot T \quad \text{……（11-12）}$$

上式中：H_e－年剂量，mSv/a；

$\dot{H}_{e,d}$－参考点处剂量率，μSv/h；

U－使用因子；

T－人员在相应关注点驻留的居留因子；

t－照射时间，单位为 h/a，本项目不超过 500h。

根据公式（11-12），辐射工作人员及治疗室周围公众年有效剂量计算结果见表 11-19。

表 11-19 辐射工作人员及治疗室周围公众年有效剂量计算结果

位置	东墙	南墙	西墙	北墙	屋顶	防护门
参考点剂量率值（μSv/h）①	0.902	0.095	0.902	0.384	1.406	0.253
使用因子 U②	1/4	1	1/4	1	1/4	1
居留因子 T	1/2（2#加速器机房内）	1/4（水冷机稳压器室）	1/4（读片诊断室）	/	1/16（院内道路）	1/8（准备间）
周工作时间（h）	10					
周剂量（μSv/周）	**1.128**	**0.238**	**0.564**	**/**	**0.220**	**0.316**
周剂量控制值（μSv/周）	5（公众）	100（职业人员）	5（公众）	/	5（公众）	5（公众）
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足

年工作时间（h）	500					
年剂量（mSv/a）	**0.056**	**0.012**	**0.028**	**/**	**0.011**	**0.016**
年剂量控制值（mSv/a）	0.1（公众）	5（职业人员）	0.1（公众）	/	0.1（公众）	0.1（公众）
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：①参考点剂量率值取 10MV 及 15MV 射线能量下计算的较大值。
②有用线束使用因子取 1/4，漏射线和散射线数使用因子取 1。

根据表 11-19 可知，辐射工作人员周剂量最大为 0.238μSv/周，年剂量最大为 0.012mSv/a，公众周剂量最大为 1.128μSv/周，年剂量最大为 0.056mSv/a，均能够满足本项目管理目标剂量约束值要求：辐射工作人员职业周剂量参考控制水平 Hc 采用 100μSv/周，公众周剂量参考控制水平 Hc 采用 5μSv/周；辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv，公众照射年有效剂量不超过 0.1mSv。

由于两座加速器机房相邻而建，故需考虑叠加影响。对于两座加速器机房周围最大辐射剂量率取防护门外理论预测值的 2 倍系数，即 0.506μSv·h^{-1}，每周工作时间取 10h，年工作 50 周，使用因子取 1，居留因子取 1/8，则估算得到两座加速器机房周围公众的年有效剂量最大约为 0.032mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标中对公众剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

1.2 后装机项目

1.2.1 估算模式选取

本项目在后装机贮源状态时，经治疗室墙体和防护门的屏蔽后，贮源器里的放射源对治疗室周围环境辐射影响很小。而后装机在出源治疗时，放射源全部被传送至施源器，则治疗室四周墙体和屋顶主要受到放射源发射的γ射线（即初级辐射）对墙和室顶的直接照射及其散射辐射在治疗室入口处的照射。故本项目主要考虑后装机出源治疗时对治疗室外的辐射影响。

本项目采用《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）中推荐的后装治疗机房的计算方法进行理论计算。本项目后装机在治疗室的摆放位置见图 11-2，图中红色实线区域为治疗源的使用区域，后装机出源点 O_1 距墙外参考点 a、d 距离最近，出源点 O_2 距墙外参考点 c 距离最近，出源点 O_3 距墙外参考点 b、k 距离最近，此时治疗室外参考点剂量率最大。当后装机出源点位于 O_3 位置时，后装机造成治疗室入口散射剂量率最大。

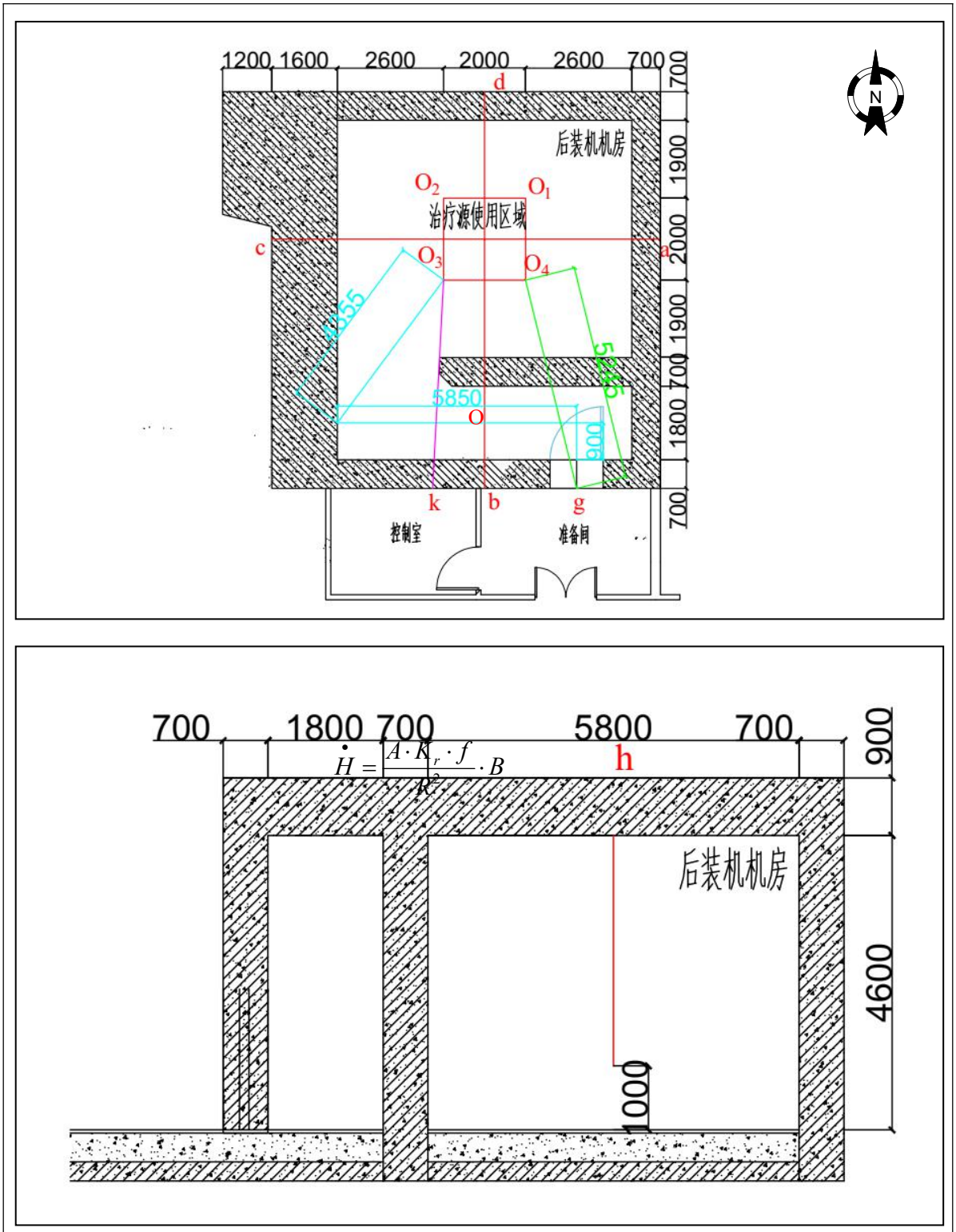

图11-3 后装机机房屏蔽设计及机房外关注点选取图

1.2.2 四周墙及顶部估算结果

初级辐射屏蔽厚度与剂量估算按照公式（11-13），其中，

.....（11-13）

式中：A：放射源活度，MBq；

K_γ：放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，μSv/（h·MBq），见 GBZ/T 201.3-2014 的表 C.1，^{192}Ir 为 0.111μSv/（h·MBq）；

f：对有用线束为 1；

R：辐射源至关注点的距离，m；

B：屏蔽物质的屏蔽透射因子。

后装机房周围关注点位剂量估算结果见表 11-20。

表 11-20 后装机房周围关注点位剂量估算结果

参数	东墙a	南墙b	西墙c	北墙d	南墙k	顶部h
设计厚度(mm)						
A（MBq）						
K_r μSv/(h·MBq)						
$\dot{H}_0$（μSv·m^2·h^{-1}）						
f						
R(m)						
^{192}Ir对砼的TVL=TVL1(mm)						
B						-6
$\dot{H}$（μGy.h-1）						
剂量率控制水平（μSv/h）	10	6	3	10	10	10
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：R（a） =源至东墙内表面距离2.6m+墙厚0.7m+参考点0.3m=3.6m；

R（b）、（k）=源至南墙内表面距离1.9m+迷道内墙0.7m+迷道1.8m+迷道外墙0.7m+参考点0.3m=5.4m；

R（c）=源至西墙内表面距离2.6m+墙厚1.6m+参考点0.3m=4.5m；

R（d）=源至北墙内表面距离1.9m+墙厚0.7m+参考点0.3m=2.9m；

R（h） =源至顶部墙内表面距离3.6m+墙厚0.9m+参考点0.3m=4.8m。

1.2.3 治疗室入口屏蔽厚度与剂量估算结果

治疗源在 O_3 点发射的γ射线（即初级辐射）通过迷路散射至治疗室入口 g 产生的散射辐射剂量率，采用 GBZ/T 201.3-2014 中公式 11-5 计算。

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_{\gamma} \cdot S_W \cdot \alpha_W}{R_1^2 \cdot R_2^2} \qquad \text{.....(11-14)}$$

式中，A—放射源的活度，370000MBq；

K_{γ} —为放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，μSv/（h·MBq），见 GBZ/T201.3-2014 的表 C.1，本项目 ^{192}Ir 为 0.111μSv/（h·MBq）；

S_w—为迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和治疗室入口共同可视见的墙区面积，本项目为宽 1.8m×高 4.6m=8.28m^2；

α_w—为散射体散射因子，3.5×10^{-2}（查 GBZ/T 201.3-2014 的附录 C 表 C.4，保守取 0.25MeV 的 45°入射辐射和 15°反散射的散射因子）；

R_1—为辐射源至散射体中心点的距离，本项目取 4.36m；

R_2—为散射体中心至关注点的距离，本项目取 5.85m；

将以上参数代入公式（11-14），可计算得治疗源在 O_3 点发射的γ射线（即初级辐射）通过迷路散射至治疗室入口 g 产生的散射辐射剂量率为 18.295μSv/h。

穿透过迷路内墙的γ射线在 g 点处的辐射影响保守取治疗源在 O_4 点时进行估算，O_4 点距 g 点处的距离取 5.25m，迷道内墙的有效屏蔽厚度保守取 70cm，通过计算可得出治疗源在 O_4 点时，穿透过迷路内墙的γ射线在 g 点处的辐射剂量率为 0.037μSv/h。

治疗室入口屏蔽前总的剂量率为 18.295+0.037=18.332μSv/h，治疗室入口处拟设置 10mm 铅板+1mm 铁锌合金钢板的防护门，根据（GBZ/T201.3-2014）中附录 F 可知，在 g 处的散射辐射能量约为 0.2MeV，铅的 TVL_1=TVL 为 5mm，可计算得到 $B=1\times10^{-2}$，则经过治疗室入口防护门的屏蔽，门外剂量率约为 0.183μSv/h，小于剂量率参考控制水平的 10μSv/h 的要求。

综上所述，本项目在后装机出源治疗时，后装机治疗室墙体、顶、防护门外各关注点处剂量率估算值均能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中的相关要求。

由于本项目后装机机房与 2 座加速器机房相邻而建，因此需考虑叠加影响。本次保守取后装机机房防护门外辐射剂量率与 2 座加速器机房防护门外最大辐射剂量率进行叠加，叠加后的辐射剂量率约为 0.253μSv/h+0.253μSv/h+0.183μSv/h=0.689μSv/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中的相关要求。

1.2.4 通风系统及电缆沟辐射防护评价

根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 指出：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。”本项目后装机房治疗室内均设计有通风装置，后装机房进风管道 45°斜向下经迷道外墙上方由迷道到达治疗室内，排风管道采用 45°斜向下经防护门上方由迷道穿出治疗室（见附图 7），最终引至地面一层离地 4m 高处排放。本项目射线至少经过三次散射才能到达通风口出口处，本项目通风管道的设置能够满足辐射防护要求。

后装机房电缆线布设拟采用“Z”型穿墙管道，管道位于南侧迷道外墙（见附图 6），射线至少经过 3 次散射才能出电缆口，线缆管布设示意图见图 11-2，电缆管道的设计能够满足辐射防护要求。

1.2.5 防护门门缝辐射防护评价

本项目后装机房防护门与墙体重叠部分不小于防护门与墙体缝隙宽度的 10 倍，射线经过多次散射后才能出门缝隙，可推断后装机房防护门缝隙处的辐射剂量率能够满足标准要求。

1.2.6 保护目标剂量评价

（1）辐射工作人员年有效剂量评价

①摆位过程及解除摆位过程所致辐射工作人员年有效剂量

根据《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）可知，后装治疗设备贮源器表面 5cm 处的任何位置，因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 50μSv/h；贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5μSv/h。

本项目后装机每周治疗人数约为 20 人，年门诊量最大为 1000 人，工作人员摆位时距后装机约 1m，每位患者摆位时间约为 1min，解除摆位时间约为 1min，则辐射工作人员摆位过程所致年有效剂量约为 0.167mSv（辐射剂量率取 5μSv/h，居留因子取 1）。

②治疗过程所致辐射工作人员年有效剂量

本项目单名患者需照射治疗 6~10min，年门诊量最大为 1000 人，出源治疗时控制室内的辐射剂量率约为 0.035μSv/h，则出源治疗过程所致辐射工作人员年有效剂量约为 0.006mSv。

综上所述，本项目辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.173mSv，满足本项目职业人员年有效剂量满足不大于 5mSv 的剂量约束值要求。

（2）周围公众年有效剂量评价

根据后装机出源治疗时，治疗室外各关注点处的辐射剂量率最大为 0.183μSv/h（防护门外），则本项目周围公众年有效剂量最大约为 0.008mSv（时间 t 取 166.7h，居留因子取 1/4），本项目周围公众年有效剂量能够满足本项目公众年有效剂量不大于 0.1mSv 的管理目标。

综上所述，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目剂量约束值（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）的要求。

1.3 模拟定位 CT 项目

医院拟于住院部负一层放疗中心一层 1#加速器机房西侧 CT 模拟机房内开展模拟定位 CT 项目，CT 模拟机房长 7.86m，宽 5.9m，其面积为 46.374m^2，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 CT 机房内最小有效使用面积不小于 30m^2，机房内最小单边长度不小于 4.5m 的要求。

本项目 CT 模拟机房东墙、南墙、西墙及北墙均拟采用 240mm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层（约 6.9mm 铅当量），顶部拟采用 200mm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层（约 6.2mm 铅当量），底部拟采用 250mm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层（约 7mm 铅当量），防护门拟采用 5mmPb 铅板，观察窗拟采用 5mm 铅当量的防护玻璃。本项目模拟定位 CT 型号未定，扫描过程中 CT 最大工况为 140kV、300mA，根据《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）P448 的能量散射公式计算一次散射能量与初级能量的比值，140kV 射线经过一次散射后能量约为 109.9kV，本项目取 110kV、300mA 计算。

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

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s / 400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad \text{.....（11-15）}$$

式中：H_0—X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1m 处由主束产生的比释动能率），mGy·m^2·mA^{-1}·min^{-1}，本项目模拟定位 CT 使用的最大管电压为 140kV、过滤片取 2.5mmAl（根据《辐射防护手册（第一分册）》P232 可知，

对于医用 X 射线机来说，为了减少低能光子对皮肤的照射，机头窗口处按照有符合要求的永久性过滤片，其中 100kV 以上用 2.5mm 铝片）。根据《辐射防护导论》附图 3 查得本项目取 12mGy·m^2·mA^{-1}·min^{-1}；

I—管电流，mA；本项目模拟定位 CT 正常使用的最大管电流为 300mA；

a—人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，查《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，对于本项目模拟定位 CT 正常工作使用电压最大为 140kV 下 90°时，通过插值法得出α的值为约 0.0016；

S—主束在受照体上的散射面积，本项目取 100cm^2；

d_0—源至受照点的距离，根据设备参数确定，本项目取 d_0 最小值 0.45m；

d_s—受照体至关注点的距离。

Bs—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式（11-16）：

$$B_s=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{..... （11-16）}$$

式中：X—铅厚度；

α、β、γ—铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，本项目模拟定位 CT 常用最大管电压约为 140kV，140kV 经过一次散射后的能量约为 109.9kV，因此按照 110kV 电压按照 GBZ130-2020 表 C.2 查取铅的 X 射线辐射衰减的有关的三个拟合参数α、β、γ，对于铅对 110kV X 射线辐射衰减的拟合参数，可利用 GBZ 130-2020 表 C.2 中与 110kV 邻近的 90kV、100kV（散射）、125kV（散射）等管电压数据，采用 Excel 曲线拟合方法分别制作α、β、γ拟合曲线，由拟合曲线查取 110kV 管电压相应的α、β、γ数值分别为 2.397、9.953、0.905。

泄漏辐射影响采用下述公式计算：

$$\dot{H}_L=\frac{H_l\bullet B}{r^2} \quad \text{..... （11-17）}$$

式中：H_l—距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h；根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“(77)”及《医用电气设备第 1 部分：安全通用要求三.并列标准诊断 X 射线设备辐射防护通用要求》(GB9706. 12-1997)中 29.204.3，本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1.0mGy/h。

B—泄漏射线屏蔽透射因子，本项目模拟定位 CT 正常运行最大管电压 140kV 工况下，CT 模拟机房四周屏蔽墙、顶部、底部、观察窗及防护门的泄漏射线屏蔽透射因子见表 11-22 计算值。

将 CT 模拟机房屏蔽体的厚度 X、有关的拟合参数α、β、γ值代入公式（11-16），计算相应的散射辐射屏蔽透射因子值，列于表 11-21。

表 11-21 CT 模拟机房屏蔽体的散射屏蔽透射计算结果

屏蔽体（设施）		等效铅当量（mm）	B_S
CT 模拟机房	东墙、南墙、西墙、北墙	6.9	1.07E-08
	顶部	6.2	5.74E-08
	地板	7	8.44E-09
	东侧、南侧防护门	5	1.02E-06
	观察窗	5	1.02E-06

表 11-22 CT 模拟机房屏蔽体的漏射屏蔽透射计算结果

屏蔽体（设施）		等效铅当量（mm）	B_S
CT 模拟机房	东墙、南墙、西墙、北墙	6.9	3.96E-08
	顶部	6.2	8.84E-08
	地板	7	1.47E-08
	东侧、南侧防护门	5	1.31E-06
	观察窗	5	1.31E-06

模拟定位 CT 开机过程中泄漏辐射和散射辐射根据公式（11-15）~公式（11-17）进行计算，预测结果分别见表 11-23~表 11-24。

表 11-23 CT 模拟机房散射辐射参考点辐射水平估算结果

参考点	H_0	I	a	S	Bs	d_0	ds	Hs
	mGy•m²/（mA•min）	mA	/	cm²	/	m	m	μGy/h
CT 模拟机房东墙外 30cm（控制室）	12							
CT 模拟机房南墙外 30cm								
CT 模拟机房西墙外 30cm								
CT 模拟机房北墙外 30cm								
观察窗外 30cm								
CT 模拟机房东侧防护门外 30cm								
CT 模拟机房南侧防护门外								

30cm								
CT 模拟机房顶部外 30cm								
CT 模拟机房底部外离地 1.7m 处								

表 11-24 CT 模拟机房泄漏辐射参考点辐射水平估算结果

参考点	H_l	r	B	$\dot{H}_L$
	mGy/h	m	cm^2	μGy/h
CT 模拟机房东墙外 30cm（控制室）				
CT 模拟机房南墙外 30cm				
CT 模拟机房西墙外 30cm				
CT 模拟机房北墙外 30cm				
CT 模拟机房观察窗外 30cm				
CT 模拟机房东侧防护门外 30cm				
CT 模拟机房南侧防护门外 30cm				
CT 模拟机房顶部外 30cm				
CT 模拟机房底部外离地 1.7m 处				

表 11-25 CT 模拟机房散射辐射及泄漏辐射叠加辐射水平估算结果

参考点	散射辐射	泄漏辐射	叠加剂量
CT 模拟机房东墙外 30cm（控制室）	<0.001	<0.001	<0.001
CT 模拟机房南墙外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001
CT 模拟机房西墙外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001
CT 模拟机房北墙外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001
CT 模拟机房观察窗外 30cm	0.001	<0.001	0.022
CT 模拟机房东侧防护门外 30cm	0.001	<0.001	0.022
CT 模拟机房南侧防护门外 30cm	0.001	<0.001	0.036
CT 模拟机房顶部外 30cm	<0.001	<0.001	0.001
CT 模拟机房底部外离地 1.7m 处	<0.001	<0.001	<0.001

根据表 11-25 理论估算结果可知，在开展模拟定位扫描过程中，CT 模拟机房外剂量当量率最大为 0.036μSv/h，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h 的要求。

2 核医学科项目

2.1 SPECT/CT 及 PET/CT 诊断项目

2.1.1 CT 泄漏辐射和散射辐射影响评价

2.1.1.1 与标准对照预测

本项目 SPECT/CT 机房及 PET/CT 机房辐射防护屏蔽设计参数与标准对比见表 11-26。

表 11-26 本项目屏蔽设计参数与标准对照表

机房	本项目拟建机房参数		标准要求（CT 机）	是否满足要求
SPECT/CT 机房	设计尺寸	有效使用面积：45.7m^2	30m^2	满足
		最小单边长度：5.66m	≥4.5m	满足
	屏蔽设计	四周墙体：24cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层（约 6.8mm 铅当量）	≥2.5mmPb	满足
		顶棚：20cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层（约 6.2mm 铅当量）	≥2.5mmPb	满足
		地面：25cm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层（约 7mm 铅当量）	≥2.5mmPb	满足
		防护门：6mmPb 铅板	≥2.5mmPb	满足
		观察窗：6mm 铅当量防护玻璃	≥2.5mmPb	满足
PET/CT 机房	设计尺寸	有效使用面积：45.2m^2	30m^2	满足
		最小单边长度：5.94m	≥4.5m	满足
	屏蔽设计	四周墙体：24cm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡涂层（约 8.8mm 铅当量）	≥2.5mmPb	满足
		顶棚：20cm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡涂层（约 8.2mm 铅当量）	≥2.5mmPb	满足
		地面：25cm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡涂层（约 9mm 铅当量）	≥2.5mmPb	满足
		防护门：8mmPb 铅板	≥2.5mmPb	满足
		观察窗：8mm 铅当量防护玻璃	≥2.5mmPb	满足

注：硫酸钡涂层密度约为 3.8g/cm^3，混凝土的密度约为 2.35g/cm^3。

根据表 11-26 可知，本项目 SPECT/CT 机房及 PET/CT 机房各侧墙体及门窗的屏蔽设计满足 GBZ130-2020 标准中的关于 CT 机房的铅当量厚度要求，且机房的最小有效使用面积最小单边长度也能够满足 GBZ130-2020 标准中的相关要求，因此本项目 SPECT/CT 机房及 PET/CT 机房的屏蔽防护设计能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“CT 机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”的要求。

医院拟为患者配备铅橡胶性腺防护围裙或方巾、铅橡胶颈套及铅橡胶帽子等，医院个人防护用品的配备能够满足 GBZ130-2020 标准中的相关要求。

2.1.1.2 理论预测

根据前面“污染源项描述”中所述，本项目 SPECT/CT 及 PET/CT 在开机过程中需要考虑泄漏辐射和散射辐射。本项目 SPECT/CT 及 PET/CT 型号均未定，扫描过

程中 CT 最大工况均为 140kV、200mA，根据《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）P448 的能量散射公式计算一次散射能量与初级能量的比值，140kV 射线经过一次散射后能量约为 109.9kV，本项目取 110kV、200mA 计算。

将相关参数带入公式（11-15）~公式（11-17）中，计算得到相应的散射辐射及漏射辐射屏蔽透射因子值，列于表 11-27 及表 11-28。SPECT/CT 机房及 PET/CT 机房外散射线及漏射线所致剂量率估算见表 11-29~表 11-32。

表 11-27 SPECT/CT 及 PET/CT 机房屏蔽体散射屏蔽透射因子计算结果

屏蔽体（设施）		屏蔽设计参数	等效铅当量（mm）	B_S
SPECT/CT 机房	东墙、南墙、西墙、北墙			
	顶部			
	地板			
	东侧、南侧防护门			
	观察窗			
PET/CT 机房	东墙、南墙、西墙、北墙			
	顶部			
	地板			
	南侧、西侧防护门			
	观察窗			

表 11-28 SPECT/CT 及 PET/CT 机房屏蔽体漏射屏蔽透射因子计算结果

屏蔽体（设施）		屏蔽设计参数	等效铅当量（mm）	B_S
SPECT/CT 机房	东墙、南墙、西墙、北墙			
	顶部			
	地板			
	东侧、南侧防护门			
	观察窗			
PET/CT 机房	东墙、南墙、西墙、北墙			
	顶部			
	地板			

	南侧、西侧防护门	
	观察窗	

表 11-29　SPECT/CT 机房散射辐射参考点辐射水平估算结果

参考点	H_0	I	a	S	Bs	d_0	ds	Hs
	mGy•m²/（mA•min）	mA	/	cm²	/	m	m	μGy/h
东墙外 30cm								
南墙外 30cm								
西墙外 30cm								
北墙外 30cm								
顶部外 30cm								
底部离地 170cm								
东侧防护门外 30cm								
南侧防护门外 30cm								
观察窗外 30cm								

表 11-30　SPECT/CT 机房泄漏辐射参考点辐射水平估算结果

参考点	H_l	r	B	$\dot{H}_L$
	mGy/h	m	cm²	/
东墙外 30cm				
南墙外 30cm				
西墙外 30cm				
北墙外 30cm				
顶部外 30cm				
底部 170cm				
东侧防护门外 30cm				
南侧防护门外 30cm				
观察窗外 30cm				

表 11-31 SPECT/CT 机房散射辐射及泄漏辐射叠加辐射水平估算结果

参考点	散射辐射	泄漏辐射	叠加剂量
东墙外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001
南墙外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001
西墙外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001
北墙外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001

顶部外 30cm	<0.001	<0.001	0.001
底部 170cm	<0.001	<0.001	<0.001
东侧防护门外 30cm	<0.001	<0.001	0.001
南侧防护门外 30cm	<0.001	<0.001	0.002
观察窗外 30cm	<0.001	<0.001	0.001

根据表 11-31 的计算结果可知，本项目 SPECT/CT 机房四周墙、顶部、底部、观察窗及防护门外的泄露及散射辐射所致最大叠加辐射剂量率小于 0.002μSv/h，能够满足相关标准的要求。

表 11-32　PET/CT 机房散射辐射参考点辐射水平估算结果

参考点	H_0	I	a	S	Bs	d_0	ds	Hs
	mGy•m²/（mA•min）	mA	/	cm²	/	m	m	μGy/h
东墙外 30cm								
南墙外 30cm								
西墙外 30cm								
北墙外 30cm								
顶部外 30cm								
底部离地 170cm								
南侧防护门外 30cm								
西侧防护门外 30cm								
观察窗外 30cm								

表 11-33 PET/CT 机房泄漏辐射参考点辐射水平估算结果

参考点	H_l	r	B	$\dot{H}_L$
	mGy/h	m	cm²	/
东墙外 30cm				
南墙外 30cm				
西墙外 30cm				
北墙外 30cm				
顶部外 30cm				
底部离地 170cm				
南侧防护门外 30cm				
西侧防护门外 30cm				
观察窗外 30cm				

表 11-34 PET/CT 机房散射辐射及泄漏辐射叠加辐射水平估算结果

参考点	散射辐射	泄漏辐射	叠加剂量
东墙外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001
南墙外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001
西墙外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001
北墙外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001
顶部外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001
底部离地 170cm	<0.001	<0.001	<0.001
南侧防护门外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001
西侧防护门外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001
观察窗外 30cm	<0.001	<0.001	<0.001

根据表 11-34 的计算结果可知，本项目 PET/CT 机房四周墙、顶部、底部、观察窗及防护门外的泄露及散射辐射所致最大叠加辐射剂量率小于 0.001μSv/h，能够满足相关标准的要求。

2.1.2 SPECT/CT 及 PET/CT 显像诊断

2.1.2.1 SPECT/CT 显像诊断

采取《核医学放射防护要求》中的计算模式计算各参考点空气比释动能率：

$$x = TVL \times \lg(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2}) \qquad \text{……（11-18）}$$

由公式（19）可推断得出：

$$\dot{H}_p = \frac{A \times \Gamma \times 10^{-x/TVL}}{r^2} \qquad \text{……（11-19）}$$

上式中：X－屏蔽厚度，单位为毫米（mm）；

TVL－γ射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm），见《核医学放射防护要求》表 I.1；

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）；

Γ_k－距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 μSv·m^2/MBq·h，通过查《核医学放射防护要求》表 H.1，^{18}F 的 Γ_k=0.143，^{99m}Tc 的 Γ_k=0.0303，^{131}I 的 Γ_k=0.0595；

$\dot{H}_p$－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）；

r－参考点与放射源间的距离，单位为米（m）。

2.1.2.1.1 辐射防护效果预测与评价

本项目 SPECT/CT 诊断拟使用 ^{99m}Tc 放射性核素进行显像。^{99m}Tc 显像时单名病人药物用量一般为 25mCi 左右，由药物供货商将 ^{99m}Tc 针剂送至核医学科高活室，

暂存于手套箱内（约 40mmPb）。本项目主要分析 ^{99m}Tc 注射过程、注射后病人候诊、SPECT/CT 扫描过程及留观过程中对辐射工作人员和周围公众的辐射环境影响。

本项目在用 ^{99m}Tc 核素进行预测时，对高活室、SPECT/CT 机房、SPECT/CT 候诊室、SPECT/CT 留观室周围参考点的辐射剂量率进行估算。根据公式（11-19）可估算出各参考点处的辐射水平，^{99m}Tc 放射诊断工作场所各参考点位置见图 11-4 中红色点位，^{99m}Tc 放射诊断工作场所预测结果见表 11-35。



图11-4 计算点位图

表 11-35 ^{99m}Tc 放射诊断工作场所参考点辐射水平估算结果

参考点		源活度 MBq①	屏蔽措施	衰减倍数②	距离 r（m）③	估算结果 (μGy/h)
1	手套箱外表面 5cm 处（非操作位）					<0.001
2	手套箱外表面 30cm 处（操作位）					<0.001
3	医务人员注射位置					<0.001
4	高活室东墙外					<0.001
5	高活室南墙外					<0.001
6	高活室北墙外					<0.001
7	高活室楼上					<0.001
8	高活室楼下					<0.001

9	SPECT/CT 机房内摆位处					8.863
10	SPECT/CT 机房东侧防护门外					<0.001
11	SPECT/CT 机房南侧防护门外					<0.001
12	SPECT/CT 机房东侧墙外					<0.001
13	SPECT/CT 机房南侧墙外					<0.001
14	SPECT/CT 机房西侧墙外					<0.001
15	SPECT/CT 机房北侧墙外					<0.001
16	SPECT/CT 机房观察窗外					<0.001
17	SPECT/CT 机房楼上					<0.001
18	SPECT/CT 机房楼下					<0.001
19	SPECT/CT 候诊室东侧墙外					<0.001
20	SPECT/CT 候诊室南侧墙外					<0.001
21	SPECT/CT 候诊室西侧墙外					<0.001
22	SPECT/CT 候诊室北侧墙外					<0.001
23	SPECT/CT 候诊室防护门外					<0.001
24	SPECT/CT 候诊室楼上					<0.001
25	SPECT/CT 候诊室楼下					<0.001
26	SPECT/CT 留观室东侧墙外					<0.001
27	SPECT/CT 留观室南侧墙外					<0.001
28	SPECT/CT 留观室西侧墙外					<0.001
29	SPECT/CT 留观室北侧墙外					<0.001

30	SPECT/CT 留观室防护门外					<0.001
31	SPECT/CT 留观室楼上					<0.001
32	SPECT/CT 留观室楼下					<0.001
33	运动室北侧防护门外					<0.001
34	运动室南侧墙体外					<0.001

注：①手套箱内按照同时储存 5 名患者用药量的 ^{99m}Tc 放射性药物计算；考虑到 ^{99m}Tc 注射后候诊室及诊断后留观室内均有 2 个床位，因此 ^{99m}Tc 注射后候诊室及诊断后留观室均按两名病人进行预测；其余场所均按一名病人预测；

②减弱倍数计算按十值层算，其中铅取 1mm，混凝土取 110mm；

③参考点 1：r=0.55m（手套箱外 5cm）；

参考点 2：r=0.8m（手套箱外 30cm）；

参考点 3：r=0.6m（医生给病人注射时距离病人约 0.6m）；

参考点 4、5、6：r=1.54m（药物距离墙体约 1.0m，墙厚约 0.24m，参考点 0.3m）；

参考点 7、17、22、31：r=5.6m（病人距离顶部约 5.1m，顶部墙厚约 0.2m，参考点距离顶部外 0.3m）；

参考点 8、18、25、32：r=3.65m（病人距离地面约 0.5m，底部墙厚约 0.25m，参考点距离底部外 2.9m）；

参考点 9：r=1.0m（指导摆位时医生距离扫描床约 1m）

参考点 10、12、14、16：r=4.58m（病人距离墙体约 4.04m，屏蔽墙厚 0.24m，参考点距离墙、门、窗外 0.3m）；

参考点 11、13、15：r=3.37m（病人距离墙体约 2.83m，墙厚约 0.24m，参考点距离墙外 0.3m）；

参考点 19、21：r=2.75m（病人距离墙体约 2.21m，墙厚约 0.24m，参考点距离墙外 0.3m）；

参考点 20、22、23、27、29、30：r=3.27m（病人距离墙体约 2.73m，墙厚约 0.24m，参考点距离墙外 0.3m）；

参考点 26、28：r=2.67m（病人距离墙体约 2.13m，墙厚约 0.24m，参考点距离墙外 0.3m）

参考点 33、34：r=1.54m（病人距离墙体约 1.0m，墙厚约 0.24m，参考点距离墙外 0.3m）

从表 11-35 中的理论估算结果可知，在 ^{99m}Tc 核素诊断时，医务人员穿戴铅衣情况下，负责指导病人摆位的医护人员有一定的外照射影响（8.86μGy/h）。^{99m}Tc 核素诊断时，手套箱外表面 5cm 处的周围剂量当量率小于 0.001μSv/h，30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 0.001μSv/h，核医学科控制区内人员可到达屏蔽体外表面 30cm 处最大剂量当量率小于 0.001μSv/h，控制区外人员可到达屏蔽体外表面 30cm 处最大剂量当量率小于 0.001μSv/h。根据表 11-31，考虑放射性同位素和 CT 共同辐射影响后，SPECT/CT 机房外剂量当量率约为 0.002μSv/h。能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、

观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h”及“放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h”的要求。

2.1.2.1.2 辐射工作人员和公众年有效剂量评价

根据表 11-35 和公式（11-12）可计算得到各个流程中辐射工作人员及周围公众的年有效剂量，计算结果见表 11-36。

表 11-36 ^{99m}Tc 放射诊断项目各个流程年剂量计算结果一览表

序号	参考点	参考点剂量率（μGy/h）①	居留因子	照射时间（h/a）②	居留人群	年有效剂量（mSv/a）
1	医务人员注射位置	<0.001	1	166.7	辐射工作人员	<0.001
2	高活室北墙外	<0.001	1/4（更衣室）	166.7		<0.001
3	SPECT/CT 机房内摆位处	8.863	1	41.7		0.370
4	SPECT/CT 机房东侧防护门外	0.001	1（控制室）	1666.7		0.002
5	SPECT/CT 机房东侧墙外	<0.001	1（控制室）	1666.7		<0.001
6	SPECT/CT 机房北侧墙外	<0.001	1/4（设备间）	1666.7		<0.001
7	SPECT/CT 机房观察窗外	0.001	1（控制室）	1666.7		0.002
8	高活室楼上	<0.001	1（护士站）	166.7	公众	<0.001
9	高活室楼下	<0.001	1/4（消防水泵房）	166.7		<0.001
10	SPECT/CT 机房楼上墙外	0.001	1/4（急诊留观室）	1666.7		<0.001
11	SPECT/CT 机房楼下墙外	<0.001	1/4（空压机房）	1666.7		<0.001
12	SPECT/CT 候诊室南侧墙外	<0.001	1/4（下沉庭院）	1250		<0.001
13	SPECT/CT 候诊室楼上	<0.001	1/4（急诊留观室）	1250		<0.001
14	SPECT/CT 候诊室楼下	<0.001	1/4（空压机房）	1250		<0.001

15	SPECT/CT 留观室南侧墙外	<0.001	1/8（地下停车场）	833.3		<0.001
16	SPECT/CT 留观室楼上	<0.001	1/4（急诊留观室）	833.3		<0.001
17	SPECT/CT 留观室楼下	<0.001	1/4（太平间）	833.3		<0.001

注：①SPECT/CT 机房外的辐射剂量率取放射性同位素和 CT 共同辐射影响的剂量率；

②^{99m}Tc 年门诊量 5000 人，每名病人注射时间约 2min，年注射时间约为 166.7h；单个病人摆位过程约 30s，SPECT 机房的年摆位时间约为 41.7h；单个病人扫描时间约 20min，SPECT 机房年扫描时间约为 1666.7h；单个病人在候诊室内时间约 30min（2 人同时候诊），年候诊时间约为 1250h；单个病人留观时间约为 20min（2 人同时留观），年留观时间约为 833.3h。

根据表 11-36 的理论估算结果可知，假设注射、摆位及操作均由同一名辐射工作人员负责，则开展 ^{99m}Tc 核素诊断项目时该辐射工作人员所受的年有效剂量约为 0.372mSv，周围公众的年有效剂量小于 0.001mSv。

2.1.2.2 PET/CT 显像诊断

2.1.2.2.1 辐射防护效果预测与评价

本项目 PET/CT 诊断拟使用 ^{18}F 放射性核素进行显像，显像时单名病人药物用量一般为 10mCi 左右。由药物供货商将分装好的核素针剂送至核医学科高活室，暂存于通风橱内（约 40mmPb）。本项目主要分析核素在注射过程、注射后病人候诊、扫描及留观过程中对辐射工作人员和周围公众的辐射环境影响。在进行预测时，选取高活室、PET/CT 机房、PET/CT 候诊室 1、PET/CT 留观室 2 周围参考点进行预测。根据公式（11-19）可估算出各参考点处的辐射水平，参考点位置见图 11-4 中蓝色点位，^{18}F 的预测结果见表 11-37。

表 11-37 ^{18}F 放射诊断工作场所参考点辐射水平估算结果

参考点		源活度 MBq①	屏蔽措施	衰减倍数②	距离 r（m）③	估算结果（μGy/h）
1	手套箱外表面 5cm 处（非操作位）					3.405
2	手套箱外表面 30cm 处（操作位）					1.609
3	医务人员注射位置					0.572
4	高活室东墙外					0.554
5	高活室南墙外					0.554
6	高活室北墙外					0.554

7	高活室楼上		0.071
8	高活室楼下		0.087
9	PET/CT 机房内摆位处		49.36
10	PET/CT 机房南侧防护门外		0.922
11	PET/CT 机房西侧防护门外		1.416
12	PET/CT 机房东侧墙外		0.081
13	PET/CT 机房南侧墙外		0.053
14	PET/CT 机房西侧墙外		0.081
15	PET/CT 机房北侧墙外		0.053
16	PET/CT 机房观察窗外		1.416
17	PET/CT 机房楼上		0.054
18	PET/CT 机房楼下		0.066
19	PET/CT 候诊室 1 东侧墙外		0.167
20	PET/CT 候诊室 1 南侧墙外		0.093
21	PET/CT 候诊室 1 西侧墙外		0.167
22	PET/CT 候诊室 1 北侧墙外		0.093
23	PET/CT 候诊室 1 防护门外		1.631
24	PET/CT 候诊室 1 楼上		0.054
25	PET/CT 候诊室 1 楼下		0.066
26	PET/CT 留观室 2 东侧墙外		0.167
27	PET/CT 留观室 2 南侧墙外		0.093
28	PET/CT 留观室 2 西侧墙外		0.167

29	PET/CT 留观室 2 北侧墙外		0.093
30	PET/CT 留观室 2 防护门外		1.631
31	PET/CT 留观室 2 楼上		0.054
32	PET/CT 留观室 2 楼下		0.066

注：①手套箱内按照同时分装 5 名患者用药量的 ^{18}F 放射性药物计算；

②减弱倍数计算按十值层算，其中铅取 16.6mm，混凝土取 176mm；

③参考点 1：r=0.55m（手套箱外 5cm）；

参考点 2：r=0.8m（手套箱外 30cm）；

参考点 3：r=0.6m（医生给病人注射时距离病人约 0.6m）；

参考点 4、5、6：r=1.54m（药物距离墙体约 1.0m，墙厚约 0.24m，参考点 0.3m）；

参考点 7、17、24、31：r=5.6m（病人距离顶部约 5.1m，顶部墙厚约 0.2m，参考点距离顶部外 0.3m）；

参考点 8、18、25、32：r=3.65m（病人距离地面约 0.5m，底部墙厚约 0.25m，参考点距离底部外 2.9m）；

参考点 9：r=1.0m（指导摆位时医生距离扫描床约 1m）

参考点 10、13、15：r=4.35m（病人距离墙体约 3.81m，屏蔽墙厚 0.24m，参考点距离墙、门、窗外 0.3m）；

参考点 11、12、14、16：r=3.51m（病人距离墙体约 2.97m，墙厚约 0.24m，参考点距离墙外 0.3m）；

参考点 19、21、26、28：r=2.445m（病人距离墙体约 1.905m，墙厚约 0.24m，参考点距离墙外 0.3m）；

参考点 20、22、23、27、29、30：r=3.27m（病人距离墙体约 2.73m，墙厚约 0.24m，参考点距离墙外 0.3m）；

从表 11-37 中的理论估算结果可知，在 ^{18}F 核素诊断时，医务人员穿戴铅衣情况下，负责指导病人摆位的医护人员有一定的外照射影响（49.36μGy/h），建议于 PET/CT 机房内增加 5mm 铅屏风，增加后医生指导摆位处的辐射剂量率可降至 24.67μGy/h，可有效降低医务人员指导病人摆位时所受到的辐射剂量。^{18}F 核素诊断时，手套箱外表面 5cm 处的周围剂量当量率约为 3.405μSv/h，30cm 处人员操作位的周围剂量当量率约为 1.609μSv/h，核医学科控制区内人员可到达屏蔽体外表面 30cm 处剂量当量率最大为 1.631μSv/h（PET/CT 候诊室 1 防护门外、PET/CT 留观室 2 防护门外），控制区外人员可到达屏蔽体外表面 30cm 处剂量当量率最大为 1.416μSv/h。根据表 11-34，考虑放射性同位素和 CT 共同辐射影响后，PET/CT 机房外剂量当量率最大为 1.416μSv/h（PET/CT 机房观察窗及西侧防护门外）。能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、

观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域,其周围剂量当量率应小于 10μSv/h”及“放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h”的要求。

2.2.3.2 辐射工作人员和公众年有效剂量评价

根据表 11-37 和公式（11-12）可计算得到各个流程中辐射工作人员及周围公众的年有效剂量，计算结果见表 11-38。

表 11-38 ^{18}F 放射诊断项目各个流程年剂量计算结果一览表

序号	参考点	参考点剂量率（μGy/h）①	居留因子	照射时间（h/a）②	居留人群	年有效剂量（mSv/a）
1	人员分装工作位	1.609	1	166.7	辐射工作人员	0.268
2	医务人员注射位置	0.572	1	166.7		0.095
3	高活室北墙外	0.554	1/4（更衣室）	166.7		0.023
4	PET/CT 机房内摆位处	49.36	1	41.7		2.058
5	PET/CT 机房西侧防护门外	1.416	1（控制室）	1666.7		2.360
6	PET/CT 机房西侧墙外	0.081	1（控制室）	1666.7		0.135
7	PET/CT 机房观察窗外	1.416	1（控制室）	1666.7		2.360
8	PET/CT 机房北侧墙外	0.053	1/4（医生通道）	1666.7		0.022
9	高活室楼上	0.071	1（护士站）	166.7	公众	0.012
10	高活室楼下	0.087	1/4（消防水泵房）	166.7		0.004
11	PET/CT 机房楼上	0.054	1/4（急诊留观室）	1666.7		0.023
12	PET/CT 机房楼下	0.066	1/4（总务设备库房）	1666.7		0.028
13	PET/CT 候诊室 1 南侧墙外	0.093	1/4（楼梯）	1250		0.029

14	PET/CT 候诊室 1 楼上	0.054	1/4（急诊留观室）	1250		0.017
15	PET/CT 候诊室 1 楼下	0.066	1/4（总务设备库房）	1250		0.021
16	PET/CT 留观室 2 南侧墙外	0.093	1/4（地下车库）	833.3		0.019
17	PET/CT 留观室 2 楼上	0.054	1/4（急诊留观室）	833.3		0.011
18	PET/CT 留观室 2 楼下	0.066	1/16（进风机房）	833.3		0.003

注：①PET/CT 机房外的辐射剂量率取放射性同位素和 CT 共同辐射影响的剂量率；

②^{18}F 年门诊量 5000 人，单次分装药物约 2min，年分装 5000 次用时约 166.7h；每名病人注射时间约 2min，年注射时间约为 166.7h；单个病人摆位过程约 30s，PET/CT 机房的年摆位时间约为 41.7h；单个病人扫描时间约 20min，PET/CT 机房年扫描时间约为 1666.7h；单个病人在候诊室内时间约 30min（共 2 间 PET/CT 候诊室），年候诊时间约为 1250h；单个病人留观时间约为 20min（共 2 间 PET/CT 留观室），年留观时间约为 833.3h。

根据表 11-38 的理论估算结果可知，假设注射、摆位及操作均由同一名辐射工作人员负责，则开展 ^{18}F 核素诊断项目时该辐射工作人员所受的年有效剂量约为 0.268mSv+0.095mSv+2.058mSv+2.360mv=4.781mSv，周围公众的年有效剂量约为 0.029mSv。

2.3 甲亢治疗项目

2.3.1 辐射防护效果预测与评价

根据医院提供资料，本项目甲亢治疗的单次口服剂量约为 10mCi，小于 GBZ120 要求的 400MBq 住院剂量，病人可以在口服 10mCi^{131}I 药物后直接出院。

本项目主要分析核素在服用过程中对辐射工作人员和周围公众的辐射环境影响。在进行预测时，选取高活室周围参考点进行预测。根据公式（11-19）可估算出各参考点处的辐射水平，参考点位置见图 11-4 中粉色点位，^{131}I 的预测结果见表 11-39。

表 11-39 甲亢治疗工作场所参考点辐射水平估算结果

参考点		源活度 MBq	屏蔽措施	衰减倍数①	距离 r（m）②	估算结果（μGy/h）
1	自动分装柜外 5cm 处					0.017
2	自动分装柜外 30cm 处					0.008
3	^{131}I 给药室南墙外					0.156
4	^{131}I 给药室西墙					0.206

	外						
5	^{131}I 给药室楼上						0.020
6	^{131}I 给药室楼下						0.024
7	^{131}I 留观室防护门外						0.586
8	^{131}I 留观室东墙外						0.062
9	^{131}I 留观室南墙外						0.035
10	^{131}I 留观室西墙外						0.062
11	^{131}I 留观室北墙外						0.035
12	^{131}I 留观室楼上						0.020
13	^{131}I 留观室楼下						0.024

注：①减弱倍数计算按十值层算，其中铅取 11mm，混凝土取 170mm；

②参考点 1：r=0.55m（药物距自动分装柜外约 0.5m，参考点 0.05m）；

参考点 2：r=0.8m（药物距自动分装柜外约 0.8m，参考点 0.3m）；

参考点 3：r=1.54m（药物距离墙体约 1.0m，墙厚约 0.24m，参考点 0.3m）；

参考点 4：r=1.34m（药物距离墙体约 0.8m，墙厚约 0.24m，参考点 0.3m）；

参考点 5、12：r=5.6m（病人距离顶部约 5.1m，顶部墙厚约 0.2m，参考点距离顶部外 0.3m）；

参考点 6、13：r=3.65m（病人距离地面约 0.5m，底部墙厚约 0.25m，参考点距离底部外 2.9m）；

参考点 7、9、11：r=3.27m（病人距墙体约 2.73m，墙厚约 0.24m，参考点距离墙外 0.3m）；

参考点 8、10：r=2.445m（病人距墙体约 1.905m，墙厚约 0.24m，参考点距离墙外 0.3m）

从表 11-39 中的理论估算结果可知，在进行甲亢治疗时，自动分装仪外表面 5cm 处的周围剂量当量率约为 0.017μSv/h，30cm 处的周围剂量当量率约为 0.008μSv/h，核医学科周围控制区内各参考点处空气比释动能率最大约为 0.206μGy/h，控制区内屏蔽体外各参考点处空气比释动能率最大约为 0.586μGy/h，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h”及“放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h”的要求。

2.3.2 辐射工作人员和公众年有效剂量评价

根据表 11-39 和公式（11-12）可计算得到各个流程中辐射工作人员及周围公众的年有效剂量，计算结果见表 11-40。

表 11-40 甲亢治疗项目年剂量计算结果一览表

序号	参考点	参考点剂量率（μGy/h）	居留因子	照射时间（h/a）	居留人群	年有效剂量（mSv/a）
1	^{131}I 给药室内	0.008	1	16.7	辐射工作人员	<0.001
2	^{131}I 给药室西墙外	0.206	1/4（走廊）	16.7	公众	0.001
3	^{131}I 给药室楼上	0.020	1（护士站）	16.7		<0.001
4	^{131}I 给药室楼下	0.024	1/4（消防水泵房）	16.7		<0.001
5	^{131}I 留观室南墙外	0.035	1/4（下沉庭院）	250		0.002
6	^{131}I 留观室楼上	0.020	1/4（急诊留观室）	250		0.001
7	^{131}I 留观室楼下	0.024	1/4（地下车库）	250		0.002

注：^{131}I 年门诊量 500 人，每名病人服药时间约 2min，年服药时间约为 16.7h；每名病人留观时间约 30min，年留观时间约 250h。

根据表 11-40 的理论估算结果可知，辐射工作人员所受的年有效剂量小于 0.001mSv，周围公众的年有效剂量约为 0.002mSv。

2.4 辐射工作人员及周围公众年有效剂量汇总

本项目核医学科放射诊断项目中，辐射工作人员主要受照射环节为药物注射过程、病人摆位过程、病人扫描诊断过程等。根据上述表 11-34、表 11-38 及表 11-40 中辐射工作人员的年有效剂量，假设注射、病人摆位、操作等过程由同一名辐射工作人员完成，则其所受年有效剂量最大约为 0.372mSv+4.781mSv=5.153mSv。在实际工作过程中，注射、操作等过程均由不同辐射工作人员负责（假设由 2 名辐射工作人员共同完成），则可推断本项目各考察点处每名辐射工作人员的年有效剂量约为 2.577mSv，能够满足本项目职业人员年有效剂量≤5mSv/a 的剂量约束值。

根据上述表 11-34、表 11-38 及表 11-40 中理论估算结果可知，本项目运行后核医学科周围各参考点处的公众年有效剂量最大的为 PET/CT 候诊室 1 南侧墙外，约为 0.029mSv/a。由于 PET/CT 候诊室 1 及 PET/CT 候诊室 2 相邻而建，因此需考虑公众所受叠加剂量影响。本次公众所受叠加剂量保守取 PET/CT 候诊室 1 南墙外年有效剂量的 2 倍系数，即 0.058mSv/a，能够满足本项目公众年有效剂量不大于

0.1mSv/a 的剂量约束值。

2.5 衰变池环境影响分析

本项目计算衰变池对外环境的辐射影响时，参照公式（11-19），从保守角度考虑，将衰变池内放射性废水的源强按照点源进行计算，其参考点处的辐射水平计算结果见表 11-41。

表 11-41 核医学科衰变池外辐射水平估算结果

序号	参考点位置	源强（mCi）	屏蔽材料及厚度	屏蔽距离（m）	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
1	短半衰期衰变池北侧 30cm 外					**0.577**
2	短半衰期衰变池顶部 30cm 外					**0.270**
3	长半衰期衰变池池体间北墙 30cm 外					**0.070**
4	长半衰期衰变池池体间防护门 30cm 外					**1.421**
5	长半衰期衰变池顶部 30cm 外					**0.047**

本项目衰变池拟建址位于医院住院部东侧绿化带地下，短半衰期衰变池东侧、南侧均为地下土层，顶部为绿化带，下方为土层；长半衰期衰变池池体间东侧、北侧均为地下土层，西侧为管路设备间及控制室，顶部为绿化带，下方为土层。由表 11-41 估算结果可知，衰变池周围辐射剂量率最大为 1.421μSv/h，满足不大于 2.5μSv/h 的剂量约束值要求。

2.6 放射性废水管道外环境影响分析

本项目核医学科设有两个衰变池，其中甲亢治疗产生的放射性废水排入长半衰期衰变池，PET/CT、SPECT/CT 工作中产生的放射性废水排入短半衰期衰变池。核医学科排水管道见附图 10，排水管道均采用地面板下敷设，并使用 3mm 铅皮包裹。本项目计算放射性废水管道对外环境的辐射影响时，参照辐射防护导论 P78 公式

（c）：其参考点处的辐射水平计算结果见表 11-42。

$$\dot{K}=\frac{2A\Gamma_K}{Lr}tg^{-1}\frac{L}{2r} \quad \text{....（11-20）}$$

式中：$\dot{K}$—比释动能率，$Gy\cdot s^{-1}$；

L—线源长度，m，本项目取 6m；

r—参考点至线源的垂直距离，m，本项目取 0.4m；

A—线源活度，Bq；

Γ_K—距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 $Gy\cdot m^2\cdot Bq^{-1}\cdot s^{-1}$；

表 11-42 核医学科放射性废水排放管道外辐射水平估算结果

核素	源强（Bq）	线源长度(m)	屏蔽材料及厚度	η	Γ_K ($Gy\cdot m^2\cdot Bq^{-1}\cdot s^{-1}$)	参考点至线源的距离（m）	参考点辐射水平（μSv/h）
^{18}F							**1.075**
^{99m}Tc							**0.001**
^{131}I							**0.362**

由表 11-42 可知，在本次预测条件下，本项目核医学科放射性废水管道外周围辐射剂量率约为 1.075μSv/h，满足不大于 2.5μSv/h 的剂量约束值要求。

3 DSA 项目

由于本项目 3 座 DSA 机房屏蔽防护设计相同，且 1#DSA 机房内径尺寸约为 7.5m×7.1m，面积约为 53.25m²；2#DSA 机房内径尺寸约为 6.95m×6.9m，面积约为 47.955m²；3#DSA 机房内径尺寸约为 10.15m×7.5m，面积约为 76.125m²；3 座 DSA 机房中拟配备的 DSA 最大管电压为均不超过 150kV，最大管电流不超过 1250mA，因此本次评价选取 2#DSA 机房进行辐射环境影响分析，若 2#DSA 机房辐射防护满足要求，则 1#、3#DSA 机房也能满足辐射防护的要求。

3.1 辐射环境影响分析

3.1.1 与标准对照预测

本项目 2#DSA 机房辐射防护屏蔽设计参数与标准对比见表 11-43：

表 11-43 本项目 2#DSA 机房屏蔽设计参数与标准对照表

--	本项目拟建 2#DSA 机房	标准要求（DSA）	是否满足要求
设计	有效使用面积：47.955m²	参照单管头医用射	满足

尺寸		线装置≥20m²	
	最小单边长度：6.9m	≥3.5m	满足
屏蔽设计	四周墙：4mmPb	≥2mmPb	满足
	顶部：20cm 厚的混凝土+4mmPb（约 6mm 铅当量）	≥2mmPb	满足
	底部：20cm 厚的混凝土+4mm 铅当量硫酸钡涂层（约 6mm 铅当量）	≥2mmPb	满足
	防护门：5mmPb 铅板	≥2mmPb	满足
	观察窗：5mm 铅当量防护玻璃（约 5mm 铅当量）	≥2mmPb	满足

根据表 11-43 可知，本项目 2#DSA 机房各侧墙体及门窗的屏蔽设计满足 GBZ130-2020 标准中的关于 C 形臂 X 射线设备机房的铅当量厚度要求，且机房的最小有效使用面积最小单边长度也能够满足 GBZ130-2020 标准中的相关要求，因此本项目 2#DSA 机房的屏蔽防护设计能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“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”的要求。同理可推断出 1#、3#DSA 机房也能够满足相关标准要求。

3.1.2 理论预测

根据前面“污染源项描述”中所述，本项目 DSA 需要屏蔽的辐射不考虑主束照射，仅考虑泄漏辐射和散射辐射。本项目 DSA 非有用线束的辐射影响构成情况见表 11-44。

表 11-44 本项目 DSA 非有用线束的辐射影响构成情况

操作模式	正常运行时最大工况	射线种类	辐射影响对象
拍片模式	80kV/500mA	散射线、泄漏射线	机房外公众、控制室操作人员
透视模式	80kV/20mA	散射线、泄漏射线	机房外公众、控制室操作人员；机房内介入治疗操作人员

（1）关注点处散射辐射空气比释动能率计算

本项目 DSA 机房外关注点处散射辐射空气比释动能率计算采用公式（16）。本项目 DSA 常用最大管电压约为 80kV，80kV 射线经过一次散射后的能量值约为 69.2kV，因此按 70kV 管电压从 GBZ 130-2020 表 C.2 查取铅的 X 射线辐射衰减的有关的三个拟合参数 a、β、γ，对于铅对 80kV X 射线辐射衰减的拟合参数，可由 NCRP147 报告查取 80kV 管电压工况下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，具体见表 11-45。受照体至关注点距离结果见表 11-46，相应的散射辐射及漏射辐射屏蔽透射因子值分别见表 11-47 及表 11-48，透视模式下 2#DSA 机房外公众、控制室操作人员、机房内介入操作人员处散射辐射及漏射辐射空气比释动能率计算结果见表 11-49 及表

11-50。

表 11-45 铅对 70kV、80kV 管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
70kV	5.369	23.49	0.5881
80kV	4.04	21.69	0.7187

表 11-46 受照体至关注点的距离

关注点位置		受照体至关注点的距离 *ds*（m）
DSA 机房外	东墙	4.3
	南墙	4.3
	西墙	4.3
	北墙	4.3
	顶部	4.42
	地板	3.42
	南、北侧防护门	4.3
	西侧防护门	4.3
	观察窗	4.3
DSA 机房内	第一术者位置	0.5
	第二术者位置	1.0

表 11-47 DSA 机房屏蔽体、介入操作人员防护用品散射辐射屏蔽透射因子计算结果

屏蔽体（设施）			等效铅当量（mm）	B_S
DSA 机房屏蔽体		东墙	4.0	2.70E-11
		南墙	4.0	2.70E-11
		西墙	4.0	2.70E-11
		北墙	4.0	2.70E-11
		顶部	6.0	5.86E-16
		地板	6.0	5.86E-16
		南、西、北侧防护门	5.0	1.26E-13
		观察窗	5.0	1.26E-13
机房内介入操作人员防护用品与辅助防护设施	第一术者	铅帘+铅衣	0.5+ 0.5	2.83E-04
		铅帘	0.5	5.34E-03
	第二术者	铅帘+铅衣	0.5+ 0.5	2.83E-04
		铅帘	0.5	5.34E-03

表 11-48 DSA 机房屏蔽体、介入操作人员防护用品漏射辐射屏蔽透射因子计算结果

屏蔽体（设施）		等效铅当量（mm）	B_S
DSA 机房屏蔽体	东墙	4.0	7.30E-09
	南墙	4.0	7.30E-09
	西墙	4.0	7.30E-09
	北墙	4.0	7.30E-09

		顶部	6.0	2.26E-12
		地板	6.0	2.26E-12
		南、西、北侧防护门	5.0	1.28E-10
		观察窗	5.0	1.28E-10
机房内介入操作人员防护用品与辅助防护设施	第一术者	铅帘+铅衣	0.5+ 0.5	1.43E-03
		铅帘	0.5	1.37E-02
	第二术者	铅帘+铅衣	0.5+ 0.5	1.43E-03
		铅帘	0.5	1.37E-02

表 11-49 关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	操作模式	H_0	I	a	S	Bs	d_0	ds	Hs	周围剂量当量率*
		μGy•m²/(mA•h)	mA	/	cm²	/	m	m	μGy/h	μSv/h
东墙	透视									
	拍片									
南墙	透视									
	拍片									
西墙	透视									
	拍片									
北墙	透视									
	拍片									
顶部	透视									
	拍片									
地板	透视									
	拍片									
南、北侧防护门	透视									
	拍片									
西侧防护门	透视									
	拍片									
观察窗	透视									
	拍片									
第一术者	铅衣内									
	铅衣外									
第二术者	铅衣内									
	铅衣外									

***注：周围剂量当量率与空气比释动能转换系数，Sv /Gy，从《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）附录表 B2 查取，在 70kV 电压下，查取 K 值为 1.60。**

表 11-50 关注点处漏辐射空气比释动能率计算结果

屏蔽体		H_l	r	B	$\dot{H}_L$	周围剂量当量率*
		mGy/h	m	/	μGy/h	μSv/h
东墙						
南墙						
西墙						
北墙						
顶部						
地板						
南、北侧防护门						
西侧防护门						
观察窗						
第一术者	铅衣内					
	铅衣外					
第二术者	铅衣内					
	铅衣外					

***注：周围剂量当量率与空气比释动能转换系数，Sv /Gy，从《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）附录表 B2 查取，在 80kV 电压下，查取 K 值为 1.67。**

根据表 11-49 及表 11-50 中的数据可知，本项目 2#DSA 机房四周墙、顶部、底部、防护门及观察窗外的泄露及散射辐射所致最大辐射剂量率小于 0.001μSv/h，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“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”的要求。由此可推测出 1#、3#DSA 机房的辐射屏蔽也能满足要求。

由于本项目 3 座 DSA 机房相邻而建，因此需考虑剂量率的叠加影响。本项目每座 DSA 机房外的最大辐射剂量率均小于 0.001μSv/h，因此叠加剂量率也小于 0.001μSv/h，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关要求。

3.1.3 机房通风效果评价

本项目 3 座 DSA 机房内拟设置独立新风送风装置，机房内空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过排风装置排入大气，臭氧在空气中 50min 内可自动分解为氧气，因而其气体废物对环境影响很小。

3.2 辐射工作人员和公众年有效剂量评价

（1）周围公众及辐射工作人员年有效剂量估算

1）年有效剂量估算公式：

DSA 机房周围公众、控制室辐射工作人员年有效剂量计算采用联合国原子辐射

效应科学委员会（UNSCEAR）2000 年报告附录 A 中的计算公式进行估算：

$$H_{Er} = D_r \times T \times t \quad \text{.....（11-21）}$$

式中：

H_{Er}—X 射线外照射年有效剂量，mSv/a；

Dr—关注点处周围剂量当量率，μSv/h；

T—居留因子；

t—年照射时间，h；

机房内介入操作人员的外照射辐射年有效剂量计算借鉴《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）给出的公式进行估算：

$$E = \alpha H_{\mu} + \beta H_{O} \quad \text{.....（11-22）}$$

式中：

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

2）年有效剂量估算结果

DSA 机房周围公众、控制室辐射工作人员年有效剂量估算结果：

将有关参数代入公式（11-21），估算 DSA 机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量，见表 11-51。

表 11-51 DSA 机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量

关注点	射线类型	T（h）	T	周围剂量当量率（μSv/h）	年有效剂量 H_{Er}（mSv/a）	
东墙外 30cm	散射线（透视）	100	1/4	<0.001	<0.001	<0.001
	漏射线	107	1/4	<0.001	<0.001	
南墙外 30cm	散射线（透视）	100	1/4	<0.001	<0.001	<0.001
	漏射线	107	1/4	<0.001	<0.001	
西墙外 30cm [2]	散射线（透视）	100	1/4	<0.001	<0.001	<0.001
	漏射线	107	1/4	<0.001	<0.001	
北墙外 30cm	散射线（透视）	100	1	<0.001	<0.001	<0.001
	漏射线	107	1	<0.001	<0.001	
顶部墙外	散射线（透视）	100	1/4	<0.001	<0.001	<0.001

30cm	漏射线	107	1/4	<0.001	<0.001	
地板下离地 170cm	散射线（透视）	100	1/4	<0.001	<0.001	<0.001
	漏射线	107	1/4	<0.001	<0.001	
南、北侧防护门外 30cm	散射线（透视）	100	1/4	<0.001	<0.001	<0.001
	漏射线	107	1/4	<0.001	<0.001	
西侧防护门外 30cm [1]	散射线（透视）	100	1	<0.001	<0.001	<0.001
	漏射线	107	1	<0.001	<0.001	
观察窗外 30cm [1]	散射线（透视）	100	1	<0.001	<0.001	<0.001
	漏射线	107	1	<0.001	<0.001	

注[1]：西墙外、西侧防护门外、观察窗外为控制室。

由表 11-51 可知，2#DSA 机房四周公众的年附加剂量最小于 0.001mSv，满足公众项目管理目标 0.1mSv 的要求；控制室辐射工作人员的年附加剂量最大小于 0.001mSv，满足工作人员剂量约束值 5 mSv/a 的要求。

当 1#、2#、3#DSA 机房同时工作时，DSA 机房四周公众的年附加剂量保守取单座机房外公众剂量最大值 3 倍系数，即 0.001mSv，控制室辐射工作人员的年附加剂量保守取控制室内辐射工作人员剂量最大值的 3 倍系数，即 0.001mSv，能够满足本项目剂量约束值：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

DSA 机房内介入操作人员年有效剂量估算结果

将有关参数代入公式（11-22），计算第一术者、第二术者年有效剂量，结果列于表 11-52。

表 11-52 介入操作人员年有效剂量估算结果

/	α	β	周围剂量当量率（μSv/h）				年照射时间（h）	年有效剂量 E（mSv）
			部位	散射线	漏射线	合计		
第一术者	0.79	0.051	铅衣内	4.4	9.552	13.952	100	1.992
			铅衣外	83.04	91.516	174.556		
第二术者			铅衣内	1.104	2.388	3.492		0.499
			铅衣外	20.8	22.879	43.679		

由表 11-52，本项目 2#DSA 机房内的介入操作第一、第二术者操作位的年有效剂量分别为 1.992mSv、0.499mSv，即使第一、第二术者操作位分别由 1 人承担，也能满足工作人员剂量约束值 5mSv/a 的要求。

对于介入手术，由于其实际工作中 DSA 透视工况及操作时间的不确定性，辐射工作人员需要依靠佩戴个人剂量计进行跟踪性监测才能准确的测定其受照剂量

的大小，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）要求进行佩戴，医院应加强对介入手术工作人员的个人剂量监测管理，在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生部门调查处理。介入手术工作人员均按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）穿戴防护用品（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等），并充分利用自带的铅悬挂防护屏及床侧防护帘等做好自身防护，确保其年有效剂量满足标准限值要求。

事故影响分析

1 主要辐射事故

放射肿瘤治疗项目主要存在以下几种事故工况：

（1）操作人员违反放射操作规程或误操作，造成意外照射。

（2）加速器机房及后装机房联锁装置、声光报警系统等失效，治疗过程中工作人员或公众误留或误入治疗机房内，使其受到照射。

（3）加速器机房及后装机房联锁装置失效，导致防护门在未完全关闭情况下出束治疗，致使射线泄漏到治疗机房外，给周围活动的人员造成不必要的照射。

（4）后装机运行一定时间后产生的退役放射源，因管理不善发生被盗、丢失、遗失等事故。

（5）后装机换源过程和治疗过程中出现放射源卡源事故，导致放射源裸露在设备外。

核医学科项目主要存在以下几种事故工况：

（1）辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射和辐射污染。

（2）由于保管或管理工作不到位导致放射性药物丢失、被盗等情况对公众造成的外照射。

（3）注射器排气时挤出放射性药物、注射器有损漏以及注射针头没有装牢固，导致放射性药物漏洒。

（4）用药后病人脱离控制区，导致公众遭受较大外照射。

（5）排风管道故障导致人员吸入挥发性放射性药物引起内照射。

DSA 项目主要存在以下几种事故工况：

（1）DSA 操作人员违反放射操作规程或误操作，造成意外照射。

（2）操作时其它无关人员滞留 DSA 机房内，受到照射。

（3）由于安全联锁装置、工作状态指示灯或其他安全装置失灵，治疗期间人员误入机房内受到误照射。

（4）设备维修调试过程中，维修人员误操作导致设备出束，可能发生误照射。

2 辐射事故处置方法及预防措施

（1）建立辐射安全管理机构，制定完善的规章制度，并在实际工作过程中严格执行。

（2）加强辐射安全管理，加强辐射工作人员技能培训和辐射安全与防护知识的培训，提高个人的技能和辐射安全防范意识。

（3）定期检查各辐射工作场所的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态。

（4）发生误照射，应立即切断电源，确保射线装置、放射源停止工作。

（5）发现放射源及放射性药物丢失、被盗，应立即启动本单位辐射事故应急措施，及时向管理部门报告。

（6）发生非密封放射性物质污染，封闭工作场所，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所和人员的去污。

（7）发生辐射事故立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入。

（8）对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

医院应依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》及《江苏省辐射污染防治条例》的要求制定辐射事故应急预案，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。并在今后工作中定期组织应急人员进行应急演练。

发生辐射事故时，应立即启动本单位的事故应急方案，采取必要防范措施，在1小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向卫生健康部门报告。事故发生后医院应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因，并做好后续工作。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

南通市通州区中医院按规定已成立专门的辐射安全管理小组，并设立了辐射防护负责人。医院以文件形式明确了管理人员职责作，同时也明确规定了辐射安全管理小组的职责。医院老院区配有 24 名辐射工作人员，24 名辐射工作人员仅从事Ⅲ类射线装置使用活动。医院已按照生态环境部《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（2021 年第 9 号）的规定，对老院区 24 名辐射工作人员自行组织了考核，24 名辐射工作人员考核合格证明见附件 6。医院拟为本项目配备 28 名辐射工作人员，本项目配备的辐射工作人员均应取得辐射安全培训合格证书或通过生态环境部培训平台上的线上考核后方可上岗，辐射工作人员持有的辐射安全培训合格证书到期后应当及时参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核。

辐射安全管理规章制度

南通市通州区中医院已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，针对 DR、CT 及胃肠机等 III 类射线装置建立了一系列的辐射安全管理制度，主要包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、事故应急制度等，医院还应针对本项目加速器、后装机、核医学及 DSA 等对其进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。本报告对各项管理制度制定要点提出如下建议：

辐射防护和安全保卫制度：根据射线装置、放射源及放射性药物操作的具体情况完善辐射防护和安全保卫制度。重点是：①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪保持良好工作状态；②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。

操作规程：制定加速器操作规程、后装机操作规程、SPECT/CT 放射诊断操作规

程、PET/CT 放射诊断操作规程、DSA 操作规程等，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：①提高辐射工作人员对放射性药物操作的熟练程度，尽量减少辐射工作人员与放射性药物的近距离接触时间；②确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，对后装机，使用后需确认放射源已收回设备中，防止发生辐射事故；③从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；④在非密封开放性工作场所严禁吸烟、进食；⑤放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

设备维修制度：明确辐射安全与防护设施以及辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全与防护设施以及剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

放射性同位素、射线装置使用登记制度：针对本项目放射源、放射性药物及射线装置，完善使用登记制度，规范放射源、放射性药物及射线装置台帐和使用登记记录，对购入的放射源、放射性药物及射线装置的使用情况进行登记和跟踪记录。

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

人员培训计划：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。

监测方案：明确监测频次和监测项目，主要包括个人剂量监测和工作场所监测，其中工作场所监测方式由企业自主监测与有资质单位开展的年度监测，监测结果妥善保存，定期上报环境保护行政主管部门。此外，根据 18 号令，使用射线装置的单位，应当对本单位的射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前提交上一年度的评估报告。

事故应急预案：针对本项目可能产生的辐射事故完善辐射事故应急预案，预案或措施中要明确应急机构和职责分工、应急人员的组织、培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。当发生辐射事故时，医院应当立即启动辐射事故应急方案，采取有效的事故处理措施，防止事故恶化，并在 1 小时内向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射时，还应同时报告当地卫生健康部门。

医院相关制度均已落实且严格执行，各项辐射安全管理制度执行情况良好，已有项目运行至今尚未发生过辐射安全事故。

辐射监测

1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用放射源、非密封放射性物质和II类射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

医院拟为本项目配备 1 台环境辐射巡测仪及 1 台中子剂量率仪，用于辐射工作场所定期自行检测；拟为核医学科项目配备 1 台表面沾污仪，用于检测非密封放射性物质工作场所表面污染水平;医院还拟为核医学科及后装机各配备2台个人剂量报警仪，拟为加速器配备 4 台个人剂量报警仪，拟为 DSA 配备 6 台个人剂量报警仪；同时医院拟为辐射工作人员均配备个人剂量计，定期（不少于 1 次/季度）送有资质部门进行个人剂量监测；并定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

2 监测方案

医院已定期（1 次/年）请有资质的单位对老院区已有辐射工作场所周围的辐射水平进行监测，根据医院 2022 年度检测报告（见附件 7）可知，医院各辐射工作场所周围的辐射水平无异常；医院已定期对已有辐射工作场所及周围的辐射水平进行监测，并做相关记录。

医院已委托有资质的单位对已有辐射工作人员进行个人剂量监测，定期（每 3 个月/次）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立了个人剂量档案，根据公司 2022 年 1 月~2022 年 12 月个人剂量检测报告（见附件 8）可知，医院已有辐射工作人员个人剂量均未见异常。同时医院已定期安排已有辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康档案。医院每年对辐射安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交上一年度的评估报告。

医院还应根据辐射管理要求，针对本项目完善已有监测方案：

（1）医院应委托有资质的单位定期对本项目辐射工作场所周围的辐射水平进行监测，周期为 1 次/年。监测结果连同单位的年度辐射安全评估报告一起，在次年的 1 月 31 日前，在全国核技术利用辐射安全申报系统提交；

（2）医院应定期对本项目辐射工作场所及周围的辐射水平进行监测，每年 1～2 次，并对监测结果进行记录。

（3）本项目新增辐射工作人员均应佩戴个人剂量计，并定期（一般为 1 个月，

最长不得超过 3 个月）送有资质部门进行监测，建立个人累积剂量档案。

（4）医院应定期组织本项目新增辐辐射工作人员进行职业健康体检（体检周期不超过 2 年），并建立职业健康监护档案。

公司本项目辐射工作场所监测计划一览表见表 12-1。

表 12-1 工作场所监测计划一览表

监测对象	监测项目	监测点	监测周期	监测方式
1#、2#加速器机房、后装机机房	X-γ辐射剂量率	加速器机房及后装机机房四周及顶部墙体外、防护门缝隙和中央、操作位、通风口外、电缆口外	不超过 3 个月/次	自主监测 便携式辐射剂量率仪 中子剂量率仪
			1 次/年	委托有资质单位监测
核医学科场所	β表面沾污	手套箱表面、墙壁、地面、工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	每次工作结束/出现放射性物质污染时	自主监测 α、β表面沾污仪
			1 次/年	委托有资质单位监测
	X-γ辐射剂量率	控制区防护墙外、控制区房间顶棚区域、控制区房间下方人员可达处、防护门缝隙和中央、操作位、手套箱表面	不超过 3 个月/次	自主监测 便携式辐射剂量率仪
			1 次/年	委托有资质单位监测
DSA 机房	X-γ辐射剂量率	DSA 机房四周、顶部及底部墙体外、防护门缝隙和中央、操作位、通风口外、电缆口外	不超过 3 个月/次	自主监测 便携式辐射剂量率仪
			1 次/年	委托有资质单位监测

落实以上措施后，医院迁扩建放射诊疗项目的管理措施能够满足辐射安全的要求。

辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中关于应急报告与处理的相关要求，南通市通州区中医院已制定《辐射事故应急预案》，该方案明确了以下内容：明确了辐射应急领导小组的组织机构、组成人员和职责；明确了辐射事故应急处理程序；明确了辐射事故应急演习内容、24 小时辐射事故应急联系电话等内容，加强了门机联锁故障和检维修过程中事故情况的预防，医院应在今后工作中严格落实《辐射事故应急预案》制度，并根据实际工作情况进行修订完善。

发生辐射事故时，医院应立即启动本单位的事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后 1 小时内向所在地环境保护和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向卫生健康部门报告。事故发生后医院应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因，并做好后续工作。

表 13 结论与建议

结论

1 辐射安全与防护分析结论

1.1 项目位置

南通市通州区中医院迁扩建放射诊疗项目位于南通市通州区金沙湾片区文河路南侧、金安路西侧、通灵桥路北侧地块，其东侧为金安路，南侧为通灵桥路，西侧为金林路，北侧为文河路。本项目 2 座医用直线加速器机房及后装机机房均拟建于医院新院区放疗中心，2 座直线加速器机房及后装机机房并排建设；核医学科场所拟建于医院新院住院部负一层；3 座 DSA 机房（1#、2#、3#DSA 机房）均拟建于医院新院区医技部三楼 DSA 手术室，3 座机房相邻而建，1#、2#DSA 机房共用 1 间控制室。根据现场勘查，本次评价项目所在区域 50m 范围内无居民区、学校等敏感点，本项目保护目标主要为辐射工作人员及辐射工作场所拟建址周围评价范围内的医务人员、患者及患者家属。

1.2 项目分区及布局

1.2.1 放射肿瘤治疗项目

医院放射肿瘤治疗项目拟建于医院新院区住院部负一层放疗中心，主要由 2 座加速器机房、1 座后装机机房及配套用房构成。医院拟将各机房的治疗室划为控制区，将加速器机房及后装机机房的控制室、水冷机稳压器室、准备间、读片诊断室、弱电间、设备库房等相关配套用房划为监督区，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

1.2.2 核医学科项目

本项目核医学科场所拟建于医院新院住院部负一层，医院拟将废物库、源库、^{131}I 给药室、高活室、运动室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、病人通道、^{131}I 留观室、SPECT/CT 候诊室、抢救室、PET/CT 候诊室 1、PET/CT 候诊室 2、SPECT/CT 留观室、PET/CT 留观室 1、PET/CT 留观室 2 及洁物间等区域划为控制区，控制区采用实体屏蔽，除辐射工作人员及用药后病人外的无关人等不得进入；医院拟将医生通道、更衣室、卫生间、设备室、控制室及进风机房等区域划为监督区，无关人等不得进入，本项目核医学科分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

1.2.3 DSA 项目

医院拟在新院医技部三楼开展 DSA 介入治疗项目，医院拟将 3 座 DSA 机房划分为控制区，拟将 DSA 机房的控制室及设备间划分为监督区，无关人等不得进入。本项目 3 座 DSA 机房的布局及分区基本合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

1.3 辐射安全措施

1.3.1 放射肿瘤治疗项目

本项目 2 座加速器机房拟设置电离辐射警告标志及工作状态指示灯；拟在 2 座加速器机房的治疗室及迷道内安装实时监控装置，并拟配备对讲装置；拟在 2 座加速器机房迷道内入口处设置固定式辐射剂量监测仪；2 座加速器防护门均拟安装门机联锁装置；2 座加速器机房防护门内侧均拟设置紧急开门按钮；2 座加速器机房防护门均拟设置红外线防夹装置；拟在 2 座加速器机房的控制室内、迷道内和治疗室内四周屏蔽墙上合适位置处安装急停开关，加速器治疗床设有急停开关，急停按钮拟设置醒目标识及文字显示；本项目 2 座加速器机房治疗室内均拟设置通风装置；本项目 2 座加速器机房电缆线布设拟采用“Z”型穿墙管道，X 射线至少经过 3 次散射才能穿出管道口；医院拟为本项目 2 座加速器机房配备相应的辐射监测仪器。

本项目后装机治疗室入口处拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；后装机治疗室拟安装门机联锁装置，治疗机房内拟设置开门开关，防护门有防挤压功能；后装机控制台、后装机治疗床上、治疗室内四周墙上及治疗时迷道墙上各拟设置一个急停开关；拟在后装机房防护门内侧拟设置紧急开门按钮；后装机治疗室内拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能；后装机治疗室迷道入口、迷道内及治疗室内拟安装视频监控，并拟设置对讲系统；治疗室内拟配备合适的储源容器和长柄镊子等设备；治疗室的电缆管道拟采用“Z”型穿墙管道，X 射线至少经过 3 次散射才能穿出管道口。

1.3.2 核医学科项目

医院拟在核医学科的控制区出入口、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、高活室、废物库、源库、抢救室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 候诊室 1、PET/CT 候诊室 2、PET/CT 留观室 1、PET/CT 留观室 2、SPECT/CT 留观室、^{131}I 留观室等场所外明显位置粘贴符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志，用于提醒无

关人员不要靠近和逗留；医院拟在 SPECT/CT 及 PET/CT 机房门口设置工作状态指示灯；拟在机房防护门安装闭门装置；拟在核医学科控制区病患入口及病患出口处设带门禁系统的单向门；拟在核医学科的控制区内安装监控及对讲设备；核医学科工作场所内不得安排与放射性无关的工作；所有放射性药物的操作均应在高活室的手套箱或 ^{131}I 给药室的自动分装仪内进行；在控制区和监督区内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物件；使用操作应在指定的工作台或搪瓷盘内进行，操作人员需配戴个人防护用品，应避免皮肤直接接触放射性物质；非密封工作场所墙面、地面应采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接应做成圆角，且应有一定的坡度朝向地漏（如设地漏）；拟为本项目核医学科工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有防护铅衣、防护铅围脖、铅眼镜、铅帽、剂量报警仪、个人剂量计等；医院计划为核医学科配备应急及去污用品；病人通道东北侧拟设置一扇消防门，消防门平常处于关闭状态，医院拟于消防门内、外张贴标志，提醒病人不要从内部打开消防门，同时提醒其他人员不要从外部打开消防门；消防门外拟张贴电离辐射警告标志；对于核医学科内西南侧的进风机房，仅在核医学科内未进行放射诊断及治疗时，才允许相关人员进入。

1.3.3 DSA 项目

医院拟在每座 DSA 机房控制台处设置观察窗；拟在每座 DSA 机房入口处均拟设置工作警示灯，并在醒目位置张贴“当心电离辐射”以及放射防护注意事项；每座 DSA 机房防护门外均拟设置电离辐射警告标志；每座 DSA 机房防护门均拟设置闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动；拟为 DSA 项目配备 1 台辐射巡测仪及 6 台个人剂量报警仪；拟为本项目 DSA 工作人员配备个人剂量计；医院拟为在 DSA 机房内开展介入手术的辐射工作人员配备包裹式铅围裙及防护铅围脖、铅眼镜等配套防护用品。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

1.3.4 监测设备

南通市通州区中医院拟为本项目配备 1 台环境辐射巡测仪及 1 台中子剂量率仪，用于辐射工作场所定期自行检测；拟为核医学科场所配备 1 台表面沾污仪，用于检测非密封放射性物质工作场所表面污染水平；拟为核医学科及后装机项目各配备 2 台个人剂量报警仪，拟为加速器项目配备 4 台个人剂量报警仪，拟为

DSA 项目配备 6 台个人剂量报警仪。

1.4 辐射安全管理

医院已按要求成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。医院原有 24 名辐射工作人员，24 名辐射工作人员仍在老院区工作。医院拟为本项目新配备 28 名辐射工作人员，新增辐射工作人员均应参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核后方可上岗。

医院已根据相关法律条例制定辐射安全管理制度，主要包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、事故应急制度等。医院计划针对本项目对现有辐射安全管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。

医院拟定期（不少于 1 次/年）请有资质的单位对本项目辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测；拟委托有资质单位定期（每 3 个月/次）对本项目辐射工作人员开展个人剂量检测，并拟组织其进行职业健康体检，按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。医院还应注意关注工作人员每一次的累积剂量监测结果，发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查；同时应建立并终生保存个人剂量监测档案，以备辐射工作人员查看和管理部门检查。此外辐射工作人员两次职业健康检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。

2 环境影响分析结论

2.1 辐射防护影响预测

根据理论预测可知，本项目加速器机房的屏蔽墙、屋顶及防护门的辐射剂量率在（<0.001~1.406）μSv/h 范围，能够满足辐射防护要求。

根据理论预测可知，本项目后装机机房的屏蔽墙、屋顶及防护门的辐射剂量率在（<0.001~0.183）μSv/h 范围，能够满足辐射防护要求。

根据理论预测可知，本项目核医学科工作场所能够满足“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h”的要求。医生在穿戴铅衣情况下，在扫描前指导患者摆位的医护人员有较强的外照射影响。

本项目 DSA 机房屏蔽体等效铅当量均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中介入 X 射线机机房的有用线束方向铅当量及非有用线束方向铅当量不小于 2mm 的厚度要求。

2.2 保护目标剂量

2.2.1 放射肿瘤治疗项目

本项目医用直线加速器机房辐射工作人员和公众年有效剂量最大分别为0.012mSv 和 0.056mSv；后装机机房周围辐射工作人员及周围公众年有效剂量最大分别 0.173mSv 和 0.008mSv；能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（辐射工作人员不超过 5mSv/a，公众不超过 0.1mSv/a）。

2.2.2 核医学科项目

根据理论预测可知，核医学科项目投入运行后辐射工作人员及周围公众年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（辐射工作人员不超过 5mSv/a，公众不超过 0.1mSv/a）。

2.2.3 DSA 项目

根据分析预测，本次 DSA 项目在做好个人防护措施和安全措施的情况下，职业人员及公众年受照剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（辐射工作人员不超过 5mSv/a，公众不超过 0.1mSv/a）。

2.3 三废处理处置

2.3.1 放射肿瘤治疗项目

本项目加速器靶物质（件）以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生较强的感生放射性，更换靶会产生含放射性废靶件，医院拟将其交由厂家回收；后装机运行后会产生退役 ^{192}Ir 废源，医院已承诺退役放射源将交由厂家回收处置。

本项目医用直线加速器、后装机在工作状态时，均会使治疗机房内的空气产生电离产生少量臭氧和氮氧化物。本项目医用直线加速器机房、及后装机机房内均拟设计通风系统。各机房内均拟配备 1 台离心式风机，其中加速器机房内通风换气频率约为 4.60 次/h，后装机机房内通风换气频率约为 4.61 次/h，均能够满足能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。

加速器机房及后装机机房内产生少量臭氧和氮氧化物能够通过排风系统及时排出治疗室，臭氧在空气中 50min 内可自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

2.3.2 核医学科项目

（1）放射性固废处理措施

核医学科场所内设有一间放射性废物间，废物间体积约为46.25m^3，医院拟将含^{99m}Tc、^{18}F及^{131}I的固体废物收集于各工作场所铅污物桶（5mmPb）内的专用塑料包装袋内，包装袋应标明收贮时间、种类及数量等内容。收集后的放射性废物拟通过两扇注射窗口之间下方传递柜统一贮存于放射性废物库内，按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）存放要求达到清洁解控水平推荐值后，由医院统一作为医疗废物处理。

（2）放射性废水处理措施

医院拟在住院部东侧绿化带地下建设1座衰变池间，衰变池间内拟配备2套衰变系统，长半衰期衰变系统及短半衰期衰变系统各1套。本项目长半衰期废水处理系统的总容积为90m^3；短半衰期废水处理系统的总容积为30m^3。

本项目^{131}I甲亢治疗每天产生的废水量约为0.113m^3。以^{131}I核素贮存180d（约26周，130个工作日）的废水产生量约为14.69m^3，本项目长半衰期废水处理系统的2个衰变池的容积为60m^3，因此本项目长半衰期放射性废水处理系统的设计能够满足放射性废水的暂存衰变要求；本项目核医学科PET/CT及SPECT/CT诊断每天产生的废水量约为0.36m^3，则^{18}F与^{99m}Tc核素贮存30d（约22个工作日）的废水产生量约7.92m^3，本项目短半衰期系统的2个衰变池的容积为20m^3，因此本项目短半衰期放射性废水处理系统的设计能够满足放射性废水的暂存衰变要求。

综上所述，本项目衰变池设计合理。

（3）放射性废气处理措施

本项目核素在进行操作时，由于空气的流动可能会“挥发”出微量放射性废气在空气中形成放射性气溶胶，尤其是易挥发性核素^{131}I，空气中挥发的微量核素会造成吸入性内照射。本项目^{131}I拟在手套箱内贮存，以减少开放液面挥发散逸的放射性同位素。整个核医学科控制区场所内拟单独设一套通风管道，排风经活性炭过滤后，从通风管道引至屋顶排放，以保证控制区内空气保持与外界循环。

本项目核医学科高活室内拟配备手套箱，^{18}F及^{99m}Tc核素操作拟在手套箱中进行，手套箱内拟设专用通风管道，工作中设计风速不小于0.5m/s，排放口位于

屋顶，高于本建筑屋脊，开放液面挥发散逸的放射性同位素经通风系统内活性炭过滤后，从手套箱的通风管道直接抽出，由屋顶排放。

2.3.3 DSA 项目

本项目每座 DSA 机房内均拟设置排风装置，机房内空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过新风送风装置排入大气，臭氧在空气中 50min 内可自动分解为氧气，因而其气体废物对环境影响很小。

3 可行性分析结论

综上所述，南通市通州区中医院迁扩建放射诊疗项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

建议与承诺

（1）所有设备资料、放射源台账、放射性同位素台帐、射线装置台账和监测资料等妥善保管，存档备案。

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

（3）项目建成后，应根据有关规定及时办理竣工环保验收手续。

（4）针对放射性同位素的转让活动，应根据有关规定办理放射性同位素转让审批手续。

本项目“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	投资（万元）
辐射安全管理机构	医院已成立专门的放射防护与辐射安全管理委员会，并指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作，且以文件形式明确管理委员会具体责任分工职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用II类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构的要求。	/
放射肿瘤治疗项目辐射安全和防护措施	本项目 2 座加速器机房及后装机机房拟按照表 10-2~表 10-3 中的参数进行屏蔽设计。	机房外墙表面、防护门及顶部外 30cm 处的剂量率控制水平均采用 2.5μSv/h；辐射工作人员年有效剂量应<5mSv/a，公众年有效剂量应<0.1mSv/a。	450
	加速器机房：本项目 2 座加速器机房拟设置电离辐射警告标志及工作状态指示灯；拟在 2 座加速器机房的治疗室及迷道内安装实时监控装置，并拟配备对讲装置；拟在 2 座加速器机房迷道内入口处设置固定式辐射剂量监测仪；2 座加速器防护门均拟安装门机联锁装置；2 座加速器机房防护门内侧均拟设置紧急开门按钮；2 座加速器机房防护门均拟设置红外线防夹装置；拟在 2 座加速器机房的控制室内、迷道内和治疗室内四周屏蔽墙上合适位置处安装急停开关，加速器治疗床设有急停开关，急停按钮拟设置醒目标识及文字显示；本项目 2 座加速器机房治疗室内均拟设置通风装置；本项目 2 座加速器机房电缆线布设拟采用“Z”型穿墙管道，X 射线至少经过 3 次散射才能穿出管道口；医院拟为本项目 2 座加速器机房配备相应的辐射监测仪器。 **后装机机房：**本项目后装机治疗室入口处拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；后装机治疗室拟安装门机联锁装置，治疗机房内拟设置开门开关，防护门有防挤压功能；后装机控制台、后装机治疗床上、治疗室内四周墙上及治疗时迷道墙上各拟设置一个急停开关；拟在后装机房防护门内侧拟设置紧急开门按钮；后装机治疗室内拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能；后装机治疗室迷道入口、迷道内及治疗室内拟安装视频监控，并拟设置对讲系统；治疗室内拟配备合适的储源容器和长柄镊子等设备；治疗室的电缆管道拟采用“Z”型穿墙管道，X 射线至少经过 3 次散射才能穿出管道口。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）及《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》中的相关要求。	

核医学科辐射安全和防护措施	本项目核医学科拟按照表 10-5 中的参数屏进行蔽设计。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h”的要求。	90
	医院拟在核医学科的控制区出入口、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、高活室、废物库、源库、抢救室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 候诊室 1、PET/CT 候诊室 2、PET/CT 留观室 1、PET/CT 留观室 2、SPECT/CT 留观室、^{131}I 留观室等场所外明显位置粘贴符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志，用于提醒无关人员不要靠近和逗留；医院拟在 SPECT/CT 及 PET/CT 机房门口设置工作状态指示灯；拟在机房防护门安装闭门装置；拟在核医学科控制区病患入口及病患出口处设带门禁系统的单向门；拟在核医学科的控制区内安装监控及对讲设备；核医学科工作场所内不得安排与放射性无关的工作；所有放射性药物的操作均应在高活室的手套箱或 ^{131}I 给药室的自动分装仪内进行；在控制区和监督区内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物件；使用操作应在指定的工作台或搪瓷盘内进行，操作人员需配戴个人防护用品，应避免皮肤直接接触放射性物质；非密封工作场所墙面、地面应采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接应做成圆角，且应有一定的坡度朝向地漏（如设地漏）；拟为本项目核医学科工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有防护铅衣、防护铅围脖、铅眼镜、铅帽、剂量报警仪、个人剂量计等；医院计划为核医学科配备应急及去污用品；病人通道东北侧拟设置一扇消防门，消防门平常处于关闭状态，医院拟于消防门内、外张贴标志，提醒病人不要从内部打开消防门，同时提醒其他人员不要从外部打开消防门；消防门外拟张贴电离辐射警告标志；对于核医学科内西南侧的进风机房，仅在核医学科内未进行放射诊断及治疗时，才允许相关人员进入。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）以及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准中相关要求。	

DSA 辐射安全和防护措施	本项目 DSA 机房拟按照表 10-6 的中的参数进行屏蔽设计。	满足机房表面外 30cm 处辐射剂量率不超过 2.5μSv/h。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 0.1mSv。	50
	医院拟在每座 DSA 机房控制台处设置观察窗；拟在每座 DSA 机房入口处均拟设置工作警示灯，并在醒目位置张贴“当心电离辐射”以及放射防护注意事项；每座 DSA 机房防护门外均拟设置电离辐射警告标志；每座 DSA 机房防护门均拟设置闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动；拟为 DSA 项目配备 1 台辐射巡测仪及 6 台个人剂量报警仪；拟为本项目 DSA 工作人员配备个人剂量计；医院拟为在 DSA 机房内开展介入手术的辐射工作人员配备包裹式铅围裙及防护铅围脖、铅眼镜等配套防护用品。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的要求。	
人员配备	医院原有 24 名辐射工作人员，24 名辐射工作人员仍在老院区工作。医院拟为本项目新配备 28 名辐射工作人员，新增辐射工作人员均应参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核后方可上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中关于人员培训、个人剂量监测及职业健康体检的相关要求。	定期投入
	本项目拟新配备的 28 名辐射工作人员均应开展个人剂量监测，送检周期为三个月，并建立辐射工作人员个人剂量监测档案。		
	本项目拟新配备的 28 名辐射工作人员均应定期进行职业健康体检，体检周期为两年，并拟建立职业健康监护档案		
监测仪器和防护用品	医院拟为本项目配备 1 台环境辐射巡测仪，1 台中子剂量率仪，1 台表面沾污仪，拟为核医学科及后装机项目各配、备 2 台个人剂量报警仪，拟为加速器项目配备 4 台个人剂量报警仪，拟为 DSA 项目配备 6 台个人剂量报警仪	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射源及类射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器要求。	10
辐射安全管理制度	医院已根据相关标准要求，制定一系列辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、射线装置使用登记、台账管理制度以及辐射事故应急方案等制度，医院还应根据相关条例、办法以及本报告的要求对制度的内容进行补充，并在今后运行中结合实际工作不断完善，使其具有较强的针对性和可操作性	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求。	/

以上措施必须在项目试运行前落实。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见   经办人签字　　公章 年　月　日
审批意见：   经办人签字　　公章 年　月　日