检索号	2023-HP-0015
商密级别	普通商密

核技术利用建设项目

江苏省人民医院新增 ^{90}Y 树脂微球治疗项目环境影响报告表

（公开本）

江苏省人民医院

2023 年 3 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

江苏省人民医院新增 ^{90}Y 树脂微球治疗项目环境影响报告表

建设单位名称：江苏省人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：江苏省南京市鼓楼区广州路 300 号

邮政编码：210000 联系人：

电子邮箱：/ 联系电话：

打印编号：1679388070000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	p52344
建设项目名称	江苏省人民医院新增90Y树脂微球治疗项目
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）	江苏省人民医院
统一社会信用代码	12320000466000838D
法定代表人（签章）	唐金海
主要负责人（签字）	薛强
直接负责的主管人员（签字）	薛强
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	江苏辐环环境科技有限公司
统一社会信用代码	913201003393926218
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
符晶晶	2015035320350000003510320304	BH005877	

2.主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
符晶晶	第9、10、11、13章	BH005877	
卢艺	第1、2、3、4、5、6、7、8、12章	BH040622	

全国环境影响评价信用平台



编制主持人环境影响评价工程师职业资格证书（复印件）

江苏省社会保险权益记录单（参保单位）

参保单位全称： 江苏辐环环境科技有限公司　　现参保地： 南京市市本级

统一社会信用代码： 91320100339392621 8　　查询时间： 202212-202302

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	[illegible]	[illegible]	[illegible]

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	符晶晶	[illegible]	202212 - 202302	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）。

打印时间：2023年3月9日

编制人员社保证明

目录

表 1 项目基本情况 1

表 2 放射源 9

表 3 非密封放射性物质 9

表 4 射线装置 10

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） 11

表 6 评价依据 12

表 7 保护目标与评价标准 15

表 8 环境质量和辐射现状 22

表 9 项目工程分析与源项 29

表 10 辐射安全与防护 42

表 11 环境影响分析 51

表 12 辐射安全管理 80

表 13 结论与建议 86

表 14 审批 90

附图

附图 1：江苏省人民医院地理位置图

附图 2：江苏省人民医院平面布局及周围环境示意图

附图 3：江苏省人民医院 0 号楼一楼平面布局示意图

附图 4：江苏省人民医院 0 号楼二楼平面布局示意图

附图 5：江苏省人民医院 3 号楼一楼平面布局示意图

附图 6：江苏省人民医院 3 号楼二楼平面布局示意图

附图 7：江苏省人民医院 3 号楼六楼平面布局示意图

附件

附件 1：项目委托书

附件 2：放射性核素使用承诺书

附件 3：医院辐射安全许可证复印件

附件 4：本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质

附件 5：医院 0 号楼核医学科环保手续履行情况

附件 6：医院 3 号楼介入科 3#导管室 DSA 环保手续履行情况

附件 7：医院现有核技术利用项目一览表

附件 8：编制主持人踏勘现场照片

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">江苏省人民医院新增 ^{90}Y 树脂微球治疗项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">江苏省人民医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>唐金海</td><td>联系人</td><td colspan="2"></td><td>联系电话</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">江苏省南京市鼓楼区广州路 300 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">江苏省南京市鼓楼区广州路 300 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">/</td><td>批准文号</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>50</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>20</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>40%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">■新建 □改建 □扩建 □其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="8">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 用放射性药物</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>其他</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位基本情况

江苏省人民医院暨南京医科大学第一附属医院、江苏省临床医学研究院、江苏省红十字医院。医院目前是江苏省综合实力最强的三级甲等医院，担负全省医疗、教学、科研、公益四项中心任务。医院位于南京市鼓楼区广州路 300 号，占地面积约 300 亩，现有建筑面积约 41 万平方米，开放床位 3685 余张，职工 5300 余人。

医院现有国家重点学科 1 个，国家临床重点专科建设单位 18 个，省临床医学研究中心 5 个，江苏高校优势学科 1 个，省重点学科 2 个，省“国家重点学科”培育建设点 1 个，省“科教兴卫”工程临床医学中心 4 个，医学重点学科（实验室）16 个。

1.1.2 项目由来

为更好地为患者服务，医院拟开展 ^{90}Y 树脂微球治疗项目，依托医院 0 号楼（核医学楼）核医学科一楼的 SPECT 诊断场所对外购的 ^{90}Y 树脂微球进行贮存、活度测量和分装，并对给药后患者进行 SPECT/CT 扫描；依托 3 号楼（主病房楼）一楼介入科 3#导管室的 DSA 血管造影技术将 ^{90}Y 树脂微球通过肝动脉插管直接输注至肿瘤病灶，达到治疗肝癌的目的；并在 3 号楼六楼介入科病房中设置两间单人间留观病房，供 ^{90}Y 树脂微球给药后患者术后留观。

1.1.3 项目建设规模

一、依托工程内容

1、0 号楼核医学科

医院 0 号楼核医学科包括一楼的 SPECT 诊断场所和二楼的甲癌病房，该核医学科于 2005 年 11 月 6 日取得了原江苏省环境保护厅的批复，并于 2015 年进行了改扩建，于 2015 年 10 月 23 日取得了原江苏省环境保护厅的批复（批复文号：苏环辐（表）审[2015]079 号），并于 2019 年 7 月 25 日通过了竣工环保自主验收。医院 0 号楼核医学科环保手续履行情况见附件 5。医院 0 号楼核医学科目前已许可的核素及用量见表 1-1。

表 1-1 医院 0 号楼核医学科已许可的核素及用量一览表

序号	核素名称	已许可的日等效最大操作量（Bq）	已许可的年最大用量（Bq）
1	^{99m}Tc	2.96×10^{8}	4.0×10^{12}
2	^{89}Sr	1.48×10^{7}	7.4×10^{9}
3	^{35}S	1.85×10^{7}	1.85×10^{10}
4	^{32}P	1.85×10^{7}	1.85×10^{10}
5	^{131}I	3.33×10^{9}	2.4×10^{12}
6	^{125}I	1.48×10^{6}	1.48×10^{9}
7	^{14}C	2.96×10^{5}	3.7×10^{8}
总日等效最大操作量		3.68×10^{9}	/

2、3 号楼一楼介入科 3#导管室

医院 3 号楼一楼介入科 3#导管室内原使用 1 台 Innova 2000 型 DSA（最大管电压 100kV、最大管电流 1000mA），于 2007 年 8 月 16 日取得了原江苏省环境保护厅的批复（批复文号：苏核表复[2007]213 号），并于 2016 年 8 月 29 日通过了原江苏省环境保护厅的竣工环保验收，验收编号：苏环核验[2016]89 号。

医院于 2020 年 11 月购置 1 台 Innova IGS5-4 型 DSA（最大管电压 125kV、最大管

电流 1000mA）替换该 3#导管室原 Innova 2000 型 DSA，并编制了辐射安全分析报告，并于 2021 年 11 月重新申领了辐射安全许可证。医院 3 号楼介入科 3#导管室 DSA 环保手续履行情况见附件 6。

二、本项目建设规模

1、0 号楼核医学科

本项目使用的放射性核素包括 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y，医院采购的 ^{99m}Tc 药物为成品注射针剂，每支针剂最大装药量为 1.85×10^{8}Bq，^{90}Y 树脂微球由供应商运送至医院核医学科，每位患者对应 1 瓶 ^{90}Y 树脂微球，容积为 5mL，总活度为 3.0×10^{9}Bq，每位患者注射 1.5×10^{9} Bq ~2.5×10^{9} Bq 即可满足治疗需求，剩余 ^{90}Y 树脂微球留在西林瓶内作为放射性固体废物处理。本项目每天使用 ^{99m}Tc 最大检查人数为 2 人，每年最大检查人数为 150 人，则核医学科 ^{99m}Tc 日最大操作量为 3.7×10^{8}Bq、年最大用量为 2.775×10^{10}Bq；每天使用 ^{90}Y 树脂微球最大治疗人数为 2 人，每年最大治疗人数为 100 人，则核医学科 ^{90}Y 日最大操作量为 6×10^{9}Bq、年最大用量为 3×10^{11}Bq。本项目核医学科放射性核素 ^{99m}Tc、^{90}Y 日最大操作量和年最大用量见表 1-2。

表 1-2 本项目核医学科 ^{99m}Tc、^{90}Y 操作量一览表

工作场所	核素	单瓶/支装药量（Bq）	日最大检查/治疗人数	日最大操作量（Bq）	年检查/治疗人数	年最大用量（Bq）
0 号楼核医学科	^{99m}Tc	1.85×10^{8}	2 人	3.7×10^{8}	150 人	2.775×10^{10}
	^{90}Y	3×10^{9}	2 人	6×10^{9}	100 人	3×10^{11}

本项目依托核医学科现有的储源室、分装室、SPECT/CT 机房等场所，对 ^{99m}Tc 药物针剂进行贮存，并对 ^{90}Y 树脂微球进行贮存、活度测量、分装以及对给药后患者进行 SPECT/CT 扫描，不增加新的工作场所，也不改变核医学科现有场所的屏蔽防护和布局。

2、3 号楼 3#导管室

医院 3 号楼一楼介入科 3#导管室内拟使用 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 两种核素，^{99m}Tc 药物为直接购买的成品注射针剂，^{90}Y 树脂微球经工作人员在核医学科分装后运送至 3 号楼介入科的 3#导管室。

患者在 DSA 介入条件下注射 ^{99m}Tc 核素的最大活度为 1.85×10^{8}Bq /人，则 3#导管室 ^{99m}Tc 日最大操作量为 3.7×10^{8}Bq，年最大用量为 2.775×10^{10}Bq；患者在 DSA 介入条件下注射 ^{90}Y 树脂微球的最大活度为 2.5×10^{9}Bq/人，则 3#导管室 ^{90}Y 日最大操作量为 5×10^{9}Bq，年最大用量为 2.5×10^{11}Bq。本项目 3 号楼介入科 3#导管室中 ^{99m}Tc、^{90}Y 日最大操作量和年最大用量见表 1-3。

表 1-3 本项目 3#导管室中 ^{99m}Tc、^{90}Y 操作量一览表

工作场所	核素	单人最大用药量（Bq）	日最大检查/治疗人数	日最大操作量（Bq）	年检查/治疗人数	年最大用量（Bq）
3 号楼一楼介入科 3#导管室	^{99m}Tc	1.85×10^{8}	2 人	3.7×10^{8}	150 人	2.775×10^{10}
	^{90}Y	2.5×10^{9}	2 人	5×10^{9}	100 人	2.5×10^{11}

3、留观病房

医院拟将 3 号楼六楼介入科病区的 69 床病房、70 床病房两间单人间病房作为 ^{90}Y 树脂微球给药后患者的术后留观病房，供 ^{90}Y 树脂微球给药后患者术后留观。

三、工作场所等级划分

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），本项目将 ^{99m}Tc 的使用定义为“很简单的操作”。

根据《辐射防护手册（第三分册）：辐射安全》P143 中的定义，“很简单的操作：包含少量稀溶液的合并、分装或稀释。污染不严重的器皿和工具净的洗涤等。这类操作，会有少量的放射性物质散布开来，主要是要防止洒漏。简单的操作：例如溶液的取样、转移、沉淀、过滤或离心分离，萃取或反萃取，离子交换，色层分离，吸移或滴定放射性溶液等。这类操作，可能会有较多的放射性物质散布开来，除了会有表面污染外，还会有空气污染出现”。

本项目 ^{90}Y 树脂微球的活度测量、分装、注射等操作过程的辐射风险包括可能会有少量液体洒漏和飞溅，参照《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）要求，可将医疗机构使用 ^{90}Y 树脂微球介入治疗过程中，活度测量、分装与注射相关活动视为“很简单的操作”。

经过毒性组别及核素的操作方式双重修正后，本项目核医学科、3#导管室日等效最大操作量见表 1-4。

表 1-4 本项目日等效最大操作量一览表

工作场所	核素	日最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式与放射源状态修正因子	日等效最大操作量（Bq）
0 号楼核医学科	^{99m}Tc（使用）	3.7×10^{8}	低毒，0.01	很简单的操作（液体），10	3.7×10^{5}
	^{90}Y（使用）	6×10^{9}	中毒，0.1	很简单的操作（悬浮液），10	6×10^{7}
3 号楼一楼介入科 3#导管室	^{99m}Tc（使用）	3.7×10^{8}	低毒，0.01	很简单的操作（液体），10	3.7×10^{5}
	^{90}Y（使用）	5×10^{9}	中毒，0.1	很简单的操作（悬浮液），10	5×10^{7}

医院 0 号楼核医学科 ^{99m}Tc 诊断病人日门诊量最大约为 30 人，年门诊量约为 4200 人，每人平均用药量为 25mCi，核医学科现已许可的 ^{99m}Tc 的日等效最大操作量为 2.96×10^{8}Bq，年最大操作量为 4×10^{12}Bq，已能够满足核医学科现有 SPECT 诊断项目和本项目的使用量，因此核医学科 ^{99m}Tc 的使用量维持不变。则本项目投入运行后，核医学科日等效最大操作量为 3.74×10^{9}Bq（叠加现已许可的日等效最大操作量 3.68×10^{9}Bq），仍属于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的乙级非密封放射性物质工作场所（2×10^{7}~4×10^{9}）。

根据本项目 ^{90}Y 树脂微球治疗流程，同一 DSA 机房内不存在 ^{99m}Tc 药物和 ^{90}Y 树脂微球在同一天操作的情况，因此在计算 3#导管室日等效最大操作量时，不叠加 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 的日等效最大操作量，选取两者中的较大值作为该场所的日等效最大操作量。则本项目投入运行后，介入科 3#导管室日等效最大操作量为 5×10^{7}Bq，属于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的乙级非密封放射性物质工作场所（2×10^{7}~4×10^{9}）。

1.1.4 小结

根据表 1-2~表 1-4，本项目核技术利用具体情况见表 1-5。

表 1-5 本项目核技术利用情况一览表

非密封放射性物质工作场所							
序号	工作场所等级	核素名称	活动种类	工作场所名称	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	备注
1	乙级	^{99m}Tc	使用	0 号楼一楼核医学科	3.7×10^{5}	2.775×10^{10}	**新建项目本次环评**
2		^{90}Y	使用		6×10^{7}	3×10^{11}	
3	乙级	^{99m}Tc	使用	3 号楼一楼介入科 3#导管室	3.7×10^{5}	2.775×10^{10}	
4		^{90}Y	使用		5×10^{7}	2.5×10^{11}	

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，医院应办理核技术应用项目环境影响评价手续。

本项目为使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所），根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），应编制环境影响报告表。受江苏省人民医院的委托，江苏辐环环境科技有限公司承担该医院本次核技术利用项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析，并在结合现场勘察（委托江苏核众环境监测技术有限公司对项目拟建场址及周围环境进行辐射环境现状监测）等工作的基础

上，编制了该项目的环境影响报告表。

1.2 项目周边保护目标及项目选址情况

1、医院位置

江苏省人民医院位于南京市广州路 300 号，医院地理位置示意图见附图 1。医院东侧为南京市脑科医院，医院南侧为广州路，医院西侧为虎踞关路，西北侧为虎踞关 60 号小区，医院北侧为南京师范大学操场，医院平面布置及周围环境情况见附图 2。

2、核医学科位置

医院 0 号楼位于医院的东南部，其东侧依次为 0 号楼专用通道、土坡、医院进修医生宿舍楼，南侧依次为 0 号楼专用通道、医院围墙、广州路；西侧依次为医院道路、医院停车场，北侧为拟建的 0 号楼外扩楼、医院停车场。

本项目依托的核医学科 SPECT 诊断场所位于 0 号楼一楼的东部，其东侧 50m 范围依次为 0 号楼专用通道、土坡、医院进修医生宿舍楼，南侧 50m 范围依次为 0 号楼专用通道、广州路、广州路 215-2 号 2 幢商住楼；西侧 50m 范围依次为核医学科其他工作场所、医院道路、医院停车场，北侧 50m 范围依次为待建外扩楼的放射性废水间和放射性固废间、医院停车场，楼上为甲癌住院病房、护士站、会议室等，楼下无建筑。

医院 0 号楼一楼平面布局见附图 3，二楼平面布局见附图 4。

3、3 号楼介入科 3#导管室和留观病房位置

医院 3 号楼位于医院的中东部，其东侧依次为医院道路、4 号楼，南侧为医院道路和绿化，西侧依次为非机动车停车场、医院道路和 12 号新大楼，北侧为医院道路。

本项目介入科 3#导管室位于 3 号楼一楼导管室中的东南部，其东侧 50m 范围依次为导管室其他工作场所、医院道路、4 号楼，南侧 50m 范围依次为 3 号楼大楼外墙、医院道路和绿化，西侧 50m 范围依次为导管室其他工作场所、3 号楼大厅、非机动车停车场，北侧 50m 范围依次为导管室其他工作场所、医院道路，楼上为胰胆中心三病区普通病房，楼下为设备层。

本项目介入科拟设置两间单人间留观病房，位于 3 号楼六楼介入科病区的 69 床病房和 70 床病房，其东侧 50m 范围依次为医生办公室和护士站等、医院道路；南侧 50m 范围依次为走廊、病房区、医院道路和绿化，西侧 50m 范围依次为医生办公室、3 号楼其他工作场所、非机动车停车场和医院道路；北侧 50m 范围依次为大楼外墙、3 号楼其他工作场所、医院道路；楼上为肾内科病房，楼下为神经内科病房。

医院 3 号楼一楼平面布局见附图 5，二楼平面布局见附图 6，六楼平面布局见附图 7。

4、项目选址合理性分析

本项目核医学科位于建筑物的一端，设置有相应的物理隔断和单独的人员、物流通道，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区；DSA 设置有单独固定的机房，与周围非辐射工作场所隔开；给药后患者设有留观病房，与其他患者分开，周围无环境制约因素，项目选址合理。医院进修医生宿舍楼距本项目核医学科最近距离约 8m，医院南侧广州路 215-2 号 2 幢商住楼距本项目核医学科最近距离约 35m，为本项目的敏感点，本项目环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内的其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员以及医院宿舍楼的进修医生、广州路上行人和广州路 215-2 号 2 幢商住楼的居民。

本项目不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区，也不涉及江苏省国家级生态保护红线区域和江苏省生态空间管控区域。根据现场监测与环评预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题，本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

综上所述，本项目周围无环境制约因素，项目选址合理。

1.3 产业政策符合性分析

本项目不属于国家发改委《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订）和江苏省人民政府《江苏省工业和信息结构调整指导目录（2012 年本）》及其修改单（2013 年本）中限制类和淘汰类项目，符合国家及地方产业政策。

1.4 实践正当性评价

本项目投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

1.5 医院现有核技术利用项目许可及辐射安全管理情况

1.5.1 医院现有核技术利用项目许可情况

医院目前持有的辐射安全许可证证书编号为苏环辐证[00341]，许可种类和范围：使用 I 类、III 类、V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；生产、使用非密封放射性物质；乙级、丙级非密封放射性物质工作场所，有效期为 2023 年 02 月 07 日至 2027 年 12 月 26 日。医院现有辐射安全许可证见附件 3。

1.5.2 医院现有辐射安全管理情况

医院已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，已针对现有核技术利用项目制定了辐射安全管理制度，每年委托有资质单位对本单位的辐射工作场所进行了监测，监测结果满足相关标准要求。并每年对本单位辐射工作场所的安全和防护状况进行了年度评估，于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交了上一年度的放射性同位素与射线装置安全和防护状况评估报告，满足环保相关管理要求。

医院现有辐射工作人员约 430 名，均已参加并通过辐射安全与防护的培训和考核，合格证书均在有效期内。医院现有辐射工作人员的数量满足现有核技术利用项目对人员的需求。医院已安排所有辐射工作人员参加了职业健康体检，并建立了辐射工作人员职业健康监护档案，根据辐射工作人员的职业健康体检报告，现有辐射工作人员均可继续原放射工作；医院委托江苏省疾病预防控制中心对辐射工作人员进行了个人剂量监测，并建立了个人剂量档案，根据辐射工作人员的个人剂量检测报告，现有辐射工作人员最近一年的受照剂量均未超过职业人员年剂量管理限值 5mSv/a，满足环保相关管理要求。

医院现有核技术利用项目均已履行了相关环保手续，无遗留环保问题，医院现有核技术利用项目一览表见附件 7。

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素 名称	理化 性质	活动 种类	实际日最大 操作量 （Bq）	日等效最大 操作量 （Bq）	年最大用量 （Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与 地点
1	^{99m}Tc	液态、低毒 $T_{1/2}$=6.02h	使用	3.7×10^{8}	3.7×10^{5}	2.775×10^{10}	前期检查	很简单的 操作	0 号楼一楼 核医学科	贮存在储源室内 的保险柜中
2	^{90}Y	悬浮液、中毒 $T_{1/2}$=2.67d	使用	6×10^{9}	6×10^{7}	3×10^{11}	核素治疗	很简单的 操作		
3	^{99m}Tc	液态、低毒 $T_{1/2}$=6.02h	使用	3.7×10^{8}	3.7×10^{5}	2.775×10^{10}	前期检查	很简单的 操作	3 号楼 一楼介入科 3#导管室	不贮存
4	^{90}Y	悬浮液、中毒 $T_{1/2}$=2.67d	使用	5×10^{9}	5×10^{7}	2.5×10^{11}	核素治疗	很简单的 操作		
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废水	液态	^{90}Y	/	约 0.03m^3	约 0.32m^3	总 β≤10Bq/L	不暂存	直接排入医院污水处理系统，作为医疗废水处理
一次性手套、口罩、注射器、输液管、患者体内导管、擦拭纸等沾有放射性核素 ^{99m}Tc 的放射性固体废物	固体	^{99m}Tc	/	约 1.88kg	约 22.5kg	≤1×10^5Bq/kg	暂存于介入科 3#导管室的废物铅桶内	集中收集放置在核医学科的放射性固废间中，自然衰变至少 30 天后，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平，β 表面沾污小于 0.8Bq/cm^2 后，作为医疗废物处理
一次性手套、口罩、输液管、患者体内导管、V 型瓶及有机玻璃防护罐、擦拭纸、注射器、含剩余药物的西林瓶等沾有放射性核素 ^{90}Y 的放射性固体废物	固体	^{90}Y	/	约 5.42kg	约 65kg	≤1×10^6Bq/kg	暂存于核医学科分装室、介入科 3#导管室的废物铅桶内	集中收集放置在核医学科的放射性固废间中，自然衰变至少 27 天后，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平，β 表面沾污小于 0.8Bq/cm^2 后，作为医疗废物处理
手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物	固体	/	/	/	少量	/	暂存于介入科 3#导管室内的废物桶	手术结束后集中收集，作为医疗废物处理
SPECT/CT 机房、DSA 机房产生的臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	经机房排风系统排出室外，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小

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

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

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》（修订版），2015 年 1 月 1 日起施行 （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正版），自 2018 年 12 月 29 日起施行 （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行 （4）《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行 （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 日起施行 （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版），生态环境部令第 20 号，自 2021 年 1 月 4 日起施行 （7）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行 （8）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行 （9）《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》，国家环境保护总局文件，环发[2006] 145 号文 （10）关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》的通知，环办[2013]103 号，2014 年 1 月 1 日起施行 （11）《关于发布<放射性废物分类>的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布，自 2018 年 1 月 1 日起施行 （12）《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订），发改委令第 49 号，自 2021 年 12 月 30 日起施行 （13）《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 （14）《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 （15）《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年第 39 号，2019 年 10 月 25 日生成 （16）《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

	（17）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函[2016]430 号 （18）《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修改版），江苏省人大常委会公告第 2 号，2018 年 3 月 28 日修改，2018 年 5 月 1 日起施行 （19）《江苏省辐射事故应急预案》（2020 年修订版），苏政办函[2020]26 号，2020 年 2 月 19 日起施行 （20）《江苏省国家级生态保护红线规划》，江苏省人民政府（苏政发[2018]74 号），2018 年 6 月 9 日发布 （21）《江苏省生态空间管控区域规划》，江苏省人民政府（苏政发[2020]1 号），2020 年 1 月 8 日发布 （22）《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》江苏省人民政府（苏政发[2020]49 号），2020 年 6 月 21 日发布 （23）《江苏省工业和信息结构调整指导目录（2012 年本）》，苏政办发[2013]9 号，2013 年 1 月 29 日发布 （24）《关于修改<江苏省工业和信息结构调整指导目录（2012 年本）>部分条目的通知》，苏经信产业[2013]183 号，2013 年 3 月 15 日发布 （25）《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 5 月 31 日发布
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 核技术利用建设项目 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》（HJ 61-2021） （4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） （5）《表面污染测定 第 1 部分：β 发射体（$E_{\beta max}$＞0.15 MeV）和 α 发射体》（GB/T 14056.1－2008） （6）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） （7）《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005） （8）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010） （9）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020） （10）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

其他	报告附件： （1）项目委托书（附件 1） （2）放射性核素使用承诺书（附件 2） （3）医院辐射安全许可证复印件（附件 3） （4）本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质（附件 4） （5）医院 0 号楼核医学科环保手续履行情况（附件 5） （6）医院 3 号楼介入科 3#导管室 DSA 环保手续履行情况（附件 6） （7）医院现有核技术利用项目一览表（附件 7） （8）编制主持人踏勘现场照片（附件 8）

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙级、丙级取半径 50m 的范围。

本项目为使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所），考虑到留观病房入住有注射 ^{90}Y 树脂微球药物的患者，根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，本项目评价范围应为核医学科（SPECT 诊断场所部分）、介入科 3#导管室、留观病房的实体边界外 50m 以内区域。本项目评价范围见附图 2。

7.2 保护目标

根据附图 2~附图 7，医院进修医生宿舍楼距本项目核医学科最近距离约 8m，医院南侧广州路 215-2 号 2 幢商住楼距本项目核医学科最近距离约 35m，为本项目的敏感点，本项目环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内的其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员以及医院宿舍楼的进修医生、广州路上行人和广州路 215-2 号 2 幢商住楼的居民。

本项目核医学科环境保护目标见表 7-1，介入科 3#导管室及留观病房环境保护目标见表 7-2。

表 7-1 本项目核医学科环境保护目标分布

名称	场所	环境保护目标	方位	距核医学科最近距离	规模
辐射工作人员	核医学科场所内	操作技师、药物操作人员	核医学科内	/	共 6 名工作人员
评价范围内公众	0 号楼内	其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员	0 号楼内核医学科四周及楼上	紧邻	约 50 名工作人员，其余为流动人员
	0 号楼专用通道	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	0 号楼东侧	紧邻	流动人员
	进修医生宿舍楼	进修医生		8m	约 50 名
	0 号楼专用通道	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	0 号楼南侧	紧邻	流动人员
	广州路	路上行人		5m	流动人员

	广州路 215-2 号 2 幢商住楼	楼内商户和居民		35m	约 80 名，其余为流动人员
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	0 号楼西侧	19m	流动人员
	医院停车场	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		36m	流动人员
	待建外扩楼	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	0 号楼北侧	紧邻	约 50 名工作人员，其余为流动人员
	医院停车场	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		10m	流动人员

表 7-2 本项目介入科 3#导管室及留观病房环境保护目标分布

名称	场所	环境保护目标	方位	距场所最近距离	规模
辐射工作人员	3#导管室、留观病房	操作技师、护士、介入医生	控制室、机房、留观病房内	/	共 6 名工作人员
评价范围内公众	3 号楼内	其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员	3 号楼内 3#导管室和留观病房四周及楼上、楼下	紧邻	约 100 名工作人员，其余为流动人员
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	3 号楼东侧	10m	流动人员
	4 号楼	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		40m	约 20 名工作人员，其余为流动人员
	医院道路及绿化	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	3 号楼南侧	紧邻	流动人员
	非机动车停车场和医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	3 号楼西侧	20m	流动人员
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	3 号楼北侧	19m	流动人员

7.3 评价标准

（1）剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值，见表 7-3。

表 7-3 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。

（2）剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3 mSv/a）的范围之内。”的规定，以及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，核医学遵循辐射防护最优化原则，制定的本项目剂量约束值管理目标见表 7-4。

表 7-4 剂量约束值

适用范围	剂量约束值
职业照射	5mSv/a
公众照射	0.1mSv/a

（3）辐射管理分区

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

对于需要专门防护手段或安全措施的区域划分为控制区，对于未被设定为控制区，不需要专门防护手段或安全措施但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域，划分为监督区。对控制区和监督区的人员活动进行限制，辐射控制区和辐射监督区以外区域对人员活动不限制。

（4）工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）规定的非密封源工作场所的分级，应按表 7-5 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-5 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

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量(Bq)与该核素毒性因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。本项目放射性核素的毒性分组及毒性组别修正因子见表 7-6，与操作方式有关的修正因子见表 7-7。

表 7-6 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 7-7 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	毒性组别修正因子			
	表面污染水平较低的固体	液体，溶液，悬浮液	表面有污染的固体	气体，蒸汽，粉末，压力很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

（5）表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中表 B11 和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的规定，对于工作场所的放射性表面污染，应满足表 7-8 的控制水平。

表 7-8 工作场所放射性表面污染控制水平（单位：Bq/cm^2）

表面类型		α放射性物质		β放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4	40	40
	监督区	0.4	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	0.4	0.4	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4
1）该区内的高污染子区除外				

（6）辐射剂量率控制水平

对于核医学工作场所控制区屏蔽防护效果评价，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的屏蔽要求：

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。

本项目辐射剂量率控制水平：

①核医学科储源室、分装室、SPECT/CT 机房、3#导管室、留观病房防护门、观察窗、墙体、顶部外表面 30cm 处以及底部人员可达区域的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h；

②手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。

（7）液体放射性废物的管理

根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005），医疗机构放射性废水排放口执行“总 β≤10Bq/L”的要求。

本项目放射性废水的排放，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

（GB18871-2002）的要求：

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

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

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

（8）气态放射性废物的管理

对于气态放射性废物的管理，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

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。

（9）固体放射性废物的管理

对于固体放射性废物的管理，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

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

7.2.3.1 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 $0.08Bq/cm^2$、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 24h 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 24h 的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍。

（10）放射性核素治疗患者出院要求

对于核医学服药患者出院条件，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

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。

表 B.1　放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求

放射性核素	主要发射（keV）			半衰期（d）	患者出院时体内放射性活度要求（MBq）
	β_{max}	β_{ave}	γ及X		
^{32}P	1710	695	—	14.26	≤ 800
^{89}Sr	1492	583	—	50.53	≤200
^{90}Y	2284	934	—	2.67	≤2500
^{111}In	245	—	204	2.8047	≤780
^{131}I	606	—	364	8.0207	≤400
^{153}Sm	881	224	103	1.93	≤2500
^{186}Re	1070	349	137	3.8	≤9000
^{188}Re	2120	—	155	0.7	≤9000
^{198}Au	1372	—	411	2.696	≤1000
^{201}Tl	167	—	61	3.038	≤5100
注：资料来自IAEA 63号安全报告（2009）。					

（11）清洁解控水平推荐值

根据 GB18871-2002 中 4.2.5.2 的原则，将其附录 A 所给出的豁免水平作为清洁解控水平的取值依据，由此得出本项目放射性核素的清洁解控水平推荐值，列于表 7-9 中。

表 7-9 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

解控水平（Bq/g）	核素
1×10^2	^{99m}Tc
1×10^3	^{90}Y
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。	

（12）其他标准

①《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）

②《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）

（13）参考资料

①《辐射防护导论》，方杰主编

②《辐射防护手册》（第一分册），李德平 潘自强 主编

③《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。

江苏省环境天然γ辐射剂量率调查结果 单位：nGy/h

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

注：[1]测量值已扣除宇宙射线响应值。

[2]现状评价时，以“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

8.1 环境质量和辐射现状

8.1.1 项目地理和场所位置

1、医院位置

江苏省人民医院位于南京市广州路 300 号，医院地理位置示意图见附图 1。医院东侧为南京市脑科医院，医院南侧为广州路，医院西侧为虎踞关路，西北侧为虎踞关 60 号小区，医院北侧为南京师范大学操场，医院平面布置及周围环境情况见附图 2。

2、核医学科位置

医院 0 号楼位于医院的东南部，其东侧依次为 0 号楼专用通道、土坡、医院进修医生宿舍楼，南侧依次为 0 号楼专用通道、医院围墙、广州路；西侧依次为医院道路、医院停车场，北侧为拟建的 0 号楼外扩楼、医院停车场。

本项目依托的核医学科 SPECT 诊断场所位于 0 号楼一楼的东部，其东侧 50m 范围依次为 0 号楼专用通道、土坡、医院进修医生宿舍楼，南侧 50m 范围依次为 0 号楼专用通道、广州路、广州路 215-2 号 2 幢商住楼；西侧 50m 范围依次为核医学科其他工作场所、医院道路、医院停车场，北侧 50m 范围依次为待建外扩楼的放射性废水间和放射性固废间、医院停车场，楼上为甲癌住院病房、护士站、会议室等，楼下无建筑。

医院 0 号楼一楼平面布局见附图 3，二楼平面布局见附图 4。

3、3 号楼介入科 3#导管室和留观病房位置

医院 3 号楼位于医院的中东部，其东侧依次为医院道路、4 号楼，南侧为医院道路和绿化，西侧依次为非机动车停车场、医院道路和 12 号新大楼，北侧为医院道路。

本项目介入科 3#导管室位于 3 号楼一楼导管室中的东南部，其东侧 50m 范围依次为导管室其他工作场所、医院道路、4 号楼，南侧 50m 范围依次为 3 号楼大楼外墙、医院道路和绿化，西侧 50m 范围依次为导管室其他工作场所、3 号楼大厅、非机动车停车场，北侧 50m 范围依次为导管室其他工作场所、医院道路，楼上为胰胆中心三病区普通病房，楼下为设备层。

本项目介入科拟设置两间单人间留观病房，位于 3 号楼六楼介入科病区的 69 床病房和 70 床病房，其东侧 50m 范围依次为医生办公室和护士站等、医院道路；南侧 50m 范围依次为走廊、病房区、医院道路和绿化，西侧 50m 范围依次为医生办公室、3 号楼其他工作场所、非机动车停车场和医院道路；北侧 50m 范围依次为大楼外墙、3 号楼其他工作场所、医院道路；楼上为肾内科病房，楼下为神经内科病房。

医院 3 号楼一楼平面布局见附图 5，二楼平面布局见附图 6，六楼平面布局见附图 7。

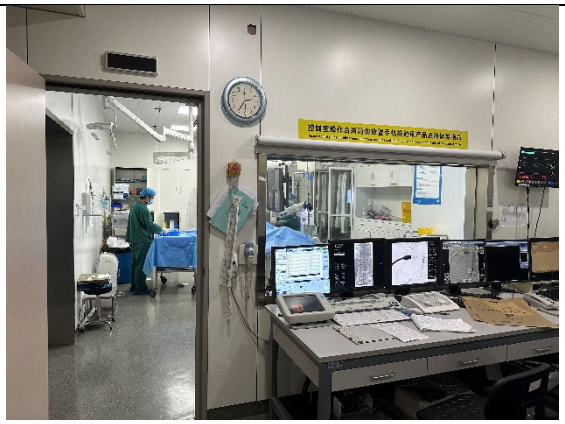
医院拟在 0 号楼北侧建设外扩楼，因施工影响，医院 0 号楼核医学科已暂停运行，并正进行基础加固，本项目拟建场址及周围环境现状见图 8-1。



0 号楼现状



0 号楼北侧拟建外扩楼



介入科 3#导管室现状



介入科拟建留观病房现状

图 8-1 本项目拟建场址及周边环境现状图

8.1.2 环境现状检测

本项目运行期间主要的环境污染物为放射性核素产生的 γ 射线、β 射线及韧致辐射、β 表面污染，以及射线装置产生的 X 射线等电离辐射污染。本项目使用的放射性核素为 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y，半衰期较短，本项目在操作和使用放射性核素时可不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响，放射性废水满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中直接排放的要求，故本项目在进行现状调查时，主要调查本项目拟建场址及周围环境的 γ 辐射剂量率和 β 表面污染水平。

1、环境现状评价对象、检测因子、检测点位

环境现状评价对象：本项目拟建场址及周围辐射环境

检测因子：γ 辐射剂量率、β 表面沾污；

检测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）有关布点原则进行布点，在本项目拟建场址及周围环境共计布设 32 个 γ 辐射剂量率检测点位和 10 个 β 表面沾污

检测点位，具体点位分别见图 8-2~图 8-5。

2、检测方案

（1）检测单位：江苏核众环境监测技术有限公司（CMA 证书编号：171012050259）

（2）检测报告编号：（2023）苏核环监（综）字第（0041）号

（3）检测时间：2022 年 12 月 9 日

（4）检测天气：晴

（5）检测仪器：

①γ 辐射剂量率检测仪器

检测仪器：FH40G+FHZ672E-10 型辐射巡测仪

仪器编号：030360+11395

能量响应范围：40keV~4.4MeV

量程范围：1nSv/h~100μSv/h

检定单位：江苏省计量科学研究院

检测证书编号：Y2022-0026598

检定有效期：2022.4.8~2023.4.7

②β 表面沾污检测仪器

检测仪器：RADIAGEM2000+SABG-100 型 α、β 表面沾污仪

仪器编号：5073+0792

α、β 辐射测量范围：0-10000cps

能量响应范围：主机探测器：40keV-1.5MeV；探头：α>3MeV，β>150keV

检定单位：江苏省计量科学研究院

检测证书编号：Y2022-0085723

校准日期：2022.9.7~2023.9.6

（6）检测方法：按照《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（$E_{\beta max}$＞0.15 MeV）和 α 发射体》（GB/T 14056.1－2008）中的要求进行，每组读 10 个数据，取算术平均值计算结果。

3、质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力，其计量认证证书及检测能力证书见附件 4；

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

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；

⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查；

⑥检测报告实行三级审核。

4、检测结果及评价

本项目拟建场址及周围环境的γ辐射剂量率检测结果见表 8-1，β表面沾污检测结果见表 8-2，检测点位见图 8-2~图 8-5，详细检测结果见附件 4。

表 8-1 本项目拟建场址及周围环境γ辐射剂量率检测结果

序号	检测点位描述		位置属性	检测结果（nSv/h）	备注
1	核医学科	分装室内	楼房	82.6	检测时，核医学科已暂停运行，场所内无放射性药物和放射性固废贮存
2		分装室东侧通道处	道路	68.9	
3		分装室西侧服碘室内	楼房	91.8	
4		分装室北侧患者入口缓冲区内	楼房	82.8	
5		分装室楼上甲癌病房内	楼房	109	
6		1#SPECT/CT 机房内	楼房	79.5	
7		2#SPECT/CT 机房内	楼房	81.4	
8		注射后候诊区内	楼房	88.5	
9		注射室内	楼房	83.1	
10		更衣缓冲区内	楼房	81.1	
11		SPECT/CT 控制廊内	楼房	78.5	
12		1#SPECT/CT 机房北侧通道处	道路	72.6	
13		1#SPECT/CT 机房楼上会议室内	楼房	79.6	
14		2#SPECT/CT 机房楼上护士站处	楼房	81.4	
15	介入科 3#导管室	3#导管室内	楼房	77.7	检测时，DSA 未开机
16		3#导管室东侧库房内	楼房	76.9	
17		3#导管室南侧医院道路处	道路	72.1	
18		3#导管室控制室内	楼房	77.5	
19		3#导管室北侧走廊处	楼房	77.1	
20		3#导管室楼上病房内	楼房	73.1	
21		3#导管室楼下设备层处	楼房	71.3	

22	介入科留观病房	70 床病房内	楼房	76.5	/
23		69 床病房内	楼房	78.6	
24		69 床病房东侧医生办公室内	楼房	73.5	
25		病房南侧走廊处	楼房	75.8	
26		70 床病房西侧主任办公室内	楼房	75.2	
27		70 床病房楼上病房内	楼房	74.4	
28		70 床病房楼下病房内	楼房	75.4	
29		69 床病房楼上病房内	楼房	76.2	
30		69 床病房楼下病房内	楼房	73.1	
31	敏感点	核医学科东侧医院进修医生宿舍楼西侧道路处	道路	63.1	
32		核医学科南侧广州路 215-2 号 2 幢商住楼北侧道路处	道路	61.4	

注：①上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值（19.4nSv/h）。

②位置属性与测量校正值的宇响因子相对应，分为楼房、平房、原野、道路。

表 8-2 本项目拟建场址及周围环境 β 表面沾污检测结果

序号	检测点位描述		检测结果（Bq/cm^2）	备注
1	核医学科	分装室内	＜MDL	检测时，核医学科已暂停运行，场所内无放射性药物和放射性固废贮存
2		分装室北侧患者入口缓冲区地面	＜MDL	
3		注射后候诊区内	＜MDL	
4		1#SPECT/CT 机房内	＜MDL	
5		2#SPECT/CT 机房内	＜MDL	
6		SPECT/CT 控制廊内	＜MDL	
7	介入科3#导管室	3#导管室内	＜MDL	/
8		3#导管室控制室内	＜MDL	
9	介入科留观病房	70 床病房内	＜MDL	
10		69 床病房内	＜MDL	

注：检测仪器 β 检出限为 0.062 Bq/cm^2。

根据表 8-1 可知，本项目拟建场址及周围环境的室内 γ 辐射剂量率为（71.3～109）nSv/h、室外 γ 辐射剂量率为（61.4～72.6）nSv/h。本项目检测仪器使用 ^{137}Cs 作为检定参考辐射源，根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），Sv/Gy 换算系数取 1.20，则本项目拟建场址及周围环境的室内 γ 辐射剂量率为（59.4～90.8）nGy/h、室外 γ 辐射剂量率为（51.2～60.5）nGy/h，对照江苏省环境天然 γ 辐射剂量率调查结果，本项目拟建场址及周围环境均处于江苏省环境天然 γ 辐射剂量率统计涨落范围内。

根据表 8-2 可知，本项目拟建场址及周围环境未检出 β 表面污染。

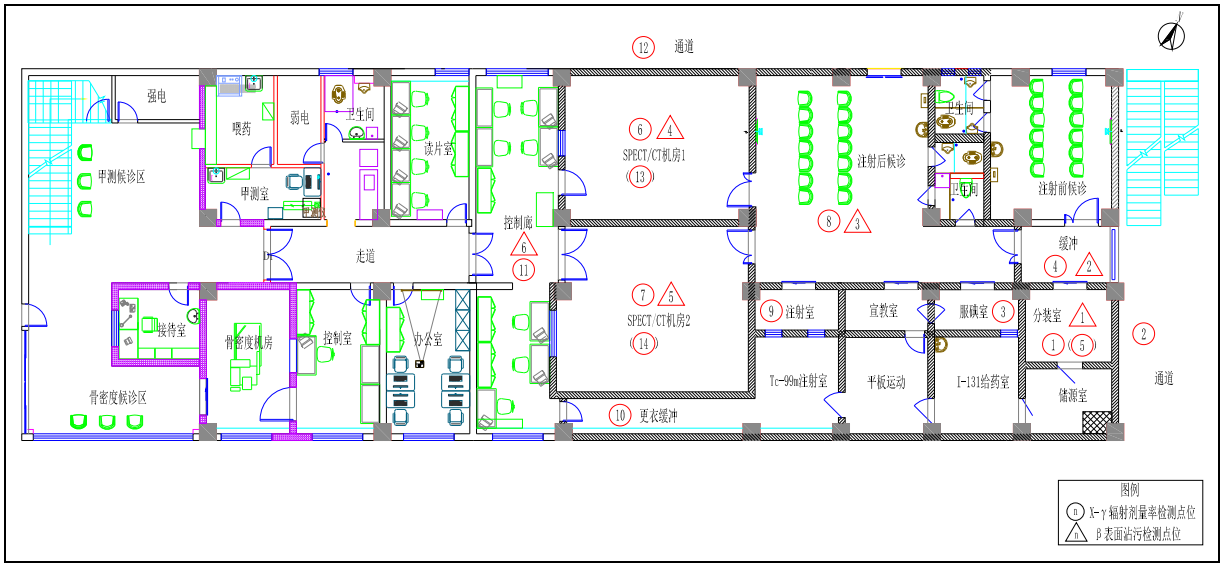


图 8-2 本项目核医学科及周围环境 γ 辐射剂量率和 β 表面沾污检测点位示意图

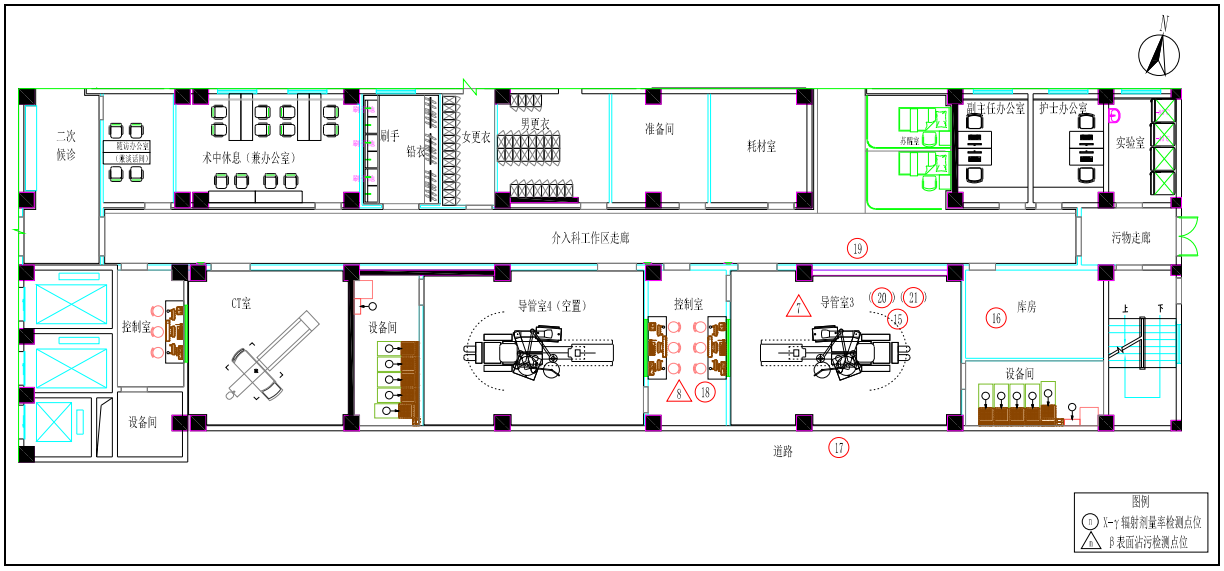


图 8-3 本项目介入科 3#导管室及周围环境 γ 辐射剂量率和 β 表面沾污检测点位示意图

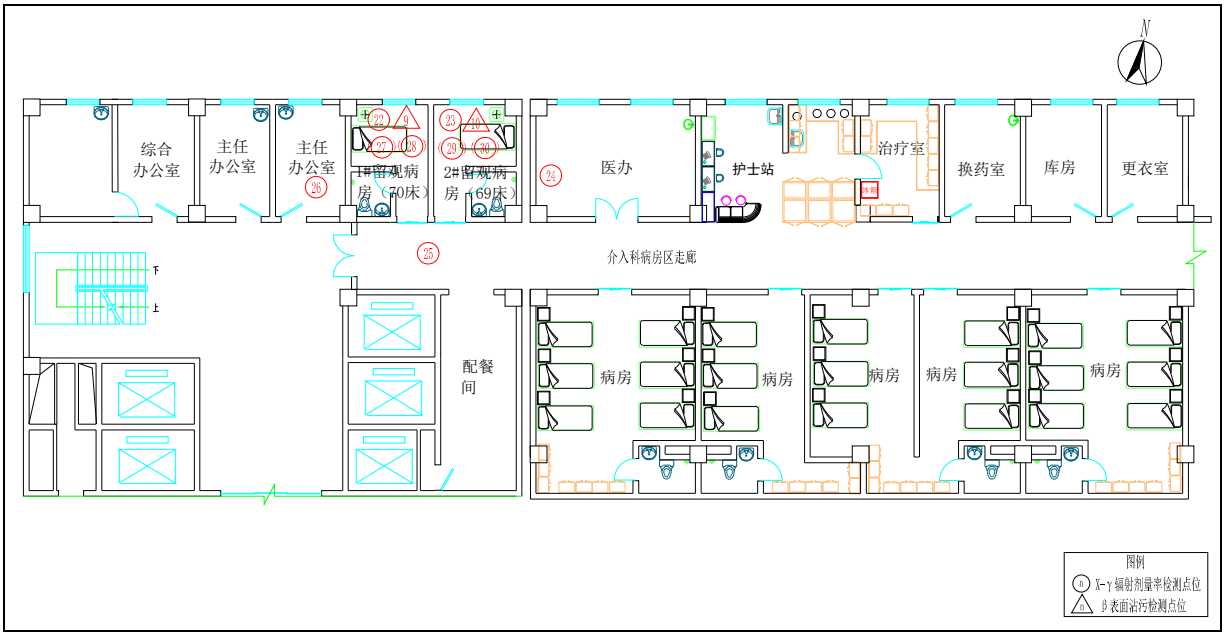


图 8-4 本项目介入科留观病房及周围环境 γ 辐射剂量率和 β 表面沾污检测点位示意图

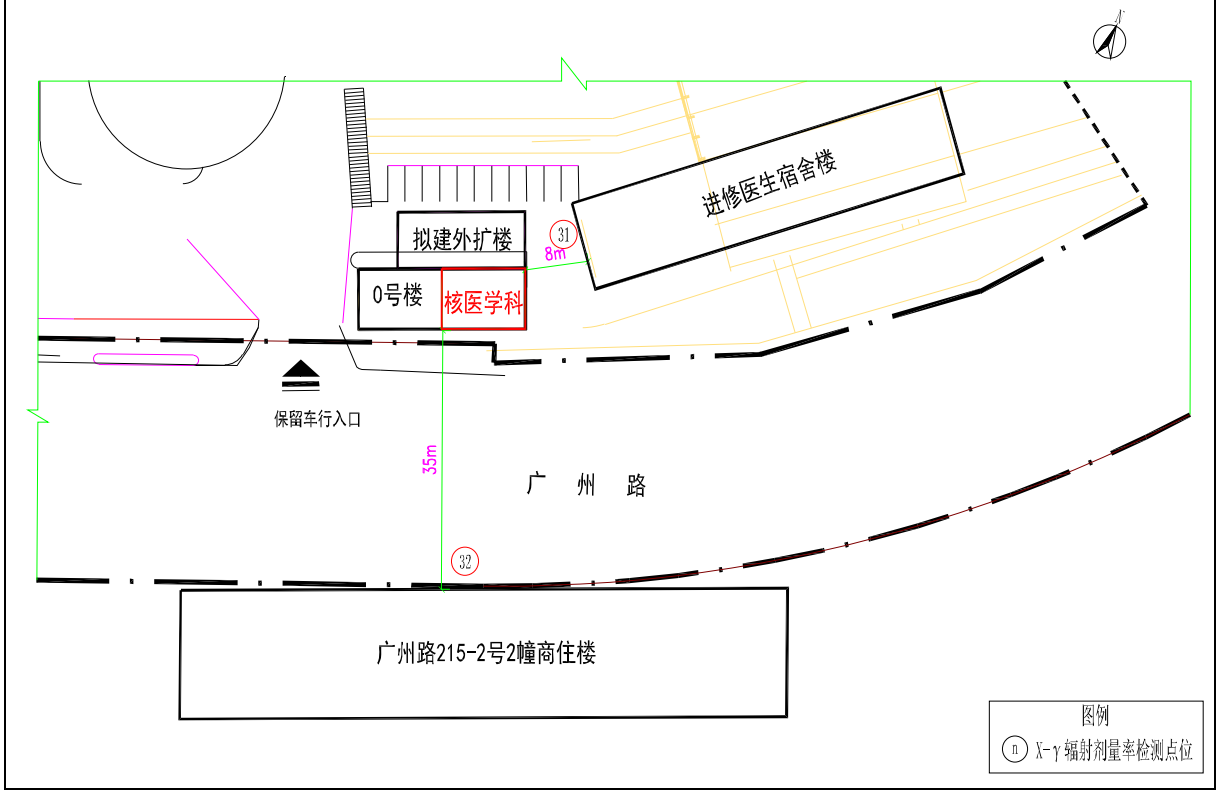


图 8-5 本项目敏感点处γ辐射剂量率检测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 工程设备

本项目每瓶 ^{90}Y 树脂微球送至医院核医学科的活度为 $3\times10^{9}Bq$，^{90}Y 树脂微球剂量瓶外含 1 个透明的有机玻璃瓶防护罩，放置在具有 6.4mm 铅当量的铅防护罐中，铅防护罐置于塑料小桶内，小桶放置在货包中。每个货包最多放置两个装有 ^{90}Y 树脂微球的小桶。本项目 ^{90}Y 树脂微球货包见图 9-1。



图 9-1 本项目 ^{90}Y 树脂微球货包图

9.1.2 工作原理、工艺流程及产污环节

1、工作原理

^{90}Y 发出的 β 射线最大能量为 2.284MeV，在人体组织中的最大射程为 11mm，半衰期为 2.67 天，是通过化学方法从 ^{90}Sr 中提取，将其离子键结合在树脂微球上制成的微小颗粒，药物为悬浮液形式，通过选择性动脉插管的方法将载有 ^{90}Y 放射性核素的颗粒注入肿瘤血管，使 ^{90}Y 滞留于肿瘤组织内达到足够剂量杀死肿瘤细胞，此微球具有不能通过毛细血管网，且不被巨噬细胞所吞噬，生物相容性好、无毒、核素衰变基本完成后，微球开始生物降解而不再栓塞的特点。

^{90}Y 树脂微球是一款靶向放射治疗产品，由含有 ^{90}Y 的生物相容性树脂微球组成，直径为 20-60μm，密度约为 1.6g/cm^3，比重 1.6（血液 1.097)，可随血液滞留于肿瘤末梢血管，持续照射以达到治疗的目的。该产品被广泛应用于肝癌的选择性体内放射治疗(SIRT)中，即在肝脏病灶处，通过靶向的大剂量高能量 β 辐射起到杀死癌细胞的目的，同时不伤害健康肝脏组织，被广泛用于手术治疗不可切除的肝癌。

2、工艺流程及产污环节

本项目 ^{90}Y 树脂微球治疗项目以介入治疗形式进行，树脂微球通过导管经由肝总动脉、右肝动脉或左肝动脉注射引导到肝脏肿瘤中，在输送到肝动脉后，树脂微球被选择性地输送并停留在肿瘤的微血管中，发挥局部放射疗效。本项目 ^{90}Y 树脂微球治疗流程见图 9-2。

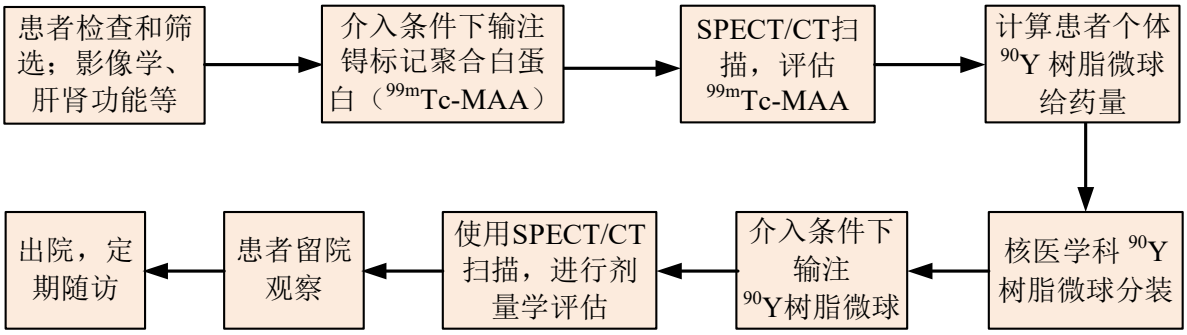


图 9-2　本项目 ^{90}Y 树脂微球治疗流程示意图

本项目 ^{90}Y 树脂微球治疗具体步骤如下：

（1）第一阶段：^{99m}Tc 放射性药物的前期检查

在治疗前 7~14 天需使用锝标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）介入注入肝动脉，以评估患者是否适合此项治疗，并计算患者 ^{90}Y 树脂微球的用药量。该阶段锝标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）介入注射过程在 3 号楼介入科的 3#导管室内完成，其原理为：锝标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）为一种对人体无害的诊断用蛋白，分子大小近似 ^{90}Y 树脂微球，可模拟 ^{90}Y 树脂微球于体内分布的状态，确保 ^{90}Y 树脂微球会停驻在肝脏，而非其他器官，不会造成其他器官的放射性伤害。该阶段 ^{99m}Tc 药物单人给药量最大为 5mCi，医院拟使用的锝标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）为有资质供货商按照医院所需用量分装好的注射针剂。该阶段工作流程具体如下：

①提前 1 天填妥血管摄影同意书，并通知禁食 6~8 小时，手术前排空尿液；

②患者至 3 号楼介入科 3#导管室进行血管造影，确定肿瘤供血血管、必要时栓塞胃肠侧枝血管，微导管到达靶血管，由介入医生进行 ^{99m}Tc-MAA 的缓慢注射，手术期间需要不间断的进行透视和拍片观察导管和药物的位置；

③注射完成后，生理盐水冲洗导管，撤出导管（需借助 DSA 出束照射），完成后续

手术，评估患者状态；

④2h 内进入核医学科的 SPECT/CT 机房内接受 SPECT/CT 扫描，扫描完成后，患者即可从核医学科患者专用通道离开；

⑤医生根据显像结果，了解锝标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）在人体分布情况，确定患者是否适合 ^{90}Y 树脂微球治疗，并计算患者 ^{90}Y 树脂微球的用药量。

本项目 ^{90}Y 树脂微球治疗第一阶段工艺流程及产污环节见图 9-3。

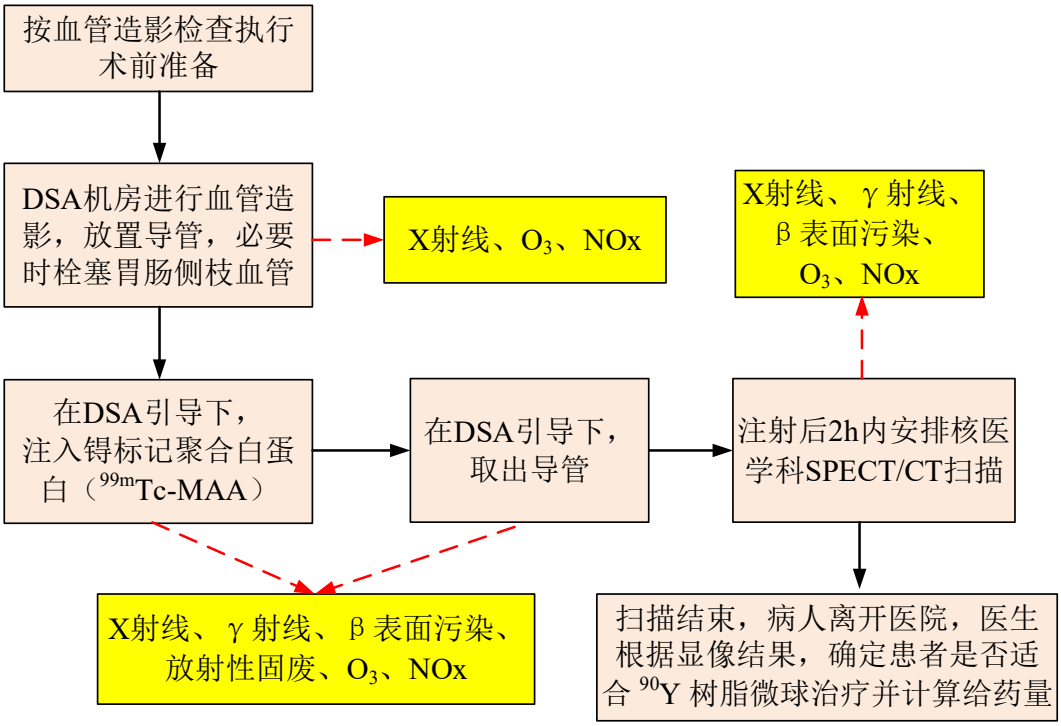


图 9-3 ^{90}Y 树脂微球治疗第一阶段工艺流程及产污环节

（2）第二阶段：^{90}Y 树脂微球活度测量和分装

在第一阶段，若确定患者适合 ^{90}Y 树脂微球治疗，则需在 7~10 天内完成 ^{90}Y 树脂微球输注，医院根据患者具体情况，制定治疗方案及手术时间后，按照处方剂量向供货公司提前订购 ^{90}Y 树脂微球。^{90}Y 树脂微球剂量瓶外含 1 个透明的有机玻璃瓶防护罩，被放置在 1 个 6.4mmPb 铅罐内由供货商送入核医学科，经核医学科人员核对放射性药物名称、活度，检查药品包装和外观质量，与供药公司办理交接手续后，放入核医学科储源室的保险柜中。使用时根据患者情况确定需要的放射性药物活度，该阶段涉及到的 ^{90}Y 树脂微球操作过程包括放射性药物活度测量和分装等，上述过程均在核医学科分装室的手套箱内进行。

①总活度测量：

工作人员手持内置 ^{90}Y 树脂微球西林瓶的防护罐（未打开）进行摇晃，持续时间大约 30s/例，以使微球重新悬浮；摇匀后，迅速打开防护罐盖子，使用长柄镊子夹取含

^{90}Y 树脂微球的西林瓶放置在活度计测井内，测量 ^{90}Y 树脂微球总活度并进行记录。^{90}Y 树脂微球总活度测量步骤见图 9-4。



图 9-4 ^{90}Y 树脂微球总活度测量步骤示意图

②V 型瓶准备：

a、从包装中取出 V 型瓶，用镊子取下铝质密封圈的中心，用酒精棉球擦拭橡胶垫片；

b、使用记号笔在 V 型瓶铝盖边缘的相对的两端位置标记两枚记号，作为后期排气针及取样针刺入的参考位置；

c、将 V 型瓶置于 15mm 有机玻璃 V 型瓶架中，然后拧上 V 型瓶支架盖，确保稳定性和屏蔽性；

d、在标记位置之一附近，将一个具有过滤器的排气针插入 V 型瓶隔垫，刺穿隔垫以形成通气孔。

V 型瓶准备步骤见图 9-5。

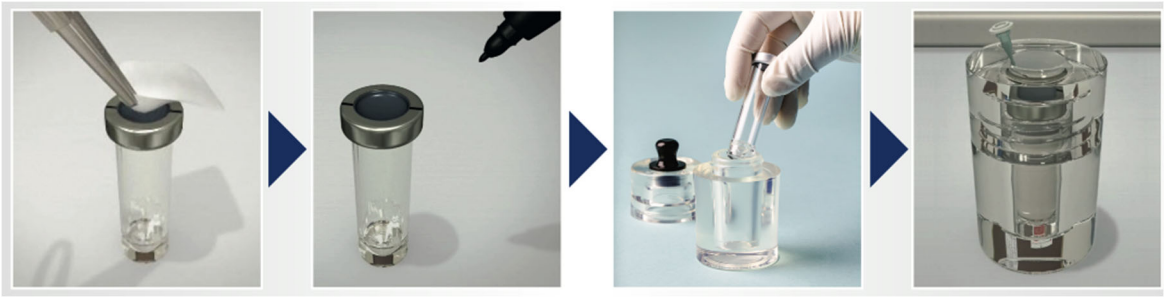


图 9-5 V 型瓶准备步骤示意图

③^{90}Y 树脂微球抽取：

a、将 5mL 注射器放在有机玻璃注射器屏蔽器中，并旋紧盖子；

b、剧烈摇晃铅罐 30s 以重新悬浮 ^{90}Y 树脂微球；开启铅罐，使用镊子从运输瓶移除运输瓶的铝盖，同时使用酒精棉球擦拭橡胶隔垫；

c、将具有过滤器的排气针插入运输瓶的隔垫以形成通气孔；

d、从带有屏蔽器的注射器上取下针头盖，轻轻地将针头竖直插入运输瓶中；

e、使用注射器抽吸吹打微球 6 次以上，以重悬 ^{90}Y 树脂微球，确保微球悬浮均匀；

f、快速抽出事先计算出的 ^{90}Y 树脂微球的体积；

g、待注射器内液面平稳后，小心地从运输瓶中液面中拉出针头，在针头完全从运输瓶中拉出之前，将少量空气吸入针中，以确保微球不会滴落而污染台面；

h、当从运输瓶中完全拉出注射器针头之后，盖回取样针的保护套，并将带有屏蔽器的注射器平稳地放在台面上。

^{90}Y 树脂微球抽取步骤见图 9-6。

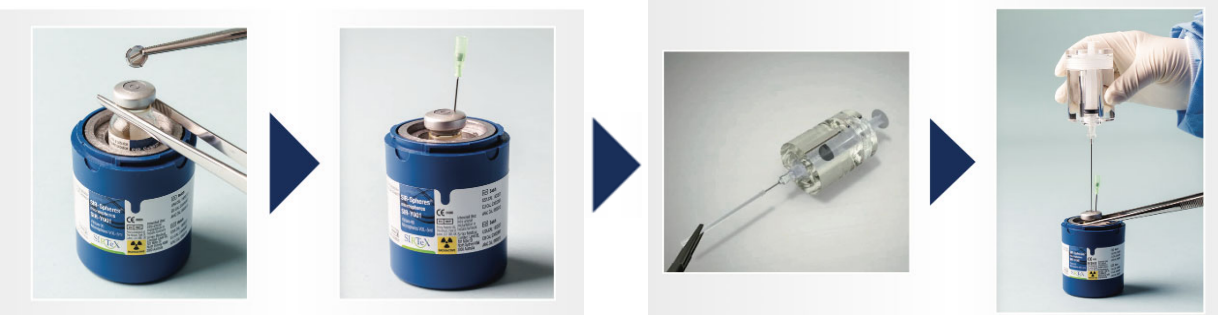


图 9-6 ^{90}Y 树脂微球抽取步骤示意图

④注射器中 ^{90}Y 树脂微球转移至 V 型瓶：

a、使用镊子夹住运输瓶，轻轻摇晃，使剩余的 ^{90}Y 树脂微球重新混匀，然后置于活度计测井内，测定运输瓶中剩余的活度。若瓶内剩余的活度处于前述步骤中计算的剩余活度范围内，则认为取样量准确；反之，则认为取样量不准确；

b、若发现取样量不准确，则需将注射器中的微球混悬液重新注入玻璃运输瓶中，重新混悬均匀，并依照前述步骤进行重新取样操作，直至取样量准确；

c、若取样活度准确，则从运输瓶上取下排气针，并盖回铅罐上的盖子。同时将 ^{90}Y 树脂微球从注射器转移到 V 型瓶架中的 V 型瓶中。此时注射器针头在 V 型瓶橡胶垫上刺入的位置，应为 V 型瓶顶端上的另一个记号附近；

d、如果取样量小于 3mL，则应在 ^{90}Y 树脂微球从注射器转移 V 型瓶中之前，抽取适量的无菌注射用水或 5%葡萄糖注射液从排气针注射至 V 型瓶中，以确保 V 型瓶中最终的总体积在 3mL 左右；

e、从 V 型瓶混悬液中缓慢拉出取样针，在取样针完全拉出 V 型瓶之前，抽入少量气体至注射器中，防止注射器内液体滴落而污染台面；

f、完成转移，从 V 型瓶的隔垫上取下取样针，盖回取样针上的保护盖，从 V 型瓶的隔垫上取下排气针；

g、确保 V 型瓶支架的盖子是紧紧盖好的，并且将黑色塞子塞在 V 型瓶隔垫上部的孔位中；

h、在 V 型瓶支架上贴上包含患者信息、处方剂量、输注时间、治疗部位、分装操作信息等必要信息的标签，并将 V 型瓶连同 V 型瓶支架放入筒状转运盒中。

^{90}Y 树脂微球从注射器中转移至 V 型瓶步骤见图 9-7。

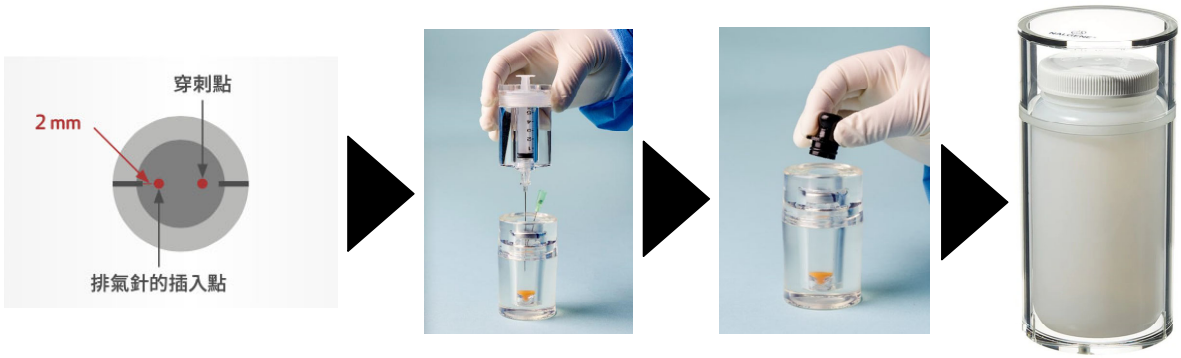


图 9-7　^{90}Y 树脂微球从注射器中转移至 V 型瓶步骤示意图

（3）第三阶段：^{90}Y 树脂微球介入注射

①提前 1 天填妥血管摄影同意书，并通知禁食 6~8 小时，手术前排空尿液；

②核医学科工作人员将分装好的 ^{90}Y 树脂微球提前送入 3 号楼介入科的 3#导管室；

③介入护士提前为机房内的手术台及附近地面铺设吸水垫，介入医生将有机玻璃支架屏蔽的 V 型瓶放入事先连接好的输送箱内的扣环上，取下塞子并为 V 型瓶消毒，并连接好针管；

④患者进行血管造影，通过股动脉或桡动脉将导管植入患者肿瘤位置；

⑤介入医生通过输送箱套件缓慢、等份地推送 ^{90}Y 树脂微球药物，每次等份推送都通过输送箱上的阀门旋钮，使造影剂、注射用水、^{90}Y 树脂微球药物交替推注到患者肿瘤部位，药物推注过程约 6min，药物推注完毕，推注无菌水，避免微球滞留导管内。完成后，拔除输送针管、导管（需借助 DSA 出束照射）等，并放入废物铅桶中暂存，手术期间需要不间断的进行透视和拍片观察导管和药物的位置。

⑥患者进入介入科留观病房内留观，患者术后一般住院留观 12~24h；

⑦治疗 24h 内安排给药后患者至核医学科使用 SPECT/CT 融合扫描，扫描时间约为 20min，确定 ^{90}Y 树脂微球在患者体内的滞留位置。

^{90}Y 树脂微球介入注射工艺流程及产污环节分析见图 9-8。

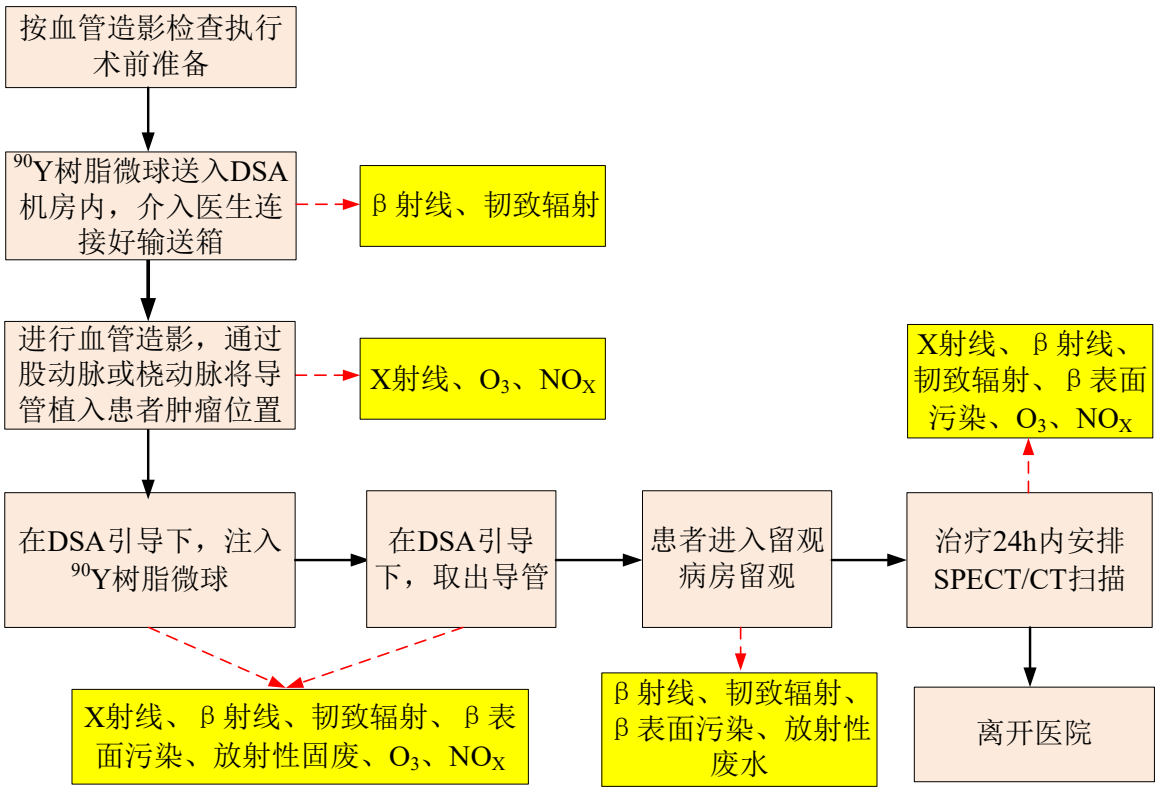


图 9-8 ^{90}Y 树脂微球介入注射工艺流程及产污环节示意图

9.1.3 人流、物流路径规划

1、医护人员路径

（1）核医学科：SPECT 操作技师经 D1 门进入控制廊，工作结束后原路返回。药物操作人员经控制廊再经 M1 防护门进入更衣缓冲区，更衣后再依次经 M2、M4、M7、M9 防护门进入分装室，对 ^{90}Y 树脂微球进行活度测量和分装，工作结束后原路返回。

（2）介入科：介入科操作技师和护士经 D1 门进入二次候诊区，经换鞋和戴头套后依次经 D2、D5 门进入控制室，工作结束后原路返回。介入医生经 D1 门进入二次候诊区，经换鞋和戴头套后依次经 D2、D3 门进入更衣室，更换手术服后经 D4 门进入刷手间，经洗消、穿戴铅衣等防护用品后经 M1 防护门进入 3#导管室，工作结束后原路返回。

2、患者路径

（1）病人 ^{99m}Tc 诊断路径

病人依次经介入科 D1、D2 门及 M1 防护门推入 3#导管室，病人介入注射 ^{99m}Tc 药物后由护士原路护送离开介入科，经医院道路送至 0 号楼核医学科，依次经核医学科 D2 门、M11 防护门进入 SPECT 注射后候诊区，再经 M14（M16）防护门进入 1#SPECT/CT 机房（2#SPECT/CT 机房）进行扫描检查，检查完成后经核医学科患者专用出口 M12 防护门离开。

（2）病人 ^{90}Y 树脂微球治疗路径

病人依次经介入科 D1、D2 门及 M1 防护门推入 3#导管室，病人介入注射 ^{90}Y 树脂微球后由护士护送乘坐电梯至六楼介入科留观病房，留观期间内，由护士护送至 0 号楼核医学科进行 SPECT/CT 扫描检查（路径同 ^{99m}Tc 扫描），检查完成后经核医学科患者专用出口 M12 防护门离开。

3、放射性药物路径

（1）^{99m}Tc 药物路径

^{99m}Tc 放射性药物注射针剂由专业供货商送至核医学科，核医学科工作人员接收后，依次经 M12、M6、M5、M4、M7 防护门送至核医学科储源室的保险柜内。需注射时，由核医学科工作人员护送，原路离开核医学科并经 3 号楼介入科的污物走廊出口送至 3#导管室。

（2）^{90}Y 树脂微球药物路径

^{90}Y 树脂微球药物由专业供货商送至核医学科，核医学科工作人员接收后，依次经 M12、M6、M5、M4、M7 防护门送至核医学科储源室的保险柜内，核医学科工作人员根据患者的治疗需求，在分装室的手套箱内抽取分装好 ^{90}Y 树脂微球，并由核医学科工作人员护送至 3 号楼介入科 3#导管室。

4、放射性固体废物路径

（1）核医学科：本项目在核医学科产生的放射性固体废物暂存在分装室内的废物铅桶内，分装结束后，由核医学科放射性固体废物专职管理人员集中收集送至核医学科的放射性固废间内暂存。

（2）介入科：3#导管室产生的放射性固体废物暂存在机房内的废物铅桶内，手术结束后，分类收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息），放置在塑料废物桶内由核医学科放射性固体废物专职管理人员经污物走廊出口托运至核医学科放射性固废间内暂存。

本次新增 ^{90}Y 树脂微球治疗项目相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间单向开展，减少了人员的流动性，有助于实施工作程序。放射性药物在手术当天由核医学科工作人员在患者就诊前送至 3#导管室内，避免放射性药物与其他人员发生交叉。本项目工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于临床核医学工作场所的要求。本项目人流、物流路径见图 9-9~图 9-11。

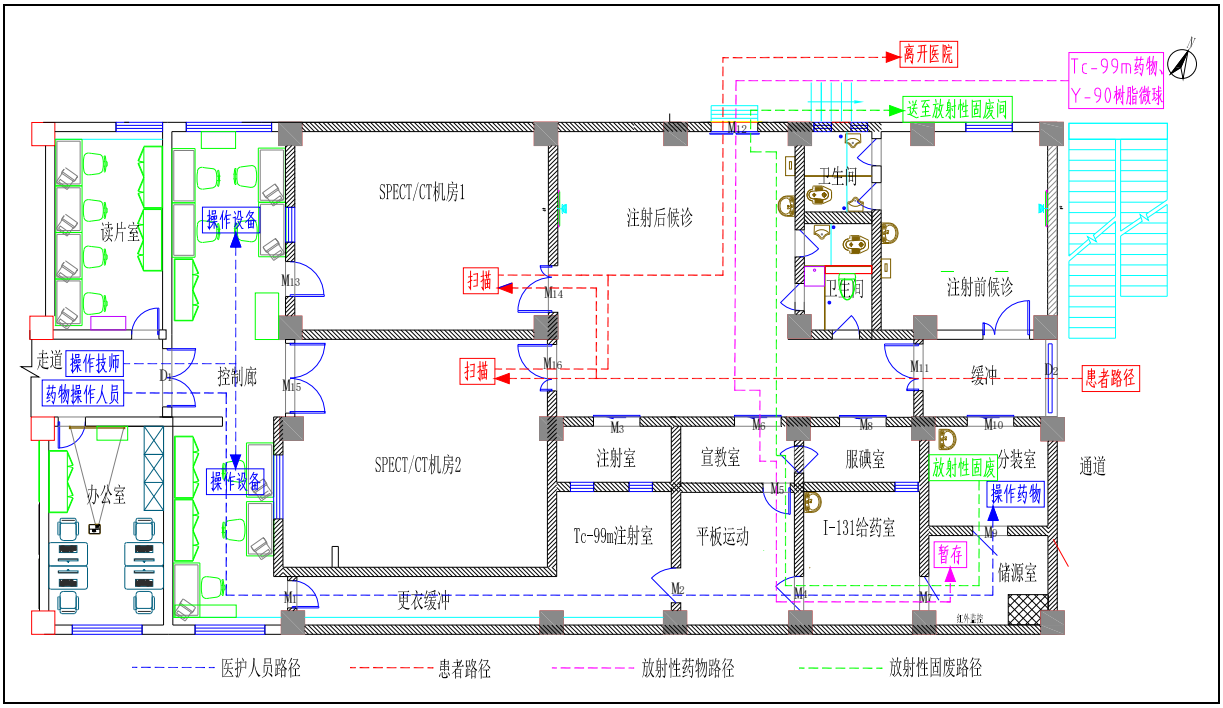


图 9-9 核医学科人流、物流路径图

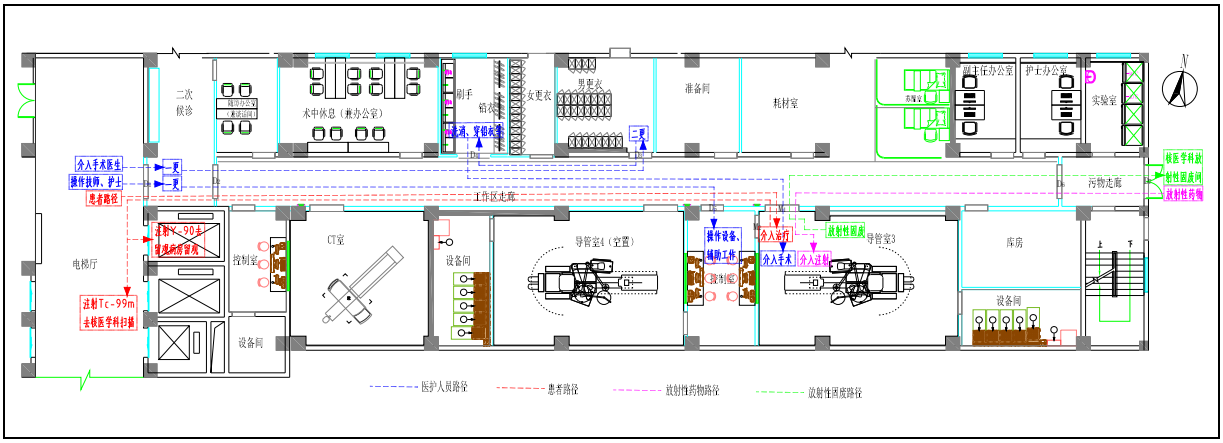


图 9-10 介入科 3#导管室人流、物流路径图

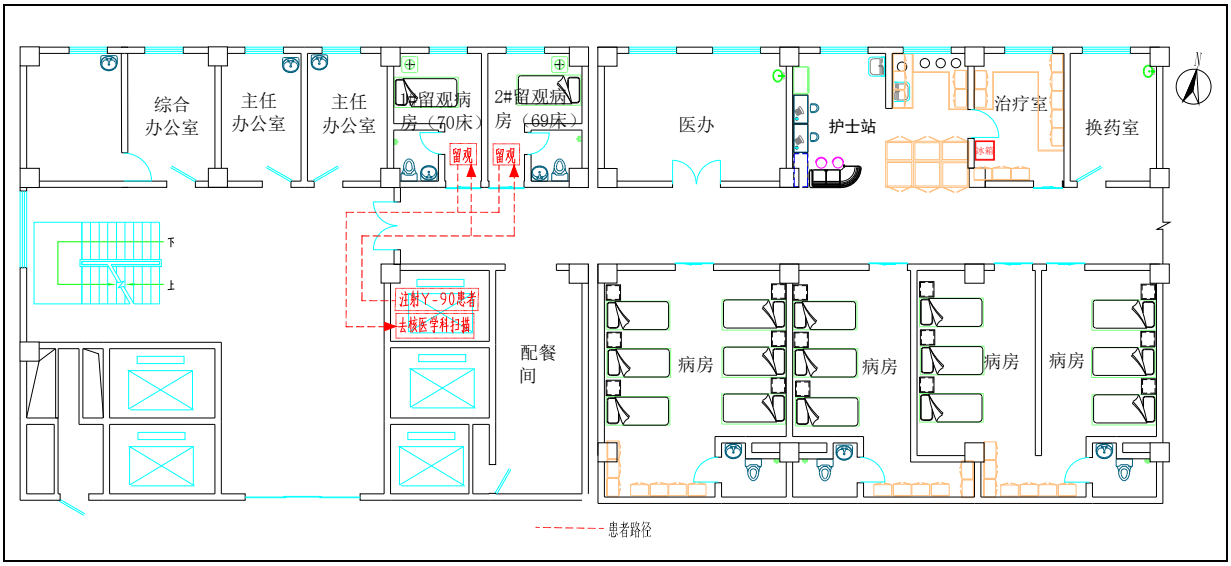


图 9-11 介入科留观病房人流路径图

9.1.4 劳动定员和工作负荷

1、劳动定员

根据医院提供的资料和 ^{90}Y 树脂微球治疗流程，本项目依托核医学科、介入科现有 10 名辐射工作人员，还新增 2 名辐射工作人员，具体如下：

（1）核医学科：拟从核医学科现有辐射工作人员中抽调 2 名辐射工作人员，该 2 名人员除负责现有辐射工作外，还负责本项目放射性药物的接收、转运以及 ^{90}Y 树脂微球的活度测量、分装等工作。本项目术后患者的 SPECT/CT 扫描工作仍由核医学科现有 4 名 SPECT 操作技师负责。

（2）介入科：拟从介入科现有辐射工作人员中抽调 2 名介入医生，该 2 名介入医生除负责现有辐射工作外，还负责本项目 3#导管室的 ^{99m}Tc 药物和 ^{90}Y 树脂微球的介入注射手术；3#导管室现有 2 名操作技师除负责现有辐射工作外，还负责本项目 ^{99m}Tc 药物和 ^{90}Y 树脂微球介入手术时 DSA 的操作；介入科另新增 2 名护士，仅在机房外负责本项目的辅助工作以及本项目术后患者的转运、护理工作。

2、工作负荷

（1）核医学科

本项目每年使用 ^{99m}Tc 最大检查人数为 150 人，使用 ^{90}Y 树脂微球最大治疗人数为 100 人。核医学科辐射工作人员单次接收 ^{99m}Tc 药物和 ^{90}Y 树脂微球药物用时均约为 1min，年用时分别不超过 2.5h 和 1.67h。单剂 ^{90}Y 树脂微球活度测量、分装用时约 10min，年用时不超过 16.7h。单次 ^{99m}Tc 药物和 ^{90}Y 树脂微球转运至 3#导管室用时均不超过 5min，年用时分别不超过 12.5h 和 8.33h；单名给药患者在 SPECT /CT 机房摆位用时约为 1min，年摆位用时分别不超过 2.5h 和 1.67h；扫描用时均约为 20min，年扫描用时分别不超过 50h 和 33.3h。核医学科辐射工作人员工作负荷汇总见表 9-1。

表 9-1 核医学科工作人员工作负荷汇总一览表

人员岗位	工作内容	单次最大用时	年最大用时
核医学科 药物操作人员	^{99m}Tc 药物接收	1min	2.5h
	^{99m}Tc 药物转运至 3#导管室	5min	12.5h
	^{90}Y 树脂微球药物接收	1min	1.67h
	^{90}Y 树脂微球活度测量、分装	10min	16.7h
	^{90}Y 树脂微球转运至 3#导管室	5min	8.33h
核医学科 SPECT /CT 操作技师	注射 ^{99m}Tc 药物患者摆位	1min	2.5h
	注射 ^{99m}Tc 药物患者扫描	20min	50h
	注射 ^{90}Y 树脂微球患者摆位	1min	1.67h
	注射 ^{90}Y 树脂微球患者扫描	20min	33.3h

（2）介入科

单次手术 ^{99m}Tc 药物和 ^{90}Y 树脂微球输注用时均不超过 6min，年用时分别不超过 15h 和 10h。单台 ^{99m}Tc 药物和 ^{90}Y 树脂微球介入手术 DSA 拍片时间平均不超过 2min，透视时间平均不超过 20min，单台 ^{99m}Tc 药物介入手术总用时平均不超过 2h，单台 ^{90}Y 树脂微球介入手术总用时平均不超过 1h。介入科 3#导管室 DSA 工作负荷见表 9-2。

表 9-2 本项目 DSA 工作负荷一览表

场所名称	手术类型	单台手术曝光间		年手术台数	年出束时间		总计
		拍片	透视		拍片	透视	
3#导管室	^{99m}Tc 介入	2min	20min	150 台	5h	50h	拍片：8.33h 透视：83.3h
	^{90}Y 树脂微球介入	2min	20min	100 台	3.33h	33.3h	

介入科单名 ^{99m}Tc 给药患者转运用时不超过 10min，年用时不超过 25h；单名 ^{90}Y 树脂微球给药患者转运用时不超过 30min，年用时不超过 50h。

单名 ^{90}Y 树脂微球给药患者住院留观时间一般不超过 24h，单名护士年近距离接触、护理患者时间不超过 400h。

9.2 污染源项描述

9.2.1 污染源项

1、辐射

（1）^{99m}Tc 放射性核素衰变方式为同质异能跃迁，伴随发射 0.14MeV 的 γ 射线；^{90}Y 放射性核素衰变产生 β 射线，β 射线与物质相互作用会产生韧致辐射；本项目放射性药物在分装、质控与注射过程中可能会发生药物撒落事故，对工作台、设备、墙壁、地面等产生放射性沾污，造成 β 局部放射性表面污染。

（2）本项目使用的 DSA 最大管电压为 125kV，在使用 DSA 进行介入手术时，会产生 X 射线。 辐射场中的 X 射线包括有用线束（主束）、漏射线和散射线。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

①有用线束

本项目 DSA 为下球管，有用线束投射方向为由下至上。有用线束的射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量。根据医院提供资料，本项目 DSA 设备的主要操作模式为透视及拍片，DSA 正常运行时，拍片模式的工况为 60kV～

80kV/100mA～500mA、透视模式的工况为 60kV～80kV/5mA～20mA，具体见表 9-3。

表 9-3 本项目 DSA 实际运行工况一览表

设备型号	实际运行时最大管电压（kV）		实际运行时最大管电流（mA）	
	拍片	透视	拍片	透视
DSA	60~80	60~80	100~500	5~20

本项目 DSA 过滤装置均采用束光器自带 0.5mmCu 固有过滤+附加过滤，本项目保守按过滤材料为 0.5mmCu 进行剂量预测，根据《辐射防护导论》（方杰著）附图 3，在管电压为 80kV、过滤材料为 0.5mmCu 的条件下，离靶 1 米处的发射率约为 0.8mGy·m^2/mA·min。

②泄漏射线

根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”（在距离源 1m 处不超过 100cm^2 的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm^2 面积上进行平均测量），以及《医用电气设备 第一部分：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》（GB 9706.12-1997）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 射线散射线能量、X 射线机的输出量、散射面积和距离等有关。

（3）SPECT/CT 扫描时 CT 发出能量最大为 150kV 的 X 射线，日常使用中管电压范围为 80kV~120kV，根据《辐射防护导论》附图 3，在 120kV 下 1 米处的 X 射线发射率为 9mGy·m^2·mA^{-1}·min^{-1}（过滤板保守取 2.5mmAl）。1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h。

2、放射性废水

患者在注入 ^{99m}Tc 后，不留观，不产生放射性废水。患者在注入 ^{90}Y 树脂微球后，尿液中会有少量的 ^{90}Y 核素排出。患者最大注射活度为 2.5×10^9Bq，留观时间一般不超过 24h，留观期间预计排泄 8 次，单次排泄量一般为 200~400mL，则单名患者住院留观期间总排泄量为 1600~3200mL，放射性废水年最大产生量为 0.32m^3。

场所发生放射性核素泼洒等事故时，采用擦拭方式，不产生放射性废水。

3、放射性废气

本项目使用的 ^{99m}Tc 药物为分装好的注射针剂，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

本项目使用的 ^{90}Y 树脂微球绝大多数 ^{90}Y 核素附着在“大孔型结构”的树脂微球表面和内部孔道内，以不溶性固体形式存在，极少量（0.04~0.4%）^{90}Y 核素以游离状态出现在液体中，游离的 ^{90}Y 核素以氯化钇（$^{90}YCl_3$）形式存在，氯化钇不具备挥发性，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

4、放射性固体废物

本项目使用 ^{90}Y 树脂微球治疗过程中产生的放射性固体废物包括：①核医学科：^{90}Y 树脂微球分装过程中产生的转移用的一次性手套、口罩、注射器、含剩余药物的西林瓶、擦拭纸等放射性固体废物约 200g/例，年产生量约 20kg；②介入科 3#导管室：注射 ^{99m}Tc 放射性药物产生的一次性手套、口罩、注射器、输液管、患者体内导管、擦拭纸等，总重量约 150g/例，年产生量约 22.5kg；注射 ^{90}Y 放射性药物产生的一次性手套、口罩、输液管、患者体内导管、V 型瓶及有机玻璃防护罐、擦拭纸等放射性固体废物合计约 450g/例，年产生量约 45kg。

综上，本项目年产生含核素 ^{99m}Tc 的放射性固体废物约 22.5kg；年产生含核素 ^{90}Y 的放射性固体废物约 65kg。若手术中出现 ^{90}Y 树脂微球洒漏，则还可能产生吸水纸、去污用纸、医护人员手套、手术服、口罩、眼罩、有机玻璃盒子等，最大产生量为 2kg/例次。

5、非放射性污染

（1）DSA、SPECT/CT 开机运行时，机房内产生的少量臭氧和氮氧化物。

（2）项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水。

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

9.2.2 核素特性

本项目放射性核素的特性见表 9-4。

表 9-4 本项目放射性核素特性一览表

核素种类	半衰期	衰变类型及分支比（%）	主要 α、β 辐射能量（keV）与绝对强度（%）	主要 γ、X 射线能量（keV）与绝对强度（%）	周围剂量当量率常数（μSv•m²/MBq•h）
^{99m}Tc	6.02h	IT（100）	——	140.511（88.5） 142.63（0.0187）	0.0303
^{90}Y	2.67d	β^-（100）	2.284（99.9885） 0.5194（0.0115）	——	——

注：参考《简明放射性同位素应用手册》、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

1、工作场所布局与分区

（1）工作场所布局

本项目 ^{90}Y 树脂微球治疗依托医院 0 号楼核医学科 SPECT 诊断场所的储源室、分装室、SPECT/CT 机房等场所，对 ^{99m}Tc 药物针剂进行贮存，并对 ^{90}Y 树脂微球进行贮存、活度测量、分装以及对给药后患者进行 SPECT/CT 扫描，该 SPECT 诊断场所设置有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径，工作人员通道和患者通道分开，给药后患者与给药前患者不交叉，患者在控制区内为单向流动，可有效避免工作人员、患者与放射性药物之间的交叉污染，布局合理。

本项目依托 3 号楼介入科 3#导管室的 DSA 血管造影技术将 ^{90}Y 树脂微球通过肝动脉插管直接输注至肿瘤病灶，该 3#导管室设置有单独的机房、控制室、设备间，机房与控制室、设备间分开单独设置，区域划分明确，布局基本合理。

医院拟将 3 号楼六楼介入科病区的 69 床病房、70 床病房两间单人间病房作为 ^{90}Y 树脂微球给药后患者的术后留观病房，供 ^{90}Y 树脂微球给药后患者术后留观。

本项目依托的核医学科、3#导管室均为现有辐射工作场所，本项目不改变现有辐射工作场所的布局，布局合理。

（2）工作场所分区

医院已将 0 号楼核医学科一楼的 1#SPECT/CT 机房、2#SPECT/CT 机房、注射后候诊区、更衣缓冲区、^{99m}Tc 注射室、平板运动室、宣教室、^{131}I 给药室、服碘室、储源室、分装室划为控制区；将控制廊、注射前等候区、患者入口缓冲区划为监督区。医院 0 号楼一楼核医学科工作场所控制区与监督区的划分见图 10-1。

医院已将 3 号楼介入科 3#导管室的机房划为控制区，在控制区入口处设置电离辐射警告标志，工作期间禁止除介入医生和患者外的其他人员进入；将控制室、设备间划为监督区，工作期间禁止任何无关人员进入。医院 3 号楼介入科 3#导管室控制区与监督区的划分见图 10-2。

此外，医院拟将本项目 ^{90}Y 树脂微球给药后患者留观病房划为控制区，并在留观病房入口门上粘贴电离辐射警告标志，禁止无关人员进入。

本项目依托的核医学科、3#导管室均为现有辐射工作场所，本项目不改变现有辐射工作场所的分区，现有辐射工作场所的控制区和监督区划分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中有关辐射工作场所的分区规定。

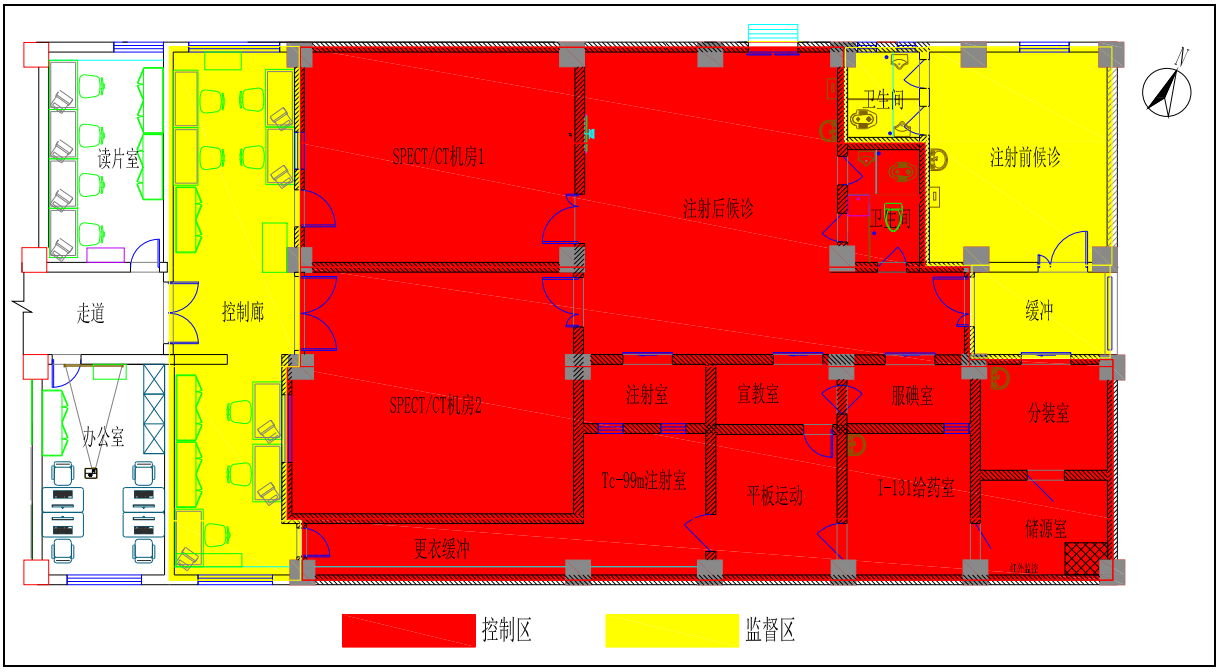


图 10-1　0 号楼一楼核医学科工作场所控制区与监督区划分示意图

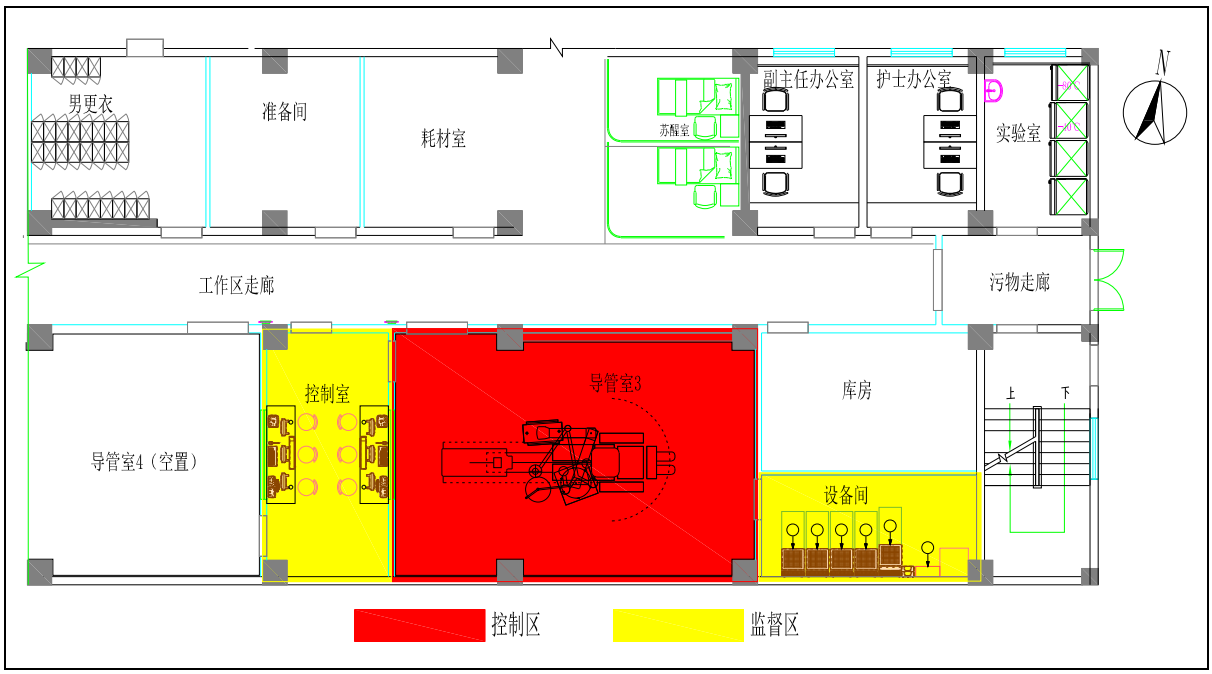


图 10-2　3 号楼介入科 3#导管室控制区与监督区划分示意图

2、辐射防护设计

本项目依托的 0 号楼核医学科工作场所屏蔽防护参数见表 10-1，3 号楼介入科 3#导管室屏蔽防护参数见表 10-2，留观病房屏蔽防护参数见表 10-3。

表 10-1 本项目涉及的核医学科工作场所屏蔽防护情况一览表

场所	屏蔽体及设计的屏蔽厚度
分装室、储源室、注射后候诊区	四周墙体：240mm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：120mm 砼+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 防护门：内嵌 6mm 铅板的铅防护门
1#SPECT/CT 机房、2#SPECT/CT 机房	四周墙体：240mm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：120mm 砼+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 防护门：内嵌 6mm 铅板的铅防护门； 观察窗：8mmPb 铅玻璃
放射性固废间	四周墙体：240mm 实心砖墙+6mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：120mm 砼+6mmPb 硫酸钡防护涂料； 防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门
分装室内手套箱	六面均为 20mm 铅当量

注：实心砖密度不小于 1.65g/cm³，砼密度为 2.35g/cm³，硫酸钡防护涂料密度不小于 3.5g/cm³，铅的密度为 11.34g/cm³。

表 10-2 本项目 3 号楼介入科 3#导管室屏蔽防护参数一览表

场所	屏蔽体	屏蔽防护措施
3#DSA 导管室	东墙、西墙、北墙	龙骨架+3mm 铅板
	南墙	240mm 轻质砖+3mm 铅板
	顶部、底部	120mm 砼+3mm 铅板
	防护门	3mm 铅板
	观察窗	3mm 铅当量
	尺寸大小	长 8.84m、宽 5.2m，有效使用面积约为 46m²

注：铅的密度为 11.34g/cm³，砼密度为 2.35g/cm³，轻质砖密度为 1g/cm³。

表 10-3 本项目留观病房屏蔽防护参数一览表

场所	屏蔽体	屏蔽防护措施
留观病房	四周墙体	240mm 实心砖
	顶部、底部	120mm 砼
	门	普通木门
	观察窗	普通玻璃

注：砼密度为 2.35g/cm³，实心砖密度不小于 1.65g/cm³。

本项目依托的核医学科、3#导管室、介入科病房均为现有场所，本项目不改变现有场所的屏蔽防护工程。

3、辐射安全和防护措施

本项目依托核医学科、介入科现有辐射工作场所，各辐射工作场所已采取了一系列的辐射安全措施，具体如下：

（1）核医学科

①工作状态指示灯

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

②防夹和自动闭门装置

SPECT/CT 机房的患者通道防护门设计有防夹装置和自动闭门装置，医护通道防护门设计有自动闭门装置。

③门禁和监控系统

储源室设置有门禁和监控系统，监控显示器位于医院保卫处的值班室，实时监控放射性药物的情况。

④电离辐射警告标志

控制区内各防护门表面、手套箱表面、废物铅桶、保险柜表面设计有符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志，警告无关人员不要靠近和逗留。

⑤单向门及门禁

患者进、出口防护门设计为单向门并设有门禁，入口只进不出，出口只出不进，禁止无关人员进入。

⑥监控及对讲系统

注射后候诊区、SPECT/CT 机房等设置有监控探头，并设计有对讲系统，监控显示器位于控制廊处，实时监控控制区给药后患者情况。SPECT/CT 机房设置有观察窗、监控及对讲系统，工作人员在控制室内可实时观察患者情况，防止意外情况的发生。

⑦自动闭门装置

控制区内各房间防护门设计有自动闭门装置，确保防护门处于常闭状态。

⑧导向标识

控制区入口设计有符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处设计有标明监督区的标志，并标出患者进出口通道和流动路线及文字说明。

⑨双人双锁

储源室内配置保险柜，用于贮存放射性药物，储源室和保险柜钥匙分别由专人保管，做到双人双锁。

⑩其他辐射安全措施

a、工作场所内放射性药物操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。

b、辐射工作人员在控制区内不得进食、饮水、吸烟、化妆，也不得进行无关工作及存放无关物件。

c、更衣缓冲区配备 1 台 α-β 表面沾污仪，辐射工作人员操作放射性药物后离开控制区前进行表面污染监测，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。

d、配备 5 套 0.5mmPb 防护铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品。

（2）介入科 3#导管室

①工作状态指示灯

DSA 机房的患者通道防护门上方设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与患者通道防护门设置门灯联锁装置。

②防夹和闭门装置

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

③电离辐射警告标志

DSA 机房各防护门外表面均设置电离辐射警告标志，提醒无关人员勿靠近机房或在附近逗留。

④监控与对讲装置

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

⑤个人防护用品

DSA 机房配备 4 套 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜和 0.025mmPb 的介入防护手套个人防护用品以及 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏、床侧防护帘辅助防护设施，并为受检者配备 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套个人防护用品。

此外，DSA 机房内的地面与墙壁衔接处无接缝，地面、墙壁、操作台面采用的材质易于清洗、去污。

（3）针对本项目，医院还拟增设如下辐射安全措施：

1）“两区”内安全防护措施

①配备个人剂量计和辐射监测仪器，如表面沾污仪、辐射巡测仪等。

②工作人员离开 3#导管室及留观病房前做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。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。

③^{90}Y 树脂微球介入治疗过程中采取措施（比如用吸水纸等覆盖宜洒落药品的所有区域），避免药品洒落区域污染。

④介入注射完 ^{90}Y 树脂微球后，及时使用辐射监测仪监测，确定导管接口处无残留放射性药物后方可将导管从普通导管中移出，经包裹处理后放入废物铅桶内。

2）应急处置措施

医院拟在介入科 3#导管室内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、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

3）放射性药物管理措施

本项目放射性药物在核医学科进行贮存、活度测量、分装后，再转运至介入科 3#导管室，转运过程中 ^{99m}Tc 药物放置于 8mmPb 注射器铅罐，^{90}Y 药物放置于 15mm 有机玻璃 V 型防护瓶（外盖 0.5mmPb 方巾），工作人员将铅罐/V 型防护瓶固定在不锈钢小推车中送至介入科 3#导管室。

4）^{90}Y 树脂微球患者转移、住院管理措施

由于本项目 ^{90}Y 树脂微球输注场所与 ^{90}Y 树脂微球患者留观病房不在同一楼层，且患者还需转移至核医学科使用 SPECT /CT 融合扫描。患者在转移过程和住院过程中拟采取以下措施进一步减少其辐射影响：

①至少配备 2 套 0.5mmPb 铅方巾，在患者身体肝脏部位覆盖铅方巾。

②给药后患者的转移均使用专用手术电梯，电梯设置门禁，仅支持刷卡使用，转运时对电梯进行临时管制，避免无关人员使用；转移患者时尽量避开人员较为集中的时间段和路线，并在途中采取临时管控措施，快速、平稳地将患者转移至指定场所。

③^{90}Y 树脂微球患者留观病房门口设置电离辐射警告标志，警示周围人群远离专用病房或勿在此逗留，对留观病房进行管控，防止病人在留观期间私自离开病房或无关人员进入。

5）工作人员辐射防护管理措施

①给工作人员配备一系列个人防护用品，如已给负责介入医生配备铅衣、铅围脖、铅眼镜等，已给核医学工作人员配备铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜等。

②转移给药后患者时工作人员穿戴个人防护用品，并保持与患者 1m 以上的距离。

6）SPECT 扫描错时管理措施

^{90}Y 树脂微球治疗病人的 SPECT/CT 扫描与 0 号楼核医学科常规 SPECT/CT 诊断项目错时开展，待 0 号楼核医学科常规 SPECT/CT 诊断结束后，再进行 ^{90}Y 树脂微球治疗病人的 SPECT/CT 扫描，避免患者互相之间不必要的交叉照射。

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。

10.2 三废的治理

1、放射性废水处理措施

（1）患者在注入 ^{99m}Tc 后，不留观，不产生放射性废水。患者在注入 ^{90}Y 树脂微球后，尿液中会有少量的 ^{90}Y 核素排出。患者最大注射活度为 $2.5\times10^{9}Bq$，留观时间一般不超过 24h，留观期间预计排泄 8 次，单次排泄量一般为 200~400mL，则单名患者住院留观期间总排泄量为 1600~3200mL。

Oliver.S.Grosser 等人通过对进行了 ^{90}Y 树脂微球核素治疗的患者（共计 51 例手术〉进行术后 48 小时的排泄物收集、监测和数据研究，并在 2017 年发表的《钇-90 标记树脂基微球放射栓塞后的尿排泄》中列出的患者尿液中 ^{90}Y 核素含量见表 10-4。

表 10-4 注入 ^{90}Y 树脂微球后的患者 48 小时内尿液中 ^{90}Y 核素含量

术后时间段	0—24h	24—48h
排尿量（ml）	1100 范围：300-2600	1225 范围：450-3500
尿液中总活度（kBq）	72.5 范围：13.2-311.0	22.1 范围：2.3-103.9

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 8.6.2 节，不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

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

b）每一次排放的活度不超过 1ALImin，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。每次排放后应做记录并存档。

ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，根据 GB18871-2002 中附录 B1.3.5，对于职业照射，在一定假设下，可将 $I_{j,L}$ 用作 ALI。B1.3.4 中，可由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素 ^{14}C 的年摄入量限值 $I_{j,L}$：

$$I_{j,L}=DL/e_j \qquad （式 10-1）$$

式中：

DL---相应的有效剂量的年剂量限值，一般为 20mSv，本项目保守取 5mSv；

e_j---表 B3 中给出的放射性核素 ^{90}Y 的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值，对于辐射工作人员 ^{90}Y 对应的吸入和食入所致的待积有效剂量最大值为 2.7×10^{-9}Sv/Bq。

根据公式（10-1）及各参数取值，计算得到 ^{90}Y 对应的 ALI 值为 1.85×10^{6}Bq，即 ^{90}Y 的 ALI_{min} 值为 1.85×10^{6}Bq。本项目放射性核素 ^{90}Y 排放导出限值见表 10-5。

表 10-5　放射性核素 ^{90}Y 排放导出限值

序号	核素名称	ALI_{min} 一次排放限值（Bq）	$10ALI_{min}$ 月排放限值（Bq）
1	^{90}Y	1.85×10^{6}	1.85×10^{7}

根据表 10-4，患者在接受 ^{90}Y 树脂微球核素治疗后，0~24h 每例患者尿液中 ^{90}Y 核素总活度最大为 3.11×10^{5}Bq，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中单次放射性废水排放总活度 1.85×10^{6}Bq 的相关要求。本项目介入科每月最多 10 例 ^{90}Y 树脂微球治疗手术，则每月排放总活度为 3.11×10^{6}Bq，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002）中每月排放总活度限值 1.85×10^{7}Bq 的相关要求。

综上所述，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，本项目产生的含有 ^{90}Y 放射性核素的废水可直接排入医院的污水处理系统，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，作为医疗废水进行处置。

2、放射性废气处理措施

本项目使用的 ^{99m}Tc 为分装好的针剂，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

本项目使用的 ^{90}Y 树脂微球绝大多数 ^{90}Y 核素附着在“大孔型结构”的树脂微球表面和内部孔道内，以不溶性固体形式存在，极少量（0.04~0.4%）^{90}Y 核素以游离状态出现在液体中，游离的 ^{90}Y 核素以氯化钇（$^{90}YCl_3$）形式存在，氯化钇不具备挥发性，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

3、放射性固体废物处理措施

本项目核医学科的分装室内、3#导管室内设置废物铅桶，废物铅桶内放有专用塑料袋，核医学科产生的含 ^{90}Y 的放射性固体废物先暂存在分装室的废物铅桶内，3#导管室产生的含 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 的放射性固体废物先暂存在废物铅桶内，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，手术结束后分类收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在核医学科放射性固废间的废物桶（材质为塑料，下同）内衰变，含 ^{99m}Tc 的放射性固体废物暂存至少 30 天，含 ^{90}Y 的放射性固体废物暂存至少 27 天后，并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β 表面沾污小于 0.8Bq/cm²后，作为医院医疗废物统一处理，满足《核医学放射防护要

求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。

医院 0 号楼核医学科的放射性固废间容积约 96m^3（长约 6m、宽约 4m、高约 4m），本项目产生的含 ^{99m}Tc 的放射性固体废物依托核医学科现有含 ^{99m}Tc 的放射性固体废物处置方式进行处置。核医学科放射性固废间内现设置 3 个 ^{99m}Tc 废物桶（单个废物桶容积约 0.5m^3），核医学科现有 SPECT 诊断项目每天产生不超过 0.02 m^3 的含 ^{99m}Tc 的放射性固体废物，本项目每天产生不超过 0.002 m^3 的含 ^{99m}Tc 的放射性固体废物，则本项目运行后，每天产生不超过 0.022 m^3 的含 ^{99m}Tc 的放射性固体废物，每个废物桶能够暂存至少 22 天的废物量，3 个废物桶轮流使用，可使含 ^{99m}Tc 的放射性固体废物在放射性固废间内暂存 44 天，^{99m}Tc 的半衰期为 6.02h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中所含核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间应超过 30 天的要求。

医院拟在核医学科放射性固废间内拟设置 2 个 ^{90}Y 树脂微球治疗专用废物桶，废物桶表面注明核素名称、入库信息等，每个废物桶的容积不小于 0.5m^3，本项目运行后，每天产生不超过 0.01m^3 的含 ^{90}Y 的放射性固体废物，则每个废物桶能够暂存至少 50 天的废物量，2 个废物桶轮流使用，可使含 ^{90}Y 的放射性固体废物在放射性固废间内暂存 50 天，^{90}Y 的半衰期为 2.67 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍的要求。

医院已安排专人负责放射性固体废物的存储和处理，并建立了废物存储和处理台账，详细记录放射性固体废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息，满足放射性固体废物的辐射安全管理要求。

4、非放废物处理措施

（1）本项目核医学科 SPECT/CT 机房设置有机械通风系统，介入科 3#导管室安装有净化通风系统，机房内产生的臭氧和氮氧化物可通过通风系统排出机房外，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响很小。

（2）项目运行期间产生的生活污水将依托医院的污水处理系统进行处置，处理达标后排入城市污水管网。

（3）项目运行期间产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在 DSA 机房内的垃圾桶中，手术结束集中收集后作为医疗废物处理；工作人员工作中产生的少量生活垃圾，依托医院的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

江苏省人民医院新增 ^{90}Y 树脂微球治疗项目依托现有核医学科、介入科及病房开展，现有场所已建好并投入运行，不存在建设阶段环境影响。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 X 射线辐射影响分析

本项目依托介入科3#导管室的DSA血管造影技术将^{90}Y树脂微球通过肝动脉插管直接输注至肿瘤病灶，并依托核医学科的SPECT/CT进行扫描，DSA和SPECT/CT开机出束时，DSA和SPECT/CT中的CT发出X射线。本项目采用理论计算的方法对DSA和SPECT/CT中的CT进行环境影响分析。估算时，DSA机房顶部主要考虑有用线束的辐射影响，且不考虑平板探测器和人体的屏蔽作用，机房四周及底部只考虑非有用线束的辐射影响；SPECT/CT机房顶部和四周主要考虑非有用线束的辐射影响。

1、介入科 3#导管室 X 射线辐射影响分析

（1）DSA 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

本项目 DSA 按额定管电压 125kV 的极端条件核算其机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。按照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 b)给出的计算公式进行计算：

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

式中：

X—不同屏蔽物质的铅当量厚度；

α、β、γ—相应屏蔽物质对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

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

$$B=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad （式 11-2）$$

式中：

B—给定铅厚度的屏蔽透射因子；

α、β、γ—铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X—铅厚度。

根据 GBZ 130-2020 中表 C.2，查取管电压 125kV 有用线束的辐射衰减有关的拟合参数，具体详见表 11-1。

表 11-1 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	α	β	γ
125kV（主束）	铅	2.219	7.923	0.5386
	混凝土	0.03502	0.07113	0.6974

本项目 3#DSA 导管室顶部、底部采用的是 120mm 混凝土屏蔽防护材料，根据公式（11-1）、公式（11-2）计算其屏蔽透射因子及铅当量厚度，计算结果见表 11-2。

表 11-2 机房屏蔽防护材料的屏蔽透射因子 B、铅当量厚度计算结果

屏蔽体	屏蔽透射因子 B	铅当量厚度 X（mm）
120mm 混凝土	3.21×10^{-3}	1.4

根据表 11-2，本项目 3#DSA 导管室屏蔽体等效铅当量见表 11-3。

表 11-3 本项目 3#DSA 导管室屏蔽体等效铅当量一览表

屏蔽体	屏蔽设计参数	等效铅当量（mm）
东墙、西墙、北墙	龙骨架+3mm 铅板	3.0
南墙	240mm 轻质砖+3mm 铅板	3.0
顶部、底部	120mm 砼+3mm 铅板	4.4
防护门	3mm 铅板	3.0
观察窗	3mm 铅当量	3.0

注：轻质砖密度为1g/cm³，砖身带有孔洞，本项目保守不考虑其屏蔽防护。

（2）估算模式

1）有用线束辐射空气比释动能率计算公式

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）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 10.8）进行推导，得到有用线束在关注点处的比释动能率 H 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H=\frac{H_0\cdot I\cdot B}{d^2} \qquad （式 11-3）$$

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），$mGy\cdot m^2\cdot mA^{-1}\cdot min^{-1}$，本项目 DSA 正常使用时的最大管电压 80kV，过滤条件为 0.5mmCu 的 H_0 取值为 $0.8mGy\cdot m^2\cdot mA^{-1}\cdot min^{-1}$；

I—管电流，mA；本项目 DSA 透视、拍片模式下正常使用的最大管电流分别为 20mA、500mA；

d—源至关注点的距离；

B—给定铅厚度的屏蔽透射因子，无量纲，计算公式见公式（11-4）（原公式见GBZ130-2020.公式 C.1）：

$$B=[(1+\frac{\beta}{\alpha})e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}]^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad （式 11-4）$$

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，根据 GBZ 130-2020 表 C.2 所列 70kV～100kV 区间的 X 射线在铅中衰减的拟合参数 α、β、γ 值，分别绘制 α-管电压拟合曲线、β-管电压拟合曲线、γ-管电压拟合曲线，由拟合曲线查取管电压为80kV（本项目正常运行最大管电压）时相应的 α、β、γ 数值，具体见表11-4。

表 11-4 铅对管电压 80kV 的 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
80kV	3.722	21.356	0.699

2）关注点处非有用线束辐射空气比释动能率计算公式

①泄漏辐射空气比释动能率计算公式：

泄漏辐射空气比释动能率$\dot{H}_L$采用下式计算：

$$\dot{H}_L=\frac{H_i \cdot B}{d^2} \qquad （式 11-5）$$

式中，d、B 意义同上：

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

②散射辐射空气比释动能率计算公式

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

$$H_s=\frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \qquad （式 11-6）$$

式中，H_0、I 意义同上：

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，查《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，对于本项目 DSA 正常工作使用电压最大为 80kV 时的 a 查取值为 0.0008（根据《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中管电压为 70kV、100kV、125kV 对应散射角为 90°的 a 值绘制拟合曲线，从曲线查取 80kV 对应的 a 值，底部散射角为 180°，底部对应 a 的值保守取 90°方向的值）；

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

d_0—源至受照点的距离；

d_s—受照体至关注点的距离，m：

B_S—屏蔽材料对散射线的透射因子，按公式（11-4）计算。此处的散射线指本项目最大常用管电压（80kV，即 0.08MV）下有用线束（初级 X 射线）的散射线，其能量偏保守取有用线束侧向（散射角 θ=90º）的一次散射线能量，可借鉴康普顿散射定律计算一次散射线能量 E 与入射的初级 X 射线能量 E_0 之比值为 $E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.08\cdot(1-\cos90º)/0.511]=0.865$，继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为 80kV×0.865=69.2kV，近似取为 70kV，再从 GBZ 130-2020 表 C.2 中查取对应于 70kV 的 α、β、γ 数值（具体见表 11-5），将其代入公式（11-4）计算散射辐射屏蔽透射因子 Bs。

表 11-5　铅对管电压 70kV 的 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
70kV	5.369	23.49	0.5881

（3）计算结果

本项目介入科 3#导管室内辐射源点至机房各侧屏蔽体的距离见图 11-1，机房内辐射源点至机房外关注点的距离见表 11-6。

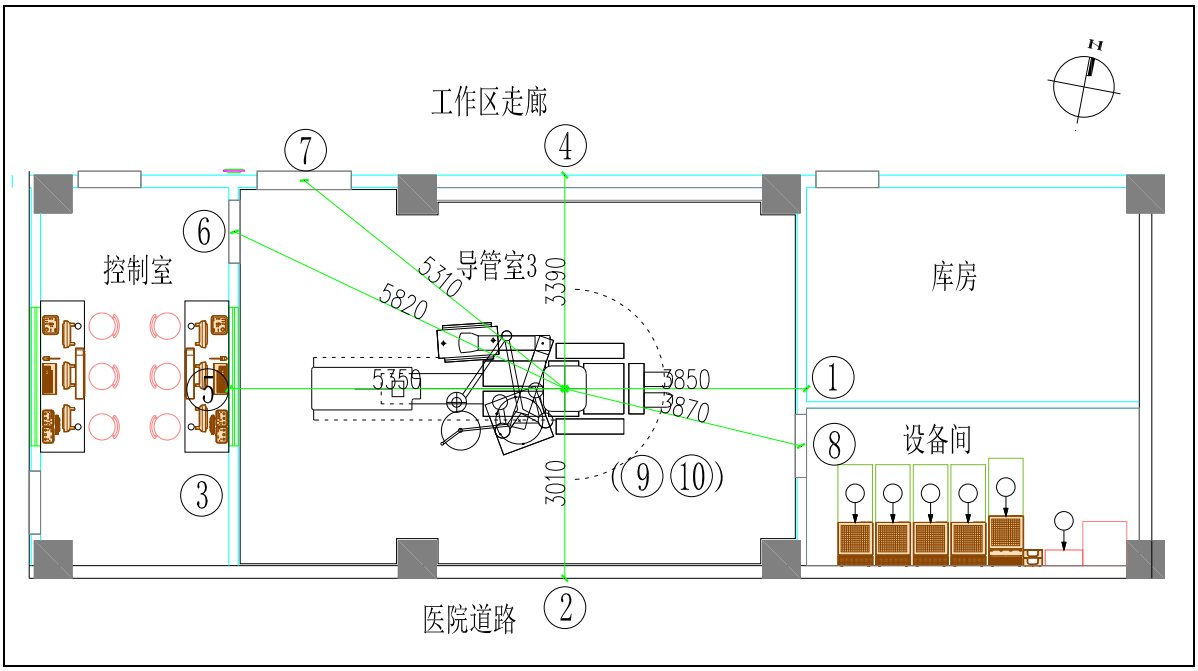


图11-1　介入科3#导管室内辐射源点至机房各侧屏蔽体的距离（单位：mm）

表 11-6 介入科 3#导管室内辐射源点至机房外关注点的距离

	点位	关注点位置	辐射源点至关注点最近距离 d（m）
DSA 机房外	①	机房东墙表面外 30cm（库房、设备间）	4.15
	②	机房南墙表面外 30cm（医院道路）	3.31
	③	机房西墙表面外 30cm（控制室）	5.65
	④	机房北墙表面外 30cm（走廊）	3.69
	⑤	观察窗表面外 30cm（控制室）	5.65
	⑥	医护人员通道防护门表面外 30cm（控制室）	6.12
	⑦	患者通道防护门表面外 30cm（走廊）	5.61
	⑧	设备间防护门表面外 30cm（设备间）	4.17
	⑨	机房楼上地面 30cm（普通病房）	4.2
	⑩	机房楼下地面 1.7m（设备层）	0.6
DSA 机房内	/	第一术者位置	0.5
	/	第二术者位置	1.0

注：一楼层高为 4.2m，地下设备层层高为 2m。

①机房顶部外有用线束辐射空气比释动能率计算

将相关参数代入公式（11-3）和公式（11-4），计算透视、拍片模式下 3#导管室上方公众处有用线束辐射空气比释动能率，计算结果见表 11-7。

表 11-7 介入科 3#导管室关注点处有用线束辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	操作模式	H_0（$\mu Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot h^{-1}$）	I（mA）	B	d（m）	H（μGy/h）
机房楼上地面 30cm（点位 9）	透视	48000	20	5.04×10^{-9}	4.2	2.74×10^{-4}
	拍片	48000	500	5.04×10^{-9}	4.2	6.86×10^{-3}

②机房外各关注点及机房内手术位处泄漏辐射空气比释动能率计算

将相关参数代入公式（11-5），3#导管室外各关注点、机房内手术位处的泄漏辐射空气比释动能率计算结果见表 11-8。

表 11-8 介入科 3#导管室关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	H_i（μGy/h）	R（m）	B	$\dot{H}_L$估算结果（μGy/h）
机房东墙表面外 30cm（点位 1）	1000	4.15	9.24×10^{-7}	5.36×10^{-5}
机房南墙表面外 30cm（点位 2）	1000	3.31	9.24×10^{-7}	8.43×10^{-5}
机房西墙表面外 30cm（点位 3）	1000	5.65	9.24×10^{-7}	2.89×10^{-5}
机房北墙表面外 30cm（点位 4）	1000	3.69	9.24×10^{-7}	6.78×10^{-5}

观察窗表面外 30cm（点位 5）		1000	5.65	9.24×10^{-7}	2.89×10^{-5}
医护人员通道防护门表面外 30cm（点位 6）		1000	6.12	9.24×10^{-7}	2.47×10^{-5}
患者通道防护门表面外 30cm（点位 7）		1000	5.61	9.24×10^{-7}	2.94×10^{-5}
设备间防护门表面外 30cm（点位 8）		1000	4.17	9.24×10^{-7}	5.31×10^{-5}
机房楼下地面 1.7m（点位 10）		1000	0.6	5.04×10^{-9}	1.4×10^{-5}
第一术者	铅衣内	1000	0.5	1.73×10^{-3}	6.93
	铅衣外	1000	0.5	1.48×10^{-2}	59.2
第二术者	铅衣内	1000	1.0	1.73×10^{-3}	1.73
	铅衣外	1000	1.0	1.48×10^{-2}	14.8

③机房外各关注点及机房内手术位处散射辐射空气比释动能率计算

将相关参数代入公式（11-6），3#导管室外各关注点、机房内手术位处的散射辐射空气比释动能率，计算结果见表 11-9。

表 11-9　介入科 3#导管室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（$\mu Gy\cdot m^2\cdot mA^{-1}\cdot h^{-1}$）	I（mA）	Bs	d_0（m）	ds（m）	Hs（μGy/h）
机房东墙表面外 30cm（点位 1）	透视	48000	20	5.79×10^{-9}	0.38	4.15	4.47×10^{-7}
	拍片		500				1.12×10^{-5}
机房南墙表面外 30cm（点位 2）	透视	48000	20	5.79×10^{-9}	0.38	3.31	7.03×10^{-7}
	拍片		500				1.76×10^{-5}
机房西墙表面外 30cm（点位 3）	透视	48000	20	5.79×10^{-9}	0.38	5.65	2.41×10^{-7}
	拍片		500				6.03×10^{-6}
机房北墙表面外 30cm（点位 4）	透视	48000	20	5.79×10^{-9}	0.38	3.69	5.66×10^{-7}
	拍片		500				1.41×10^{-5}
观察窗表面外 30cm（点位 5）	透视	48000	20	5.79×10^{-9}	0.38	5.65	2.41×10^{-7}
	拍片		500				6.03×10^{-6}
医护人员通道防护门表面外 30cm（点位 6）	透视	48000	20	5.79×10^{-9}	0.38	6.12	2.06×10^{-7}
	拍片		500				5.14×10^{-6}
患者通道防护门表面外 30cm（点位 7）	透视	48000	20	5.79×10^{-9}	0.38	5.61	2.45×10^{-7}
	拍片		500				6.12×10^{-6}
设备间防护门表面外 30cm（点位 8）	透视	48000	20	5.79×10^{-9}	0.38	4.17	4.43×10^{-7}
	拍片		500				1.11×10^{-5}

机房楼下地面 1.7m（点位 10）		透视	48000	20	3.15×10^{-12}	0.38	0.98	4.36×10^{-9}
		拍片		500				1.09×10^{-7}
第一术者	铅衣内	透视	48000	20	2.83×10^{-4}	0.38	0.5	1.51
	铅衣外	透视		20	5.34×10^{-3}	0.38	0.5	28.4
第二术者	铅衣内	透视	48000	20	2.83×10^{-4}	0.38	1.0	0.38
	铅衣外	透视		20	5.34×10^{-3}	0.38	1.0	7.11

④关注点处辐射空气比释动能率计算结果叠加

根据表 11-7~表 11-9 计算结果，可得出介入科 3#导管室外各关注点、机房内手术位处的叠加空气比释动能率，计算结果见表 11-10。

表 11-10　介入科 3#导管室外关注点处空气比释动能率叠加计算结果

关注点位置	操作模式	X 射线空气比释动能率（μGy/h）				辐射剂量率（μSv/h）
		有用线束	漏射线	散射线	合计	
机房东墙表面外 30cm（点位 1）	透视	/	5.36×10^{-5}	4.47×10^{-7}	5.4×10^{-5}	9.02×10^{-5}
	拍片	/		1.12×10^{-5}	6.48×10^{-5}	1.08×10^{-4}
机房南墙表面外 30cm（点位 2）	透视	/	8.43×10^{-5}	7.03×10^{-7}	8.5×10^{-5}	1.42×10^{-4}
	拍片	/		1.76×10^{-5}	1.02×10^{-4}	1.7×10^{-4}
机房西墙表面外 30cm（点位 3）	透视	/	2.89×10^{-5}	2.41×10^{-7}	2.91×10^{-5}	4.86×10^{-5}
	拍片	/		6.03×10^{-6}	3.49×10^{-5}	5.83×10^{-5}
机房北墙表面外 30cm（点位 4）	透视	/	6.78×10^{-5}	5.66×10^{-7}	6.84×10^{-5}	1.14×10^{-4}
	拍片	/		1.41×10^{-5}	8.19×10^{-5}	1.37×10^{-4}
观察窗表面外 30cm（点位 5）	透视	/	2.89×10^{-5}	2.41×10^{-7}	2.91×10^{-5}	4.86×10^{-5}
	拍片	/		6.03×10^{-6}	3.49×10^{-5}	5.83×10^{-5}
医护人员通道防护门表面外 30cm（点位 6）	透视	/	2.47×10^{-5}	2.06×10^{-7}	2.49×10^{-5}	4.16×10^{-5}
	拍片	/		5.14×10^{-6}	2.98×10^{-5}	4.98×10^{-5}
患者通道防护门表面外 30cm（点位 7）	透视	/	2.94×10^{-5}	2.45×10^{-7}	2.96×10^{-5}	4.94×10^{-5}
	拍片	/		6.12×10^{-6}	3.55×10^{-5}	5.93×10^{-5}
设备间防护门表面外 30cm（点位 8）	透视	/	5.31×10^{-5}	4.43×10^{-7}	5.35×10^{-5}	8.93×10^{-5}
	拍片	/		1.11×10^{-5}	6.42×10^{-5}	1.07×10^{-4}
机房楼上地面 30cm（点位 9）	透视	2.74×10^{-4}	/	/	2.74×10^{-4}	4.58×10^{-4}
	拍片	6.86×10^{-3}		/	6.86×10^{-3}	1.15×10^{-2}

机房楼下地面 1.7m（点位 10）		透视	/	1.4×10^{-5}	4.36×10^{-9}	1.4×10^{-5}	2.34×10^{-5}
		拍片	/		1.09×10^{-7}	1.41×10^{-5}	2.35×10^{-5}
第一术者	铅衣内	透视	/	6.93	1.51	8.44	14.1
	铅衣外	透视	/	59.2	28.4	87.6	146.3
第二术者	铅衣内	透视	/	1.73	0.38	2.11	3.52
	铅衣外	透视	/	14.8	7.11	21.9	36.6

注：有效剂量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；对于本项目DSA运行时最大常用管电压80kV，查取K值为1.67，下同。

2、核医学科SPECT/CT机房

本项目 0 号楼核医学科 1#SPECT/CT 机房的面积（长 6.545m、宽 5.119m）小于 2#SPECT/CT 机房的面积（长 6.545m、宽 5.878m），故本项目选取面积较小的 1#SPECT/CT 机房进行辐射影响分析。本项目 SPECT/CT 最大管电压均为 150kV，日常使用中管电压范围为 80kV~120kV、管电流为 20mA~200mA，本项目在计算漏射线和散射线辐射影响时，工况保守取 120kV、200mA 进行计算。

（1）1#SPECT/CT 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

针对 CT 发出的 150kV 的 X 射线，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录表 C，核医学科 1#SPECT/CT 机房屏蔽体等效屏蔽铅当量见表 11-11。

表 11-11 本项目核医学科 1#SPECT/CT 机房屏蔽体等效铅当量一览表

屏蔽体	屏蔽设计参数	等效铅当量（mm）
四周墙体	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡防护涂料	约 6
顶部	120mm 砼+10mmPb 硫酸钡防护涂料	11.2
防护门	6mm 铅板	6
观察窗	8mm 铅当量	8

（2）透射比拟合参数的选取

根据 GBZ 130-2020 表 C.2，管电压为 120kV 下铅的 α、β、γ 数值分别为 2.246、5.73、0.547；其散射线能量可借鉴康普顿散射定律计算一次散射线能量 E 与入射的初级 X 射线能量 E_0 之比值为 $E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.08(1-\cos90^{o})/0.511]=0.865$，继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为 120kV×0.865=103.8kV，近似取为 100kV，再从 GBZ 130-2020 表 C.2 中查取对应于 100kV 的 α、β、γ 数值，具体见表 11-12。

表 11-12 铅对管电压 100kV 的 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
100kV	2.507	15.33	0.9124

（3）计算结果

本项目核医学科 1#SPECT/CT 机房内辐射源点至机房各侧屏蔽体的距离见图 11-2，机房内辐射源点至机房外关注点的距离见表 11-13。

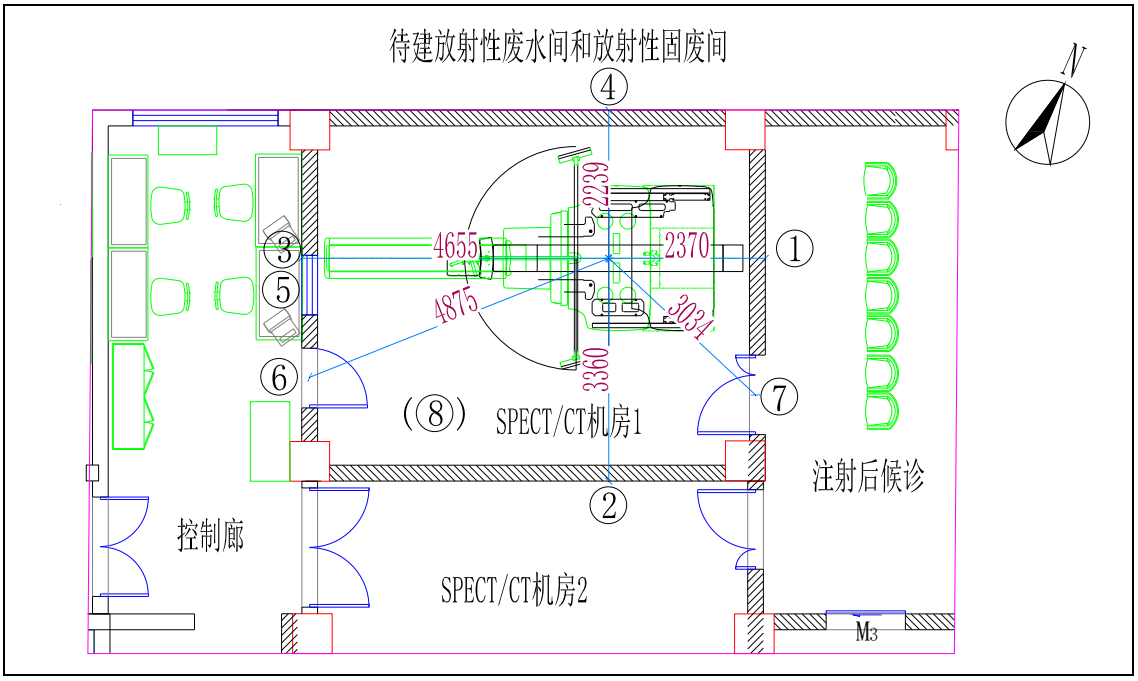


图11-2　核医学科1#SPECT/CT机房内辐射源点至机房各侧屏蔽体的距离（单位：mm）

表 11-13　核医学科 1#SPECT/CT 机房内辐射源点至机房外关注点的距离

点位	关注点位置	辐射源点至关注点距离 d（m）
①	机房东墙表面外 30cm（注射后候诊区）	2.67
②	机房南墙表面外 30cm（2#SPECT/CT 机房）	3.66
③	机房西墙表面外 30cm（控制廊）	4.96
④	机房北墙表面外 30cm（待建的放射性废水间和固废间）	2.54
⑤	观察窗表面外 30cm（控制廊）	4.96
⑥	医护通道防护门表面外 30cm（控制廊）	5.18
⑦	患者通道防护门表面外 30cm（注射后候诊区）	3.33
⑧	机房楼上地面 30cm（甲癌病房卫生通过间和会议室）	4.2

注：一楼层高为 4.2m。

同理，将相关参数分别代入公式（11-5）~公式（11-6），核医学科 1#SPECT/CT 机房外各关注点的空气比释动能率计算结果见表 11-14~表 11-16。

表 11-14 核医学科 1#SPECT/CT 机房关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	H_i（μGy/h）	R（m）	B	$\dot{H}_L$估算结果（μGy/h）
机房东墙表面外 30cm（点位 1）	1000	2.67	1.39×10^{-7}	1.94×10^{-5}
机房南墙表面外 30cm（点位 2）	1000	3.66	1.39×10^{-7}	1.03×10^{-5}
机房西墙表面外 30cm（点位 3）	1000	4.96	1.39×10^{-7}	5.63×10^{-6}
机房北墙表面外 30cm（点位 4）	1000	2.54	1.39×10^{-7}	2.15×10^{-5}
观察窗表面外 30cm（点位 5）	1000	4.96	1.55×10^{-9}	6.3×10^{-8}
医护通道防护门表面外 30cm（点位 6）	1000	5.18	1.39×10^{-7}	5.16×10^{-6}
患者通道防护门表面外 30cm（点位 7）	1000	3.33	1.39×10^{-7}	1.25×10^{-5}
机房楼上地面 30cm（点位 8）	1000	4.2	1.17×10^{-12}	6.65×10^{-11}

表 11-15 核医学科 1#SPECT/CT 机房关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	H_0（μGy·m^2·mA^{-1}·h^{-1}）	I（mA）	a	S（cm^2）	Bs	d_0（m）	ds（m）	Hs（μGy/h）
机房东墙表面外 30cm（点位 1）	540000	200	0.0014	100	3.41×10^{-8}	0.3	2.67	2.01×10^{-3}
机房南墙表面外 30cm（点位 2）	540000	200	0.0014	100	3.41×10^{-8}	0.3	3.66	1.07×10^{-3}
机房西墙表面外 30cm（点位 3）	540000	200	0.0014	100	3.41×10^{-8}	0.3	4.96	5.83×10^{-4}
机房北墙表面外 30cm（点位 4）	540000	200	0.0014	100	3.41×10^{-8}	0.3	2.54	2.22×10^{-3}
观察窗表面外 30cm（点位 5）	540000	200	0.0014	100	2.27×10^{-10}	0.3	4.96	3.87×10^{-6}
医护通道防护门表面外 30cm（点位 6）	540000	200	0.0014	100	3.41×10^{-8}	0.3	5.18	5.35×10^{-4}
患者通道防护门表面外 30cm（点位 7）	540000	200	0.0014	100	3.41×10^{-8}	0.3	3.33	1.29×10^{-3}
机房楼上地面 30cm（点位 8）	540000	200	0.0014	100	7.44×10^{-14}	0.3	3.9	2.06×10^{-9}

表 11-16 核医学科 1#SPECT/CT 机房关注点处空气比释动能率叠加计算结果

关注点位置	漏射辐射（μGy/h）	散射辐射（μGy/h）	叠加辐射（μGy/h）	叠加辐射剂量率（μSv/h）
机房东墙表面外 30cm（点位 1）	1.94×10^{-5}	2.01×10^{-3}	2.03×10^{-3}	3.47×10^{-3}
机房南墙表面外 30cm（点位 2）	1.03×10^{-5}	1.07×10^{-3}	1.08×10^{-3}	1.85×10^{-3}
机房西墙表面外 30cm（点位 3）	5.63×10^{-6}	5.83×10^{-4}	5.89×10^{-4}	1.01×10^{-3}
机房北墙表面外 30cm（点位 4）	2.15×10^{-5}	2.22×10^{-3}	2.24×10^{-3}	3.83×10^{-3}

观察窗表面外 30cm（点位 5）	6.3×10^{-8}	3.87×10^{-6}	3.93×10^{-6}	6.72×10^{-6}
医护通道防护门表面外 30cm（点位 6）	5.16×10^{-6}	5.35×10^{-4}	5.4×10^{-4}	9.23×10^{-4}
患者通道防护门表面外 30cm（点位 7）	1.25×10^{-5}	1.29×10^{-3}	1.3×10^{-3}	2.22×10^{-3}
机房楼上地面 30cm（点位 8）	6.65×10^{-11}	2.06×10^{-9}	2.13×10^{-9}	3.64×10^{-9}

注：有效剂量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；对于本项目SPECT/CT运行时最大常用管电压120kV，K值保守取110kV下的1.71。

根据表 11-10、表 11-16 计算结果可知，介入科 3#导管室周围辐射剂量率最大为 1.15×10^{-2}μSv/h，核医学科 1#SPECT/CT 机房周围辐射剂量率最大为 3.83×10^{-3}μSv/h，各机房现配置的射线装置在运行时所致机房四周墙体、顶部、防护门、观察窗外表面 30cm 处以及底部下方人员可达处辐射剂量率满足不大于 2.5μSv/h 的要求。

11.2.2 ^{99m}Tc γ 射线辐射影响分析

发射 γ 射线的放射性药物，其周围剂量当量率可近似按照点源模式计算，采用《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中公式（I.1）计算参考点周围剂量当量率：

$$K_\alpha = \frac{A\cdot\Gamma}{R^2}\cdot\eta \qquad （式 11-7）$$

上式中：

K_α—周围剂量当量率，μSv/h；

A—放射性药物的活度，MBq；

Γ—周围剂量当量率常数，μSv•m^2/(MBq•h)；

R—距放射源的距离，m；

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

$$\eta=10^{-X/TVL} \qquad （式 11-8）$$

上式中：X —屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），放射性核素 ^{99m}Tc 对应铅、砖、混凝土的什值层见表 11-17。

表 11-17 放射性核素对应屏蔽物质的什值层取值一览表（单位：mm）

核素	铅（11.3g/cm³）	砖（1.65g/cm³）	混凝土（2.35g/cm³）
^{99m}Tc	1	160	110

本项目每位患者 ^{99m}Tc 放射性药物的用药量为 1.85×10^8Bq，将相关参数带入公式（11-7）和公式（11-8），可估算出介入科 3#导管室、核医学科 1#SPECT/CT 机房等各参考点处的辐射水平，计算结果见表 11-18。

表 11-18 本项目 ^{99m}Tc 放射性药物所致各参考点位辐射水平计算结果

参考点位			活度 A（Bq）	衰减距离 R（m）	防护措施	透射比 η	参考点辐射水平（μSv/h）
介入科 3#导管室	1	东墙 表面 30cm	1.85×10^{8}（^{99m}Tc，单名患者最大用药量）	4.15	3mm 铅板	1×10^{-3}	**3.25×10^{-4}**
	2	南墙 表面 30cm		3.31	240mm 轻质砖 +3mm 铅板	1×10^{-3}	**5.12×10^{-4}**
	3	西墙 表面 30cm		5.65	3mm 铅板	1×10^{-3}	**1.76×10^{-4}**
	4	北墙 表面 30cm		3.69	3mm 铅板	1×10^{-3}	**4.12×10^{-4}**
	5	观察窗表面 30cm		5.65	3mmPb 铅玻璃	1×10^{-3}	**1.76×10^{-4}**
	6	医护人员通道防护门 表面 30cm		6.12	3mmPb 防护门	1×10^{-3}	**1.5×10^{-4}**
	7	患者通道防护门表面 30cm		5.61	3mmPb 防护门	1×10^{-3}	**1.78×10^{-4}**
	8	设备间防护门表面 30cm		4.17	3mmPb 防护门	1×10^{-3}	**3.22×10^{-4}**
	9	机房楼上地面 30cm		3.5	120mm 砼 +3mm 铅板	8.11×10^{-5}	**3.71×10^{-5}**
	10	机房楼下地面 1.7m		1.3	120mm 砼 +3mm 铅板	8.11×10^{-5}	**2.69×10^{-4}**
核医学科 1#SPECT /CT 机房	1	东墙 表面 30cm	1.85×10^{8}（^{99m}Tc，单名患者最大用药量）	2.67	240mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	3.16×10^{-6}	**2.49×10^{-6}**
	2	南墙 表面 30cm		3.66	240mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	3.16×10^{-5}	**1.32×10^{-6}**
	3	西墙 表面 30cm		4.96	240mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	3.16×10^{-6}	**7.21×10^{-7}**
	4	北墙 表面 30cm		2.54	240mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	3.16×10^{-6}	**2.75×10^{-6}**
	5	观察窗 表面 30cm		4.96	8mmPb 铅玻璃	1×10^{-8}	**2.28×10^{-9}**
	6	医护通道防护门表面 30cm		5.18	6mmPb 防护门	1×10^{-6}	**2.09×10^{-7}**
	7	患者通道防护门表面 30cm		3.33	6mmPb 防护门	1×10^{-6}	**5.06×10^{-7}**
	8	机房楼上地面 30cm		3.5	120mm 砼 +10mmPb 硫酸钡涂料	8.11×10^{-12}	**3.71×10^{-12}**
^{99m}Tc 药物接收及转运			1.85×10^{8}（^{99m}Tc，单名患者最大用药量）	0.5	8mmPb 注射器铅罐	1×10^{-8}	**2.24×10^{-7}**
DSA 机房内介入手术位				0.5	0.5mmPb 铅衣	0.316	**7.09**
^{99m}Tc 给药后患者转运和摆位				1	0.5mmPb 方巾	0.316	**1.77**

注：忽略介入科 3#导管室南墙 240mm 轻质砖的屏蔽。

根据表 11-18 可知，1.85×10^{8}Bq 的 ^{99m}Tc 放射性药物所致介入科 3#导管室、核医学科 1#SPECT/CT 机房外的辐射剂量率很小，满足房间四周墙体、顶部、防护门、观察窗外表面 30cm 处以及底部下方人员可达处辐射剂量率不大于 2.5μSv/h 的要求。同时，根据单个 ^{99m}Tc 注射器防护铅罐表面 50cm 处的辐射剂量率为 2.24×10^{-7}μSv/h，可推测储源室同时贮存两个 ^{99m}Tc 注射器防护铅罐时，储源室四周墙体、顶部、防护门外表面 30cm 处辐射剂量率也很小，可忽略不计，满足不大于 2.5μSv/h 的要求。

11.2.3 ^{90}Y 放射性药物辐射影响分析

1、β 射线对周围环境的影响

β 粒子在低 Z 物质中的射程，与能量等于 β 粒子最大能量的单能电子的射程是一样的，可以采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.15）进行计算：

$$d \approx R/\rho \qquad （式 11-9）$$

公式中：

d：β 粒子的最大射程，cm；

R：β 粒子在低 Z 物质中的射程，g/cm^2；

ρ：物质的密度，g/cm^3。

本项目 ^{90}Y 核素衰变放出的 β 射线能量约为 2.284MeV，其在低 Z 物质中的射程 R 可根据方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.13）进行计算：

$$R=0.412 \cdot E^{(1.265-0.0954 \cdot \ln E)} \qquad （式 11-10）$$

公式中：E：β 射线能量（MeV）。

根据公式（11-9）和公式（11-10）可估算出本项目 ^{90}Y 核素衰变放出的 β 射线在不同材料中的射程，预测结果见表 11-19。

表 11-19 ^{90}Y 衰变放出的 β 射线在不同材料中的射程

核素	E（MeV）	R（g·cm^{-2}）	材料	密度（g·cm^{-3}）	射程（cm）
^{90}Y	2.284	1.1	有机玻璃	1.18	0.93
			塑料	1.4	0.784
			铅	11.34	0.097
			实心砖	1.65	0.665
			混凝土	2.35	0.467
			普通玻璃	2.5	0.439
			水	1	1.1
			空气	1.293×10^{-3}	849

由表 11-19 可知，放射性核素 ^{90}Y 衰变放出的 β 射线在空气中的射程为 849cm，在未屏蔽情况下对周围环境影响较大，通常使用有机玻璃对其进行屏蔽。

本项目^{90}Y树脂微球装在机玻璃西林瓶内，放置在6.4mmPb的防护罐中，活度测量和分装均在20mmPb的铅手套箱内进行，患者介入注射及留观均在有实体屏蔽的房间内进行，可有效的降低β射线的影响。

2、韧致辐射对周围环境的影响

对于能量为 E 的 β 射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射可采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.21）进行计算：

$$\dot{H}_r=4.58\times10^{-14}A\cdot Z_e\cdot\left(\frac{E_b}{r}\right)^2\cdot\frac{\mu_{en}}{\rho}\cdot q\cdot\eta \qquad （式 11-11）$$

上式中：

$\dot{H}r$ —β 射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射在 r（m）处剂量当量率，Sv/h；

A—放射源活度，Bq；

Z_e—吸收 β 粒子的屏蔽材料有效原子序数，查《辐射防护导论》P129 表 4.4；

μ_{en}/ρ—韧致辐射的平均能量在空气中的质量能量吸收系数，$m^2\cdot kg^{-1}$，可查《辐射防护导论》附表 1；

q—居留因子；

r—参考点到放射源的距离，m；

η—透射比，查《辐射防护导论》附表 9 和附表 11；

E_b—韧致辐射的平均能量，MeV，根据《辐射防护导论》P132“韧致辐射具有连续能谱。在实际屏蔽计算时，可以假定韧致辐射的平均能量 E_b 是入射 β 粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b\approx E_{max}/3$”。

在进行韧致辐射预测时做以下保守假设：①^{90}Y 树脂微球注射入人体后，放射源至参考点之间的屏蔽材料取水（人体）；②居留因子 q 取 1。β 射线所致韧致辐射防护计算参数及预测结果见表 11-20。

表 11-20 β 射线所致韧致辐射剂量预测结果

参考点位			屏蔽防护	A（Bq）	E_b（MeV）	μ_{en}/ρ	Z_e	η	r（m）	参考点处剂量率$\dot{H}_r$估算值（μSv/h）
介入科3#导管室	1	东墙表面30cm	3mm 铅板	2.5×10^9	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.877	4.15	**0.065**
	2	南墙表面30cm	240mm 轻质砖+3mm 铅板	2.5×10^9	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.877	3.31	**0.102**

	3	西墙表面 30cm	3mm 铅板	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.877	5.65	**0.035**
	4	北墙表面 30cm	3mm 铅板	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.877	3.69	**0.082**
	5	观察窗表面 30cm	3mmPb 铅玻璃	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.877	5.65	**0.035**
	6	医护人员通道防护门表面 30cm	3mmPb 防护门	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.877	6.12	**0.03**
	7	患者通道防护门表面 30cm	3mmPb 防护门	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.877	5.61	**0.036**
	8	设备间防护门表面 30cm	3mmPb 防护门	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.877	4.17	**0.065**
	9	机房楼上地面 30cm	120mm 砼+3mm 铅板	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.439	3.5	**0.046**
	10	机房楼下地面 1.7m	120mm 砼+3mm 铅板	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.439	1.3	**0.332**
核医学科 1#SPECT/CT 机房	1	东墙表面 30cm	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡涂料	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.217	2.67	**0.039**
	2	南墙表面 30cm		2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.217	3.66	**0.021**
	3	西墙表面 30cm		2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.217	4.96	**0.011**
	4	北墙表面 30cm		2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.217	2.54	**0.043**
	5	观察窗表面 30cm	8mmPb 铅玻璃	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.556	4.96	**0.029**
	6	医护通道防护门表面 30cm	6mmPb 防护门	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.645	5.18	**0.031**
	7	患者通道防护门表面 30cm	6mmPb 防护门	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.645	3.33	**0.074**
	8	机房楼上地面 30cm	120mm 砼+10mmPb 硫酸钡涂料	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.227	3.5	**0.024**
介入科留观病房	四周墙体表面 30cm		240mm 实心砖	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.282	1.54	**0.152**
	门表面 30cm		普通木门	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	1	3.6	**0.099**
	楼上地面 30cm		120mm 砼	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.5	3.1	**0.067**
	楼下地面 1.7m		120mm 砼	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	0.5	3.1	**0.067**

分装	手套箱人员操作位表面 30cm	20mmPb	3×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	5.85	0.2	0.5	**1.08**
	手套箱非正对人员操作位表面 5cm	20mmPb	3×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	5.85	0.2	0.25	**4.31**
^{90}Y 树脂微球药物接收		6.4mmPb	3×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	5.85	0.645	0.5	**3.48**
^{90}Y 树脂微球药物转运		0.5mmPb 方巾	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	5.85	1	0.5	**4.49**
DSA 机房内介入手术位		0.5mmPb 铅衣	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	1	0.5	**5.12**
^{90}Y 树脂微球给药后患者转运和摆位		0.5mmPb 方巾	2.5×10^{9}	0.761	2.896×10^{-3}	6.66	1	1	**1.28**

注：根据《辐射防护导论》附表 9 和附表 11，由内插法和外推法可得，0.5mm 铅对应的衰减倍数保守取 1；3mm 铅对应的衰减倍数为 1.14；4mm 铅对应的衰减倍数为 1.3；6mm 铅对应的衰减倍数为 1.55；8mm 铅对应的衰减倍数为 1.8；10mm 铅对应的衰减倍数为 2.2；20mm 铅对应的衰减倍数为 5；120mm 砼对应的衰减倍数为 2；保守由密度换算，240mm 实心砖约为 168mm 砼，对应的衰减倍数为 3.55。

根据表 11-20 计算结果可知：

（1）核医学科分装室的手套箱表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 1.08μSv/h，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 4.31μSv/h，满足手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，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）根据手套箱表面 30cm 处辐射剂量率最大为 1.08μSv/h，可推测分装室的四周墙体、顶部、防护门表面 30cm 处的辐射剂量率满足小于 2.5μSv/h 的要求；

（3）注射 2.5×10^{9}Bq 的 ^{90}Y 树脂微球的患者所致介入科 3#导管室、核医学科 1#SPECT/CT 机房、留观病房外的辐射剂量率最大为 0.332μSv/h，均满足房间四周墙体、顶部、防护门、观察窗外表面 30cm 处以及底部下方人员可达处辐射剂量率不大于 2.5μSv/h 的要求。

（4）根据单个 ^{90}Y 树脂微球药物铅罐表面 50cm 处辐射剂量率为 3.48μSv/h，可计算出储源室同时贮存两个 ^{90}Y 树脂微球药物铅罐时，储源室东、南墙外表面 30cm 处辐射剂量率最大为 0.06μSv/h，西、北墙外表面 30cm 处辐射剂量率最大为 0.378μSv/h，顶部外表面 30cm 处辐射剂量率为 0.025μSv/h，防护门外表面 30cm 处辐射剂量率最大为 0.498μSv/h，均满足不大于 2.5μSv/h 的要求。

11.2.4 叠加辐射影响分析

本项目介入科 3#导管室、核医学科 1#SPECT/CT 机房除考虑放射性核素对机房外的辐射影响外，还需同时考虑机房内射线装置开机对机房外的辐射影响。根据表 11-10、表 11-16 和表 11-18，本项目在进行 ^{99m}Tc 放射性药物介入手术和 SPECT/CT 扫描时，介入科

3#导管室、核医学科 1#SPECT/CT 机房外的叠加辐射影响见表 11-21。

表 11-21 机房外关注点处叠加辐射剂量率计算结果（μSv/h）

关注点位置		操作模式	射线装置所致机房外辐射剂量率	核素 ^{99m}Tc 所致机房外辐射剂量率	叠加辐射剂量率	控制限值
介入科 3#导管室	机房东墙表面外 30cm（点位 1）	透视	9.02×10^{-5}	3.25×10^{-4}	4.15×10^{-4}	2.5
		拍片	1.08×10^{-4}		4.33×10^{-4}	
	机房南墙表面外 30cm（点位 2）	透视	1.42×10^{-4}	5.12×10^{-4}	6.54×10^{-4}	
		拍片	1.7×10^{-4}		6.82×10^{-4}	
	机房西墙表面外 30cm（点位 3）	透视	4.86×10^{-5}	1.76×10^{-4}	2.25×10^{-4}	
		拍片	5.83×10^{-5}		2.34×10^{-4}	
	机房北墙表面外 30cm（点位 4）	透视	1.14×10^{-4}	4.12×10^{-4}	5.26×10^{-4}	
		拍片	1.37×10^{-4}		5.49×10^{-4}	
	观察窗表面外 30cm（点位 5）	透视	4.86×10^{-5}	1.76×10^{-4}	2.25×10^{-4}	
		拍片	5.83×10^{-5}		2.34×10^{-4}	
	医护人员通道防护门表面外 30cm（点位 6）	透视	4.16×10^{-5}	1.5×10^{-4}	1.92×10^{-4}	
		拍片	4.98×10^{-5}		2×10^{-4}	
	患者通道防护门表面外 30cm（点位 7）	透视	4.94×10^{-5}	1.78×10^{-4}	2.27×10^{-4}	
		拍片	5.93×10^{-5}		2.37×10^{-4}	
	设备间防护门表面外 30cm（点位 8）	透视	8.93×10^{-5}	3.22×10^{-4}	4.11×10^{-4}	
		拍片	1.07×10^{-4}		4.29×10^{-4}	
	机房楼上地面 30cm（点位 9）	透视	4.58×10^{-4}	3.71×10^{-5}	4.95×10^{-4}	
		拍片	1.15×10^{-2}		1.15×10^{-2}	
	机房楼下地面 1.7m（点位 10）	透视	2.34×10^{-5}	2.69×10^{-4}	2.92×10^{-4}	
		拍片	2.35×10^{-5}		2.93×10^{-4}	
核医学科 1#SPECT/CT 机房	机房东墙表面外 30cm（点位 1）	/	3.47×10^{-3}	2.49×10^{-6}	3.47×10^{-3}	2.5
	机房南墙表面外 30cm（点位 2）	/	1.85×10^{-3}	1.32×10^{-6}	1.85×10^{-3}	
	机房西墙表面外 30cm（点位 3）	/	1.01×10^{-3}	7.21×10^{-7}	1.01×10^{-3}	
	机房北墙表面外 30cm（点位 4）	/	3.83×10^{-3}	2.75×10^{-6}	3.83×10^{-3}	
	观察窗表面外 30cm（点位 5）	/	6.72×10^{-6}	2.28×10^{-9}	6.72×10^{-6}	

	医护通道防护门表面外 30cm（点位 6）	/	9.23×10^{-4}	2.09×10^{-7}	9.23×10^{-4}	
	患者通道防护门表面外 30cm（点位 7）	/	2.22×10^{-3}	5.06×10^{-7}	2.22×10^{-3}	
	机房楼上地面 30cm（点位 8）	/	3.64×10^{-9}	3.71×10^{-12}	3.64×10^{-9}	

根据表 11-10、表 11-16 和表 11-20，本项目在进行 ^{90}Y 树脂微球介入手术和 SPECT/CT 扫描时，介入科 3#导管室、核医学科 1#SPECT/CT 机房外的叠加辐射影响见表 11-22。

表 11-22 机房外关注点处叠加辐射剂量率计算结果（μSv/h）

关注点位置		操作模式	射线装置所致机房外辐射剂量率	核素 ^{90}Y 所致机房外辐射剂量率	叠加辐射剂量率	控制限值
介入科 3#导管室	机房东墙表面外 30cm（点位 1）	透视	9.02×10^{-5}	0.065	0.065	2.5
		拍片	1.08×10^{-4}		0.065	
	机房南墙表面外 30cm（点位 2）	透视	1.42×10^{-4}	0.102	0.102	
		拍片	1.7×10^{-4}		0.102	
	机房西墙表面外 30cm（点位 3）	透视	4.86×10^{-5}	0.035	0.035	
		拍片	5.83×10^{-5}		0.035	
	机房北墙表面外 30cm（点位 4）	透视	1.14×10^{-4}	0.082	0.082	
		拍片	1.37×10^{-4}		0.082	
	观察窗表面外 30cm（点位 5）	透视	4.86×10^{-5}	0.035	0.035	
		拍片	5.83×10^{-5}		0.035	
	医护人员通道防护门表面外 30cm（点位 6）	透视	4.16×10^{-5}	0.03	0.03	
		拍片	4.98×10^{-5}		0.03	
	患者通道防护门表面外 30cm（点位 7）	透视	4.94×10^{-5}	0.036	0.036	
		拍片	5.93×10^{-5}		0.036	
	设备间防护门表面外 30cm（点位 8）	透视	8.93×10^{-5}	0.065	0.065	
		拍片	1.07×10^{-4}		0.065	
	机房楼上地面 30cm（点位 9）	透视	4.58×10^{-4}	0.046	0.046	
		拍片	1.15×10^{-2}		0.058	
	机房楼下地面 1.7m（点位 10）	透视	2.34×10^{-5}	0.332	0.332	
		拍片	2.35×10^{-5}		0.332	

核医学科1#SPECT/CT机房	机房东墙表面外30cm（点位1）	/	3.47×10^{-3}	0.039	0.042	2.5
	机房南墙表面外30cm（点位2）	/	1.85×10^{-3}	0.021	0.023	
	机房西墙表面外30cm（点位3）	/	1.01×10^{-3}	0.011	0.012	
	机房北墙表面外30cm（点位4）	/	3.83×10^{-3}	0.043	0.047	
	观察窗表面外30cm（点位5）	/	6.72×10^{-6}	0.029	0.029	
	医护通道防护门表面外30cm（点位6）	/	9.23×10^{-4}	0.031	0.032	
	患者通道防护门表面外30cm（点位7）	/	2.22×10^{-3}	0.074	0.076	
	机房楼上地面30cm（点位8）	/	3.64×10^{-9}	0.024	0.024	

根据表11-21和表11-22计算结果可知，本项目介入科3#导管室、核医学科1#SPECT/CT机房叠加射线装置所致机房外的辐射剂量率和放射性核素所致机房外的辐射剂量率后，仍能满足本项目辐射剂量率的管理限值。同时可推测，核医学科2#SPECT/CT机房叠加射线装置所致机房外的辐射剂量率和放射性核素所致机房外的辐射剂量率后，也仍能满足本项目辐射剂量率的管理限值。

11.2.5 β表面沾污辐射影响分析

β表面沾污的影响主要来源于液体放射性药物操作时打翻、漏洒造成地面、台面、设备仪器表面污染，对周围环境产生辐射影响。因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的β表面污染水平达到GB18871-2002规定的要求，医院拟采取以下防护措施：

①使用、操作放射性物质的工作人员接受相关培训，具备相应的技能与防护知识；

②开瓶、转移等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作在手套箱内进行；

③操作液体放射性物质在易去除污染的工作台上进行，并铺以吸水性好的材料；

④不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

⑤放射性药品存放在专用柜内，做到防盗、防水、防火，柜外粘贴电离辐射标志；

⑥严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随意进入控制区以及患者在留观病房外随意走动；

⑦放射性操作之后对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检测，如β表面污染水平超过GB18871-2002规定值，暂停开展相关业务，去污经监测符合标准后方可重新开展工作。

11.3 保护目标剂量评价

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{Eff}=K_a \cdot t \cdot T \cdot U \qquad （式 11-12）$$

上式中：

D_{Eff}－参考点人员有效剂量（Sv）；

K_α－参考点的周围剂量当量率（$Sv \cdot h^{-1}$）；

t－参考点处受照时间（h）；

T－居留因子；

U－使用因子，本项目取 1。

11.3.1 辐射工作人员年有效剂量评价

1、本项目所致辐射工作人员剂量评价

（1）DSA所致介入医生年有效剂量估算

本项目介入科 3#导管室的 DSA 运行期间所致介入医生年有效剂量可根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中公式进行估算，估算方法如下：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \qquad （式 11-13）$$

式中：

E－有效剂量中的外照射分量，单位为 mSv；

α－系数，本项目取有甲状腺屏蔽时的系数 0.79；

H_u－铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的H_P（10），单位为 mSv；

β－系数，本项目取有甲状腺屏蔽时的系数 0.051；

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

将相关参数代入公式（11-13），可计算本项目投入运行后，3#导管室的 DSA 运行期间所致本项目介入医生年有效剂量，计算结果见表 11-23。

表 11-23 DSA 运行所致介入医生年有效剂量估算结果

工作人员	位置	α	β	辐射剂量率（μSv/h）		年照射时间（h）	年有效剂量（mSv）
				部位	散射线和漏射线合计		
3#导管室	第一术者	0.79	0.051	铅衣内	14.1	83.3	1.55
				铅衣外	146.3		
	第二术者			铅衣内	3.52		0.387
				铅衣外	36.6		

根据表 11-23 计算结果可知，本项目投入运行后，3#导管室的 DSA 运行所致本项目介入医生年有效剂量最大为 1.55mSv，满足职业人员年受照剂量不超过 5mSv 的要求。

（2）本项目所致辐射工作人员剂量汇总评价

根据本项目劳动定员和工作负荷（第 9.1.4 节），将相关参数代入公式（11-12），本项目所致辐射工作人员年有效剂量计算结果见表 11-24。

表 11-24 本项目所致辐射工作人员年有效剂量估算结果

保护目标	参考点位置	参考点辐射剂量率（μSv/h）	年工作时间（h）	居留因子	年有效剂量(mSv)	叠加年有效剂量(mSv)
核医学科药物操作人员	^{99m}Tc 药物接收	2.24×10^{-7}	2.5	1	5.6×10^{-10}	**0.061**
	^{99m}Tc 药物转运至 3#导管室	2.24×10^{-7}	12.5	1	2.8×10^{-9}	
	^{90}Y 树脂微球药物接收	3.48	1.67	1	0.006	
	^{90}Y 树脂微球活度测量、分装	1.08	16.7	1	0.018	
	^{90}Y 树脂微球药物转运至 3#导管室	4.49	8.33	1	0.037	
核医学科 SPECT /CT 操作技师	^{99m}Tc 给药后患者摆位	1.77	2.5	1	4.43×10^{-3}	**0.008**
	^{99m}Tc 给药后患者扫描	6.72×10^{-6}	50	1	3.36×10^{-7}	
	^{90}Y 树脂微球给药后患者摆位	1.28	1.67	1	2.14×10^{-3}	
	^{90}Y 树脂微球给药后患者扫描	0.029	33.3	1	9.66×10^{-4}	
介入科介入医生	^{99m}Tc 给药后患者所致剂量	7.09	300（每年共 150 台手术，单台不超过 2h）	1	2.13	**4.19**
	^{90}Y 树脂微球给药后患者所致剂量	5.12	100（每年共 100 台手术，单台不超过 1h）	1	0.512	
	本项目介入手术 DSA 所致最大剂量	/	/	/	1.55	
介入科 3#导管室操作技师	^{99m}Tc 给药后患者所致剂量	1.76×10^{-4}	300（每年共 150 台手术，单台不超过 2h）	1	5.28×10^{-5}	**3.56×10^{-3}**
	^{90}Y 树脂微球给药后患者所致剂量	0.035	100（每年共 100 台手术，单台不超过 1h）	1	3.5×10^{-3}	

	本项目介入手术DSA所致剂量	4.86×10^{-5}（DSA透视所致剂量率）	83.3（DSA年透视时间）	1	4.05×10^{-6}	
		5.83×10^{-5}（DSA拍片所致剂量率）	8.33（DSA年拍片时间）	1	4.86×10^{-7}	
介入科护士	^{99m}Tc给药后患者转运	1.77	25	1	0.044	**0.624**
	^{90}Y树脂微球给药后患者转运	1.28	50	1	0.064	
	^{90}Y树脂微球给药后患者护理	1.28	400	1	0.512	
	本项目介入手术所致剂量	/	/	/	3.56×10^{-3}	

注：药物输注时间相对整台手术时间较短，整台手术所致剂量保守按药物注入患者体内后的剂量率进行计算。

根据表 11-24 可知，本项目投入运行后，本项目辐射工作所致核医学科辐射工作人员年有效剂量最大为 0.061mSv；所致介入科介入医生年有效剂量最大为 4.19mSv、操作技师年有效剂量最大为 3.56×10^{-3}mSv、护士年有效剂量最大为 0.624mSv，均满足职业人员年受照剂量不超过 5mSv 的要求。

2、现有辐射工作所致辐射工作人员剂量评价

本项目共拟配备12名辐射工作人员，其中10名从医院核医学科、介入科现有辐射工作人员中抽调，另外2名为新增辐射工作人员。根据医院提供的现有辐射工作人员在2021年1月1日至2021年12月30日期间的个人剂量检测报告，现有辐射工作所致本项目拟抽调的10名辐射工作人员年有效剂量为（＜MDL~0.74）mSv，具体见表11-25。

表 11-25 医院拟抽调的辐射工作人员个人累积剂量监测结果（单位：mSv）

序号	姓名	2021.1.1~2021.3.30	2021.4.1~2021.6.30	2021.7.1~2021.9.30	2021.10.1~2021.12.30	累积剂量（mSv）	在本项目中拟担任岗位
1	柳卫	0.05	＜MDL	0.17	0.05	0.27	核医学科药物操作人员
2	傅昌文	0.04	＜MDL	0.14	0.05	0.23	
3	陈建伟	＜MDL	＜MDL	0.11	＜MDL	0.11	核医学科SPECT/CT操作技师
4	冯建林	＜MDL	＜MDL	0.15	＜MDL	0.15	
5	程旭	＜MDL	＜MDL	0.20	0.05	0.25	
6	袁孝军	＜MDL	＜MDL	0.11	＜MDL	0.11	
7	周卫忠	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	介入科介入医生
8	祖庆泉	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	
9	叶伟	＜MDL	＜MDL	0.04	＜MDL	0.04	介入科操作技师
10	熊礼恒	＜MDL	＜MDL	＜MDL	0.38	0.38	

注：#名义剂量。

3、叠加辐射影响所致辐射工作人员剂量分析

根据表 11-24 和表 11-25 可知，本项目投入运行后，现有辐射工作和本项目辐射工作所致核医学科辐射工作人员叠加年有效剂量最大为 0.331mSv（0.27mSv+0.061mSv）；所致介入科介入医生叠加年有效剂量最大为 4.19mSv、操作技师叠加年有效剂量最大为 0.384mSv（0.38mSv+3.56×10^{-3}mSv）、护士年有效剂量最大为 0.624mSv，仍能满足职业人员年受照剂量不超过 5mSv 的要求。

11.3.2 公众年有效剂量评价

1、本项目所致公众剂量评价

根据公式（11-12），本项目所致周围公众年有效剂量计算结果见表 11-26。

表 11-26 本项目所致周围公众年有效剂量估算结果

保护目标	参考点位置	参考点辐射剂量率（μSv/h）	年工作时间（h）	居留因子	年有效剂量(mSv)	叠加年有效剂量(mSv)
核医学科储源室周围公众	储源室东侧、南侧通道	0.06	2400（每组贮存不超过 2 天，共 50 组）	1/16	0.009	0.009
	储源室楼上甲癌病房	0.025	120（患者一周住院时间）	1	0.003	0.003
核医学科分装室周围公众	分装室东侧通道	1.08（保守取手套箱表面剂量率）	16.7（年最大分装时间）	1/16	1.13×10^{-3}	1.13×10^{-3}
	分装室北侧患者入口缓冲区			1/16	1.13×10^{-3}	1.13×10^{-3}
	分装室楼上甲癌病房		1.67（周最大分装时间）	1	1.8×10^{-3}	1.8×10^{-3}
核医学科 SPECT/CT 机房周围公众	机房北侧待建放射性废水间和国废间	3.83×10^{-3}（^{99m}Tc 给药后患者扫描所致总剂量率）	50（^{99m}Tc 年扫描时间）	1/16	1.2×10^{-5}	1.1×10^{-4}
		0.047（^{90}Y 树脂微球给药后患者扫描所致总剂量率）	33.3（^{90}Y 年扫描时间）	1/16	9.78×10^{-5}	
	核医学科南侧通道	1.85×10^{-3}（^{99m}Tc 给药后患者扫描所致总剂量率）	50（^{99m}Tc 年扫描时间）	1/16	5.78×10^{-6}	5.37×10^{-5}
		0.023（^{90}Y 树脂微球给药后患者扫描所致总剂量率）	33.3（^{90}Y 年扫描时间）	1/16	4.79×10^{-5}	
	机房楼上甲癌病房卫生通过间、会议室、护士站	3.64×10^{-9}（^{99m}Tc 给药后患者扫描所致总剂量率）	50（^{99m}Tc 年扫描时间）	1	1.82×10^{-10}	7.99×10^{-4}
		0.024（^{90}Y 树脂微球给药后患者扫描所致总剂量率）	33.3（^{90}Y 年扫描时间）	1	7.99×10^{-4}	

介入科3#导管室周围公众	机房东侧库房	3.25×10^{-4}（^{99m}Tc 给药后患者所致剂量率）	300（^{99m}Tc 年手术时间）	1/16	6.09×10^{-6}	4.13×10^{-4}
		0.065（^{90}Y 树脂微球给药后患者所致剂量率）	100（^{90}Y 年手术时间）	1/16	4.06×10^{-4}	
		9.02×10^{-5}（DSA 透视所致剂量率）	83.3（DSA 年透视时间）	1/16	4.7×10^{-7}	
		1.08×10^{-4}（DSA 拍片所致剂量率）	8.33（DSA 年拍片时间）	1/16	5.62×10^{-8}	
	机房南侧医院道路	5.12×10^{-4}（^{99m}Tc 给药后患者所致剂量率）	300（^{99m}Tc 年手术时间）	1/16	9.6×10^{-6}	6.48×10^{-4}
		0.102（^{90}Y 树脂微球给药后患者所致剂量率）	100（^{90}Y 年手术时间）	1/16	6.38×10^{-4}	
		1.42×10^{-4}（DSA 透视所致剂量率）	83.3（DSA 年透视时间）	1/16	7.39×10^{-7}	
		1.7×10^{-4}（DSA 拍片所致剂量率）	8.33（DSA 年拍片时间）	1/16	8.85×10^{-8}	
	机房北侧走廊	4.12×10^{-4}（^{99m}Tc 给药后患者所致剂量率）	300（^{99m}Tc 年手术时间）	1/16	7.73×10^{-6}	5.21×10^{-4}
		0.082（^{90}Y 树脂微球给药后患者所致剂量率）	100（^{90}Y 年手术时间）	1/16	5.13×10^{-4}	
		1.14×10^{-4}（DSA 透视所致剂量率）	83.3（DSA 年透视时间）	1/16	5.94×10^{-7}	
		1.37×10^{-4}（DSA 拍片所致剂量率）	8.33（DSA 年拍片时间）	1/16	7.13×10^{-8}	
	机房楼上病房	3.71×10^{-5}（^{99m}Tc 给药后患者所致剂量率）	20（周最大手术时间）	1	7.42×10^{-7}	4.74×10^{-4}
		0.046（^{90}Y 树脂微球给药后患者所致剂量率）	10（周最大手术时间）	1	4.6×10^{-4}	
		4.58×10^{-4}（DSA 透视所致剂量率）	8.33（DSA 周透视时间）	1	3.82×10^{-6}	
		1.15×10^{-2}（DSA 拍片所致剂量率）	0.833（DSA 周拍片时间）	1	9.58×10^{-6}	

	机房楼下设备层	2.69×10^{-4}（^{99m}Tc 给药后患者所致剂量率）	300（^{99m}Tc 年手术时间）	1/16	5.04×10^{-6}	2.09×10^{-3}
		0.332（^{90}Y 树脂微球给药后患者所致剂量率）	100（^{90}Y 年手术时间）	1/16	2.08×10^{-3}	
		2.34×10^{-5}（DSA 透视所致剂量率）	83.3（DSA 年透视时间）	1/16	1.22×10^{-7}	
		2.35×10^{-5}（DSA 拍片所致剂量率）	8.33（DSA 年拍片时间）	1/16	1.22×10^{-8}	
介入科留观病房周围公众	2 号留观病房东侧医生办公室	0.152	400（每间留观病房留观 50 名患者，每名患者留观不超过 1d，医生每天工作 8h）	1	0.061	0.061
	1 号留观病房西侧医生办公室	0.152		1	0.061	0.061
	留观病房南侧走廊	0.152	1200（每间留观病房留观 50 名患者，每名患者留观不超过 1d）	1/16	0.011	0.011
	留观病房楼上病房	0.067	120（普通病房，住院时间约 1 周）	1	0.008	0.008
	留观病房楼下病房	0.067		1	0.008	0.008
^{99m}Tc 药物转运过程路上行人		2.24×10^{-7}	12.5（^{99m}Tc 年转运时间）	1/16	1.75×10^{-10}	9.11×10^{-3}
^{99m}Tc 给药后患者转运过程路上行人		1.77	25（^{99m}Tc 给药后患者年转运时间）	1/16	2.77×10^{-3}	
^{90}Y 树脂微球药物转运过程路上行人		4.49	8.33（^{90}Y 年转运时间）	1/16	2.34×10^{-3}	
^{90}Y 树脂微球给药后患者转运过程路上行人		1.28	50（^{90}Y 给药后患者年转运时间）	1/16	4×10^{-3}	

注：介入科留观病房北侧为大楼外墙，人员不可达。

根据表 11-26 可知，本项目所致核医学科周围公众年有效剂量最大为 0.009mSv，所致介入科 3#导管室周围公众年有效剂量最大为 2.09×10^{-3}mSv，所致介入科留观病房周围

公众年有效剂量最大为 0.061mSv，放射性药物和给药后患者转运过程所致周围公众年有效剂量最大为 9.11×10^{-3}mSv，均满足公众年受照剂量不超过 0.1mSv 的要求。

2、本项目依托现有辐射工作场所所致公众剂量评价

根据医院 0 号楼核医学科的验收监测报告（（2019）苏核辐科（验）字第（0030）号），该核医学科正常运行情况下，所致周围辐射剂量率为（89~366）nSv/h，所致周围公众年有效剂量最大约为 0.025mSv。

根据医院提供的介入科 3#导管室的年度检测报告（检测编号：（放卫）20220256），Innova IGS5-4 型 DSA 在透视情况下，机房外的辐射剂量率最大值为 0.1μSv/h，所致周围公众年有效剂量最大约为 1.25×10^{-3}mSv。

3、叠加辐射影响所致周围公众剂量分析

本项目投入运行后，现有辐射工作和本项目辐射工作所致核医学科周围公众叠加年有效剂量最大为 0.034mSv（0.025mSv+0.009mSv），所致介入科 3#导管室周围公众叠加年有效剂量最大为 3.34×10^{-3}mSv（1.25×10^{-3}mSv+2.09×10^{-3}mSv），仍能满足公众年受照剂量不超过 0.1mSv 的要求。

11.4 患者出院管理评价

根据《核医学辐射防护与安全》（HJ1188-2021）中表 B.1 可知，^{90}Y 给药患者出院时体内放射性活度要求为≤2.5×10^{9}Bq，而本项目单名患者最大输注 ^{90}Y 树脂微球活度为 2.5×10^{9}Bq，能够满足《核医学辐射防护与安全》（HJ1188-2021）中患者出院时体内放射性活度的要求。

11.5 三废的治理评价

1、放射性废水处理措施评价

患者在注入 ^{99m}Tc 后，不留观，不产生放射性废水。患者在注入 ^{90}Y 树脂微球后，尿液中会有少量的 ^{90}Y 核素排出。根据《钇-90 标记树脂基微球放射栓塞后的尿排泄》，患者在接受 ^{90}Y 树脂微球核素治疗后，0~24h 每例患者尿液中 ^{90}Y 核素总活度最大为 3.11×10^{5}Bq，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002）中单次放射性废水排放总活度 1.85×10^{6}Bq 的相关要求。本项目介入科每月最多开展 10 例 ^{90}Y 树脂微球治疗手术，则每月排放总活度为 3.11×10^{6}Bq，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002）中每月排放总活度限值 1.85×10^{7}Bq 的相关要求。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，本项目产生的含有 ^{90}Y 放射性核素的废水可直接排入医院的污水处理系统，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，作为医疗废水进行处置，对周围环境辐射影响很小。

2、放射性废气处理措施评价

本项目使用的 ^{99m}Tc 为分装好的针剂，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

本项目使用的 ^{90}Y 树脂微球绝大多数 ^{90}Y 核素附着在“大孔型结构”的树脂微球表面和内部孔道内，以不溶性固体形式存在，极少量（0.04~0.4%）^{90}Y 核素以游离状态出现在液体中，游离的 ^{90}Y 核素以氯化钇（$^{90}YCl_3$）形式存在，氯化钇不具备挥发性，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

3、放射性固体废物处理措施评价

本项目核医学科的分装室内、3#导管室内设置废物铅桶，废物铅桶内放有专用塑料袋，核医学科产生的含 ^{90}Y 的放射性固体废物先暂存在分装室的废物铅桶内，3#导管室产生的含 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 的放射性固体废物先暂存在废物铅桶内，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，手术结束后分类收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在核医学科的放射性固废间的废物桶内，含 ^{99m}Tc 的放射性固体废物暂存至少 30 天，含 ^{90}Y 的放射性固体废物暂存至少 27 天后，并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β 表面沾污小于 0.8Bq/cm²后，作为医院医疗废物统一处理，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求，对周围环境辐射影响很小。

本项目在手术中放射性药物注射完毕后，再推注无菌水，冲洗导管，避免放射性药物残留在导管内，放射性固体废物本身沾染的放射性核素活度浓度较低，每天产生的放射性固体废物较少，经过 10mmPb 的废物铅桶或放射性固废间的屏蔽后，废物铅桶或放射性固废间表面 30cm 处的辐射剂量率可满足小于 2.5μSv/h 的要求，对周围环境辐射影响很小。

4、非放废物处理措施评价

（1）本项目核医学科 SPECT/CT 机房设置有机械通风系统，介入科 3#导管室安装有净化通风系统，机房内产生的臭氧和氮氧化物可通过通风系统排出机房外，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响很小。

（2）项目运行期间产生的生活污水将依托医院的污水处理系统进行处置，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响很小。

（3）项目运行期间产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在 DSA 机房内的垃圾桶中，手术结束集中收集后作为医疗废物处理；工作人员工作中产生的少量生活垃圾，依托医院的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理，对周围环境影响很小。

采取上述措施后，本项目的废物处置方式合理恰当，能够满足当前环保管理的要求。

11.6 事故影响分析

1、本项目可能产生的辐射事故主要有：

（1）给药后患者未按要求在相应的病房内留观，在病房以外的区域随意走动，导致公众受到照射。

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

（3）辐射工作人员误操作，导致放射性药物漏洒造成操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污。

（4）辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射。

（5）DSA 正常工作时，人员误留、误入机房，导致发生误照射。

（6）放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短，即进行擅自处理，可能对环境造成污染。

2、事故预防措施

（1）给药前，医生对患者进行健康教育，加强对给药后患者的管理，避免给药后患者在留观病房外随意走动。

（2）制定放射性药物安全管理制度，在日常工作中，设置专人负责放射性药物的管理，做好日常检查，防止放射性药物丢失、被盗。

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

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

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

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

3、应急处理措施

（1）一旦发现给药后患者在留观病房外随意走动，工作人员应立刻告知，使给药后患者回到留观病房内。

（2）当发生放射性药物丢失、被盗时，应立即启动本单位辐射事故应急措施，第一

时间将事故情况通报有关主管部门（生态环境、公安、卫生健康等），向主管部门提供有用线索，并积极配合主管部门查找丢失的放射性药物。

（3）当发生液态放射性药物泼洒、泄漏导致的表面沾污事故时，应及时去污，尽量转移至放射性固废。如：迅速用吸附衬垫或滤纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。去污结束后，需用α-β表面沾污仪测量污染区，如果β表面污染大于40Bq/cm^2，表明该污染区未达到去污控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区β表面污染小于40Bq/cm^{2}为止。

（4）当放射性药物或放射性废物管理或处置不当造成污染时，应立即划定警戒区，设置放射性污染标识，限制人员随意走动或靠近，由专业人员处理，根据现场辐射强度，确定工作人员在现场处置的工作时间，现场经监测满足解控要求后方可解除警戒。

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

（6）对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

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

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》等法律法规要求，使用射线装置、放射性同位素的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射安全与环境保护管理工作人员和辐射工作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；自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

医院已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确了各成员管理职责。医院辐射防护专职管理人员及现有辐射工作人员均已参加并通过辐射安全和防护的培训和考核，合格证书均在有效期内。

本项目共拟配备12名辐射工作人员，其中10名从医院核医学科、介入科现有辐射工作人员中抽调，另外2名为新增辐射工作人员。本项目拟抽调的现有10名辐射工作人员辐射安全和防护培训情况见表12-1。

表 12-1 本项目拟抽调的辐射工作人员培训情况一览表

序号	姓名	性别	培训证件编号	证书有效期	在本项目中拟担任岗位
1	柳卫	男	FS20JS0300179	2020.11.21~2025.11.21	核医学科药物操作人员
2	傅昌文	男	FS20JS0300130	2020.11.19~2025.11.19	
3	陈建伟	男	FS20JS0300144	2020.11.19~2025.11.19	核医学科SPECT/CT操作技师
4	冯建林	男	FS21JS0300043	2020.11.21~2025.11.21	
5	程旭	男	FS20JS0300136	2020.11.19~2025.11.19	
6	袁孝军	男	FS20JS0300132	2020.11.21~2025.11.21	
7	周卫忠	男	FS20JS0102810	2020.11.20~2025.11.20	介入科介入医生
8	祖庆泉	男	FS20JS0102818	2020.11.20~2025.11.20	
9	叶伟	男	FS20JS0103420	2020.11.19~2025.11.19	介入科操作技师
10	熊礼恒	男	FS20JS0102823	2020.11.19~2025.11.19	

医院应组织新进辐射工作人员通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：http：//fushe.mee.gov.cn）报名，学习相应的辐射安全和防护知识，通过考核后，方能满足辐射工作人员的岗位要求。

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

12.2 辐射安全管理规章制度

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，江苏省人民医院已针对现有核技术利用项目制定了相关的辐射安全管理制度，主要有《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等，医院制定的辐射安全管理规章制度具有一定的针对性和可操作性，满足现有核技术利用项目对辐射安全管理规章制度的需求。

医院还应根据本项目具体情况对现有辐射安全管理规章制度进行补充和完善，本报告对各项制度需补充的要点提出以下建议：

辐射防护和安全保卫制度：根据本项目的具体情况补充完善相应的辐射防护和安全保卫制度，重点是 ^{90}Y 树脂微球的贮存、医院内转运时的安全保卫工作。

操作规程：补充制定 ^{90}Y 树脂微球治疗的操作规程，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确保开展辐射工作时所有辐射安全措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；②从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计。

岗位职责：完善岗位职责，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。

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

放射性同位素、射线装置使用登记制度：针对本项目具体情况完善使用登记制度，补充本项目放射性药物、射线装置台账和使用登记记录，对购入的放射性药物的使用情况进行专人登记和跟踪记录，确保正确无误、账物相符。

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

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

辐射环境监测方案：针对本项目完善辐射环境监测方案，明确本项目日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。每年对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上一年度的评估报告。

事故应急方案：针对本项目可能产生的辐射事故补充完善辐射事故应急方案，明确相应的辐射防护措施及事故处理程序等，并完善预案中应急机构的组成、职责分工、应急人员的培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

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

本项目辐射工作人员应在医院辐射安全与防护领导小组的领导下，明确各人员岗位职责，严格落实辐射安全管理规章制度，定期对设备的辐射安全措施进行检查。医院在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各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。

12.3 辐射监测

1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用放射性同位素和射

线装置的单位，应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警、便携式辐射监测、表面污染监测等设备，对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

医院核医学科、介入科现配有的辐射监测仪器见表 12-2。

表 12-2 医院核医学科、介入科现配有辐射监测仪器清单

使用科室	辐射监测仪器名称	数量（台）	型号
医院	辐射巡测仪	1	Biodex inspector
		1	FJ-347A
0 号楼核医学科	表面污染仪	1	CMS 60D
	个人剂量报警仪	1	EPD MK2
		1	Cardinal 41277
3 号楼介入科	个人剂量报警仪	4	FJ3200

除表 12-2 中配置的辐射监测仪器外，医院还应为本项目介入科 3#导管室配备 1 台表面沾污仪，用于 3#导管室和留观病房工作场所的表面沾污检测，以及医护人员离开上述工作场所时对手、足、物品的表面污染检测，避免将沾有放射性核素的物品带出。落实后，能够满足辐射监测仪器配备要求。

2、监测方案

江苏省人民医院根据辐射管理要求，已制定了如下监测方案：

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

（2）辐射工作人员佩带个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/三个月）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案；

（3）所有辐射工作人员上岗前进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案；

（4）利用自配备的辐射监测仪器对医院的辐射工作场所定期进行自主监测，并记录档案。

医院现有核技术利用项目均已认真落实以上监测方案，每年请有资质监测单位对现有辐射工作场所及周围环境辐射水平以及核医学科的表面污染水平进行了监测，并不定期的进行自主监测，监测结果满足相关标准要求。现有辐射工作人员均已配备个人剂量计，定期送有资质部门进行个人剂量监测，现有辐射工作人员最近一年的受照剂量均未

超过职业人员年剂量管理限值5mSv/a。医院定期组织辐射工作人员进行健康体检，现有辐射工作人员均可继续原放射工作，并已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。医院已于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交了上一年度的评估报告。

本项目运行后，也应落实上述监测方案，方能满足辐射安全管理的要求。本项目监测方案见表 12-3。

表 12-3 本项目辐射监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	控制要求
工作场所监测	竣工环保验收监测	X-γ 辐射剂量率、β 表面沾污	请有资质单位监测，建设项目竣工后 3 个月内	**辐射水平：**控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位及放射性废物铅桶表面； **表面沾污：**核医学科放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面等；3#导管室的手术床、工作台面、墙壁和地面；留观病房床、座椅、墙壁和地面；放射性废物铅桶和包装袋表面；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	见评价标准中表面污染控制水平和辐射剂量率控制水平
	年度监测	X-γ 辐射剂量率、β 表面沾污	请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	X-γ 辐射剂量率、β 表面沾污	X-γ 辐射剂量率自主监测不少于 1 次/月，β 表面沾污自主监测为每次工作结束后进行监测（出现放射性药物洒落应及时进行监测）		
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月	/	年有效剂量不超过 5mSv

根据《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修订版），当发现辐射工作场所及周围环境监测出现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；当发现个人剂量监测结果异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理。

12.4 辐射事故应急

依照国家环保总局的《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号文）中的有关要求，辐射事故可分为特别重大辐射事故、重大事故、较大事故和一般辐射事故。本项目事故多为放射性药物的丢失、被盗或

泼洒而发生污染，以及开机误照射。

为加强辐射工作过程中的辐射安全和管理，预防和控制放射性突发事故的发生而造成的危害，保障辐射工作人员和周围公众的健康与安全，医院已根据现有核技术利用项目制定了事故应急方案，应急方案内容包括：

（1）应急机构和职责分工；

（2）辐射事故分级与应急响应措施；

（3）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

（4）应急演习计划；

（5）辐射事故调查、报告和处理程序。

医院还应根据本项目可能产生的辐射事故对辐射事故应急方案进行补充和完善，明确相应的辐射防护措施及事故处理程序等，使其具有一定的操作性。医院应加强管理，加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演习，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，确保辐射工作安全有效运转。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

表 13 结论与建议

13.1 结论

1、项目概况

为更好地为患者服务，江苏省人民医院拟开展 ^{90}Y 树脂微球治疗项目，依托医院 0 号楼核医学科的 SPECT 诊断场所对外购的 ^{90}Y 树脂微球进行贮存、活度测量和分装，并对给药后患者进行 SPECT/CT 扫描；依托 3 号楼介入科 3#导管室的 DSA 血管造影技术将 ^{90}Y 树脂微球通过肝动脉插管直接输注至肿瘤病灶，达到肝癌治疗的目的；并在 3 号楼六楼介入科病房中设置两间单人间留观病房，供 ^{90}Y 树脂微球给药后患者术后留观。

本项目投入运行后，核医学科日等效最大操作量为 3.74×10^{9}Bq（叠加现已许可的日等效最大操作量 3.68×10^{9}Bq），介入科 3#导管室日等效最大操作量为 5×10^{7}Bq，均属于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的乙级非密封放射性物质工作场所（2×10^{7}~4×10^{9}）。

2、产业政策符合性和实践正当性评价

本项目不属于国家发改委《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订）和江苏省人民政府《江苏省工业和信息结构调整指导目录（2012 年本）》及其修改单（2013 年本）中限制类和淘汰类项目，符合国家及地方产业政策。

本项目投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

3、选址、布局合理性评价

江苏省人民医院位于南京市广州路 300 号，本项目依托的核医学科位于 0 号楼的一楼，介入科 3#导管室位于 3 号楼的一楼，留观病房位于 3 号楼的六楼。本项目核医学科位于建筑物的一端，设置有相应的物理隔断和单独的人员、物流通道，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区；DSA 设置有单独固定的机房，与周围非辐射工作场所隔开；给药后患者设有留观病房，与其他患者分开，周围无环境制约因素，项目选址合理。

本项目依托的核医学科、3#导管室均为现有辐射工作场所，本项目不改变现有辐射工作场所的分区和布局，现有辐射工作场所的控制区和监督区划分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中有关辐射工作场所的分区规定。

此外，医院拟将本项目 ^{90}Y 树脂微球给药后患者留观病房划为控制区，并在留观病房入口门上粘贴电离辐射警告标志，禁止无关人员进入，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中有关辐射工作场所的分区规定。

4、辐射防护措施评价

本项目依托的核医学科、3#导管室以及介入科病房均为现有场所，并均已采取了相应的实体屏蔽防护，本项目不改变现有工作场所的屏蔽防护工程。根据理论预测及分析，本项目依托的核医学科、3#导管室以及介入科病房的屏蔽防护工程满足辐射防护要求，各辐射工作场所的辐射剂量率满足相应剂量率管理限值要求。

5、辐射安全措施评价

本项目依托的核医学科已采取的辐射安全措施有：工作状态指示灯、防夹和自动闭门装置、门禁和监控系统、电离辐射警告标志、单向门及门禁、监控及对讲系统、导向标识、双人双锁、个人防护用品等。

本项目依托的 3#导管室已采取的辐射安全措施有：工作状态指示灯、防夹和闭门装置、电离辐射警告标志、监控与对讲装置、个人防护用品等，且机房内地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。

此外，本项目还将采取以下辐射安全措施：“两区”内安全防护措施、应急处置措施、药物管理措施、^{90}Y 树脂微球患者转移和住院管理措施、工作人员辐射防护管理措施 、SPECT 扫描错时管理措施等。落实以上辐射安全和防护措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全防护要求。

6、辐射防护监测仪器评价

医院目前已配备 2 台辐射巡测仪，本项目依托的核医学科已配备 1 台表面沾污仪和 2 台个人剂量报警仪，介入科已配备 4 台个人剂量报警仪。此外，医院还应为本项目介入科 3#导管室配备 1 台表面沾污仪，落实后，能够满足辐射监测仪器配备要求。

7、保护目标剂量评价

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

8、放射性废物处理措施评价

（1）放射性废水处理措施评价

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002）相关要求，本项目

产生的含有 ^{90}Y 放射性核素的废水可直接排入医院的污水处理系统，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，作为医疗废水进行处置，对周围环境辐射影响很小。

（2）放射性废气处理措施评价

本项目使用的 ^{99m}Tc 为分装好的针剂，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。本项目使用的 ^{90}Y 树脂微球绝大多数 ^{90}Y 核素附着在“大孔型结构”的树脂微球表面和内部孔道内，以不溶性固体形式存在，极少量（0.04~0.4%）^{90}Y 核素以游离状态出现在液体中，游离的 ^{90}Y 核素以氯化钇（$^{90}YCl_3$）形式存在，氯化钇不具备挥发性，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

（3）放射性固体废物处理措施评价

本项目产生的放射性固体废物分类收集在核医学科的放射性固废间内，含 ^{99m}Tc 的放射性固体废物暂存至少 30 天，含 ^{90}Y 的放射性固体废物暂存至少 27 天后，并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β 表面沾污小于 0.8Bq/cm²后，作为医院医疗废物统一处理，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求，对周围环境辐射影响很小。

9、辐射安全管理评价

江苏省人民医院已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确了各成员的管理职责。医院现有辐射工作人员均已参加并通过辐射安全和防护的培训和考核，合格证书均在有效期内，并建立了个人剂量监测档案及职业健康监护档案。医院还应组织本项目新进辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训并通过考核，为本项目新进辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，定期组织其进行职业健康体检，并建立个人剂量监测档案及职业健康监护档案。医院应根据本项目具体情况对现有辐射安全管理规章制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。医院在落实上述各项辐射防护措施及管理要求后，将具备从事本项目辐射活动的综合能力。

可行性结论：

综上所述，江苏省人民医院新增 ^{90}Y 树脂微球治疗项目在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，该院具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

13.2 建议与承诺

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

（2）项目取得批复并建成后，应根据有关规定及时重新申领辐射安全许可证。

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

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

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

表 14 审批

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

附表

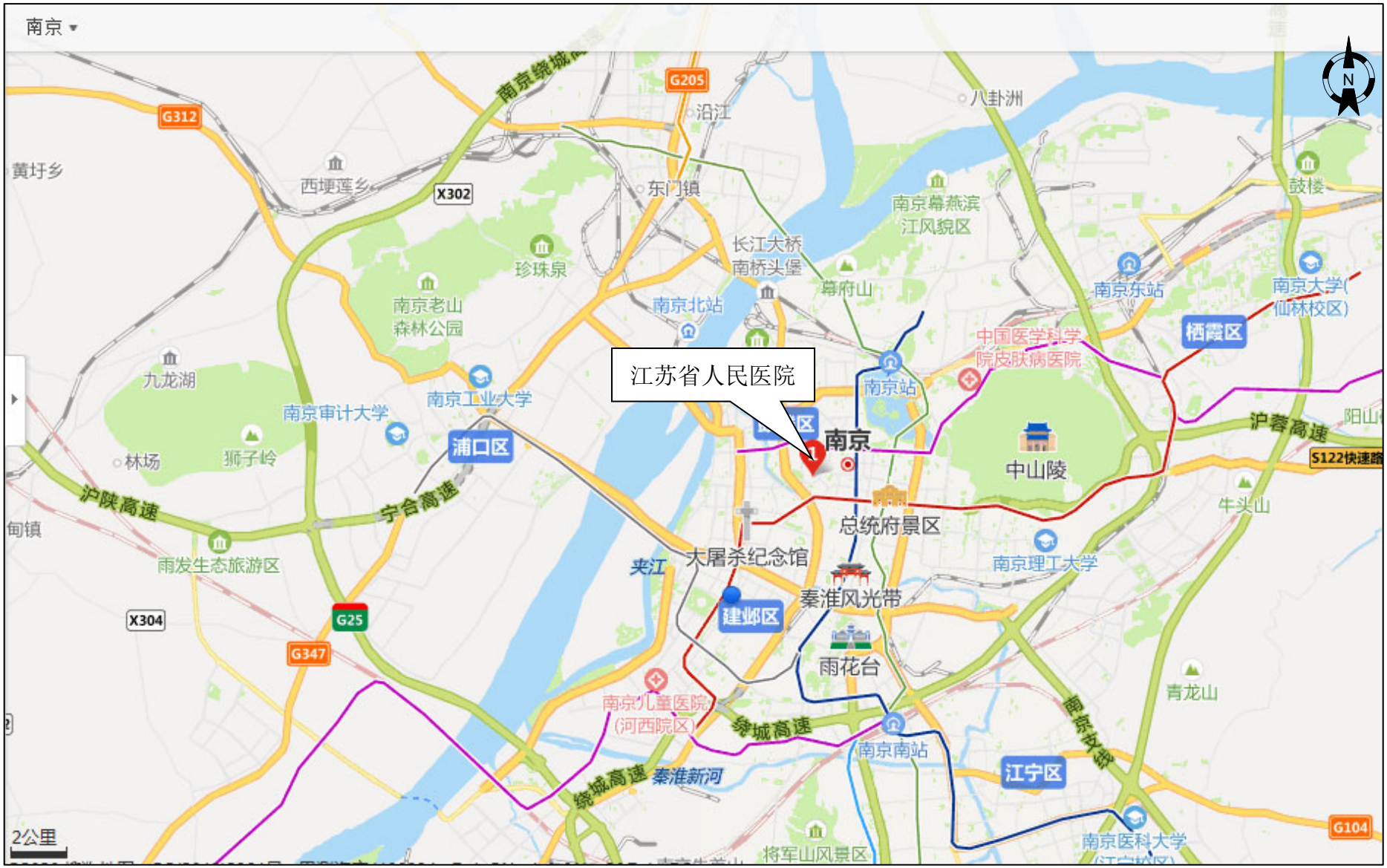
“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资（万元）
辐射安全管理机构	医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确了各成员的管理职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构的管理或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作的要求。	/
辐射安全和防护措施	**屏蔽措施:** 本项目依托的核医学科、3#导管室以及介入科病房均为现有场所，并均已采取了相应的实体屏蔽防护，具体见表 10-1~表 10-3。	各辐射工作场所表面外辐射剂量率满足本项目辐射剂量管理限值要求，辐射工作人员和周围公众年受照剂量应满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年受照剂量不超过 5mSv，公众年受照剂量不超过 0.1mSv。	17.0
	依托的核医学科已采取的辐射安全措施有：工作状态指示灯、防夹和自动闭门装置、门禁和监控系统、电离辐射警告标志、单向门及门禁、监控及对讲系统、导向标识、双人双锁等。 **依托的 3#导管室已采取的辐射安全措施有：**工作状态指示灯、防夹和闭门装置、电离辐射警告标志、监控与对讲装置等，且机房内地面与墙壁衔接处无接缝，地面、墙面、操作台面易于清洗、去污。 **其他辐射安全措施：**“两区”内安全防护措施、应急处置措施、药物管理措施、^{90}Y 树脂微球患者转移和住院管理措施、工作人员辐射防护管理措施、SPECT 扫描错时管理措施等。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求。	

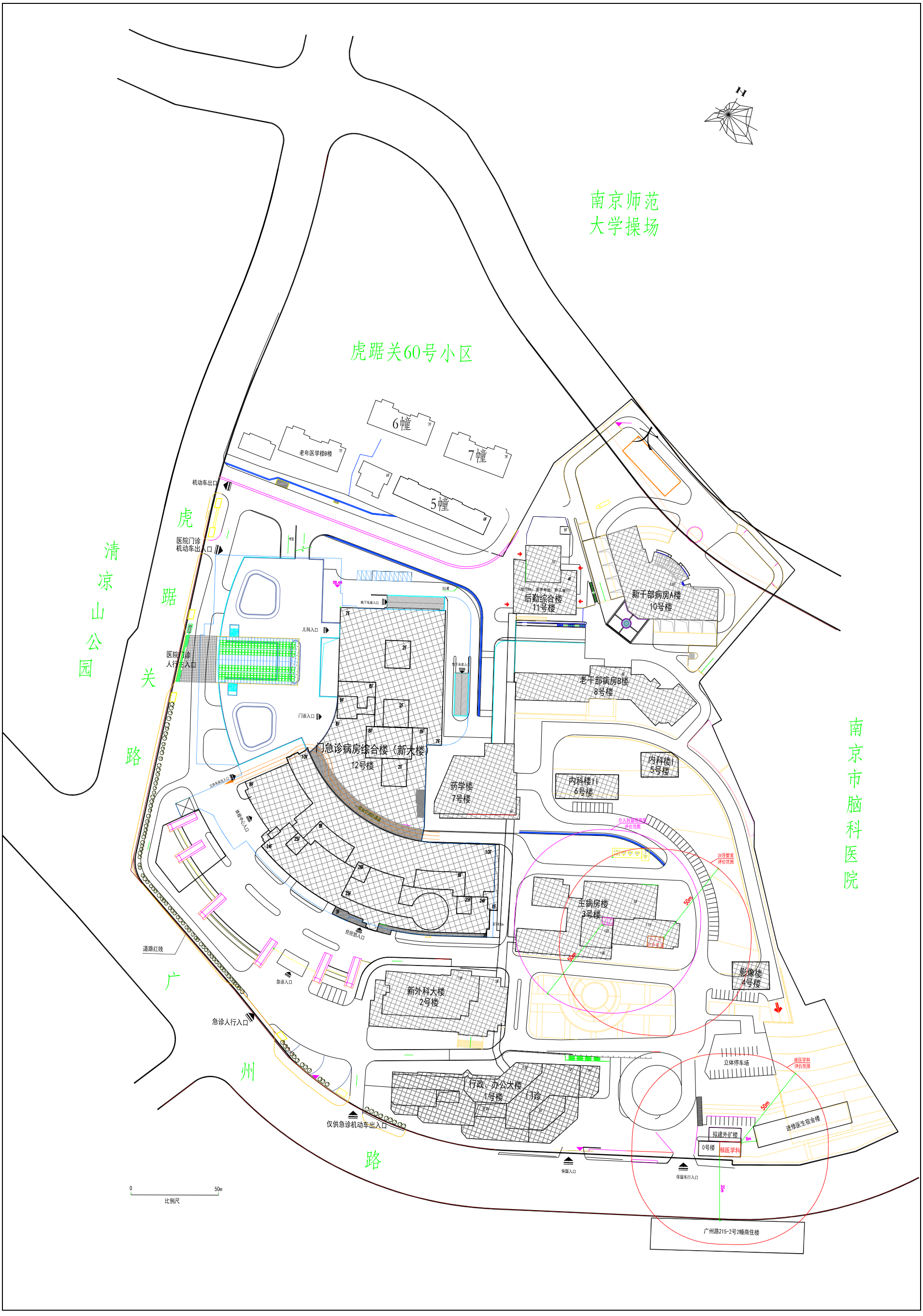
人员配备	本项目辐射工作人员参加并通过辐射安全和防护专业知识的培训和考核。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核的管理要求。	1.0
	本项目辐射工作人员配备个人剂量计，每 3 个月定期送检，并建立辐射工作人员个人剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展个人剂量监测的管理要求。	
	本项目辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展职业健康体检的管理要求。	
监测仪器和防护用品	医院已配备 2 台辐射巡测仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射监测仪器和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中防护用品的配置要求。	2.0
	依托的核医学科已配备 1 台表面沾污仪和 2 台个人剂量报警仪，介入科已配备 4 台个人剂量报警仪。介入科 3#导管室还应配备 1 台表面沾污仪。		
	核医学科和 3#导管室已分别配备 5 套和 4 套防护铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品，还需至少配备 2 套 0.5mmPb 铅方巾。		
辐射安全管理制度	针对本项目具体情况对已制定的《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等辐射安全管理制度进行补充和完善，在之后的实际工作中落实到实处。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位需具备有健全的辐射安全管理制度的管理要求。	/
放射性“三废”处理措施	**放射性废水处理措施：**产生的含有 ^{90}Y 放射性核素的废水可直接排入医院的污水处理系统，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，作为医疗废水进行处置。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002）相关要求。	/

	放射性废气处理措施：本项目不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。	/	/
	放射性固体废物处理措施：产生的放射性固体废物分类收集在核医学科的放射性固废间内，含 ^{99m}Tc 的放射性固体废物暂存至少 30 天，含 ^{90}Y 的放射性固体废物暂存至少 27 天后，并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β 表面沾污小于 0.8Bq/cm²后，作为医院医疗废物统一处理。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。	/

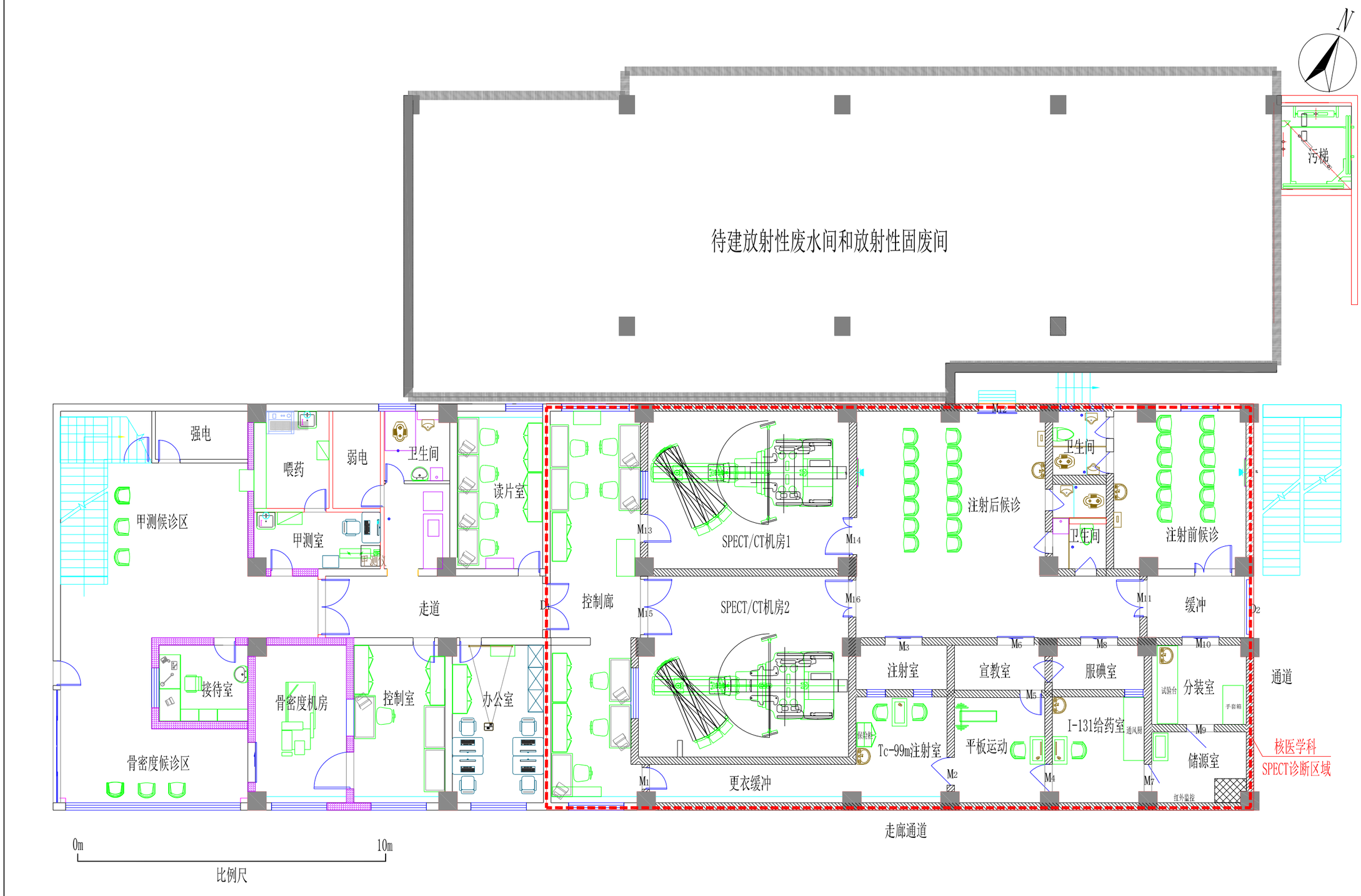
注：“三同时”措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入运行。



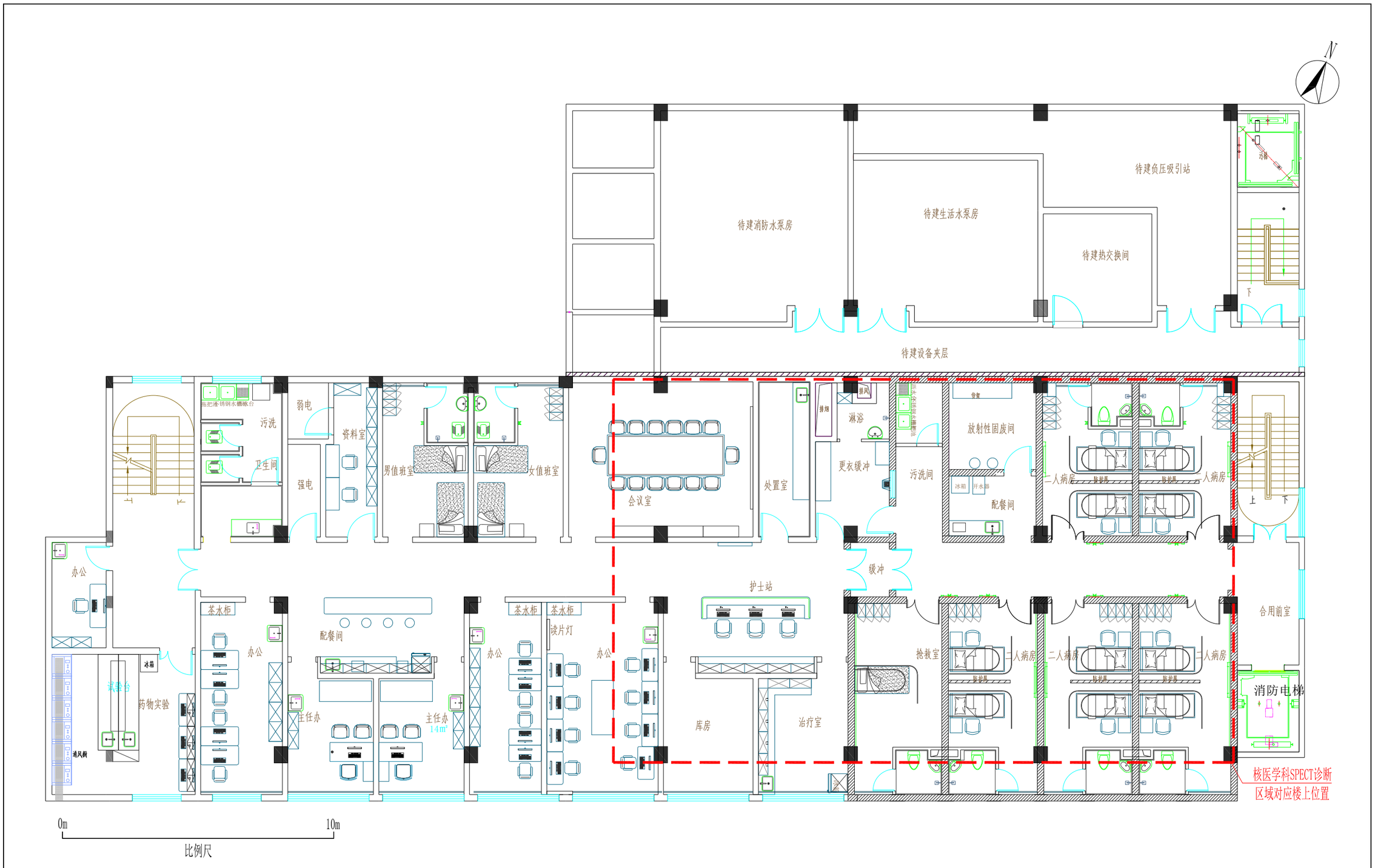
附图 1　江苏省人民医院地理位置图



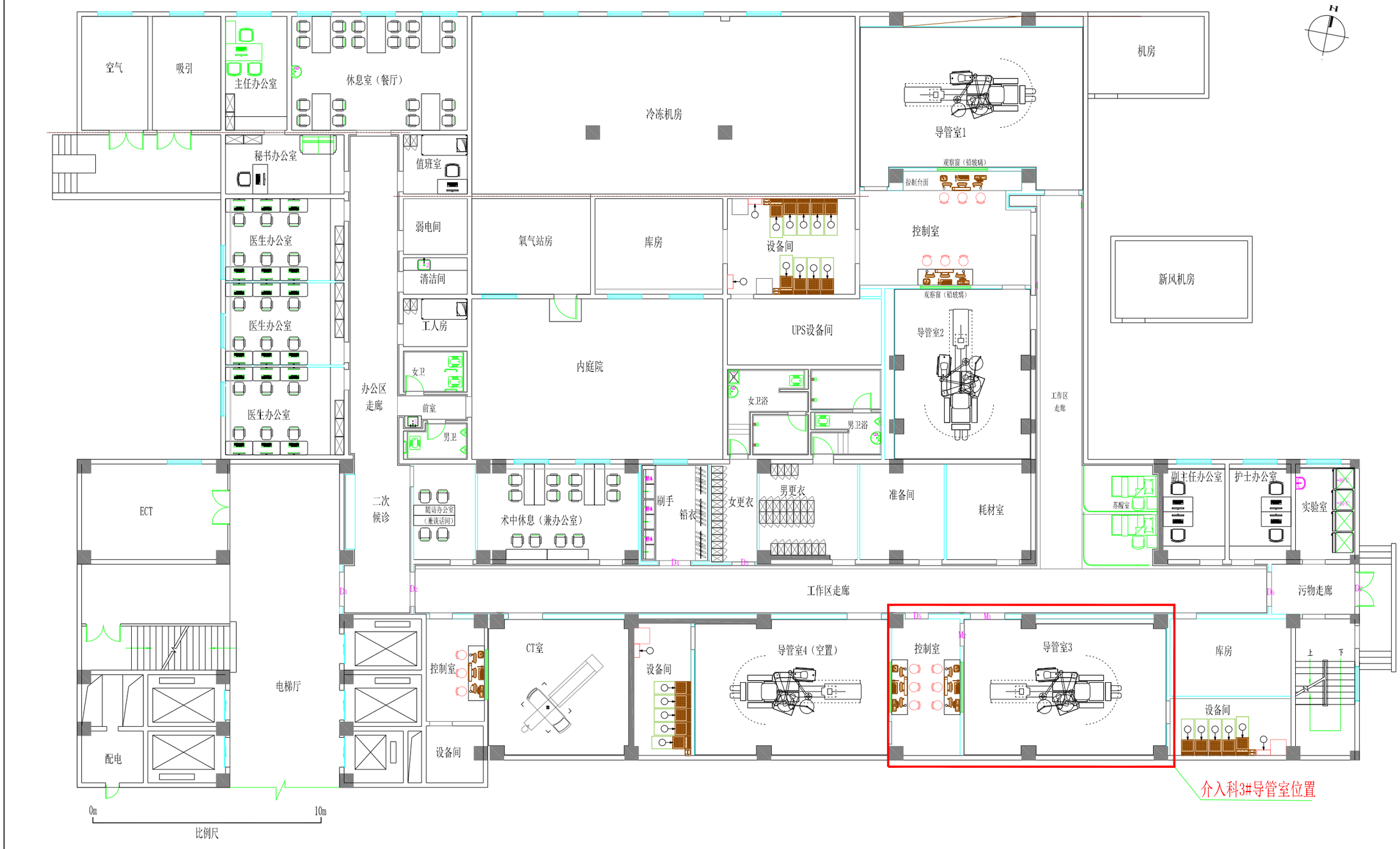
附图 2　江苏省人民医院平面布局及周围环境示意图（单位：m）



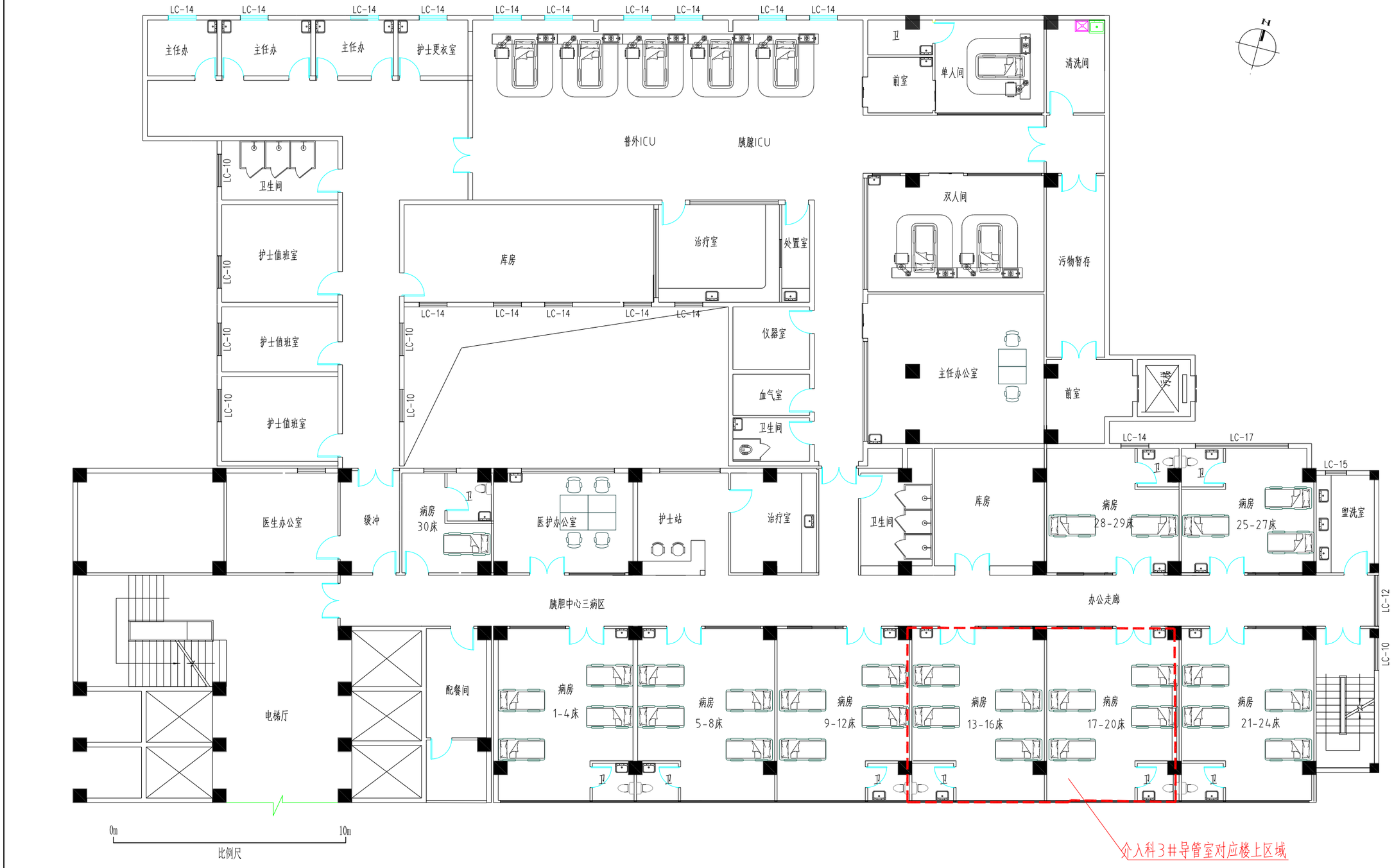
附图 3　医院 0 号楼一楼平面布局示意图



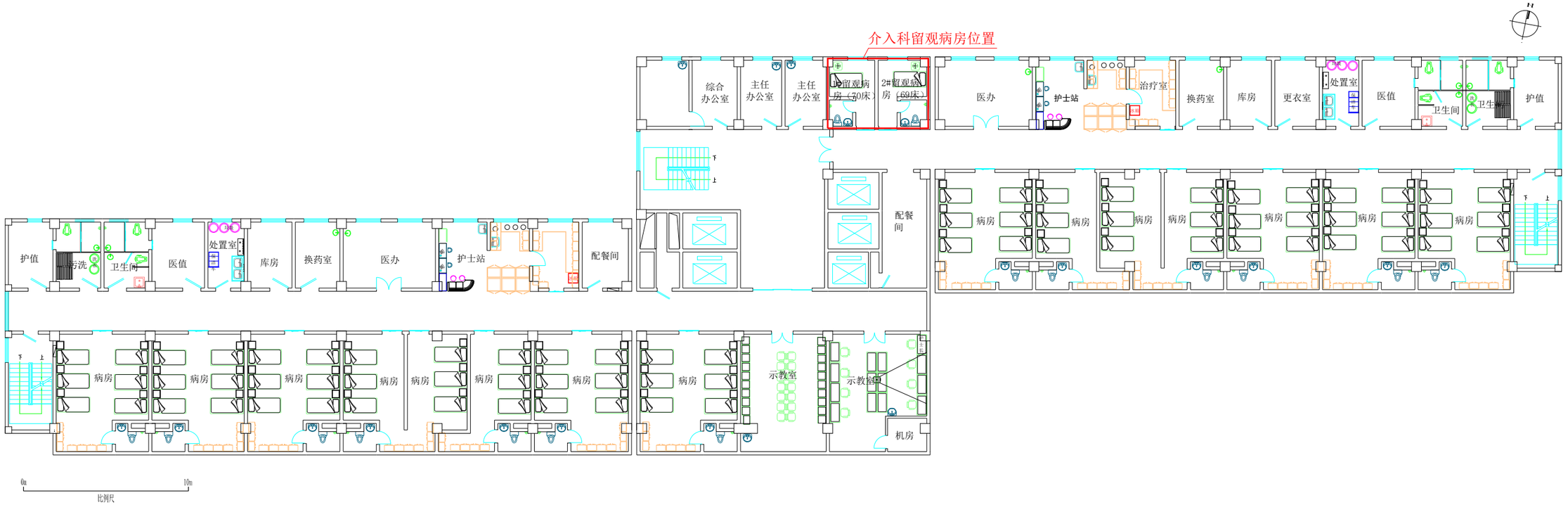
附图 4　医院 0 号楼二楼平面布局示意图



附图 5　医院 3 号楼一楼平面布局示意图



附图 6　医院 3 号楼二楼平面布局示意图


介入科留观病房位置
综合办公室
主任办公室
主任办公室
1#留观病房（30床）
2#留观病房（69床）
医办
护士站
治疗室
换药室
库房
更衣室
处置室
医值
卫生间
卫生间
护值
配餐间
病房
病房
病房