核技术利用建设项目

南京医科大学第二附属医院
改建核医学科项目
环境影响报告表

南京医科大学第二附属医院

2023 年 12 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

南京医科大学第二附属医院
改建核医学科项目
环境影响报告表

建设单位名称：南京医科大学第二附属医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：南京市鼓楼区姜家园 **121** 号

[redacted]

[redacted]

目　录

表 1　项目基本情况 ..... - 1 -
表 2　放射源 ..... - 5 -
表 3　非密封放射性物质 ..... - 5 -
表 4　射线装置 ..... - 6 -
表 5　废弃物（重点是放射性废弃物） ..... - 7 -
表 6　评价依据 ..... - 8 -
表 7　保护目标与评价标准 ..... - 11 -
表 8　环境质量和辐射现状 ..... - 21 -
表 9　项目工程分析与源项 ..... - 26 -
表 10　辐射安全与防护 ..... - 36 -
表 11　环境影响分析 ..... - 44 -
表 12　辐射安全管理 ..... - 66 -
表 13　结论与建议 ..... - 72 -
表 14　审批 ..... - 78 -

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="8">南京医科大学第二附属医院改建核医学科项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="8">南京医科大学第二附属医院
（统一社会信用代码：12320000466002622W）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>[redacted]</td><td>[redacted]</td><td>[redacted]</td><td>[redacted]</td><td colspan="4">[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="8">南京市鼓楼区姜家园 121 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="8">江苏省南京市鼓楼区姜家园 121 号南京医科大学第二附属医院
姜家园院区 3 号楼 1 楼</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="4">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>800</td><td colspan="2">项目环保总投资（万元）</td><td>200</td><td colspan="2">投资比例（环保投资/总投资）</td><td>25%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="5">☐新建 ☑ 改建 ☐扩建 ☐其他</td><td colspan="2">占地面积（m^2）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="10">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="7">☐Ⅰ类 ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="7">☐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="7">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="7">/</td></tr>
<tr><td>☑ 使用</td><td colspan="7">☑ 乙　☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="7">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="7">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="7">☐Ⅱ类 ☑Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="8">/</td></tr>
</table>

项目概述：

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

南京医科大学第二附属医院(以下简称 “医院”)是江苏省卫健委直属的三级甲等综合医院，担负着医疗、教学、科研、公益等重要任务。医院有三个院区：姜家园院区(本项目所在院区)、萨家湾院区和迈皋桥院区，占地面积共 83 亩，建筑面积 16 万平方米；编制床位数 1940 张，实际开放床位数 1940 张，开放病区 51 个，职工 2800

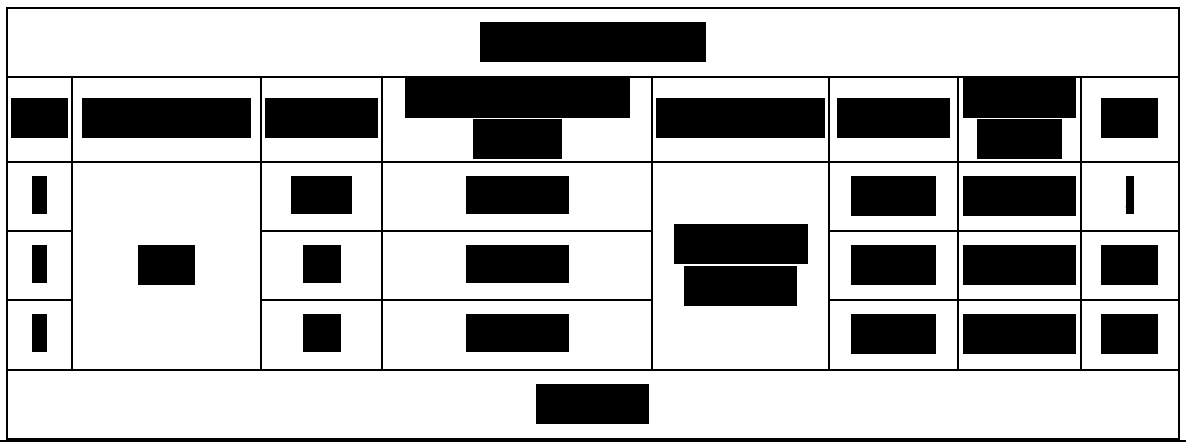
余人。

为了适应医院发展要求，服务患者，医院拟在姜家园院区 3 号楼 1 楼核医学工作场所进行整体改造，将原先使用的 1 台 infinia Hawkeye 型 SPECT 更新为 1 台 NM/CT860 型单光子发射及 X 射线计算机断层成像系统（以下简称 SPECT/CT），使用放射性核素 ^{99m}Tc，改造后的核医学工作场所内主要开展 ^{99m}Tc 核素显像诊断和 ^{131}I 甲状腺功能测定、甲亢治疗。

本项目原有核医学场所于 2005 年投入运营，已履行相应环保手续。原有核医学场所许可的核素 ^{131}I 的日等效最大操作量为 1.11×10^{9}Bq，年用量为 2.78×10^{12}Bq，^{99m}Tc 的日等效最大操作量为 1.5×10^{8}Bq，年用量为 3.75×10^{13}Bq，由于目前医院核素用量及患者就诊人数的变化，本项目 ^{131}I 的日等效最大操作量为 1.48×10^{8}Bq，年用量为 3.7×10^{11}Bq，^{99m}Tc 的日等效最大操作量为 1.48×10^{7}Bq，年用量为 3.7×10^{12}Bq。

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》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律、法规和部门规章的规定，该项目需进行环境影响评价工作。受南京医科大学第二附属医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位改建核医学科项目的环境影响评价工作。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部部令第 16 号），本次改建核医学科项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）的”项目，确定为编制环境影响报告表。我公司通过资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了该项目环境影响报告表。该医院改建核医学科项目情况见下表：

表 1-1 南京医科大学第二附属医院改建核医学科项目情况一览表



[redacted]									

二、项目选址情况

南京医科大学第二附属医院姜家园院区位于南京市鼓楼区姜家园 121 号，医院东侧依次为绿化地带、护城河，南侧为百花小区，西侧为姜家园道路，北侧为桃花源居小区。本项目地理位置示意见附图 1，南京医科大学第二附属医院姜家园院区平面布置和周围环境示意图见附图 2。

本项目核医学工作场所位于 3 号楼 1 楼南侧，3 号楼东侧隔绿化地带为护城河，南侧为院内道路、锅炉房、垃圾场，西侧隔院内道路为 4 号楼，北侧为高压氧舱楼；核医学工作场所东侧、南侧和西侧为院内道路，北侧为 CT 室、设备间，上方为病历档案室、报告室、值班室，下方为衰变池。

本项目核医学工作场周围 50m 评价范围除东侧至绿化地带、护城河，其余方向均位于医院内。项目运行后的环境保护目标主要为核医学辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患及其他公众等。

三、原有核技术利用项目许可情况

南京医科大学第二附属医院现持有江苏省生态环境厅颁发的辐射安全许可证（见附件 4），证书编号：苏环辐证〔00277〕，有效期至 2027 年 11 月 6 日，许可种类和范围为：使用Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。医院原有核技术利用项目均已履行环保手续见附件 3。

四、实践正当性分析

（1） 项目的必要性：目前在临床医学上，原有的 SPECT 成像不够清晰，单一的 SPECT 显像逐渐被 SPECT/CT 取代，本项目更新的 1 台 NM/CT860 型 SPECT/CT 显像更加清晰，为临床提供了更加全面、客观、准确的诊断依据；本项目在原有核医学场所进行改建，完善了核医学的布局、防护，使核医学场所内人流、物流路线更加合理，减少医生、患者之间的照射；

（2）项目的可行性：本项目涉及的 SPECT/CT 显像诊断、^{131}I 对甲状腺功能测定与甲亢治疗已在各大医院广泛推广，技术已十分成熟，在医疗保障领域起了十分重要的作用。本项目建设有一定的直接经济效益，更有巨大的间接经济效益，项目建设对

促进社会安定，为城市提供一个安全、健康的生活环境起着重要作用，进而提高相关产业的收入，为南京市的社会、经济稳定发展保驾护航；

（3）社会影响：本项目的运行，可为病人提供多种医疗诊断服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益；

（4）环境影响：本项目核素操作均在手套箱中进行，含有 ^{131}I、^{99m}Tc 放射性废水排放到3号楼地下的衰变池中衰变，满足排放标准后流入医院污水处理系统作为医疗废水处理；产生的放射性固废暂存废物间衰变相应天数后，作为医疗废物进行处理。本项目实践过程中采取了可能的辐射防护措施，在患者得到诊疗预期效果的同时，对周围环境、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求；

（5）法规遵从性：本项目核医学科项目属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》第一类鼓励类第六项核能中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。经辐射防护屏蔽和安全管理后，其获得的利益远大于对环境的影响，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。

五、“三线一单”相符性分析

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域；根据现场监测和环境影响预测，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。因此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。

表 2　放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	类别	活度种类	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

[redacted]										
[redacted]										
[redacted]										
[redacted]										
[redacted]										

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

[redacted]									

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5　废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
沾有放射性核素的注射器、手套、擦拭废纸等	固体	^{99m}Tc	/	约 8.3kg	约 100kg	/	暂存在废物库	暂存时间超过 30 天，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
含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	^{99m}Tc	/	约 6.2m^3	约 75m^3	/	流入衰变池中	在衰变池中暂存超过 30 天后直接解控排放
含有液态放射性药物操作时挥发的微量气溶胶	气体	^{99m}Tc、^{131}I	/	微量	微量	微量	不暂存	在手套箱中操作，经手套箱管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下约 50 分钟可自然分解为氧气
废活性炭	固体	^{99m}Tc、^{131}I	/	少量	少量	/	更换后暂存在废物库	暂存时间超过 180 天，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，作为医疗废物统一交由有资质的单位处理
甲亢治疗、甲测工作场所产生的西林瓶、擦拭废纸及患者使用的一次性杯子等放射性固废	固体	^{131}I	/	约 3.8kg	约 45kg	/	暂存在废物库	

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），中华人民共和国主席令第9号，2015年1月1日起实施； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），中华人民共和国主席令 第二十四号，2018年12月29日发布施行； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003年10月1日起实施； （4）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第449号，2005年12月1日起施行；2019年修改，国务院令 第709号，2019年3月2日施行； （5）《建设项目环境保护管理条例》（2017年修订版），中华人民共和国国务院令第682号，2017年10月1日发布施行； （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部部令 第20号，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》，环保部令 第18号，2011年5月1日起施行； （9）《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告2017年 第66号，2017年12月5日起施行； （10）《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令 第612号，2012年3月1日起施行； （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）《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第2号公告，2018年5月1日起实施； （13）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函[2016]430号，2016年3月7日起施行；

	（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10月25日发布； （15）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019年 第39号，2019年10月25日发布； （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，2019年12月24日发布； （17）《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； （18）《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74号，2018年6月9日发布； （19）《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28日发布； （20）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1号，2020年1月8日发布； （21）《江苏省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日发布； （22）《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日发布； （23）《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修改），国家发展和改革委员会2021年令第49号，2021年12月30日起施行。
技术标准	（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （2）《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）； （3）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）； （4）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （5）《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）； （6）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （7）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （8）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）；

	（9）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； （10）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； （11）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； （12）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）。
其他	**附图：** （1）南京医科大学第二附属医院改建核医学科项目地理位置示意图； （2）南京医科大学第二附属医院平面布置和周围环境示意图； （3）南京医科大学第二附属医院 3 号楼 1 楼（改建前）平面布局示意图； （4）南京医科大学第二附属医院 3 号楼 1 楼（改建后）平面布局示意图； （5）本项目核医学下方平面布局示意图； （6）南京医科大学第二附属医院 3 号楼 2 楼平面布局示意图； （7）本项目核医学科排风/新风管道布设示意图； （8）本项目核医学科专用下水管道布设示意图； （9）本项目与江苏省环境管控单元位置关系图。 **附件：** （1）项目委托书； （2）射线装置、非密封放射性物质使用承诺书； （3）医院现有核技术利用项目情况一览表； （4）辐射安全许可证及副本复印件； （5）辐射环境现状监测报告与检测机构资质认定证书。

表 7　保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“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，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本次改建核医学科项目工作场所实体屏蔽墙体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

保护目标

本项目核医学工作场周围 50m 评价范围除东侧至绿化地带、护城河，其余方向均位于医院内。项目运行后的环境保护目标主要为核医学辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患及其他公众等。详见表 7-1。

表 7-1 南京医科大学第二附属医院改建核医学科项目保护目标一览表

保护对象类型	场所	方位/位置	距本项目最近距离	人员规模
辐射工作人员	核医学科	核医学科工作场所内	/	8 人
评价范围内公众	3 号楼	本项目辐射工作场所四周、楼上及楼下	约 0~50m	约 300 人
	绿化地带	东侧	约 10~20m	流动人员
	4 号楼	西侧	约 15m	约 150 人
	院内道路	四周	约 0~50m	流动人员

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射剂量限值	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv；

	④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，lmSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 lmSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。
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。	

1.2 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}

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区：

注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

表 B11 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	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}

二、《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）：

三、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；

四、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

5.1 选址

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

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

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

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

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

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

6.1 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。

6.2 场所安全措施要求

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

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

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

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

6.3 密闭和通风要求

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

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

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

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α 表面污染小于 0.08Bq/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 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

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

c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

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

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

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

8.2 工作场所监测

8.2.2 核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表 1 的内容。

表 1 核医学工作场所辐射监测关注点位

监测内容	监测点位	监测频次
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和存有放射性物质的装置/设备的表面	不少于 1 次/月
表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）

五、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）：

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

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

a）使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；

b）保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；

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

d）在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

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

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

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

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

d）对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用；

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

5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应

相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区（病房）的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。

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

5.1.7 应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）对诊断区设备成像、功能检测的影响。

5.2 放射防护设施要求

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

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 1，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

表 1 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

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

[a] 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

[b] 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

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

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h，宜不大于 2.5μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。屏蔽计算中所涉及的常用放射性药物理化特性参见附录 H。PET 相关房间的辐射屏蔽计算方法和示例参见附录 I。自屏蔽回旋加速器机房的屏蔽计算方法由回旋加速器在所有工作条件下所产生中子的最大通量（取决于加速器的类型、能量、粒子类型以及使用的靶等）决定。

六、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

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

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

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

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

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 的规定。

表 2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

机房类型	机房内最小有效使用面积 [d] m^2	机房内最小单边长度 [e] m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。

表 3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb

CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

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

c）具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv；

d）车载式诊断 X 射线设备工作时，应在车辆周围 3m 设立临时控制区，控制区边界的周围剂量当量率应符合 6.3.1 中 a）～c）的要求。

6.4 X 射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.4.11 车载式诊断 X 射线设备工作场所的选择应充分考虑周围人员的驻留条件，X 射线有用线束应避开人员停留和流动的路线。

6.4.12 车载式诊断 X 射线设备的临时控制区边界上应设立清晰可见的警告标志牌（例如：“禁止进入 X 射线区”）和电离辐射警告标志。临时控制区内不应有无关人员驻留。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.2 车载式诊断 X 射线设备机房个人防护用品和辅助防护设施配置要求按照其安装的设备类型参照表 4 执行。

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

6.5.6 对于移动式X射线设备使用频繁的场所（如：重症监护、危重病人救治、骨科复位等场所），应配备足够数量的移动铅防护屏风。

7 X射线设备操作的防护安全要求

7.8 介入放射学和近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备操作的防护安全要求。

7.8.1 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备应满足其相应设备的防护安全操作要求。

7.8.2 介入放射学用X射线设备应具有记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。

7.8.3 除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。

7.8.4 穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合GBZ 128的规定。

7.8.5 移动式C形臂X射线设备垂直方向透视时，球管应位于病人身体下方；水平方向透视时，工作人员可位于影像增强器一侧，同时注意避免有用线束直接照射。

七、辐射环境评价标准

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的标准要求及本项目实际情况确定：

（一）剂量约束值

职业人员剂量约束值不超过5mSv/a，公众剂量约束值不超过0.1mSv/a；

（二）辐射剂量率控制水平

核医学科工作场所控制区内各房间防护门、观察窗、墙壁外表面30cm处及顶部、下方30cm处、衰变间周围30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h；手套箱、注射窗外表面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。

八、参考资料：

（一）《辐射防护导论》，方杰主编。

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

江苏省环境天然γ辐射（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

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

注：*测量值已扣除宇宙射线响应值，评价时采用“均值±3s”作为辐射现状评价的参考数值。

表 8　环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

南京医科大学第二附属医院姜家园院区位于南京市鼓楼区姜家园 121 号，医院东侧隔绿化地带为护城河，南侧为百花小区，西侧为姜家园道路，北侧为桃花源居小区。

本项目核医学工作场所位于 3 号楼 1 楼南侧，3 号楼东侧隔绿化地带为护城河，南侧为院内道路、锅炉房、垃圾场，西侧隔院内道路为 4 号楼，北侧为高压氧舱楼；核医学工作场所东侧、南侧和西侧为院内道路，北侧为 CT 室、设备间，上方为病历档案室、报告室、值班室，下方为衰变池。

本项目核医学工作场周围 50m 评价范围除东侧至绿化地带、护城河，其余方向均位于医院内。项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患及其他公众等。

本项目核医学工作场所周围环境见图 8-1~图 8-7。

二、辐射环境现状调查

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《表面污染测定 第 1 部分：β 发射体（$E_{\beta max}$＞0.15MeV）和 α 发射体》（GB 14056.1-2008）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于医院改建核医学科项目拟建址周围进行布点，测量辐射现状剂量率，监测结果见表 8-1~表 8-2，监测点位示意图见图 8-8。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测日期：2023 年 7 月 21 日（监测时，医院原有核医学项目正在运行）

监测因子：γ 辐射剂量率、β 表面污染水平

天气：阴

温度：28℃

湿度：82%RH

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《表面污染测定 第

1 部分：β 发射体（$E_{\beta max}$＞0.15MeV）和 α 发射体》（GB 14056.1-2008）有关布点原则进行布点。

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过计量认证（证书编号：221020340350，检测资质见附件 5），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

数据记录及处理：开机预热，手持仪器。γ 辐射剂量率检测时，保持仪器探头中心距离地面（基础面）为 1m。仪器读数稳定后，每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数分别取 1.20Sv/Gy。β 表面污染检测时，探测器窗距被测表面约 10mm，每个点位读取 6 个数据，读取间隔不小于 10s，并待计数稳定后读取数值。

监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核，所有监测仪器均经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过校准或检验，监测报告实行三级审核。

评价方法：参照江苏省天然 γ 辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

（一）γ 辐射剂量率

检测仪器：6150 AD 6/H+6150 AD-b/H 型 X-γ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2022 年 11 月 14 日～2023 年 11 月 13 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2022-0109288）

能量响应：20keV～7MeV

测量范围：1nSv/h～99.9μSv/h

表 8-1 南京医科大学第二附属医院改建核医学科项目拟建址周围现状辐射剂量率

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）
1	核医学科拟建址东侧（院内道路）	80
2	核医学科拟建址南侧（院内道路）	93
3	核医学科拟建址西侧（院内道路）	92

4	核医学科拟建址北侧（设备间）	67
5	核医学科拟建址北侧（CT 室）	91
6~8	核医学科拟建址	91~98
9	核医学科项目拟建址楼上（报告室）	91
10	核医学科项目拟建址楼下（衰变池）	92
11	3 号楼东侧绿化地带	101
12	3 号楼西侧 4 号楼一楼大厅	96

注：测量数据已扣宇宙射线响应值。环境γ辐射剂量率测量测量结果按照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中公式$D_y = k_1 \times k_2 \times R_y - k_3 \times D_c$计算，其中，$k_1$为仪器检定/校准因子；$k_2$为仪器检验源效率因子；$k_3$为建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1。

由表 8-1 监测结果可知，南京医科大学第二附属医院改建核医学科项目拟建址及其周围室内（4#~10#）环境γ辐射剂量率在 67nGy/h～98nGy/h 之间，属江苏省建筑物室内γ辐射（空气吸收）剂量率本底水平 50.7nGy/h～129.4nGy/h；室外道路（1#~3#，11#~12#）环境天然γ辐射剂量率在 80nGy/h～101nGy/h 之间，属江苏省道路γ辐射（空气吸收）剂量率本底水平 18.1nGy/h～102.3nGy/h，均在江苏省室内及室外γ辐射（空气吸收）剂量率水平范围内。

（二）β 表面污染水平

检测仪器：CoMo 170 型 α、β 表面污染测量仪（设备编号：NJRS-129，检定有效期：2023 年 3 月 27 日～2024 年 3 月 26 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2023-0042629）

测量范围：0cps～20000cps

表 8-2 南京医科大学第二附属医院改建核医学科项目拟建址周围 β 表面污染水平

测点编号	测点描述	测量结果（Bq/cm²）
1	核医学科拟建址东侧（院内道路）	<LLD
2	核医学科拟建址南侧（院内道路）	<LLD
3	核医学科拟建址西侧（院内道路）	<LLD
4	核医学科拟建址北侧（设备间）	0.08
5	核医学科拟建址北侧（CT 室）	0.07
6	核医学科项目拟建址	0.23

7		0.27
8		0.25

注：β 表面放射性污染水平仪器探测下限（LLD）为 0.06Bq/cm^2。

由表 8-2 监测结果可知，南京医科大学第二附属医院改建核医学科项目拟建址及其周围环境 β 表面污染水平为（<LLD ~0.27）Bq/cm^2。

图 8-8 本项目核医学科拟建址周围 γ 辐射剂量率及 β 表面污染水平监测点位示意图

表 9　项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、工程设备

南京医科大学第二附属医院拟在姜家园院区 3 号楼 1 楼核医学工作场所进行整体改造，将原先使用的 1 台 infinia Hawkeye 型 SPECT 更新为 1 台 NM/CT860 型 SPECT/CT（使用放射性核素 ^{99m}Tc），改造后的核医学工作场所内主要开展 ^{99m}Tc 核素显像诊断和 ^{131}I 甲状腺功能测定、甲亢治疗。

SPECT/CT 是将 SPECT 和 CT 这两种设备安装在同一个机架上，两种显像技术的定位坐标系统相互校准，在两次扫描期间患者处于同一个检查床上且保持体位不变，可防止因患者移位产生的误差，在一定程度上也解决了时间配准的问题。通过 SPECT/CT 图像融合技术，可以将 SPECT 灵敏反映体内组织器官生理、生化和功能的变化与 CT 提供的精确的解剖结构信息相结合，真正实现了功能、代谢、生化影像与解剖结构影像的实时融合，为临床提供了更加全面、客观、准确的诊断依据。不仅如此，CT 提供的图像数据还可用于 SPECT 的衰减校正，有效提高 SPECT 的图像质量。

本项目核医学科使用放射性同位素情况见表 9-1。

表 9-1 本项目改建核医学科情况一览表



根据医院提供的预估工况分别核算其放射性核素日最大操作量和年总用量。根据

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“表 A.1 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子”和“表 A.2 核医学常见放射性核素状态与操作放射修正因子”，根据核素的日最大操作量，经过毒性组别及操作方式的双重修正，得到新增非密封放射性物质工作场所的日等效操作量，并判断其工作场所等级。

表 A.1 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
高毒	^{90}Sr	1
中毒	^{22}Na、^{32}P、^{63}Ni、^{67}Ga、^{90}Y、^{99}Mo、^{111}In、^{125}I、^{131}I、^{153}Sm	0.1
低毒	^{3}H、^{11}C、^{11}CO、$^{11}CO_2$、^{14}CO、$^{14}CO_2$、^{18}F、^{51}Cr、^{99m}Tc、^{111m}In、^{123}I、^{133}Xe、^{201}Tl	0.01

表 A.2 核医学常见放射性核素状态与操作放射修正因子

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
发生器淋洗	母体（液态）	贮存	100
	子体（液态）	简单操作	1
医疗机构使用	^{18}F、^{99m}Tc（液态）	很简单操作	10
	^{125}I 籽源（固态）	很简单操作	100
放射性药品生产	分装、标记（液态）	简单操作	1
	分装、标记（固体）	简单操作	10
核素治疗	^{131}I（液态）	简单操作	1

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。南京医科大学第二附属医院核医学科所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-2。

表 9-2 南京医科大学第二附属医院核医学科使用的放射性核素日等效最大操作量核算

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]			[redacted]

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）非密封源工作场所的分级原则，结合表 9-2 计算结果可知本项目核医学诊断工作场所日等效最大操作量为 1.63×10^{8}Bq，属于“2×10^{7}～4×10^{9}” Bq，确定本次改建的工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

二、工作原理及工作流程

（一）工作原理

1、SPECT/CT 显像诊断

SPECT/CT（Single-Photon Emission Computed Tomography-Computed Tomography）即单光子发射计算机断层扫描。它将发射单光子的核素药物如 ^{99m}Tc 引入生物体，其经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，这些差异通过计算机处理成 ECT 图像，为肿瘤的诊治提供多方位信息。γ 照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线（Ray）进来的 γ 光子，其测量值代表人体在该投影线上的放射性之和。在同一条直线上的灵敏点可探测人体一个断层上的放射性药物，它们的输出称作该断层的一维投影（Projection）。各条投影线都垂直于探测器并互相平行，称之为平行束，探测器的法线与 X 轴的交角 θ 称为观测角（View）。γ 照相机是二维探测器，安装了平行孔准直器后，可以同时获取多个断层的平行束投影，这就是平片。平片表现不出投影线上各点的前后关系。要想知道生物体在纵深方向上的结构，就需要从不同角度进行观测。可以证明，知道了某个断层在所有观测角的一维投影，就能计算出该断层的图像。从投影求解断层图像的过程称作重建（Reconstruction）。这种断层成像术离不开计算机，所以称作计算机断层成像术（Computered Tomography，CT）。CT 设备的主要功能是获取投影数据和重建断层图像。

CT 是计算机断层 X 射线摄影术（Computed Tomography）的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据。它根据人体不同组织对 X 线的吸收与透过率的不同，应用灵敏度极高的仪器对人体进行测量，然后将测量所获取的数据输入电子计算机，电子计算机对数据进行处理后，就可摄下人体被检查部位的断面或立体的图像，发现体内任何部位的细小病变。



图 9-1 本项目 SPECT/CT 外观图

2、^{131}I 甲状腺功能测定

甲状腺吸 ^{131}I 功能试验是了解甲状腺碘代谢的常用方法。甲状腺具有摄取和浓聚碘的能力，碘参与甲状腺激素合成、分泌的全过程。在空腹条件下，口服放射性 ^{131}I 后，经胃肠吸收并随血流进入甲状腺，并迅速被甲状腺滤泡上皮细胞摄取，其摄取的量与速度与甲状腺的功能密切相关。因此，利用甲状腺功能测定仪获得不同时间的甲状腺摄碘率，以此来评价甲状腺的功能状态。

3、甲亢治疗

甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达 3.5~5.5 天。在患者服用 ^{131}I 后，90%以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。^{131}I 衰变为 ^{131}Xe 时放射出 95%的 β 射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。因此，^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到 β 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

（二）工作流程及产污环节

1、SPECT/CT 显像诊断

南京医科大学第二附属医院改建核医学工作场所项目所使用的 ^{99m}Tc 放射性药物拟向制药公司订购获得（按每名患者所需量订购，无需分装），医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，提前向制药公司预订，制药公司在患者就诊前将药

物送到核医学科的源库内，核医学科指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到源库内，使用时将所需药物转移到分装室手套箱内操作（手套箱内每次只操作一种核素），当天用完。

患者按预约日期到达候诊区，在候诊区内接受宣讲和告知，之后在进行注射前埋针，埋针后进入核医学科的注射室。医护人员在铅手套箱内根据患者用药情况将药物装至带铅套的注射器内，经校对无误后，在注射窗口为病人注射。注射完毕后的注射器放入专用废物铅桶内。每次注射过程按 1min 估算。

SPECT/CT 诊断具体工作流程如下

（1）接收患者，开具 SPECT/CT 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害；

（2）医生根据病情确定使用核素的剂量；与患者预约，按需订购放射性药物；

（3）病人先进行埋针，然后通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在γ射线污染，同时会产生放射性废水、固废(注射器、棉球、药品盒)；

（4）病人注射完药物后进入注射后候诊室内等待观察（一般注射放射性药物后需等待约 40min），待药物代谢至靶器官，进入 SPECT/CT 检查室，经医护人员摆位后，接受 SPECT/CT 的扫描，每次扫描约 10～20 分钟。扫描完成后，病人在留观室休息，留观一段时间后，若无其他情况，从病人专用通道离开。此过程病人带有γ射线。

SPECT/CT 诊断工作流程及产污环节分析见图 9-2。

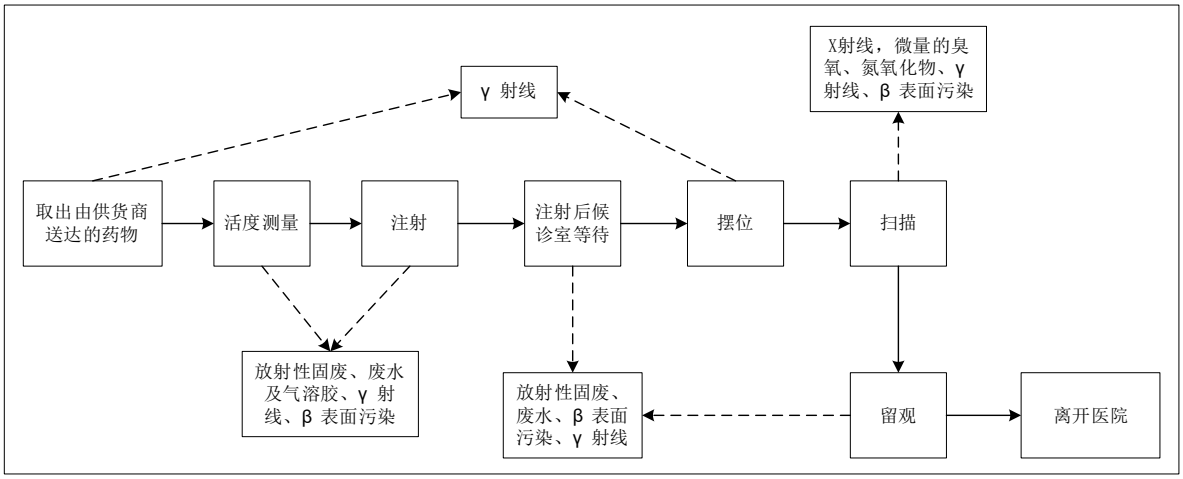


图 9-2 SPECT/CT 工作流程及产污环节分析示意图

因此，用 ^{99m}Tc 进行 SPECT/CT 显像主要环境影响为注射对工作人员产生的外照射；注射过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，

如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、注射放射性药物患者的排泄物； SPECT/CT 扫描时产生的 X 射线。

2、^{131}I 甲状腺功能测定

医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订购放射性同位素 ^{131}I（按每名患者所需量订购，无需分装），由药物供货商负责药物运输至源库，医生通知患者到注射室服药窗口，将药物按照病人所需量直接给每个病人口服。该院预计甲状腺吸碘功能测定病例每天最多 5 例，预计每名患者所使用 ^{131}I 的活度不超过 $3.7\times10^{5}Bq$（10μCi），患者用药后进行一定时间的观察，如无异常情况，既可离开医院。甲测项目工作流程及产污环节分析见图 9-3。

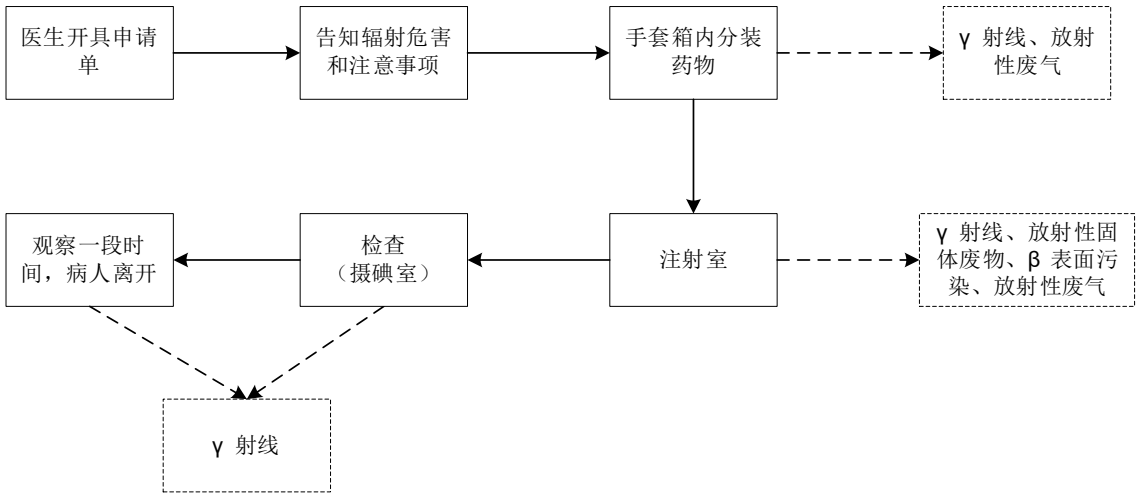


图 9-3 ^{131}I 甲状腺功能测定流程图

3、甲亢治疗

病人由服碘窗口取药后服用（按每名患者所需量订购，无需分装），甲亢治疗病人单次使用的 ^{131}I 给药量最大为 10mCi。本项目甲亢治疗患者日就诊量最大为 4 人，年就诊量最大为 1000 人。病人服药后在甲亢留观区进行留观（留观时间不超过 30min），若无不良反应，即可离开医院。甲亢治疗项目工作流程及产污环节分析见图 9-4。

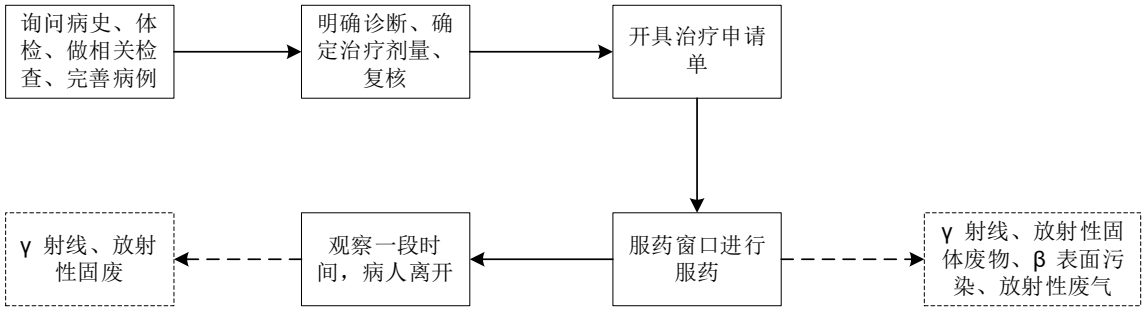


图 9-4 甲亢治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

（三）工作场所路线规划

本次改建核医学科工作场所控制区和监督区内患者及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免工作人员、公众受到不必要的外照射。核医学科工作场所区域划分及患者、医护人员流动路线见附图 4-3。

医护人员路径：1、核医学科核素操作人员从核医学场所西侧入口进入核医学科，通过卫生通过间向东进入分装室、注射室、源库等，工作完成后原路返回；2、SPECT/CT 操作人员从核医学场所西侧入口经过报告室后向东通过控制室操作位，进行扫描操作，工作完成后原路返回。

患者路径：

1、SPECT/CT 显像诊断

核医学科患者从核医学场所东侧入口进入核医学科，向东经过病人走道到达注射窗，在注射窗口处接受给药后向东依次经过注射后候诊室、SPECT/CT 扫描间（机房）、留观室，经由留观室东侧出口离开核医学科。此出口避开人员密集处。

2、^{131}I 甲状腺功能测定与甲亢治疗

患者从 3 号楼南侧室外道路到达服药窗口进行服药，甲亢患者在甲亢留观区留观一段时间，确认无不良反应后，离开医院（病人拟采用分时就诊等方式，防止服药后病人对公众造成不必要的照射），甲测患者向东到达摄碘室内进行测量，根据医生提示和导流标志提示，离开核医学科场所。

放射性药物路径：^{131}I 、^{99m}Tc 放射性药物由厂商在患者受检前，从核医学场所东侧入口，向西通过患者通道到达核医学科源库内，铅罐原路返回。

废物路径：每日核医学科项目患者离开后，产生的放射性废物从各房间收集后，经病人通道、分装室集中到废物库中，分别标记、分开贮存，在废物库中的铅桶内自

然衰变 30 天或 180 天后，从核医学场所东侧入口送出（错峰送出）。

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求：核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷；核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间；操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测。

本次核医学科项目相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间开展，减少了人员的流动性，有助于实施工作程序；医护人员与患者有各自独立的通道；注射室与检查室分开，核医学场所内设置有患者专用卫生间。医院拟采取向患者发放告知单及叫号等措施，避免患者在核医学科工作场所内的随意走动，减少患者间的交叉而受到额外的辐射影响。工作人员离开工作室前洗手和做表面污染监测，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。本项目乙级非密封放射性物质工作场所布局满足《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）中关于临床核医学工作场所的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）要求。

污染源项描述

一、放射性污染

（一）辐射

SPECT/CT 扫描时产生的 X 射线，能量最大为 140kV，SPECT/CT 显像检查用 ^{99m}Tc 放射性核素，在取药、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中，^{99m}Tc 发生 γ 衰变生成 ^{99}Tc，半衰期为 6.02 小时，产生能量为 0.140MeV 的 γ 射线，此后 ^{99}Tc 以 β 衰变方式衰变，产物为 ^{99}Ru（钌），但其半衰期长达 211100 年，以上射线会造成医务人员和公众的外照射；在进行 ^{99m}Tc 放射性核素操作过程中，引起操作台面、设备、墙壁、

地面、工作服、手套等放射性沾污，造成β放射性表面污染。

^{131}I衰变一共分为两步，第一步是β^-衰变，释放606.3keV的β射线，生成^{131}Xe中间状态，第二步是γ衰变，释放364.489keV的γ射线最终转变成稳定的^{131}Xe。在应用过程中产生的辐射主要来自于放射性药物在衰变过程中产生的β射线和γ射线。在放射性药物质控和注射等操作中，辐射工作人员、患者会处于该辐射场中，受到来自放射性药物的内照射及外照射。

口服^{131}I、注射^{99m}Tc放射性药物后的患者，其身体就成为了辐射源。此外患者的分泌物、呕吐物、排泄物等均具有放射性，会对其周围的辐射工作人员、相关公众及周围环境造成辐射危害。

本项目核医学科拟使用的放射性核素种类及其特性见表9-3。

表9-3 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β最大能量（MeV）	光子能量（MeV）	周围剂量率当量率常数（裸源）①（μSv·m²/MBq·h）
^{99m}Tc	6.02h	同质异能跃迁	—	0.140	0.0303
^{131}I	8.02d	β^-	0.602	0.284、0.365、0.637	0.0595

注：①该数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）。

SPECT/CT扫描时CT发出能量最大为140kV的X射线，其贯穿能力远弱于放射性核素发出的γ射线，在γ射线得到充分屏蔽的条件下，CT发出的X射线也能够得到足够的屏蔽。β射线穿透能力较弱，对周围环境影响很小，其对周围环境的辐射影响较放射性核素可忽略不计。而放射性核素衰变过程中产生的γ射线穿透能力较强，会对工作场所及周围环境产生一定的外照射影响。故核医学科主要考虑放射性核素发出的γ射线的辐射影响。

（二）放射性废气

^{131}I、^{99m}Tc放射性核素在操作过程中，由于空气的流动而“挥发”出的微量放射性废气，被医务人员或公众吸入体内造成的内照射影响。本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），开放液面挥发散逸的放射性同位素经通风系统内活性炭过滤后，从手套箱的通风管道直接抽出，由屋顶排放；整个核医学科工作场所均拟设置新风系统，保证工作场所内空气循环。

（三）放射性废水

体内含有放射性核素（^{99m}Tc）的患者排泄物等和工作场所清洗废水等。本次开展SPECT/CT诊断项目日接诊量最大为20人次，放射性废水产生量按10L/人次计算，工作场所每天的清洗废水约为100L，则放射性废水排放量为300L/d（10L/人×20人/d+100L/d）；^{131}I项目患者治疗中不产生放射性废水。

（四）放射性固体废物

^{131}I、^{99m}Tc放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸及患者使用的一次性杯子等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，通风管道内更换下来的废活性炭，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。SPECT/CT诊断项目日接诊量最大为20人次，^{131}I项目日接诊量最大为9人次，放射性固体废物产生量按0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为0.58kg/d（0.02kg/人×（20人/d+9人/d））。

二、非放射性污染

（一）废气

SPECT/CT机房内的空气在X射线、γ射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体。

（二）废水

主要是工作人员产生的生活污水。

（三）固体废物

主要是工作人员产生的生活垃圾。

表 10　辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

（一）工作场所布局合理性

本项目核医学工作场所位于 3 号楼 1 楼南侧，3 号楼东侧隔绿化地带为护城河，南侧为院内道路、锅炉房、垃圾场，西侧隔院内道路为 4 号楼，北侧为高压氧舱楼；核医学工作场所东侧、南侧和西侧为院内道路，北侧为 CT 室、设备间，上方为病历档案室、报告室、值班室，下方为衰变池。

南京医科大学第二附属医院本次改建核医学科项目拟将 SPECT/CT 扫描间、源库、分装室、注射室、废物库、病人通道、注射后候诊室、留观室/抢救室、摄碘室、患者卫生间及衰变池等作为辐射防护控制区，将报告间、更衣淋洗室、控制室、门厅、卫生间等作为辐射防护监督区。本项目核医学科平面布局及辐射防护分区见附图 4-2。

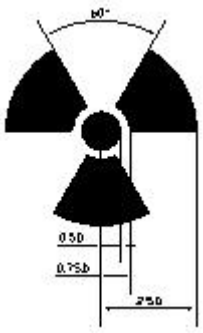
本项目核医学工作场所位于 3 号楼 1 楼南侧，整个诊断工作场所相对独立，与其他科室有明显的界限。拟改建的核医学科项目人流及物流具有相对的独立通道，且出入口避开了人流量较大的区域，避免了对公众不必要的照射。

本项目辐射工作场所符合工作要求且有利于辐射防护和环境保护进行布局，功能分区明确，既能有机联系，又不互相干扰，且最大限度避开了人流量较大的门诊区或其它人流活动区；在设计阶段，辐射工作场所进行了合理的优化布局，同时兼顾了病人就诊的方便性，从辐射安全和防护角度分析，其总平面布局合理，满足《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以及《核医学防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）的标准要求。

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，建设单位应做到：

1、控制区的防护手段与安全措施：

（1）核医学诊断工作场所进、出口防护门外、注射后候诊室防护门外、留观室防护门外、SPECT/CT 机房防护门外及其他适当位置处设立醒目的“当心电离辐射”警告标志。“当心电离辐射”警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 F 要求，如图 10-1 所示。



a.电离辐射标志



b.电离辐射警告标志

图 10-1 电离辐射标志和电离辐射警告标志

（2）制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

（3）运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

（4）在缓冲区/更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

（5）定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

2、监督区防护手段与安全措施

（1）以黄线警示监督区的边界；

（2）在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

（3）定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

（二）场所安全措施要求

根据 HJ1188-2021 的要求，本项目核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

二、辐射防护屏蔽设计

根据医院提供的改建项目设计资料，该核医学科工作场所屏蔽设计如表 10-1：

表 10-1 改建核医学科项目工作场所屏蔽设计一览表

[redacted]	[redacted]				
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]				
[redacted]	[redacted]				

注：铅密度为 11.3g/cm^3，混凝土密度为 2.35g/cm^3。

三、辐射安全措施

（一）电离辐射警告标志

医院拟将本项目核医学科工作场所划分为控制区和监督区，在控制区入口处拟设置有符合规范的电离辐射警告标志，监督区入口处拟设置标明监督区的标志。

（二）工作状态指示灯、闭门装置

SPECT/CT 机房门口拟设置工作状态指示灯，且工作状态指示灯与机房相通的门设置联锁装置，用于提示机房内设备的运行状态；平开机房门应设有自动闭门装置，推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施。

（三）语音对讲、监控装置

医院拟在 SPECT/CT 机房与控制室内设置双向语音对讲装置和监控系统，且 SPECT/CT 机房控制台处安装有观察窗，在诊断过程中医务人员可以及时观察患者情况和与患者交流，保证诊断质量和防止意外情况的发生。

（四）对控制区内带药患者的监督管理

医院拟做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；拟在控制区出入口设置单向门禁系统，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线；加强对控制区内注射放射性药物患者的监督管理，避免其给药后随意走动；同时应告知检查完

成后患者离开路线，防止其对公众造成不必要照射。

（五）核医学科工作场所安全防护措施管理规定

医院拟将 SPECT/CT 扫描间、源库、分装室、注射室、废物库、病人通道、注射后候诊室、留观室/抢救室、摄碘室、患者卫生间及衰变池等作为辐射防护控制区，将报告间、更衣淋洗室、控制室、门厅、卫生间等作为辐射防护监督区。

医院拟在卫生通过间内配备表面污染监测仪和去污洗消设施，以便及时监测离开分装室和注射室的人员表面污染和及时进行去污洗消；工作人员离开控制区前洗手和做表面污染监测，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。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求。

（六）工作人员防护用品

医院拟为本项目工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有铅橡胶围裙、放射性污染防护服、铅橡胶围脖、剂量报警仪、个人剂量计等。

（七）监视和对讲装置

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

本项目辐射安全设施布设示意图见附图 4-4。

四、监测仪器和防护用品

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，开展放射诊疗的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

南京医科大学第二附属医院已配备 1 台辐射巡测仪，1 台表面沾污仪、2 台个人剂量报警仪。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并将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。

表 10-2 个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

场所类型	分项		《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求	本项目拟采取措施
SPECT 场所	工作人员	必备	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	2 套铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜；1 套注射器铅防护套、防护提盒；放射性污染防护服 2 件。
		选备	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	
	患者或受检者		/	/
应急及去污用品			一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清晰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、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。	一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清晰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、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子若干。

三废治理

一、放射性三废

本项目运行期产生的主要放射性三废为核医学工作场所使用非密封性同位素过程中产生的含放射性固废、放射性废水和含放射性核素气溶胶，核医学诊断工作场所拟采取以下“三废”防治措施。

（一）含放射性核素气溶胶

核医学科分装室内的手套箱有独立排风管道，放射性药物的各项操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的手套箱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于 0.5m/s；核医学科候诊室、分装室、留观室、摄碘室、SPECT/CT 扫描间等均有排风管道连接，要确保非密封放射性物质工作为负压工作场所，工作场所各排风管道须密封良好，不与其他排风管道相通，通风管道布设如附图 7 所示。

医院拟在排风管道末端处配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施，为保证过滤效率的有效性，建设单位需根据设备特性定期进行过滤器维护和校准，过滤器及活性炭需定期更换（1～2 次/年），更换后的废活性炭经贮存自然衰变 180 天

后作为医疗废物处置。

本项目核医学科产生的废气将通过排风管引至3号楼楼顶排放，排风口高于楼顶，排口不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标，同时为防止公众进入楼顶，建设单位应将3号楼楼顶划为管控区域，并进行管理。

（二）放射性废水

本项目核医学科产生的含放射性废水包括：工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水，清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水，以及患者冲洗排便用水。

本项目核医学科设置有独立的病人专用卫生间，且设置有独立的排水系统，并与本项目改建的衰变池相连，该衰变池位于3号楼地下，避开了人群集中活动区域。工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至本次改建的衰变池系统内（见附图5），本项目核医学科对于部分外露管道将采用铅皮进行包裹，尽量减小对公众的辐射影响。本项目含^{99m}Tc放射性废水暂存衰变30天后可直接解控排放至流入医院污水处理系统作为医疗废水处理。

本项目衰变池系统位于衰变间内，衰变间四周及下方均为土层，池顶为4mmPb硫酸钡。核医学科的衰变池系统由1个降解池和4个衰变池组成，衰变池包括3个^{99m}Tc显影废水衰变池与1个^{131}I衰变系统。^{99m}Tc显影废水衰变池单个尺寸均为3m×2m×2m，容积均为12m^3，运行容积均为10.5m^3，总运行有效容积为31.5m^3，为不锈钢拼装水箱组成，^{99m}Tc显影产生的放射性废水先进入降解池进行初级沉淀后排入第一个衰变池中，待第一个衰变池的废水装满后自动关闭第一个衰变池的进水阀门，打开第二个衰变池的进水阀门，核医学的废水通过沉淀池会排入第二衰变池内，此时第一个衰变池不外排放射性废水，待第二个衰变池的废水装满后，自动关闭第二个衰变池的进水阀门，打开第三个衰变池的进水阀门，此时核医学科产生的放射性废水均进入第三个衰变池内，待第三个衰变池即将装满放射性废水时，此时打开第一个衰变池的排水阀门，将放射性废水排至医院污水处理站，三个衰变池以此往复运行；^{131}I衰变系统为1个5m^{3}的不锈钢水箱，内含2个2.5m^{3}的小池，为应急使用，含^{131}I废水直接排入^{131}I衰变池。

放射性废水主要有沾有放射性核素的医疗器械、器皿的洗涤用水，辐射工作人员的洗涤用水以及服用药物病人的排泄物及冲洗水等。本项目核医学科工作场所中，

SPECT/CT 诊断项目日接诊量最大均为 20 人次，放射性废水产生量按 10L/人次计算，工作场所每天的清洗废水约为 100L，则每日放射性废水排放量为 300L/d（10L/人×20 人/d+100L/d）。^{99m}Tc 显影废水衰变池总运行有效运行容积为 31.5m^3，可存放 ^{99m}Tc 放射性废水 105 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24h 的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的标准要求。

为进一步保证衰变池的长效可靠运行及人员安全，医院应切实做好以下工作：

1、应建立衰变池排放台账，记录每次排放时间、排放量及监测结果情况并由专人负责管理；

2、衰变池周围需设立明显的“电离辐射警告标志”，同时衰变池四周应设立拦挡隔离，防止无关人员靠近；

3、专用厕所应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

（三）放射性固废

核医学科产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸等。核医学科注射室、注射后候诊室、分装室等房间均拟设置 1～2 个放射性废物桶（防护厚度应不低于 10mmPb），另外，医院在核医学科设有 1 个废物库，面积约为 1.3m^2，总容积约为 5.2m^3，有效使用体积保守按照 40%进行估算，约为 2.1m^3，核医学科各房间放射性废物桶内的废弃物在下班后统一集中到废物库内，^{99m}Tc 放射性固体废物可在废物库内暂存超过 30 天，^{131}I 放射性固体废物可在废物库内暂存超过 180 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，同时放射性废物包装袋还应满足“放射性废物每袋不超过 20kg”的标准要求。

手套箱通风管道内更换下来的废活性炭，连同其他放射性固体废物在废物库暂存时间超过 180 天，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，作为医疗废物进行处理。

为进一步保证放射性废物的科学管理及人员安全，医院应切实做好以下工作：

1、放射性废物应收集在具有防护外层和电离辐射标志的固体废物桶中，固体废物桶应避开辐射工作人员和经常走动的地方，装满后的废物袋应密封，不破漏；

2、存放废物的容器必须安全可靠，并在铅废物桶的显著位置处标有废物类型、

核素种类、比活度范围和存放的日期等说明；

3、放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》的相关规定。

4、建立放射性废物收集、暂存、转运、回收台账，确保放射性固废不乱丢、不乱弃；

5、不同核素种类放射性固废进行分类收集，达到清洁解控水平后，按照医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理。

二、非放射性三废

（一）废气：核素操作过程中，空气因电离产生的少量臭氧和氮氧化物可通过核医学科工作场所均拟设置的排风系统排至室外，常温下臭氧约 50 分钟可自动分解为氧气。

（二）废水：工作人员产生的医疗废水和生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网。

（三）固体废物：产生的医疗废物集中收集后交资质单位处置；生活垃圾经分类收集后，交由市政环卫部门处理。

表 11　环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本次改建核医学科建设时主要工作为建筑施工、墙体隔断与内饰装潢，将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设施工时对环境会产生如下影响：

1、大气：本项目在建设施工期需进行的墙体隔断等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：及时清扫施工场地，设立围挡，并保持施工场地一定的湿度。

2、噪声：整个建筑施工阶段，如墙体拆除、墙体连接等施工中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的标准，尽量采用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

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

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

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

本项目主要污染因子为 ^{131}I、^{99m}Tc 放射性核素在取药、服药、注射、注射后候诊、扫描、留观等操作过程中产生的 β、γ 射线；SPECT/CT 装置 CT 扫描时产生的 X 射线。

（一）β 射线辐射影响分析

β 射线的穿透性能较差，根据《辐射防护手册（第三分册）》，β 射线在不同物质中与最大射程对应的防护厚度为：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\rho \max}$$

公式 11-1

式中：$E_{\beta max}$—β 射线的能量，MeV；

ρ—物质的密度，g/cm^3。

d—与最大射程对应的防护厚度，cm。

主要计算参数及结果见表 11-1。

表 11-1 与最大射程对应的防护厚度计算参数及结果

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]

本项目 ^{131}I 放射性核素装在 1.5mm 玻璃瓶，再装在 40mm 铅罐中，β 射线在上述屏蔽材料中射程均极短。

综上所述，本项目涉及使用的 ^{131}I 放射性核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽 β 射线，同时在整个使用过程中辐射工作人员还穿戴有 0.5mmPb 的防护铅服，且周围公众与放射性核素之前还采取了距离隔离措施，因此 β 射线对辐射工作人员和周围公众辐射影响很小。

（二）β 放射性表面污染影响分析

β 放射性表面沾污的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对辐射工作人员和周围公众造成辐射影响，因此，为了使本项目核医学科的 β 放射性表面污染水平达到 GB 18871-2002 规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

1、使用、操作放射性同位素的人员应经过专业学习并持证上岗，具备相应的技能与防护知识；

2、本项目放射性核素操作均在手套箱中进行；

3、操作 ^{131}I、^{99m}Tc 放射性核素应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，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、放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污；

6、做好就诊患者的管理，特别是注射放射性药品的患者管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动；

7、如 β 放射性表面污染水平超过 GB 18871-2002 规定值，医院应暂停开展核医

学科的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

（三）γ 射线辐射影响分析

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中第 1.2 款 ^{99m}Tc 诊断、^{131}I 治疗、PET 等工作场所的屏蔽计算，保守起见，所有核素（如 ^{99m}Tc、^{131}I 等）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

$$x = TVL \times \lg(\frac{A \cdot \Gamma}{H_p \times r^2}) \qquad (I.1)$$

式中：x—屏蔽厚度，mm；

TVL—γ 射线的十分之一值层厚度，mm；

A—单个患者或者受检者所用放射源的最大活度，MBq；

Γ—距源 1m 处的周围剂量当量率常数，μSv·m^2/MBq·h；

H_p—屏蔽体外关注点剂量率，μSv/h；

R—放射源到考察点的距离，m。

由公式 I.1 推导可得：

$$H_p = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} 10^{(-\frac{x}{TVL})} \qquad 公式\ 11\text{-}2$$

由《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）查出铅对 ^{131}I、^{99m}Tc 什值层见表 11-2。

表 11-2 常用核素屏蔽材料十分之一值层厚度（*TVL*）

[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]

根据工程分析可知，核医学科项目辐射影响主要包括药物活度测量过程、注射、服药、患者候诊、扫描和留观等过程，主要对核医学科工作人员及室外公众产生外照射辐射影响，根据公式 11-2 可估算出核医学科项目周围各参考点处的辐射水平，各参考点位置见图 11-1，预测结果见表 11-3，本项目辐射影响主要为 SPECT/CT 显影治

疗与甲亢治疗过程，甲功测定用量较小，对周围环境的辐射影响较小。

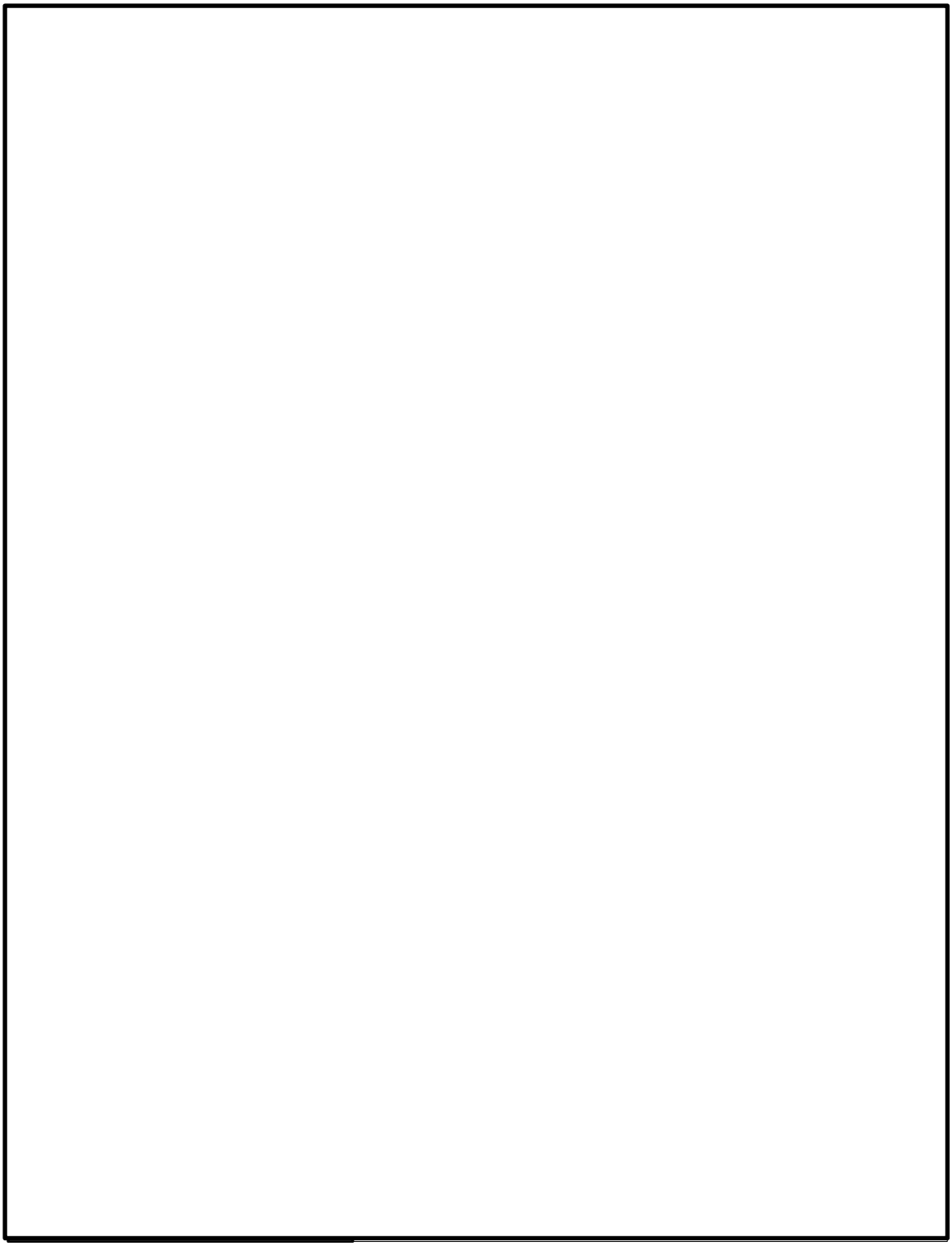
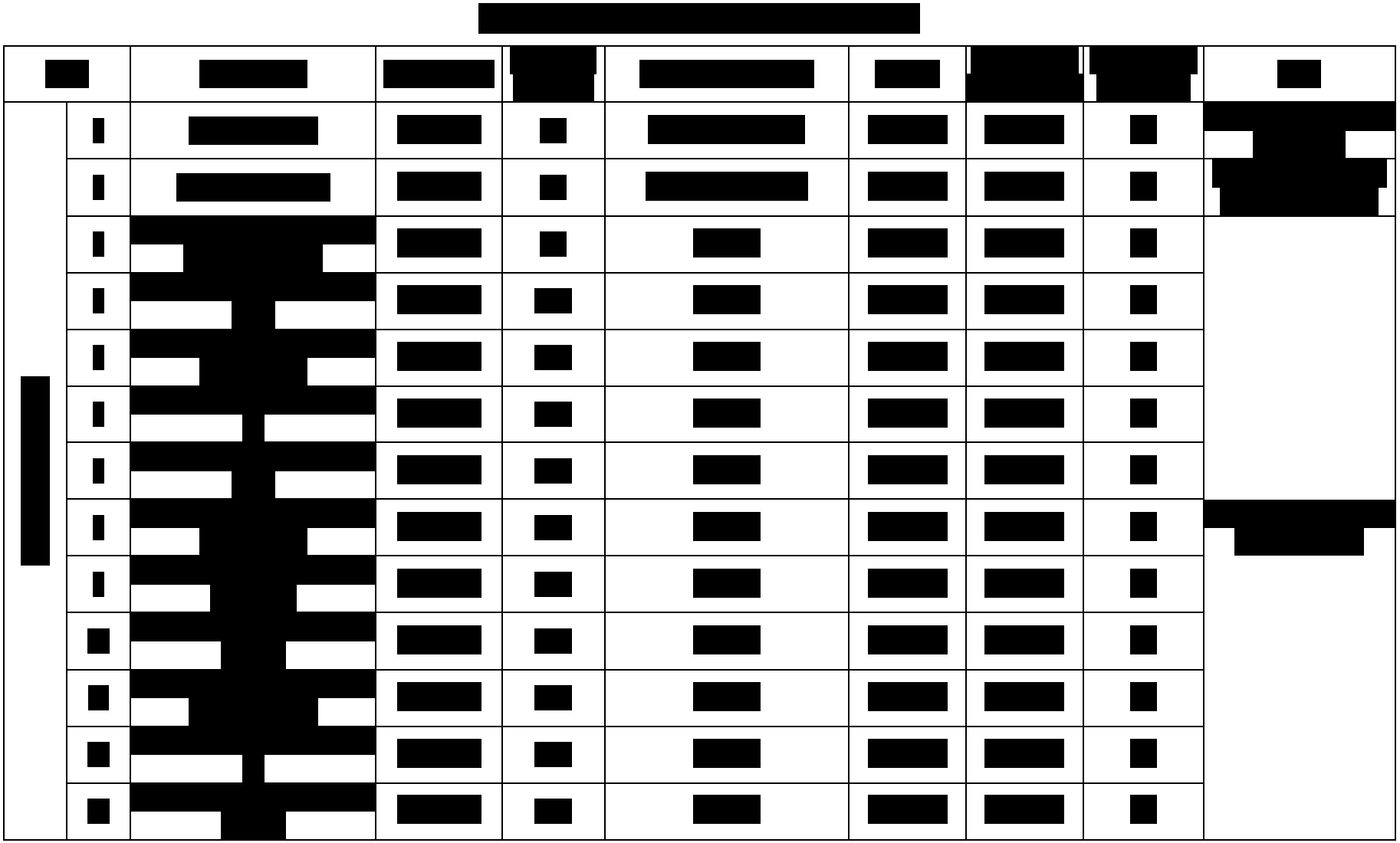
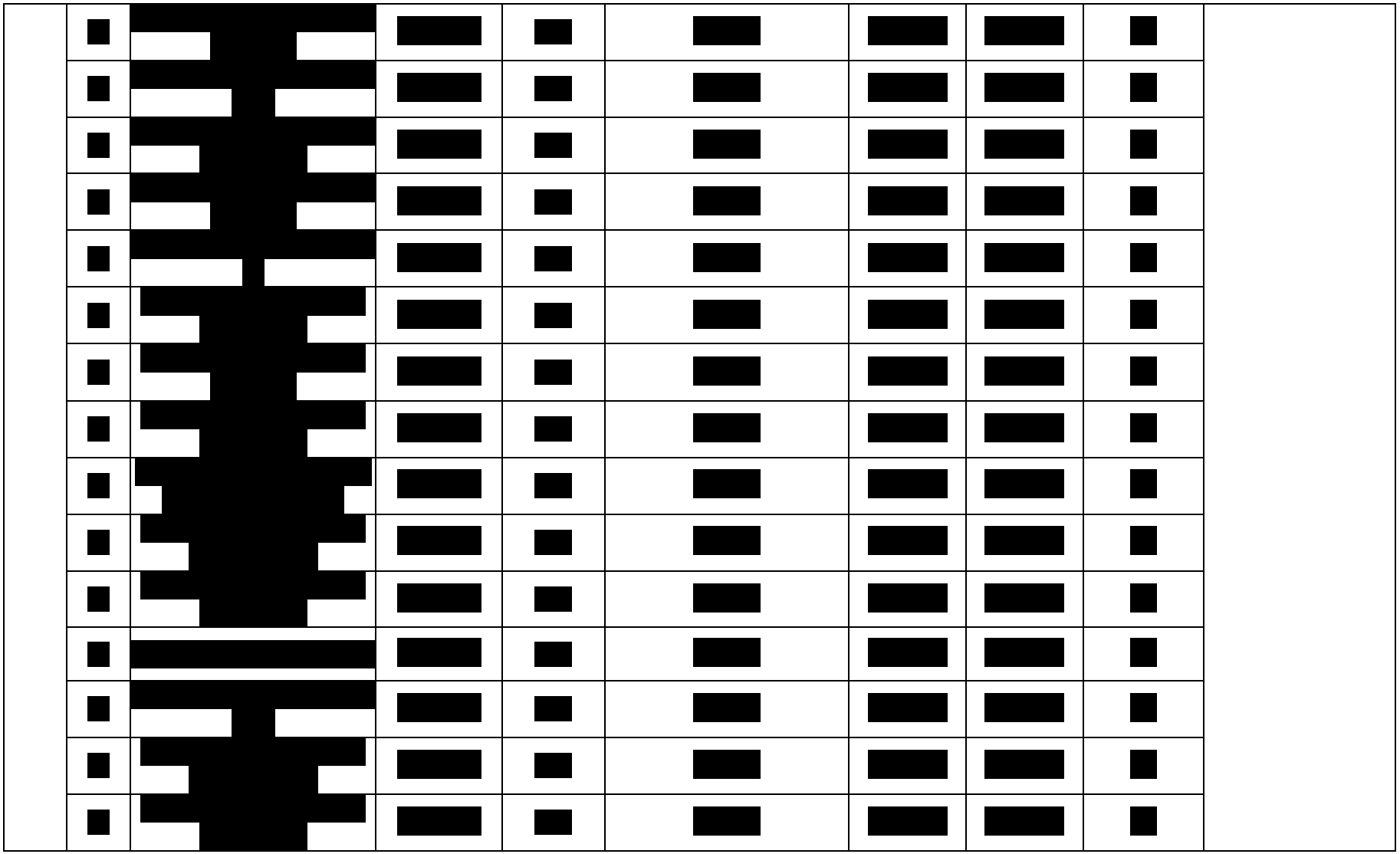
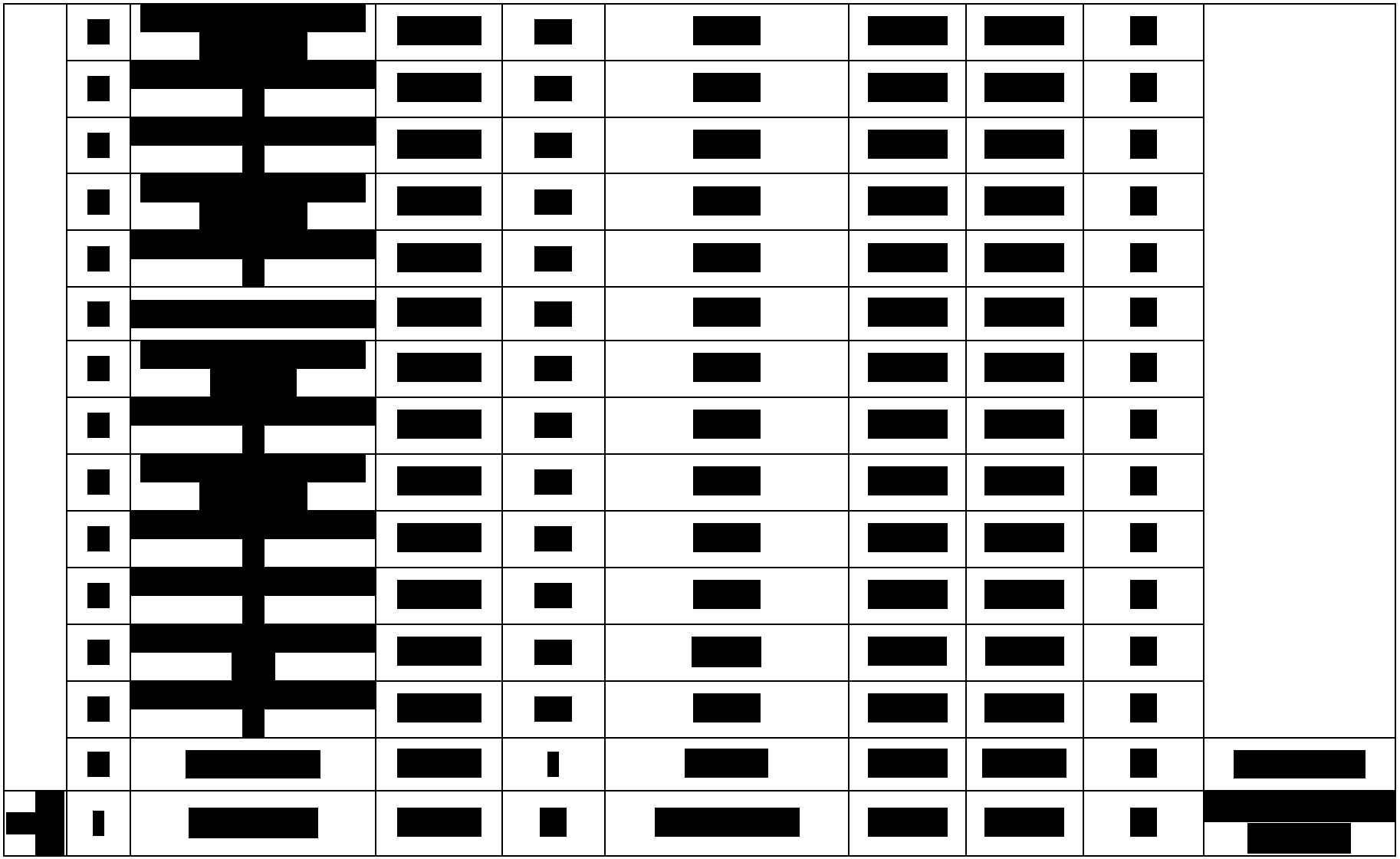
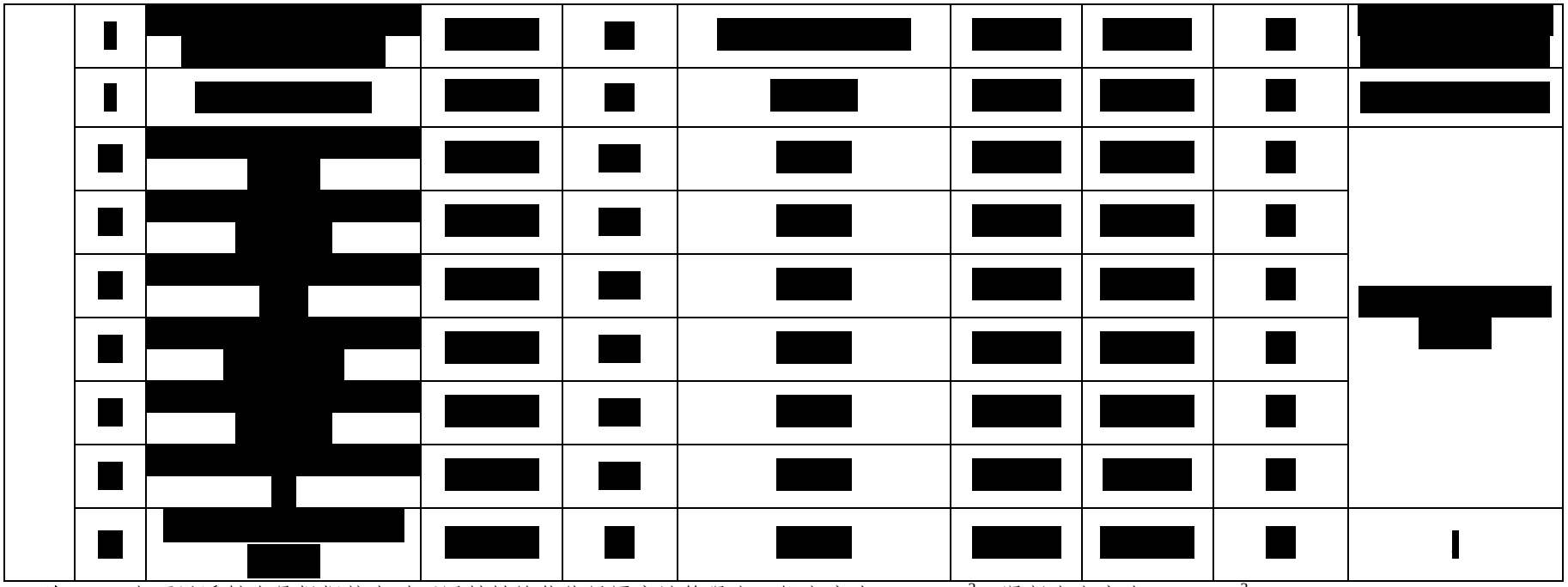


图 11-1 本项目核医学计算参考点位









注：1、本项目透射比是根据核素对不同材料的什值层厚度计算得出，铅密度为 11.3g/cm^3，混凝土密度为 2.35g/cm^3；

2、核医学科甲亢治疗项目核素服药阶段，周围剂量当量率常数（裸源）取 0.0595μSv·m^2/MBq ħ，带药患者观察阶段，患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率保守按裸源取 0.0595μSv·m^2/MBq ħ；

3、核医学科手套箱内药物最多 20 人 SPECT/CT 用量（1.48×10^{10}Bq）或 4 人甲亢用量（1.48×10^{9}Bq），本项目核素不涉及分装；

4、核医学科 SPECT/CT 诊断项目核素注射阶段，周围剂量当量率常数（裸源）取 0.0303μSv·m^2/MBq ħ，注射后带药患者候诊、扫描、留观阶段，患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率保守按裸源取 0.0303μSv·m^2/MBq ħ。

由表 11-3 的理论估算结果可以看出，由于有 20mmPb 手套箱屏蔽，^{131}I 、^{99m}Tc 药物取药过程中对操作人员的躯干辐射影响较小，但由于需要用手操作，手部剂量较高。^{131}I 、^{99m}Tc 核素外设有铅套、同时操作中工作人员穿戴铅防护服。^{131}I 、^{99m}Tc 药物在操作过程中及患者在显像过程中对分装室、注射室、给药后候诊室及 SPECT/CT 机房、留观室及摄碘室外的环境影响较小，分装室、注射室、给药后候诊室、SPECT/CT 机房、留观室及摄碘室的防护设计均能够满足 ^{131}I 、^{99m}Tc 核素的辐射防护要求。

候诊期间由于患者相对集中，医院必须采取分批预约、分批注射（服药）、分批候诊的方式，严格按要求控制注射后候诊室、摄碘室、甲亢留观区（每次只有 1 名甲亢患者在此留观）内患者的数量，减少对患者与对外环境的辐射影响。

4、CT 环境影响分析

本项目按额定管电压 140kV 核算 SPECT/CT 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。本项目 SPECT/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量见表 11-4。

表 11-4 核医学科 SPECT/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量一览表

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：铅密度为 11.3g/cm^3。

由上表可知，核医学科 SPECT/CT 机房屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

本项目 SPECT/CT 机房辐射屏蔽主要考虑散射辐射与泄漏辐射的影响。本项目 SPECT/CT，以 CT 模式运行时，其常用最大管电流约为 200mA、最大管电压为 140kV，根据《辐射防护手册（第一分册）》P448 的能量散射公式计算一次散射能量与初级

射线能量的比值，140kV 射线经过一次散射后的射线能量约为 109.9kV，故本项目保守按 120kV 进行计算。

（1）关注点处散射辐射空气比释动能率计算

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 10.10）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）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot r^2} \qquad \text{公式 11-3}$$

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 ㎡ mA^{-1} ㎜in^{-1}，具体数值可根据 X 射线机管电压、过滤片等条件从《辐射防护导论》附图 3 查取，按本项目 CT 的最大管电压为 140kV、过滤片为 2.5mmAl 的条件从《辐射防护导论》附图 3 查得 H_0 为 15mGy ㎡ mA^{-1} ㎜in^{-1}，即 900000μGy ㎡ mA^{-1} ㏗$^{-1}$；

I—管电流，mA；本项目 CT 模式下正常使用的最大管电流为 200mA；

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，本项目最大常用管电压为 140kV，采用内插法查取散射角 90°时 140kV 对应的 a 值为 0.0016；

S—主束在受照人体上的散射面积，本项目取 314cm^2；

d_0—源至受照点的距离，本项目保守取 0.6m；

r—受照体至关注点的距离；

B_s—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-4：

$$B_s = \left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad \text{公式 11-4}$$

式中：X—铅厚度，本项目机房屏蔽体的铅厚度见表 11-4；

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，具体见表 11-5。

表 11-5 铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

（2）关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算

泄漏辐射剂量率 H_L 采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2}$$ 公式 11-5

式中：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 0.8mGy/h。

B—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-4。

按照公式 11-5 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，机房外关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-6。

表 11-6 SPECT/CT 机房 CT 出束状态下参考点处及叠加 ^{99m}Tc 放射性药物的辐射剂量率核算值

[redacted]											
[redacted]											
[redacted]											
[redacted]											
[redacted]											
[redacted]											
[redacted]											
[redacted]											
[redacted]											
[redacted]											

注：SPECT/CT 机房 CT 出束状态下参考点处剂量率估算值 $H=H_S K_S+H_L K_L$，式中：K_S、K_L 为有效剂量与空气比释动能转换系数，单位为 Sv/Gy，查《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，采用内插法求取 K_S 取 1.69，K_L 取 1.64。

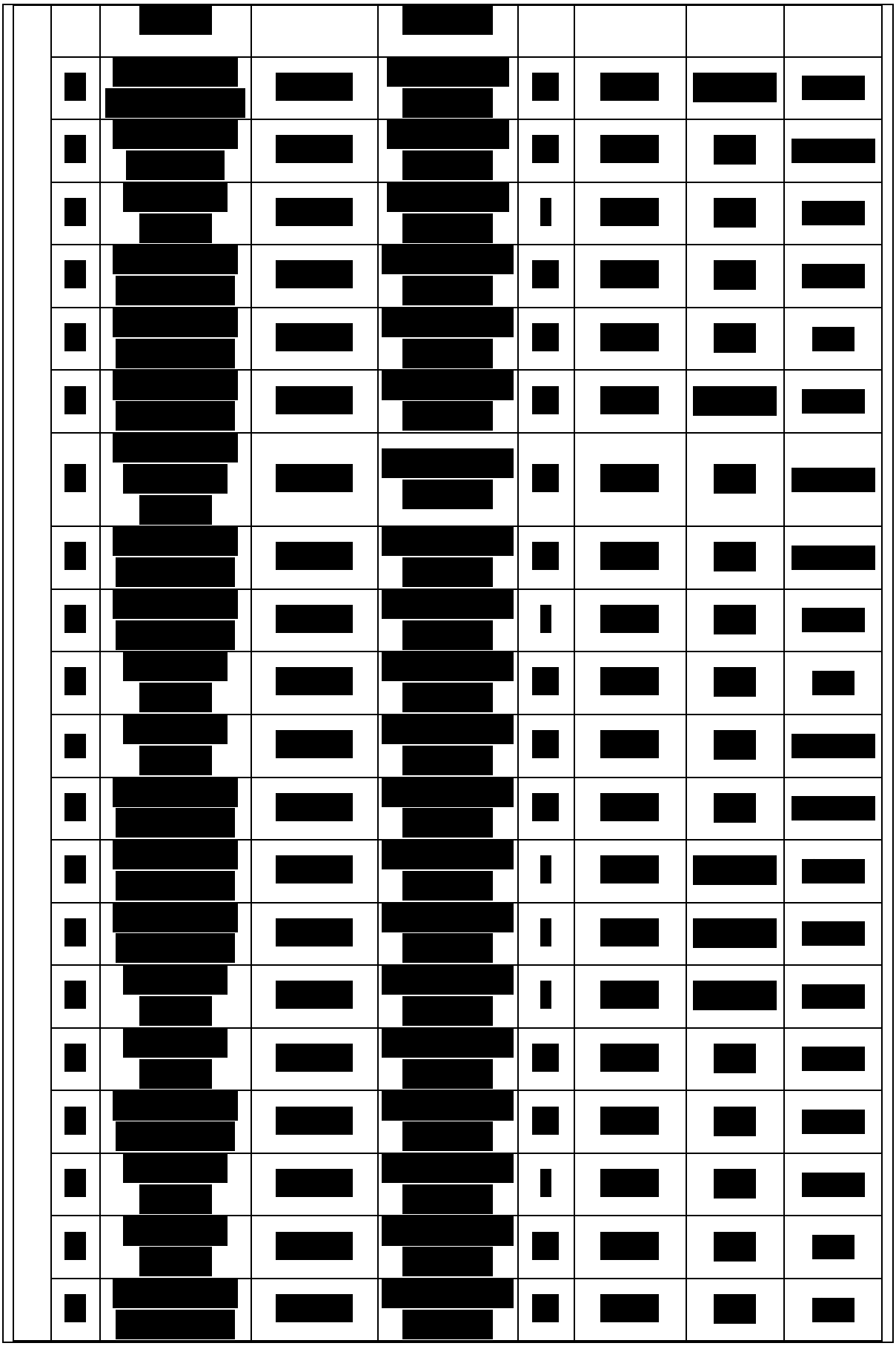
计算结果表明，SPECT/CT 以 CT 模式运行（工况：140kV/200mA）时，叠加放射性药物的辐射影响，机房四周墙体、顶部及防护门处的辐射剂量率为（0.001～0.128）μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的要求。

5、保护目标的有效剂量估算

根据表 11-6 的各关注点处辐射剂量率，结合工作时间，辐射工作人员和公众停留概率，即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量，见表 11-7。

表 11-7 核医学科项目工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算





[redacted]

核医学科项目过程中，工作人员主要受照射环节为注射（服药）过程及患者扫描诊断过程。一般情况下取药过程约 2 分钟，注射、服药过程约 1 分钟，扫描过程约 20 分钟。预测本项目运行后， SPECT/CT 诊断项目日接诊量最大为 20 人次。本项目 SPECT/CT 以 CT 模式运行的时间较短，平均每名患者约 20s，机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算见表 11-8。

表 11-8 SPECT/CT 机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算

[redacted]							

根据表 11-7 至表 11-8 估算结果，取药过程中工作人员受到的年有效剂量小于 0.001mSv（＜0.001mSv/a+＜0.001mSv/a），注射、服药、甲亢留观过程中工作人员受到的年有效剂量 0.151mSv（<0.001mSv/a+0.022mSv/a+0.129mSv/a），扫描过程中工作人员受到的年有效剂量小于 0.001mSv（<0.001mSv/a+＜0.001mSv/a）。摆位/取消摆位过程中辐射工作人员受到的年有效剂量为 1.18mSv。医院拟为核医学科项目安排 2 名护士（负责注射， SPECT/CT 诊断项目、^{131}I 项目共用）、3 名医师及 3 名技师（负责操作设备、指导病人摆位）。医院拟合理安排各辐射工作人员工作量，根据理论估算可知，本项目 2 名护士（负责注射）平均年有效剂量小于 0.001mSv，3 名医师及 3 名技师（负责操作设备并指导病人摆位、取消摆位）平均年有效剂量小于 0.001mSv，本项目辐射工作人员年工作时间为 250 天，工作人员工作负荷相同，受照剂量均摊，均能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的剂量约束值要求。

根据表 11-7 至表 11-8 估算结果，核医学科项目工作过程中，周围公众（控制区外）年有效剂量最大 0.010mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求（公众年有

效剂量不超过 0.1mSv）。

二、放射性“三废”影响分析

（一）放射性废气

在进行液态放射性药物活度操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸入的内照射。本项目核医学科分装室设有 1 个防护铅当量为 20mmPb 的专用手套箱，本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋顶），满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“排气口应高于本建筑物屋顶”的要求，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响，符合放射性工作场所相关要求。同时医院拟在手套箱管道内及屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（一年更换 1～2 次）并作为放射性固体废物处理。整个核医学科工作场所均拟设置新风系统及独立的排风系统。

（二）放射性废水

来自核医学科患者卫生间、注射室、分装室、污洗区等高活区的放射性废水，含有 ^{99m}Tc 等放射性核素，由独立下水管道统一集中到 3 号楼地下的衰变池中，含 ^{99m}Tc 废水衰变 30 天。

本项目衰变池系统位于衰变间内，衰变间四周及下方均为土层，池顶为 4mmPb 硫酸钡。核医学科的衰变池系统由 1 个降解池和 4 个衰变池组成，衰变池包括 3 个 ^{99m}Tc 显影废水衰变池与 1 个 ^{131}I 衰变系统（内含 2 个 2.5m^3 小池）。^{99m}Tc 显影废水衰变池单个尺寸均为 3m×2m×2m，容积均为 12m^3，运行容积均为 10.5m^3，总运行有效运行容积为 31.5m^3，由不锈钢拼装水箱组成，^{99m}Tc 显影产生的放射性废水先进入降解池进行初级沉淀后排入第一个衰变池中，待第一个衰变池的废水装满后自动关闭第一个衰变池的进水阀门，打开第二个衰变池的进水阀门，核医学的废水通过沉淀池会排入第二衰变池内，此时第一个衰变池不外排放射性废水，待第二个衰变池的废水装满后，自动关闭第二个衰变池的进水阀门，打开第三个衰变池的进水阀门，此时核医学科产生的放射性废水均进入第三个衰变池内，待第三个衰变池即将装满放射性废水时，此时打开第一个衰变池的排水阀门，将放射性废水排至医院污水处理站，三个衰变池以此往复运行；^{131}I 衰变系统为 1 个 5m^3 的不锈钢水箱（内含 2 个 2.5m^3 小池），

含 ^{131}I 废水直接排入 ^{131}I 衰变池，为 ^{131}I 项目应急使用。

本项目核医学科工作场所中，SPECT/CT 诊断项目日接诊量最大为 20 人次，放射性废水产生量按 10L/人次计算，工作场所每天的清洗废水约为 100L，则放射性废水排放量为 300L/d。

根据放射性废水衰变系统工作原理，^{99m}Tc 显影产生的放射性废水可在该衰变系统内衰变约 105d；^{131}I 项目在运行过程中如有泼洒等意外情况发生产生的废水需在 ^{131}I 衰变系统内衰变超过 180d，故本项目衰变系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求。

核医学科放射性废水经专用管道流入衰变系统，裸露管道外采用 3mmPb 铅皮包覆进行辐射防护，避免含放射性废水流动时造成管道穿行区域的辐射泄漏。

^{131}I 项目产生的放射性废水量少，流入专用管道时产生的辐射影响较小。

核医学科废水（^{99m}Tc）中将专用管道中的放射性废水看作线源，其对周围环境产生的辐射影响参照《辐射防护导论》（方杰主编）中相关公式进行计算：

$$K = \frac{2A\Gamma_K}{Lr} tg^{-1}\frac{L}{2r} \qquad \text{公式 11-6}$$

式中：K—比释动能率，Sv s^{-1}；

A—总活度，Bq；

Γ_k—距源 1m 处的周围剂量当量率常数，Sv m^2 Bq^{-1} h^{-1}；

L—线源长度，m；

r—线源到考察点的距离，m。

表 11-9 核医学中心专用管道外剂量估算结果

[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

注：1、单次核医学科项目患者，排泄物内核素活度排泄比率保守按 30%进行计算，则单次排放 ^{99m}Tc 核素活度为 20mCi×30%=6mCi/次；

2、距源 1m 处的周围剂量当量率常数取自《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 H 表 H.1；

3、本项目核医学科位于 3 号楼 1 楼，放射性废水管道裸露段位于 1 楼地面，故考察点设置于一层地面 170cm 处，线源到考察点的距离取 1.70m。

由表 11-9 可知，裸露的放射性废水专用管道外采用 3mmPb 铅皮包覆进行辐射防护，其对周围公众产生的辐射影响较小。

放射性废水经专用下水管道集中到 3 号楼地下的衰变间的衰变池中，衰变池为不锈钢水箱拼接而成。衰变间下方及四周均为土层，上方为核医学科。

将衰变池内放射性废水看作点源，参照公式 11-2 计算衰变池内废水对地面处产生的辐射影响，其预测计算结果见表 11-10。

表 11-10 核医学科衰变池上方辐射水平估算结果

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：单次核医学诊断项目患者，排泄物内核素活度排泄比率保守按 30%进行计算，则单次排放 ^{99m}Tc 核素活度为 20mCi×30%=6mCi/次，保守按 20 名候诊患者的排泄物进入衰变系统进行辐射计算（未考虑废水对核素的屏蔽及核素自然衰变）。

由表 11-10 可知，核医学科衰变池采用现有屏蔽设计进行辐射防护，其对周围环境及公众产生的辐射影响较小。

（三）放射性固体废物

核医学科产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸、一次性纸杯等。核医学科设有废物库，分装室、注射室、注射后候诊室等房间均拟设置 1～2 个放射性废物桶（防护厚度应不低于 10mmPb）。

根据医院对本项目规划的工作量估算每年产生放射性固体废物量， SPECT/CT 诊断项目日接诊量最大为 20 人次，甲测项目日接诊量最大为 5 人次，甲亢项目日接诊量最大为 4 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 0.58kg/d，核医学科各房间内放射性废物桶放置点应避开工作人员与其它人

员经常走动的地方，并设置有电离辐射警告标志。

核医学科各房间收集的含放射性废物应分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）后集中到废物库内暂存（含 ^{99m}Tc 暂存时间超过 30 天，含 ^{131}I 暂存时间超过 180 天），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，作为医疗废物进行处理。

手套箱通风管道内更换下来的废活性炭，在废物库内暂存时间超过 180 天，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，作为医疗废物进行处理。

本项目核医学科的废物库面积约为 1.3m^2，容积约为 5.2m^3，有效贮存容积约为 2.1m^2，该废物库容积能够满足含 ^{99m}Tc 放射性固体废物贮存 30 天，含 ^{131}I 放射性固体废物贮存 180 天的要求。

三、非放射性“三废”影响分析

（一）废气

SPECT/CT 机房内的空气在 X 射线、γ 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

（二）废水

工作人员和部分患者产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理，对周围环境影响较小。

（三）固体废物

工作人员和病人产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

事故影响分析

本项目新增的 SPECT/CT 为Ⅲ类射线装置，核医学科工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。医院在开展放射治疗和诊断过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。因此本项目主要事故风险为：

一、SPECT/CT 工作状态下，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射。

二、SPECT/CT 机房门机联锁失效，导致防护门无法自动关闭，开机时防护门外

工作人员或公众受到误照射。

三、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

四、核医学科药物注射时，注射器排气有可能挤出放射性药物，注射器有损漏以及注射针头没有装牢固，造成放射性药物泼洒或者散逸挥发，产生γ辐射，操作台面或仪器设备受到放射性污染。

五、注射药物的患者未按要求停留于控制区，导致公众遭受较大剂量照射。

六、由于保管或管理工作不到位，导致 ^{131}I、^{99m}Tc 放射性核素的丢失、被盗，使公众受到误照射。

七、放射性废水专用管道长期使用老化破裂，或衰变池渗漏，造成核医学科地面受到放射性污染。

八、核医学场所内排风扇倒转，造成放射性废气未能及时排放，可能对场所内患者及辐射工作人员造成危害。

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下的处理措施：

一、发生误照射（人员误留、误入机房内；操作人员违反操作规程或误操作；机房门-机联锁装置失效，导致防护门无法自动关闭），应立即按下急停开关，确保SPECT/CT停止工作。

二、迅速安排受照人员接受医学检查和救治。

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

四、药物注射前，告知患者注意事项，使之了解放射性药物对他人的危害，并加强对带药患者的监督管理。

五、对发生事故的射线装置，请有关供货单位或相关检测部门进行检测或维修，分析事故发生的原因，并提出改进意见。

六、医院应定期对核医学科工作场所辐射安全措施检查，进行检查、维护，发现问题及时维修；每次工作前均应检查相应辐射安全装置的有效性，定期对工作场所进行检测。医院还应在平时工作中加强工作人员的辐射防护知识的培训，尽可能避免辐射事故的发生。

七、事故发生后，积极配合生态环境等管理部门做好事故调查和善后处理工作。

医院应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污

染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后1小时内向所在地生态环境和公安部门报告，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告；对于可能受到大剂量照射的人员，迅速安排医学检查和救治，积极配合政府管理部门做好事故调查和善后工作。

表 12　辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

南京医科大学第二附属医院拟在姜家园院区 3 号楼 1 楼改建核医学科项目，用于医疗诊断。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用乙级非密封放射性物质工作场所和使用III类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

根据上述要求，南京医科大学第二附属医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次改建核医学科项目修订相关文件，明确医院相关辐射项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。医院拟为本项目配备 8 名辐射工作人员，为医院原有辐射工作人员。辐射安全管理人员与辐射工作人员须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，辐射安全管理人员应参加“辐射安全管理”辐射防护上岗考核。核医学科的辐射工作人员“核医学”辐射安全与防护考核，考核合格后方可上岗；同时如有辐射培训证书到期人员还应及时参加生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核。

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》的有关要求，使用乙级非密封放射性场所和射线装置的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。目前南京医科大学第二附属医院已制定相关辐射安全与防护管理制度，包括岗位职责、辐射工作人员健康与个人剂量监测管理制度、人员培训制度、

辐射防护安全管理制度、辐射事故应急预案及不同设备相应的操作规程等。医院现有管理制度内容较为全面，基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求，拟根据本次改建核医学科项目的特点及以下内容制定并完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

一、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：

（一）提高辐射工作人员对放射性药物操作的熟练程度，尽量减少辐射工作人员与放射性药物的近距离接触时间；

（二）确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；

（三）从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

（四）取药、注射等过程中，工作人员手部剂量高，配备指环式个人剂量计；

（五）在工作场所严禁吸烟、进食；

（六）放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

二、岗位职责：明确射线装置、放射性药品使用工作人员、台帐管理人员、药物注射人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

三、辐射防护和安全保卫制度：根据射线装置及放射性药物操作的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：

（一）定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全联锁装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪保持良好工作状态；

（二）工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；

（三）放射性药物注射后患者应严格限制在控制区内；

（四）当注射后候诊室内有多位注射放射性药物的患者同时候诊时，建议医院在患者之间采用铅屏风进行隔离，减少患者间的交叉辐射影响。

四、设备维修制度：明确射线装置和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保射线检测装置、安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯、急停按钮）、剂量报警仪等仪器设备

保持良好工作状态。

五、放射性同位素使用登记制度：建立放射性同位素台帐，重点是：放射性药物的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台帐、每月核对，确保帐物相符。

六、人员培训计划和健康管理制度：医院需加强内训，明确培训对象、内容和要求（例如放射性核素的性质，操作要求，内照射的防护原则和方法，监测仪器的使用，可能的事故及处置方法等）、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据 18 号令及《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》，辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。医院应组织新进辐射工作人员定期参加职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并为其建立辐射工作人员职业健康监护档案。

七、监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保非密封放射性物质工作场所及Ⅲ类射线装置的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：

（一）明确监测项目和频次；

（二）辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理；

（三）对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测；

（四）医院应当按照有关标准、规范的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，发现异常情况的，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；

（五）委托有资质监测单位对本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

辐射监测

根据辐射管理要求，南京医科大学第二附属医院已配备辐射巡测仪 1 台、表面污染仪 1 台、个人剂量报警仪 2 台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划，见表 12-1：

表 12-1 本项目拟制定监测计划

监测内容		监测方式	监测点位	监测频次	备注
工作场所监测	辐射水平	自检	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和存有放射性物质的装置/设备表面	不少于 1 次/月	保留自检记录
		委托有资质单位	项目周围环境	1～2 次/年	出据检测报告
	表面放射性污染	自检	放射性核素操作台、设备表面、墙面和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙面和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束后对核医学工作场所进行表面放射性污染检测	保留自检记录
个人剂量		委托有资质单位	辐射工作人员配备的个人剂量计	不少于 1 次/季	建立个人剂量档案
职业健康体检		委托有资质单位	辐射工作人员	不少于 1 次/2 年	建立个人职业健康档案

当出现外照射事故，立即采取应急措施，并在 1 小时之内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

南京医科大学第二附属医院已根据上述监测计划，明确监测项目，定期（不少于 1 次/季）使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，每年委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ 辐射剂量率进行监测，监测结果上报生态环境行政主管部门。

对接受内照射个人监测的人员，医院已为辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测（1 次/季，空气中存在 ^{131}I 的工作场所，至少每个月用体外测量方法监测甲状腺一次）和职业健康体检（1 次/2 年），医院公共卫生科负责全院人员个人剂量的收发和管理，职业健康监护、个人剂量监测档案均存放于公共卫生科。

医院每年编写放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，包括放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度

及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

辐射事故应急

一、应急预案制定要求

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应急预案应明确以下几个方面：

（一）应急机构和职责分工；

（二）应急的具体人员和联系电话；

（三）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；

（四）辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

（五）辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，医院应根据《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》(原国家环保总局,环发[2006]145号）和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境和公安部门报告，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；并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政部门报告。

二、现有应急预案执行情况及合理性分析

南京医科大学第二附属医院已经制定了《辐射事故应急预案》，该预案已包括成立辐射事故应急处理领导小组、应急预案领导小组的职责、放射性事故应急处理的责任划分、放射性事故应急处理程序和放射性事故的调查等内容。由辐射事故应急处理领导小组组织各相关科室，定期（1 次/年）开展应急培训演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均加以落实。医院开展核技术利用项目至今，未发生过辐射事故。事故应急小组处于正常运行状态。医院每年定期开展辐射事故应急预案演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事件应急处理预案进行完善和修订。因此，医院现有辐射事故应急预案基本合理可行。

三、本项目应急预案要求

本项目投入运行后，医院应做好以下工作：

（一）医院应根据本次改建后辐射活动变化的情况，调整现有的辐射事故应急预案，完善本项目核医学科工作场所辐射风险内容和应急措施，并补充相关部门的相关负责人及当地生态环境部门、卫生部门和公安部门等联系方式，以满足项目变化后的相关要求。

（二）医院应制定辐射事故应急培训计划方案，每年对与辐射事故应急有关的人员实施培训和演练，以验证该预案的有效性。演练内容包括辐射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，演习报告存盘。可提出将每年用于辐射应急工作的（包括应急装备、应急技术支持、培训及演习等）支出，纳入部门预算。

（三）根据辐射事故的分级和应急响应程序，结合医院的具体情况，分别制定不同级别辐射事故应急预案。内容应包括：紧急出动、现场应急、善后处理、事故总结、信息发布等过程，落实每一步骤的具体参加人员、负责人，明确各自职责以及时限要求等，其内容应当全面具体，具有可操作性。

（四）为了防止出现射线装置的误照射、放射性药物丢失、被盗、泼洒、排风扇倒转、放射性废水管道老化破裂等辐射事故，医院应加强管理，一旦发生辐射安全事故后，应马上采取应急措施，启动应急预案。立即停止治疗作业，将受照人员送去医疗，并将事故情况上报环境主管部门、卫生行政部门。事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。医院必须加强管理，杜绝辐射事故的发生；

（五）医院应根据实际情况定期组织修订辐射事故应急预案，使其不断完善健全。

（六）医院应将本单位应急预案报所在地生态环境主管部门备案，开展隐患排查并及时消除隐患，防止发生事故。

在保障防护设施和措施完整有效的前提下，医院需切实做好应急预案，同时要做好可能出现的舆情应对措施，包括使用放射性核素理化性质、健康影响的科普资料。

表 13　结论与建议

结论

一、项目概况

南京医科大学第二附属医院拟在姜家园院区 3 号楼 1 楼核医学工作场所进行整体改造，将原先使用的 1 台 infinia Hawkeye 型 SPECT 更新为 1 台 NM/CT860 型 SPECT/CT（使用放射性核素 ^{99m}Tc），改造后的核医学工作场所内主要开展 ^{99m}Tc 核素显像诊断、^{131}I 甲状腺功能测定及甲亢治疗。

二、项目建设的必要性及产业政策符合性

本项目的建设，可为医院提供多种诊断、治疗手段，有着重要临床应用价值，可为患者提供放射诊断服务，并可提高当地医疗卫生水平。对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订），不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家现行的产业政策。

三、实践正当性

本项目的运行，具有良好的社会效益和经济效益，经落实辐射防护屏蔽设计和安全管理措施后，本项目的建设和运行对受照个人和社会公众所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

四、选址合理性

南京医科大学第二附属医院姜家园院区位于南京市鼓楼区姜家园 121 号，医院东侧依次为绿化地带、护城河，南侧为百花小区，西侧为姜家园道路，北侧为桃花源居小区。

本项目核医学工作场所位于 3 号楼 1 楼南侧，3 号楼东侧隔绿化地带为护城河，南侧为院内道路、锅炉房、垃圾场，西侧隔院内道路为 4 号楼，北侧为高压氧舱楼；核医学工作场所东侧、南侧和西侧为院内道路，北侧为 CT 室、设备间，上方为值班室、卫生间、更衣室、档案室，下方为衰变池。

本项目核医学工作场周围 50m 评价范围除东侧至绿化地带、护城河，其余方向均位于医院内，该范围内无学校、居民区等环境敏感点。项目运行后的环境保护目标主要为核医学辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患及其他公众等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域；根据现场监测和环境影响预测，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。

本项目核医学科工作场所均划分了控制区及监督区，其中核医学科工作场所控制区和监督区内患者及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，相关配套布局能够保证工作程序沿着相关房间单向开展，能够有效防止交叉污染，核医学科工作场所控制区内设置有患者专用卫生间，避免公众、工作人员受到不必要的外照射，布局合理。

五、辐射环境现状评价

南京医科大学第二附属医院本次改建核医学科项目拟建址周围本底辐射剂量率在67nGy/h～101nGy/h之间，与江苏省环境天然γ辐射水平调查结果相比较，均未见异常；改建核医学项目拟建址周围β表面污染水平在（<LLD ~0.27）Bq/cm^{2}之间。

六、环境影响评价

根据预测估算结果，南京医科大学第二附属医院本次改建核医学科项目在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下，项目投入运行后：

辐射防护影响预测：本项目核医学科控制区内房间防护门、观察窗、手套箱、墙壁、注射窗与服药窗口外表面30cm处的周围剂量当量率均符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求。

剂量约束值：本项目辐射工作人员和公众所受辐射剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对本项目职业人员和公众剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）。

七、“三废”的处理处置

核医学科核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响；来自核医学科的注射室、

患者卫生间、分装室等高活区的放射性废水，含有 ^{131}I、^{99m}Tc 放射性核素，由独立下水管道统一集中到 3 号楼地下的衰变池中，^{99m}Tc 衰变 30 天，^{131}I 衰变 180 天，满足排放标准后流入医院污水处理系统作为医疗废水处理；核医学科产生的放射性固体废物集中到废物库中的放射性废物桶中暂存，在废物库内 ^{99m}Tc 衰变 30 天，^{131}I 衰变 180 天后，作为医疗废物进行处理。符合辐射环境保护管理要求。

SPECT/CT 机房内的空气在 X 射线、γ 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气；工作人员和部分患者产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理；工作人员和病人产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

八、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

南京医科大学第二附属医院改建核医学科项目，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），确定核医学科工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

核医学科 SPECT/CT 机房扫描时产生的 X 射线；^{131}I、^{99m}Tc 放射性核素在取药、注射、服药、注射后候诊、扫描、留观等操作过程中产生的 γ 射线，以上射线会造成医务人员和公众的外照射。本项目核医学科工作场所控制区出入口拟设置“当心电离辐射”警告标志； SPECT/CT 机房入口处拟设置“当心电离辐射”警示标识和工作状态灯。SPECT/CT 机房设置门灯联动装置，机房内外均设置有急停按钮，核医学科控制区出入口设置单向门禁系统，符合《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）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的安全管理要求。

九、辐射安全管理评价

南京医科大学第二附属医院已设立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，并以医院内部文件形式明确其管理职责。医院拟制定辐射安全管理制度，建议根据本报告的要求，对照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，建立符合本院实际情况的、完善可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。

南京医科大学第二附属医院需为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康

监护档案。南京医科大学第二附属医院已为本项目配备辐射巡测仪 1 台、表面沾污仪 1 台及个人剂量报警仪 2 台。此外，医院应根据相关标准要求，为核医学科项目工作人员和受检者配备足够数量的个人防护用品和辅助防护设施。

综上所述，南京医科大学第二附属医院改建核医学科项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

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

二、根据防护与安全的最优化原则，进一步优化完善辐射工作场所屏蔽措施。

三、各项安全措施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

四、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

五、医院取得本项目环评批复后，应及时重新申领辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期 限一般不超过 3 个月，最长不超过 12 个月。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

<table>
<tr><th>项目</th><th colspan="2">“三同时”措施</th><th>预期效果</th><th>预计投资（万元）</th></tr>
<tr><td>辐射安全管理机构</td><td colspan="2">建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于 1 名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。医院已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。</td><td>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="3">辐射安全和防护措施</td><td>防护措施</td><td>屏蔽措施：核医学科工作场所四侧墙体、顶面采用铅板进行辐射防护，各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护。</td><td>满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求。</td><td rowspan="3">185</td></tr>
<tr><td>安全措施</td><td>核医学科控制区入口处（包括 SPECT/CT 机房、分装室、注射室、废物库、注射后候诊室、留观室、摄碘室等）、放射性废物桶表面设置电离辐射警告标志，同时在 SPECT/CT 机房防护门处设置工作状态指示灯及闭门装置，并设置急停按钮及对讲装置，核医学科控制区出入口设置单向门禁系统。</td><td>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）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。</td></tr>
<tr><td colspan="2">放射性“三废”处理措施：
本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置，符合非密封放射性物质工作场所相关要求。
本项目产生的放射性废水由专用下水管道统一集中到 3 号楼地下的衰变池中，^{99m}Tc 暂存 30 天，^{131}I 暂存 180 天后可直接解控排放至医院污水处理系统作为医疗废水处理。
核医学科产生的放射性固体废物集中到废物库中的铅桶中暂存，在废物库内自然衰变（含 ^{99m}Tc 衰变 30 天，含 ^{131}I 衰变 180 天）后，作为医疗废物进行处理。符合辐射环境保护管理要求。</td><td>满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">人员配备</td><td colspan="2">辐射安全管理人员和辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后上岗。</td><td rowspan="2">满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。</td><td rowspan="2">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过 3 个月），</td></tr>
</table>

	加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。		
	辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于1次/2年），并建立辐射工作人员职业健康档案。		
监测仪器和防护用品	已配备辐射巡测仪1台。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	/
	已配备表面沾污仪1台。		
	已配备个人剂量报警仪2台。		
	核医学科配备1个手套箱，放射性核素操作人员及摆位工作人员配备铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品。	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）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	15
辐射安全管理制度	制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度：根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	/
总计	/	/	200

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

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