

无锡市人民医院  
新建医用直线加速器及核医学科  
项目（分期）竣工环境保护验收  
监测报告表

报告编号：瑞森（验）字（2024）第027号

建设单位：无锡市人民医院

编制单位：南京瑞森辐射技术有限公司

二〇二四年七月

建设单位法人代表：

编制单位法人代表：

项目负责人：

填表人：

建设单位（盖章）：无锡市人民医院

电话：（0510）82700775

传真：

邮编：214023

地址：无锡市清扬路299号

编制单位（盖章）：南京瑞森辐射技术有限公司

电话：025-86633196

传真：

邮编：210003

地址：南京市鼓楼区建宁路61号中央金地广场1幢1317室

## 目 录

表1 建设项目基本情况.....	1
表2 项目建设情况.....	10
表3 辐射安全与防护设施/措施 .....	26
表4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定.....	55
表5 验收监测质量保证及质量控制.....	60
表6 验收监测内容.....	62
表7 验收监测期间生产工况.....	70
表8 验收监测结论.....	94



<p>会，2003年10月1日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修改），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行；</p> <p>(5) 《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 709号，2019年3月2日施行；</p> <p>(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；</p> <p>(7) 《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；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部令 第16号，2021年1月1日起施行；</p> <p>(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（环发〔2006〕145号文）；</p> <p>(10) 《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；</p> <p>(11) 《江苏省辐射污染防治条例》，2018年修改，2018年5月1日起实施；</p> <p>(12) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，国环规环评〔2017〕4号，2017年11月20日起施行；</p> <p>(13) 《放射工作人员职业健康管理辦法》，中华人民共和国卫生部令 第55号，2007年11月1日起施行；</p> <p>(14) 《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》生态环境部公告[2018]第9号，2018年5月15日印发。</p> <p><b>2、建设项目竣工环境保护验收技术规范：</b></p> <p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2) 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；</p> <p>(3) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；</p>
---

	<p>(4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(5) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>(6) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）；</p> <p>(7) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及其复函（辐射函〔2023〕20号）；</p> <p>(8) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p> <p>(9) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>(10) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ 98-2020）；</p> <p>(11) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</p> <p>(12) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>(13) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）；</p> <p>(14) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）。</p> <p><b>3、建设项目环境影响报告表及其审批部门审批文件：</b></p> <p>(1) 《无锡市人民医院新建医用直线加速器及核医学科项目环境影响报告表》，江苏嘉溢安全环境科技服务有限公司，2019 年 9 月，见附件 2；</p> <p>(2) 《无锡市人民医院新建医用直线加速器及核医学科项目环境影响报告表的批复》，（原）江苏省环境保护厅，审批文号：苏环辐（表）审〔2019〕32 号，2019 年 11 月 18 日。</p> <p><b>4、其他相关文件</b></p> <p>无其他文件。</p>
验收监测执行标准	<p>无锡市人民医院新建医用直线加速器及核医学科项目在环评阶段，参照《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）、《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006）、《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）、《医用X射线CT机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006）、《X射线计算机断</p>

层摄影放射防护要求》（GBZ 165-2012）等技术标准对各射线装置机房、辐射工作场所的辐射安全和防护、放射性废物的管理进行评价，验收时，上述技术标准已废止或被替代，本次验收过程，选取《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《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）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）作为验收监测执行标准。

#### 人员年受照剂量限值：

（1）人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中所规定的职业照射和公众照射剂量限值：

表1-1 工作人员职业照射和公众照射剂量限值：

	剂量限值
职业照射	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	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）根据本项目环评及批复文件确定本项目个人剂量约束值及机房外关注点剂量率水平，本项目个人剂量约束值见表1-2。

表 1-2 工作人员职业照射和公众照射个人剂量约束值

项目名称	适用范围	剂量约束值
新建医用直线加速器及核医学科项目（分期）	职业照射有效剂量	5mSv/a
	公众有效剂量	0.1mSv/a

注：环评阶段选取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中所规定的职业照射和公众照射剂量限值的 1/4 作为剂量约束值，即职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv。本次验收参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求，职业照射的剂量约束值不超过5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

辐射剂量率控制水平：本项目医用直线加速器机房房四周墙及

<p>顶部表面外30cm处剂量率不超过<math>2.5\mu\text{Sv/h}</math>。</p> <p>核医学科工作场所控制区内工作人员经常性停留的场所(人员居留因子<math>\geq 1/2</math>)，周围剂量当量率应小于<math>2.5\mu\text{Sv/h}</math>。控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所(人员居留因子<math>&lt; 1/2</math>)，如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于<math>10\mu\text{Sv/h}</math>；放射性药物分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于<math>25\mu\text{Sv/h}</math>。</p> <p><b>辐射管理分区：</b></p> <p>根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，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。</p> <p>（1）控制区</p> <p>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值潜在照射的范围。</p> <p>（2）监督区</p> <p>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。</p> <p>根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021），医用直线加速器工作场所分区应遵循以下原则：</p> <p>5.2 分区原则</p> <p>5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。</p> <p>5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。</p> <p><b>工作场所布局要求：</b></p> <p>根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的要求，本项目医用直线加速器工作场所选址及布局应遵循下述要求：</p> <p>5.1 选址与布局</p> <p>5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设</p>
--

置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。

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

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，本项目核医学工作场所选址及布局应遵循下述要求：

#### 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。

#### 工作场所放射防护安全要求：

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021），本项目医用直线加速器的辐射安全与防护设施应满足下述要求：

#### 6.2 安全防护设施和措施要求

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

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

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

c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区

<p>域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。</p> <p>6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。</p> <p>6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：</p> <p>a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门一机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；</p> <p>b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；</p> <p>c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；</p> <p>d) 质子/重离子治疗装置安全联锁系统还应包括清场巡检系统、门钥匙开关（身份识别系统）。质子/重离子治疗室、加速器大厅和束流输运通道应建立分区清场巡检和束流控制的逻辑关系，清场巡检系统应考虑清场巡检的最长响应时间和分区调试情况的联锁设置。日常清场巡检时，如超出设定的清场巡检响应时间，需重新进行清场巡检；</p> <p>e) 质子/重离子治疗装置应考虑建立调试、检修、运行维护人员的人身安全联锁系统，将调试、检修、运行维护人员的受照剂量与进入控制区的权限实施联锁管控；</p> <p>f) 安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。</p> <p>本项目医用直线加速器应满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）等标准的相关要求。</p> <p>根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），本项目核医学的辐射安全与防护设施应满足下述要求：</p> <p>6.1 屏蔽要求</p> <p>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 <math>2.5\mu\text{Sv/h}</math>，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 <math>10\mu\text{Sv/h}</math>。</p> <p>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</p>
---

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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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  $25\mu\text{Sv/h}$ 。

## 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。

本项目PET-CT、SPECT-CT机房防护设施应满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求：

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 <sup>d</sup> m <sup>2</sup>	机房内最小单边长度 <sup>e</sup> 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	

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表3的要求。

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

**防护用品及防护设施配置要求：**

按照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求，本项目核医学防护用品及防护设施的配置应满足下述要求：

**6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备****6.1.1 个人防护用品及去污用品**

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录 K），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。当使用的  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$  活度大于  $800\text{MBq}$  时，防护用品的铅当量应不小于  $0.5\text{mmPb}$ ，个人防护用品及去污用品具体配置见附录 K；对操作  $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{18}\text{F}$  等正电子放射性药物和  $^{131}\text{I}$  的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

表 K.1 个人防护用品

场所类型	工作人员		患者或受检者
	必备	选备	
普通核医学和 SPECT 场所	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	—
正电子放射性药物和 $^{131}\text{I}$ 的场所	放射性污染防护服	—	—

注：“—”表示不要求,宜使用非铅防护用品。

**安全管理要求及环评要求：**

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及环评报告、环评批复中的相关要求。

表 2 项目建设情况

**项目建设内容：**

无锡市人民医院位于无锡市清扬路299号（因医院院区地块形状非正南正北朝向，为简化描述，以下均以东出入口所在通扬路为正南北向，北出入口所在金城路为正东西向）。医院东侧为通扬路，南侧为清南路，西侧为清扬路，北侧为金城路，医院东北角为向阳新村（居民住宅楼）。本项目地理位置示意图附图1，无锡市人民医院周围环境示意图及总平面图见附图2。

按照环评规划，医院于K区（门急诊配套楼）负1楼新建核医学科，建设成乙级非密封放射性物质工作场所，新增1台PET/CT（型号：uMI Panorama 28C，最大管电压140kV，最大管电流833mA，属Ⅲ类射线装置），于2号机房内新增1台NM/CT 870 DR型SPECT/CT（最大管电压140kV，最大管电流440mA，属Ⅲ类射线装置），将C区4楼1台Precedence型SPECT/CT（最大管电压140kV，最大管电流500mA，属Ⅲ类射线装置）搬迁至1号机房内，使用放射性核素 $^{18}\text{F}$ （日最大操作量 $1.11\times 10^{10}\text{Bq}$ ）配合PET/CT开展核素显像诊断，使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （日最大操作量 $4.44\times 10^{10}$ ）配合SPECT/CT开展核素显像诊断，PET/CT质量控制校正时本设备采用无源校准，无需配备校准源；于K区负2楼1号直线加速器机房内新增1台瓦里安TrueBeam型医用直线加速器（X射线能量：6、10MV，电子线：6、9、12、16、20MeV），用于肿瘤放射治疗；于K区负2楼核医学科设置5间甲癌治疗病房（日最大操作量 $3.70\times 10^{10}\text{Bq}$ ），属于乙级非密封放射性物质工作场所。

截止验收时，医院K区负1楼核素显像诊断区的1台PET/CT、2台SPECT/CT、K区负2楼1台瓦里安TrueBeam型医用直线加速器、K区负2楼的5间甲癌治疗病房均已建设完成，相关设备安装调试完成。K区负1楼、负2楼核医学科；K区负2楼2号直线加速器机房内的医用直线加速器、K区负1楼1台PET/MRI未购置，待另行验收。

本项目核素显像诊断工作场所东侧为下沉庭院和配电室等，南侧为候诊厅、护士站及电梯厅等，西侧为下沉庭院，北侧为阅片室、医生办公室等。上方为 $^{131}\text{I}$ 甲亢治疗工作场所、敷贴治疗场所、放疗门诊、休息室及骨密度室等，楼下为摄碘治疗病房及放免工作场所。

本项目核素显像诊断工作场所内分为东、西部两区域。西部为 SPECT 场

所，主要开展 SPECT/CT（使用放射性同位素  $^{99m}\text{Tc}$ ）显像诊断，主要包括功能用房：SPECT/CT 扫描室、SPECT 给药后患者或受检者候诊室、SPECT 留观室、控制廊、设备机房、阅片室、放射性药物贮存室、注射室、药品标记室、药品质量控制室、卫生通过间、去污淋浴间、通气室（闲置）、心脏负荷室/抢救室、卫生间、病员走廊；东部为 PET 场所，主要开展 PET/CT（使用放射性同位素  $^{18}\text{F}$ ）显像诊断，主要包括功能用房：PET/CT 扫描室、PET 给药后患者或受检者候诊室及卫生间、PET 留观室及卫生间、控制廊、设备机房、阅片室、放射性药物贮存室、注射室、卫生通过间、去污淋浴间、病员走廊。本项目放射性废物储藏室位于核医学科电梯厅，本项目衰变池位于 K 区南侧角落地下，避开了人群集中活动区域。

本项目甲癌治疗场所西侧和北侧为下沉庭院，东侧为放免工作场所，南侧为医生休息室及 CT 模拟定位机房，上方为 ECT 工作场所，下方为土层。

本项目医用直线加速器机房南侧、东侧、下方均为土层，北侧为控制室、新风机房和示教室，西侧为配电室、冷却机房和治疗准备室，上方为 K 区出入口空地。

本项目  $^{131}\text{I}$ 、 $^{18}\text{F}$ 核素许可时间为2024年4月16日， $^{99m}\text{Tc}$ 许可时间为2024年1月24日，医用直线加速器许可时间为2023年7月27日。

无锡市人民医院新建医用直线加速器及核医学科项目（分期）实际建设情况与环评及其批复一致，无变动情况，环评审批及实际建设情况见表2-1。

表2-1 无锡市人民医院新建医用直线加速器及核医学科项目（分期）环评审批及实际建设情况一览表

[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]	[Redacted]
			[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
			[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]

			■	■	■	■	■	■	■	■	
			■	■	■	■	■	■	■	■	
			■	■	■	■	■	■	■	■	■
			■	■	■	■	■	■	■	■	■
			■	■	■	■	■	■	■	■	■
			■	■	■	■	■	■	■	■	■
			■	■	■	■	■	■	■	■	■
			■	■	■	■	■	■	■	■	■
■											
■	■					■					
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	



□	□								□
	□	□	□	□	□	□	□	□	
□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
□	□	□	□	□	□	□	□	□	□



**源项情况：****1、辐射污染源项**

由本项目工程分析和产污环节可知，本次新建医用直线加速器及 SPECT/CT、PET/CT 诊断项目主要产生以下放射性污染：

**（1）辐射：**SPECT/CT、PET/CT 在工作状态下产生的 X 射线；放射性核素  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$  在操作、诊断、治疗过程中产生的  $\beta$ 、 $\gamma$  射线。

医用直线加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，经加速管内的电压加速，轰击到金属钨金靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小与加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向和点到源的距离等因素都有关。除此之外，医用直线加速器按电子束模式运行时，也会产生 X 射线，途经包括：① 电子有用束中的 X 射线；② 电子在治疗机头外与物质作用时产生的 X 射线；③ 在加速管管壁和治疗机头内部构件相互作用产生的通过治疗头射出的泄漏 X 射线等。

以上射线会造成医务人员和公众的外照射。

**（2）废气：**本项目注射时药物在针筒内，无开放液面，空气中挥发散逸的放射性同位素几乎没有，因此放射性气溶胶极少，其对医务人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

**（3）固体废物：**放射性药物操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸、活性炭等带微量放射性核素的医疗固体废弃物；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。

**（4）废水：**体内含有放射性核素的病人排泄物等；工作场所清洗废水等。

本次新建的甲癌治疗项目主要产生以下污染：

**（1）辐射：** $^{131}\text{I}$ 放射性核素在衰变过程中主要释放  $\beta$  射线和  $\gamma$  射线，以上射线会造成医务人员和公众的外照射。

**（2）废气：**本项目核素分装、质控等操作均在手套箱内进行，减少开放液面挥发散逸的放射性同位素，各甲癌病房和控制区内各功能房间共用 1 套排风系统，排风经活性炭过滤后，从管道抽出，由屋顶排放。

**（3）固体废物：**放射性药物操作过程中产生的如一次性口杯、滤纸、活性

炭等带微量放射性核素的医疗固体废弃物；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。

（4）废水：体内含有放射性核素的病人排泄物等；工作场所清洗废水等。

无锡市人民医院新建医用直线加速器及核医学科项目（分期）验收情况见表2-2。

表2-2 无锡市人民医院新建医用直线加速器及核医学科项目（分期）射线装置使用情况

无锡市人民医院新建医用直线加速器及核医学科项目（分期）射线装置使用情况					
序号	装置名称	装置类别	使用场所	使用频率	使用人数
1	医用直线加速器	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
2	SPECT/CT	Ⅱ类	核医学科	每天	约50人
3	PET/CT	Ⅱ类	核医学科	每天	约50人
4	医用X射线诊断装置	Ⅱ类	放射科	每天	约100人
5	医用X射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
6	医用X射线探伤装置	Ⅱ类	放射科	每天	约100人
7	医用X射线透视装置	Ⅱ类	放射科	每天	约100人
8	医用X射线摄影装置	Ⅱ类	放射科	每天	约100人
9	医用X射线CT装置	Ⅱ类	放射科	每天	约100人
10	医用X射线DR装置	Ⅱ类	放射科	每天	约100人
11	医用X射线乳腺钼靶装置	Ⅱ类	放射科	每天	约100人
12	医用X射线介入放射学装置	Ⅱ类	放射科	每天	约100人
13	医用X射线血管造影装置	Ⅱ类	放射科	每天	约100人
14	医用X射线数字减影装置	Ⅱ类	放射科	每天	约100人
15	医用X射线立体定向放射治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
16	医用X射线质子治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
17	医用X射线重离子治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
18	医用X射线中子治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
19	医用X射线电子束治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
20	医用X射线γ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
21	医用X射线α射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
22	医用X射线β射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
23	医用X射线δ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
24	医用X射线ε射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
25	医用X射线ζ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
26	医用X射线η射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
27	医用X射线θ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
28	医用X射线ι射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
29	医用X射线κ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
30	医用X射线λ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
31	医用X射线μ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
32	医用X射线ν射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
33	医用X射线ξ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
34	医用X射线ο射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
35	医用X射线π射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
36	医用X射线ρ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
37	医用X射线σ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
38	医用X射线τ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
39	医用X射线υ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
40	医用X射线φ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
41	医用X射线χ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
42	医用X射线ψ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
43	医用X射线ω射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
44	医用X射线Ω射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
45	医用X射线Λ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
46	医用X射线μ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
47	医用X射线ν射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
48	医用X射线ξ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
49	医用X射线ο射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
50	医用X射线π射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
51	医用X射线ρ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
52	医用X射线σ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
53	医用X射线τ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
54	医用X射线υ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
55	医用X射线φ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
56	医用X射线χ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
57	医用X射线ψ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
58	医用X射线ω射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
59	医用X射线Ω射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人
60	医用X射线Λ射线治疗装置	Ⅱ类	放疗科	每天	约100人

## 2、非辐射污染源项

**废气：**本项目医用直线加速器、SPECT/CT、PET/CT出束过程中产生的X射线，核素操作过程中产生的γ射线，会使工作场所内的空气电离，产生少量臭氧和氮氧化物。

**固体废物：**工作人员及病人会产生少量生活垃圾。

**废水：**工作人员及病人会产生少量的生活废水。

**工程设备与工艺分析：**

## 1、工程设备及工作原理

- 新建SPECT/CT、PET/CT诊断项目

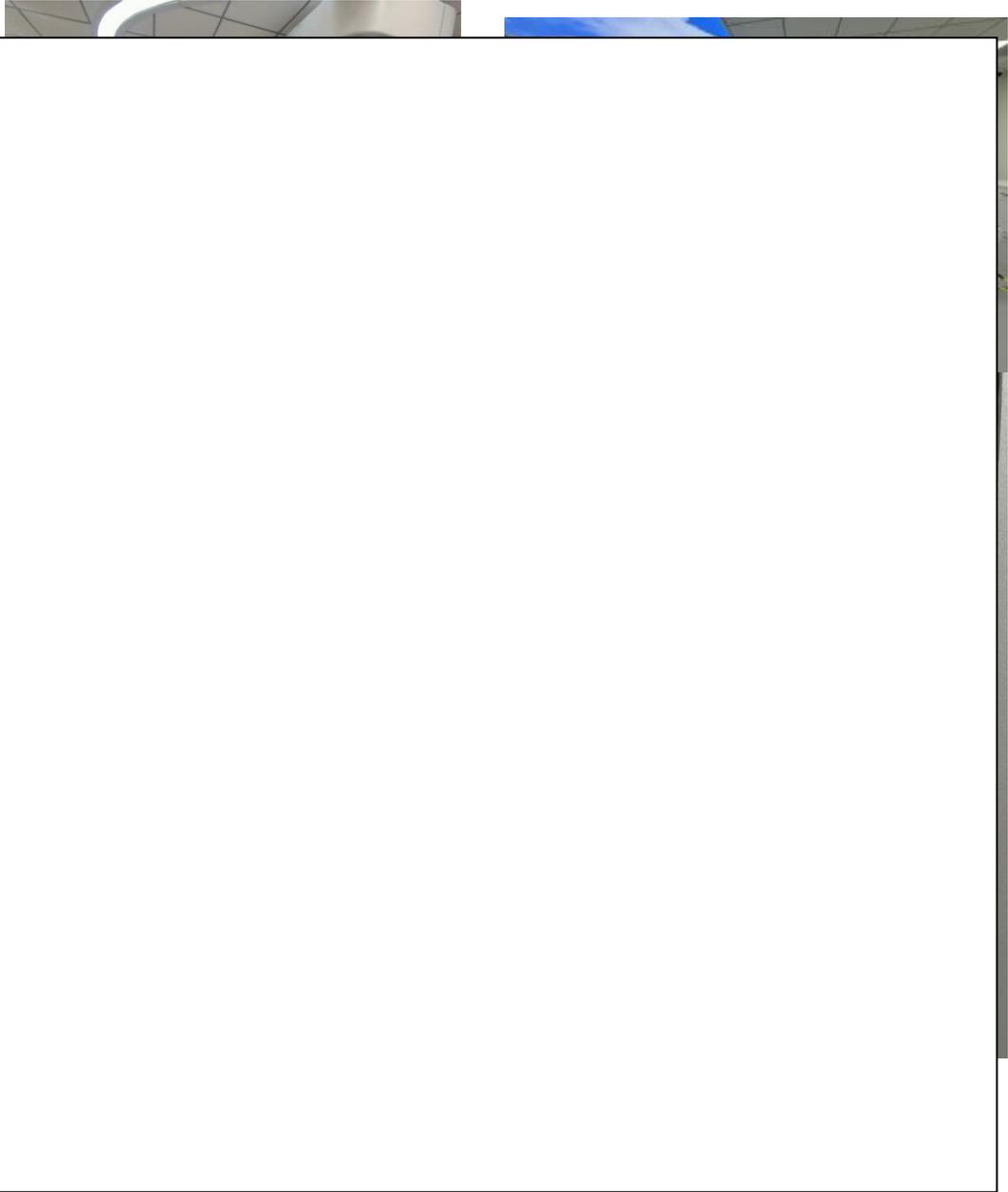
### (1) SPECT/CT诊断项目

SPECT/CT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 $^{99m}\text{Tc}$ 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。 $\gamma$ 照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线（Ray）进来的 $\gamma$ 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 $\theta$ 称为观测角（View）。 $\gamma$ 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。

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。

无锡市人民医院于院区内K区负一层新建 $^{99m}\text{Tc}$ 核素显像诊断场所，于核医学西部新建2座SPECT/CT机房，于2号机房内购置1台NM/CT 870 DR型SPECT/CT，将C区4楼1台Precedence型SPECT/CT搬迁至1号机房内，使用 $^{99m}\text{Tc}$ 核素用于开展核素显像诊断。SPECT/CT设备外观见图2-1、图2-2。

SPECT/CT显像用放射性同位素特性见表 2-3。



核素名称	半衰期	衰变模式	$\alpha/\beta$ 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 (裸源) ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ )
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	同质异能跃迁	—	0.140	0.0303

(2) PET/CT诊断项目

PET/CT (Positron Emission Tomography and Computer Tomography), 全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术, 是在PET (Positron Emission Tomography) 和CT (Computer Tomography) 的基础上发展起来的新设备, 充分结合了PET高灵敏度和CT高分辨率的优势。其原理是通过正电子核素或其标

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

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

无锡市人民医院于院区内K负 1 楼新建  $^{18}\text{F}$ 核素显像诊断场所，于核医学东部新建 1 座PET/CT机房，购置 1 台uMI Panorama 28C型PET/CT，使用  $^{18}\text{F}$ 核素用于开展核素显像诊断。该型号PET/CT设备外观见图 2-3。PET/CT显像用放射性同位素特性见表 2-4。



表2-4 PET/CT显像用放射性同位素及校准用放射源特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	$\alpha/\beta$ 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 (裸源) ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ )
$^{18}\text{F}$	109.8min	$\beta^+$ , EC	0.63 (+)	0.511	0.143

- 新建甲癌治疗项目

放射性核素  $^{131}\text{I}$ 可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶， $^{131}\text{I}$ 衰变时发射出的射程很短的 $\beta$ 射线和能量跃迁时发出的 $\gamma$ 射线，从而对病变组织进行内照射治疗，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，而临近的正常组织的吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

无锡市人民医院于院区内K区负2楼新建甲癌治疗项目，设置5间甲癌治疗病房，使用 $^{131}\text{I}$ 核素用于开展甲癌治疗。核素治疗用放射性同位素特性见表2-5。

表2-5 核素治疗用放射性同位素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	$\alpha/\beta$ 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 (裸源) ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ )
$^{131}\text{I}$	8.02d	$\beta^-$	0.602	0.284, 0.365, 0.637	0.0595

- 医用直线加速器项目

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。放疗的基本目的是努力提高放疗的治疗增益比，即最大限度地将放射线的剂量集中到病变（靶区）内，而使周围的正常组织和器官少受或免受不必要的照射。

电子直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，电子直线加速器是利用具有一定能量的高能电子与大功率微波的微波电场相互作用，从而获得更高的能量。这时电子的速度增加不大，主要是质量不断变大。电子直接引出，可作电子线治疗，电子打击重金属靶，产生韧致辐射发射X射线，作X射线治疗。

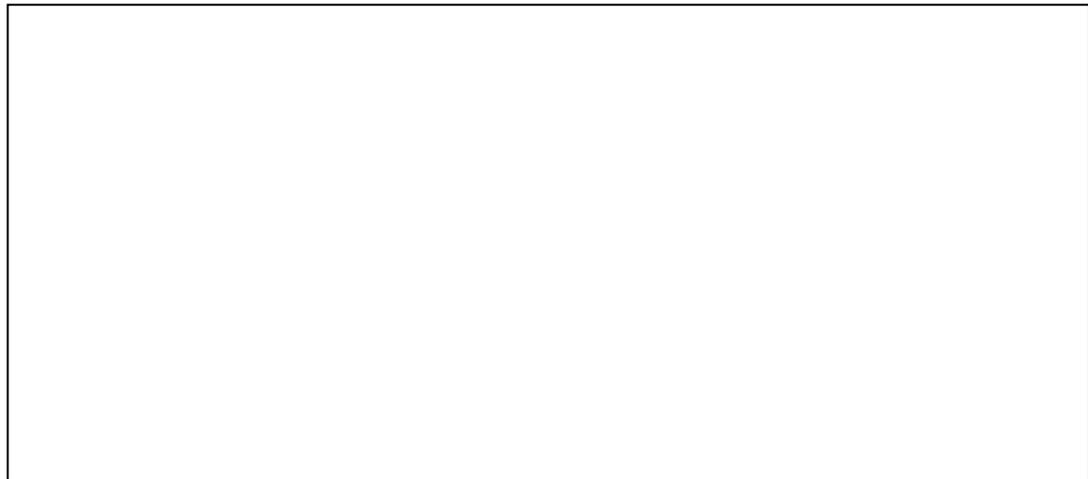
电子直线加速器至少要包括，一个加速场所（加速管），一个大功率微波源和波导系统，控制系统，射线均整和防护系统。医用直线加速器按照微波传输的特点分为行波和驻波两类，其基本结构和系统包括电子枪、微波功率源（磁控管或者速调管）、波导管（隔离器、RF（射频微波源）监测器、移相器、RF吸收负载、RF窗等）、DC直流电源（射频发生器、脉冲调制器、电子

枪发射延时电路等）、真空系统（真空泵）、伺服系统（聚焦线圈、对中线圈）、偏转系统（偏转室、偏转磁铁）、剂量监测系统、均整系统、射野形成系统等，分别安装于治疗头、固定机架、旋转机架、治疗床、控制台等处。

当医用电子直线加速器加上高压后，即产生多种类型的辐射，可大致分为瞬时辐射和剩余辐射。瞬时辐射是指被加速的电子束、以及其与靶材料相互作用产生的高能X射线。

剩余辐射是指由于中子活化使加速器及周围环境产生短寿命的感生放射性核素，包括固态感生放射性和气态感生放射性。电子直线加速器中产生的感生放射性从物理机制上可分为直接和间接两个过程。直接过程为韧致辐射光子与加速器部件发生的光核反应；间接过程则主要为光核反应所释放的光中子与加速器部件发生的中子俘获反应，即中子活化。由中子活化产生的放射性核素大多为丰中子核素，其衰变方式多为 $\beta$ -衰变。一般停机数小时后，感生放射性即可达到可忽略的水平。本项目医用直线加速器X射线能量为10MV，不考虑中子对外环境的影响。

直线加速器产生的高能电子束、高能X射线，可能会对工作人员和公众产生辐射危害。



## 2、工作流程及产污环节

### • 新建SPECT/CT、PET/CT诊断项目

无锡市人民医院核医学科  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 放射性药物为外购，医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向专业供应商（江苏华益科技有限公司、上海欣科医药有限公司苏州分公司）订购，供应商根据医院预约的时间和用量定时将药物送达K区负1楼核医学，医院指定专人负责药物的接收和登记，

并暂存到储源室内，当天用完。

医院已许可使用的  $^{99m}\text{Tc}$ 放射性药物日最大操作量为  $4.44\text{E}+10\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $4.44\text{E}+7\text{Bq}$ ，年最大用量为  $1.11\text{E}+13\text{Bq}$ ； $^{18}\text{F}$ 放射性药物日最大操作量为  $1.11\text{E}+10\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $1.11\text{E}+7\text{Bq}$ ，年最大用量为  $2.775\text{E}+12\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

注射护士手持带铅套的注射器，测定活度，经校对无误后，在注射铅玻璃屏的屏蔽下为患者注射。注射完毕后，注射器放入专用废物铅桶内。

患者根据注入的放射性药物特性，在注射后候诊室内静坐或静躺候诊，待药物代谢至靶器官，进入扫描机房，经医护人员摆位后，接受SPECT/CT或PET/CT的扫描。扫描完成后，患者留观一段时间后，若无其他情况，从患者专用通道离开。工作流程及产污环节分析见图 2-5。

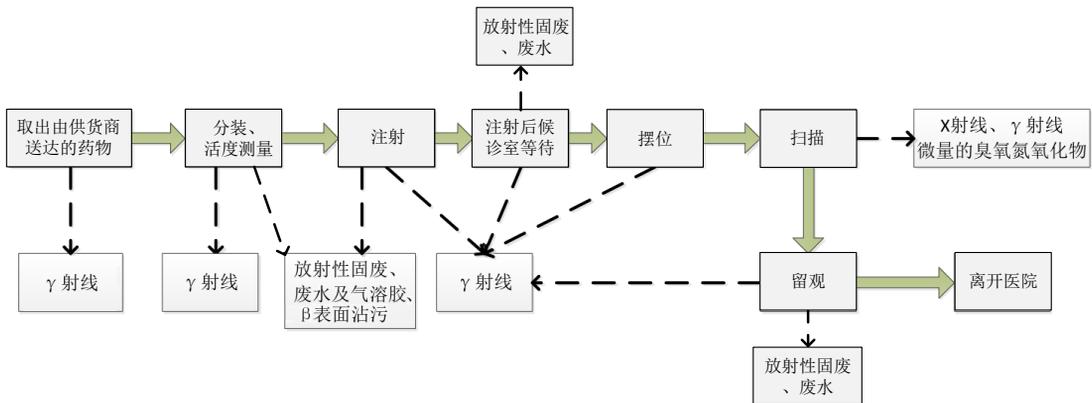


图 2-5 本项目SPECT/CT、PET/CT诊断项目工作流程及产污环节示意图

#### • 新建甲癌治疗项目

无锡市人民医院甲癌治疗项目  $^{131}\text{I}$ 放射性药物为外购，医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向专业供应商（成都欣科医药有限公司或上海欣科医药有限公司苏州分公司）订购，供应商根据医院预约的时间和用量定时将药物送达K区负2楼甲癌治疗场所内的分装室，医院指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到分装室铅手套箱内。

根据医院提供资料，本项目甲癌治疗患者单次给药剂量平均在  $200\text{mCi}$  左右，一般需要住院5天左右。本项目甲癌病人日收治量为5人，年收治量约为250人，甲癌治疗项目  $^{131}\text{I}$ 放射性药物日最大操作量为  $3.70\text{E}+10\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $3.70\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大用量为  $1.85\text{E}+12\text{Bq}$ 。医院计划每周选定1天集中预约甲癌病人在给药室服药。患者服药后进入甲癌病房住院，住院治疗期间（约5

天) 活动仅限于病房、病员就餐室及卫生间。甲癌治疗项目工作流程及产污环节分析见图2-6。

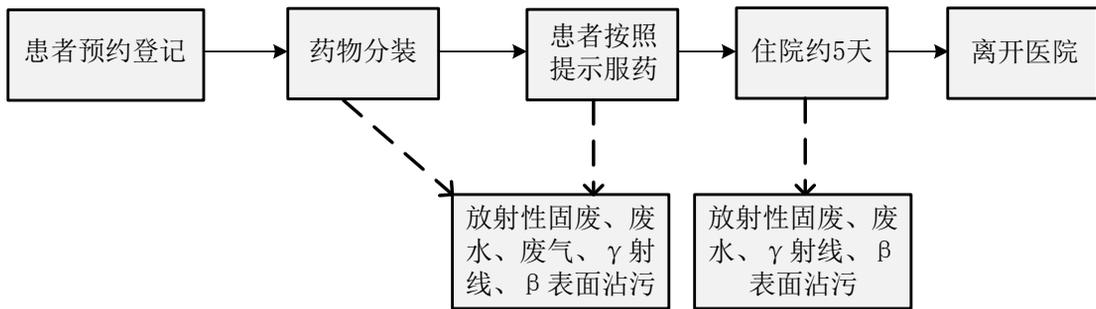


图 2-6 甲癌治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

• 医用直线加速器项目

医用直线加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于X射线，在X射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于X射线治疗。因此，本项目直线加速器开机期间，产生的X射线为主要辐射环境污染因素。

气体：在加速器开机运行时，产生的X射线与空气中氧气相互作用可产生少量臭氧和氮氧化物。

医用直线加速器放疗流程见图2-7。

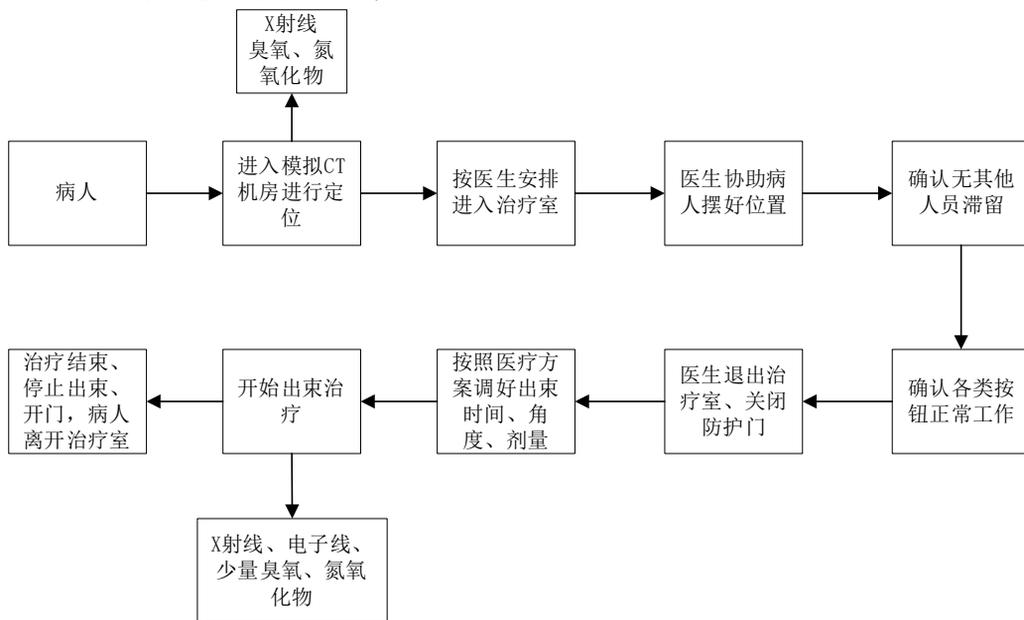


图2-7 本项目医用直线加速器工作流程及产污环节示意图

表 3 辐射安全与防护设施/措施

## 辐射安全与防护设施/措施

## 1、工作场所布局

## 布局：

- 新建SPECT/CT、PET/CT诊断项目

本项目核医学工作场所东侧为下沉庭院和配电室等，南侧为候诊厅、护士站及电梯厅等，西侧为下沉庭院，北侧为阅片室、医生办公室等。上方为<sup>131</sup>I甲亢治疗工作场所、敷贴治疗场所、放疗门诊、休息室及骨密度室等，楼下为甲癌治疗病房及放免工作场所。

- 新建甲癌治疗项目

本项目甲癌治疗病房西侧和北侧为下沉庭院，东侧为放免工作场所，南侧为医生休息室及 CT 模拟定位机房，上方为 ECT 工作场所，下方为土层。

本项目核医学科工作场所满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于选址的规定。

- 新建医用直线加速器项目

本项目医用直线加速器机房南侧、东侧、下方均为土层，北侧为控制室、新风机房和示教室，西侧为配电室、冷却机房和治疗准备室，上方为 K 区出入口空地。加速器机房控制室与治疗室分离，治疗室长 8.77m，宽 6.84m，装修后室内净高约 2.93m，治疗室面积（不含迷道）约为 59.98m<sup>2</sup>；设置“L”型迷路，迷道长度为 9.26m，迷路口设有防护门。加速器机房布局符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的标准要求，布局合理。

**辐射防护分区：**为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目将屏蔽产生射线的医用直线加速器机房、PET/CT扫描室、SPECT/CT扫描室、给药后候诊室、留观室、设备机房、放射性药物贮存室、注射室、药品标记室、药品质控室、通气室（闲置）、心脏负荷室/抢救室、卫生间、病员走廊；5间甲癌病房、配餐间、配药室、给药室；衰变池等作为辐射防护控制区，严格控制人员进出，并在控制区出入口处及控制区个房间防护门设置电离辐射警告标志；将控制室、控制廊、阅片室、卫生通过间、去污淋浴间、示教室、缓冲区、医护走廊、医生办公室、主任办公

室、库房、污物通道、值班室、配餐室、配电室、治疗准备室等作为辐射防护监督区。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于辐射工作场所的分区规定要求，与环评文件一致。

控制区和监督区内辐射工作人员具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免工作人员受到不必要的外照射。本项目核医学、医用直线加速器工作场所平面布置、两区划分及病人、医护人员流动路线示意图见图3-1。

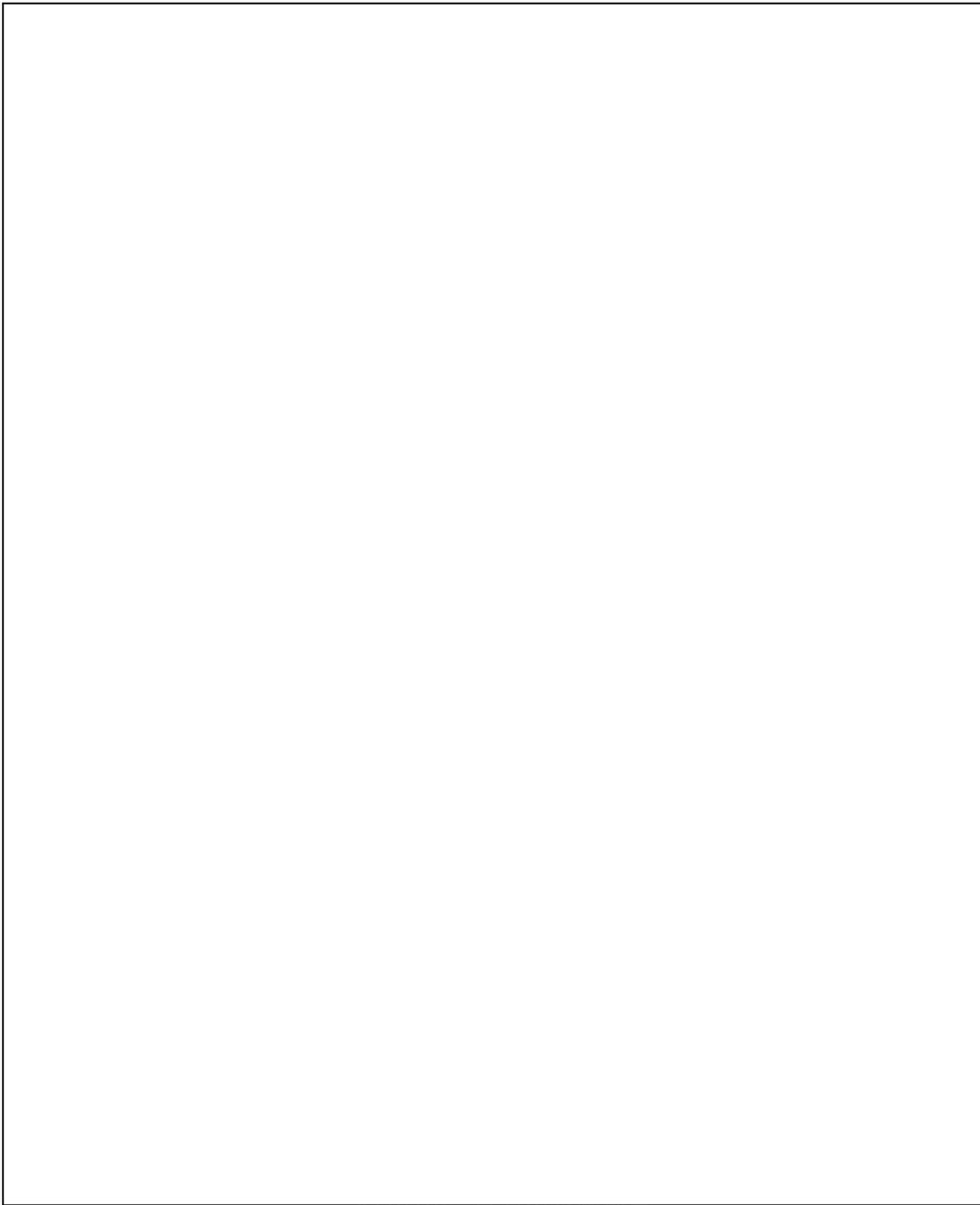
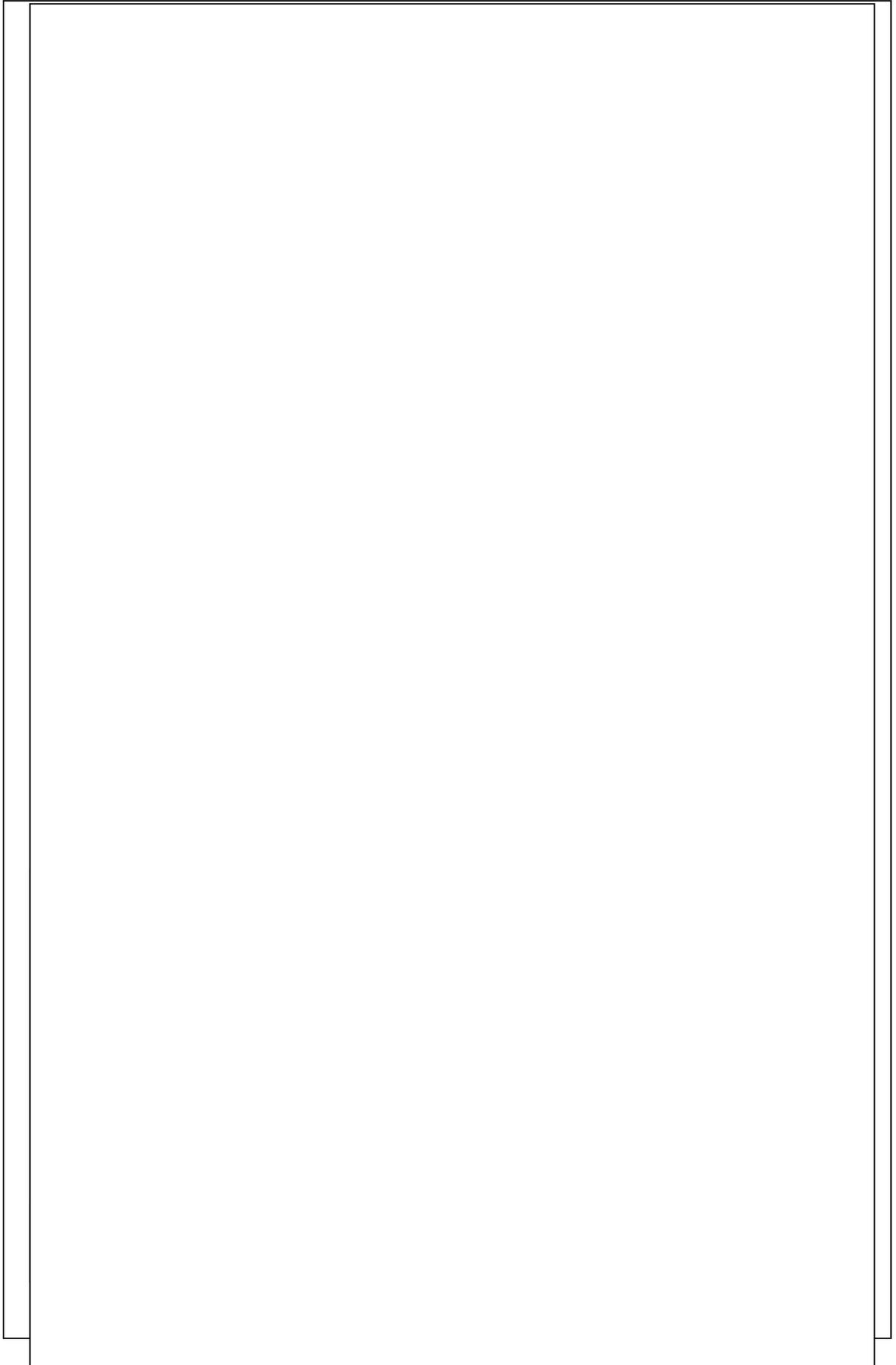


图3-1 核医学、医用直线加速器工作场所平面布置、两区划分及病人、医护人员流动路线示意图



2、工作场所屏蔽设施建设情况

• 新建核医学科项目

本项目核医学场所墙体采用混凝土、实心砖、铅板进行防护，防护门采用铅防护门，防护窗采用铅玻璃窗，具体屏蔽设计参数见表3-1。

表3-1核医学场所屏蔽设计参数

场所名称	屏蔽体名称	屏蔽体材料		厚度/铅当量
		材料	厚度/铅当量	
核医学诊断室	墙体	混凝土	200mm	2.0
	顶棚	混凝土	100mm	1.0
	地面	混凝土	100mm	1.0
	防护门	铅板	5.0mm	5.0
	防护窗	铅玻璃	12mm	12.0
核医学治疗室	墙体	混凝土	300mm	3.0
	顶棚	混凝土	150mm	1.5
	地面	混凝土	150mm	1.5
	防护门	铅板	10.0mm	10.0
	防护窗	铅玻璃	20mm	20.0
核医学注射室	墙体	混凝土	200mm	2.0
	顶棚	混凝土	100mm	1.0
	地面	混凝土	100mm	1.0
	防护门	铅板	5.0mm	5.0
	防护窗	铅玻璃	12mm	12.0
核医学候诊室	墙体	混凝土	200mm	2.0
	顶棚	混凝土	100mm	1.0
	地面	混凝土	100mm	1.0
	防护门	铅板	5.0mm	5.0
	防护窗	铅玻璃	12mm	12.0
核医学办公室	墙体	混凝土	200mm	2.0
	顶棚	混凝土	100mm	1.0


注：混凝土密度为2.35g/cm<sup>3</sup>、铅板密度为11.3g/cm<sup>3</sup>，实心砖密度为1.65g/cm<sup>3</sup>。

• 医用直线加速器项目

医用直线加速器机房四周墙体采用混凝土浇筑，迷路入口采用铅防护门，机房具体屏蔽设计参数见表3-1。

表3-2 医用直线加速器机房屏蔽设计参数



注：混凝土密度为2.35cm<sup>3</sup>/g，铅密度为11.3cm<sup>3</sup>/g。

3、辐射安全与防护措施

## • 新建核医学科项目

### （1）工作状态指示灯和电离辐射警告标志

本项目SPECT/CT机房防护门、PET/CT机房防护门、核医学工作场所控制区出入口处均粘贴电离辐射警告标志和中文警示说明，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规范的电离辐射警告标志的要求。SPECT/CT机房、PET/CT机房防护门上方均设置了工作状态指示灯，灯箱处设有“射线有害 灯亮勿入”的警示语句，设备操作台上设置有机房大门开关。工作状态指示灯和电离辐射警告标志见图3-2。

### （2）门灯连锁

本项目SPECT/CT机房、PET/CT机房的防护大门设置有门灯连锁装置，防护大门闭合时工作状态指示灯亮。现场检查门机连锁和门灯连锁装置运行正常。

### （3）观察和对讲系统

医院在SPECT/CT机房、PET/CT机房与其控制室内设置双向语音对讲装置，且SPECT/CT机房、PET/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病人情况和与病人交流，保证诊断质量和防止意外情况的发生。经现场核查，该对讲系统运行正常。SPECT/CT机房、PET/CT机房观察窗和对讲系统见图3-3。

医院在核医学的甲癌病房、注射室、注射后候诊室、留观室和控制区内患者走道等关键位置设置了监控摄像装置，监控显示终端设置在SPECT/CT、PET/CT控制室、护士站内，辐射工作人员在控制室可以随时监控受检者的情况，避免受检者注射药物后随意走动或无关人员进入放射工作场所。监控装置见图3-3。

### （4）急停按钮

本项目SPECT/CT、PET/CT控制室操作台上及机房内设备上均设有急停按钮，当出现紧急情况时，按下急停按钮即可关闭设备。经验证检查，按下SPECT/CT机房、PET/CT机房控制室操作键盘的急停开关，设备即可停止工作。急停装置见图3-3。

### （5）人员监护

医院为核医学科配备23名辐射工作人员（均已参加辐射安全与防护培训并且考核合格，名单见表3-3，培训考核证明见附件6），并对其进行健康体检及个人剂量监测，建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案（健康检查表见附件6，个人剂量检



■	■	■	■	■	
■	■	■	■	■	

医院为核医学项目配备辐射巡测仪1台、表面污染仪3台及个人剂量报警仪8台，本项目配备的辐射监测仪器见图3-4，清单见表3-4。工作人员均配备了个人剂量计，均参加了职业健康检查及辐射安全与防护知识培训后上岗操作。

表3-4 本项目配备的辐射监测仪器清单

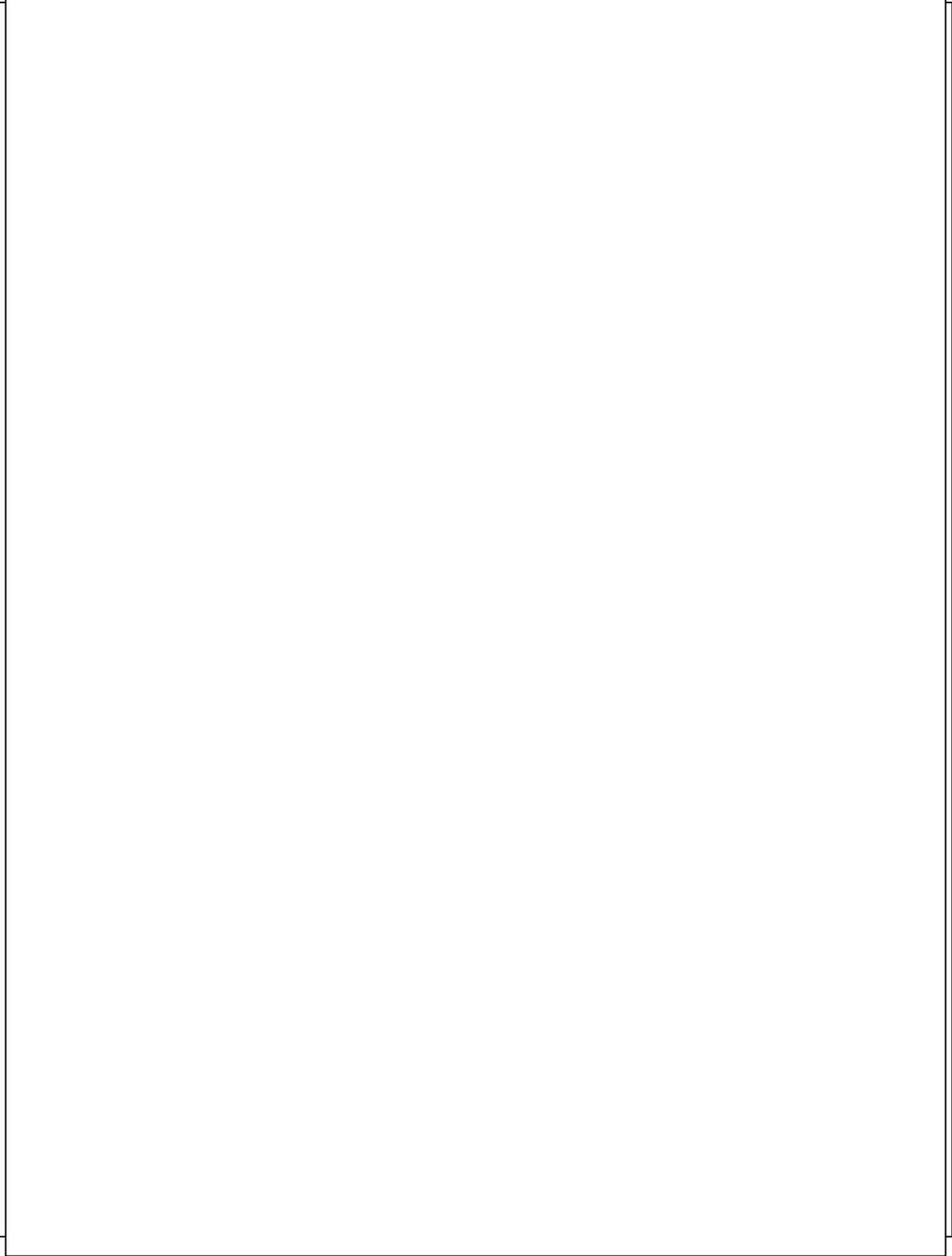
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■

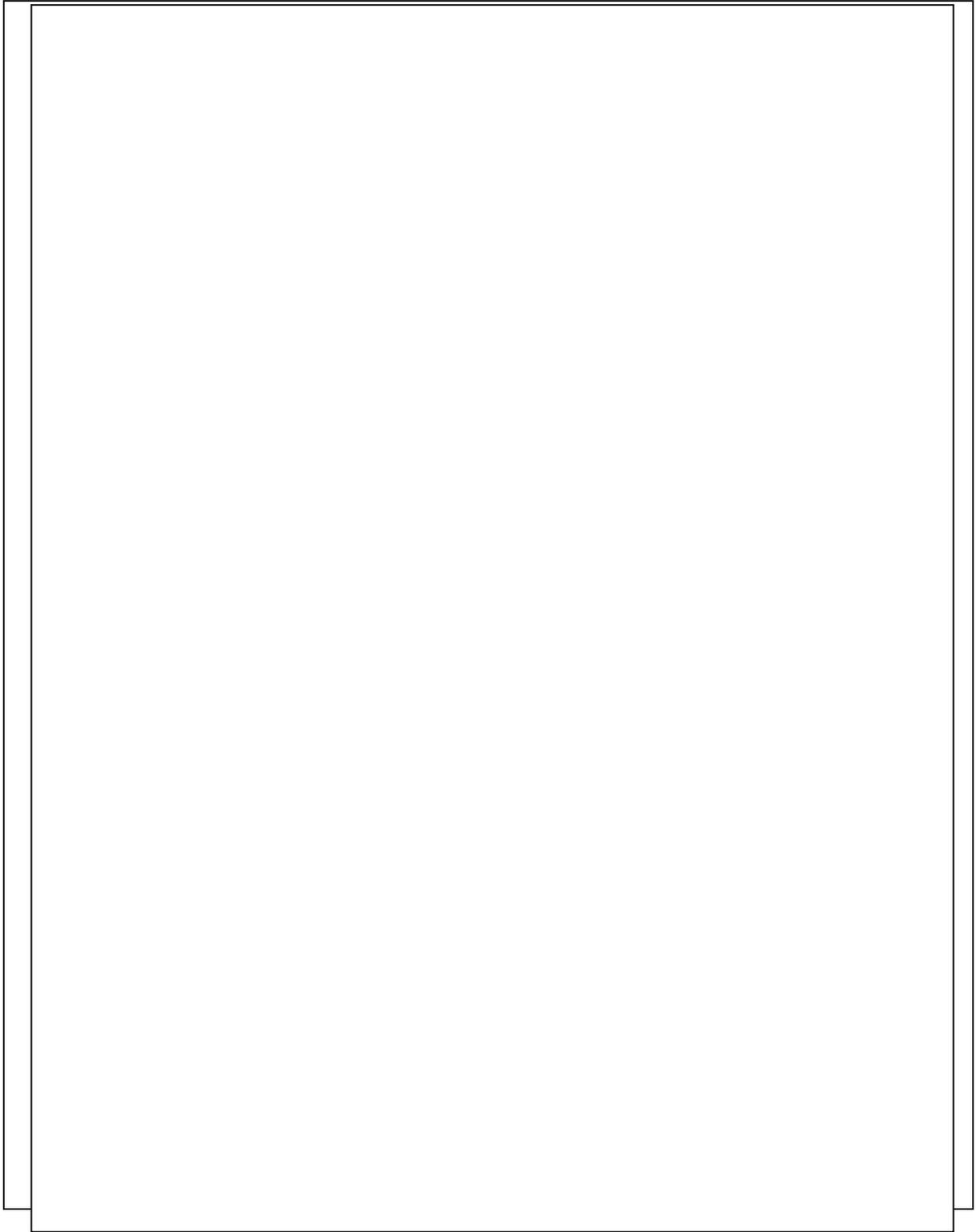
(6) 防护用品

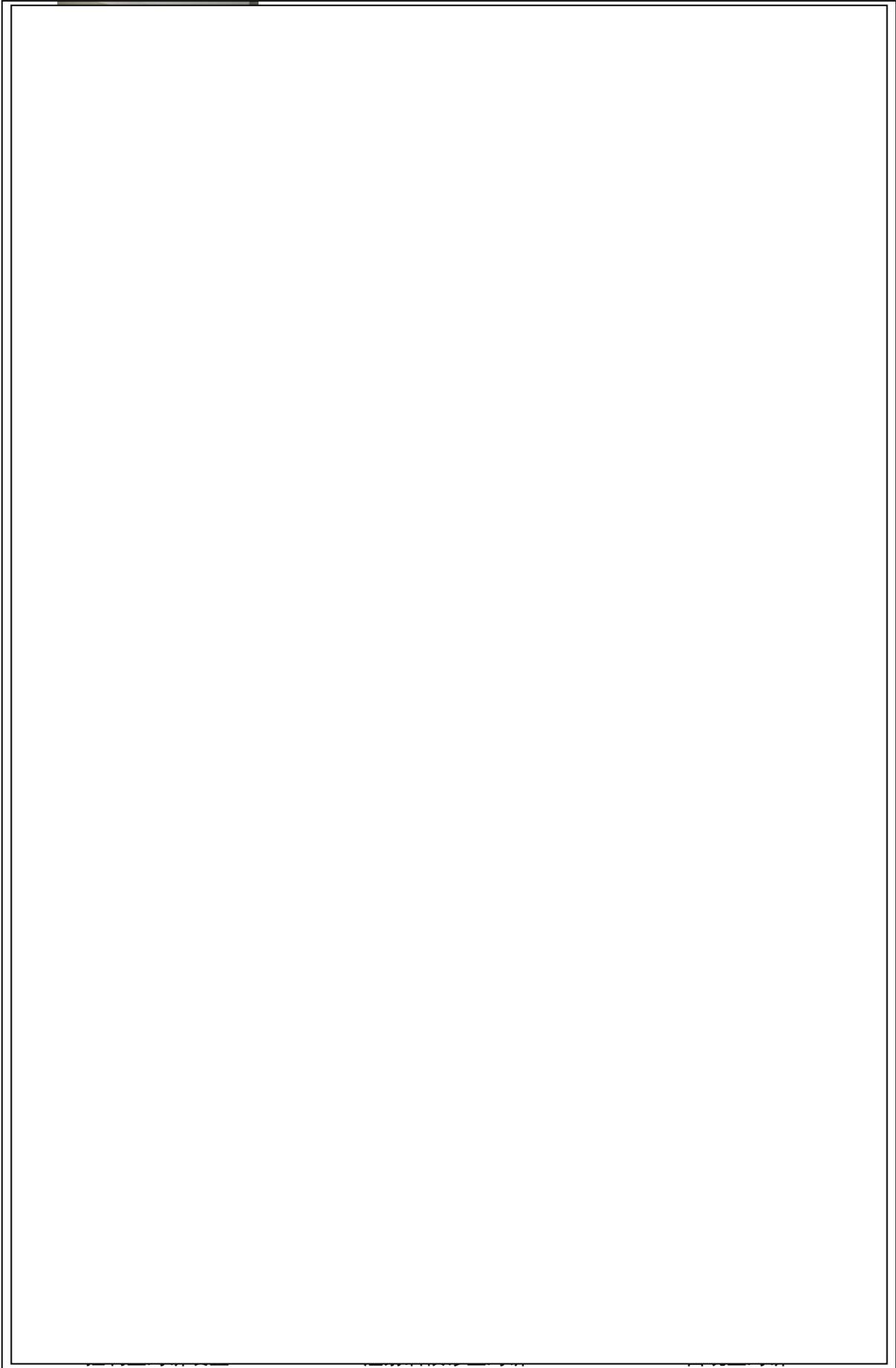
医院已为核医学配备防护铅衣、铅橡胶帽子、铅橡胶围脖、铅防护眼镜、放射性污染防护服等防护用品，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中的相关要求。

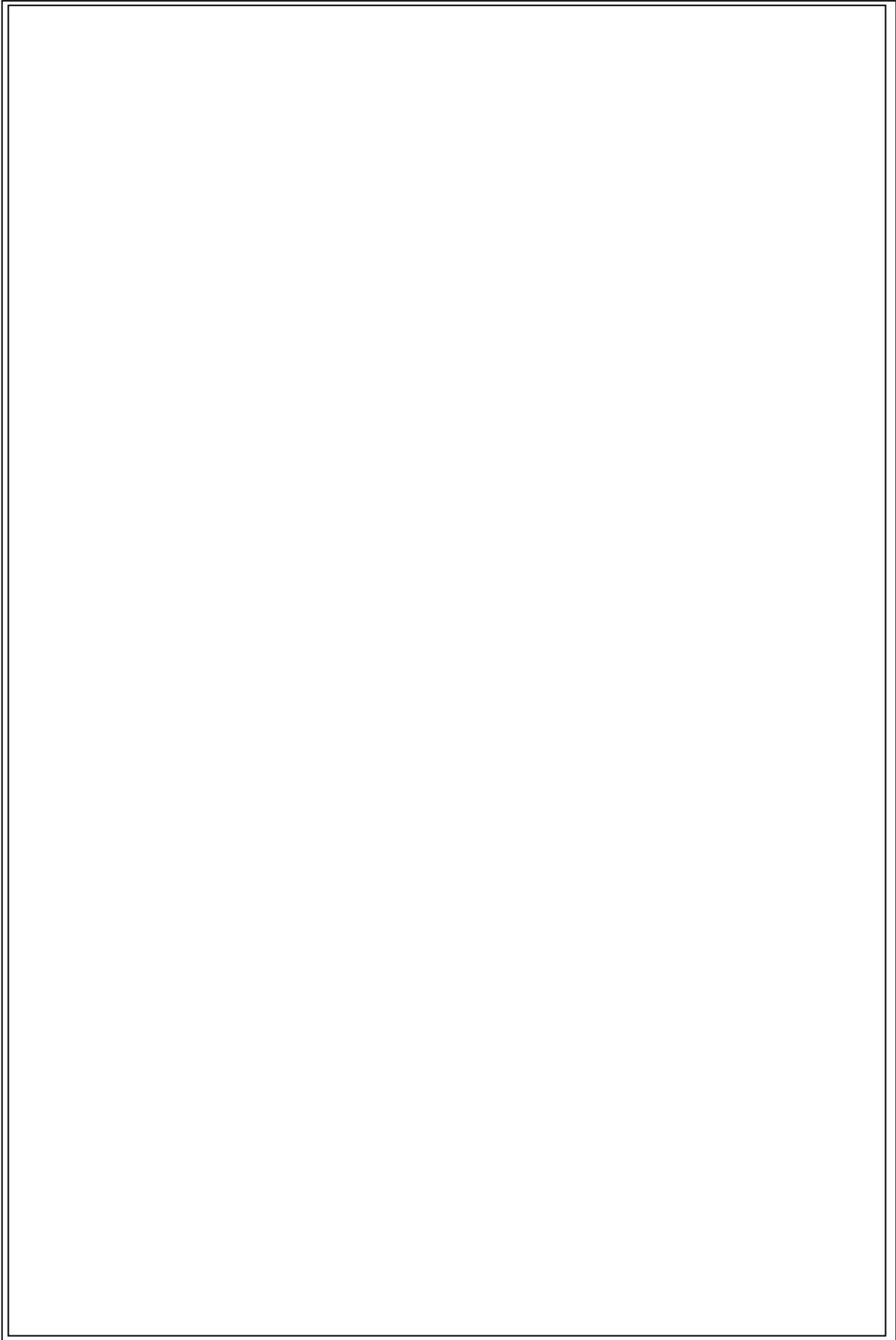
医院对工作人员正确使用防护用品进行指导，工作人员了解所使用的防护用品的性能和使用方法，对所有防护用品均妥善保管，不要折叠存放，以防止断裂，使用的个人防护用品每年至少自行检查1次，防止因老化、断裂或损伤而降低防护质量，若发现老化、断裂或损伤自行及时更换。

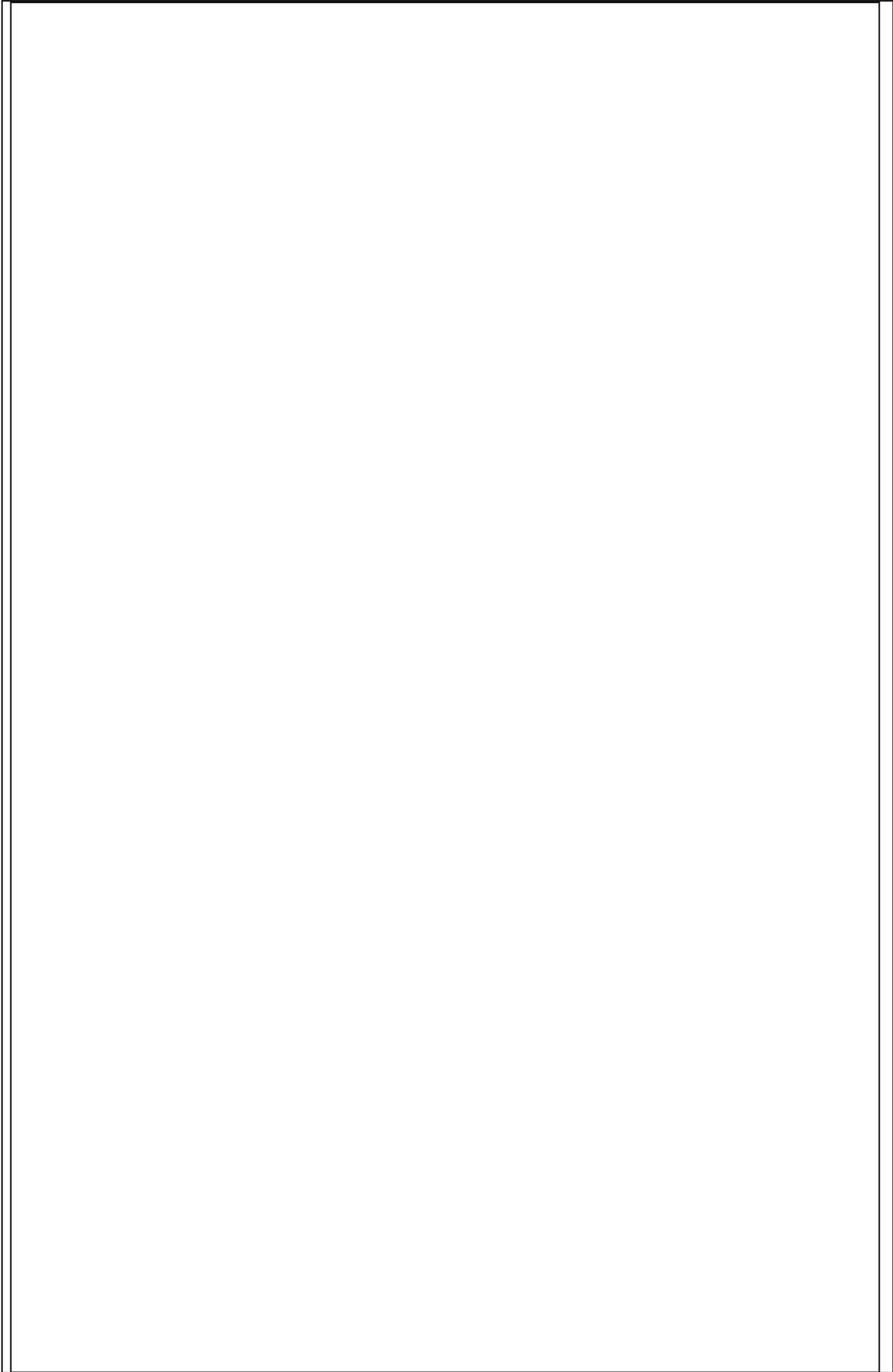
--











• 医用直线加速器项目

(1) 工作状态指示灯和电离辐射警告标志

本项目加速器机房入口处设置有电离辐射警告标志及醒目的工作状态指示灯，灯箱处设警示语句，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规范的电离辐射警告标志的要求。防护门为电动门且带防夹功能，工作状态指示灯与防护门、加速器均进行连锁，防护门未完全关闭时，工作状态指示灯熄灭，设备不能出束照射，房门关闭时，工作状态指示灯红色警示亮起，若出束状态下开门将停止出束，现场核查连锁装置运行正常。本项目工作状态指示灯及电离辐射警告标志见图3-6。

(2) 视频监控及对讲装置

医院为防止治疗过程中的误操作、防止工作人员和公众受到意外照射，在加速器机房控制室与治疗室设置双向语音对讲装置，治疗室内设置多处视频监控探头，监视器设于控制室。工作人员可在控制室观察治疗室内情况，并通过语音对讲装置与治疗室内患者、指导摆位工作人员交流。经现场核查，对讲系统、监控系统运行正常。加速器监控和对讲装置现场照片见图3-7。

(3) 紧急停机和开门按钮

本项目加速器机房、控制室内及设备上均设有急停按钮，当出现紧急情况时，按下急停按钮即可关闭设备。加速器机房迷道口内侧墙壁上设置一处紧急开门按钮，加速器出束治疗时，若有人员误留在机房内，可按下紧急开门按钮打开防护门；而由于防护门与加速器设置连锁，因此当此按钮被按下时，加速器也随即停机。现场核查连锁装置运行有效。本项目急停、开门按钮见图3-8。

(4) 辐射监测仪器

本项目医用直线加速器工作场所安装固定式辐射剂量监测仪，监测探头设于迷道内墙上方，显示面板安装在控制室，工作人员可在控制室实时监测治疗室内辐射剂量水平。固定式辐射监测仪见图3-9。医院已为本项目配备1台辐射巡测仪和为医用直线加速器项目配备2台个人剂量报警仪，为工作人员均配备了个人剂量计。本项目监测仪器实实物图详见图3-9，现场核查各仪器正常可用。

表3-5 医用直线加速器项目项目配备的辐射监测仪器清单

■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■

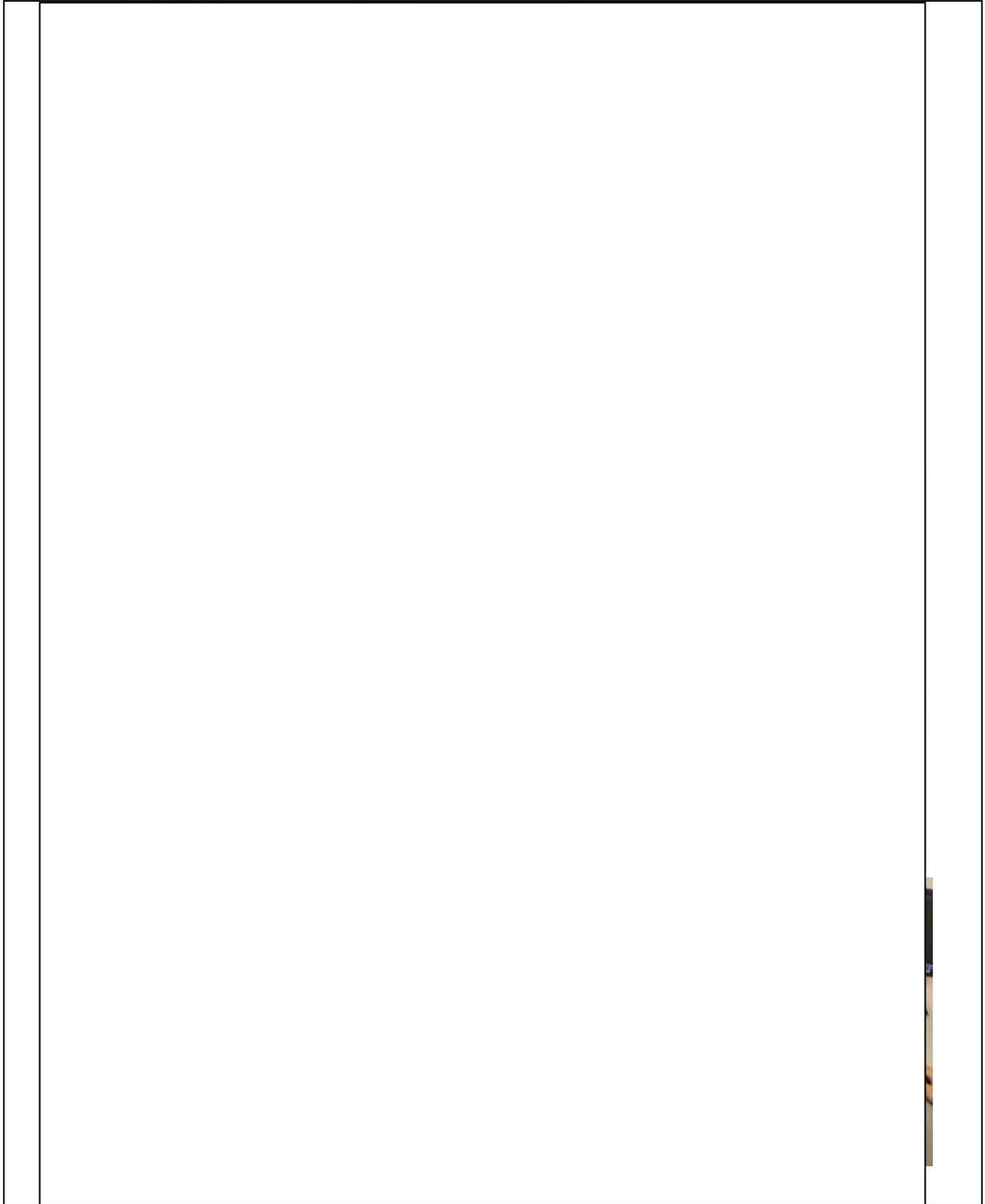

(5) 人员监护

医院为本项目配备5名辐射工作人员，均已参加辐射安全与防护培训并且考核合格。辐射工作人员培训证书见附件6，名单见表3-6。

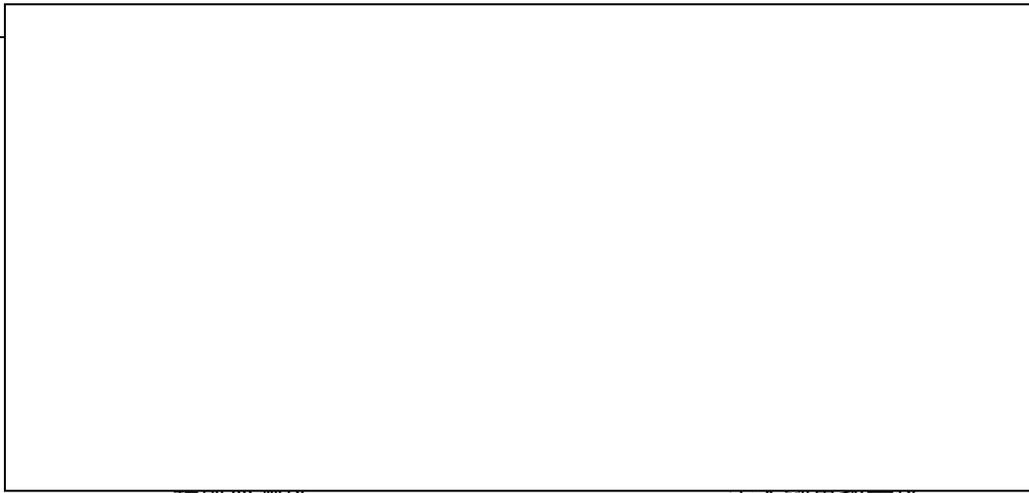
表3-6 本项目配备的职业人员名单

姓名	性别	出生日期	身份证号	学历	专业

医院已安排工作人员进行健康体检及个人剂量监测，建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案，详见附件6、附件7。



--



辐射监测仪 个人剂量报警仪

图3-9 本项目配备剂量检测仪器

#### 4、“三废”治理情况

##### (1) 放射性三废

##### ①放射性废气

在进行液态放射性药物分装、活度测量过程中，若液态处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性核素，污染途径为放射性核素在空气中挥发散逸造成人员吸入内照射。本项目注射室、分装室内配置有手套箱，本项目药物分装、活度测量等所有放射性核素的操作均在手套箱内进行。

本项目核医学工作场所设置了独立的排风系统，排口高于楼屋顶面，排风管道末端均配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施，管道内风口处均设置了回止阀，防止气体回流。整个核医学工作场所的气流从低活度区向高活度区排放出去；核医学工作场所排风现场照片见图 3-12，核医学工作场所排风管道走向见图 3-13。满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“排气口应高于本建筑屋顶”的要求。

核医学注射室内  $^{99m}\text{Tc}$  专用手套箱左操作口的风速为 1.09m/s，右操作口的风速为 1.10m/s； $^{18}\text{F}$  专用手套箱左操作口的风速为 0.81m/s，右操作口的风速为 0.85m/s；分装室内  $^{131}\text{I}$  专用手套箱左操作口的风速为 0.82m/s，右操作口的风速为 0.85m/s，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中对合成和操作放射性药物所用的手套箱，工作中风速不小于 0.5m/s 的要求。

微量放射性气溶胶经活性炭过滤后由外排气口排放并大气扩散后，对周围公众和环境敏感点的影响很小，不会造成公众内照射影响。

##### ②放射性固废

核医学工作场所涉及的固态废弃物包括废弃的注射器、手套、试管、口罩、棉球和滤纸等。为了防止污染工作环境，在诊疗过程中这些固体废物被临时存放在废物桶中，然后分类收集后放置于废物库内，含  $^{99m}\text{Tc}$  和  $^{18}\text{F}$  核素的放射性固体废物暂存超过 30 天、含  $^{131}\text{I}$  核素的放射性固体废物暂存超过 180 天经检测合格后，作为医疗废物统一处理。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的相关要求。建议医院在废物库内设置货架及专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物分开存放，容器表面注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

医院已在注射室、注射后候诊室和放射性废物暂存间内设置了铅废物桶，用于放置废弃的注射器、针头、棉球和一次性手套等。

### ③放射性废水

本项目在使用放射性核素过程中会产生放射性废水，包括擦拭冲洗放射性同位素污染物品废水、操作人员进行放射性药品分装后洗手废水、体内含放射性同位素的病人于注射后病人专用厕所内的排泄物及冲洗水，主要包含的放射性核素为  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 。

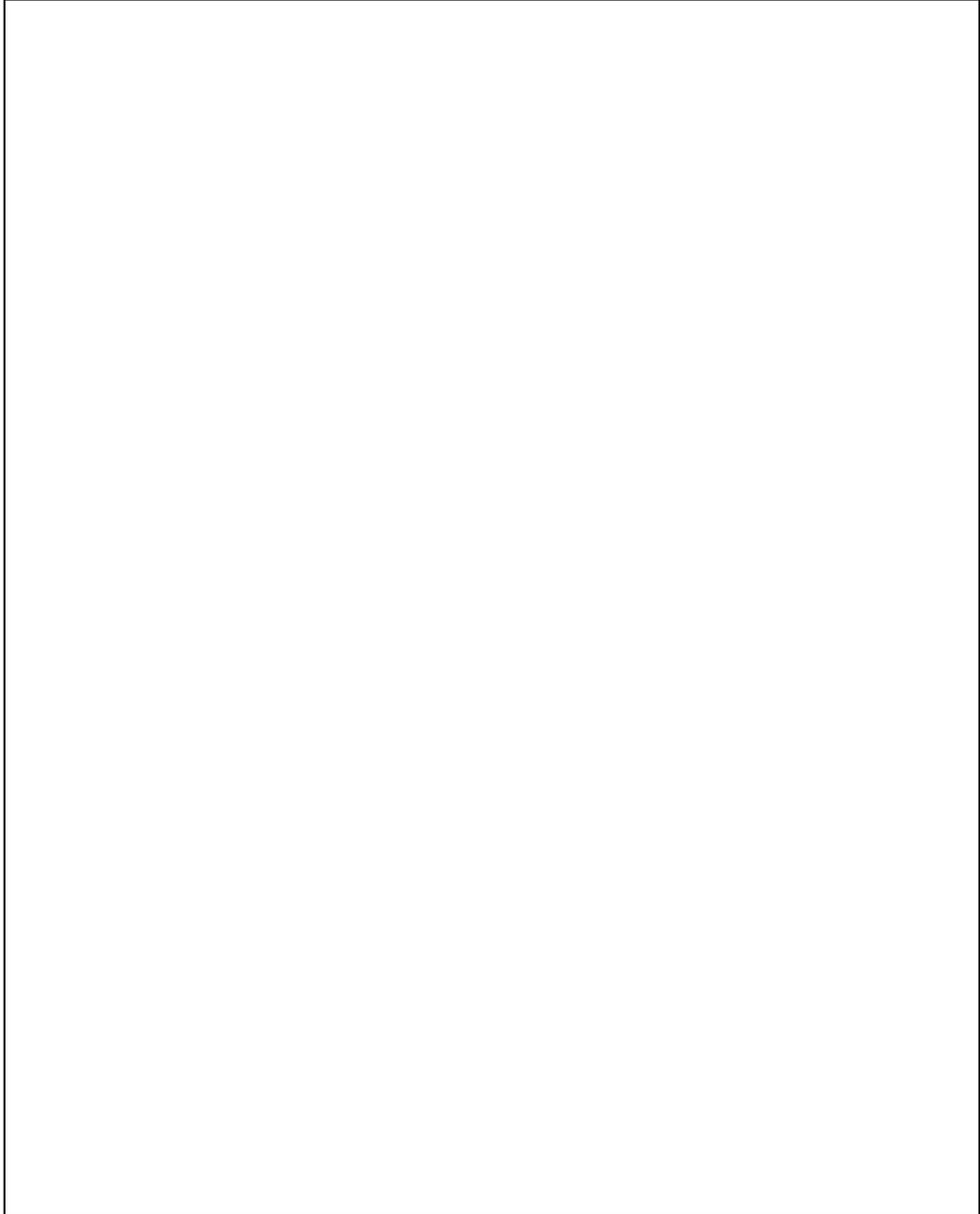
根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中 8.3 条款的要求，放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。

医院在K区大楼外西南角地下设有 2 个自动衰变池系统，每套由 2 个沉淀池、维修空间和每套 3 个衰变池组成。衰变系统顶面覆土 600mm，检修井设有爬梯直通地面，井盖为 6mm 铅当量的防护井盖（与地表平齐）。采用间歇式并联衰变池，池体采用成品水箱，衰变池现场照片见图 3-10，结构示意图见图 3-11。医院各核医学工作场所控制区内产生的放射性废水通过预埋好的专用管道（见图 3-11）流入衰变系统，在病员走廊内汇总流入下层放射性污水管道，在K区大楼南端最终流向衰变池。本项目核医学科内大部分下水管道位于建筑体内，对于少部分裸露管道采用含铅铸铁管进行辐射防护，避免含放射性废水流动时造成管道穿行区域的辐射泄漏。

贮存  $^{131}\text{I}$  废水的衰变池系统包括 2 个沉淀池与 3 个衰变池，每个衰变池池体体积为  $64.125\text{m}^3$ （ $4.5\text{m}\times 1.5\text{m}\times 9.5\text{m}$ ），总体积为  $192.375\text{m}^3$ ，甲癌治疗最多 5 人/天，住院期间病人使用卫生间，每天洗手、淋浴每天废水量；医生洗手、淋浴，粗略估计  $1\text{m}^3/\text{天}$ ，含  $^{131}\text{I}$  核素的废水排入 1 号衰变池后将在池中贮存 192 天以上，能够满足暂

存 180 天的衰变要求。

贮存  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  废水的衰变池系统包括 2 个沉淀池与 3 个衰变池，每个衰变池池体体积为  $6.9\text{m}^3$  ( $1\text{m} \times 2.3\text{m} \times 3\text{m}$ )，总体积为  $20.7\text{m}^3$ ，本项目核医学场所中， $^{18}\text{F}$  病人 30 人/天， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  病人 60 人/天，每人产生的废水 6L/天；场所清洗废水约 100L/天，则医院  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  放射性废水日排放量预计约 640L/天（约  $0.64\text{m}^3$ ），可在该套衰变系统内衰变的时间约 32d，能够满足暂存 30 天的衰变要求。





(2) 非放射性三废

① 废气

- 新建核医学科项目

本项目SPECT/CT机房、PET/CT机房内空气在X射线、 $\gamma$ 射线作用下分解产生少

量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过通风系统排至室外，排风口设置于机房吊顶上，臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

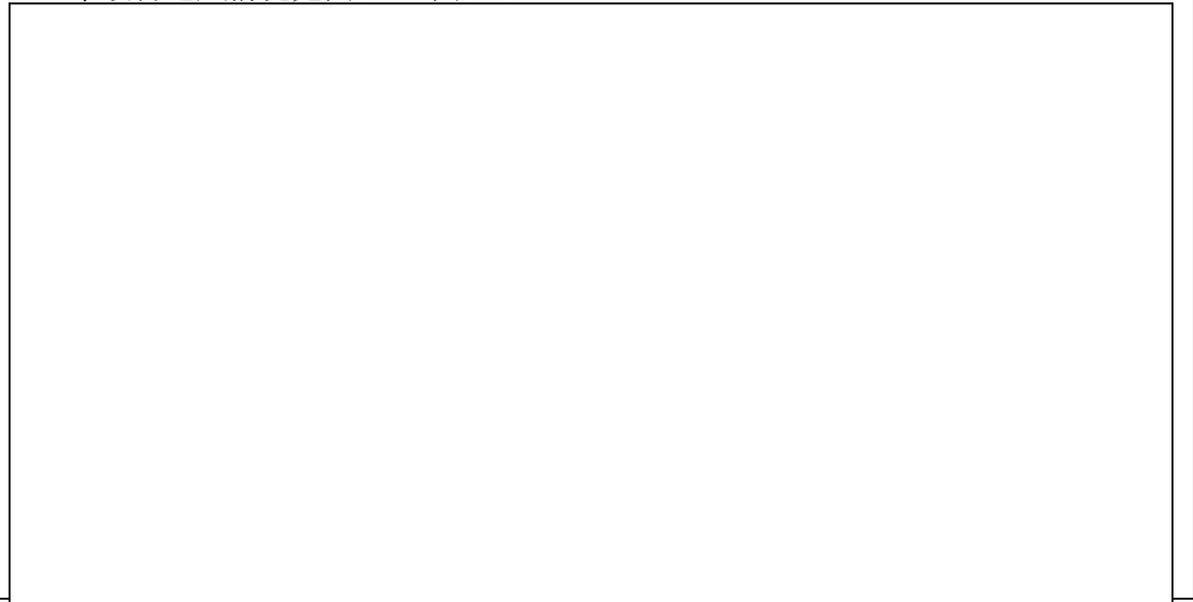
• 医用直线加速器项目

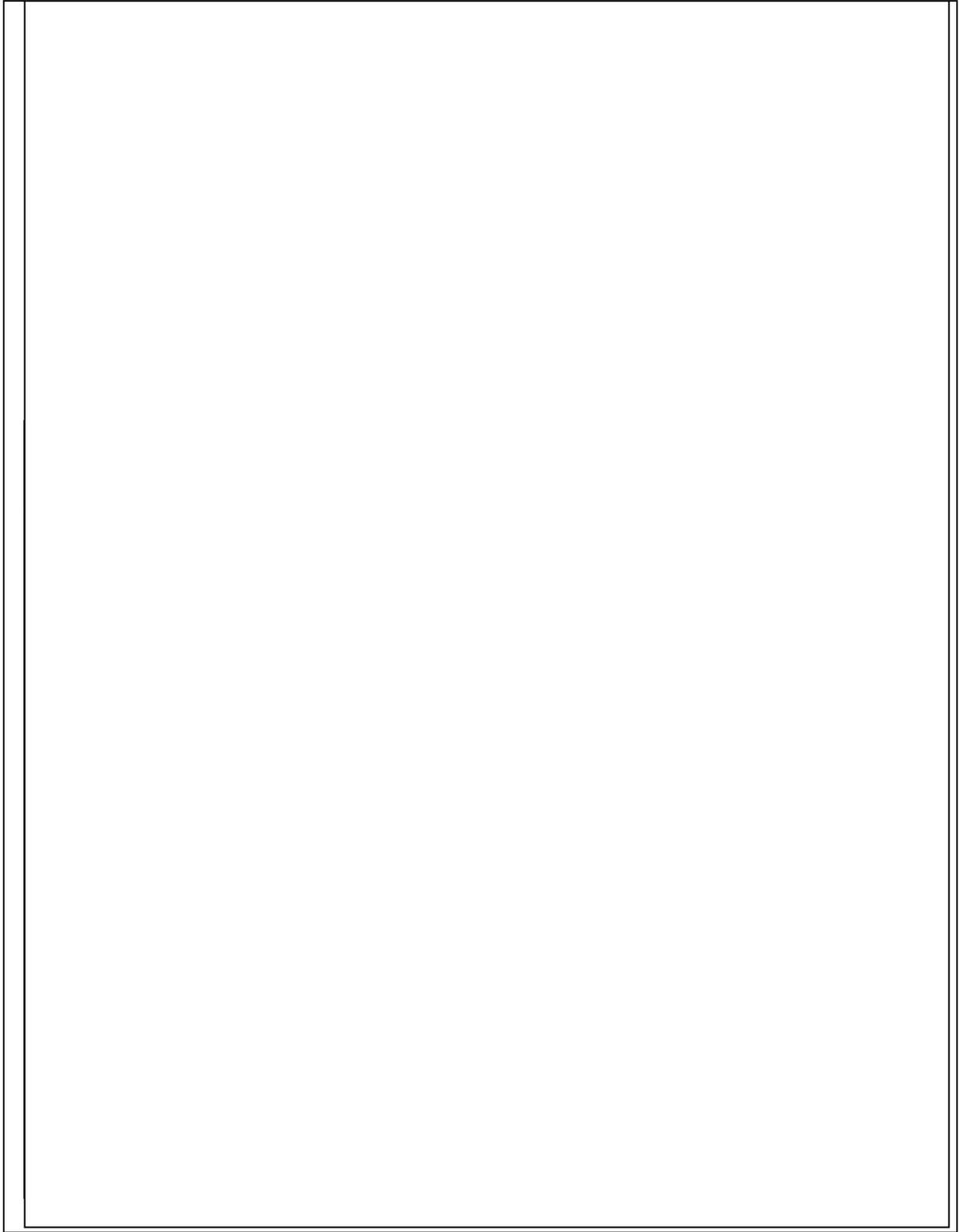
加速器机房内空气在X射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，本项目机房采用动力排风装置将臭氧及氮氧化物排入大气，臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

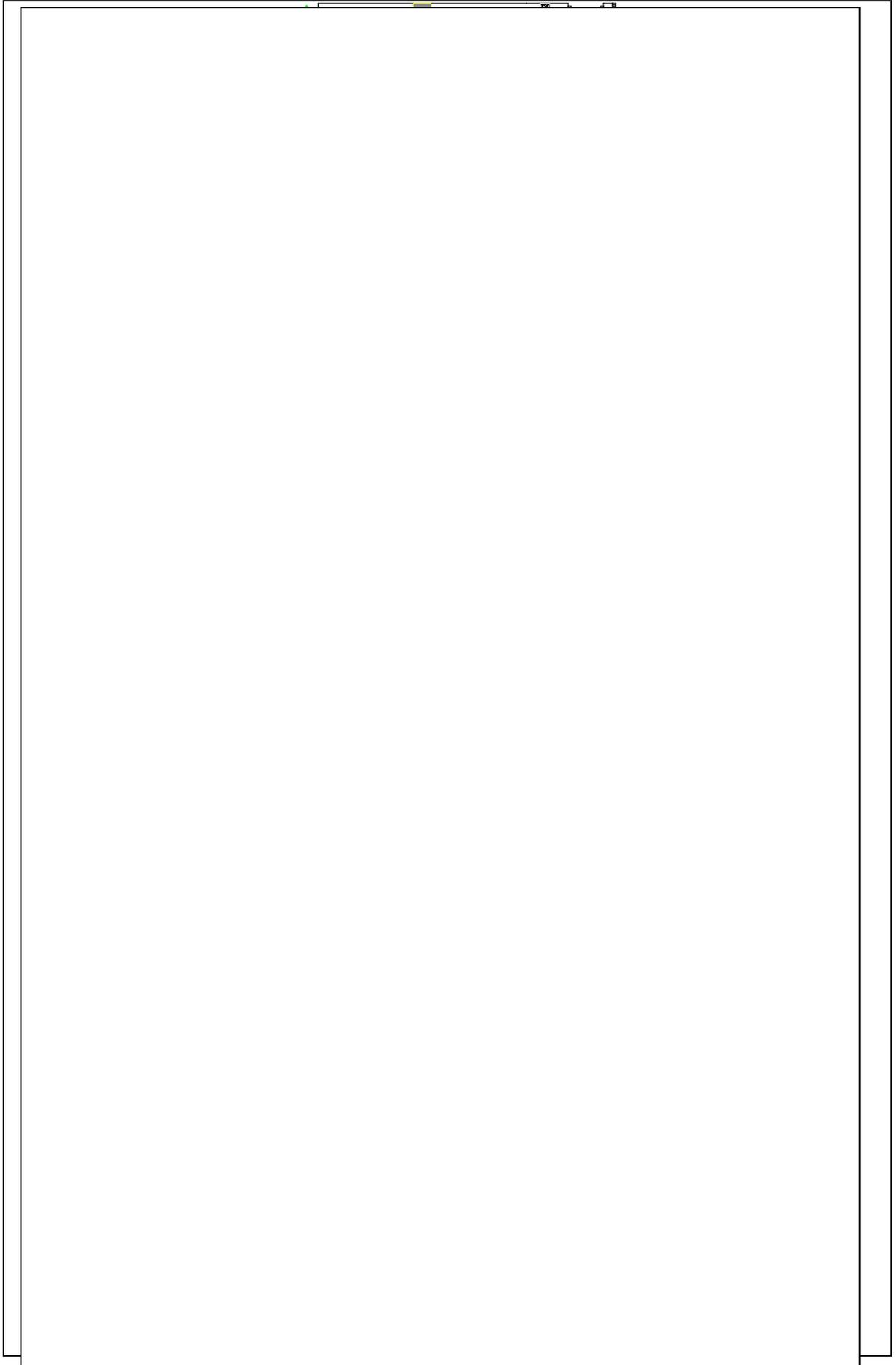
根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）第8.4.1条款的要求：放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

经验证检查，本项目医用直线加速器机房通过新风系统、排风系统和吸顶式中央空调进行通风换气和温度调节，进风和排风管道采用“Z”型穿墙方式从防护门上方墙体经过迷道至治疗室内，采用上进风下出风的方式，2个进风口位于迷道吊顶天花板上，2个排风口分别位于治疗室东北角和东南角下方，2个排风口下沿距地面约30cm，2个排风口尺寸均为40cm×55cm，医用直线加速器机房2个排风口排风速率分别为1.07m/s（东北角）和0.79m/s（东南角），治疗室容积（包含迷道）为248.22m<sup>3</sup>，由此可知治疗室内空气每小时交换次数为5.93次。医用直线加速器机房排风口和进风口呈对角设置，符合相关标准的要求。

本项目通风情况见图3-12~图3-13。







（2）固废

本项目工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

（3）废水

本项目工作人员产生的生活废水，进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网。

本项目非放射性三废经过上述措施处理后，对周围环境影响较小。

**5、辐射安全管理制度**

医院根据《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》，针对所开展的放射性诊疗活动制定了相应的辐射安全与防护管理制度（见附件5）。满足《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》的相关要求。医院已落实环境保护部令第3号、环境保护部令第18号、环评及批复提出的要求，医院具备从事医用直线加速器、核医学等技术应用项目工作的能力。

表3-7 新建医用直线加速器及核医学科项目（分期）环评及批复落实情况一览表

检查项目	“三同时”措施	环评批复要求	执行情况	结论
辐射安全管理机构	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。	成立专门的辐射安全与环境保护管理机构	医院已成立辐射安全管理组织机构，以文件形式明确人员职责。详见附件5。	已落实
辐射安全和防护措施	<p>辐射防护屏蔽建设： 核医学工作场所墙体用实心砖+铅板、顶部、地面采用混凝土+铅板，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。 医用直线加速器机房采用混凝土一体浇筑，防护门采用铅防护门进行辐射防护。</p>	项目的建设和运行，必须严格执行国家有关法律、法规、标准及环评批复中的要求，确保实验室工作场所周围环境辐射剂量能满足辐射防护的要求。	本项目核医学、射线装置，在正常工作条件下运行时，工作场所周围所有监测点位的X-γ辐射剂量率、β放射性表面污染水平、手套箱速率，均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求。	已落实
	<p>辐射安全措施： 医用直线加速器项目： 机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志、工作状态灯和门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮及监控装置，控制室通过监视器与对讲机与治疗室联络，放疗机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能，放疗机房治疗室迷道的内入口处拟设置固定式辐射剂量监测仪并拟有报警功能，其显示单元拟设置在控制室内。 核医学科项目： SPECT/CT机房、PET/CT机房防护门、核医学工作场所控制区出入口处等显著位置均设置电离辐射警告标志和中文警示说明；本项目</p>	认真落实报告中提出的环保措施，确保辐射安全。	<p>辐射安全措施： 核医学科项目： SPECT/CT机房、PET/CT机房防护门、核医学工作场所控制区出入口处等显著位置均设置电离辐射警告标志和中文警示说明；本项目SPECT/CT机房、PET/CT机房的防护大门设置有门灯联锁装置，并设置急停按钮及对讲装置。核医学工作场所配备有监控装置。 医用直线加速器项目： 机房入口处设置“当心电离辐射”警告标志、工作状态灯和门机联锁装置，机房内外设置有急停按钮及监控装置，控制室通过监视器与对讲机与治疗室联络，机房设</p>	已落实

检查项目	“三同时”措施	环评批复要求	执行情况	结论
	<p>SPECT/CT机房、PET/CT机房的防护大门设置有门灯连锁装置，并设置急停按钮及对讲装置。核医学工作场所配备有监控装置。</p> <p>放射性“三废”处理措施： 医院拟建设 2 个三级衰变池。衰变池分别位于核医学科负二层、负一层西南角。核医学科负二层及一层放射性废液排入负二层 1 号衰变池，每级总容积约为 40m<sup>3</sup>，共计 120m<sup>3</sup>。核医学楼负一层废液排入负一层 2 号衰变池，每级总容积约为 4m<sup>3</sup>，共计 12m<sup>3</sup>。放射性废水收集后在衰变池进行自然衰变。衰变池采用溢流式，废水在上一级池满后自动流入下一级池中。衰变池拟采用混凝土池壁和池底，混凝土内掺 12%UBA 抗渗材料，能够满足《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）中“放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防泄漏措施”的要求。放射性废水进入衰变池后自然衰变十个半衰期后达到排放标准后排入医院污水管网。</p> <p>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； 核医学科产生的放射性固体废物集中到废物库</p>	/	<p>置从室内开启机房门的装置，防护门设有防挤压功能，机房迷道入口处设置固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其显示单元设置在控制室内。</p> <p>放射性废水按照要求统一进行收集，含 <sup>131</sup>I 放射性废水于衰变系统内暂存超过 180 天，含 <sup>18</sup>F、<sup>99m</sup>Tc 放射性废水于衰变系统内暂存超过 30 天，监测结果进审管部门认可后，排放至医院污水处理系统作为医疗废水进行处理。含 <sup>131</sup>I 放射性固体废物按照要求进行贮存，存放超过 180 天，含 <sup>18</sup>F、<sup>99m</sup>Tc 放射性固废，存放超过 30 天，经检测合格后后，作为医疗废物进行处理。</p>	已落实

检查项目	“三同时”措施	环评批复要求	执行情况	结论
	中的铅桶中暂存，在废物库内自然衰变十个半衰期达到清洁解控水平推荐值后，作为普通医疗废物进行处理。符合辐射环境保护管理要求。			
辐射安全管理	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。	建立健全辐射安全与防护管理规章制度。	医院已制定相应操作规程、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，见附件5。	已落实
人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，考核合格后上岗。	要妥善保管辐射工作人员个人剂量与职业健康档案，定期对辐射工作人员进行辐射安全与法律、法规等方面的培训，提高核安全文化意识。	本项目辐射工作人员均已参加辐射安全与防护知识培训并取得培训合格证书，目前均在有效期内。	已落实
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检，加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。		辐射工作人员均进行个人剂量监测，医院为工作人员建立个人剂量监测档案。	已落实
	辐射工作人员定期进行职业健康体检，并建立辐射工作人员职业健康档案。		辐射工作人员均进行职业健康体检，医院为工作人员建立职业健康档案。	已落实
监测仪器	购置1台辐射巡测仪、3台表面沾污仪、10台个人剂量报警仪。	/	已配备2台辐射巡测仪、10台个人剂量报警仪、3台表面污染监测仪、1套固定式辐射剂量监测仪	已落实
辐射监测	/	每年委托有资质的单位对项目周围环境辐射剂量进行1-2次监测，并出具监测报告。	每年请有资质单位对辐射工作场所进行监测。医院定期对场所周围环境辐射剂量率进行监测。	已落实

表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

## 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定：

## 1、环境影响报告书（表）主要结论与建议：

## 表13 结论与建议

## 结论

## 1. 实践正当性

无锡市人民医院为了满足病人综合治疗的需要，拟购置 2 台医用直线加速器进行肿瘤放射治疗；开展核医学科进行诊断治疗；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。

## 2. 选址、布局

无锡市人民医院位于无锡市清扬路 299 号，医院东北侧为通扬南路，东南侧为清南路，清南路东南侧为东宝康园小区；西南侧为清扬路，隔路为五星家园小区；西北侧为金城路及向阳新村小区；本项目医用直线加速器机房及核医学科均位于医院门急诊配套楼；门急诊配套楼东北侧为住院部及急救中心，东南侧为医院道路，西南侧为清扬路，西北侧为感染性疾病科。本项目周围 50m 范围无居民区、学校等环境敏感目标。项目选址合理。

本项目医用直线加速器机房设计有治疗室、控制室及其辅房，控制室及其辅房位于治疗室外，本项目医用直线加速器机房工作场所布局设计基本合理。

本项目核医学工作场所控制区和监督区划分明显，工作人员工作区与办公室划分明确，设计有受检者进出路线、医务人员进出路线，可有效避免带有放射性的受检者（病人）对其它人员造成不必要照射，项目布局基本合理。

## 3. 辐射屏蔽能力分析

本项目拟建 2 座医用直线加速器机房设计采用混凝土浇筑结构（混凝土密度不低于  $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ），防护门均采用铅板+含硼聚乙烯。拟建核医学科辐射工作场所采用轻质砖及混凝土浇筑结构，采用铅防护门及铅玻璃。核医学科注射室等核素操作场所拟根据需要配置手套箱及铅服等个人防护用品，在

满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射，根据理论估算分析结果，该医院拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

#### 4. 保护目标剂量

根据计算结果，本项目辐射工作人员和周围公众成员年受照有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值和本项目管理目标限值的要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv）。

#### 5. 辐射安全措施

江苏嘉溢安全环境科技服务有限公司无锡市人民医院新建医用直线加速器及核医学科项目医院本项目核医学科工作场所辐射显著位置均拟设置电离辐射警告标志（场所入口、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/CT 机房、注射室等），SPECT/CT 及 PET 机房门口设计安装工作状态指示灯。医院核医学科拟配置铅手套箱、铅屏风等放射防护用品；放射性核素操作人员拟配备铅衣、铅眼镜、铅围脖、铅帽等个人防护用品。

本项目加速器机房防护门外拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，拟设计安装门机联锁装置、急停装置、监控对讲装置等。

本项目拟配置 1 台辐射剂量巡测仪、3 台表面污染监测仪及 10 台个人剂量报警仪，项目运行后定期对医用直线加速器机房、核医学工作场所周围环境辐射水平监测。本项目辐射工作人员按要求佩戴个人剂量计并建立个人剂量档案，定期进行职业健康体检并建立职业健康档案。医院辐射安全措施满足有关辐射防护安全要求。

在落实以上措施后，该院核医学科、医用直线加速器核技术应用项目的安全措施能够满足安全防护要求。

#### 6. 辐射环境管理

医院已成立辐射防护管理机构，并以文件的形式明确各成员管理职责。同时在项目运行前制定完善本项目相关辐射安全管理制度；本项目拟配备的辐射工作人员在上岗前参加并通过辐射安全与防护知识的培训，医院计划对工作人员进行职业健康监护和个人剂量监测，并为放射工作人员建立个人职

业健康监护档案和个人剂量档案。

综上所述，无锡市人民医院新建医用直线加速器及核医学科项目符合实践正当化原则，已（拟）采取的辐射安全和防护措施适当，工作人员及公众受到的年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。在落实本报告提出的各项污染防治和管理措施后，医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其设施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，项目可行。

#### 建议和承诺

1)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。

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

3)应定期或不定期针对射线装置的各种管理、操作、保安措施的落实情况进行检查，确保仪器的正常。

2、审批部门审批决定

# 江苏省生态环境厅

苏环辐(表)审〔2019〕32号

## 关于无锡市人民医院新建医用直线加速器及 核医学科项目环境影响报告表的批复

无锡市人民医院：

你单位报送的《新建医用直线加速器及核医学科项目环境影响报告表》（以下简称《报告表》）收悉。经研究，批复如下：

一、根据《报告表》评价结论，项目建设具备环境可行性。从环境保护角度考虑，我厅同意你单位该项目建设。项目地点位于无锡市清扬路299号，项目内容：拟在院内门急诊配套楼新增2台医用直线加速器（II类射线装置）、1台PET/CT（III类射线装置）、2台SPECT/CT（III类射线装置），使用放射性核素 $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 开展放射性诊断和治疗。各设备详细技术参数见《报告表》。

二、在工程设计、建设和运行中应认真落实《报告表》所提出的辐射污染防治和安全管理措施，并做好以下工作：

（一）严格执行辐射防护和安全设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用的环保“三同时”制度，确保辐射工作人员和公众的年受照有效剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相应的剂量限值要求。

（二）非密封放射性同位素转让须及时到环保部门办理审批与备案手续；非密封放射性物质工作场所功能区域布置应符合国家的有关规定和要求；做好放射性废物的贮存、处置等工作。

（三）定期检查辐射工作场所门机联锁、急停按钮、工作指示灯、电离辐射警告标志等安全设施，确保正常工作。

（四）建立健全辐射安全与防护规章制度并严格执行。建立辐射安全防护与环保管理机构或指定一名本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全管理工作。

（五）对辐射工作人员进行岗位技能和辐射安全与防护知识的培训，并经考核合格后方可上岗，建立个人剂量档案和职业健康档案，配备必要的个人防护用品。辐射工作人员工作时须随身携带辐射报警仪和个人剂量计。

（六）配备环境辐射剂量巡测仪，定期对项目周围辐射水平进行检测，及时解决发现的问题。每年请有资质的单位对项目周围辐射水平监测 1~2 次。

（七）项目建成后建设单位应及时向我厅申办环保相关手续，依法取得辐射安全许可证并经验收合格后，方可投入正式运行。

三、本批复只适用于以上核技术应用项目，其它如涉及非放射性污染项目须按有关规定另行报批。本批复自下达之日起五年内建设有效。项目的性质、规模、地点、拟采取的环保措施发生重大变动的，应重新报批项目的环境影响评价文件。



抄送：无锡市环保局。

### 表 5 验收监测质量保证及质量控制

验收监测质量保证及质量控制：

**1、监测单位资质**

验收监测单位获得 CMA 资质认证（221020340350），见附件 9。

**2、监测仪器**

本次监测使用仪器符合南京瑞森辐射技术有限公司质量管理体系要求，监测所用设备通过检定并在有效期内，满足监测要求。

监测仪器见表 5-1。

表5-1检测使用仪器

序号	仪器名称	规格型号	生产厂家
一、γ剂量率仪			
1	γ剂量率仪	RS-100	南京瑞森辐射技术有限公司
2	γ剂量率仪	RS-100	南京瑞森辐射技术有限公司
3	γ剂量率仪	RS-100	南京瑞森辐射技术有限公司
二、α剂量率仪			
4	α剂量率仪	RS-200	南京瑞森辐射技术有限公司
5	α剂量率仪	RS-200	南京瑞森辐射技术有限公司
6	α剂量率仪	RS-200	南京瑞森辐射技术有限公司
三、β剂量率仪			
7	β剂量率仪	RS-300	南京瑞森辐射技术有限公司
8	β剂量率仪	RS-300	南京瑞森辐射技术有限公司

■			
■			
■			
■			

### 3、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检验检测机构资质认证（证书编号：221020340350，检测资质见附件9），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。一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为1m。仪器读数稳定后，读取数据。

### 4、监测报告

监测报告的编制、审核、出具严格执行南京瑞森辐射技术有限公司质量管理体系要求，出具报告前进行三级审核。

表 6 验收监测内容

验收监测内容:

1、监测期间项目工况

2023年7月4日、2023年11月3日、2024年3月29日、2024年4月25日，南京瑞森辐射技术有限公司对无锡市人民医院新建医用直线加速器及核医学科项目（分期）进行了现场核查和验收监测，监测期间工作场所的运行工况见表6-1。

表6-1 验收监测工况

[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]		

注：①监测工况为加速器额定最大工况、最大剂量率模式。

2、验收监测因子

根据项目污染源特征，本次竣工验收监测因子为核医学科、医用直线加速器工作场所X-γ辐射剂量率、β表面污染水平及手套箱、加速器机房内风速。

3、监测点位

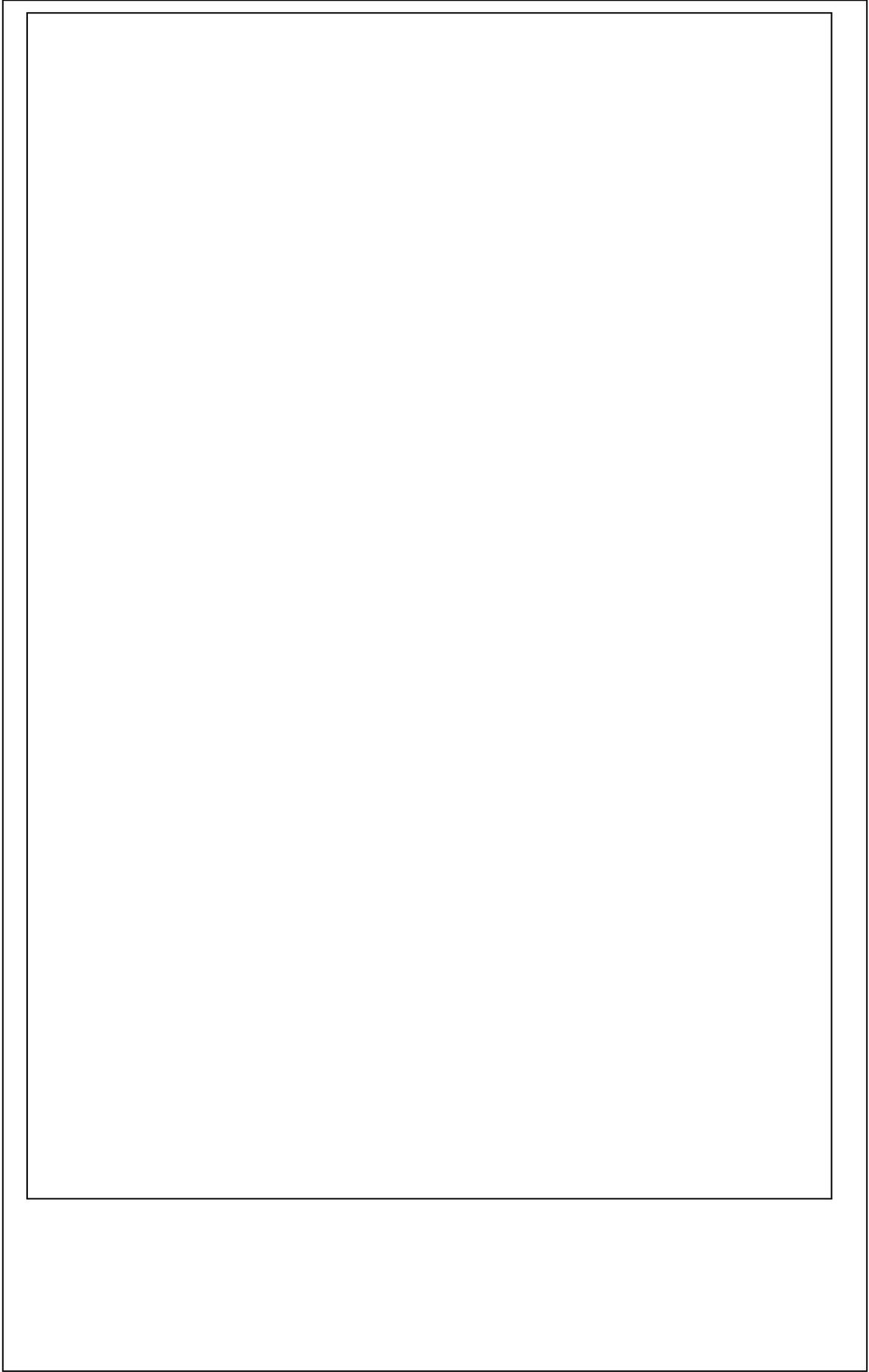
对医用直线加速器、核医学工作场所周围环境布设监测点，特别关注控制

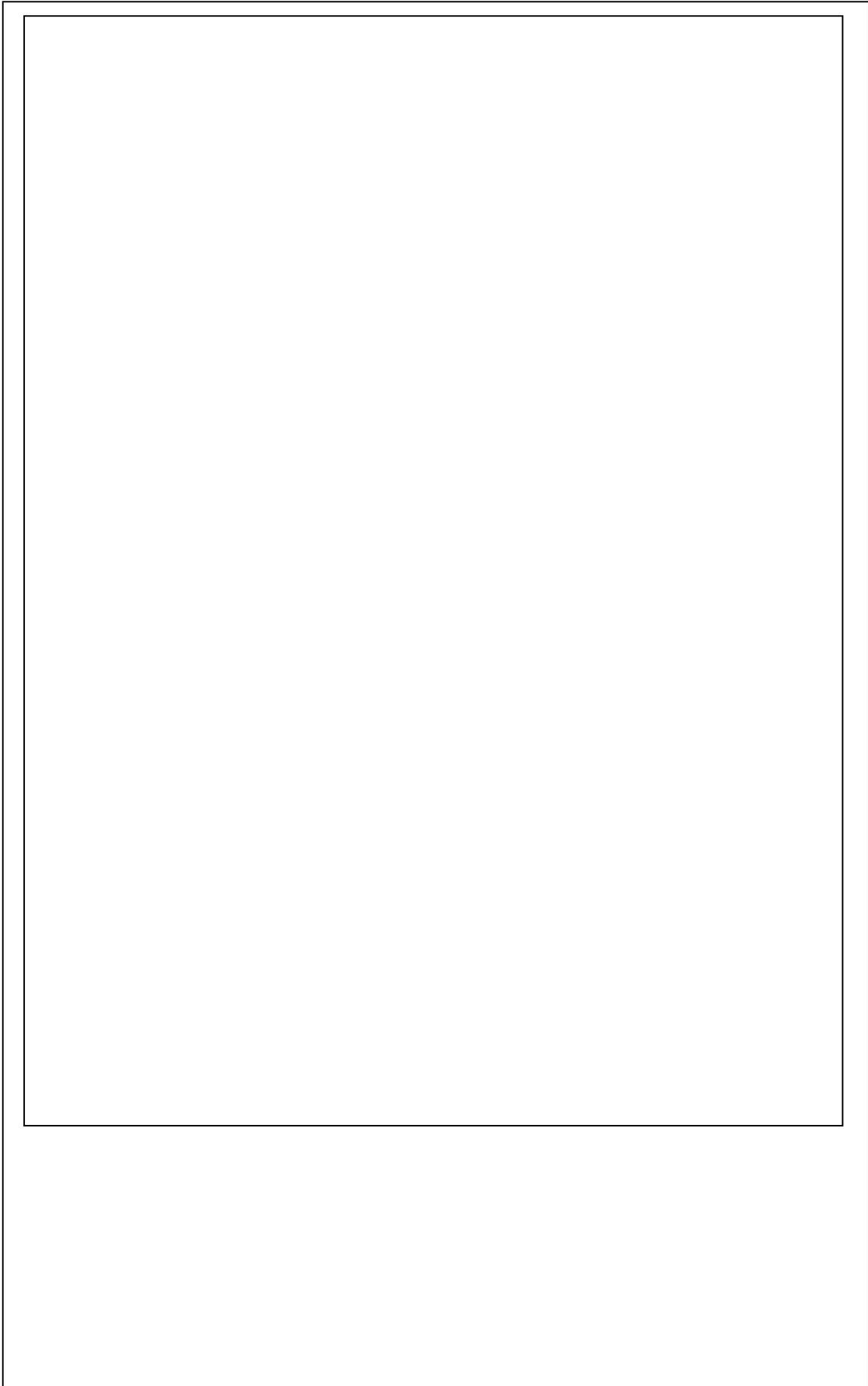
区、监督区边界，监测医用直线加速器、SPECT/CT、PET/CT运行状态、非运行状态下的X- $\gamma$ 辐射剂量率、加速器机房内通风风速和工作场所 $\beta$ 放射性表面污染水平及手套箱风速。本项目机房现场监测点位示意图见图6-1~图6-5。

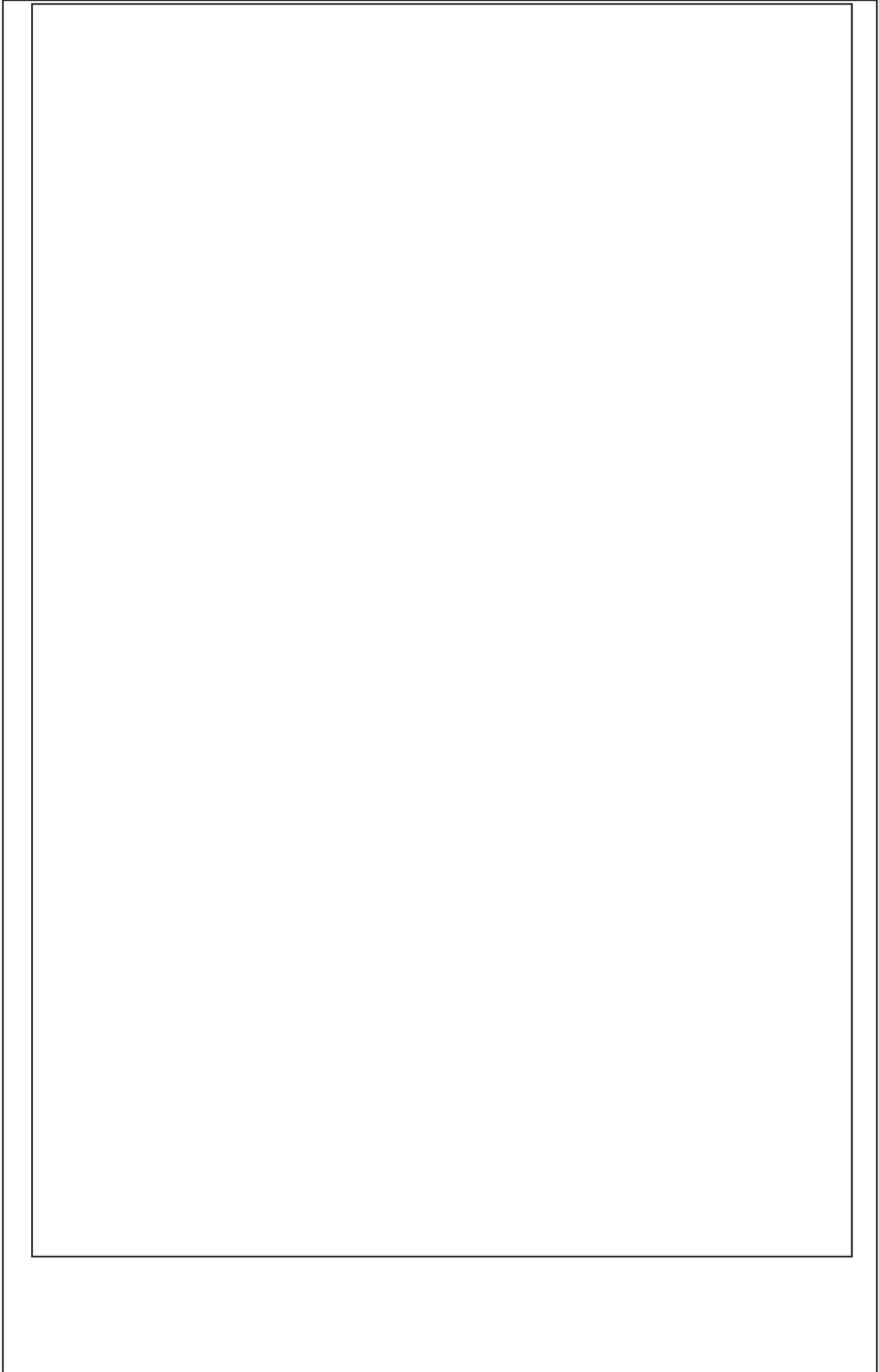
#### 4、监测分析方法

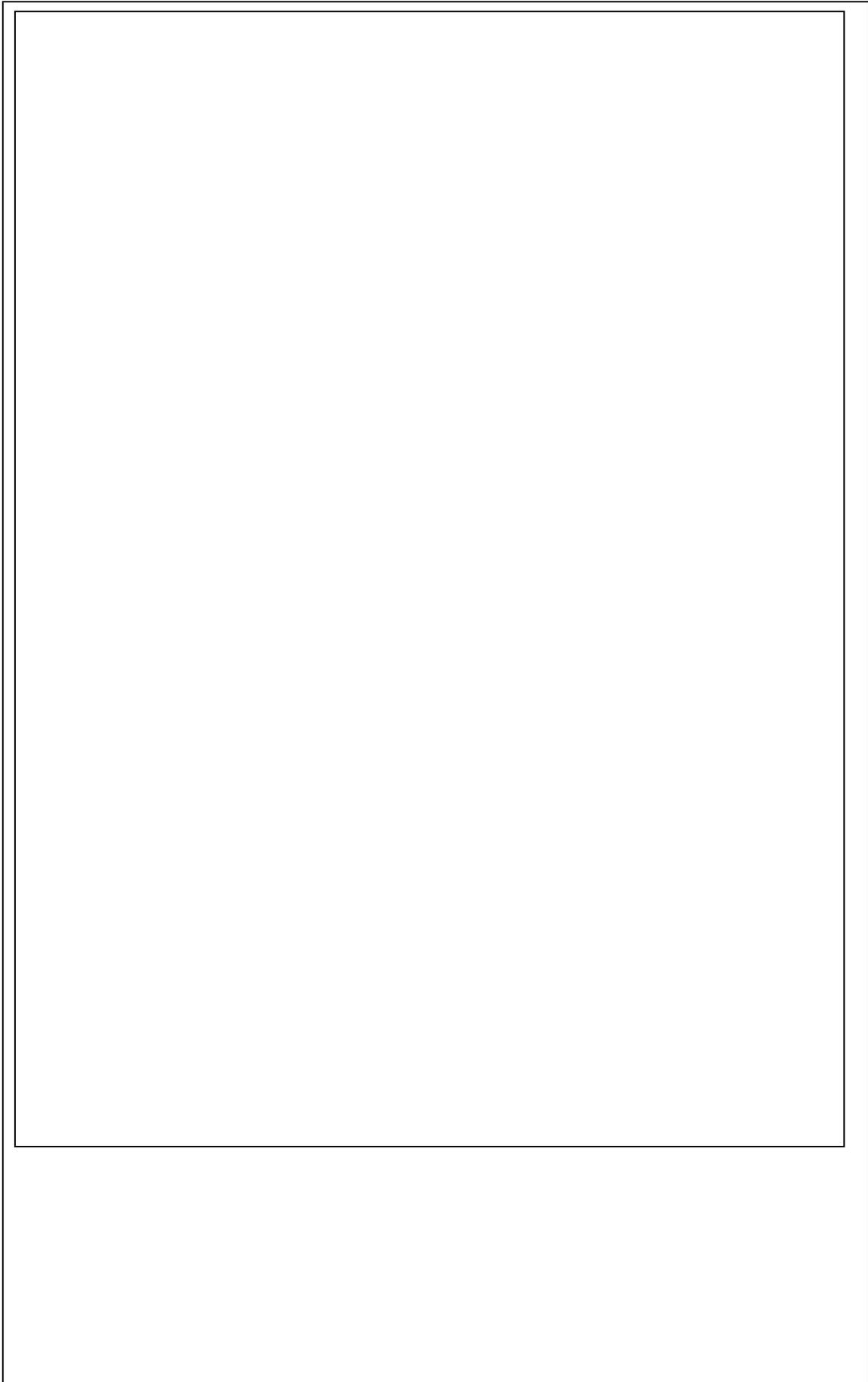
本次监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《表面污染测定 第1部分 $\beta$ 发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ）和 $\alpha$ 发射体》（GB/T 14056.1-2008）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）和《公共场所集中空调通风系统卫生规范》（WS 394-2012）的要求进行监测、分析。

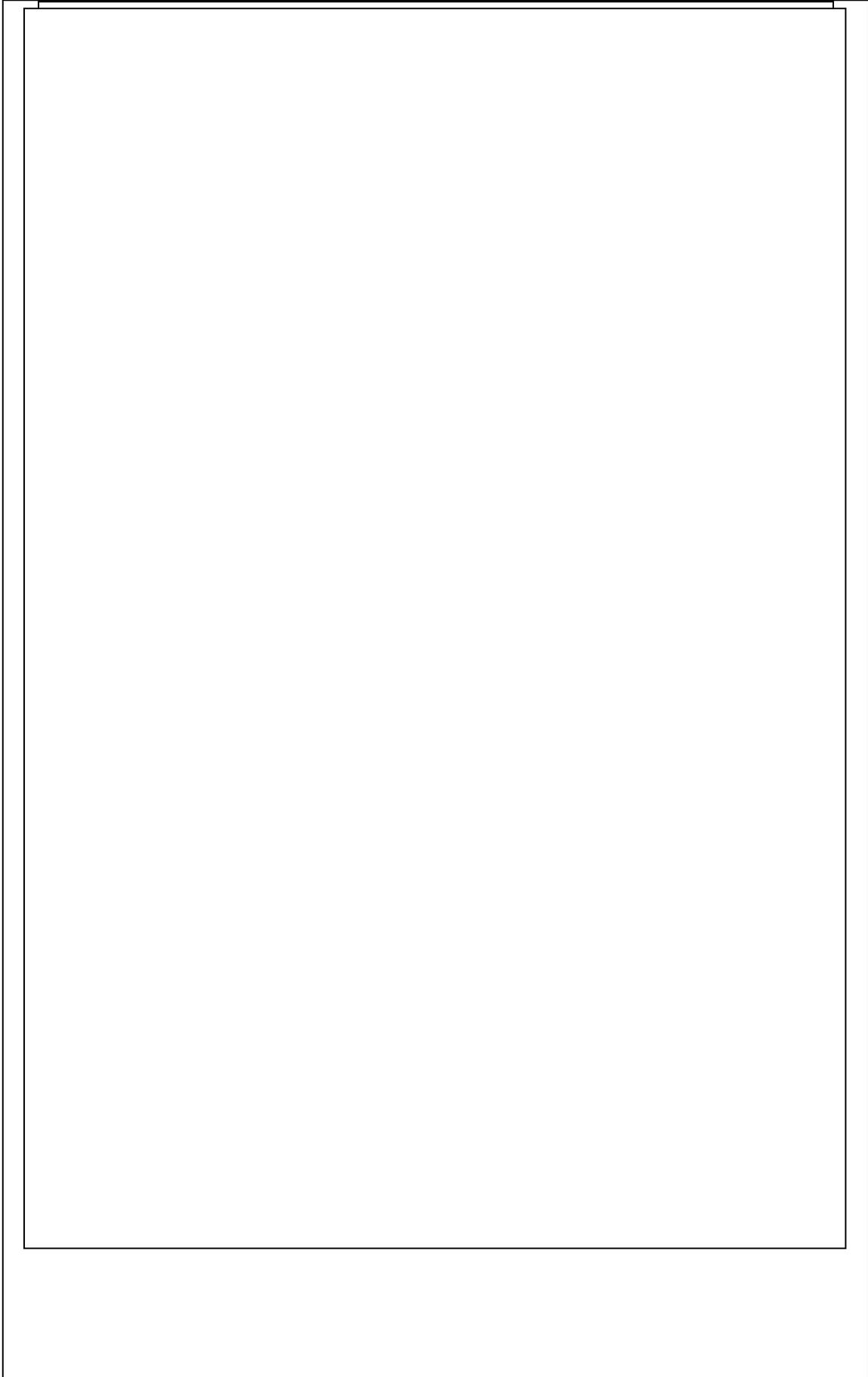












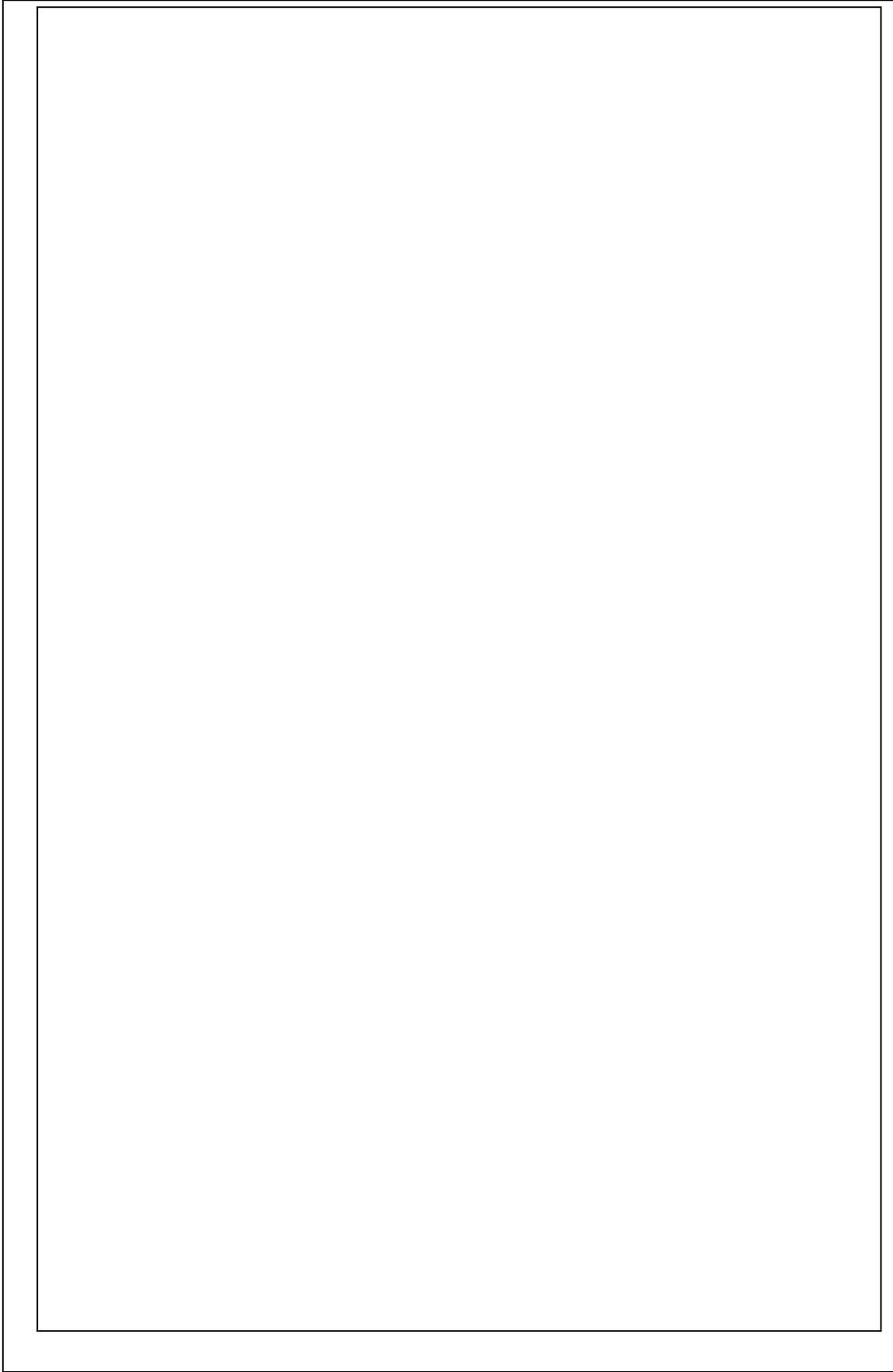


表 7 验收监测期间生产工况

<p><b>验收监测期间生产工况记录：</b></p> <p>被检单位：无锡市人民医院</p> <p>监测实施单位：南京瑞森辐射技术有限公司</p> <p>监测日期：2023 年 7 月 4 日；天气：晴；温度：33℃；湿度：（58~62）%RH</p> <p>2023 年 11 月 3 日；天气：多云；温度：17℃；湿度：72 % RH</p> <p>2024 年 3 月 29 日；天气：多云；温度：16℃；湿度：70 % RH</p> <p>2024 年 4 月 25 日；天气：阴；温度：21℃；湿度：31 % RH</p> <p>监测因子：X-γ 辐射剂量率、β 表面污染水平、加速器机房排风口风速、手套箱风速</p> <p>验收监测期间生产工况见表 6-1。</p>																											
<p><b>验收监测结果：</b></p> <p>1、辐射防护监测结果</p> <p>本次监测结果详见附件 8。本项目工作场所周围环境 X-γ 辐射剂量率，β 表面污染水平和加速器机房排风口、手套箱风速监测结果见表 7-1~表 7-14，监测点位见图 6-1~图 6-5。</p> <p style="text-align: center;">表7-1 医用直线加速器机房周围X-γ辐射剂量率检测结果</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 35%;"></th> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 40%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> <td style="text-align: center;">■</td> </tr> </tbody> </table>								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■																								
■	■	■	■																								
■	■	■	■																								
■	■	■	■																								
■	■	■	■																								

■	████████████████████	■	████████████████████
		■	
■	████████████████████	■	████████████████████
		■	
■	████████	████████	████████████████████ ████████████████████ ████████████████████ ████████████████████ ████████████████████ ████████████████████ ████████████████████ ████████████████████ ████████████████████ ████████████████████ ████████████████████ ████████████████████ ████████████████████ ████████████████████
■	████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████	■	
■	████████████████	■	
■	████████████████	■	
■	████████████████	■	
■	████████████████	■	
■	████████████████	■	
■	████████████████	■	
■	████████████████	■	
■	████████████████	■	
■	████████████████	■	
■	████████████████	■	

注：1.测量结果已扣除本底值，本底值为122nSv/h，最低探测水平（MDL）为6nSv/h；  
2.机房东侧、南侧和下方人员无法到达。

由表7-1可知，本次检测，当此医用直线加速器（型号：TrueBeam）正常工作（检测工况为：10MV（FFF）X射线，照射野40cm×40cm，输出剂量率：2400cGy/min）时，机房外的周围剂量当量率为（<MDL~59）nSv/h，符合

《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）标准要求。

表 7-2 医用直线加速器机房通风检测结果

[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

注：排风口面积为 0.4m×0.55m。

经现场核查，加速器机房内2个排风口尺寸均为40cm×55cm，医用直线加速器机房2个排风口排风速率分别为1.07m/s（东北角）和0.79m/s（东南角），治疗室容积（包含迷道）为248.22m<sup>3</sup>，机房内每小时交换次数为（1.07+0.79）m/s×40cm×55cm×0.36 /248.22m<sup>3</sup>≈5.9次，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中机房内换气次数不少于 4 次/h的要求。

表7-3 核医学工作场所（<sup>99m</sup>Tc, SPECT/CT 1室）周围剂量当量率检测结果

[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	

■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	T
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	T
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	

■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████
■	████████████████████	■	
■	██████████	■	

注：检测结果未扣除本底值。

本次检测，39#监测点位剂量当量率为 2.84μSv/h，满足《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）相关标准要求，该核医学工作场所其他监测点位的周围剂量当量率符合《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）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

表7-4 核医学工作场所（<sup>99m</sup>Tc, SPECT/CT 1室）放射性表面污染水平检测结果

■	██████████	██████████	■
■	████████████████████	██████████	■
■	████████████████████	██████████	■
■	████████████████████	██████████	■
■	████████████████████	██████████	■
■	██████████	██████████	■
■	██████████	██████████	■

■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■

注：表面 β 放射性污染水平探测下限（LLD）为 0.09Bq/cm<sup>2</sup>。

本次检测，在开展工作结束并清洁后，该核医学工作场所 β 放射性表面污染水平小于仪器 β 放射性污染水平探测下限值，符合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性表面污染控制水平。

表 7-5 核医学工作场所（<sup>99m</sup>Tc，SPECT/CT 1 室）手套箱风速检测结果

■	■
■	■
	■

本次检测，该核医学工作场所手套箱操作口风速分别为 1.14m/s 和 1.12m/s，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）的标准要求。

表 7-6 核医学工作场所（<sup>99m</sup>Tc，SPECT/CT 2 室）周围剂量当量率检测结果

■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	



■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████ ██████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████ ██████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	

■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████ ██████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████ ██████████ ██████████
■	████████████████████	■	

注：检测结果未扣除本底值。

本次检测，42#监测点位剂量当量率为 2.76μSv/h，满足《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）的标准要求，该核医学工作场所其他监测点位的 X-γ 周围剂量当量率符合《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）的标准要求。

表 7-7 核医学工作场所（<sup>99m</sup>Tc, SPECT/CT 2 室）放射性表面污染水平检测结果

■	██████████	██████████	■
■	████████████████████	██████████	
■	████████████████████	██████████	
■	████████████████████	██████████	
■	████████████████████	██████████	
■	████████████████████	██████████	
■	████████████████████	██████████	
■	████████████████████	██████████	
■	████████████████████	██████████	
■	████████████████████	██████████	
■	████████████████████	██████████	
■	████████████████████	██████████	

■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■

注：表面β放射性污染水平探测下限（LLD）为0.07Bq/cm<sup>2</sup>。

本次检测，在开展工作结束并清洁后，该核医学工作场所β放射性表面污染水平小于仪器β放射性污染水平探测下限值（0.07Bq/cm<sup>2</sup>），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）中放射性表面污染控制水平。

表 7-8 核医学工作场所（<sup>99m</sup>Tc, SPECT/CT 2 室）手套箱风速检测结果

■	■	■
■	■	■
	■	■

本次检测，该核医学工作场所手套箱操作口风速分别为 1.09m/s 和 1.10m/s，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）的标准要求。

表 7-9 核医学工作场所（<sup>18</sup>F）周围剂量当量率检测结果

■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	
■	■	■	
■	■	■	



■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████
■	████████████████████	■	

■	████████████████████	■	████████████████████
■	████████████████████	■	████████████████████
■	████████████████████	■	████████████████████
■	████████████████████	■	████████████████████
■	████████████████████	■	████████████████████
■	████████████████████	■	████████████████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	████████████████████
■	████████████████████	■	████████████████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	█

注：检测结果未扣除本底值。

本次检测，26#、27#、41#、42#、45#、64#~68#监测点位剂量当量率为2.57μSv/h~4.1μSv/h，满足《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函

[2023]20号) 的标准要求, 26#~29#、33#监测点位(5cm) 剂量当量率为2.85~6.8 $\mu$ Sv/h, 由于辐射剂量率与距离的平方成反比, 26#~29#、33#监测点位(30cm) 处的辐射剂量率<0.19 $\mu$ Sv/h, 该核医学工作场所其他监测点位的 X- $\gamma$  周围剂量当量率符合《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) 的标准要求。

表 7-10 核医学工作场所 ( $^{18}$ F) 放射性表面污染水平检测结果

监测点	检测位置	检测结果	判定
1			合格
2			合格
3			合格
4			合格
5			合格
6			合格
7			合格
8			合格
9			合格
10			合格
11			合格
12			合格
13			合格
14			合格
15			合格
16			合格
17			合格
18			合格
19			合格
20			合格
21			合格
22			合格
23			合格
24			合格
25			合格
26			合格
27			合格
28			合格
29			合格
30			合格
31			合格
32			合格
33			合格
34			合格
35			合格
36			合格
37			合格
38			合格
39			合格
40			合格
41			合格
42			合格
43			合格
44			合格
45			合格
46			合格
47			合格
48			合格
49			合格
50			合格
51			合格
52			合格
53			合格
54			合格
55			合格
56			合格
57			合格
58			合格
59			合格
60			合格
61			合格
62			合格
63			合格
64			合格
65			合格
66			合格
67			合格
68			合格
69			合格
70			合格
71			合格
72			合格
73			合格
74			合格
75			合格
76			合格
77			合格
78			合格
79			合格
80			合格
81			合格
82			合格
83			合格
84			合格
85			合格
86			合格
87			合格
88			合格
89			合格
90			合格
91			合格
92			合格
93			合格
94			合格
95			合格
96			合格
97			合格
98			合格
99			合格
100			合格

■	██████████	██████	█
■	██████████	██████	█
■	██████████	██████	█
■	██████████	██████	█
■	██████████	██████	█
■	██████████	██████	█

注：表面β放射性污染水平探测下限（LLD）为0.08Bq/cm<sup>2</sup>。

本次检测，在开展工作结束并清洁后，该核医学工作场所β放射性表面污染水平小于仪器β放射性污染水平探测下限值（0.08Bq/cm<sup>2</sup>），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）中放射性表面污染控制水平。

表 7-11 核医学工作场所（<sup>18</sup>F）手套箱风速检测结果

██████	██████████	
██████	██████████	█
	██████████	█

本次检测，该核医学工作场所手套箱操作口风速分别为 0.81m/s 和 0.85m/s，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）的标准要求。

表 7-12 核医学工作场所（<sup>131</sup>I）X-γ 周围剂量当量率检测结果

■	██████	██████	█
█	██████████	██████	██████████
█	██████████	██████	
█	██████████	██████	
█	██████████	██████	
█	██████████	██████	
█	██████████	██████	

■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	<div style="text-align: center;"> </div>
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	<div style="text-align: center;"> </div>
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	<div style="text-align: center;"> </div>
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	

■	████████████████████	■	██████████ ██████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████ ██████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████ ██████████
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	
■	████████████████████	■	██████████ ██████████
■	████████████████████	■	





■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■

注：表面β放射性污染水平探测下限（LLD）为0.08Bq/cm<sup>2</sup>。

本次检测，在开展工作结束并清洁后，该核医学工作场所β放射性表面污染水平小于仪器β放射性污染水平探测下限值（0.08Bq/cm<sup>2</sup>），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）中放射性表面污染控制水平。

表 7-14 核医学工作场所（<sup>131</sup>I）手套箱风速检测结果

■	■	
■	■	■
	■	■

本次检测，该核医学工作场所手套箱操作口风速分别为 0.82m/s 和 0.85m/s，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）的标准要求。

## 2、辐射工作人员和公众年有效剂量分析

根据本项目现场监测结果，对项目运行期间辐射工作人员和公众的年有效剂量进行计算分析。

### （1）辐射工作人员

目前无锡市人民医院为医用直线加速器项目配备5名辐射工作人员，为核医



■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■

注：1、剂量约束值由 5mSv/a的年剂量约束值根据个人累积剂量监测天数（2个季度）折算求得；

2、最低探测水平（MDL）：0.05mSv；

3、当工作人员的外照射个人监测结果小于MDL值时，职业照射的统计以MDL值的一半来记录。

根据表7-15，辐射工作人员2023年（半年）的个人累计剂量监测结果最大为1.57mSv，其结果未见异常。

**(2) 公众**

本项目评价的公众为本项目辐射工作场所周围50m范围内的非辐射工作人员。根据本项目实际监测结果，结合周围公众居留情况，对公众人员年有效剂量进行计算分析，结果见表7-16。

表 7-16 本项目周围公众人员年有效剂量分析

■		■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■
	■		■	■	■	■	■
	■		■	■	■	■	■
	■		■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■

	T							
T								
T								
T								

注：1、工作人员的年有效剂量由公式  $E_{\text{eff}} = D \cdot t \cdot T \cdot U$  进行估算，式中： $E_{\text{eff}}$ 为年有效剂量，D为关注点处剂量率，t为年工作时间，T为居留因子，U为使用因子（t、U取值均参照环评文件）。

由表 7-16 可知，本项目辐射工作人员年有效剂量最大为 1.918mSv，周围公众年有效剂量最大不超过 0.065mSv，均低于本项目剂量约束值要求。

综上所述，本项目周围辐射工作人员和公众年最大有效剂量根据实际监测及个人剂量监测受照剂量预算结果计算为：截止验收时，根据医院提供的 2023 年（半年）的个人剂量监测报告，本项目辐射工作人员半年个人累计剂量监测结果最大为 1.57mSv；根据现场实际监测结果，本项目辐射工作人员年有效剂量最大为 1.918mSv，周围公众年有效剂量最大为 0.065mSv。本项目周围辐射工作人员和公众年最大有效剂量能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

（GB 18871-2002）限值的要求（职业人员 20mSv/a，公众 1mSv/a），并低于本项目剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众 0.1mSv/a），与环评文件一致。

表 8 验收监测结论

**验收监测结论:**

无锡市人民医院新建医用直线加速器及核医学科项目（分期）中院内K区负1楼PET/CT、SPECT/CT诊断场所、K区负2楼1台瓦里安TrueBeam型医用直线加速器、甲癌治疗场所已按照环评及批复要求落实辐射防护和安全管理措施，经现场监测和核查表明：

1) 医院于K区（门急诊配套楼）负1楼新建核医学科，建设成乙级非密封放射性物质工作场所，配置1台PET/CT（型号：uMI Panorama 28C，最大管电压140kV，最大管电流833mA，属Ⅲ类射线装置）和2台SPECT/CT（型号：NM/CT 870 DR，最大管电压140kV，最大管电流440mA；型号：Precedence，最大管电压140kV，最大管电流500mA，属Ⅲ类射线装置），使用放射性核素 $^{18}\text{F}$ （日最大操作量 $1.11\times 10^{10}\text{Bq}$ ）配合PET/CT开展核素显像诊断，使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （日最大操作量 $4.44\times 10^{10}$ ）配合SPECT开展核素显像诊断，PET/CT质量控制校正时本设备采用无源校准，无需配备校准源；于K区负2楼1号直线加速器机房内新增 1台瓦里安TrueBeam型医用直线加速器（X射线能量：6、10MV，电子线：6、9、12、16、20MeV），用于肿瘤放射治疗；于K区负2楼核医学科设置5间甲癌治疗病房（日最大操作量 $3.70\times 10^{10}\text{Bq}$ ），属于乙级非密封放射性物质工作场所。

另有1台PET/MRI、1台医用直线加速器暂未购置；甲功测定、甲亢治疗场所未建设完成，另行组织验收。

该项目已于2019年11月18日取得了（原）江苏省环境保护厅关于本项目的环评批复文件（苏环辐（表）审[2019]32号）。

本次验收内容与环评及其批复要求一致，无变动情况。

2) 本项目屏蔽和防护措施已按照环评及批复要求落实，在正常工作条件下运行时，工作场所周围所有监测点位的X- $\gamma$ 辐射剂量率、 $\beta$ 放射性表面污染水平、手套箱风速和加速器机房通风换气次数等均能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的相关要求。

3) 本项目辐射工作人员和公众年有效剂量均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中人员剂量限值要求及本项目剂量约束值要求；

4) 本项目加速器机房入口处设置“当心电离辐射”警告标志、工作状态灯和门机联锁装置，机房内外设置有急停按钮及监控装置，控制室通过监视器与对讲机与治疗室联络，放疗机房设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门设有防挤压功能，放疗机房治疗室迷道的内入口处设置固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其显示单元设置在控制室内。

本项目医用直线加速器机房辐射安全措施符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、环评报告及批复的要求。

本项目核医学科工作场所控制区和监督区划分明显，能有效避免受检者误入或非正常受照；本项目SPECT/CT机房、PET/CT机房防护门、核医学工作场所控制区出入口处等显著位置均设置电离辐射警告标志和中文警示说明；本项目SPECT/CT机房、PET/CT机房的防护大门设置有门灯联锁装置，防护大门闭合时工作状态指示灯亮；SPECT/CT机房、PET/CT机房控制室操作台上及机房内设备上均设有急停按钮；SPECT/CT机房、PET/CT机房与控制室内设置双向语音对讲装置，且SPECT/CT机房、PET/CT机房操作台处安装有观察窗，医院在核素显像区的分装注射室、注射后候诊室、留观室和控制区内患者走道等关键位置设置了监控摄像装置，监控显示终端设置在SPECT/CT、PET/CT控制室内，在甲癌治疗场所的给药室、甲癌病房和控制区内患者走道等关键位置设置了监控摄像装置，监控显示终端设置在护士站处，对受检者进行全程监控，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《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）及环评报告及批复的要求。

5) 放射性三废处置情况：核医学科设有手套箱及专用通风管道，通风管道延伸至建筑物顶部；核医学科设有放射性废物桶收集放射性废物，满足核医学放射性废物处置要求；核医学科建有衰变系统，放射性废水由独立下水管道统一汇流入衰变系统中，能够满足相应核素的衰变要求，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）

的标准要求。

6) 非放射性三废处置情况：本项目SPECT/CT机房、PET/CT机房、加速器机房内空气在X射线、 $\gamma$ 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；工作人员产生的生活垃圾，分类收集后交由城市环卫部门处理；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。

7) 医院为本项目配备了2台辐射巡测仪、10台个人剂量报警仪，3台表面沾污仪用于辐射监测和报警，满足环评及批复的要求。

8) 本项目辐射工作人员均已通过辐射防护安全与防护知识培训考核，并获得培训合格证书；本项目辐射工作人员已开展个人剂量监测和职业健康体检，并建立个人剂量档案和职业健康档案；医院设立了辐射安全领导小组，以文件形式明确了管理人员职责，并建立内部辐射安全管理规章制度，满足环评及批复的要求。

综上所述，无锡市人民医院新建医用直线加速器及核医学科项目（分期）建设情况在环评报告内容及批复范围内。辐射安全保护措施及环境保护设施满足辐射安全防护与环境保护的要求，监测结果符合国家标准，满足《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》规定要求，建议通过验收。

**建议：**

1) 医院另有1台PET/MRI、1台医用直线加速器与院内K区1楼的甲功测定、甲亢治疗场所需另行组织验收。

2) 根据手套箱内放射性核素的操作情况，优化手套箱的屏蔽防护措施及辐射安全管理措施。

3) 根据本项目环评及批复要求，完善部分场所的屏蔽防护措施及辐射安全管理措施。

4) 加强辐射安全管理，保证各项辐射安全设施安全稳定运行；按照监测计划定期开展辐射环境监测，规范监测报告等档案管理。

5) 积极配合生态环境部门的日常监督管理，按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，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。

