

核技术利用建设项目

江阴南闸医院有限公司新建陀螺刀治
疗项目环境影响报告表

江阴南闸医院有限公司

2024年5月

生态环境部监制

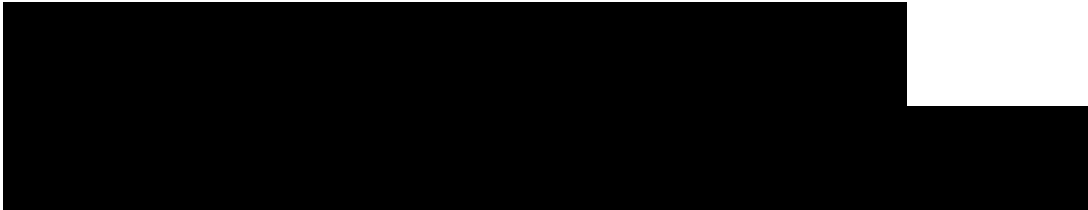
核技术利用建设项目

江阴南闸医院有限公司新建陀螺刀治疗项目环境影响报告表

建设单位名称：江阴南闸医院有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江阴市南闸街道锡澄路 639 号



目 录

表 1	项目基本情况	- 1 -
表 2	放射源	- 4 -
表 3	非密封放射性物质	- 4 -
表 4	射线装置	- 5 -
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	- 6 -
表 6	评价依据	- 7 -
表 7	保护目标与评价标准	- 10 -
表 8	环境质量和辐射现状	- 15 -
表 9	项目工程分析与源项	- 19 -
表 10	辐射安全与防护	- 29 -
表 11	环境影响分析	- 35 -
表 12	辐射安全管理	- 47 -
表 13	结论与建议	- 51 -
表 14	审批	- 57 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称		江阴南闸医院有限公司新建陀螺刀治疗项目				
建设单位		江阴南闸医院有限公司 (统一社会信用代码: 91320281MA254NP921)				
法人代表		■	■	■	■	■
注册地址		江阴市南闸街道锡澄路 639 号				
项目建设地点		江阴市南闸街道锡澄路 639 号江阴南闸医院有限公司 中药制剂大楼北侧				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		■	■	■	■	■
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²)	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
	其他	/				
	<p>项目概述:</p> <p>一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来</p> <p>江阴南闸医院有限公司 (以下简称医院) 位于江阴市南闸街道锡澄路 639 号, 占地面积 50 余亩, 是一所集医疗、急救、教学、康复、防保、健教、计生指导为一体的二级甲等综合医院, 上海中山医院江阴协作医院。</p> <p>为了更好地为患者服务, 提高医院的医疗质量, 充分利用现有医疗设施, 医院拟</p>					

在中药制剂大楼北侧新建 1 座陀螺刀治疗室并配备 1 台 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统（以下简称“陀螺刀”，内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，属 I 类聚集源，活度为 $3.145 \times 10^{14} \text{Bq}$ ），用于开展肿瘤的放射治疗。配合本项目陀螺刀治疗使用的 CT 模拟定位机（型号 Optima CT680 Expert，最大管电压 140kV，最大管电流 560mA，属 III 类射线装置）位于院内医技楼 1 楼，为医院原有设备。

医院拟为本次新建陀螺刀治疗项目配备 3 名辐射工作人员，其中医师、技师、物理师各 1 人。本项目陀螺刀每次治疗有效出束时间约 6min，每天治疗人数不超过 20 人，周工作时间不超过 10h，年开展工作 50 周（250 天），年出束运行时间约 500h。

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》等法律法规的规定，江阴南闸医院有限公司新建陀螺刀治疗项目需进行环境影响评价。受江阴南闸医院有限公司的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位新建陀螺刀治疗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》（生态环境部令 第 16 号，2021 年版），本项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“医疗使用 I 类放射源的”项目，确定为编制环境影响报告表。南京瑞森辐射技术有限公司通过资料调研、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。该医院新建陀螺刀治疗项目情况见下表：

表 1-1 江阴南闸医院有限公司新建陀螺刀治疗项目情况一览表

序号	放射源名称	数量	活度 (Bq)	放射源类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	备注
1	^{60}Co	22	3.145×10^{14}	I 类（聚集源）	陀螺刀治疗室	使用	本次环评	/

二、项目选址情况

江阴南闸医院有限公司位于江阴市南闸街道锡澄路 639 号，医院东侧为紫馨路，南侧为紫馨苑，西侧为锡澄路，北侧为空地（停车场）和江阴市南闸街道社区卫生服务中心。本项目地理位置示意图见附图 1，医院平面布置示意图见附图 2。

本次新建陀螺刀治疗项目位于院内中药制剂大楼北侧。陀螺刀治疗室东侧为煎药房，西侧为院内道路，北侧为空地（停车场），南侧为中药制剂大楼拟建候诊厅、卫生间、科室主任（医生）办公室等。陀螺刀治疗室建筑结构为地上一层，整栋建筑由陀螺刀机房和控制室组成，陀螺刀机房位于陀螺刀治疗室内部西侧，陀螺刀机房东侧

与煎药房西墙之间的房间作为控制室，陀螺刀治疗室上方无建筑，下方为土层。陀螺刀治疗室平面布置示意图见附图 3。

本项目主要考虑陀螺刀工作时可能对周围环境产生的辐射影响。项目周围 50m 评价范围除东侧至紫馨路（约 30m~50m），北侧至空地（临时停车场）（约 0m~50m），其余方向均位于医院边界内，项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及紫馨路少部分行人等。

三、原有核技术利用项目许可情况

江阴南闸医院有限公司目前已取得辐射安全许可证，证书编号为苏环辐证（B0332），种类和范围为“使用 III 类射线装置”，有效期至：2028 年 12 月 3 日。医院现有核技术利用项目均已履行环保手续，原有核技术利用项目情况见附件 4，医院辐射安全许可证正副本见附件 5。

四、实践正当性分析

本项目的运行，可为病人提供多种医疗诊断和治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益和经济效益，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。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）和《江苏省关于加强生态红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880 号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于江阴市中心城区重点管控单元（编码：ZH32028123900）内，不在江阴市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。本项目为核技术利用项目，满足重点管控单元的管控要求（详见附件 7，江苏省生态环境分区管控综合查询报告书）。

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
1	⁶⁰ Co	3.145×10 ¹⁴	I类 (聚集源)	使用	放射治疗	陀螺刀治疗室	随机器存放于陀螺刀 设备内	使用年限约 6~8 年, 半衰期为 5.27 年
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素 名称	理化性质	活动 种类	实际日最大 操作量 (Bq)	日等效最大 操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (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
退役废源	固体	^{60}Co	使用约 6~8 年后退役， 退役时活度约为 $1.43 \times 10^{14} \text{Bq}$ （6 年后） $\sim 1.10 \times 10^{14} \text{Bq}$ （8 年后）	/	/	/	暂存在陀螺刀 设备内	退役废源送生产厂家 回收处理。
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，臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为 氧气，对环境影响较 小。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

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

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(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；</p> <p>(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48号，2018年12月29日发布施行；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修订版），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行；</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) 《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；</p> <p>(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；</p> <p>(9) 《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；</p> <p>(10) 《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环境保护总局公告2005年第62号，2005年12月23日印发；</p> <p>(11) 《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；</p> <p>(12) 《放射性物品道路运输管理规定》（2016年修正本），交通运输部令2016年第71号公布，2016年9月2日起施行；</p> <p>(13) 《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；</p>
------------------	--

	<p>(14) 《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，2018年5月1日起实施；</p> <p>(15) 《关于发布〈建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法〉配套文件的公书（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；</p> <p>(16) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》，中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第7号，2024年2月1日起施行；</p> <p>(17) 《江苏省关于加强生态红线监督管理的通知》，苏自然资函〔2023〕880号，2023年10月10日发布；</p> <p>(18) 《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；</p> <p>(19) 《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，自然资发〔2022〕142号，2022年8月16日发布。</p>
<p>技术 标准</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) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(3) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>(4) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>(7) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</p> <p>(8) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(9) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）；</p> <p>(10) 《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>其他</p>	<p>附图：</p> <p>(1) 江阴南闸医院有限公司新建陀螺刀治疗项目地理位置示意图；</p>

- (2) 江阴南闸医院有限公司院区总平面及周围环境示意图；
- (3) 江阴南闸医院有限公司陀螺刀治疗室平面布置及周围环境示意图。

附件：

- (1) 项目委托书；
- (2) 放射源使用承诺书；
- (3) 退役源处置承诺书；
- (4) 原有核技术利用项目基本情况一览表；
- (5) 辐射安全许可证正副本；
- (6) 辐射环境本底监测报告及监测单位 **CMA** 资质；
- (7) 江苏省生态环境分区管控综合查询报告书。

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新建陀螺刀治疗项目机房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

本次新建陀螺刀治疗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。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）和《江苏省关于加强生态红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880 号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于江阴市中心城区重点管控单元（编码：ZH32028123900）内，不在江阴市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。本项目为核技术利用项目，满足重点管控单元的管控要求。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。

本项目主要考虑陀螺刀工作时可能对周围环境产生的辐射影响。项目周围 50m 评价范围除东侧至紫馨路（约 30m~50m），北侧至空地（临时停车场）（约 0m~50m），其余方向均位于医院边界内，项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及紫馨路少部分行人等。详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

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

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，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； ③眼晶体的年当量剂量，15mSv； ④皮肤的年当量剂量，50mSv。
剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%（即0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。	

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。

二、《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）

三、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）

四、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：

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

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

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

5.1 选址与布局

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

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

5.1.3 术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内。

5.2 分区原则

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

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

6.1 屏蔽要求

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

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

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

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

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

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

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。

7 操作的辐射安全与防护要求

7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。

7.2 治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。

7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人

剂量报警仪。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流运输通道区域前，应先进行工作场所辐射监测，在单位辐射安全管理机构批准后方可进入。进入质子/重离子加速器大厅和束流运输通道区域的参观人员须在辐射工作人员带领下进入。

7.4 应加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时应对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。

7.5 质子/重离子加速器调试、检修期间，应对进入质子/重离子加速器大厅和束流运输通道、治疗室区域的人员加强管理。在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区；对辐射水平热点区域(如回旋加速器、降能器、束流偏转及引出部位等)应考虑进行屏蔽；接入人身安全联锁系统的受照剂量监测设备宜采用直读式的仪器。

五、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）：

6.2 空间、通风要求

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

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

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平













































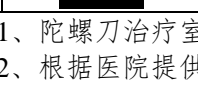






6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面30 cm处，或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同6.3.1。

6.3.2.2 除6.3.2.1的条件外，若存在天空反射和侧散射，并对治疗机房墙外关注点位置照射时，该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和，按6.3.1确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

六、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）、《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）确定本项目剂量约束值为：职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超0.1mSv。

根据《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）中相关规定及本项目陀螺刀周开机治疗时间，陀螺刀机房外30cm处的周围剂量当量率参考控制水平 H_c ，见下表：

注：1、陀螺刀治疗室参考点点位布设详见图 11-3；

2、根据医院提供资料，本项目陀螺刀每次治疗有效出束时间约 6min，每天治疗人数不超过 20 人，周工作时间不超过 10h，年开展工作 50 周（250 天），年出束运行时间约 500h。

3、根据 HJ1198-2021，人员居留因子>1/2 的场所： $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；人员居留因子 $\leq 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

七、参考资料：

(1) 《辐射防护导论》，方杰主编。

(2) 《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“测值范围”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

江阴南闸医院有限公司位于江阴市南闸街道锡澄路 639 号，医院东侧为紫馨路，南侧为紫馨苑，西侧为锡澄路，北侧为空地（停车场）和江阴市南闸街道社区卫生服务中心。

本次新建陀螺刀治疗项目位于院内中药制剂大楼北侧，陀螺刀治疗室东侧为煎药房，西侧为院内道路，北侧为空地（停车场），南侧为中药制剂大楼拟建候诊厅、卫生间、科室主任（医生）办公室等。陀螺刀治疗室建筑结构为地上一层，整栋建筑由陀螺刀机房和控制室组成，陀螺刀机房位于陀螺刀治疗室内部西侧，陀螺刀机房东侧与煎药房西墙之间的房间作为控制室，陀螺刀治疗室上方无建筑，下方为土层。

本项目主要考虑陀螺刀工作时可能对周围环境产生的辐射影响。项目周围 50m 评价范围除东侧至紫馨路（约 30m~50m），北侧至空地（临时停车场）（约 0m~50m），其余方向均位于医院边界内，项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及紫馨路少部分行人等。

本项目拟建址周边环境现状见图 8-1~图 8-5。

图 8-1 陀螺刀治疗室拟建址东侧（煎药房） 图 8-2 陀螺刀治疗室拟建址南侧（中药制剂大楼）

二、辐射环境现状调查

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于医院陀螺刀治疗室拟建址周围进行布点，测量本底辐射剂量率，监测结果见表 8-1，监测点位示意图见图 8-6。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司（检测资质见附件 6）

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：2023 年 10 月 30 日~2024 年 10 月 29 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，
检定证书编号：Y2023-0173796）

能量响应：20keV~7MeV

测量范围：1nSv/h~99.9 μ Sv/h

监测日期：2024 年 4 月 22 日

天气：多云

温度：20℃

湿度：56%RH

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）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检验检测机构资质认定（证书编号：221020340350），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。

监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核，监测仪器经过计量部门检定，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。

表 8-1 新建陀螺刀治疗项目拟建址周围 γ 辐射剂量率

监测点	监测结果	评价结果
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■

█	████████████████████	█
---	----------------------	---

注：1、测量数据已扣宇宙射线响应值（30 nGy/h）。环境 γ 辐射剂量率测量结果按照《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，取 1； 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。

图 8-6 新建陀螺刀治疗项目拟建址周围环境 γ 辐射监测点位示意图

由表 8-1 监测结果可知，江阴南闸医院有限公司新建陀螺刀治疗项目拟建址及其周围室内（2#~3#）环境 γ 辐射剂量率在 90nGy/h~104nGy/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#、4#~9#)环境天然 γ 辐射剂量率为 56nGy/h~72nGy/h，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。

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

为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，充分利用现有医疗设施，医院拟在院内中药制剂大楼北侧新建一座陀螺刀治疗室并配备 1 台 GMX-I 型陀螺刀（内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，属 I 类聚集源，活度为 $3.145 \times 10^{14}\text{Bq}$ ），用于开展肿瘤的放射治疗。

江阴南闸医院有限公司拟使用的 GMX-I 型陀螺刀，由上海伽玛星科技发展有限公司生产，陀螺刀是利用 ^{60}Co 在衰变过程中发射 γ 射线对生物肌体的破坏作用来实现对病变细胞的杀伤功能，进而达到损毁病灶的治疗目的的一种新型立体定向放射外科治疗设备。本项目 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统外观见图 9-1。



图 9-1 本项目 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统外观图

陀螺刀主要由以下部分组成：主机机械系统、立体定位系统、电气控制系统、治疗计划系统等。

（一）主机机械系统：由治疗头、源开关和准直系统、旋转盘、滚筒、源包壳、三维运动床组成，治疗头内安装聚焦式钴源滚筒及旋转盘组成一陀螺转向机构。主要机械系统结构件图 9-2（不含外壳）。

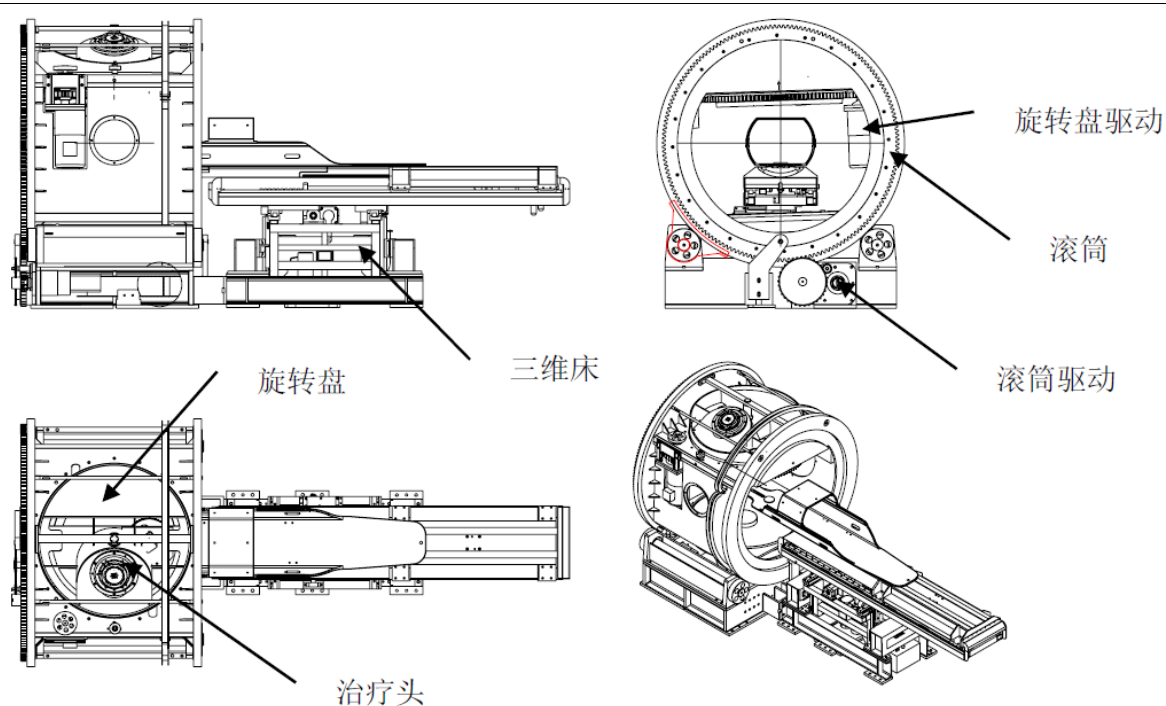


图 9-2 主机机械系统结构示意图

1、治疗头

治疗头由源包壳、壳体、 ^{238}U 屏蔽材料、屏蔽棒和源开关组成。治疗头外观和结构见图 9-3。

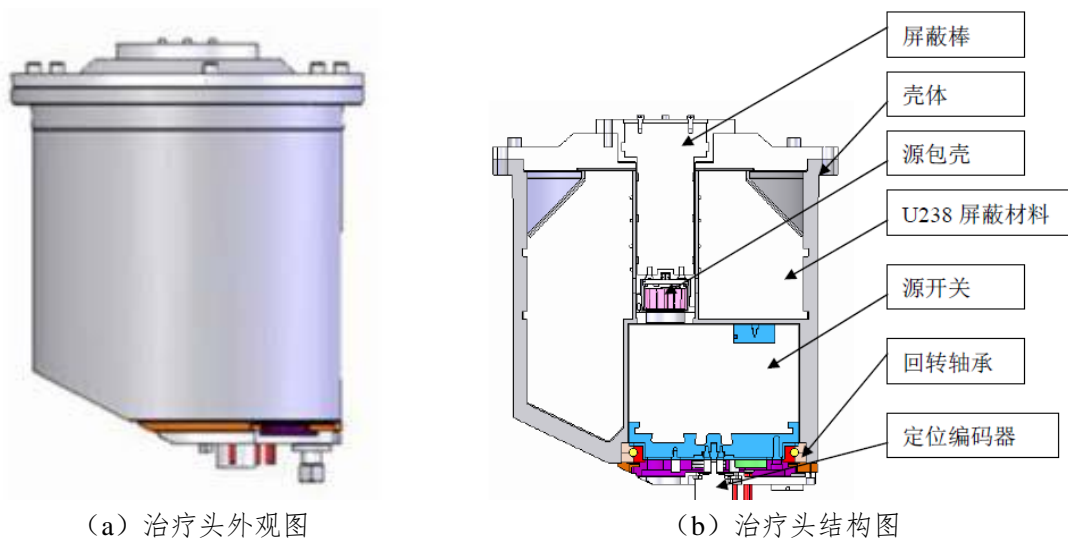


图 9-3 治疗头外观和结构图

壳体由屏蔽材料 ^{238}U 及钢制成， ^{238}U 合金外壳包容在里面，保证了屏蔽的强度及安全性能。壳体一端有偏离中心用于安装源开关的内腔，内腔下方有用于定位开关的轴承孔，位于壳体中心的是装源通道。源包壳固定于屏蔽棒上，装源时，先通过机械手将包壳与屏蔽棒固定，然后再将屏蔽棒与治疗头壳体固定。

2、源开关和准直器

源开关由屏蔽材料 ^{238}U 制成，是一圆柱体，整个被安装于治疗头体内腔。一端通过一个交叉滚子轴承和壳体固定，并通过轴承固定端安装的齿轮由伺服电机驱动，源开关和准直器结构图见图 9-4。

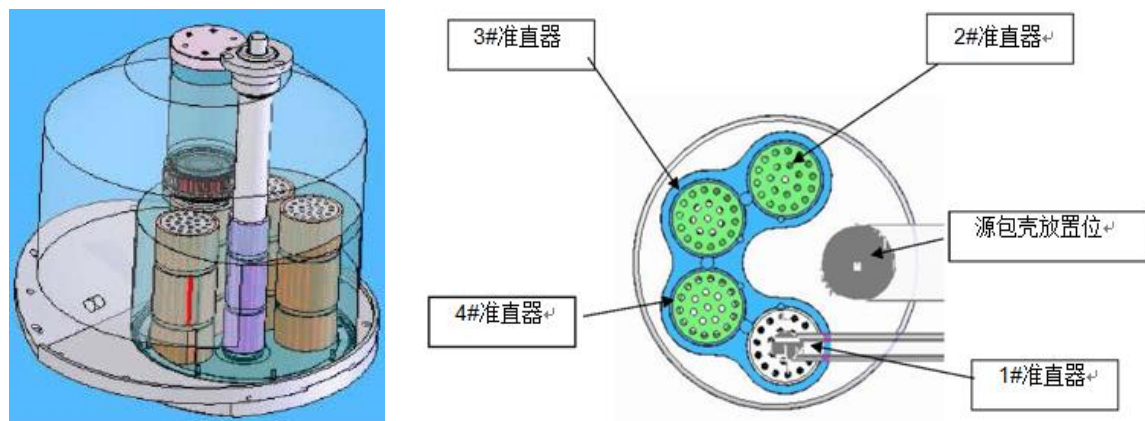


图 9-4 源开关和准直器结构图

开关上有 4 个通孔，分布在同一半径上，互相间隔相同的角度，分布的半径大小与装源通道和开关孔的距离相等，通孔安装有不同孔径的准直器。这样伺服电机按间隔角度带动开关时，源出束孔与准直器孔对准。治疗时根据需要，源开关转动不同的角度来选择不同的准直器孔径，取得不同的焦点剂量和剂量场分布。

3、旋转盘

旋转盘整个结构呈圆盘形，带动整个治疗头（射源装置）做旋转运动时，治疗头的运动轨迹为陀螺状，陀螺旋转式钴-60 放射治疗系统也由此得名。旋转盘体是通过一大型轴承装于滚筒。底部安装一大齿圈，由安装于滚筒上的电机通过直齿带动齿圈旋转，旋转的速度一般设定为 30 转/分钟。

由于治疗头安装后与旋转盘的旋转中心成 25° 的夹角，旋转盘转动时使放射源对靶心进行一次圆锥回旋聚焦，使射线途经人体正常组织时只受到瞬时、几乎无伤害的照射。旋转盘结构图见图 9-5。

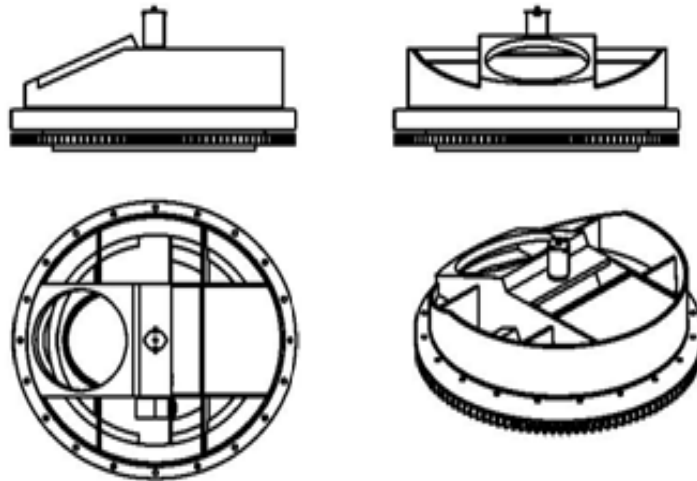


图 9-5 旋转盘结构图

4、滚筒

滚筒是带动整个旋转盘作 $\pm 270^\circ$ 旋转（公转）的机构，由两端面的法兰与型钢通过箱形结构焊接成型，通过安装在底座平台上的四个滚轮支撑。滚筒是由变频电机通过齿轮减速机经齿轮传动带动滚筒端面的齿圈进行旋转的，滚筒的两端面分别由两个径向与轴向压轮控制其转动。滚筒做旋转时，带动放射源在自转的同时又沿着人体不断变换入射角度，和回转角度达到第三次聚焦的作用。滚筒的转速出厂设定为 1.0 转/分钟。滚筒结构图见图 9-6。

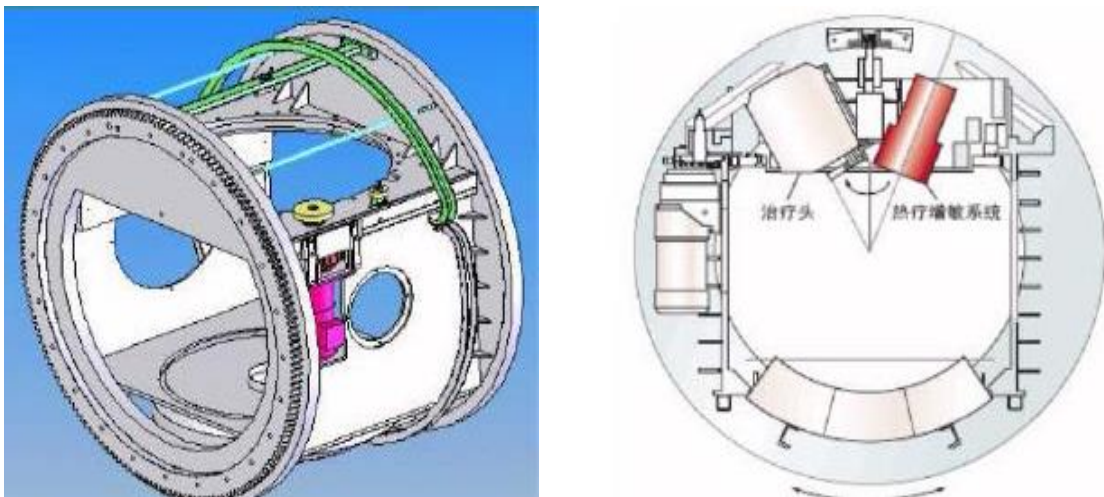


图 9-6 滚筒结构图

5、源包壳

本机有一枚组合放射源，活度 $3.145 \times 10^{14} \text{Bq}$ (8500Ci)，钴粒尺寸约 $\Phi 1 \times 1 \text{mm}$ ，以 22 组按聚焦式方式放置在双层不锈钢圆柱形包壳内，用氩弧焊封装，包壳下端有收缩锥面，有助于源的装入，源包壳结构图见图 9-7。放射源是在放射源工厂制备好，并被装入治疗头内，治疗头由特制的密封金属屏蔽容器封装后运输。

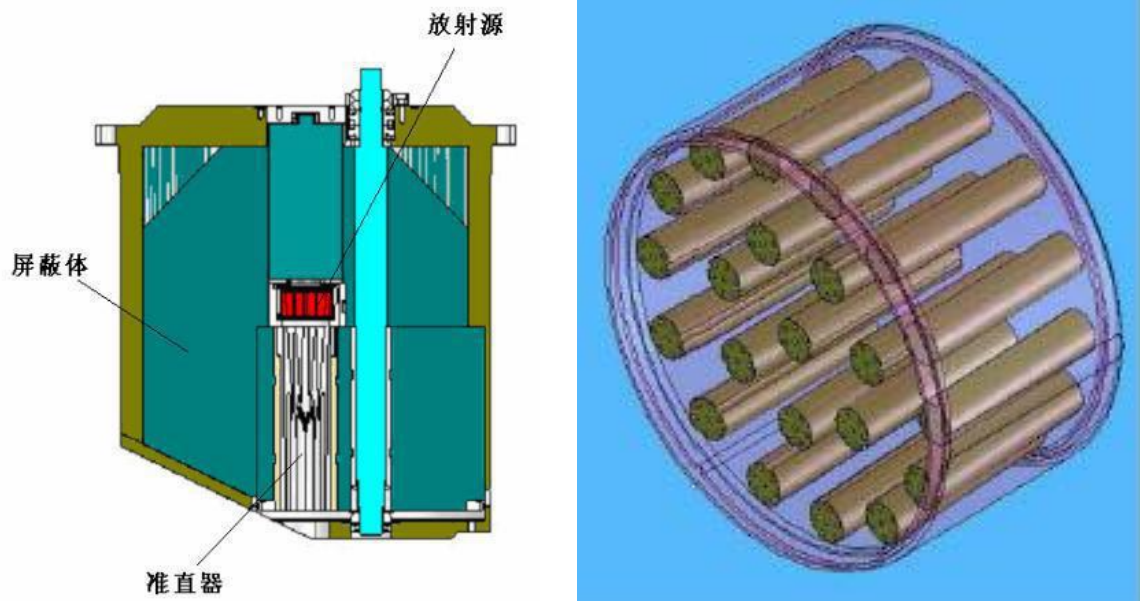


图 9-7 源包壳结构图

6、三维运动床

由三组伺服电机驱动滚珠丝杠带动三维治疗床作 X、Y、Z 三个方向运动。采用精密的机械传动方法，可以使床沿三个方向做出精确的位移，将并在位置送到聚焦中心。三维运动床结构图见图 9-8。

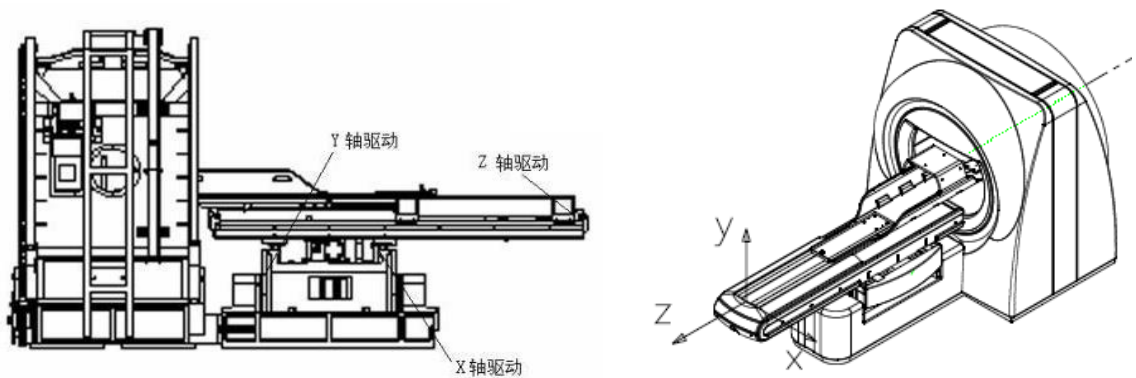


图 9-8 三维运动床结构图

(二) 立体定位系统

GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 放射外科治疗系统采用在立体定位床上的立体定位框架，用负压袋将患者固定，用立体定位框架和患者相对位置固定的方式确定三维立体坐标，以将 CT 图像中病灶的坐标转换到辐射装置的坐标系中，这套定位装置就称为立体定位系统。立体定位系统包括：立体定位床、复位尺、负压袋（用于体部治疗）、头部定位框、固定头钉等（用于头部治疗），头部定位还可以选择面膜定位、牙托定位等定位方式。

(三) 电气控制系统

电气控制系统包括控制台、电气控制柜、驱动装置、电源以及连接电缆等组成。

控制台包括按钮开关、指示灯、计算机控制系统、对讲系统以及一台放在控制台上的彩色监视器。电气控制柜内包括有可编程控制器、驱动装置、变压器组、空气开关接触器、接线排以及交直流电压变换装置等等。电源系统提供 380V 交流接入电气控制柜，电气控制柜提供 220V 交流及 24V 直流输出。

电源系统提供后备 UPS 不间断电源，可保证在运行过程中外界供电中断的情况下，保证源开关关闭和三维床退出的操作供电。

驱动装置包括三维治疗床定位驱动伺服电机、大滚筒驱动变频电机、源开关旋转变频电机、源开关控制步进电机以及高精度旋转编码器。

两个彩色摄像机分别放置于设备长轴线两端的墙上，镜头正对着治疗设备。

(四) 治疗计划系统

本系统通过硬件和治疗计划系统 (TPS) 两大部分有机协调运作，达到治疗目的。

治疗计划系统是一软件系统，它首先将患者接受 CT 检查后的结果在计算机上做三维重建，结合三维运动床的定位作用，建立起病灶及周围组织的三维模型，然后由医生据此确定放射治疗的位置、放射剂量、入射角度、回转角度、照射时间等一系列治疗参数。这一软件系统同时提供若干专家软件包。最后此治疗计划系统将医生制定的数据自动整理后传输到硬件部分的控制系统，控制系统指挥主机自动执行治疗方案。

本项目拟配备的陀螺刀主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统技术参数情况一览表

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

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

二、工作原理及工作流程

(一) 工作原理

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。

本项目陀螺刀主机工作时，放射源被屏蔽在一安全的屏蔽体（治疗头）内，治疗

头前方设置一机械源开关，当源开关被旋转至打开时， γ 射线经过准直孔照射到靶点所在位置，同时，治疗头及筒体形成交叉方向旋转， γ 射线绕靶点作陀螺回转式聚焦，对病灶进行聚焦照射治疗。放射源由 22 颗 ^{60}Co 籽源按聚焦式排列，形成第一次聚焦。

放射源置于一屏蔽体内装于旋转盘上，旋转盘由于其旋转中心的稳定性使得放射源在随旋转盘旋转时，恰似陀螺机构，对靶心进行第二次回旋聚焦。

陀螺机构在自转的同时又随滚筒做公转，使放射源在自转的同时又沿着人体不断变换入射角度和回转角度，达到第三次聚焦的作用。

三次聚焦的结果是放射路径在人体表皮上不断变化而焦点处的辐射剂量不断积累而达到放射治疗时医生所要求的剂量；相应的体表处所接受的辐射剂量是分散的，均匀的，从而使正常组织受到的辐射剂量达到最小。

（二）工作流程

1、治疗过程

当病人被确诊需要进行 γ 放射治疗后，主治医生首先向病人告知可能受到的辐射危害、对病灶位置进行 CT 定位、制定放射治疗计划、确定照射位置和照射剂量后，开始对病人实施放疗。陀螺刀治疗工作流程及产污环节示意图见图 9-9。

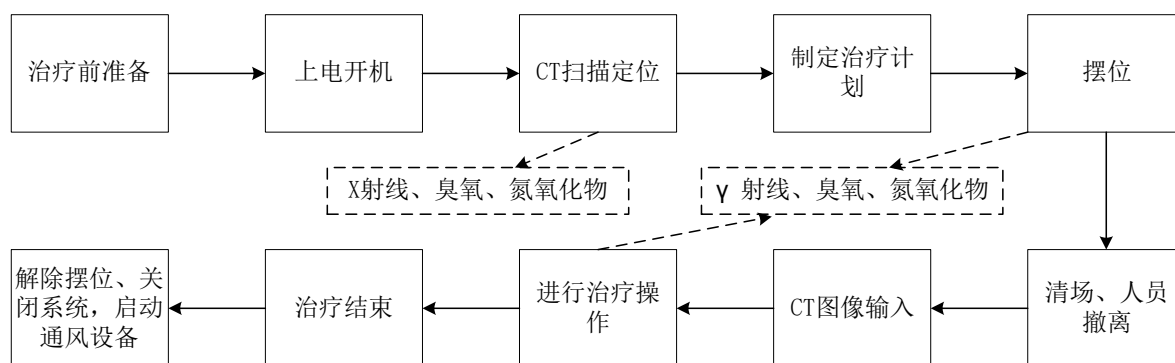


图 9-9 陀螺刀治疗工作流程及产污环节示意图

2、放射源订购、运输、暂存、倒装、调试、使用和退役

本项目 GMX-I 型陀螺旋转式 ^{60}Co 立体定向放射治疗系统配有 22 枚 ^{60}Co 放射源，22 枚放射源组合在一起的最大装源量为 $3.145 \times 10^{14} \text{Bq}$ (8500Ci)，整体为 I 类放射源。

因此，放射源的运输和医疗使用管理均按 I 类源进行。本项目的放射源由有资质单位购入。

（1）订购：医院在订购之前应向省生态环境主管部门提出申请，提交《放射性

同位素与射线装置安全和防护条例》第十九条规定的申请材料。订购时，医院根据《辐射安全许可证》许可的范围提出订购需求，上海伽玛星科技发展有限公司提供放射源的所有技术参数和文件，并跟踪放射源的生产进度（放射源生产期间工作人员所受照射不在本评价范围内）。放射源订购完成后，医院应当在完成之日起 20 日内，向省级环境保护部门备案。

(2) 运输：放射源生产厂家委托具有 I 类放射源运输资质的单位进行运输（放射源运输期间工作人员所受照射不在本评价范围内），运输期间的安全由运输单位负责。

(3) 暂存：放射源运抵医院后、装入设备前，载有放射源的运源罐在陀螺刀治疗机房内暂存（最多 7 天）。暂存期间由医院负责安保工作，配备专人、专锁管制，全程 24h 视频监控，暂存期间安全由医院负责。

(4) 倒装：由上海伽玛星科技发展有限公司负责将放射源置于治疗系统内，由上海伽玛星科技发展有限公司负责倒装期间治疗室内安全，由医院负责陀螺刀治疗室外的安保工作。

(5) 调试：由于该系统的安装调试具有很强的专业性，为保证设备的安装质量和操作安全，所有安装调试过程均由上海伽玛星科技发展有限公司的专业人员进行，期间安全责任由上海伽玛星负责，陀螺刀机房外安全由医院负责。

(6) 使用：设备正常使用时，由医院负责放射源的安保工作，期间安全由医院负责。

(7) 退役：由放射源生产厂家负责回收退役放射源，上海伽玛星科技发展有限公司负责技术支持（放射源退役时应进行退役评价，工作人员所受照射不在本评价范围内），退役手续由医院办理，回收期间安全由医院负责。

污染源项描述

一、放射性污染

(一) 辐射：陀螺刀未使用时，放射源处于屏蔽位，少量的 γ 射线会穿透屏蔽体，对进入陀螺刀机房的人员及室外公众等产生照射。

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

本项目拟配备的陀螺刀内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，活度为 $3.145 \times 10^{14}\text{Bq}$ ，焦点剂量率 $\geq 3.0\text{Gy/min}$ ，放射源与焦点的距离为 535mm。核素 ^{60}Co 是一种人工生产的放射性

核素，主要由 ^{59}Co 在核反应堆中经中子轰击后生成，半衰期为 5.27 年。 ^{60}Co 核素衰变过程中发射出 0.315MeV 的 β 射线和能量分别为 1.173MeV 和 1.332MeV 的两种 γ 射线，平均能量为 1.25MeV。 ^{60}Co 放射源特性见表 9-2，衰变纲图见图 9-10。

表 9-2 ^{60}Co 放射性核素特性

核素名称	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 α 、 β 辐射能量 (keV) 与绝对强度 (%)	主要 γ 、X 射线能量 (MeV) 与绝对强度 (%)	空气比释动能率常数 ($\mu\text{Gy m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$)
^{60}Co	5.27a	β^-	-	β^- : 0.315(99.74%) γ : 1.173 (99.87%) γ : 1.332 (99.98%)	0.308

注：空气比释动能率常数取自《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数-李士骏》(辐射防护第 19 卷第 4 期，1999 年 7 月)。

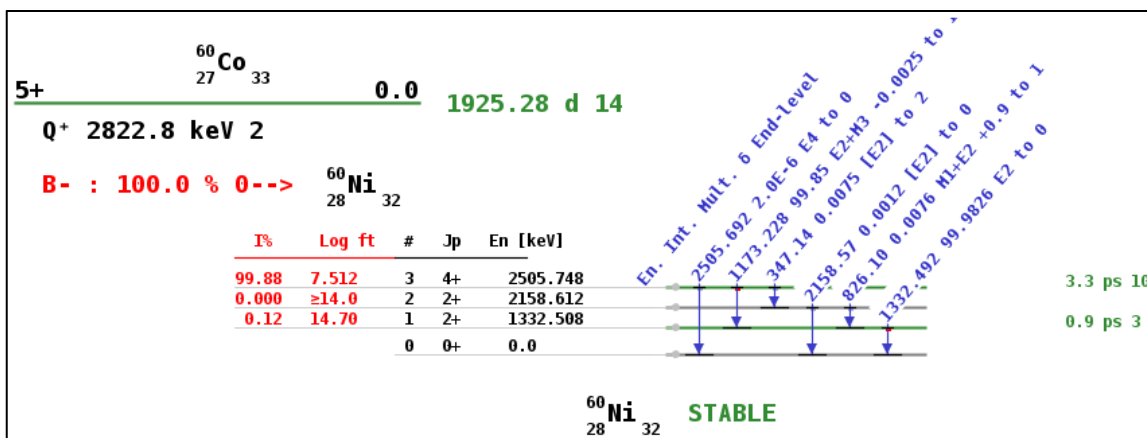


图 9-10 ^{60}Co 衰变纲图

(二) 放射性固体废物： ^{60}Co 放射源使用到一定年限后产生退役的放射源，可能会对周围环境产生一定的危害。

二、非放射性污染

(一) 废气：陀螺刀治疗过程中发射的 γ 射线，会使机房内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物。

(二) 废水：工作人员产生的生活污水。

(三) 固体废物：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

本次新建陀螺刀治疗室东侧为煎药房，西侧为院内道路，北侧为空地（停车场），南侧为中药制剂大楼拟建候诊厅、卫生间、科室主任（医生）办公室等。陀螺刀治疗室建筑结构为地上一层，整栋建筑由陀螺刀机房和控制室组成，陀螺刀机房位于陀螺刀治疗室内部西侧，陀螺刀机房东侧与煎药房西墙之间的房间作为控制室，陀螺刀治疗室上方无建筑，下方为土层。本项目陀螺刀机房控制室与治疗室分离，治疗室面积约 63.7m²（含迷路），高为 3.5m；治疗室设置直迷路，有用线束不向防护门照射。陀螺刀机房布局符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中关于选址与布局的规定。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将陀螺刀机房作为辐射防护控制区，严格控制人员进出，并在机房入口处设置电离辐射警告标志；拟将机房东侧控制室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》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定要求。陀螺刀机房平面布置及分区见图 10-1。

二、辐射防护屏蔽设计

本项目新建陀螺刀机房屏蔽参数见表 10-1。

表 10-1 陀螺刀机房防护屏蔽设计一览表

屏蔽防护设计		屏蔽设计参数（厚度及材质）
东墙	迷道外墙	
	迷道内墙	
南墙		
西墙		
北墙		
屋顶		
防护门		

注：混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅板的密度不低于 11.3g/cm³。

三、辐射安全和防护措施

（一）电线电缆布设：医院在陀螺刀机房已经预留地埋式沟槽，陀螺刀机房的控制电缆均拟布设于电缆沟内。电缆沟埋设在地下，沟槽深 20cm，上覆厚钢板，电缆沟不会破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

（二）防护门搭接方式与陀螺刀机房屏蔽体：机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，拟考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线

泄漏。本项目陀螺刀机房防护门与墙之间的间隙小于 1cm，门与墙之间间隙与搭接比值小于 1/10，可有效防止门缝处射线泄漏。本项目陀螺刀机房以混凝土为屏蔽体，1 次整体浇筑，以防止出现裂缝和过大的气孔。

(三) 本项目陀螺刀机房拟设计有通风装置，采用机械排风方式。陀螺刀机房采用上进下出的通风系统，进风管道、排风管道以“Z”字形穿过防护门上方墙体至机房内，进风口位于机房东北侧顶部吊顶处；排风口设置于机房西南角距地面 300mm 处，进风口与排风口成立体对角设置，可实现空气在治疗室内有效对流。进风口和排风管道未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，射线经多次散射后（见图 11-4），进出风管道进出口处辐射剂量率将在控制范围内。满足 HJ 1198-2021 及 GBZ 121-2020 中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

(四) 门机联锁：设计安装门机联锁装置。只有在防护门关闭的情况下，才能开机出源治疗；在治疗状态下，如果人为将防护门打开，联锁装置会自动启动关源程序、快速中止辐射。陀螺刀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。满足 HJ 1198-2021 及 GBZ 121-2020 中“放射治疗设备都应安装门机联锁装置或措施”的要求。

(五) 电离辐射警告标志和工作状态指示灯：在陀螺刀主机外壳、控制台、治疗室防护门外均设计安装与陀螺刀出束联锁的具备“预备”、“照射”工作状态指示灯，门外设置醒目、规范的电离辐射警告标志。满足 HJ 1198-2021 及 GBZ 121-2020 中“放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯”的要求。

(六) 紧急停止按钮：在陀螺刀控制台、机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧及陀螺刀主机外壳上分别设计安装紧急停止按钮，紧急情况下，按紧急停止按钮后，设备自动启动关源程序、快速中止辐射，保证辐射安全。满足 HJ 1198-2021 及 GBZ 121-2020 中“放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发”的要求。

(七) 固定式剂量监测报警装置：在陀螺刀治疗室内设计安装固定式剂量监测报警装置，并与门机联锁相联系。该报警装置数字显示装置安装在控制室内，剂量检测探头安装在治疗室内迷路内墙上，医务人员可在控制室内实时了解治疗室内的辐射水平。当辐射剂量超过预定水平时，系统的音响和（或）灯光警告装置发出警告信号。

满足 HJ 1198-2021 及 GBZ 121-2020 中“含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置”的要求。

(八) 视频监视和对讲系统：在陀螺刀治疗室内设计安装摄像头，并配备对讲装置，在治疗过程中工作人员可以在控制室内通过实时监控装置及时观察患者情况，与患者交流，防止意外情况的发生。满足 HJ 1198-2021 及 GBZ 121-2020 中“控制室应设有在治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流”的要求。

(九) 手动关源：当设备出现机械故障导致放射源不可关闭时，可采用手动关源。

(十) USB 电源：陀螺刀系统设计配备 UPS，断电情况下可持续供电 30 分钟以上，保证关源步骤的完成，确保患者和技术人员的辐射安全。

(十一) 医院加强日常工作的监管与工作人员的培训，防止维修停机期间操作不当或其他非维修人员误操作导致辐射事故的发生。

图 10-3 本项目陀螺刀机房辐射安全装置示意图

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。

江阴南闸医院有限公司拟为本项目配备有辐射巡测仪 1 台，固定式剂量监测报警装置 1 套及个人剂量报警仪 2 台。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。

三废的治理

一、放射性“三废”

陀螺刀中 ^{60}Co 放射源经使用 5 年后，因其自然衰变使其活度逐渐下降，当活度过低而不能满足治疗需要时，放射源将被替换出来成为废放射源，建设单位应与放射源生产单位签订退役放射源回收合同，废旧放射源按照要求返回放射源生产厂家或原出口方。医院已承诺将退役 ^{60}Co 放射源交由放射源生产厂家回收处理（见附件 3）。

二、非放射性“三废”

（一）废气：陀螺刀机房内的空气在 γ 射线、X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧在常温条件下约 50 分钟可自行分解为氧气。

图 10-4 排风、进风管道及剖面示意图

本项目陀螺刀机房内设有通风装置，采用机械排风方式。陀螺刀机房采用上进下出的通风系统，进风管道、排风管道以“Z”字形穿过防护门上方墙体至机房内，进风口位于治疗室东北侧吊顶处；排风口设置于治疗室西南角距地面 300mm 处，进风口与排风口成立体对角设置，可实现空气在治疗室内有效对流。本项目陀螺刀机房容积约 223m³（含迷路），设计通风速率 1500m³/h，机房内通风换气次数为 6.7 次/h，可满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中放射治疗室内通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。

（二）废水：工作人员产生的生活污水，处理达标后排入城市污水管网。

（三）固体废物：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。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目建设时主要工作为房屋土建及辐射防护施工，建设施工时对环境会产生如下影响：

一、大气：本项目在建设施工期需进行的墙体屋面砌筑装潢等作业，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。

二、噪声：整个建筑施工阶段，如墙体砌筑、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。

三、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。

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

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内局部区域，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

江阴南闸医院有限公司拟在院区内中药制剂大楼北侧新建 1 座陀螺刀治疗室并配备 1 台 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统，用于开展肿瘤的放射治疗。

（一）工作状态下治疗机房内 γ 空气吸收剂量率分布

由于采用了陀螺旋转结构，在公转环集束射线穿过靶心经过的路径上，设置了有效厚度的铅屏蔽层，实现了机内放射源的自屏蔽。此设计既解决了公转环的平衡问题，又可有效防止射线的泄漏。同时，由于机内设计有自屏蔽，即使是治疗过程中，射线穿透机器的散射能量已降至很弱，对机房的屏蔽要求已降至很低。

依据设备厂家提供的治疗机房内开源状态剂量率分布图（见图 11-1），距等中心 1m 处的吸收剂量率最大值为 17340 $\mu\text{Gy/h}$ ，为安全起见，本项目进行机房外关注点辐射剂量率计算时，保守采用 0.020Sv/h（转换系数取 1.16）作为距焦点 1m 处的吸收剂量率。

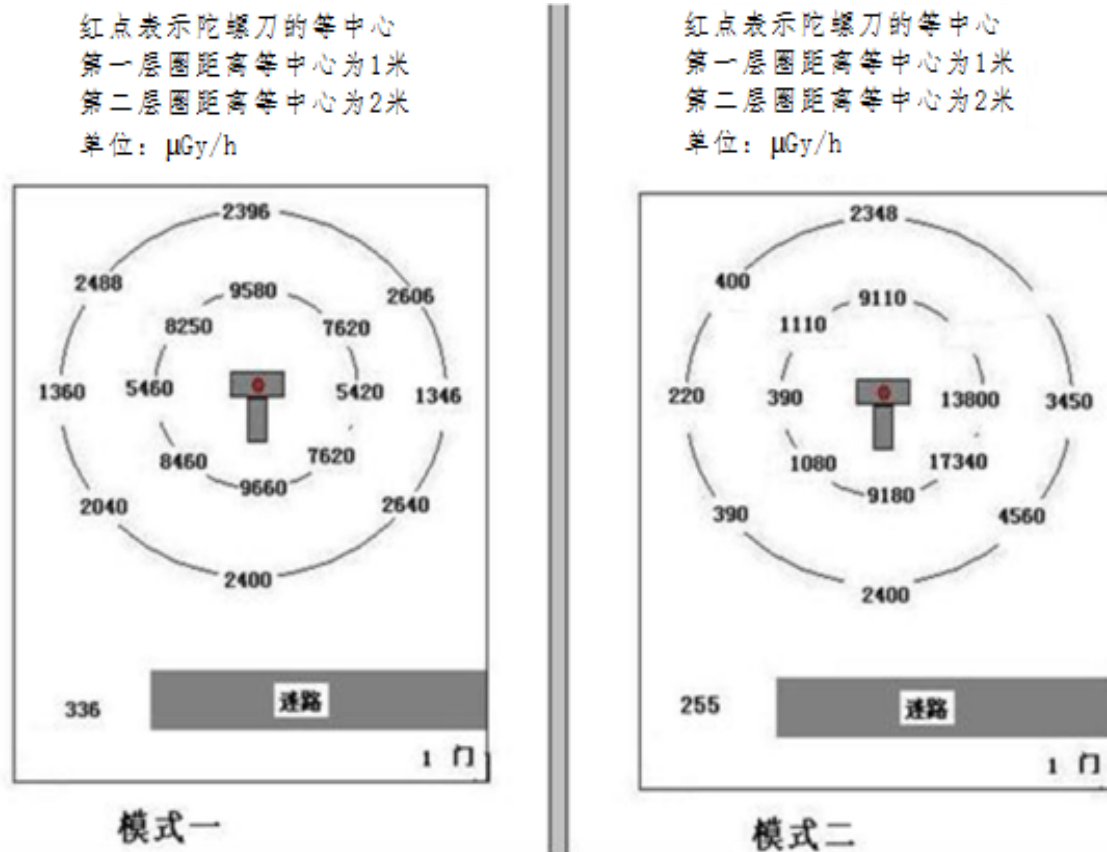


图 11-1 两种测试模式下治疗机房内开源状态剂量率分布图

1、测试条件

放射源种类： ^{60}Co ；

最大装源活度： $3.145 \times 10^{14} \text{Bq}$ 。

2、测试方法

在治疗机房内距离陀螺刀等中心 1m、2m 的各个位置布点，打开源开关，用剂量仪测试一段时间内的累积剂量，转换成剂量率。

a) 测试模式一：治疗头以 0° 法线为轴作旋转运动，见图 11-2 (a)；

b) 测试模式二：治疗头以 270° 法线为轴作旋转运动，见图 11-2 (b)。

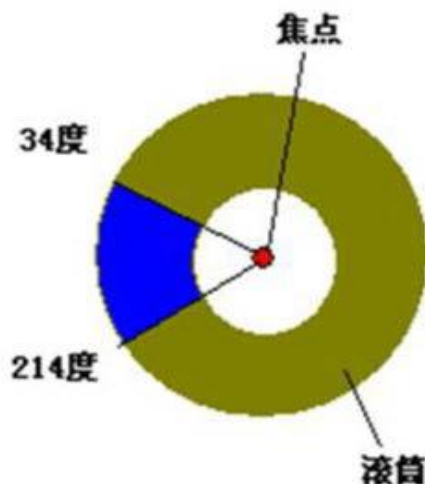
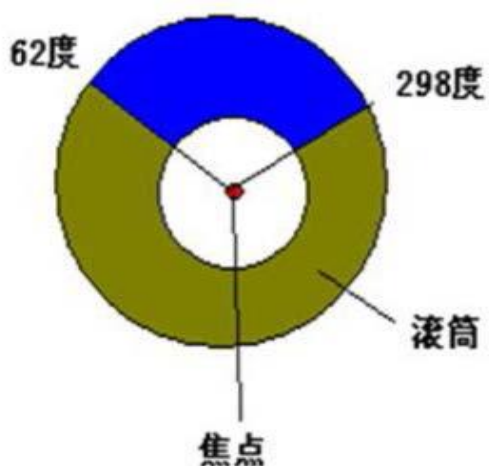


图 11-2 (a) 治疗头以 0° 为法线示意图

图 11-2 (b) 治疗头以 270° 为法线示意图

1、工作状态下治疗机房周围关注点处的 γ 辐射剂量率

根据厂家提供的资料及陀螺刀的工作原理，本项目北墙、南墙及屋顶为主射束方向。由于距焦点 1m 处的吸收剂量率的取值为厂家提供的治疗室内开源状态实测剂量率最大值，该数据已包含透过自屏蔽的有用线束、漏射线及散射线束的剂量率，因此，偏安全考虑，本项目在计算时有用线束、漏射线时均按有用束进行估算（此时 $f=1$ ），对屏蔽墙的屏蔽估算时不再对漏射线及散射线剂量率分别进行估算，仅对防护门外剂量估算时考虑散射线束。本项目陀螺刀机房辐射屏蔽防护及估算点位示意图见图 11-3（预测点位取墙体或者防护门外 30cm 处）。

图 11-3 陀螺刀机房估算点位示意图

(1) 陀螺刀机房墙体及顶部辐射防护设计核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014），在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时，首先按照公式 11-1 计算有效厚度 X_e (cm)，按照公式 11-2 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，考虑距离衰减后再按照公式 11-3 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$X_e = X/\cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad \text{公式 11-1}$$

式中： X —设计屏蔽厚度，cm；

θ —斜射角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \text{公式 11-2}$$

式中， TVL_1 (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时， $TVL_1 = TVL$ 。本项目 TVL 、 TVL_1 取值根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）附录 C 表 C.1 混凝土 $TVL = 218\text{mm}$ 、 $TVL_1 = 245\text{mm}$ ，铅 $TVL = TVL_1 = 41\text{mm}$ 。

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 11-3}$$

式中： H_0 —入射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。取工作状态下，距等中心 1m 处的最大剂量率，本项目保守取 $1.8 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ ；

R —靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

f —有用线束和泄漏辐射均取 1（保守考虑，本项目在计算时有用线束和泄漏辐射均按有用束进行估算）。

依据设备厂家提供的治疗机房内开源状态剂量率分布图，保守采用 0.020Sv/h （转换系数取 1.16）作为距焦点 1m 处的吸收剂量率，再考虑距离衰减后，将相应屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子 B 值代入，按照公式 11-3 得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)，计算结果见表 11-1，其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-1 陀螺刀机房出束状态下参考点处的辐射剂量率核算值

████████	████████████████████						
████████	████████████████████						
↓	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
████████	████████████████████						
████████	████	████	████	████	████	████	████
↓	↓						
████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
████████	█	↓	↓	█	█	↓	█
████████	████	████	████	████	████	████	████

(2) 陀螺刀机房迷路防护门辐射防护设计核算

本项目陀螺刀机房入口设有直迷路，迷路口用 10mmPb 防护当量的防护门屏蔽散射至迷路入口处的散射线。

入口 g 处的散射辐射剂量采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中公式计算：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot S_w \cdot a_w \cdot f}{R_0^2 \cdot R_l^2} \quad \text{公式 11-4}$$

式中：S_w—i 处的散射面积，m²；

a_w—散射体的散射因子，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）表 C.4，本项目取 2×10⁻³；

R₀—辐射源至散射体中心点的距离，m；

R_l—散射体中心点至计算点的距离，m；

f—泄漏辐射比率，保守考虑，本项目在计算时有用线束和泄漏辐射均按有用束进行估算，本项目取 1。

表 11-2 陀螺刀机房入口 g 点处辐射剂量率计算结果

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

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

根据公式 11-2 计算得机房入口前的散射辐射剂量率为 0.188 μ Sv/h, 陀螺刀机房迷路设有铅当量为 10mm 的防护门, 保守取 ^{60}Co 产生的 γ 射线经过散射后至迷路入口 g 处的能量约为 0.2MeV, 铅中的 TVL 值为 5.0mm, 因此, 经过机房入口防护门的屏蔽, g 点处的辐射剂量率为 0.002 μ Sv/h。叠加直接透过迷路内墙和防护门的剂量 (<0.001 μ Sv/h), 合计 g 点处的辐射剂量率为 0.002 μ Sv/h。

(3) 预测计算结果汇总及评价

综上所述, 陀螺刀机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-3。

表 11-3 陀螺刀机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

[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]

计算结果表明, 治疗装置正常运行工况下, 机房四周墙体及防护门处的辐射剂量率为 (<0.001~0.525) μ Sv/h, 顶部的辐射剂量率为 0.357 μ Sv/h, 满足相应的剂量率参考控制水平要求, 同时满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014) 中“机房四侧屏蔽墙外 30cm 处剂量率目标控制值为 2.5 μ Sv/h”的要求。

2、机房门缝处辐射防护评价

本项目陀螺刀机房防护门设计制作时, 除要考虑足够的防护厚度外, 拟考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接, 以防止门缝处射线泄漏。本项目机房门与墙之间的间隙小于 1cm, 防护门与墙之间的搭接不小于 10cm, 可有效防止门缝处射线泄漏。

3、进、排风口处的 γ 辐射剂量率

本项目陀螺刀机房内设有通风装置，采用机械排风方式。陀螺刀机房采用上进下出的通风系统，进风管道、排风管道以“Z”字形穿过防护门上方墙体至机房内，进风口位于治疗室东北侧吊顶处；排风口设置于治疗室西南角距地面 300mm 处，进风口与排风口成立体对角设置，可实现空气在治疗室内有效对流。根据《辐射防护手册（第一分册）》“一个能使射线至少经过三次散射才能到达门口的迷道，将能保证迷道口工作人员的安全”，本项目进、排风管道的设计满足辐射防护的要求（见图 11-4）。

图 11-4 进、排风管道剖面及散射示意图

4、电缆沟辐射防护评价

医院在陀螺刀机房已经预留地埋式沟槽，陀螺刀机房的控制电缆均拟布设于电缆沟内。电缆沟槽散射路径见图 11-5。

图 11-5 陀螺刀机房内电缆沟散射示意图

电缆沟 *b* 处的散射辐射剂量采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源 放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中公式计算：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot S_w \cdot a_w \cdot f}{R_0^2 \cdot R_l^2} \quad \text{公式 11-4}$$

式中： S_w —*i* 处的散射面积， m^2 ；

a_w —散射体的散射因子，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）表 C.4，本项目取 2×10^{-3} ；

R_0 —辐射源至散射体中心点的距离， m ；

R_l —散射体中心点至计算点的距离， m ；

f —泄漏辐射比率，保守考虑，本项目在计算时有用线束和泄漏辐射均按有用束进行估算，本项目取 1。

表 11-4 电缆沟出口 *b* 点处辐射剂量率计算结果

■	■
■	■

██████████	████
██████████████████	██████████
↓	↓
██████████	██████████
██████████	██████████
██████████████████	██████████

电缆沟埋设在地下，沟槽深 20cm，上覆厚钢板，电缆沟不会破坏治疗室墙体的屏蔽效果，射线经几次散射后，出口处辐射剂量为 0.073μSv/h，在控制范围内，能够满足辐射防护要求。

4、保护目标有效剂量评价

考察点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

$$D_{Eff} = K_{\alpha} \cdot t \cdot T \cdot U \quad \text{公式 11-5}$$

式中： D_{Eff} —考察点人员有效剂量（Sv）；

K_{α} —考察点的周围空气比释动能率（Gy/h）；

t —考察点处年受照时间（h）；

T —居留因子；

U —使用因子；

简化估算：本项目关注点处的 γ 辐射剂量率计算时已将 Sv/Gy 进行换算，保护目标有效剂量保守并简化估算将 1mGy 近似为 1mSv）。

将表 11-3 陀螺刀机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-5，陀螺刀周治疗时间约为 10h，年运行时间约 500h，根据各考察点处年受照时间，并考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，则陀螺刀机房外辐射剂量预测结果见表 11-5。

表 11-5 陀螺刀机房外辐射剂量预测结果

██████████	██████████	████	████	██████████	██████████	████
██████████████████	████	↓	█	████	█	████
██████████████████	████	↓	█	████	█	████
██████████████████	████	↓	█	████	█	████

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

注：1、居留因子取值参考 HJ 1198-2021；

2、控制室处辐射剂量率保守选取 k 点剂量；

3、机房顶部人员不可达；

4、由于机房顶部剂量率较低，故天空反散射可忽略。

在进行放射治疗前，工作人员需进入机房对患者进行摆位，此时放射源处于贮存状态，工作人员进行摆位时距离设备约 1m，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）附录 B.2 贮源状态下距源 1m 处的空气比释动能率不大于 $20\mu\text{Sv/h}$ ，平均每位患者摆位 1min，治疗完成后需解除摆位 1min，年门诊量最大 5000 人次，则辐射工作人员摆位过程中年最大有效剂量为 3.33mSv 。根据表 11-4 理论计算结果，控制室辐射工作人员年剂量估算值 0.033mSv ，叠加后本项目陀螺刀辐射工作人员年最大有效剂量为 3.36mSv ；根据表 11-4 结果分析知，本项目陀螺刀运行后周围公众年有效剂量最大值为 0.033mSv ，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（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 ）。

二、放射性“三废”影响分析

陀螺刀中 ^{60}Co 放射源经使用 5 年后，因其自然衰变使其活度逐渐下降，当活度过低而不能满足治疗需要时，放射源将被替换出来成为废放射源，建设单位应与放射源生产单位签订退役放射源回收合同，废旧放射源按照要求返回放射源生产厂家或原出口方。医院已承诺将退役 ^{60}Co 放射源交由放射源生产厂家回收处理（见附件 3）。

三、非放射性“三废”影响分析

1、废气

陀螺刀机房内的空气在 γ 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，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，对环境影响较小。

2、废水

工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对环境影响较小。

3、固体废物

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，对环境影响较小。

事故状态下影响分析

本项目涉及的陀螺刀内配备的⁶⁰Co放射源（最大装源活度为 3.145×10^{14} Bq）为I类放射源。医院在开展放射治疗过程中，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、陀螺刀工作状态下，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、陀螺刀机房门机联锁失效，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，使人员或公众受到误照射。

四、设备使用时间较长或因外力使源包壳出现破损时，放射源泄漏，使人员或公众受到误照射。

五、停机维修期间的误照射。

六、卡源、电气系统失控事故。

七、倒源流程过程中的意外情况。

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，确保陀螺刀执行紧急收源程序。

二、迅速安排受照人员接受医学检查和救治。

三、医院应定期对陀螺刀机房辐射安全措施进行检查、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。

四、维修停机期间操作不当或其他非维修人员误操作，会导致辐射事故的发生。

加强日常工作的监管，在维修停机期间严格按照规程操作，保证有专人看守能有效降低辐射事故发生的几率。

五、本项目陀螺刀所指的卡源是指同轴旋转的准直体和源体不能回归零位，即治疗结束后源始终处于照射状态。出现这种情况是由于控制系统失控或同轴旋转的源体和准直体之间出现故障。这种故障的出现与机器的磨损、维护、检修以及质量有关系。在这种情况下，工作人员可立即用控制室的手动系统将源摇回准直体屏蔽位置，人员可不必进入治疗机房，若手摇也无法将源回归零位，则工作人员在佩戴个人剂量报警仪、个人剂量计，携带辐射巡测仪的情况下，迅速进入治疗机房将病人撤离，然后手动将屏蔽门关闭，再找专业人员或厂家修理。手动关源过程预计 5min 关束并撤离，关源时距离取 0.5m，则预计人员受照剂量约为 5.78mGy。

六、当正在治疗时电气系统失控，不能关机时，工作人员同样采取手动的方式完成关源、退床、关闭屏蔽门等程序。

七、本项目陀螺旋转式 ^{60}Co 立体定向放射治疗系统所用钴-60 放射源每隔 6~8 年须更换一次。医院在换源前应于当地公安、生态环境部门、卫生健康部门备案，取得他们的协助、监督和认可。倒源需使用专门的工具，有关操作必须由上海伽玛星科技发展有限公司派出的具有专门资格证书的专业人员进行，其他任何单位和个人不得私自进行倒源。

八、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

江阴南闸医院有限公司拟在院区内中药制剂大楼北侧新建 1 座陀螺刀治疗室并配备 1 台 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统,用于开展肿瘤的放射治疗。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 I 类放射源的单位,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,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 3 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。辐射工作人员“放射治疗”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,使用放射源的单位要“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”。目前江阴南闸医院有限公司已制定相关制度。建议根据新建陀螺刀治疗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）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；

（二）从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

（三）在工作场所严禁吸烟、进食；

（四）退役⁶⁰Co放射源的处理需严格按照操作规程执行。

二、岗位职责：明确放射源使用工作人员、台帐管理人员及辐射安全管理人员的岗位职责，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：根据放射源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。

四、设备维修制度：明确放射源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。确保治疗室安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

五、放射源使用登记制度：建立放射源台帐，重点是：规范⁶⁰Co密封源台账使用登记记录，对购入的⁶⁰Co密封源进行登记和跟踪记录。

六、人员培训计划和健康管理制：明确本项目的培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。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并通过考核。医院应组织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：制订辐射工作人员剂量监测工作制度和工作场所定期监测制度。对辐射工作人员进行个人剂量监测并建立个人剂量档案，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；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。

辐射监测

根据辐射管理要求，江阴南闸医院有限公司拟配备有辐射巡测仪 1 台，固定式剂量监测报警装置 1 套及个人剂量报警仪 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：

一、委托有资质的单位定期对项目周围环境 X- γ 辐射剂量率水平进行监测，周期：1~2 次/年；

二、辐射工作人员配备个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/季）送有资质机构进行个人剂量监测，建立个人剂量档案；

三、定期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；

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

五、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。

江阴南闸医院有限公司须根据上述监测计划，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。

辐射事故应急

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，辐射事故应急方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时，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，在 1 小时之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。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，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。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

江阴南闸医院有限公司位于江阴市南闸街道锡澄路 639 号，为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，拟在院区内中药制剂大楼北侧新建 1 座陀螺刀治疗室并配备 1 台 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统(内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，属 I 类聚集源，活度为 $3.145 \times 10^{14}\text{Bq}$)，用于开展肿瘤的放射治疗。

二、实践正当性

本项目的建设，可为医院提供多种治疗手段，有着重要临床应用价值，可为患者提供放射治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益和经济效益，因此，本项目的建设是必要的，经辐射防护屏蔽和安全管理后，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，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。

对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家现行的产业政策。

三、选址合理性

江阴南闸医院有限公司位于江阴市南闸街道锡澄路 639 号，医院东侧为紫馨路，南侧为紫馨苑，西侧为锡澄路，北侧为空地（停车场）和江阴市南闸街道社区卫生服务中心。

本次新建陀螺刀治疗项目位于院内中药制剂大楼北侧，陀螺刀治疗室东侧为煎药房，西侧为院内道路，北侧为空地（停车场），南侧为中药制剂大楼拟建候诊厅、卫生间、科室主任（医生）办公室等。陀螺刀治疗室建筑结构为地上一层，整栋建筑由陀螺刀机房和控制室组成，陀螺刀机房位于陀螺刀治疗室内部西侧，陀螺刀机房东侧与煎药房西墙之间的房间作为控制室，陀螺刀治疗室上方无建筑，下方为土层。

本次新建陀螺刀治疗项目周围 50m 评价范围除东侧至紫馨路，北侧至空地（临时停车场），其余方向均位于医院边界内，项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及紫馨路少部分行人等。

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。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142号）和《江苏省关于加强生态红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于江阴市中心城区重点管控单元（编码：ZH32028123900）内，不在江阴市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。本项目为核技术利用项目，满足重点管控单元的管控要求。

本项目陀螺刀机房与控制室分开，区域划分明确，选址及布局合理。

四、辐射环境现状评价

江阴南闸医院有限公司本次新建陀螺刀治疗项目拟建址周围环境辐射剂量率在56nGy/h~104nGy/h之间，与江苏省环境天然 γ 辐射水平调查结果相比较，未见异常。

五、环境影响评价

根据预测估算结果，江阴南闸医院有限公司本次新建陀螺刀治疗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：本项目陀螺刀机房外30cm处的周围剂量当量率均符合《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）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）、《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）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）。

六、“三废”的处理处置

^{60}Co 放射源使用到一定年限后产生退役的放射源，医院已承诺将退役 ^{60}Co 放射源交由放射源生产厂家回收处理。

陀螺刀机房内的空气在 γ 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，通过动力排风装置排入大气，机房内设置强制排风系统，每小时通风换气次数不少于4次/h，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；工作人员和部分患者产生的普通生活污水，由院内污水处理站统一处理；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。

七、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

江阴南闸医院有限公司拟配备的陀螺刀内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，活度为 $3.145 \times 10^{14} \text{Bq}$ ，为 I 类放射源。主要污染源为放射源产生的 γ 射线。陀螺刀在治疗及储源过程中来自放射源的直射、散射和漏射 γ 射线会穿透屏蔽墙及防护门，对机房内外的工作人员、患者和公众产生外照射影响。

陀螺刀机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标识、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。在陀螺刀机房内设置固定式剂量监测报警装置，其显示单元拟设置在控制室内，陀螺刀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，开门状态下不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到陀螺刀治疗设备的安全位置。医院 ^{60}Co 放射源由生产厂家负责放射源运输、换装。医院承诺退役 ^{60}Co 放射源委托原厂家回收处理，符合《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）及放射源安全管理要求。

八、辐射安全管理评价

江阴南闸医院有限公司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。医院已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。

江阴南闸医院有限公司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。江阴南闸医院有限公司拟配备有辐射巡测仪 1 台，固定式剂量监测报警装置 1 套及个人剂量报警仪 2 台。

综上所述，江阴南闸医院有限公司新建陀螺刀治疗项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和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、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。

三、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

四、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

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	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。	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。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施:陀螺刀机房四侧墙体、顶部采用混凝土结构进行辐射防护,防护门采用铅防护门。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求。	97
	陀螺刀机房防护门设置门机联锁,开门状态下不能出源照射,出源照射状态若开门放射源自动回到陀螺刀设备的安全位置。治疗室外防护门上方拟设置工作状态显示,机房入口设置电离辐射警告标志,机房内及控制室内安装急停按钮,配备监视器及对讲装置,陀螺刀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,在治疗室内设置固定式剂量监测报警装置。	满足《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)的相关要求。	
	放射性“三废”处理措施: ⁶⁰ Co 放射源使用到一定年限后产生退役的放射源,医院已承诺将退役 ⁶⁰ Co 放射源交由放射源生产厂家回收处理。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关要求。	
人员配备	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。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	/
	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),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	拟配备辐射巡测仪 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。	3
	拟配备固定式剂量监测报警装置 1 套。		
	拟配备个人剂量报警仪 2 台。		

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	/	/	100

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：

经办人

公章
年 月 日

审批意见

经办人

公章
年 月 日