

核技术利用建设项目
电子直线加速器、 ^{192}Ir 后装机、DSA 及核医学科项目
环境影响报告表

北京美中爱瑞肿瘤医院有限责任公司

2019 年 2 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

电子直线加速器、 ^{192}Ir 后装机、DSA 及核医学科项目

环境影响报告表

建设单位名称：北京美中爱瑞肿瘤医院有限责任公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市大兴区优龙路明春苑甲 3 号 A 栋、B 栋

邮政编码：102611

联系人：李宁晖

电子邮箱：

联系电话：18612598408

表 1 项目基本情况

建设项目名称		电子直线加速器、192Ir 后装机、DSA 及核医学科项目			
建设单位		北京美中爱瑞肿瘤医院有限责任公司			
法人代表	胡澜	联系人	李宁晖	联系电话	18612598408
注册地址		北京市大兴区优龙路明春苑甲 3 号 A 栋、B 栋			
项目建设地点		北京市大兴区优龙路明春苑甲 3 号 A 栋、B 栋			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	8000	项目环保投资 (万元)	2000	投资比例(环 保投资/总投 资)	25%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			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 type="checkbox"/> I 类(医疗使用) <input checked="" 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 用放射药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其它	/			

1.1 项目概述

1.1.1 医院概况

北京美中爱瑞肿瘤医院有限责任公司在北京市大兴区优龙路明春苑甲 3 号 A 栋、B 栋成立北京美中爱瑞肿瘤医院。北京美中爱瑞肿瘤医院为三级肿瘤专科医院，于 2018 年 3 月 6 日取得《北京市卫生和计划生育委员会关于同意设置北京美中爱瑞肿瘤医院的批复》（京卫医[2018]45 号）；北京美中爱瑞肿瘤医院建设项目于 2018 年 12 月 21 日取得《北京市大兴区环境保护局关于北京美中爱瑞肿瘤医院环境影响报告表的批复》（京兴环[2018]108 号）。

为开展肿瘤诊断及治疗，医院拟设置医学影像科、核医学科、放疗科。购置直线电子加速器、后装机、DSA、PETCT（使用 F-18 核素）SPECT（使用 Tc-99m）、CT

×2、DR、乳腺机。其中 CT×2、DR、乳腺机为Ⅲ类医用 X 射线装置。

本评价工作是对北京美中爱瑞肿瘤医院核技术利用项目进行辐射环境影响评价，根据《建设项目环境影响评价分类管理目录》，使用Ⅲ类射线装置需编制环境影响登记表，根据《建设项目环境影响登记表备案管理办法》，北京美中爱瑞肿瘤医院使用Ⅲ类射线装置另行备案。本报告对拟建设的直线加速器、DSA、后装机和核医学科开展辐射环境影响评价。

1.1.2 本项目建设内容

(1) 射线装置

本项目使用Ⅱ类射线装置 2 台。

表 1-1 X 射线装置使用情况汇总表

序号	设备名称	类别	型号	X 射线	电子线	机房位置 使用科室
1	电子直线加速器	II	VARIAN	6MV、 10MV	6、9、15、 18MeV	地下一层，放疗科
序号	设备名称	类别	型号	管电压 (kV)	管电流 (mA)	机房位置 使用科室
2	DSA	II	GE	125	1250	地下一层，导管室

(2) 密封性放射源

本项目使用 1 台后装机放射治疗装置，使用 2 枚 Ir-192 放射源，总活度 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ (10Ci)，为Ⅲ类放射源。

表 1-2 密封性放射源使用情况

序号	项 目	配置放射源数量及放射技术参数	使用情况
3	Ir-192 后装机	使用 2 枚 Ir-192 放射源，单源活度 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，总活度 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ (10Ci)，为Ⅲ类放射源	放射源置于屏蔽体内；计算机程序控制治疗过程；隔室遥控操作。年治疗患者 800 人次，每日治疗人数不超过 10 人次。

(3) 非密封性放射源

医院门诊楼副一层核医学科：新增使用 F-18、Tc-99m 放射性核素，核素使用量开展诊断，该场所等级为乙级非密封放射性工作场所，如下表 1-3 所示。

表 1-3 本项目实施后核医学科同位素使用情况

核素名称	单例使用量 (MBq)	规划量 (例/日)	日等效最大 操作量 (Bq)	年检查治疗人 数 (例)	年最大 用量 (Bq)	应用目的
F-18	370	20	$7.7\text{E}+07$	5000	$1.85\text{E}+12$	显像
Tc-99m	740	20	$1.5\text{E}+08$	5000	$3.7\text{E}+12$	显像

1.2 环境影响评价内容

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求，受北京美中爱瑞肿瘤医院的委托，核工业北京化工冶金研究院承担了北京美中爱瑞肿瘤医院“电子直线加速器、Ir-192 后装机、DSA 及核医学科项目”项目的环境影响报告表的编制工作，医院在取得该项目的环评批复后将及时申请辐射安全许可证。

本报告在现场踏勘、监测和收集有关资料的基础上，按照国家对辐射建设项目环境影响评价技术规范的要求，编制完成本项目的辐射环境影响报告表，并详细分析和评价在使用过程中，辐射可能对工作人员、周围公众以及周围环境的影响。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	Ir-192	1. 85×10 ¹¹ Bq (10Ci) ×2 枚	III	使用	治疗	后装机机房	后装机机房	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	F-18	液态试剂	乙级	7. 4E+07	7. 4E+07	1. 85E+12	诊断	静脉注射	核医学科	核医学科
2	Tc-99m	液态试剂	乙级	1. 5E+08	1.5E+08	3. 7E+12	诊断	静脉注射	核医学科	核医学科

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》（GB18871-2002）

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	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/ 剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	直线电子 加速器	1	VARIAN	电子	18MeV	\	治疗	放疗科加速 器机房	\

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电 压（kV）	最大管电 流（mA）	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	1	GE	125	1250	医疗诊断	地下一层，导管室	

(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)	最大管电流 (mA)	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
\								

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/m³；年排放量用 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/m³) 和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

法规 文件	<ol style="list-style-type: none"> 1. 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第 9 号，2015 年 1 月实施； 2. 《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 6 号，2003 年 10 月实施； 3. 《中华人民共和国环境影响评价法》，根据中华人民共和国主席令第 48 号修订，2016 年 9 月实施； 4. 《建设项目环境保护管理条例（2017 修订）》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月实施； 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 月实施，2014 年 7 月修订； 6. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，环境保护部令第 44 号，2017 年 9 月实施； 7. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2017 修订）》，环境保护部令第 47 号，2017 年 12 月实施； 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 月实施； 9. 《关于发布射线装置分类的公告》，环境保护部公告，2017 年第 66 号，2017 年 12 月实施； 10. 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，国家环保总局，环发[2006]145 号，2006 年 9 月实施。
技术 标准	<ol style="list-style-type: none"> 1. 《环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)； 2. 《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； 3. 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）； 4. 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）； 5. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； 6. 《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006）；

技术标准	<p>7. 《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）；</p> <p>8. 《X 射线计算机断层摄影放射卫生防护标准》（GBZ165-2012）。</p>
其他	<p>1. 建设单位提供的技术资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定及本项目的放射性辐射特点，本评价取辐射工作场所房墙体边界外 50m 的范围为评价范围。

7.2 保护目标

7.2.1 评价目的

通过对本项目辐射污染途径的分析，在项目周围辐射环境现状调查监测的基础上，评述辐射防护措施的可性，评价本项目在工作过程中对周围环境产生的辐射影响，从环境保护角度上为主管部门提供决策和为医院进行辐射环境管理提供依据。

7.2.2 环境保护目标

本项目环境保护目标是在评价范围内从事本项目放射诊断、治疗的职业人员和机房周围的公众人员。

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

1. 职业照射剂量限值

附录 B，B1.1.1.1 a) 款规定，由审管部门决定的连续 5 年平均有效剂量，20mSv；

附录 B，B1.1.1.1 b) 款规定，工作人员，任何一年中的有效剂量，50mSv；

附录 B，B1.1.1.1 c) 款规定，眼晶体的年当量剂量，150mSv；

附录 B，B1.1.1.1 d) 款规定，四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量，500mSv。

2. 公众照射剂量限值

附录 B，B1.2.1 a) 款规定，年有效剂量，1mSv；

附录 B，B1.2.1 b) 款规定，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；

附录 B，B1.2.1 c) 款规定，眼晶体的年当量剂量，15mSv；

附录 B，B1.2.1 d) 款规定，皮肤的年当量剂量，50mSv。

对职业人员、公众的剂量控制不仅要满足剂量限值的要求，而应依据辐射防护最优化原则，按照剂量约束和潜在照射危险约束的防护要求，把辐射水平降低到低于剂量限值的一个合理达到的尽可能低的水平。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 11.4.3.2 条款规定，剂量约束值通常应在照射剂量

限值 10%~30%的范围之内。本次评价职业人员、公众人员的剂量约束值均采用年剂量限值的 25%，即：

①职业人员采用 5mSv 作为年剂量约束值；

②公众人员采用 0.25mSv 作为年剂量约束值。

7.3.2 《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）

第 4.7 款 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备防护性能的专用要求。

第 4.7.5 款 X 射线设备在确保铅屏风 and 床侧铅挂帘等防护设施正常使用情况下，按附录 B 中 B.1.2 的要求，在透视防护区测试平面上的空气比释动能率应不大于 400 μ Gy/h（按附录 C 图 C.3 的要求）。

第 5 款 X 射线设备机房防护设施的技术要求。

第 5.1 款 X 射线设备机房（照射室）应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

第 5.2 款 每台 X 射线机（不含移动式和便携式床旁摄影机与车载 X 射线机）应设有单独的机房，机房应满足使用设备的空间要求。对于新建、改建和扩建的 X 射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 7-1 要求。

表 7-1 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积（m ² ）	机房内最小单边长度（m）
CT 机房	30	4.5
双管头或多管头 X 射线机	30	4.5
单管头 X 射线机	20	3.5
乳腺机、全身骨密度仪	10	2.5

^a 双管头或多管头 X 射线机的所有管头安装在同一间机房内；

^b 单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个管头各安装在 1 个房间内。

第 5.3 款 X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

a) 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不小于表 7-2 要求。

表 7-2 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mm	非有用线束方向 铅当量 mm
标称 125kV 以上的摄影机	3	2
标称 125kV 及以下的摄影机房、口腔 CT、 牙科全景机房（有头颅摄影）	2	1
透视机房、全身骨密度仪机房、口内牙片机房、 牙科全景机房（无头颅摄影）、乳腺机房	1	1

介入 X 射线设备机	2	2
CT 机房	2（一般工作量） 2.5（较大工作量） ^a	
a 按 GBZ/T180 的要求。		
b) 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 D。		
c) 应合理设置机房的门、窗和管线口位置，机房的门和窗应有其所在墙壁相同的防护厚度。设于多层建筑中的机房（不含顶层）顶棚、地板（不含下方无建筑物的）应满足相应照射方向的屏蔽厚度要求。		
d) 带有自屏蔽防护或距 X 射线设备表面 1m 处辐射剂量水平不大于 2.5 μ Gy/h 时，可不使用带有屏蔽防护的机房。		
第 5.4 款 在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求（其检测方法按 7.2 和附录 B 中 B.6 的要求）：		
a) 具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h；测量时，X 射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。		
b) CT 机、乳腺摄影、机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h；其余各种类型摄影机房外人员可能受到照射的年有效剂量约束值不大于 0.25mSv；测量时，测量仪器读出值应经仪器相应时间和剂量检定因子修正后得出实际剂量率。		
第 5.5 款 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到患者和受检者状态。		
第 5.6 款 机房内布局要合理，应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物；机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。		
第 5.7 款 机房门外应有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯与机房相通的门能有效联动。		
第 5.9 款 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-3 基本种类要求的工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅防护衣；防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb；应为不同年龄儿童的不同检查，配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.5mmPb。		

表 7-3 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者或受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
放射诊断学用 X 射线设备隔室透视、摄影	—	—	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	或可调节防护窗口的立位防护屏；固定特殊受检者体位的各种设备
放射诊断学用 X 射线设备同室透视、摄影	铅橡胶围裙选配：铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、铅橡胶手套、铅防护眼镜	或铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	或可调节防护窗口的立位防护屏；固定特殊受检者体位的各种设备
CT 体层扫描（隔室）	—	—	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—
骨科复位等设备旁操作	铅橡胶围裙选配：铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、铅橡胶手套	移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜选配：铅橡胶手套	铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、阴影屏蔽器具	—

注：“—”表示不要求。

第 6.6 款 移动式和携带式 X 射线设备防护安全操作要求

第 6.6.1 款 在无法使用固定设备且确需进行 X 射线检查时才允许使用移动设备；

第 6.6.2 款 使用移动式设备在病房内作 X 射线检查时，应对毗邻床位（2m 范围内）患者采取防护措施，不应将有用线束朝向其他患者。

第 6.6.3 款 曝光时，工作人员应做好自身防护，合理选择站立位置，并保证曝光时间时能观察到患者和受检者的姿态。

7.3.3 放射性污染控制水平

7.3.3.1 放射性表面污染控制水平

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 中的表 B11 规定了非密封放射性物质工作场所表面污染控制要求，见表 7-4。

表 7-4 工作场所放射性表面污染控制水平 (Bq/cm²)

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

7.3.3.2 放射性废水排放限值

(1) 水污染物排放标准

医院污水站总排口的总 α 和总 β 执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)：总 β 排放限值为 10Bq/L, 总 α 排放限值为 1.0Bq/L。该标准适用于医疗机构污水排放的控制，医疗机构建设项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工验收及验收后的排放管理。

(2) 放射性核素排放限值

根据《电离辐射与辐射源安全基本标准》的第 8.6.2 款规定，不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍的排放流量的普通下水道，并应对每次排放做好记录：

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

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

(3) 低放废液排放要求

放射性废水排放前，医院将委托有监测资质单位对放射性废水进行监测，若满足排放要求，可向北京市生态环境局提交排放申请，审批同意后，将放射性废液直接排入流量大于 10 倍排放量的普通下水道，并每次排放后用不少于 3 倍排放量的水冲洗。

7.3.3.3 操作放射性同位素通风橱及排风口设置要求

《临床核医学卫生防护标准》(GBZ120-2006) 第 4.5 款：合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般不小于 1m/s），排气口应高于本建筑屋脊，并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置，排出空气浓度不应超过有

关法律法规标准规定的限制。

7.3.3.4 放射性固体废物管理

非密封放射性物质工作场所使用的放射性同位素，半衰期较短，可以将放射性废物收集暂存，待衰变时间超过所含半衰期较长核素的 10 个半衰期后，委托有资质单位进行辐射水平监测，如果符合清洁解控水平，经审管部门确认后，再按医疗废物环境管理要求委托有资质的公司收运进行无害化处理。

根据《医用放射性废物管理卫生防护标准》（GBZ133-2009）规定，废物经过存放衰变，比活度降低到 $1.0 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ 以下后，可以作为非放射性废物处理。处置含有放射性固体废物之前须经过环境保护审管部门审批同意方可实施。

7.3.3.5 放射性气体排放控制水平

根据本项目操作非密封放射性物质的污染分析，对项目运行后通过废气排放的 F-18 提出排放控制建议值。本项目建议的公众剂量约束值为 0.1mSv/a 。由《电离辐射与辐射源安全基本标准》附录 B1.3 导出公众通过呼吸途径吸入 F-18、Tc-99m 的 ALI 值。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目位置

北京市大兴区优龙路明春苑甲 3 号 A 栋、B 栋。地里位置详见附图 1。

8.2 辐射环境现状监测

评价单位对北京美中爱瑞肿瘤医院新工作场所进行了 X- γ 辐射剂量率的本底监测。

1. 监测单位

核工业北京化工冶金研究院。

2. 监测项目

X- γ 辐射剂量率。

3. 监测时间与环境条件

监测时间：2018 年 10 月 13 日 9:40-11:30

环境条件：天气：晴； 环境温度：19℃； 相对湿度：42%。

4. 监测仪器

监测仪器名称：便携式 X- γ 剂量率仪

仪器型号：FH40G-L+FHZ672E-10

仪器编号：JC04-03-2015

检定有效期：2018 年 3 月 6 日-2019 年 3 月 5 日

宇宙射线响应值：(17.0 \pm 0.9) nGy/h

5. 监测结果

核医学科周围 X- γ 辐射剂量率本底监测结果见表 8-1，射线装置机房及周围 X- γ 辐射剂量率本底监测结果见表 8-2。监测点位见图 8-6～图 8-9。

表 8-1 核医学科及周围 X- γ 辐射剂量率本底监测结果 (nGy/h)

序号	点位描述		检测值	标准差
A1	地下一层	PET-CT 机房	64.9	1.3
		SPECT 机房	66.5	1.1
A2		操作间位置	65.4	0.8
A3		注射室	61.6	1.0
A4		储源间	77.4	1.3
A5		候诊区	70.4	1.0
A6		注射观察区	72.5	0.8
范 围			61.6~77.4	

注：表中数据已扣除宇宙射线响应值 17.0 nGy/h；

表 8-2 射线装置机房及周围 X- γ 辐射剂量率本底监测结果 (nGy/h)

序号	点位描述		检测值	标准差
B1	地下一层	加速器机房	71.5	1.5
B2		加速器操作间	79.9	1.3
B3		加速器机房门位置	64.7	1.8
B4		医生办公室位置	71.3	1.3
B5	地下一层	DSA 机房内	70.6	1.5
B6		DSA 操作位	76.8	1.0
B7	地下一层	后装机机房内	73.7	2.4
B8		后装机作位置	77.0	2.1
范 围			63.4~82.1	

注：表中数据已扣除宇宙射线响应值 17.0 nGy/h；

8.3 辐射环境现状评价

根据《北京市环境天然放射性水平调查研究》（1989）资料，北京市天然贯穿 X- γ 辐射剂量水平室外为 $(6.88 \sim 9.17) \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，室内为 $(9.60 \sim 14.17) \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ 。

由表 8-1 和表 8-2 可知，拟建项目机房周围 X- γ 辐射剂量率本底监测结果范围为 $(61.6 \sim 82.1) \text{nGy/h}$ ，处于北京市环境天然辐射水平范围之内。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程分析

9.1.1 DSA 设备组成及工作原理

1. 设备组成

DSA 主要由平板探测器、球管、血管机旋转机架系统、介入床、高压注射器、操作台及工作站系统组成。DSA 典型设备图示见图 9-1。



图 9-1 DSA 典型设备图示

2. 工作原理

DSA 是利用影像增强器将透过已衰减的未造影图像的 X 线信号增强，再用高分辨率的摄像机对增强后的图像作一系列扫描，所得到的各种不同的信息经模拟/数字转换器转换成不同值的数字储存于记忆盘中，称作蒙片。然后将注入造影剂后的造影区的透视影像也转换成数字，并减去蒙片的数字，将剩余的数字经数/模转换成各种不同的灰度级，在显示器上构成图像，即成为除去了注射造影剂前透视图像上所见的骨骼和软组织影像，剩下的只是清晰的含有造影剂的纯血管影像。

DSA 装置工作原理示意图见图 9-2。

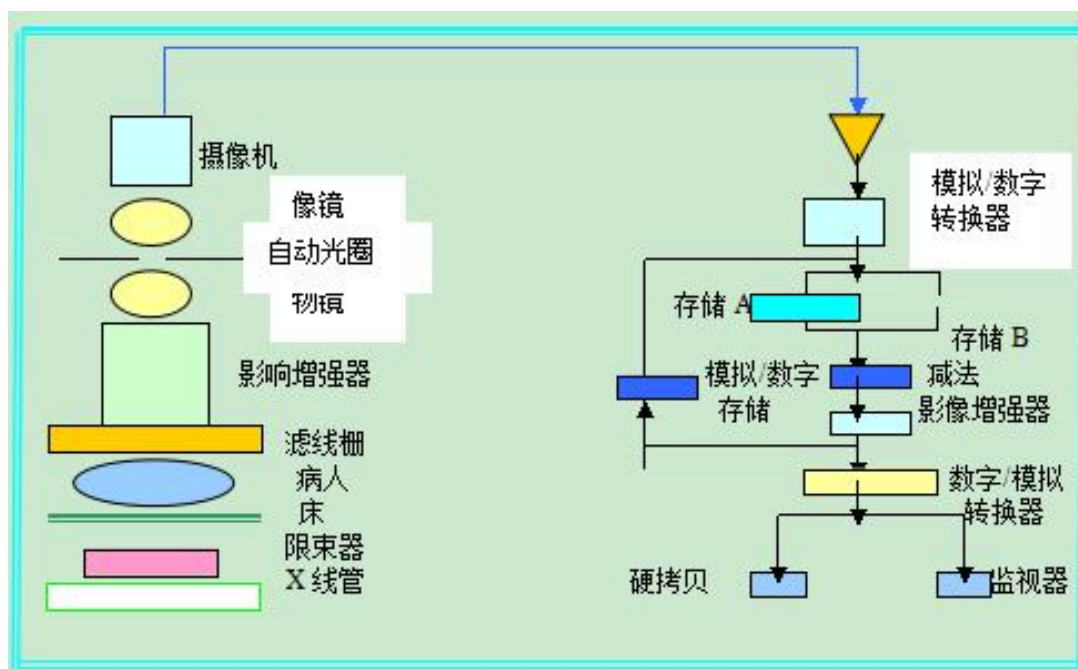


图 9-2 DSA 工作原理示意图

DSA 装置的减影过程:①摄制普通片;②制备 mask 片-蒙片(基片,素片);③摄制血管造影片;④把蒙片与血管造影片重叠在一起印成减影片。根据不同的使用目的,DSA 数字减影具有时间减影、能量减影以及混合减影。

3. DSA 装置的治疗流程

DSA 装置诊疗时,患者仰卧并进行无菌消毒,局部麻醉后,经皮穿刺静脉,送入引导钢丝及扩张管与外鞘,退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内,经鞘插入导管,推送导管,在 X 透视下将导管送达上腔静脉,顺序取血测定静、动脉,并留 X 线片记录,探查结束,撤出导管,穿刺部位止血包扎。

9.1.2 直线加速器工程分析

9.1.2.1 项目组成

电子直线加速器项目主要由加速器机房、控制室、电气辅助机房、模拟定位室、办公室等组成。加速器机房则有主体机房、迷路和防护门组成。

9.1.2.2 加速器主要参数

根据医院提供的资料,拟购 1 台电子直线加速器型号未定预计主要参数如下所示:

电子线能量:

6MeV、9MeV、15MeV、18MeV,4 档可选,最高达到 18MeV;

X 射线能量: 6MV 和 10MV;

电子线最大剂量率：600cGy/min；

加速器最长连续出束时间：≥90min；

机架旋转角度：270°。

9.1.2.3 工作原理

电子直线加速器是将电子枪产生的电子经加速管加速后形成高能电子束的装置。它既可以产生高能电子束，同时，利用高能电子束与靶物质相互作用时的韧致辐射产生 X 射线束，X 射线束的最大能量为电子束的最大能量。因此，作为一种体外照射的治疗设备，电子直线加速器利用其特定装置产生的高能电子束或 X 射线，应用计算机立体定位系统进行图像三维重建和剂量分布，对人体有恶性肿瘤的部位进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损毁。

可根据所诊断癌症类型及其在体中的位置、患者的身体状况和各次给予剂量之间的时间间隔，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射治疗，同时肿瘤周围正常结构得到最大限度的保护，达到治疗肿瘤疾病的目的。既可以用其产生的电子线束治疗病人，也可以用其产生的 X 射线治疗病人。

9.1.2.4 电子直线加速器设备组成

电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的行波加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。电子直线加速器内部结构见图 9-3 所示。

9.1.2.5 电子直线加速器治疗操作流程

(1) 诊断。根据肿瘤部位类型、病理分期、临床症状等资料选择肿瘤放疗适应症患者。

(2) 模拟定位。先通过模拟定位机对患者的病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位；

(3) 计算射线强度。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射的时间；

(4)摆位准备。在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位、标记，调整照射角度及视野；

(5)实施照射。根据已制定的诊疗计划，实施照射；

(6)结束照射。

电子直线加速器完整诊疗流程示意图如图 9-3 所示。

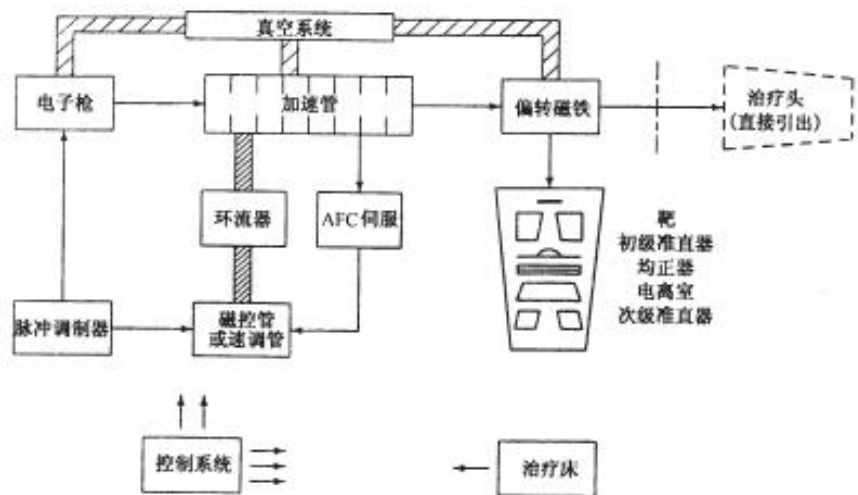


图 9-3 电子直线加速器内部结构图

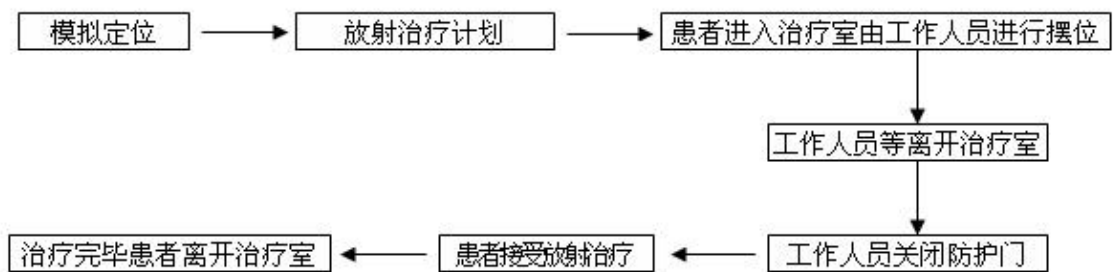


图 9-4 电子直线加速器治疗流程示意图

9.1.2.6 污染因素分析及污染因子

(1)放射性辐射

①X 射线及高能电子束

工作时，将产生 X 射线及高能电子束有用线束辐射、泄露辐射、散射辐射和天空散射辐射，对机房周围环境造成一定辐射污染。由于 X 射线的贯穿能力极强，对周围环境造成污染，但运行时产生的 X 射线随加速器的开、关而产生和消失。加速器在运行时产生的高能电子束，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，在加速器开机时间内，产生的 X 射线为主要辐射污染因素。

②中子辐射

本项目电子直线加速器的 X 射线最高能量为 10MV，高能光子会与 X 射线靶、一级准直器、X 射线均整器、X 射线均整器和治疗准直器多种高原子序数的材料如铅、钨等发生（ γ 、n）光核反应，产生中子辐射。本加速器治疗头中产生的中子分为两部分：混在 X 射线野内中子称原射快中子；经治疗头衰减漏射出来的中子称为漏射中子，二者统称直射中子。经治疗室墙壁、天花板、地板多次散射后的中子称为散射中子，其能量较低。上述中子是放射治疗工作中不需要的所以又统称为污染中子。

中子的辐射生物效应远高于 X、 γ 射线，因此在高能电子直线加速器的防护设计中须考虑中子的防护。

③感生放射性

当 X 射线的能量超过阈能时，在空气中产生的感生放射性核素主要是 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、和 ^{41}Ar 。电子直线加速器感生放射性主要由中子引发的，感生放射性核素主要有空气中的 ^{16}N （7.4s）和 ^{41}Ar （1.83h）；偏向磁铁中的 ^{62}Cu （9.7min）、 ^{64}Cu （12.8h）、 ^{66}Cu （5min）；混凝土中的 ^{27}Mg （9.5min）、 ^{24}Na （14.9h）、 ^{28}Cu （2.3min）等等。感生放射性核素的半衰期均较短，在较短时间内即可衰减到较低水平，一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对工作人员和病人造成明显的危害。

(2)放射性气体

当治疗过程用的 X 射线的能量超过产生（ γ ，n）反应的阈能量时，机房空气中还会产生 ^{11}C 、 ^{18}O 等放射性气体。在常用的医用加速器的能量范围内，空气中的所产生的放射性核素主要有 ^{11}C 、 ^{18}O ，他们在衰变过程中产生正电子，即 β^+ 射线， β^+ 射线在空气中的射程只有几米，放射性气体产额很低，半衰期较短，通过合理的通风使其影响降低为忽略不计。

(3)非放射性气体

在加速器开机运行时，产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO 、 NO_2 ）。通过采用通风系统，可明显降低其浓度。

(4)放射性废水

加速器设备中使用的冷却水，特别是靶部分，水中可能含有较强的放射性，冷

却水循环使用。在加速器运行期间，循环水系统的某一部分可能使附近的操作人员受到照射。因此，循环水系统尽量避开可能使工作人员受到照射的地方，或者置于屏蔽区域内。在停机检修循环系统时对工作人员有影响，该项目已在循环泵、热交换机和贮水箱的周围采取了有效的屏蔽措施。

冷却水中被活化的而形成的放射性核素主要为 ^{15}O 、 ^{16}N ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，半衰期时间很短，只需放置一定的时间起活度就可以衰减到较低的水平。

(5) 放射性固体废物

使用的冷却水为去离子水，水循环中使用离子交换树脂，产生报废的离子交换树脂含有放射性核素。另外，靶物质经长期照射后，也可积累一定数量的感生放射性核素，因此，退役的靶和离子交换树脂为放射性固体废物。

9.1.2.7 环境影响因子识别与评价重点

(1) 评价因子识别

① 放射性废水

电子加速器项目使用的冷却水为去离子水，不外排。

② 放射性固体废物

水循环中使用离子交换树脂，产生的报废的离子交换树脂含有放射性核素，应作为放射性废物送至城市放射性废物库集中贮存，统一处置。

③ 放射性废气

当治疗过程用的 X 射线的能量超过产生 (γ, n) 反应的阈能量时，机房空气中还会产生 ^{11}C 、 ^{18}O 等放射性气体。

④ 外照射

a. 韧致辐射 X 射线。

b. 选用 15MV 时必须考虑剩余放射性和中子辐射的防护。

(2) 评价重点

综合上述分析，可以确定本评价项目的评价因子主要为 X(γ)射线、中子。

9.1.3 后装机工程分析

9.1.3.1 工作原理

^{192}Ir 后装治疗机是一台内部装有放射源的近距离内腔照射治疗设备，并与计算

机系统相结合构成放射治疗系统，在后装治疗的同时可通过显示器实时监视放射源的到位情况。

治疗时采用单个 ^{192}Ir 放射源，放射源在插植管道内中运行，放射源送到肿瘤内或肿瘤表面进行照射，并由计算机控制放射源在各个管腔内的停留位置及停留时间，从而精确地控制照射剂量，并把对相邻正常组织的影响限制到最低水平，实现理想的剂量分布。

该技术采用高活度微型化的放射源 ^{192}Ir 发出的 γ 射线对患者进行治疗，发出的 γ 射线能量为 0.16MeV，具有近源处靶区局部剂量高，射程短，周边剂量迅速跌落的特点，可有效提高肿瘤局部照射剂量，保护周围正常组织和重要器官。

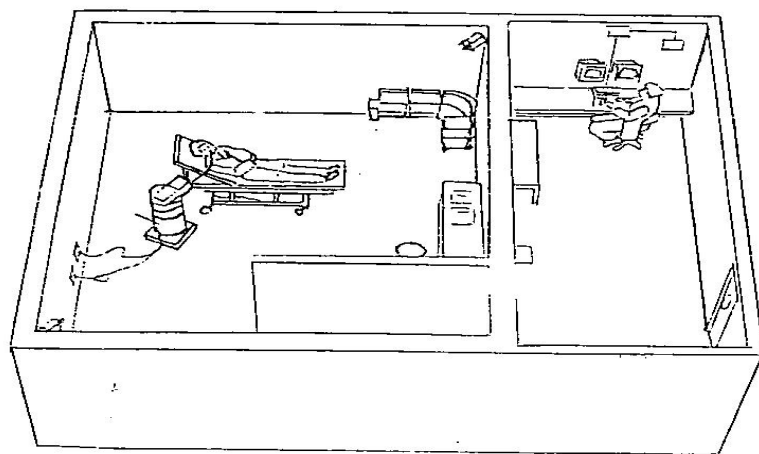


图 9-5 ^{192}Ir 后装机治疗示意图

9.1.4.2 工作流程

- (1) 患者准备，布置患者体位，治疗区域、对患者进行心理指导。
- (2) 拍摄定位片，制定治疗计划。
- (3) 按照治疗计划，进行模拟治疗和实际治疗两部分；在每次治疗前先以模拟源探路，通过模拟源运行，检查导管的连接、插植管道的定位等是否正常，从而确保治疗中放射源的畅通。然后放射源送到肿瘤内或肿瘤表面进行照射。
- (4) 放射源退回到治疗机内，治疗结束。

9.1.4.3 设备组成及自屏蔽

(1) 设备组成

后装机主要由治疗机、控制机和治疗计划系统组成。

(2) 自屏蔽措施

^{192}Ir 后装机具有良好的自屏蔽措施， ^{192}Ir 放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护，防护性能良好。 ^{192}Ir 放射源源罐结构见图 9-7。

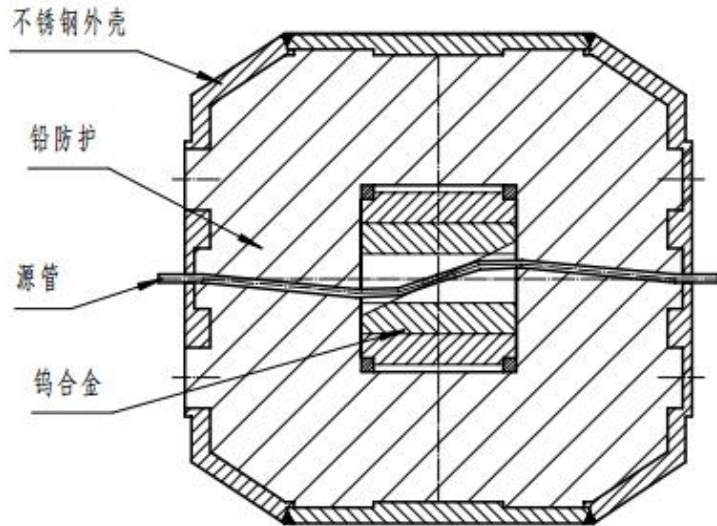


图 9-7 ^{192}Ir 放射源源罐结构图

9.1.3.4 辐射防护设计

(1) 墙体屏蔽

^{192}Ir 治疗室四周墙壁为普通混凝土结构。 ^{192}Ir 治疗室墙体辐射防护设计见表 9-1。

表 9-1 ^{192}Ir 近距治疗室墙体辐射防护设计

防护墙	东墙	南墙	西墙 (迷路外墙)	西墙 (迷路内墙)	北墙	室顶
混凝土防护厚度	600mm	600mm	600mm	600mm	600mm	600mm

(2) 防护门

^{192}Ir 后装治疗机房防护门为电动门，防护门材料由铅板加钢板组成，防护能力 12mmPb 当量。

(3) 安全联锁装置及对讲系统

控制室与治疗室之间设置对讲系统，在治疗室内设置监视器，治疗室入口防护门设计有安全联锁装置，只有防护门关闭后，才能启动设备进行放射治疗。防护门上方设置工作指示灯和电离辐射警告标志。

在主机程序中还设置了自检程序，每次治疗前，系统通电后，整个系统自检（机

器自检、通道自检、冷源模拟系统），只有自检后才能进行治疗，设备未设置参数，不能启动治疗；防护门打开或没有关严时，不能出源，开门则源收入源室。

(4) 后装机治疗室通风设计

后装机治疗室内设计了通风系统，进风口位于防护门上方，穿墙方式为 Z 型。排风口位于室内地面。符合上进下出，对角设置的原则。机房设计排风量 $650\text{m}^3/\text{h}$ ，考虑到通风管道的拐角、距离、口径等因素的影响，实际通风量小于额定通风量，但通风换气次数可以达到不小于 4 次/h 的要求，通风条件良好。

(5) 其他

控制室设计有紧急制动装置，治疗室内设置使放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源监测器（固定式辐射监测仪）。

9.1.3.5 核素 ^{192}Ir 辐射特性

(1) 放射源形态：固体密封放射源；

(2) 物理半衰期：74.0 天；

(3) 衰变方式：

① $\beta\%$ =95.4%

主要有 3 种能量的 β 射线为 225.9keV (5.95%)、256.0keV (41.3%)、672.3keV (48.5%)；

② EC%=4.6%；

③ 有 20 余种不同能量的 γ 射线；

其中有 4 种 γ 射线分支比较大，能量分别为 316.51keV (83.0%)、468.1keV (47.7%)、308.5keV (29.3%)、296.0keV (28.3%)；

(4) ^{192}Ir 衰变纲图示意图：

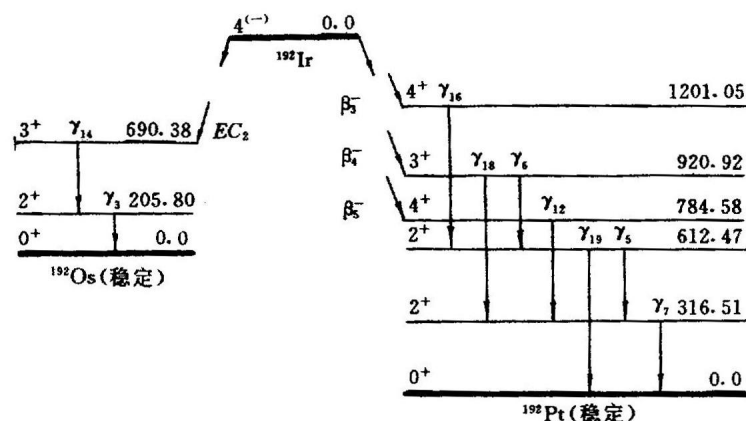


图 9-8 ^{192}Ir 衰变纲图示意图

9.1.4.6 评价因子识别与评价重点

(1) 评价因子识别

① γ 射线

^{192}Ir 的辐射特性可知核素释放 γ 射线， γ 射线穿透能力较强有可能对环境产生辐射影响。 β 射线与物质作用可以产生穿透能力较强的韧致辐射，但是 β 射线的韧致辐射相对于 γ 射线能量可以忽略。

② 正常工况不产生放射性废水、废气、固体废物。

③ 废放射源

^{192}Ir 半衰期 74.0 天，因其自然衰变使其放射性活度逐渐下降。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退役的 ^{192}Ir 放射源，废放射源由生产厂家回收。

(2) 评价重点

本项目的评价因子主要为 γ 射线、退役放射源。

9.1.4.7 事故工况下主要污染途径

(1) 因工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装和换装放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。

(2) 设备设计缺陷或操作人员配合或联络失调，对操作人员产生误照射。

(3) 治疗室处于运行状态时，因故障，发生门-机联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态的治疗室机房，受到不必要的辐射照射。

(4) γ 密封源封装不合格、贮存和运输管理不善，使有关人员受到不必要的照射。

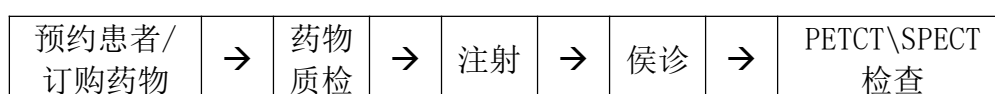
(5) 放射源保管不善，可能发生丢失事故，产生严重的环境污染事故。

9.1.4 核医学科工程分析

9.1.4.1 诊疗工作流程

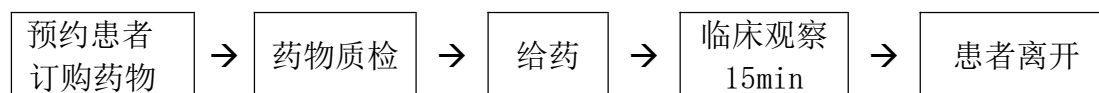
(1) 放射性同位素显像检查

放射性同位素显像医学检查的工作原理是：含示踪核素的放射性药物经由静脉注射方式进入受检者体内，放射性药物分布到特定器官并释放 γ 射线，利用 γ 照相机、PETCT、SPECT等探测成像仪器进行扫描和显像。检查工作流程如下：



(2) 放射性同位素治疗

放射性核素治疗是利用在机体内能高度选择性聚集在病变组织内的放射性药物，在体内杀死病变细胞，达到治疗疾病的目的。具有安全，简便，疗效显著，并发症少的特点，对许多疾病的治疗有着不可取代的独到之处。核素治疗项目操作流程如下：



9.1.4.2 工作场所等级

根据本项目使用放射性药物的化学状态和操作方式，以及所含放射性核素生物学毒性和操作量，计算出核医学科的放射性核素日等效最大操作量分别为 $2.2\text{E}+8\text{Bq}$ ，属乙级非密封放射性物质操作场所，具体见表9-2所示。

表9-2 本项目核医学科同位素调整使用情况

核素名称	单例使用量(MBq)	规划量(例/日)	日等效最大操作量(Bq)	年检查治疗人数(例)	年最大用量(Bq)	应用目的	备注
F-18	370	20	7.4E+07	5000	1.85E+12	显像	
Tc-99m	740	20	1.5E+08	5000	3.7E+12	显像	
合计			2.2E+08	乙级非密封放射性工作场所			

9.1.4.3 放射性污染分析

显像用放射性核素物理半衰期较短，数小时至几天，主要发射 γ 射线、正电子(β^+)。治疗用核素主要产生 β 射线。设备校验用密封放射源发射 γ 射线和 β 射线，

γ 射线能量为 100~660keV。本项目使用的放射性核素主要物理参数列于 9-3 内。

表 9-3 本项目使用的放射性核素主要参数表

核素名称	核素符号	半衰期	衰变方式	主要射线及平均能量 (MeV)
氟 18	F-18	110min	I. T	γ —0. 511
锝 99m	Tc-99m	6. 02h'	E. C; B ⁺	γ —0. 141

(1) 正常工况的污染途径

放射性药物经由静脉注射、口服或其他途径进入患者体内，分布到特定器官并释放 β 射线、 γ 射线。因此，核素诊疗项目的污染因素主要是产生 γ 射线和 β 射线，以及放射性废水和固体废物。放射性废水主要来自于卫生间冲洗用药患者的排泄物（包括呕吐物）产生的废水，以及少量擦拭废水。放射性固体废物主要来源于患者使用的注射器、药杯、放射性药物包装物、棉棒、一次性个人防护用品和垫料等物品。

接受检查者和患者体内放射性核素释放的 γ 射线可能对周围环境产生辐射影响，其体内的放射性核素主要通过尿排出，进入到外环境中造成污染。

(2) 非正常情况的污染途径

1) 进行药物操作时发生放射性污染。放射性物质从患者体内溢出导致放射性污染。放射性物质污染工作场所、衣物、手和皮肤，增加外照射危险程度，还有可能被食入或吸入体内形成内照射。放射性表面污染：在使用放射性同位素的过程中，因容器破碎，药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染，应立即收集污染物，采用擦拭方法进行处理。

2) 放射性药物保管不当，发生遗失或被盜。放射源失控可能造成环境放射性污染。核医学科在高活室内保管放射性同位素，采用双人双锁进行管理，执行使用登记管理制度，可有效防止同位素被盜和丢失事件的发生。

3) 放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

4) 服药患者体内核素活度未降至出院水平以下，即离开治疗区。

9.2 污染源项分析

9.2.1 外照射

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，该院使用的 X 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。X 射线有较强的穿透能力，对环境有一定的影响，因此，在开机期间，X 射线成为污染环境的主要因子。

9.2.2 放射性废水

本项目不产生放射性废水。

9.2.3 放射性固体废物

本项目不产生放射性固体废物。

9.2.4 放射性废气

本项目不产生放射性废气。

综合上述分析，可以确定本项目的评价因子主要为 X 射线。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 机房辐射屏蔽设计

表 10-1 辐射屏蔽参数

序号	设备名称	项目	屏蔽情况	是否符合要求
1	直线加速器	机房室顶	3000mm 混凝土	符合
2		机房地面	地面	符合
3		东墙	迷道 1200mm 混凝土 墙体 1600mm 混凝土	符合
4		南墙	主照射面 3000 混凝土 其余 1700mm 混凝土	符合
5		西墙	1700mm 混凝土	符合
6		北墙	主照射面 3000 混凝土 其余 1700mm 混凝土	符合
7		大防护门	120mm 含硼 10%聚乙烯（内层） 和 20mm Pb	符合
8	DSA	机房室顶	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥	符合
9		机房地面	180mm 混凝土	符合
10		东墙	240mm 砖墙+30mm 硫酸钡水泥	符合
11		南墙	240mm 砖墙+30mm 硫酸钡水泥	符合
12		西墙	240mm 砖墙+30mm 硫酸钡水泥	符合
13		北墙	240mm 砖墙+30mm 硫酸钡水泥	符合
14		大防护门	3mmPb	符合
15	后装机	机房室顶	600mm 混凝土	符合
16		机房地面	100mm 混凝土	符合
17		东墙	600mm 混凝土	符合
18		南墙	迷道 600mm 混凝土 600mm 混凝土	符合
19		西墙	600mm 混凝土	符合
20		北墙	600mm 混凝土	符合

21		防护门	10mmPb	符合
22	核医学科	PETCT 机房东墙	250mm 混凝土	符合
23		PETCT 机房南墙	250mm 混凝土	符合
24		PETCT 机房西墙	250mm 混凝土	符合
25		PETCT 机房北墙	250mm 混凝土	符合
26		PETCT 机房顶面	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥	符合
27		PETCT 机房患者出入口	8mmPb	符合
28		PETCT 机房患者出入口	8mmPb	符合
29		PETCT 机房操作间观察窗	8mmPb	符合
30		SPECT 机房东墙	250mm 混凝土	符合
31		SPECT 机房南墙	250mm 混凝土	符合
32		SPECT 机房西墙	250mm 混凝土	符合
33		SPECT 机房北墙	250mm 混凝土	符合
34		SPECT 机房顶面	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥	符合
35		SPECT 机房患者出入口	8mmPb	符合
36		SPECT 机房患者出入口	8mmPb	符合
37		SPECT 机房操作间观察窗	8mmPb	符合
38		注射、高活、污物、储源室东墙	250mm 混凝土	符合
39		注射、高活、污物、储源室南墙	250mm 混凝土	符合
40		注射、高活、污物、储源室西墙	200mm 混凝土	符合
41		注射、高活、污物、储源室北墙	200mm 混凝土	符合
42		注射、高活、污物、储源室顶面	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥	符合
43		注射、高活、污物、储源室防护门	8mmPb	符合

44		注射窗口	4mmPb	符合
45		运动抢救室东墙	250mm 混凝土	符合
46		运动抢救室南墙	200mm 混凝土	符合
47		运动抢救室西墙	200mm 混凝土	符合
48		运动抢救室北墙	200mm 混凝土	符合
49		运动抢救室顶	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥	符合
50		候诊东墙	400mm 混凝土	符合
51		留观室东墙	200mm 混凝土	符合
52		候诊、留观室南墙	200mm 混凝土	符合
53		候诊、留观室西墙	200mm 混凝土	符合
54		候诊、留观室北墙	200mm 混凝土	符合
55		候诊、留观室顶	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥	符合

备注：根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）附录 D 及《辐射防护手册》（第三分册 辐射安全）表 3.4 对各种屏蔽材料进行铅当量折合。

10.1.2 辐射安全防护用品

按照《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）第 5.9 款的个人防护用品配置要求，配备铅衣、铅围脖、铅手套、铅帽、铅围裙、铅眼镜（防护铅当量 0.5mmPb），并为患者和受检者配备 1 套相应的防护用品。

按照《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）第 5.7 款的防护门要求，拟配置对讲系统、动力排风装置，于大防护门、小防护门安装工作状态指示灯、门机联动系统和电离辐射警告标志。

医院拟配 1 台 X-γ 剂量率仪，每名工作人员均配备个人剂量计，可满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第五款的医院辐射防护器材配备要求。

10.1.3 人员编制

辐射工作人员拟参加放射防护法规与技能培训班的学习，并取得培训合格证书。

10.2 本项目竣工环境保护验收要求

结合 10.1 的相关分析及相关法律法规的相关要求，本项目竣工环境保护验收一览表如表 10-16。

表 10-16 本项目竣工环境保护验收一览表

环境保护 目标情况	验收 内容	环保措施	执行标准
无	X- γ 辐射 剂量 率	射线装置、密封源、非密封源场所四周墙体、防护门外 30cm 处及操作台等处周围剂量当量率不超过 2.5 μ Sv/h。	《医用 X 射线诊断放射防护要求》 (GBZ130-2013)。
	个人 剂量	医院为辐射工作人员每人配 1 支个人剂量计，个人剂量计定期送有检测资质的单位检测。要求工作人员年有效剂量不超过 5mSv，公众人员年有效剂量不超过 0.25mSv。	《放射性同位素与射线装置环境安全管理规定》。
	配备 防护 用品 情况	配备铅衣、铅围脖、铅手套、铅帽、铅围裙、铅眼镜（防护铅当量 0.5mmPb），并为患者和受检者配备 1 套相应的防护用品	/
	废水	/	/
	噪声	/	/

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

建设阶段环境影响已在《北京美中爱瑞肿瘤医院环境影响报告表》中评价，本项目不再评价建设期环境影响。

11.2 DSA 运行阶段对环境的影响

11.2.1 机房屏蔽厚度校核与评价

根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 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，介入 X 射线设备 (DSA) 机房要求有用线束方向铅当量 2.0mmPb，非有用线束方向铅当量 2.0mmPb。结合《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 附录 D 及《辐射防护手册》(第三分册 辐射安全) 表 3.4，对 DSA 机房四周墙体、室顶、地面屏蔽厚度进行校核。

根据表 10-1，结合《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 附录 D 及《辐射防护手册》(第三分册 辐射安全) 表 3.4，计算得出 DSA 机房室顶、地面屏蔽物质折合后铅当量均大于 3mmPb、四周墙体屏蔽物质折合后铅当量均大于 4.5mmPb，满足标准要求。防护门及观察窗防护铅当量均为 3.0mmPb，满足标准要求。

11.2.2 DSA 运行(使用)后对环境的影响

DSA 运行中，不产生放射性废水、废气和固体废物，主要污染物是 X 射线贯穿辐射。

1. DSA 运行参数

手术中 DSA 设备运行分透视和摄影(采集)两种模式。DSA 额定功率最大为 125kV。设备具有自动调强功能，摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低。如果受检者体型较胖，功率自动增强。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和功率通常留有约 30%的余量，即管电压会控制在 90kV 以下。本项目保守取透视和摄影最大运行工况的参数进行估算。

根据建设单位提供的资料，该 DSA 装置预计开展手术量为 1500 例/年，根据经验时间，完成 1 例总出束时间为 15min，其中透视和摄影时间分别为 10min 和 5min，见表 11-1。

表 11-1 拟新增 DSA 运行时间预计

工作状态	管电压	管电流	平均出束时间 / 例	年手术量	年累计出束时间
透视	90kV	10mA	10min	1500	250h
摄影	90kV	500mA	5min	1500	125h

2. 估算公式

根据《电离辐射工业应用的防护和安全》(P32, 2.4 式)和《医用 X 射线诊断放射防护要

求》(GBZ130-2013)附录 D，估算公式确定如下：

$$H_R = \frac{B \times H_0}{R^2} \dots\dots\dots \text{(公式 1)}$$

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{r}} \dots\dots\dots \text{(公式 2)}$$

式中：H_R—距点源 R(m) 处的剂量率， μ Gy/h；
H₀—距靶 1m 处的剂量率， μ Gy/h；
R—计算点距源点的距离， m；
B—透射因子；
X—铅厚度， mm；
α、β、γ 为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，铅对 90kV 管电压 X 射线辐射衰减有关的拟合参数， α 为 3.067， β 为 18.83， γ 为 0.7726。

3. 估算结果

DSA 正常运行工况下离靶 1m 处的剂量率透视取 3.3E+03mGy/h，摄影取 1.65E+05mGy/h(参考 NCRP NO.33 第 57 页图 2，当 X 射线机管电压 90kV 时，离靶 1m 处的剂量率为 5.5mGy/mAmin)。

DSA 图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NRCP147 报告“Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities”4.1.6 节(P62)指出，DSA 屏蔽估算时不需要考虑主束 X 照射，故本项目重点考虑漏射辐射和散射辐射对周围环境的辐射影响。散射辐射的剂量率水平与漏射辐射水平相当(～10⁻³)，但其穿透能力较弱，故计算四周等周围剂量率水平时，保守以泄露辐射水平的 2 倍作为周围的剂量率水平。

表 11-2 DSA1 出束时机房周围的辐射环境影响保守估算结果（ μ Gy/h）

序号	位置	离靶距离 d (m)	铅当量厚度 X, mm	透射因子 B	射线束类型	透视	摄影
1	楼上距地面 30cm 处	3.0	3	0.00027	漏射+散射	0.0002	0.0112
2	东墙外 30cm 处	3.6	4.5	4.39E-06	漏射+散射	0.0041	0.2059
3	西墙外 30cm 处	3.6	4.5	4.39E-06	漏射+散射	0.0041	0.2059
4	南墙外 30cm 处	4.0	4.5	4.39E-06	漏射+散射	0.0056	0.2776
5	北墙外 30cm 处	5.8	4.5	4.39E-06	漏射+散射	0.0021	0.1026

6	大防护门外 30cm 处	3.6(近似)	3.00	0.00027	漏射+散射	0.0336	1.680 0
7	小防护门外 30cm 处	5.8(近似)	3.00	0.00027	漏射+散射	0.0167	0.837 1
8	观察窗外 30cm 处	5.8(近似)	3.00	0.00027	漏射+散射	0.0167	0.837 1

备注：DSA1 机房楼顶和四周墙壁防护能力分别以 3mmPb 和 4.5mmPb 进行保守计算。

从上述估算结果可知，在透视和摄影时 DSA 机房周围剂量率最大值分别为 0.0336 $\mu\text{Gy/h}$ 和 1.6800 $\mu\text{Gy/h}$ ，出现在 DSA1 机房大防护门外 30cm 处，满足本项目机房屏蔽体外 30cm 处剂量率控制水平。

上述评价是基于保守假设进行的。实际使用过程中，DSA 功率较估算假设情况低，且患者身体对 X 射线会有部分的吸收，约衰减 1-2 个量级 (NCRP147 号报告)，此外，设备图像增强器对主束有阻挡作用 (NCRP147 号报告)，预计实际运行时，机房周围的剂量率水平可以维持在正常本底水平。

11.2.3 年有效剂量估算

1. 估算公式

$$H=H_r \times K \times T \times t \dots\dots\dots \text{(公式 3)}$$

式中：H 一年有效剂量当量，Sv/a；

K 一有效剂量与吸收剂量换算系数，取 1Sv/Gy；

T 一人员居留因子；

t 一年受照时间，h；

H_r 一 X 剂量率，Gy/h。

2. 职业人员年有效剂量估算

本项目 DSA 室拟配置职业人员数量均为 3 名，其中医生 2 名，护士 1 名。在患者手术时，医生穿戴好铅衣、铅围脖等辐射防护用品，医生操作时可根据实际情况操作脚闸，控制射线开关。无具体任务时，护士可采取躲避措施，以减少受照剂量。

(1) 操作间职业工作人员剂量估算

根据表 11-2 的预测结果，在透视和摄影状态下 DSA 观察窗外 30cm 处剂量率最大值分别为 0.0167 $\mu\text{Gy/h}$ 和 0.8371 $\mu\text{Gy/h}$ ，结合公式 3 估算本项目工作人员年有效剂量，居留因子取 1。

$$H_1=(0.0167 \times 250+0.8371 \times 125) \times 1 \times 10^{-3}=0.109\text{mSv/a}$$

由以上计算结果可知，操作间职业工作人员年有效剂量为 0.109mSv/a，低于本报告提出的工作人员全身 5mSv 的年管理剂量约束值。

11.3 加速器运行阶段对环境的影响

11.3.1 屏蔽计算的有关参数

18MV 电子直线加速器，采用最大加载条件进行估算，即加速器最高标称能量、常用最大剂量率、最大照射野、最大工作负荷等参数进行：

- (1) 正常治疗距离（NTD）：100cm；
- (2) 最大方形辐射野：40cm×40cm；
- (3) 等中心高度：1300mm；
- (4) X 射线泄漏率：≤0.1%；
- (5) 中子射线泄漏率≤0.05%；
- (6) 10MV X 射线，剂量率 600cGy/min ($3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$)；

11.3.2 屏蔽措施

加速器机房采用实体屏蔽，由治疗室、直迷路和防护门组成，控制室与加速器机房分离。治疗室主体内径为 10.6m×6.75m×4.6m（南北长×东西宽×高），使用面积 63.2m²，加速器可朝南、北、上、下方向照射。

治疗室屏蔽参数见表 11-3。

表 11-3 北侧治疗室墙体及防护门防护材料及厚度

墙体、防护门	屏蔽材料及厚度
机房室顶	3000mm 混凝土
机房地面	无地下室地面
东墙	迷道 1200mm 混凝土 墙体 1600mm 混凝土
南墙	主照射面 3000 混凝土 其余 1700mm 混凝土
西墙	1700mm 混凝土
北墙	主照射面 3000 混凝土 其余 1700mm 混凝土
大防护门	120mm 含硼 10%聚乙烯（内层）和 20mm Pb

11.3.3 屏蔽墙的计算

采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)中给出的方法计算。

(1) 计算方法

- 1) 有用线束主屏蔽区厚度（关注点：图 11-2，a、b 点；图 11-3，1 点）

(a) 现有屏蔽厚度的辐射屏蔽透射因子:

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (11-4)$$

式中, B 为辐射屏蔽透射因子;

X_e 为有效屏蔽厚度, cm;

TVL_1 和 TVL 为 X 射线第一个什值层厚度和平衡什值层厚度, 对混凝土, 10MV X 射线分别为 41cm 和 37cm。

(b) 屏蔽体外关注点的剂量率:

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_o \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-5)$$

式中, \dot{H} 为相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_o 为加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

f 为比例因子, 对有用线束为 1, 对泄漏辐射为泄漏辐射比率;

R 为辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, m。

(c) 关注点达到剂量率参考控制水平所需要的屏蔽透射因子 B :

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_o} \cdot \frac{R^2}{f} \quad (11-6)$$

式中, \dot{H}_c 为剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$ 。

(d) 所需要的有效屏蔽厚度 X_e :

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (11-7)$$

式中, X_e 为所需要的有效屏蔽厚度, cm。

(e) 计算实际的屏蔽厚度 X :

$$X = X_e \cdot \cos \theta \quad (11-8)$$

式中, X 为实际屏蔽厚度, cm; θ 为斜射角。

2) 侧屏蔽墙 (关注点: 图 11-2, e、f 点)

主要考虑对泄漏辐射的屏蔽, 估算方法同主屏蔽。

其中泄漏辐射比率 f 为 1×10^{-3} ; 相应 TVL_1 和 TVL 为泄漏辐射值, 对混凝土, 10MV X 射线, 分别为 35cm 和 31cm。

3) 与主屏蔽相连的次屏蔽（关注点：图 11-2， c_1 、 c_2 、 d_1 、 d_2 ，图 11-3， m_1 、 m_2 点）

(a) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区需考虑泄漏辐射和患者散射辐射的复合作用。屏蔽墙外剂量率控制水平定为 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，估算该处的屏蔽时，患者散射辐射的剂量率控制值 \dot{H}_c 取 $1.25 \mu\text{Sv/h}$ ；泄漏辐射的剂量率控制值 \dot{H}_c 取 $1.25 \mu\text{Sv/h}$ 。

(b) 屏蔽透射因子 B ：

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)} \quad (11-9)$$

式中， R_s 为患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

F 为治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

α_{ph} 为患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例。取患者散射角为 30° ，10MV、 30° 的 α_{ph} 取为 2.53×10^{-3} 。

(c) 按式（11-4）中的方法估算墙的屏蔽厚度 X ，10MV 患者散射辐射（ 30° ）的混凝土 $TVL_1 = TVL = 31\text{cm}$ 。

4) 加速器治疗室主屏蔽宽度计算

在等中心距离为 100cm，最大射野为 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ 时，可采用如下公式估算主屏蔽宽度。

$$Y_p = 2[(a + SAD) \tan \theta + 0.3] \quad (11-10)$$

式中： Y_p ：主束墙宽度，m；

SAD ：源轴距，m，l；

θ ：治疗束的额最大张角， θ 取 14° ；

a ：等中心点至墙的距离，m。

根据医院提供的资料北侧治疗室北侧主屏蔽墙宽度为 4000mm，南侧主屏蔽墙宽度为 6300mm，室顶主屏蔽墙宽度为 4000mm。

(2) 计算结果

1) 根据医院提供的屏蔽墙厚度，北侧加速器治疗室周围关注点处的剂量当量率计算结果见表 11-5。

表 11-5 治疗室周围关注点处的剂量当量率计算结果

屏蔽墙	关注点及路径	初始剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制 值($\mu\text{Sv/h}$)	设计墙厚 (mm)	设计墙厚下 墙外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
北墙（主）	0_1-a	3.6×10^8	2.5	3000	0.22

北墙（副）	0-c1 (c2)	3.6×10^5	2.5	1700	0.022
南墙（主）	0 ₂ -b	3.6×10^8	2.5	3000	0.22
南墙（副）	0-d1 (d2)	3.6×10^5	2.5	1700	0.022
西墙	0 ₁ -i	3.6×10^5	2.5	1700	0.15
迷路内墙	0 ₁ -g	3.6×10^5	2.5	1600	0.13
东墙外	0-f	3.6×10^5	2.5	1600	0.19
室顶（主）	0 ₃ -1	3.6×10^8	2.5	3000	0.28

由表 4-6 可见，该加速器治疗室四周及室顶剂量率均低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽墙体放射防护设计符合要求。由于 3 座加速器机房设计尺寸相同，墙体屏蔽措施相同，因此 3 座加速器机房屏蔽墙体放射防护设计符合要求。

2) 加速器治疗室主屏蔽墙宽度，计算结果见表 11-6。

表 11-6 加速器治疗室主屏蔽墙应达到的宽度

序号	墙体	距离 (m)	计算宽度 (m)	设计宽度(m)	是否合格
1	南侧迷路内墙	3.5	2.7	4.3	是
2	北墙	3.5	2.9	3.0	是
3	室顶	4.0	3.1	3.6	是

可见，主屏蔽设计宽度均大于计算宽度，满足要求。

11.3.5 防护门的核算

(1) 计算方法

对该 15MV 加速器，防护门屏蔽厚度的核算考虑三个主要因素：

1) 加速器漏射线穿过迷路内墙，路径“0₁-g”；在迷路内墙厚度 1500mm 时，漏射 X 射线穿透迷道内墙后的最大周围剂量当量率为 $0.13 \mu\text{Sv/h}$ 。

2) 泄漏辐射和有用线束的散射辐射在迷道内的散射；其能量相对中子俘获 γ 射线较低，可以忽略。

3) 散射中子和中子俘获 γ 射线在迷路入口处的辐射剂量，路径“0-B-g”。

a. 总中子注量 Φ_B

迷路的中子散射路径为“0-B-g”。B 点是从等中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线之间的交点。在 B 点的总中子注量 Φ_B 如下：

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \quad (4-11)$$

式中的三项分别是加速器机头外的杂散中子、杂散中子在治疗室内壁的散射中子及所形成的热中子。

式中, Q_n 为在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数, 中子/Gy。查 NCRP No. 151 的表 B. 9, 取 $Q_n=0.46 \times 10^{12}$ 中子/Gy。

d_1 为等中心点 O 至 B 点的距离, 7.7m;

S 为治疗机房的总内表面积, 224m^2 ; (包括四壁墙、顶面和底面, 不包括迷路内各面积)

Φ_B 为等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量, (中子/ m^2)/Gy。

b. 机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率 (\dot{H}_r)

机房内及迷路中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获 γ 射线, 机房入口门外 30cm

(g) 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率 \dot{H}_r ($\mu\text{Sv/h}$) 如下:

$$\dot{H}_r = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot \dot{H}_O \quad (4-12)$$

式中:

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

d_2 是 B 点至机房入口 (g) 的距离, 9.8m;

TVD 是将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离, 对于 15MV 加速器为 3.9m;

\dot{H}_O 是等中心点处治疗 X 射线剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$), 屏蔽计算中可视为 $\mu\text{Sv/h}$ 。

c. 机房入口的中子剂量率 (\dot{H}_n)

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm(g) 处无防护门时的剂量率 \dot{H}_n ($\mu\text{Sv/h}$) 如下:

(4-13)

式中:

S_0 为迷路内口的面积, 9.0m^2 ;

积, $\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_o$ S_1 为迷路横截面 9.0m^2 ;

d_2 为 B 点到迷路入口 (g) 的距离, 9.8m;

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

T_n 为迷路中能量相对高的中子剂量组分 (4-13 式方括号中的第二项) 衰减至十分之一行径的距

$$T_n = 2.06\sqrt{S_1}$$

离 (m)。 T_n 是一个经验值, 与迷路的横截面积有关:

(4-14)

d. 入口门屏蔽

入口门屏蔽设计时, 对于中子俘获 γ 射线, 以铅屏蔽; 对于中子, 以含硼 (10%) 聚乙烯屏蔽。通常使中子和中子俘获 γ 射线屏蔽后有相同的辐射剂量率, 所需的屏蔽防护厚度 X_γ 和 X_n 如下:

$$X_\gamma = TVL_\gamma \cdot \log[2\dot{H}_\gamma / (\dot{H}_c - \dot{H}_{og})] \quad (4-15)$$

$$X_n = TVL_n \cdot \log[2\dot{H}_n / (\dot{H}_c - \dot{H}_{og})] \quad (4-16)$$

(4-15) 和 (4-16) 式中:

X_γ 和 X_n 分别为屏蔽上述两种辐射的不同屏蔽材料的厚度, cm;

TVL_γ 和 TVL_n 分别为中子俘获 γ 射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层, $TVL_\gamma=31\text{mm}$, $TVL_n=45\text{mm}$;

\dot{H}_r 和 \dot{H}_n 分别为按 (4-12) 和 (4-13) 式计算的入口处防护门内的辐射剂量率;

\dot{H}_c 为剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_{og} 为靶点在 O_1 位置时穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率, 经计算为 $0.13 \mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 计算结果

综合上述计算结果, 加速器防护门采用 200mm 含硼 10% 聚乙烯 (内层) 和 22mm Pb (外层) 作为防护材料时, 防护门外总的剂量率为 $0.62 \mu\text{Sv/h}$; 符合剂量率控制限值要求 ($\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$)。

11.3.4 加速器电子对周围环境影响分析

项目电子直线加速器电子最大能量为 18MeV 的，电子在物质中的最大射程由以下公式估算：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\max} \quad (4-17)$$

式中：

d 最大射程，cm；
 ρ 防护材料的密度，2.5g/cm³
 $E_{\beta\max}$ 电子的最大能量，18MeV

经计算，加速器电子最大射程约为 4.0cm，由于加速器机房屏蔽墙体厚度达 150cm 以上，因此，加速器机房屏蔽墙体可以对电子起到良好的屏蔽作用。

11.3.5 非辐射有害气体的影响

加速器开机运行时，产生的 X 射线与空气相互作用可产生少量臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x），氮氧化物的产额低于臭氧，室内非辐射有害气体以 O₃ 为主。机房内空气中产生的非辐射有害气体主要靠通风换气来控制。

加速器治疗室采取机械通风，换气次数不小于 4 次/h，满足 GBZ126-2011 中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

11.3.6 放射性固体废物的影响

加速器工程项目所产生的放射性固体废物，主要来源于两个方面：一是加速器内循环水系统中使用离子交换树脂，吸附极少量较长半衰期的放射性核素，长期积累后，更换的树脂具有一定的放射性；二是加速器使用一定年限或退役时产生的废靶件，含有一定的放射性。

树脂的更换周期一般 3~5 年，放射性水平相对较低。废靶件是加速器所产生的主要固体废物，它不但有短半衰期放射性核素，还有长半衰期的核素，因而应妥善处理。更换树脂及靶件时，将按照有关规定，送城市放射性废物库或有资质的单位存贮和处置。任何情况下不得私自处置，因而放射性固体废物正常情况下不会对环境造成明显影响。

11.3.6 人员所受辐射剂量估算

（1）工作负荷

加速器预计每天治疗 50 人次，平均 4 野/人，1.5Gy/野，每周工作 6 天，每年工作 50 周，则周工作负荷为 $1800\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{wk}$ 。则加速器年出束时间为 250h（50 周×周工作负荷 $1800\text{Gy}\cdot\text{wk}^{-1}$ ÷剂量率 $360\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ）。

（2）机房外有关人员辐射年有效剂量估算

机房外有关人员停留因子参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）选取，具体数值见表 11-8。

表 11-8 停留因子的选取

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗室房门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场，车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

按上述计算的关心点处的辐射水平估算人员可能接受的辐射年有效剂量见表 11-9。

表 11-9 机房工作场所有关人员辐射年有效剂量

场所	墙外 30cm 处剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	停留人员	居留因子	时间 (h/a)	最大年有效剂量 (mSv/a)
东墙外	0.19	辐射工作人员	1/16	250	0.003
控制室	0.19	辐射工作人员	1	250	0.05
北墙外	0.22	公众人员	1/4	250	0.02
室顶外	0.28	公众人员	1/16	250	0.005
防护门外	0.62	慰问者	1/8	250	0.02

（3）摆位人员辐射年有效剂量估算

在加速器使用 10MV X 射线连续治疗的间歇停机中，如辐射工作人员立即进入治疗室摆位，将受到感生放射性的照射。感生放射性辐射水平依据加速器的能量不同而不同。根据

《医用 γ 射束远距离治疗防护与安全标准》规定：X射线标称能量大于10MeV的加速器，距设备表面5cm和1m处有感生放射性造成的吸收剂量率分别不得超过0.2mGy/h和0.02mGy/h。

本评价参考1m处感生放射性标准限制0.02mGy/h进行估算。根据医院预计工作负荷：每年工作50周，每周工作6天，每天摆位次数为50次，每例摆位操作时间2min，10MV档使用率为20%，则场所摆位人员的年受照剂量为

$$0.7 \times 50 \text{ 周} \times 6 \text{ d/周} \times 50 \text{ 次/d} \times (2 \text{ min}/60) \times 20\% \times 0.02 \text{ mGy/h} = 1.4 \text{ mSv}。$$

另外，当加速器发出的射线能量达到或超过空气中某些核素的(γ , n)反应阈能时，将产生感生放射性气体，如 ^{13}N （半衰期10min）、 ^{15}O （半衰期124s）和 ^{11}C （半衰期20.5min）等。这些感生放射性气体被吸入人体后会对摆位人员造成辐射影响。由于这些气体的半衰期较短，且通过机房足够的通风，辐射工作人员适当延缓进入治疗室，可以明显降低感生放射性气体的影响。

为降低所受剂量，辐射工作人员应适当延缓进入治疗室，尽量缩短摆位时间，注意与机头等易于产生感生放射性的部位保持适当距离，同时定期对机房内的辐射剂量进行监测。

(4) 评价结论

加速器工作场所有关人员辐射年有效剂量评价结论见表11-10。

表 11-10 加速器工作场所有关人员辐射最大年有效剂量评价

人员描述	最大年有效剂量 (mSv/a)	年管理剂量约束值 (mSv/a)	是否合格
辐射工作人员	1.46 (0.06+1.4 摆位)	2	是
慰问者	0.02	0.5	是
公众人员	0.03	0.1	是

可知，项目加速器工作场所辐射工作人员接受年有效剂量最大约为1.46mSv/a，慰问者最大年辐射剂量约为0.02mSv/a，公众人员年辐射剂量约为0.03mSv/a，分别满足本评价采用的辐射工作人员、慰问者以及公众年剂量管理目标值分别不超过2mSv/a、0.5mSv/a、0.1mSv/a的管理要求。

11.3.7 电子直线加速器小结

(1) 加速器机房由治疗室、迷路和防护门组成，屏蔽墙体采用重晶石混凝土及普通混凝土为防护材料，防护门含有硼聚乙烯和铅作为防护材料。工作场所控制室内应设电视监控系统、对讲系统，工作场所应设置应急按钮。防护门应设门-机联锁装置、辐照警示灯、

电离辐射警告标志。机房电缆穿墙管道及排风管道在穿越墙体时分别按“U”型、“Z”型设计。

(2) 屏蔽厚度校核表明, 加速器机房各侧屏蔽墙外 30cm 处辐射剂量率最大为 $0.22 \mu\text{Sv/h}$, 防护门外 30cm 处辐射剂量率最大为 $0.62 \mu\text{Sv/h}$ 均小于目标控制值 $2.5 \mu\text{Sv/h}$; 有用线束穿过迷路内墙到达防护门出口处的辐射剂量率为 $0.13 \mu\text{Sv/h}$, 满足 $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 的参考控制水平要求。

(3) 经估算, 各主屏蔽设计宽度均大于计算宽度, 均满足要求。

(4) 在达到本评价提出的防护厚度要求后, 项目加速器工作场所辐射工作人员年辐射剂量最大约为 1.46mSv/a , 慰问者最大年辐射剂量约为 0.02mSv/a , 公众人员年辐射剂量约为 0.03mSv/a , 分别满足本评价采用的辐射工作人员、慰问者以及公众年剂量管理目标值分别不超过 2mSv/a 、 0.5mSv/a 、 0.1mSv/a 的管理要求。

(5) 排风口设置满足“高进低出、对角设置”的要求。加速器治疗室采用机械通风, 设计换气次数满足 GBZ126-2011 中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

(6) 加速器主要的放射性固体废物是更换下来的废靶件和废离子交换树脂, 全部送城市放射性废物库收贮。

11.4 后装机影响分析

11.4.1 γ 空气吸收剂量率估算公式

$$D = K \frac{D_0}{r^2} \quad (4-20)$$

公式中: D — γ 空气吸收剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

D_0 —距离焦点 1m 处的剂量率, $4.19 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$;

K —材料衰减系数, $K=1/2^{d/\text{HVL}}$, 其中 d 为屏蔽厚; HVL 为半值层;

r —参考点距离后装机焦点的距离, m;

无屏蔽状态 (裸源) 的 γ 空气吸收剂量率估算

由于在放射治疗过程中, 放射源几乎是裸露的, 可以认为是无屏蔽状态。其估算公式为:

$$\dot{D} = 0.873 \times K \times \frac{\Gamma \times A}{r^2} \quad (4-21)$$

式中: Γ ——照射量率常数: $\frac{Rm^2}{hCi}$;

A ——放射源活度, Ci;

其它同公式(4-20)。

由《计量测试技术手册》（第12卷，中国计量出版社）查出 ^{192}Ir 的 Γ 常数为 $0.463\text{ Rm}^2/\text{Cih}$ 。由公式(4-21)可以估算无屏蔽状态(裸源)下距源1m处的 γ 空气吸收剂量率 $4.19\times 10^4\text{ }\mu\text{Gy/h}$ 。

11.4.2 主射束估算

^{192}Ir 衰变特性： γ 射线平均能量为316.5keV，该能量对应于混凝土和铅的半值层分别为50mm、3mm（《工业 γ 射线探伤卫生防护标准》GBZ132-2008中表B.1不同材料半值层厚的近似值）。

^{192}Ir 治疗室四周墙壁为普通混凝土结构，内径东西长5.7m，南北宽4.6m，高4.5m。

^{192}Ir 后装治疗机房防护门为电动门，防护门材料由铅板加钢板组成，防护能力12mmPb当量。

表 11-11 ^{192}Ir 放射源工作状态下 γ 空气吸收剂量率预测结果

^{192}Ir 最大装源活度	$3.7\times 10^{11}\text{Bq}(10\text{Ci})$				
墙 体	东墙外 30cm	西墙外 30cm	北墙外 30cm	南墙（迷路内、外）外 30cm	室顶外 30cm
墙体厚度	600mm	600mm	600mm	600mm（内） +600mm	600mm
半值层	50mm	50mm	50mm	50mm	50mm
墙体与源距离（m）	2.7	2.7	2.7	4.3	2.4
剂量率（ $\mu\text{Gy/h}$ ）	1.4	1.4	1.4	0.0002	1.5

注： ^{192}Ir 放射源置于治疗室中央。

由上述估算可知， ^{192}Ir 放射源工作状态下对四周墙外30cm处由贯穿辐射所产生的辐射剂量率均低于 $2.5\text{ }\mu\text{Gy/h}$ ，满足要求。

参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第一部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）室顶为偶然居留场所，居留因子小于等于1/2，其辐射水平小于等于 $10\text{ }\mu\text{Gy/h}$ 即可，经估算室顶混凝土厚度为250mm+铅板为9mm时，室顶外30cm处剂量率为 $8.1\text{ }\mu\text{Gy/h}$ ，满足要求。

11.4.3 剂量估算

(1) 工作人员年有效剂量

该院提供的后装治疗机放射治疗工作负荷为：后装平均每天3人次，一次400~600cGy，2人摆位，每次1min，每年工作天数300天。后装治疗机全年照射时间约为30h，工作人员摆位时间约为15h。工作人员在操作室接受的贯穿辐射由表4-15可知为 $1.4\text{ }\mu\text{Gy/h}$ ，则工

作人员接受的年有效剂量为：

$$H_1=0.7 \times 1.4 \mu\text{Gy/h} \times 30\text{h} \times 10^{-3}=0.03\text{mSv/h}。$$

当工作人员进入治疗室进行摆位时，还会受到后装机泄漏辐射造成的年有效剂量。医院未能提供后装机泄漏剂量率，根据国家标准《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2002）中的要求，距贮源器100cm处泄漏辐射剂量率不得大于 $10 \mu\text{Gy/h}$ ，则本项目摆位人员接受的年有效剂量为：

$$H_2=0.7 \times 10 \mu\text{Gy/h} \times 15\text{h} \times 10^{-3}=0.11\text{mSv/h}。$$

工作人员接受的最大年有效剂量为：

$$H=H_1+H_2=0.03+0.11=0.14\text{mSv/h}。$$

低于本报告的工作人员年剂量约束值 2mSv ，对工作人员是安全的。

(2) 公众年有效剂量

根据估算数据，在 ^{192}Ir 治疗机工作时，公众所能到达的位置，取室顶辐射剂量率最大为 $8.1 \mu\text{Gy/h}$ ，居留因子取 $1/4$ ，公众接受的年有效剂量为：

$$H=0.7 \times 8.1 \mu\text{Gy/h} \times 30\text{h} \times 1/4 \times 10^{-3}=0.05\text{mSv/h}。$$

低于本报告的公众年剂量约束值 0.1mSv ，对公众是安全的。

11.4.4 放射源贮源状态泄漏辐射对工作人员的影响

按照GB18871-2002的规定，一次应急事件全身照射的剂量不应超过职业人员最大单一年份剂量限值的10倍。 ^{192}Ir 后装机工作状态下，停电、卡源或意外中断照射事故发生，此时工作人员可迅速通过在控制室的手动系统完成回源，若手动系统此时也损坏或不能使用，工作人员可迅速进入治疗室，利用治疗机上的手动系统完成手动回源，然后关闭屏蔽门等动作。手动关源整个过程需要1min，本项目距放射源1m处的射束辐射剂量率最大为 $4.19 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$ ，停留因子 $T=1$ ，工作人员在1min内所受剂量为 0.7mSv ，能够满足GB18871-2002的“一次应急事件全身照射的剂量不超过职业人员最大单一年份剂量限值的10倍”的规定。医院应经常对设备性能进行检查，防止该情况发生。

11.4.5 放射源运输与换源

本项目 ^{192}Ir 密封源运输事宜由供货厂家承担，密封源是由专人、专车运输，保证运输安全。本项目换装源操作由专人负责，整个过程约需要0.5min，本项目距放射源1m处的辐射剂量率最大为 $4.19 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$ ，停留因子 $T=1$ ，工作人员在0.5min内所受剂量为 0.35mSv ， ^{192}Ir 放射源约4个月换源一次，则整年更换源需要操作3次，一年所接受的剂量

最大为 1.05mSv，满足职业人员年管理剂量约束值的管理要求。建设单位应严格按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关规定，做好安全与防护工作；安装放射源后须请有监测资质的单位对剂量进行监测，换装源过程的影响是可控的。

11.4.6 退役放射源对环境的影响

后装机正常工作规程中，不产生放射性固体废弃物，但经过一定使用年限后，会产生报废或退役放射源。按照《城市放射性废物管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的有关规定，未经批准不得擅自处理。使用放射源单位应当与生产放射源单位签订废旧放射源返回合同，在放射源废弃后 3 个月内将废放射源交回生产单位进行安全处置，废放射源回收参照放射源转让程序办理。废源送贮完成之日起 20 日内，应及时向环境保护主管部门备案，申请办理放射源注销手续。

综上，本项目后装机机房屏蔽措施符合标准要求，退役源得到妥善处理，不会对周围环境造成影响。

11.4.7 机房辐射防护评价

本项目 ^{192}Ir 后装机机房所采取的防护措施与《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2002）的对比情况见表 11-12。

表 11-12 后装机机房防护措施

序号	《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2002）的相关要求	本单位落实情况
1	放射源器表面必须标有放射性核素名称，最大容许装载活度和牢固、醒目的电离辐射警告标识。	在贮源器表面设计标明放射性核素名称，最大容许装载活度及电离辐射警告标识。
2	装载后装治疗用放射源的运输贮源器（或工作贮源器）除运输外，必须存放在限制一般人员进入的放射治疗室或专用贮存库内。	装载 ^{192}Ir 放射源的后装机放置于后装机机房，并限制一般人员进入。
3	实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源必须能自动返回工作贮源器。当自动回源装置功能失效时，必须有手动回源措施进行应急处理。	控制室及治疗机上均设计手动回源功能。
4	放射治疗室必须经专业人员设计，治疗室必须与准备室和控制室分开设置。治疗室使用面积应不小于 20m^2 。	治疗室与准备室和控制室分开设置，治疗室面积为 26.22m^2 ，符合要求。
5	治疗室入口必须采用迷路设计，设置门机联锁，并在治疗室门上要有声、光报警。治疗室内应设置使放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源监测器。	治疗室设计防护门、直行迷路、门机联锁装置、工作指示灯、控制室设声、光报警装置。设计装置应急开关使放射源迅速返回贮源器及放射源监测器（固定式辐射监测仪）。治疗室防护门上设计设置声报警。
6	在控制室与治疗室之间设观察窗（或监视器）与对讲机。	机房设计和安装监视和对讲系统。

7	实施放射治疗时，除病人外，治疗室内不得停留任何人员。	执行。
---	----------------------------	-----

另外，还应将工作场所划分为控制区和监督区，进行分区管理。依照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第一部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）规定和要求，应将直接与机房连接的，与机房相关的，放射工作人员工作区，如控制室等划为控制区。监督区包括治疗室防护门外候诊区等，此区域内应尽量减少非工作人员的停留时间，避免受到可能产生的不必要的辐射危害。

11.4.8 后装机小结

（1）由估算可知， ^{192}Ir 放射源工作状态下对四周墙外 30cm 处由贯穿辐射所产生的辐射剂量率均低于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ ，满足要求。

参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第一部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）室顶为偶然居留场所，居留因子小于等于 $1/2$ ，其辐射水平小于等于 $10 \mu\text{Gy/h}$ 即可，经估算室顶混凝土厚度为 250mm+铅板为 9mm 时，室顶外 30cm 处剂量率为 $8.1 \mu\text{Gy/h}$ ，满足要求。

（2）通过年有效剂量估算，工作人员接受的年有效剂量率为 1.4mSv ，低于本项目提出的工作人员年剂量约束值 2mSv ，对工作人员是安全的。

公众接受的年有效剂量率为 0.05mSv ，低于本项目提出的公众年剂量约束值 0.1mSv ，对公众是安全的。

（3）本项目后装机机房屏蔽措施符合标准要求，退役源得到妥善处理，不会对周围环境造成影响。

11.5 核医学影响分析

11.5.1 项目选址和布局

核医学科位于医院地下一层，核医学科墙体全部采用 200mm、250mm 或 400mm 混凝土墙，扫描机房防护门和观察窗采用 8mm 铅当量屏蔽。工作区按照使用功能分区设计，划分为接诊登记区、药物操作间、储源室、治疗室、注射后候诊室、患者卫生间、PETCT、SPECT 扫描室和控制室等建筑空间。核医学科布局图如附图所示。

该工作区为相对独立区域，与其他放射工作场所相对分离，能有效避免交叉污染。受检者由南侧的入口进入核医学科大厅，并通过患者专用通道进入检查工作区，检查结束由专用电梯离开核医学科。检查操作区患者进出通道门安装了电子门禁，以便于实行管理控制。

11.5.2 工作流程如下

(1) 显像检查工作流程:

预约患者在接诊区登记, 在检查前等候区候诊 → 工作人员安排患者进入检查/治疗操作区, 引导患者到在注射窗口接受药物注射或者服用药物 → 患者做规定的活动, 或者直接到指定的候诊室休息待检 → 患者按检查要求排尽小便(如需要) → 患者进入扫描检查室接受检查 → 患者检查完毕, 由东侧通道门离开工作区。

(2) 操作放射性药物工作人员工作流程:

通过工作人员通道区域和值班室, 更换鞋和工作服 → 通过医务人员专用门进入检查/治疗操作区 → 在操作间接收药物 → 核对患者姓名, 按照医嘱给待检患者注射药物 → 指导患者候诊 → 安排患者接受扫描检查 → 工作结束, 在卫生通过间更换鞋和工作服, 洗手或淋浴后离开检查操作区。

(3) 扫描检查工作人员工作流程:

在值班室更衣间更换鞋和工作服 → 进入 ECT 设备控制间 → 核对待检患者检查申请单信息, 交待注意事项, 指导受检者摆位 → 进行扫描、阅片、出具诊断报告 → 工作结束后在更衣间更换工作服、工作鞋, 洗手或淋浴后离开工作区。

检查/治疗操作区和扫描检查室为控制区。接诊登记室、工作人员办公区、检查前等候区和扫描控制室为监督区。药物浓度检测室、药物操作间、储源室、治疗室、病房、注射后候诊室、患者卫生间、功能检查室、ECT 扫描室为控制区。建议医院加强显像检查和核素治疗工作的管理, 使用广播和工作人员引导患者等方式完成检查流程, 告诫注射药物的待检者在规定区域候诊, 提醒陪护者和无关人员避免进入检查操作区和扫描检查室。

11.5.3 工作场所辐射防护设计

PET 显像检查工作区建筑辐射屏蔽设计及防护器材配备情况汇总情况列于表 11-13 内, 表 6.2 为工作区辐射安全防护设施设计核查结果。

表 11-13 放射性核素操作场所辐射防护措施

房间名称	使用功能	辐射防护设计
储源室和药物操作间	暂存、分装显像/治疗药物	墙体采用 200mm 混凝土, 安装 8mm 铅当量防护门。设置分装放射性药物通风操作柜, 操作柜体由 40mm 铅当量屏蔽材料建造, 装 10mm 铅当量玻璃窗, 建专用排风管道通, 排风速率不低于 1m/s, 排风口建于所在建筑顶部高处。水槽排水接放射性废水收集管线, 排入衰变池。
注射台	注射显像药物	注射窗(台)采用 4mm 铅当量屏蔽材料建造。放置 20mm 铅当量屏蔽材质的放射性废物桶。

侯诊室	注射核药的患者侯诊	墙体采用 200mm 混凝土，安装 8mm 铅当量防护门。
给药后患者卫生间	患者检查前方便	墙体采用 200mm 混凝土，安装 8mm 铅当量防护门。卫生间排水收集排放至衰变池。
扫描机房	扫描	墙体采用 250mm 混凝土，安装 8mm 铅当量防护门
患者通道门	人员限行	墙体采用 250mm 混凝土，设机械锁+电子密码锁。

表 11-14 核医学辐射安全防护设施设计核查表

序号	检 查 项 目	设计建造	备注
1*	A 场所设施	场所分区标识	√
2		场所电离辐射警示标志	√
3		出入口有相应的标识和说明	√
4		场所内文字说明、灯光/声响等警示	√
5		安全保卫设施（贮存场所必须）	√ 防盗门、视频监控
6*		通风设施（通风橱/手套箱、记录的流速）	√ 通风橱
7*		注射用屏蔽	√ 设核药注射窗（台）
8*		专用卫生、淋浴设施及下水（乙级场所）	√ 患者专用卫生间及排水收集排放管线
9		放射性下水系统标识	√
10*		放射性同位素暂存库或设施	√ 核药操作柜、铅罐
11*		放射性下水系统或暂存设施	√ 配建废水衰变池
12*	B 监测设备	便携式监测仪器仪表（污染、辐射水平等）	√ 配置表面污染检测仪和 X-γ 剂量率检测仪
13*		个人剂量计	√
14		个人剂量报警仪	—
15*		放射性活度计	√
16	C 个人防护	防护手套、口罩等	√
17*		放射性表面去污用品和试剂	√
18	D 放射性废物和废液	放射性固体废物和废液贮存设施	√
19*		放射性固体废物暂存间	√
20		废物暂存间屏蔽措施	√ 设放射性废物桶
21*		通风系统	√

22	E 应急物资	辐射监测仪器	√	
23		去污用品和试剂	√	
24		必备的警示标志和标识线	√	
25		合适的灭火器材	√	

11.5.4 核医学科现象检查辐射防治措施

1) 药物操作间（注射室）、扫描室、候诊室等采用实体屏蔽措施，保证人员居留场所、墙体及防护门外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

2) 电离辐射与中文警示说明：在药物操作室门外、扫描机房门外、检查候诊区通道门外设置电离辐射警示标识及中文警示说明。

3) 场所按照控制区和监督区分区管理。将药物操作间、治疗室、病房、给药后病人候诊室作为控制区，严格控制人员进入，防止交叉污染。

4) 配备了表面污染监测仪器，供工作人员离开工作场所前进行表面污染监测。此外，将准备去污用品和试剂，一旦发现放射性污染，及时去污。

5) 药物操作间、注射室地面铺装硬质 PVC 地板革，墙面采用防水易清洁涂层。放射性同位素操作台面将采用易去污材料（有机玻璃板等），该场所将配备有活度计。

6) 药物准备间将配套独立排风的通风橱，通风橱的风量应该满足要求（半开情况下，风速大于 1m/s ）。通风橱废气有组织排放，排放口高于所在建筑物屋顶。

7) 注射室将配备防护注射车和防护给药窗。

8) 配备放射性废水暂存衰变池，将给药病人卫生间的冲厕废水、高活室洗手废水排入其中。排放前监测，并向审管部门提交处置申请，经环保部门批准后，排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，然后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

9) 妥善收集固体放射性废物。在操作放射性物质房间设置放废储存箱。废弃的放射性药物注射器、诊断试剂盒、包装物、棉棒、一次性用品等物品按物品类别、日期放入放射性废物储存箱，定期转移至放射性废物库暂存。废物放射性固废经过暂存并符合清洁解控要求后，报审管部门审批同意后作为医疗废物处理送交专业公司处置。

10) 为工作人员配备口罩、工作服、一次性手套等个人防护用品。

11) 将配备个人剂量计、便携式表面污染和剂量率水平检测仪器。

12) 安装有火灾报警器，配备有灭火器材，设有应急通道，有放射性同位素应急包装容器，以及必要的警示标志和警戒线。

11.5.5 放射性“三废”排放环境影响

(1) 放射性固体废物

医院在核医学科操作间等场所配置 3 个放射性废物桶。废弃的药瓶、滤材、管材、注射器、包装物、棉棒、被污染的一次性用品等固体放射性废物收集于废物桶。预计本项目放射性废物暂存超过 10 个半衰期后，放射性废物能够满足清洁解控管理要求，报经审管部门同意，按照医疗废物环境管理要求处置。

根据其他医院核医学科统计资料，核素显像检查过程放射性废物产生量平均为 0.01kg/人次。从核医学科使用规划量保守估算，全年检查约 8400 人次，预计本工作区投入使用后每年产生放射性固体废物总量约 84kg。

(2) 放射性废水

根据核素显像检查规程要求，全身扫描和腹部扫描检查前须排尽小便。核素诊断检查过程产生的放射性废水，主要来自患者使用卫生间后的冲厕废水。预计每个检查日有 40 人使用工作区卫生间，冲厕及洗手产生废水按 5L/次，预计卫生间排放废水量约 0.2m³/d，年产生废水总量约 40m³。

如图 11-1 所示，在距离核医学科北侧约 2 米处地下建有混凝土结构的放射性废水衰变池（推流式），用于收集和对放射性废水进行衰变。核医学科卫生间用水和冲洗废水通过专门排污管道汇集到衰变池中。根据国家放射性废物排放管理要求，排放衰变池废水须经环境保护部门许可，确保废水的放射性水平符合排放标准后，依照 GB18871-2002 中低放废水的排放要求排放。

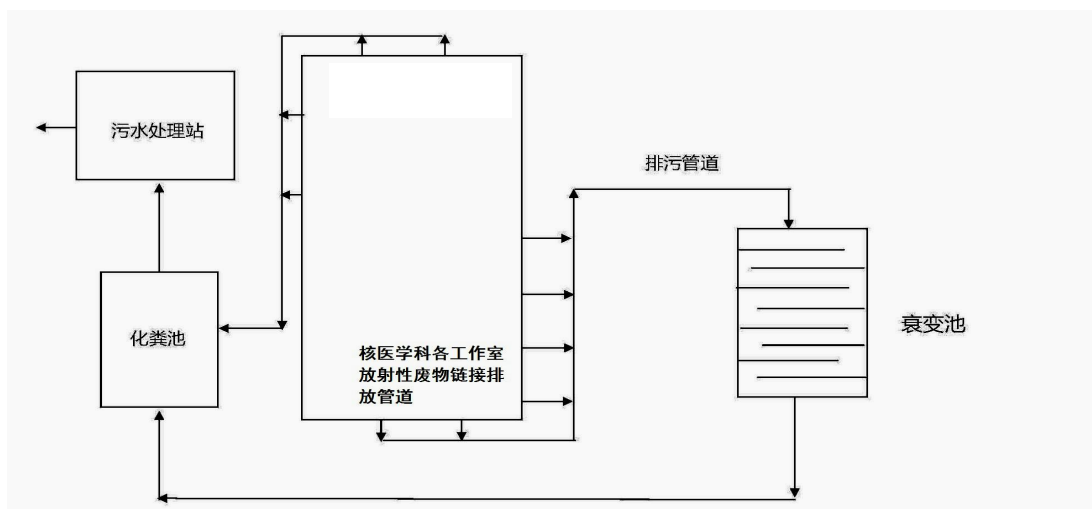


图 11-1 核医学放射性废水排放示意图

(3) 放射性废气

使用 F-18 属简单湿法操作，均在专用通风橱内进行标记分装等操作，在正常工作情况下均不会产生气溶胶和蒸汽，不会造成工作环境的空气污染。一旦出现放射性物质泼洒的情况，也只可能有极其微量的挥发性放射性气载物，均将通过操作柜排风系统在所在建筑物顶部排放。操作柜排风中的极少量放射性物质经大气扩散后浓度会更低。建议医院应定期检查维护通风系统的过滤装置，确保过滤效率满足设计要求。拆下的废弃滤芯及更换的部件应妥善收集，密封包装送交当地放射性废物库处置。

11.5.6 核素显像的贯穿辐射影响

(1) PETCT

药物准备和注射：《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radiation Protection Dosimetry. 98(1), 2002]给出：手持注射器注射活度为 1MBq、容量为 5ml 的 F-18 药液时，对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 1.8×10^{-3} mSv/h。故注射 370MBq (10mCi) 的 F-18，距 30cm 处人的深部当量剂量率分别为 666 μ Sv/h，注射时采用含铅 4mm 铅当量的注射窗进行防护，药物分装标记通风橱采用 4mm 铅屏蔽。药物分装、标记和注射分 2 组人员进行，每日标记分装约 15 分钟（全年 50 小时），单例患者注射时间约 0.5 分钟（全年 25 小时）。

候诊、摆位和扫描：注射 370MBq (10mCi) 的 F-18 药物的病人，1m 处的剂量率约为 30 μ Sv/h (国际放射防护委员会，第 52 号出版物，p14, 1987)。候诊、摆位和扫描人员均分为 2 组，单例患者注射药物后候诊时间约 15 分钟（全年 750 小时），单例患者摆位时间约 0.5 分钟（全年 25 小时，摆位人员距离患者约 100cm），单例患者扫描时间约 15 分钟（750 小时）。

F-18 核素发射的 γ 射线对混凝土和铅的 1/10 值层厚度分别为 24cm 和 17mm。将给药受检者近似为点源，依照剂量率和距离成平方反比的关系，同时考虑墙壁和铅的透射系数，估算 ECT 机房和候诊室周围不同位置关注点的附加剂量率，结果见表 11-14 所示。

表 11-14 PETCT 检查项目运行时工作场所周围辐射剂量率估算

区域	关注点位	人员类别	居留因子 T	距离 R (米)	厚度 h (mm)	屏蔽透射因子 B	Hi μ Sv/h	年剂量值 mSv
扫描机房	控制室墙内侧操作位	扫描摆位人员	1	2.4	250mm 混凝土	2.0E-02	2.07E-02	7.8E-03
	控制室观察窗附近	扫描摆位人员	1	2.4	8mm 铅	1.00E-03	6.58E-04	2.47E-04

	北墙外核医学走廊	扫描摆位人员	1	3	250mm 混凝土	2.0E-02	1.33E-02	5.0E-03
	东墙外功能检查室	接诊巡视人员	1	2.4	250mm 混凝土	2.0E-02	2.07E-02	7.8E-03
	摆位大夫停留处	扫描摆位人员	1	1	——	1.00E+00	3.79E+00	4.74E-02
药物操作间	高活室工作箱表面 30cm	标记分装人员	1	0.7	4mm 铅	1.00E-03	9.94E-01	2.48E-02
注射后候诊室	候诊室墙外通道	接诊巡视人员	1	2.5	250mm 混凝土	2.0E-02	1.91E-02	7.2E-03
	候诊室门外通道	接诊巡视人员	1	2.5	3mm 铅	1.00E-03	6.07E-04	2.28E-04
	西墙外注射室	药物注射人员	1	1.5	200mm 混凝土	2.0E-02	5.31E-02	2.0E-02
职业人员照射	职业人员岗位	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	单次时间 min	年人数 /次数	全年累计工作时间 h	操作组数	居留因子	人均年剂量值 mSv
	标记分装	0.99	15	200	50	2	1	2.48E-02
	注射	0.24	0.5	3000	25	2	1	3.01E-03
	摆位	3.79	0.5	3000	25	2	1	4.74E-02
	扫描	0.02	15	3000	750	2	1	6.2E-03
	接诊巡视	0.02	15	3000	750	2	1	5.72E-03

由表 11-14 估算结果可知，项目运行后核医学科使用核素显像对公众产生的附加剂量率最大值约为 $0.02 \mu\text{Gy/h}$ ，年附加剂量当量 $15 \mu\text{Sv/a}$ 。本项目中职业人员受照剂量如上表所示，假如标记分装和注射为同一组人员，则年受照剂量为 $28 \mu\text{Sv/a}$ ；假如摆位和扫描为同一组人员，则年受照剂量为 $53 \mu\text{Sv/a}$ 。

(2) SPECT

药物准备和注射：《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radiation Protection

Dosimetry. 98(1), 2002]给出：手持注射器注射活度为 1MBq、容量为 5ml 的 Tc-99m 药液时，对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 9×10^{-4} mSv/h。故注射 740MBq(10mCi) 的 Tc-99m，距 30cm 处人的深部当量剂量率分别为 333 μ Sv/h，注射时采用含铅 4mm 铅当量的注射窗进行防护，药物分装标记通风橱采用 4mm 铅屏蔽。药物分装、标记和注射分 2 组人员进行，每日标记分装约 15 分钟（全年 50 小时），单例患者注射时间约 0.5 分钟（全年 25 小时）。

候诊、摆位和扫描：注射 740MBq(20mCi) 的 Tc-99m 药物的病人，1m 处的剂量率约为 3 μ Sv/h(国际放射防护委员会，第 52 号出版物，p16, 1987)。候诊、摆位和扫描人员均分为 2 组，单例患者注射药物后候诊时间约 15 分钟（全年 750 小时），单例患者摆位时间约 0.5 分钟（全年 25 小时，摆位人员距离患者约 100cm），单例患者扫描时间约 15 分钟（750 小时）。

Tc-99m 核素发射的 γ 射线对混凝土和铅的 1/10 值层厚度分别为 18cm 和 10mm。将给药受检者近似为点源，依照剂量率和距离成平方反比的关系，同时考虑墙壁和铅的透射系数，估算 ECT 机房和候诊室周围不同位置关注点的附加剂量率，结果见表 11-15 所示。

表 11-15 SPECT 检查项目运行时工作场所周围辐射剂量率估算

区域	关注点位	人员类别	居留因子 T	距离 R (米)	厚度 h(mm)	屏蔽透射因子 B	Hi μ Sv/h	年剂量值 mSv
扫描机房	控制室墙内侧操作位	扫描摆位人员	1	2.4	250mm 混凝土	1.1E-02	7.0E-03	2.6E-03
	控制室观察窗附近	扫描摆位人员	1	2.4	8mm 铅	8.2E-04	2.2E-04	8.1E-05
	北墙外核医学走廊	扫描摆位人员	1	3	250mm 混凝土	1.1E-02	3.6E-03	1.7E-03
	东墙外功能检查室	接诊巡视人员	1	2.4	250mm 混凝土	1.1E-02	7.0E-03	2.6E-03
	摆位大夫停留处	扫描摆位人员	1	1	——	8.2E-04	1.3E-01	1.6E-02
药物操作	高活室工作箱表面 30cm	标记分装人员	1	0.7	4mm 铅	8.2E-04	3.3E-01	8.0E-03

间								
注射后候诊室	候诊室 墙外通道	接诊巡 视人员	1	2.5	250mm 混 凝土	1.1E-02	6.3E-03	2.4E-03
	候诊室 门外通 道	接诊巡 视人员	1	2.5	3mm 铅	8.2E-04	2.0E-04	7.1E-05
	西墙外 注射室	药物注 射人员	1	1.5	200mm 混 凝土	1.1E-02	1.8E-02	7.0E-03
职业人员 照射	职业人 员岗位	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	单次时 间 min	年人数 /次数	全年累计工 作时间 h	操作 组数	居留因子	人均年剂量 值 mSv
	标记 分装	0.99	15	200	50	2	1	2.48E-02
	注射	0.24	0.5	3000	25	2	1	3.01E-03
	摆位	3.79	0.5	3000	25	2	1	4.74E-02
	扫描	0.02	15	3000	750	2	1	6.2E-03
	接诊 巡视	0.02	15	3000	750	2	1	5.72E-03

由表 11-15 估算结果可知，项目运行后核医学科使用核素显像对公众产生的附加剂量率最大值约为 $0.02 \mu\text{Gy/h}$ ，年附加剂量当量 $1.6 \mu\text{Sv/a}$ 。本项目中职业人员受照剂量如上表所示，假如标记分装和注射为同一组人员，则年受照剂量为 $28 \mu\text{Sv/a}$ ；假如摆位和扫描为同一组人员，则年受照剂量为 $53 \mu\text{Sv/a}$ 。

11.6 运行分析与评价

由上述运行期间的预测分析可以看出，医院正常运行期间：通过机房屏蔽厚度校核可知，机房四周墙体、地面、防护门等所需的防护当量满足标准要求。因此，辐射设施的屏蔽措施是有效的、可靠的。

工作人员全身年有效剂量不大于 1.452mSv/a ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定职业人员的剂量限值 20mSv/a ，也低于本报告提出的 5mSv/a 的管理剂量约束值。

公众成员年有效剂量不大于 0.0546mSv/a ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定职业人员的剂量限值 1mSv/a ，亦低于本评价提出的 0.25mSv/a 的公众人员年管理剂量约束值。

11.7 事故影响分析

11.7.1 风险识别

事故风险主要来自于设备工作状态环节。其潜在的危害因素主要有：

1. 职业人员、患者家属或维修人员尚未撤离机房时误开机，对职业人员、患者家属或维修人员产生不必要的 X 射线照射，造成辐射伤害；
2. 控制系统出现故障，照射不能停止，患者受到计划外照射；
3. 工作状态指示灯、电离辐射警告标志等防护设施不完善或失灵，或者防护门发生故障，导致人员误入或停留射线装置室内而受照；
4. 移动 C 型臂使用时，周围非工作人员未及时撤离导致照射。

11.7.2 环境风险防范措施

1. 职业人员须严格按照射线装置操作程序进行操作，确定机房内无职业人员、患者家属或维修人员后可开机，以免接受不必要的辐射照射；
2. 制定自检制度且严格进行经常性自检，如工作状态指示灯、电离辐射警告标志损坏或失灵，或者防护门出现故障，应立即补充、修复；
3. 项目应严格遵循所使用辐射设备的安全使用年限，严禁超期使用辐射设备，避免机械事故造成污染。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

医院将成立了辐射安全与环境保护管理机构，负责辐射安全与环境保护。领导小组详见表 12-1。

表 12-1 辐射安全领导小组

职责	职务	部门	专/兼职
组长	副院长	院办	兼职
组员	医务处主任	医务处	兼职
	院务处主任	院务处	兼职
	放疗科主任	放疗科	兼职
	放射科主任	放射科	兼职
	保卫科主任	保卫科	兼职
	院务处致远	院务处	兼职

12.2 辐射安全规章制度

北京美中爱瑞肿瘤医院目前已制定了《辐射安全管理制度》，包括放射诊疗管理岗位责任制度、放射性工作人员培训制度、放射性工作人员的健康管理、事故管理等。

12.3 辐射监测

医院已制定《监测方案》，拟购置 1 台 X- γ 剂量率仪，1 台 α 、 β 表面污染测试仪。建议医院定期或不定期地对工作场所和周围环境进行监测。如发现异常情况，应及时对工作场所和环境进行监测。

12.3.1 辐射剂量率监测

(1) 监测项目

X- γ 辐射剂量率

(2) 监测范围

X- γ 辐射剂量率监测以机房及放射性工作场所为中心，周围 50m 范围内。

(3) 监测频次

1~2 次/年，应急状况随时监测。

(4) 监测点位

控制室操作位，观察窗，防护门外 30cm，机房四周墙外及相邻房间，以及其他可

能受到辐射影响的位置。

12.3.2 个人剂量监测

操作人员应配戴个人剂量计（剂量片），委托有资质的监测机构每三个月检测一次，监测数据填入个人剂量档案。个人剂量档案要符合《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）要求，做到人手一册，由专人负责管理，长期保存。

12.4 辐射事故应急

建设单位根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》等法律法规的要求，制定了《辐射事故应急预案》。一旦发生风险事件时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，保护工作人员、公众和环境的安全。该预案包括以下内容：

12.4.1 放射事件应急处理机构与职责

(1) 医院成立辐射安全与环境保护管理机构，组织开展风险事件的应急处理救援工作。

(2) 应急处理领导小组职责

① 定期组织对设备和人员进行辐射防护情况自查和监测，发现事故隐患及时督导整改；

② 发生人员受超剂量照射事故，应启动应急预案；

③ 事故发生后立即组织有关部门和人员进行事故应急处理；

④ 负责向环保及卫生行政部门及时报告事故情况；

⑤ 负责辐射事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作；

⑥ 人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量；

⑦ 负责迅速安置受照人员就医，及时控制事故影响。

12.4.2 辐射事故应急救援应遵循的原则

① 迅速报告原则；

② 主动抢救原则；

③ 生命第一的原则；

④ 科学施救，控制危险源，防止事故扩大的原则；

⑤ 保护现场，收集证据的原则。

12.4.3 辐射事故应急处理程序

① 事故发生后，当事人应立即通知同工作场所的工作人员离开，并及时上报辐射事故应急处理领导小组；

②应急处理领导小组召集专业人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案；

③事故处理必须在应急处理领导小组的领导下，在有经验的工作人员和卫生防护人员的参与下进行；

④各种事故处理以后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生原因，从中吸取经验教训，采取措施防止类似事故重复发生。

总之，为减少事故发生，必须加强管理力度，提高职业人员的技术水平，严格按照规范操作，认真落实应急预案，并加强设备检查和维修，减少故障发生，提高单位应急能力，从而确保系统安全。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1 结论

1、本项目目的在于开展医学放射诊疗，对保障人民群众身体健康、拯救生命将起到十分重要的作用，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

2、本项目辐射工作在医院内部相对独立的工作区域内，机房充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，对公众影响较小。因而从辐射环境保护方面论证，数字减影血管造影机机房的选址是合理可行的。

3、由对医院新增的机房辐射屏蔽措施分析可知，机房的屏蔽能力符合辐射防护安全的要求。

4、根据现场监测和估算结果可知，辐射工作运行时，预计工作人员和公众的年受照剂量均低于相应剂量约束限值（5mSv/a、0.1mSv/a），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。

5、辐射安全防护管理：医院设有辐射安全与环境保护管理机构，负责全院的辐射安全管理和监督工作。有较健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训计划、健康体检制度、辐射事故应急预案和设备检修维护制度。

综上所述，电子直线加速器、¹⁹²Ir 后装机、DSA 及核医学科项目，相应的辐射安全制度和辐射防护措施基本可行，在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施及建议前提下，其运行对周围环境产生的辐射影响，符合环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，本项目的运行是可行的。

13.2 承诺

为了保护环境，保障人员健康，北京美中爱瑞肿瘤医院有限责任公司承诺：

- 1) 严格按照项目设计图纸和施工技术规范组织施工，加强施工质量管理。
- 2) 不断完善管理制度，落实管理责任，进一步加强全院的辐射安全管理。
- 3) 按《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》(环保部 18 号令)的有关要求开展个人剂量监测、工作场所监测和环境监测工作。
- 4) 加强辐射工作人员管理，承诺本项目申请辐射安全许可证前，完成放射科其它辐射工作人员的复训工作，此外，辐射安全负责人也参加辐射安全与防护培训。

5) 在项目运行过程中不违规操作和不弄虚作假。

6) 及时办理辐射安全许可证重新申领手续。设备试运行后，及时办理环保自主验收手续，运行过程中接受环保部门的监督检查。

13.3 项目环保验收内容建议

根据项目建设和运行情况，评价单位建议本项目竣工环境保护验收的内容见表13.1。

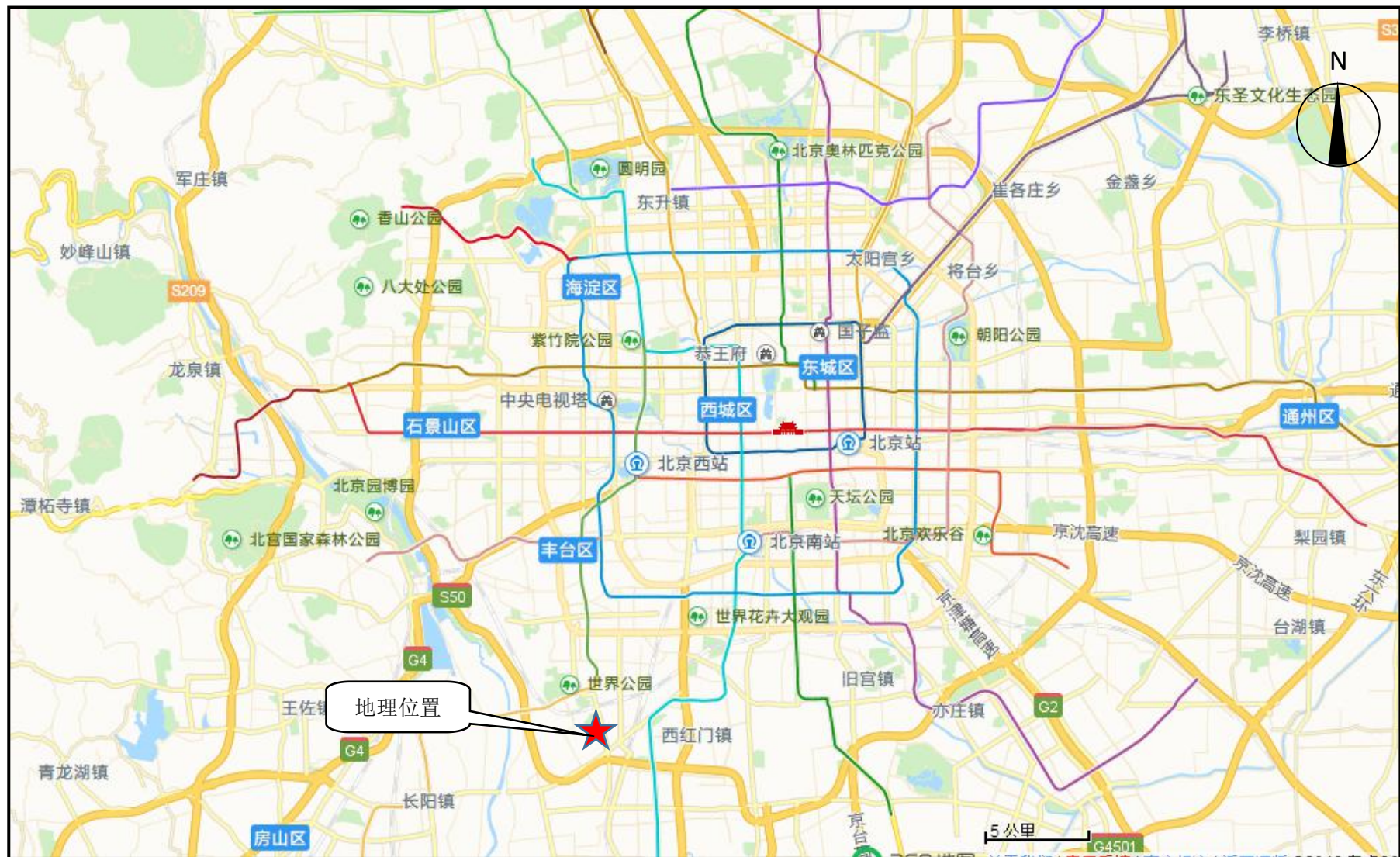
表13.1 项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告预测，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 5mSv/a 要求。
剂量当量率	机房外周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。
电离辐射标志和中文警示	在辐射工作场所设有出束工作状态指示灯，防护门外贴有电离辐射警告标志。
布局和屏蔽设计	辐射工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。辐射工作场所墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。
辐射安全设施	机房设有门灯联动、工作警示灯和电离辐射警告标志等。
监测仪器	配备检测仪器：拟新配 1 台辐射监测仪。新增辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案。
规章制度	已经制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员培训计划等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。
人员培训	辐射工作人员参加环保部或市环保部门认可的培训机构的培训。
应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。配备必要的应急器材、设备。针对使用射线装置过程中可能存在的风险，建立应急预案，落实必要的应急装备。进行过辐射事故（件）应急演练。

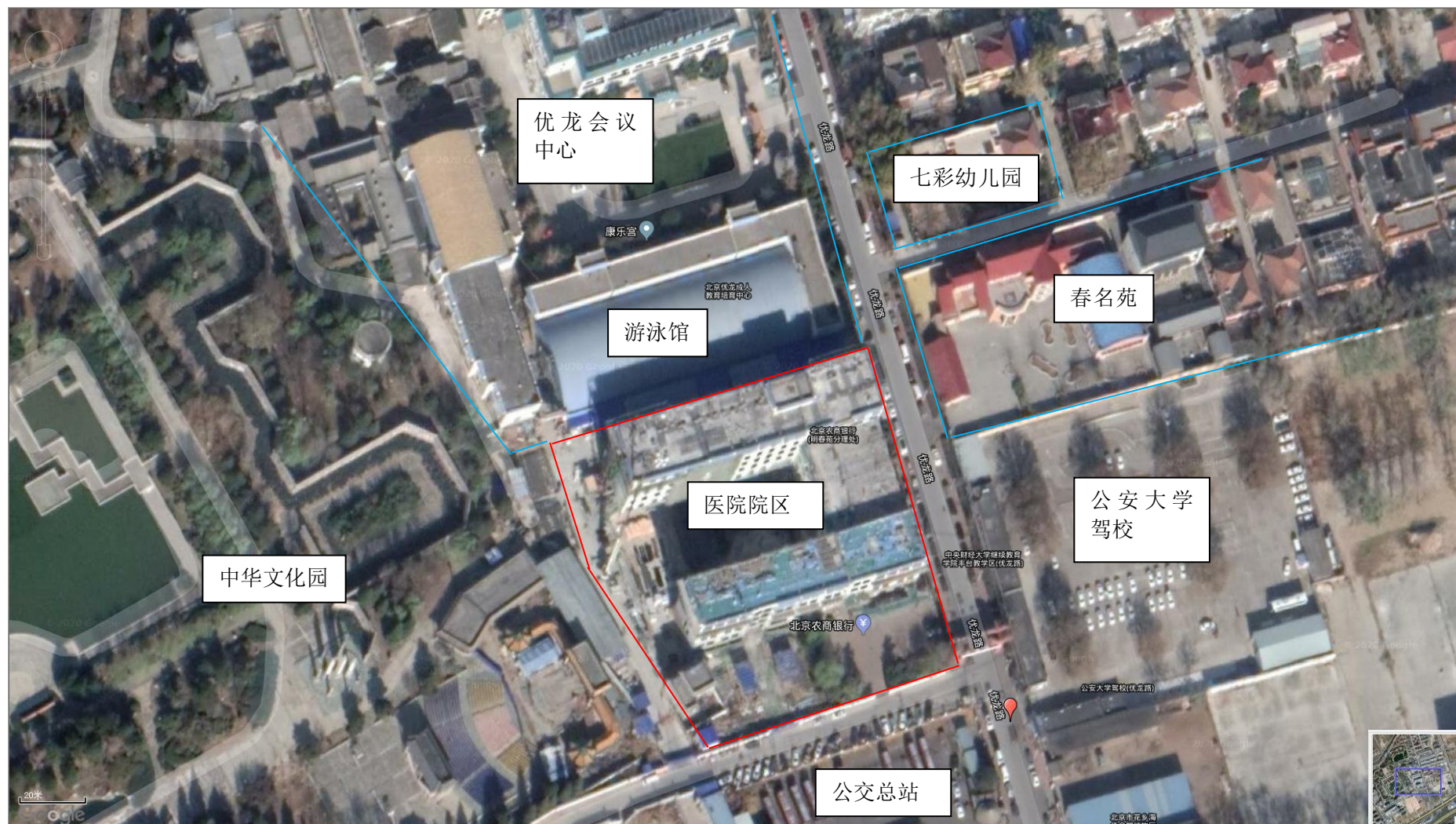
表 14 审批

下一级环保部门意见：	
公 章	
年 月 日	
经办人签字	

审批意见	
公 章	
年 月 日	
经办人签字	



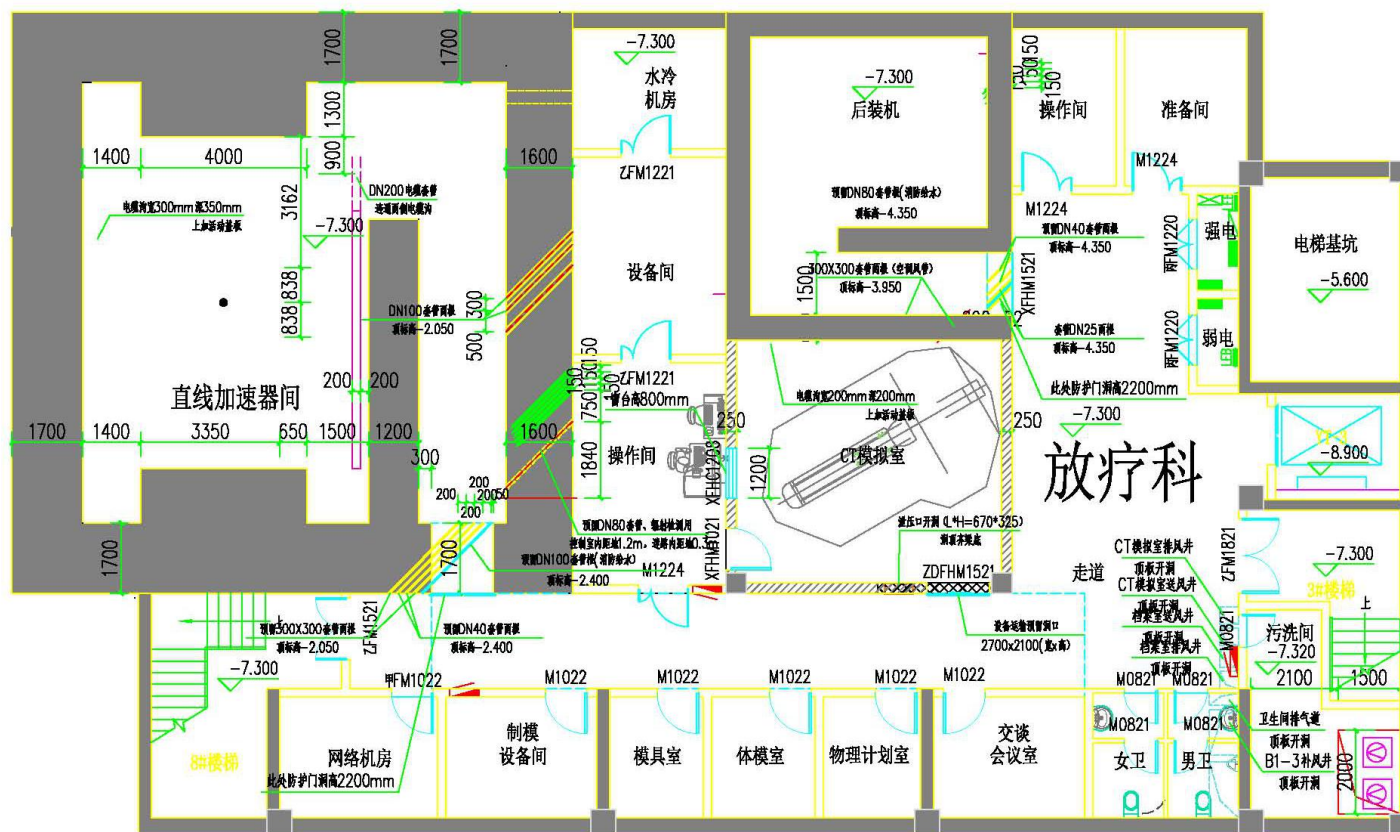
附图 1 地理位置图



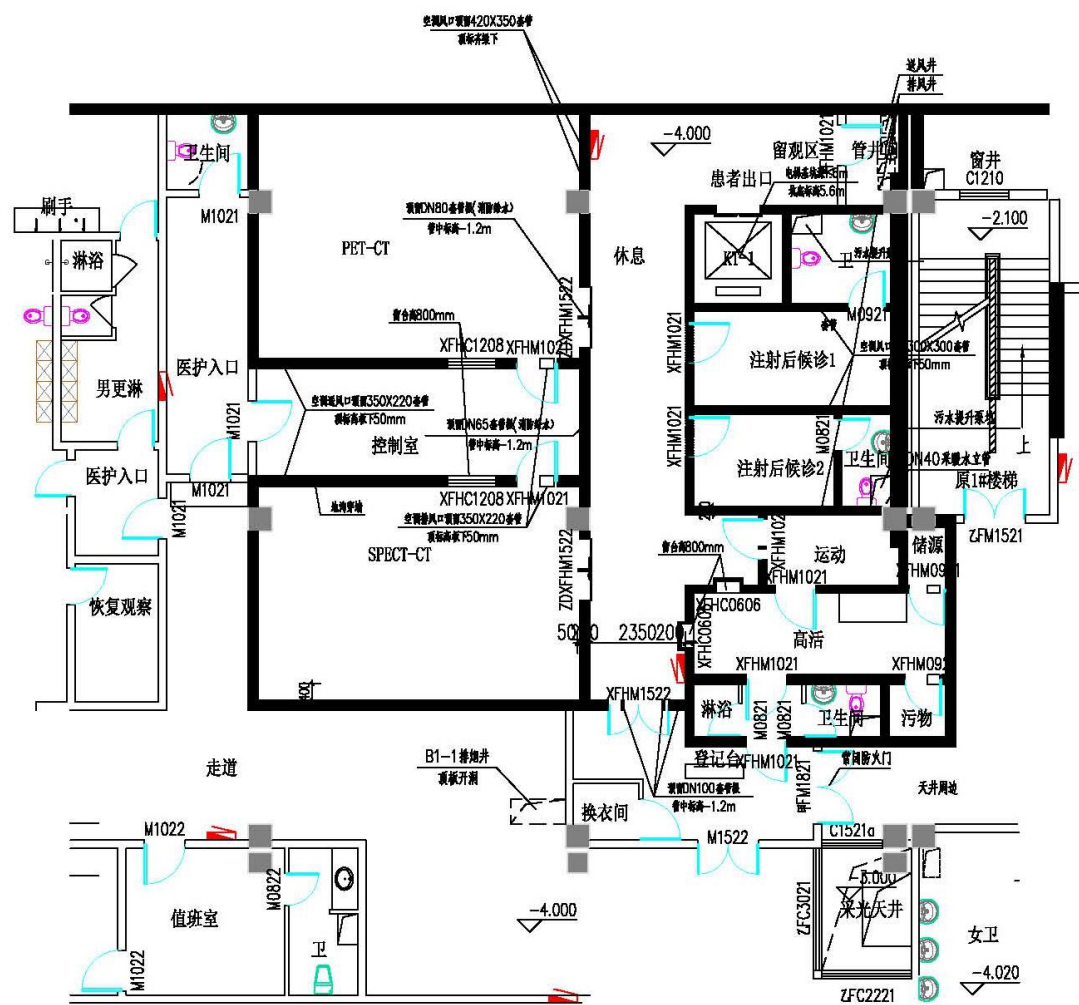
附图2 医院周边环境图



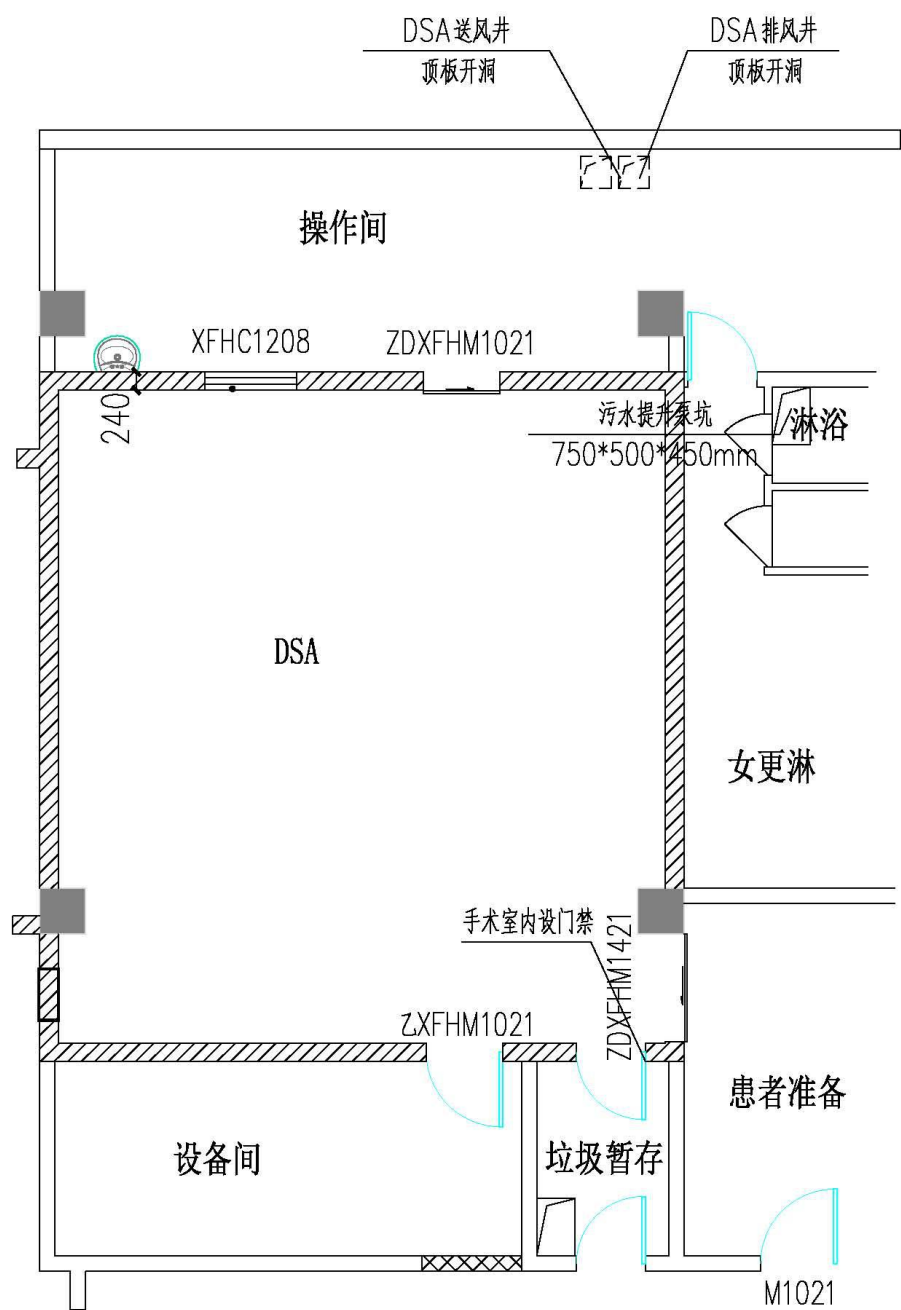
附图 4 地下一层平面图



附图 5 加速器、后装机工作区域平面图



附图 6 核医学科平面布置图



附图 7 DSA 场所平面图