

核技术利用项目

灌南县第一人民医院

新建医用直线加速器及 **DSA** 项目

环境影响报告表

灌南县第一人民医院（公章）

2017 年 4 月

环境保护部监制

核技术利用项目

灌南县第一人民医院

新建医用直线加速器及 DSA 项目

环境影响报告表

建设单位名称：灌南县第一人民医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：连云港市灌南县新安镇扬州北路（县法院北侧）

邮政编码：223500

联系人：史友锦

电子邮箱：807995021@qq.com

联系电话 13851238998

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新建医用直线加速器及 DSA 项目				
建设单位		灌南县第一人民医院				
法人代表	施 辉	联系人	史友锦	联系电话	13851238998	
注册地址		连云港市灌南县新安镇扬州北路（县法院北侧）				
项目建设地点		灌南县新港大道北侧新院区内				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 （万元）	1500	项目环保 投资 （万元）	200	投资比例 （环保投资/总 投资）	13.3%	
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ）	/
应用 类 型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☒ V 类			
	非密封放 射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性物质			
		☐ 销售	/			
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙			
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类			
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类			
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类			
	其他					
	1. 项目概述 灌南县第一人民医院原名灌南县新区人民医院，于 2015 年 4 月 9 日于连云港市第一人民医院成功签订共建协议，合为一个整体，交由市第一人民医院全面托管，同年 5 月 18 日，灌南县新区人民医院正式升级更名为“灌南县第一人民医院”。 灌南县第一人民医院（原灌南县新区人民医院）已于 2012 年 12 月 14 日申领辐射安全许可证（苏环辐证[G0036]），有效期至 2017 年 12 月 14 日。许可种类和范围为：使用 III 类射线装置，医院的辐射安全许可证复印件详见附件 3。医院目前已许可在用的射线装置有 CT、医用 X 射线装置等 III 类射线装置，均已履行环评手续。 为进一步完善周边地区卫生服务设施，优化医疗资源布局，灌南县第一人民医院					

拟从扬州北路的老院区搬迁至新港大道北侧的新院区，拟在新院区门诊医技楼地下一层建设一座医用直线加速器机房，配备一台医科达 Precise 型、X 射线最大能量为 10MV 的医用直线加速器；医院拟在新院区门诊医技楼四楼建设一座 DSA 机房，配备一台 DSA 设备用于开展血管造影、介入手术。以上为本次环评内容。

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》和《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，使用射线装置的单位应当在申请许可证前编制环境影响评价文件。受灌南县第一人民医院委托，江苏智圆行方环保工程有限公司（国环评证乙字第 1967 号）承担该项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、现场监测（委托常州环宇信科环境检测有限公司监测）、评价分析，编制该项目环境影响报告表。

2. 项目选址及保护目标

灌南县第一人民医院新院区位于灌南县新港大道北侧，医院东侧为海州北路；南侧为新港大道；西侧为泰州北路；北侧为青龙路。医院地理位置见附图 1，医院院区平面布置及周围环境概况见附图 2。

本项目医用直线加速器机房位于新院区门诊医技楼的地下一层，东侧为主任办及医办，南侧为机房、控制室及准备室，西侧为模拟机机房，北侧为主任办及医办，楼上为手术室及设备间。DSA 机房位于门诊医技楼四楼，东侧为操作间及洁净走廊，南侧为腔镜室，西侧为污物通道，北侧为设备间，楼上为设备机房，楼下为更衣间及淋浴间。本项目各机房周围 50m 范围内均无居民区等环境保护目标。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点		备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

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

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
1	医用直线加速器	II	1	医科达 Precise	电子	X 线：6、10MV 电子线：4~18MeV	/	放射治疗	门诊医技楼地下一层	/

（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	Innova IGS 540	125	1000	医用诊断及介入治疗	门诊医技楼四楼	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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（ μ A）	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

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	/	直接进入大气，臭氧 50 分钟后自动分解为氧气
加速器废靶	固态	感生放射性	/	/	/	/	/	统一交由厂家回收或送城市放射性废物库收贮
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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，年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度用比活度(Bq/l，或 Bq/kg，或 Bq/m³)，年排放总量分别用 Bq 和 kg。

表 6 评价依据

法规文件	1、《中华人民共和国环境保护法》（修订版），2015 年 1 月 1 日起施行 2、《中华人民共和国环境影响评价法》（2016 年修正版），2016 年 7 月 2 日修订，2016 年 9 月 1 日起实施 3、《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起实施 4、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2014 年修正版）国务院令 第 653 号，2014 年 7 月 29 日施行 5、《建设项目环境保护管理条例》，国务院令 第 253 号，1998 年 11 月 29 日发布施行 6、《建设项目环境影响评价分类管理名录》（修订本），环保部令 第 33 号，2015 年 3 月 19 日修订，2015 年 6 月 1 日起施行 7、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2008 年修正版），环境保护部令 第 3 号，2008 年 11 月 21 日起施行 8、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行 9、《江苏省辐射污染防治条例》，2008 年 1 月 1 日起实施 10、《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145 号 11、《国家危险废物名录》（修订版），环保部令 第 39 号，2016 年 8 月 1 日起施行 12、《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016） （2）《辐射环境保护管理导则-核技术利用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）

参考 资料	1、《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		
	表 6-1 江苏省室内、室外天然贯穿辐射所致（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）		
		室外剂量率	室内剂量率
	均值	79.5	115.1
	标准差（s）	7.0	16.3
	（均值±3s）*	58.5~100.5	66.2~164.0
*：评价时参考数值			
2、辐射防护手册（第一分册）~（第五分册），李德平，潘自强			
3、辐射防护导论，方杰			
4、NCRP REPORT NO.79：Neutron Contamination from Medical Electron Accelerators（NCRP 79 号报告:医用电子加速器的中子污染）			
5、CA 与 PTCA 中医务人员的剂量学研究。王晓峰，白玫，孙雪梅等。中国辐射卫生，2006 年第 15 卷第 1 期。			
附件	与本项目相关附件：		
	1、项目委托书（附件 1）		
	2、射线装置使用承诺书（附件 2）		
	3、医院辐射安全许可证复印件（附件 3）		
	4、本项目辐射环境现状监测报告（附件 4）		
	5、辐射污染防治措施一览表（附件 5）		

表 7 保护目标与评价标准

评价范围 本项目为使用 II 类射线装置，根据《辐射环境保护管理导则——核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中 1.5 的规定，确定本项目评价范围为医用直线加速器机房及 DSA 机房边界外 50m 的范围。							
保护目标 本项目加速器机房及 DSA 机房周围 50m 范围内无环境敏感点。因此，本项目的敏感保护目标主要有加速器及 DSA 项目的辐射工作人员及各机房周围的医务工作人员及患者、家属等公众。							
评价标准 1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） 工作人员职业照射和公众照射剂量限值： <table> <tr> <th></th><th>剂量限值</th></tr> <tr> <td>职业照射 剂量限值</td><td> 工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。 </td></tr> <tr> <td>公众照射 剂量限值</td><td> 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。 </td></tr> </table>			剂量限值	职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。	公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。
	剂量限值						
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。						
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。						
2) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011） 6 治疗室防护和安全操作要求 6.1.1 治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求，保障职业场所和周围环境安全。 6.1.2 有用线束直接投照的防护墙（包括天棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T 201.1 的要求。 6.1.3 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。 6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。 6.1.5 X 射线能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。							

6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

6.1.7 治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m²。

6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。

6.1.9 相关位置（例如治疗室入口处上方等）应安装醒目的照射指示灯及辐射标志。

6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

3) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部份：一般原则》（GBZ/T 201.1—2007）

3 治疗机房辐射屏蔽的剂量参考控制水平

3.1 治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率应同时满足下列 3.1.1 和 3.1.2 的参考控制水平。

3.1.1 距治疗机房墙和入口门外表面 30cm 处和邻近治疗机房的居留因子较大（T>1/4）的人员驻留区域见式（1）。

$$\dot{H}_C \leq H_C / t \cdot U \cdot T \dots\dots\dots (1)$$

式（1）中：

$\dot{H}_C$ ---周围剂量当量率参考控制水平，μSv/h；

H_C ---周剂量控制水平（μSv/周），其值如下：

放射治疗机房外控制区的工作人员：≤100μSv/周

放射治疗机房外非控制区的人员：≤5μSv/周

U ---治疗装置向关注点位置的方向照射的使用因子；

T ---人员在放射治疗机房外控制区和放射治疗机房外非控制区驻留的居留因子；

t ---治疗装置周最大累积照射的小时数，h/周。

3.1.2 距治疗机房墙和入口门外表面 30cm 处：

$$\dot{H}_C \leq 2.5 \mu\text{Sv/h} \quad (\text{人员全居留场所, } T > 1/2)$$

4) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2—2011）

5) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）

5 射线设备机房防护措施的技术要求

5.1 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；

5.2 每台 X 射线机(不含移动式 and 携带式床边摄影机与车载 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 2 要求。

5.3 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 3 要求。

表 3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
标称 125kV 以上的摄影机房	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 射线设备机房	2	2
CT 机房	2（一般工作量） ^a 2.5（较大工作量） ^a	

^a 按 GBZ/T180 的要求

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。

5.5 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。

5.6 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。

5.7 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, 且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

项目管理目标

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）、《放射治疗机房的辐射屏蔽

规范第1部份：一般原则》（GBZ/T 201.1—2007）、《医用X射线诊断卫生防护标准》（GBZ130-2013）等评价标准，确定本项目的管理目标。

- **辐射剂量率控制水平：**辐射场所周围辐射剂量率参考控制水平取**2.5 μ Sv/h**
- **辐射剂量控制水平：**职业人员年有效剂量不超过**5mSv**

公众年有效剂量不超过**0.25mSv**

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理位置及场所位置

灌南县第一人民医院新院区位于连云港市灌南县新港大道北侧，医院地理位置图见附图 1。医院东侧为海州北路；南侧为新港大道；西侧为泰州北路；北侧为青龙路。医院平面布置及本项目周围环境概况见附图 2。

本项目医用直线加速器机房位于新院区门诊医技楼地下一层，东侧为主任办及医办，南侧为机房、控制室、准备室，西侧为模拟机机房，北侧为主任办及医办，楼上为手术室设备间。DSA 机房位于新院区门诊医技楼四楼，东侧为操作间及洁净走廊，南侧为腔镜室，西侧为污物通道，北侧为设备间，楼上为设备机房，楼下为更衣间及淋浴间。医院周围环境现状图见下图 8-1。



拟建址所在新院区东侧



拟建址所在新院区南侧



拟建址所在新院区西侧



拟建址所在新院区北侧

图 8-1 医院周围环境现状图

二、环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

环境现状评价的对象：医用直线加速器及 DSA 机房及其周围环境

监测因子：X- γ 辐射剂量率

监测点位：在医用直线加速器及 DSA 机房周围进行布点，共计布点 4 个

三、监测方案、质量保证措施及监测结果

1、监测方案

监测项目：X- γ 辐射剂量率

监测布点：调查本项目加速器机房及 DSA 机房周围，具体点位见图 8-2。

监测方法：《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-1993）

数据记录及处理：每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 20s，并待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值并计算方差

2、质量保证措施

监测单位：常州环宇信科环境检测有限公司，该公司已通过资质认定

监测布点质量保证：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）有关布点原则进行布点

监测过程质量控制质量保证：本项目监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）的要求，实施全过程质量控制

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

3、监测结果

检测仪器：（探头：FHZ672E-10，仪器编号：1018，检定有效期：2016.9.19-2017.9.18）

监测日期：2017 年 3 月 26 日

评价方法：参照江苏省天然贯穿辐射剂量水平调查结果，监测结果见表 8-1。

表 8-1 本项目加速器机房及 DSA 机房所在大楼周围环境 X- γ 辐射剂量率

序号	监测点位描述	监测结果 (nSv/h)
1	本项目机房所在大楼东侧	84.2
2	本项目机房所在大楼南侧	79.6
3	本项目机房所在大楼西侧	81.8
4	本项目机房所在大楼北侧	73.3

说明：表中测值未扣除仪器宇宙射线响应值。

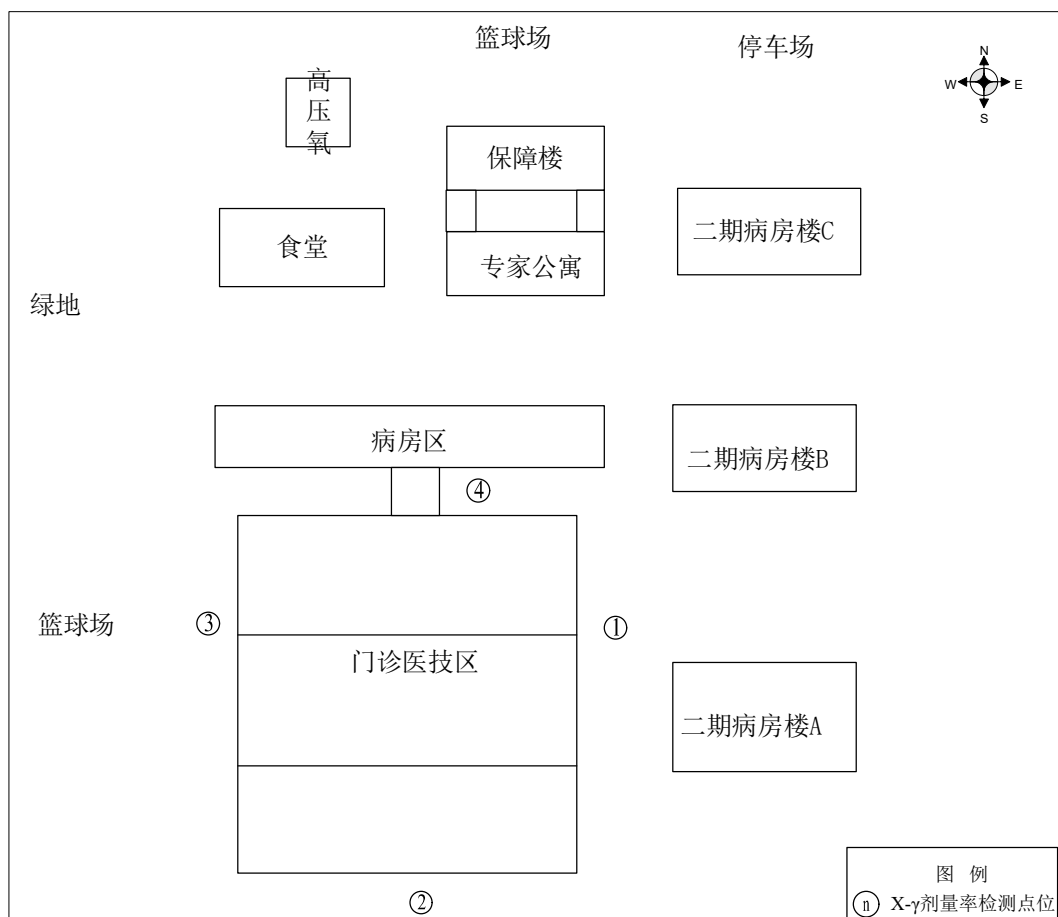


图 8-2 本项目医用加速器及 DSA 所在医技楼周围现状检测布点图

四、环境现状调查结果评价

从监测结果可知，灌南县第一人民医院加速器机房及 DSA 机房所在大楼周围环境 X-γ 辐射剂量率在 73.3nSv/h~84.2nSv/h 之间，处于江苏省环境天然贯穿辐射水平范围内。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、医用电子直线加速器项目

1、工作原理介绍

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，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。医用直线加速器机构示意图见图 9-1，内部结构见图 9-2。

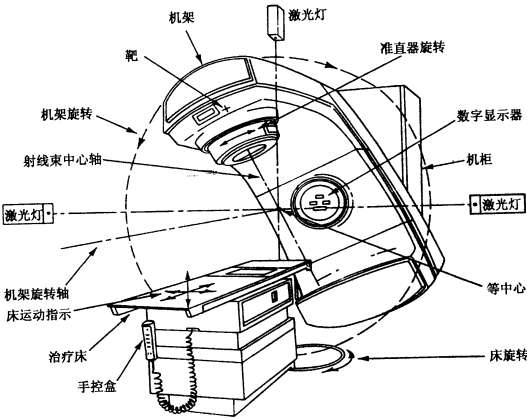


图 9-1 医用直线加速器机构示意图

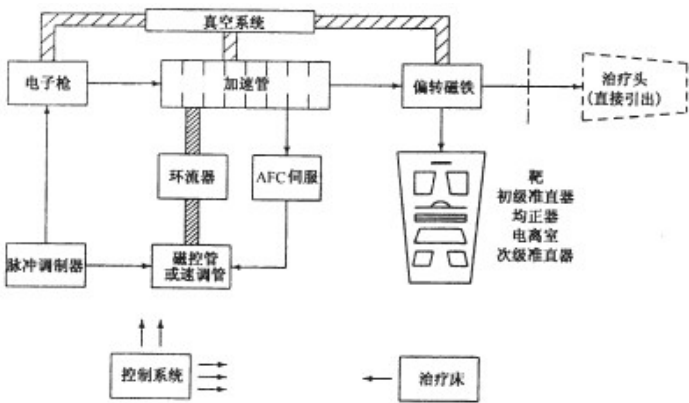


图 9-2 典型医用直线加速器内部结构框图

2、工作流程

医用电子直线加速器进行肿瘤放射治疗的基本流程为：

- 1) 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、角度和射野大小，拍片定位；

2) 候诊登记。对已做模拟定位检查的患者进行登记候诊；

3) 计算射线强度。根据患者所患疾病性质、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) 治疗结束。

加速器工作人员进行肿瘤放射治疗时正常的开机治疗程序为：

1) 核对病人的姓名和治疗数据，仔细按治疗单要求摆位，除病人外全部离开治疗室，关闭机房门；

2) 选择运行模式；

3) 输入治疗参数；

4) 确认后开始治疗；

5) 治疗中通过电视屏幕监视病人情况和机器运行情况，一旦发现异常，立即停机、停束等妥善措施，及时报告维修、物理人员，做好记录。

二、DSA 项目

1、工作原理

DSA因其整体结构像大写的“C”，因此也称作C型臂X光机。DSA成像系统按功能和结构划分，主要由五部分构成：X线发生系统、影像检测和显示系统、影像处理和系统控制部分、机架系统和导管床、影像存储和传输系统。

① X线发射装置主要包括X线球管、高压发生器和X线遮光器。

介入治疗需要连续发射X射线，要求有较高的球管热容量和散射率，因此DSA必须具有阳极热容量在1MHU以上、具有大小焦点的X线球管。此外，还需具有一个能产生高千伏、短脉冲和恒定输出的高压发生器、X线遮光器用来限制X线照射视野，避免患者接受不必要的辐射。

② 影像检测和显示系统，用于将X线信息影像转换成可见影像。

目前数字成像系统共有两种：影像增强器和平板探测器。影像增强器接收穿过人体的X线并转换为亮度增强数千倍的输出图像后，经摄像机转换为电子图像，再经A/D转换成数字图像；而平板探测器是直接接收穿过人体的X线信息后转换成数

字图像。现代大型DSA设备普遍使用平板探测器，其转换环节少，减少了噪声，使X线光子信号的损失降到了最低限度，大大提高了光电转换效率。不但保证了优质的图像质量，而且降低了射线剂量。

③ 影像处理和系统控制。

DSA影像被数字化后，则需进行各种算术逻辑运算，并对减影的图像进行各种后处理。计算机系统是DSA的关键部件，具有快速处理能力，主要对数字影像进行对数变换处理、时间滤波处理和对比度增强处理。

系统控制部分具有多种接口，用于协调X线机、机架、计算机处理器和外设联动等。

④ 机架系统和导管床机架有悬吊式和落地式两种，各有利弊，可根据工作特点和机房情况选择。

导管检查床具有手术床和透视诊断床两种功能，多采用高强度、低衰减系统的碳素纤维床面，减少对X线的吸收。

⑤ 影像存储和传输系统（PACS），采用在线存储和近线存储两种存储方式，充分利用网络技术实现影像资料的共享，方便随时调阅，更加高效的交流和管理DSA影像信息。

数字减影血管造影技术是常规血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物。DSA 的成像基本原理为：将 X 射线机对准人体的某一部位，并将 X 射线造影剂注入人体的血管内。如果在注入造影剂的前后分别摄取这同一部位的 X 射线图像，然后再将这两幅图像相减，那么就可以消除图像中相同结构的部分，而突出注入造影剂的血管部分。DSA 在临床中已成功的用于血管网络的功能检查。常见 DSA 外观示意图 9-3。

DSA 在工作时，能够实现曝光采集及连续透视功能。目前主流的 DSA，以 SIMENS、PHILIPS、GE 为主，多采用脉冲透视功能，能够实现短时间、低电压、大电流连续脉冲式动态采集。同时还能自动根据成像区衰减状态调整 kV、mA 等参数，使 X 射线管保持最佳负荷状态，在安全辐射剂量范围内获取最佳图像质量。



图 9-3 常见 DSA 外观示意图

介入治疗而是在医学影像设备的引导下，通过置入体内的各种导管（约 1.5-2 毫米粗）的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点，目前，基于数字血管造影系统指导的介入治疗医生已能把导管或其他器械，介入到人体几乎所有的血管分支和其他管腔结构（消化道、胆道、气管、鼻管、心脏等），以及某些特定部位，对许多疾病实施局限性治疗。介入工作流程见图 9-4。

2、工作流程

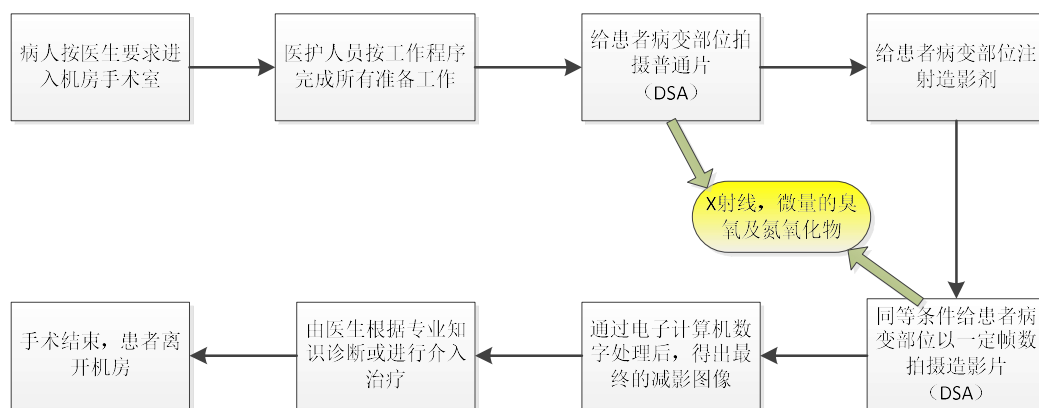


图 9-4 DSA 开展介入手术时工作流程及产污环节示意图

污染源项描述

一、医用直线加速器项目

1、放射性污染

(1) X 射线外照射

医用直线加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主

要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。

该院的医用直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，由于 X 射线的贯穿能力极强，可能对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染。

(2) 电子束

当加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。

加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时间时，电子束对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。

2、放射性废物

加速器靶物质(件)以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生感生放射性，加速器废靶拟作为放射性废物处理。

3、有害气体

在加速器开机运行时，产生的 X 射线与空气中氧气相互作用可产生少量臭氧和氮氧化物。由于正常情况下氮氧化物的产额约为臭氧的 1/10，因此主要考虑臭氧的环境影响。

二、DSA 项目

DSA 只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。其主要用于血管造影检查及配合介入治疗。一次血管造影检查需要时间很短，因此血管造影检查的辐射影响较小；而介入放射需要长时间的透视和大量的摄片，对病人和医务人员有一定的附加辐射剂量。单台手术，视手术情况的复杂性，X 射线出束时间约在 10 分钟到 30 分钟之间。

此外，X 射线电离空气会产生少量臭氧和氮氧化物。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、项目工作场所布局合理性分析

本项目医用直线加速器机房控制室与治疗室分离，治疗室内南北净宽 6.6m，东西净长 7.2m，室内净高 3.7m，机房净面积约为 47.52m²，机房内净容积约为 175.8m³；加速器机房拟设置斜迷路，迷路口设有防护门，迷路面积约为 14.4m²；主射线方向为南墙、北墙及屋顶。

本项目加速器机房布局符合《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）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)中“新建治疗室不应小于 45m²”、“治疗室入口处必须设置防护门和迷路”等规定，布局基本合理。

灌南县第一人民医院 DSA 机房拟设在门诊医技楼四楼，医院拟将机房划分为控制区，拟将操作间划分为监督区，无关人等不得进入。本项目 DSA 项目的布局及分区基本合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

二、工作场所污染防治措施

1、医用直线加速器项目

为保障医用电子直线加速器安全运行，避免在医用电子直线加速器治疗期间人员误留或误入治疗机房内而发生误照射事故，本项目加速器治疗机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

1）本项目医用直线加速器机房位于门诊医技楼地下一层，采用混凝土（混凝土密度不低于 2.35g/cm³）浇注结构进行屏蔽，迷路入口设防护门。机房东墙为迷道墙，迷道设为斜迷道，迷道内墙墙厚为 62.2cm~150cm，迷道外墙墙厚为 100cm~208cm；机房南墙、北墙均为主屏蔽墙蔽墙，墙厚度为 270cm，与主屏蔽相连的次屏蔽墙设计厚度为 180cm；机房西侧墙体为侧屏蔽墙，屏蔽墙厚度为 180cm；屋顶主屏蔽墙厚度为 290cm，与主屏蔽相连的次屏蔽墙设计厚度为 250cm；机房防护门设计采用 15mm 厚铅对 X 射线进行屏蔽。

2）医用直线加速器机房电缆线布设拟采用地下“U”型穿墙管道，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。

3）钥匙控制。决定加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制。

4) 安装门机联锁装置。加速器迷路门安装门机联锁装置, 只有当防护门完全关闭后才能开启加速器, 在加速器工作状态下, 防护门意外开启加速器立即停止出束。

5) 在加速器机房安装紧急停机按钮(急停开关)。本项目在加速器控制室内、迷路入口处和机房内屏蔽墙及治疗床两侧合适位置设计安装紧急停机装置, 在发生紧急情况时能够及时切断加速器系统电源。

6) 迷路门外安装工作状态指示灯, 门外设置醒目、规范的电离辐射警告标志。

7) 加速器治疗机房内安装实时监控装置, 并配备对讲装置, 在治疗过程中医务人员可以及时观察病人情况, 与病人交流, 防止意外情况的发生。

8) 人员监护。医院本项目辐射工作人员均应配备个人剂量计并定期送检、同时应建立个人剂量档案, 开展职业健康监护并建立个人职业健康监护档案。

2、DSA 项目

1) DSA 机房墙体均设计采用轻质砖+2mm 铅板, 机房顶部及地板均设计采用 12cm 厚混凝土+3cm 硫酸钡涂料, 防护门均设计采用 2mm 铅当量的铅板进行防护, 观察窗设计采用 2mm 铅当量的铅玻璃进行防护。

2) 医院应在 DSA 机房入口处设置工作警示灯, 并在醒目位置张贴“当心电离辐射”以及放射防护注意事项。机房防护门还应设置闭门装置, 且工作状态指示灯并和与机房相通的门能有效联动。

3) 医院还应为在 DSA 机房开展介入手术的辐射工作人员、配备足够数量的包裹式铅围裙及防护铅围脖、铅眼镜等防护用品。

4) 介入手术需要长时间的透视和大量的摄片, 对病人和医务人员来说辐射剂量较高, 因此在评估介入放射的效应和操作时, 其辐射损伤必须要加以考虑。由于需要医务人员在手术室内, X 射线球管工作时产生的散射线对医务人员有较大影响, 根据辐射防护“三原则”, 医院还应在以下方面加强对介入放射的防护工作:

a) 操作中减少透视时间和减少照相的次数可以显著降低工作人员的辐射剂量, 介入人员在操作时应尽量远离检查床。

b) 一般说来, 降低病人的剂量的措施可以同时降低工作人员的辐射剂量, 应加强对介入人员的培训, 包括放射防护的培训, 参与介入的人员应该技术熟练、动作迅速, 以减少病人和介入人员的剂量。

c) 所有在介入放射手术室内的工作人员, 并不仅限于介入手术医生, 而包括周围护理人员, 都应开展个人剂量监测, 医院应结合工作人员个人剂量监测的数据

采取措施，控制和减少工作人员的受照剂量。

d) 引入的 DSA 及配套设备必须符合国际的或者国家的标准，满足各种特殊操作的要求，其性能必须与操作性质相符合；设备应该常规调节到满足低剂量的有效范围内，并尽可能提高图像质量。

e) 介入人员应该结合 DSA 设备的特点，了解一些降低剂量的方法，比如采用小照射野、低频率脉冲透视等方法。

f) 加强 DSA 设备的质量保证工作，设备的球管与高压发生器、透视和数字成像的性能以及其它相关设备应该定期进行检测。

g) 临床介入手术时，介入医生需站在 DSA 床边操作，仅依赖于医务人员身着铅衣、机器自带的铅帘等防护设备被动防护。一般来说，床下球管机对医务人员的辐射剂量，由头、颈、胸至腹部呈现剂量逐渐上升的趋势，故操作人员除个人防护用品（铅衣、铅围脖、铅帽及铅眼镜等）外，应着重考虑 X 射线机操作侧的屏蔽，该屏蔽要做到既不影响操作者的操作，又能达到防护目的，且能消毒。如：床侧立地防护屏、防护手术手套、床侧竖屏及床上防护屏、床下帘幕、床侧帘幕、床上防护覆盖板等。以上组合屏蔽防护措施的使用，能够有效降低介入手术医务人员的吸收剂量，尤其是胸部以下部位屏蔽效果在 80%以上。

三废处理

1. 放射性废水处理措施

本项目无放射性废水产生。

2. 废气处理措施

本项目医用直线加速器运行过程中会使机房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，加速器束流越大，其产生量越高。其中臭氧毒性最大，产生量也最高，此外氮氧化物还会与室内水汽作用形成酸雾腐蚀机房内设备。故治疗室内需设置通风系统将工作中产生的废气及时排出室外。

本项目加速器机房内设有通风装置，加速器治疗室内采用机械排风。通风口拟设于机房西北角，通风口尺寸为 500mm×300mm，采用地下 U 型通风管道，室外排风口引至地面高于建筑屋脊处排放。机房内通风平面布局图见图 10-1。机房内拟设风机，风机排风量为 1500m³/h，本项目加速器机房内净容积约为 175.8m³，能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

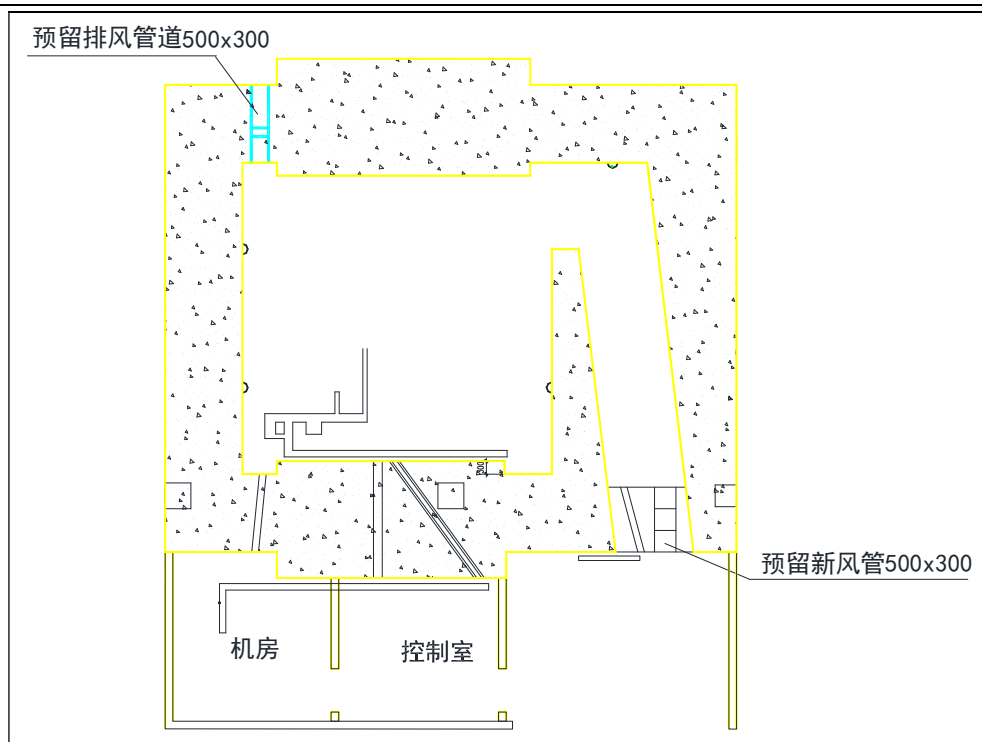


图 10-1 直线加速器机房通风平面布局图

本项目加速器机房进出、风管道避开主射线方向，未破坏加速器机房的实体屏蔽。灌南县第一人民医院在工作中要保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。医院采取机械排风的措施后，加速器机房内产生的少量臭氧和氮氧化物能够得到充分的稀释扩散，臭氧的半衰期为 22~25 分钟，常温下可以自行分解为氧气，对环境影响较小。

DSA 工作过程中会使机房内的空气电离产生臭氧和氮氧化物。机房内设置有通风系统，曝光过程中产生的少量臭氧和氮氧化物能够及时排出室外并得到充分的稀释扩散，臭氧的半衰期为 22~25 分钟，常温下可以自行分解为氧气，对环境影响较小。

3、放射性固体废物处理措施

本项目医用加速器长时间运行后，一些长寿命核素会随着加速器运行时间的增加而不断累积，加速器更换下来的靶物质及其他感生放射性部件均应作为放射性废物进行处理，统一交由厂家回收或送城市放射性废物库收贮。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目涉及新建及改建工程，项目建设施工时对环境会产生如下影响：

(1) 大气：本项目在建设施工期需进行的挖掘地基、混凝土浇筑等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆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：a.及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b.车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；c.施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

(2) 噪声：整个建筑施工阶段，建筑设备在运行中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》（GB12523-2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

(3) 固体废物：项目施工期间，产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有资质的单位清运，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。

(4) 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。

该单位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局部区域，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、医用直线加速器项目辐射环境影响分析

灌南县第一人民医院本项目的医用直加速器为医科达（上海）医疗器械有限公司加速器，型号为 Precise，加速器技术参数见下表：

表 11-1 本项目医用直线加速器技术参数

参数名称	参数值
能量	X 射线能量：6、10MV，电子线能量：（4~18）MeV
射线最大出射角	28°（等中心点每侧 14°）
源轴距 SAD	1m
等中心点到地面的距离	1.25m
距靶 1m 处最高剂量率	X 射线剂量率：600cGy/min 电子线剂量率：600 cGy/min
最大照射野大小	40cm×40cm
机架旋转	360°
靶材料	钨靶

灌南县第一人民医院加速器机房拟建于门诊医技楼地下一层，采用混凝土（混凝土密度不低于 2.35g/cm^3 ）浇注结构进行屏蔽，迷路入口设防护门。加速器机房屏蔽设计厚度见表11-2。

表 11-2 加速器机房辐射防护屏蔽设计参数

屏蔽防护设计		设计厚度	主屏蔽宽度*
东墙	迷路内墙	副屏蔽墙：62.5cm~150cm 砼（从北至南）	--
	迷路外墙	副屏蔽墙：100cm~208cm 砼（从南至北）	--
南墙	主屏蔽墙	主屏蔽墙：270cm 砼	西：2.9m/东：2.4m
		与主屏蔽墙相邻的次屏蔽墙：180cm 砼	--
西墙	侧屏蔽墙	副屏蔽墙：180cm 砼	--
北墙	主屏蔽墙	主屏蔽墙：270cm 砼	西：2.9m/东：3.0m
		与主屏蔽墙相邻的次屏蔽墙：180cm 砼	--
机房顶	主屏蔽墙	主屏蔽墙：290cm 砼	西：2.9m/东：2.7m
		与主屏蔽墙相邻的次屏蔽墙：250cm 砼	--
防护门		防护门含15mmPb	

*西：指等中心线西侧的主屏蔽半宽度，东：指等中心线东侧的主屏蔽半宽度

1、医用直线加速器机房辐射防护评价

本小节主要根据《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）的要求，在本项目加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器以最大剂量率 600cGy/min （10MV）运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。本项目加速器机房的平面、剖面布局图及关注点设定如图 11-3 及图 11-4。

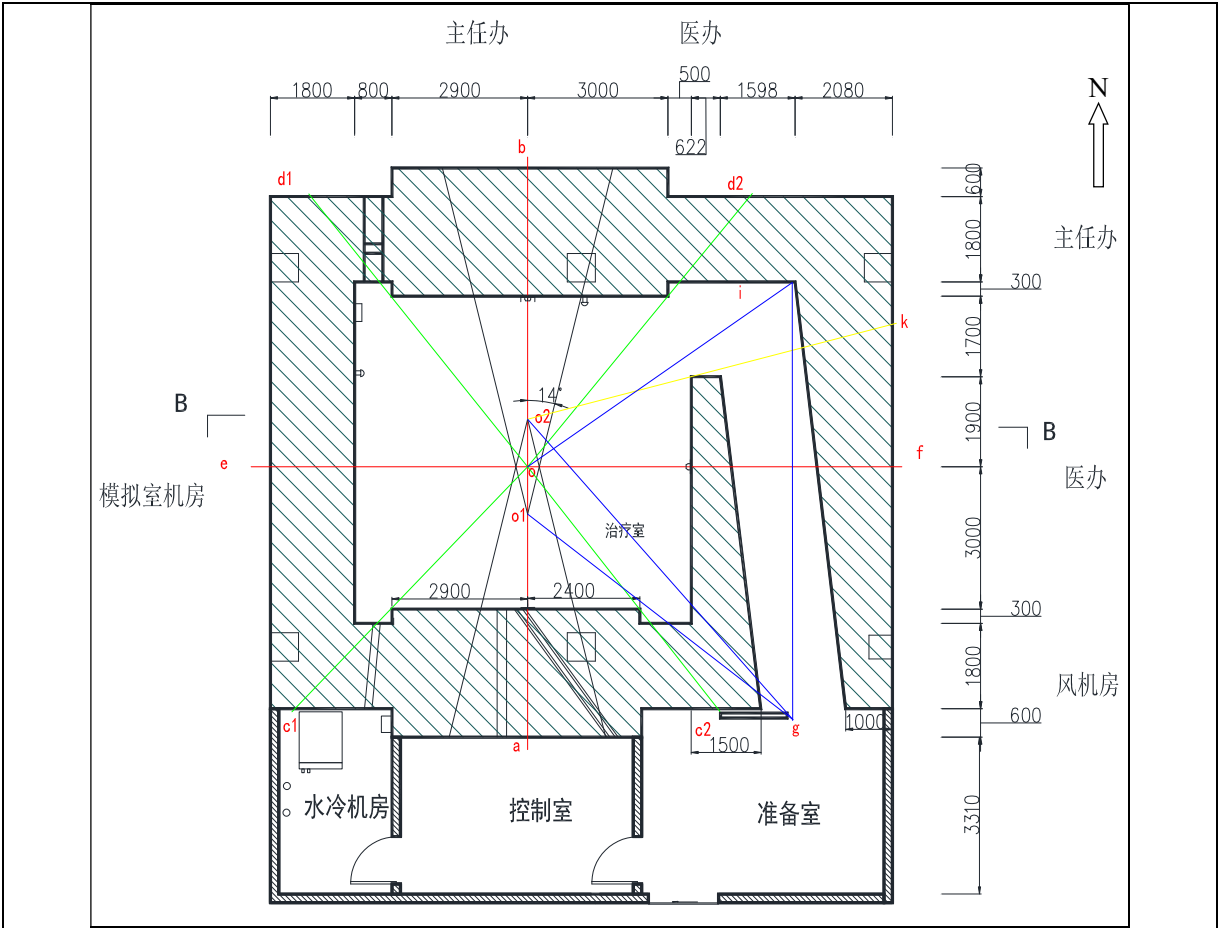


图 11-3 医用直线加速器机房平面布局图

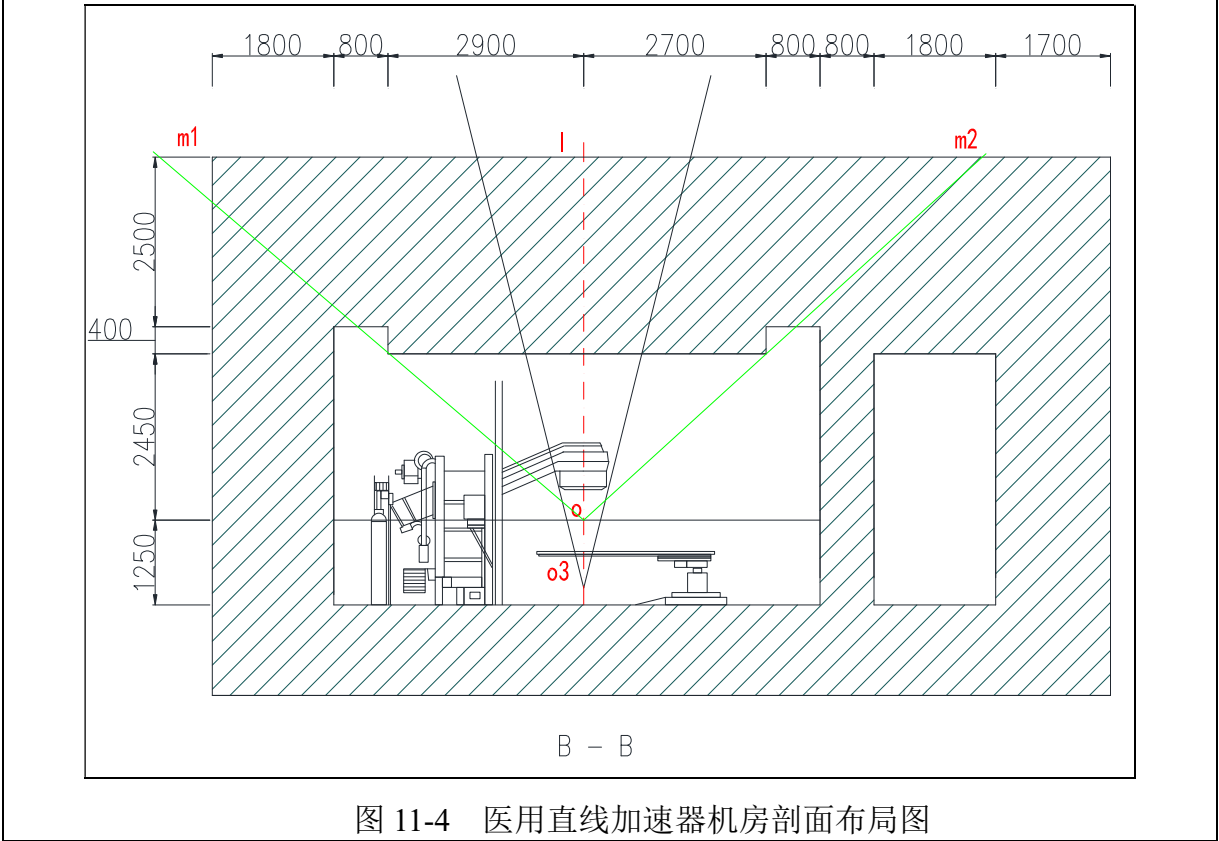


图 11-4 医用直线加速器机房剖面布局图

(1) 有用线束主屏蔽区半宽度核算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

$$Y_p = 2[(a + SAD) \cdot \tan\theta + 0.3] \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中， Y_p ：机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD：源轴距，m；

θ ：治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

a ：等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

将各参数代入式（1）可估算出本项目的主屏蔽宽度，如下表：

表 11-3 主屏蔽区域宽度设计评价表

参数	南墙主屏蔽	北墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
SAD (m)	1	1	1
θ (°)	14°	14°	14°
a (m)	5.7 ^①	6.3 ^①	2.85
Y_p 计算值 (m)	2.04×2	2.19×2	1.30×2
Y_p 设计值 (m)	2.4+2.9	2.9+3.0	2.7+2.9
评价结果	满足	满足	满足

注：①本项目南、北侧主墙保守按外凸进行计算。

通过上面的理论估算结果可以看出，本项目加速器机房南侧、北侧主屏蔽墙及屋顶主屏蔽区域屏蔽墙宽度能够满足 10MV 加速器的有用射线束的防护要求。

(2) 主屏蔽墙防护效果预测（南墙 a 点、北墙 b 点、屋顶 l 点）

该加速器有用射线束的照射方向为南墙、北墙及屋顶，南、北墙和屋顶分主屏蔽区域和次屏蔽区域。主屏蔽区域受到的辐射影响主要有有用射线束、加速器泄漏射线及散射射线，与有用射线相比，泄漏射线及散射射线影响较小，因此主要考虑有用射线的影响。

1) 主射线路径：南墙： $O_1 \rightarrow a$ ，北墙： $O_1 \rightarrow b$ ，屋顶 $O_3 \rightarrow l$

2) 计算模式及参数选择：

辐射防护预测模式可采用 GBZ/T 201.2 -2011 第 5.2 章中推荐的估算公式, 相关参数均取自该标准中的附录 B:

$$\dot{H} = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中: $\dot{H}$: 参考点辐射剂量水平, $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$

H_0 : 加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$

R : 辐射源(靶点)至参考点的距离, m

f : 对有用线束为 1, 对泄漏辐射为泄漏辐射比率, 一般取有用线束的 0.1%

B : 屏蔽透射因子, 可通过下式进行计算

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中: X_e 为有效屏蔽厚度 (cm), TVL 和 TVL_1 为辐射在在屏蔽物质中平衡什值层厚度和第一什值层厚度 (cm)

有效屏蔽厚度与射线与屏蔽墙的斜射角 θ 有关, 主屏蔽墙 θ 可取 0° 。设屏蔽墙外参考点距离屏蔽墙的距离均为 30cm, 参考点距离各屏蔽墙的距离见表 11-4, 各参考点处的辐射水平理论估算结果见表 11-5。

表 11-4 各参考点离加速器靶点距离

参考点位置	单位	计算结果
南墙表面 30cm	m	$R = 1 + \text{等中心距墙壁外表面距离 } 5.7 + \text{墙外参考点 } 0.3 = 7.0$
北墙表面 30cm	m	$R = 1 + \text{等中心距墙壁外表面距离 } 6.3 + \text{墙外参考点 } 0.3 = 7.6$
屋顶表面 30cm	m	$R = 1 + \text{等中心距顶层外表面距离 } 5.35 + \text{地面以上参考点 } 0.3 = 6.65$

表 11-5 加速器机房主屏蔽区域防护能力计算结果

参数		南墙 (a 点)	北墙 (b 点)	屋顶 (1 点)
混凝土建筑厚度 (m)		2.7	2.7	2.90
B		6.47×10^{-8}	6.47×10^{-8}	1.86×10^{-8}
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$)		3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
R (m)		7.0	7.6	6.65
参考点处辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)	$\dot{H}$ 估算值	0.48	0.40	0.15
	$\dot{H}$ 控制值	2.5	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足	满足

(3) 与主屏蔽相连的次屏蔽防护效果预测（南墙 c₁、c₂ 点、北墙 d₁、d₂ 点和屋顶 m₁ 点、m₂ 点）

南墙、北墙及屋顶与主屏蔽区域相连的次屏蔽区域受到的辐射影响主要为来自加速器机头的泄漏射线、来自患者的一次散射射线及机房地面、墙面的二次或多次散射射线。二次或多次散射射线影响较小，因此主要考虑泄漏射线和患者的一次散射射线的影响。

1) 射线路径：

泄漏辐射：南墙：O→c₁、O→c₂ 北墙：O→d₁、O→d₂，屋顶：O→m₁、O→m₂

散射辐射：南墙：O₁→O→c₁，O₁→O→c₂，北墙：O₁→O→d₁，O₁→O→d₂，屋顶：O₃→O→m₁、O₃→O→m₂

根据图 11-3 可知，本项目南侧、北侧及屋顶的主屏蔽墙均不对称，因此本项目需预测 c₁、c₂、d₁、d₂、m₁ 和 m₂ 共 6 个参考点才可代表与主墙相连的次屏蔽墙的屏蔽效果。

2) 计算模式及参数选择：

泄漏辐射的屏蔽能力计算：在进行泄漏辐射防护计算时，为简化漏射线辐射计算，通常假定漏射线与有用线束射线具有相同的能量，且与靶心距离相同的漏射线辐射的最大强度不会超过有用射线强度的 0.1%。辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（2）），散射辐射的散射角 θ、泄漏辐射的斜射角均为 30°左右。

患者一次散射、泄漏辐射散射屏蔽能力计算：散射辐射预测模式可采用 GBZ/T 201.2-2011 第 5.2 章中推荐的估算公式，

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中： $\dot{H}$ 、 $\dot{H}_0$ 及 B 均与（1）式相同

R_s^2 ：患者（位于等中心点）至参考点的距离，m

F ：治疗装置有用束在等中心处的最大治疗面积（cm²），取 40×40cm²

α_{ph} ：400cm² 面积上的散射因子，即患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距离其 1m 处（关注点方向）处的剂量比例。

设屏蔽墙外参考点距离屏蔽墙的距离均为 30cm，加速器辐射源点（靶点）至各参考点的距离见表 11-6，各参考点处的泄漏辐射及散射辐射水平理论估算结果见表 11-7。

从表中的理论估算结果可以看出，该加速器机房与主屏蔽区域相连的次屏蔽区域辐射防护设计能够满足 10MV 加速器的泄漏射线和一次散射 X 射线的辐射防护要求。

表 11-6 各参考点离加速器等中心距离

参考点位置	参考点	单位	计算结果
南墙表面 30cm	c ₁	m	$R^* = \text{等中心距墙壁外表面距离 } 7.21 + \text{墙外参考点 } 0.3 = 7.51$
南墙表面 30cm	c ₂	m	$R^* = \text{等中心距顶层外表面距离 } 6.60 + \text{墙外参考点 } 0.3 = 6.90$
北墙表面 30cm	d ₁	m	$R^* = \text{等中心距墙壁外表面距离 } 7.41 + \text{墙外参考点 } 0.3 = 7.71$
北墙表面 30cm	d ₂	m	$R^* = \text{等中心距墙壁外表面距离 } 7.50 + \text{墙外参考点 } 0.3 = 7.80$
屋顶表面 30cm	m ₁	m	$R^* = \text{等中心距顶层外表面距离 } 8.37 + \text{墙外参考点 } 0.3 = 8.67$
屋顶表面 30cm	m ₂	m	$R^* = \text{等中心距顶层外表面距离 } 8.03 + \text{墙外参考点 } 0.3 = 8.33$

*注：表中等中心距墙壁外表面的距离为在 CAD 图中测量得到的距离。

表 11-7 加速器机房与主屏蔽相连次屏蔽区域防护能力计算结果

参数		南墙 (c ₁ 点)	南墙 (c ₂ 点)	北墙 (d1 点)	北墙 (d2 点)	屋顶 (m ₁ 点)	屋顶 (m ₂ 点)
泄漏辐射	混凝土建筑厚度 (<i>m</i>)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
	TVL1	35	35	35	35	35	35
	TVL	31	31	31	31	31	31
	<i>B</i>	2.66×10 ⁻⁷				6.56×10 ⁻¹⁰	
	<i>Xe(cm)</i>	208				289	
	$\dot{H}_0$ (μSv·m ² ·h ⁻¹)	3.6×10 ⁸					
	f	0.001					
	<i>R</i> (<i>m</i>)	7.51	6.90	7.71	7.80	8.67	8.33
	$\dot{H}$ 估算值(μGy·h ⁻¹)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
患者散 射辐射	TVL1	28	28	28	28	28	28
	TVL	28	28	28	28	28	28
	<i>B</i>	3.77×10 ⁻⁸				4.90×10 ⁻¹¹	
	<i>Xe(cm)</i>	208				289	
	α _{ph}	0.00318	0.00318	0.00318	0.00318	0.00318	0.00318
	$\dot{H}$ 估算值(μGy·h ⁻¹)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
泄漏辐射和散射辐射的复合 作用 $\dot{H}$ (μGy·h ⁻¹)		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$\dot{H}$ 控制值(μGy·h ⁻¹)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

注：①散射角取 30°

(4) 侧屏蔽墙 (e 点、f 点) 及迷路外墙 (k 点) 屏蔽效果预测

1) 射线路径：东墙：O→f，西墙：O→e，东墙 O₁→k。

2) 计算模式及参数选择:

加速器机房东墙、西墙为侧屏蔽墙，主要考虑泄漏射线的辐射影响；其中东墙设计迷路，迷路外墙 k 点也主要考虑靶点 O₁ 点泄漏射线的辐射影响，估算方法类似主屏蔽区，辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（2））。

3) 预测计算结果

将各参数代入公式计算，计算结果如表 11-8。

表 11-8 侧屏蔽区预测计算结果

	东墙侧屏蔽（f 点）	西墙侧屏蔽（e 点）	东侧迷路外墙（k 点）
X（cm）	60 砵+180 砵（约）	180 砵	180 砵（约）
TVL（cm）	31	31	31
TVL ₁ （cm）	35	35	35
B	2.44×10^{-8}	2.10×10^{-6}	2.10×10^{-6}
R（m） ^①	8.1	5.8	8.4
H_0 （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）	3.60×10^8	3.60×10^8	3.60×10^8
f	0.001	0.001	0.001
$\dot{H}$	$<0.01 \mu\text{Sv/h}$	$0.02 \mu\text{Sv/h}$	$0.01 \mu\text{Sv/h}$
$\dot{H}_c$ （剂量率参考控制水平）	$2.5 \mu\text{Sv/h}$	$2.5 \mu\text{Sv/h}$	$2.5 \mu\text{Sv/h}$
评价结果	满足	满足	满足

注：①R_东=等中心点到屏蔽墙外侧的距离 7.8m+参考点距离 0.3m=8.1m

R_西=等中心点到屏蔽墙外侧的距离 5.5m+参考点距离 0.3m=5.8m

R_外=等中心点到迷路外墙外侧的距离 8.1m+参考点距离 0.3m=8.4m

(5) 迷路入口处辐射水平核算（g 点）

本项目配置的加速器 X 射线最大为 10MV，且有用射束方向不向迷道内墙照射，根据 GBZ/T 201.2 -2011，g 点处同时受到迷路内散射辐射（O₁→O→i→g）及加速器的泄露辐射 O₁ 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量，当迷路内墙为斜形时，还需考虑 O₂ 点产生的写了辐射在 g 处的剂量。

1) 射线路径：泄漏射线：O₁→g、O₂→g，散射射线：O₁→O→i→g

2) 计算模式、参数选择及估算结果

① 泄漏辐射计算模式及参数

g 点泄漏辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（4））。

将相关参数代入公式（4）可估算出防护门外 30cm（g 点）处的辐射水平，各参数选取及估算结果见下表：

表 11-9 机房入口门外 30cm（g 点）处无防护门时的泄露辐射剂量率计算

	设计厚度 (cm)	$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv/h}$)	R (m)	B	f	$\dot{H}_{\text{og}}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
O ₁ →g	150	3.6×10^8	7.40	1.95×10^{-5}	0.001	0.13
O ₂ →g	125	3.6×10^8	8.81	1.25×10^{-4}	0.001	0.58

② 泄散射辐射计算模式及参数

根据 GBZ/T 2012.2-2011，先根据公式（7）计算 g 点的散射辐射剂量率。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \dots \dots \dots (5)$$

式中， $\dot{H}_g$ ——g 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α_{ph} ——患者 400cm² 面积上的散射因子，见附录 B 表 B.2，通常取 45°散射角的值；本项目取 45°散射角的 10MV 的散射因子，即 1.35×10^{-3} ；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；本项目为 40cm×40cm=1600cm²；

α_2 ——砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.6）的散射因子，通常取 B 处的入射角为 45°，散射角为 0°；本项目保守取 0.5MeV 的入射射线在散射角为 0°时的散射因子，即 22×10^{-3} ；

A——B 处的散射面积，m²；本项目为 7.29m²；

R₁——“O→i”之间的距离，m；本项目取为 6.86m；

R₂——“i→g”之间的距离，m；本项目取为 9.23m；

$\dot{H}_0$ ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

表 11-10 机房入口门外 30cm（g 点）处无防护门时的散射辐射剂量率计算

F	A	α_{ph}	$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv/h}$)	R ₁	R ₂	α_2	$\dot{H}_g$ ($\mu\text{Sv/h}$)
1600	7.29	1.35×10^{-3}	3.6×10^8	6.86	9.23	22×10^{-3}	77.8

（6）防护门外散射辐射剂量率计算

1) 计算模式及参数选择

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X 时，防护门外的辐射剂量率按公式（8）进行计算。迷路入口防护门屏蔽计算为 g 点处散射线及漏射线在该处的值经过防护门屏蔽后的辐射剂量之和。公式如下：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-\left[\frac{X}{TVL}\right]} + \dot{H}_{og} \cdot 10^{-\left[\frac{X}{TVL}\right]} \quad \dots\dots (6)$$

式中， $\dot{H}$ ——防护门外的辐射剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

X——防护门的铅防护厚度，1.5cm；

TVL——射线在铅防护门中的什值层厚度；散射线 TVL₁ 取 0.5cm（铅），泄漏射线的 TVL₂ 值参考 NCRP NO.151 中表 B.2 取值，取 5.7cm。

$\dot{H}_{og}$ ——当加速器机头（靶）在 O₁ 或 O₂ 点位置，主射线朝向 b 点或 a 点时，泄漏射线穿过迷路内墙在 g 处的剂量率，单位为 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；本项目在第（5）部分已有计算，结果取较大值 0.58 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

2) 预测计算结果

各参数选取及估算结果见下表：

表 11-11 防护门外的总辐射剂量率计算

参数	$\dot{H}_g$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	TVL ₁ (cm)	$\dot{H}_{og}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	TVL ₂ (cm)	X (cm)	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
g 点	77.8	0.5	0.58	5.7	1.5	0.39

(8) 加速器机房辐射防护评价

加速器机房各侧墙体及防护门外的理论估算结果汇总见表 11-12。

表 11-12 加速器机房屏蔽防护设计理论估算结果汇总表

位置	南墙		北墙		屋顶		东墙		西墙	防护门
	主屏蔽	副屏蔽	主屏蔽	副屏蔽	主屏蔽	副屏蔽	侧屏蔽	迷路外墙	侧屏蔽	
参考点	a	c ₁ 、c ₂	b	d ₁ 、d ₂	l	m ₁ 、m ₂	e	k	f	g
辐射类型	有用	泄漏、散射	有用	泄漏、散射	有用	泄漏、散射	泄漏	泄漏	泄漏	泄露、散射
参考点剂量率值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.48	<0.01	0.40	<0.01	0.21	<0.01	<0.01	0.01	0.02	0.39
剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
居留因子	1	1/4	1/4	1	1	1	1/4	1/4	1/4	1/4

使用因子	1/4	1	1/4	1	1/4	1	1	1	1	1
年工作时间 (h)	2000									
年有效剂量 (mSv/a)	0.24	<0.01	0.05	<0.01	0.11	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.20
目标管理值 (mSv/a)	5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

从表 11-12 中理论估算结果可以看出，本项目加速器机房的治疗室屏蔽墙、屋顶及防护门的防护设计能够满足 10MV 加速器的辐射防护要求，加速器运行过程中治疗室屏蔽墙和防护门外的剂量当量率均能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）“在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。”的要求。

2、加速器机房电子线治疗时防护评价

本项目加速器最大 X 射线能量为 10MV，电子线最大能量为 18MeV，由于电子束的穿透能力远小于 X 射线，对治疗 X 射线的屏蔽机房完全满足屏蔽电子束的要求。电子束治疗时，平均束流为 nA 量级，X 射线治疗时平均束流为 μA 量级，治疗电子束所产生的韧致辐射远小于 X 射线治疗时的辐射，即使电子能量大于治疗 X 射线的最大能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所需要的厚度也低于对 10MV X 射线的屏蔽要求。

3、辐射工作人员和公众剂量估算

本项目拟为医用直线加速器配备 7 名辐射工作人员。从表 11-12 估算结果可知，加速器在运行过程中，项目对加速器机房外环境辐射影响较小。该加速器投入运行后，辐射工作人员年有效剂量约为 0.24mSv。本项目周围公众年有效剂量最大为 0.20mSv，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管理目标剂量约束值要求（职业人员不超过 5mSv/a，公众不超过 0.25mSv/a）。

4、废弃靶材料

本项目医用直线加速器长时间运行后，一些长寿命的核素会随着加速器运行时间的增加而不断积累，加速器更换下来的靶物质及其他感生放射性部件均应作为放射性废物进行处理，不得随意丢弃。

二、DSA 项目辐射环境影响分析

1、DSA 机房辐射防护效果预测与评价

医院拟在医技门诊楼四楼新建 DSA 机房，在该机房内配备 1 台 DSA 设备，设备型号为 Innova IGS 540，最大管电压为 125kV，管电流为 1000mA；医技楼四楼 DSA 机房所在楼层平面布局图见附图 3。

本项目 DSA 机房的屏蔽设计参数见下表 11-13。

表 11-13 DSA 机房屏蔽参数一览表

屏蔽方位	屏蔽材料及屏蔽厚度	等效屏蔽效果
东、南、西、北墙	轻质砖+2mm 铅板	2mm 铅当量
屋顶	12cm 砼+3cm 硫酸钡涂层	约 3mm 铅当量
地板	12cm 砼+3cm 硫酸钡涂层	约 3mm 铅当量
观察窗	2mm 铅当量铅玻璃	2mm 铅当量
防护门	含 2mm 铅板	2mm 铅当量

本项目 DSA 机房的使用面积与最小单边长度与《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中要求进行对比见下表 11-14，机房的屏蔽墙体的等效铅当量及其与《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中要求的铅当量进行对比见下表 11-15。

表 11-14 本项目 DSA 机房最小面积评价

设备类型	机房实际面积 (m ²)	最小有效面积要求 (m ²)	最小单边长度 要求 (m)	评价结果
DSA	12.1*5.8	30	4.5	满足

表 11-15 DSA 机房辐射防护评价

射线装置	最大 管电压 (kV)	机房屏蔽体 及其等效屏蔽 铅当量 (mm)	机房类型	有用线束方 向铅当量厚 度要求 (mm)	非有用线 束方向铅 当量厚度 要求(mm)	评价 结果
DSA	125	◆四周墙体：2 ◆顶部：3 ◆地坪：3 ◆防护门：2 ◆观察窗：2	介入 X 射线 设备机房	2	2	满足

由上表可知灌南县人民医院的 DSA 机房屏蔽设计均在 2~3mmPb，机房的有效使

用面积、最小单边长度及屏蔽防护均能够满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130- 2013）中介入 X 射线机机房的相关要求。因此可推断其机房周围环境辐射水平能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）以及《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）中“机房外的周围剂量当量剂量约束值控制目标值应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

2、工作人员和公众剂量估算

使用 DSA 开展介入手术时，只有在曝光和透视阶段，X 线球管才会发射 X 射线，DSA 手术室内受照人员为介入手术操作人员和病人。介入手术操作是在 X 射线透视引导下进行的，透射时曝光时间相对较长，一般单台介入手术透视累计曝光时间约为 10 分钟，有的长达半个小时，甚至超过 1 小时。在手术过程中，介入手术医生要站在导管床边进行手术操作，其手部直接暴露在照射野内，而躯干距离 X 线球管照射野也非常近。且不同类型的手术，其曝光或透视的管电压管电流不同，投照方位根据需要而变化，且投照出束时间不同，难以准确估算介入工作人员受到的准确照射剂量，只能依靠其佩戴的个人剂量计进行跟踪性检测。

参考《CA 与 PTCA 中医务人员的剂量学研究》（中国辐射卫生 2006 年 3 月第 15 卷第 1 期）文献中的对 37 例手术医生的检测、统计结果，按每年工作 50 周，每周工作 5 天，每天进行 4 例手术的情况，估算得到第一手术者年受照剂量为 3.5mSv。

医院目前拟为本项目配备 3 名辐射工作人员，将来根据工作需要酌情增加辐射工作人员。根据医院提供资料可知，医院辐射工作人员参与的手术台数与上述文献中手术数量相当，因此，由上述估算可推断，在正常操作 DSA、且正确穿戴放射防护用品、根据个人剂量检测数据严格控制医务人员工作量的前提下，本项目 DSA 配备的辐射工作人员能够满足本项目管理目标值：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

由于本项目介入治疗手术过程中辐射工作人员的受照剂量受多种不确定因素的影响，工作人员的受照射情况复杂多变，难以准确估算其年有效剂量。因此上述理论估算结果只能大致反映出工作人员受照射程度。本项目参与介入手术的医务人员在手术过程中均应佩戴个人剂量计，医院应根据个人剂量检测结果及时对工作人员工作岗位进行调整，确保其年有效剂量满足本项目的目标管理值要求。

由于机房自身具有良好的屏蔽，且经过距离的进一步衰减，公众年受照剂量能够满足 GB18871-2002 中对公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求：公众年有效剂量不超过 0.25mSv。

事故影响分析

医用电子加速器只有在治疗期间时才会产生 X 射线，该项目辐射事故多为人员误留或误入加速器治疗机房产生的误照射事故，主要有：

- (1) 辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射；
- (2) 加速器治疗期间工作人员或其他人员误留在治疗室内，致使其受到大剂量辐照；
- (3) 由于加速器安全联锁装置、工作状态指示灯或其他安全装置失灵，治疗期间人员误入加速器机房内受到误照射；
- (4) 加速器维修调试过程中，因维修人员误操作导致加速器出束，可能发生误照射；运行过程中直线加速器机房的门机联锁失效、无关人员误入机房导致的误照射。

DSA 为II类射线装置，在射线装置开展医疗诊断和介入治疗过程中，如果不被安全管理或可靠保护，可能对误入机房的受照人员产生较严重放射损伤。因此本项目主要事故风险为：

- (1) DSA 正常工作时，人员误留、误入机房内，导致发生误照射。
- (2) 操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

预防措施：针对以上可能发生的事事故风险，灌南县第一人民医院应根据发生辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，制定辐射事故应急方案，采取的预防措施主要有：

- (1) 建立辐射安全管理机构，制定完善的规章制度，并在实际工作过程中严格执行；
- (2) 加强辐射安全管理，加强辐射工作人员技能培训和辐射安全与防护知识的培训，提高个人的技能和辐射安全防范意识；
- (3) 定期检查各辐射工作场所的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

本项目有医用直线加速器和 DSA 属 II 类射线装置。根据保护部第 3 号令《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用 II 类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

根据上述要求，灌南县第一人民医院目前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。医院本次项目配备的辐射工作人员部分已参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，并考核合格，医院应尽快安排其余未培训的辐射工作人员参加辐射安全培训，并在其考核通过后方能上岗。对于将来新增的辐射工作人员，医院也应安排其及时参加辐射安全培训及考核，考核合格方能上岗。同时现有辐射培训证书到期人员还应定期参加复训。

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》（国务院令第 449 号）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第 3 号）和《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）中的有关要求，使用射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台账登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施。

灌南县第一人民医院应根据相关要求，制定辐射防护管理规章制度，包括医用直线加速器及 DSA 等项目相关的规章制度及操作规程，并在今后的实际工作中对制定的规章制度进行完善。本报告现对相关管理制度的完善提出如下建议和要求：

●**操作规程：**明确医用加速器、DSA 等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具体操作步骤。重点是：①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；②从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

●**岗位职责：**明确射线装置操作人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

●**辐射防护和安全保卫制度：**根据射线装置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：①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；②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护，

●**台账登记制度：**建立射线装置使用登记台帐，重点是：射线装置的使用情况等由专人负责登记、专人形成台帐、每月核对，确保使用情况与登记相符。

●**人员培训计划：**明确培训对象、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，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据 18 号令，取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每四年接受一次再培训。

●**监测方案：**明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报环境保护行政主管部门。为了确保Ⅱ类射线装置的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：①应配备一台环境辐射巡测仪，用于辐射工作场所定期自行检测；②为医用直线加速器及 DSA 各配备两台个人剂量报警仪，定期开展直线加速器机房的放射性监测工作；③辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案；④委托有资质监测单位对本项目的射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

●**事故应急方案：**为了保障放射工作人员的安全与健康，及时控制突发事件，该单位还应对放射性事故处理、应急处置规章制度及放射性同位素突发性环境污染事故应急预案进行评价，重点是：①在处理放射事故之前，必须制定出具体的处理方案和步骤，并做好充分准备工作；②在处理放射事故过程中，必须进行现场环境监测防止超剂量事故发生；③发现放射事故必须迅速组织人力、物力采取有效措施进行处理，决不能延误处理时间；④放射事故处理完毕，必须对有关设备进行全面清理，确定安全后方可使用；⑤在处理放射事故过程中，必须在有资格的安全防护人员指导下进行，不得随意违背处理方案和步骤；⑥努力做好放射事故中的剂量监测工作，认真分析事故发生原因；⑦认真做好放射事故资料整理归档工作；⑧明确应急小组的成员与分工；⑨增加应急小组成员的联络方式。在今后的工作中，还应根据实际情况不断完善相应的辐射事故应急方案和措施。

综上所述，灌南县第一人民医院在制定并严格落实上述制度后，能够确保公司本次项目医用直线加速器及 DSA 的安全使用，满足国家相关的管理及技术层面要求。

辐射监测

本项目医用直线加速器和 DSA 属Ⅱ类射线装置，根据国家环境保护部令第 3 号

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、辐射剂量巡测仪、表面沾污仪等仪器；用于对各辐射工作场所周围的辐射水平进行巡测。

医院目前尚未配备辐射巡测仪，根据相关规定医院应尽快配备 1 台环境辐射剂量巡测仪，并为医用直线加速器项目及 DSA 项目各配备 2 台个人剂量报警仪，方能满足审管部门对于监测仪器的要求。

医院应定期（不少于 1 次/年）请有资质的单位对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测；定期请有资质的单位对射线装置进行防护监测，包括仪器设备防护性能的检测，每年 1~2 次；辐射工作人员均应佩带个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/季度）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案。

落实以上措施后，医院安全措施能够满足辐射安全的要求。

辐射事故应急

灌南县第一人民医院应针对加速器项目可能产生的辐射事故情况制定事故应急预案，应急预案内容应包括：

- （1）应急机构和职责分工；
- （2）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；
- （3）应急演习计划；
- （4）辐射事故分级与应急响应措施；
- （5）辐射事故调查、报告和处理程序。

灌南县第一人民医院应依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号文）的要求，必须明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。发生辐射事故时，公司应立即启动企业内部的事事故应急方案，采取必要防范措施，并在 1 小时内向所在地环境保护部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向卫生部门报告。事故发生后公司应积极配合环境保护部门、公安部门及卫生部门调查事故原因，并做好后续工作。

表 13 结论与建议

结论

1. 实践正当性

为进一步完善周边地区卫生服务设施，优化医疗资源布局，灌南县第一人民医院拟在医院门诊医技楼地下一层建设一座医用直线加速器机房，配备一台医用直线加速器；医院拟在门诊医技楼四楼建设一座 DSA 机房，配备一台 DSA 设备用于开展血管造影、介入手术。该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

2. 选址、布局合理性

本项目加速器机房布局符合《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）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中“新建治疗室不应小于 45m²”、“治疗室入口处必须设置防护门和迷路”等规定，布局基本合理。

DSA 机房拟设在门诊医技楼四楼，医院拟将机房划分为控制区，拟将操作间划分为监督区，本项目 DSA 项目的布局及分区基本合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

3. 辐射屏蔽能力分析

灌南县第一人民医院本项目加速器机房拟采用混凝土及铅板进行实体防护，DSA 机房拟采用铅板及硫酸钡涂料进行屏蔽。根据理论估算结果可知，医院本次医用加速器项目机 DSA 在落实辐射屏蔽措施及辐射防护措施后，能够符合相关辐射防护要求。

4. 保护目标剂量

根据理论估算结果，本项目在做好屏蔽、个人防护措施和安全措施的情况下，项目对辐射工作人员及周围的公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv。

5. 辐射安全措施

灌南县第一人民医院医用直线加速器机房设置钥匙控制、“当心电离辐射”

警告标志、门机联锁、急停开关、实时监控及工作指示灯等辐射安全措施。DSA 机房入口处需设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯，还应在灯箱处设警示语句，并确保工作状态指示灯与机房相通的门能有效联动；机房门外还应标注放射防护注意事项。医院应为本项目 DSA 辐射工作人员配备足够数量的铅衣、铅防护眼镜、铅帽、铅防护围脖等防护用品。

医院应为本项目配备 1 台环境辐射剂量巡测仪及 4 台个人剂量报警仪；本项目拟配备的辐射工作人员均应进行个人剂量监测，并应定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，并按相关法规要求建立工作人员个人剂量档案和职业健康监护档案。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

6. 辐射环境管理

灌南县第一人民医院已成立辐射安全与环境保护管理小组，负责本项目安全管理和环境保护工作；医院已根据相关要求制定部分辐射防护管理规章制度，医院还应针对本项目制定相应的操作规程及射防护管理规章制度，并在实际工作中补充完善相关的辐射管理制度，使其具有较强的针对性和可操作性。本项目拟配备的所有辐射工作人员均应参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，只有在其通过考核后才能正式从事相应工作。

在落实以上措施后，本项目的辐射安全管理能够满足辐射安全要求。

综上所述，灌南县第一人民医院新建医用直线加速器及 DSA 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，该单位将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其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，从辐射环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议与承诺

- (1) 项目运行中，应严格遵守操作规程，避免意外事故的发生；
- (2) 所有设备资料、放射性同位素台帐和监测资料妥善保管，存档备案。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见

经办人签字

公章
年 月 日

审批意见：

经办人签字

公章
年 月 日

