

核技术利用建设项目

医用电子直线加速器建设项目
环境影响报告表
(报批稿)

雅戈尔置业控股有限公司

2019年12月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

医用电子直线加速器建设项目 环境影响报告表

建设单位名称：雅戈尔置业控股有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：宁波市海曙区鄞县大道西段2号

邮政编码：315000

联系人：***

电子邮箱：

联系电话：*****

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 射线装置.....	3
表 3 放射源.....	3
表 4 非密封性放射性物质.....	3
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	3
表 6 评价依据.....	4
表 7 保护目标与评价标准.....	5
表 8 环境质量和辐射现状.....	9
表 9 项目工程分析与源项.....	12
表 10 辐射安全与防护.....	15
表 11 环境影响分析.....	18
表 12 辐射安全管理.....	24
表 13 结论与建议.....	26

表 1 项目基本情况

建设项目名称		医用电子直线加速器建设项目			
建设单位		雅戈尔置业控股有限公司			
法人代表	钱*	联系人	***	联系电话	*****
注册地址		浙江省宁波市海曙区鄞县大道西段 2 号			
项目建设地点		宁波市海曙区汇士路与香雪路交界处			
立项审批部门		宁波市海曙区发展和改革局	批准文号	海发改投[2018]86 号	
建设项目总投资 (万元)	1000	项目环保投资 (万元)	100	投资比例(环保投资/总投资)	10%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积	-
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"/> VI类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> VI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 checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
其他	/				
<p>医院概述:</p> <p>为推进宁波城西地区医疗卫生事业的发展,优化健全宁波市医疗卫生布局,经批准,雅戈尔置业控股有限公司在宁波市海曙区集士港 CX06-05-02g 地块(西至纵西河绿化带、北至医院北侧河道绿化带、东至香雪路、南至汇士路绿化带的规划用地)新建宁波普济医院。医院占地 122 亩,建筑面积 22 万平方米,主要建筑包括医疗综合楼、国际医疗中心楼等,设床位 1600 张,是一所按三级甲等医院标准建设的大型综合性医院。</p> <p>任务由来:</p>					

为医学治疗和诊断需要，医院于综合楼地下1层放疗中心建设直线加速器机房2间，新增2台医用电子直线加速器（X射线最高能量为15MeV）安装于加速器机房内。

为保护环境，保障公众健康，雅戈尔置业控股有限公司委托杭州旭辐检测技术有限公司对本项目进行辐射环境影响评价。评价单位在现场踏勘、检测和收集有关资料的基础上，按照国家对辐射项目环境影响评价技术规范的要求，编制完成该项目的辐射环境影响报告表。

项目地理位置：

宁波普济医院位于宁波市海曙区集士港镇汇士路与香雪路交界处，东至香雪路，南至汇士路，西至纵西河，北至医院北侧河道（暂名）。本次评价的2间直线加速器机房位于医疗综合楼地下1层放疗中心西侧，2间加速器机房东侧为其控制室、水冷机房和候诊大厅，南侧为车库通道，西侧为车库，北侧均为楼梯，正上方为庭院、排烟机房和送风机房等，正下方为土层。本项目相关辐射工作场所周围50m区域内无环境保护敏感点。其具体地理位置示意图见附图1，医院总平面布置图见附图2，医疗综合楼地下层直线加速器机房内平面布置见附图3。

表 2 射线装置

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II类	2	待定	电子	15	—	放射治疗	综合楼地下1层放疗科	本次环评

表 3 放射源

序号	核素名称	总活度/活度×枚数	半衰期 (天)	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
	此表空白								

表 4 非密封性放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量			周操作频次	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
				单人最大用量 (Bq)	实际日最大操作量 (Bq)	数量 (人/日)							
	此表空白					1	5						

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
此表空白								

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》，2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，生态环境部，2018 年 12 月 29 日；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 449 号，2005 年 12 月 1 日；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2017 修正版），中华人民共和国环境保护部令第 47 号，2017 年 12 月；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月；</p> <p>(8) 《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 1 日；</p> <p>(9) 关于修改《建设项目环境影响评价分类管理名录》部分内容的决定，生态环境部 1 号部令，2018 年 4 月 28 日；</p> <p>(10) 《射线装置分类》，环境保护部和国家卫生计生委，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日。</p> <p>(11) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》，省政府令第 364 号，2018 年 1 月 22 日；</p> <p>(12) 《浙江省辐射环境管理办法》，省政府令第 289 号，2012 年 2 月；</p> <p>(13) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日起实施。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《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，环境保护部；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》，GB18871-2002；</p> <p>(3) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）。</p>

表 7 保护目标与评价标准

<p>评价范围</p> <p>根据本项目的特点（使用II类射线装置），同时结合《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）的相关规定，确定本项目的评价范围为直线加速器机房周围 50m 区域。</p>
<p>保护目标</p> <p>本项目环境保护目标为医院从事直线加速器放射治疗的辐射工作人员和直线加速器机房周围其他非辐射工作人员和公众成员。</p>
<p>评价标准</p> <p>（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。</p> <p>第 4.3.2.1 款，应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。</p> <p>第 B1.1.1.1 款，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：</p> <p>a)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；本项目取其四分之一即 5mSv 作为管理限值。</p> <p>第 B1.2 款 公众照射</p> <p>实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：</p> <p>a)年有效剂量，1mSv；本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为管理限值。</p> <p>（2）《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）</p> <p>本标准规定了医用电子加速器(以下简称加速器)用于临床治疗时的放射防护要求.包括基本要求、加速器的放射防护性能要求、治疗室防护和安全操作要求、贡量控制要求及其检测方法。</p> <p>本标准适用于标称能量在 50MeV 以下的医用电子加速器的生产和使用。</p> <p>6 治疗室防护和安全操作要求</p> <p>6.1 治疗室的防护要求</p> <p>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</p>

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/T201.1 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

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 10MeV 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 45m^2 。

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 部分:一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)

本部分规定了医用放射治疗机房(以下简称治疗机房)辐射屏蔽的剂量参考控制水平、一般屏蔽要求和辐射屏蔽评价要求。

本部分适用于外照射源治疗装置的机房。

4 治疗机房一般屏蔽要求

4.1 屏蔽所考虑的环境问题

4.1.1 治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端。治疗机房的坐落位置应考虑周围环境与场所的人员驻留条件及其可能的改变,并根据相应条件确定所需要的屏蔽。

4.1.2 在设计和评价治疗机房顶屏蔽时,应充分考虑“天空散射辐射”,“侧散射辐射”对治疗机房邻近场所中驻留人员的照射。

4.2 治疗机房布局要求

4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机房分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备,凡是可与治疗装置分离的,应尽可能设置于治疗机房外。

4.2.2 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室,应尽可能避开有用束可直接照射的区域。

4.2.3 X 射线管治疗装置的治疗机房可不设迷路。 γ 刀治疗装置的治疗机房,根据场所空间和环境条件,确定是否选用迷路。除此之外,其他治疗机房应设置迷路。

4.2.4 应根据治疗要求给定治疗装置源点的位置（它可能偏离机房的对称中心）或后装治疗源可能应用的源点的位置和范围。

(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)

GBZ/T201 的本部分给出了电子直线加速器（以下称加速器）放射治疗机房的剂量控制要求,辐射屏蔽的剂量估算与检测评价方法。

本部分适用于 30MeV 以下的加速器放射治疗机房。

4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述 a)、b)和 c)所确定的剂量率参考控制水平 H_c :

a) 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，可以依照附录 A,由以下周剂量参考控制水平(H_c)求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$):

1) 放射治疗机房外控制区的工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$;

2) 放射治疗机房外非控制区的人员： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

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

1) 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所; $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$;

2) 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所; $H_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

c) 由上述 a)中的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ 和 b)中的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$,选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)。

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b)两种情况控制：

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到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 30cm 处和 (或)在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率 $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$,按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)加以控制。

b) 除 4.2.2 中 a)的条件外，应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和,应按 4.2.2 中的 a)确定关注点的剂量率参考控制水平 $H_c(\mu\text{Sv/h})$ 加以控制 ;

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射 ,以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制 ;

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶,考虑上述 1)和 2)之后 ,机房顶外表面 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制 (可在相应处设置辐射告示牌)。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 辐射环境现状检测

(1) 检测目的

掌握本次评价的直线加速器机房周围的辐射环境质量背景水平，为现状评价提供基础数据。

(2) 检测内容

根据污染因子分析，建设单位委托杭州旭辐检测技术有限公司于 2019 年 8 月 28 日对本项目拟建址周围进行辐射环境背景水平检测。

(3) 检测点位

按照《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》的要求，结合现场条件，对直线加速器机房拟建址周围进行布点检测。检测点位布点详见图 8-1。

(4) 检测仪器与规范

检测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 X- γ 辐射剂量当量率仪参数与规范

仪器名称	环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率仪
仪器型号	JC-5000
能量回应	48Kev~3Mev \leq ±30%（相对于 137Cs）
量程	1nGy/h~200uGy/h, 1nSv/h~200uSv/h
检定证书	上海市计量测试技术研究院 (检定证书编号：2019H21-20-1782071001 号) 有效期：2019 年 04 月 04 日-2020 年 04 月 03 日
检测规范	环境地表 γ 辐射剂量率测定规范 GB/T 14583-1993

(5) 质量保证措施

- a、合理布设检测点位，保证各检测点位布设的科学性和可比性。
- b、检测方法采用国家有关部门颁布的标准，检测人员经考核并持有合格证书上岗。
- c、检测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- d 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- e 检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

(6) 检测结果

宁波普济医院本次评价的直线加速器机房拟建址周围辐射环境背景水平检测结果见表 8-2，检测报告见附件 7。

表 8-2 直线加速器机房拟建址周围 X-γ辐射剂量率检测结果

点位序号	测 点 描 述	辐射剂量率 (μSv/h)	
		平均值	标准差
▲1	直线加速器机房拟建址西侧	0.11	0.01
▲2	直线加速器机房拟建址北侧	0.12	0.01
▲3	直线加速器机房拟建址东侧	0.10	0.01
▲4	直线加速器机房拟建址南侧	0.13	0.01

注：检测结果未扣除仪器对宇宙射线的回应。

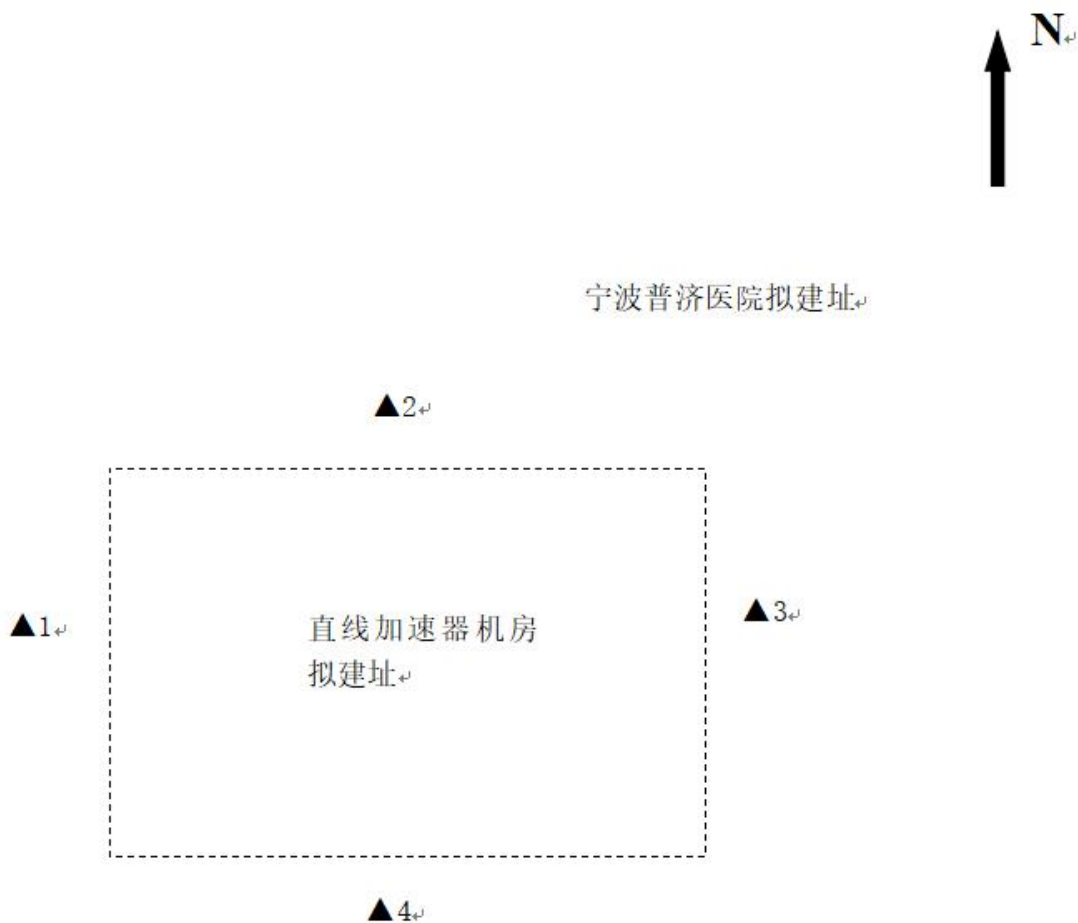


图 8-1 直线加速器机房拟建址周围检测点位示意图

8.2 现状评价

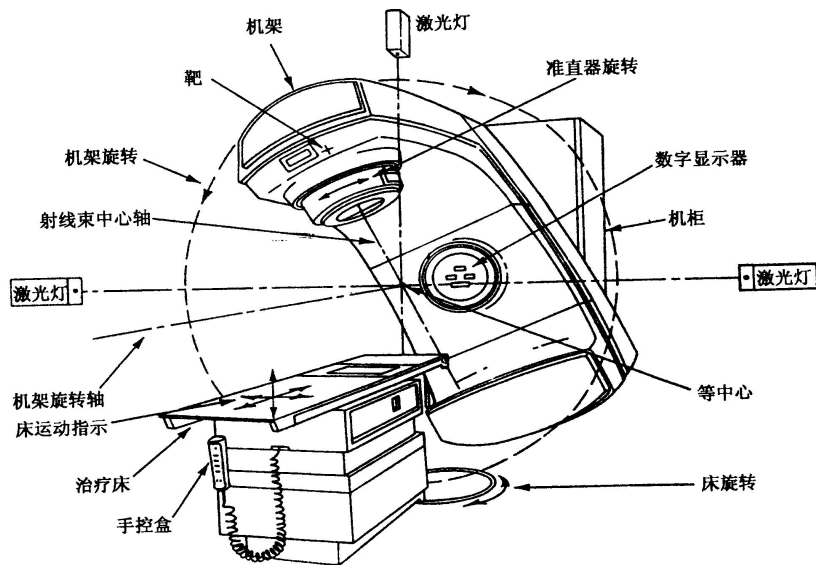
由检测结果可知：本项目直线加速器机房拟建址周围的辐射剂量率测量值在 $0.10\mu\text{Sv/h}\sim 0.13\mu\text{Sv/h}$ 之间，由《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，宁波市室内辐射剂量率在 $0.064\sim 0.128\mu\text{Sv/h}$ 之间。可见，本拟建址各检测点位地表 γ 辐射剂量率在其范围内，辐射环境质量状况未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1.1 直线加速器

(1) 工作原理

医用直线加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。因此，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。典型医用直线加速器见图 9-1。



9-1 医用直线加速器示意图

(2) 设备组成

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，再通过检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。医用直线加速器内部结构见图 9-2。

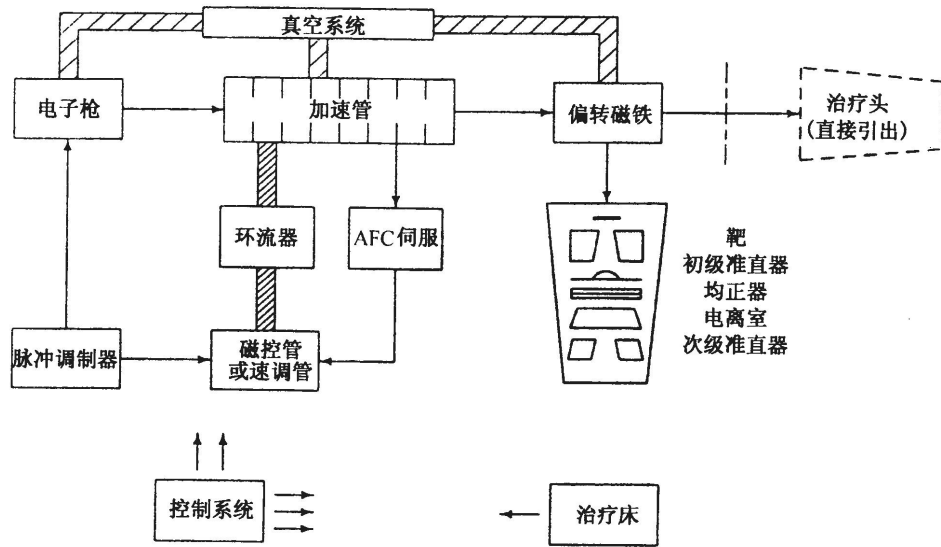


图 9-2 典型医用直线加速器内部结构框图

(3) 操作流程

- a. 进行定位。先通过 CT 机对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。
- b. 制订治疗计划。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时间。
- c. 固定患者体位。在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。
- d. 开机治疗。

污染源项描述

①电子束

电子直线加速器在运行时，电子枪产生大量的电子，电子被加速后聚焦为一股束流。电子束虽然占据的体积小，但是能量非常集中。电子束的贯穿能力相对于 X 射线比较弱，加速器四周的混凝土墙可将其完全屏蔽。

②X 射线

由加速器的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质相互作用时将产生高能 X 射线。这种 X 射线随机器的开、关而产生和消失。

③中子

在加速器工作时，高能电子束与靶物质相互作用而产生的韧致辐射，与加速器部件以及空气等物质作用形成放射性核，而会发生光核反应，放出中子。

④感生放射性

本项目拟新建的医用直线加速器的 X 射线能量为 15MeV，故应考虑感生放射性问题。医用电子直线加速器的感生放射性是加速器的初级和次级辐射与受照射物质相互作用，使受照射物质活化成为能释放出的 β 、 γ 等辐射的活化产物。

⑤有害气体

在开机期间 X 射线与空气作用将产生臭氧、氮氧化物等有害气体。

因此，本项目直线加速器在开机期间 X 射线为主要污染因子，其次为中子及臭氧、氮氧化物。

期间 X 射线为主要污染因子，其次为臭氧、氮氧化物。

射线装置在运行时无放射性废气、废水和固体废弃物产生。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

(1) 直线加速器机房位置

拟建直线加速器机房位于综合楼地下层放疗科，放疗中心正上方为庭院、排烟机房和送风机房，正下方为土层。2 间加速器机房位于医疗综合楼地下 1 层放疗中心西侧，2 间加速器机房东侧为其控制室、水冷机房和候诊大厅，南侧为车库通道，西侧为车库，北侧均为楼梯，正上方为庭院、排烟机房和送风机房等，正下方为土层。直线加速器机房正上方用地应避免规划为人员活动频繁的区域。

(2) 直线加速器机房防护

直线加速器机房采用屏蔽见表 10-1，平面布置图见附图 3。

表 10-1 直线加速器机房屏蔽情况一览表

项目	屏蔽情况	剂量约束值
机房概况	机房使用面积 64.8m ² (不含迷道) 长 8.2m, 宽 7.9m	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/T 201.2-2011)，控制区 Hc ≤ 100 μSv/周，非控制区 Hc ≤ 5 μSv/周。据调研，同类医院同规模直线加速器开机使用时间最大为每周 35 小时，故本项目剂量约束值相应为：控制区 Hc ≤ 2.9 μSv/h，非控制区 Hc ≤ 0.14 μSv/h。
迷道外墙厚度	1400mm 标准混凝土	
迷道内墙厚度	1400mm 标准混凝土	
主屏壁墙主屏蔽区厚度	2900mm 标准混凝土	
主屏壁墙副屏蔽区厚度	1500mm 标准混凝土	
西墙厚度	1500mm 标准混凝土	
顶棚主屏蔽区厚度	2300mm 重晶石混凝土	
顶棚副屏蔽区厚度	1200mm 重晶石混凝土	
屏蔽门	12mm 铅板+82mm 聚乙烯+22mm 含硼聚乙烯	
通风	设新风和排风系统	

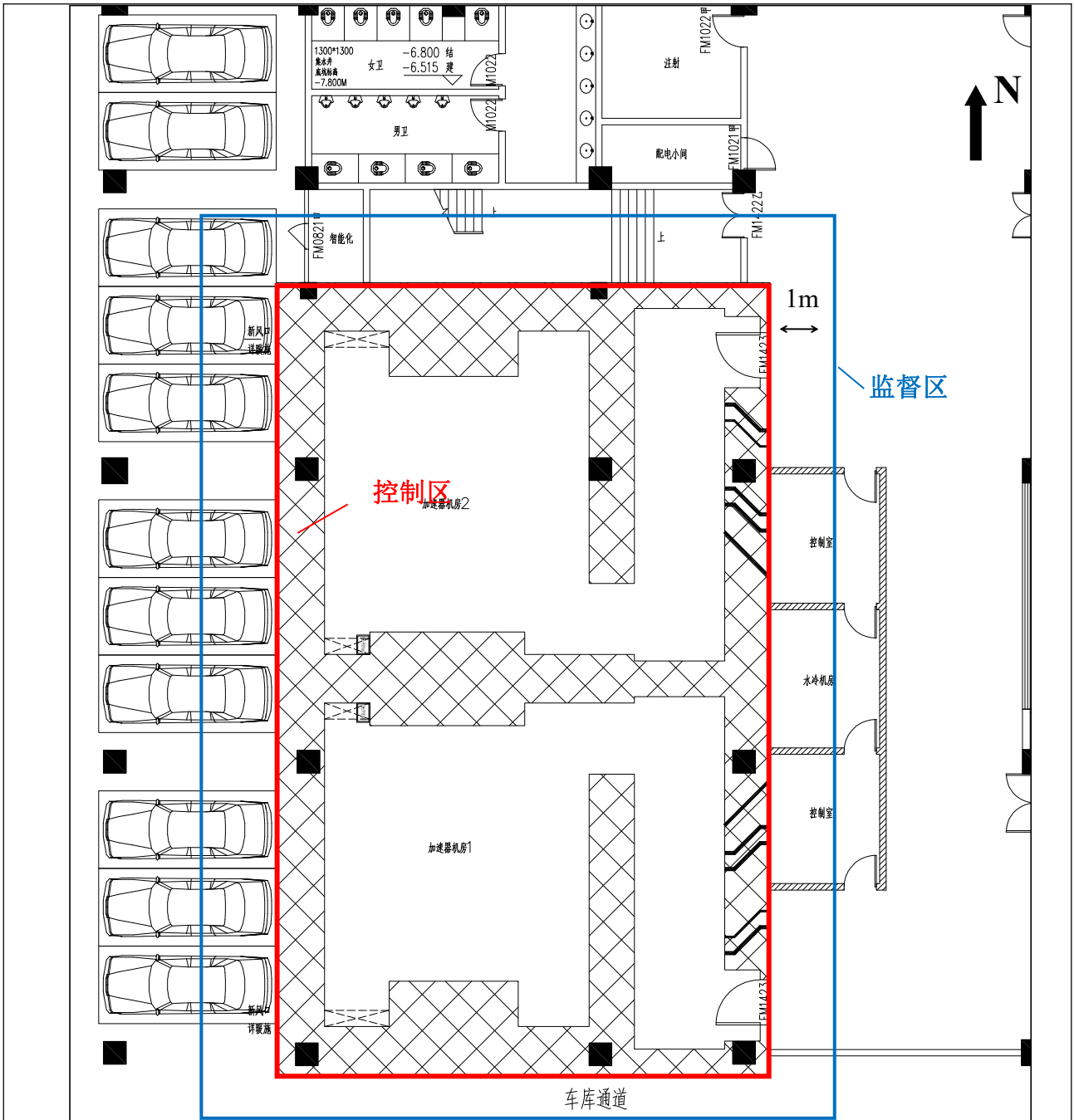


图 10-1 直线加速器机房分区图管理图

2、污染防治措施

- ①治疗室和控制室之间必须安装监视和对讲设备。
- ②防护门必须与加速器连锁，迷道内设置紧急停机、开门按钮。
- ③治疗室外醒目处安装辐照指示灯和辐射危险标志；并注明工作时严禁人员入内。
- ④需至少配备 2 只个人剂量报警仪。
- ⑤加速器机房配备一套固定式剂量实时检测系统（其设置点位可重点布置在迷道口、出入口、主控室等位置）。
- ⑥治疗室通风换气应达到每小时 4 次。
- ⑦医院须在所有操作室上张贴相应的操作规程。
- ⑧对直线加速器工作场所实行分区管理。将直线加速器机房墙壁围成的内部区域划为控制区，与墙壁外部相邻 1m 内的区域划为监督区，见图 10-1。

三废的治理

该院拟开展的直线加速器射线装置在使用过程中不产生放射性废水、废气以及放射性固体废物。产生的非放射性三废的治理如下：

①噪声

由于该医院的直线加速器机房设置于医疗综合楼地下 1 层放疗中心西侧，2 间加速器机房东侧为其控制室、水冷机房和候诊大厅，南侧为车库通道，西侧为车库，北侧均为楼梯，正上方为庭院、排烟机房和送风机房等，正下方为土层。四侧墙体及顶棚均采用混凝土分别一次性浇筑而成，可直接屏蔽机器运行时发出的声音，不会对辐射工作人员及周围公众产生影响。

②冷却水

直线加速器运行过程中产生的冷却水为循环使用，不外排。

③臭氧及氮氧化物

医院各射线装置机房运行时产生的臭氧及氮氧化物经各机房内具有送新风和排风装置的中央空调系统进行排放。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

医院拟建的医用射线装置直线加速器只有在开机曝光过程中才会产生辐射，其产生的射线是随机器的开、关而产生和消失的。因此在建设过程中，辐射装置未通电运行，故不会对周围环境造成电离辐射影响，也无放射性废气、废水及固体废弃物产生。

运行阶段对环境的影响

11.1 射线装置

为预测该项目直线加速器建成投入运行后对周围环境所造成的辐射影响，本次评价选取温州医学院附属第一医院的 15MeV 直线加速器运行时的辐射环境检测情况进行类比。可比情况详见表 11-1。

表 11-1 类比项目射线装置可比性分析

机房指标	温州医学院附属第一医院	本项目
最大能量	15MeV	15MeV
顶棚	机房顶部为 1300mm 现浇混凝土；（局部加厚到 2050mm 现浇混凝土）	顶棚主屏蔽区 2300mm 重晶石混凝土，副屏壁区 1200mm 重晶石混凝土
主防护墙厚	西侧墙体为：300mm 现浇混凝土（墙外为地下泥土层）； 东侧墙体为：1100mm 现浇混凝土（局部加厚到 1900mm 混凝土）	主屏壁墙主屏蔽区 2900mm 标准混凝土，副屏壁区 1500mm 标准混凝土
次防护墙厚	北侧墙体为 500mm 现浇混凝土（墙外为地下泥土层）	西侧墙体厚度为 1500mm 标准混凝土
屏蔽门	8mm 铅当量	12mm 铅板+82mm 聚乙烯+22mm 含硼聚乙烯
迷道	南侧为迷道，内侧迷道墙体 1000mm 现浇混凝土，外侧迷道墙体 850mm 现浇混凝土	东侧为迷道，迷道外墙厚度 1400mm 标准混凝土，迷道内墙厚度 1400mm 标准混凝土

由表 11-1 可知，本项目电子加速器技术参数与类比对象相当，屏蔽水平略大于类比项目，因此两个项目有很好的可比性，通过对类比对象的检测，可预测本项目运行后的辐射环境影响。类比检测时，直线加速器采用最大照射野（40cm×40cm），发射最大使用能量 15MeV 的 X 射线。类比检测结果见表 8-2 和表 8-3，类比检测点位图见图 11-1。

表 11-2 温州医学院附属第一医院（15MeV 直线加速器）机房周围 X-γ 辐射剂量率现状水平检测结果

设备名称	点位序号	测点描述		测量值 nGy/h	
				平均值	标准差
直线加速器（放疗科，地下室，北侧和西侧均为地下泥土层	Δ 74	机房门口 5cm	关机	121.2	2.3
			X 射线能量 15MeV，照射野 15×15cm，射线方向朝下	233.3	6.4
	Δ 75	医生办公室操作位	关机	148.6	3.5
			X 射线能量 15MeV，照射野 15×15cm，射线方向朝下	177.6	5.3
	Δ 76	机房顶部地面	关机	149.6	1.4
			X 射线能量 15MeV，照射野 15×15cm，射线方向朝上	150.6	1.1

注：检测结果未扣除仪器对宇宙射线的回应。

表 11-3 温州医学院附属第一医院（15MeV 直线加速器）机房周围中子辐射剂量率类比检测结果

点位序号	测点描述	测量值 mR/h
Δ 74	机房门口 5cm	未检出
Δ 75	医生办公室操作位	未检出
Δ 76	机房顶部地面	未检出

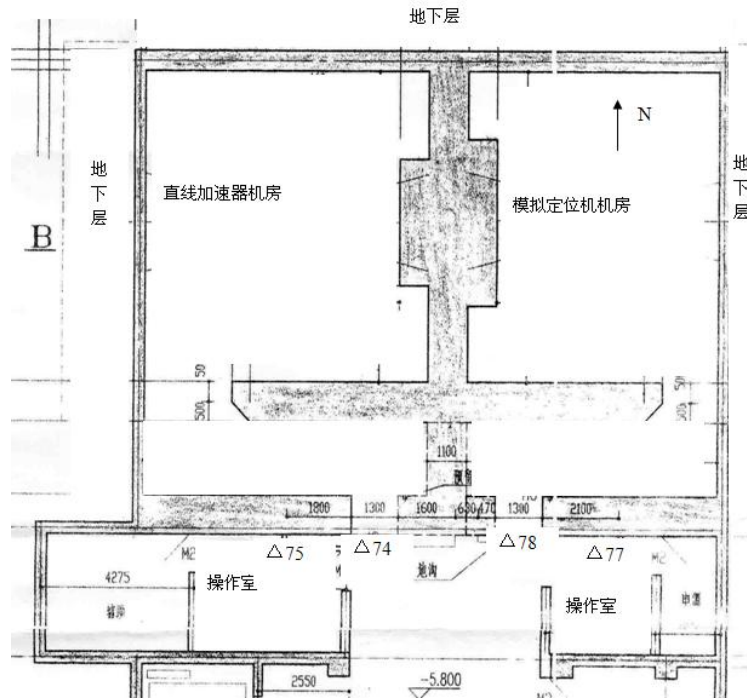


图 11-1 温州医学院附属第一医院（15MeV 直线加速器机房）检测点位图

1) 估算公式

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）--2000 年报告附录 A，X 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H_{E,r} = D_r \times t \times 0.7 \times 10^{-6} (mSv) \quad (11-1)$$

其中： $H_{E,r}$ 为 X 射线外照射致人均年有效剂量当量，mSv/a；

D_r 为 X 辐射空气吸收剂量率，nGy/h；

t 为 X 射线照射时间，h/a；

0.7 为剂量换算系数，Sv/Gy。

2) 估算结果

a. 辐射工作人员

辐射工作人员受到的照射主要是工作人员每天开机照射和在加速器旁为每位患者摆位时接收的照射。根据类比检测结果，现假设：①工作人员每天开机照射约为 20 人次，每次照射时间平均为 20 分钟（适行放疗 5 分钟，调强放疗 15 分钟）；②直线加速器工作人员全年约有 260 个工作日，所有工作由 3 名医生完成，考虑分工差异，辐射工作人员个体的最大工作量取其总量的 2/3。

由公式(11-1)可以分别计算出直线加速器工作人员在正常工况所受的附加年有效剂量

分别为 0.07mSv，低于辐射工作人员职业照射的剂量管理限值（5mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量管理限值”的要求。

b. 公众成员

由表 11-2、11-3 的类比检测结果可知：在正常使用条件下，机房周围公众成员活动范围内 X-γ辐射剂量率与未开机时相比未见显著升高，中子辐射剂量率未检出，故公众成员不会受到额外的辐射照射。

3) 少量臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

在直线加速器开机的状态下，会产生少量臭氧和氮氧化物，在机房内安装有送新风和排风装置的中央空调系统进行排放，排风频率为 3-4 次/小时。

假设机房内臭氧分解且均匀分布，且直线加速器是连续照射，则电子在其通过的空气中每天产生的臭氧浓度主要计算公式为：

$$C = 7.04 \times 10^{-5} (1 + 0.12 \times 10^2 Ee) \times (1 + \frac{0.26}{Ee}) DFd$$

$$Q = \frac{C \times \bar{T}}{V}$$

$$\bar{T} = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d}$$

式中：

C-臭氧生成率（m³/s）

Ee-电子能量（MeV）

D-物质（组织）吸收剂量率（Gy/min）

F-照射（治疗）面积（照射野）（m²）

d-电子在空气中运行的距离（或源皮距离）（m）

Q-机房内平衡臭氧浓度（mg/m³）

表 11-3 臭氧浓度

参数	容积：186m ³ ；换气次数：4 次/h；臭氧分解时间：0.83h			
项目	臭氧生成率（m ³ /s）	换气一次所需时间（h）	有效清除时间（h）	平衡臭氧浓度（mg/m ³ ）
结果	0.78×10 ⁻⁴	0.25	0.192	0.25×10 ⁻³

经计算，机房内平衡臭氧浓度结果为 $0.25 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$ ，治疗室的臭氧经抽风机排入大气环境中，与大量的空气混合，也低于大气环境中臭氧浓度管理限值 0.16mg/m^3 。由于氮氧化物的产额比臭氧要低一个数量级，对外部环境，氮氧化物的最高容许浓度与臭氧的相近，臭氧的影响能消除，氮氧化物的影响也能消除。

11.2 辐射屏蔽设计符合性分析

本项目对照《医用电子加速器卫生防护标准》（GBZ126-2011）的符合性分析如表 11-4 所示。

表 11-4 直线加速器机房符合性分析表

序号	防护要求	本项目分析	符合性
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。	直线加速器机房有效面积 64.8m^2 ，长 8.2m ，宽 7.9m ，主屏壁墙主屏壁区为 2900mm 厚标准混凝土，主屏壁墙副屏壁区为 1500mm 标准混凝土，西侧防护墙为 1500mm 标准混凝土，迷道外墙 1400mm 标准厚混凝土，迷道内墙 1400mm 标准混凝土，顶棚主屏壁区 2300mm 重晶石混凝土，顶棚副屏壁区 1200mm 重晶石混凝土，防护门为铅板-防中子复合门，含 12mm 铅板+ 82mm 聚乙烯+ 22mm 含硼聚乙烯。	符合
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/T201.1 的要求。		符合
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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。		符合
4	治疗室应有足够的使用面积,新建治疗室不应小于 45m^2 。		符合
5	治疗室入口处必须设置防护门和迷路,防护门应与加速器连锁。		符合
6	穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。	设“U”型电缆沟。	符合
7	治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。	按要求设置。	符合
8	相关位置(例如治疗室入口处上方等)应安装醒目的射指示灯及辐射标	机房投入运行前将必须安装辐射危险及辐射指示等	符合
9	治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。	将按要求安装换气系统,采用新风系统和排风扇	符合

根据类比项目屏蔽情况及检测结果可知，类比项目的屏壁厚度能满足辐射安全防护屏蔽的需要。本项目屏蔽水平对于 15MeV 电子加速器能满足其防护屏蔽要求，若后续长远规划内不进行大功率直线加速器的替换，为经济性考虑，可以适当减小屏壁厚度。

事故影响分析

a、工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离辐照室，X 射线装置运行可能产生误照射。

b、安全装置发生故障状况下，人员误入正在运行的 X 射线装置辐照室。

因此，医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，防止事故照射的发生，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。工作人员每次上班时首先要检查防护门上的灯光警示装置是否正常。如果失灵，应立即修理，恢复正常。

表 12 辐射安全管理

<p>辐射安全与环境保护管理机构的设置</p> <p>医院须成立“放射防护管理小组”，明确组长、副组长、成员。医院辐射安全管理小组具体负责本院日常的辐射防护管理工作，知识普及宣传，制度落实，工作联系以及事故应急处理等辐射工作。</p>
<p>辐射安全管理规章制度</p> <p>医院须制定《放射防护和安全保卫制度》、《放射工作人员岗位职责》、《射线装置设备检修维护制度》、《自行检查与年度评估制度》、《放射工作人员培训计划》、《放射工作人员体检及保健制度》、《宁波普济医院放射安全防护监测制度》、《设备维修保养制度》等辐射相关规章制度，同时做好了《放射事故报告制度及应急处理方案》。</p> <p>本项目建成后，针对辐射活动规模扩大的变化情况，提出如下要求：</p> <ol style="list-style-type: none">(1) 补充制定新增设备使用的《操作规程》、相应的《岗位职责》。(2) 补充其他辐射相关的管理制度。如《质控大纲》、《辐射安全管理制度》。(3) 要求组织所有新增的辐射工作人员参加有资质单位的辐射安全和防护知识培训，经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗，并按每 4 年一次的要求进行复训，同时应为辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康档案。(4) 环评报批后，医院需及时向相关部门申请更换许可证。(5) 医院须在本项目射线装置投入试运行 3 个月内进行竣工验收。
<p>辐射检测</p> <p>一、医院须委托有资质的监测单位，定期（每年 1 次）对各射线装置机房周围环境进行辐射监测。监测数据每年年底向相关环保部门备案。</p> <ol style="list-style-type: none">(1) 监测频度：每年常规监测一次。(2) 监测范围：各机房屏蔽墙外，防护门及缝隙处，候诊区、控制室，操作台等。(3) 监测项目：X、γ射线剂量率。(4) 监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。 <p>二、医院须自行配备 X、γ 射线辐射巡测仪，定期对各机房周围环境进行辐射监测。</p> <p>三、医院辐射工作人员佩带的个人剂量计须每三个月送有资质的单位检定一次，并建立完整的个人剂量档案。</p>

辐射事故应急

医院须建立《辐射事故报告制度及应急预案》，明确职责，并按要求做好应急演练工作。本项目建成后，辐射事故应急机构设置、应急预案以及应急人员的培训演习计划等应考虑新增的辐射项目以及新增的辐射工作人员。

《辐射事故报告制度及应急预案》具体包括以下内容：

- ①应急机构和职责分工（具体人员和联系电话）；
- ②可能发生的辐射事故类型与应急响应措施（主要为现场保护措施）；

可能发生的辐射事故类型参见表 8 中的事故影响分析，可立即采取切断射线装置电源、封闭现场等有效措施，防止事故的进一步扩大和蔓延。

- ③辐射事故报告制度，说明报告程序；

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》，向当地环境保护部门报告，涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

- ④编写事故总结报告，上报环保部门并存档。

医院应急方案应建立辐射事故报告框图，明确人员及联系电话。以保证事故报告的可操作性。

表 13 结论与建议

13.1 实践的正当性

医院配置医用射线装置直线加速器，目的在于开展放射治疗工作，最终是为了治病救人，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，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。

13.2 选址合理性

宁波普济医院位于宁波市海曙区集士港镇汇士路与香雪路交界处，东至香雪路，南至汇士路，西至纵西河，北至医院北侧河道（暂名）。本次评价的 2 间直线加速器机房位于医疗综合楼地下 1 层放疗中心西侧，2 间加速器机房东侧为其控制室、水冷机房和候诊大厅，南侧为车库通道，西侧为车库，北侧均为楼梯，正上方为庭院、排烟机房和送风机房等，正下方为土层。本次环评医用射线装置直线加速器评价范围为医院内部，机房合理布局。根据辐射环境影响分析，医院开展该项目不会对直线加速器机房周围辐射工作人员、机房周围其他非辐射工作人员和公众成员产生的辐射影响均符合环境保护的要求，故本项目的选址合理可行。

13.3 主要污染因子及辐射环境影响预测评价

射线装置的污染因子主要考虑 X 射线。

根据类比分析可知，该医院从事直线加速器操作的辐射工作人员所接受的年附加有效剂量为 0.07mSv，直线加速器机房周围公众成员不会受到额外的辐射照射。

由此可知，本项目辐射工作人员和公众成员附加年最大有效剂量当量均低于相应的职业人员的剂量管理限值（5mSv）和公众人员的剂量管理限值（0.25mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

13.4 污染防治措施

- ①治疗室和控制室之间必须安装监视和对讲设备。
- ②防护门必须与加速器连锁，迷道内设置紧急停机、开门按钮。
- ③治疗室外醒目处安装辐照指示灯和辐射危险标志；并注明工作时严禁人员入内。
- ④需至少配备 2 只个人剂量报警仪。
- ⑤加速器机房配备一套固定式剂量实时检测系统（其设置点位可重点布置在迷道口、出入口、主控室等位置）。
- ⑥治疗室通风换气应达到每小时 4 次。

⑦医院须在所有操作室上张贴相应的操作规程。

⑧对直线加速器工作场所实行分区管理。将直线加速器机房墙壁围成的内部区域划为控制区，与墙壁外部相邻 1m 内的区域划为监督区。

13.5 辐射环境管理

①医院须成立“放射防护管理小组”，明确了组长、副组长，并制定各成员的职责。

②医院须制定《放射防护和安全保卫制度》、《放射工作人员岗位职责》、《射线装置设备检修维护制度》、《自行检查与年度评估制度》、《放射工作人员培训计划》、《放射工作人员体检及保健制度》、《宁波普济医院放射安全防护监测制度》、《设备维修保养制度》等辐射相关规章制度，同时做好《放射事故报告制度及应急处理方案》。

13.6 安全培训及健康管理

(1) 医院所有放射性工作人员均需参加有资质的单位组织的辐射安全与防护培训，培训合格取得证书后方可上岗。医院新增辐射工作人员也应参加上岗培训，经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗。已取得辐射安全培训合格证书的辐射工作人员须在规定的时间内进行复训。

(2) 医院所有辐射工作人员均须佩戴个人剂量计，每 3 个月检定一次，并建立完整的个人剂量档案，要求新增人员也应当建立完整的个人剂量档案。

(3) 医院须组织所有辐射工作人员每两年进行一次职业健康检查，并建立个人健康档案。医院辐射工作人员上岗和离岗前都应进行职业健康体检，要求本项目新增人员应当进行职业健康体检。

13.7 结论

综上所述，宁波普济医院医用电子直线加速器建设项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射环境管理制度后，其具备从事相应辐射工作的技术能力。从辐射环境保护角度论证，宁波普济医院医用电子直线加速器建设项目的建设和运行是可行的。