

核技术利用建设项目

生产、销售、使用工业辐照电子加速  
器项目环境影响报告表

中广核加速器技术（苏州）有限公司

2023年5月

生态环境部监制

## 核技术利用建设项目

# 生产、销售、使用工业辐照电子加速器项目环境影响报告表

建设单位名称：中广核加速器技术（苏州）有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：苏州市吴江区平望镇中鲈国际物流科技园

邮政编码：215214

联系人：叶\*军

电子邮箱：yexiaojun@cgndasheng.com

联系电话：183\*\*\*\*\*87

# 目 录

表 1 项目基本情况 .....	- 1 -
表 2 放射源 .....	- 7 -
表 3 非密封放射性物质 .....	- 7 -
表 4 射线装置 .....	- 8 -
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） .....	- 11 -
表 6 评价依据 .....	- 12 -
表 7 保护目标与评价标准 .....	- 15 -
表 8 环境质量和辐射现状 .....	- 23 -
表 9 项目工程分析与源项 .....	- 29 -
表 10 辐射安全与防护 .....	- 52 -
表 11 环境影响分析 .....	- 82 -
表 12 辐射安全管理 .....	- 144 -
表 13 结论与建议 .....	- 149 -
表 14 审批 .....	- 154 -
附图 1 项目地理位置示意图 .....	- 155 -
附图 2 项目平面布置及周围环境示意图 .....	- 156 -
附图 3 中广核加速器技术（苏州）有限公司一期厂区 5#厂房平面布置示意图 .....	- 157 -
附图 4 中广核加速器技术（苏州）有限公司一期厂区 3#厂房二层平面布置示意图 .....	- 158 -
附图 5 中广核加速器技术（苏州）有限公司一期厂区原料仓库及机加工车间一层平面布置示意图 .....	- 159 -
附图 6 本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图 .....	- 160 -
附图 7 EP-DG <sub>Lz</sub> 0.5/70 型工业电子加速器屏蔽结构示意图 .....	- 161 -
附图 8 EP-DG <sub>wz</sub> 0.5/70 型工业电子加速器屏蔽结构示意图 .....	- 162 -
附图 9 DL150/10 型工业电子加速器屏蔽结构示意图 .....	- 163 -
附图 10 DL120/600 型工业电子加速器屏蔽结构示意图 .....	- 164 -

附图 11 DD <sub>LZ</sub> 0.8/60 型工业电子加速器屏蔽结构示意图 .....	- 165 -
附图 12 DD <sub>LZ</sub> 1.0/80 型工业电子加速器屏蔽结构示意图 .....	- 166 -
附图 13 DD <sub>LZ</sub> 1.5/80 型工业电子加速器屏蔽结构示意图 .....	- 167 -
附图 14 DD <sub>LZ</sub> 2.5/40 型工业电子加速器屏蔽结构示意图 .....	- 168 -
附图 15 DD <sub>LH</sub> 型工业电子加速器屏蔽结构示意图 .....	- 169 -
附图 16 DBLad-200 型工业电子加速器屏蔽结构示意图 .....	- 170 -
附件 1: 项目委托书 .....	- 171 -
附件 2: 射线装置使用承诺书 .....	- 172 -
附件 3: “年产加速器 80 台项目”环评批复文件 .....	- 174 -
附件 4: 《年产加速器 80 台环境影响报告表》相关内容 .....	- 176 -
附件 5: 辐射环境本底检测报告 .....	- 183 -
附件 6: 生产、使用和销售工业辐照和工业探伤用加速器项目环评批复文件-	194 -
附件 7: 加速器技术参数说明 .....	- 198 -
附件 8: 年产加速器 80 台项目备案证 .....	- 200 -
附件 9: 本项目不动产权证书 .....	- 201 -

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		生产、销售、使用工业辐照电子加速器项目				
建设单位		中广核加速器技术（苏州）有限公司 （统一社会信用代码：91320509MA20F1GC5D）				
法人代表		谭国庆	联系人	叶*军	联系电话 183*****87	
注册地址		苏州市吴江区平望镇唐家湖大道 18 号商务中心大楼 6 楼 618 室				
项目建设地点		苏州市吴江区平望镇中鲈国际物流科技园中心河路南侧、欧盛大道东侧				
立项审批部门		平望镇行政审批局	批准文号	平行审备（2019）37 号		
建设项目总投资（万元）			项目环保总投资（万元）		投资比例（环保投资/总投资）	
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m <sup>2</sup> ）	/
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 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"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 销售	<input checked="" 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><b>项目概述</b></p> <p><b>一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来</b></p> <p>中广核加速器技术（苏州）有限公司（以下简称“公司”）成立于 2019 年 11 月 19 日，注册地址位于苏州市吴江区平望镇唐家湖大道 18 号商务中心大楼 6 楼 618 室。公司拟于苏州市吴江区中鲈国际物流科技园中心河路南侧、欧盛大道东侧建设加速器智能制造基地，打造以加速器研发、生产和辐照应用试验为基础，以核医疗设备和核药的研发、生产为核心，以人才培养、市场营销、运维服务为辅助，满足公司当前经</p>					

营需要及未来一段时期内产业发展的综合性核技术产业基地。

加速器智能制造基地项目整体规划用地 500 亩，其中一期“年产加速器 80 台项目”规划用地面积为 50 亩（不动产权证书见附件 9），建设原料仓库及机加工车间（3#厂房）、总装车间（4#厂房）、调试车间（5#厂房）、加速管车间（6#厂房）、成品仓库（7#厂房）、喷砂/酸洗车间（8#厂房）、危险品库及放射性废物暂存库（9#厂房）等，以满足对公司辐照应用产业进行整合和发展的需要，满足医用回旋加速器批量生产的需要，并将为高性能特种前驱体材料或其它前瞻性项目提供场地。该项目已于 2019 年 12 月 12 号取得平望镇行政审批局关于该项目的投资项目备案证，备案证号：平行审备〔2019〕37 号，项目代码：2019-320569-35-03-568993，详见附件 8；2020 年 12 月 31 日该项目取得了苏州市行政审批局关于该项目的环评批文，文号：苏行审环诺〔2020〕50136 号，详见附件 3。

为配合加速器智能制造基地建设，公司拟在一期厂区调试车间（5#厂房）内新增 7 个加速器调试区，分别为 5-2 至 5-8 调试区。5-2 调试区调试设备：DDLz1.0/60 型自屏蔽工业辐照加速器 6 台/年，参数：1.0MeV，60mA；5-3 调试区调试设备：EP-DGLz0.5/70 型自屏蔽工业辐照加速器 4 台/年，参数：0.5MeV，70mA；EP-DGwz0.5/70 型自屏蔽工业辐照加速器 4 台/年，参数：0.5MeV，70mA；DL120/600 型自屏蔽工业辐照加速器 5 台/年，参数：120keV，600mA；5-4 调试区调试设备：DDLz0.8/60 型自屏蔽工业辐照加速器 12 台/年，参数：0.8MeV，60mA；5-5 调试区调试设备：DDLz1.0/80 型自屏蔽工业辐照加速器 6 台/年，参数：1.0MeV，80mA；5-6 调试区调试设备：DDLz1.5/80 型自屏蔽工业辐照加速器 10 台/年，参数：1.5MeV，80mA；5-7 调试区调试设备：DDLz2.5/40 型自屏蔽工业辐照加速器 5 台/年，参数：2.5MeV，40mA；5-8 调试区调试设备：DDLh0.8/60 型半自屏蔽工业辐照加速器 2 台/年，参数：0.8MeV，60mA；DDLh1.0/60 型半自屏蔽工业辐照加速器 1 台/年，参数：1.0MeV，60mA；DDLh1.0/80 型半自屏蔽工业辐照加速器 2 台/年，参数：1.0MeV，80mA；DDLh1.5/60 型半自屏蔽工业辐照加速器 5 台/年，参数：1.5MeV，60mA；DDLh1.5/80 型半自屏蔽工业辐照加速器 5 台/年，参数：1.5MeV，80mA；DDLh2.0/50 型半自屏蔽工业辐照加速器 9 台/年，参数：2.0MeV，50mA；DDLh2.0/60 型半自屏蔽工业辐照加速器 1 台/年，参数：2.0MeV，60mA；DDLh2.5/40 型半自屏蔽工业辐照加速器 5 台/年，参数：2.5MeV，40mA。拟于机加工车间（3#厂房）二楼实验室购置 1 台 DBLad-200 型自屏

蔽工业辐照加速器，参数：0.2MeV，20mA，用于产品研发试验使用；拟于机加工作车间（3#厂房）二楼新增3-1调试区，调试设备：DL150/10型自屏蔽工业辐照加速器5台/年，参数：150keV，10mA。本项目年生产、销售、使用工业辐照加速器总量不超过40台。

本次环评，中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照加速器项目核技术应用情况详见表1-1。

表1-1 中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照加速器项目情况一览表

序号	加速器型号	最大电子线能量 MeV	最大束流强度 mA	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	数量	备注
1	EP-DG <sub>LZ</sub> 0.5/70	0.5	70	II	调试车间	生产、销售、使用	4台/年	自屏蔽设备
2	EP-DG <sub>WZ</sub> 0.5/70	0.5	70	II	5-3 调试区		4台/年	
3	DD <sub>LZ</sub> 1.0/60	1.0	60	II	调试车间 5-2 调试区		6台/年	
4	DL150/10	0.15	10	II	3#厂房二楼 3-1 调试区		5台/年	
5	DL120/600	0.12	600	II	调试车间 5-3 调试区		5台/年	
6	DD <sub>LZ</sub> 0.8/60	0.8	60	II	调试车间 5-4 调试区		12台/年	
7	DD <sub>LZ</sub> 1.0/80	1.0	80	II	调试车间 5-5 调试区		6台/年	
8	DD <sub>LZ</sub> 1.5/80	1.5	80	II	调试车间 5-6 调试区		10台/年	
9	DD <sub>LZ</sub> 2.5/40	2.5	40	II	调试车间 5-7 调试区		5台/年	
10	DD <sub>LH</sub> 0.8/60	0.8	60	II	调试车间 5-8 调试区		2台/年	半自屏蔽设备
11	DD <sub>LH</sub> 1.0/60	1.0	60	II			1台/年	
12	DD <sub>LH</sub> 1.0/80	1.0	80	II			2台/年	
13	DD <sub>LH</sub> 1.5/60	1.5	60	II			5台/年	
14	DD <sub>LH</sub> 1.5/80	1.5	80	II			5台/年	
15	DD <sub>LH</sub> 2.0/50	2.0	50	II			9台/年	
16	DD <sub>LH</sub> 2.0/60	2.0	60	II			1台/年	
17	DD <sub>LH</sub> 2.5/40	2.5	40	II			5台/年	

18	DBLad-200	0.2	20	II	3#厂房二楼 实验室	使用	1台	自屏蔽 设备
----	-----------	-----	----	----	---------------	----	----	-----------

为加强核技术应用项目的辐射环境管理，防止辐射污染和意外事故的发生，确保其使用过程不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》《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》和《放射性同位素与射线装置防护条例》等相关法律法规要求，建设单位中广核加速器技术（苏州）有限公司需对该项目进行环境影响评价。

根据《射线装置分类》，工业辐照用加速器属于“**II类射线装置**”；根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021版）》（生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行）的规定，本项目属于“第172条 核技术利用建设项目”中“**生产、使用II类射线装置的**”，应编制环境影响报告表。为此，中广核加速器技术（苏州）有限公司委托南京瑞森辐射技术有限公司对该项目开展环境影响评价工作（委托书见附件1）。南京瑞森辐射技术有限公司接受委托后，通过现场勘察、收集资料并结合现场监测等工作的基础上，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制了该项目环境影响报告表。

## 二、本项目选址情况及周边保护目标情况

中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照加速器项目拟建址位于苏州市吴江区中鲈国际物流科技园中广核加速器技术（苏州）有限公司调试车间、机加工车间内。中广核加速器技术（苏州）有限公司东侧、南侧均为空地，西侧为空地及欧盛大道，北侧为公路及铁枪河。调试车间为地上一层建筑，其东侧、南侧为厂区道路及厂外空地，西侧为厂区道路及总装车间，北侧为厂区道路及加速管车间、成品仓库；机加工车间为地上二层建筑，其东侧为厂区道路及成品仓库，南侧为厂区道路及总装车间，西侧为厂区道路及厂外空地，北侧为厂区道路及厂外公路。中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照加速器项目拟建址位置示意图见附图1，公司厂区周围环境及平面布置示意图见附图2。

5-2至5-7调试区集中位于车间中部，其东侧、南侧为车间通道，西侧为多功能扩展区，北侧为车间通道，上方无其他建筑，下方为土层；5-8调试区位于调试车间东侧，其东侧为车间墙壁，南侧为1#调试屏蔽体（已环评），西侧为车间通道，北侧为探伤屏蔽室（已环评），上方无其他建筑，下方为土层。机加工车间二楼实验室东

侧为生产车间，南侧为废旧仪器设备暂存室，西侧为车间外临空，北侧为排烟机房、集气室，楼上无其他建筑，楼下为待检区。3-1 调试区东侧为备用车间，南侧为生产车间，西侧为卫生间，北侧为车间外部临空，楼上无其他建筑，楼下为机加工车间及办公室。中广核加速器技术（苏州）有限公司调试车间、原料仓库及机加工车间布局如附图 3、附图 4 所示。

中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照加速器项目拟建址位于苏州市吴江区中鲈国际物流科技园中广核加速器技术（苏州）有限公司一期厂区调试车间、原料仓库及机加工车间内。本项目调试车间 5-1 调试区周围 50m 范围东侧至厂外空地，南侧、西侧、北侧均位于公司厂区范围内；5-2 至 5-7 调试区周围 50m 范围东侧、南侧至厂外空地，西侧、北侧位于公司厂区范围；5-8 调试区周围 50m 范围东侧、南侧至厂外空地，西侧、北侧位于公司厂区范围；机加工车间二楼实验室周围 50m 范围东侧、南侧位于公司厂区范围内，西侧、北侧至厂外空地；3-1 调试区东侧、南侧位于公司厂区范围内，西侧至欧盛大道，北侧至厂区北侧公路。本项目周边以空地、道路为主，周边无居民区、学校等环境敏感目标。项目运行后的主要保护目标为本项目的辐射工作人员、厂内其他工作人员及 50 米评价范围内其他公众。

### 三、“三线一单”相符性分析

根据《年产加速器80台项目环境影响报告表》相关内容（详见附件4）可知，本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图见附图6。

### 四、实践正当性分析

中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照电子加速器项目的实施，符合公司发展的定位与要求，顺应产业领域内发展的潮流，能够促进辐照加工技术的发展与应用。项目建成投运后，有利于公司产能迅速扩大，带动当地经济发展。在落实本报告提出的辐射安全与防护管理措施后，本项目所产生的的环境影响能够得到有效控制，项目带来的效益远大于可能对环境造成的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

### 五、原有核技术利用项目许可情况

中广核加速器技术（苏州）有限公司原有“生产、使用和销售工业辐照和工业探伤用加速器项目”，项目内容为：于调试车间内新建 3 座调试屏蔽体，在屏蔽体内进

行 9 种型号加速器的调试工作。该项目于 2022 年 1 月 6 日取得了苏州市生态环境局的环评批复（详见附件 6），批复文号：苏环核评字[2022]E002 号。该项目现已建成，但尚未投入使用，暂不具备辐射安全许可证申领条件，因此公司目前尚未取得辐射安全许可证。

公司原有核技术利用项目已履行相关环保手续，详见附件 6。

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、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	DGL 自屏蔽电子 加速器	II 类	4 台/年	EP-DG <sub>LZ</sub> 0.5/70	电子	0.5	70	生产、销售、使用	调试车间 5-3 调试区	研发产品
2	DG 型卧式自屏蔽 电子加速器	II 类	4 台/年	EP-DG <sub>wz</sub> 0.5/70	电子	0.5	70	生产、销售、使用		研发产品
3	DDL 型自屏蔽电 子加速器	II 类	6 台/年	DD <sub>LZ</sub> 1.0/60	电子	1.0	60	生产、销售、使用	调试车间 5-2 调试区	成熟产品
4	电子束固化实验 型加速器	II 类	5 台/年	DL150/10	电子	0.15	10	生产、销售、使用	3#厂房二楼 3-1 调试区	研发产品
5	卷材辐照电子帘 加速器	II 类	5 台/年	DL120/600	电子	0.12	600	生产、销售、使用	调试车间 5-3 调试区	研发产品
6	环保应用 DDL 型 自屏蔽电子加速 器	II 类	12 台/年	DD <sub>LZ</sub> 0.8/60	电子	0.8	60	生产、销售、使用	调试车间 5-4 调试区	成熟产品
7	线缆/薄膜辐照 DDL 型自屏蔽电 子加速器	II 类	6 台/年	DD <sub>LZ</sub> 1.0/80	电子	1.0	80	生产、销售、使用	调试车间 5-5 调试区	成熟产品
8	环保应用 DDL 型 自屏蔽电子加速 器	II 类	10 台/年	DD <sub>LZ</sub> 1.5/80	电子	1.5	80	生产、销售、使用	调试车间 5-6 调试区	成熟产品
9	线缆/薄膜辐照 DDL 型自屏蔽电	II 类	5 台/年	DD <sub>LZ</sub> 2.5/40	电子	2.5	40	生产、销售、使用	调试车间 5-7 调试区	成熟产品

	子加速器									
10	DDL 型半自屏蔽电子加速器	II 类	2 台/年	DD <sub>LH</sub> 0.8/60	电子	0.8	60	生产、销售、使用	调试车间 5-8 调试区	成熟产品
11	DDL 型半自屏蔽电子加速器	II 类	1 台/年	DD <sub>LH</sub> 1.0/60	电子	1.0	60	生产、销售、使用		成熟产品
12	DDL 型半自屏蔽电子加速器	II 类	2 台/年	DD <sub>LH</sub> 1.0/80	电子	1.0	80	生产、销售、使用		成熟产品
13	DDL 型半自屏蔽电子加速器	II 类	5 台/年	DD <sub>LH</sub> 1.5/60	电子	1.5	60	生产、销售、使用		成熟产品
14	DDL 型半自屏蔽电子加速器	II 类	5 台/年	DD <sub>LH</sub> 1.5/80	电子	1.5	80	生产、销售、使用		成熟产品
15	DDL 型半自屏蔽电子加速器	II 类	9 台/年	DD <sub>LH</sub> 2.0/50	电子	2.0	50	生产、销售、使用		成熟产品
16	DDL 型半自屏蔽电子加速器	II 类	1 台/年	DD <sub>LH</sub> 2.0/60	电子	2.0	60	生产、销售、使用		成熟产品
17	DDL 型半自屏蔽电子加速器	II 类	5 台/年	DD <sub>LH</sub> 2.5/40	电子	2.5	40	生产、销售、使用	成熟产品	
18	电子束固化实验型加速器（自屏蔽）	II 类	1 台	DBLad-200	电子	0.2	20	使用	机加工车间 二楼实验室	/

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 ( $\mu$ 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（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
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧常温下约 50 分钟后自动分解为氧气，对环境影响较小
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

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

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），中华人民共和国主席令 第9号，2015年1月1日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），中华人民共和国主席令 第二十四号，2018年12月29日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003年10月1日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第449号，2005年12月1日起施行；2019年修改，国务院令 第709号，2019年3月2日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（修订版），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部部令 第20号，2021年1月4日起施行；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第18号，2011年5月1日起施行；</p> <p>(9) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告2017年第66号，2017年12月5日起施行；</p> <p>(10) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第2号公告，2018年5月1日起实施；</p> <p>(11) 《关于发布〈建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法〉配套文件的公告》，生态环境部公告2019年第38号，2019年10月25日发布；</p> <p>(12) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告2019年第39号，2019年10月25日发布；</p> <p>(13) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告2019年第57号，2019年12月24日发布；</p> <p>(14) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部部令第9号，2019年11月1日起施行；</p>
------------------	---

	<p>(15) 《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74号，2018年6月9日发布；</p> <p>(16) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，2021年5月28日发布；</p> <p>(17) 《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1号，2020年1月8日发布；</p> <p>(18) 《江苏省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日发布；</p> <p>(19) 《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2) 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；</p> <p>(3) 《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）；</p> <p>(4) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>(5) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(6) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(7) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）；</p> <p>(8) 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(9) 《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）；</p> <p>(10) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>(11) 《<math>\gamma</math>射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）；</p> <p>(12) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）。</p>
<p>其他</p>	<p>附件：</p> <p>(1) 项目委托书；</p> <p>(2) 射线装置使用承诺书；</p> <p>(3) “年产加速器 80 台项目”环评批复文件；</p> <p>(4) 《年产加速器 80 台项目环境影响报告表》相关内容；</p> <p>(5) 辐射环境本底检测报告；</p>

- (6) 生产、使用和销售工业辐照和工业探伤用加速器项目环评批复文件；
- (7) 加速器技术参数说明；
- (8) 年产加速器 80 台项目备案证；
- (9) 本项目不动产权证书。

**附图：**

- (1) 项目地理位置示意图；
- (2) 项目平面布置及周围环境示意图；
- (3) 中广核加速器技术（苏州）有限公司一期厂区 5#厂房平面布置示意图；
- (4) 中广核加速器技术（苏州）有限公司一期厂区 3#厂房二楼平面布置示意图；
- (5) 中广核加速器技术（苏州）有限公司一期厂区原料仓库及机加工车间一层平面布置示意图；
- (6) 本项目与江苏省生态空间保护区与位置关系示意图；
- (7) EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型工业电子加速器屏蔽结构示意图；
- (8) EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型工业电子加速器屏蔽结构示意图；
- (9) DL150/10 型工业电子加速器屏蔽结构示意图；
- (10) DL120/600 型工业电子加速器屏蔽结构示意图；
- (11) DD<sub>LZ</sub>0.8/60 型工业电子加速器屏蔽结构示意图；
- (12) DD<sub>LZ</sub>1.0/80 型工业电子加速器屏蔽结构示意图；
- (13) DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型工业电子加速器屏蔽结构示意图；
- (14) DD<sub>LZ</sub>2.5/40 型工业电子加速器屏蔽结构示意图；
- (15) DD<sub>LH</sub> 型工业电子加速器屏蔽结构示意图；
- (16) DBLad-200 型工业电子加速器屏蔽结构示意图。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围				
<p>根据本项目的特点并参照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“<b>放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围</b>”，确定本项目评价范围为生产、销售、使用工业辐照加速器项目调试区边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。</p>				
保护目标				
<p>中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照加速器项目拟建址位于苏州市吴江区中鲈国际物流科技园中广核加速器技术（苏州）有限公司一期厂区调试车间、原料仓库及机加工车间内。本项目调试车间 5-1 调试区周围 50m 范围东侧至厂外空地，南侧、西侧、北侧均位于公司厂区范围内；5-2 至 5-7 调试区周围 50m 范围东侧、南侧至厂外空地，西侧、北侧位于公司厂区范围；5-8 调试区周围 50m 范围东侧、南侧至厂外空地，西侧、北侧位于公司厂区范围；机加工车间二楼实验室周围 50m 范围东侧、南侧位于公司厂区范围内，西侧、北侧至厂外空地；3-1 调试区东侧、南侧位于公司厂区范围内，西侧至欧盛大道，北侧至厂区北侧公路。</p> <p>本项目周边以空地、道路为主，周边无居民区、学校等环境敏感目标。项目运行后的主要保护目标为本项目的辐射工作人员、厂内其他工作人员及 50 米评价范围内其他公众。详见表 7-1。</p>				
表 7-1 主要环境保护目标				
保护目标	方位/位置	最近距离	人员规模	备注
辐射工作人员	加速器生产、调试区，机加工车间二层实验室	调试区内、实验室内	44 人	工作人员
公众	调试车间内	毗邻调试区	约 5 人	监督区之外、50m 范围以内除辐射工作人员以外的其他工作人员、其他公众
	机加工车间内	毗邻实验室、3-1 调试区	约 8 人	
	厂区道路	约 2m	约 10 人	
	东侧厂外空地	约 12m	流动人员	
	南侧厂外空地	约 25.5m	流动人员	
	西侧厂外空地	约 21m	流动人员	

	北侧厂外空地及公路	约 42m	流动人员
	3#厂房	毗邻 3-1 调试区、 实验室	约 15 人
	4#厂房	约 24m	约 15 人
	6#厂房	约 26m	约 10 人
	7#厂房	约 26m	约 10 人
	西侧门卫室	约 15m	约 2 人
	西侧欧盛大道	约 45m	流动人员

根据《年产加速器 80 台项目环境影响报告表》相关内容可知，本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

## 评价标准

### 一、引用标准

#### 1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射 剂量限值	<p>工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值：</p> <p>①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv；</p> <p>②任何一年中的有效剂量，50mSv；</p> <p>③眼晶体的年当量剂量，150mSv；</p> <p>④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。</p>
公众照射 剂量限值	<p>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：</p> <p>①年有效剂量，1mSv；</p> <p>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；</p> <p>③眼晶体的年当量剂量，15mSv；</p> <p>④皮肤的年当量剂量，50mSv。</p>

剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。

### 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

#### 控制区：

注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区：

注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

## 2、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）：

重点引用：

### 4.2 辐射防护要求

#### 4.2.1 辐射防护原则

##### （1）辐射实践的正当性

电子加速器辐照装置的建设立项，必须进行正当性分析，以确定其该项目的正当性。

##### （2）辐射防护的最优化

电子加速器辐照装置的设计和建造要求所有照射剂量都保持在规定限值以内，并在考虑社会和经济因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均应保持在可合理达到的尽量低的水平，即 ALARA（As Low As Reasonably Achievable）原则。

##### （3）个人剂量约束

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足 GB 18871 的要求。

在电子加速器辐照装置的工程设计中，辐射防护的剂量约束值规定为：

- a) 辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv；
- b) 公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv。

#### 4.2.2 辐射屏蔽设计依据

电子加速器辐照装置的屏蔽设计必须以加速器的最高能量和最大束流强度为依据。

电子加速器辐照装置外人员可到达区域屏蔽体外表面 30cm 处以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 $\mu$ Sv/h。如屏蔽体外为社会公众区域，屏蔽设计必须符合公众成员个人剂量约束值规定。

本标准适用的能量不高于 10MeV 的电子束和能量不高于 5MeV 的 X 射线，在辐射屏蔽设计中不需考虑所产生的中子防护问题。

## 5 电子加速器辐照装置的辐射屏蔽

## 5.1 屏蔽设计原则

电子加速器辐照装置在屏蔽设计时，不仅要考虑最大束流功率时的屏蔽要求，在能量和束流强度可调情况下，还要考虑在最大能量和/或最大束流强度组合下的屏蔽差异。

## 5.2 屏蔽设计计算

5.2.1 屏蔽设计计算应包括：辐照室和主机室及各自迷道、屋顶、孔洞等。

5.2.2 屏蔽设计和计算结果应在设计文件中加以说明。

5.2.3 电子加速器辐照装置的屏蔽计算方法可参见附录 A。对于专用 X 射线辐照装置，应根据加速器厂商提供的转换靶参数或 X 射线发射率进行计算。对于即可用于电子束辐照也可用于 X 射线辐照的辐照装置，应按照电子加速器辐照装置的屏蔽计算方法计算。

## 6 电子加速器辐照装置的安全设计

### 6.1 联锁要求

在电子加速器辐照装置的设计中必须设置功能齐全、性能可靠的安全联锁保护装置，对控制区的出入口门、加速器的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。

安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。

安全联锁装置发生故障时，加速器不能运行。安全联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。

### 6.2 安全设施

(1) 钥匙控制。加速器的主控钥匙开关必须和主机室门和辐照室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器应自动停机。该钥匙必须与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连。在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用；

(2) 门机联锁。辐照室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门或主机室门打开时，加速器不能开机。加速器运行中门被打开则加速器应自动停机；

(3) 束下装置联锁。电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制必须建立可靠的接口和协议文件。束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器应自动停机；

(4) 信号警示装置。在控制区出入口处及内部应设置灯光和音响警示信号，用于开机前对主机室和辐照室内人员的警示。主机室和辐照室出入口设置工作状态指示

装置，并与电子加速器辐照装置联锁；

(5) 巡检按钮。主机室和辐照室内应设置“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器开机前，操作人员进入主机室和辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留；

(6) 防人误入装置。在主机室和辐照室的人员出入口通道内设置三道防人误入的安全联锁装置（一般可采用光电装置），并与加速器的开、停机联锁；

(7) 急停装置。在控制台上和主机室、辐照室内设置紧急停机装置（一般为拉线开关或按钮），使之能在紧急状态下终止加速器的运行。辐照室及其迷道内的急停装置应采用拉线开关并覆盖全部区域。主机室和辐照室内还应设置开门机构，以便人员离开控制区；

(8) 剂量联锁。在辐照室和主机室的迷道内设置固定式辐射监测仪，与辐照室和主机室的出入口门等联锁。当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，主机室和辐照室门无法打开；

(9) 通风联锁。主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值；

(10) 烟雾报警。辐照室应设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器应立即停机并停止通风。

### 6.3 其他要求

#### 6.3.3 通风系统

(1) 主机室和辐照室应设置通风系统，以保证辐照分解臭氧等有害气体浓度满足 GBZ 2.1 的规定，有害气体的排放应满足 GB 3095 的规定。

(2) 臭氧的产生和排放，其计算模式和参数见附录 B。

(3) 辐照室内的主排气口应设置在易于排放臭氧的位置，例如扫描窗下方的位置。

(4) 排风口的高度应根据 GB 3095 的规定、有害气体排出量和辐照装置附近空气与气象资料计算确定。

#### 6.3.4 防火系统

辐照室和主机室的耐火等级应不低于二级，并设置火灾报警装置和有效的灭火设施。

## 7 日常检修（管理）及记录

## 7.1 装置的维护与维修

辐照装置营运单位必须制定辐照装置的维护检修制度，定期巡视检查（检验）每台加速器的主要安全设备，保持辐照装置主要安全设备的有效性和稳定性。

安全设施的变更，需经设计单位认可，并经监管部门同意后才能进行。

### 7.1.1 日检查

电子加速器辐照装置上的常用安全设备应每天进行检查，发现异常情况时必须及时修复。常规日检查项目应至少包括下列内容：

- (1) 工作状态指示灯、报警灯和应急照明灯；
- (2) 辐照装置安全联锁控制显示状况；
- (3) 个人剂量报警仪和便携式辐射监测仪器工作状况。

### 7.1.2 月检查

电子加速器辐照装置上的重要安全设备或安全程序应每月定期进行检查，发现异常情况时必须及时修复或改正。月检查项目至少应包括：

- (1) 辐照室内固定式辐射监测仪设备运行状况；
- (2) 控制台及其他所有紧急停止按钮；
- (3) 通风系统的有效性；
- (4) 验证安全联锁功能的有效性；
- (5) 烟雾报警器功能正常。

### 7.1.3 半年检查

电子加速器辐照装置的安全状况应每6个月定期进行检查,发现异常情况时必须及时来取改正措施。其检查范围至少应包括：

- (1) 配合年检修的检测；
- (2) 全部安全设备和控制系统运行状况。

## 7.2 记录

辐照装置营运单位必须建立严格的运行及维修维护记录制度,运行及维修维护期间应按规定完成运行日志的记录，记录与装置有关的重要活动事项并保存日志档案。记录事项一般不少于下列内容：

- (1) 运行工况；
- (2) 辐照产品的情况；
- (3) 发生的故障及排除方法；

- (4) 外来人员进入控制区情况；
- (5) 个人剂量计佩戴情况；
- (6) 个人剂量、工作场所和周边环境的辐射监测结果；
- (7) 检查及维修维护的内容与结果；
- (8) 其它。

### 3、工作场所臭氧的控制水平

根据《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）及《工作场所所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）规定，工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 0.3mg/m<sup>3</sup>。

### 4、《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）

#### 4 环境空气功能区分类和质量要求

##### 4.1 环境空气功能区分类

环境空气功能区分为二类：一类为自然保护区、风景名胜区和其它需要特殊保护的区域；二类区为居住区、商业交通混合区、文化区、工业区和农村地区。

##### 4.2 环境空气功能区质量要求

一类区适用一级浓度限值，二类区适用二级浓度限值。一、二类环境空气功能区质量要求见表 1 和表 2。

表 1 环境空气污染物基本项目浓度限值

序号	污染物项目	平均时间	浓度限值		单位
			一级	二级	
4	臭氧	日最大 8 小时平均	100	160	μg/m <sup>3</sup>
		1 小时平均	160	200	

## 二、辐射环境评价标准限值

### 1、个人剂量约束值

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足 GB 18871-2002 及 HJ 979-2018 的要求。

在电子加速器辐照装置的工程设计中，辐射防护的剂量约束值规定为：

- a) 辐射工作人员年有效剂量为 **5mSv**；
- b) 公众成员年有效剂量为 **0.1mSv**。

### 2、工作场所内外控制剂量率

电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 $\mu$ Sv/h。如屏蔽体外为社会公众区域，屏蔽设计必须符合公众成员个人剂量约束值规定。

根据《 $\gamma$ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018），本项目自屏蔽结构加速器屏蔽体外表面 5cm 处周围辐射剂量率应满足：**不超过 2.5 $\mu$ Sv/h**；本项目半自屏蔽结构加速器屏蔽体外表面 30cm 处周围辐射剂量率应满足：**不超过 2.5 $\mu$ Sv/h**。

### 三、参考资料：

- (1) 《辐射防护导论》，方杰主编。
- (2) 《辐射防护手册》，李德平、潘自强主编。
- (3) 《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 5 江苏省原野、道路、建筑物室内 $\gamma$ 辐射（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

	原野	道路	室内
测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差 (s)	7.0	12.3	14.0
均值 $\pm$ 3s	29.4~71.4	10.2~84.0	47.2~131.2

注：1、根据《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，表 5 数据不含宇宙射线电离成分；  
2、评价时采用“均值 $\pm$ 3s”作为辐射环境本底参考范围。

表 8 环境质量和辐射现状

## 环境质量和辐射现状

### 一、项目地理和场所位置

中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照加速器项目拟建址位于苏州市吴江区中鲈国际物流科技园中广核加速器技术（苏州）有限公司调试车间、机加工车间内。中广核加速器技术（苏州）有限公司东侧、南侧均为空地，西侧为空地及欧盛大道，北侧为公路及铁枪河。调试车间为地上一层建筑，其东侧、南侧为厂区道路及厂外空地，西侧为厂区道路及总装车间，北侧为厂区道路及加速管车间、成品仓库；机加工车间为地上二层建筑，其东侧为厂区道路及成品仓库，南侧为厂区道路及总装车间，西侧为厂区道路及厂外空地，北侧为厂区道路及厂外公路。

5-2 至 5-7 调试区集中位于车间中部，其东侧、南侧为车间通道，西侧为多功能扩展区，北侧为车间通道，上方无其他建筑，下方为土层；5-8 调试区位于调试车间东侧，其东侧为车间墙壁，南侧为 1#调试屏蔽体（已环评），西侧为车间通道，北侧为探伤屏蔽室（已环评），上方无其他建筑，下方为土层。机加工车间二楼实验室东侧为生产车间，南侧为废旧仪器设备暂存室，西侧为车间外临空，北侧为排烟机房、集气室，楼上无其他建筑，楼下为待检区。3-1 调试区东侧为备用车间，南侧为生产车间，西侧为卫生间，北侧为车间外部临空，楼上无其他建筑，楼下为机加工车间及办公室。

中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照加速器项目拟建址位于苏州市吴江区中鲈国际物流科技园中广核加速器技术（苏州）有限公司一期厂区调试车间、原料仓库及机加工车间内。本项目调试车间 5-1 调试区周围 50m 范围东侧至厂外空地，南侧、西侧、北侧均位于公司厂区范围内；5-2 至 5-7 调试区周围 50m 范围东侧、南侧至厂外空地，西侧、北侧位于公司厂区范围；5-8 调试区周围 50m 范围东侧、南侧至厂外空地，西侧、北侧位于公司厂区范围；机加工车间二楼实验室周围 50m 范围东侧、南侧位于公司厂区范围内，西侧、北侧至厂外空地；3-1 调试区东侧、南侧位于公司厂区范围内，西侧至欧盛大道，北侧至厂区北侧公路。

本项目拟建址现状及周边环境现状见图 8-1~图 8-7。

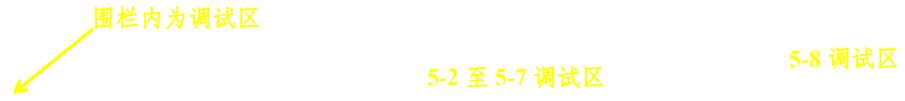


图 8-1 调试车间（5#厂房）现状

图 8-2 5-2 至 5-7 调试区东侧车间通道

图 8-3 5-2 至 5-7 调试区南侧车间通道

图 8-4 5-2 至 5-7 调试区西侧多功能拓展区

图 8-5 5-2 至 5-7 调试区北侧车间通道

图 8-6 3#厂房二楼实验室现状

图 8-7 3#厂房二楼 3-1 调试区拟建址

## 二、辐射环境现状调查

根据《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本次生产、销售、使用工业辐照加速器项目拟建址及周围环境进行布点，测量辐射剂量率现状。监测报告详见附件 5，监测结果见表 8-1，监测点位示意图见图 8-4。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

检测仪器：6150AD 6/H+6150 AD-b/H 型 X- $\gamma$ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2021 年 11 月 11 日~2022 年 11 月 10 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2021-0106289）

能量范围：20keV~7MeV

剂量率范围：1nSv/h~99.9 $\mu$ Sv/h

监测日期：2022 年 7 月 11 日

天气：多云

温度：（31~37） $^{\circ}$ C

湿度：（42~575）%RH

监测项目： $\gamma$ 辐射剂量率

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点。

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过计量认证（证书编号：221020340350，检测资质见附件 5），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

数据记录及处理：开机预热，手持仪器，一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为 1m。仪器读数稳定后，每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用  $^{137}\text{Cs}$  作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy。

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，监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过检验，监测报告实行三级审核。

评价方法：参照江苏省天然 $\gamma$ 辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境

质量，监测结果见表 8-1，监测点位示意图见图 8-4。

表 8-1 生产、销售、使用工业辐照加速器项目拟建址及其周围 $\gamma$ 辐射剂量率测量结果

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	5-2 调试区拟建址	84	/
2	5-3 调试区拟建址	83	/
3	5-4 调试区拟建址	84	/
4	5-5 调试区拟建址	85	/
5	5-6 调试区拟建址	83	/
6	5-7 调试区拟建址	84	/
7	5-8 调试区拟建址	84	/
8	调试车间内调试区北侧	83	/
9	调试车间内调试区东侧	85	/
10	调试车间内调试区南侧	85	
11	调试车间内调试区西侧	85	/
12	调试车间东侧厂区道路	87	/
13	调试车间南侧厂区道路	85	/
14	调试车间西侧厂区道路	85	/
15	调试车间北侧厂区道路	86	/
16	调试车间东侧厂外空地	87	/
17	调试车间南侧厂外空地	87	/
18	调试车间西侧总装车间	84	/
19	调试车间北侧成品仓库	82	/
20	调试车间北侧加速管车间	82	/
21	实验室拟建址	81	/
22	实验室拟建址东侧	82	/
23	实验室拟建址南侧	82	/
24	实验室拟建址西侧	85	/

25	实验室拟建址北侧	82	/
26	实验室拟建址南侧厂区道路	85	/
27	实验室拟建址南侧总装车间	81	/
28	实验室拟建址西侧门卫	87	/
29	实验室拟建址西侧空地	87	/
30	实验室拟建址西侧欧盛大道	86	/
31	实验室拟建址北侧厂区道路	86	/
32	3-1 调试区拟建址	82	/
33	3-1 调试区拟建址东侧	82	/
34	3-1 调试区拟建址南侧	82	/
35	3-1 调试区拟建址西侧	82	/
36	3-1 调试区拟建址北侧厂区道路	85	/
37	3-1 调试区拟建址北侧厂外公路	88	/

注：1.测量结果已扣除宇宙射线响应值；

2.生产、销售、使用工业辐照加速器项目拟建址下方为土层。

由表 8-1 检测结果可知，中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照电子加速器项目拟建址及其周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率为 81nGy/h~88nGy/h，位于江苏省环境天然 $\gamma$ 辐射剂量率水平涨落区间，属江苏省环境天然 $\gamma$ 辐射剂量率本底水平。

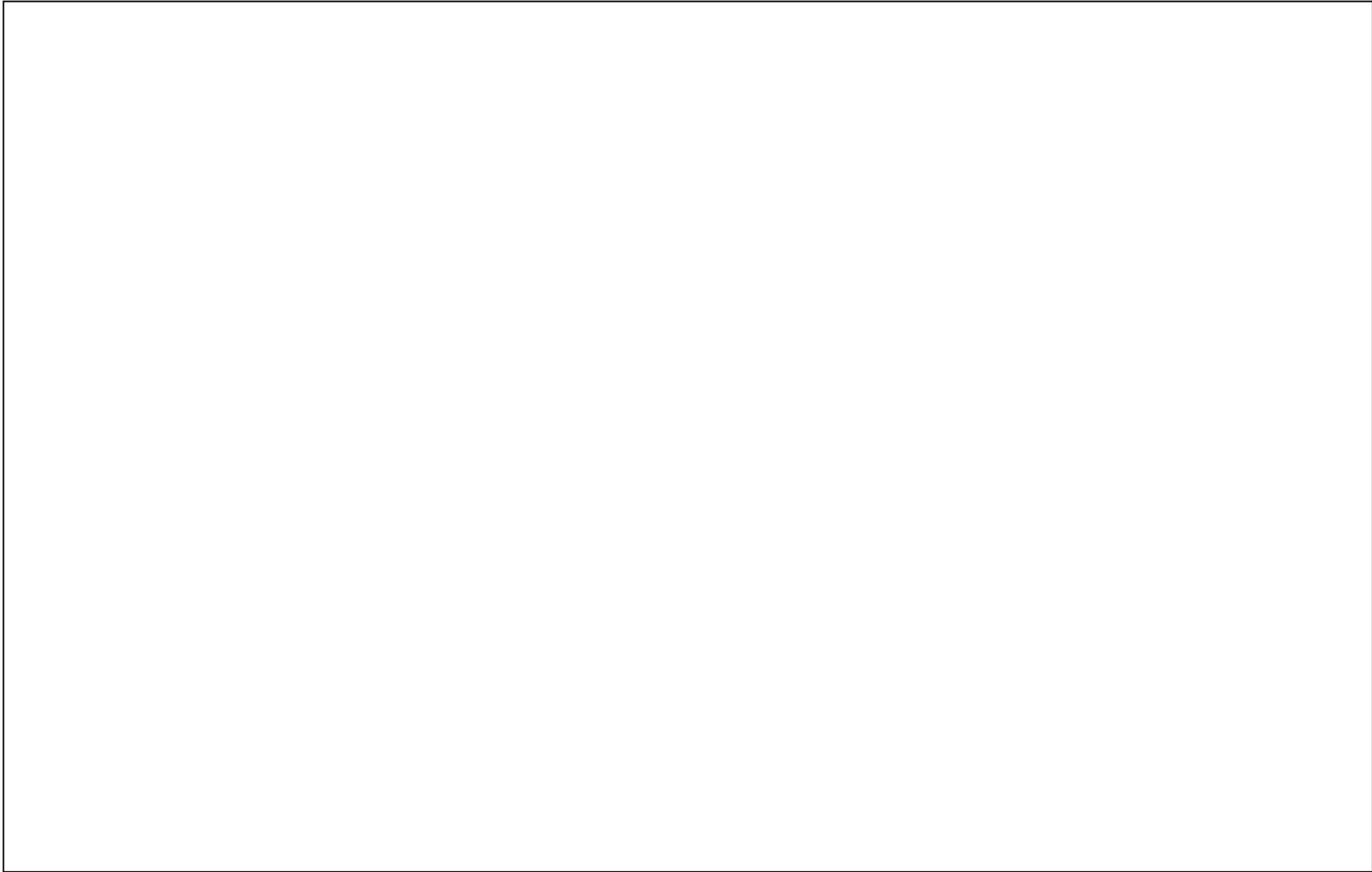


图 8-4 中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照电子加速器项目拟建址周围 $\gamma$ 辐射剂量率检测位点示意图

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、工程设备

中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业电子加速器项目各型号电子加速器技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目配备的电子加速器技术参数一览表

序号	加速器型号	最大电子线能量	最大束流强度	束流损失能量 (MeV)	束流损失率 (mA)	扫描宽度 (mm)	电子最大射程 mm	电子束方向及结构形式
1	EP-DG <sub>LZ</sub> 0.5/70	0.5MeV	70mA					垂直, 自屏蔽
2	EP-DG <sub>wz</sub> 0.5/70	0.5MeV	70mA					水平, 自屏蔽
3	DD <sub>LZ</sub> 1.0/60	1.0MeV	60mA					垂直, 自屏蔽
4	DL150/10	0.15MeV	10mA					垂直, 自屏蔽
5	DL120/600	0.12MeV	600mA					水平, 自屏蔽
6	DD <sub>LZ</sub> 0.8/60	0.8MeV	60mA					垂直, 自屏蔽
7	DD <sub>LZ</sub> 1.0/80	1.0MeV	80mA					垂直, 自屏蔽
8	DD <sub>LZ</sub> 1.5/80	1.5MeV	80mA					垂直, 自屏蔽
9	DD <sub>LZ</sub> 2.5/40	2.5MeV	40mA					垂直, 自屏蔽
10	DD <sub>LH</sub> 0.8/60	0.8MeV	60mA					垂直, 半自屏蔽
11	DD <sub>LH</sub> 1.0/60	1.0MeV	60mA					垂直, 半自屏蔽
12	DD <sub>LH</sub> 1.0/80	1.0MeV	80mA					垂直, 半自屏蔽
13	DD <sub>LH</sub> 1.5/60	1.5MeV	60mA					垂直, 半自屏蔽
14	DD <sub>LH</sub> 1.5/80	1.5MeV	80mA					垂直, 半自屏蔽
15	DD <sub>LH</sub> 2.0/50	2.0MeV	50mA					垂直, 半自屏蔽
16	DD <sub>LH</sub> 2.0/60	2.0MeV	60mA					垂直, 半自屏蔽

17	DDL <sub>H</sub> 2.5/40	2.5MeV	40mA					垂直, 半自屏蔽
18	DBLad-200	0.2MeV	20mA					垂直, 自屏蔽

注: DL150/10、DBLad-200 型设备使用电子帘加速器, 电子帘加速器无加速管, 不考虑束流损失。

以上 18 种型号加速器均为工业辐照用电子加速器, 其生产调试场所、工作人员配置、工作负荷及典型应用场景见表 9-2。

表 9-2 本项目加速器生产调试场所、人员配置及典型应用一览表

序号	加速器型号	数量	单台调试 期出束时 间	年总出 束时间	调试场所	人员 配置	加速器 典型应用
1	EP-DG <sub>LZ</sub> 0.5/70						
2	EP-DG <sub>wz</sub> 0.5/70						
3	DDL <sub>LZ</sub> 1.0/60						
4	DL150/10						
5	DL120/600						
6	DDL <sub>LZ</sub> 0.8/60						
7	DDL <sub>LZ</sub> 1.0/80						
8	DDL <sub>LZ</sub> 1.5/80						
9	DDL <sub>LZ</sub> 2.5/40						
10	DDL <sub>LH</sub> 0.8/60						
11	DDL <sub>LH</sub> 1.0/60						
12	DDL <sub>LH</sub> 1.0/80						

13	DDLH1.5/60					
14	DDLH1.5/80					
15	DDLH2.0/50					
16	DDLH2.0/60					
17	DDLH2.5/40					
18	DBLad-200					

注：加速器单台调试期出束时间为该型号 1 台加速器调试期间出束总时间（包括用户单位现场安装调试的时间），非单次调试连续出束时间。

### 1、EP-DG 型工业电子加速器

本项目 EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70、EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型共 2 种工业电子加速器均为自屏蔽结构加速器，其主体结构主要包括辐照室和加速钢桶，其系统组成主要为屏蔽体、高压电源系统、电子枪、控制系统、冷却系统、引出扫描系统等。2 种加速器主要区别在于：EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型加速器为立式结构，电子束垂直向下出束；EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型加速器为卧式结构，电子束水平方向出束。

EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型号电子加速器主要应用于污水处理、消毒灭菌、轮胎硫化等，其自身具备良好的辐射屏蔽措施，且体积较小；EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型号加速器主要应用于污水处理，设备本身具备良好的辐射屏蔽措施，在设备下方安装滑轮及导轨后，设备整体可在导轨上平移，具备一定的灵活性。EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型工业电子加速器系统结构示意图及产品形态示意图见图 9-1、图 9-2，EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型工业电子加速器系统结构示意图见图 9-3。

表 9-3 EP-DG 型工业电子加速器一览表

序号	型号	管电压/管电流	
1	EP-DG <sub>LZ</sub> 0.5/70	0.5MeV/70mA	
2	EP-DG <sub>wz</sub> 0.5/70	0.5MeV/70mA	

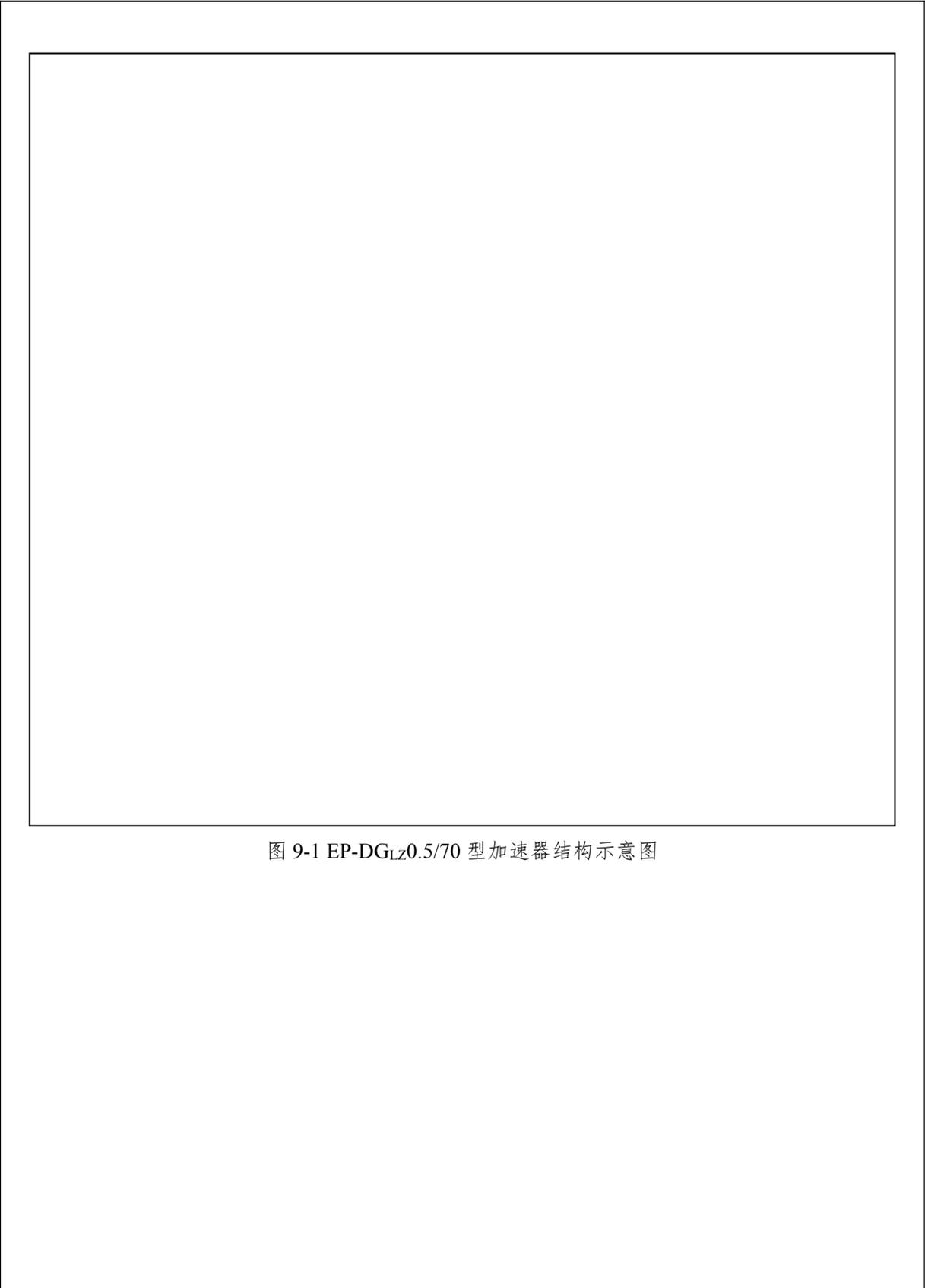


图 9-1 EP-DGLz0.5/70 型加速器结构示意图

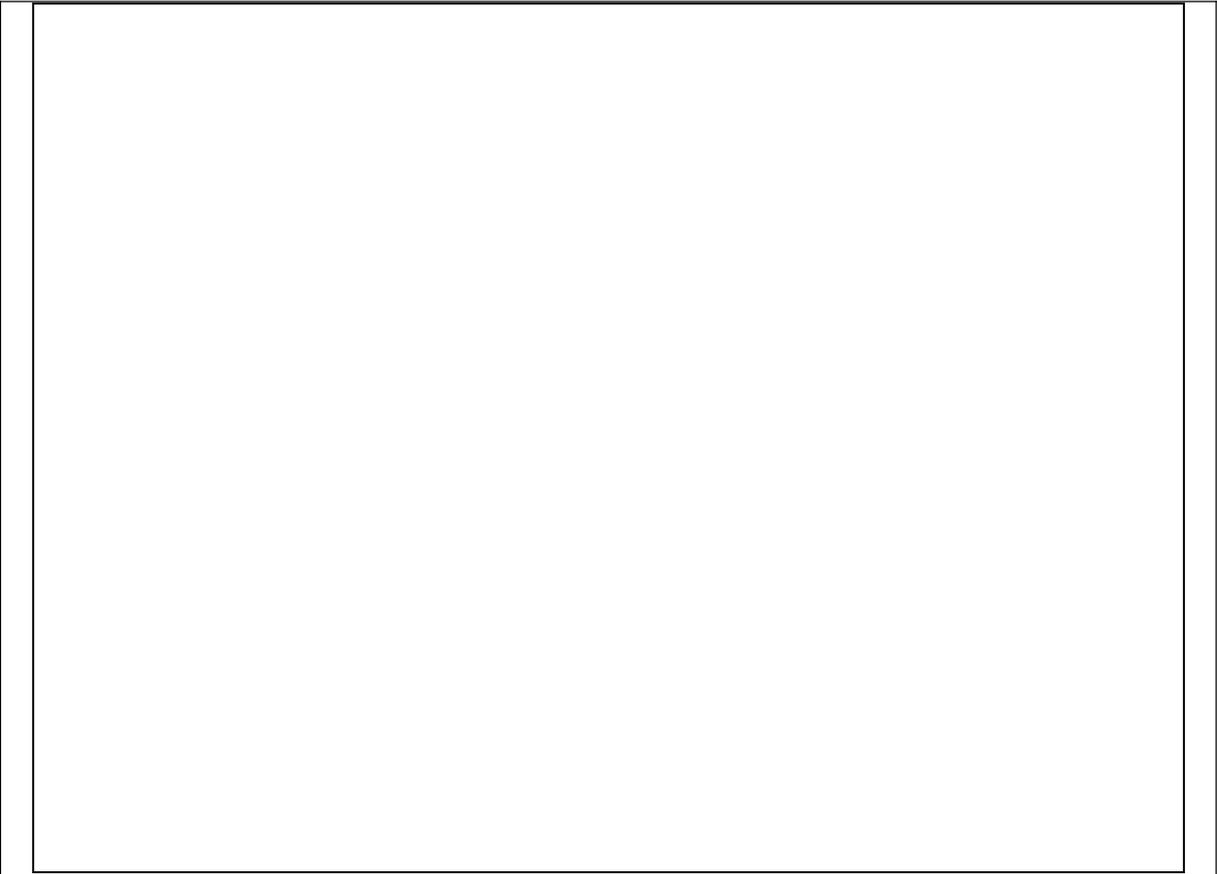


图 9-2 EP-DGLZ0.5/70 型加速器产品形态示意图

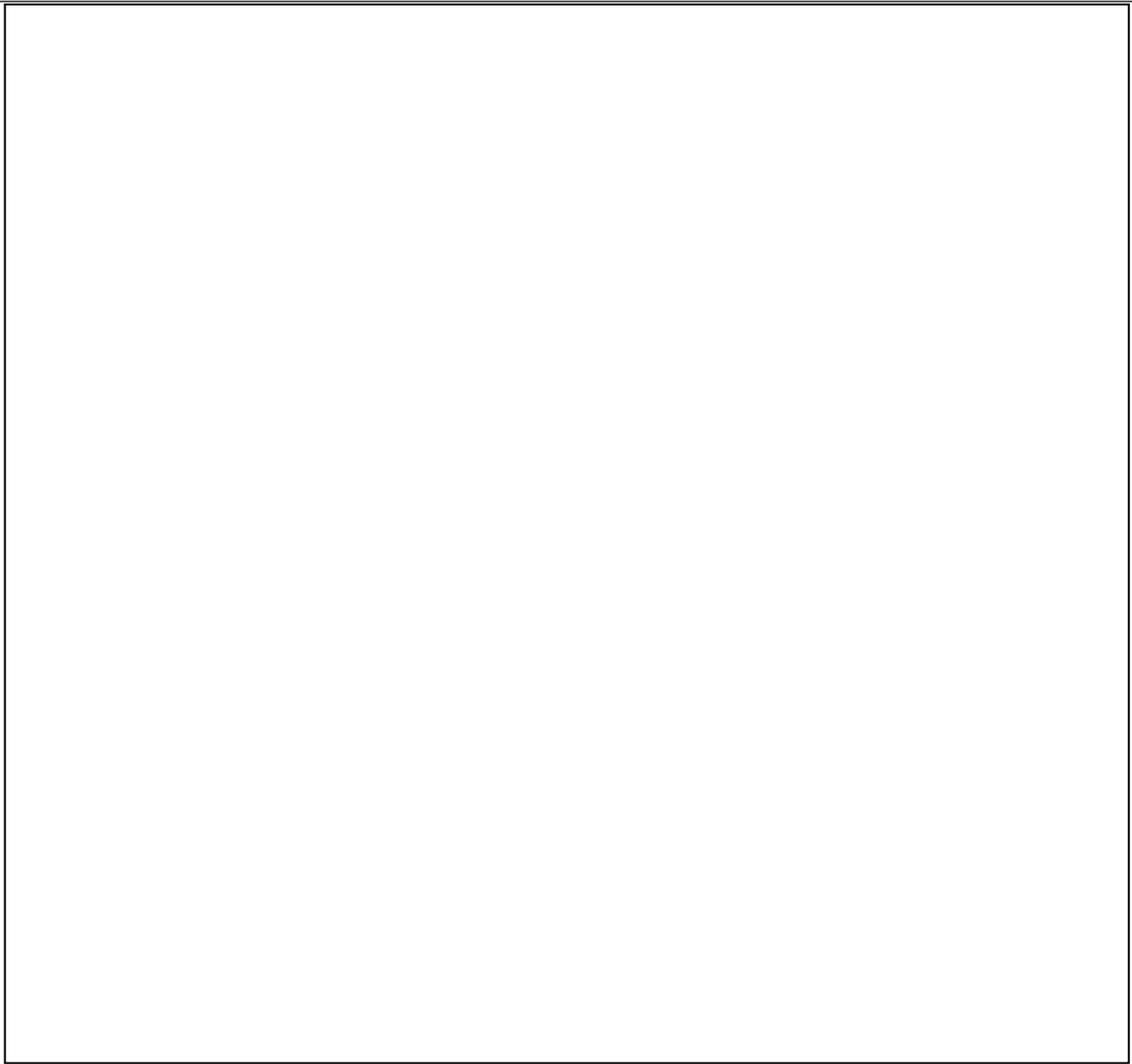


图 9-3 EP-DGwz0.5/70 型加速器系统结构示意图

## 2、DDLZ 型工业电子加速器

本项目 DDLZ1.0/60、DDLZ0.8/60、DDLZ1.0/80、DDLZ1.5/80、DDLZ2.5/40 型共 5 种工业电子加速器均为自屏蔽式高频高压加速器，其系统组成及工作原理基本一致，区别在于各型号电子束能量及束流强度有所不同以及辐照室屏蔽方案的不同。DDLZ 型加速器主体结构主要包括辐照室、扫描窗室、设备平台、主钢桶、侧钢桶，其系统组成主要为高压系统、高频振荡器、加速管、电子枪、引出扫描系统、真空系统、气体处理系统、水冷系统、辐射防护监测系统、控制系统和屏蔽体等，电子加速器主体结构示意图 9-4 至图 9-8。

表 9-4 DDLZ 型自屏蔽高频高压工业电子加速器一览表

序号	型号	管电压/管电流	主束方向	结构	设备内部人员可入情况	主要应用
1	DDLZ1.0/60	1.0MeV/60mA				

2	DD <sub>LZ</sub> 0.8/60	0.8MeV/60mA	
3	DD <sub>LZ</sub> 1.0/80	1.0MeV/80mA	
4	DD <sub>LZ</sub> 1.5/80	1.5MeV/80mA	
5	DD <sub>LZ</sub> 2.5/40	2.5MeV/40mA	

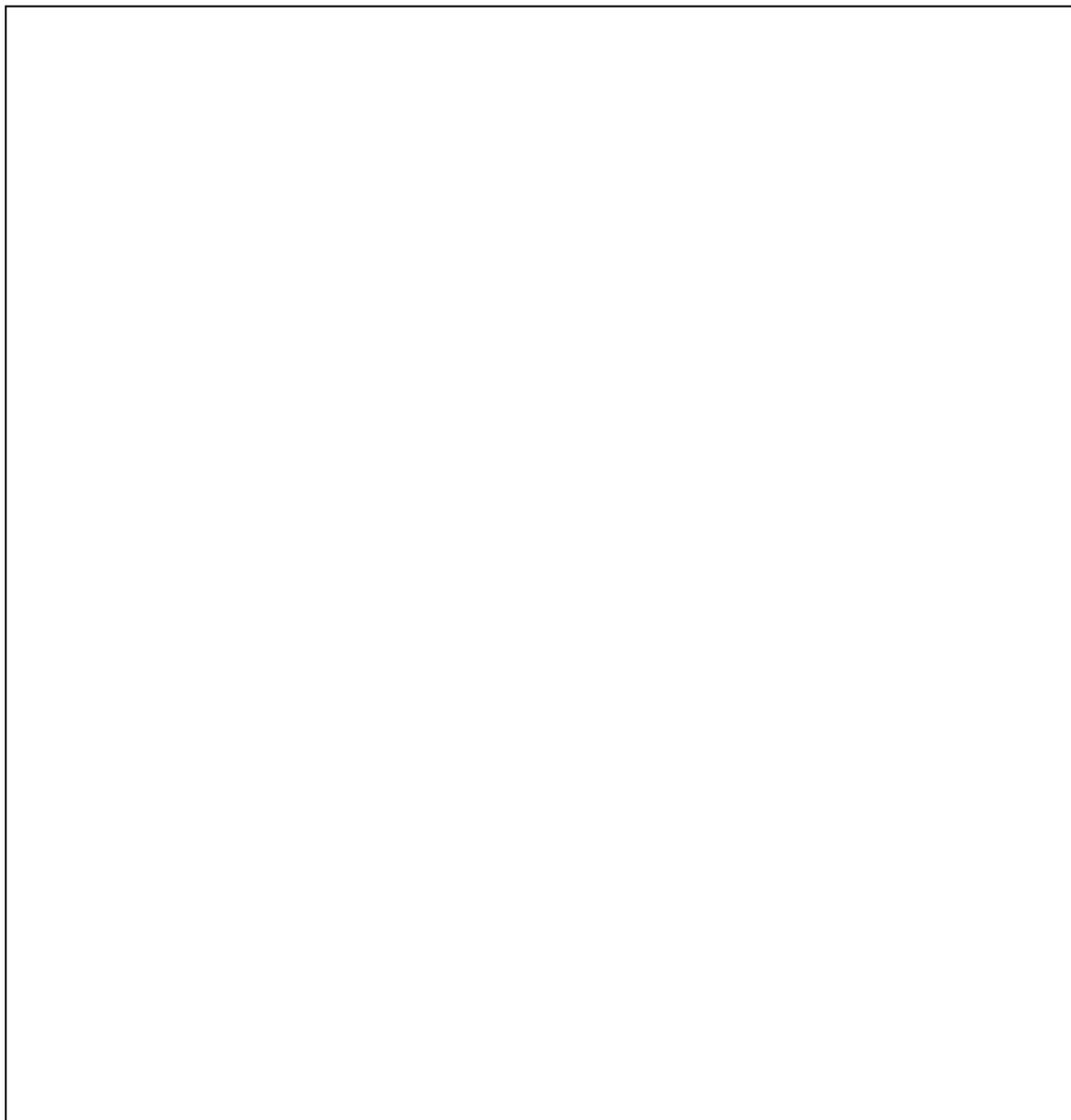


图 9-4 DD<sub>LZ</sub>1.0/60 型工业电子加速器结构示意图

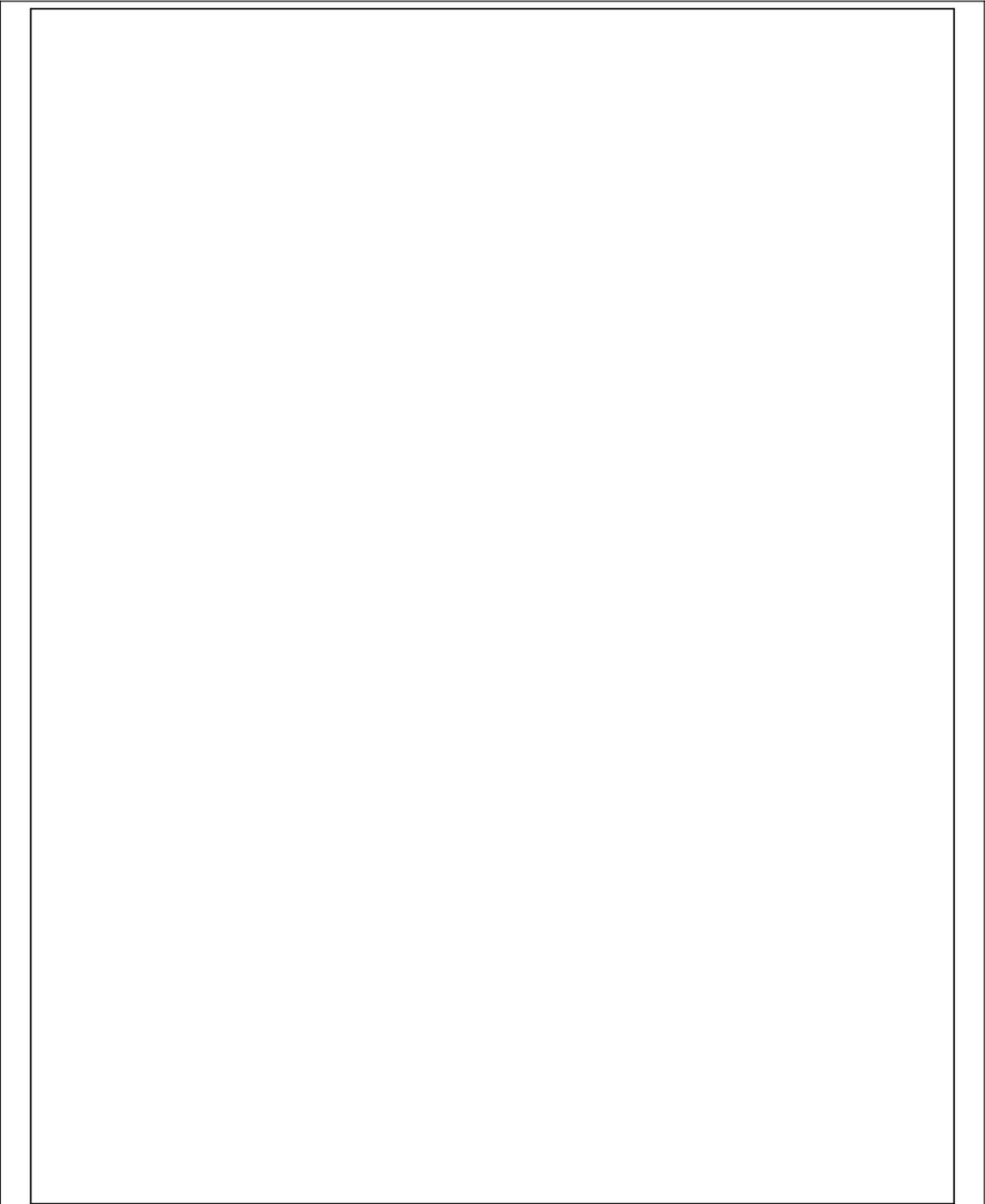


图 9-5 DD<sub>Lz</sub>0.8/60 型工业电子加速器结构示意图

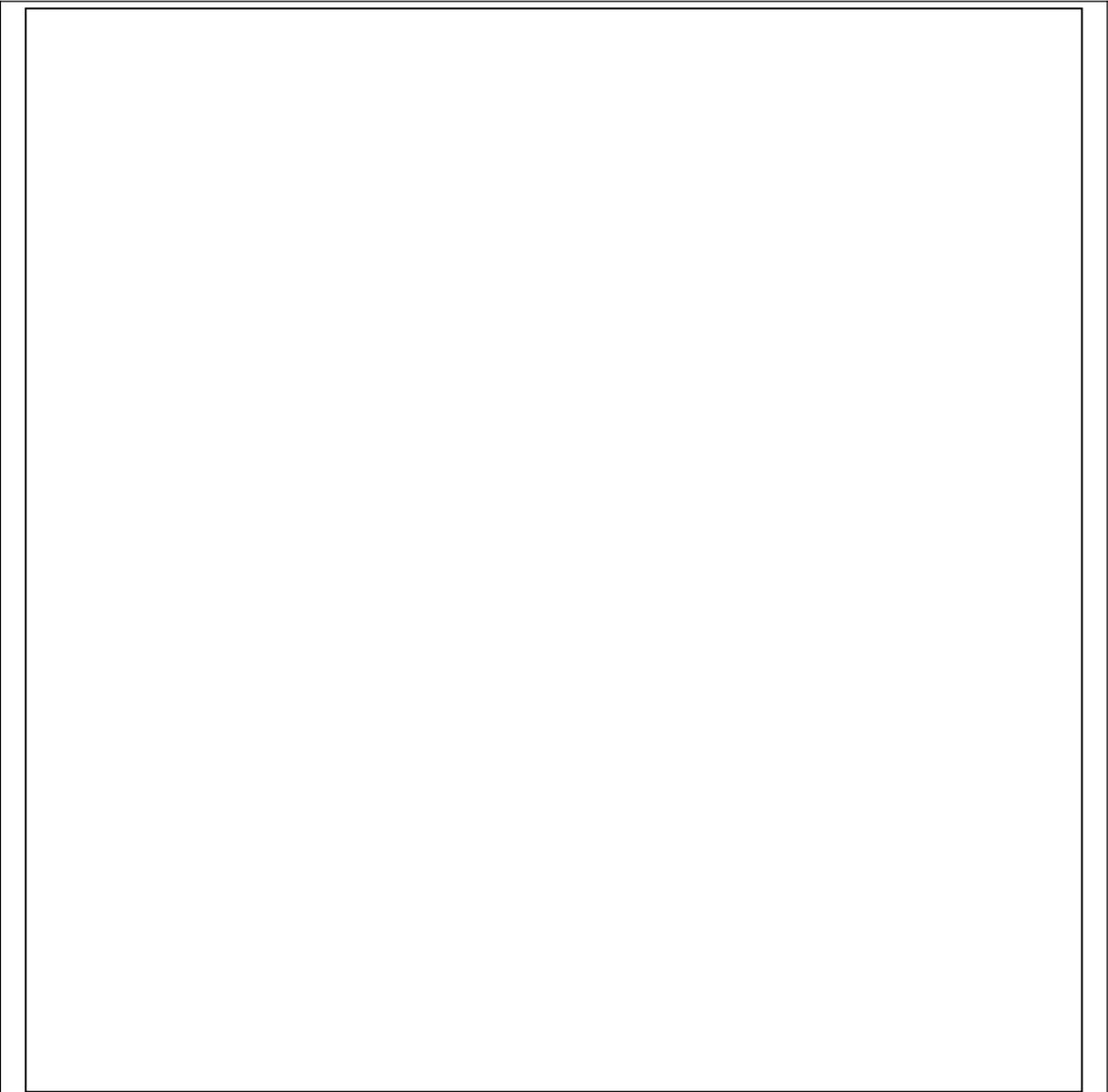


图 9-6 DD<sub>LZ</sub>1.0/80 型工业电子加速器结构示意图

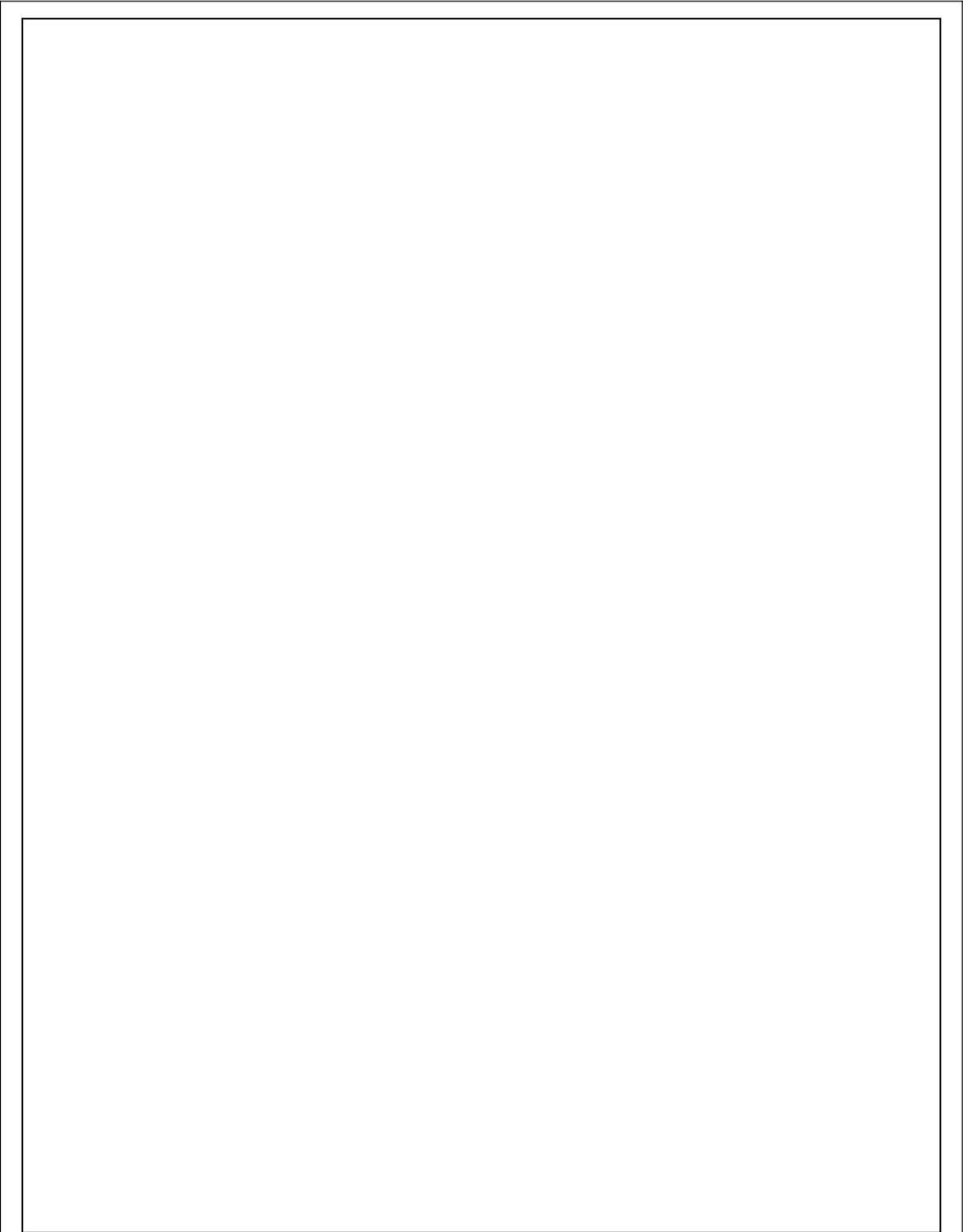


图 9-7 DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型工业电子加速器结构示意图

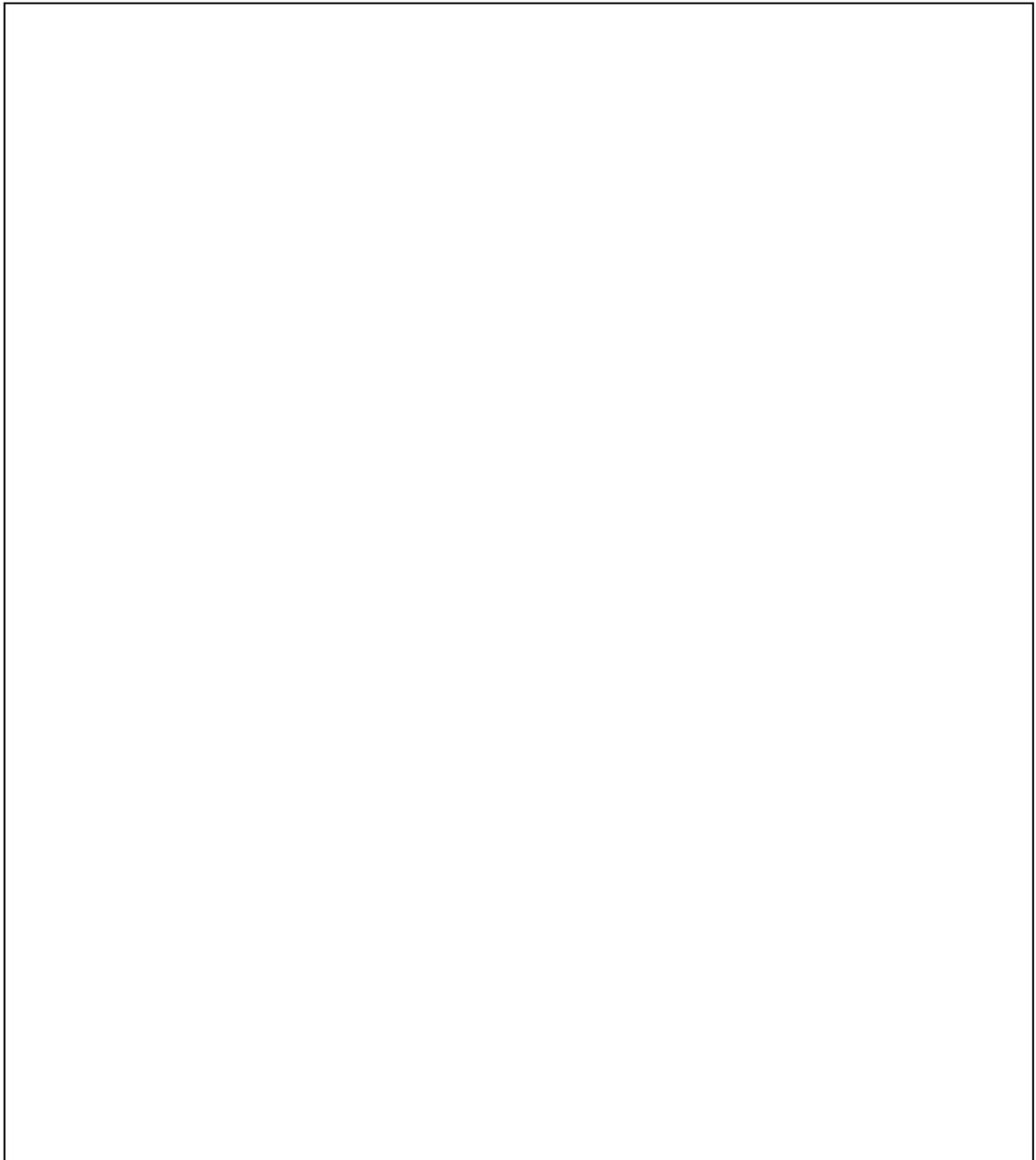


图 9-8 DD<sub>LZ</sub>2.5/40 型工业电子加速器结构示意图

#### 4、DD<sub>LH</sub> 型工业电子加速器

本项目 DD<sub>LH</sub>0.8/60、DD<sub>LH</sub>1.0/60、DD<sub>LH</sub>1.0/80、DD<sub>LH</sub>1.5/60、DD<sub>LH</sub>1.5/80、DD<sub>LH</sub>2.0/50、DD<sub>LH</sub>2.0/60、DD<sub>LH</sub>2.5/40 型共 8 种加速器均为半自屏蔽高频高压工业电子加速器，其系统组成及工作原理基本一致，区别在于各型号电子束能量及束流强度有所不同。DD<sub>LH</sub> 型工业电子加速器主体结构主要包括辐照室、设备平台、主钢桶、侧钢桶，其系统组成主要为高压系统、高频振荡器、加速管、电子枪、引出扫描系统、真空系统、气体处理系统、水冷系统、辐射防护监测系统、控制系统和屏蔽体等，其系统组成及结构示意图见图 9-9，外观示意图见图 9-10。

表 9-5 DD<sub>LH</sub> 型半自屏蔽高频高压工业电子加速器一览表

序号	型号	管电压/管电流	主束方向	结构	设备内部人员可入情况	主要应用
1	DD <sub>LH</sub> 0.8/60	0.8MeV/60mA				
2	DD <sub>LH</sub> 1.0/60	1.0MeV/60mA				
3	DD <sub>LH</sub> 1.0/80	1.0MeV/80mA				
4	DD <sub>LH</sub> 1.5/60	1.5MeV/60mA				
5	DD <sub>LH</sub> 1.5/80	1.5MeV/80mA				
6	DD <sub>LH</sub> 2.0/50	2.0MeV/50mA				
7	DD <sub>LH</sub> 2.0/60	2.0MeV/60mA				
8	DD <sub>LH</sub> 2.5/40	2.5MeV/40mA				

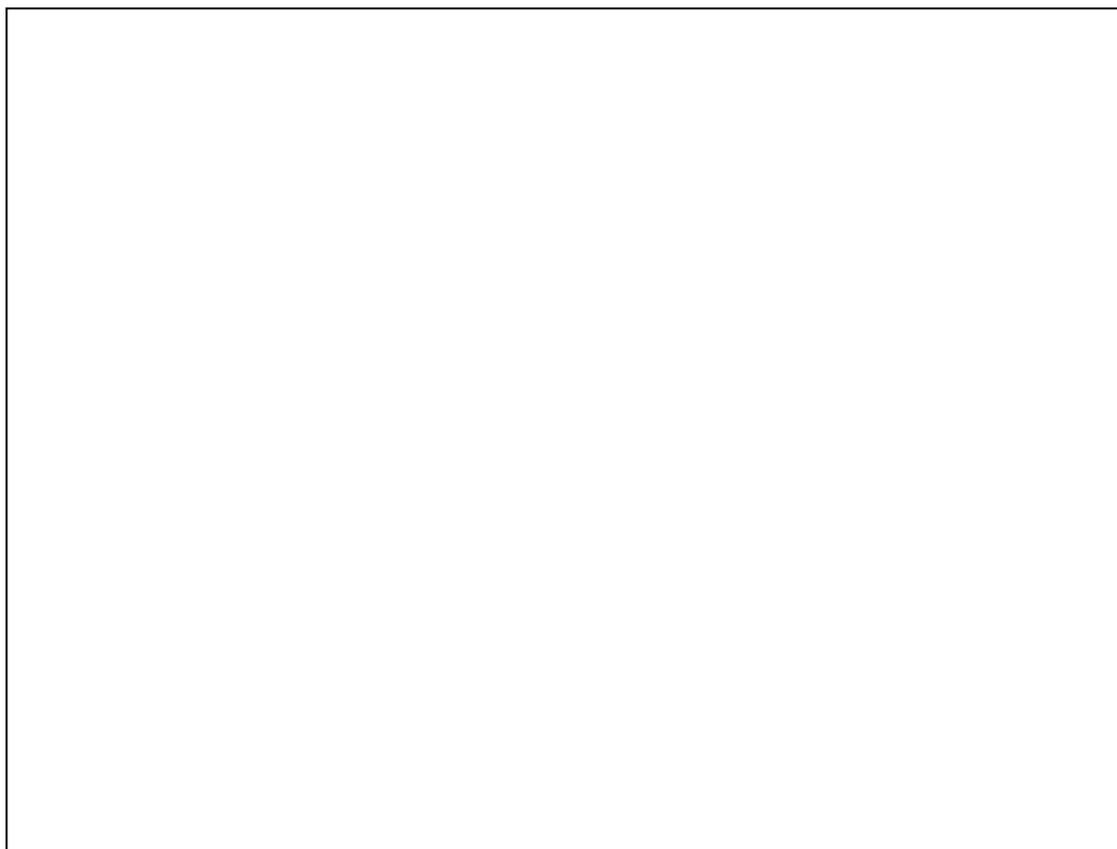


图 9-9 DD<sub>LH</sub> 型工业电子加速器结构示意图

图 9-10 DD<sub>LH</sub> 型工业电子加速器一般外观示意图

### 5、DL 型工业电子加速器

本项目 DL120/600、DL150/10 型共 2 种工业电子加速器均为自屏蔽式结构，各内置 1 台电子帘加速器。DL 型工业电子加速器主体结构主要包括屏蔽体、电子帘加速器、辐照室及电源伺服系统等。电子帘加速器没有加速管，不设偏转磁铁，体积小、结构十分简单。电子枪安装在一根真空管中，电子枪处于负高压状态，电子被高压激发加速射出，形成电子帘。真空管开有一个长条形窗口，窗口蒙有钛膜，高能电子束流穿过窗膜进入空气中，照射到靶物质上。DL120/600、DL150/10 型工业电子加速器系统组成及工作原理基本一致，其区别仅在于电子束能量及束流强度的不同。电子帘加速器系统组成及外观见图 9-11、图 9-12，DL150/10 型工业电子加速器结构组成及产品形态见图 9-13、图 9-14，DL120/600 型工业电子加速器结构组成示意图见图 9-15。

表 9-6 DL 型自屏蔽电子帘加速器一览表

序号	型号	管电压/管电流	主束方向	结构	设备内部人员可入情况	主要应用
1	DL120/600	120keV/600mA				
2	DL150/10	150keV/10mA				

图 9-11 电子帘加速器系统组成示意图



图 9-12 电子帘加速器外观示意图

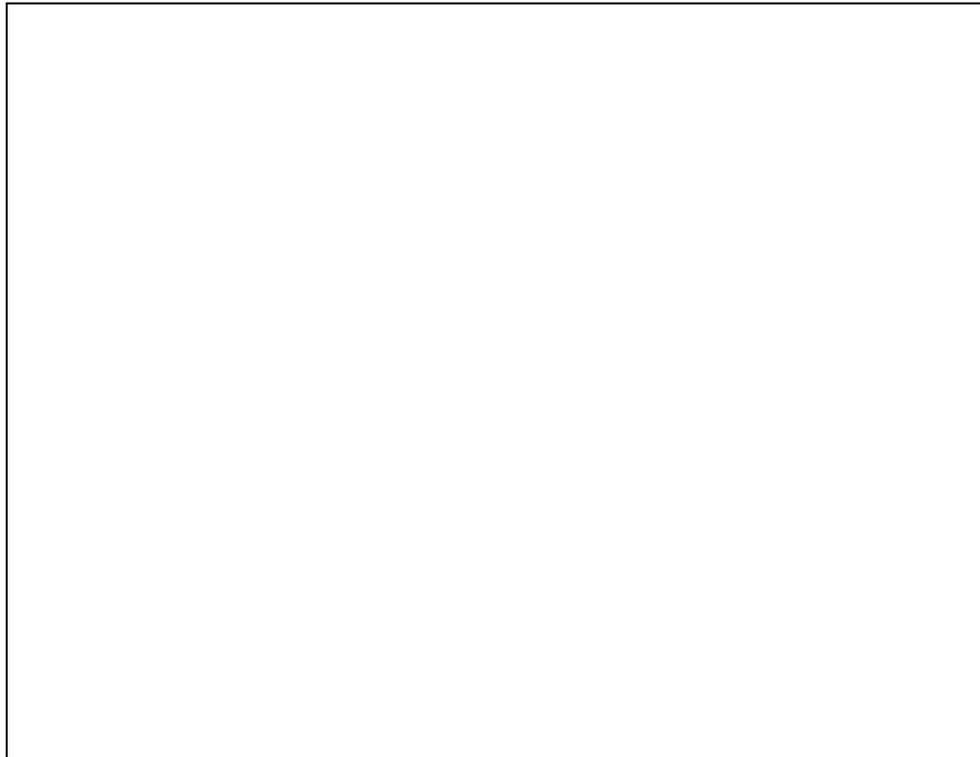


图 9-13 DL150/10 型工业电子加速器系统结构组成示意图



图 9-14 DL150/10 型工业电子加速器产品形态示意图

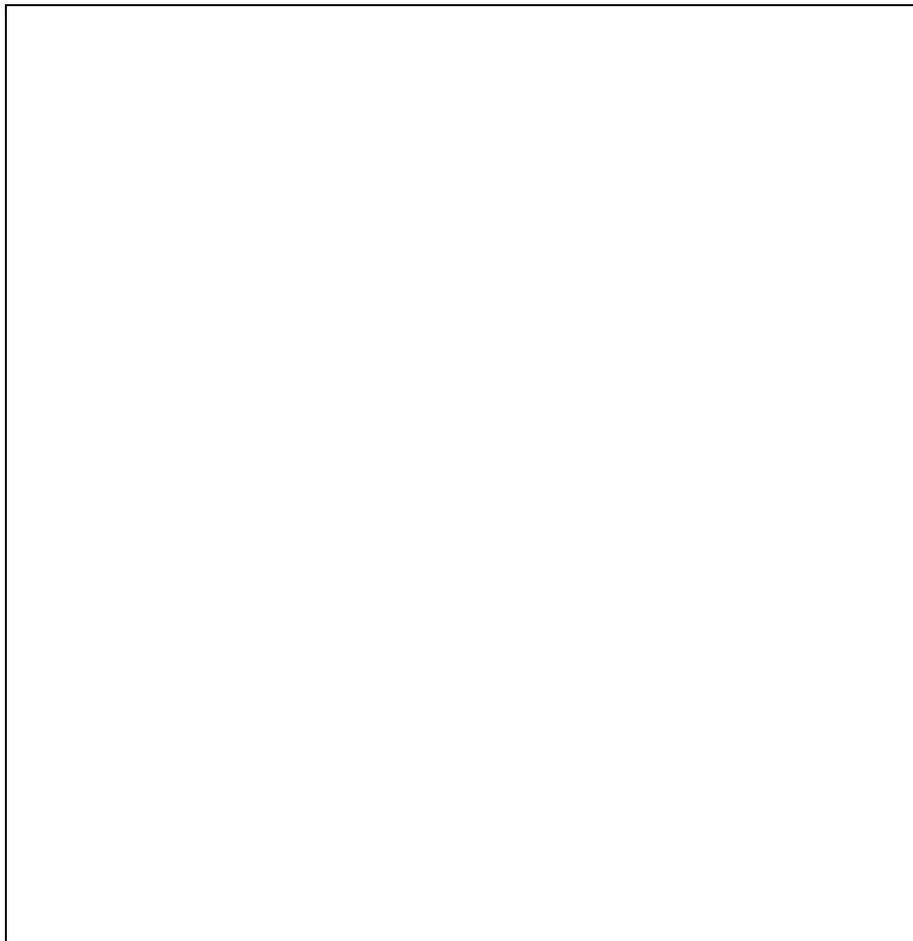


图 9-15 DL120/600 型工业电子加速器系统结构示意图

## 5、DBLad-200 型工业电子加速器

本项目于机加工车间二楼实验室购置 1 台 DBLad-200 型工业电子加速器,用于开展研发试验。DBLad-200 型工业电子加速器为自屏蔽结构工业辐照加速器,内置 1 台电子帘加速器。电子帘加速器没有加速管,不设偏转磁铁,体积小、结构十分简单。电子枪安装在一根真空管中,电子枪处于负高压状态,电子被高压激发加速射出,形成电子帘。真空管开有一个长条形窗口,窗口蒙有钛膜,高能电子束流穿过窗膜进入空气中,照射到靶物质上。DBLad-200 型工业电子加速器结构组成及外观示意图 9-16。

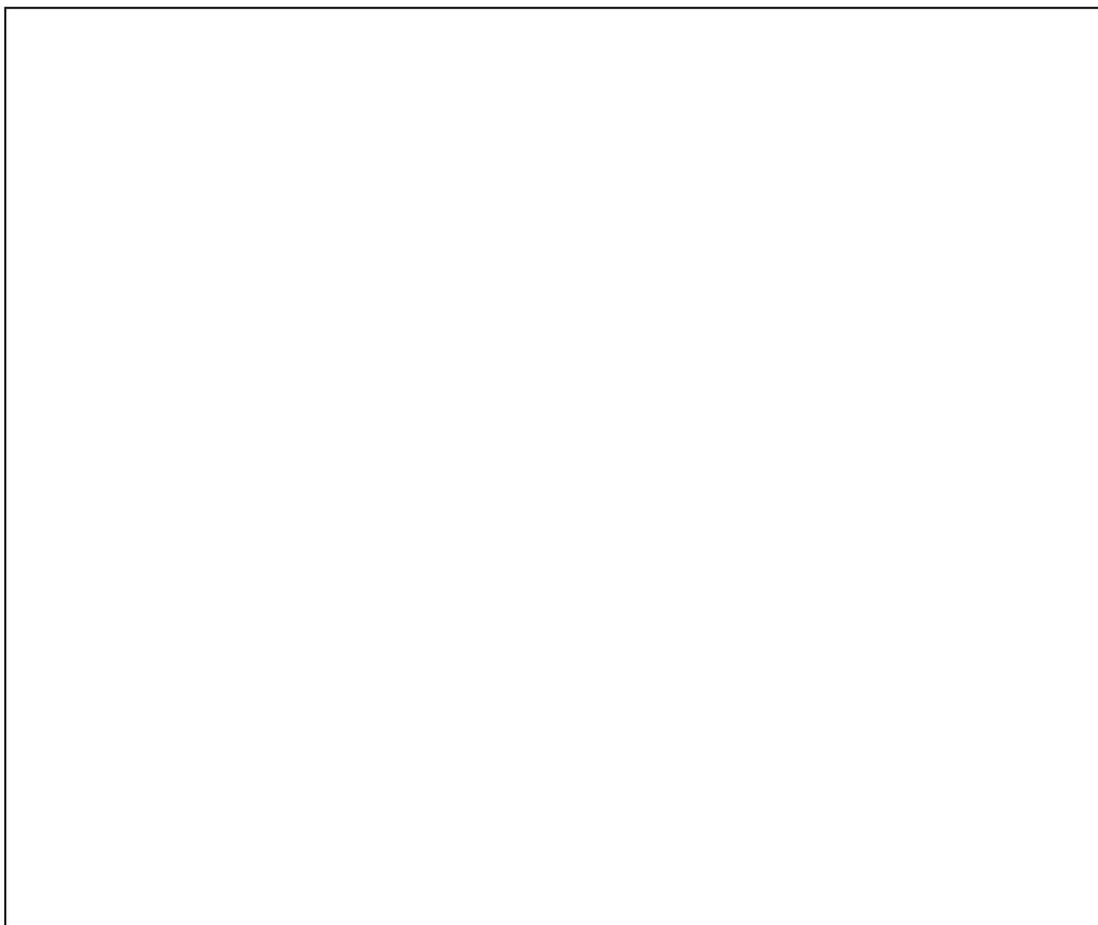


图 9-16 DBLad-200 型工业电子加速器结构组成及外观示意图

本项目 18 种型号工业电子加速器除电子帘加速器外,其主要组成部分基本包括:高压系统、高频振荡器、加速管、电子枪、引出扫描系统、真空系统、气体处理系统、水冷系统、辐射防护监测系统和控制系统等。现对各部分介绍如下:

**高压系统:** 高压系统即直流高压发生器,其由高频振荡器和倍压整流芯柱组成。

高频振荡器的作用是把电网的电能为工频转换为 120kHz 左右的高频,其性能决定着加速器的最大束功转换效率。

振荡器的基本元件是振荡管。振荡管的供电采用阴极接直流负高压，阳极接直流地电位的模式，从而简化了振荡管的冷却回路。谐振回路由钢筒内的环形自耦变压器（构成回路的电感  $L$ ）和半圆筒高频电极与钢筒内壁和倍压芯柱之间的分布电容（构成回路的电容  $C$ ）组成。振荡管阳极与环形变压器初级之间通过高频电缆连接。栅极所需的正反馈电压则通过置于钢筒与高频电极之间的耦合电容板取得。

环形变压器是高频振荡器的关键部件，它需要在高频、高压和大功率负荷的条件下工作，要求漏磁小、 $Q$  值高，结构牢固，制作和安装的工艺都要求较高。环形变压器的损耗仅次于振荡管，在相当程度上决定了加速器的束功转换效率。钢筒顶端安装有热交换器和风冷系统，把变压器散发的热量带走，并对钢筒内的其他部件进行冷却。

振荡管的直流负高压由可控硅直流稳压电源供电，它由一个工频三相升压变压器和一个三相桥式整流滤波单元组成，可输出  $0\sim 18\text{kV}$ 、 $0\sim 25\text{A}$  的直流负高压。可控硅调节单元置于变压器初级回路中，用来改变初级进线电压从而调节振荡管的直流工作参数，以达到调节加速器端电压和束功的目的。可控硅调节单元还从加速器高压测量单元取得信号，通过计算机控制来稳定加速器的能量。

整流倍压系统是以两块垂直地固定在钢筒底板上的绝缘板为骨架，在两块绝缘板上间隔均匀地从下至上各安装一排硅堆，两排硅堆彼此依次联接组成一条螺旋上升的硅堆整流链。在每个硅堆的连接点上水平地安装一个半电晕环，两列上下整齐排列的半电晕环，构成了整流倍压系统的圆柱外观，并把硅堆屏蔽在其中。对称的两列半电晕环正好与固定在钢筒内壁的两个对称的半圆筒高频电极同轴对应，每个半电晕环与高频电极之间即构成了分布电容  $C_{se}$ 。半电晕环和电极之间的尺寸配合精确，其表面平滑光亮。这种几何结构与静电加速器非常相似，其几何设计，必须既满足高频耦合参数的要求，也必须符合高压静电场的场形设计。

硅堆是加速器的关键部件之一。它由整流芯子和带保护球隙的金属屏蔽盒组成，每个硅堆的平均输出电压为  $50\text{kV}$ 。整流芯子由数百只硅二极管串联而成，其电路设计采取了均压和限流措施。

所有高频高压和直流高压的部件都安装在压力钢筒内，充以  $0.65\text{MPa}$  的氮气干燥绝缘气体，使得加速器具有足够安全的绝缘强度。

**束流加速系统：**束流加速系统由加速器管和电子枪组成。

加速器管是电子在其中成束并被加速的部件。它需要在高真空中（ $10^{-5}\sim 10^{-6}\text{Pa}$ ）稳定可靠地建立一个均匀的高梯度直流加速电场（ $0\sim 20\text{kV/cm}$ ）。由于真空中的击穿

放电机制复杂，至今还不十分清楚，因此，加速管成为加速器里最脆弱的环节，是各类高压型加速器提高端电压的主要限制。在制造、运输、安装和运行时均须小心谨慎。

加速管的基本单元是长约 300mm 的工艺段，采用先进的金属陶瓷焊接工艺制成。整根加速管由一定数量的工艺段组装而成。由于在制造和装配过程中排除了有机污染，每个焊缝都经过严格的处理和检测，因此这种加速管比用有机胶粘接方法制造的加速管机械强度高，真空性能好，电性能优越，使用寿命也更长。

加速管安装在整流芯柱的中心，顶端与高压球帽相接，底端接地。其电位分布大体与整流柱中的电位分布一致。加速管外侧装有均压电阻链，使其具有独立分压，每个绝缘环还装有保护放电球隙，以防止过电压冲击。

电子枪加速管的顶端安装电子枪，电子枪采用由钨合金丝绕制的直热式盘香形阴极，钨丝直径 0~0.8mm。阴极加热后发出的电子被加速管上端的引出极（也称吸极）引出成束进入加速管加速。为了在钛窗处获得所需要的束斑尺寸，电子枪和引出区以及整根加速管的电场要合理配置，经计算确定。

电子枪的供电功率由置于高压球帽内的发电机提供。发电机由固定在钢筒底座上的变频电机通过一根绝缘轴带动。改变变频电机的工作频率，即可方便快速地改变发电机的转速从而改变电子枪的加热电流，达到调节束流的目的。这样的供电方式，束流和频率单一对应，跟随快，便于和束下装置联动，有利于提高工作效率和辐照产品的质量。

**扫描引出系统：**电子束离开加速管后经漂移管进入辐照厅。穿过扫描磁铁组件时，在三角波磁场的作用下，进行 X 和 Y 相互垂直两个方向的扫描。最后经长条形的钛窗引出。钛箔的厚度既要有足够的强度以抵抗真空压力，又要尽量减少电子束在穿越时的能量损耗。即使如此，钛箔上的能耗仍旧相当可观，因此沿钛窗安装了一把风刀，针对钛箔进行强风冷却。另外，在加速管出口至扫描磁铁之间的漂移管外面，还安装有聚焦线圈和导向线圈，用以调节束流的聚焦和方向。

**绝缘气体处理系统：**绝缘气体处理系统的功能有二：1) 加速器检修时回收气体，2) 通过气体的循环去除其中的水分和运行中因放电生成的有毒有害分解产物。

该系统的主要部件如下：

①储气筒，为加速器检修时储存氮气气体用。

②压缩机机组，由无油压缩机、干燥塔、过滤器及相应的管道部件组成，用于将气体向加速器钢筒或向储气筒进行压缩。

### ③真空泵机组

由真空泵、油过滤器及相应的管道部件组成，用于对钢筒和储气筒抽气。

在加速器检修打开钢筒前，它必须把钢筒内的氮气抽尽并输送到压缩机的入口以便压入储气筒；在加速器检修完毕灌气之前，它必须将钢筒内的空气抽尽，以保证纯度。

上述各部件被紧凑地集成在一个带有控制面板的机箱中，整个系统采用电动执行元件和程序控制，通过面板上的按钮操作，即可按规定自动完成相应的流程步骤，避免误动作。

**冷却系统：**电子加速器运行时，脉冲变压器、调速管、耦合腔、加速管等均会由于长时间运行产生高温，为延长设备使用寿命，保障加速器安全连续运行，必须对其进行采取冷却降温措施。冷却系统通过布设管道，使蒸馏水不断流过发热部件，从而带走热量，并在散热器部分将蒸馏水携带的热量散出。冷却后的蒸馏水经水泵再次对发热部件进行冷却，以此持续循环运作。冷却系统的蒸馏水为闭式循环，不对外排放。

## 二、工作原理及工艺流程

### 1、工作原理

工业辐照加速器是使电子在高真空场中受磁场力控制，电场力加速而获得高能量的特种电磁、高真空装置，是人工产生各种高能电子束或 X 射线的设备。本项目 18 种型号加速器其工作原理可大致分为两类：

**第一类，高频高压电子加速器。**其工作原理可概括为：首先，将低压工频电能，用高频振荡器变成高频电能，输送给高压发生器；经过高压发生器内高频变压器的作用，变成升压的高频电压；再将此升压的高频电压加在空间耦合电容上，通过该耦合电容分别加到主体上的各个整流盒上，此时每一个耦合环上得到几十千伏的直流高压，由于各级串联，电压叠加，从而在高端获得很高的电压。加速器电子枪中的灯丝产生的电子云，引入到加了高压的加速管，经加速最终形成高能电子束。电子束从加速器出口输出，进入扫描空间，利用磁场将成束的电子扫开成一定的宽度，从金属膜构成的输出窗引出，对运动的被照物体进行辐照。本项目中属于这一类的加速器型号有：DDLz0.8/60、DDLz1.5/80、DDLz2.5/40、DDLz1.0/60、DDLz1.0/80、DDLh0.8/60、DDLh1.0/60、DDLh1.0/80、DDLh1.5/60、DDLh1.5/80、DDLh2.0/50、DDLh2.0/60、DDLh2.5/40、EP-DGz0.5/70、EP-DGwz0.5/70。

**第二类，电子帘加速器。**电子帘加速器没有加速管，不设偏转磁铁，体积小、结

构十分简单。电子枪安装在一根真空管中，电子枪处于负高压状态，电子被高压激发加速射出，形成电子帘。真空管开有一个长条形窗口，窗口蒙有钛膜，高能电子束流穿过窗膜进入空气中，照射到靶物质上。本项目中属于这一类的加速器型号有：DL120/600、DL150/60、DBLad-200。

本项目涉及 17 种不同型号工业电子加速器的生产、销售、使用和 1 台 DBLad-200 型工业电子加速器的使用，其主要应用范围均为工业辐照，应用场景包括：污水处理、材料改性（电线电缆，片材、薄膜、热缩管等）、轮胎硫化、消毒灭菌等。

## **2、工艺流程及产污环节**

### **2.1 生产、销售、使用 17 种工业电子加速器**

接到客户订单后，中广核加速器技术（苏州）有限公司订购或自行生产高压电源和钢筒等装配部件，并对各部件进行组装，组装完成后进行电子加速器设备的调试，调试达预定值后外售给使用方，中广核加速器技术（苏州）有限公司负责电子加速器的售后调试和维修服务工作。

本项目工艺流程如下：

- （1）接收用户订单，签订购置协议，明确加速器型号、数量；
- （2）根据确定的加速器型号、数量，按照加速器的设计委外加工或自行生产生产相关装配部件；
- （3）设备组装：委外加工的工件由供应商配送至公司，各装配部件全部到位后，在划定的加速器调试区内进行加速器的整机组装。组装完成之前加速器无法开机出束，调试时只对加速器整机进行调试，不对单独的零部件进行测试。
- （4）设备调试：加速器整机组装完成后，开启高压电源，对射线能量进行标定，标定好之后使其持续出束以锻炼高压，并在出束过程中对加速器各项目指标进行监测，满足相关指标要求时，调试结束，关闭加速器。该工序主要产生电子线、X 射线、少量臭氧及氮氧化物；
- （5）设备的包装出厂、外售：将调试完毕的合格产品进行分解拆卸，对各零部件进行包装，产品的包装质量需保证设备在正常的运输及装卸条件下经多次吊运及装卸，直至运到指定的交货地点交货过程中，不会出现因包装不善而产生设备及精度降低、变形、破损、散件和丢失现象；
- （6）售后调试和维修服务：中广核达胜加速器技术有限公司负责加速器设备的售后调试和维修服务工作，安装调试和维修服务工作中产生的污染物主要为电子线、

X 射线、少量臭氧及氮氧化物。

生产、销售、使用 17 种型号工业电子加速器项目工作流程和主要产污环节如图 9-16 所示。

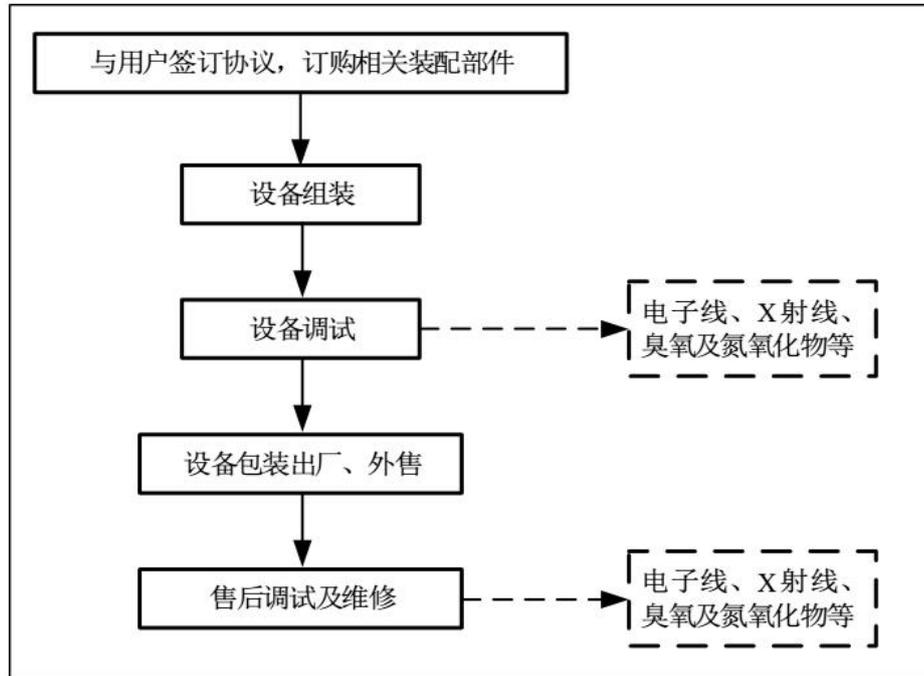


图 9-16 电子加速器辐照装置的工作流程和主要产污环节示意图

## 2.2 使用 DBLad-200 型工业电子加速器

本项目购置 1 台 DBLad-200 型工业电子加速器用于开展研发实验, 使用流程及产污环节如下:

- (1) 开机前检查加速器周围情况, 确认环境安全;
- (2) 开启主开关, 进行整机自检、预热;
- (3) 预热完毕后, 打开货物口盖板, 放入被辐照产品;
- (4) 关闭货物口盖板, 设置辐照参数, 开始出束辐照, 出束期间产生电子线、X 射线及少量臭氧、氮氧化物;
- (5) 辐照完毕, 关闭出束开关, 打开货物口盖板, 取出辐照产品;
- (6) 一次辐照工作完成, 关闭主开关。

使用 DBLad-200 型工业电子加速器的工作流程及产污环节见图 9-17。

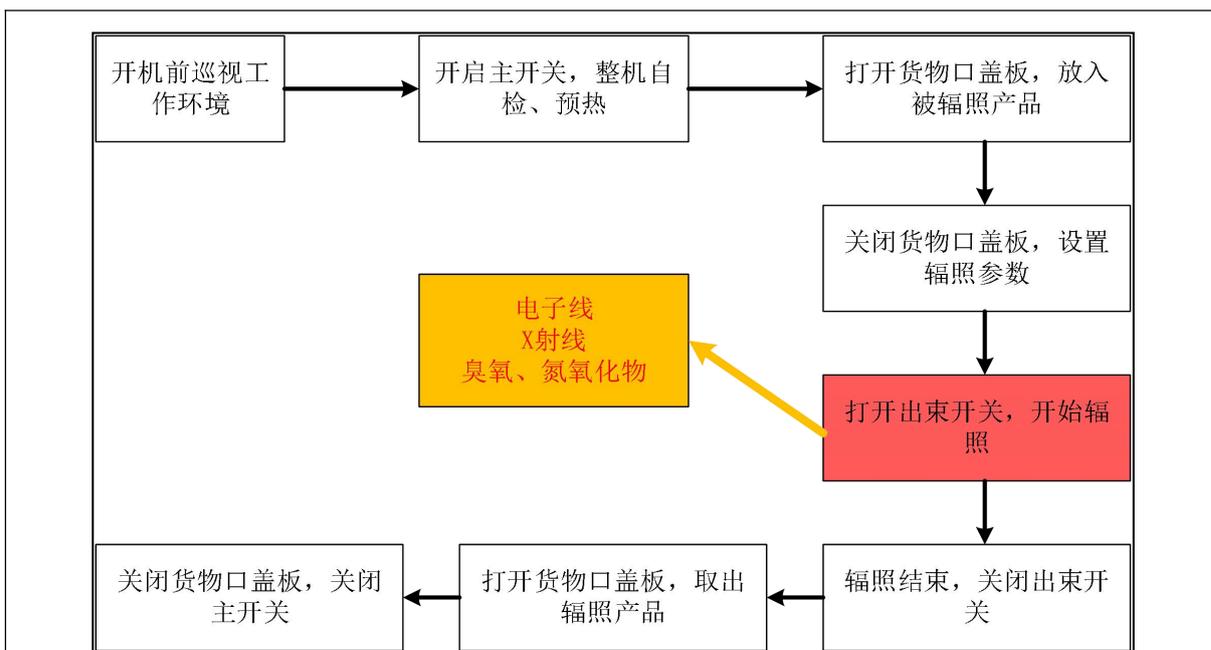


图 9-17 DBLad-200 型工业电子加速器工作流程及产污环节示意图

## 污染源项描述

### 一、放射性污染

#### X 射线:

工业电子加速器在进行辐照时发射电子束，其中辐照室内电子束打到机头及其他高靶物质时会产生韧致 X 射线，X 射线的贯穿能力较强，会对辐照室周围环境造成辐射影响，这部分 X 射线是本项目的主要 X 射线来源。此外，电子在加速过程中，部分电子会丢失，它们打在加速管壁上，产生少量 X 射线，也会对辐照室周围环境造成辐射污染。

由于电子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，在电子加速器开机辐照期间，X 射线辐射为项目主要的污染因素。

当电子能量高于 10MeV 时，会由于  $(\gamma, n)$  反应产生光致衰变中子。本项目电子加速器最大能量为 2.5MeV，因此不用考虑中子和感生放射性问题。本项目 18 种工业电子加速器技术参数列表见表 9-1。

### 二、非放射性污染

#### 废水:

本项目运行过程中没有放射性废水产生；电子加速器冷却采用内循环冷却水系

统，不外排；本项目辐射工作人员会产生一定量生活污水。

**废气：**

本项目运行过程中没有放射性废气产生。但空气在电子束和强 X 射线电离辐射的作用下，会产生一定量的臭氧和氮氧化物。电子加速器输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。本项目加速器机房设计有通风系统，臭氧和氮氧化物通过通风系统排出机房，很快弥散在大气环境中。臭氧在大气中短时间可自动分解为氧气，而氮氧化物产量一般为臭氧产量的三分之一，这部分废气对周围环境影响较小。本项目主要考虑辐照室内产生的臭氧对停机后进入人员的影响，需保证其有害气体浓度满足 GB/T 25306-2010 及 GBZ 2.1-2019 规定的有害气体职业接触限值要求。

**固废：**

本项目运行过程中没有放射性固废产生；本项目辐射工作人员会产生一定量生活垃圾。

**噪声：**

本项目运行期间，噪声源主要来自加速器冷却水循环水泵、高频机、风机以及收放线系统的噪声，均集中在二期厂房。公司拟采用低噪声风机，并在安装上述设备时采取减震及实体隔离等措施后，其对二期厂房以外的噪声影响较小，不会对周围环境产生明显影响，因此噪声不作为本项目的主要污染评价因子。

表 10 辐射安全与防护

## 项目安全设施

### 一、工作场所布局及分区

中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照加速器项目拟建址位于苏州市吴江区平望镇中鲈国际物流科技园，其中 5-2 调试区至 5-8 调试区均位于一期厂区调试车间，实验室、3-1 调试区位于一期厂区机加工车间二楼。

本项目加速器均为自屏蔽、半自屏蔽结构。自屏蔽结构加速器自带屏蔽体，加速器出束期间，人员无法进入设备内部；半自屏蔽加速器建有屏蔽机房，加速器出束期间，机房内无人员停留。加速器控制室/控制柜/控制面板均设于加速器屏蔽体/屏蔽机房外，操作人员均在辐照室外设置加速器参数并监控加速器运行情况。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将自屏蔽加速器、半自屏蔽加速器的屏蔽体内部划为控制区，加速器出束期间任何人不得进入控制区，并在自屏蔽设备上、半自屏蔽机房门上等处设置电离辐射警告标志及中文警示说明等；拟将半自屏蔽加速器的设备平台、各调试区内除控制区以外区域、实验室内除控制区以外区域作为辐射防护监督区。5-2 至 5-8 调试区监督区边界及调试区之间均设置 2m 高钢制围栏，并在围栏上粘贴监督区标识、电离辐射警告标志，进入监督区的门设置门禁密码，监督区内人员操作位置设置 2.1m 高钢制围栏，通往半自屏蔽加速器设备平台的楼梯口设置隔离门并上锁，电子加速器开机工作过程中，除辐射工作人员外，其他人员限制进入；实验室监督区以实验室房间墙壁、门作为监督区边界，在实验室门上粘贴监督区标示、电离辐射警告标志，实验室门设置门禁密码，除辐射工作人员外，其他人员限值进入；3-1 调试区以调试区所在房间墙壁、门作为监督区边界，在房间门上粘贴监督区标示、电离辐射警告标志，房间门设置门禁密码，除辐射工作人员外，其他人员限值进入。

本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照加速器项目工作场所辐射防护分区见图 10-2 至图 10-3。

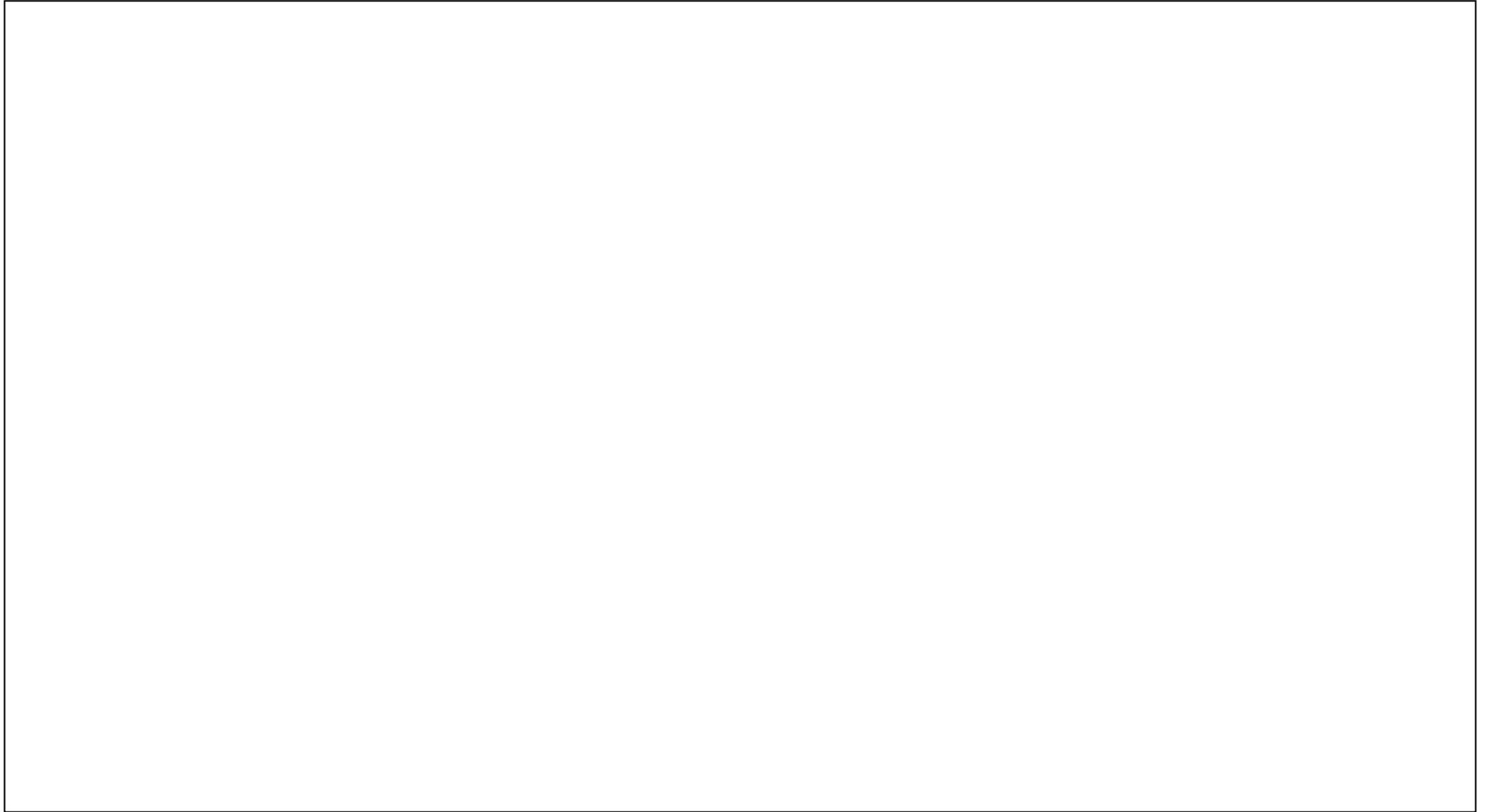


图 10-1 生产、销售、使用工业辐照加速器项目工作场所辐射防护分区示意图（5#厂房）



图 10-2 生产、销售、使用工业辐照加速器项目工作场所辐射防护分区示意图（3#厂房二楼）

## 二、辐射防护屏蔽设计

本项目自屏蔽结构加速器屏蔽参数见表 10-1，屏蔽设计图纸见附图 7 至附图 16。

表 10-1 自屏蔽结构加速器屏蔽设计参数一览表

序号	加速器型号	屏蔽体	屏蔽材料及厚度 (mm)
1	EP-DG <sub>Lz</sub> 0.5/70	加速器钢桶顶部	
		加速器钢桶顶盖	
		加速器钢桶侧壁	
		加速器钢桶侧盖	
		加速器钢桶底部	
		辐照室顶	
		辐照室四面	
		辐照室底	
		管道屏蔽罩正面	
		管道屏蔽罩侧面	
2	EP-DG <sub>wz</sub> 0.5/70	加速器钢桶顶部	
		加速器钢桶顶盖	
		加速器钢桶侧壁	
		加速器钢桶底部	
		扫描窗室顶部	
		扫描窗室侧壁	
		扫描窗室管道屏蔽罩	
		扫描窗室底部 (即辐照室顶部)	
		辐照室侧壁	
		辐照室底	
		辐照室管道屏蔽罩侧面	
		辐照室管道屏蔽罩底面	
3	DD <sub>Lz</sub> 1.0/60	加速器钢桶连接段	

		加速器侧钢桶侧面	
		加速器侧钢桶顶面	
		加速器侧钢桶侧盖	
		加速器侧钢桶底部	
		扫描窗室顶部	
		扫描窗室侧壁	
		扫描窗室底部 (即辐照室顶部)	
		辐照室侧壁	
		辐照室线缆孔盖板(上部分)	
		辐照室线缆孔盖板(下部分)	
		辐照室底部	
4	DL150/10	加速器屏蔽壳顶部	
		加速器屏蔽壳侧面	
		加速器屏蔽壳底面 (即辐照室顶面)	
		辐照室侧面	
		辐照室底面	
		货物上下口盖板	
5	DL120/600	加速器顶部外壳	
		加速器屏蔽壳前后两面	
		加速器屏蔽壳左面	
		加速器屏蔽壳右面	
		加速器屏蔽壳底面	
6	DDLz0.8/60	加速器主钢桶与侧钢桶连接 段	
		加速器侧钢桶侧壁	
		加速器侧钢桶侧盖	
		加速器侧钢桶底部	

		加速器辐照室顶部	
		加速器辐照室侧壁	
		加速器辐照室底部	
7	DD <sub>Lz</sub> 1.0/80	加速器主钢桶与侧钢桶连接段	
		加速器侧钢桶顶部	
		加速器侧钢桶侧壁	
		加速器侧钢桶侧盖	
		加速器侧钢桶底部	
		扫描窗室顶部	
		扫描窗室侧壁	
		扫描窗室检修门	
		扫描窗室管线屏蔽罩	
		辐照室顶部(扫描窗室部分)	
		辐照室顶部 (扫描窗室以外部分)	
		辐照室侧壁	
		辐照室底部	
		辐照室线缆孔屏蔽罩上部分	
		辐照室线缆孔屏蔽罩下部分	
8	DD <sub>Lz</sub> 1.5/80	加速器主钢桶与侧钢桶连接段	
		加速器侧钢桶顶部	
		加速器侧钢桶侧壁	
		加速器侧钢桶侧盖	
		加速器侧钢桶底部	
		辐照室顶部	
		辐照室侧壁	
		辐照室底部	

9	DDLz2.5/40	加速器主钢桶与侧钢桶连接段	
		加速器侧钢桶顶部	
		加速器侧钢桶侧壁	
		加速器侧钢桶侧盖	
		加速器侧钢桶底部	
		扫描窗室顶部	
		扫描窗室侧壁	
		扫描窗室检修门	
		扫描窗室底部	
		辐照室顶部 (非扫描窗室部分)	
		辐照室侧壁(前、后两面)	
		辐照室侧壁(左、右两面)	
		辐照室地面	
		10	DDLH0.8/60
加速器侧钢桶顶部			
加速器侧钢桶侧壁			
加速器钢桶侧盖			
加速器钢桶底部			
11	DDLH1.0/60、 DDLH1.0/80	加速器主钢桶与侧钢桶连接段	
		加速器侧钢桶顶部	
		加速器侧钢桶侧壁	
		加速器钢桶侧盖	
		加速器钢桶底部	
12	DDLH1.5/60、 DDLH1.5/80	加速器主钢桶与侧钢桶连接段	
		加速器侧钢桶顶部	
		加速器侧钢桶侧壁	

		加速器钢桶侧盖	
		加速器钢桶底部	
13	DD <sub>LH</sub> 2.0/50、 DD <sub>LH</sub> 2.0/60	加速器主钢桶与侧钢桶连接 段	
		加速器侧钢桶顶部	
		加速器侧钢桶侧壁	
		加速器钢桶侧盖	
		加速器钢桶底部	
14	DD <sub>LH</sub> 2.5/40	加速器主钢桶与侧钢桶连接 段	
		加速器侧钢桶顶部	
		加速器侧钢桶侧壁	
		加速器钢桶侧盖	
		加速器钢桶底部	
15	DD <sub>LH</sub> 型半自屏蔽 加速器调试屏蔽 体	扫描窗室顶部	
		扫描窗室侧壁	
		扫描窗室检修门	
		扫描窗室（即辐照室顶部）	
		辐照室侧壁（前、后两面）	
		辐照室侧壁（左、右两面）	
		辐照室线缆口屏蔽罩壳上部 分	
		辐照室线缆口屏蔽罩壳下部 分	
		辐照室底部	

注：1、所用混凝土的密度不低于 2.35g/cm<sup>3</sup>，铁板、钢板、不锈钢密度不低于 7.87g/cm<sup>3</sup>，铁砂密度不低于 5g/cm<sup>3</sup>；

2、上表所述“侧向”、“侧面”指与电子束成 90° 方向，“顶部”、“顶面”指电子束来源方向，“底部”、“底面”指电子束照射方向；

3、加速器及调试屏蔽体详细屏蔽设计见附图 7 至附图 16 所示。

### 三、辐射安全及防护措施

#### 1、辐射安全措施

为确保辐射安全，保障工业电子加速器安全运行，避免在电子加速器辐照期间人员误留或误入辐照室内发生误照事故，本项目的所有电子加速器设计有相应的辐射安全装置和保护措施。主要有：

**(1) 钥匙控制。**本项目的加速器设有操作台，操作台上设计有电子加速器的钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动电子加速器进行出束作业；钥匙开关未闭合状态时，电子加速器无法开机出束。同时，电子加速器的开关钥匙也是该加速器机房辐照室的防护门开关钥匙，并且辐照室防护门上的钥匙在防护门未关闭上锁的情况下，钥匙是无法取出的。当工作人员需要打开人员防护门进入辐照室时，该工作人员必须携带该电子加速器的开关钥匙。因此，电子加速器在开机出束时，由于没有开关钥匙，人员防护门无法打开；在人员防护门打开的情况下，由于开关钥匙在人员防护门上，此情况下电子加速器必然无法开机出束。

**(2) 门机联锁。**电子加速器辐照室防护门与电子加速器装置联锁，在防护门未闭合的状态下，电子加速器不能启动工作；在电子加速器高压启动后，一旦防护门被打开，联锁装置将立即切断电子加速器的高压，使电子加速器立即停止出束。

**(3) 束下装置联锁。**辐照室内的传输系统与电子加速器进行联锁，建立可靠的接口和协议文件。电子加速器未出束时，当辐照室内的传输系统出现故障时，将不能启动该辐照室的电子加速器进行出束作业；在电子加速器出束作业情况下，当辐照室内的传输系统出现故障（偏离正常运行或停止运行时），将立即切断加速器电源，使得该辐照室内的电子加速器立即停止出束。

**(4) 信号警示装置。**监督区边界围栏上、隔离门上、加速器防护门上等均设置醒目的“当心电离辐射警告标志”，辐照室防护门上方均设置工作状态指示灯及音响警示信号，工作状态指示灯与电子加速器高压连锁，当电子加速器启动时，指示灯将亮起并发出闪烁信号，音响警示装置启动伴有蜂鸣，以提醒周围人员勿靠近。

**(5) 巡检按钮。**本项目生产、销售、使用工业电子加速器，加速器调试场所为封闭工作环境，除调试岗位辐射工作人员外，其他人员无法进入；加速器出束时，调试人员在指定操作台位置操作。因此本项目加速器出束时，基本可以确保辐照室内无人员停留，不需额外设置巡检按钮在出束前进行巡检。

**(6) 急停装置。**在加速器屏蔽体上、操作台上均设计有紧急停机开关。所有紧急停机开关均有明显的标志，供应急停止使用。当出现紧急情况时，只需按下任一紧急停机开关，则电子加速器将立即切断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，

需将紧急停机开关复位后，电子加速器才能重新启动。

**(7) 防人误入装置。**通往加速器设备平台的楼梯口处设计有 1 道光电感应装置并与电子加速器联锁。加速器出束期间，当有人员误上设备平台，身体将红外线挡住后，电子加速器将立即自动切断电源、停止出束，同时发出异常情况下的警示声音。通过此措施，防止在电子加速器开机过程中，人员误入设备平台。

**(8) 剂量联锁。**在加速器屏蔽体外壳上拟设置固定式辐射监测系统探头，显示面板位于操作台上。辐射探测系统与辐照室防护门进行联锁，当显示面板上的辐射剂量率大于预设值时，将发出警告信号，同时辐照室防护门将无法打开。在加速器调试区边界围栏上安装固定式辐射剂量监测报警系统，当监测到工作场所辐射剂量超过预设值时，将发出警报。通过固定式辐射监测系统，辐射工作人员可以及时了解电子加速器的工作情况以及辐照室中、调试区内的辐射水平。

**(9) 通风联锁。**本项目拟在辐照室设置排风机与控制系统联锁，辐照室排风机正常工作后，电子加速器才能出束；在排风机未正常工作时，电子加速器将无法进行出束作业。在电子加速器正常运行过程中，当排风机发生故障时，电子加速器将立即停止出束作业。加速器的控制软件设计有正常停机后排风机延迟关闭系统，即：电子加速器正常停止出束后，排风机将继续工作至少 5min，在 5min 内，即使对排风机发出停止工作指令，排风机仍将有效工作 5min，且在达到此预设时间之前，防护门将不能被开启。若电子加速器非正常停止出束，则排风系统的运行不受限制。

**(10) 烟雾报警。**本项目拟在辐照室顶部设置烟雾报警装置，遇有火险时，电子加速器将立即停机并停止通风。

**(11) 实时摄像监视。**本项目拟在辐照室内设有摄像监视系统，监控图像实时显示在控制室的监控电视上，使控制室的工作人员可清楚地观察到辐照室内电子加速器的工作情况，如发生意外情况可及时处理。为了避免强辐射场对视频信号的干扰，建设单位拟在迷道口安装视频摄像头，通过反射镜来获取辐照室内图像。

本项目 18 种加速器均为自屏蔽、半自屏蔽设备，自屏蔽辐照装置不适用于 HJ 979-2018，因此本项目拟设置的辐射安全装置和保护措施参考（非执行）《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中的相关要求，在落实相关辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

本项目工业电子加速器辐射安全装置示例见表 10-2，辐射安全装置布设示意图见图 10-3 至图 10-13。

表 10-2 加速器辐射安全装置示例表

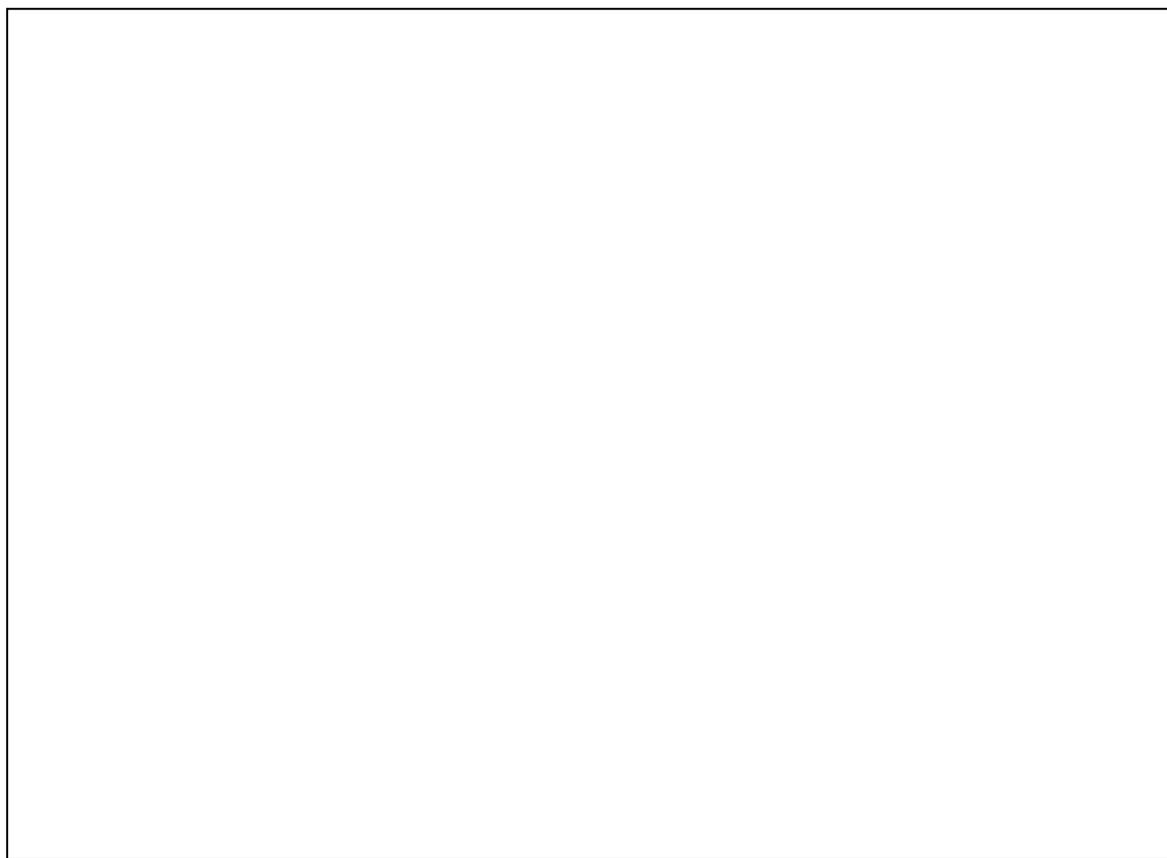


图 10-3 EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型工业电子加速器辐射安全装置示意图

表 10-3 EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型工业电子加速器辐射安全装置配置对照一览表

辐射安全措施			

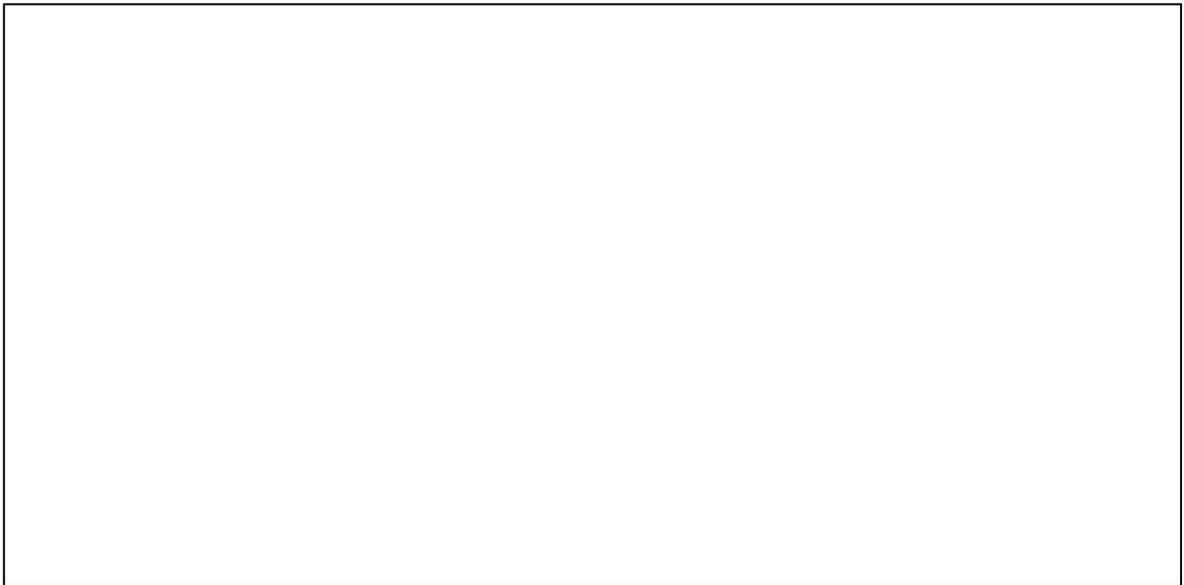



图 10-4 EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型工业电子加速器辐射安全装置示意图

表 10-4 EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型工业电子加速器辐射安全装置配置对照一览表

辐射安全措施			
信号警示装置			
束下装置联锁	/	/	

实时摄像监视	2	加速器调试区	/
--------	---	--------	---



图 10-5 DD<sub>LZ</sub>1.0/60 型工业电子加速器辐射安全装置示意图

表 10-5 DD<sub>LZ</sub>1.0/60 型工业电子加速器辐射安全装置配置对照一览表

辐射安全措施
钥匙控制
剂量联锁




图 10-6 DL150/10 型工业电子加速器辐射安全装置示意图

表 10-6 DL150/10 型工业电子加速器辐射安全装置配置一览表



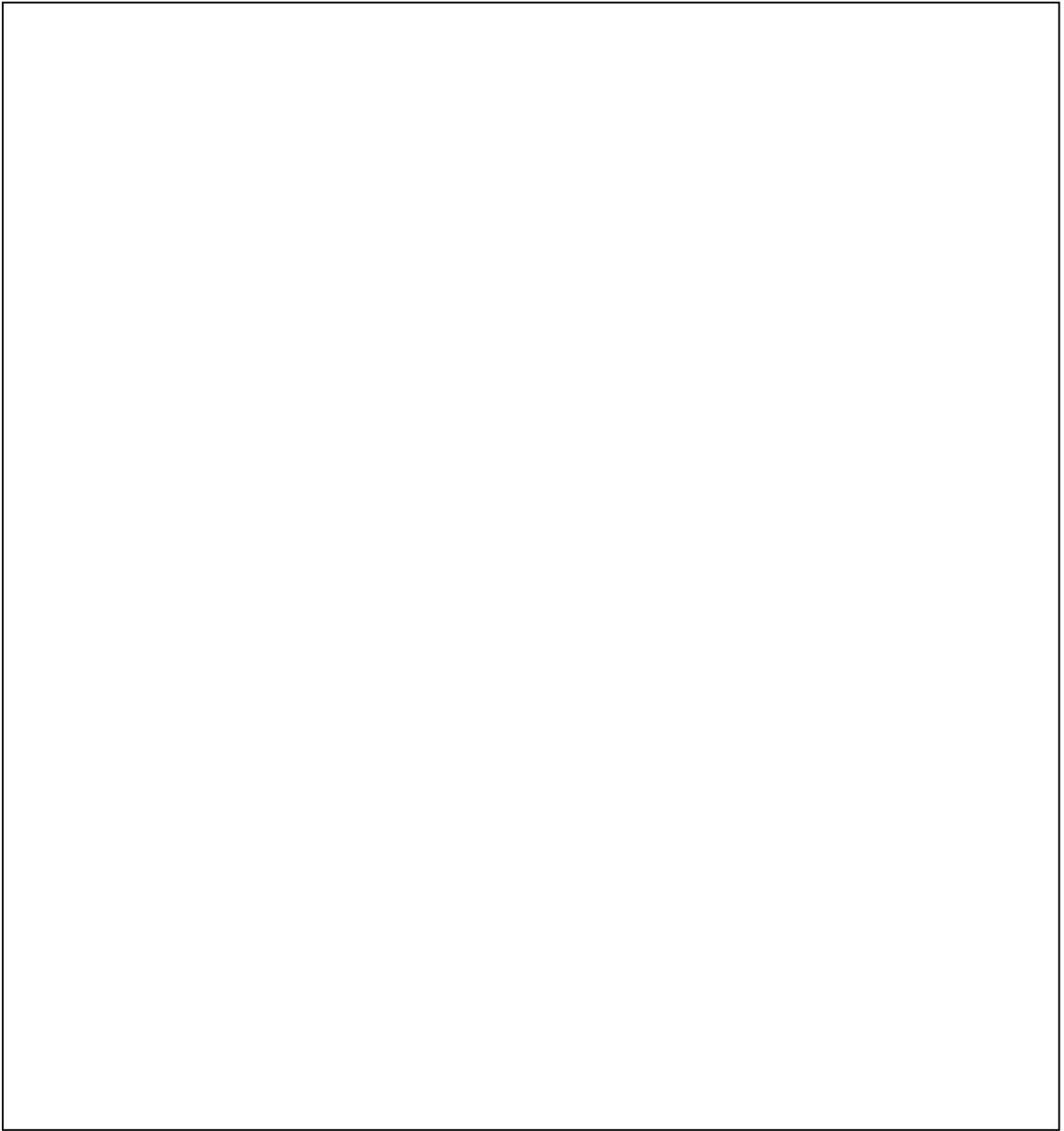


图 10-7 DL120/600 型工业电子加速器辐射安全装置示意图



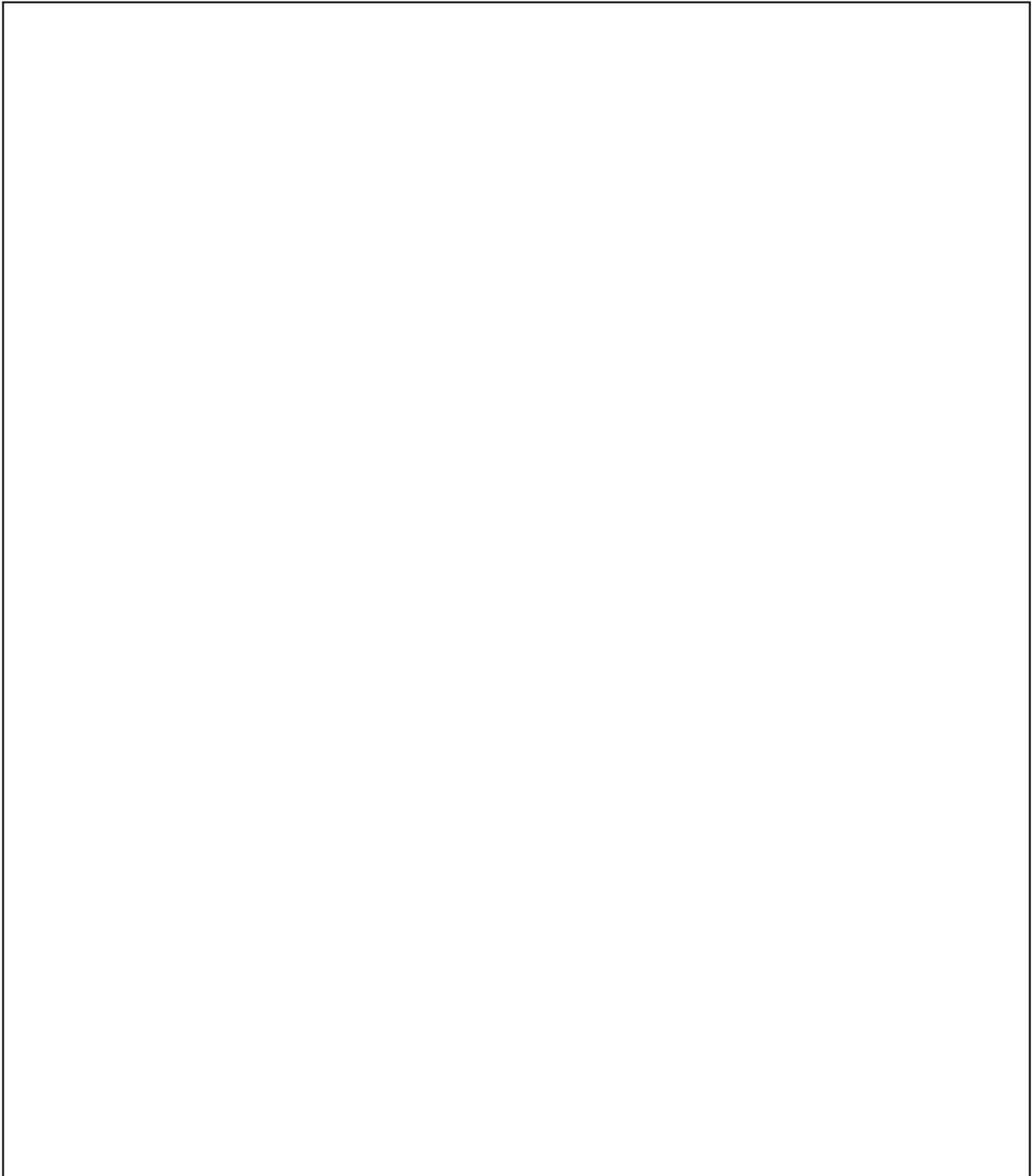


图 10-8 DD<sub>Lz</sub>0.8/60 型工业电子加速器辐射安全装置示意图

表 10-8 DD<sub>Lz</sub>0.8/60 型工业电子加速器辐射安全装置配置对照一览表

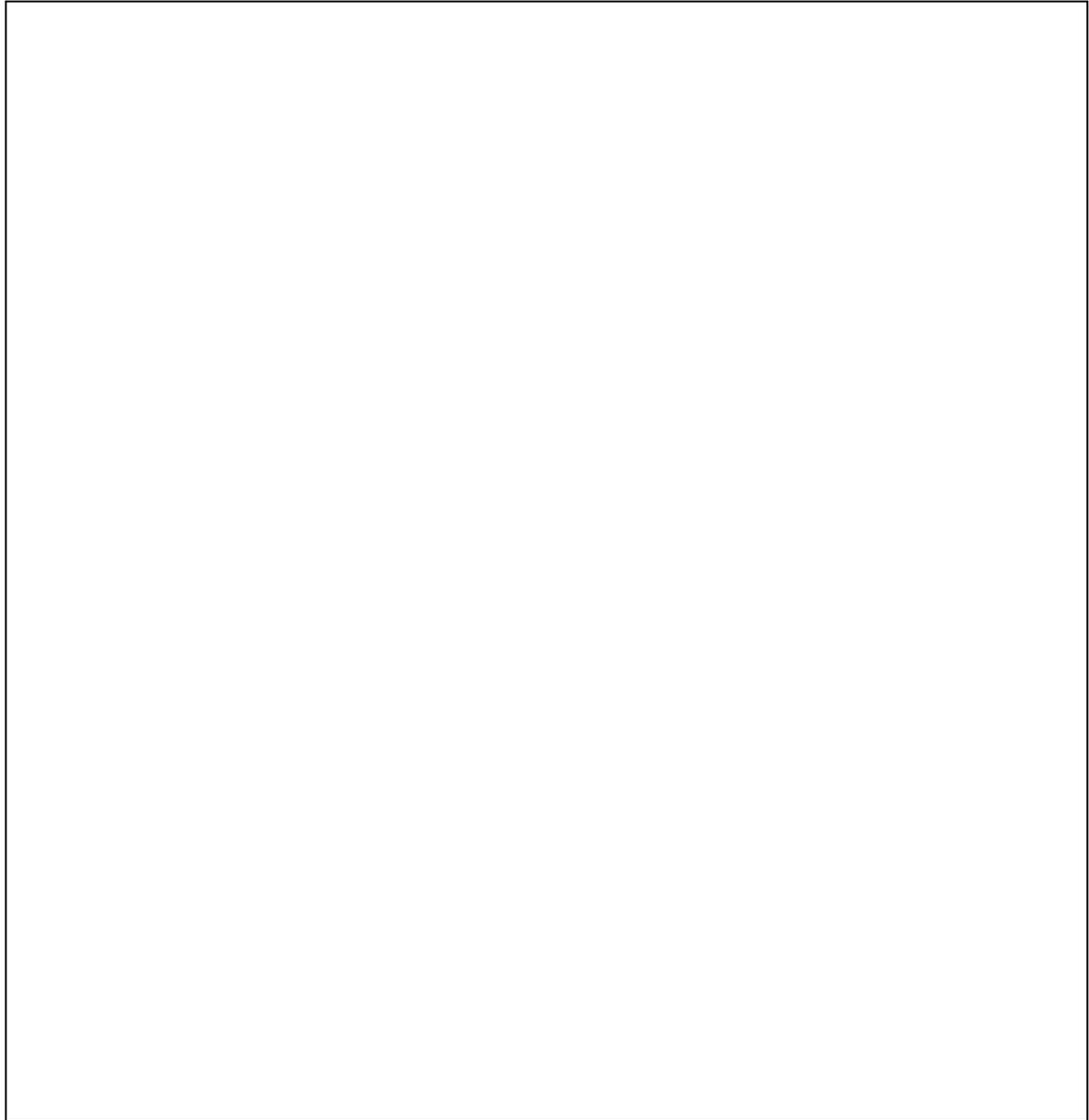



图 10-9 DD<sub>LZ</sub>1.0/80 型工业电子加速器辐射安全装置示意图

表 10-9 DD<sub>LZ</sub>1.0/80 型工业电子加速器辐射安全装置配置对照一览表

---

辐射安全措施

---

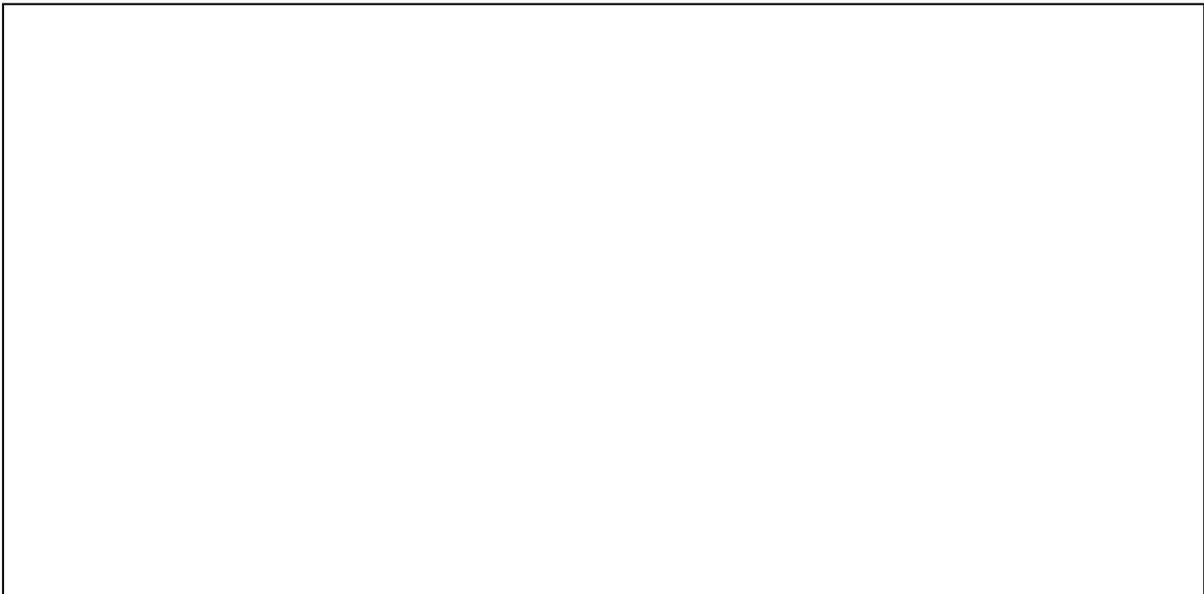



图 10-10 DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型工业电子加速器辐射安全装置示意图

表 10-10 DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型工业电子加速器辐射安全装置配置一览表





图 10-11 DD<sub>Lz</sub>2.5/40 型工业电子加速器辐射安全装置示意图

表 10-11 DD<sub>Lz</sub>2.5/40 型工业电子加速器辐射安全装置配置对照一览表



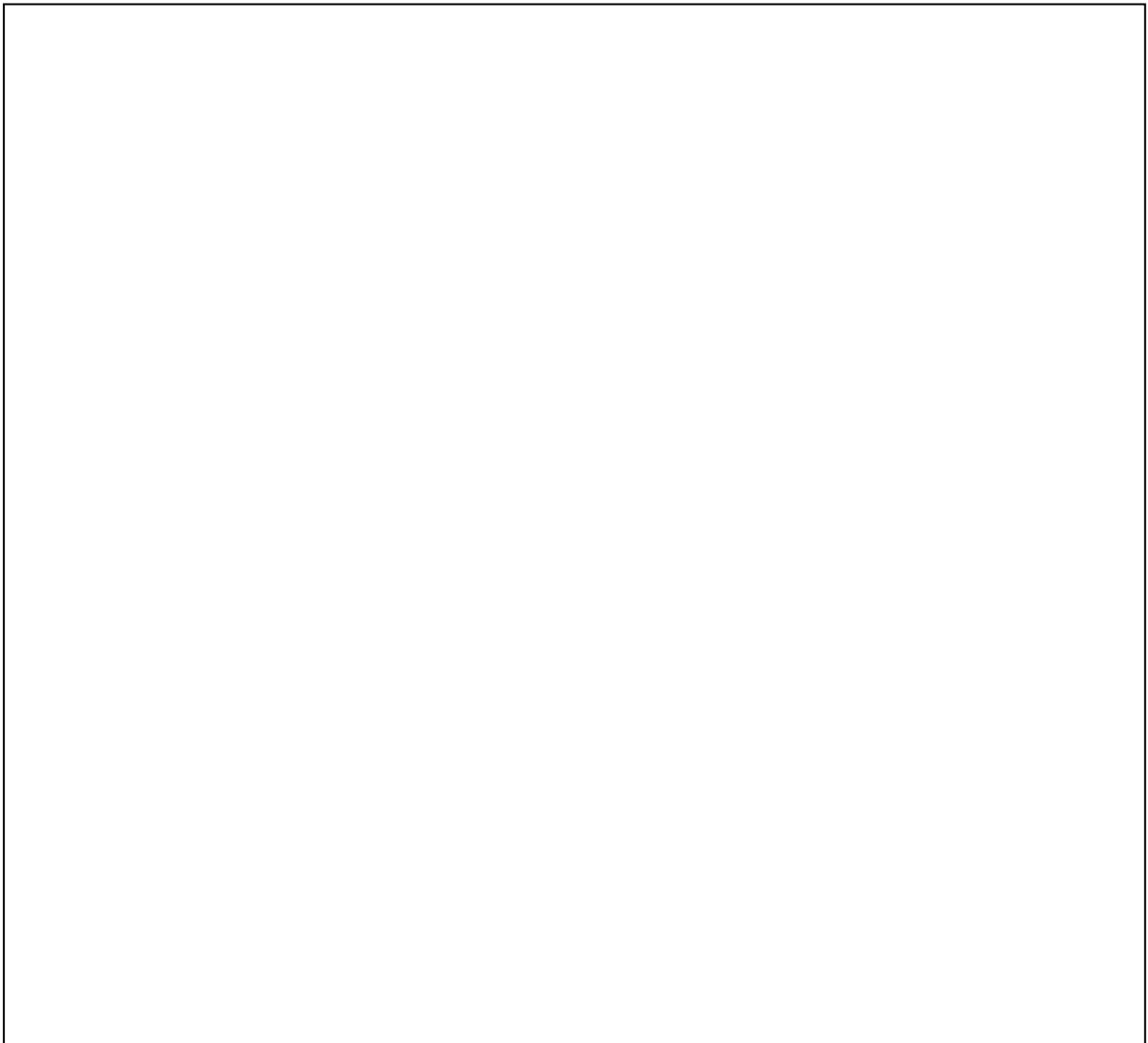


图 10-12 DD<sub>LH</sub> 型工业电子加速器辐射安全装置示意图

表 10-12 DD<sub>LH</sub> 型工业电子加速器辐射安全装置配置对照一览表

辐射安全措施	配置数量	安装位置	备注
--------	------	------	----









图 10-14 EP-DG<sub>Lz</sub>0.5/70 型工业电子加速器臭氧排风管道布设示意图

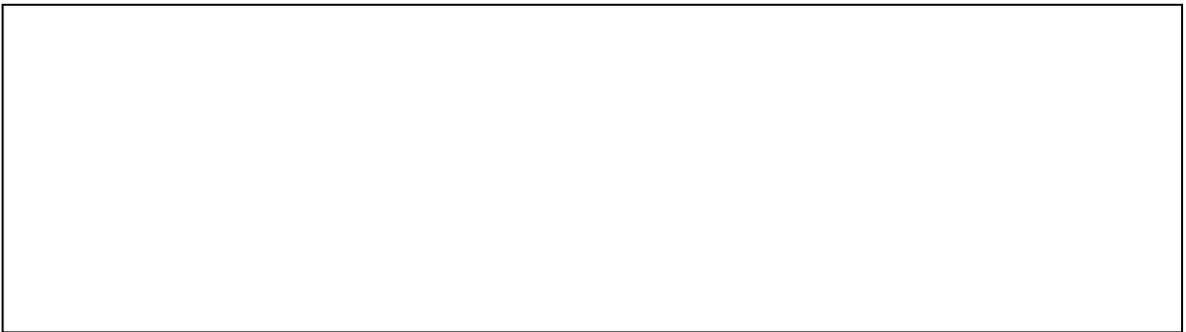


图 10-15 EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型工业电子加速器臭氧排风管道布设示意图

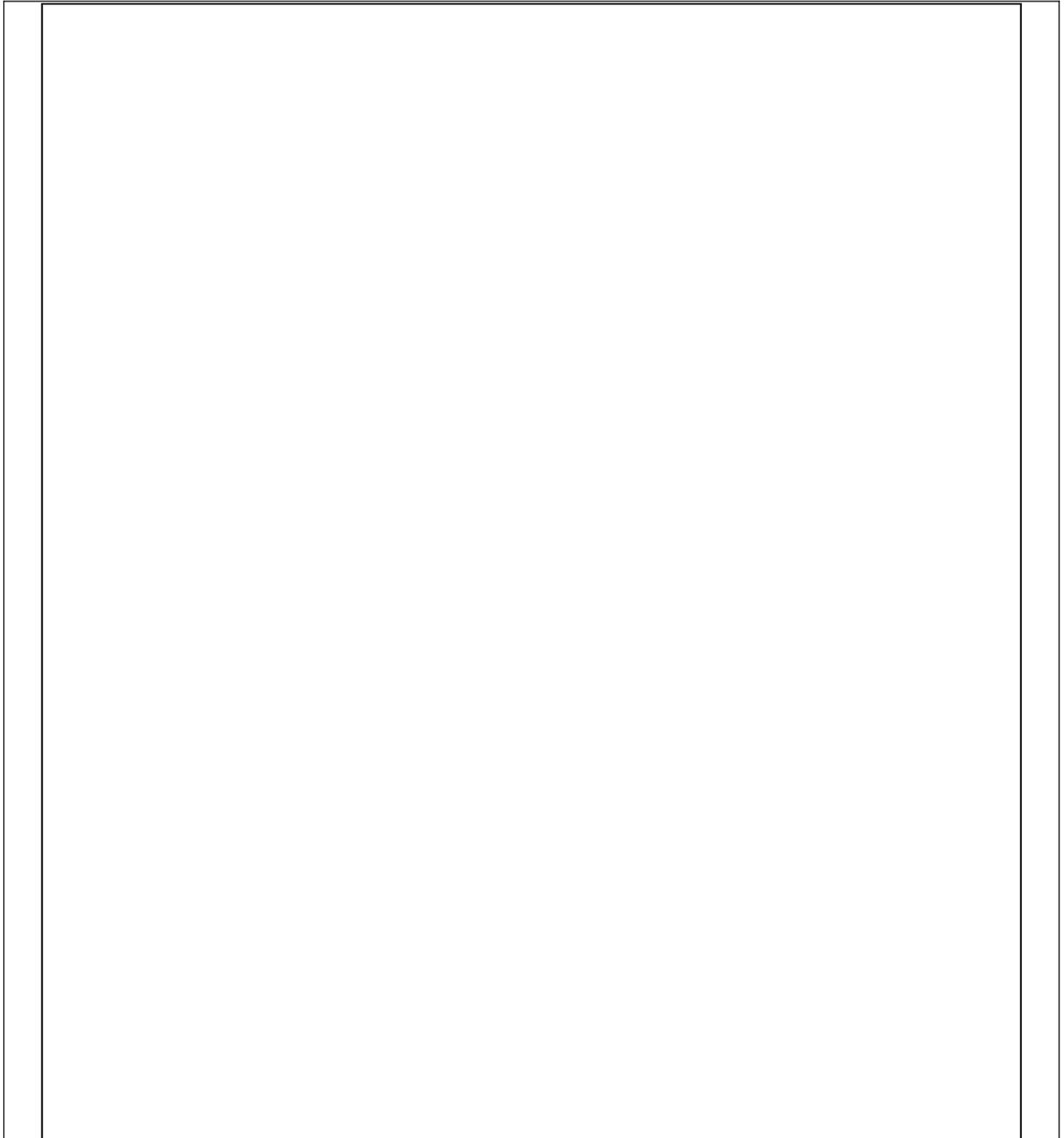


图 10-16 DD<sub>Lz</sub>0.8/60 型工业电子加速器臭氧排风管道布设示意图



图 10-17 DD<sub>Lz</sub>1.0/60 型工业电子加速器臭氧排风管道布设示意图

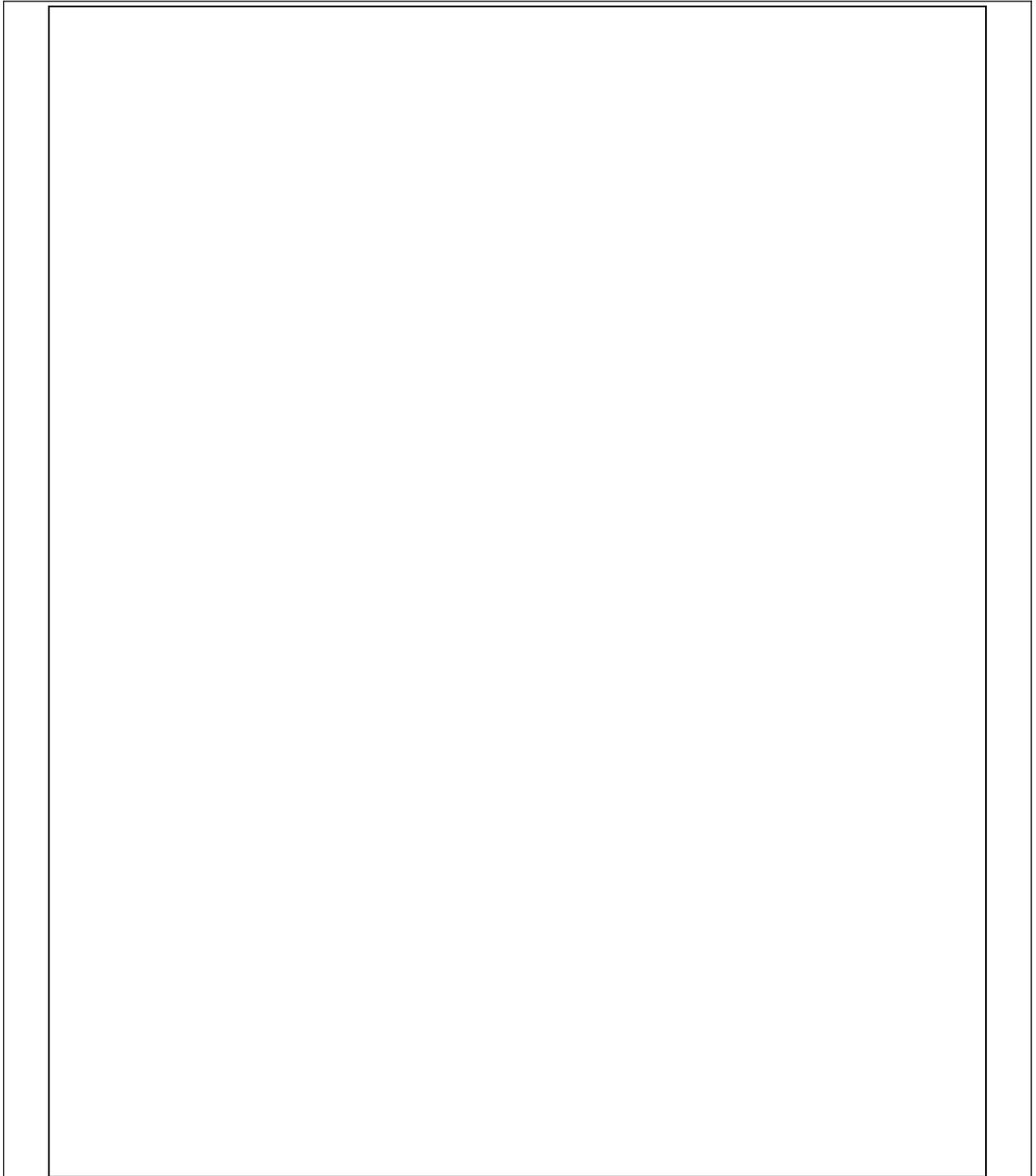


图 10-18 DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型工业电子加速器臭氧排风管道布设示意图

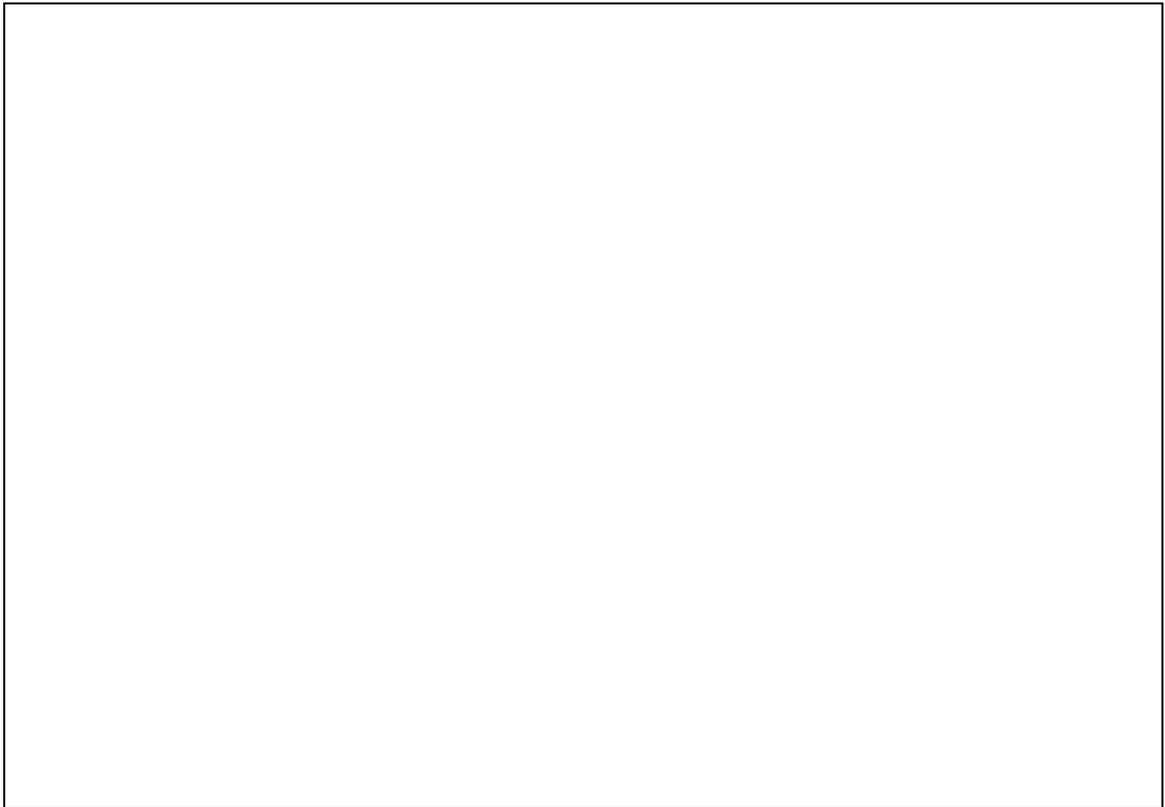


图 10-19 DD<sub>Lz</sub>2.5/40 型工业电子加速器臭氧排风管道布设示意图

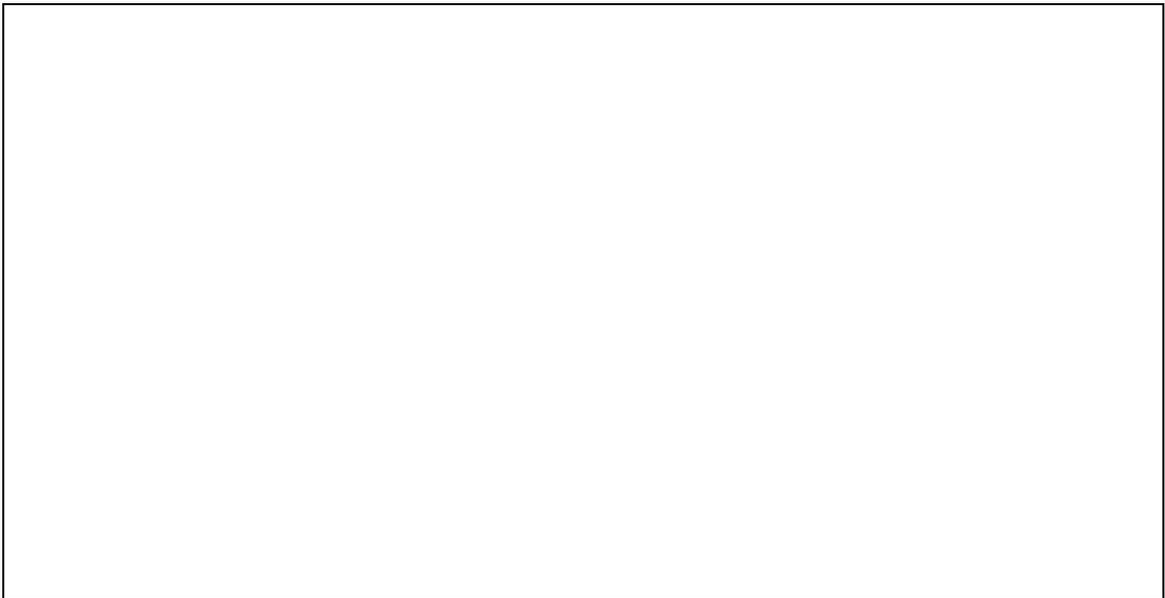


图 10-20 DD<sub>LH</sub> 型工业加速器调试屏蔽体排风管道布设示意图

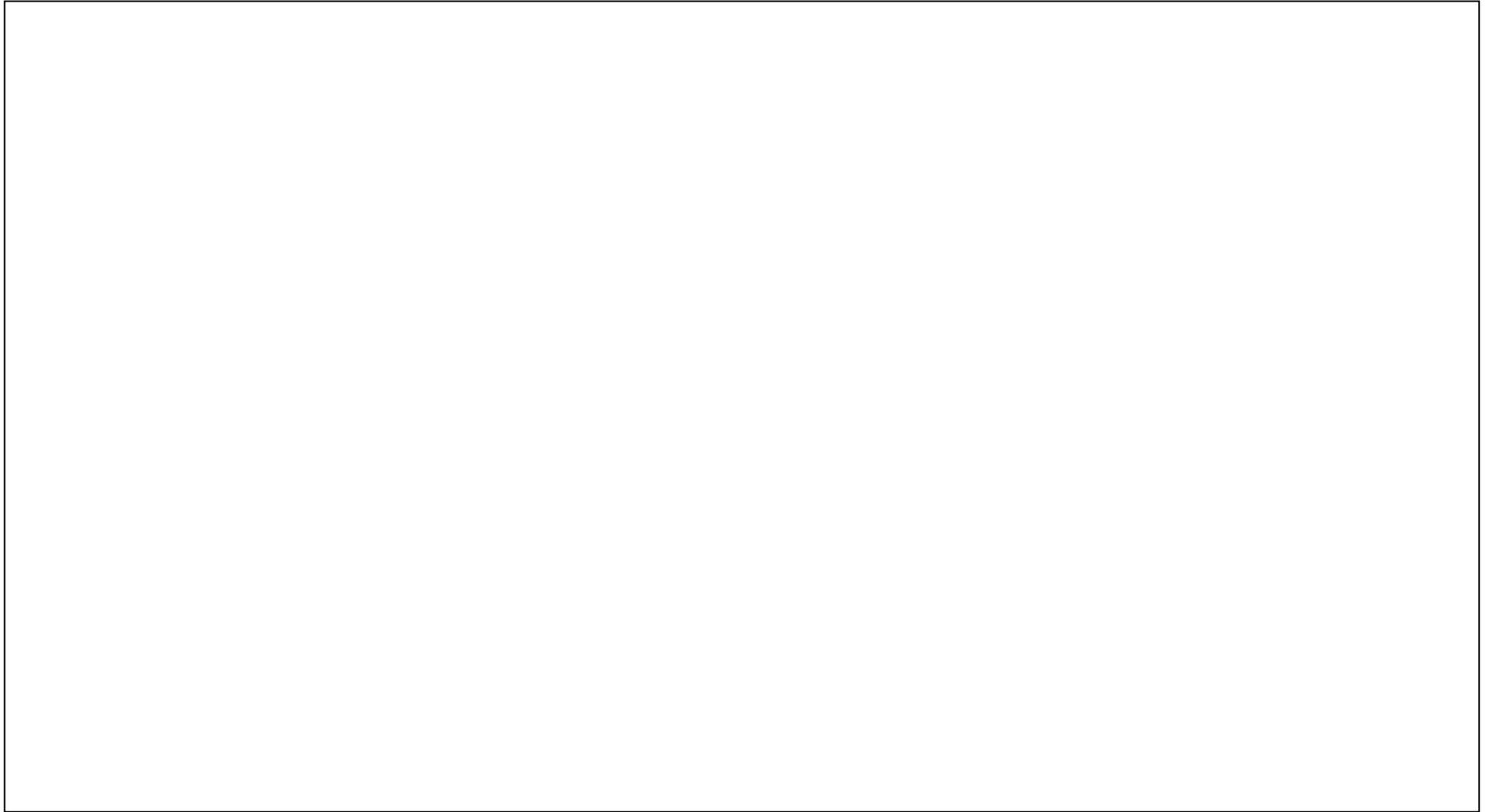


图 10-21 调试车间臭氧排风管道布设示意图

表 11 环境影响分析

### 建设阶段对环境的影响

本项目于调试车间新增 7 个加速器调试区，分别为 5-2 至 5-8 调试区，用于加速器组装、调试；于机加工车间二楼实验室购置 1 台 DBLad-200 型工业电子加速器，用于开展研发实验；于机加工车间二楼新增 1 个 3-1 调试区，用于加速器组装、调试。

本项目所在 5#厂房、3#厂房均为建设单位已有建筑，本项目涉及生产、销售、使用的工业电子加速器均为自屏蔽或半自屏蔽设备，除 DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型加速器辐照室屏蔽体采用混凝土外，其余屏蔽体均采用钢板、铅板、铁砂。屏蔽体所用钢板、铅板、铁砂、混凝土板以及监督区边界所用钢制围栏均委外加工，由供应商配送至公司后，在调试区进行拼接、组装，不涉及建设工程。

因此本项目基本不存在建设阶段环境影响。

### 运行阶段对环境的影响

#### 一、辐射环境影响分析

中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照电子加速器项目，加速器在出束调试和使用出束辐照时，电子束轰击靶、各结构材料和辐照产品都会产生韧致辐射（X 射线），X 射线是电子加速器运行过程中的主要污染因子。

本项目所用加速器为电子帘加速器及直线加速器，电子帘加速器由于其结构简单且能量低，电子加速行程短，除主束方向的狭缝外，其余方向均有自屏蔽防护，因此可不用考虑偏离主束方向的电子的影响；直线加速器结构相对较复杂，能量相对较高，电子加速行程较长，加速过程中产生偏离主束方向的电子几率较大，因此应当考虑其束流损失的影响。偏离束流主方向的电子束照射到加速器桶体后会产生韧致辐射（X 射线），这部分射线为直线加速器侧钢桶的屏蔽对象。

本项目生产、销售、使用电子加速器，加速器仅在整机调试时出束辐照，电子束出束方向为竖直向下和水平方向，调试期间辐照室内不放置辐照产品，辐照室内电子束可能轰击的物质有 2 种：

- ①混凝土地面
- ②电子扫描窗下方的不锈钢阻挡板

不同能量电子束轰击不同物料时，其韧致辐射（X 射线）发射率不同。对同一种靶材料，不同方向上韧致 X 射线的发射率也不相同。本项目电子束轰击物质不锈钢 Z

值（原子序数）最大，X 射线发射率最高，因此本报告保守选取不锈钢为轰击靶，来进行辐射防护评价。

本项目半自屏蔽结构加速器根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的要求进行辐射影响分析，自屏蔽结构加速器以 HJ 979-2018 为参考进行辐射影响分析。在本项目加速器屏蔽体外设定关注点，从保守角度出发，在加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定工业电子加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

## 1、辐射影响评价模式

### （1）直射 X 射线的屏蔽

直射 X 射线剂量率根据 HJ 979-2018 公式 A-1 可得：

$$H_M = \frac{D_{10} \cdot B_X \cdot T}{1 \times 10^{-6} \cdot d^2} \dots\dots\dots \text{公式 11-1}$$

式中： $H_M$ —参考点周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ）；

$B_X$ —X 射线屏蔽透射比；

$T$ —居留因子。当参考点位置为人员全居留时取 1，部分居留可取 1/4，偶然居留可取 1/16。

$d$ —X 射线源与参考点之间的距离（m）；

常数（ $1 \times 10^{-6}$ ）为单位转换系数。

$D_{10}$ —距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率（ $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ）；

$$D_{10} = 60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \dots\dots\dots \text{公式 11-2}$$

式中： $Q$ —X 射线发射率（ $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ）；

$I$ —电子束流强度（mA）；

$f_e$ —X 射线发射率修正系数。

在已知加速器机房屏蔽设计情况下， $B_X$  根据 HJ 979-2018 中公式 A-3、公式 A-4 可得：

$$B_X = 10^{-n} \dots\dots\dots \text{公式 11-3}$$

$$n = \frac{S - T_1 + T_e}{T_e} \dots\dots\dots \text{公式 11-4}$$

式中： $S$ —屏蔽体厚度（cm）；

$T_1$ —在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层（cm）；

$T_e$ —平衡十分之一值层，该值近似于常数（cm）；

$n$ —为十分之一值层的个数。

### (2) 侧向 X 射线的屏蔽

对于电子加速器辐照装置，很多情况下需要考虑侧向（相对电子束 90° 方向）X 射线的屏蔽，此时应将等效入射电子能量作为侧向入射电子的能量，然后按等效入射电子能量的特性参数，根据直射 X 射线屏蔽的方法进行计算。

### (3) 迷道外入口（无防护门情况下）的剂量率估算

防护 X 射线的迷道，按照公式 11-5 可保守地估算迷道外入口的剂量率：

$$H_{1,rj} = \frac{D_{10}\alpha_1 A_1 (\alpha_2 A_2)^{j-1}}{(d_1 d_{r1} d_{r2} \dots d_{rj})^2} \dots\dots\dots \text{公式 11-5}$$

式中： $H_{1,rj}$ —迷道出口处（无防护门情况下）的空气吸收剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\alpha_1$ —入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数，参考 HJ 979-2018 取 0.005；

$\alpha_2$ —从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数（假设对以后所有散射过程的相同的），参考 HJ 979-2018 取 0.02；

$A_1$ —X 射线入射到第一散射物质的散射面积， $\text{m}^2$ ；

$A_2$ —迷道的截面积， $\text{m}^2$ ；

$d_1$ —X 射线源与第一散射物质的距离， $\text{m}$ ；

$d_{r1}, d_{r2} \dots d_{rj}$ —沿着迷道长轴的中心线距离；

$j$ —第  $j$  个散射过程。

## 2、辐射影响计算分析

### 2.1 EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型工业电子加速器

本项目生产、销售、使用的 EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型工业电子加速器为自屏蔽式加速器，属于《 $\gamma$ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）中的 I 类电子束辐照装置，即“配有联锁装置的整体屏蔽装置，运行期间人员实际上不可能接近这种装置的辐射源部件”。

#### 2.1.1 计算参数选取

参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）选取本次预测计算参数如表 11-1 所列。

表11-1 EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70型加速器屏蔽计算参数表

参 数	数 据
入射电子能量	0.5MeV

侧向屏蔽能量取相应等效入射电子能量		0.4MeV <sup>①</sup>
电子束流强度		
X 射线发射率常数 Q (Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	前向 0°	
修正因子 fe		
D <sub>10</sub> (Gy/h)		
铅 T <sub>1</sub> , T <sub>e</sub> (cm)		
铁 T <sub>1</sub> , T <sub>e</sub> (cm)		

注：①以 HJ 979-2018 中表 A.4 数据作“入射电子能量-等效入射电子能量”拟合曲线（二级多项式拟合，R<sup>2</sup>=1），由拟合曲线查得 0.5MeV 入射电子能量的等效入射电子能量为 0.4MeV；

②以 HJ 979-2018 表 A.2、表 A.3 中数据使用外推法获取。

### 2.1.2 加速器辐照室屏蔽体屏蔽效果计算

在加速器屏蔽体表面 5cm 处取参考点如图 11-1 所示，对加速器屏蔽体外辐射剂量率进行预测计算，结果见表 11-2。

表 11-2 EP-DGLZ0.5/70 型工业电子加速器屏蔽计算一览表

参考点	位置	D <sub>10</sub> (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 S (cm) *	B <sub>x</sub>	d (m) *	T	剂量率 H <sub>M</sub> (μSv/h)
A	辐照室右面	147		2.54E-09	0.95	1	0.26
B	辐照室前面	147		0.89	1	0.29	
C	辐照室左面	147		0.745	1	0.38	
D	辐照室后面	147		0.87	1	0.30	
E	辐照室底面	23.52			0.51	1	1.70
F	辐照室顶面	147			1.74	1	0.79

注：1、\*屏蔽厚度 S 与距离 d 均直接由 CAD 图纸上读取。

2、保守计算考虑将居留因子全部取 1；

3、加速器正常运行时底部人员不可达。

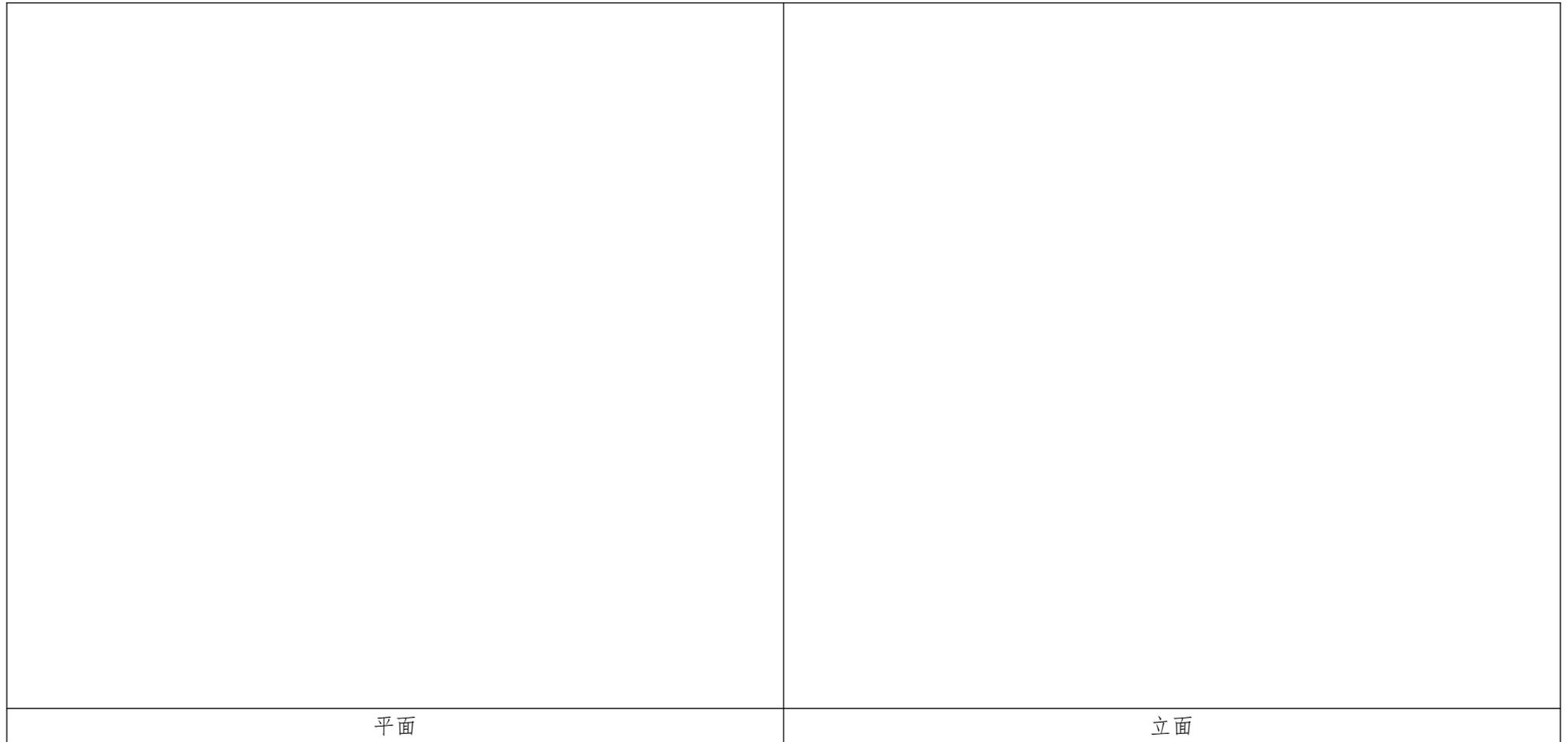


图 11-1 EP-DGLZ0.5/70 型工业电子加速器屏蔽计算参考点位示意图

### 2.1.3 束流加速系统钢桶屏蔽分析

对于加速器主体束流加速系统内的束流损失，根据建设单位提供资料，当加速管内真空度良好的时候，可以忽略不计，即使在不利工况下，束流损失仅为 1%，束流损失能量为 10%，其产生的 X 射线能量较低。对于电子主束为 0.5MeV 的加速器，束流损失能量约为 0.05MeV，EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型工业电子加速器侧钢桶使用铅板、钢板作为屏蔽体（详见表 10-1），防护最薄弱处为 40mm 钢板，其对能量为 0.05MeV 的入射电子所致 X 射线的衰减因子可达  $10^{-10}$  量级，因此束流损失受到加速器侧钢桶的进一步屏蔽后对钢桶外的辐射影响很小。

### 2.1.4 天空反散射辐射影响分析

电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射，返回至加速器周围的地面附近，形成附加的辐射场，这种现象称为天空反散射。本项目加速器从辐照室 X 射线源直射到辐照室顶面（参考点 F）的剂量不超过 0.79 $\mu$ Sv/h，天空反散射的影响远小于 X 射线源直射到辐照室顶部的影响，故本项目天空反散射所致辐射剂量率将远小于 0.79 $\mu$ Sv/h。

本项目拟建址周边无高层建筑，故无需考虑 X 射线通过辐照室顶的侧向散射的影响。

### 2.1.5 辐照室防护门、管道屏蔽罩辐射影响分析

如图 11-2 所示，EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型工业电子加速器以辐照室前面整侧屏蔽体作为防护门，防护门下方安装导轨，以平移的方式开启或关闭防护门。防护门与辐照室左右两面搭接处设计为阶梯式搭接面，并在接缝外侧设置 40mm 钢盖板作为补偿防护措施。防护门与加速器设计有联锁机构，当防护门未闭合到位时，加速器无法启动；加速器运行过程中若检测到防护门松动或打开，加速器立即自动停机。同时参考 B 点处的辐射剂量率预测计算结果可知，该防护门的设计能够满足辐射防护的要求。

EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型工业电子加速器辐照室穿墙管道均设计为“S”形管道，管道外侧使用钢板+铅板屏蔽罩防护，任何情况下辐照室内的电子线或 X 射线均无法直接从管道口直射出屏蔽体，而是在管道和屏蔽罩内多次散射。管道口的设计均避开主射线方向，射线需经多次散射后才能到达管道入口处。同时参考 A 点、C 点处的辐射剂量率预测计算结果可知，该型号加速器辐照室管道口处辐射剂量在控制范围内，管道的设计能够满足辐射防护要求。

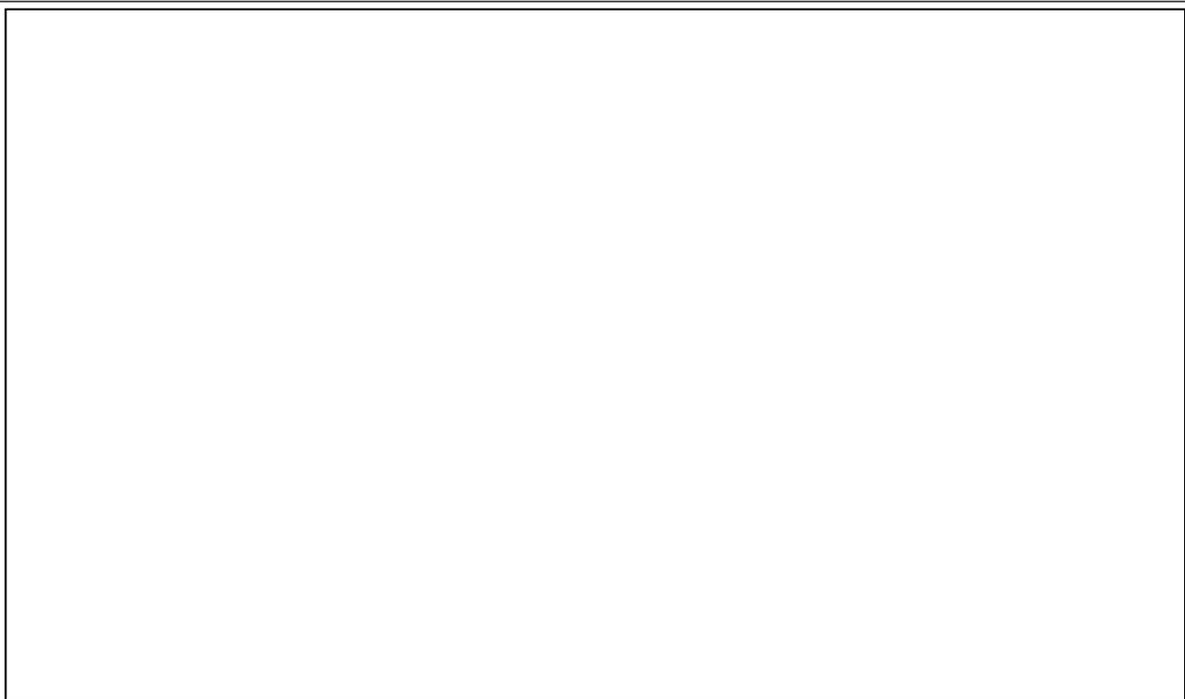


图 11-2 EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型工业电子加速器防护门及管道屏蔽罩设计示意图

综合以上计算、分析可知，本项目 EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型工业电子加速器屏蔽设计能满足参考标准《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h”的要求。

## 2.2 EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型工业电子加速器

本项目拟生产、销售、使用的 EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型工业电子加速器为自屏蔽式加速器，属于《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）中的 I 类电子束辐照装置，即“配有联锁装置的整体屏蔽装置，运行期间人员实际上不可能接近这种装置的辐射源部件”。

### 2.2.1 计算参数选取

参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）选取本次预测计算参数如表 11-3 所列。

表 11-3 EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型加速器屏蔽计算参数表

参 数	数 据
入射电子能量	0.5MeV
侧向屏蔽能量取相应等效入射电子能量	0.4MeV <sup>①</sup>
电子束流强度	70mA

X 射线发射率常数 Q (Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	前向 0°	0.008
	侧向 90°	0.07
修正因子 <i>f<sub>e</sub></i>		
<i>D<sub>10</sub></i> (Gy/h)		
铅 <i>T<sub>l</sub></i> , <i>T<sub>e</sub></i> (cm)		
铁 <i>T<sub>l</sub></i> , <i>T<sub>e</sub></i> (cm)		

注：①以 HJ 979-2018 中表 A.4 数据作“入射电子能量-等效入射电子能量”拟合曲线（二级多项式拟合，R<sup>2</sup>=1），由拟合曲线查得 0.5MeV 入射电子能量的等效入射电子能量为 0.4MeV；

②以 HJ 979-2018 表 A.2、表 A.3 中数据使用外推法获取。

### 2.2.2 加速器屏蔽体屏蔽效果计算

在加速器辐照室屏蔽体周围取参考点如图 11-3 所示，对加速器机房外辐射剂量率进行预测计算，结果见表 11-4。

表 11-4 EP-DGwz0.5/70 型工业电子加速器屏蔽计算一览表

参考点	位置	<i>D<sub>10</sub></i> (Gy/h)		<i>d</i> (m) *	T	剂量率 <i>H<sub>M</sub></i> (μSv/h)
A	加速器前面	147		0.81	1	2.08E-04
B	加速器左面	147		3.16	1	1.24E-03
C	加速器后面	147		0.81	1	2.08E-04
D	加速器右面	23.52		0.61	1	2.94E-02
E	加速器底面	147		0.95	1	2.42E-05
F	加速器顶面	147		0.73	1	2.56E-04

注：1、\*屏蔽厚度 *S* 与距离 *d* 均直接由 CAD 图纸上读取；

2、保守计算考虑将居留因子全部取 1。

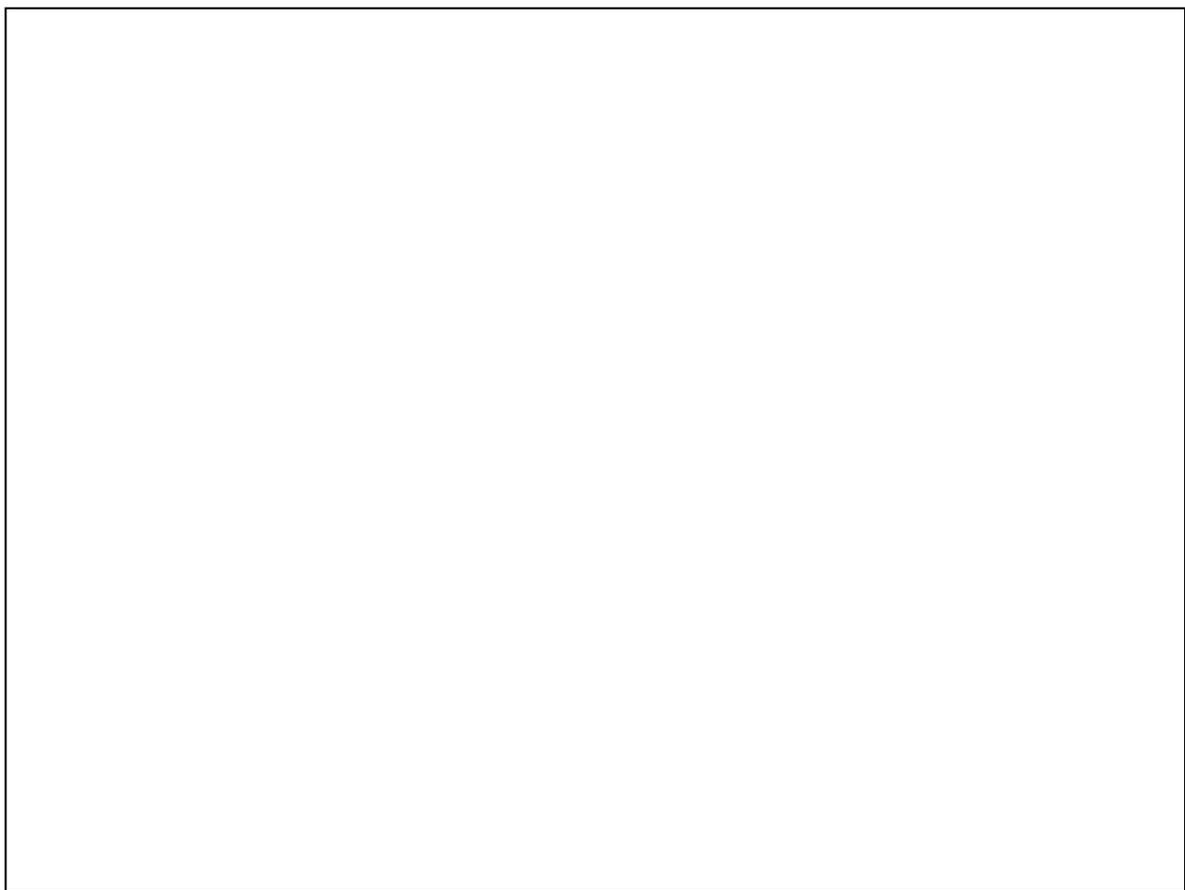


图 11-3 EP-DGwz0.5/70 型工业电子加速器屏蔽计算参考点位示意图

### 2.2.3 束流加速系统钢桶屏蔽分析

对于加速器主体束流加速系统内的束流损失，根据建设单位提供资料，当加速管内真空度良好的时候，可以忽略不计，即使在不利工况下，束流损失仅为 1%，束流损失能量为 10%，其产生的 X 射线能量较低。对于电子主束为 0.5MeV 的加速器，束流损失能量约为 0.05MeV，EP-DGwz0.5/70 型工业电子加速器侧钢桶使用铅板、钢板作为屏蔽体（详见表 10-1），防护最薄弱处为 15mm 铁板+15mm 铅板+30mm 铁板，其对能量为 0.05MeV 的入射电子所致 X 射线的衰减因子可达  $10^{-10}$  量级，因此束流损失受到加速器侧钢桶的进一步屏蔽后对钢桶外的辐射影响很小。

### 2.2.4 天空反散射辐射影响分析

电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射，返回至加速器周围的地面附近，形成附加的辐射场，这种现象称为天空反散射。本项目加速器从辐照室 X 射线源直射到加速器顶面（参考点 C）的剂量不超过  $0.01\mu\text{Sv/h}$ ，天空反散射的影响远小于 X 射线源直射到辐照室顶部的影响，故本项目天空反散射所致辐射剂量率将远小于  $0.01\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目拟建址周边无高层建筑，故无需考虑 X 射线通过辐照室顶的侧向散射的影

响。

### 2.2.5 辐照室管道屏蔽罩辐射影响分析

EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型工业电子加速器主要应用于污水处理，辐照室污水进出管道设计为倒置“U”形管道，管道外侧使用铁板屏蔽罩防护，任何情况下辐照室内的电子线或 X 射线均无法直接从管道口直射出屏蔽体，而是在管道和屏蔽罩内多次散射。管道口的设计均避开主射线方向，射线需经多次散射后才能到达管道口处。同时参考 D 点、F 点处的辐射剂量率预测计算结果可知，该型号加速器辐照室管道口处辐射剂量在控制范围内，管道的设计能够满足辐射防护要求。

综合以上计算、分析可知，本项目 EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型工业电子加速器的屏蔽设计能满足参考标准《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h”的要求。

### 2.3 DD<sub>Lz</sub>1.0/60 型工业电子加速器

本项目拟生产、销售、使用的 DD<sub>Lz</sub>1.0/60 型工业电子加速器为自屏蔽式加速器，属于《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）中的 I 类电子束辐照装置，即“配有联锁装置的整体屏蔽装置，运行期间人员实际上不可能接近这种装置的辐射源部件”。

#### 2.3.1 计算参数选取

参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）选取本次预测计算参数如表 11-5 所列。

表11-5 DD<sub>Lz</sub>1.0/60型加速器屏蔽计算参数表

参 数	辐照室
入射电子能量	
侧向等效入射电子能量	
电子束流强度	
侧向 90° X 射线发射率常数 Q (Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	
修正因子 <i>f<sub>e</sub></i>	
<i>D</i> <sub>10</sub> (Gy/h)	
铁 <i>T<sub>1</sub></i> , <i>T<sub>e</sub></i> (cm)	

### 2.3.2 加速器屏蔽体屏蔽效果计算

在加速器屏蔽体周围取参考点如图 11-4 所示，对加速器机房外辐射剂量率进行预测计算，结果见表 11-6。

表 11-6 DD<sub>LZ</sub>1.0/60 型工业电子加速器屏蔽计算一览表

参考点	位置	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 $S$ (cm) ①	$B_x$	$d$ (m) ①	$T$ ②	剂量率 $H_M$ ( $\mu$ Sv/h)
A	辐照室右面	720			1.25	1	0.233
B	辐照室左面	720			1.25	1	0.233
C	辐照室前面	720			1.32	1	0.209
D	辐照室后面	720			1.31	1	0.212
E	扫面窗室右面	720			1.71	1	0.007
F	扫面窗室左面	720			1.74	1	0.007
G	扫面窗室前面	720			1.81	1	0.006
H	扫面窗室后面	720			1.86	1	0.006
I	设备平台	720			2.20	1	4.17E-03

注：①屏蔽厚度  $S$  与距离  $d$  均直接由 CAD 图纸上读取；

②保守计算考虑将居留因子全部取 1；

③设备平台受到辐照室和扫描窗室 X 射线的叠加影响。

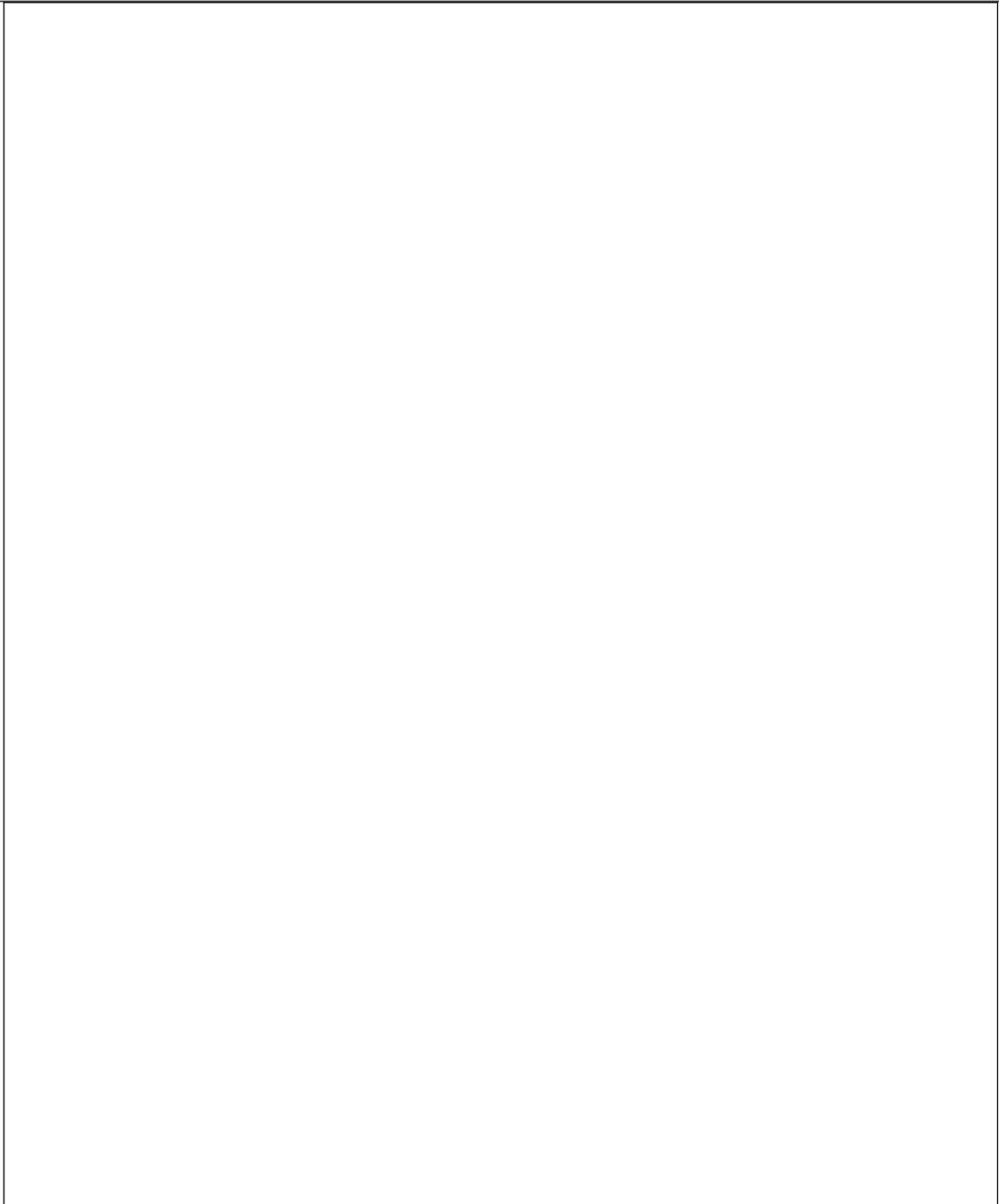


图 11-4 DD<sub>LZ</sub>1.0/60 型工业电子加速器屏蔽计算参考点位示意图

### 2.3.3 束流加速系统钢桶屏蔽分析

对于加速器主体束流加速系统内的束流损失，根据建设单位提供资料，当加速管内真空度良好的时候，可以忽略不计，即使在不利工况下，束流损失仅为 1%，束流损失能量为 10%，其产生的 X 射线能量较低。对于电子主束为 1MeV 的加速器，束流损失能量约为 0.1MeV，DD<sub>LZ</sub>1.0/60 型工业电子加速器束流加速系统钢桶使用铅板、钢板作为屏蔽体(详见表 10-1)，防护最薄弱处为钢桶侧盖的 65mm 钢板，其对能量为 0.1MeV 的入射电子所致 X 射线的衰减因子可达  $10^{-10}$  量级，因此束流损失受到加速器侧钢桶的

进一步屏蔽后对钢桶外的辐射影响很小。

#### 2.3.4 天空反散射辐射影响分析

电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射，返回至加速器周围的地面附近，形成附加的辐射场，这种现象称为天空反散射。本项目加速器从辐照室、扫描窗室 X 射线源直射到加速器设备平台（参考点 I）的剂量不超过  $1.07\mu\text{Sv/h}$ ，天空反散射的影响远小于 X 射线源直射到辐照室顶部的影响，故本项目天空反散射所致辐射剂量率将远小于  $1.07\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目拟建址周边无高层建筑，故无需考虑 X 射线通过辐照室顶的侧向散射的影响。

#### 2.3.5 辐照室穿墙线管、污水管道、排风管道辐射影响分析

DD<sub>Lz</sub>1.0/60 型工业电子加速器主要应用于污水处理、辐照线缆，辐照室污水进出管道、臭氧排风管道均设计为埋地“U”形管道，线缆穿墙孔洞设计为斜向孔洞或避开射线直射方向。线缆孔洞外侧设置钢板+铅板屏蔽罩，屏蔽罩内使用滑轮改变线缆行进方向，以此增加通过线缆孔洞泄露的射线在屏蔽罩内的散射次数。DD<sub>Lz</sub>1.0/60 型工业电子加速器穿墙线管、污水管道及排风管道的的设计，使得在任何情况下辐照室内的电子线或 X 射线均无法直接从管道口直射出屏蔽体，而是在管道和屏蔽罩内多次散射。管道口的设计均避开主射线方向，射线需经多次散射后才能到达管道口处。同时参考 A 点、B 点处的辐射剂量率预测计算结果可知，该型号加速器辐照室管道口处辐射剂量在控制范围内，管道的设计能够满足辐射防护要求。

综合以上计算、分析可知，本项目 DD<sub>Lz</sub>1.0/60 型工业电子加速器的屏蔽设计能满足参考标准《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

#### 2.4 DD<sub>Lz</sub>0.8/60 型工业电子加速器

本项目拟生产、销售、使用的 DD<sub>Lz</sub>0.8/60 型工业电子加速器为自屏蔽式加速器，属于《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）中的 I 类电子束辐照装置，即“配有联锁装置的整体屏蔽装置，运行期间人员实际上不可能接近这种装置的辐射源部件”。

##### 2.4.1 计算参数选取

参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）选取本次预测计算

参数如表 11-7 所列。

表11-7 DD<sub>Lz</sub>0.8/60型加速器屏蔽计算参数表

参 数	数 据
入射电子能量	
侧向等效入射电子能量	
电子束流强度	
侧向 90° X 射线发射率常数 Q (Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	
修正因子 <i>fe</i>	
<i>D</i> <sub>10</sub> (Gy/h)	
铁 <i>T</i> <sub>1</sub> , <i>T</i> <sub>e</sub> (cm)	

注：①以 HJ 979-2018 中表 A.4 数据作“入射电子能量-等效入射电子能量”拟合曲线（二级多项式拟合，R<sup>2</sup>=1），由拟合曲线查得 0.8MeV 入射电子能量的等效入射电子能量为 0.6MeV；

②按等效入射电子能量 0.6MeV 以 HJ 979-2018 中表 A.2、表 A.3 数据以内插法获取。

#### 2.4.2 加速器屏蔽体屏蔽效果计算

在加速器屏蔽体周围取参考点如图 11-5 所示，对加速器机房外辐射剂量率进行预测计算，结果见表 11-8。

表 11-8 DD<sub>Lz</sub>0.8/60 型工业电子加速器屏蔽计算一览表

参考点	位置	<i>D</i> <sub>10</sub> (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 <i>S</i> (cm) ①	<i>d</i> (m) ②	T ③	剂量率 <i>H</i> <sub>M</sub> (μSv/h)
A	辐照室右面	468		1.35	1	0.045
B	辐照室左面	468		1.35	1	0.045
C	辐照室前面	468		1.28	1	0.050
D	辐照室后面	468		1.28	1	0.050
E	辐照室顶面	468		2.11	1	0.827

注：①DD<sub>Lz</sub>0.8/60 型工业电子加速器采用钢板+铁砂的方案作为屏蔽体，铁砂使用等密度换算为铁厚度进行计算；

②距离 *d* 均直接由 CAD 图纸上读取；

③保守计算考虑将居留因子全部取 1。



图 11-5 DD<sub>LZ</sub>0.8/60 型工业电子加速器屏蔽计算参考点位示意图

### 2.4.3 束流加速系统钢桶屏蔽分析

对于加速器主体束流加速系统内的束流损失，根据建设单位提供资料，当加速管内真空度良好的时候，可以忽略不计，即使在不利工况下，束流损失仅为 1%，束流损失能量为 10%，其产生的 X 射线能量较低。对于电子主束为 0.8MeV 的加速器，束流损失能量约为 0.08MeV，DD<sub>LZ</sub>0.8/60 型工业电子加速器束流加速系统钢桶使用铅板、钢板作为屏蔽体（详见表 10-1），防护最薄弱处为钢桶侧盖的 65mm 钢板，其对能量

为 0.08MeV 的入射电子所致 X 射线的衰减因子可达  $10^{-10}$  量级,因此束流损失受到加速器侧钢桶的进一步屏蔽后对钢桶外的辐射影响很小。

#### 2.4.4 天空反散射辐射影响分析

电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏,再经过天空中大气的反散射,返回至加速器周围的地面附近,形成附加的辐射场,这种现象称为天空反散射。本项目加速器从辐照室 X 射线源直射到加速器设备平台(参考点 E)的剂量不超过  $0.827\mu\text{Sv/h}$ ,天空反散射的影响远小于 X 射线源直射到辐照室顶部的影响,故本项目天空反散射所致辐射剂量率将远小于  $0.827\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目拟建址周边无高层建筑,故无需考虑 X 射线通过辐照室顶的侧向散射的影响。

#### 2.4.5 辐照室污水管道、排风/进风管道辐射影响分析

DD<sub>Lz</sub>0.8/60 型工业电子加速器主要应用于污水处理,如图 11-6 所示,辐照室污水进出管道、臭氧排风管道及冷却进风管道均设计为斜向穿墙管道,穿墙孔洞均避开有用线束方向,且不破坏墙体的整体屏蔽效果。该穿墙管道的设计使得在任何情况下辐照室内的电子线或 X 射线均无法直接从管道口直射出屏蔽体,而是在管道和屏蔽罩内多次散射。管道口的设计均避开主射线方向,射线需经多次散射后才能到达管道出口。同时参考 C 点、D 点处的辐射剂量率预测计算结果可知,该型号加速器辐照室管道口处辐射剂量在控制范围内,管道的设计能够满足辐射防护要求。

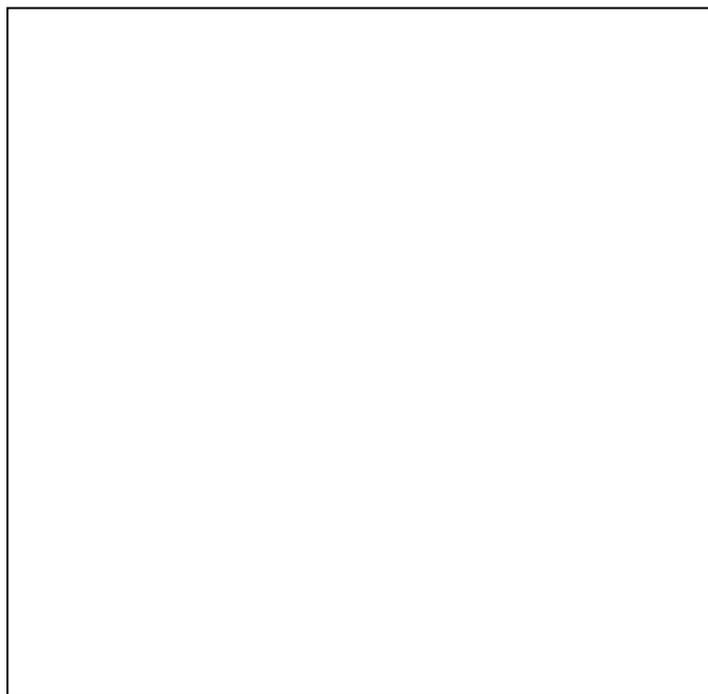


图 11-6 DD<sub>Lz</sub>0.8/60 型工业电子加速器穿墙管道设计示意图

综合以上计算、分析可知，本项目 DD<sub>LZ</sub>0.8/60 型工业电子加速器的屏蔽设计能满足参考标准《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h”的要求。

### 2.5 DD<sub>LZ</sub>1.0/80 型工业电子加速器

本项目拟生产、销售、使用的 DD<sub>LZ</sub>1.0/80 型工业电子加速器为自屏蔽式加速器，属于《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）中的 I 类电子束辐照装置，即“配有联锁装置的整体屏蔽装置，运行期间人员实际上不可能接近这种装置的辐射源部件”。

#### 2.5.1 计算参数选取

参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）选取本次预测计算参数如表 11-9 所列。

表11-9 DD<sub>LZ</sub>1.0/80型加速器屏蔽计算参数表

参 数	数 据
入射电子能量	
侧向等效入射电子能量	
电子束流强度	
侧向 90° X 射线发射率常数 Q (Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	
修正因子 <i>f<sub>e</sub></i>	
<i>D</i> <sub>10</sub> (Gy/h)	
铁 <i>T<sub>I</sub></i> , <i>T<sub>e</sub></i> (cm)	

\*：按等效入射电子能量 0.6MeV 以 HJ 979-2018 中表 A.2、表 A.3 数据以内插法获取。

#### 2.5.2 加速器屏蔽体屏蔽效果计算

在加速器屏蔽体周围取参考点如图 11-7 所示，对加速器机房外辐射剂量率进行预测计算，结果见表 11-10。

表 11-10 DD<sub>LZ</sub>1.0/80 型工业电子加速器屏蔽计算一览表

参考点	位置	<i>D</i> <sub>10</sub> (Gy/h)	铁屏蔽厚度 <i>S</i> (cm) <sup>①</sup>	<i>B<sub>x</sub></i>	<i>d</i> (m) <sup>①</sup>	<i>T</i> <sup>②</sup>	剂量率 <i>H<sub>M</sub></i> (μSv/h)
A	辐照室右面	960	38	3.78E-10	2.05	1	0.086

B	辐照室左面	960	2.20	1	0.075
C	辐照室前面	960	1.55	1	0.151
D	辐照室后面	960	1.60	1	0.142
E	扫描窗室右面	960	2.04	1	0.009
F	扫描窗室左面	960	2.06	1	0.917
G	扫描窗室右面	960	2.22	1	0.527
H	扫描窗室左面	960	2.22	1	0.527
I	设备平台	960	2.57	1	0.017

注：①屏蔽厚度 S 与距离 d 均直接由 CAD 图纸上读取；

②保守计算考虑将居留因子全部取 1。

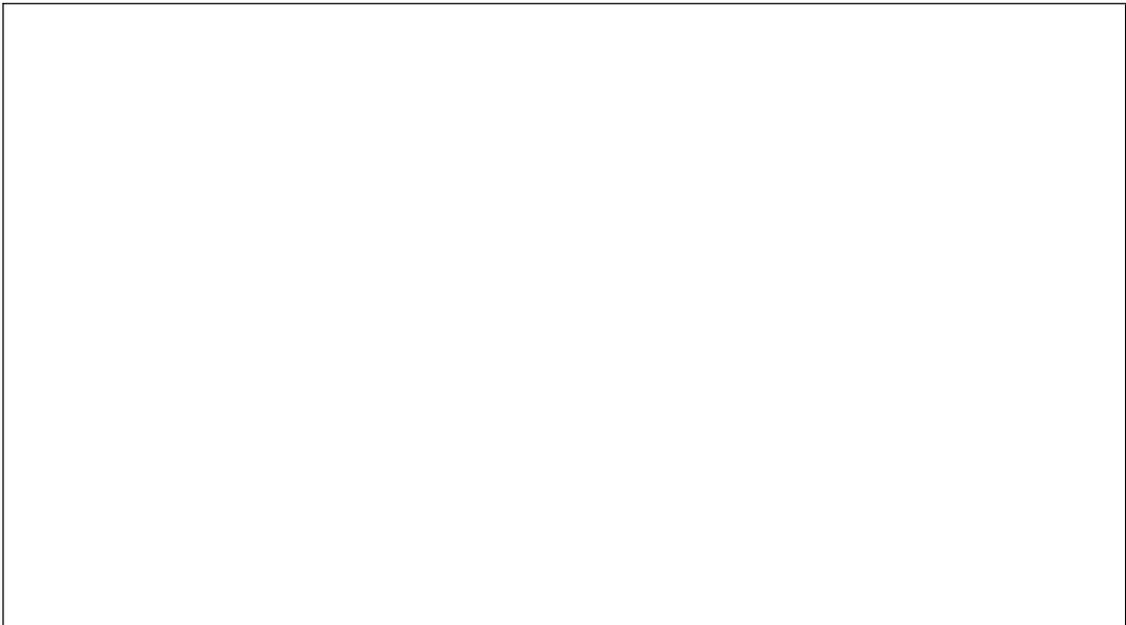




图 11-7 DD<sub>LZ</sub>1.0/80 型工业电子加速器计算参考点位示意图

### 2.5.3 束流加速系统钢桶屏蔽分析

对于加速器主体束流加速系统内的束流损失，根据建设单位提供资料，当加速管内真空度良好的时候，可以忽略不计，即使在不利工况下，束流损失仅为 1%，束流损失能量为 10%，其产生的 X 射线能量较低。对于电子主束为 1.0MeV 的加速器，束流损失能量约为 0.1MeV，DD<sub>LZ</sub>1.0/80 型工业电子加速器束流加速系统钢桶使用铅板和钢板作为屏蔽体（详见表 10-1），防护最薄弱处为钢桶侧盖的 65mm 钢板，其对能量为 0.1MeV 的入射电子所致 X 射线的衰减因子可达  $10^{-10}$  量级，因此束流损失受到加速器侧钢桶的进一步屏蔽后对钢桶外的辐射影响很小。

### 2.5.4 天空反散射辐射影响分析

电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射，返回至加速器周围的地面附近，形成附加的辐射场，这种现象称为天空反散射。本项目加速器从辐照室 X 射线源直射到加速器设备平台（参考点 I）的剂量不超过 0.017 $\mu$ Sv/h，天空反散射的影响远小于 X 射线源直射到辐照室顶部的影响，故本项目天空反散射所致辐射剂量率将远小于 0.017 $\mu$ Sv/h。

本项目拟建址周边无高层建筑，故无需考虑 X 射线通过辐照室顶的侧向散射的影响。

### 2.5.5 辐照室线缆管道、排风/进风管道辐射影响分析

DD<sub>LZ</sub>1.0/80 型工业电子加速器主要应用于电线电缆等材料的辐照改性，如图 11-8

所示，辐照室线缆管道、臭氧排风管道及冷却进风管道均设计为斜向穿墙管道，穿墙孔洞均避开有用线束方向，且不破坏墙体的整体屏蔽效果。该穿墙管道的设计使得在任何情况下辐照室内的电子线或 X 射线均无法直接从管道口直射出屏蔽体，而是在管道内多次散射。管道口的设计均避开主射线方向，射线需经多次散射后才能到达管道出口。同时参考 B 点、D 点处的辐射剂量率预测计算结果可知，该型号加速器辐照室管道口处辐射剂量在控制范围内，管道的设计能够满足辐射防护要求。



图 11-8 DDLZ1.0/80 型工业电子加速器穿墙管道布设示意图

综合以上计算、分析可知，本项目 **DDLZ1.0/80** 型工业电子加速器的屏蔽设计能满足参考标准《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 **30cm** 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 **2.5 $\mu$ Sv/h**”的要求。

## 2.6 DDLZ1.5/80 型工业电子加速器

本项目拟生产、销售、使用的 DDLZ1.5/80 型工业电子加速器为自屏蔽式加速器，属于《 $\gamma$ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）中的 I 类电子束辐照装置，即“配有联锁装置的整体屏蔽装置，运行期间人员实际上不可能接近这种装置的辐射源部件”。

### 2.6.1 计算参数选取

参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）选取本次预测计算参数如表 11-11 所列。

表 11-11 DDLZ1.5/80 型加速器屏蔽计算参数表

参 数	数 据
入射电子能量	
侧向等效入射电子能量	
电子束流强度	
侧向 90° X 射线发射率常数 Q (Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	
修正因子 <i>f<sub>e</sub></i>	
<i>D</i> <sub>10</sub> (Gy/h)	
铁 <i>T</i> <sub>1</sub> , <i>T</i> <sub>e</sub> (cm)	
混凝土 <i>T</i> <sub>1</sub> , <i>T</i> <sub>e</sub> (cm)	

### 2.6.2 加速器屏蔽体屏蔽效果计算

在加速器屏蔽体周围取参考点如图 11-9 所示，对加速器机房外辐射剂量率进行预测计算，结果见表 11-12。

表 11-12 DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型工业电子加速器屏蔽计算一览表

参考点	位置	<i>D</i> <sub>10</sub> (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 <i>S</i> (cm) ①	<i>B<sub>x</sub></i>	<i>d</i> (m) ①	<i>T</i> ②	剂量率 <i>H<sub>M</sub></i> (μSv/h)
A	辐照室右面	2400			2.50	1	1.42
B	辐照室前面	2400			2.45	1	1.47
C	辐照室左面	2400			2.50	1	1.42
D	辐照室后面	2400			2.45	1	1.47
E	辐照室顶面	2400			2.93	1	0.35

注：①屏蔽厚度 *S* 与距离 *d* 均直接由 CAD 图纸上读取；

②保守计算考虑将居留因子全部取 1。

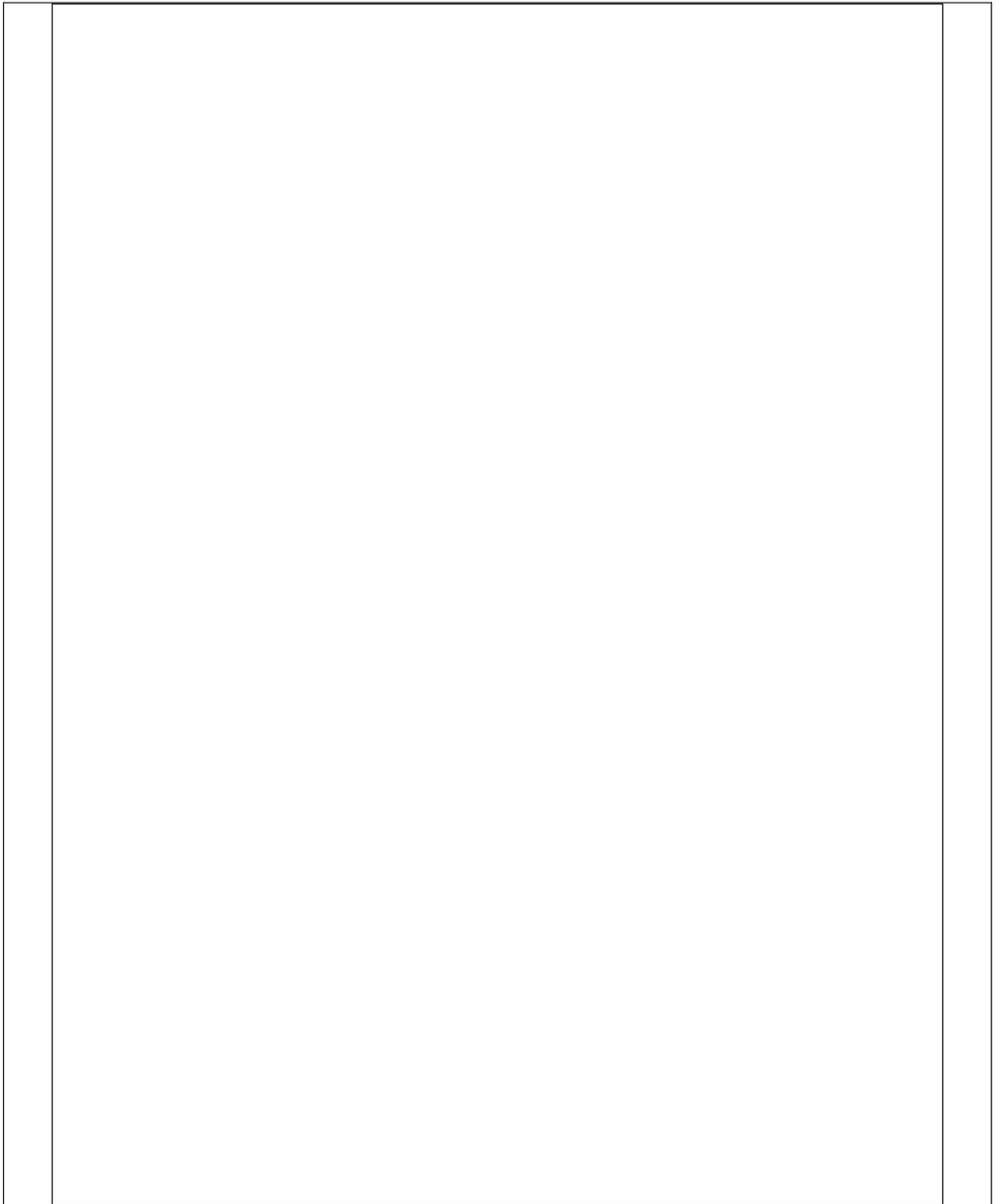


图 11-9 DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型工业电子加速器屏蔽计算参考点位示意图（平面）

### 2.6.3 束流加速系统钢桶屏蔽分析

对于加速器主体束流加速系统内的束流损失，根据建设单位提供资料，当加速管内真空度良好的时候，可以忽略不计，即使在不利工况下，束流损失仅为 1%，束流损失能量为 10%，其产生的 X 射线能量较低。对于电子主束为 1.5MeV 的加速器，束流损失能量约为 0.15MeV，DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型工业电子加速器束流加速系统钢桶使用铅板+

钢板作为屏蔽体（详见表 10-1），防护最薄弱处为钢桶侧盖的 85mm 钢板，其对能量为 0.15MeV 的入射电子所致 X 射线的衰减因子可达  $10^{-10}$  量级，因此束流损失受到加速器侧钢桶的进一步屏蔽后对钢桶外的辐射影响很小。

#### 2.6.4 天空反散射辐射影响分析

电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射，返回至加速器周围的地面附近，形成附加的辐射场，这种现象称为天空反散射。本项目加速器从辐照室 X 射线源直射到加速器设备平台（参考点 E）的剂量不超过  $0.35\mu\text{Sv/h}$ ，天空反散射的影响远小于 X 射线源直射到辐照室顶部的影响，故本项目天空反散射所致辐射剂量率将远小于  $0.35\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目拟建址周边无高层建筑，故无需考虑 X 射线通过辐照室顶的侧向散射的影响。

#### 2.6.5 辐照室污水管道、排风/进风管道辐射影响分析

DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型工业电子加速器主要应用于污水处理，如图 11-10 所示，辐照室污水进出管道、臭氧排风管道及冷却进风管道均设计为斜向穿墙管道，穿墙孔洞均避开有用线束方向，且不破坏墙体的整体屏蔽效果。该穿墙管道的设计使得在任何情况下辐照室内的电子线或 X 射线均无法直接从管道口直射出屏蔽体，而是在管道内多次散射。管道口的设计均避开主射线方向，射线需经多次散射后才能到达管道出口。同时参考 B 点、D 点处的辐射剂量率预测计算结果可知，该型号加速器辐照室管道口处辐射剂量在控制范围内，管道的设计能够满足辐射防护要求。



图 11-10 DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型工业电子加速器穿墙管道布设示意图

综合以上计算、分析可知，本项目 DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型工业电子加速器的屏蔽设计能满足参考标准《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h”的要求。

## 2.7 DD<sub>LZ</sub>2.5/40 型工业电子加速器

本项目拟生产、销售、使用的 DD<sub>LZ</sub>1.5/60 型工业电子加速器为自屏蔽式加速器，属于《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）中的 I 类电子束辐照装置，即“配有联锁装置的整体屏蔽装置，运行期间人员实际上不可能接近这种装置的辐射源部件”。

### 2.7.1 计算参数选取

参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）选取本次预测计算参数如表 11-13 所列。

表 11-13 DD<sub>LZ</sub>2.5/40 型加速器屏蔽计算参数表

参 数	数 据
入射电子能量	
侧向等效入射电子能量	
电子束流强度	
侧向 90° X 射线发射率常数 Q (Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	
修正因子 <i>f<sub>e</sub></i>	
<i>D</i> <sub>10</sub> (Gy/h)	
铁 <i>T<sub>I</sub></i> , <i>T<sub>e</sub></i> (cm)	

\*: 按等效入射电子能量 1.6MeV 以 HJ 979-2018 中表 A.2、表 A.3 数据使用插值法获取。

### 2.7.2 加速器屏蔽体屏蔽效果计算

在加速器屏蔽体周围取参考点如图 11-11 所示，对加速器屏蔽体外辐射剂量率进行预测计算，结果见表 11-14。

表 11-14 DD<sub>LZ</sub>2.5/40 型工业电子加速器屏蔽计算一览表

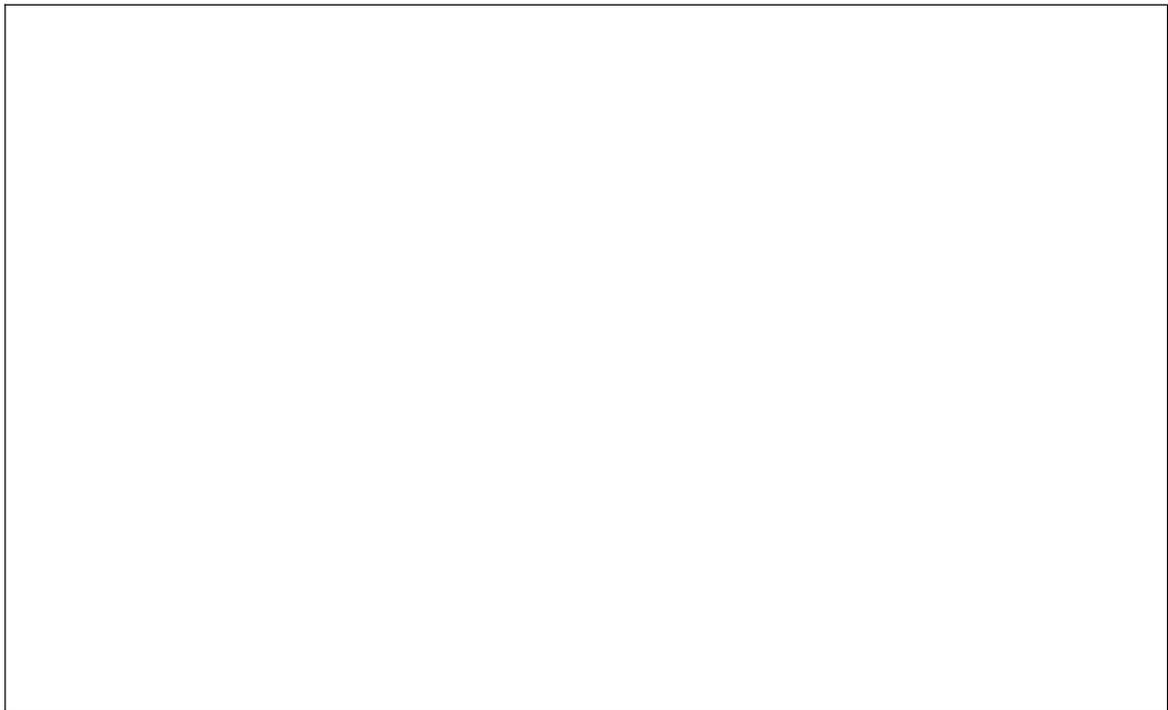
参考点	位置	<i>D</i> <sub>10</sub> (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 <i>S</i> (cm) <sup>①</sup>	<i>B<sub>x</sub></i>	<i>d</i> (m) <sup>②</sup>	<i>T</i> <sup>③</sup>	剂量率 <i>H<sub>M</sub></i> (μSv/h)
A	辐照室右面	3000	55.1 铁	2.72E-09	2	1	2.04
B	辐照室左面	3000	55.1 铁	2.72E-09	2	1	2.04

C	辐照室前面	3000			3.81	1	1.16
D	辐照室后面	3000			3.81	1	1.16
E	扫描窗室右面	3000			2.38	1	0.97
F	扫描窗室左面	3000			2.54	1	0.85
G	扫描窗室前面	3000			2.40	1	0.95
H	扫描窗室后面	3000			2.40	1	0.95
I	设备平台	3000			3.13	1	0.56
J	辐照室顶面	3000			2.79	1	5.15E-10

注：①DD<sub>Lz</sub>2.5/40 型工业电子加速器使用钢板+铁砂的方案作为屏蔽体，铁砂以等密度换算为铁厚度进行计算；

②距离 d 均直接由 CAD 图纸上读取；

③保守计算考虑将居留因子全部取 1。



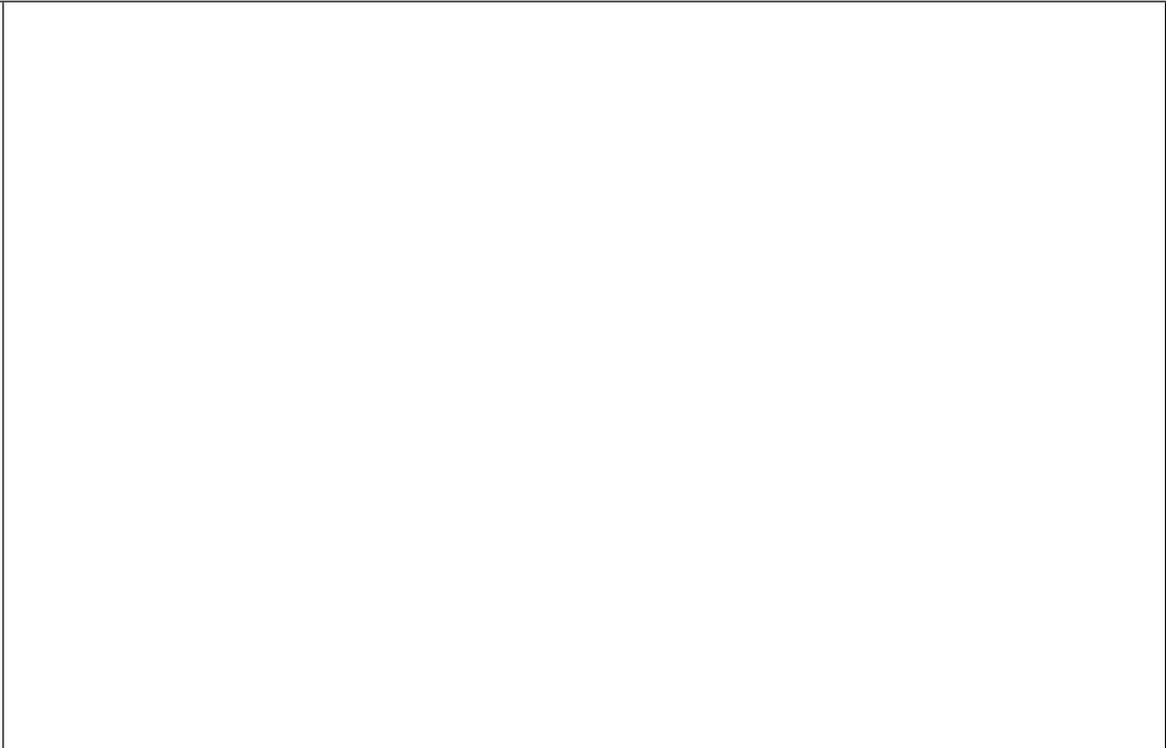


图 11-11 DD<sub>Lz</sub>2.5/40 型工业电子加速器屏蔽计算参考点位示意图

### 2.7.3 束流加速系统钢桶屏蔽分析

对于加速器主体束流加速系统内的束流损失，根据建设单位提供资料，当加速管内真空度良好的时候，可以忽略不计，即使在不利工况下，束流损失仅为 1%，束流损失能量为 10%，其产生的 X 射线能量较低。对于电子主束为 2.5MeV 的加速器，束流损失能量约为 0.25MeV，DD<sub>Lz</sub>2.5/40 型工业电子加速器束流加速系统钢桶使用铅板+钢板作为屏蔽体（详见表 10-1），防护最薄弱处为钢桶侧盖的 10mm 钢板+40mm 铅板+70mm 钢板，其对能量为 0.25MeV 的入射电子所致 X 射线的衰减因子可达  $10^{-10}$  量级，因此束流损失受到加速器侧钢桶的进一步屏蔽后对钢桶外的辐射影响很小。

### 2.7.4 天空反散射辐射影响分析

电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射，返回至加速器周围的地面附近，形成附加的辐射场，这种现象称为天空反散射。本项目加速器从辐照室 X 射线源直射到加速器设备平台（参考点 I）的剂量不超过 0.15 $\mu$ Sv/h、直射到辐照室顶（参考点 J）的剂量不超过 0.55 $\mu$ Sv/h，天空反散射的影响远小于 X 射线源直射到辐照室顶部的影响，故本项目天空反散射所致辐射剂量率将远小于上述值。

本项目拟建址周边无高层建筑，故无需考虑 X 射线通过辐照室顶的侧向散射的影响。

### 2.7.5 辐照室防护门、排风/进风管道辐射影响分析

DD<sub>LZ</sub>2.5/40 型工业电子加速器主要应用于材料改性，其辐照对象主要为电线电缆，片材，热缩管等。加速器辐照室以前面的整面墙体作为防护门，防护门下方安装导轨，以平移的方式开启或关闭防护门。防护门与辐照室左右两面搭接处设计为阶梯式搭接面。防护门与加速器设计有联锁机构，当防护门未闭合到位时，加速器无法启动；加速器运行过程中若检测到防护门松动或打开，加速器立即自动停机。同时参考 C 点处的辐射剂量率预测计算结果可知，该防护门的设计能够满足辐射防护的要求。

臭氧排风管道及冷却进风管道均设计为“U”型埋地穿墙管道，穿墙孔洞均避开有用线束方向，且不破坏墙体的整体屏蔽效果。该穿墙管道的设计使得在任何情况下辐照室内的电子线或 X 射线均无法直接从管道口直射出屏蔽体，而是在管道内多次散射。管道口的设计均避开主射线方向，射线需经多次散射后才能到达管道出口。同时参考 D 点处的辐射剂量率预测计算结果可知，该型号加速器辐照室管道口处辐射剂量在控制范围内，管道的设计能够满足辐射防护要求。

DD<sub>LZ</sub>2.5/40 型工业电子加速器辐照室防护门、排风/进风管道布设示意图见图 11-12。

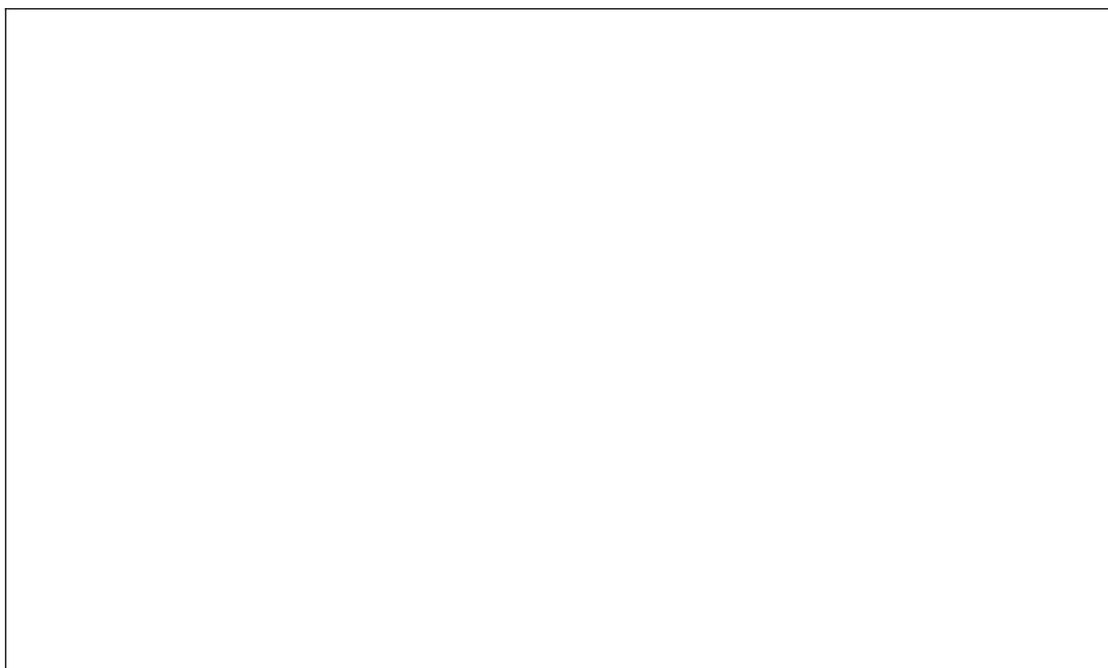




图 11-12 DD<sub>LZ</sub>2.5/40 型工业电子加速器防护门、进风/排风管道布设示意图

综合以上计算、分析可知，本项目 DD<sub>LZ</sub>2.4/40 型工业电子加速器的屏蔽设计能满足参考标准《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 $\mu$ Sv/h”的要求。

### 2.8 DD<sub>LH</sub> 型工业电子加速器

本项目拟生产、销售、使用的 DD<sub>LH</sub>0.8/60 型、DD<sub>LH</sub>1.0/60 型、DD<sub>LH</sub>1.0/80 型、DD<sub>LH</sub>1.5/60 型、DD<sub>LH</sub>1.5/80 型、DD<sub>LH</sub>2.0/50 型、DD<sub>LH</sub>2.0/60 型、DD<sub>LH</sub>2.5/40 型共 8 种工业电子加速器均为半自屏蔽式加速器，属于《 $\gamma$ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）中的 II 类电子束辐照装置，即“安装在屏蔽室（辐照室）内的辐照装置，运行期间借助于入口控制系统防止人员进入辐照室”。

8 种 DD<sub>LH</sub> 型工业电子加速器均在调试车间 5-8 调试区的同一座调试屏蔽体内进行出束调试。

#### 2.8.1 计算参数选取

参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018），8 种 DD<sub>LH</sub> 型加速

器辐照室的 X 射线源强如表 11-15 所列。

表11-15 DD<sub>LH</sub>型加速器辐照室X射线源强一览表

加速器型号	入射电子能量	电子束流强度	侧向90° X射线发射率常数Q (Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	修正系数 $f_e$	$D_{10}$ (Gy/h)
DD <sub>LH</sub> 0.8/60	0.8MeV	60mA	0.26	0.5	468
DD <sub>LH</sub> 1.0/60	1.0MeV	60mA	0.4	0.5	720
DD <sub>LH</sub> 1.0/80	1.0MeV	80mA	0.4	0.5	960
DD <sub>LH</sub> 1.5/60	1.5MeV	60mA	1.0	0.5	1800
DD <sub>LH</sub> 1.5/80	1.5MeV	80mA	1.0	0.5	2400
DD <sub>LH</sub> 2.0/50	2.0MeV	50mA	1.6	0.5	2400
DD <sub>LH</sub> 2.0/60	2.0MeV	60mA	1.6	0.5	2880
DD <sub>LH</sub> 2.5/40	2.5MeV	40mA	2.5	0.5	3000

由表11-15可知，以上8种DD<sub>LH</sub>型工业电子加速器中，以DD<sub>LH</sub>2.5/40型加速器射线能量最高且所致X射线源强最大，因此可选取DD<sub>LH</sub>2.5/40型加速器作为典型进行辐射影响屏蔽计算。当5-8调试区调试屏蔽体能满足DD<sub>LH</sub>2.5/40型加速器的屏蔽需求时，则说明其也能满足DD<sub>LH</sub>0.8/60型、DD<sub>LH</sub>1.0/60型、DD<sub>LH</sub>1.0/80型、DD<sub>LH</sub>1.5/60型、DD<sub>LH</sub>1.5/80型、DD<sub>LH</sub>2.0/50型、DD<sub>LH</sub>2.0/60型加速器的屏蔽需求。

DD<sub>LH</sub>2.5/40型工业电子加速器屏蔽计算参数见表11-16。

表11-16 DD<sub>LZ</sub>2.5/40型加速器屏蔽计算参数表

参 数	数 据
入射电子能量	
侧向等效入射电子能量	
电子束流强度	
侧向 90° X 射线发射率常数 Q (Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	
修正系数 $f_e$	
$D_{10}$ (Gy/h)	
铁 $T_1, T_e$ (cm)	6.98, 6.36*

\*: 按等效入射电子能量 1.6MeV 以 HJ 979-2018 中表 A.2、表 A.3 数据使用插值法获取。

## 2.8.2 加速器屏蔽体屏蔽效果计算

在加速器屏蔽体周围取参考点如图 11-13 所示,对加速器机房外辐射剂量率进行预测计算,结果见表 11-17。

表 11-17 DD<sub>LH</sub>2.5/40 型工业电子加速器屏蔽计算一览表

参考点	位置	D <sub>10</sub> (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 S (cm) ①	B <sub>x</sub>	d (m) ②	T ③	剂量率 H <sub>M</sub> (μSv/h)
A	辐照室右面	3000			3.08	1	1.65
B	辐照室左面	3000			3.05	1	1.68
C	辐照室前面	3000			1.98	1	1.93
D	辐照室后面	3000			1.98	1	1.93
E	扫描窗室右面	3000			2.26	1	2.00E-02
F	扫描窗室左面	3000			2.05	1	2.43E-02
G	扫描窗室前面	3000			2.39	1	1.79E-02
H	扫描窗室后面	3000			2.42	1	1.74E-02
I	设备平台	3000			2.51	1	1.62E-02

注: ①DD<sub>LH</sub>型加速器调试屏蔽体使用钢板+铁砂的方案,将铁砂以等密度换算为铁厚度进行计算;  
 ②距离 d 均直接由 CAD 图纸上读取;  
 ③保守计算考虑将居留因子全部取 1。



正面

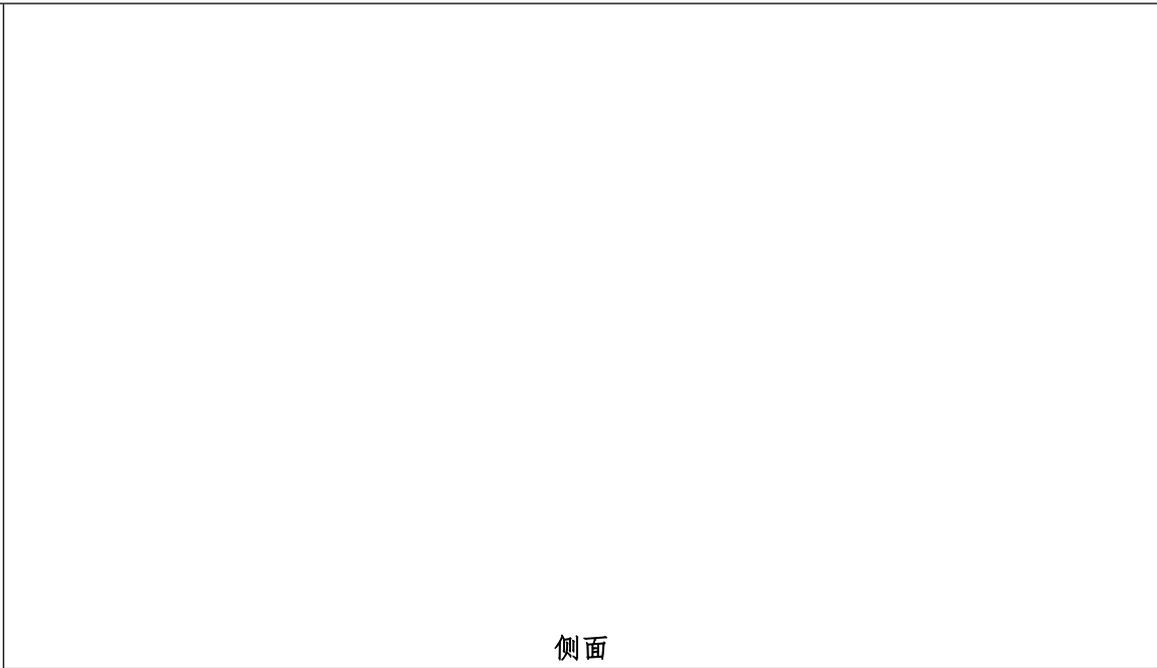


图 11-13 DD<sub>LH</sub>型工业电子加速器屏蔽计算参考点位示意图

### 2.8.3 束流加速系统钢桶屏蔽分析

对于加速器主体束流加速系统内的束流损失，根据建设单位提供资料，当加速管内真空度良好的时候，可以忽略不计，即使在不利工况下，束流损失仅为 1%，束流损失能量为 10%，其产生的 X 射线能量较低。对于电子主束为 2.5MeV 的加速器，束流损失能量约为 0.25MeV。DD<sub>LH</sub>0.8/60 型工业电子加速器束流加速系统钢桶使用铅板+钢板作为屏蔽体（详见表 10-1），防护最薄弱处为钢桶侧盖的 65mm 钢板，其对能量为 0.08MeV 的入射电子所致 X 射线的衰减因子可达  $10^{-10}$  量级；DD<sub>LH</sub>1.0/60、DD<sub>LH</sub>1.0/80 型工业电子加速器束流加速系统钢桶使用铅板+钢板作为屏蔽体（详见表 10-1），防护最薄弱处为钢桶侧盖的 65mm 钢板，其对能量为 0.1MeV 的入射电子所致 X 射线的衰减因子可达  $10^{-10}$  量级；DD<sub>LH</sub>1.5/60、DD<sub>LH</sub>1.5/80 型工业电子加速器束流加速系统钢桶使用铅板+钢板作为屏蔽体（详见表 10-1），防护最薄弱处为钢桶侧盖的 85mm 钢板，其对能量为 0.15MeV 的入射电子所致 X 射线的衰减因子可达  $10^{-10}$  量级；DD<sub>LH</sub>2.0/50、DD<sub>LH</sub>2.0/60 型工业电子加速器束流加速系统钢桶使用铅板+钢板作为屏蔽体（详见表 10-1），防护最薄弱处为主钢桶（高压电源系统）与侧钢桶（束流加速器系统）连接段的 3mm 钢板+30mm 铅板+10 钢板，其对能量为 0.25MeV 的入射电子所致 X 射线的衰减因子可达  $10^{-10}$  量级。因此 DD<sub>LH</sub> 型加速器的束流损失受到加速器侧钢桶的进一步屏蔽后对钢桶外的辐射影响很小。

### 2.8.4 天空反散射辐射影响分析

电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射，返回至加速器周围的地面附近，形成附加的辐射场，这种现象称为天空反散射。本项目加速器从辐照室 X 射线源直射到加速器设备平台（参考点 I）的剂量不超过  $0.01\mu\text{Sv/h}$ ，天空反散射的影响远小于 X 射线源直射到辐照室顶部的影响，故本项目天空反散射所致辐射剂量率将远小于  $0.01\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目拟建址周边无高层建筑，故无需考虑 X 射线通过辐照室顶的侧向散射的影响。

### 2.8.5 辐照室防护门、排风管道辐射影响分析

DD<sub>LH</sub> 型工业电子加速器主要应用于污水处理及材料改性。加速器辐照室以正面的整面墙体作为防护门，防护门下方安装导轨，以平移的方式开启或关闭防护门。防护门与辐照室左右两面搭接处设计为阶梯式搭接面。防护门与加速器设计有联锁机构，当防护门未闭合到位时，加速器无法启动；加速器运行过程中若检测到防护门松动或打开，加速器立即自动停机。同时参考 C 点处的辐射剂量率预测计算结果可知，该防护门的设计能够满足辐射防护的要求。

臭氧排风管道设计为斜向穿墙管道，穿墙孔洞均避开有用线束方向，且不破坏墙体的整体屏蔽效果。该穿墙管道的设计使得在任何情况下辐照室内的电子线或 X 射线均无法直接从管道口直射出屏蔽体，而是在管道内多次散射。管道口的设计均避开主射线方向，射线需经多次散射后才能到达管道出口。DD<sub>LH</sub> 型加速器调试屏蔽体的管道设计能够满足辐射防护要求。

DD<sub>LZ</sub>2.5/40 型工业电子加速器辐照室穿墙管道布设示意图见图 11-14，防护门设计示意图见图 11-15。

综合以上计算、分析可知，本项目 DD<sub>LH</sub> 型工业电子加速器调试屏蔽体的屏蔽设计能满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处以及以外区域周围剂量当量率不能超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”要求。

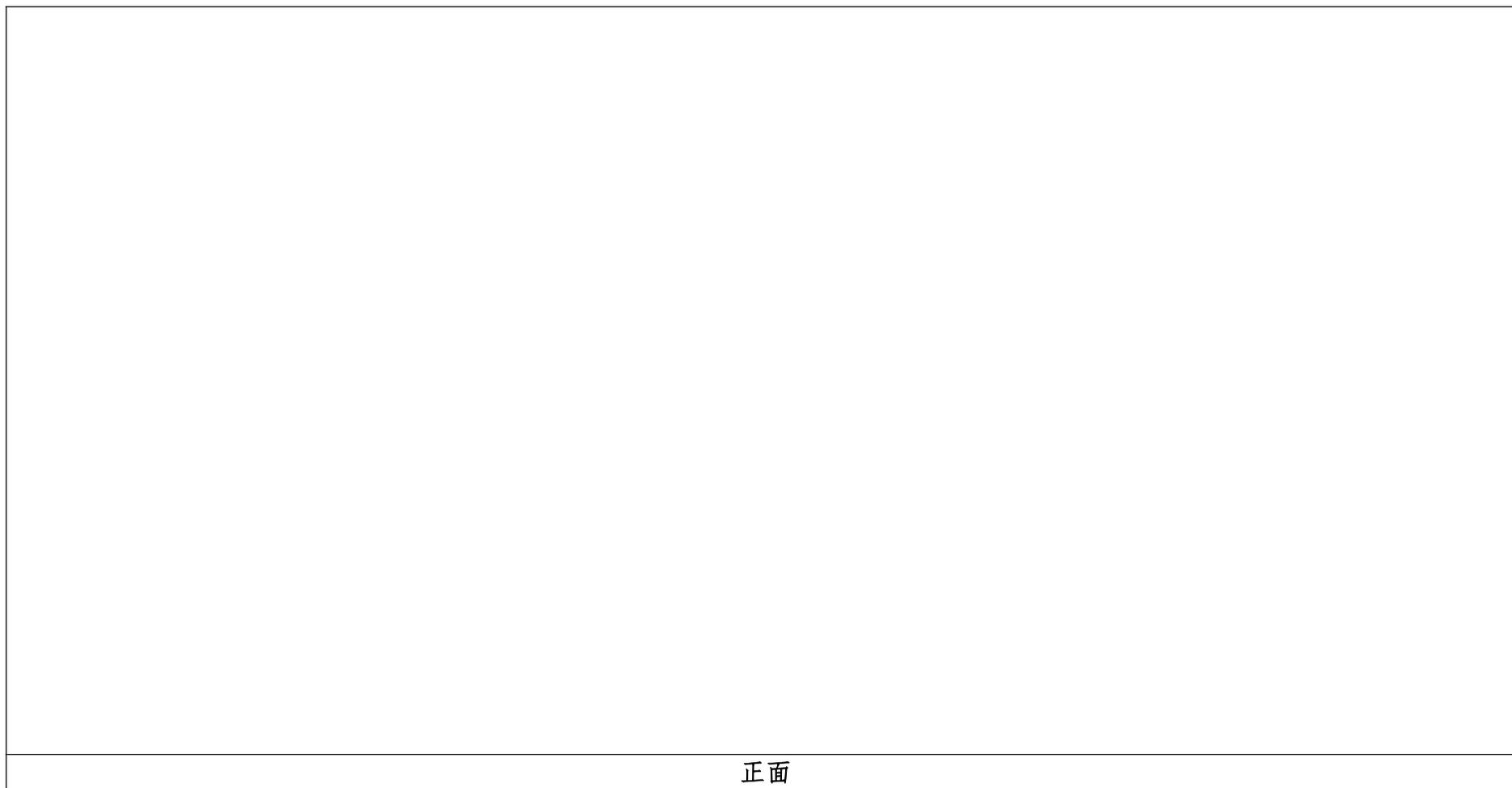


图 11-14 DD<sub>LH</sub>型工业电子加速器调试屏蔽体辐照室穿墙管道布设示意图

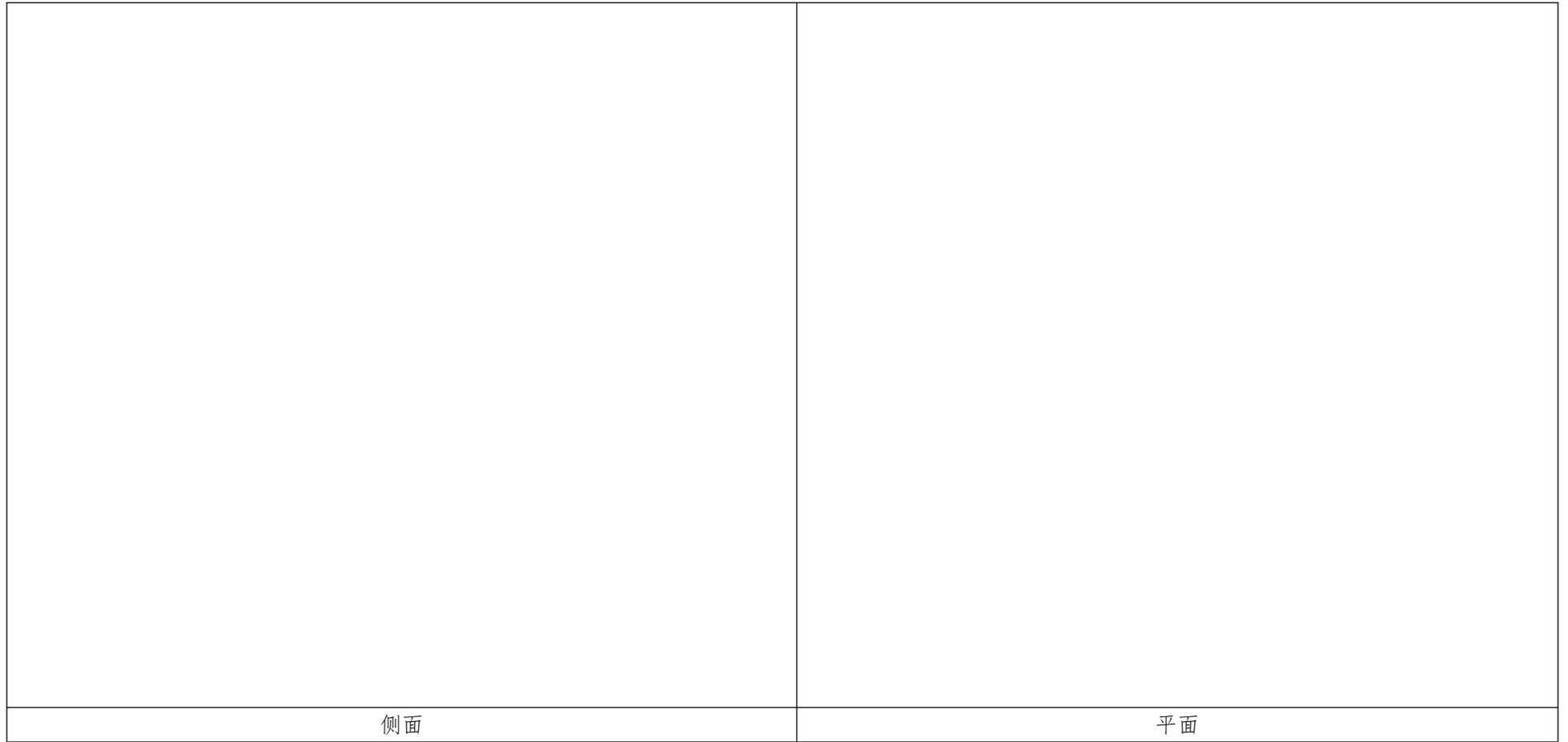


图 11-15 DD<sub>LH</sub>型工业电子加速器调试屏蔽体辐照室防护门布设示意图

## 2.9 DL150/10 型、DBLad-200 型工业电子加速器

本项目拟生产、销售、使用的 DL150/10 型工业电子加速器、拟使用的 DBLad-200 型工业电子加速器均为自屏蔽式加速器，属于《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）中的 I 类电子束辐照装置，即“配有联锁装置的整体屏蔽装置，运行期间人员实际上不可能接近这种装置的辐射源部件”。DL150/10 型、DBLad-200 型加速器的结构形式及系统组成基本一致，仅在电子束加速器的能量和束流强度上有所不同。

### 2.9.1 计算参数选取

参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）选取本次预测计算参数如表 11-18 所列。

表11-18 DL150/10型、DBLad-200型加速器屏蔽计算参数表

参 数		DL150/10 型	DBLad-200 型
入射电子能量		0.15MeV（保守按 0.5MeV 进行计算）*	0.2MeV（保守按 0.5MeV 进行计算）*
电子束流强度			
X 射线发射率常数 $Q^*$ ( $Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$ )	前向 $0^\circ$		
	侧向 $90^\circ$		
修正因子 $fe$	前向 $0^\circ$		
	侧向 $90^\circ$		
$D_{10}$ (Gy/h)	前向 $0^\circ$		
	侧向 $90^\circ$		

\*保守计算考虑，参考 HJ 979-2018 表 A.1 中给出的最小能量入射电子能量 0.5MeV 取 X 射线发射率。

### 2.9.2 加速器屏蔽体屏蔽效果计算

在加速器屏蔽体周围取参考点如图 11-14、图 11-5 所示，对加速器屏蔽体外辐射剂量率进行预测计算，结果见表 11-19、表 11-20。

表 11-19 DL150/10 型工业电子加速器屏蔽计算一览表

参考点	位置	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 $S$ (cm) <sup>①</sup>	$B_x$ <sup>④</sup>	$d$ (m) <sup>①</sup>	$T$ <sup>②</sup>	剂量率 $H_M$ ( $\mu Sv/h$ )
A	加速器右面	21			0.82	1	0.003
B	加速器左面	21			0.75	1	0.004

C	加速器前面	21	0.53	1	0.007
D	加速器后面	21	0.58	1	0.006
E	加速器底面	3.36	0.94	1	3.80E-04
F	加速器顶面	21 <sup>③</sup>	0.46	1	0.010

注：①屏蔽厚度 S 与距离 d 均直接由 CAD 图纸上读取；

②保守计算考虑将居留因子全部取 1；

③加速器顶面为相对入射电子 180° 方向，HJ 979-2018 中未给出 180° 方向 X 射线发射率，此处参考 90° 方向源强进行计算；

④查《辐射安全手册》图 6.5 电子加速器产生的宽束 X 射线在铅中的透射因子，出于保守计算，只考虑铅的屏蔽效果，15mmPb 对应透射因子取  $1.0 \times 10^{-10}$ 。

表 11-20 DBLad-200 型工业电子加速器屏蔽计算一览表

参考点	位置	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 S (cm) <sup>①</sup>	$B_x$ <sup>④</sup>	$d$ (m) <sup>①</sup>	$T$ <sup>②</sup>	剂量率 $H_M$ ( $\mu$ Sv/h)
A	加速器右面	42			0.93	1	0.049
B	加速器左面	42			0.49	1	0.175
C	加速器前面	42			0.50	1	0.168
D	加速器后面	42			0.54	1	0.144
E	加速器底面	6.72			0.94	1	0.008
F	加速器顶面	42 <sup>③</sup>			0.46	1	0.198

注：①屏蔽厚度 S 与距离 d 均直接由 CAD 图纸上读取；

②保守计算考虑将居留因子全部取 1；

③加速器顶面为相对入射电子 180° 方向，HJ 979-2018 中未给出 180° 方向 X 射线发射率，此处参考 90° 方向源强进行计算；

④查《辐射安全手册》图 6.5 电子加速器产生的宽束 X 射线在铅中的透射因子，出于保守计算，只考虑铅的屏蔽效果，15mmPb 对应透射因子取  $1.0 \times 10^{-9}$ 。

本项目 DL150/10 型、DBLad-200 型工业电子加速器为自屏蔽一体式设备，内部安装 1 台电子帘加速器。电子帘加速器结构简单，无束流加速系统，因此不存在束流损失。由表 11-13、表 11-14 可知，DL150/10 型加速器顶面辐射剂量率最大为  $0.010 \mu\text{Sv/h}$ ，DBLad-200 型加速器设备顶面的辐射剂量率最大为  $0.198 \mu\text{Sv/h}$ ，天空反散射的影响将远小于上述值，对周围环境影响较小。

DL150/10 型 DBLad-200 型加速器上下货物口盖板为 8mm 钢板+15mm 铅板+5mm 不锈钢，DBLad-200 型加速器上下货物口盖板为 1.5mm 钢板+14mm 铅板+1.5mm 不锈钢，盖板防护能力均与屏蔽体其他位置一致；盖板与屏蔽体接缝处设计为阶梯式搭接

面，且盖板闭合后被液压杆压紧锁止，正常辐照期间无法打开，能够有效防止辐射泄露。同时货物口盖板与加速器进行联锁，盖板未闭合到位时加速器无法出束；加速器出束期间检测到盖板松动或被打开则加速器立即停机。DL150/10 型工业电子加速器货物上下口盖板设计如图 11-15 所示。

综合以上计算、分析可知，本项目 DL150/10 型、DBLad-200 型工业电子加速器的屏蔽设计能满足参考标准《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

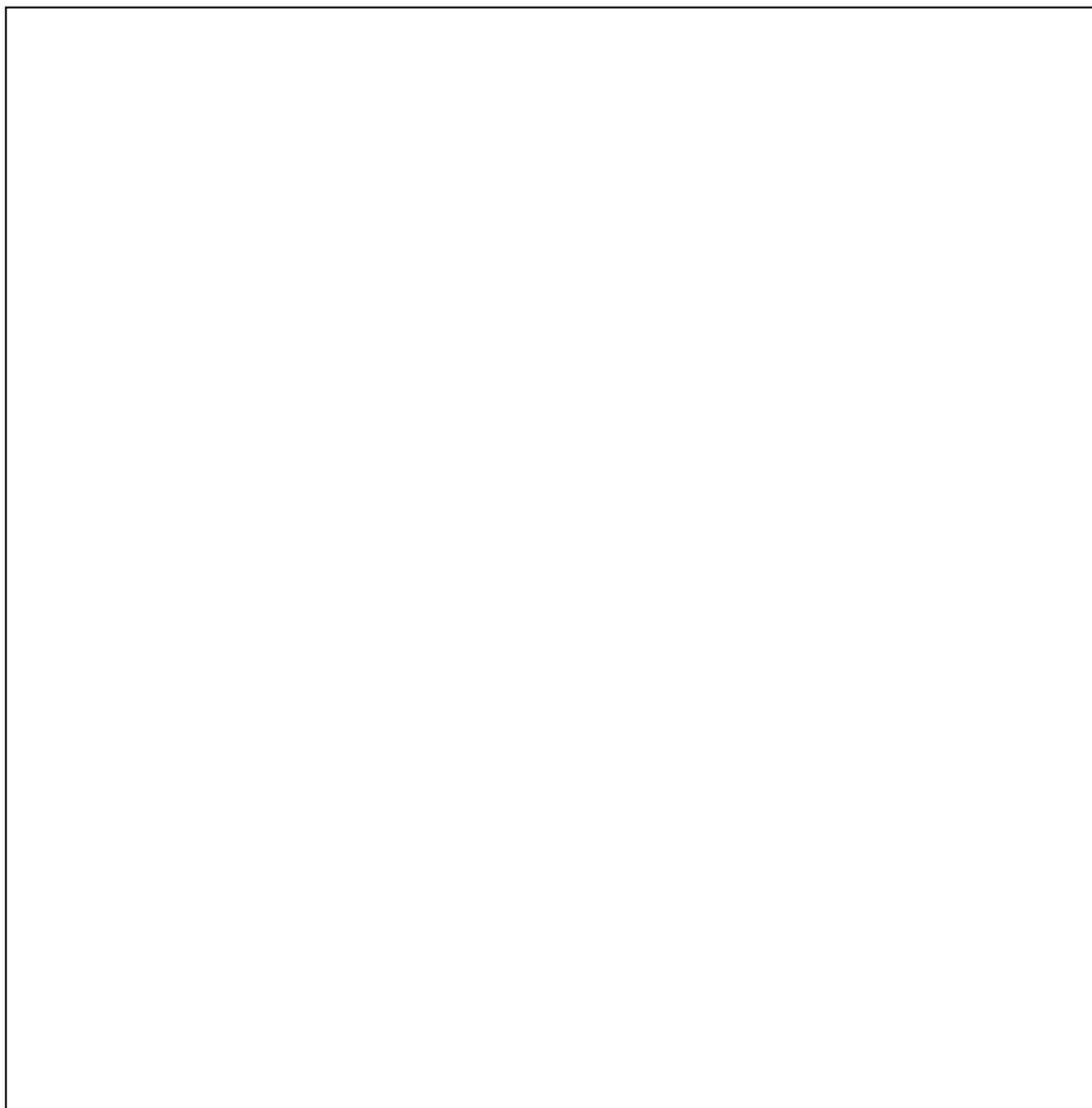


图 11-16 DL150/10 型工业电子加速器屏蔽计算点位示意图

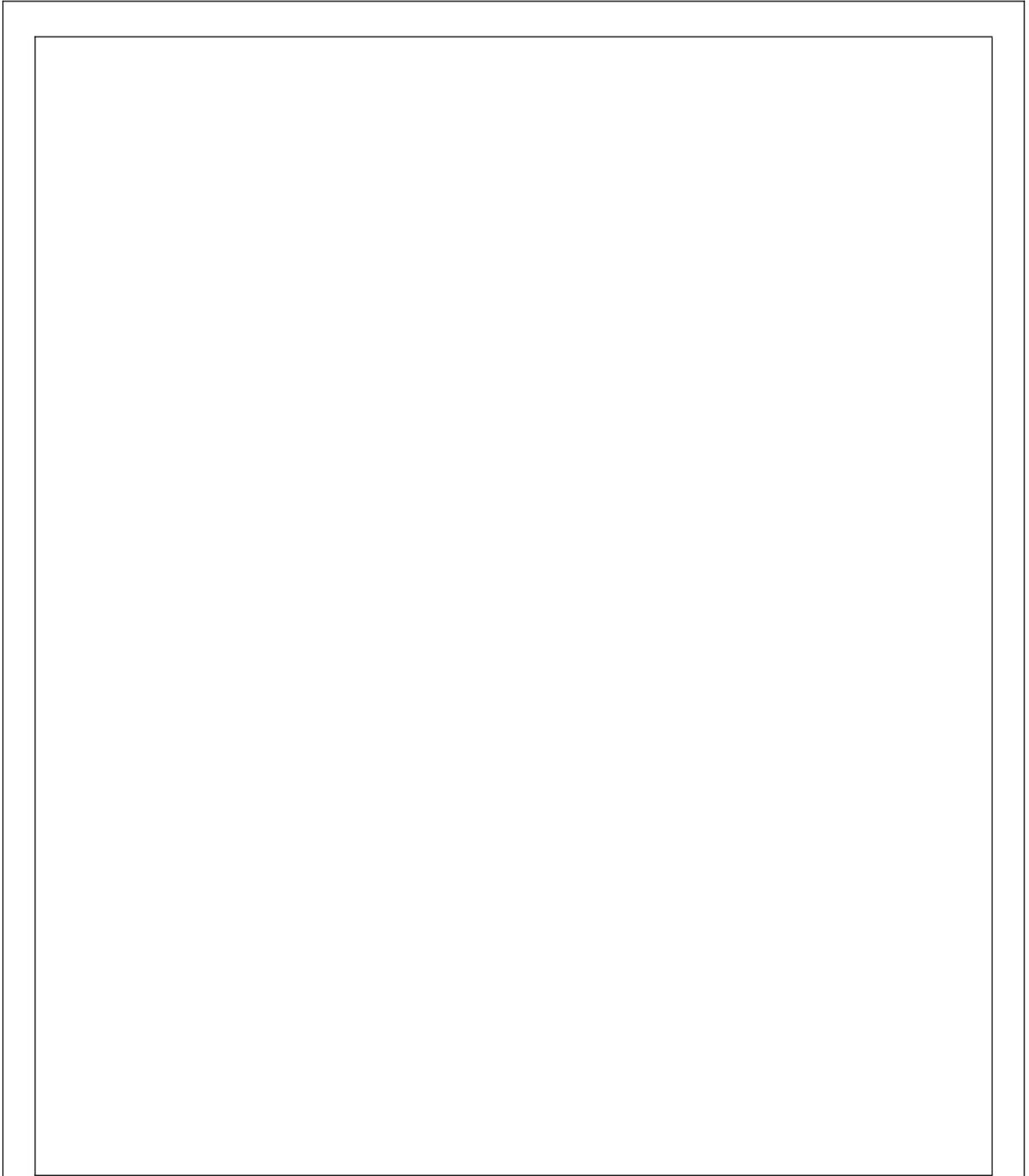


图 11-17 DBLad-200 型工业电子加速器屏蔽计算点位示意图

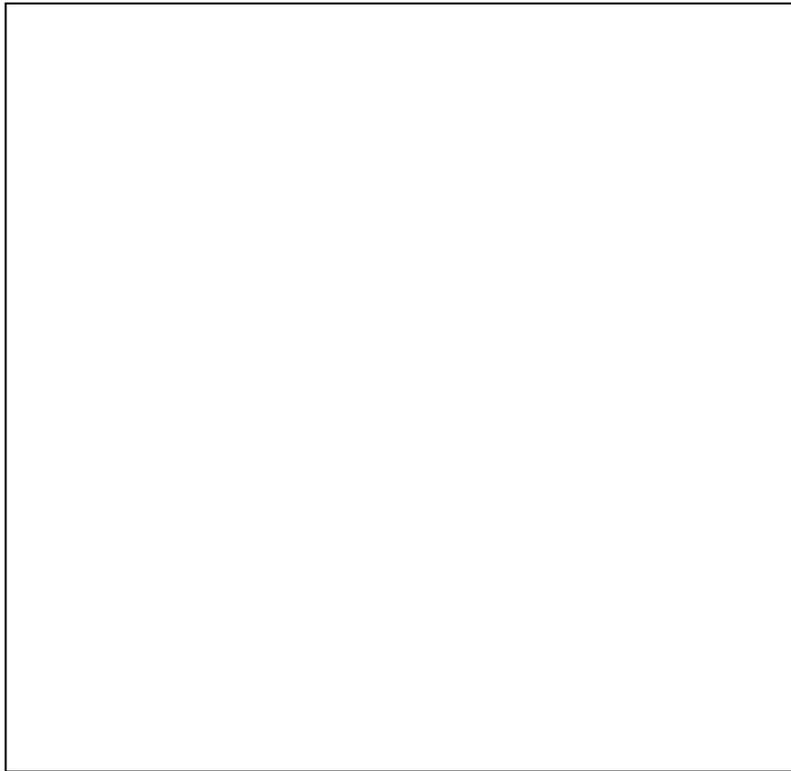


图 11-18 DL150/10 型、DBLad-200 型工业电子加速器辐照室货物口盖板设计示意图

综合以上计算、分析可知，本项目 DL150/10 型、DBLad-200 型工业电子加速器的屏蔽设计能满足参考标准《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 $\mu$ Sv/h”的要求。

### 2.10 DL120/600 型工业电子加速器

本项目拟生产、销售、使用的 DL120/600 型工业电子加速器为自屏蔽式加速器，属于《 $\gamma$ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）中的 I 类电子束辐照装置，即“配有联锁装置的整体屏蔽装置，运行期间人员实际上不可能接近这种装置的辐射源部件”。

#### 2.10.1 计算参数选取

参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）选取本次预测计算参数如表 11-21 所列。

表11-21 DL120/600型加速器屏蔽计算参数表

参 数	数 据
入射电子能量	0.15MeV（保守按 0.5MeV 进行计算）*
电子束流强度	600mA

X 射线发射率常数 Q (Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	前向 0°	
	侧向 90°	
修正因子 <i>f<sub>e</sub></i>	前向 0°	
	侧向 90°	
<i>D</i> <sub>10</sub> (Gy/h)	前向 0°	
	侧向 90°	

\*保守计算考虑，参考 HJ 979-2018 表 A.1 中给出的最小能量入射电子能量 0.5MeV 取 X 射线发射率。

### 2.10.2 加速器屏蔽体屏蔽效果计算

在加速器屏蔽体周围取参考点如图 11-16 所示，对加速器屏蔽体外辐射剂量率进行预测计算，结果见表 11-22。

表 11-22 DL120/600 型工业电子加速器屏蔽计算一览表

参考点	位置	<i>D</i> <sub>10</sub> (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 <i>S</i> (cm) <sup>①</sup>	<i>B<sub>x</sub></i> <sup>④</sup>	<i>d</i> (m) <sup>①</sup>	<i>T</i> <sup>②</sup>	剂量率 <i>H<sub>M</sub></i> (μSv/h)
A	加速器前面	201.6				1	0.282
B	加速器后面	1260				1	0.012
C	加速器底面	1260				1	0.002
D	加速器顶面 <sup>③</sup>	1260				1	5.38×10 <sup>-6</sup>
E	加速器右面	1260				1	0.376
F	加速器左面	1260				1	1.02×10 <sup>-5</sup>

注：①屏蔽厚度 *S* 与距离 *d* 均直接由 CAD 图纸上读取；

②保守计算考虑将居留因子全部取 1；

③加速器顶面为相对入射电子 180° 方向，HJ 979-2018 中未给出 180° 方向 X 射线发射率，此处参考 90° 方向源强进行计算；

④查《辐射防护手册 第三分册》表 3.4 将铁等效为铅当量，再按《辐射安全手册》图 6.5 查电子加速器产生的宽束 X 射线在铅中的透射因子。



图 11-19 DL120/600 型工业电子加速器屏蔽计算点位示意图

### 2.10.3 束流损失辐射影响分析

对于加速器主体束流加速系统内的束流损失，根据建设单位提供资料，当加速管内真空度良好的时候，可以忽略不计，即使在不利工况下，束流损失仅为 1%，束流损失能量为 10%，其产生的 X 射线能量较低。对于电子主束为 0.12MeV 的加速器，束流损失能量约为 0.012MeV。DL120/600 型工业电子加速器束流加速系统钢桶使用 10mm 铅板+7mm 钢板作为屏蔽体，其对能量为 0.012MeV 的入射电子所致 X 射线的衰减因子可达  $10^{-10}$  量级。加速器的束流损失受到加速器侧钢桶的进一步屏蔽后对钢桶外的辐

射影响很小。

#### 2.10.4 天空反散射辐射影响分析

本项目 DL120/600 型工业电子加速器为自屏蔽一体式设备，内部安装 1 台电子帘加速器。电子帘加速器结构简单，无束流加速系统，因此不存在束流损失。由表 11-15 可知，设备顶面的辐射剂量率 $<0.01\mu\text{Sv/h}$ ，天空反散射的影响将远小于  $0.01\mu\text{Sv/h}$ ，对周围环境影响较小。

#### 2.10.5 产品通道狭缝辐射影响分析

DL120/600 型工业电子加速器主要应用于片材、薄膜的辐照改性。如图 11-20 所示，片材、薄膜通过屏蔽辊筒的旋转连续不断地经过辐照窗口接受辐照，辊筒与加速器屏蔽体之间留有 6mm 宽的弧形狭缝以供辐照产品通过，狭缝口均避开有用线束直射方向。产品通道狭缝的设计使得在任何情况下辐照室内的电子线或 X 射线均无法直接从管道口直射出屏蔽体，而是在狭缝内多次散射，射线需经多次散射后才能到达管道出口。DL120/600 型加速器产品狭缝的设计能够满足辐射防护要求。



图 11-20 DL120/600 型工业电子加速器辐照产品狭缝设计示意图

综合以上计算、分析可知，本项目 DL120/600 型工业电子加速器的屏蔽设计能满足参考标准《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

#### 二、保护目标有效剂量评价

将加速器机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-6。

$$H_c = \dot{H}_{c,d} \cdot t \cdot U \cdot T \dots \dots \dots \text{公式 11-6}$$

式中： $H_c$ —参考点的年剂量水平， $\mu\text{Sv/a}$ ；

$\dot{H}_{c,d}$ —参考点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$t$ —辐照装置年照射时间，单位为 h/a；

$U$ —辐照装置向关注点方向照射的使用因子；

$T$ —人员在相应关注点驻留的居留因子。

公司拟为本项目配置 44 名辐射工作人员，人员工作负荷见表 9-2。自屏蔽加速器屏蔽体表面 5cm 处、半自屏蔽加速器屏蔽体 30cm 处公众均无法到达，公众可达处为各调试区围栏外车间通道，因此公众参考点取各调试区围栏外 30cm 处。取各调试区内加速器正对车间通道面，结合参考点到加速器之间的距离，对周围公众可达处辐射剂量率进行预测计算，结果见表 11-23。

表 11-23 加速器调试区周围公众可达处辐射剂量率

源强加速器	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 $S$ (cm) <sup>①</sup>	$B_x$	$d$ (m)	T	辐射剂量率 $H_M$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
5-2 调试区 DDLZ1.0/60	720			5.91	1	0.01
5-3 调试区 EP-DGLZ0.5/70	147			5.87	1	0.01
5-3 调试区 EP-DGWZ0.5/70	147			5.81	1	$4.04 \times 10^{-6}$
5-3 调试区 DL120/600	201.6			5.94	1	0.001
5-4 调试区 DDLZ0.8/60	468			4.78	1	0.013
5-5 调试区 DDLZ1.0/80	960			4.40	1	0.019
5-6 调试区 DDLZ1.5/80	2400			5.00	1	0.35
5-7 调试区 DDLZ2.5/40	3000			5.77	1	0.50
5-8 调试区 DDLH2.5/40	3000			12.6	1	0.10
3-1 调试区 DL150/10	21			5.53	1	$6.87 \times 10^{-5}$
3#厂房二楼实验室 DBLad-200	42			3.69	1	0.003

考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，取各型号加速器屏蔽体外人员可达处最高辐射剂量率，根据公式 11-6 估算辐射工作人员和周围公众的年有效剂量，计算结果列于表 11-24。

表 11-24 加速器屏蔽体周围人员年有效剂量

加速器型号	辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年出束时间 (h)	保护目标	居留因子	年有效剂量(mSv/a)	剂量约束值(mSv/a)	结论
EP-DG <sub>LZ</sub> 0.5/70	0.38	224	工作人员	1	0.085	5	满足
	0.01		公众	1/4	$5.6 \times 10^{-4}$	0.1	满足
EP-DG <sub>wz</sub> 0.5/70	$2.94 \times 10^{-2}$	224	工作人员	1	$6.52 \times 10^{-3}$	5	满足
	$4.04 \times 10^{-6}$		公众	1/4	$2.26 \times 10^{-7}$	0.1	满足
DD <sub>LZ</sub> 1.0/60	0.233	480	工作人员	1	0.112	5	满足
	0.01		公众	1/4	$1.2 \times 10^{-3}$	0.1	满足
DD <sub>LZ</sub> 0.8/60	0.827	960	工作人员	1	0.794	5	满足
	0.013		公众	1/4	0.003	0.1	满足
DD <sub>LZ</sub> 1.0/80	0.917	480	工作人员	1	0.440	5	满足
	0.019		公众	1/4	$2.28 \times 10^{-3}$	0.1	满足
DD <sub>LZ</sub> 1.5/80	1.47	800	工作人员	1	1.176	5	满足
	0.35		公众	1/4	0.07	0.1	满足
DD <sub>LZ</sub> 2.5/40	2.04	400	工作人员	1	0.816	5	满足
	0.10		公众	1/4	0.01	0.1	满足
DD <sub>LH</sub> 0.8/60	1.93	160	工作人员	1	0.309	5	满足
	0.10		公众	1/4	0.004	0.1	满足
DD <sub>LH</sub> 1.0/60	1.93	80	工作人员	1	0.154	5	满足
	0.10		公众	1/4	0.002	0.1	满足
DD <sub>LH</sub> 1.0/80	1.93	160	工作人员	1	0.309	5	满足
	0.10		公众	1/4	0.004	0.1	满足
DD <sub>LH</sub> 1.5/60	1.93	400	工作人员	1	0.772	5	满足
	0.10		公众	1/4	0.01	0.1	满足

DD <sub>LH</sub> 1.5/80	1.93	400	工作人员	1	0.772	5	满足
	0.10		公众	1/4	0.01	0.1	满足
DD <sub>LH</sub> 2.0/50	1.93	720	工作人员	1	1.390	5	满足
	0.10		公众	1/4	0.018	0.1	满足
DD <sub>LH</sub> 2.0/60	1.93	80	工作人员	1	0.154	5	满足
	0.10		公众	1/4	0.002	0.1	满足
DD <sub>LH</sub> 2.5/40	1.93	400	工作人员	1	0.772	5	满足
	0.10		公众	1/4	0.01	0.1	满足
DL150/10	0.007	280	工作人员	1	0.002	5	满足
	$6.87 \times 10^{-5}$		公众	1/4	$4.81 \times 10^{-3}$	0.1	满足
DBLad-200	0.175	1500	工作人员	1	0.262	5	满足
	0.003		公众	1/4	$1.12 \times 10^{-3}$	0.1	满足
DL120/600	0.376	280	工作人员	1	0.105	5	满足
	0.001		公众	1/4	$7.0 \times 10^{-5}$	0.1	满足

注：保守计算考虑，DD<sub>LH</sub>型加速器调试屏蔽体外辐射剂量率均参考 DD<sub>LH</sub>2.5/40 型加速器计算结果。

由表 11-24 可知，当本项目 18 种型号加速器各自单独出束时，辐射工作人员年有效剂量最高为 1.176mSv，周围公众人员可达处年有效剂量不超过 0.07mSv。

本项目实际运行期间，各调试区加速器存在同时出束的情况，且各调试区评价范围有重叠，因此还需考虑剂量叠加的影响。DBLad-200 型、DL150/10 型加速器评价范围与 5-2 至 5-8 调试区评价范围均无重叠，因此不用考虑其剂量叠加的影响。根据表 11-2 至表 11-22 等计算结果，结合调试区加速器的分布情况可知，调试车间内公众可达处以 5-6 调试区南侧、5-7 调试区南侧、5-7 调试区与 5-8 调试区之间的车间通道处叠加剂量率较大，调试车间内工作人员以 5-7 调试区叠加剂量率最大，取上述 4 个位置分别作为公众和工作人员的叠加剂量典型参考点，对公众和辐射工作人员叠加剂量率进行计算分析，结果见表 11-25 至表 11-28。

表 11-25 5-6 调试区南侧车间通道公众叠加剂量率计算

源强加速器	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 $S$ (cm) <sup>①</sup>	$B_x$	$d$ (m)	T	剂量率贡献值 $H_M$ ( $\mu$ Sv/h)
5-6 调试区 DD <sub>LZ</sub> 1.5/80	2400	130 混凝土	3.69E-9	6.43	1	0.21

5-7 调试区 DDL <sub>Z</sub> 2.5/40	3000	55.1 铁	2.72E-9	19.0	1	0.02
叠加剂量率						0.23
表 11-26 5-7 调试区南侧车间通道公众叠加剂量率计算						
源强加速器	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 $S$ (cm) <sup>①</sup>	$B_x$	$d$ (m)	T	剂量率贡献值 $H_M$ ( $\mu$ Sv/h)
5-6 调试区 DDL <sub>Z</sub> 1.5/80	2400	130 混凝土	3.69E-9	20	1	0.02
5-7 调试区 DDL <sub>Z</sub> 2.5/40	3000	55.1 铁	2.72E-9	5.8	1	0.24
叠加剂量率						0.26
表 11-27 5-7 调试区与 5-8 调试区之间车间通道公众叠加剂量率计算						
源强加速器	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 $S$ (cm) <sup>①</sup>	$B_x$	$d$ (m)	T	剂量率贡献值 $H_M$ ( $\mu$ Sv/h)
5-7 调试区 DDL <sub>Z</sub> 2.5/40	3000	55.1 铁	2.72E-9	15.2	1	0.04
5-8 调试区 DDL <sub>H</sub> 2.5/40	3000	53.3 铁	5.21E-9	12.0	1	0.11
叠加剂量率						0.15
表 11-28 5-7 调试区辐射工作人员叠加剂量率计算						
源强加速器	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽材料及厚 度 $S$ (cm) <sup>①</sup>	$B_x$	$d$ (m)	T	剂量率贡献值 $H_M$ ( $\mu$ Sv/h)
5-1 调试区 EP-DG <sub>LZ</sub> 0.5/70	147			25.6	1	5.69E-4
5-2 调试区 DDL <sub>Z</sub> 1.0/60	720			35.4	1	2.90E-4
5-3 调试区 DL120/600	1260			17.8	1	0.001
5-4 调试区 DDL <sub>Z</sub> 0.8/60	468			10.4	1	0.003
5-5 调试区 DDL <sub>Z</sub> 1.0/80	960			34.0	1	3.14E-4
5-6 调试区 DDL <sub>Z</sub> 1.5/80	2400			20.8	1	0.020
5-7 调试区 DDL <sub>Z</sub> 2.5/40	3000			2	1	2.04
5-8 调试区 DDL <sub>H</sub> 2.5/40	3000			27.2	1	0.021
叠加剂量率						2.08

注：同一调试区内每次最多有 1 台加速器在出束调试。

由表 11-24 至表 11-27 可知，当本项目各调试区同时进行加速器调试工作时，周围公众可达处最大剂量率为 0.26 $\mu$ Sv/h，辐射工作人员工作场所最大剂量率为 2.08 $\mu$ Sv/h，以上结果均满足加速器屏蔽体外剂量率不超过 2.5 $\mu$ Sv/h 的要求。同时，根据叠加剂量率计算结果，结合加速器出束调试时间及周围人员居留情况，对辐射工作人员及周围公众年有效剂量进行计算，结果见表 11-29。

表 11-29 辐射工作人员及公众叠加年有效剂量计算

关注点位置	辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	年出束时间* (h)	保护目标	居留因子	年有效剂量(mSv/a)	剂量约束值(mSv/a)	结论
5-7 调试区	2.08	960	工作人员	1	2.00	5	满足
5-7 调试区南侧车间通道	0.26		公众	1/4	0.064	0.1	满足

\*：调试区各型号加速器年调试总时间各不相同，保守计算考虑，全部按最长调试时间 960h 计算。

由表 11-28 计算结果分析知，考虑极端保守情况：即各调试区加速器全部同时出束调试、且调试时间均按 960h/年计算，本项目辐射工作人员年叠加年有效剂量最高为 2.00mSv，周围公众人员可达处叠加年有效剂量不超过 0.064mSv。

综合表 11-24、表 11-29 计算分析结果可知，本项目辐射工作人员及周围公众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（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

### 三、非辐射环境影响分析

本项目运行过程中没有放射性废水、废气及放射性固体废物产生。工作人员产生的普通生活污水，由厂内污水处理设施统一处理后接入市政污水管网。工作人员产生的一般生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

电子加速器工作时产生的电子线、X 射线电离空气会产生臭氧和氮氧化物等有害气体。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，臭氧的毒性最高，且辐照场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高，因此本项目主要考虑臭氧的产生及其处理方式。

#### 1、通风系统设置

本项目 DL150/10、DL120/600、DBLad-200 型加速器为低能自屏蔽设备，此 3 种加速器不设专用排风系统，加速器辐照室的臭氧通过货物口自然扩散到设备外；本项目其余 15 种加速器均设计有专用通风系统，辐照室内的臭氧通过专用通风管道排出辐

照室。臭氧通过排风管道向上延伸至调试车间顶棚下方，汇总后由一根排风管道经一台 15000m<sup>3</sup>/h 的排风机从调试车间屋顶排入大气，排风口高出调试车间屋顶 1.5m。

## 2、臭氧的产生及其防护

### 2.1 计算模式

臭氧的产生及其防理论估算模式参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 附录 B 相关公式。

#### 2.1.1 臭氧的产生

平行电子束所致臭氧的产生率可以用以下公式进行保守的估算：

$$P = 45dIG \cdots \cdots \text{公式 11-7}$$

式中： $P$ —单位时间电子束产生臭氧的质量 (mg/h)；

$I$ —电子束流强度 (mA)；

$d$ —电子在空气中的行程 (cm)，应结合电子在空气中的线阻止本领  $s=2.5\text{keV/cm}$  和辐照室尺寸选取；

$G$ —空气吸收 100keV 辐射能量产生的臭氧分子数，保守值可取为 10。

#### 2.1.2 辐照室臭氧的平衡浓度

在电子加速器正常运行期间，臭氧不断产生，辐照室空气中臭氧的平衡浓度随辐照时间  $t$  的变化为：

$$C(t) = \frac{PT_e}{V} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) \cdots \cdots \text{公式 11-8}$$

式中： $C(t)$ —辐照室空气中在  $t$  时刻臭氧的浓度 (mg/m<sup>3</sup>)；

$P$ —单位时间电子束产生臭氧的质量 (mg/h)；

$T_e$ —对臭氧的有效清除时间 (h)；

$$T_e = \frac{T_V \times T_d}{T_V + T_d} \cdots \cdots \text{公式 11-9}$$

式中： $T_V$ —辐照室换气一次所需时间 (h)；

$T_d$ —臭氧的有效化学分解时间 (h)，约为 50 分钟。

当长时间辐照时， $T_V \ll T_d$ ，因而  $T_e \approx T_V$ 。当长时间辐照时，辐照室内臭氧平衡浓度为：

$$C_S = \frac{PT_e}{V} \cdots \cdots \text{公式 11-10}$$

式中： $C_S$ —辐照室内臭氧平衡浓度 (mg/m<sup>3</sup>)；

$T_e$ —对臭氧的有效清除时间 (h)；

$V$ —辐照室的体积 ( $m^3$ )。

### 2.1.3 臭氧的排放

电子加速器长期正常运行期间，不考虑排风机的排风能力，电子加速器停机时，辐照室内臭氧浓度远高于 GBZ 2.1-2019 所规定的工作场所最高容许浓度 ( $0.3mg/m^3$ )。因此，当电子加速器停止运行后，人员不能直接进入辐照室，风机必须继续运行，关闭加速器后风机运行的持续时间公式为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_S} \dots\dots\dots \text{公式 11-11}$$

式中： $C_0$ —GBZ 2.1 所规定的臭氧的最高容许浓度， $0.3mg/m^3$ ；

$T$ —为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间 (h)。

## 2.2 计算结果

### 2.2.1 EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型工业电子加速器

EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型工业电子加速器为自屏蔽设备，电子束最大能量 0.5MeV，最大束流强度 70mA，电子束最大射程 15cm，辐照室容积为  $1.22m^3$ ，设计排风速率为  $2400m^3/h$ 。

将以上参数代入以上公式 11-7 至 11-10 得出，本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度  $C_S$  如下表所示：

表 11-29 本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度

参 数	数 据
$d$ (cm)	
$I$ (mA)	
$G$	
$P$ (mg/h)	
$V$ ( $m^3$ )	
排风速率 ( $m^3/h$ )	
$T_e$ (h)	
$C_S$ ( $mg/m^3$ )	

由表 11-29 计算结果可知，EP-DG<sub>LZ</sub>0.5/70 型电子加速器辐照室臭氧平衡浓度为  $196.8mg/m^3$ ，将该结果带入公式 11-11 可得加速器停机后排风系统需继续运行时间见表 11-30。

表 11-30 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参 数	数 据
$T_e$ (h)	5.08E-04
$C_0$ (mg/m <sup>3</sup> )	0.3
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	196.8
$T$ (min)	0.2

由公式 11-11 及以上参数计算得出，本项目电子加速器停止工作后，排风机以通风速率不低于 2400m<sup>3</sup>/h 继续工作，通过约 0.2min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度 (0.3mg/m<sup>3</sup>)。为安全起见，本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置，加速器停机后通风系统将连续排风 1min。

### 2.2.2 EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型工业电子加速器

EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型工业电子加速器为自屏蔽设备，电子束最大能量 0.5MeV，最大束流强度 70mA，电子束最大射程 15cm，辐照室容积为 0.58m<sup>3</sup>，设计排风速率为 2400m<sup>3</sup>/h。

将以上参数代入以上公式 11-7 至 11-10 得出，本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度  $C_S$  如下表所示：

表 11-31 本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度

参 数	数 据
$d$ (cm)	
$I$ (mA)	
$G$	
$P$ (mg/h)	
$V$ (m <sup>3</sup> )	
排风速率 (m <sup>3</sup> /h)	
$T_e$ (h)	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	

由表 11-31 计算结果可知，EP-DG<sub>wz</sub>0.5/70 型电子加速器辐照室臭氧平衡浓度为 196.8mg/m<sup>3</sup>，将该结果带入公式 11-11 可得加速器停机后排风系统需继续运行时间见表

11-32。

表 11-32 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参 数	数 据
$T_e$ (h)	
$C_0$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$T$ (min)	

由公式 11-11 及以上参数计算得出，本项目电子加速器停止工作后，排风机以通风速率不低于 2400m<sup>3</sup>/h 继续工作，通过约 0.1min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度（0.3mg/m<sup>3</sup>）。为安全起见，本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置，加速器停机后通风系统将连续排风 1min。

### 2.2.3 DD<sub>LZ</sub>0.8/60 型工业电子加速器

DD<sub>LZ</sub>0.8/60 型工业电子加速器为自屏蔽设备，电子束最大能量 0.8MeV，最大束流强度 60mA，电子束最大射程 15cm，辐照室容积为 7.04m<sup>3</sup>，设计排风速率为 3600m<sup>3</sup>/h。

将以上参数代入以上公式 11-7 至 11-10 得出，本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度  $C_S$  如下表所示：

表 11-33 本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度

参 数	数 据
$d$ (cm)	
$I$ (mA)	
$G$	
$P$ (mg/h)	
$V$ (m <sup>3</sup> )	
排风速率 (m <sup>3</sup> /h)	
$T_e$ (h)	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	

由表 11-33 计算结果可知，DD<sub>LZ</sub>0.8/60 型电子加速器辐照室臭氧平衡浓度为 112.2mg/m<sup>3</sup>，将该结果带入公式 11-11 可得加速器停机后排风系统需继续运行时间见表

11-34。

表 11-34 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参 数	数 据
$T_e$ (h)	
$C_0$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$T$ (min)	

由公式 11-11 及以上参数计算得出，本项目电子加速器停止工作后，排风机以通风速率不低于 2400m<sup>3</sup>/h 继续工作，通过约 0.7min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度（0.3mg/m<sup>3</sup>）。为安全起见，本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置，加速器停机后通风系统将连续排风 1min。

#### 2.2.4 DD<sub>LZ</sub>1.0/60 型工业电子加速器

DD<sub>LZ</sub>1.0/60 型工业电子加速器为自屏蔽设备，电子束最大能量 1.0MeV，最大束流强度 60mA，电子束最大射程 15cm，辐照室容积为 4.11m<sup>3</sup>，设计排风速率为 2400m<sup>3</sup>/h。

将以上参数代入以上公式 11-7 至 11-10 得出，本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度  $C_S$  如下表：

表 11-35 本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度

参 数	数 据
$d$ (cm)	
$I$ (mA)	
$G$	
$P$ (mg/h)	
$V$ (m <sup>3</sup> )	
排风速率 (m <sup>3</sup> /h)	
$T_e$ (h)	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	

由表 11-35 计算结果可知，DD<sub>LZ</sub>1.0/60 型电子加速器辐照室臭氧平衡浓度为 168.4mg/m<sup>3</sup>，将该结果带入公式 11-11 可得加速器停机后排风系统需继续运行时间见表

11-36。

表 11-36 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参 数	数 据
$T_e$ (h)	
$C_0$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$T$ (min)	0.65

由公式 11-11 及以上参数计算得出，本项目电子加速器停止工作后，排风机以通风速率不低于 2400m<sup>3</sup>/h 继续工作，通过约 0.65min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度（0.3mg/m<sup>3</sup>）。为安全起见，本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置，加速器停机后通风系统将连续排风 1min。

### 2.2.5 DD<sub>LZ</sub>1.0/80 型工业电子加速器

DD<sub>LZ</sub>1.0/80 型工业电子加速器为自屏蔽设备，电子束最大能量 1.0MeV，最大束流强度 80mA，电子束最大射程 15cm，辐照室容积为 4.11m<sup>3</sup>，设计排风速率为 2400m<sup>3</sup>/h。

将以上参数代入以上公式 11-7 至 11-10 得出，本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度  $C_S$  如下表：

表 11-37 本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度

参 数	数 据
$d$ (cm)	15
$I$ (mA)	
$G$	
$P$ (mg/h)	
$V$ (m <sup>3</sup> )	
排风速率 (m <sup>3</sup> /h)	
$T_e$ (h)	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	

由表 11-37 计算结果可知，DD<sub>LZ</sub>1.0/80 型电子加速器辐照室臭氧平衡浓度为 149.6mg/m<sup>3</sup>，将该结果带入公式 11-11 可得加速器停机后排风系统需继续运行时间见表

11-38。

表 11-38 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参 数	数 据
$T_e$ (h)	
$C_0$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$T$ (min)	

由公式 11-11 及以上参数计算得出，本项目电子加速器停止工作后，排风机以通风速率不低于 3600m<sup>3</sup>/h 继续工作，通过约 0.86min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度（0.3mg/m<sup>3</sup>）。为安全起见，本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置，加速器停机后通风系统将连续排风 1min。

### 2.2.6 DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型工业电子加速器

DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型工业电子加速器为自屏蔽设备，电子束最大能量 1.5MeV，最大束流强度 80mA，电子束最大射程 15cm，辐照室容积为 20m<sup>3</sup>，设计排风速率为 3600m<sup>3</sup>/h。

将以上参数代入以上公式 11-7 至 11-10 得出，本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度  $C_S$  如下表：

表 11-39 本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度

参 数	数 据
$d$ (cm)	
$I$ (mA)	
$G$	
$P$ (mg/h)	
$V$ (m <sup>3</sup> )	
排风速率 (m <sup>3</sup> /h)	
$T_e$ (h)	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	

由表 11-39 计算结果可知，DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型电子加速器辐照室臭氧平衡浓度为 149mg/m<sup>3</sup>，将该结果带入公式 11-11 可得加速器停机后排风系统需继续运行时间见表

11-40。

表 11-40 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参 数	数 据
$T_e$ (h)	
$C_0$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$T$ (min)	

由公式 11-11 及以上参数计算得出，本项目电子加速器停止工作后，排风机以通风速率不低于 3600m<sup>3</sup>/h 继续工作，通过约 2.1min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度（0.3mg/m<sup>3</sup>）。为安全起见，本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置，加速器停机后通风系统将连续排风 3min。

### 2.2.7 DD<sub>LZ</sub>2.5/40 型工业电子加速器

DD<sub>LZ</sub>2.5/40 型工业电子加速器为自屏蔽设备，电子束最大能量 2.5MeV，最大束流强度 40mA，电子束最大射程 15cm，辐照室容积为 20m<sup>3</sup>，设计排风速率为 3600m<sup>3</sup>/h。

将以上参数代入以上公式 11-7 至 11-10 得出，本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度  $C_S$  如下表：

表 11-41 本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度

参 数	数 据
$d$ (cm)	
$I$ (mA)	
$G$	
$P$ (mg/h)	
$V$ (m <sup>3</sup> )	
排风速率 (m <sup>3</sup> /h)	
$T_e$ (h)	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	

由表 11-41 计算结果可知，DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型电子加速器辐照室臭氧平衡浓度为 74.2mg/m<sup>3</sup>，将该结果带入公式 11-11 可得加速器停机后排风系统需继续运行时间见表 11-42。

表 11-42 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参 数	数 据
$T_e$ (h)	
$C_0$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$T$ (min)	

由公式 11-11 及以上参数计算得出, 本项目电子加速器停止工作后, 排风机以通风速率不低于 3600m<sup>3</sup>/h 继续工作, 通过约 2.9min 的通风排气, 辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度 (0.3mg/m<sup>3</sup>)。为安全起见, 本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置, 加速器停机后通风系统将连续排风 3min。

### 2.2.8 DD<sub>LH</sub>0.8/60、DD<sub>LH</sub>1.0/60 型、DD<sub>LH</sub>1.5/60 型、DD<sub>LH</sub>2.0/60 型工业电子加速器

DD<sub>LH</sub>0.8/60、DD<sub>LH</sub>1.0/60 型、DD<sub>LH</sub>1.5/60 型、DD<sub>LH</sub>2.0/60 型工业电子加速器为半自屏蔽设备, 电子束最大能量 0.8MeV、1.0MeV、1.5MeV、2.0MeV, 最大束流强度 60mA, 电子束最大射程 15cm, 辐照室容积为 11.2m<sup>3</sup>, 设计排风速率为 3600m<sup>3</sup>/h。

将以上参数代入以上公式 11-7 至 11-10 得出, 本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度  $C_S$  如下表:

表 11-43 DD<sub>LH</sub>0.8/60、DD<sub>LH</sub>1.0/60 型、DD<sub>LH</sub>1.5/60 型、DD<sub>LH</sub>2.0/60 型加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度

参 数	数 据
$d$ (cm)	
$I$ (mA)	
$G$	
$P$ (mg/h)	
$V$ (m <sup>3</sup> )	
排风速率 (m <sup>3</sup> /h)	
$T_e$ (h)	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	

由表 11-43 计算结果可知, DD<sub>LH</sub>0.8/60、DD<sub>LH</sub>1.0/60 型、DD<sub>LH</sub>1.5/60 型、DD<sub>LH</sub>2.0/60 型电子加速器辐照室臭氧平衡浓度为 112.1mg/m<sup>3</sup>, 将该结果带入公式 11-11 可得加速器停机后排风系统需继续运行时间见表 11-44。

表 11-44 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参 数	数 据
$T_e$ (h)	
$C_0$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$T$ (min)	

由公式 11-11 及以上参数计算得出, DD<sub>LH</sub>0.8/60、DD<sub>LH</sub>1.0/60 型、DD<sub>LH</sub>1.5/60 型、DD<sub>LH</sub>2.0/60 型电子加速器停止工作后, 排风机以通风速率不低于 3600m<sup>3</sup>/h 继续工作, 通过约 1.1min 的通风排气, 辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度 (0.3mg/m<sup>3</sup>)。为安全起见, 本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置, 加速器停机后通风系统将连续排风 3min。

### 2.2.9 DD<sub>LH</sub>1.0/80 型、DD<sub>LH</sub>1.5/80 型工业电子加速器

DD<sub>LH</sub>1.0/80 型、DD<sub>LH</sub>1.5/80 型工业电子加速器为半自屏蔽设备, 电子束最大能量 1.0MeV、1.5MeV, 最大束流强度 80mA, 电子束最大射程 15cm, 辐照室容积为 11.2m<sup>3</sup>, 设计排风速率为 3600m<sup>3</sup>/h。

将以上参数代入以上公式 11-7 至 11-10 得出, 本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度  $C_S$  如下表:

表 11-45 本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度

参 数	数 据
$d$ (cm)	
$I$ (mA)	
$G$	
$P$ (mg/h)	
$V$ (m <sup>3</sup> )	
排风速率 (m <sup>3</sup> /h)	
$T_e$ (h)	

$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	149
----------------------------	-----

由表 11-45 计算结果可知，DD<sub>LZ</sub>1.5/80 型电子加速器辐照室臭氧平衡浓度为 112.1mg/m<sup>3</sup>，将该结果带入公式 11-11 可得加速器停机后排风系统需继续运行时间见表 11-46。

表 11-46 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参 数	数 据
$T_e$ (h)	
$C_0$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$T$ (min)	

由公式 11-11 及以上参数计算得出，DD<sub>LH</sub>1.0/80 型、DD<sub>LH</sub>1.5/80 型电子加速器停止工作后，排风机以通风速率不低于 3600m<sup>3</sup>/h 继续工作，通过约 1.2min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度（0.3mg/m<sup>3</sup>）。为安全起见，本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置，加速器停机后通风系统将连续排风 3min。

### 2.2.10 DD<sub>LH</sub>2.0/50 型工业电子加速器

DD<sub>LH</sub>2.0/50 型工业电子加速器为半自屏蔽设备，电子束最大能量 2.0MeV，最大束流强度 50mA，电子束最大射程 15cm，辐照室容积为 11.2m<sup>3</sup>，设计排风速率为 3600m<sup>3</sup>/h。

将以上参数代入以上公式 11-7 至 11-10 得出，本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度  $C_S$  如下表：

表 11-47 本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度

参 数	数 据
$d$ (cm)	
$I$ (mA)	
$G$	
$P$ (mg/h)	
$V$ (m <sup>3</sup> )	
排风速率 (m <sup>3</sup> /h)	
$T_e$ (h)	

$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	
----------------------------	--

由表 11-47 计算结果可知，DD<sub>LH</sub>2.0/50 型电子加速器辐照室臭氧平衡浓度为 93.4mg/m<sup>3</sup>，将该结果带入公式 11-11 可得加速器停机后排风系统需继续运行时间见表 11-39。

表 11-48 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参 数	数 据
$T_e$ (h)	
$C_0$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$T$ (min)	

由公式 11-11 及以上参数计算得出，DD<sub>LH</sub>2.0/50 型电子加速器停止工作后，排风机以通风速率不低于 3600m<sup>3</sup>/h 继续工作，通过约 1.2min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度 (0.3mg/m<sup>3</sup>)。为安全起见，本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置，加速器停机后通风系统将连续排风 3min。

### 2.2.11 DD<sub>LH</sub>2.5/40 型工业电子加速器

DD<sub>LH</sub>2.5/40 型工业电子加速器为半自屏蔽设备，电子束最大能量 2.5MeV，最大束流强度 40mA，电子束最大射程 15cm，辐照室容积为 11.2m<sup>3</sup>，设计排风速率为 3600m<sup>3</sup>/h。

将以上参数代入以上公式 11-7 至 11-10 得出，本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度  $C_S$  如下表：

表 11-49 本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度

参 数	数 据
$d$ (cm)	
$I$ (mA)	
$G$	
$P$ (mg/h)	
$V$ (m <sup>3</sup> )	
排风速率 (m <sup>3</sup> /h)	
$T_e$ (h)	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	

由表 11-49 计算结果可知，DD<sub>LH</sub>2.5/40 型电子加速器辐照室臭氧平衡浓度为 74.7mg/m<sup>3</sup>，将该结果带入公式 11-11 可得加速器停机后排风系统需继续运行时间见表 11-50。

表 11-50 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参 数	数 据
$T_e$ (h)	
$C_0$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	
$T$ (min)	

由公式 11-11 及以上参数计算得出，DD<sub>LH</sub>2.5/40 型电子加速器停止工作后，排风机以通风速率不低于 3600m<sup>3</sup>/h 继续工作，通过约 1.0min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度（0.3mg/m<sup>3</sup>）。为安全起见，本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置，加速器停机后通风系统将连续排风 3min。

表 11-51 臭氧平衡浓度及继续排风时间汇总表

加速器型号	臭氧平衡浓度	排风速率	需继续排风时间	排风联锁设定时间	调试场所
EP-DG <sub>LZ</sub> 0.5/70	196.8mg/m <sup>3</sup>	2400m <sup>3</sup> /h	0.2min	1min	5-1 调试区
EP-DG <sub>WZ</sub> 0.5/70	196.8mg/m <sup>3</sup>	2400m <sup>3</sup> /h	0.1min	1min	
DD <sub>LZ</sub> 0.8/60	112.2mg/m <sup>3</sup>	3600m <sup>3</sup> /h	0.7min	1min	5-4 调试区
DD <sub>LZ</sub> 1.0/60	168.4mg/m <sup>3</sup>	2400m <sup>3</sup> /h	0.65min	1min	5-2 调试区
DD <sub>LZ</sub> 1.0/80	149.6mg/m <sup>3</sup>	3600m <sup>3</sup> /h	0.86min	1min	5-5 调试区
DD <sub>LZ</sub> 1.5/80	149mg/m <sup>3</sup>	3600m <sup>3</sup> /h	2.1min	3min	5-5 调试区
DD <sub>LZ</sub> 2.5/40	74.2mg/m <sup>3</sup>	3600m <sup>3</sup> /h	2.9min	3min	5-7 调试区
DD <sub>LH</sub> 0.8/60、 DD <sub>LH</sub> 1.0/80、 DD <sub>LH</sub> 1.5/60、 DD <sub>LH</sub> 2.0/60	112.1mg/m <sup>3</sup>	3600m <sup>3</sup> /h	1.1min	3min	5-8 调试区
DD <sub>LH</sub> 1.0/80、 DD <sub>LH</sub> 1.5/80	149mg/m <sup>3</sup>		1.2min	3min	
DD <sub>LH</sub> 2.5/40	74.7mg/m <sup>3</sup>		1.0min	3min	

本项目设置的臭氧排风口位于调试车间屋顶，车间屋顶高度为 23.9m，排风口高于

车间楼顶 1.5m，排风速率为 15000m<sup>3</sup>/h，当各调试区同时进行加速器调试工作时，臭氧最大排放速率为 2.69kg/h。使用 AERSCREEN 模型结合以上参数，计算本项目臭氧排放最大落地浓度。排气筒等效内径 0.4m，温度为常温，场址周边地形简单，在不利气象条件下（小静风，≤0.5m/s），且不考虑臭氧自然分解，经预测计算，臭氧最大落地浓度为 126.98μg/m<sup>3</sup>，满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中臭氧二级标准的浓度限值要求，即 1 小时平均浓度不大于 200μg/m<sup>3</sup>。

臭氧在常温下约 50min 可自行分解为氧气，本项目臭氧通过高空排放，使其比较容易扩散；且本项目加速器只在调试期间出束，单次持续出束时间不超过 8h，与辐照加工使用期间的连续运行模式有明显区别；本项目投入运行后，8 个调试区极少出现同时有加速器在出束调试的情况。因此综合以上因素，本项目臭氧实际排放浓度还将进一步降低。

本项目 5-8 调试区南北两侧为已环评的加速器调试屏蔽体，即使考虑其臭氧排放的叠加影响，生产车间四面为厂内道路及空地，无人员驻留；项目拟建址周边无居民小区、学校等敏感建筑；对周围环境影响较小。

氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，对环境影响较小。

## 事故影响分析

电子加速器只有在开机曝光时才产生 X 射线，因此，X 射线辐照事故多为开机误照射事故，主要有：

(1) 由于安全联锁装置失灵，电子加速器开机辐照时，人员误入机房造成意外照射；

(2) 加速器在调试或检修过程中，责任者脱离岗位（操作人员未按要求全程陪同检维修人员或检维修结束后不进行巡视等），不注意防护或他人误开机（管理不当使非加速器操作人员进入控制室误开机，或交接班信息传达不到位，下一班工作人员不知道检维修的情况等）使滞留机房内的检维修人员受到照射；

(3) 连锁装置失效，加速器故障、异常运行时不能发出警告信号、无法自动停机，此时人员进入机房内造成大剂量照射事故。

为防止事故的发生，公司在购置设备时要注意安全联锁设施的可靠性与稳定性的设计水平。使用过程中要经常定期检查和维持联锁系统及安全保障系统，加速器操作人员应严格按照操作规程进行运行操作，每次开机前必须要确认机房内无人员时，才能进行开机运行。

针对以上可能发生的事故风险，公司应制定完善的辐射安全管理制度并严格落实，防范事故的发生；完善辐射事故应急方案，依照《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》（原国家环保总局，环发[2006]145号）和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要应急措施，在事故发生后1小时之内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的还应当同时向卫生部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地人民政府生态环境主管部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康部门报告。

表 12 辐射安全管理

### 辐射安全与环境保护管理机构的设置

中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业电子加速器项目涉及 17 种不同型号加速器的生产、销售、使用以及 1 台加速器的使用，工业电子加速器属 II 类射线装置。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》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。

中广核加速器技术（苏州）有限公司拟成立辐射防护管理小组，并以文件形式明确管理人员职责。公司应根据本次生产、销售、使用工业辐照加速器项目制定相关文件，明确公司相关辐射项目的管理人员及其职责。公司拟为本项目配备 44 名辐射工作人员，其中 20 人为原有辐射工作人员，本次新增 22 名辐射工作人员。从事辐射工作的人员均应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目拟配置的辐射工作人员及辐射防护负责人须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核。

### 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用射线装置的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。中广核加速器技术（苏州）有限公司应根据以上要求制定相关辐射安全管理制度，现对各项制度提出相应的建议和要求：

**辐射防护和安全保卫制度：**根据公司的具体情况完善制定辐射防护和保卫制度，重点是电子加速器的运行和维修时辐射安全管理。

**操作规程：**明确辐射工作人员的资质条件要求、电子加速器操作流程和检维修工作流程，及相应操作过程中应采取的具体防护措施、安全措施，重点是明确电子加速器操作步骤以及辐照过程中必须采取的辐射安全措施。

**设备维护检修制度：**明确电子加速器和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，定期巡视检查（检验）每台加速器的主要安全设备（急停按钮、门机联锁、警示标志、工作状态指示灯等），保持辐照装置主要安全设备的有效性和稳定性。按照 HJ 979-2018 中相关要求，设备维护检修制度中应明确：

#### 1) 日检查

电子加速器辐照装置上的常用安全设备应每天进行检查，发现异常情况时必须及时修复。常规日检查项目应至少包括以下内容：

- ①工作状态指示灯、报警灯和应急照明灯；
- ②辐照装置安全联锁控制显示状况；
- ③个人剂量报警仪和便携式辐射监测仪器工作状况。

#### 2) 月检查

电子加速器辐照装置上的重要安全设备或安全程序应每月定期进行检查，发现异常情况时必须及时修复或改正。月检查项目至少应包括：

- ①辐照室内固定式辐射监测仪设备运行状况；
- ②控制台及其他所有紧急停止按钮；
- ③通风系统的有效性；
- ④验证安全联锁功能的有效性；
- ⑤烟雾报警器功能正常。

#### 3) 半年检查

电子加速器辐照装置的安全状况应每 6 个月定期进行检查，发现异常情况时必须及时采取改正措施。其检查范围至少应包括：

- ①配合年检修的检测；
- ②全部安全设备和控制系统运行状况。

#### 4) 记录

辐照装置营运单位必须建立严格的运行及维修维护记录制度，运行及维修维护期间应按规定完成运行日志的记录，记录与装置有关的重要活动事项并保存日志档案。记录

事项一般不少于下列内容：

- ①运行工况；
- ②辐照产品的情况；
- ③发生的故障及排除方法；
- ④外来人员进入控制区情况；
- ⑤个人剂量计佩戴情况；
- ⑥个人剂量、工作场所和周边环境的辐射监测结果；
- ⑦检查及维修维护的内容与结果；
- ⑧其它。

**岗位职责：**明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位职责，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

**人员培训计划和健康管理制：**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 号令及《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，辐射工作人员及辐射防护负责人均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。辐射工作人员应定期参加职业健康体检（不少于 1 次/2 年，包括岗前体检、在岗体检及离岗前体检），并为其建立辐射工作人员职业健康监护档案。

**使用登记制度：**公司应建立电子加速器使用登记制度，规范电子加速器的台账管理。严格按照记录表内容进行登记，使所有工作人员的操作记录有据可查。

**监测方案：**公司应制定完善的监测方案，明确监测点位、监测项目和频次，购置相应监测仪器（应至少购置 2 台个人剂量报警仪）并定期送检、校准，其能量响应范围应满足本项目监测需要，并按监测方案对核技术应用场所及周围辐射水平进行监测，同时做好记录分析工作，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保射线装置的辐射安全，该公司应制定监测方案，重点是：

- ①明确监测项目和频次；

②辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生部门调查处理；

③对发生辐射事故处理进行全程监测；

④公司应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测,发现异常情况的,应当立即采取措施,并在一小时内向县(市、区)或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

⑤委托有资质监测单位对本公司的射线装置的安全和防护状况进行年度检测,每年1月31日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统,年度评估发现安全隐患的,应当立即整改。

## 辐射监测

中广核加速器技术(苏州)有限公司应按相关要求对本项目开展辐射监测。中广核加速器技术(苏州)有限公司应至少配备1台辐射巡测仪,并为本项目配备44台个人剂量报警仪用于辐射防护监测和报警。同时结合本项目实际情况,拟完善如下监测计划:

- 1) 委托有资质的单位定期对项目周围环境 X- $\gamma$ 辐射剂量率进行监测,周期:1~2次/年;
- 2) 辐射工作人员开展个人剂量监测(1次/季度),建立个人剂量档案;
- 3) 定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检,并保留自检记录。

## 辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定,建立辐射事故应急方案,辐射事故应急方案应明确以下几个方面:

- ①应急机构和职责分工;
- ②应急的具体人员和联系电话;
- ③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;
- ④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施;
- ⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在公司定期监测或委托监测时发现异常情况的,应根据《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》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求,在1小时之内向所在地生态环境和公安部门报告,造成或者可能造成人员超剂量照射的还应当同时向卫生健康部门报告。在发生辐射事故时,事故单位应当立即启动本单位的

辐射事故应急预案，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》，向当地人民政府生态环境主管部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康部门报告。

表 13 结论与建议

## 结论

### 一、实践正当性

中广核加速器技术（苏州）有限公司拟在公司一期厂区调试车间内新增 7 个加速器调试区（分别为 5-2 至 5-8 调试区）、在机加工车间（3#厂房）二楼新增 3-1 调试区，进行 17 种不同型号工业电子加速器的生产、销售、使用；拟在机加工车间（3#厂房）二楼实验新增 1 台工业电子加速器，用于研发使用。该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）辐射防护“实践正当性”原则。

对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》、《江苏省工业和信息产业结构调整指导目录（2012 年本）》（2013 年修订），本项目不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家和江苏省现行的产业政策。

### 二、选址合理性

中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照加速器项目拟建址位于苏州市吴江区中鲈国际物流科技园中广核加速器技术（苏州）有限公司调试车间、机加工车间内。中广核加速器技术（苏州）有限公司东侧、南侧均为空地，西侧为空地及欧盛大道，北侧为公路及铁枪河。调试车间为地上一层建筑，其东侧、南侧为厂区道路及厂外空地，西侧为厂区道路及总装车间，北侧为厂区道路及加速管车间、成品仓库；机加工车间为地上二层建筑，其东侧为厂区道路及成品仓库，南侧为厂区道路及总装车间，西侧为厂区道路及厂外空地，北侧为厂区道路及厂外公路。

5-2 至 5-7 调试区集中位于车间中部，其东侧、南侧为车间通道，西侧为多功能扩展区，北侧为车间通道，上方无其他建筑，下方为土层；5-8 调试区位于调试车间东侧，其东侧为车间墙壁，南侧为 1#调试屏蔽体（已环评），西侧为车间通道，北侧为探伤屏蔽室（已环评），上方无其他建筑，下方为土层。机加工车间二楼实验室东侧为生产车间，南侧为废旧仪器设备暂存室，西侧为车间外临空，北侧为排烟机房、集气室，楼上无其他建筑，楼下为待检区。3-1 调试区东侧为备用车间，南侧为生产车间，西侧为卫生间，北侧为车间外部临空，楼上无其他建筑，楼下为机加工车间及办公室。

本项目调试车间 5-1 调试区周围 50m 范围均位于公司厂区范围内；5-2 至 5-7 调试区周围 50m 范围东侧至、南侧至厂外空地，西侧、北侧位于公司厂区范围；5-8 调

试区周围 50m 范围东侧、南侧至厂外空地，西侧、北侧位于公司厂区范围；机加工车间二楼实验室周围 50m 范围东侧、南侧位于公司范围内，西侧、北侧至厂外空地。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将自屏蔽加速器的屏蔽体内部划为控制区、将半自屏蔽加速器的屏蔽机房内及设备平台上设备放置区划为控制区，加速器束期间任何人不得进入控制区，并在自屏蔽设备上、半自屏蔽机房门上等处设置电离辐射警告标志及中文警示说明等；拟将调试区、实验室内除控制区以外区域作为辐射防护监督区，监督区边界设置围栏并粘贴监督区标识、电离辐射警告标志，通往半自屏蔽加速器设备平台的楼梯口设置隔离门并上锁，电子加速器开机工作过程中，除辐射工作人员外，其他人员限制进入。项目工作场所分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

本项目选址及布局基本合理。

### 三、辐射环境现状评价

中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照电子加速器项目拟建址及其周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率为  $81\text{nGy/h}\sim 88\text{nGy/h}$ ，位于江苏省环境天然 $\gamma$ 辐射剂量率水平涨落区间，属江苏省环境天然 $\gamma$ 辐射剂量率本底水平。

### 四、环境影响评价

根据理论估算结果，中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照加速器项目在做好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  $5\text{mSv}$ ，公众年有效剂量不超过  $0.1\text{mSv}$ ）。

本项目运行过程中没有放射性废水、废气及放射性固体废物产生。工作人员产生的普通生活污水，由厂内污水处理设施统一处理后接入市政管网。工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

本项目工业电子加速器辐照室内的空气在辐射照射下会产生臭氧和氮氧化物等有害气体，臭氧通过排风系统从厂房屋顶排入大气，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小；氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，对环境影响较小。

### 五、辐射安全措施评价

本项目加速器拟设置相应的辐射安全装置和保护措施，主要包括：钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、剂量

联锁、通风联锁、烟雾报警等。本项目拟设置的辐射安全装置和保护措施符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中相关要求，项目设计安全可行；落实以上措施后，能够满足辐射安全的要求。

## 六、辐射安全管理评价

中广核加速器技术（苏州）有限公司拟成立辐射安全管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确其管理职责。公司应根据本次扩建项目对各管理制度进行补充和完善，将本项目纳入全公司辐射安全管理范围内。

中广核加速器技术（苏州）有限公司需为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。中广核加速器技术（苏州）有限公司应至少配备 1 台辐射巡测仪，公司拟为本项目配备个人剂量报警仪 44 台。

综上所述，中广核加速器技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业辐照加速器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，该公司将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求。从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

## 建议和承诺

1、该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

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

3、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

4、公司在取得本项目环评批复，且具备辐射安全许可证申请条件后，应及时申请辐射安全许可证，并按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）第十二条“除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。”的规定时限要求开展竣工环境保护验收工作。

## 辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构,或配备不少于1名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。公司拟设立专门的辐射安全与环境保护管理机构,并以文件形式明确管理人员职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施:本项目加速器均为自屏蔽、半自屏蔽设备,屏蔽体使用铅板、钢板、铁砂、混凝土等进行防护(详见表10-1)。	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。	275
	安全措施:本项目电子加速器拟设置相应的辐射安全装置和保护措施,主要包括:钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警等。	满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)的相关要求。	
	通风设施:本项目DL150/10、DL120/600、DBL-200型加速器臭氧自然通风排出,其余加速器臭氧通过排风系统从调试车间屋顶排出,排风系统设置联锁,加速器停机后将继续运行一段时间。	满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)的相关要求。	
人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核,考核合格后上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	5
	辐射工作人员随身佩戴个人剂量计,并定期送检(两次监测的时间间隔不应超过3个月),加强个人剂量监测,建立个人剂量档案。		
	辐射工作人员定期进行职业健康体检(不少于1次/2年),并建立辐射工作人员职业健康档案。		
监测仪器和防护用品	拟配备3台辐射巡测仪	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	4
	拟配备44台个人剂量报警仪。		
辐射安全管理制度	制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度:根据环评要求,按照项目的实际情况,补充相关内容,建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和	/

		防护管理办法》有关要求。	
总计	/	/	284

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

