

目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	8
表 3	非密封放射性物质	9
表 4	射线装置	10
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	14
表 8	环境质量和辐射现状	18
表 9	项目工程分析与源项	21
表 10	辐射安全与防护	26
表 11	环境影响分析.....	33
表 12	辐射安全管理	43
表 13	结论与建议	48
表 14	审 批	50

表 1 项目基本情况

建设项目名称		使用II类射线装置				
建设单位		北京真空电子技术研究所（中国电子科技集团公司第十二研究所）				
法人代表		张宏宇	联系人	■■■■■	联系电话	■■■■■
注册地址		北京市朝阳区酒仙桥路 13 号				
项目建设地点		北京市朝阳区酒仙桥路 13 号新 2 号楼一层中部				
立项审批部门		无		批准文号	无	
建设项目总投资（万元）		800	项目环保投资（万元）	100	投资比例（环保投资/总投资）	12.5%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积（m ² ）	5
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类			
		☐ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类			
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物			
		☐ 销售	/			
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙			
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类			
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类			
		☒ 使用	☒ II类 ☐ III类			
	其他					

1.1 单位概况

北京真空电子技术研究所（中国电子科技集团公司第十二研究所，简称“中电十二所”）始建于 1957 年，地处北京市中关村科技园电子城科技园区中心地区，占地 23 万平方米，是我国成立最早、规模最大、体系完备的以研制微波电真空器件为主的国家骨干研究所。现有职工 1000 余人，其中科技人员近 800 人。设立有完备的器件和基础研究室、机械加工厂和科研条件保障部门，是国务院首批有权授予博士学位的单位之一，拥有国内先进水平的微波测试分析系

统、精加工设备和精密测量设备，设有国家级大功率微波电真空器件技术重点实验室。

中电十二所主要设有军工研究室、国防重点实验室，以及各职能部门和保障部门。主要从事电真空器件的研制生产，产品包括行波管、磁控管、速调管、闸流管、开关管等，广泛用于通信、医疗、集装箱在线检测、工业无损探伤、电力开关柜等。与此同时，中电十二所人运用自身优势，大力开拓市场，在电子陶瓷、真空设备等领域取得了较好成效。

六十年来，中电十二所始终致力于在电真空领域不断探索和研究，已成为我国具有自行设计、自行研究、自主知识产权的门类齐全的微波电真空器件研制和生产单位，建所至今共取得科研成果 800 余项，其中获国家级科研成果奖 50 余项，获部级科研成果奖 170 余项。1999 年通过了 ISO9001 质量体系认证，2012 年完成了 GJB9001B-2009 换版认证，健全有效的质量体系确保了产品从设计、研制、生产、检验出所和售后服务全过程严格的质量控制。2012 年 12 月通过了职业健康安全管理体系认证。

中电十二所为已取得《辐射安全许可证》单位。

1.2 核技术利用及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状情况

中电十二所已取得了北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》（京环辐证[E0208]，有效期至 2028 年 2 月 27 日，见附件），许可的种类和范围是：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置。

中电十二所已许可使用的射线装置见表 1-1 所示。

表 1-1 中电十二所已许可的射线装置情况

序号	名称	类别（类）	数量（台）
1	X 射线荧光仪	Ⅲ	4
2	自屏蔽式 X 射线探伤装置（使用）	Ⅲ	2
3	粒子能量小于 100 兆电子伏的非医用加速器	Ⅱ	3
4	工业 X 射线 CT 机	Ⅱ	1
	合计		10

1.2.2 近几年履行环保审批情况

中电十二所近 5 年来非涉密的共有 2 个辐射项目环评报告表项目，其中 1 个已履行环保手续，详见表 1-2。

表 1-2 建设项目竣工验收落实情况

序号	环评批复文号	项目名称	类别	竣工验收文号	备注
1	京环审 [2019]155 号	使用Ⅱ类射线装置	报告表	/	2020 年已完成自行验收
2	京环审 [2024]104 号	使用 1 台Ⅱ类射线装置	报告表	/	项目正在建设中

1.2.3 辐射安全管理情况

1.2.3.1 辐射管理机构基本情况

为了加强辐射安全和防护管理工作，促进射线装置的安全使用，中电十二所专门成立了辐射防护领导小组，由法人代表担任组长，副所长担任副组长，各科室主要负责人担任组员，并指定安全环保办公室沈鹏专职负责辐射安全管理工作，辐射防护领导小组组员名单见表 1-3。

表 1-3 中电十二所辐射防护领导小组成员名单

职位	姓名	职务或职称	专业	工作部门	专/兼职
组长	张宏宇	法人代表	/	所办公室	兼职
副组长	杨定义	副所长	微波电子学	所办公室	兼职
成员	邵淑伟	主任	电子信息科学与技术	综合计划部	兼职
	王卫杰	主任	行政管理	行政保卫部	兼职
	李因	处长	人力资源	人力资源处	兼职
	刘正	处长	财务管理	财务处	兼职
	杨小萌	主任	其他部门工作人员	能力建设部	兼职
	王加松	副主任	物理电子技术	速调管及正交场器件部（1 部）	兼职
	万知之	副主任	其他部门工作人员	高功率器件部（2 部）	兼职
	邱立	主任	电真空器件研究	行波管器件部（3 部）	兼职
	张明	主任	电真空器件研究	开关器件部（4 部）	兼职
	于文杰	主任	电真空器件研究	空间器件部（5 部）	兼职

	于志强	副主任	电真空器件研究	通用陶瓷部（8部）	兼职
	蔡军	主任	电真空器件研究	预先研究部（10部）	兼职
	张珂	主任	阴极材料研究	阴极工程中心	兼职
	晁春辉	主任	/	科研条件保障部	兼职
	魏振华	主任	飞行器设计与工程	安全环保办公室	专职
	沈 鹏	工程师	机械设计制造及其自动化	安全环保办公室	专职
	梁振亚	工程师	计算机科学与技术	安全环保办公室	专职
	梁怡	工程师	/	安全环保办公室	专职

1.2.3.2 制定规章制度及落实情况

中电十二所结合单位实际情况，已制定一套相对完善的管理制度和操作规程，包括辐射防护领导小组及岗位职责、射线装置操作规程、辐射工作人员培训计划、辐射工作场所安全和防护管理制度、设备检修维护制度、辐射工作人员个人剂量监测制度、工作场所和环境辐射水平监测方案、台帐管理制度、辐射安全事故应急预案等，并严格按照规章制度执行。

1.2.3.3 工作人员培训情况

中电十二所制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，单位从事辐射相关工作人员共 24 人分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核。

今后，单位将按照生态环境部 2019 年第 57 号公告、2021 年第 9 号公告要求，定期（五年一次）组织辐射工作人员进行辐射安全防护考核，考核通过后方可上岗。

1.2.3.4 个人剂量监测情况

中电十二所所有辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司承担，监测频度为每 3 个月检测一次。单位最近一次的年度个人剂量检测报告（2023 年度）结果表明，工作人员个人受照剂量最大为 0.204mSv，均未超过年剂量管理目标值（2mSv）。

单位有专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将及时调查原因，并将有关情况及时报告单位辐射安全防护领导小组。今后将

继续加强个人受照剂量监测工作，如果某位辐射工作人员的单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值的 1/4，将对其受照原因进行调查，结果由本人签字后存档；必要时将采取调离工作岗位或控制从事辐射工作时间等措施，保障辐射工作人员的健康。

1.2.3.5 工作场所及辐射环境监测情况

中电十二所已制定辐射工作场所监测制度，监测方案内容含有工作场所辐射水平监测和环境辐射水平监测，监测方案中包括实施部门、监测项目、点位及频次等。

单位已建立辐射环境自行监测记录档案，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。监测记录记载监测数据、测量条件、测量方法和仪器、测量时间和测量人员等信息，监测记录随本单位辐射安全和防护年度评估报告一并提交北京市生态环境局。单位每年委托有 CMA 资质的单位对所有射线装置机房防护检测一次。单位现有的监测方案能够满足相关标准要求，单位已配备必要的辐射监测仪器，详细清单见表 1-4。

表 1-4 单位现配有辐射监测仪器清单

仪器名称	型 号	数量	检定时间及检定 报告编号	使用部门或场所
个人剂量报警 仪	PM1621	10	/	一部 2、二部、三部、五部 2、八部、十部 2、阴极中心
X、 γ 剂量率仪	BG9512H1	1	2024/06/06 DLj12024-06952	综合计划部
便携式 X、 γ 辐射当量率仪	BG9512PG02T	1	2024/02/19 DLj12024-01348	十部
X、 γ 剂量率仪	AT1123	1	/	二部

1.2.3.6 辐射事故应急管理情况

中电十二所依据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，制定了关于本单位辐射项目的辐射事故（件）应急预案，以保证本单位一旦发生辐射意外事件时，即能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理放射事故，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在预案中进一步明确规定本单位有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容。发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，

并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。2024 年 6 月单位辐射安全领导小组组织相关人员参加了每年一度的辐射事件应急预案演练。

1.2.3.7 其他情况

中电十二所较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据法律法规每年对本单位射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，目前已编写上报了 2023 年度评估报告。

1.3 本项目情况

1.3.1 项目背景

根据研发需要，中电十二所拟改建单位内新 2 号楼一层中部现有的工业 CT 测试间内预留区域新增 1 台自屏蔽式工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置（下面简称自屏蔽式工业 CT），目前工业 CT 测试间内已批准使用 2 台自屏蔽式工业 CT，其中 1 台已许可使用（由五部工作人员使用），1 台正在建设中（由十一部工作人员使用），许可情况见表 1-5。

本项目拟使用的射线装置详见表 1-6，本项目新增设备由十部 2 名工作人员使用。

表 1-5 工业 CT 测试间已批准和许可使用设备情况表

序号	名称型号	厂家	参数	照射方向	所在场所	2023 年度检测报告	备注
1	XTH320 型自屏蔽式工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	X-TEK 公司	320kV/ 2mA	南	新 2 号楼一层中部工业 CT 测试间	自屏蔽设备外表面 30cm 处最大剂量率为 0.122 μ Sv/h	已许可使用
2	UX50 型自屏蔽式工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	康姆艾德机械设备(上海)有限公司	450kV/ 3.3mA	东	新 2 号楼一层中部工业 CT 测试间	/	已批准建设，正在建设中

表 1-6 本项目环评内容列表

序号	名称型号	厂家	管电压 (kV)	管电流 (mA)	球管靶功率 (W)	照射方向	活度种类	所在场所
1	BVE-CT2250	北京真空电子科技有限公司南通分公司	225	3	280	南	使用	新 2 号楼一层中部工业 CT 测试间

1.3.2 项目正当性

行波管现发展到太赫兹频段，关键部件装配/焊接尺寸仅为百微米数量级，为了检验这些部件的装配/焊接可靠性，包括材料内部缺陷、封接/焊接界面缺陷、封接/焊接前后间隙尺寸变化等，保证太赫兹行波管整管研制成品率，降低研制成本，因此，中电十二所急需高精度、微焦点的无损检测设备。

1.3.3 目的和任务的由来

根据生态环境部《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(2019年生态环境部令第9号)最新要求，北京辐环科技有限公司符合第九条第一款规定，无该条第三款所列情形，不属于该条第二款所列单位。公司有专职环评工程师，有能力开展环境影响评价工作。接到委托后，评价机构评价人员在收集资料的基础上，对该项目建设和运行对环境的辐射影响进行了分析评价，并编制了环境影响报告表。评价主要考虑在射线装置使用环节过程中，对周围环境的辐射影响，对职业人员的辐射影响。

1.3.4 开展新项目的技术能力

人员配备：本项目拟新增2名辐射工作人员，新增工作人员上岗前须通过辐射安全和防护考核。单位将为新增辐射工作人员配备个人剂量计，并定期对其进行剂量监测，及时告知其每季度受照剂量，并妥善保存监测数据。

检测仪器配备：本项目拟新增1台便携式剂量检测仪和2台个人剂量报警仪。能够满足本项目监测的相关要求。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	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国家标准《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
无										

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电 流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	自屏蔽式工业用 X 射线计算机断层扫 描 (CT) 装置	II类	1	BVE-CT2250	225	3	研发测试	新2号楼一层中部工业 CT测试间	十部使用

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电 压 (kV)	最大靶电 流 (μA)	中子强 度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为mg/L，固体为mg/kg，气态为mg/m³；年排放总量用kg。

2. 含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L或Bq/kg或Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第九号，2015 年 1 月 1 日起实施。 (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第二十四号，2018 年 12 月 29 日修订并实施。 (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。 (4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令 第 682 号修订，2017 年 6 月 21 日公布，2017 年 10 月 1 日起实施。 (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第 709 号第二次修订，2019 年 3 月 2 日第二次修订版公布并实施。 (6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部部令 第 16 号，2020 年 11 月 30 日公布，2021 年 1 月 1 日起实施。 (7) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第 9 号，2019 年 9 月 20 日公布，2019 年 11 月 1 日起施行。 (8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部部令 第 20 号修订，2021 年 1 月 4 日。 (9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部第 18 号令，2011 年 4 月 18 日公布，2011 年 5 月 1 日起实施。 (10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，原生态环境部、国家卫生计生委公告第 66 号，2017 年 12 月 5 日。 (11) 《关于发布<建设项目竣工生态环境验收暂行办法>的公告》，国环规环评[2017]4 号，2017 年 11 月 20 日。 (12) 《原北京市环境保护局办公室关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，京环办[2018]24 号，2018 年 1 月 25 日。 (13) 《北京市城乡规划条例》，京人常[2021]61 号，2021 年 9 月 24 日。
------	--

	(14) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环保部，环办辐射函〔2016〕430号。 (15) 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，原北京市环境保护局文件，京环发〔2011〕347号。 (16) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020年2月。 (17) 《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。 (18) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》生态环境部公告2021年第9号，2021年3月11日。
技术标准	(1) 《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016），生态环境部； (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (3) 《工业X射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2022）； (4) 《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）； (5) 《500kV以下工业X射线探伤机防护规则》（GB22448-2008）； (6) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； (7) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； (8) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； (9) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）。
其他	(1) 辐射安全手册，科学出版社，潘自强主编，2011年。 (2) 辐射防护导论，原子能出版社，方杰主编，1991年。 (3) 中电十二所提供的与本项目相关的申请和技术资料，2024.11。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价范围

按照《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》(HJ10.1-2016)的规定,确定本项目评价范围为项目控制区外 50m 区域。本项目评价范围示意图见图 7-1 所示,本项目相关场所控制区周围 50m 范围内建筑物都在单位内部,无学校、居民楼等敏感目标。

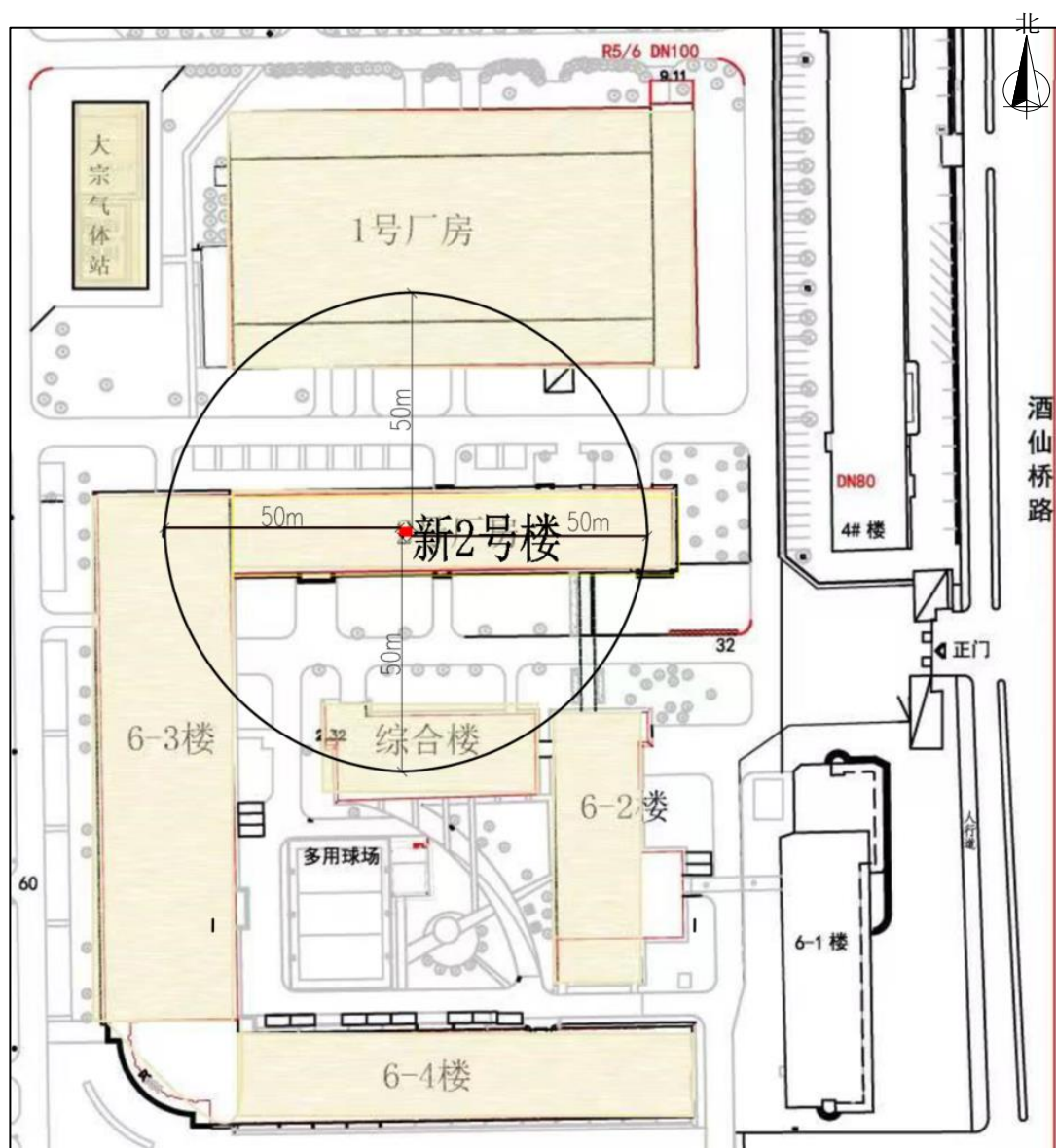


图 7-1 本项目评价范围示意图

7.1.2 评价目的

通过对本项目内容进行分析和估算,以期达到以下目的:

- (1) 评价项目在运行过程中对工作人员及周围公众所造成的辐射影响。
- (2) 评价辐射安全与防护措施效果，为生态环境行政主管部门管理提供依据。
- (3) 对不利影响提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。
- (4) 为单位的辐射环境保护管理提供科学依据。

7.1.3 评价因子

本项目的环境影响评价因子为 X 射线。

7.2 环境保护目标

新增的自屏蔽式工业用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置位于新 2 号楼一层中部工业 CT 测试间内，新增设备其东侧为设备正面操作区，隔走道为空调机房和厂房走道，南侧为高压电源，隔高压电源为电梯厅，西侧为工业 CT 测试间内部走道，隔走道为已批准建设的十一部自屏蔽工业 CT，北侧为电脑工作台。工业 CT 测试间东侧为空调机房和走道，南侧为电梯厅、工作台和走道，西侧为走道和工作台，北侧为楼外绿地，楼上为空调机房，无地下室。评价范围内无学校、居民楼、养老院等敏感目标，无商场等人员密集场所。保护目标为辐射工作人员以及周围公众。本项目边界周围 50m 范围内的保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目周围 50m 范围内的保护目标

项目	保护目标	方位	距离(m)	常居留人数	周围 50m 范围内主要建筑物
十部自屏蔽式工业用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	工作人员	东侧	0~1	2	操作区
	公众 (十二所其他部门工作人员)	东侧	4~50	10	新 2 号楼内排气间、更衣室、门厅等
	工作人员	南侧	0~1	/	高压电源
	公众 (十二所其他部门工作人员)	南侧	2~9	4	新 2 号楼内
	公众	南侧	9~37	/	楼外绿地
	公众 (十二所其他部门工作人员)	南侧	37~50	50	综合楼、6-2 号楼
	公众 (十一部工业 CT 机工作人员)	西侧	0~6	2	十一部拟建工业 CT、监督区
	公众 (十二所其他部	西侧	6~41	10	新 2 号楼内排气

	门工作人员)				间、更衣室、楼梯间等
	公众	西侧	41~50	20	6-3 号楼
	公众 (现有五部工业 CT 机工作人员)	北侧	0~6	2	五部现有工业 CT 机、监督区
	公众	北侧	6~32	/	楼外绿地、院内道路
	公众 (十二所其他部门工作人员)	北侧	32~50	20	1 号厂房
	公众 (十二所其他部门工作人员)	楼上	紧邻	/	空调机房

7.3 评价标准

7.3.1 基本剂量限值

电离辐射防护与辐射源安全基本标准 (GB18871-2002) 规定的剂量限值列于表 7-2。

表 7-2 个人剂量限值 (GB18871-2002)

辐射工作人员	公众关键人群组成员
连续五年平均有效剂量 20mSv, 且任何一年有效剂量 50mSv	年有效剂量 1mSv; 但连续五年平均值不超过 1mSv 时, 某一单一年可为 5mSv
眼晶体的当量剂量 150mSv/a 四肢或皮肤的当量剂量 500mSv/a	眼晶体的当量剂量 15mSv/a 皮肤的当量剂量 50mSv/a

GB18871-2002 还规定了年剂量约束值, 按辐射防护最优化原则设计的年剂量控制值应小于或等于该剂量约束值。剂量约束值是剂量限值的一个分数, 公众剂量约束值通常应在 0.1~0.3mSv/a 范围内。

7.3.2 剂量约束值

考虑到本项目都是隔室操作, 且工作量较小, 本项目辐射工作人员的职业照射取 2mSv/a 作为年剂量约束值, 公众取 0.1mSv/a 作为年受照剂量约束值。

7.3.3 剂量率控制水平

要求在满足上述年剂量约束值的同时, 还需满足屏蔽铅房外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h 的要求。

7.3.4 工业 X 射线探伤辐射安全与防护要求

参照《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2022) 的要求如下:

X 射线装置在额定工作条件下, 距 X 射线管焦点 1m 处的漏射线空气比

释动能率应符合表 7-3 的要求。

表 7-3 距 X 射线管焦点 1m 处的漏射线空气比释动能率

管电压, kV	漏射线空气比释功能率, mGy/h
<150	<1
150~200	<2.5
>200	<5

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 地理位置和场所位置

8.1.1 地理位置

中电十二所位于北京市朝阳区酒仙桥路 13 号，单位东侧毗邻酒仙桥路，西南侧为将台路，西北侧为芳园西路。

8.1.2 场所位置

本次新增的自屏蔽式工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置位于新 2 号楼一层中部工业 CT 测试间东侧，新增设备其东侧为设备正面操作区，南侧为高压电源，西侧为走道，隔过道西侧为拟建的十一部自屏蔽式工业 CT。北侧为电脑工作台。工业 CT 测试间东侧为空调机房和走道，南侧为电梯厅、工作台和走道，西侧为走道和工作台，北侧为楼外绿地，楼上为空调机房，无地下室。

8.2 辐射环境现状监测

持有计量认证资质证书的深圳市瑞达检测技术有限公司于 2024 年 6 月 3 日对拟增加的十一部自屏蔽工业 CT 场所进行了现状本底检测（检测报告编号：SZRD2024FH1256），目前十一部自屏蔽工业 CT 尚未安装且本次拟新增十部自屏蔽工业 CT 场所周围设备无变化，因此本次辐射环境现状引用 SZRD2024FH1256 报告相关数据。

8.2.1 监测项目

环境 γ 辐射剂量率。

8.2.2 监测对象及点位布设

监测对象：拟建十一部自屏蔽工业 CT 所在区域及周边进行环境辐射现状监测。

监测点位：本次监测对拟改扩建场址所在区域及周边进行环境地表 γ 辐射剂量率监测，监测点位布设见图 8-1。

8.2.3 监测仪器及方法

（1）监测设备

本次监测采用的监测设备见表 8-1。

（2）监测方法

γ 辐射剂量率：采用便携式监测仪表，以定点的测量方式进行。监测时每点测量 10 次，每次间隔 10 秒钟，取平均值。

表 8-1 监测设备及性能指标

仪器名称	型号/编号	检定/校准证书、有效日期	主要技术性能指标
X、γ 剂量率仪	GH-102A /20170404	DLjl2024-01645、 2024-2-26~ 2025-2-25	测量范围：0.01μGy/h~100μGy/h； 能量范围：30keV~8MeV； 相对响应之差：<±15%。

8.2.4 监测依据

- (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- (2) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）。

8.2.5 监测结果

监测结果见表 8-2，检测点位见图 8-1。

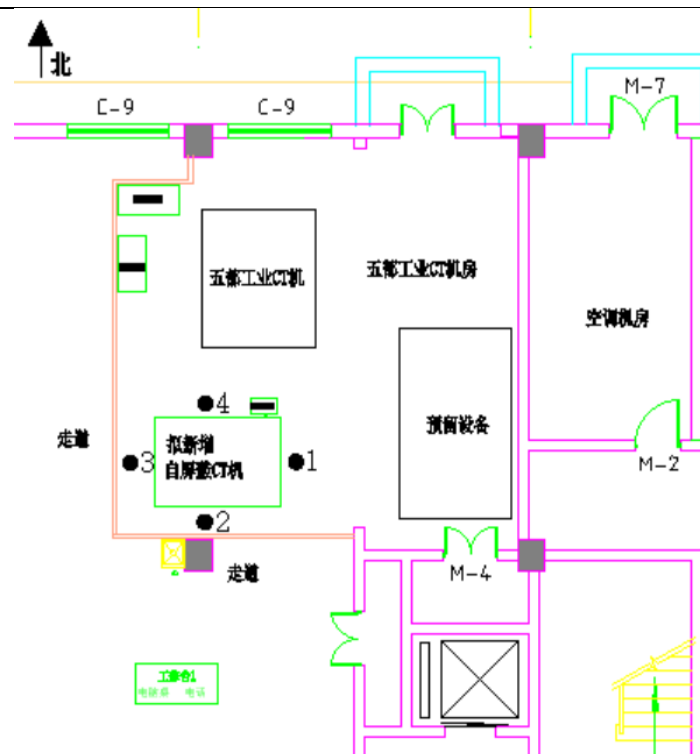
表 8-2 拟新增辐射工作场所周围环境 γ 辐射剂量率本底水平监测结果

场所名称	点位序号	测 点 描 述	辐射剂量率（μGy/h）
自屏蔽 X 射线 CT 机	1	十一部自屏蔽 CT 机东侧	0.07±0.01
	2	十一部自屏蔽 CT 机南侧	0.08±0.01
	3	十一部自屏蔽 CT 机西侧	0.07±0.01
	4	十一部自屏蔽 CT 机北侧	0.07±0.01
	5	十一部自屏蔽 CT 机楼上	0.08±0.01

注：检测结果包含仪器在检测点处的宇宙射线响应值（0.03μGy/h）。

根据《中国环境天然放射性水平》（1995），北京市天然辐射水平范围为 60~123nGy/h（室外，含宇宙射线）和 69.8~182nGy/h（室内，含宇宙射线）。由表 8-2 中检测结果可知，工业 CT 测试间的 X-γ 辐射剂量率为 0.07~0.09μGy/h，为北京市的天然本底范围之内，未发现异常高值。

1、自屏蔽 CT 机场所布局图



2、自屏蔽工业 CT 机楼上布局图

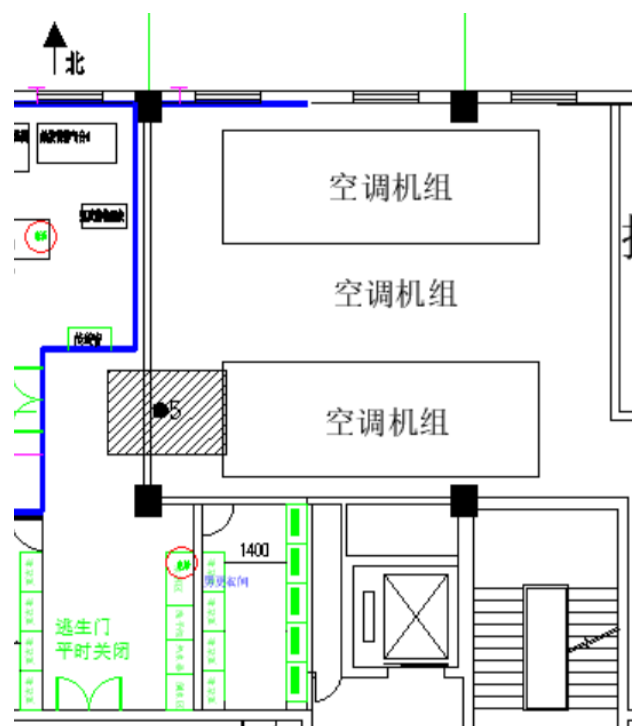


表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 工作原理

工业 X 射线计算机扫描装置主要由 X 射线源、精密样品台、平板探测器、光耦探测器、精密运动平台、电控系统、铅屏蔽箱体、成像及数据分析软件构成，产生 X 射线的装置由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面被靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型的 X 射线管结构图见图 9-1。

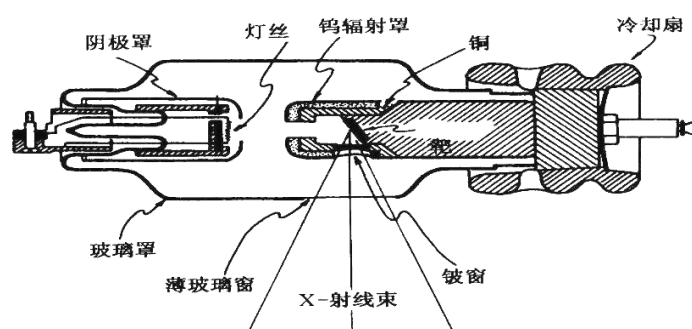


图 9-1 典型 X 射线管结构图

工业 X 射线 CT 机工作原理：工作原理为高压电产生电场，电子在电场内高速运动撞击钨靶产生 X 射线。X 射线穿透工件后，在成像板上成像。X 射线产生在密闭的高真空射线管内产生，通过窗口定向辐射出 X 射线。X 射线穿过检测样品后被平板探测器所接收，平板探测器把不可见的 X 射线图像转换为可视图像，再经计算机处理将可视图像转换为数字图像，处理后的图像显示在显示器屏幕上，显示的图像能提供检测样品内部的缺陷性质、大小、位置等信息，从而达到检测的目的。

9.1.2 系统功能及设备组成

工业 X 射线 CT 机由射线装置（X 射线管、控制系统、高压、冷却系统）和探测器等组成，其中本项目射线装置拟采用北京真空电子科技有限公司自生产的 BVE-CT2250 型射线装置，最大管电压为 225kV，管电流 3mA，射线辐射角 30° 锥束；根据厂家提供材料计算，距球管 1m 处剂量率 2.88E+6μSv/h。本项目拟使

用的工业 X 射线 CT 机的基本信息见表 9-1。拟使用的 UX50 射线装置图见图 9-2。

表 9-1 拟使用工业 X 射线 CT 机的基本信息

装置型号/名称	BVE-CT2250
最大管电压/电流	225kV/3mA
射线辐射角	30°锥束
主束方向	朝南
距辐射源点（靶点）1m 处最大输出量	2.88E+6μSv/h

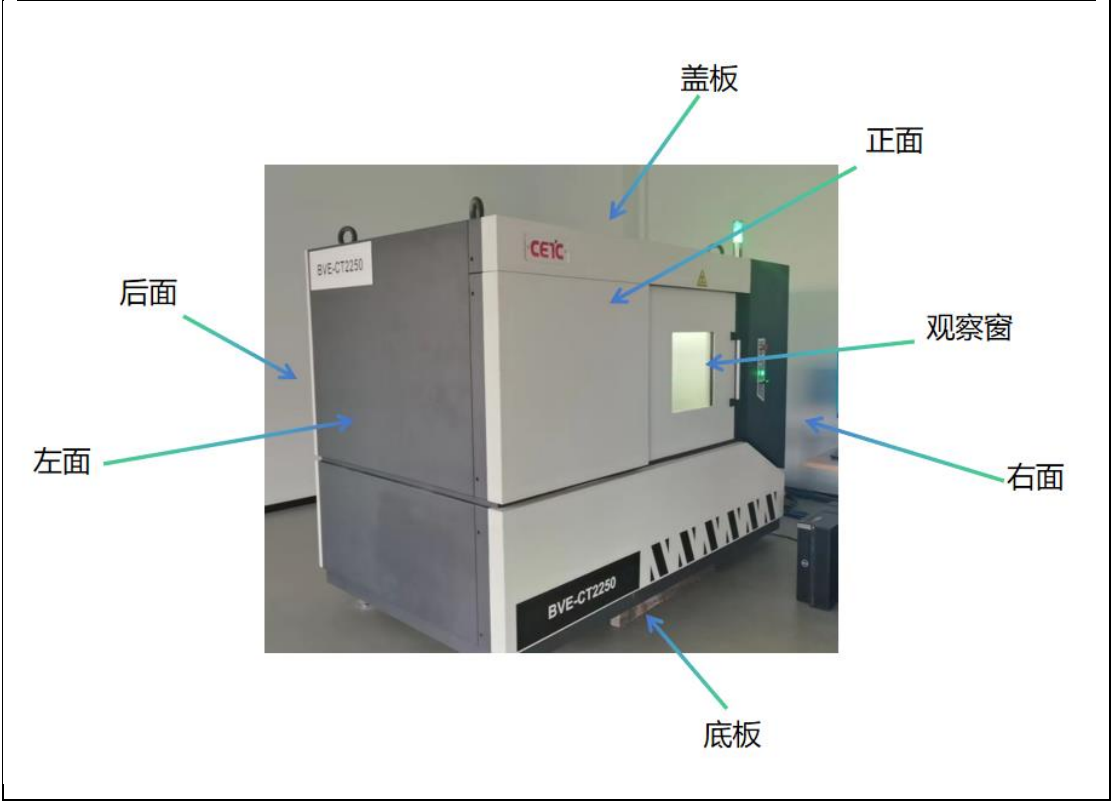




图 9-2 BVE-CT2250 型自屏蔽工业 CT 机外形图（同类型照片）

9.1.3 工作流程

1、操作流程

（1）检查警告标识、系统安全连锁装置、门-机连锁、应急开关等安全防护措施是否正常。

（2）打开设备主控开关，并将钥匙开关转到打开位置，启动设备；待设备控制计算机启动完成，启动计算机上相关软件后，逐一启动设备高压电源、电气控制系统，开机预热和初始化。

（3）打开防护门，将运动平台上的载物台运行至合适的位置，将被测物（模体或样品）放在载物台上，关闭防护门。

（4）点击设备上的 X 射线启动按钮启动 X 射线，自动选择所需使用的电压和电流，待 X 射线稳定后，被测物的图像将出现在显示器上。

（5）通过控制运动平台的运动轴来移动样品，必要的时候移动射线管和探测器，使得被测物、射线管和探测器三者处于一个合适的位置，使得被测物图像达到最佳的可视范围和大小。

（6）点击设备上的 X 射线关闭按钮关闭 X 射线。

（7）为了达到图像清晰度要求，可以调整现有软件算法的内置参数或者使用新的算法，这些算法包括如自适应亮度对比度平衡，数字滤波器、射线对中测

量、空气校正、散射校正、几何参数校正等等。调整完成后再次点击设备上的 X 射线启动按钮启动 X 射线，评估被测物图像的清晰度。

(8) 若要进行圆周 CT 扫描，载物台自动旋转移动，在每个特定的旋转角度，采集多张图像；若要进行螺旋 CT 扫描时，载物台自动旋转移动的同时，射线管和探测器配合运动，每到一个特定的位置，采集多张图像；若要进行偏置 CT 扫描，载物台运动到偏置位置后自动旋转移动，在每个特定的旋转角度，采集多张图像；若要进行虚拟大视野 CT 扫描，探测器运行到不同的位置后，载物台自动旋转移动，在每个特定的旋转角度，采集多张图像。完成扫描后 X 射线自动关闭。

(9) 开启防护门，移动运动平台的载物台运行至合适的位置，将被测物搬离，关闭防护门。

(10) 关闭软件和设备。

2、使用规划

(1) 工作量：每天出束时间最大 1h，年最大出束时间 250h（每年工作 250 天）。

(2) 使用因子：主束只往南照射。

9.2 污染源描述

9.2.1 主要放射性污染物

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线装置的辐射是随机器的开、关产生和消失。因此，该单位使用的工业 X 射线 CT 机在非使用状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线成为污染环境的主要因子。

9.2.2 污染途径

9.2.2.1 正常工况时的污染途径

(1) 放射性污染

根据射线装置的污染特征，只有在通电情况下，工作人员操作才能产生射线，经透射、漏射和散射，对工作场所及其周围环境产生辐射影响。污染途径是 X 射线外照射。

(2) 其它非放射性污染

臭氧和氮氧化物：X 射线机工作时，射线装置发出的 X 射线电离空气分子产生微量的臭氧和氮氧化物，通过机械通风，降低铅房内臭氧和氮氧化物的量，对人体的危害很微小。

9.2.2.2 事故工况下的污染途径

（1）安全联锁失效，铅防护门未完全关闭的情况下射线装置出束，对工作人员及公众造成额外的照射；

（2）开机使用时，门机联锁失效，操作人员或公众误入监督区（铅门边）造成超本底剂量照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射屏蔽设计

本项目采用自屏蔽式工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置，机房屏蔽材料及厚度见表 10-1。

表 10-1 自屏蔽式工业 CT 机自屏蔽情况表

序号	场所名称	尺寸	屏蔽墙体方向	屏蔽材料及厚度	备注
1	自屏蔽式工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	2500×1500×2100 (H) mm	正面	10mm 铅+4mm 钢	球管位于北侧，向南侧照射
			背面（含检修门）	10mm 铅+4mm 钢	
			左侧	14mm 铅+4mm 钢	
			右侧	8mm 铅+4mm 钢	
			顶部	10mm 铅+4mm 钢	
			底部	10mm 铅+4mm 钢	
			电动防护门	10mm 铅+4mm 钢	
			观察窗	50mm 厚铅玻璃 (约 10mmPb 当量)	

10.1.2 工作场所安全防护设施管理

工作场所安全与防护设施设计要求见表 10-2。

表 10-2 非医用II类射线装辐射场安全与防护设施设计要求

序号	项目	检查内容	是否拟设置	备注
1*	A 场所设施 (固定式)	入口处电离辐射警告标志	√	在工业 CT 测试间、新增自屏蔽 CT 机上都拟贴电离辐射警告标志
2*		入口处机器工作状态显示	√	自屏蔽 CT 机上方设有工作状态指示灯
3		隔室操作	√	铅房外操作
4*		迷道	×	不设迷道，人员门屏蔽厚度满足要求
5*		防护门	√	拟配铅防护门

6*		控制台有钥匙控制	√	自屏蔽工业 X 射线 CT 机配有钥匙开关
7*		门机联锁系统	√	拟配门机灯联锁
8*		照射室内监控设施	√	工业 CT 测试间内拟设监控摄像头
9		通风设施	√	工业 CT 测试间采用排风机换气，排风口位于设备上方
10*		照射室内紧急停机按钮	√	自屏蔽 CT 机正面操作面板上设 1 个急停按钮
11*		控制台上紧急停机按钮	√	自屏蔽 CT 机线源控制柜上设 1 个急停按钮
12*		出口处紧急开门开关	√	自屏蔽 CT 机防护门可直接拉开
13*		准备出束声光提示	×	设有出束警示灯
14*	C 监测设备	便携式辐射监测仪	√	拟配 1 台
15*		个人剂量报警仪	√	拟配 2 台
16*		个人剂量计	√	为每名工作人员配备个人剂量计
17	D 应急物质	灭火器材	√	拟配干粉灭火器

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的划/。

10.1.3 辐射防护措施

(1) 工业用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置采用自屏蔽实体屏蔽措施，能够保证机房周围和防护门外 30cm 处辐射剂量率不大于 2.5μSv/h（铅房出厂指标为 10cm 处不大于 1.0μSv/h，实际出厂检测时 10cm 处不大于 0.5μSv/h），辐射工作人员和公众的受照剂量满足剂量约束要求。

(2) 分区管理：辐射工作场所实行分区管理，自屏蔽 CT 机屏蔽体内为控制区，工业 CT 测试间内除了现有五部工业 CT、拟增加的十一部自屏蔽工业 CT 和本次新增自屏蔽 CT 机铅房外的区域（包括操作位）为监督区。

(3) 警示标志：在自屏蔽 CT 机屏蔽柜外设立电离辐射警告标志和中文警示说明，在自屏蔽 CT 机上方设有双色警示灯，灯都不亮时仪器处于关闭状态，绿灯亮时仪器处于设备就绪状态，红灯亮时为曝光出束状态。

(4) 监控系统：屏蔽柜内配有摄像头，用网线将摄像头和操作台上监控显示器连接。

(5) 钥匙控制装置：为防止非操作人员误操作设备，设备操作台设计钥匙控制，钥匙由操作人员管理，钥匙拔出，机器无法出束。

(6) 门机连锁：只有当电动防护门和检修门均为关闭时，设备才能出束；反之，如果照射过程中任一防护门打开，系统将自动停止出束。

(7) 门灯连锁：在铅房门口位置设计工作状态指示灯（报警灯），并与 CT 机连锁，设备出束期间，红色工作灯持续显示。

(8) 急停开关：紧急停机按钮安装在设备正面操作面板上（1 个）、线源控制柜正面（1 个），当遇到意外情况，可随时按动急停开关，切断设备高压，停止出束。按下急停后，下次开机前手动方式复位急停按钮，设备才能启动。

(9) 门控按钮设置：设备正面操作面板上设置门控制按钮。

(10) 防夹功能：防护门为电动平移门，设有物理压力防夹保护功能。

(11) 监测仪器：拟增配 1 台便携式辐射监测仪和 2 台个人剂量报警仪，辐射工作人员操作仪器时将佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

(12) 通风系统：屏蔽柜内设有排风扇进行排风，换气次数不低于 3 次/h。在工业 CT 测试间内设空调排风系统。

(13) 门禁：在工业 CT 测试间北侧门设有门禁系统，只有授权的工作人员可进入，南侧门为常闭门并带有门禁系统。

(14) 辐射工作人员考核：拟新增的辐射工作人员将按照生态环境部 2019 年第 57 号公告要求，五年一次组织辐射工作人员进行辐射安全与防护考核，考核通过后方可上岗。

自屏蔽 CT 机连锁和警示系统的设计见图 10-1。

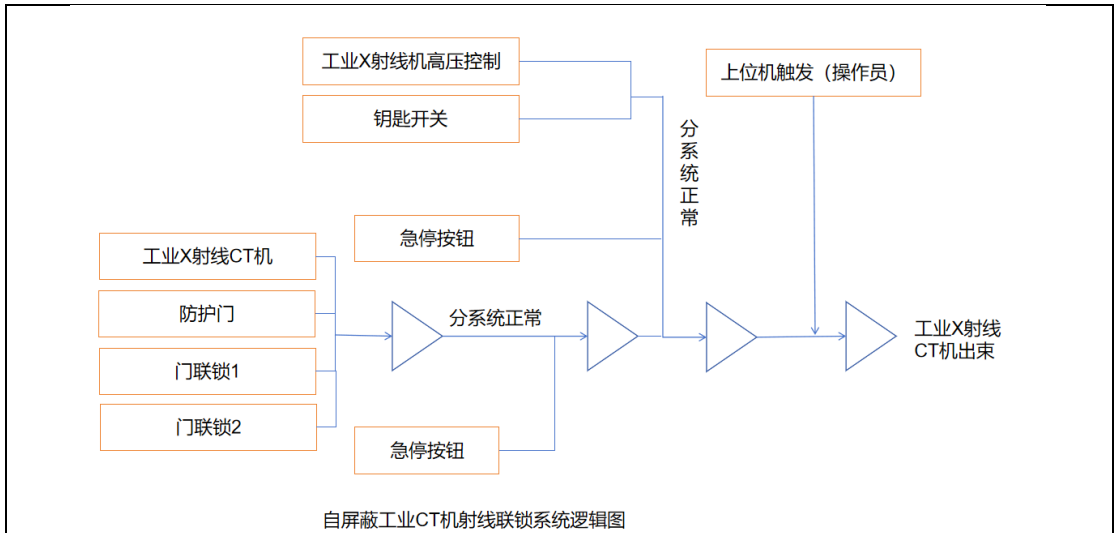


图 10-1 自屏蔽 CT 机联锁系统逻辑图

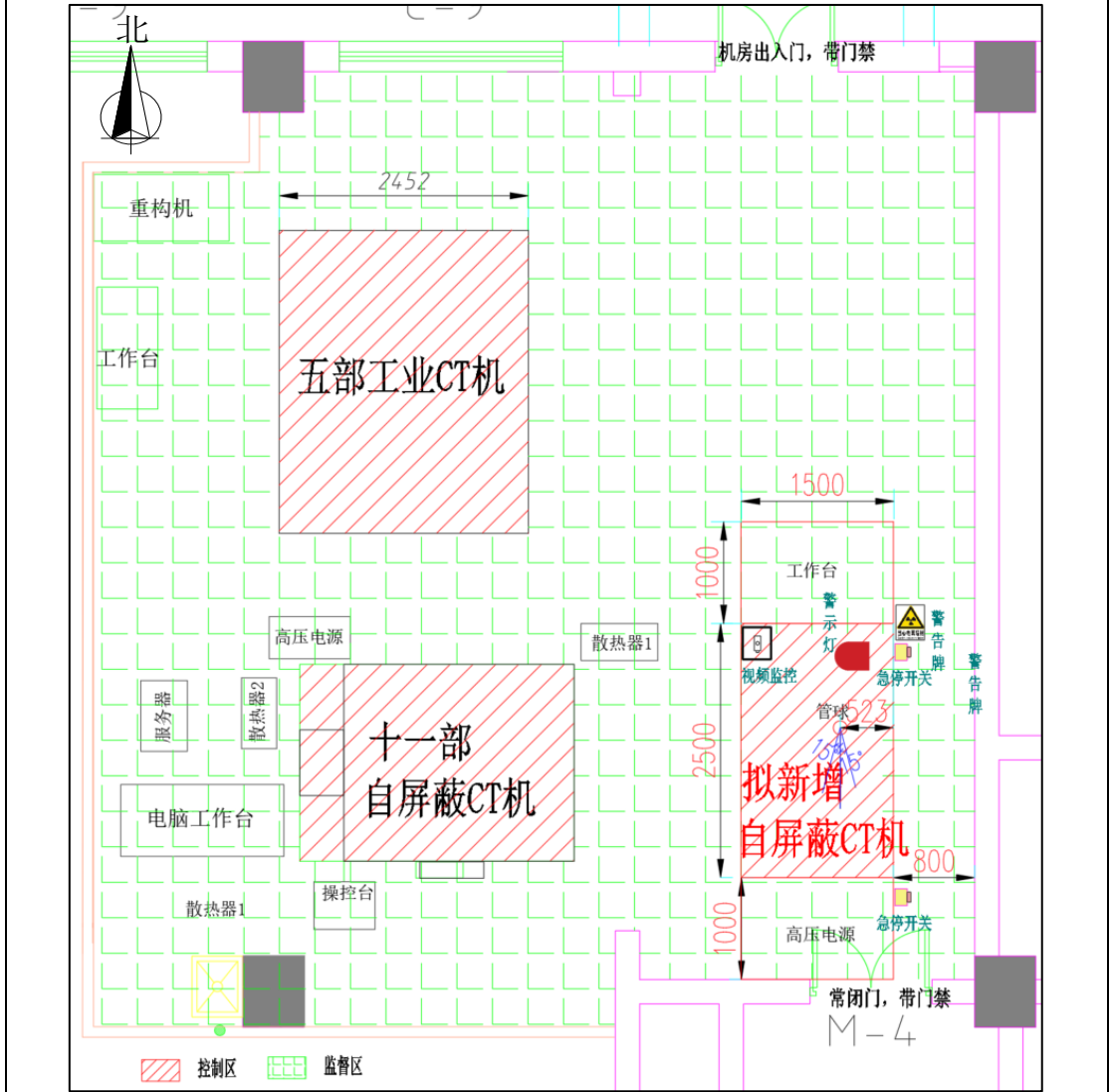


图 10-2 新增自屏蔽工业 X 射线 CT 机联锁和安全措施布置图

10.2 法规符合情况

依据《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》规定，现对中电十二所从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-3 和表 10-4。

10.2.1 对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

表 10-3 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对使用射线装置单位承诺的对应检查情况。

表 10-3 与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》符合情况

序号	应具备条件	落实情况	符合情况
1	使用放射性同位素、射线装置的单位，应当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或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	已成立辐射防护领导小组，并在该机构设有专职管理人员。	符合
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	本项目新增 2 名辐射工作人员拟参加辐射防护与安全知识考核。	落实后符合
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源贮存库或设备。	不涉及该内容。	/
4	射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	自屏蔽 CT 机和新建铅房拟装门-机-灯联锁、急停按钮、工作警示灯和电离辐射警告标志等。	落实后符合
5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	拟新增台符合要求的便携式辐射监测仪和 2 台个人剂量报警仪。	落实后符合
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	拟完善现有规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员考核计划、监测方案等。	落实后符合
7	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	不涉及该内容。	/

8	有完善的辐射事故应急措施。	拟完善辐射应急预案。	落实后符合
---	---------------	------------	-------

10.2.2 对《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的满足情况

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的对照检查如表 10-4 所示。

表 10-4 与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》符合情况

序号	安全和防护管理办法要求	落实情况	是否符合要求
1	第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。	自屏蔽CT机拟装门-机-灯联锁、急停按钮、工作警示灯和电离辐射警告标志等。	落实后符合
2	第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	每年对射线装置及固定场所进行监测。	符合
3	第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	承诺每年1月31日前向生态环境部门提交年度评估报告。	符合
4	第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	本项目新增2名辐射工作人员拟参加辐射防护与安全知识考核。	落实后符合
5	第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。	将为所有从事放射性工作的人员配备个人剂量计，并委托有资质单位进行个人剂量监测（每季度1次）。已安排专人负责个人剂量监测管理。	落实后符合

6	第二十四条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，不具备个人剂量监测能力的，应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。	拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。	落实后符合
10.2 三废的治理 （1）本项目运行中，不产生放射性“三废”。 （2）工业 X 射线 CT 机运行过程中，会产生少量的臭氧和氮氧化物，对环境的影响是十分轻微的，可以忽略。			

表 11 环境影响分析

11.1 建设或安装过程的环境影响

该项目施工活动对环境的影响主要是现有工业 CT 测试间的改造。建设过程中将产生噪声、粉尘以及振动等，为了不影响周围环境，在施工过程中，将采取一些降噪、防尘措施。如在施工现场设置隔离带、设立声障，这样既可有效的减少扬尘的污染，又可降低噪声；合理安排施工时间，对振动较大的施工，尽量安排在下班或节假日进行。本项目是对已有房间进行改造和安装设备，工程量小，且施工基本上都在单位内进行，并且项目所在地区的地面已经过硬化，无裸露地面，因此产生的扬尘相对较小，因此基本不影响单位和周围其他单位的正常工作。

11.2 运行（使用）后对环境的影响

工业 X 射线 CT 机运行过程中，不产生放射性三废，主要的污染物是 X 射线贯穿辐射。

当工业 X 射线 CT 机出束时，X 射线（初级 X 射线）透过工件及屏蔽体造成环境辐射影响，同时产生的散射线和漏射线也会对环境造成辐射影响。本项目拟新增的自屏蔽工业 X 射线 CT 机为定向机，225kV 在 90 度方向散射等效管电压不高于 225kV。

11.2.1 设备预计运行情况

本项目中，新增自屏蔽工业 X 射线 CT 机为 II 类射线装置，用于样品检测。工作人员摆好所检样品，设置出束条件并点击开始出束键后，到时间后射线装置自动停止出束，人员在射线装置出束后就可回到电脑工作台进行讨论射线装置后处理软件。大部分时间都是计算机后处理软件的编写和调试工作，实际每天出束时间不大于 1h（不超过 250h/a），工作人员都是隔室操作，主要位于自屏蔽工业 X 射线机屏蔽柜北侧进行讨论。

自屏蔽工业 X 射线 CT 机工作时，球管固定，距地面高度 140cm。

根据北京真空电子科技有限公司南通分公司提供的 BVE-CT2250 型射线装置的最大管电压 225kV，对应的最大最大管电流 3mA，225kV 时对应的最大管电流 1.4mA，球管靶功率 280W 条件下距靶点 1m 处最大输出量不大于 $2.88E+6\mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.2 使用过程中的贯穿辐射影响分析

11.2.2.1 辐射剂量估算公式

以下估算公式参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)。

(1) 主射线束辐射

$$H = \frac{H_0}{R^2} \times I \times K^{-1} \quad (11-1)$$

式中: H 为估算点的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

I 为 X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流,单位为毫安 (mA);

H_0 为距辐射源点 (靶点) 1m 处输出量, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$;

R 为 X 线管靶点到关注点的距离, m ;

K^{-1} 为已知屏蔽墙厚度的衰减因子。

(2) 泄漏辐射

$$H = \frac{H_{0L}}{R^2} \times K^{-1} \quad (11-2)$$

$$K^{-1} = 10^{-\frac{h}{TVL}} \quad (11-3)$$

式中: H_{0L} 为距 X 射线机靶 1m 处的泄漏剂量率;

h 为屏蔽物质的厚度;

TVL 为屏蔽物质什值层厚度, 查辐射安全手册表 6.7, 并内插可得 225kV 条件下泄漏辐射的铅屏蔽的 $TVL=2.21\text{mm}$;

其它因子含义同上。

(3) 散射辐射

$$H = \frac{H_0}{R^2} \times K^{-1} \times f \quad (11-4)$$

$$f = F \times a / R_0^2 \quad (11-5)$$

式中: H_0 为距 X 射线机靶 1m 处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

R 为散射面中心点到关注点的距离, m ;

K^{-1} 为已知屏蔽墙厚度的衰减因子, 由于散射后能量衰减, 根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014), 225kV 原始 X 射线 90° 散射辐射最高能量相对应为 200kV; 查辐射安全手册表 6.7, 保守按 200kV 时铅的 TVL 取 1.42mm。

f 为散射系数；

R_0 为辐射源点（靶点）至散射体的距离，m；

F 为 R_0 处的辐射野面积， m^2 ；

α 为散射因子；

其它因子含义同上。

(4) 年有效剂量

$$E = H \times t \times T \times 10^{-3} \quad (11-6)$$

式中： E --年有效剂量，mSv；

H --计算点附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T 为人员的居留因子；

t 为年曝光时间，h/a

11.2.2.2 自屏蔽工业 X 射线 CT 机

(1) 关注点剂量率水平屏蔽计算

根据厂家提供材料，距离管球 1m 处的剂量率为 $2.88\text{E}+6\mu\text{Sv/h}$ ，泄漏辐射查 TVL 辐射安全手册表 6.7，并内插可得 225kV 条件下铅屏蔽的 $TVL=2.21\text{mm}$ ；由于散射后能量衰减，查辐射安全手册表 6.7，散射辐射保守按 250kV 时铅的 TVL 取 3mm，辐射原点至散射体的距离为 0.22m，辐射野面积为 0.01m^2 ，散射因子保守取 1.9×10^{-3} 。计算点位见图 11-1 和图 11-2，估算结果见表 11-1。

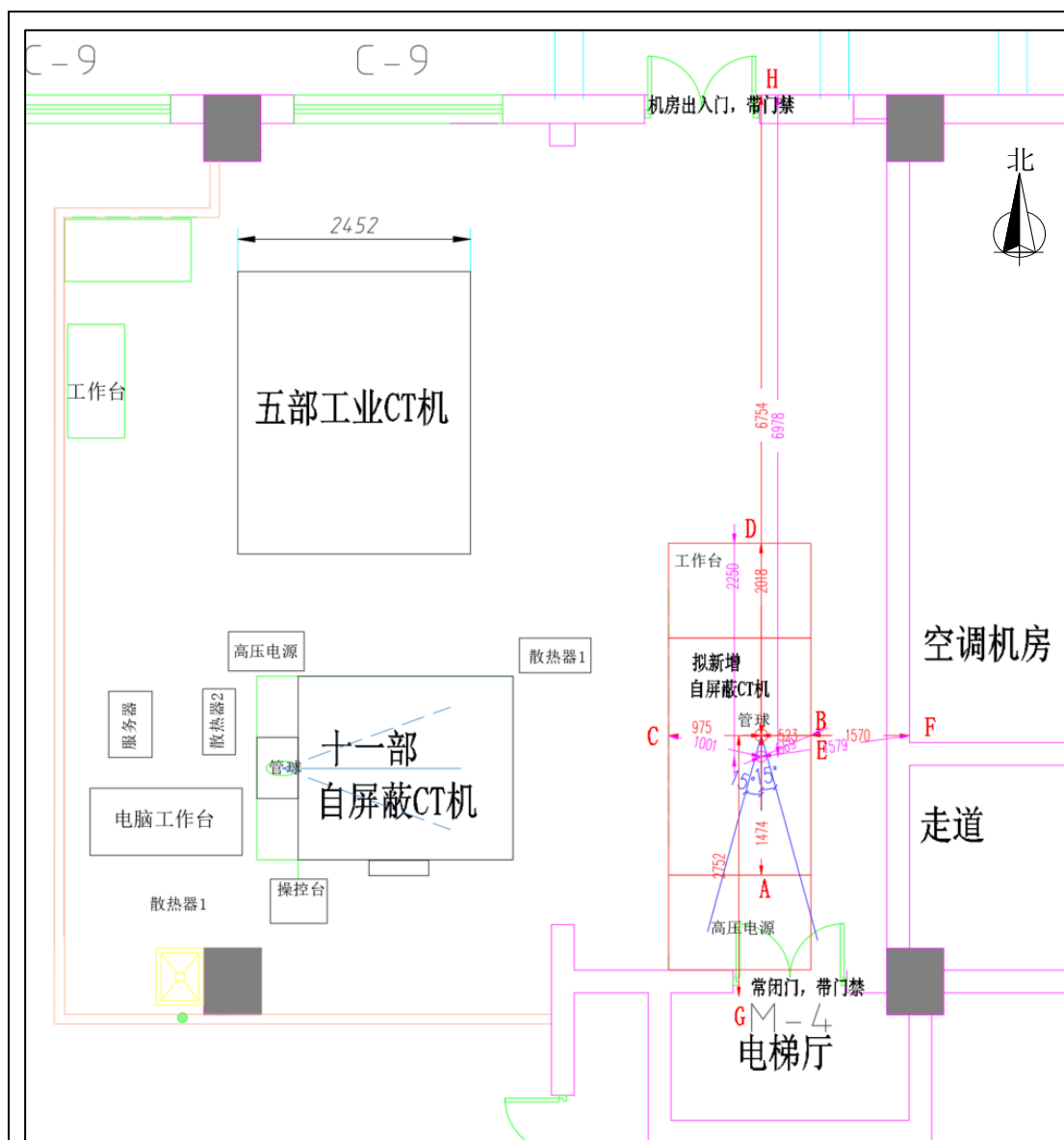


图 11-1 自屏蔽工业 X 射线 CT 机平面估算点位示意图

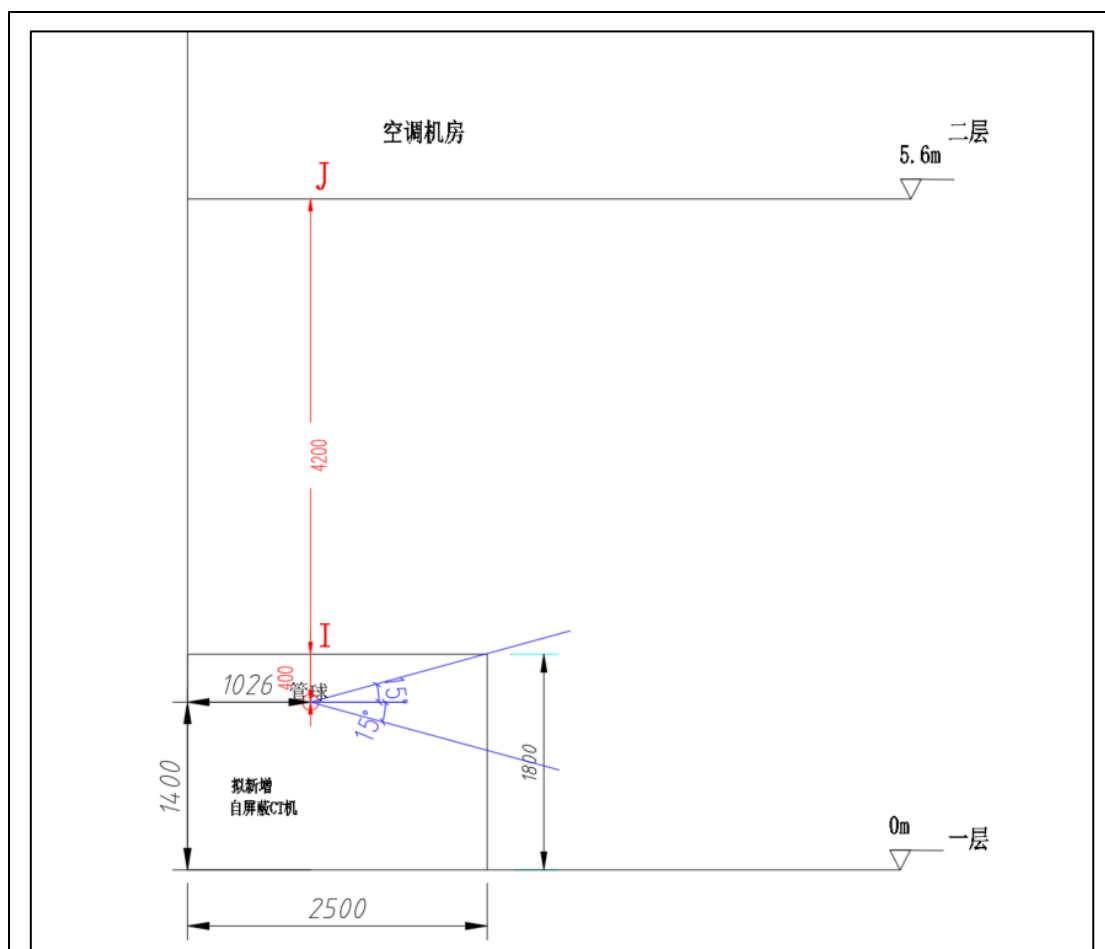


图 11-2 自屏蔽工业 X 射线 CT 机剖面估算点位示意图

表 11-1 自屏蔽工业 CT 机场所四周的附加有效剂量率

位 置	距离（距屏蔽体外 30 cm）m	屏蔽材料及厚度	射线束	衰减因子 K^{-1}	附加剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	备注
屏蔽柜南侧 A	1.8	14mm 铅 +14mm 钢	主束	4.63E-07	4.11E-01	高压电源区域
屏蔽柜东侧 B	0.8	10mm 铅 +4mm 钢	漏射	2.99E-05	2.33E-01	操作位
	0.9	10mm 铅 +4mm 钢	散射	9.07E-08	1.27E-04	
屏蔽柜西侧 C	1.3	10mm 铅 +4mm 钢	漏射	2.99E-05	8.83E-02	走道
	1.3	10mm 铅 +4mm 钢	散射	9.07E-08	6.07E-05	
屏蔽柜北侧 D	2.3	8mm 铅 +4mm 钢	漏射	2.40E-04	2.27E-01	工作台
	2.6	8mm 铅 +4mm 钢	散射	2.32E-06	3.89E-04	
观察窗 E	0.8	10mmPb 当量	漏射	2.99E-05	2.33E-01	操作位

	0.9	50mmPb 当量	散射	9.07E-08	1.27E-04	
工业 CT 测试间东侧 F	1.9	10mm 铅+4mm 钢	漏射	2.99E-05	4.14E-02	空调机房
	1.9	10mm 铅+4mm 钢	散射	9.07E-08	2.84E-05	
工业 CT 测试间南侧 G	3.1	14mm 铅+4mm 钢	主束	4.63E-07	2.64E-02	电梯厅
工业 CT 测试间北侧 H	7.1	8mm 铅+4mm 钢	漏射	2.40E-04	6.80E-02	楼外绿地
	7.3	8mm 铅+4mm 钢	散射	2.32E-06	1.14E-04	
屏蔽柜顶 I	0.7	10mm 铅+4mm 钢	漏射	2.99E-05	3.05E-01	/
	0.7	10mm 铅+4mm 钢	散射	9.07E-08	2.09E-04	
楼上 J	4.5	10mm 铅+4mm 钢	漏射	2.99E-05	7.37E-03	空调机房
	4.5	10mm 铅+4mm 钢	散射	9.07E-08	5.07E-06	

备注：以上计算结果未考虑工业 CT 测试间墙壁和楼板的屏蔽，未考虑钢屏蔽材料的屏蔽。铅的密度不低于 11.3 g/cm³。散射体距靶点最短距离为 0.22m，衰减因子根据 TVL 计算得出。

根据以上估算，自屏蔽工业 X 射线 CT 机屏蔽柜周围剂量当量率最大值为 4.11E-01μSv/h（屏蔽柜南侧高压电源区域），操作位的附加剂量率为 2.33E-01μSv/h，都满足低于 2.5μSv/h 的要求。根据剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，则在铅房周围 50m 评价范围内的工作人员、楼内工作人员等公众长居留场所的附加剂量率远小于 2.5μSv/h。根据设备出厂检测报告，球管 225kV，1.4mA 状态下，屏蔽柜外 10cm 处剂量值<0.5μSv/h。因此，可见自屏蔽工业 X 射线 CT 机运行时对周围环境附加剂量较小。

（2）年附加有效剂量

自屏蔽工业 X 射线 CT 机全年出束时间 250h，根据表 11-1 的剂量估算结果，则本项目主要位置工作人员和公众的年附加剂量估算结果见表 11-3。

表 11-3 本项目主要位置工作人员和公众的年附加剂量估算

位置		附加剂量率 (μSv/h)	居留 因子	全居留时间 (h/a)	年附加剂量 (μSv/a)
工作人员	屏蔽柜东侧 B 操作区	2.33E-01	1	250	58.25
	屏蔽柜南侧 A 高压电源区	4.11E-01	1/4	250	25.69
	屏蔽柜西侧 C 走道	8.83E-02	1/16	250	1.38

	屏蔽柜北侧工作台 D	2.27E-01	1	250	56.75
公众	屏蔽柜西侧 C 走道	8.83E-02	1/16	250	1.38
	工业 CT 测试间东侧 F 空调机房	4.14E-02	1/16	250	0.65
	工业 CT 测试间南侧 G 电梯厅	2.64E-02	1/16	250	0.41
	工业 CT 测试间北侧 H 楼外绿地	6.80E-02	1/16	250	1.06
	楼上 J 空调机房	7.37E-03	1/16	250	0.12

① 辐射工作人员

根据表 11-2 估算结果中，工作人员的年最大受照剂量约为 0.06mSv，低于评价设定的剂量约束值 2mSv。

1) 五部和十部工作人员剂量叠加

本项目运行后，对现有五部工业 CT 和拟增加的十一部自屏蔽工业 CT 的工作人员年附加剂量为本底值，对其影响很小，根据 2023 年年度个人剂量报告，五部工业 CT 工作人员（魏晶慧、陈欢、崔宏达三人）个人剂量均为本底值 0.144mSv，即使叠加本项目对其影响也不超过 2mSv 的个人剂量约束值。根据《中国电子科技集团公司第十二研究所使用 1 台 II 类射线装置项目环境影响报告表》计算结果，十一部工业 CT 工作人员年最大受照剂量约为 0.05mSv，即使叠加本项目对其工作人员影响，年附加剂量也不超过 2mSv 的个人剂量约束值。

2) 本项目工作人员剂量叠加

根据检测报告可知，五部工业 CT 运行时，本项目工作人员点位为背景值。根据《中国电子科技集团公司第十二研究所使用 1 台 II 类射线装置项目环境影响报告表》计算结果，十部工业 CT 运行时，本项目工作人员工作点位计算结果为 $2.34\text{E-}2 \mu\text{Sv/h}$ （保守按该报告中测试间东侧计算结果），十部工业 CT 年工作 125h，居留因子取 1，则年附加剂量率为 0.003mSv，叠加本项目工作人员年附加剂量 0.06mSv，也不超过 2mSv 的个人剂量约束值。

② 公众

场所周围公众所受最大照射剂量为 $1.38\mu\text{Sv/a}$ ，低于本评价设定的受照剂量约束值 $100\mu\text{Sv/a}$ 。

11.3 异常事件分析与防范建议

11.3.1 事件（故）分析

（1）可能发生的事故

本项目各射线装置在运行过程中可能发生的事故包括：

门-机安全联锁失效，在防护门（铅闸）未完全关闭的情况下射线装置出束或者出束期间防护门（铅闸）意外开启，会对工作人员及周围公众造成额外照射；

（2）事故剂量分析

工业 X 射线 CT 机：假设工业 X 射线 CT 机屏蔽柜的门机联锁失效，在防护门未关闭的情况下就开机出束，工作人员发现后切断设备总电源。考虑最不利情况，工业 X 射线 CT 机以最大工况运行（225kV、1.4mA），受照人员处于上防护门口操作位处，距离 CT 机靶点约 0.8m，主要受到漏射线和散射线的照射，受照时间保守取 30s。根据以上情境，估算出工件门外人员可能的事故受照剂量为：

漏射： $5\text{mSv/h} \div (0.8\text{m} \times 0.8\text{m}) \times 30\text{s} / 3600 = 0.065\text{mSv}$ ；

散射辐射： $2.88\text{E}+6\mu\text{Sv/h} \times [0.01\text{m}^2 \times 1.9\text{E}-3 / (0.02\text{m} \times 0.02\text{m})] \div (0.8\text{m} \times 0.8\text{m}) \times 30\text{s} / 3600 = 0.014\text{mSv}$ 。

由估算结果可知，该事故剂量不会对人员的健康造成严重影响，但存在事故风险。为避免上述事故，本项目自屏蔽工业 X 射线 CT 机设有门机安全联锁装置，门机联锁装置工作原理简单，可靠性高，但仍不能排除其发生故障的可能性。因此，辐射工作人员每次开展工作前，须检查设备的安全联锁系统和各项辐射防护安全措施是否正常，工作期间须按要求携带个人剂量报警仪，并禁止无关人员进入辐射工作场所。另外，经过多年使用后，铅房内部铅板可能出现老化、下沉等情况，可能导致铅房外某些区域辐射水平升高，因此，须制定并严格落实辐射监测方案，定期开展工作场所辐射环境监测和自行监测工作。

11.3.2 事件（故）防范措施建议

（1）若发生辐射事故，应立即采取以下应急处置措施：

- ①立刻切断设备总电源，强制实行停机；
- ②立即向辐射安全管理员和部门负责人汇报，并控制现场，防止无关人员

进入；

③立即启动本单位的辐射事故应急预案，向当地生态环境部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生部门报告；

④若怀疑人员可能受到较大剂量照射，应及时送往医院进行救治；

⑤配合生态环境主管部门和卫生部门调查事故原因，并做好后续工作。

(2) 建设单位应当采取以下措施预防辐射事故的发生：

①辐射工作人员须通过辐射安全与防护考核后方能上岗从事辐射工作；制定严格的射线装置使用管理规定和操作规程，杜绝违规操作；加强辐射工作人员的辐射安全知识和设备操作培训，提升工作人员的辐射安全意识和操作水平；

②辐射工作人员在每日工作开始前，须对工作场所警示标识、工作状态指示灯、急停按钮、紧急开门按钮、视频监控系统等安全与防护措施进行日常检查。发现问题应立即停止辐射工作并向单位辐射防护负责人汇报，问题未解决前禁止继续辐射工作；

③定期检查各项辐射安全与防护设施/措施的运行情况和射线装置的各项功能，并做好检查、维护和整改记录，发现问题应及时联系厂家进行维修。当射线装置安全联锁系统出现问题时，应停止使用，防止意外发生；

④制定并严格落实设备检修维护管理制度。射线装置的日常检查由设备使用单位负责，使用单位仅负责检查射线装置的功能和各项辐射安全防护措施是否正常，禁止使用单位私自对射线装置进行拆卸和维修，射线装置使用期间禁止旁路任何安全联锁系统。各射线装置的维护维修工作由设备厂家指派专业人员负责，在射线装置维护维修期间，须设立维修警示标牌，并指定专人巡逻，保证射线装置维护维修期间的辐射安全；

⑤制定并落实辐射工作场所监测方案，利用辐射监测仪器开展辐射环境自行监测，监测记录存档。如发现工作场所周围辐射剂量率出现异常，应立即停止使用，并及时查找问题，联系厂家进行维修；

⑥建立并健全各项辐射安全管理规章制度，并定期检查规章制度的落实情况，发现问题及时纠正；制定《辐射事故应急预案》，一旦发生辐射事故，应立即启动应急预案，采取必要的防范措施，怀疑人员可能受到大剂量照射的，

应及时送至医院进行医学处理。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全管理机构

12.1.1 辐射安全管理小组

中电十二所已经设置了辐射安全管理小组作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1-3 所示。

辐射安全管理小组的职责包括：

1. 在该单位辐射安全管理组长、副组长的领导下，负责该单位辐射安全防护的管理工作。

2. 贯彻执行国家、北京市政府部门有关法律、法规、规章、相关标准及有关规定。负责对该单位相关部门和人员进行法律、法规及相关标准的培训、教育、指导和监督检查等工作。

3. 制定、修订该单位辐射安全防护管理制度及仪器设备操作规程。

4. 制定、修订辐射事故应急预案，配备相应的事故处理物资仪器、工具，一旦发生辐射意外事故或情况，在辐射安全管理组长的指挥下负责事故现场的应急处理工作。

5. 负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。

6. 建立射线装置使用情况档案，组织单位有关部门和人员对剂量监测仪器进行检查和维护保养，保证正常使用。

7. 对该单位从事辐射工作的人员进行条件和岗位能力的考核，组织参加专业体检、培训并取得相应资格证。

8. 组织实施对从事辐射工作人员的剂量监测，做好个人剂量计定期检测工作，对数据进行汇总、登记、分析等工作。做好该单位年度评估报告工作，认真总结、持续改进并上报有关部门。

12.1.2 辐射工作人员

本项目拟新增 2 名辐射工作人员，将在生态环境部培训平台报名参加并通过辐射安全和防护考核，考核合格后方可继续从事辐射工作，同时按照国家相关规定进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案，并为工作人员保存职业照射记录。

12.2 辐射安全管理规章制度

中电十二所已制定辐射安全管理制度，包含射线装置操作规程、辐射工作人员培训考核计划、辐射工作场所安全和防护管理制度、设备检修维护制度、辐射工作人员个人剂量监测制度、工作场所和环境辐射水平监测方案、台帐管理制度、辐射事故应急制度等辐射安全管理制度，严格执行后能确保项目的顺利实施。

12.3 辐射监测

12.3.1 个人剂量监测

中电十二所制订了辐射工作人员个人剂量监测的管理要求，目前已委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司承担，所有辐射工作人员均拟佩戴 TLD 个人剂量计，监测频度为每 3 个月检测一次，并按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令 18 号）要求建立个人剂量档案。辐射工作人员进行个人剂量监测发现监测结果异常的，立即核实和调查，并将有关情况进行文字记录。

本项目新增 2 名辐射工作人员的个人剂量监测工作将继续委托专业机构完成。

12.3.2 工作场所自行监测方案

根据原环保部 18 令的要求，单位委托有资质单位每年对工作场所进行 1 次辐射水平监测。此外，每年使用便携式剂量率仪开展 2 次自行监测，建立辐射环境监测记录，包括测量位置、测量条件、测量仪器、测量时间、测量人员和剂量率数据等内容。

本项目拟新增 1 台便携式X-γ 剂量率仪，2 台个人剂量报警仪，对拟建辐射工作场所进行监测，本项目自行监测方案如下。

工作人员使用便携式剂量监测仪，点位包括辐射工作场所四周和楼上（人员可达处），监测数据记录存档，测量结果连同测量条件、测量方法和仪器、测量时间等一同记录并妥善保存。对辐射工作场所进行监测，监测计划见表12-1，检测点位示意图见图12-1。

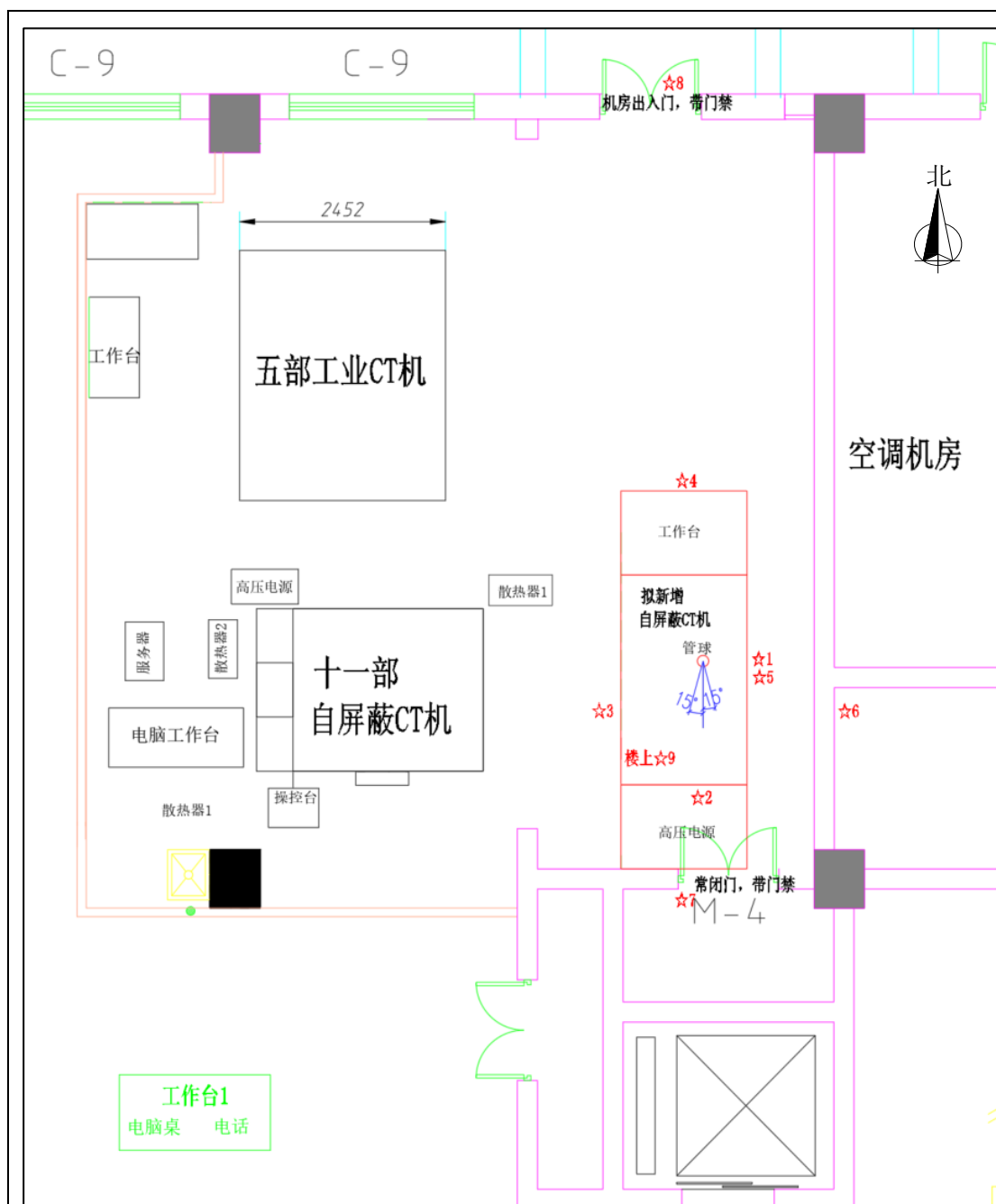


图 12-1 自行检测点位图（标注★为剂量率检测位置）

表 12-1 工作场所辐射剂量率检测点位设置

编号	场所名称	监测点位置	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	监测频次
1	自屏蔽工业 X 射线 CT 机	东侧走道		2 次/年
2		南侧高压电源区		2 次/年
3		西侧走道		2 次/年
4		北侧电脑工作台		2 次/年

5		观察窗		2 次/年
6		东侧工业 CT 测试间外		2 次/年
7		南侧工业 CT 测试间外		2 次/年
8		北侧工业 CT 测试间外		2 次/年
9		楼上空调机房		2 次/年

12.4 辐射事故应急管理

中电十二所依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，已制定辐射事故应急预案，一旦发生辐射事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在应急预案中明确规定处理的组织机构及其职责分工、事故分级、应急措施、报告程序、联系方式等内容。

发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。单位将每年至少组织一次应急演练。

12.5 项目环保验收内容建议

建议本项目的环保验收内容列于表 12-2 中。

表 12-2 项目环境保护竣工验收内容

验收内容	验收要求
剂量约束值和剂量率控制	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告建议，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a。辐射工作场所周围（控制区边界外）辐射剂量率不大于 2.5μSv/h。
电离辐射标志和中文警示	在防护门上设置放射性警告标识和中文警示说明。
布局和屏蔽设计	本项目工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。屏蔽墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。通风换气设施运转正常，通风能力满足设计要求。
辐射安全设施	辐射工作场所实行分区管理，在防护门外安装警示灯，告诫无关人员勿靠近铅房。自屏蔽工业 X 射线 CT 机和新建铅房设有监控系统和急停按钮等。
辐射监测	有满足管理要求的辐射监测制度，每年委托有资质单位对自屏蔽工业 X 射线 CT 机进行辐射监测和开展自行监测，监测记录存档；新增 1 台辐射剂量巡测仪和 2 台个人剂量报警仪。辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案。

规章制度	制定有相应的辐射安全防护制度，从业人员辐射安全培训考核、各项操作规程、设备检修维护制度、辐射防护和安全保卫制度、台帐管理制度、环境监测及个人剂量监测制度等，并有效贯彻落实。
人员培训	本项目配备的 2 名辐射工作人员均应通过辐射安全和防护考核。
应急预案	针对人员误入受照大剂量照射，以及导致环境污染后果等情景，建立有应急预案，并落实必要的应急装备，制定有辐射事故（件）应急演练计划。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 实践正当性分析

中电十二所是我国成立最早、规模最大、体系完备的以研制微波电真空器件为主的国家骨干研究所，拥有国内先进水平的微波测试分析系统、精加工设备和精密测量设备，设有国家级大功率微波电真空器件技术重点实验室。单位新增的北京真空电子科技有限公司南通分公司生产的BVE-CT2250型自屏蔽工业X射线CT机为成熟设备，且设备运行对周边环境辐射影响较小，满足实践正当性。

13.1.2 辐射防护屏蔽能力分析

在设置辐射工作场所时已充分考虑了其性能和特点、周围工作场所的防护与安全，对辐射工作场所选址和布局设计进行了综合考虑，辐射工作场所屏蔽设计原则符合辐射工作场所使用和辐射防护安全的要求。

13.1.3 辐射环境评价

(1) 估算结果表明：本项目运行时，预计工作人员的年受照剂量低于相应剂量约束值（2mSv/a），公众受到的附加辐射剂量低于剂量约束限值 0.1mSv/a。符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

(2) 本项目射线装置正常运行（使用）情况下，不产生放射性废气、放射性废水和放射性固体废物，故不存在放射性“三废”对环境影响的问题。

(3) 辐射安全防护管理：单位设有辐射安全与防护领导小组，负责该单位的辐射安全管理和监督工作。拟完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台账管理制度、人员培训考核制度、监测方案和应急预案等，具备了从事使用射线装置的基本条件。

(4) 与《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》的规定对照检查，满足要求。

13.1.5 结论

综上所述，北京真空电子技术研究所（中国电子科技集团公司第十二研究所）使用II类射线装置项目，在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治

措施及建议前提下，其运行对周围环境产生的辐射影响，符合环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，本项目的运行是可行的。

13.2 承诺

（1）加强本单位的辐射安全管理，发现问题，及时整治，制度管理制度，落实管理责任。

（2）辐射工作人员全部参加辐射安全与防护考核，持证上岗。定期组织在岗人员参加辐射安全知识继续教育。

（3）项目竣工许可后应按照环保相关法规要求及时自行办理竣工验收，并接受生态环境部门的监督检查。

（4）在辐射项目运行中决不容许违规操作和弄虚作假等现象发生，如若发现相关现象接受相关处理。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，单位进行调查并报生态环境部门备案。

表 14 审 批

下一级生态环境部门预审意见：

公 章

经办人

年 月 日

审批意见：

公 章

经办人

年 月 日

