

核技术利用建设项目

厦门新能安科技有限公司  
3 台工业 CT 机项目

环境影响报告表

(公开本)

厦门新能安科技有限公司 (盖章)

2025 年 1 月



# 目 录

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 表 1 项目基本情况.....          | 1   |
| 表 2 放射源.....             | 25  |
| 表 3 非密封放射性物质.....        | 25  |
| 表 4 射线装置.....            | 26  |
| 表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） ..... | 27  |
| 表 6 评价依据.....            | 28  |
| 表 7 保护目标与评价标准.....       | 30  |
| 表 8 环境质量和辐射现状.....       | 37  |
| 表 9 项目工程分析与源项.....       | 42  |
| 表 10 辐射安全与防护.....        | 58  |
| 表 11 环境影响分析.....         | 70  |
| 表 12 辐射安全管理.....         | 95  |
| 表 13 结论与建议.....          | 99  |
| 表 14 审批.....             | 101 |

## 附件：

- 附件 1：委托书
- 附件 2：辐射安全许可证
- 附件 3：辐射安全与防护管理机构及其职责
- 附件 4：辐射事故应急预案
- 附件 5：辐射安全与防护管理基本制度
- 附件 6：辐射工作人员名单及培训合格证书
- 附件 7：体检资料
- 附件 8：个人剂量片检测报告
- 附件 9：监测报告
- 附件 10：现有环评批复、验收意见和登记表

表 1 项目基本情况

|             |          |                                                                                                                            |                                                                                                                                                       |                       |                   |
|-------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| 建设项目名称      |          | 厦门新能安科技有限公司 3 台工业 CT 机项目                                                                                                   |                                                                                                                                                       |                       |                   |
| 建设单位        |          | 厦门新能安科技有限公司                                                                                                                |                                                                                                                                                       |                       |                   |
| 法人代表        | 贾琢成      | 联系人                                                                                                                        | **                                                                                                                                                    | 联系电话                  | **                |
| 注册地址        |          | 厦门火炬高新区同翔高新城洪塘路 600 号                                                                                                      |                                                                                                                                                       |                       |                   |
| 项目建设地址      |          | 厦门火炬高新区同翔高新城洪塘路 600 号                                                                                                      |                                                                                                                                                       |                       |                   |
| 立项审批部门      |          | /                                                                                                                          |                                                                                                                                                       | 批准文号                  | /                 |
| 建设项目总投资（万元） | 1500     | 项目环保投资（万元）                                                                                                                 | 45                                                                                                                                                    | 投资比例（环保投资/总投资）        | 3.00%             |
| 项目性质        |          | <input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它 |                                                                                                                                                       | 占地面积（m <sup>2</sup> ） | 132m <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 type="checkbox"/> 生产                                                                                                | <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类                                                                                            |                       |                   |
|             |          | <input type="checkbox"/> 销售                                                                                                | <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类                                                                                            |                       |                   |
|             |          | <input checked="" type="checkbox"/> 使用                                                                                     | <input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类                                                                                 |                       |                   |
|             | 其他       | /                                                                                                                          |                                                                                                                                                       |                       |                   |

项目概况

1.1 建设单位基本情况

厦门新能安科技有限公司（以下简称“新能安公司”）位于厦门火炬高新区同翔高新城洪塘路 600 号，成立于 2021 年，经营范围包括电池制造；电池销售；蓄电池租赁；电子专用材料制造；电子专用材料销售；新材料技术推广服务；货物进出口。

1.2 项目建设内容

为提高产品质量和市场竞争力，厦门新能安科技有限公司根据生产需要，计划在厂区内搬迁现有 1 台工业 CT 机，同时新增 2 台工业 CT 机，用于电池的内部缺陷检测。本项目具体建设内容如下：

（1）将现有位于 S8 厂房一层的 1 台 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机搬

迁至 A2 厂房一层。

(2) S13 厂房一层新增 1 台 TSOL-CT225X 型工业 CT 机。

(3) S11 厂房四层新增 1 台 DBA-CT9300 型工业 CT 机。

以上 3 台工业 CT 机均自带屏蔽体，属于 II 类射线装置，具体参数见表 1.1。

表 1.1 射线设备参数

| 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  | 工业 CT 机 | II 类 | 1  | METROTOM 1500 225kV G3 型 | 225        | 3          | 电池内部缺陷检测 | A2 厂房一层 CT 测试室，面积 81 m <sup>2</sup>  | 搬迁现有设备，1 个 X 射线源，定向，固定式 |
| 2  | 工业 CT 机 | II 类 | 1  | TSOL-CT225X 型            | 225        | 3          | 电池内部缺陷检测 | S13 厂房一层 CT 检测区，面积 18 m <sup>2</sup> | 新增设备，1 个 X 射线源，定向，固定式   |
| 3  | 工业 CT 机 | II 类 | 1  | DBA-CT9300 型             | 150        | 0.5        | 电池内部缺陷检测 | S11 厂房四层 CT 检测区，面积 33 m <sup>2</sup> | 新增设备，2 个 X 射线源，周向，固定式   |

### 1.3 任务由来

根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》以及《国务院关于修改部分行政法规的决定》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《建设项目环境影响评价分类管理名录》等国家辐射环境管理相关法律法规的规定，为切实做好该项目的环境保护工作，厦门新能安科技有限公司委托福建省环安检测评价有限公司对拟建项目进行环境影响评价（委托书见附件 3）。本次环评主要针对厦门新能安科技有限公司 3 台工业 CT 机项目进行环境影响评价。

根据《关于发布射线装置分类办法的公告》《建设项目环境影响评价分类管理名录》等有关规定和厦门新能安科技有限公司提供的资料，项目应编制环境影响报告表。

### 1.4 项目地理位置及周围环境

项目位于厦门火炬高新区同翔高新城洪塘路 600 号厂区 S13 厂房、S11 厂房、A2 厂房内。

A2 厂房北侧、东侧、南侧为厂内道路、西侧为行政办公楼。A2 厂房为三层建筑物，无地下室，工业 CT 机位于一层 CT 测试室；工业 CT 机北侧为厂内道路、西侧为控制室和干燥房、南侧为走廊和电解液分析室、东侧为走廊和发电机房、上方为叠片制样室、下方为土层。

S13 厂房北侧为 S12 污水站和 S15 变电站、西侧为厂内道路和 S11 成品仓、南侧为 M3 模组厂房、东侧为厂内道路和二期预留用地。S13 厂房为四层建筑物，无地下室，工业 CT 机位于一层南侧中部 CT 检测区；工业 CT 机北侧为仓库、西侧为 SORT 区和检验区、南侧为 SORT 区和走廊、东侧为辅料试验室、上方为仓库、下方为土层。

S11 厂房北侧为厂内道路和 S12 污水站、西侧为 S10 成品仓、南侧为 S8 静置车间和 M2 电芯厂房、东侧为 M3 模组厂房和 S13 成品仓。S11 厂房为四层建筑物，无地下室，工业 CT 机位于四层 CT 检测区；工业 CT 机北侧、西侧、南侧为仓库，东侧为仓库和目检区，下方为仓库，上方为厂房上空。

**表 1.2 项目周围场所一览表**

| 设备                              | 位置              | 北侧   | 西侧         | 南侧        | 东侧      | 上方        | 下方    |
|---------------------------------|-----------------|------|------------|-----------|---------|-----------|-------|
| METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机 | A2 厂房一层 CT 测试室  | 厂内道路 | 控制室和干燥房    | 走廊和电解液分析室 | 走廊和发电机房 | 二层，叠片制样室  | 土层    |
| TSOL-CT225X 型工业 CT 机            | S13 厂房一层 CT 检测区 | 仓库   | SORT 区和检验区 | SORT 区和走廊 | 辅料试验室   | 二层，仓库     | 土层    |
| DBA-CT9300 型工业 CT 机             | S11 厂房四层 CT 检测区 | 仓库   | 仓库         | 仓库        | 仓库和目检区  | 厂房上空，无人到达 | 三层，仓库 |

项目地理位置及周边情况见图 1.1-图 1.15。

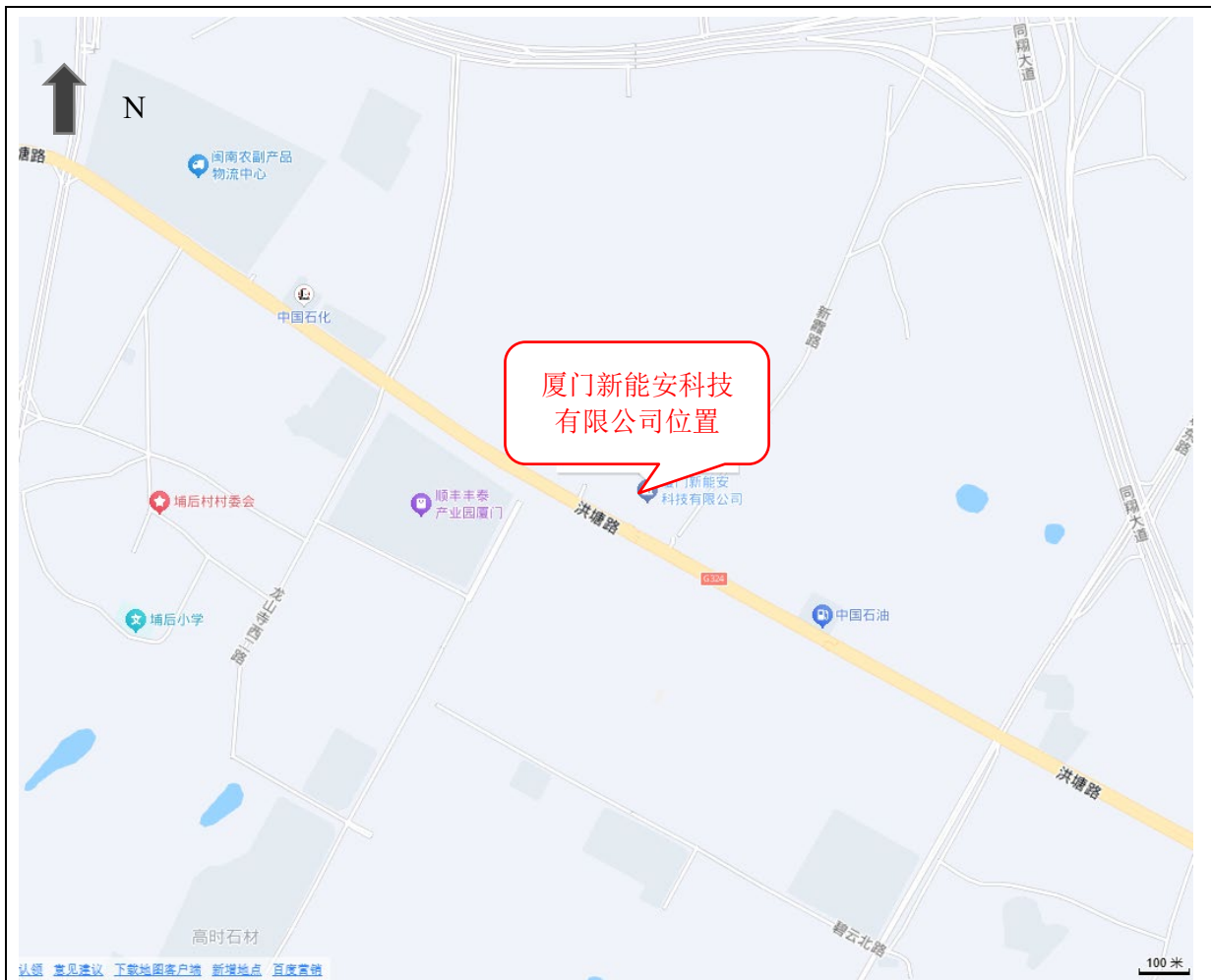


图 1.1 厦门新能安科技有限公司地理位置图

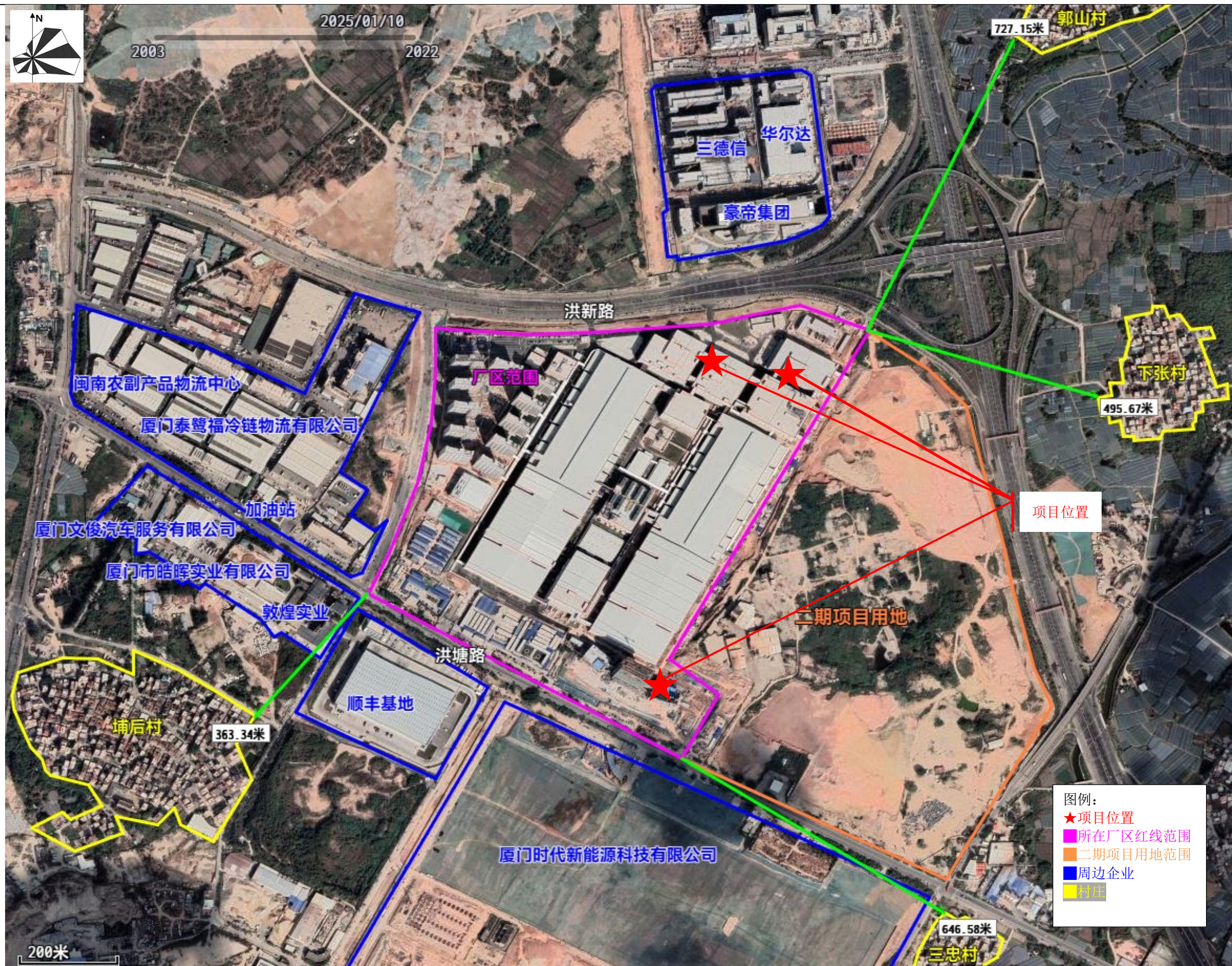


图 1.2 项目地理位置图

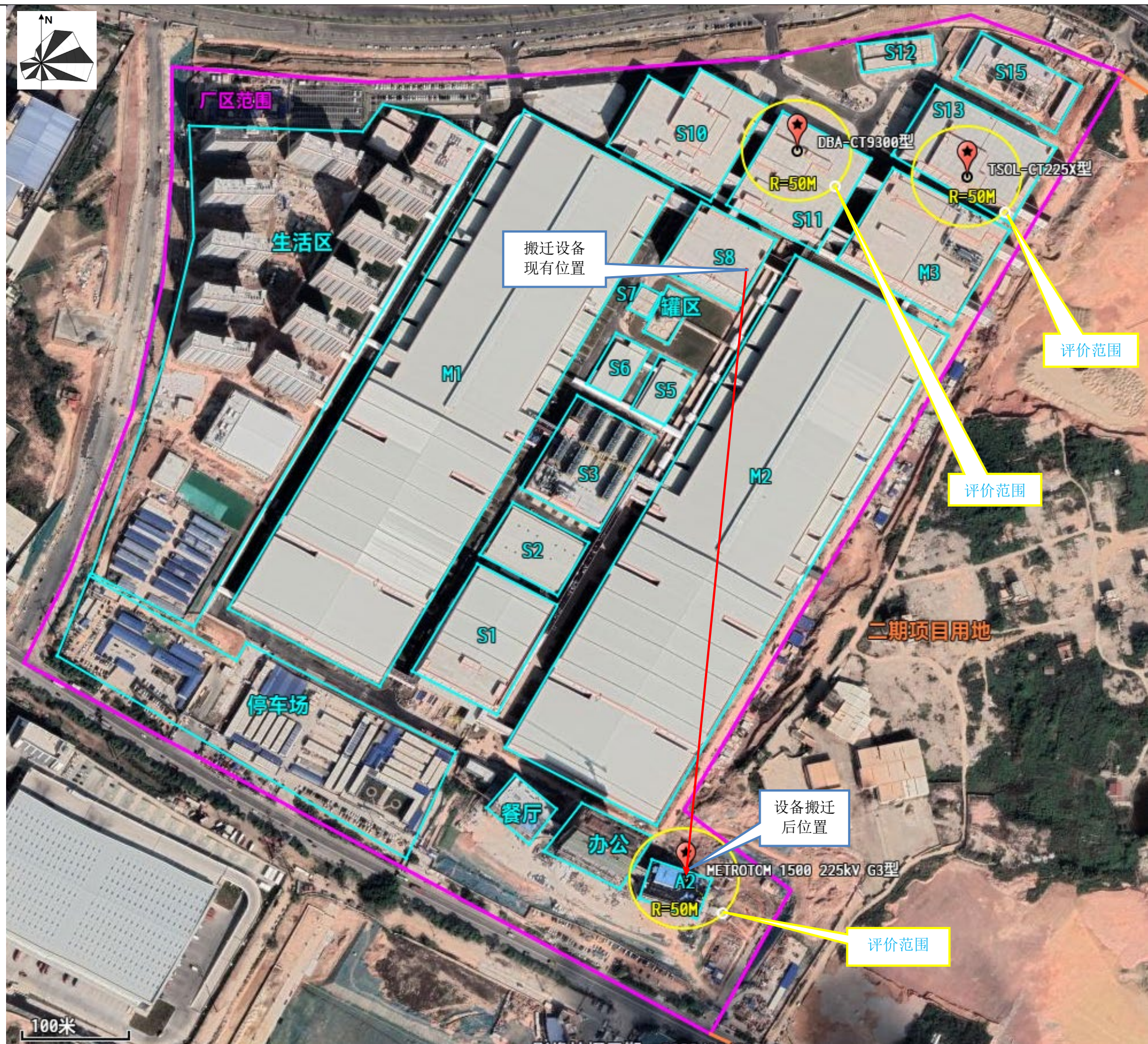


图 1.3 厦门新能安科技有限公司总平面布置及评价范围示意图

| 编号  | 建筑物    |
|-----|--------|
| S12 | 污水站    |
| S15 | 变电站    |
| S13 | 成品仓    |
| S10 | 成品仓    |
| S11 | 成品仓    |
| M3  | 模组厂房   |
| M1  | 电芯厂房   |
| M2  | 电芯厂房   |
| S8  | 静置车间   |
| S7  | NMP 泵房 |
| S6  | 电解液房   |
| S5  | 化学品仓   |
| S3  | 设施房    |
| S2  | 原料仓    |
| S1  | 原料仓    |
| A2  | 研发厂房   |

图例：  
 设备位置  
 所在厂区红线范围  
 二期项目用地范围  
 厂内建筑物  
 50m 评价范围

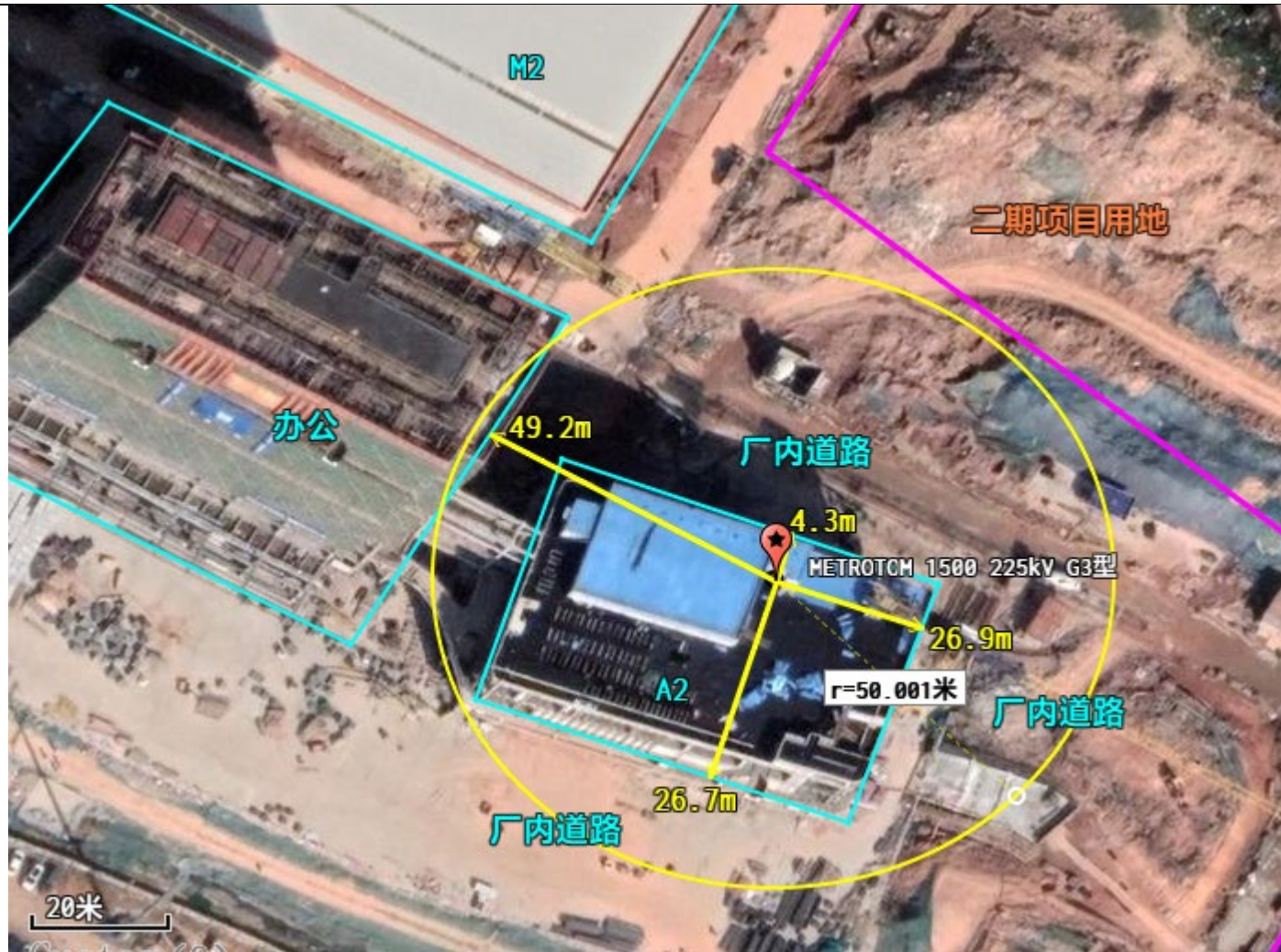
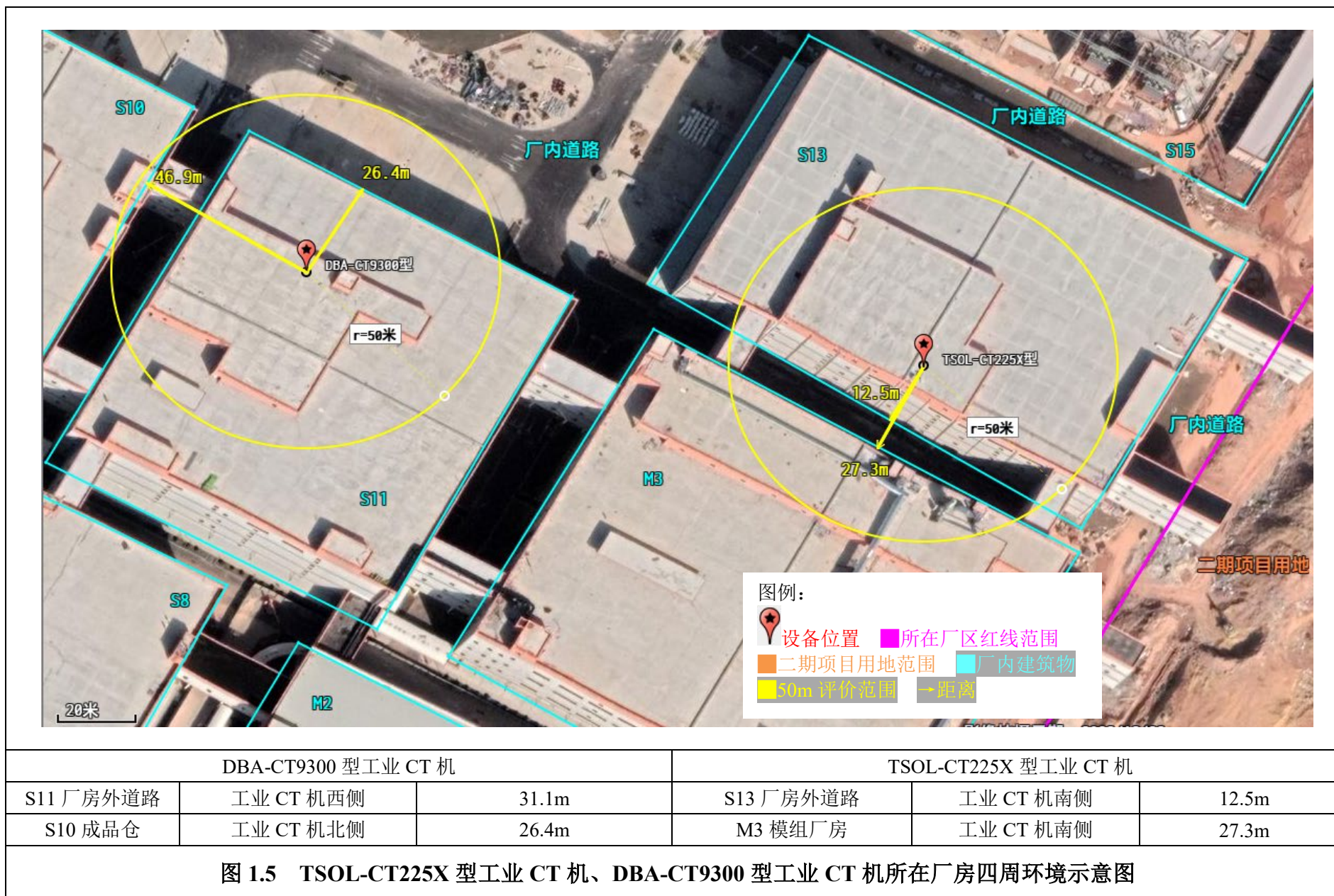


图 1.4 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机所在厂房四周环境示意图

| 场所       | 方位        | 最近距离  |
|----------|-----------|-------|
| 行政办公楼    | 工业 CT 机西侧 | 49.2m |
| A2 厂房外道路 | 工业 CT 机南侧 | 26.7m |
| A2 厂房外道路 | 工业 CT 机东侧 | 26.9m |
| A2 厂房外道路 | 工业 CT 机北侧 | 4.3m  |

图例:

-  设备位置
-  所在厂区红线范围
-  二期项目用地范围
-  厂内建筑物
-  50m 评价范围
-  距离





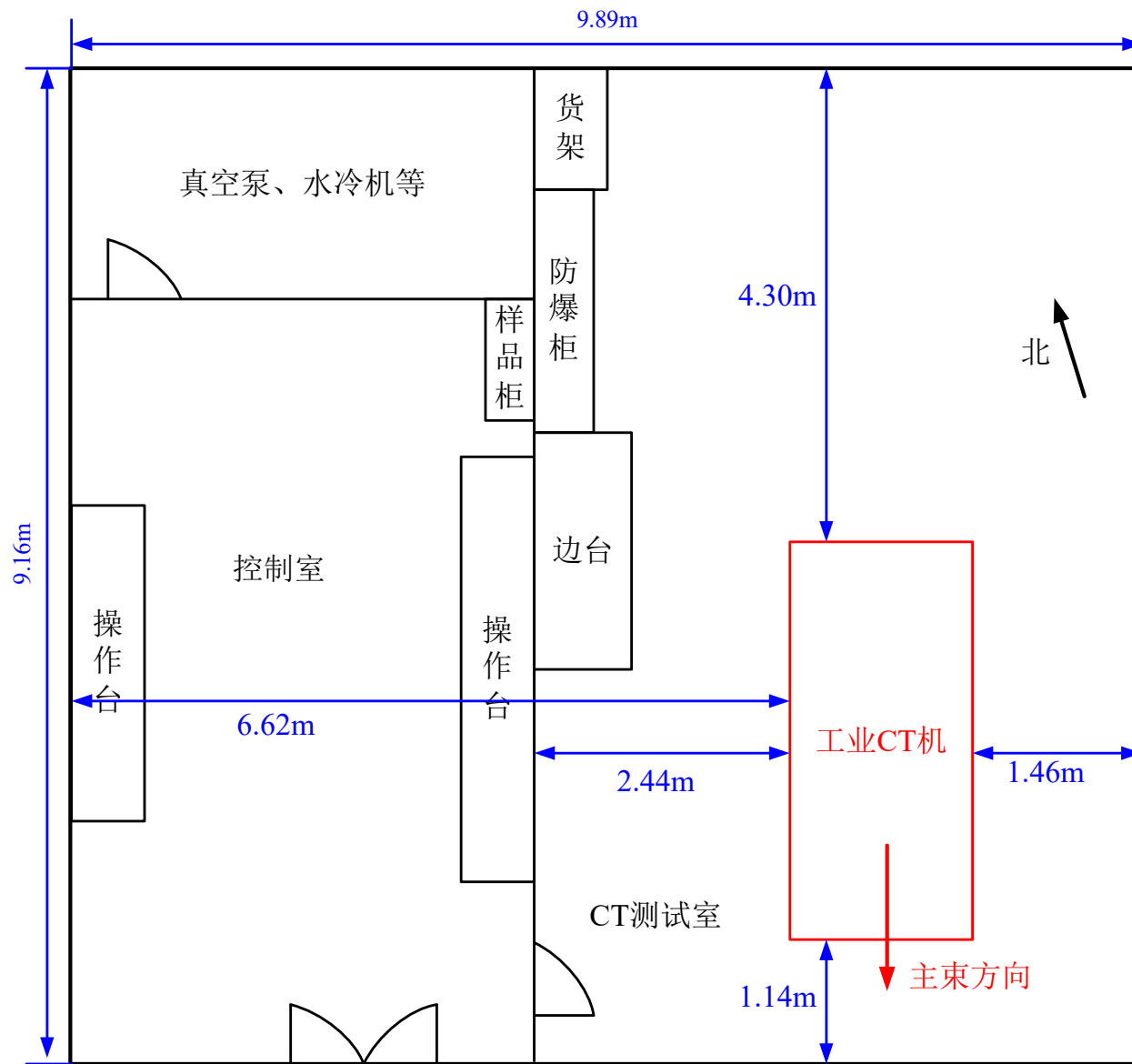
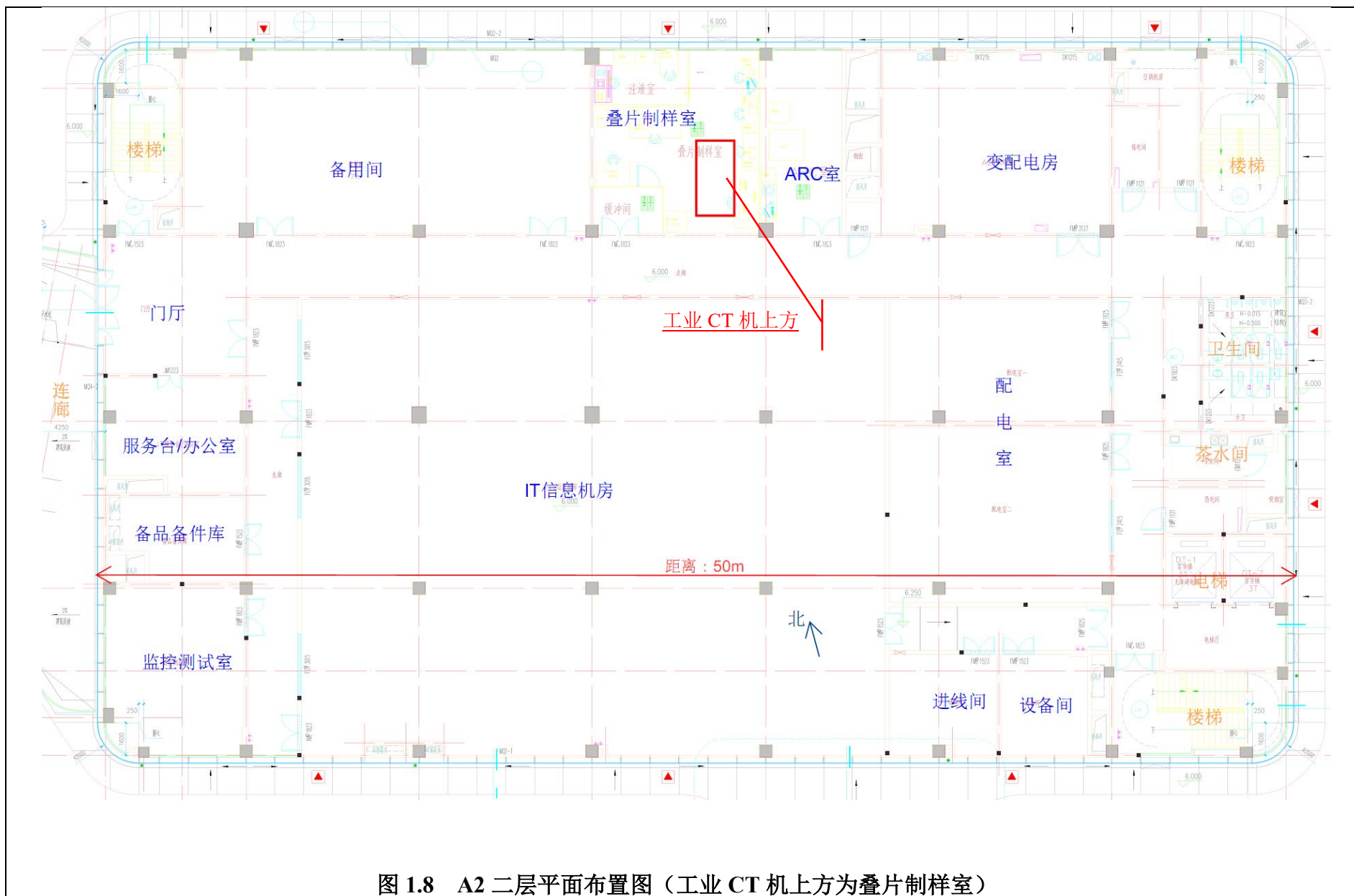
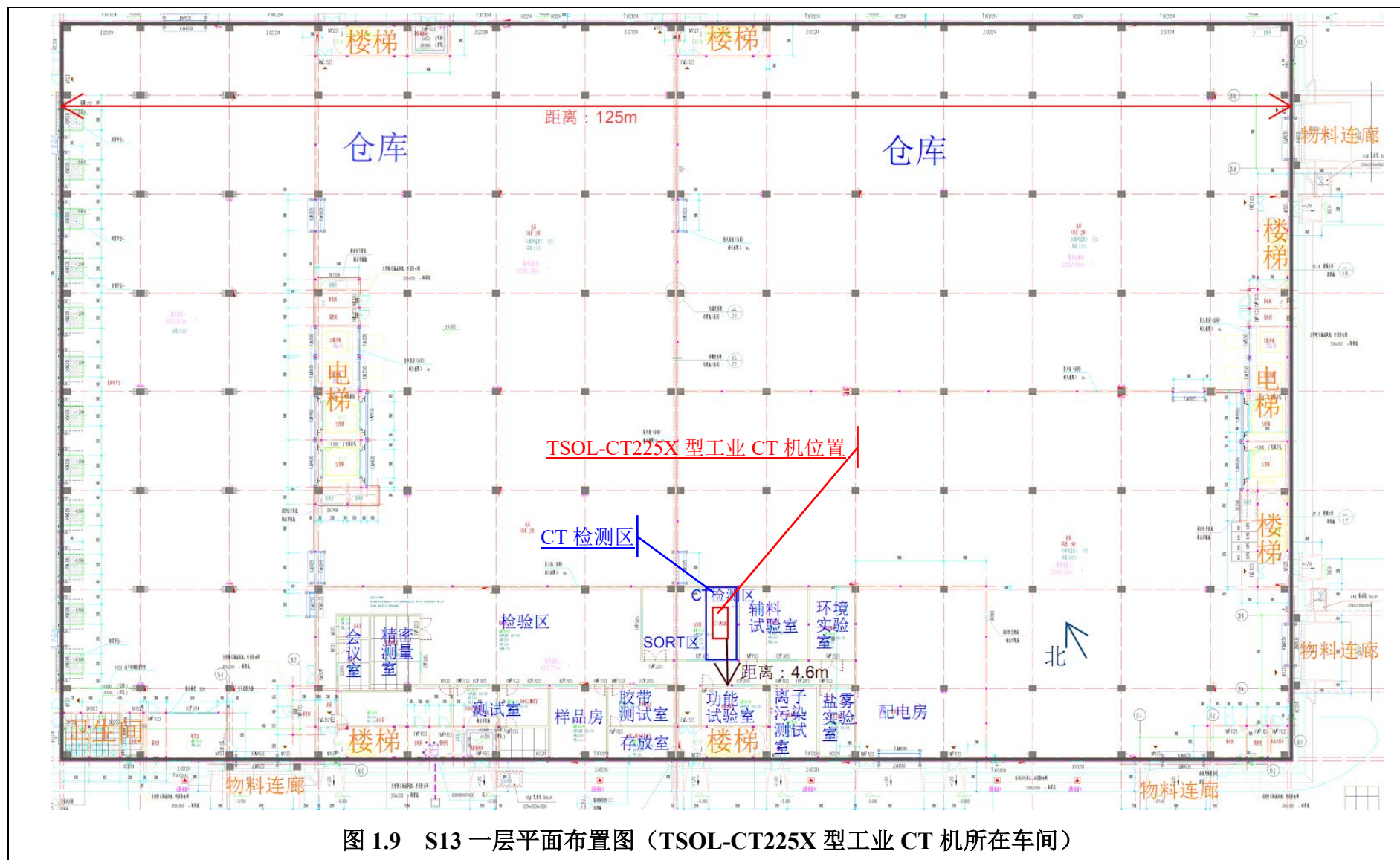
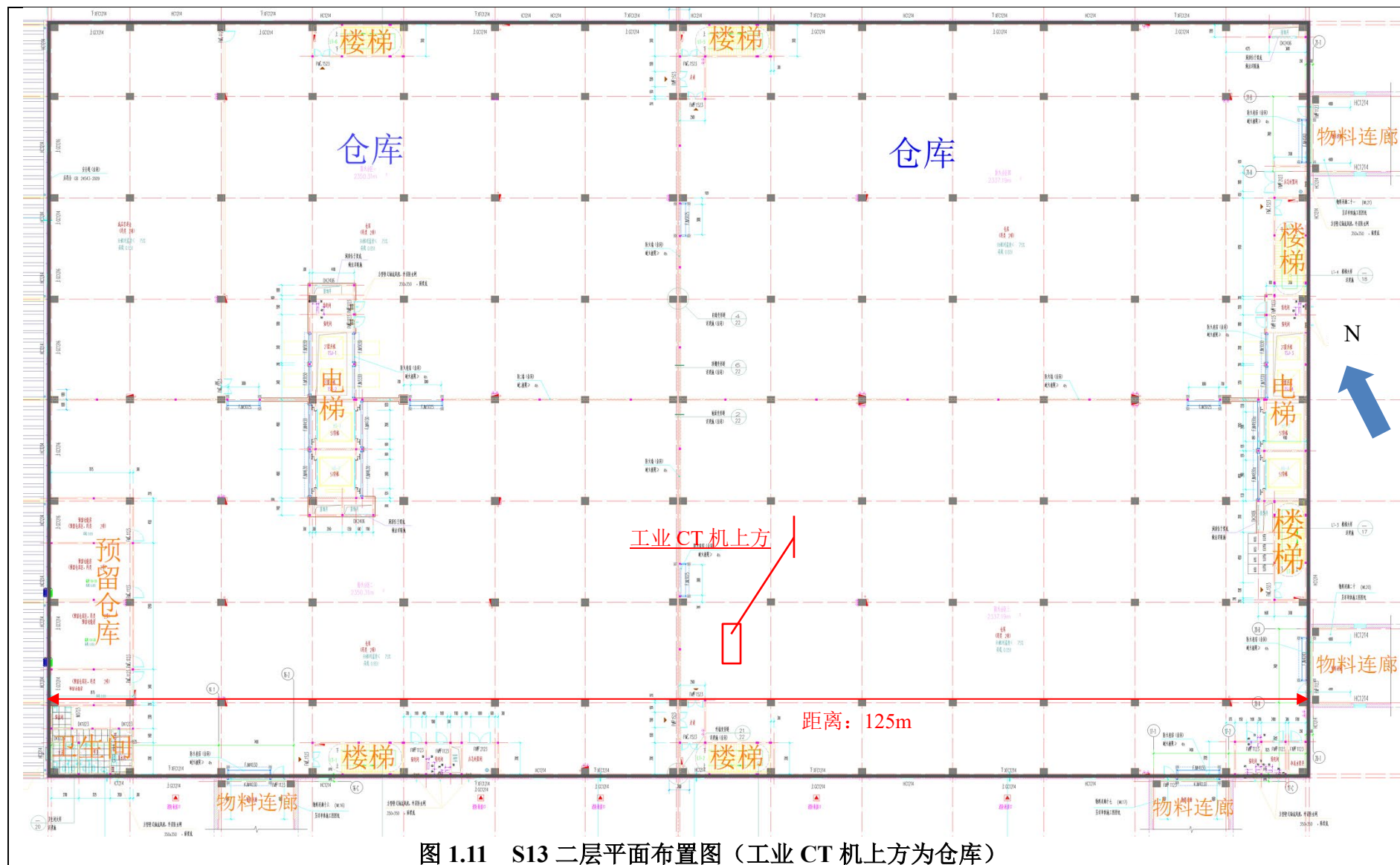


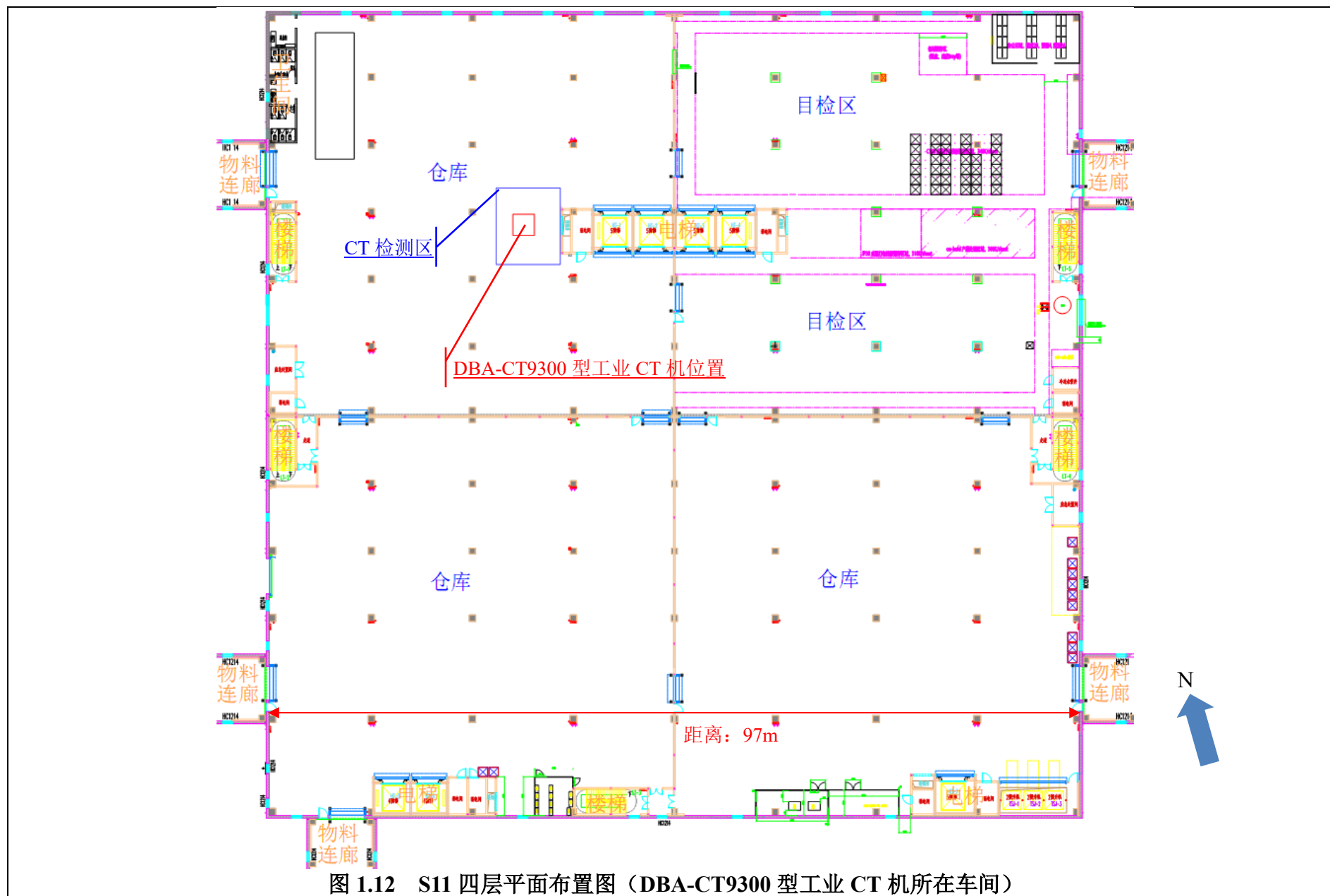
图 1.7 A2 一层 CT 测试室平面布置图（CT 测试室为单独隔间，四周均有实体墙体）











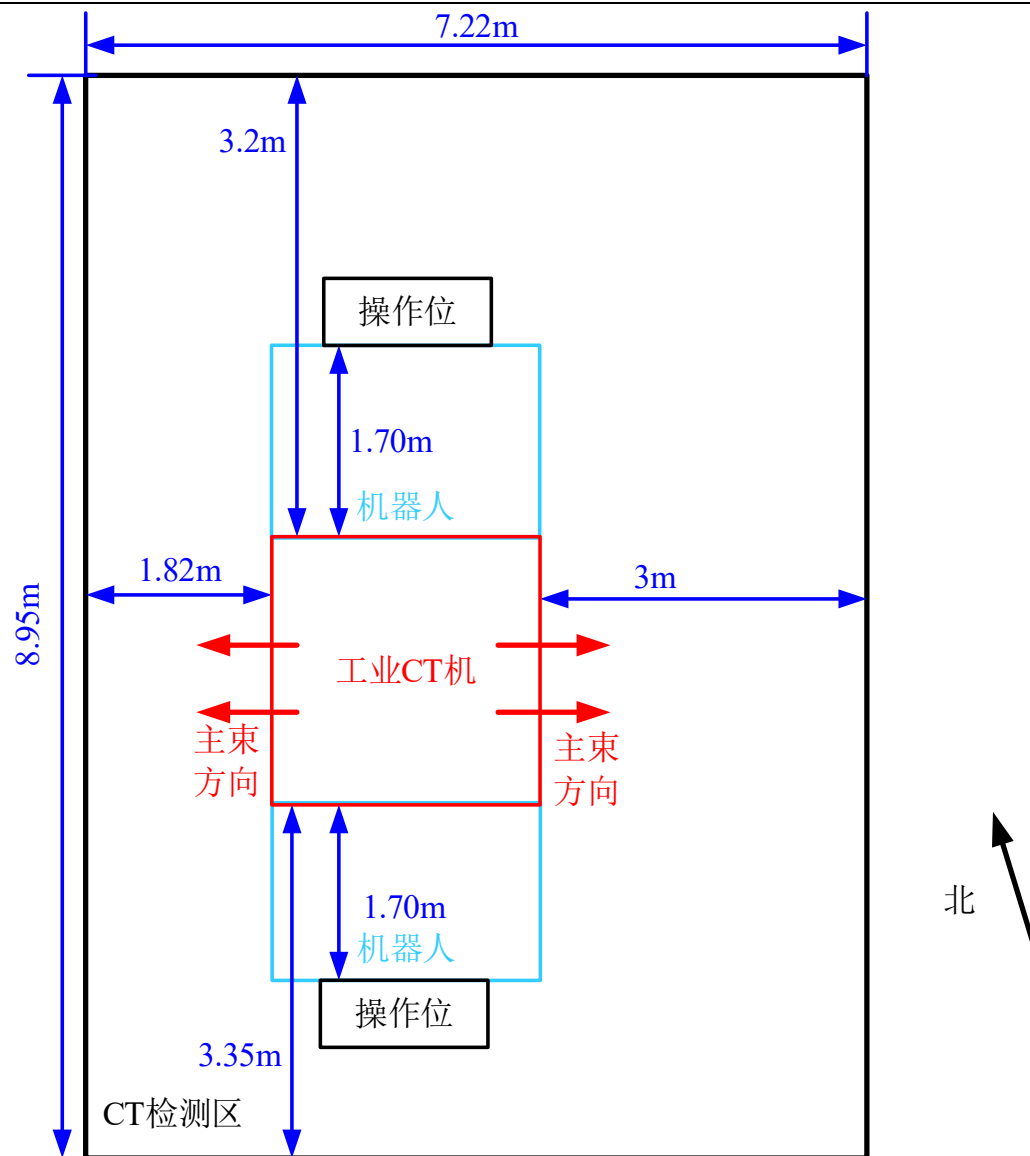


图 1.13 S11 四层 CT 检测区平面布置图 (CT 检测区东侧有实体墙体, 北侧、西侧、南侧为车间内部)

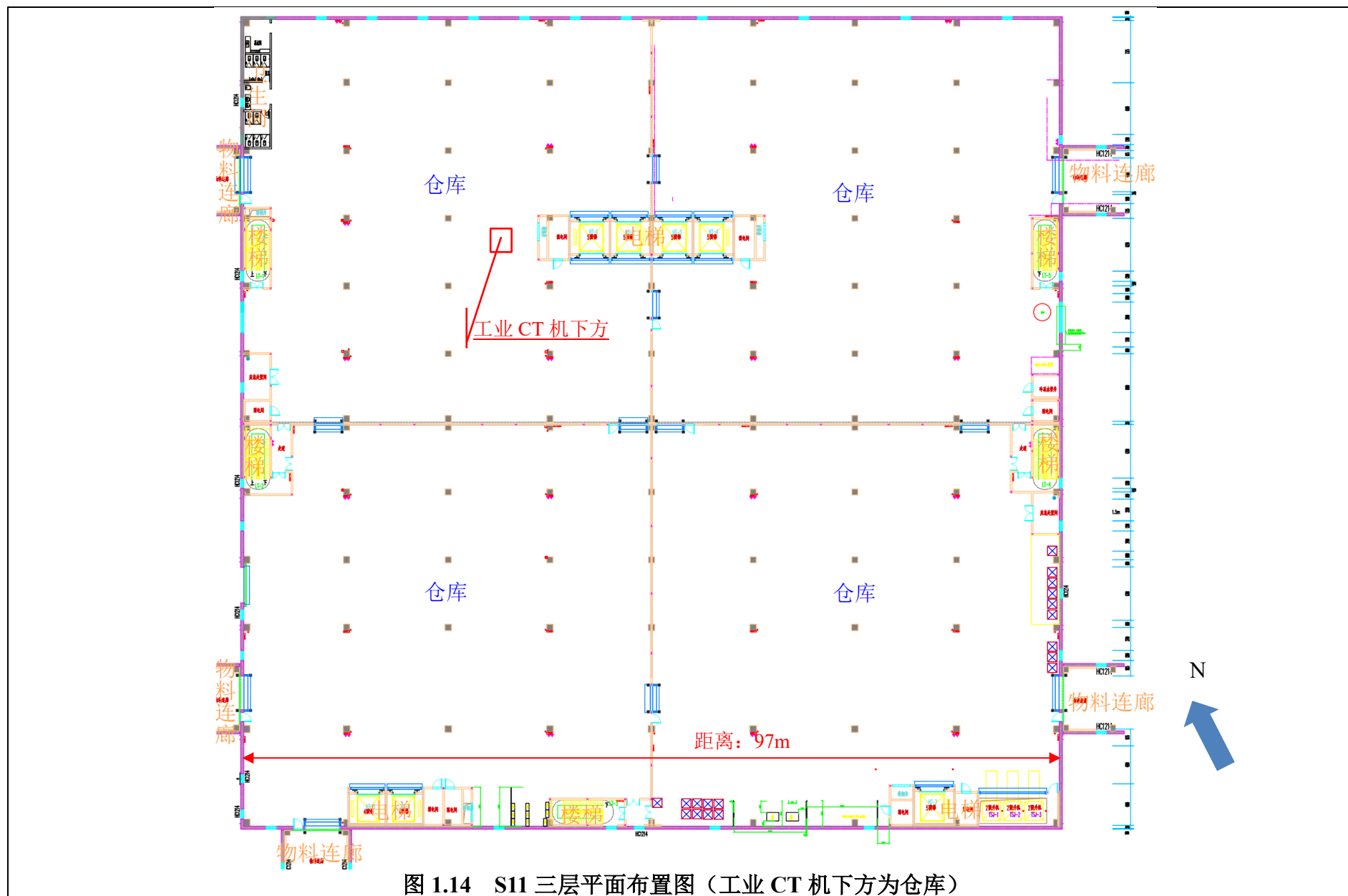
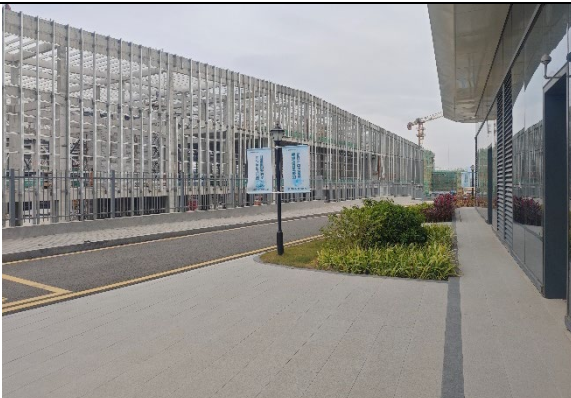
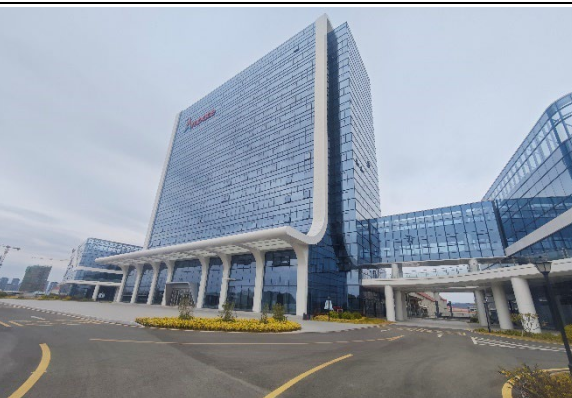


图 1.14 S11 三层平面布置图（工业 CT 机下方为仓库）

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| <p>新能安公司北侧：洪新路、帝豪集团等企业</p>                                                          | <p>新能安公司西侧：道路</p>                                                                    |
|   |   |
| <p>新能安公司南侧：洪塘路</p>                                                                  | <p>新能安公司东侧、S13 厂房东侧：二期项目用地</p>                                                       |
|  |  |
| <p>METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机<br/>所在建筑：A2 研发厂房</p>                             | <p>METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机<br/>位置：CT 测试室</p>                                 |
|  |  |
| <p>A2 厂房北侧、CT 测试室北侧：厂内道路</p>                                                        | <p>A2 厂房西侧：厂内道路和行政办公楼</p>                                                            |



A2 厂房南侧：厂内道路



A2 厂房东侧：厂内道路



CT 测试室西侧：干燥房（待建）



CT 测试室南侧：实验室（待建）



CT 测试室东侧：发电机房



CT 测试室上方：叠片制样室（待建）



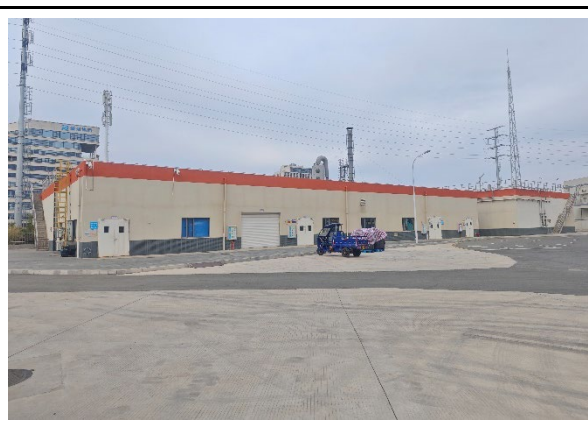
TSOL-CT225X 型工业 CT 机  
所在建筑：S13 厂房



TSOL-CT225X 型工业 CT 机  
位置：CT 检测区



S13 厂房北侧：S15 变电站、厂内道路



S13 厂房北侧、西侧，S11 厂房北侧：S12 污水站、厂内道路



S13 厂房南侧、S11 厂房东侧：M3 厂房



CT 检测区北侧：仓库



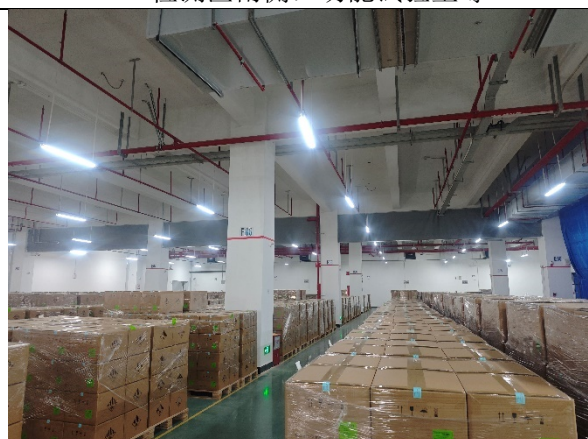
CT 检测区西侧：检测区



CT 检测区南侧：功能试验室等



CT 检测区东侧：辅料试验室



CT 检测区楼上：仓库



图 1.15 厦门新能安科技有限公司现状照片

1.5 产业政策符合性分析

项目使用 3 台工业 CT 机用于电池的内部缺陷检测，不属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中的“限制类”和“淘汰类”，项目建设符合国家现行产业政策。

1.6 代价利益分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补可能引起的辐射危害时，该实践是正当的。满足企业的发展需求，提高产品质量，具有良好的社会效益和经济效益。根据报告分析，项目经辐射防护和安全管理后，可保证项目辐射环境剂量率和人员辐射剂量满足项目管理目标要求。项目对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，因此本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

1.7 现有核技术利用项目许可

厦门新能安科技有限公司目前持有的辐射安全许可证书编号为：闽环辐证[00509]，许可种类和范围：使用 V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，发证日期：2024 年 10 月 12 日，许可有效期至：2027 年 10 月 24 日，现有辐射安全许可证见附件 2。

现有和技术利用项目为使用 141 枚 V 类放射源，使用 1 台 II 类射线装置、4 台 III 类射线装置，经核实，厦门新能安科技有限公司现有的放射源和射线装置许可情况明细见表 1.3、表 1.4，均已履行了相关环保手续，无遗留环保问题，环评批复、验收意见和登记表资料见附件 10。

表 1.3 已许可放射源一览表

| 序号 | 核素    | 类别 | 活度（Bq）                | 数量  | 使用场所   | 环评情况                                        | 验收情况 | 用途 |
|----|-------|----|-----------------------|-----|--------|---------------------------------------------|------|----|
| 1  | Kr-85 | V类 | 1.85×10 <sup>10</sup> | 111 | 电芯生产车间 | 建设项目环境影响登记表<br>（备案号：<br>202335021200000096） | /    | 测厚 |
| 2  | Kr-85 | V类 | 1.11×10 <sup>10</sup> | 30  |        |                                             | /    | 测厚 |

表 1.4 已许可射线装置一览表

| 序号 | 辐射活动场所        | 装置分类名称                         | 类别    | 数量(台) | 装置名称                            | 技术参数(最大)                | 环评情况(批复日期、文号)                         | 验收情况                     | 备注     |
|----|---------------|--------------------------------|-------|-------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------|
| 1  | S8 厂房一层 CT 室  | 工业用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置        | II 类  | 1     | METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机 | 管电压 225kV<br>管电流 3mA    | 2023 年 11 月 29 日, 闽环辐评〔2023〕57 号      | 2024 年 12 月已完成竣工环境保护自主验收 | 本次搬迁设备 |
| 2  | SMT 车间和电芯生产车间 | 其他各类 X 射线检测装置 (测厚、称重、侧孔径、测密度等) | III 类 | 1     | X 光检查机                          | 管电压 130kV<br>管电流 0.25mA | 建设项目环境影响登记表 (备案号: 202335021200000096) | /                        | /      |
| 3  |               |                                | III 类 | 1     | X 光检查机                          | 管电压 110kV<br>管电流 0.45mA |                                       |                          |        |
| 4  |               |                                | III 类 | 1     | X 光检查机                          | 管电压 150kV<br>管电流 0.5mA  |                                       |                          |        |
| 5  |               |                                | III 类 | 1     | X 光检查机                          | 管电压 150kV<br>管电流 0.5mA  |                                       |                          |        |

## 1.6 现有辐射安全管理情况

### (1) 辐射安全与防护管理机构

厦门新能安科技有限公司已成立了公司辐射安全与防护工作领导小组 (见附件 3), 指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作, 并明确了各成员管理职责, 满足环保相关管理要求。

### (2) 辐射安全管理规章制度

厦门新能安科技有限公司已针对现有核技术利用项目制定了辐射事故应急预案和辐射安全管理规章制度 (附件 4、附件 5), 主要包括《放射源设备及 X 射线装置安全操作规程》《辐射安全保卫制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射安全与环境保护管理人员职责》《放射源设备及射线装置检修维护制度》《辐射个人剂量和健康管理制

度》《安全培训制度》《辐射监测方案》《设备台账制度》《设备使用登记制度》《监测仪器使用与检验刻度管理制度》。

厦门新能安科技有限公司制定的辐射安全管理规章制度较完备且具有一定的可行

性，满足现有核技术利用项目和本项目对辐射安全管理规章制度的需求。厦门新能安科技有限公司能够按照辐射安全管理规章制度进行管理，辐射工作人员也能够严格按照各项规章制度开展工作，满足环保相关管理要求。

### （3）辐射监测和年度评估

厦门新能安科技有限公司每年均委托有资质单位对辐射工作场所进行监测，监测结果满足相关标准要求；每年对本单位辐射工作场所的安全和防护状况进行年度评估，2023 年年度评估报告已提交，目前正在编制 2024 年年度评估报告，计划于 2025 年 1 月 31 日前向发证机关提交，满足环保相关管理要求。

### （4）辐射工作人员培训、个人剂量监测和健康体检

厦门新能安科技有限公司取得辐射安全与防护考核合格证书人数有 9 人，从事辐射工作人员人数 6 人，证书均在有效期内，满足环保相关管理要求。

厦门新能安科技有限公司现有辐射工作人员均已配备个人剂量计，已定期（每季度一次）送有资质单位（2024 年度委托厦门亿科特检测技术有限公司）进行个人剂量监测，建立了个人剂量档案，现有辐射工作人员的受照剂量均未超过职业人员年受照剂量约束值要求。

厦门新能安科技有限公司定期（每两年一次）组织现有辐射工作人员进行职业健康体检，并建立辐射工作人员职业健康监护档案，根据最近一次职业健康体检报告（体检日期为 2023 年 1 月和 2024 年 4 月，均为岗前体检；2023 年 1 月体检人员计划于 2025 年 1 月完成职业健康体检），现有辐射工作人员均可进行辐射工作，满足环保相关管理要求。

### （5）运行情况

厦门新能安科技有限公司开展核技术利用项目至今，未发生过辐射安全事故。

表 2 放射源

| 序号 | 核素名称 | 总活度 (Bq) /<br>活度 (Bq) × 枚数 | 类别 | 活种动类 | 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 | 活种动类 | 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：等效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) /<br>剂量率 (Gy/h) | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|----|----|----|----|----|------|------------|---------------------------|----|------|----|
| /  | /  | /  | /  | /  | /    | /          | /                         | /  | /    | /  |
| /  | /  | /  | /  | /  | /    | /          | /                         | /  | /    | /  |

(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<br>(kV) | 最大管电流<br>(mA) | 用途                   | 工作场所               | 备注                                  |
|----|---------|------|----|-----------------------------|---------------|---------------|----------------------|--------------------|-------------------------------------|
| 1  | 工业 CT 机 | II 类 | 1  | METROTOM<br>1500 225kV G3 型 | 225           | 3             | 电池<br>内部<br>缺陷<br>检测 | A2 厂房一层 CT<br>测试室  | 搬迁现有设<br>备，1 个 X 射<br>线源，定向，<br>固定式 |
| 2  | 工业 CT 机 | II 类 | 1  | TSOL-CT225X 型               | 225           | 3             |                      | S13 厂房一层 CT<br>检测区 | 新增设备，1<br>个 X 射线源，<br>定向，固定式        |
| 3  | 工业 CT 机 | II 类 | 1  | DBA-CT9300 型                | 150           | 0.5           |                      | S11 厂房四层 CT<br>检测区 | 新增设备，2<br>个 X 射线源，<br>周向，固定式        |

(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<br>压 (kV) | 最大靶电<br>流 (μA) | 中子强度<br>(n/s) | 用途 | 工作<br>场所 | 氚靶情况    |      |    | 备<br>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 | 气体 | /    | /  | 少量   | 少量    | /     | /    | 排放量极少，经通风系统排到大气环境，对环境基本无影响 |
| /       | /  | /    | /  | /    | /     | /     | /    | /                          |
| /       | /  | /    | /  | /    | /     | /     | /    | /                          |

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

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 法规文件 | <p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(2014 年修订), 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 年修订), 2018 年 12 月 29 日起实施;</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 2003 年 10 月 1 日起实施;</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2019 年修订), 2019 年 3 月 2 日起实施;</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》(2017 年修订), 2017 年 10 月 1 日起实施;</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年修订), 2021 年 1 月 4 日起实施;</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021 年版), 2021 年 1 月 1 日起实施;</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》, 2011 年 5 月 1 日起实施;</p> <p>(9) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》, 国家环境保护总局文件, 环发〔2006〕145 号文;</p> <p>(10) 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 号公告, 2017 年 12 月 6 日起实施;</p> <p>(11) 《国家危险废物名录》(2021 年版), 2021 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(12) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》, 2019 年 11 月 1 日起施行;</p> <p>(13) 《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》, 2019 年 11 月 1 日起施行;</p> <p>(14) 《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》, 2019 年 10 月 25 日生成;</p> <p>(15) 《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 日起施行;</p> <p>(16) 《产业结构调整指导目录(2024 年本)》, 2024 年 2 月 1 日起施行;</p> <p>(17) 福建省环保厅关于印发《核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲》(试行)的通知(闽环保辐射〔2013〕10 号)。</p> |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 技术标准 | <p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则——核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(4) 《环境 <math>\gamma</math> 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(6) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)；</p> <p>(7) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 及第 1 号修改单；</p> <p>(8) 《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》(GBZ/T144-2002)。</p> |
| 其它   | <p>(1) 项目委托书；</p> <p>(2) 厦门新能安科技有限公司辐射安全许可证；</p> <p>(3) 厦门新能安科技有限公司提供的与本项目相关资料。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

表 7 保护目标与评价标准

## 7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关规定，“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 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围），对于 I 类放射源或 I 类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”，考虑项目的实际情况，本项目射线装置属于 II 类，且本项目工业 CT 机自带屏蔽体（即有实体屏蔽物），因此本项目评价范围为 CT 机边界外 50m 范围。

## 7.2 保护目标

根据对项目周围环境的现场踏勘和调查，项目工业 CT 机实体屏蔽体外周边 50m 范围内无学校、居民区等环境敏感区域，职业工作人员为项目操作人员，公众人员包括公司生产人员及偶尔路过或停留的其他非辐射工作人员，详见表 7.1~表 7.3。

表 7.1 项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机周边环境及保护目标

| 场所                                                                | 保护目标   | 方位        | 规模    | 最近距离  | 评价标准                                 |
|-------------------------------------------------------------------|--------|-----------|-------|-------|--------------------------------------|
| CT 测试室控制室                                                         | 辐射工作人员 | 工业 CT 机西侧 | 2 人   | 2.4m  | 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》<br>(GB18871-2002) |
| A2 厂房一层干燥房                                                        | 公众     | 工业 CT 机西侧 | 10 人  | 6.6m  |                                      |
| 行政办公楼                                                             | 公众     | 工业 CT 机西侧 | 200 人 | 49.2m |                                      |
| A2 厂房一层走廊                                                         | 公众     | 工业 CT 机南侧 | 流动人员  | 1.2m  |                                      |
| A2 厂房一层实验室（扣电实验室、FA 实验室、电解液分析室、物性室、碳硫分析室、热分析室、有机前处理室、无机前处理室、光谱室等） | 公众     | 工业 CT 机南侧 | 40 人  | 4.2m  |                                      |
| A2 厂房外道路                                                          | 公众     | 工业 CT 机南侧 | 流动人员  | 26.7m |                                      |
| A2 厂房一层走廊                                                         | 公众     | 工业 CT 机东侧 | 流动人员  | 1.4m  |                                      |
| A2 厂房外道路                                                          | 公众     | 工业 CT 机东侧 | 流动人员  | 26.9m |                                      |
| A2 厂房外道路                                                          | 公众     | 工业 CT 机北侧 | 流动人员  | 4.3m  |                                      |
| A2 厂房二层叠片制样室                                                      | 公众     | 工业 CT 机上方 | 10 人  | 3.5m  |                                      |

备注：工业 CT 机下方为土层，无人员到达。

表 7.2 项目 TSOL-CT225X 型工业 CT 机周边环境及保护目标

| 场所                  | 保护目标   | 方位        | 规模   | 最近距离 | 评价标准                            |
|---------------------|--------|-----------|------|------|---------------------------------|
| CT 检测区操作位           | 辐射工作人员 | 工业 CT 机北侧 | 2 人  | 1.5m | 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》<br>(GB18871- |
| S13 厂房一层仓库          | 公众     | 工业 CT 机北侧 | 流动人员 | 1.8m |                                 |
| S13 厂房一层 SORT 区     | 公众     | 工业 CT 机西侧 | 10 人 | 1.0m |                                 |
| S13 厂房一层检验区、测量室、会议室 | 公众     | 工业 CT 机西侧 | 45 人 | 7.2m |                                 |

|                                                   |    |           |       |       |       |
|---------------------------------------------------|----|-----------|-------|-------|-------|
| S13 厂房一层走廊                                        | 公众 | 工业 CT 机南侧 | 流动人员  | 2.1m  | 2002) |
| S13 厂房一层实验室（功能试验室、胶带测试室、测试室、功能试验室、离子污染测试室、盐雾实验室等） | 公众 | 工业 CT 机南侧 | 60 人  | 4.6m  |       |
| S13 厂房外道路                                         | 公众 | 工业 CT 机南侧 | 流动人员  | 12.5m |       |
| M3 模组厂房                                           | 公众 | 工业 CT 机南侧 | 100 人 | 27.3m |       |
| S13 厂房一层辅料试验室、环境实验室                               | 公众 | 工业 CT 机东侧 | 15 人  | 0.6m  |       |
| S13 厂房二层仓库                                        | 公众 | 工业 CT 机上方 | 流动人员  | 3.9m  |       |

备注：工业 CT 机下方为土层，无人员到达。

**表 7.3 项目 DBA-CT9300 型工业 CT 机周边环境及保护目标**

| 场所          | 保护目标   | 方位           | 规模   | 最近距离  | 评价标准                             |
|-------------|--------|--------------|------|-------|----------------------------------|
| CT 检测区操作位   | 辐射工作人员 | 工业 CT 机西侧、东侧 | 4 人  | 1.7m  | 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) |
| S11 厂房四层仓库  | 公众     | 工业 CT 机西侧    | 流动人员 | 1.8m  |                                  |
| S11 厂房外道路   | 公众     | 工业 CT 机西侧    | 流动人员 | 31.1m |                                  |
| S10 成品仓     | 公众     | 工业 CT 机西侧    | 30 人 | 46.9m |                                  |
| S11 厂房四层仓库  | 公众     | 工业 CT 机南侧    | 流动人员 | 3.4m  |                                  |
| S11 厂房四层目检区 | 公众     | 工业 CT 机东侧    | 60 人 | 3.0m  |                                  |
| S11 厂房四层仓库  | 公众     | 工业 CT 机北侧    | 流动人员 | 3.2m  |                                  |
| S11 厂房外道路   | 公众     | 工业 CT 机北侧    | 流动人员 | 26.4m |                                  |
| S11 厂房三层仓库  | 公众     | 工业 CT 机下方    | 流动人员 | 2.2m  |                                  |

备注：工业 CT 机上方为厂房上方空间，无人员到达。工业 CT 机东侧电梯停用，无人员到达。

## 7.3 评价标准

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

#### （1）剂量限值

本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值见表 7.4。

**表 7.4 工作人员职业照射和公众照射剂量限值**

| 对象       | 剂量限值                                                                                                    |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 职业照射剂量限值 | 工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值：<br>①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv<br>②任何一年中的有效剂量，50mSv              |
| 公众照射剂量限值 | 实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值：<br>①年有效剂量，1mSv<br>②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一年份的有效剂量可提高到 5mSv |

11.4.3.2 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%的范围之内。

#### （2）辐射管理分区

##### 6.4.1 控制区

6.4.1.1 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

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。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 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。

7.3.2 《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）

本标准规定了 X 射线和  $\gamma$  射线探伤的放射防护要求。

本标准适用于 600kV 以下的 X 射线探伤机和  $\gamma$  射线探伤机进行的探伤工作（包括固定式探伤和移动式探伤），工业 CT 探伤和非探伤目的同辐射源范围的无损检测参考使用。

4 使用单位放射防护要求

4.1 开展工业探伤工作的使用单位对放射防护安全应负主体责任。

4.2 应建立放射防护管理组织，明确放射防护管理人员及其职责，建立和实施放射防护管理制度和措施。

4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ 128 的要求进行个人剂量监测，按 GBZ 98 的要求进行职业健康监护。

4.4 探伤工作人员正式工作前应取得符合 GB/T 9445 要求的无损探伤人员资格。

4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。

4.6 应制定辐射事故应急预案。

5 探伤机的放射防护要求

5.1 X 射线探伤机

5.1.1 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 1 的要求，在随机文件中应有这些指标的说明。其他放射防护性能应符合 GB/T 26837 的要求。

表 1 X 射线管头组装体漏射线所致周围剂量当量率控制值

| 管电压 kV  | 漏射线所致周围剂量当量率 mSv/h |
|---------|--------------------|
| <150    | <1                 |
| 150~200 | <2.5               |
| >200    | <5                 |

5.1.2 工作前检查项目应包括：

a)探伤机外观是否完好；

- b)电缆是否有断裂、扭曲以及破损；
- c)液体制冷设备是否有渗漏；
- d)安全联锁是否正常工作；
- e)报警设备和警示灯是否正常运行；
- f)螺栓等连接件是否连接良好；
- g)机房内安装的固定辐射检测仪是否正常。

#### 5.1.3 X 射线探伤机的维护应符合下列要求：

a)使用单位应对探伤机的设备维护负责，每年至少维护一次。设备维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行；

- b)设备维护包括探伤机的彻底检查和所有零部件的详细检测；
- c)当设备有故障或损坏需更换零部件时，应保证所更换的零部件为合格产品；
- d)应做好设备维护记录。

### 6 固定式探伤的放射防护要求

#### 6.1 探伤室放射防护要求

6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GBZ/T 250。

6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB 18871 的要求。

6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

a)关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于  $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对公众场所，其值应不大于  $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

b)屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：

a)探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同 6.1.3；

b)对没有人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取  $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。探伤

室内有多台探伤装置时，每台装置均应与防护门联锁。

6.1.6 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。

6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的操作台应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。

6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。

6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。

6.1.10 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。

6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。

## 6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求

6.2.1 对正常使用的探伤室应检查探伤室防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。

6.2.2 探伤工作人员在进入探伤室时，除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪和便携式 X- $\gamma$  剂量率仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤室，同时防止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。

6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。

6.2.4 交接班或当班使用便携式 X- $\gamma$  剂量率仪前，应检查是否能正常工作。如发现便携式 X- $\gamma$  剂量率仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。

6.2.5 探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低。

6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开

始探伤工作。

6.2.7 开展探伤室设计时未预计到的工作，如工件过大等特殊原因必须开门探伤的，应遵循本标准第 7.1 条～第 7.4 条的要求。

### 7.3.3 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）及第 1 号修改单

本标准规定了工业 X 射线探伤室辐射屏蔽要求。本标准适用于 500kV 以下的工业 X 射线探伤装置的探伤室。探伤室屏蔽要求如下：

3.1.1 探伤室墙和入口门外周围剂量当量率（以下简称剂量率）和每周周围剂量当量（以下简称周剂量）应满足下列要求：

a) 周剂量参考控制水平  $H_c$  和导出剂量率参考控制水平 ( $H_{c-d}$ )：

1) 人员在关注点的周剂量参考水平  $H_c$  如下：

职业工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$

公众： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$

2) 相应  $H_c$  的导出剂量率参考控制水平  $H_{c-d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 按式 (1) 计算

$$H_{c-d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots (1)$$

式中： $H_c$ —周剂量参考控制水平，单位为微希每周 ( $\mu\text{Sv/周}$ )；

$U$ —探伤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使用因子；

$t$ —探伤装置周照射时间，单位为小时每周 ( $\text{h/每周}$ )。

$t$  按式 (2) 计算：

$$t = W / (60 \cdot I) \dots\dots\dots (2)$$

$W$ —X 射线探伤的周工作负荷(平均每周 X 射线探伤照射的累积量“ $\text{mA} \cdot \text{min}$  值”)， $\text{mA} \cdot \text{min/周}$ 。

60—小时与分钟的换算系数；

$I$ —X 射线探伤装置在最高管电源线的常用最大管电流，单位为毫安 ( $\text{mA}$ )。

b) 关注点最高剂量参考控制水平  $H_{c, \max} = 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

c) 关注点剂量率参考控制水平  $H_c$  为上述  $H_{c-d}$  和  $H_{c, \max}$  二者的较小值。

3.1.2 探伤室顶的剂量率参考控制水平应满足下列要求：

a) 探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物的自辐射源点到探伤室内表面边缘所张立体角区域内时，距探伤室顶外表面 30cm 处和（或）该立体角区域内

的高层建筑物中人员驻留处，辐射屏蔽的剂量参考控制水平同 3.1.1。

b) 除 3.1.2 a) 的条件外，应考虑下列情况：

1) 穿过探伤室顶的辐射与室顶上方空气作用产生的散射辐射对探伤室外地面附近公众的照射。该项辐射和穿出探伤室墙的透射辐射在相应的关注点的剂量率总和，应按 3.1.1 c) 的剂量率参考控制水平  $H_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 加以控制。

2) 对不需要人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平通常可以取  $100\mu\text{Sv/h}$ 。

### 7.3.4 本项目管理目标

本项目相关限值采用标准见表 7.5，相关剂量当量率控制水平见表 7.6。

表 7.5 项目相关标准限值

| 项目               | 内容                               | 相关限值                 | 标准                                          |
|------------------|----------------------------------|----------------------|---------------------------------------------|
| 连续 5 年的年平均有效剂量限值 | 辐射工作人员                           | 20mSv                | 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)            |
| 年有效剂量限值          | 公众                               | 1mSv                 |                                             |
| 年受照剂量约束值         | 辐射工作人员                           | 5mSv/a               | 取年有效剂量限值的 1/4 作为职业人员的年受照剂量约束值               |
|                  | 公众                               | 0.25mSv/a            | 取公众年剂量限值的 1/4 作为公众的年受照剂量约束值                 |
| 剂量率参考控制水平        | 探伤室外表面 30cm 处剂量率控制值              | 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ | 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 及第 1 号修改单 |
|                  | 对不需要人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率 | 100 $\mu\text{Sv/h}$ |                                             |

表 7.6 项目相关剂量当量率控制水平

| 内容           | 项目                 | 控制水平                 | 标准                                          |
|--------------|--------------------|----------------------|---------------------------------------------|
| 周围剂量当量率控制目标值 | 关注点最高周围剂量当量率参考控制水平 | 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ | 《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)                   |
| 剂量率参考控制水平    | 关注点最高剂量率参考控制水平     | 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ | 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 及第 1 号修改单 |
|              | 关注点剂量率参考控制水平       | 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ |                                             |

**表 8 环境质量和辐射现状**

### **8.1 项目地理和场所位置**

项目共 3 台工业 CT 机，分别位于厦门新能安科技有限公司厦门火炬高新区同翔高新城洪塘路 600 号厂区 S13 厂房、S11 厂房、A2 厂房内。

METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机位于 A2 厂房一层 CT 测试室，北侧为厂内道路、西侧为控制室和干燥房、南侧为走廊和电解液分析室、东侧为走廊和发电机房、上方为叠片制样室、下方为土层。

TSOL-CT225X 型工业 CT 机位于 S13 厂房一层 CT 检测区，北侧为仓库、西侧为 SORT 区和检验区、南侧为 SORT 区和走廊、东侧为辅料试验室、上方为仓库、下方为土层。

DBA-CT9300 型工业 CT 机位于 S11 厂房四层 CT 检测区，北侧、南侧、西侧为仓库、东侧为目检区、下方为仓库、上方为厂房上空。

### **8.2 环境现状监测**

(1) 环境现状评价对象：项目拟建址及周围辐射环境现状。

(2) 监测单位：厦门亿科特检测技术有限公司（CMA：211303100262）。

(3) 监测因子： $\gamma$  辐射空气吸收剂量率。

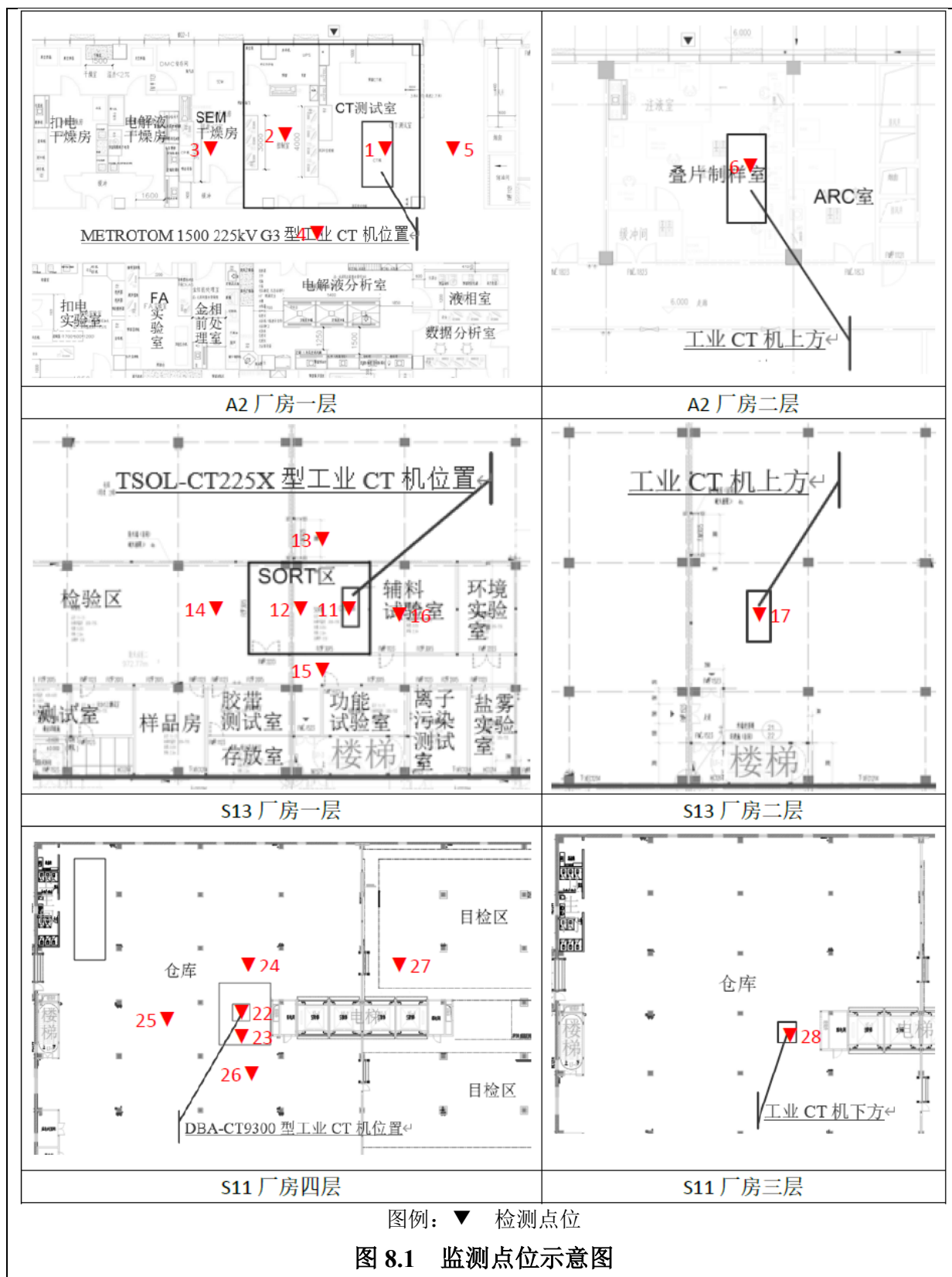
(4) 监测时间：2024 年 12 月 27 日

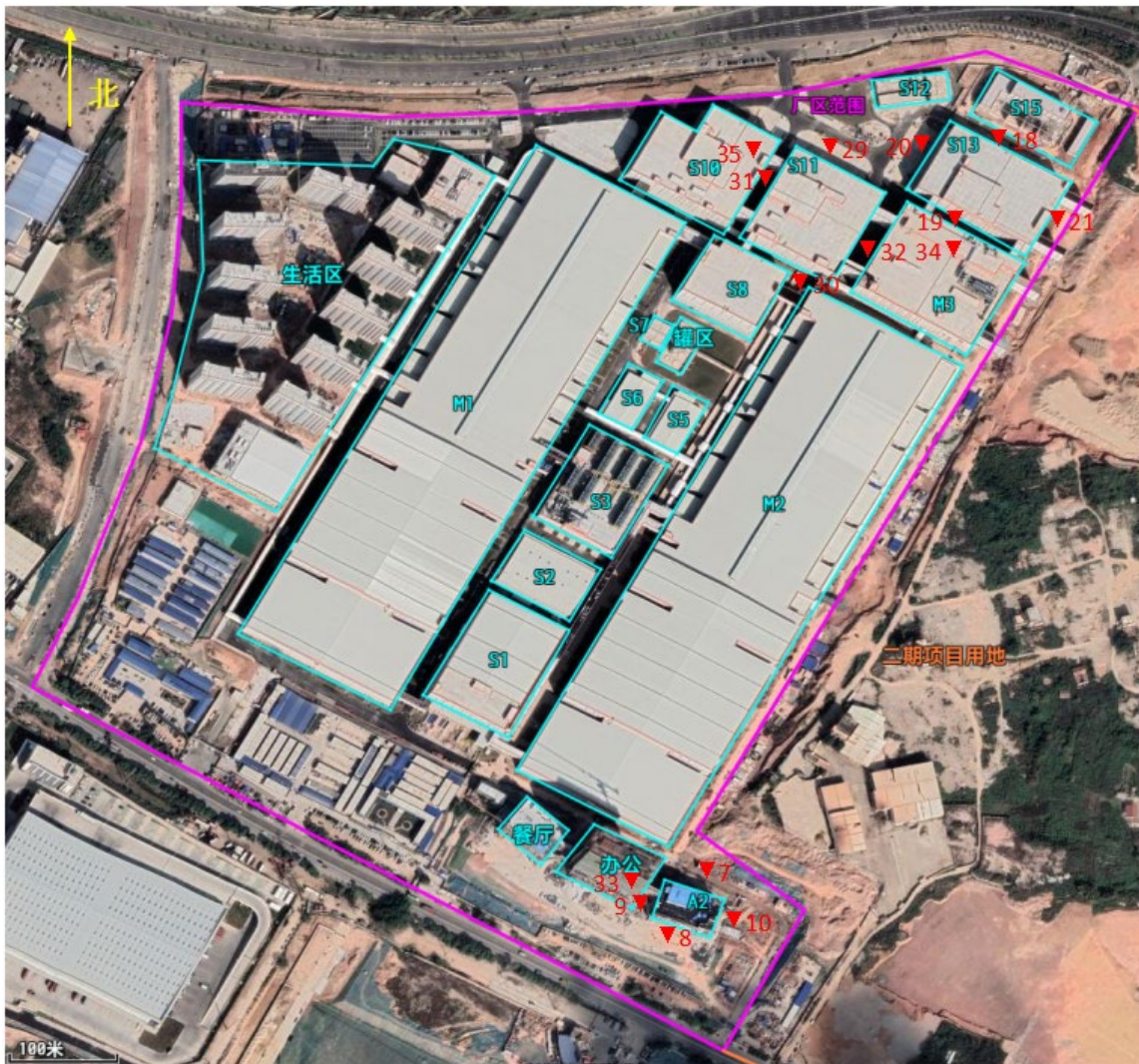
(5) 监测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）有关布点原则进行布点，在项目设备位置及周围布设点位，调查环境  $\gamma$  辐射剂量率，点位布设情况见表 8.1 和图 8.1、图 8.2。

表 8.1 项目  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率背景水平调查点位及监测结果

| 项目                                                      | 编号  | 监测位置            | 监测结果 $\dot{D}$<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 标准偏差<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 位置属性   |    |
|---------------------------------------------------------|-----|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|--------|----|
| METROTOM<br>1500 225kV G3<br>型工业 CT 机<br>拟建场所以及<br>周围环境 | 1#  | 工业 CT 机位置       | 0.156                                  | 0.003                        | 一层     | 室内 |
|                                                         | 2#  | CT 测试室控制室       | 0.156                                  | 0.001                        |        | 室内 |
|                                                         | 3#  | CT 测试室西侧干燥房     | 0.153                                  | 0.001                        |        | 室内 |
|                                                         | 4#  | CT 测试室南侧走廊      | 0.150                                  | 0.002                        |        | 室内 |
|                                                         | 5#  | CT 测试室东侧走廊      | 0.149                                  | 0.001                        |        | 室内 |
|                                                         | 6#  | A2 厂房二层叠片制样室    | 0.173                                  | 0.002                        | 二层     | 室内 |
|                                                         | 7#  | A2 厂房北侧         | 0.127                                  | 0.001                        | 室外     |    |
|                                                         | 8#  | A2 厂房南侧         | 0.129                                  | 0.001                        | 室外     |    |
|                                                         | 9#  | A2 厂房西侧         | 0.145                                  | 0.001                        | 室外     |    |
|                                                         | 10# | A2 厂房东侧         | 0.121                                  | 0.001                        | 室外     |    |
| TSOL-CT225X<br>型工业 CT 机<br>拟建场所以及<br>周围环境               | 11# | 工业 CT 机位置       | 0.177                                  | 0.001                        | 一层     | 室内 |
|                                                         | 12# | CT 检测区西侧 SORT 区 | 0.162                                  | 0.001                        |        | 室内 |
|                                                         | 13# | CT 检测区北侧仓库      | 0.135                                  | 0.001                        |        | 室内 |
|                                                         | 14# | CT 检测区西侧检验区     | 0.144                                  | 0.001                        |        | 室内 |
|                                                         | 15# | CT 检测区南侧走廊      | 0.158                                  | 0.001                        |        | 室内 |
|                                                         | 16# | CT 检测区东侧辅料试验室   | 0.157                                  | 0.001                        |        | 室内 |
|                                                         | 17# | S13 厂房二层仓库      | 0.137                                  | 0.001                        | 二层     | 室内 |
|                                                         | 18# | S13 厂房北侧        | 0.122                                  | 0.001                        | 室外     |    |
|                                                         | 19# | S13 厂房南侧        | 0.140                                  | 0.001                        | 室外     |    |
|                                                         | 20# | S13 厂房西侧        | 0.121                                  | 0.001                        | 室外     |    |
|                                                         | 21# | S13 厂房东侧        | 0.148                                  | 0.001                        | 室外     |    |
| DBA-CT9300<br>型工业 CT 机<br>拟建场所以及<br>周围环境                | 22# | 工业 CT 机位置       | 0.135                                  | 0.001                        | 四层     | 室内 |
|                                                         | 23# | CT 检测区操作位       | 0.125                                  | 0.001                        |        | 室内 |
|                                                         | 24# | CT 检测区北侧仓库      | 0.145                                  | 0.001                        |        | 室内 |
|                                                         | 25# | CT 检测区西侧仓库      | 0.138                                  | 0.001                        |        | 室内 |
|                                                         | 26# | CT 检测区南侧仓库      | 0.125                                  | 0.003                        |        | 室内 |
|                                                         | 27# | CT 检测区东侧目检区     | 0.146                                  | 0.001                        |        | 室内 |
|                                                         | 28# | S11 厂房三层仓库      | 0.144                                  | 0.001                        | 三层     | 室内 |
|                                                         | 29# | S11 厂房北侧        | 0.121                                  | 0.001                        | 室外     |    |
|                                                         | 30# | S11 厂房南侧        | 0.134                                  | 0.001                        | 室外     |    |
|                                                         | 31# | S11 厂房西侧        | 0.140                                  | 0.001                        | 室外     |    |
|                                                         | 32# | S11 厂房东侧        | 0.132                                  | 0.001                        | 室外     |    |
| 拟建场所周围<br>环境                                            | 33# | 行政办公楼           | 0.139                                  | 0.001                        | 一层, 室内 |    |
|                                                         | 34# | M3 厂房           | 0.138                                  | 0.001                        | 一层, 室内 |    |
|                                                         | 35# | S10 厂房          | 0.151                                  | 0.001                        | 一层, 室内 |    |

注：（1）监测时间：2024 年 12 月 27 日，监测环境条件：21.6℃/57.3%RH；（2）监测方式为每个测量点测量十次，取平均值；（3）表中监测数据均已乘以校准因子，校准因子为 1.04（0.657 $\mu\text{Sv/h}$ ），未扣除宇宙射线响应值；（4）根据 HJ 1157-2021，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取 1.20 Sv/Gy（ $^{137}\text{Cs}$  作为检定参考辐射源）。





图例：▼ 检测点位

图 8.2 监测点位示意图

#### (6) 监测仪器参数与规范

监测仪器参数与规范见表 8.2，监测报告见附件 8。

表 8.2 监测仪器参数与规范

|        |                                                            |
|--------|------------------------------------------------------------|
| 仪器设备名称 | 高灵敏环境级便携式多功能辐射仪                                            |
| 仪器设备型号 | 6150AD-b                                                   |
| 设备编号   | XMYKT/JLYQ-0098                                            |
| 生产厂家   | AUTOMEES                                                   |
| 检定单位   | 中国辐射防护研究院                                                  |
| 检定证书编号 | 检字第【2024】-L0518                                            |
| 有效期    | 2024 年 7 月 8 日至 2025 年 7 月 7 日                             |
| 测量范围   | 1nSv/h~99.9μSv/h（探头）0.1μSv/h~1Sv/h（主机）                     |
| 能量响应范围 | 20keV~7MeV（探头）45keV~3MeV（主机）                               |
| 校准因子   | 1.04（0.657μSv/h）                                           |
| 检测依据   | 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）<br>《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） |

### 8.3 质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- (4) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- (5) 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。
- (6) 通过国家级计量认证及中国实验室国家认可委员会认可。

### 8.4 监测结果及分析

监测结果表明，室内监测点位的 $\gamma$ 辐射剂量率为 $0.125\sim 0.177\mu\text{Gy/h}$ ，室外监测点为 $0.121\sim 0.148\mu\text{Gy/h}$ ，处于福建省辐射环境本底正常范围（室内： $0.071\sim 0.352\mu\text{Gy/h}$ ，室外（含原野及道路）： $0.026\sim 0.399\mu\text{Gy/h}$ ，来源于《中国环境天然放射性水平》）。

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 设备概述

工业 CT 机是一种先进的非破坏性检测技术，它结合了 X 射线成像和计算机重建技术，用于获取物体的内部结构和几何信息。

工业 CT 机的工作原理是通过将物体置于 X 射线束中，通过旋转物体和探测器的相对运动，获取多个不同角度下的 X 射线投影图像。这些投影图像经过计算机处理和重建算法，可以生成高分辨率的三维体素数据集，即 CT 图像。这些图像可以用于检测和分析物体的内部缺陷、结构、尺寸等信息。

9.1.2 设备结构

工业 CT 机的主要结构包括：X 射线源（发射高能射线，微焦点或大功率类型）、探测器（接收射线并转换为数字信号，常用平板或线阵探测器）、旋转平台（精确旋转被测物体获取多角度数据）、数据采集和重建系统（收集投影数据并生成三维图像）、控制系统（协调设备运行）、防护装置（屏蔽 X 射线保障安全）、软件系统（控制操作、数据分析和结果输出）以及冷却系统（散热保障设备稳定运行）。这些部分协同工作，实现对物体的高精度无损检测和分析。

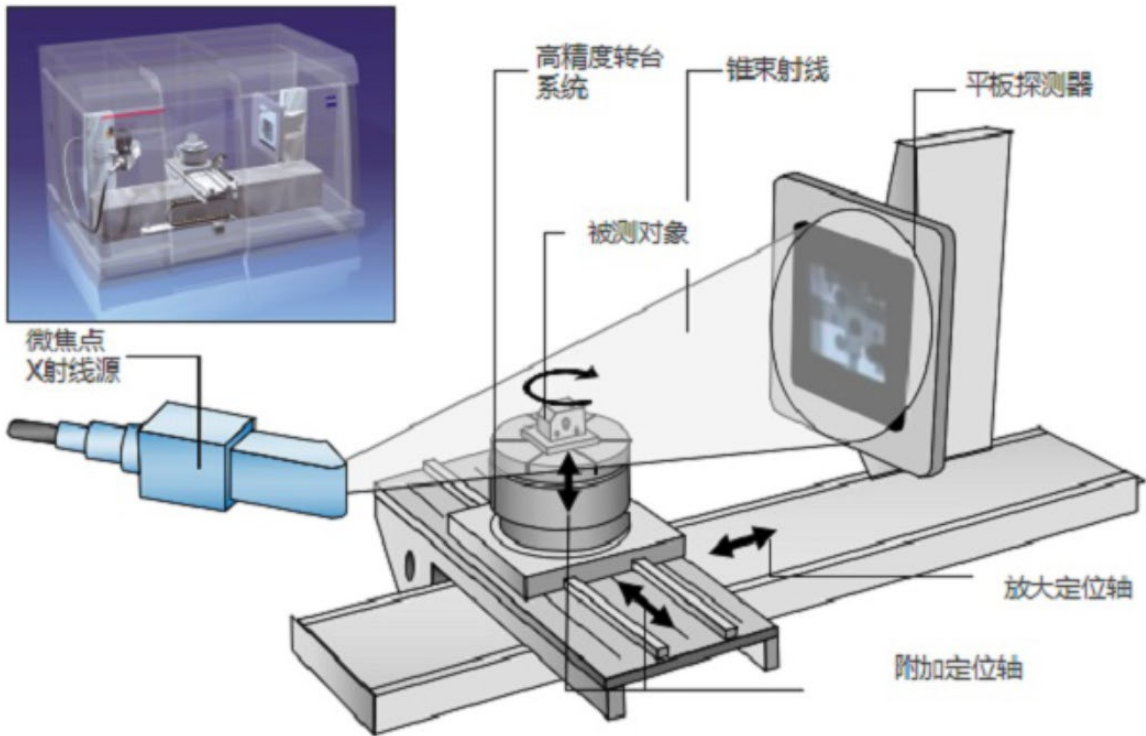


图 9.1 工业 CT 机设备结构示意图

项目工业 CT 机设备技术参数见表 9.1。

METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机、TSOL-CT225X 型工业 CT 机内均有 1 个 X 射线源，为定向机，上下料为人工操作。

DBA-CT9300 型工业 CT 机内有 2 个 X 射线源，为周向机，上下料为配套机器人操作。

**表 9.1 项目工业 CT 机设备技术参数一览表**

| 设备位置          | A2 厂房一层 CT 测试室                                                                                                            | S13 厂房一层 CT 检测区                                                                                                                                                                     | S11 厂房四层 CT 检测区                                                                                                          |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 设备型号          | METROTOM<br>1500 225kV G3 型                                                                                               | TSOL-CT225X 型                                                                                                                                                                       | DBA-CT9300 型                                                                                                             |
| 生产厂家          | 德国卡尔蔡司                                                                                                                    | 奕瑞                                                                                                                                                                                  | 东博                                                                                                                       |
| 设备尺寸          | 主机长×宽×高=3700mm<br>×1810mm×2440mm                                                                                          | 主机长×宽×高=3250mm<br>×1500mm×2100mm                                                                                                                                                    | 主机长×宽×高=2050mm<br>×2370mm×2450mm                                                                                         |
| 设备自屏蔽         | 设备前侧、后侧、左侧、<br>底部：5mm 铅+3mm 钢，<br>设备前侧防护门、顶部：<br>3mm 钢+5mm 铅+3mm<br>钢，<br>设备右侧（主射方向）：<br>12mm 铅+3mm 钢，<br>出风口：5mm 铅+3mm 钢 | 设备前侧、前侧防护门、<br>后侧、左侧、底部、顶<br>部：2mm 钢+10mm 铅<br>+2mm 钢，<br>设备右侧：2mm 钢<br>+15mm 铅+2mm 钢，<br>设备前侧观察窗：50mm<br>铅玻璃（≥10mmPb）<br>线缆穿孔：2mm 钢<br>+15mm 铅+2mm 钢，<br>出风口：2mm 钢+15mm<br>铅+2mm 钢 | 设备前侧、前侧防护门、<br>后侧、左侧、右侧、底<br>部、顶部：2mm 钢<br>+10mm 铅板+2mm 钢，<br>设备前侧观察窗：25mm<br>铅玻璃（10mmPb），<br>出风口：2mm 钢+7mm 铅<br>板+2mm 钢 |
| 防护门尺寸         | 1000mm×1900mm                                                                                                             | 1000mm×1400mm                                                                                                                                                                       | 1600mm×850mm                                                                                                             |
| 射线源与探<br>测器距离 | 1500mm                                                                                                                    | 50~800mm                                                                                                                                                                            | 200~400mm                                                                                                                |
| 射线源升降<br>范围   | 固定，不移动                                                                                                                    | 700mm（上下移动）                                                                                                                                                                         | 固定，不移动                                                                                                                   |
| 主束方向          | 定向，从设备正面看自左<br>向右                                                                                                         | 定向，从设备正面看自左<br>向右                                                                                                                                                                   | 周向，从设备正面看一周                                                                                                              |
| 射线锥束角         | 40°                                                                                                                       | 30°                                                                                                                                                                                 | 67°                                                                                                                      |
| 通风换气量         | 1800m <sup>3</sup> /h                                                                                                     | 108m <sup>3</sup> /h                                                                                                                                                                | 980m <sup>3</sup> /h                                                                                                     |
| 通风换气次<br>数    | >110 次/h                                                                                                                  | >10 次/h                                                                                                                                                                             | >82 次/h                                                                                                                  |

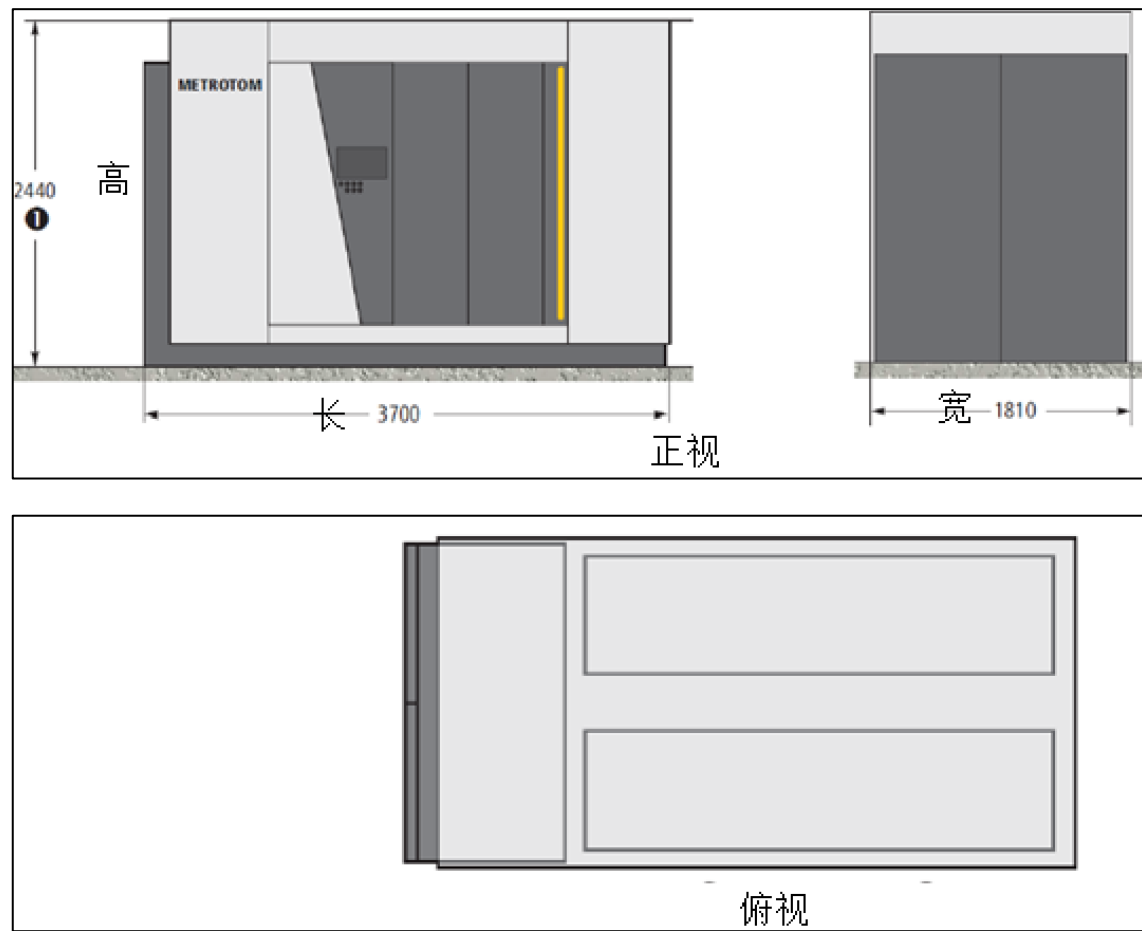
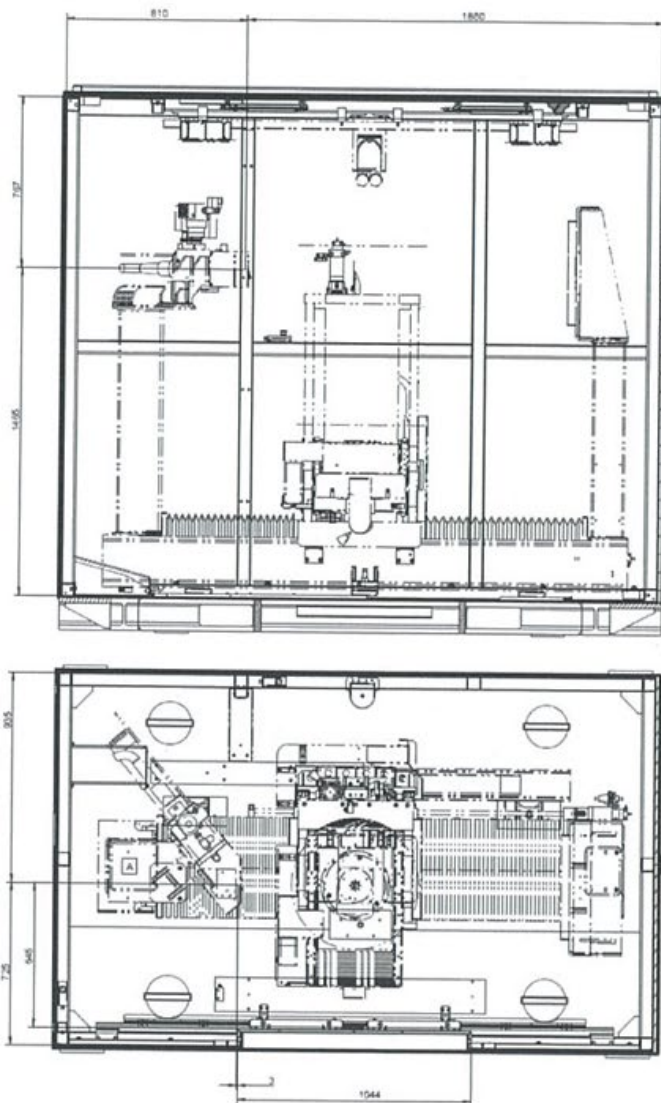


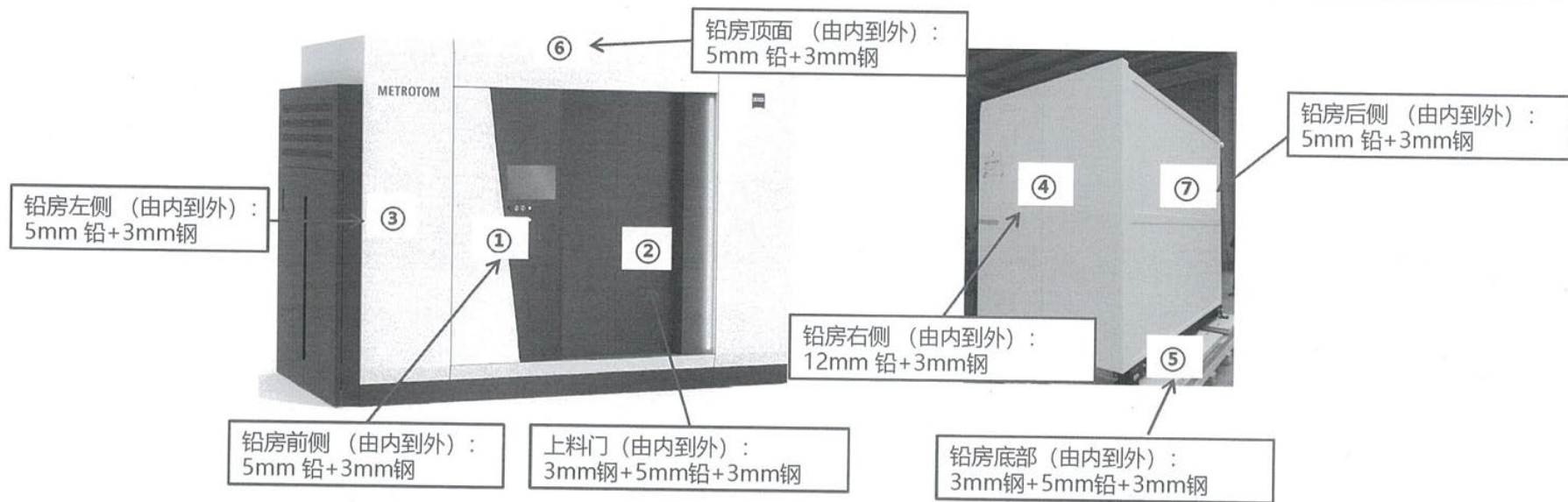
图 9.2 项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机结构示意图



如左图，从机器正前方（操作面）来看，射线逸出口距离防护铅房各个方向的距离为：

1. 距右侧防护铅板（平板探测器侧）为1860mm;
2. 距左侧防护铅板为810mm;
3. 距底部防护铅板为1465mm;
4. 距顶部防护铅板为767mm;
5. 距后方防护铅板为935mm;
6. 距前方（操作侧）防护铅板为725mm;
7. 距前方上料门防护铅板为645mm;

图 9.3 项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机结构示意图

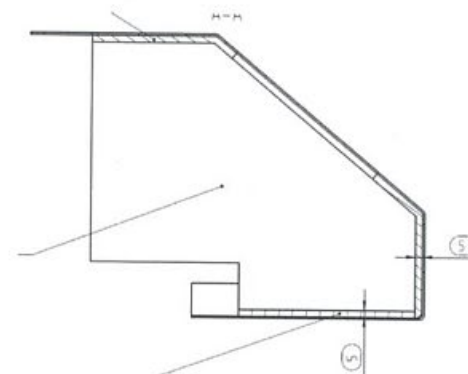
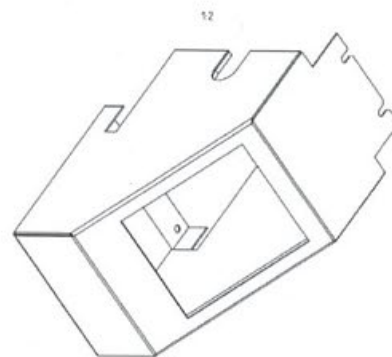
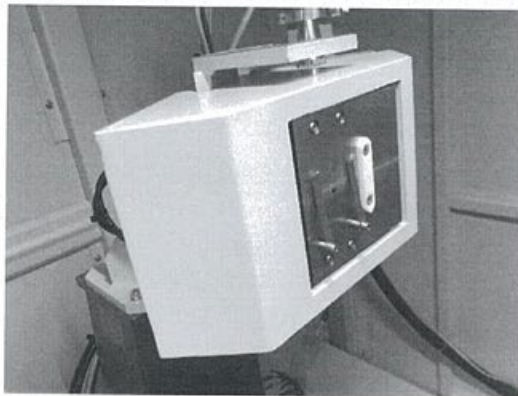


从机器正前方（操作面）来看：

- |                                  |                             |
|----------------------------------|-----------------------------|
| 1. 前面板防护材质及厚度：5mm 铅+3mm钢         | 5. 底板防护材质及厚度：3mm钢+5mm铅+3mm钢 |
| 2. 上料门防护材质及厚度：3mm钢+5mm 铅+3mm钢    | 6. 顶面防护材质及厚度：5mm铅+3mm钢      |
| 3. 射线源所在的左侧防护材质及厚度：5mm 铅+3mm钢    | 7. 后侧防护材质及厚度：5mm铅+3mm钢      |
| 4. 平板探测器所在的右侧防护板材质及厚度：12mm铅+3mm钢 |                             |

图 9.4 项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机结构示意图

- X射线管周围同样采用铅钢防护结构（如下图），厚度为5mm铅+2mm钢



- 机器线缆穿孔位置位于舱内左后方，线缆四周均覆以防护板，其材质为厚度为5mm铅+3mm钢

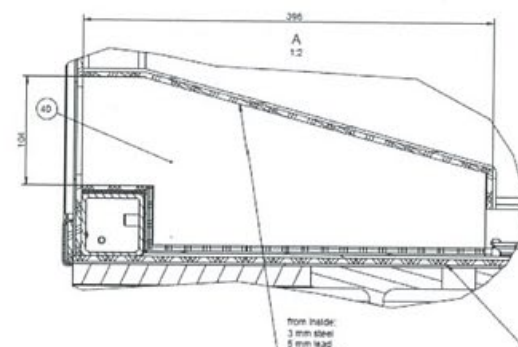
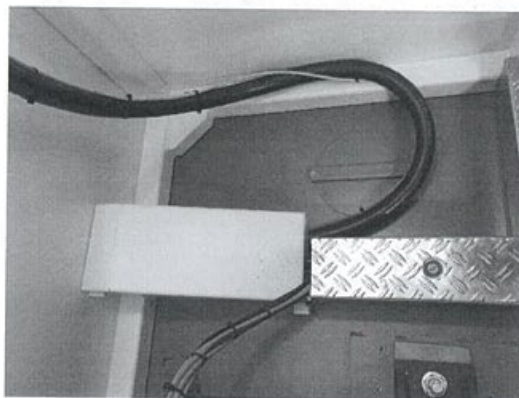


图 9.5 项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机结构示意图

CT Metrotom 1500 225KV G3 防护铅房内采取底部自然进风，顶部风扇式机械排风，在进风和出风口均有铅板防护，气流经导向后才排出，最大程度上避免射线泄露。防护厚度均为5mm铅板+3mm钢板。典型工况下单个风扇排风量为900m<sup>3</sup>/h，系统配置两个风扇，正常情况系统通风量为1800m<sup>3</sup>/h。

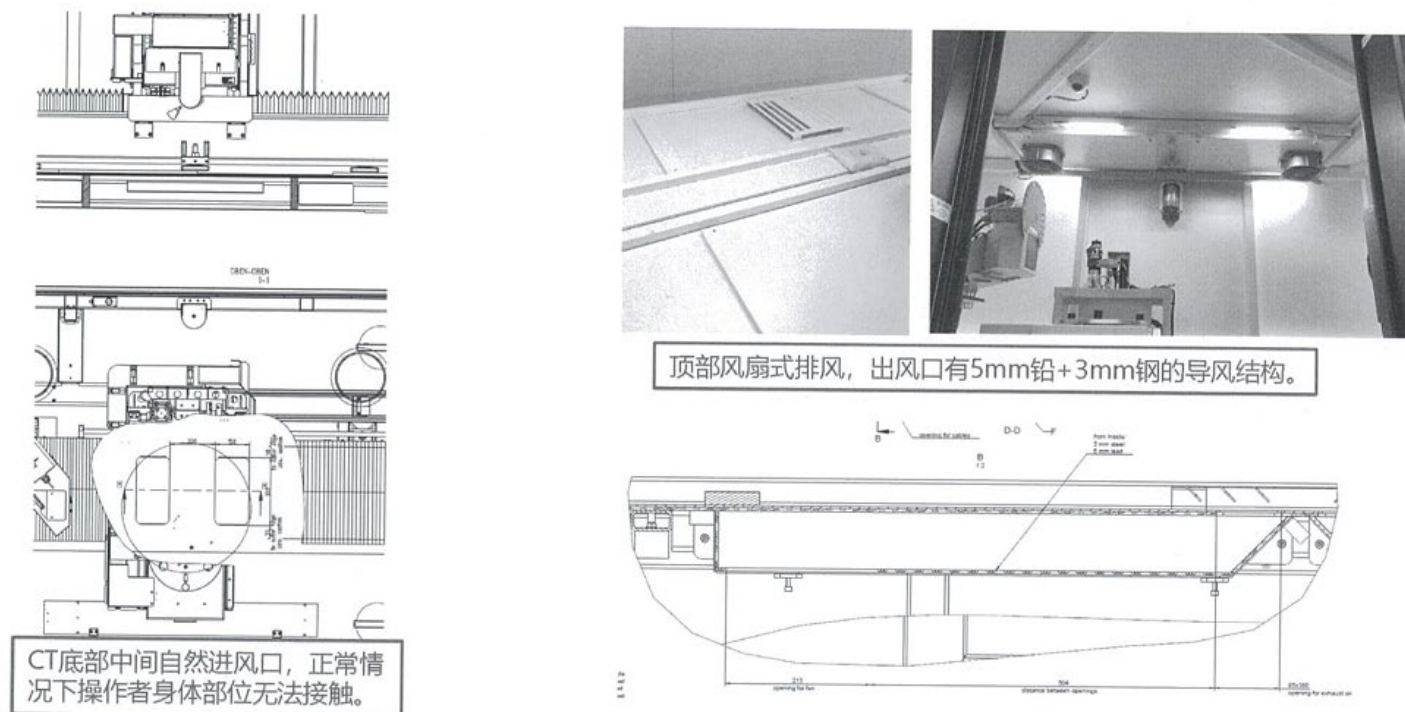


图 9.6 项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机结构示意图

- 有用射束(主射束)在2mm Sn过滤条件下距辐射源点1m处输出量实测值为 $3.67\text{mSv}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ ;
- 在射线管防护外壳安装条件下, 距离射线管35cm四周泄漏射线值 $\leq 19\text{ }\mu\text{Sv/h}$ ;

Distance x-ray housing to sensor =  
35cm

| Position | Dose rate          |                                                        |
|----------|--------------------|--------------------------------------------------------|
|          | $[\mu\text{Sv/h}]$ | $[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{h}]$ |
| 1a       | 11                 | 1.35                                                   |
| 1b       | 12                 | 1.5                                                    |
| 2        | 19                 | 2.35                                                   |
| 3        | 16                 | 1.95                                                   |
| 4        | 13                 | 1.60                                                   |
| 5        | 1.8                | 0.22                                                   |
| 6        | 10                 | 1.22                                                   |
| 7        | 9                  | 1.10                                                   |

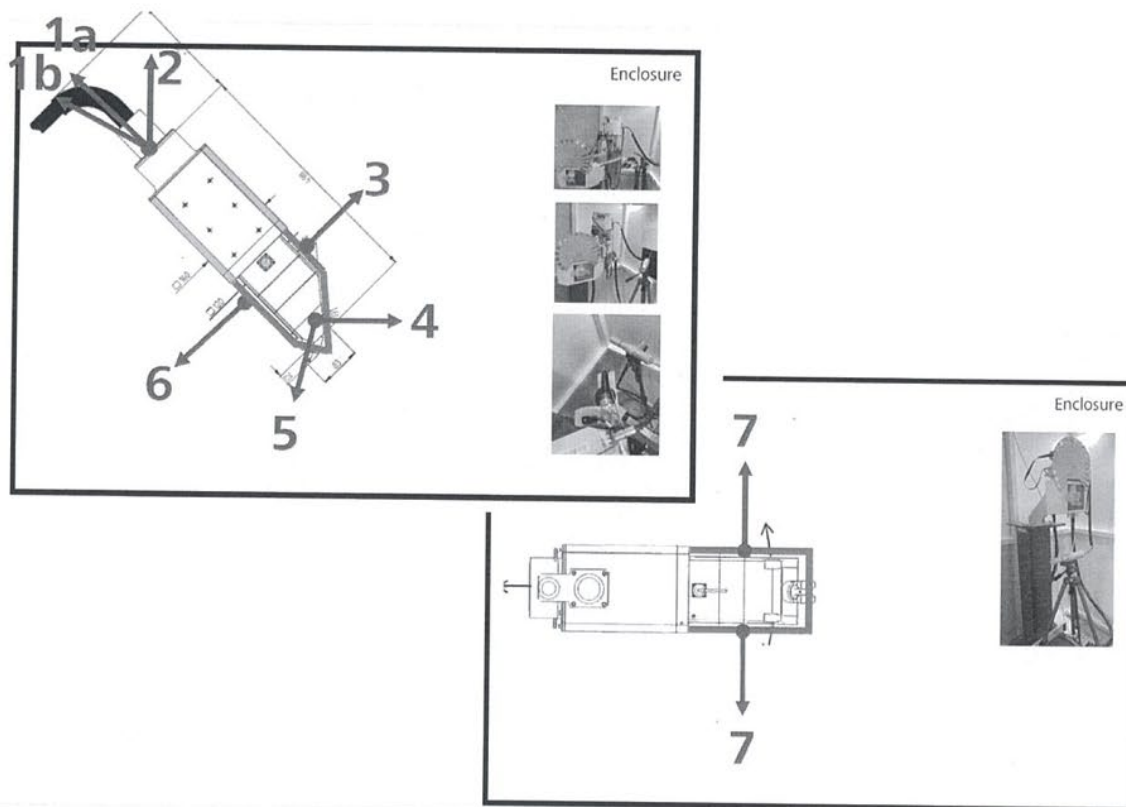


图 9.7 项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机结构示意图

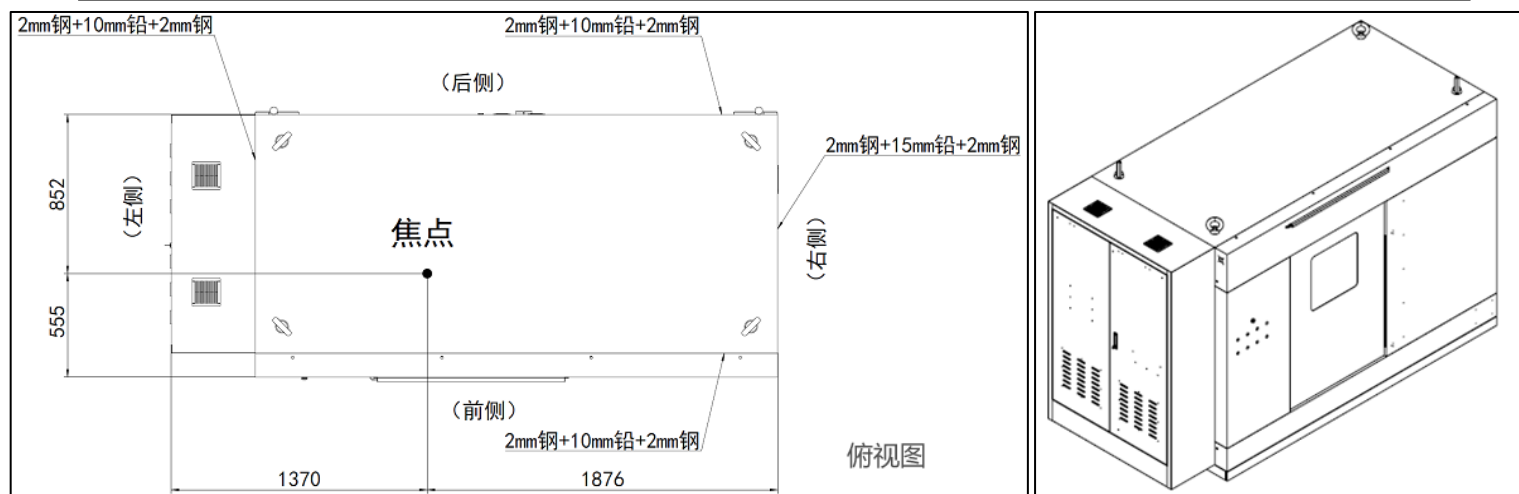
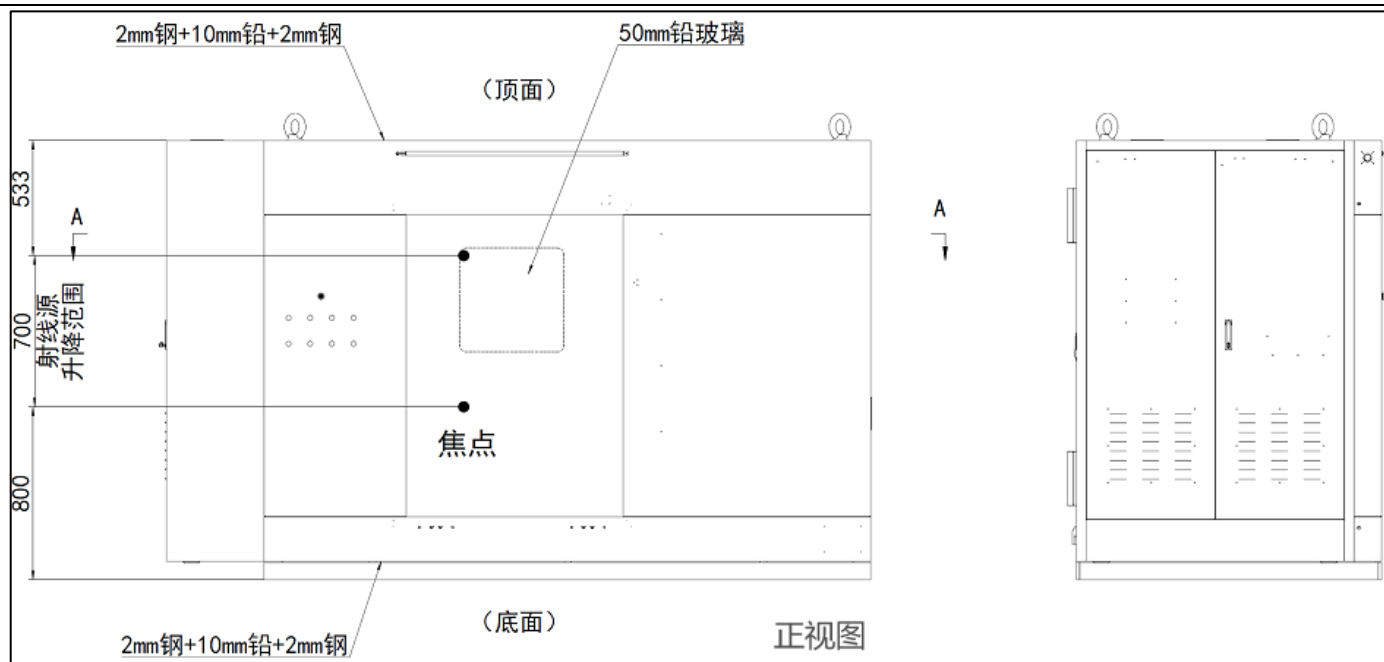


图 9.8 项目 TSOL-CT225X 型工业 CT 机结构示意图

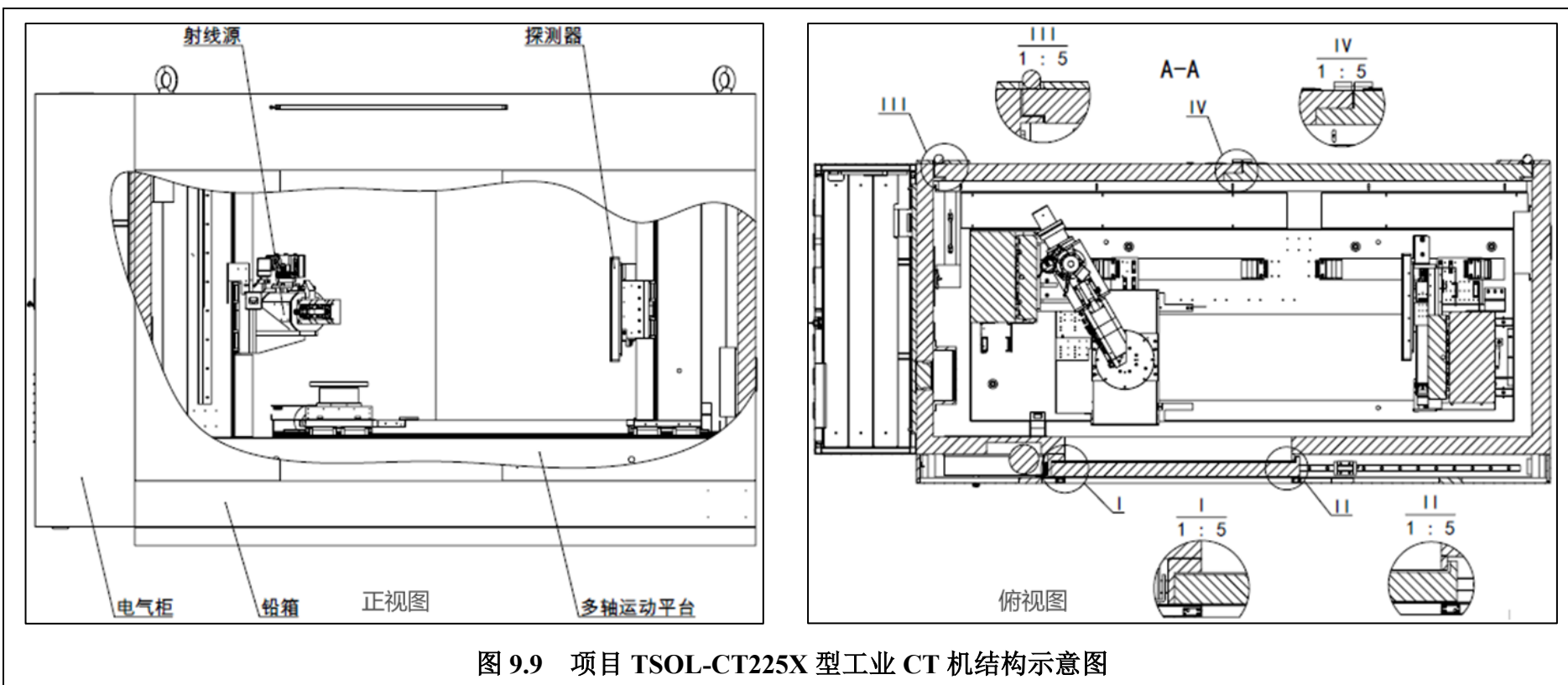


图 9.9 项目 TSOL-CT225X 型工业 CT 机结构示意图

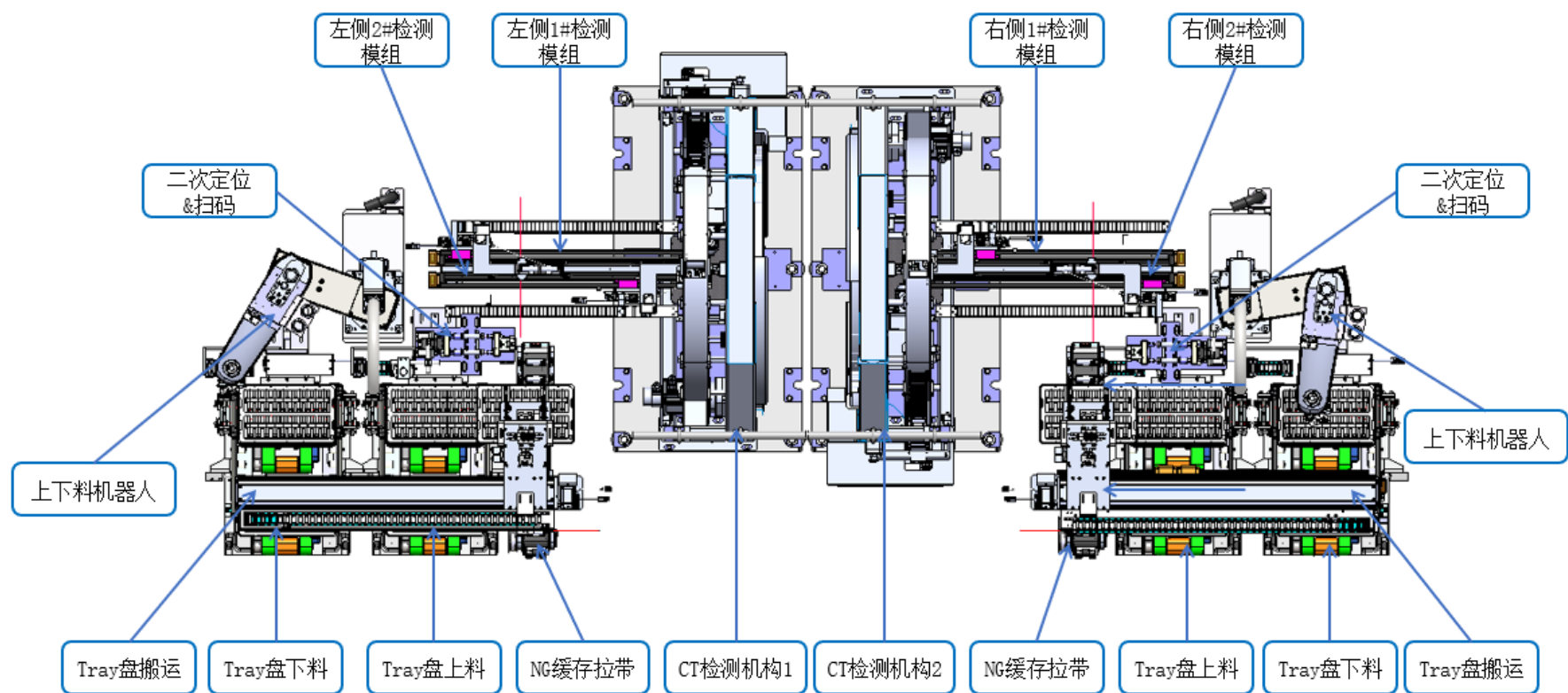


图 9.10 项目 DBA-CT9300 型工业 CT 机布局平面示意图

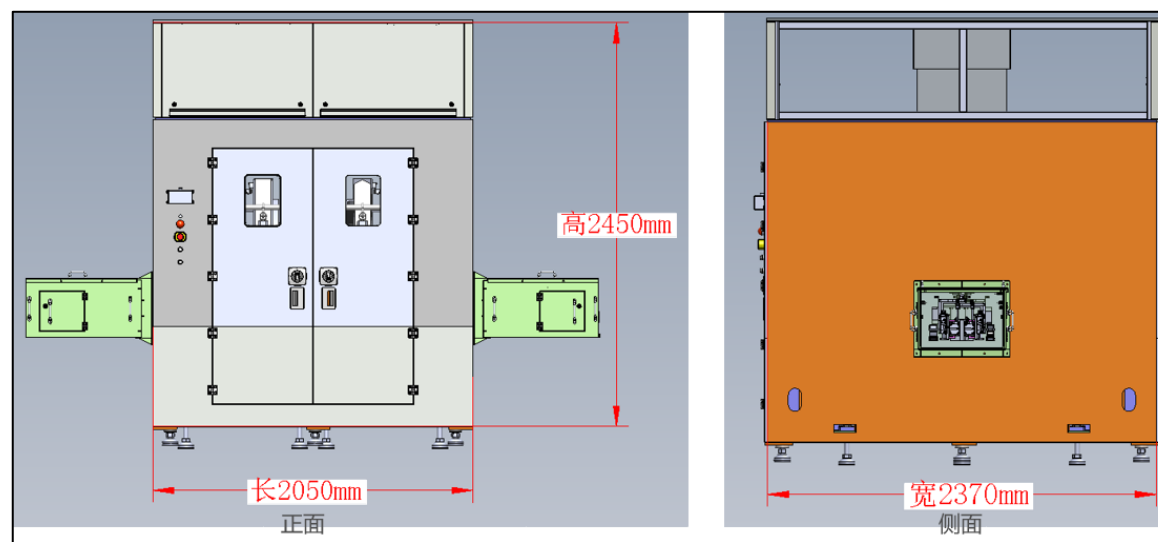
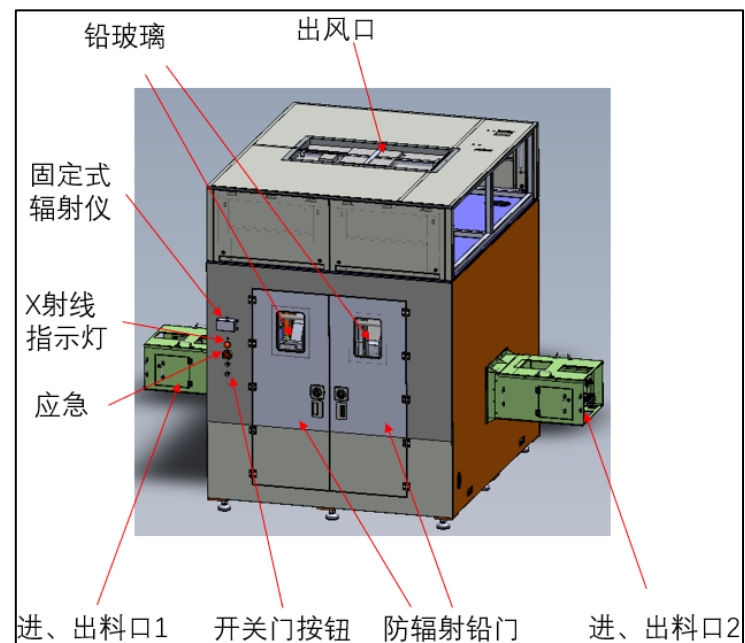


图 9.11 项目 DBA-CT9300 型工业 CT 机结构示意图

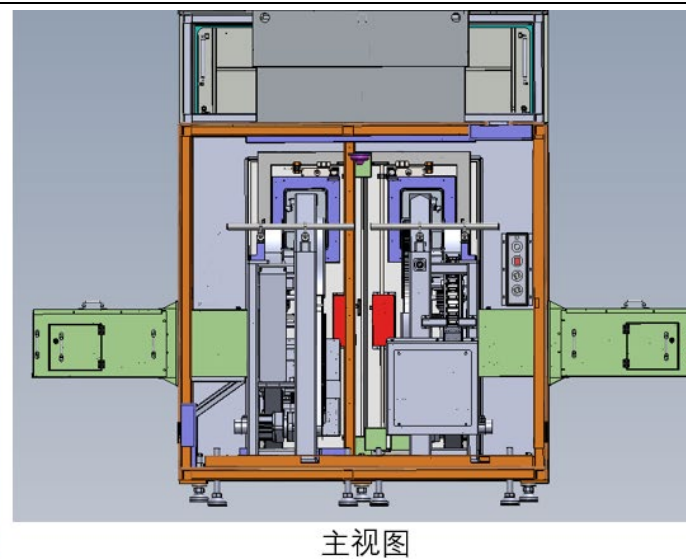
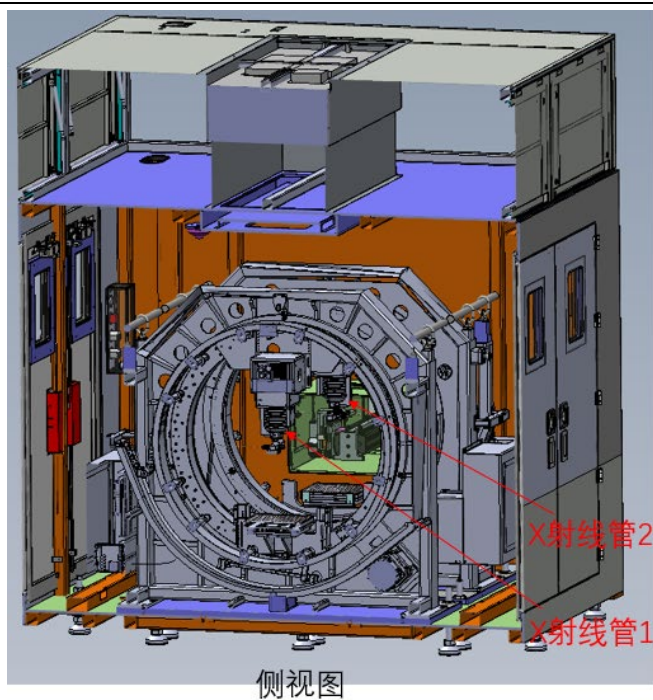


图 9.12 项目 DBA-CT9300 型工业 CT 机结构示意图

### 9.1.3 操作流程

项目 3 台工业 CT 机探伤作业均为公司内部检测作业，用于电池的内部缺陷检测，工业 CT 机自带屏蔽体。METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机、TSOL-CT225X 型工业 CT 机内均有 1 个 X 射线源，为定向机，上下料为人工操作；DBA-CT9300 型工业 CT 机内有 2 个 X 射线源，为周向机，上下料为配套机器人操作。

待检工件通过防护门放入屏蔽体内进行检测，防护门通过电脑操作台的操作面板或开关按键方式进行开合，具有门机联锁功能，人员不能进入屏蔽体内部。操作人员或机器人放置好工件、关闭防护门、设置好检测参数后，设备可自动完成分析测试工作，自动保存分析数据，通过操作位置上的图像处理系统对检测图像进行进一步处理。X 射线出束期间，操作人员在操作位进行电脑操作或监控，出束期间无需人员干预。

具体过程为：

#### （1）开启设备

①开机：进行产品检测前，操作人员需检查电源连接是否正常、检查所有屏蔽设施是否正常，确认无异常后依次打开电源开关和钥匙开关。

#### ②设备初始化。

#### （2）送样、设备自检

打开自检操作软件，自检内容包括：连接射线源、连接探测器、连接控制器、控制器回零、射线源预热、偏移量校正。

#### （3）样品放置

打开上下料口或设备上料抽屉→用扫码枪记录样品信息→放入样品→关闭防护门→点击门锁复位。为了确保扫描结果，样品放置时定位要准确。

#### （4）检测成像

曝光，打开 X 射线，工业 CT 机开始对工件进行检测，此环节产生 X 射线，少量臭氧及氮氧化物。

METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机、TSOL-CT225X 型工业 CT 机 X 射线束从固定方向对被测工件的断面进行扫描，被测工件可旋转各个角度。METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机每天最长曝光时间为 4h，年运行 290 天。TSOL-CT225X 型工业 CT 机年检测样品 500 件，单次最大曝光时间为 30min。

DBA-CT9300 型工业 CT 机 X 射线束绕着被测工件进行 360° 旋转进行扫描，扫描被测工件各个面；DBA-CT9300 型工业 CT 机有内有 2 个 X 射线源，可同时扫描 4 个

样品。DBA-CT9300 型工业 CT 机配套上下料机器人，可实现连续作业，每天连续曝光 22h，每次可同时检测 4 个样品，每天检测样品 9000 个。

（5）结果分析

保存图片，分析、判断工件是否合格。

（6）结束、准备下一个工件检测

检测结束后，操作人员切断射线管电源，关闭 X 射线设备，打开上下料口或设备上料抽屉，取出被检工件，继续进行下一个工件的检测工作。

本项目采用数字成像技术，不产生废显（定）影液及废胶片，在工作过程中主要产生的污染物为 X 射线及极少量的臭氧和氮氧化物。本项目工业 CT 机工艺流程及产污环节详见图 9.13。

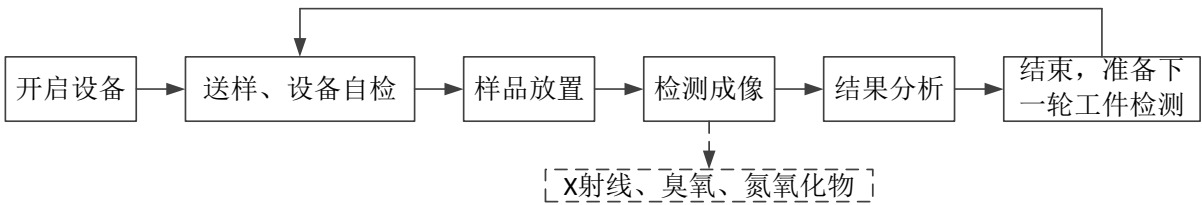


图 9.13 项目 X 射线数字成像系统工作流程及产污环节示意图

## 9.2 污染源项描述

### 9.2.1 辐射污染源分析

由工业 CT 机的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。工业 CT 机只有在开机并处于出束状态时（曝光状态）才会发出 X 射线。因此，在开机曝光期间，X 射线成为污染环境的主要污染因子。

### 9.2.2 非辐射污染源分析

（1）工业 CT 机工作状态时，会产生电离产生少量臭氧和氮氧化物，经通风措施及时排出扩散至大气环境，对周边大气环境基本没有影响。

（2）工业 CT 机在运行时无其它废气、废水和固体废弃物产生。

（3）项目不使用胶片，因此无胶片清洗废水、废胶片、废显影定影液等固废。

### 9.2.3 正常工况的污染途径

工业 CT 机工作状态时，X 射线经透射、散射、漏射，对作业场所及周围环境及人员产生的辐射影响。

#### 9.2.4 事故工况的污染途径

项目工业 CT 机可能发生的辐射事故如下：

①工业 CT 机在工作期间，人为解除门机联锁装置或门机联锁装置发生故障，导致在防护门未关到位的情况下射线发生器出束，X射线泄漏使工作人员和周围活人员动受到不必要的照射。

②由于设备故障，控制系统失效，人为事故等原因引起意外照射。

③设备检修、维护时，检修、维护人员误操作，使检修、维护人员受到意外照射。

表 10 辐射安全与防护

## 10.1 项目安全设施

### 10.1.1 控制区与监督区划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，辐射管理分区如下。

**控制区：**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：**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。

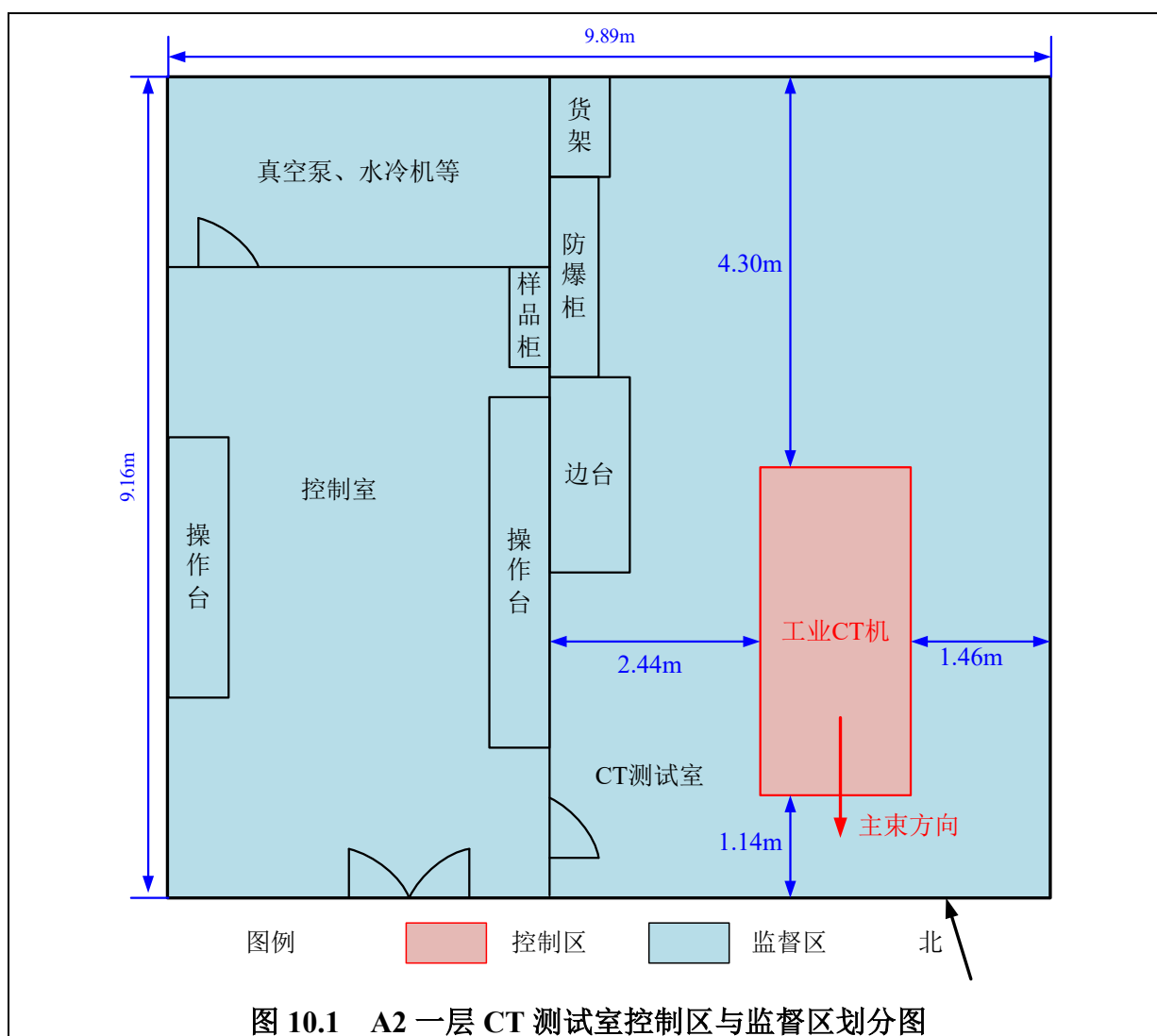
由于项目工业 CT 机自屏蔽材料的屏蔽作用，使得出束状态下 X 射线装置周围剂量率远低于国家标准的辐射剂量率限值。根据分区原则以及结合项目情况，项目分区见图 10.1~图 10.3。

**A2 厂房一层 CT 测试室：**工业 CT 机自屏蔽体内部区域划为控制区，CT 测试室以内的区域划分为监督区。CT 测试室四周均有实体墙体，并在 CT 测试室入口处悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，工业 CT 机 X 射线机出束状态下，操作人员位于控制室操作台，无关人员无法进入 CT 测试室。

**S13 厂房一层 CT 检测区：**工业 CT 机自屏蔽体内部区域划为控制区，CT 检测区以内的区域划分为监督区。CT 检测区北侧、东侧为实体墙体，西侧、南侧为实体彩钢板，并在 CT 检测区入口处悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，工业 CT 机 X 射线机出束状态下，操作人员位于操作位，无关人员无法进入 CT 检测区。

**S11 厂房四层 CT 检测区：**工业 CT 机自屏蔽体内部区域划为控制区，CT 检测区以内的区域划分为监督区。CT 检测区东侧为实体墙体，北侧、西侧、南侧以警戒线围住监督区，并在监督区边界放置清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，工业 CT 机 X 射线机出束状态下，操作人员位于操作位，无关人员无法进入 CT 检测区。

参考《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中对工业 X 射线探伤项目的辐射防护要求，由以上分析可知，项目固有的辐射防护设施以及公司拟为项目落实的防护措施较全面和完善，符合相关要求。



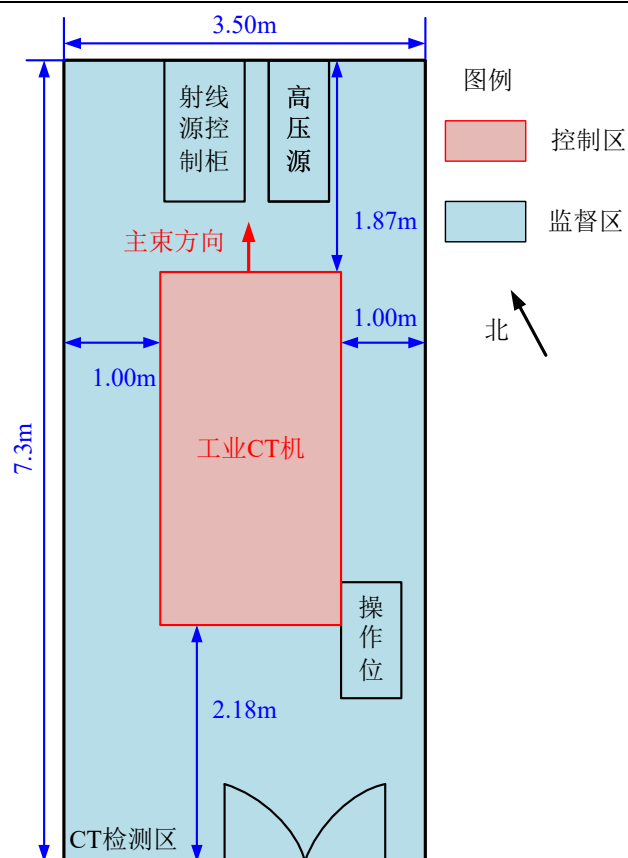


图 10.2 S13 一层 CT 检测区控制区与监督区划分图

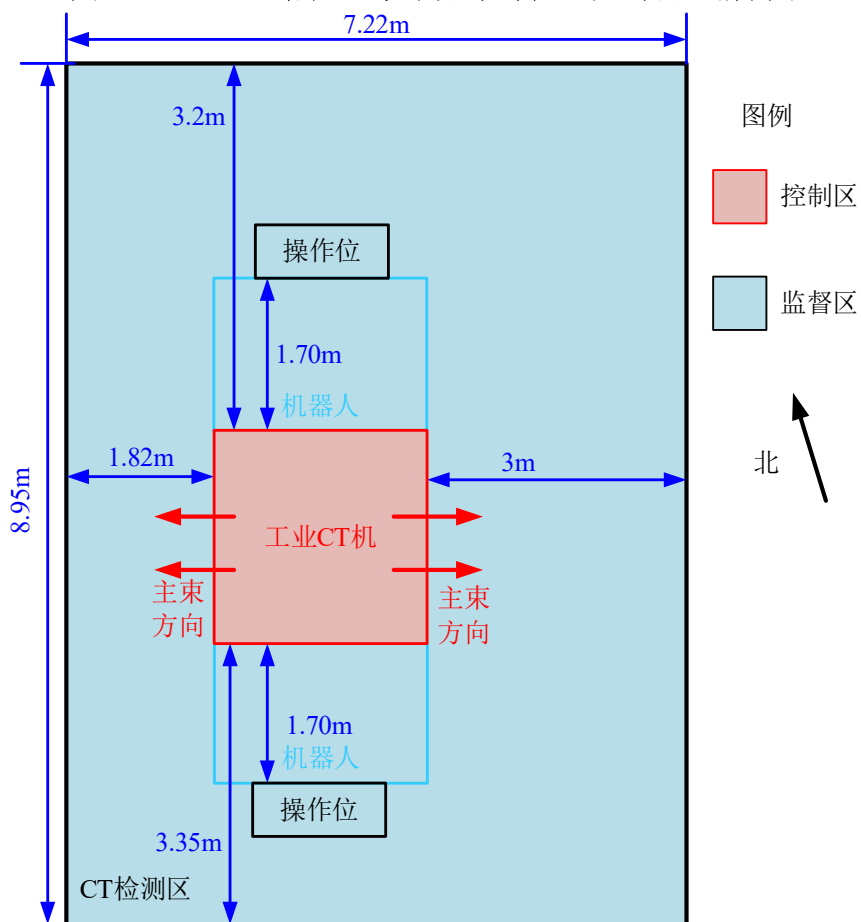


图 10.3 S11 四层 CT 检测区控制区与监督区划分图

## 10.1.2 辐射安全措施

### 10.1.2.1 辐射防护屏蔽设计

项目 3 台工业 CT 机自带屏蔽，安全性较高，工业 CT 机的辐射源（X 射线机）安装在一个全密封的自屏蔽壳内，采用铅-钢、钢-铅-钢防护结构，能有效降低设备运行对周围环境造成的辐射影响。具体各侧屏蔽防护设计详见表 10.1。

表 10.1 项目 3 台 CT 机自带铅屏蔽体的辐射防护屏蔽设计一览表

| 设备                             | 位置         | 屏蔽防护设计              |          |
|--------------------------------|------------|---------------------|----------|
|                                |            | 材料及厚度               | 屏蔽铅当量    |
| METROTOM<br>1500 225kV<br>G3 型 | 设备前侧       | 5mm 铅+3mm 钢         | 5.5mmPb  |
|                                | 设备前侧防护门    | 3mm 钢+5mm 铅+3mm 钢   | 6.0mmPb  |
|                                | 设备后侧       | 5mm 铅+3mm 钢         | 5.5mmPb  |
|                                | 设备左侧       | 5mm 铅+3mm 钢         | 5.5mmPb  |
|                                | 设备右侧（主射方向） | 12mm 铅+3mm 钢        | 12.5mmPb |
|                                | 设备底部       | 5mm 铅+3mm 钢         | 5.5mmPb  |
|                                | 设备顶部       | 3mm 钢+5mm 铅+3mm 钢   | 6.0mmPb  |
|                                | 设备顶部（出风口）  | 5mm 铅+3mm 钢         | 5.5mmPb  |
| TSOL-CT225X<br>型               | 设备前侧       | 2mm 钢+10mm 铅+2mm 钢  | 10.6mmPb |
|                                | 设备后侧       | 2mm 钢+10mm 铅+2mm 钢  | 10.6mmPb |
|                                | 设备左侧       | 2mm 钢+10mm 铅+2mm 钢  | 10.6mmPb |
|                                | 设备右侧（主射方向） | 2mm 钢+15mm 铅+2mm 钢  | 15.6mmPb |
|                                | 设备底部       | 2mm 钢+10mm 铅+2mm 钢  | 10.6mmPb |
|                                | 设备顶部       | 2mm 钢+10mm 铅+2mm 钢  | 10.6mmPb |
|                                | 设备前侧（观察窗）  | 50mm 铅玻璃            | ≥10mmPb  |
|                                | 设备顶部（出风口）  | 2mm 钢+15mm 铅+2mm 钢  | 15.6mmPb |
| DBA-CT9300 型                   | 设备前侧（主射方向） | 2mm 钢+10mm 铅板+2mm 钢 | 10.6mmPb |
|                                | 设备后侧（主射方向） | 2mm 钢+10mm 铅板+2mm 钢 | 10.6mmPb |
|                                | 设备左侧       | 2mm 钢+10mm 铅板+2mm 钢 | 10.6mmPb |
|                                | 设备右侧       | 2mm 钢+10mm 铅板+2mm 钢 | 10.6mmPb |
|                                | 设备底部（主射方向） | 2mm 钢+10mm 铅板+2mm 钢 | 10.6mmPb |
|                                | 设备顶部（主射方向） | 2mm 钢+10mm 铅板+2mm 钢 | 10.6mmPb |
|                                | 设备前侧（观察窗）  | 25mm 铅玻璃            | 10mmPb   |
|                                | 设备顶部（出风口）  | 2mm 钢+7mm 铅板+2mm 钢  | 7.6mmPb  |

注：屏蔽铅当量数据由设备方提供，并根据《辐射手册》换算钢板的铅当量。

#### （1）门机联锁

自动防护门操作系统控制开关，带有安全联锁功能，防护门在打开或者没有关到位的情况下，X 射线机无法出束进行检测作业。关上防护门后高压电源仍不会自动打开，需人工开启高压电源，再开启 X 射线。

#### （2）急停按钮和控制锁

工业 CT 机设有钥匙开关（钥匙由专人负责管理）、急停按钮。只有钥匙开关启动后，设备才能启动，关闭开关后设备将停止供电，停止运行。若工作时突发情况，可按

下急停按钮，将立即停止 X 射线工作。按钮带有标签，标明使用方法。

急停按钮设置如下：METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机为 CT 机内 2 个、控制面板上 1 个；TSOL-CT225X 型工业 CT 机为 CT 机内 1 个、控制面板上 1 个；DBA-CT9300 型工业 CT 机为工业 CT 机控制面板 2 个、机器人面板 4 个、操作位 2 个。

### （3）警告标志及工作状态指示灯

工业 CT 机控制面板、机器人面板设有工作状态三色指示灯，与 X 射线机联锁，以警示人员注意安全。拟在醒目的位置设置工作状态指示灯意义说明牌。工作状态三色指示灯配备了红色、绿色、黄色三种灯光，不同的灯光表示设备不同的运行状态：红灯发光常亮表示设备 X 射线管打开，这时设备正在工作中；绿灯常亮表示设备处于正常状态，即所有的门已关好可以打开 X 射线管对物品进行检测；黄灯闪烁表示进防护门未关。

METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机内部设有 1 个红色警示灯，防护门关闭和射线工作时均有相应的声光报警和警示灯提示，并且警示灯串在安全回路里，如警示灯故障，射线不能启动。防护门关闭后，警示灯开始闪烁，在此期间，辐射仍然保持关闭状态，一旦打开 X 射线，警示灯就会亮起红色。

### （4）视频监控设施

工业 CT 机内部设有视频监控，连接控制台，用于对设备内的实时 X 射线工作情况监视。

### （5）设备通排风设计

工业 CT 机自带通风设施，采取底部进风，顶部机械排风，在进风和出风口均有铅板防护，气流经导向后才排出，最大程度上避免射线泄漏。

METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机防护厚度为 5mm 铅板+3mm 钢板，排风量为 1800m<sup>3</sup>/h，设备体积约 16.34m<sup>3</sup>，每小时通风换气次数 110 次。

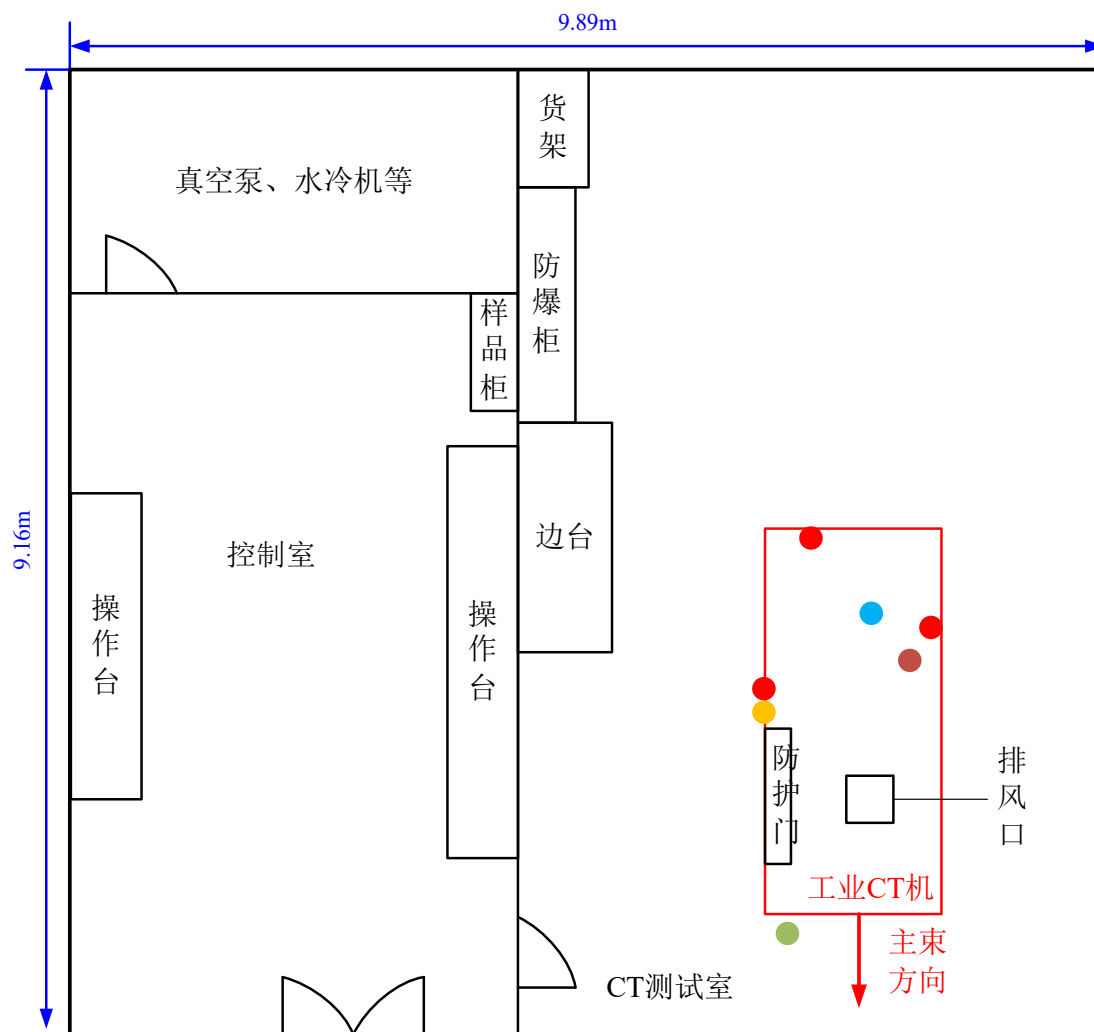
TSOL-CT225X 型工业 CT 机防护厚度为 2mm 钢+15mm 铅+2mm 钢，排风量为 108m<sup>3</sup>/h，设备体积约 10.24m<sup>3</sup>，每小时通风换气次数 10 次。

DBA-CT9300 型工业 CT 机防护厚度为 2mm 钢+7mm 铅板+2mm 钢，排风量为 980m<sup>3</sup>/h，设备体积约 11.90m<sup>3</sup>，每小时通风换气次数 82 次。

### （6）操作台

设备操作台连接屏幕设有 X 射线管电压及高压接通或断开状态的显示，以及管电压、管电流和照射时间选取及设定值显示装置。且操作台与安全联锁机制接口，当防护门未全部关闭时不能接通 X 射线管管电压。

项目 3 台工业 CT 机防护装置示意图如下。



- 图例
- 急停按钮（工业CT机内2个，控制面板上1个）
  - 设备内部监控
  - 工作状态指示灯（工业CT控制面板1个）
  - 固定式场所辐射探测报警装置
  - 设备内部红色警示灯

工业 CT 机 X 射线机出束状态下，操作人员位于控制室操作台，无人进入 CT 测试室。

图 10.4 A2 一层 CT 测试室防护装置示意图

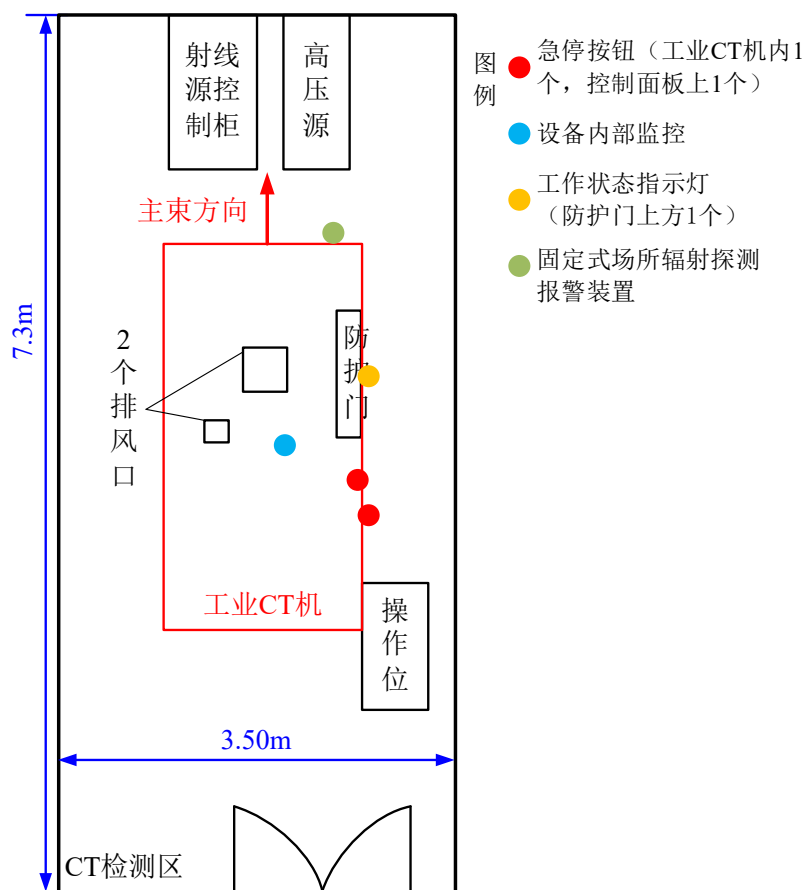


图 10.5 S13 一层 CT 检测区防护装置示意图

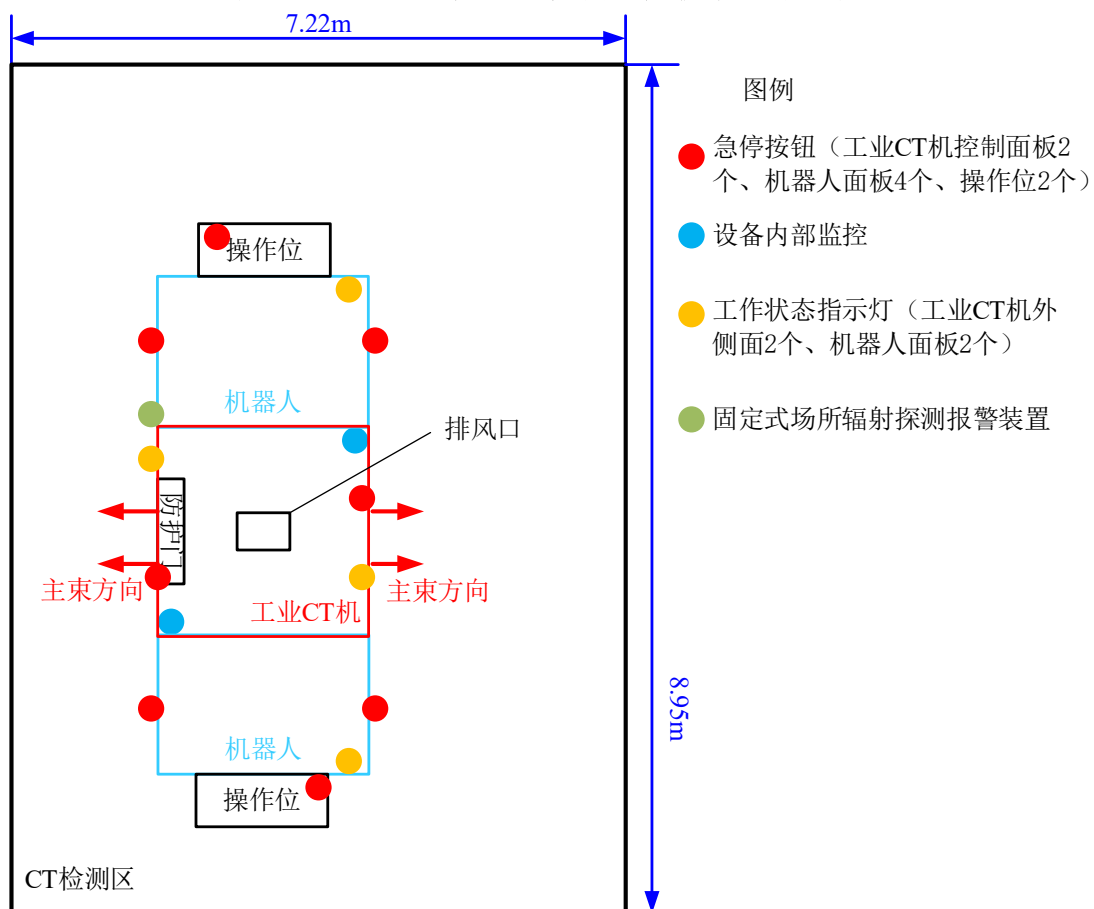


图 10.6 S11 四层 CT 检测区防护装置示意图

### 10.1.2.2 工作场所辐射安全和防护

#### (1) 监测设备

①新能安公司拟在三个场所各配备一台便携式剂量仪，对正在工作的工业 CT 机进行剂量率监测，以确认工业 CT 机是否正常工作。

②新能安公司拟在三个场所工业 CT 机主束方向末端各配置一台固定式场所辐射探测报警装置（报警阈值  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ），对正在工作的工业 CT 机的检测区场所进行实时监测，确保检测区剂量率正常。

#### (2) 人员防护

①新能安公司拟为项目工作人员配备个人剂量计和个人剂量报警仪，工作人员在进行工作时，应正确佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

②新能安公司拟开展职业工作人员个人剂量监测和职业健康检查工作。

#### (3) 警告标志

项目工业 CT 机防护门外、控制区外围均设电离辐射警告标识和中文警示说明。

## 10.2 辐射防护措施符合性分析

依据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）要求，项目辐射防护设施符合性分析表见表 10.2。

表 10.2 项目辐射防护措施符合性分析表

| 标准防护要求                                                                                                                                                                      | 项目方案                                                                                                                                                                                                                                                                           | 符合性 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GBZ/T 250。                                 | 项目 3 台工业 CT 机均与操作位分开，操作位均避开有用线束照射的方向。项目 3 台工业 CT 机均自带屏蔽体，厚度符合 GBZ/T250 要求。                                                                                                                                                                                                     | 符合  |
| 6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB 18871 的要求。                                                                                                                                  | 项目划定了控制区和监督区，工业 CT 机自屏蔽体内部区域划为控制区，A2 厂房一层 CT 测试室、S13 厂房一层 CT 检测区、S11 厂房四层 CT 检测区以内的区域划分为监督区。                                                                                                                                                                                   | 符合  |
| 6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：<br>a)关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 $100\mu\text{Sv/周}$ ，对公众场所，其值应不大于 $5\mu\text{Sv/周}$ ；<br>b)屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。 | 由估算结果可知，METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机主体外 30cm 处空气比释动能率最大为 $1.53\mu\text{Sv/h}$ 、TSOL-CT225X 型工业 CT 机主体外 30cm 处空气比释动能率最大为 $0.185\mu\text{Sv/h}$ 、DBA-CT9300 型工业 CT 机主体外 30cm 处空气比释动能率最大为 $9.24\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ ，均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率 | 符合  |

|                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|                                                                                                                                                                                                 | 参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
| <p>6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：</p> <p>a)探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同 6.1.3；</p> <p>b)对没有人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 <math>100\mu\text{Sv/h}</math>。</p> | <p>METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机上方为实验室、TSOL-CT225X 型工业 CT 机上方为仓库，同上所述，满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 中“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 <math>2.5\mu\text{Sv/h}</math>”的要求。</p> <p>DBA-CT9300 型工业 CT 机上方为车间上方空间，无人员到达，顶外表面 30cm 处最大剂量率为 <math>9.24\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}</math>，小于 <math>100\mu\text{Sv/h}</math>。</p> | 符合 |
| <p>6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。探伤室内有多台探伤装置时，每台装置均应与防护门联锁。</p>                                             | <p>项目工业 CT 机设备防护门设有门机联锁装置，当防护门未全部关闭时，X 射线机无法出束进行检测作业。</p>                                                                                                                                                                                                                                                               | 符合 |
| <p>6.1.6 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。</p>                              | <p>工业 CT 机控制面板、机器人面板设有工作状态三色指示灯，与 X 射线机联锁，以警示人员注意安全。拟在醒目的位置设置工作状态指示灯意义说明牌。</p>                                                                                                                                                                                                                                          | 符合 |
| <p>6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的操作台应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。</p>                                                                                                                        | <p>工业 CT 机内部设有监视器，连接控制台，用于对设备内的实时 X 射线工作情况监视。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                       | 符合 |
| <p>6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。</p>                                                                                                                                            | <p>项目工业 CT 机防护门外、控制区外围均设电离辐射警告标识和中文警示说明。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                            | 符合 |
| <p>6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。</p>                                                                                      | <p>项目工业 CT 机急停按钮设置如下：<br/>METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机为 CT 机内 2 个、控制面板上 1 个；TSOL-CT225X 型工业 CT 机为 CT 机内 2 个、控制面板上 1 个；DBA-CT9300 型工业 CT 机为工业 CT 机控制面板 2 个、机器人面板 4 个、操作位 2 个。急停按钮可确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮带有标签，标明使用方法。</p>                                                                                                | 符合 |
| <p>6.1.10 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。</p>                                                                                                                               | <p>项目 3 台工业 CT 机采取底部进风，顶部风扇式机械排风，均能保证每小时有效通风换气次数不小于 3 次。</p>                                                                                                                                                                                                                                                            | 符合 |
| <p>6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。</p>                                                                                                                                                              | <p>项目 3 台工业 CT 机所在场所均拟配备 1 台固定式场所辐射探测报警装置。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                          | 符合 |
| <p>6.2.1 对正常使用的探伤室应检查探伤室防护</p>                                                                                                                                                                  | <p>新能安公司已制定计划，每次使用前</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 符合 |

|                                                                                                                              |                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。                                                                                                      | 检查防护安全措施。                                                                    |    |
| 6.2.2 探伤工作人员在进入探伤室时，除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪和便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤室，同时防止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。 | 探伤工作人员拟佩个人剂量计、个人剂量报警仪和便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪。                                  | 符合 |
| 6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。                             | 新能安公司已制定计划定期进行测量工业 CT 机周围区域的剂量率水平，每季度开展一次辐射工作场所自行监测，每年委托有资质的单位对辐射工作场所开展一次监测。 | 符合 |
| 6.2.4 交接班或当班使用便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪前，应检查是否能正常工作。如发现便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。                                      | 新能安公司已制定便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪检查计划，仪器每年校准一次。                                   | 符合 |
| 6.2.5 探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低。                                                                             | 探伤工作人员拟佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。                                                      | 符合 |
| 6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。                                          | 照射前，操作人员确认工业 CT 机内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，开始探伤工作。     | 符合 |
| 6.2.7 开展探伤室设计时未预计到的工作，如工件过大等特殊原因必须开门探伤的，应遵循本标准第 7.1 条～第 7.4 条的要求。                                                            | 项目不涉及开门探伤。                                                                   | 符合 |

#### 10.1.4 法规符合性分析

##### (1) 与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的符合情况

《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，项目情况见表 10.3。

**表 10.3 项目与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的符合情况**

| 环保部 18 号令有关要求                                                                                                             | 本项目情况                                                                                                           | 符合性 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>第五条：</b> 射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。                                                                | 项目工业 CT 机设备防护门设有门机联锁装置，当防护门未全部关闭时不能开机曝光。且控制柜与安全联锁机制接口，当防护门未全部关闭时不能接通 X 射线管管电压。探伤工作开始前，确保在控制区内没有任何其他人员，防止无关人员进入。 | 符合  |
| <b>第九条：</b> 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可的环境监测机构进行监测。 | 新能安公司计划每季度开展一次辐射工作场所自行监测，每年委托有资质的单位对辐射工作场所开展一次监测，拟配置便携式辐射剂量率仪和个人剂量报警仪等设备。                                       | 符合  |
| <b>第十二条：</b> 生产、销售、使用放射性同位素                                                                                               | 新能安公司计划每年 1 月 31 日前向环                                                                                           | 符合  |

|                                                                                                                                    |                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----|
| 与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素和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。                                                          | 保部门提交上一年度评估报告。                                       |    |
| <b>第十七条：</b> 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。               | 项目拟配备取得辐射安全与防护培训合格证书的辐射工作人员和辐射防护专职管理人员，承诺每 5 年接受再培训。 | 符合 |
| <b>第二十三条：</b> 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。 | 新能安公司计划每季度送检 1 次个人外照射剂量计。严格执行个人剂量监测管理规定，建立个人剂量档案。    | 符合 |

## (2) 与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的符合情况

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定了辐射安全许可证申请单位从事辐射活动应具备的条件，项目情况见表 10.4。

**表 10.4 项目与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的符合情况**

| 应具备条件                                                                       | 本项目情况                                                                                                                  | 符合性 |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 使用Ⅱ类射线装置的工作单位，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负责辐射安全与环境保护管理工作。 | 已成立辐射安全与防护管理机构，并确定领导小组组长、副组长及组员，专职的辐射安全管理人员负责辐射安全与环境保护管理工作。                                                            | 符合  |
| 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。                                      | 项目拟配备取得辐射安全与防护培训合格证书的辐射工作人员和辐射防护专职管理人员，承诺每 5 年接受再培训。                                                                   | 符合  |
| 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设施。                                        | 项目拟配备环境监测用 X-γ 辐射空气吸收剂量率仪，工业 CT 机均自带屏蔽体，同时设置门机联锁、急停按钮、工作指示灯、视频监控、电离辐射警告标志、警示灯、警戒线、警告牌装置。<br>项目拟为每名操作人员配备个人剂量报警仪、个人剂量计。 | 符合  |
| 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。                               | 项目拟配备固定式场所辐射探测报警装置、便携式 X-γ 剂量率仪、个人剂量计、个人剂量报警仪。                                                                         | 符合  |
| 有健全的操作规程、辐射防护和安全保卫制度、岗位职责、设备检修维护制度、人员健康管理制度、人员培训计划、监测方案等。                   | 项目投入运行前，所有制度已全部制定完善。                                                                                                   | 符合  |
| 有完善的辐射事故应急措施。                                                               | 新能安公司已制定《辐射事故应急预案》。                                                                                                    |     |

由以上分析可知，在落实上表中相关内容后，厦门新能安科技有限公司从事辐射活动的技术能力基本符合相关法律法规的要求。

## 10.2 三废的治理

### 10.2.1 废气

工业 CT 机在使用过程中，射线与空气相互作用会产生少量的臭氧及氮氧化物。工业 CT 机自带通风设施，采取底部进风，顶部机械排风，在进风和出风口均有铅板防护，气流经导向后才排出，最大程度上避免射线泄漏。少量臭氧和氮氧化物可及时排出，扩散至大气环境，对周边环境基本没有影响。

### 10.2.2 固体废物

项目利用 X 射线穿过工件，投射到平板探测器上通过计算机成像，不使用显影液、定影液，不使用胶片，因此项目无固废产生。

## 10.3 项目环保投资

项目环保投资见表 10.5。

表 10.5 项目环保投资 单位：万元

| 序号 | 项目            |                                                                 | 投资金额 |
|----|---------------|-----------------------------------------------------------------|------|
| 1  | 工业 CT 机辐射安全设施 | 全密封的自屏蔽壳，采用铅-钢、钢-铅-钢防护结构<br>门机联锁、急停按钮、工作指示灯、视频监控、电离辐射警告标志、警示灯装置 | 设备自带 |
| 2  | 其他            | 固定式场所辐射探测报警装置、警戒线、警告牌                                           | 6    |
| 3  |               | 个人剂量报警仪、便携式 X-γ 剂量率仪                                            | 9    |
| 4  |               | 辐射安全规章制度上墙、环境影响评价、竣工环保验收                                        | 15   |
| 5  |               | 每年委托有资质的单位对放射工作场所进行监测                                           | 3    |
| 6  |               | 开展工作人员辐射安全培训，配备个人剂量计进行个人剂量监测，健康体检。                              | 12   |
| 7  | 合计            |                                                                 | 45   |

表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

项目利用现有厂房生产车间进行建设，施工期主要环境影响为机台设备安装。

设备安装主要会产生噪声及废包装材料，由于项目需安装的时间短，产生的噪声为暂时性，随着安装的结束而结束，其对周围环境的影响也随之消失；废包装材料集中收集后交由回收公司处置。

综上所述，项目施工期的影响具有暂时性，随着施工期的结束，其对周围环境的影响也随之消失。在施工期间，项目若能采取以上措施，其对周围环境的影响是可以接受。

### 11.2 运行阶段对环境的影响

根据工程分析可知，本项目运行后主要的环境影响是 X 射线探伤机工作时产生的 X 射线对周围环境的辐射影响。本报告对本项目的辐射环境影响采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及其他理论计算公式进行分析评价。

#### 11.2.1 辐射剂量率理论计算

##### 11.2.1 关注点剂量率参考控制水平的确定

取工业 CT 机自屏蔽体外表面 30cm 处作为关注点，计算公式如下：

$$H_{c-d}=H_c/(t \cdot U \cdot T) \quad (11-1)$$

式中：

$H_{c-d}$ —导出剂量参考控制水平。

$H_c$ —周剂量参考控制水平，单位为微希每周（ $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ）；职业工作人员  $H_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$ 、公众  $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，项目设备周边 30cm 处仅辐射工作人员可到达，因此取  $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

$U$ —探伤装置向关注点方向照射的使用因子；项目主射方向使用因子取 1，其他方向均取 1/4。

$T$ —人员在相应关注点驻留的使用因子；项目人员在操作台、操作位进行操作，因此操作台、操作位辐射工作人员居留因子保守取 1，其他方向辐射工作人员居留因子保守取 1/4。

$t$ —探伤装置周照射时间，单位为小时每周（h/每周）；METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机周照射时间 23h，TSOL-CT225X 型工业 CT 机周照射时间 4.8h，DBA-CT9300 型工业 CT 机周照射时间 140h。

关注点剂量率参考控制水平如下：

表 11.1 关注点剂量率参考控制水平

| 设备                                    | 关注点      | U   | T   | Hc (μSv/周) | t (h/周) | H <sub>c-d</sub> (μSv/h) | Hc (μSv/h) | 剂量率参考控制水平<br>(μSv/h) |
|---------------------------------------|----------|-----|-----|------------|---------|--------------------------|------------|----------------------|
| METROTOM<br>1500 225kV G3<br>型工业 CT 机 | 前侧（操作侧）  | 1/4 | 1   | 100        | 23      | 17.4                     | 2.5        | 2.5                  |
|                                       | 前侧（防护门）  | 1/4 | 1   | 100        | 23      | 17.4                     | 2.5        | 2.5                  |
|                                       | 后侧       | 1/4 | 1/4 | 100        | 23      | 69.6                     | 2.5        | 2.5                  |
|                                       | 左侧       | 1/4 | 1/4 | 100        | 23      | 69.6                     | 2.5        | 2.5                  |
|                                       | 右侧（主射方向） | 1   | 1/4 | 100        | 23      | 17.4                     | 2.5        | 2.5                  |
|                                       | 顶部       | 1/4 | 1/4 | 100        | 23      | 69.6                     | 2.5        | 2.5                  |
| TSOL-CT225X<br>型工业 CT 机               | 前侧       | 1/4 | 1   | 100        | 4.8     | 83.3                     | 2.5        | 2.5                  |
|                                       | 后侧       | 1/4 | 1/4 | 100        | 4.8     | 333.3                    | 2.5        | 2.5                  |
|                                       | 左侧       | 1/4 | 1/4 | 100        | 4.8     | 333.3                    | 2.5        | 2.5                  |
|                                       | 右侧（主射方向） | 1   | 1/4 | 100        | 4.8     | 83.3                     | 2.5        | 2.5                  |
|                                       | 顶部       | 1/4 | 1/4 | 100        | 4.8     | 333.3                    | 2.5        | 2.5                  |
| DBA-CT9300<br>型工业 CT 机                | 前侧（主射方向） | 1   | 1/4 | 100        | 140     | 2.9                      | 2.5        | 2.5                  |
|                                       | 后侧（主射方向） | 1   | 1/4 | 100        | 140     | 2.9                      | 2.5        | 2.5                  |
|                                       | 左侧       | 1/4 | 1   | 100        | 140     | 2.9                      | 2.5        | 2.5                  |
|                                       | 右侧       | 1/4 | 1   | 100        | 140     | 2.9                      | 2.5        | 2.5                  |
|                                       | 底部（主射方向） | 1   | 1/4 | 100        | 140     | 2.9                      | 2.5        | 2.5                  |
|                                       | 顶部（主射方向） | 1   | 1/4 | 100        | 140     | 2.9                      | 2.5        | 2.5                  |

由上表可知，本项目工业 CT 机工业 CT 机自屏蔽体外表面 30cm 处剂量率参考控制水平取 2.5μSv/h。

### 11.2.1.2 估算公式及相关参数取值

#### (1) 有用线束

对于给定的屏蔽物质厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet I \bullet B}{R^2} \quad (11-2)$$

$\dot{H}$ ——屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_0$ ——距辐射源点 1m 处的输出量， $\text{mSv}\times\text{m}^2/(\text{mA}\times\text{min})$ ；

根据 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机设备厂家提供资料（图 9.7），距辐射源点 1m 处的输出量为  $3.67\text{mSv}\times\text{m}^2/(\text{mA}\times\text{min})$ ；

项目 TSOL-CT225X 型工业 CT 机最大管电压为 225kV，根据附录 B 表 B.1，保守取 250kV 管电压 0.5mm 铜过滤条件下输出量  $16.5\text{mSv}\times\text{m}^2/(\text{mA}\times\text{min})$ ；DBA-CT9300 型 CT 机最大管电压为 150kV，根据附录 B 表 B.1，150kV 管电压 2mm 铝过滤条件下输出量  $18.3\text{mSv}\times\text{m}^2/(\text{mA}\times\text{min})$ ；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

I——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA；

B——辐射屏蔽透射因子；

$$B=10^{-X/\text{TVL}} \quad (11-3)$$

X——屏蔽物质厚度；

TVL——见附录 B 表 B.2，项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机、TSOL-CT225X 型工业 CT 机最大管电压为 225kV，采用内插法计算 X 射线在铅中什值层取值，铅什值层厚度 2.15mm；DBA-CT9300 型 CT 机最大管电压为 150kV，铅什值层厚度 0.96mm。

#### (2) 泄漏辐射的屏蔽

对于给定的屏蔽物质厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \bullet B}{R^2} \quad (11-4)$$

$\dot{H}$ ——屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_L$ ——距辐射源点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

根据 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机设备厂家提供资料（图 9.7），距

离射线管 35cm 四周泄漏辐射剂量率 $\leq 19\mu\text{Sv/h}$ ;

由《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)表 1 可知,大于 200kV 的 X 射线管组装体 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率  $5000\mu\text{Sv/h}$ ,大于等于 150kV 的 X 射线管组装体 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率  $2500\mu\text{Sv/h}$ ; TSOL-CT225X 型工业 CT 机最大管电压 225kV,距辐射源点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率取  $5000\mu\text{Sv/h}$ ; DBA-CT9300 型工业 CT 机最大管电压 150kV,距辐射源点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率取  $2500\mu\text{Sv/h}$ ;

R——辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

B——辐射屏蔽透射因子。

### (3) 散射辐射的屏蔽

对于给定的屏蔽物质厚度时,屏蔽体外关注点的剂量率计算公式如下:

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet I \bullet B}{R_s^2} \bullet \frac{F \bullet \alpha}{R_0^2} \quad (11-5)$$

$\dot{H}$ ——屏蔽体外关注点的剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$\dot{H}_0$ ——距辐射源点 1m 处的输出量,  $\text{mSv}\times\text{m}^2/(\text{mA}\times\text{min})$ ;

根据 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机设备厂家提供资料(图 9.7),距辐射源点 1m 处的输出量为  $3.67\text{mSv}\times\text{m}^2/(\text{mA}\times\text{min})$ ;

由《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)表 B.1 可知,管电压 250kV 的在 0.5mm 铜过滤条件下 X 射线距辐射源点 1m 处的输出量为  $16.5\text{mSv}\times\text{m}^2/(\text{mA}\times\text{min})$ ,管电压 150kV 的在 2mm 铝过滤条件下 X 射线距辐射源点 1m 处的输出量为  $18.3\text{mSv}\times\text{m}^2/(\text{mA}\times\text{min})$ ; TSOL-CT225X 型工业 CT 机最大管电压 225kV,  $\dot{H}_0$  取  $16.5\text{mSv}\times\text{m}^2/(\text{mA}\times\text{min})$ ; DBA-CT9300 型工业 CT 机最大管电压 150kV,  $\dot{H}_0$  取  $18.3\text{mSv}\times\text{m}^2/(\text{mA}\times\text{min})$ ;

$R_0$ ——辐射源点(靶点)至探伤工件的距离, m;

$R_s$ ——散射体至关注点的距离, m;

I——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流, mA;

B——辐射屏蔽透射因子;

项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机、TSOL-CT225X 型工业 CT 机最大管电压为 225kV,根据表 2,225kV 原始 X 射线的散射辐射能量为 200kV;根据附录

B 表 B.2, 200kV 管电压对应铅什值层厚度 1.4mm。

项目 DBA-CT9300 型 CT 机最大管电压为 150kV, 根据表 2, 150kV 原始 X 射线的散射辐射能量为 150kV; 根据附录 B 表 B.2, 150kV 管电压对应铅什值层厚度 0.96mm。

F—— $R_0$  处的辐射野面积,  $m^2$ ;

$\alpha$ ——散射因子, 入射辐射被单位面积 ( $1m^2$ ) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比;

项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机辐射角度为锥束  $40^\circ$ , 即 X 射线探伤装置圆锥束中心轴和圆锥边界夹角为  $20^\circ$ , 根据 GBZ/T250-2014 表 B4.2, 当 X 射线探伤装置圆锥束中心轴和圆锥边界夹角为  $20^\circ$  时,  $R_0^2/F \cdot \alpha$  取值为 50 (200kV~400kV), 则  $F \cdot \alpha/R_0^2=1/50$ 。

项目 TSOL-CT225X 型工业 CT 机辐射角度为锥束  $30^\circ$ , 则 F 为  $\pi \times (R_0 \times \tan 15^\circ)^2$ ; 根据附录 B B.4, 散射因子的值保守计为  $1.9 \times 10^{-3} \times 10^4/400 \approx 0.0475$ , 则  $F \cdot \alpha/R_0^2 = \pi \times (\tan 15^\circ)^2 \times \alpha = 0.109$ 。

项目 DBA-CT9300 型工业 CT 机辐射角度为锥束  $67^\circ$ , 则  $F = \pi \times (R_0 \times \tan 33.5^\circ)^2$ ; 根据附录 B B.4, 散射因子的值保守计为  $1.6 \times 10^{-3} \times 10^4/400 = 0.04$ , 则  $F \cdot \alpha/R_0^2 = \pi \times (\tan 33.5^\circ)^2 \times \alpha = 0.396$ 。

### 11.2.1.3 计算结果

#### (1) METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机

项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机 X 射线机主射方向为右侧 (从设备正面看), X 射线机位置固定, 右侧考虑有用线束, 其他方向考虑漏射线和散射线; X 射线管距离各侧距离见表 11.2。

表 11.2 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机射线管距离各侧距离一览表

| 方位        | 射线出口距离 |
|-----------|--------|
| 前侧 (操作侧)  | 725mm  |
| 前侧 (防护门)  | 645mm  |
| 后侧        | 935mm  |
| 左侧        | 810mm  |
| 右侧 (主射方向) | 1860mm |
| 底部        | 1465mm |
| 顶部        | 767mm  |

在 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机外 30cm 处设置参考点, 工业 CT 机下方为土层, 不设置参考点。参考点和辐射路径示意图见图 11.1~图 11.3。

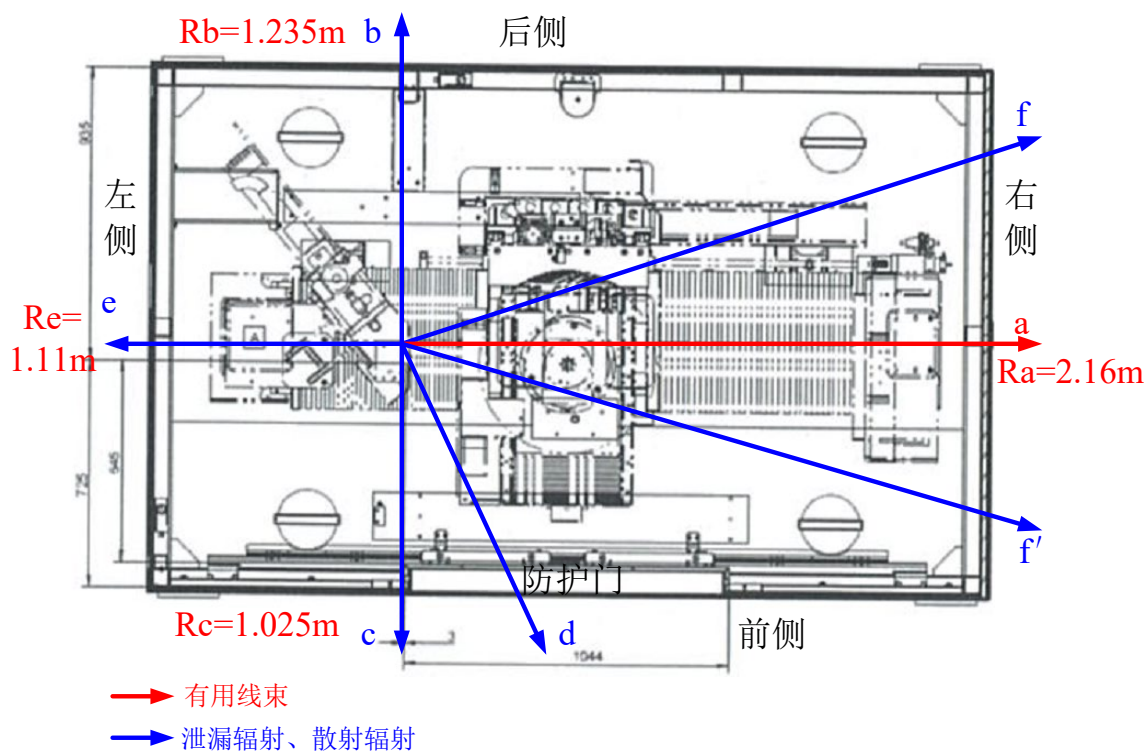


图 11.1 参考点及辐射路径示意图（俯视透视）

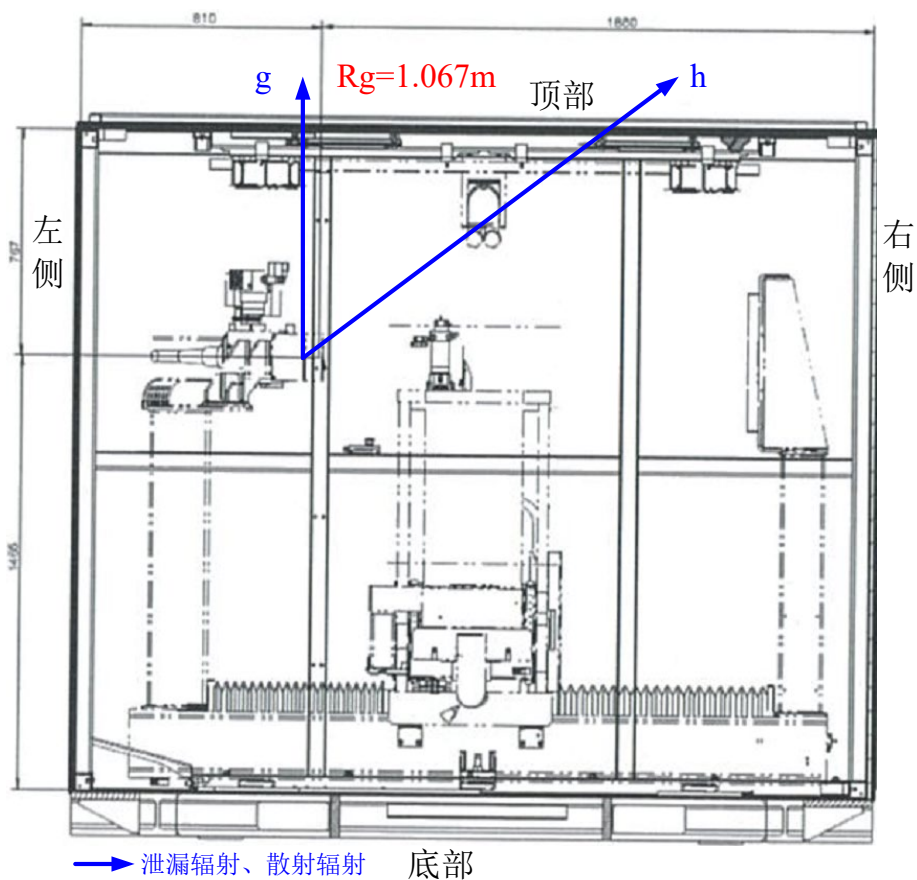


图 11.2 参考点及辐射路径示意图（面向设备透视）

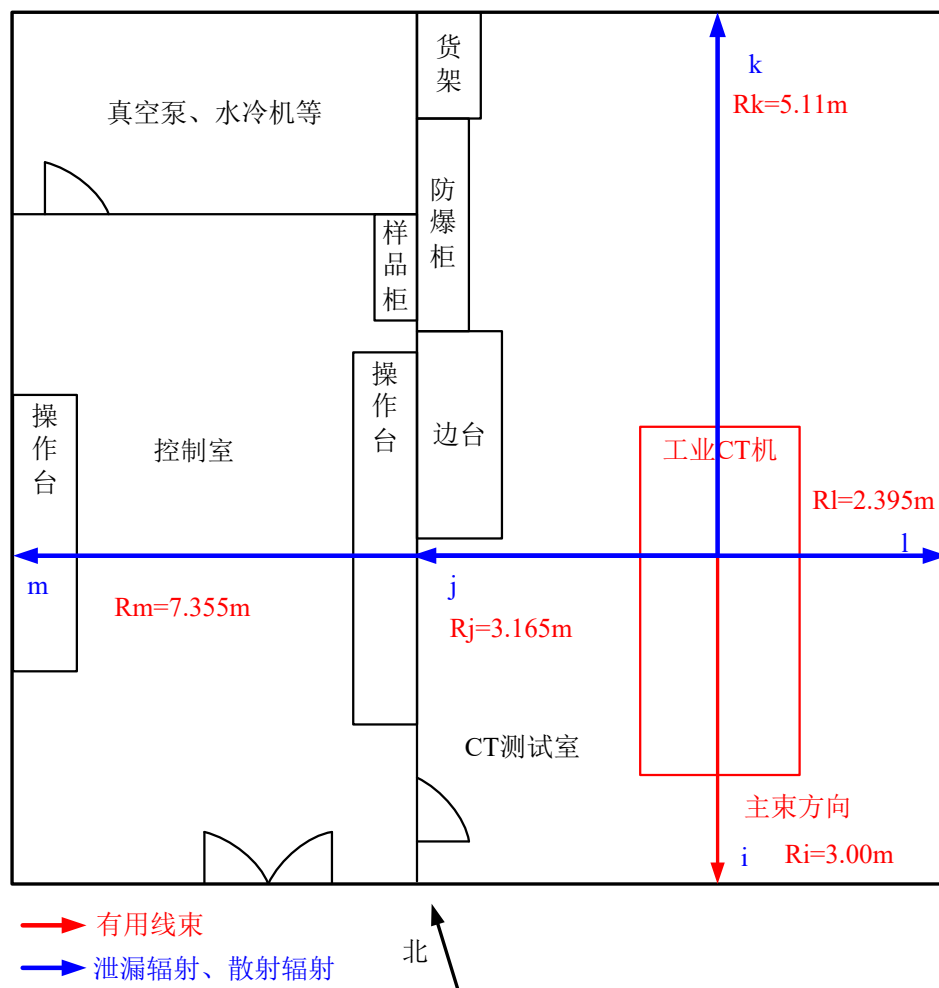


图 11.3 参考点及辐射路径示意图（CT 测试室平面）

#### A、关注点处的辐射剂量率估算结果

根据表 11.3-表 11.4 计算结果，METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机四周各关注点剂量率最大为  $1.53\mu\text{Sv/h}$ 。

#### B、排风口外剂量率计算

METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机顶部设置 1 处排风口，排风口外设有 5mm 铅+3mm 钢的防护罩。经估算，有用线束不会直接照射到排风口，排风口考虑漏射线和散射线，排风口外剂量率为  $1.41\mu\text{Sv/h}$ 。

#### C、小结

由以上估算结果可知，METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机四周屏蔽外 30cm 空气比释动能率最大为  $1.53\mu\text{Sv/h}$ （前侧），室顶剂量率为  $1.41\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求，故本项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机设计合理。

表 11.3 有用线束方向关注点处剂量率计算结果

| 项目                                                             | CT 机右侧外 30cm (a)                     | CT 测试室南侧边界 (i)                       |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| $\dot{H}_0$ (mSv $\times$ m <sup>2</sup> / (mA $\times$ min) ) | 3.67                                 | 3.67                                 |
| I (mA)                                                         | 3                                    | 3                                    |
| 屏蔽体                                                            | 12.5mmPb                             | 12.5mmPb                             |
| TVL (mm)                                                       | 2.15                                 | 2.15                                 |
| B                                                              | $10^{-12.5/2.15}=1.53\times 10^{-6}$ | $10^{-12.5/2.15}=1.53\times 10^{-6}$ |
| R (m)                                                          | 1.86+0.3=2.16                        | 1.86+1.14=3.00                       |
| $\dot{H}$ ( $\mu$ Sv/h)                                        | 0.22                                 | 0.11                                 |
| 剂量率参考控制水平 ( $\mu$ Sv/h)                                        | 2.5                                  | 2.5                                  |
| 评价                                                             | 满足                                   | 满足                                   |

表 11.4 非有用线束方向（泄漏辐射+散射辐射）关注点处剂量率计算结果

| 项目               |                                                                       | 后侧外<br>30cm<br>(b)  | 前侧外<br>30cm<br>(c)  | 前侧防护<br>门外<br>30cm<br>(d) | 左侧外<br>30cm<br>(e) | 右侧外<br>30cm<br>(f、<br>f') | 顶部外<br>30cm<br>(g)  | 顶部排风<br>口外<br>30cm<br>(h) | 操作台<br>(j)           | CT 测试室<br>西侧边界<br>(m) | CT 测试<br>室北侧<br>边界<br>(k) | CT 测试室<br>东侧边界<br>(l) | CT 测试室<br>顶部 (n)     |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
| 泄<br>漏<br>辐<br>射 | $\dot{H}_L$<br>( $\mu$ Sv/h)                                          | 19                  | 19                  | 19                        | 19                 | 19                        | 19                  | 19                        | 19                   | 19                    | 19                        | 19                    | 19                   |
|                  | 屏蔽体                                                                   | 5.5mmPb             | 5.5mmPb             | 6.0mmPb                   | 5.5mmPb            | 12.5mmPb                  | 6.0mmPb             | 5.5mmPb                   | 5.5mmPb              | 5.5mmPb               | 5.5mmPb                   | 5.5mmPb               | 5.5mmPb              |
|                  | TVL<br>(mm)                                                           | 2.15                | 2.15                | 2.15                      | 2.15               | 2.15                      | 2.15                | 2.15                      | 2.15                 | 2.15                  | 2.15                      | 2.15                  | 2.15                 |
|                  | B                                                                     | $10^{-5.5/2.15}$    | $10^{-5.5/2.15}$    | $10^{-6/2.15}$            | $10^{-5.5/2.15}$   | $10^{-12.5/2.15}$         | $10^{-6/2.15}$      | $10^{-5.5/2.15}$          | $10^{-5.5/2.15}$     | $10^{-5.5/2.15}$      | $10^{-5.5/2.15}$          | $10^{-5.5/2.15}$      | $10^{-5.5/2.15}$     |
|                  | R (m)                                                                 | 0.935+0.3<br>=1.235 | 0.725+0.3<br>=1.025 | 0.645+0.3<br>=0.945       | 0.81+0.3<br>=1.11  | 1.86+0.3<br>=2.16         | 0.767+0.3<br>=1.067 | 0.767+0.3<br>=1.067       | 0.725+2.44<br>=3.165 | 0.725+6.63<br>=7.355  | 0.81+4.3<br>=5.11         | 0.935+1.46<br>=2.395  | 0.767+3.56<br>=4.327 |
|                  | $\dot{H}$<br>( $\mu$ Sv/h)                                            | 0.03                | 0.05                | 0.03                      | 0.04               | $6.25\times 10^{-6}$      | 0.03                | 0.05                      | 0.005                | 0.001                 | 0.002                     | 0.009                 | 0.003                |
| 散<br>射<br>辐<br>射 | $\dot{H}_0$<br>(mSv $\times$<br>m <sup>2</sup> /(mA<br>$\times$ min)) | 3.67                | 3.67                | 3.67                      | 3.67               | 3.67                      | 3.67                | 3.67                      | 3.67                 | 3.67                  | 3.67                      | 3.67                  | 3.67                 |

|  |                           |                       |                       |                       |                     |                       |                       |                       |                        |                        |                     |                        |                        |
|--|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
|  | I<br>(mA)                 | 3                     | 3                     | 3                     | 3                   | 3                     | 3                     | 3                     | 3                      | 3                      | 3                   | 3                      | 3                      |
|  | 屏蔽体                       | 5.5mmPb               | 5.5mmPb               | 6.0mmPb               | 5.5mmPb             | 12.5mmPb              | 6.0mmPb               | 5.5mmPb               | 5.5mmPb                | 5.5mmPb                | 5.5mmPb             | 5.5mmPb                | 5.5mmPb                |
|  | TVL<br>(mm)               | 1.4                   | 1.4                   | 1.4                   | 1.4                 | 1.4                   | 1.4                   | 1.4                   | 1.4                    | 1.4                    | 1.4                 | 1.4                    | 1.4                    |
|  | B                         | $10^{-5.5/1.4}$       | $10^{-5.5/1.4}$       | $10^{-6/1.4}$         | $10^{-5.5/1.4}$     | $10^{-12.5/1.4}$      | $10^{-6/1.4}$         | $10^{-5.5/1.4}$       | $10^{-5.5/1.4}$        | $10^{-5.5/1.4}$        | $10^{-5.5/1.4}$     | $10^{-5.5/1.4}$        | $10^{-5.5/1.4}$        |
|  | R (m)                     | $0.935+0.3$<br>=1.235 | $0.725+0.3$<br>=1.025 | $0.645+0.3$<br>=0.945 | $0.81+0.3$<br>=1.11 | $1.86+0.3$<br>=2.16   | $0.767+0.3$<br>=1.067 | $0.767+0.3$<br>=1.067 | $0.725+2.44$<br>=3.165 | $0.725+6.63$<br>=7.355 | $0.81+4.3$<br>=5.11 | $0.935+1.46$<br>=2.395 | $0.767+3.56$<br>=4.327 |
|  | $F \cdot \alpha/R_0^2$    | 1/50                  | 1/50                  | 1/50                  | 1/50                | 1/50                  | 1/50                  | 1/50                  | 1/50                   | 1/50                   | 1/50                | 1/50                   | 1/50                   |
|  | $\dot{H}$<br>(μSv/h)      | 1.02                  | 1.48                  | 0.77                  | 1.26                | $3.34 \times 10^{-6}$ | 0.60                  | 1.37                  | 0.155                  | 0.029                  | 0.06                | 0.27                   | 0.083                  |
|  | 参考点复合<br>辐射剂量率<br>(μSv/h) | 1.06                  | <b>1.53</b>           | 0.80                  | 1.31                | $9.59 \times 10^{-6}$ | 0.63                  | <b>1.41</b>           | 0.16                   | 0.03                   | 0.06                | 0.28                   | 0.09                   |
|  | 剂量率参考<br>控制水平<br>(μSv/h)  | 2.5                   | 2.5                   | 2.5                   | 2.5                 | 2.5                   | 2.5                   | 2.5                   | 2.5                    | 2.5                    | 2.5                 | 2.5                    | 2.5                    |
|  | 评价                        | 满足                    | 满足                    | 满足                    | 满足                  | 满足                    | 满足                    | 满足                    | 满足                     | 满足                     | 满足                  | 满足                     | 满足                     |

## (2) TSOL-CT225X 型工业 CT 机

项目 TSOL-CT225X 型工业 CT 机 X 射线机主射方向为右侧（从设备正面看），有用束半张角为  $15^\circ$ ，X 射线机位置固定，仅上下移动、不前后左右移动。X 射线管距离各侧距离见表 11.5。X 射线机位置距右侧距离  $1.876\text{m} \times \tan 15^\circ \approx 0.50\text{m}$ ，该距离小于靶点距前、后侧和顶部的距离，因此有用线束不照射前、后侧和顶部，右侧考虑有用线束，其他方向考虑漏射线和散射线。

表 11.5 TSOL-CT225X 型工业 CT 机射线管距离各侧最近距离一览表

| 方位       | 射线出口最近距离 |
|----------|----------|
| 前侧       | 555mm    |
| 后侧       | 852mm    |
| 左侧       | 1370mm   |
| 右侧（主射方向） | 1876mm   |
| 底部       | 800mm    |
| 顶部       | 533mm    |

在 TSOL-CT225X 型工业 CT 机外 30cm 处设置参考点，工业 CT 机下方为土层，不设置参考点。参考点和辐射路径示意图见图 11.4~图 11.6。

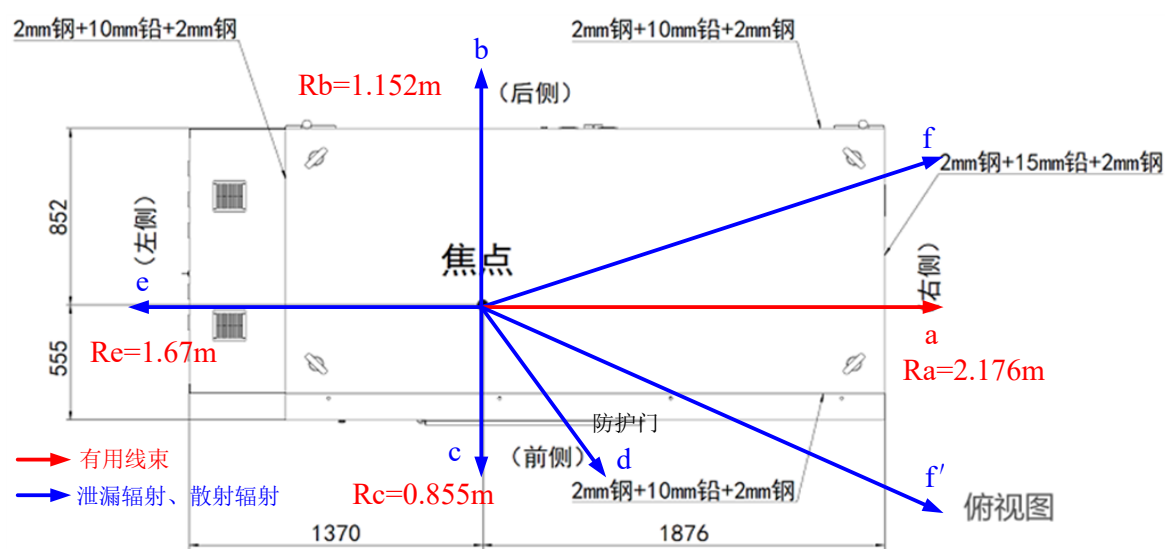


图 11.4 参考点及辐射路径示意图（俯视透视）

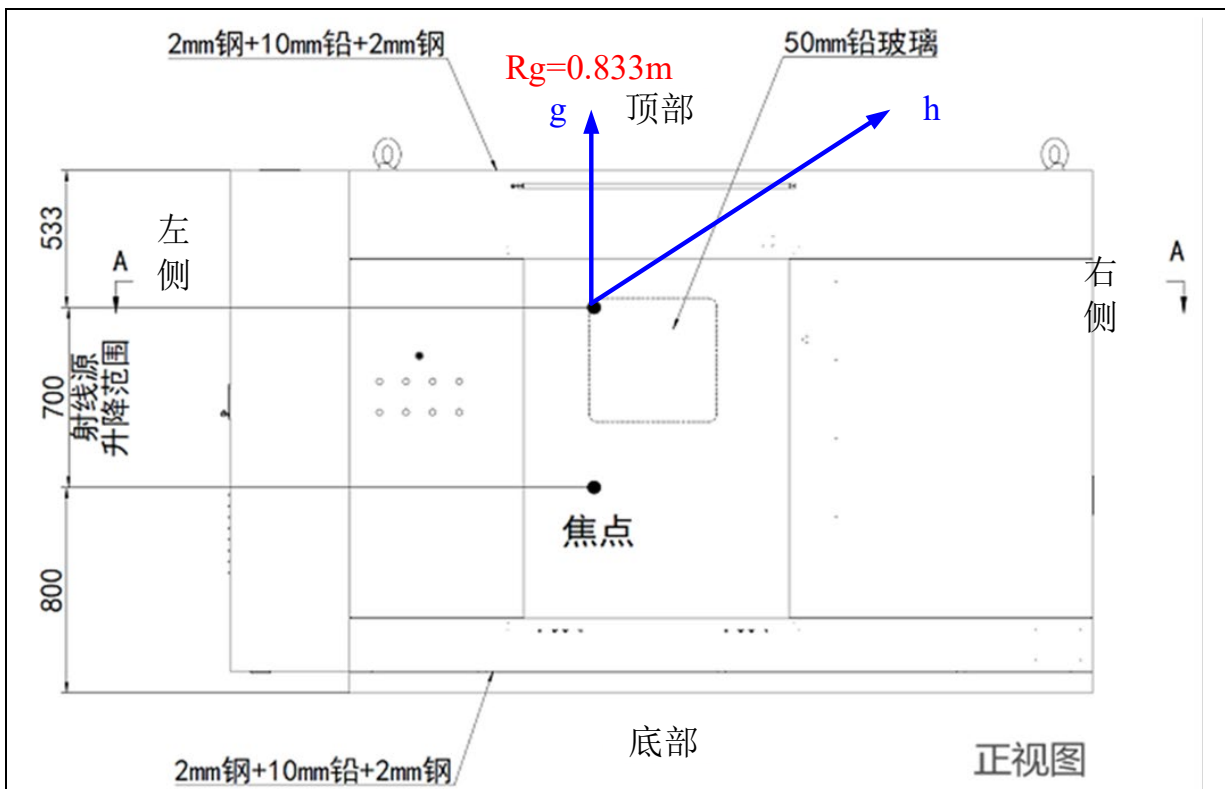


图 11.5 参考点及辐射路径示意图（面向设备透视）

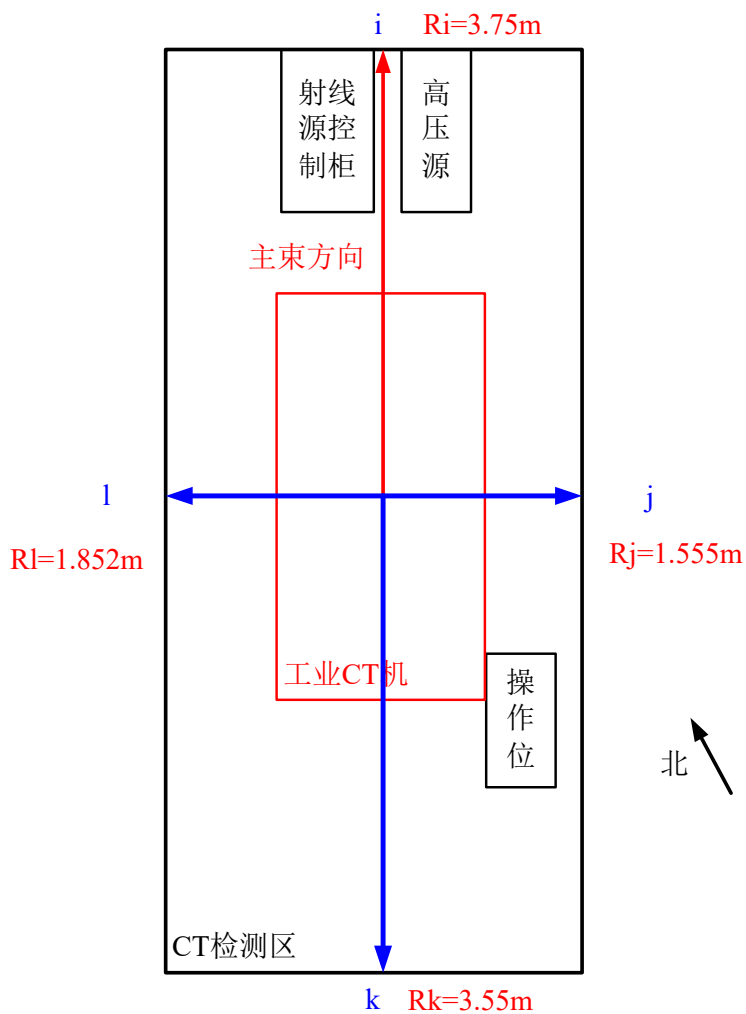


图 11.6 参考点及辐射路径示意图（CT 检测区平面）

### **A、关注点处的辐射剂量率估算结果**

根据表 11.6~表 11.7 计算结果，TSOL-CT225X 型工业 CT 机四周各关注点剂量率最大为  $0.185\mu\text{Sv/h}$ 。

### **B、排风口外剂量率计算**

TSOL-CT225X 型工业 CT 机顶部设置 2 处排放口，排风口外设有 2mm 钢+15mm 铅+2mm 钢的防护罩。经估算，有用线束不会直接照射到排风口，排风口考虑漏射线和散射线，排风口外剂量率为  $4.03 \times 10^{-4}\mu\text{Sv/h}$ 。

### **C、小结**

由以上估算结果可知，TSOL-CT225X 型工业 CT 机四周屏蔽外 30cm 空气比释动能率最大为  $0.185\mu\text{Sv/h}$ （前侧），室顶剂量率为  $4.03 \times 10^{-4}\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求，故本项目 TSOL-CT225X 型工业 CT 机设计合理。

表 11.6 有用线束方向关注点处剂量率计算结果

| 项目                                           | CT 机右侧外 30cm (a)                      | CT 检测区北侧边界 (i)                        |
|----------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| $\dot{H}_0$ (mSv×m <sup>2</sup> / (mA×min) ) | 16.5                                  | 16.5                                  |
| I (mA)                                       | 3                                     | 3                                     |
| 屏蔽体                                          | 15.6mmPb                              | 15.6mmPb                              |
| TVL (mm)                                     | 2.15                                  | 2.15                                  |
| B                                            | $10^{-15.6/2.15}=5.55 \times 10^{-8}$ | $10^{-15.6/2.15}=5.55 \times 10^{-8}$ |
| R (m)                                        | 1.876+0.3=2.176                       | 1.88+1.87=3.75                        |
| $\dot{H}$ (μSv/h)                            | 0.035                                 | 0.012                                 |
| 剂量率参考控制水平 (μSv/h)                            | 2.5                                   | 2.5                                   |
| 评价                                           | 满足                                    | 满足                                    |

表 11.7 非有用线束方向（泄漏辐射+散射辐射）关注点处剂量率计算结果

| 项目               |                        | 后侧外<br>30cm<br>(b)  | 前侧外<br>30cm<br>(c)  | 前侧（观<br>察窗）外<br>30cm/操<br>作位<br>(d) | 左侧<br>30cm<br>(e) | 右侧外<br>30cm<br>(f、<br>f' ) | 顶部外<br>30cm<br>(g)  | 顶部排风<br>口外<br>30cm<br>(h) | CT 检测<br>区东侧边<br>界 (j) | CT 检测<br>区南侧边<br>界 (k) | CT 检测<br>区西侧边<br>界 (l) | CT 测试<br>室顶部<br>(m) |
|------------------|------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| 泄<br>漏<br>辐<br>射 | $\dot{H}_L$<br>(μSv/h) | 5000                | 5000                | 5000                                | 5000              | 5000                       | 5000                | 5000                      | 5000                   | 5000                   | 5000                   | 5000                |
|                  | 屏蔽体                    | 10.6mmPb            | 10.6mmPb            | 10mmPb                              | 10.6mmPb          | 15.6mmPb                   | 10.6mmPb            | 15.6mmPb                  | 10.6mmPb               | 10.6mmPb               | 10.6mmPb               | 10.6mmPb            |
|                  | TVL<br>(mm)            | 2.15                | 2.15                | 2.15                                | 2.15              | 2.15                       | 2.15                | 2.15                      | 2.15                   | 2.15                   | 2.15                   | 2.15                |
|                  | B                      | $10^{-10.6/2.15}$   | $10^{-10.6/2.15}$   | $10^{-10/2.15}$                     | $10^{-10.6/2.15}$ | $10^{-15.6/2.15}$          | $10^{-10.6/2.15}$   | $10^{-15.6/2.15}$         | $10^{-10.6/2.15}$      | $10^{-10.6/2.15}$      | $10^{-10.6/2.15}$      | $10^{-10.6/2.15}$   |
|                  | R (m)                  | 0.852+0.3<br>=1.152 | 0.555+0.3<br>=0.855 | 0.555+0.3<br>=0.855                 | 1.37+0.3<br>=1.67 | 1.876+0.3<br>=2.176        | 0.533+0.3<br>=0.833 | 0.533+0.3<br>=0.833       | 0.555+1<br>=1.555      | 1.37+2.18<br>=3.55     | 0.852+1<br>=1.852      | 0.533+3.9<br>=4.433 |
|                  | $\dot{H}$              | 0.044               | 0.080               | 0.153                               | 0.021             | $5.86 \times 10^{-5}$      | 0.085               | $4.00 \times 10^{-4}$     | 0.024                  | 0.005                  | 0.017                  | 0.003               |

|                                    |                                                                         |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                   |                    |                   |                     |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
|                                    | ( $\mu\text{Sv/h}$ )                                                    |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                   |                    |                   |                     |
| 散射<br>辐<br>射                       | $\dot{H}_0$ (mSv<br>$\times \text{m}^2/(\text{mA} \times \text{min})$ ) | 16.5                  | 16.5                  | 16.5                  | 16.5                  | 16.5                  | 16.5                  | 16.5                  | 16.5              | 16.5               | 16.5              | 16.5                |
|                                    | I (mA)                                                                  | 3                     | 3                     | 3                     | 3                     | 3                     | 3                     | 3                     | 3                 | 3                  | 3                 | 3                   |
|                                    | 屏蔽体                                                                     | 10.6mmPb              | 10.6mmPb              | 10mmPb                | 10.6mmPb              | 15.6mmPb              | 10.6mmPb              | 15.6mmPb              | 10.6mmPb          | 10mmPb             | 10.6mmPb          | 10.6mmPb            |
|                                    | TVL<br>(mm)                                                             | 1.4                   | 1.4                   | 1.4                   | 1.4                   | 1.4                   | 1.4                   | 1.4                   | 1.4               | 1.4                | 1.4               | 1.4                 |
|                                    | B                                                                       | $10^{-10.6/1.4}$      | $10^{-10.6/1.4}$      | $10^{-10/1.4}$        | $10^{-10.6/1.4}$      | $10^{-15.6/1.4}$      | $10^{-10.6/1.4}$      | $10^{-15.6/1.4}$      | $10^{-10.6/1.4}$  | $10^{-10/1.4}$     | $10^{-10.6/1.4}$  | $10^{-10.6/1.4}$    |
|                                    | R (m)                                                                   | 0.852+0.3<br>=1.152   | 0.555+0.3<br>=0.855   | 0.555+0.3<br>=0.855   | 1.37+0.3<br>=1.67     | 1.876+0.3<br>=2.176   | 0.533+0.3<br>=0.833   | 0.533+0.3<br>=0.833   | 0.555+1<br>=1.555 | 1.37+2.18<br>=3.55 | 0.852+1<br>=1.852 | 0.533+3.9<br>=4.433 |
|                                    | F ( $\text{m}^2$ )                                                      | 1.473                 | 1.473                 | 1.473                 | 1.473                 | 1.473                 | 1.473                 | 1.473                 | 1.473             | 1.473              | 1.473             | 1.473               |
|                                    | $\alpha$                                                                | 0.0475                | 0.0475                | 0.0475                | 0.0475                | 0.0475                | 0.0475                | 0.0475                | 0.0475            | 0.0475             | 0.0475            | 0.0475              |
|                                    | R <sub>0</sub> (m)                                                      | 0.8                   | 0.8                   | 0.8                   | 0.8                   | 0.8                   | 0.8                   | 0.8                   | 0.8               | 0.8                | 0.8               | 0.8                 |
|                                    | $\dot{H}$<br>( $\mu\text{Sv/h}$ )                                       | $6.56 \times 10^{-3}$ | $1.19 \times 10^{-2}$ | $3.20 \times 10^{-2}$ | $3.12 \times 10^{-3}$ | $4.94 \times 10^{-7}$ | $1.26 \times 10^{-2}$ | $3.37 \times 10^{-6}$ | 0.004             | 0.001              | 0.003             | 0.0004              |
| 参考点复合辐射剂量率<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) |                                                                         | 0.051                 | 0.092                 | <b>0.185</b>          | 0.024                 | $5.91 \times 10^{-5}$ | 0.097                 | $4.03 \times 10^{-4}$ | 0.028             | 0.006              | 0.020             | 0.003               |
| 剂量率参考控制水平<br>( $\mu\text{Sv/h}$ )  |                                                                         | 2.5                   | 2.5                   | 2.5                   | 2.5                   | 2.5                   | 2.5                   | 2.5                   | 2.5               | 2.5                | 2.5               | 2.5                 |
| 评价                                 |                                                                         | 满足                    | 满足                    | 满足                    | 满足                    | 满足                    | 满足                    | 满足                    | 满足                | 满足                 | 满足                | 满足                  |

(3) DBA-CT9300 型工业 CT 机

DBA-CT9300 型工业 CT 机内有 2 个 X 射线源，射线源及探测器围绕垂直于水平面的圆旋转，前侧、后侧、顶部、底部考虑有用线束，左侧、右侧考虑漏射线和散射线；X 射线管距离各侧最近距离见表 11.8。

表 11.8 DBA-CT9300 型工业 CT 机射线管距离各侧距离一览表

| 方位       | 射线出口最近距离 |
|----------|----------|
| 前侧（主射方向） | 1050mm   |
| 后侧（主射方向） | 1050mm   |
| 左侧       | 500mm    |
| 右侧       | 500mm    |
| 底部（主射方向） | 900mm    |
| 顶部（主射方向） | 900mm    |

在 DBA-CT9300 型工业 CT 机外 30cm 处设置参考点，工业 CT 机下方为土层，不设置参考点。参考点和辐射路径示意图见图 11.7~图 11.9。

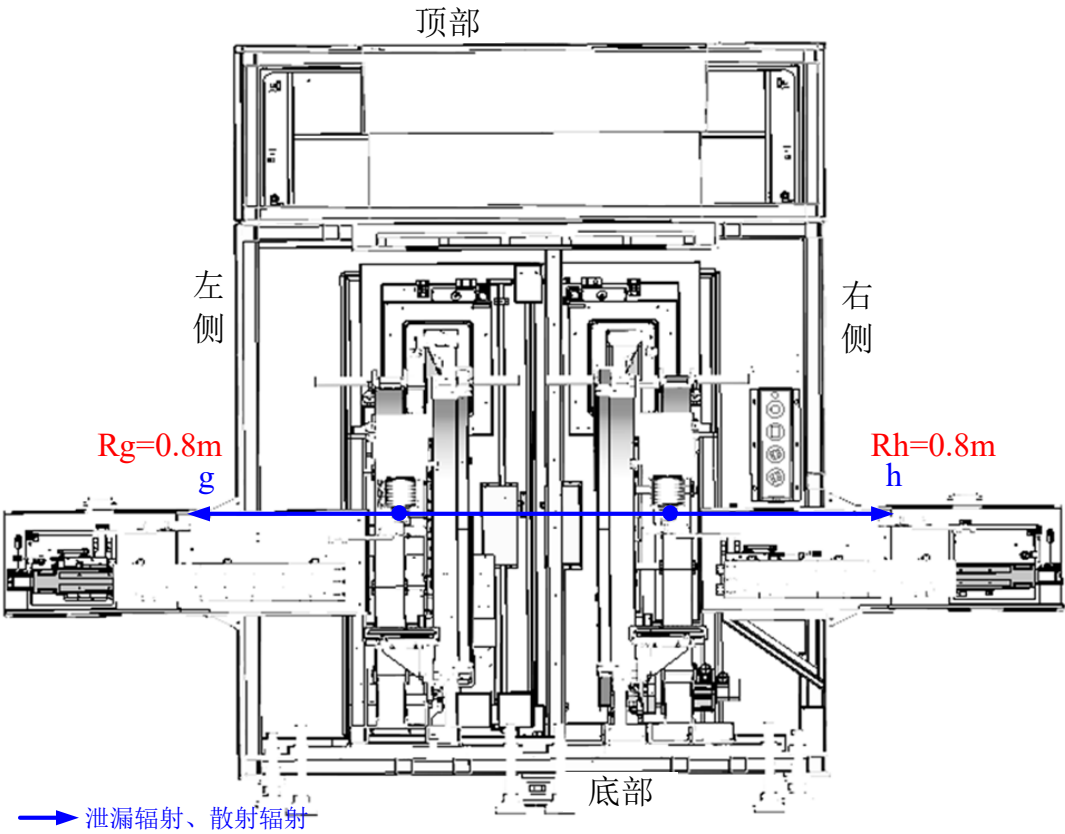


图 11.7 参考点及辐射路径示意图（面向设备透视）

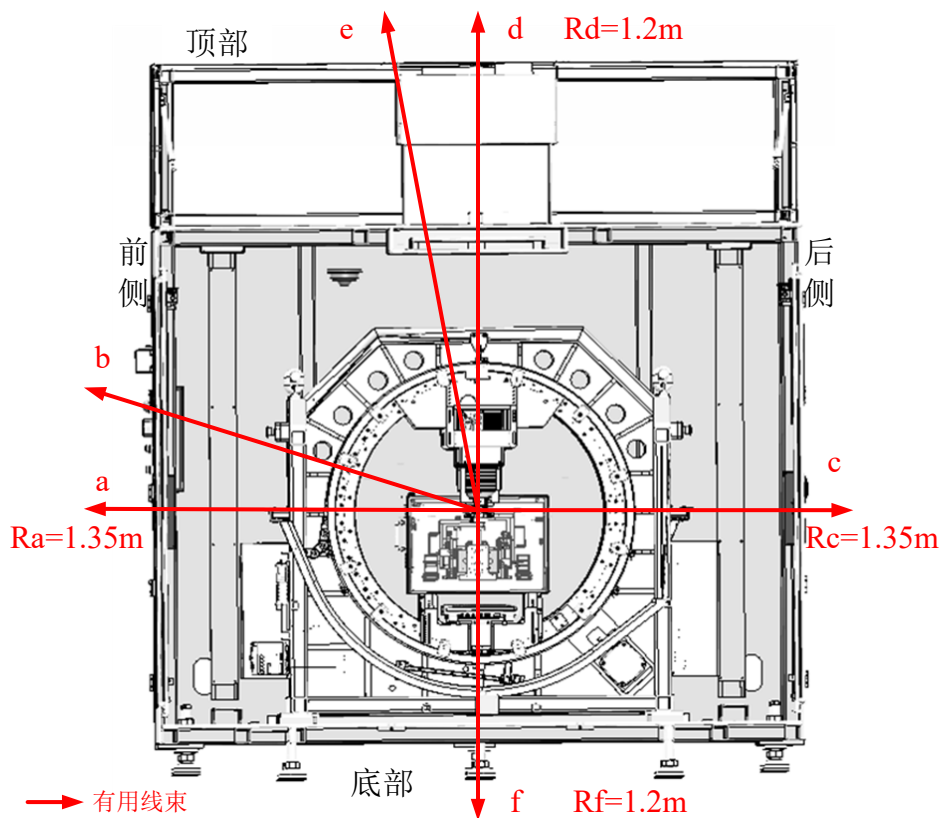


图 11.8 参考点及辐射路径示意图（设备左侧面透视）

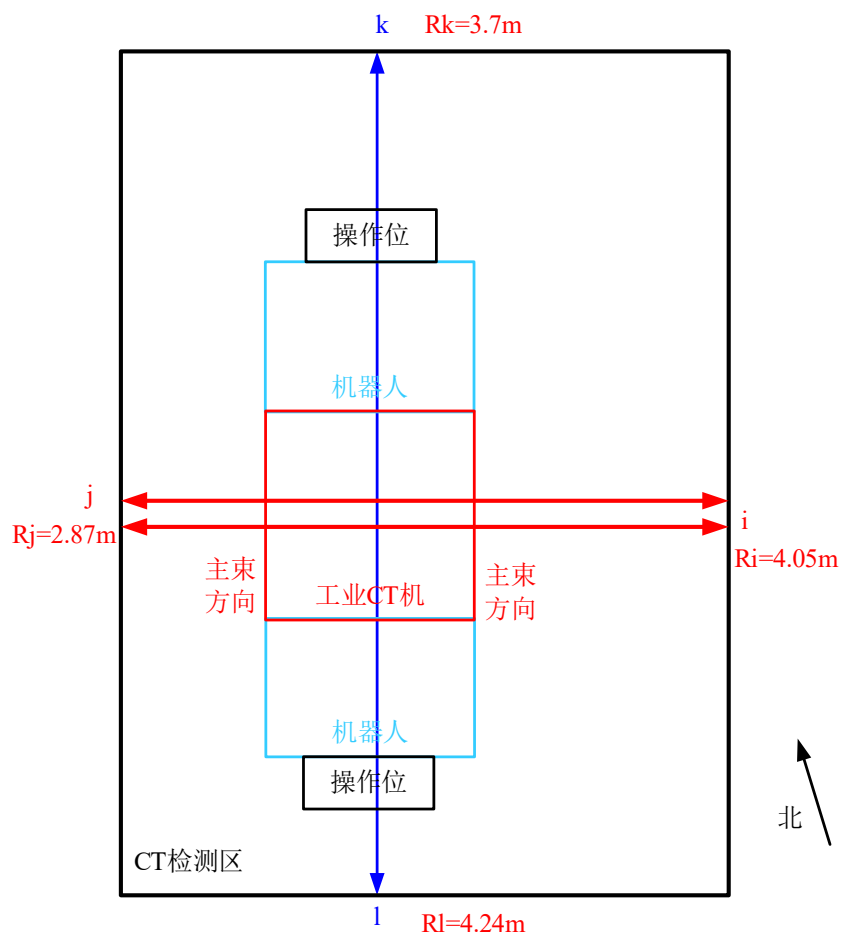


图 11.9 参考点及辐射路径示意图（CT 检测区平面）

**A、关注点处的辐射剂量率估算结果**

DBA-CT9300 型工业 CT 机内有 2 个 X 射线源，关注点剂量率保守以 2 个 X 射线源结果叠加计算。根据表 11.9~表 11.10 计算结果，DBA-CT9300 型工业 CT 机四周各关注点剂量率最大为  $9.24 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ 。

**B、排风口外剂量率计算**

DBA-CT9300 型工业 CT 机顶部设置 2 处排放口，排风口外设有 2mm 钢+15mm 铅+2mm 钢的防护罩。经估算，有用线束不会直接照射到排风口，排风口考虑漏射线和散射线，排风口外剂量率为  $9.24 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ 。

**C、小结**

由以上估算结果可知，DBA-CT9300 型工业 CT 机四周屏蔽外 30cm 空气比释动能率最大为  $9.24 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ （室顶排风口），满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求，故本项目 DBA-CT9300 型工业 CT 机设计合理。

表 11.9 有用线束方向关注点处剂量率计算结果

| 项目                                                   | CT 机前侧外<br>30cm (a)      | CT 机前侧观察<br>窗外 30cm (b) | CT 机后侧外<br>30cm (c)      | CT 机顶部外<br>30cm (d)      | CT 机顶部排<br>风口外 30cm<br>(e)  | CT 机底部<br>外 30cm<br>(f)  | CT 检测区东<br>侧边界 (i)     | CT 检测区西侧<br>边界 (j)       |
|------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| $\dot{H}_0$ (mSv ×<br>m <sup>2</sup> /(mA ×<br>min)) | 18.3                     | 18.3                    | 18.3                     | 18.3                     | 18.3                        | 18.3                     | 18.3                   | 18.3                     |
| I (mA)                                               | 3                        | 3                       | 3                        | 3                        | 3                           | 3                        | 3                      | 3                        |
| 屏蔽体                                                  | 10.6mmPb                 | 10mmPb                  | 10.6mmPb                 | 10.6mmPb                 | 7.6mmPb                     | 10.6mmPb                 | 10mmPb                 | 10.6mmPb                 |
| TVL (mm)                                             | 0.96                     | 0.96                    | 0.96                     | 0.96                     | 0.96                        | 0.96                     | 0.96                   | 0.96                     |
| B                                                    | 10 <sup>-10.6/0.96</sup> | 10 <sup>-10/0.96</sup>  | 10 <sup>-10.6/0.96</sup> | 10 <sup>-10.6/0.96</sup> | 10 <sup>-7.6/0.96</sup>     | 10 <sup>-10.6/0.96</sup> | 10 <sup>-10/0.96</sup> | 10 <sup>-10.6/0.96</sup> |
| R (m)                                                | 1.05+0.3=1.35            | 1.05+0.3=1.35           | 1.05+0.3=1.35            | 0.9+0.3=1.2              | 0.9+0.3=1.2                 | 0.9+0.3=1.2              | 1.05+3=4.05            | 1.05+1.82=2.87           |
| $\dot{H}$ (μSv/h)<br>(1 个 X 射线<br>源)                 | 2.74×10 <sup>-6</sup>    | 1.15×10 <sup>-5</sup>   | 2.74×10 <sup>-6</sup>    | 3.46×10 <sup>-6</sup>    | 4.62×10 <sup>-3</sup>       | 3.46×10 <sup>-6</sup>    | 1.28×10 <sup>-6</sup>  | 6.06×10 <sup>-7</sup>    |
| $\dot{H}$ (μSv/h)<br>(2 个 X 射线<br>源叠加)               | 5.48×10 <sup>-6</sup>    | 2.30×10 <sup>-5</sup>   | 5.48×10 <sup>-6</sup>    | 6.92×10 <sup>-6</sup>    | <b>9.24×10<sup>-3</sup></b> | 6.92×10 <sup>-6</sup>    | 2.56×10 <sup>-6</sup>  | 1.21×10 <sup>-6</sup>    |
| 剂量率参考<br>控制水平<br>(μSv/h)                             | 2.5                      | 2.5                     | 2.5                      | 2.5                      | 2.5                         | 2.5                      | 2.5                    | 2.5                      |
| 评价                                                   | 满足                       | 满足                      | 满足                       | 满足                       | 满足                          | 满足                       | 满足                     | 满足                       |

表 11.10 非有用线束方向（泄漏辐射+散射辐射）关注点处剂量率计算结果

| 项目                          |                                            | 左侧外 30cm<br>(g)       | 右侧外 30cm<br>(h)       | CT 检测区北侧边界<br>(k)     | CT 检测区南侧边界<br>(l)     | 操作位 (m、m')            |
|-----------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 泄漏辐射                        | $\dot{H}_L$ (μSv/h)                        | 2500                  | 2500                  | 2500                  | 2500                  | 2500                  |
|                             | 屏蔽体                                        | 10.6mmPb              | 10.6mmPb              | 10.6mmPb              | 10.6mmPb              | 10.6mmPb              |
|                             | TVL (mm)                                   | 0.96                  | 0.96                  | 0.96                  | 0.96                  | 0.96                  |
|                             | B                                          | $10^{-10.6/0.96}$     | $10^{-10.6/0.96}$     | $10^{-10.6/0.96}$     | $10^{-10.6/0.96}$     | $10^{-10.6/0.96}$     |
|                             | R (m)                                      | 0.5+0.3=0.8           | 0.5+0.3=0.8           | 0.5+3.2=3.7           | 0.5+3.35=3.85         | 0.5+1.7=2.2           |
|                             | $\dot{H}$ (μSv/h)                          | $3.55 \times 10^{-8}$ | $3.55 \times 10^{-8}$ | $1.66 \times 10^{-9}$ | $1.53 \times 10^{-9}$ | $4.69 \times 10^{-9}$ |
| 散射辐射                        | $\dot{H}_0$ (mSv×m <sup>2</sup> /(mA×min)) | 18.3                  | 18.3                  | 18.3                  | 18.3                  | 18.3                  |
|                             | I (mA)                                     | 0.5                   | 0.5                   | 0.5                   | 0.5                   | 0.5                   |
|                             | 屏蔽体                                        | 10.6mmPb              | 10.6mmPb              | 10.6mmPb              | 10.6mmPb              | 10.6mmPb              |
|                             | TVL (mm)                                   | 0.96                  | 0.96                  | 0.96                  | 0.96                  | 0.96                  |
|                             | B                                          | $10^{-10.6/0.96}$     | $10^{-10.6/0.96}$     | $10^{-10.6/0.96}$     | $10^{-10.6/0.96}$     | $10^{-10.6/0.96}$     |
|                             | $F \cdot \alpha/R_0^2$                     | 1/60                  | 1/60                  | 1/60                  | 1/60                  | 1/60                  |
|                             | $\dot{H}$ (μSv/h)                          | $3.08 \times 10^{-6}$ | $3.08 \times 10^{-6}$ | $1.44 \times 10^{-7}$ | $1.33 \times 10^{-7}$ | $4.08 \times 10^{-7}$ |
| 参考点复合辐射剂量率<br>(1 个 X 射线源)   |                                            | $3.12 \times 10^{-6}$ | $3.12 \times 10^{-6}$ | $1.46 \times 10^{-7}$ | $1.35 \times 10^{-7}$ | $4.12 \times 10^{-7}$ |
| 参考点复合辐射剂量率<br>(2 个 X 射线源叠加) |                                            | $6.24 \times 10^{-6}$ | $6.24 \times 10^{-6}$ | $2.92 \times 10^{-7}$ | $2.70 \times 10^{-7}$ | $8.24 \times 10^{-7}$ |
| 剂量率参考控制水平 (μSv/h)           |                                            | 2.5                   | 2.5                   | 2.5                   | 2.5                   | 2.5                   |
| 评价                          |                                            | 满足                    | 满足                    | 满足                    | 满足                    | 满足                    |

### 11.2.2 职业人员和公众年有效剂量分析

#### (1) 年有效剂量估算公式

个人年有效剂量当量计算模式如下：

$$H_{\gamma}=D_{\gamma}\times T \quad (11-6)$$

式中： $H_{\gamma}$ — $\gamma$  辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

$D_{\gamma}$ — $\gamma$  辐射剂量率，mGy/h；

$T$ —年工作时间，h。

#### (2) 居留因子

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014），不同环境条件下的居留因子见表 11.11。

表 11.11 居留因子选取

| 场所   | 居留因子     | 示例                    |
|------|----------|-----------------------|
| 全居留  | 1        | 控制室、暗室、办公室、邻近建筑物中的驻留区 |
| 部分居留 | 1/2~1/5  | 走廊、休息室、杂物间            |
| 偶然居留 | 1/8~1/40 | 厕所、楼梯、人行道             |

#### (3) 工作时间

根据新能安公司提供资料：本项目配备 10 名具有相关专业技术背景人员，其中 2 人为管理人员（不参与现场操作）、8 人为操作人员。

METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机配备 2 名具有相关专业技术背景人员为操作人员，2 名操作人员均不从事操作其他核与辐射类设备。METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机每天最长曝光时间为 4h，年运行 290 天，则预计设备年曝光时间最长为 1160h，操作人员受照时间最长为 1160h/年。

TSOL-CT225X 型工业 CT 机配备 2 名具有相关专业技术背景人员为操作人员，2 名操作人员均不从事操作其他核与辐射类设备。TSOL-CT225X 型工业 CT 机年检测样品 500 件，单次最大曝光时间为 30min，则预计设备年曝光时间最长为 250h，操作人员受照时间最长为 250h/年。

DBA-CT9300 型工业 CT 机配备 4 名具有相关专业技术背景人员为操作人员，4 名操作人员均不从事操作其他核与辐射类设备。工作时间为 2 班倒/天，每班 10h/天，年工作 330 天。DBA-CT9300 型工业 CT 机配套上下料机器人，可实现连续作业，每天连续曝光 22h，每次可同时检测 4 个样品，每天检测样品 9000 个。操作人员受照时间最

长为 7260h/年。

#### **(4) 职业人员和公众年有效剂量**

##### **a 职业人员**

工业 CT 机工作状态下，对操作人员影响的区域主要在控制台、操作位处，居留因子取 1， $D_{\gamma}$  值取操作台、操作位处剂量率。

##### **b 公众成员**

走廊、仓库、成品暂存区、待处理区公众居留因子取 1/4，厂内道路公众居留因子取 1/8，其他区域公众居留因子取 1， $D_{\gamma}$  值参照对应方向工业 CT 机监督区边界处剂量率。

保守不考虑距离衰减和墙体屏蔽，在工业 CT 机工作区域外 50m 评价范围内，各敏感目标处剂量率参考控制水平如下。

表 11.12 项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机周边人员最大年有效剂量估算表

| 对象     |                                                                           | 方位        | 辐射剂量率<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 年曝光（工作）时间<br>(h/a) | 居留因子 | 附加年有效剂量<br>(mSv/a) | 约束值<br>(mSv/a) |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------|--------------------|------|--------------------|----------------|
| 辐射工作人员 |                                                                           | 工业 CT 机西侧 | 0.16                          | 1160               | 1    | <b>0.19</b>        | 5              |
| 公众人员   | A2 厂房一层干燥房                                                                | 工业 CT 机西侧 | 0.03                          | 1160               | 1    | 0.03               | 0.25           |
|        | 行政办公楼                                                                     | 工业 CT 机西侧 | 0.03                          | 1160               | 1    | 0.03               |                |
|        | A2 厂房一层走廊                                                                 | 工业 CT 机南侧 | 0.11                          | 1160               | 1/4  | 0.03               |                |
|        | A2 厂房一层实验室（扣电实验室、FA 实验室、<br>电解液分析室、物性室、碳硫分析室、热分析<br>室、有机前处理室、无机前处理室、光谱室等） | 工业 CT 机南侧 | 0.11                          | 1160               | 1    | <b>0.13</b>        |                |
|        | A2 厂房一层走廊                                                                 | 工业 CT 机东侧 | 0.28                          | 1160               | 1/4  | 0.08               |                |
|        | A2 厂房外道路                                                                  | 工业 CT 机北侧 | 0.06                          | 1160               | 1/8  | 0.01               |                |
|        | A2 厂房二层叠片制样室                                                              | 工业 CT 机上方 | 0.09                          | 1160               | 1    | 0.10               |                |

表 11.13 项目 TSOL-CT225X 型工业 CT 机周边人员最大年有效剂量估算表

| 对象     |                                                           | 方位         | 辐射剂量率<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 年曝光（工作）时间<br>(h/a) | 居留因子 | 附加年有效剂量<br>(mSv/a) | 约束值<br>(mSv/a) |
|--------|-----------------------------------------------------------|------------|-------------------------------|--------------------|------|--------------------|----------------|
| 辐射工作人员 |                                                           | 工业 CT 机西北侧 | 0.185                         | 250                | 1    | <b>0.05</b>        | 5              |
| 公众人员   | S13 厂房一层仓库                                                | 工业 CT 机北侧  | 0.012                         | 250                | 1/4  | 0.001              | 0.25           |
|        | S13 厂房一层 SORT 区                                           | 工业 CT 机西侧  | 0.020                         | 250                | 1    | 0.005              |                |
|        | S13 厂房一层检验区、测量室、会议室                                       | 工业 CT 机西侧  | 0.020                         | 250                | 1    | 0.005              |                |
|        | S13 厂房一层走廊                                                | 工业 CT 机南侧  | 0.006                         | 250                | 1/4  | 0.0004             |                |
|        | S13 厂房一层实验室（功能试验室、胶<br>带测试室、测试室、功能试验室、离子<br>污染测试室、盐雾实验室等） | 工业 CT 机南侧  | 0.006                         | 250                | 1    | 0.002              |                |
|        | S13 厂房外道路                                                 | 工业 CT 机南侧  | 0.006                         | 250                | 1/8  | 0.0002             |                |
|        | M3 模组厂房                                                   | 工业 CT 机南侧  | 0.006                         | 250                | 1    | 0.002              |                |
|        | S13 厂房一层辅料试验室、环境实验室                                       | 工业 CT 机东侧  | 0.028                         | 250                | 1    | <b>0.007</b>       |                |
|        | S13 厂房二层仓库                                                | 工业 CT 机上方  | 0.003                         | 250                | 1/4  | 0.001              |                |

表 11.14 项目 DBA-CT9300 型工业 CT 机周边人员最大年有效剂量估算表

| 对象       |             | 方位           | 辐射剂量率<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 年曝光（工作）时间<br>(h/a) | 居留因子 | 附加年有效剂量<br>(mSv/a)                      | 约束值<br>(mSv/a) |
|----------|-------------|--------------|-------------------------------|--------------------|------|-----------------------------------------|----------------|
| 辐射工作人员   |             | 工业 CT 机北侧、南侧 | $8.24 \times 10^{-7}$         | 7260               | 1    | <b><math>5.98 \times 10^{-6}</math></b> | 5              |
| 公众<br>人员 | S11 厂房四层仓库  | 工业 CT 机北侧    | $2.92 \times 10^{-7}$         | 7260               | 1    | $2.12 \times 10^{-6}$                   | 0.25           |
|          | S11 厂房外道路   | 工业 CT 机北侧    | $2.92 \times 10^{-7}$         | 7260               | 1/8  | $2.65 \times 10^{-7}$                   |                |
|          | S11 厂房四层仓库  | 工业 CT 机南侧    | $2.70 \times 10^{-7}$         | 7260               | 1    | $1.96 \times 10^{-6}$                   |                |
|          | S11 厂房四层仓库  | 工业 CT 机南侧    | $2.70 \times 10^{-7}$         | 7260               | 1/4  | $4.90 \times 10^{-7}$                   |                |
|          | S11 厂房四层仓库  | 工业 CT 机西侧    | $1.21 \times 10^{-6}$         | 7260               | 1/4  | $2.20 \times 10^{-6}$                   |                |
|          | S11 厂房四层目检区 | 工业 CT 机东侧    | $2.56 \times 10^{-6}$         | 7260               | 1/4  | $4.65 \times 10^{-6}$                   |                |
|          | S11 厂房外道路   | 工业 CT 机东侧    | $2.56 \times 10^{-6}$         | 7260               | 1/8  | $2.32 \times 10^{-6}$                   |                |
|          | S11 厂房三层仓库  | 工业 CT 机下方    | $6.93 \times 10^{-6}$         | 7260               | 1/4  | <b><math>1.26 \times 10^{-5}</math></b> |                |

根据上表计算结果，项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机对操作人员职业照射的最大年有效剂量值为 0.19mSv、TSOL-CT225X 型工业 CT 机为 0.05mSv、DBA-CT9300 型工业 CT 机为  $5.98 \times 10^{-6}$ mSv，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，低于年受照剂量约束值 5mSv；METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机对公众照射的最大年有效剂量值为 0.13mSv、TSOL-CT225X 型工业 CT 机为 0.007mSv、DBA-CT9300 型工业 CT 机为  $1.26 \times 10^{-5}$ mSv，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，低于年受照剂量约束值 0.25mSv。

### 11.2.3 非放射性废气环境影响分析

工业 CT 机在使用过程中，射线与空气作用会产生少量臭氧和氮氧化物。工业 CT 机自带通风设施，采取底部进风，顶部机械排风，在进风和出风口均有铅板防护，气流经导向后才排出，最大程度上避免射线泄漏。

METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机防护厚度为 5mm 铅板+3mm 钢板，排风量为 1800m<sup>3</sup>/h，设备体积约 16.34m<sup>3</sup>，每小时通风换气次数 110 次。TSOL-CT225X 型工业 CT 机防护厚度为 2mm 钢+15mm 铅+2mm 钢，排风量为 108m<sup>3</sup>/h，设备体积约 10.24m<sup>3</sup>，每小时通风换气次数 10 次。DBA-CT9300 型工业 CT 机防护厚度为 2mm 钢+7mm 铅板+2mm 钢，排风量为 980m<sup>3</sup>/h，设备体积约 11.90m<sup>3</sup>，每小时通风换气次数 82 次。3 台工业 CT 机的有效换气次数均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的相关要求（探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。）。

项目采取机械通风的措施后，少量臭氧和氮氧化物可及时排出，扩散至大气环境，对周边大气环境基本没有影响。

## 11.3 事故影响分析

工业 CT 机只有在通电的情况下才有 X 射线发出，断电后无射线。因此只有在工业 CT 机开机透照时，发生设备故障，导致探伤工作人员和周围公众接受意外的 X 射线外照射。及时使用 X 射线剂量率仪检查，切断高压或关闭电源，便可杜绝此类误照的事件发生。

预防措施：

- （1）事先在公司内部通告探伤工作时间和射线的辐射危害性；
- （2）探伤工作前对工作现场进行清场，确保无关人员离开工作现场；

(3) 按照法规规定划定合格的控制区和监督区，并用警戒标志、警戒灯等多种方式进行警戒，避免公众人员误闯；

(4) 开机前对设备各开关按钮、安全联锁、急停按钮、工业 CT 机完好性等进行检查确认，严格按照操作规程进行作业，确保安全。

应对措施：

(1) 当发现人员误闯工作现场，操作人员立即按下“紧急停止”按钮，并迅速对射线机进行断电操作：

(2) 立即将受照射人员送到当地有资质的医院进行检查治疗；

(3) 立即启动“辐射事故应急预案”，通知本公司的安全管理人员，必要时上报当地生态环境部门、公安部门和卫生健康部门。

## **11.4 达到报废年限后对环境的影响**

工业 CT 机在达到报废年限后，应当委托有资质的单位对工业 CT 机内部的 X 光管进行拆除并处理。拆除 X 光管的工业 CT 机在任何情况下均不会再产生 X 射线，由公司按照企业一般设备报废的相关规定进行处置。

**表 12 辐射安全管理**

## 12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

厦门新能安科技有限公司已成立辐射安全与防护管理机构——辐射安全与防护工作领导小组（附件 3），具体见表 12.1。

**表 12.1 辐射安全管理领导小组**

| 成员  | 姓名  | 职务     | 职称    | 学历    | 负责范围                                   | 备注 |
|-----|-----|--------|-------|-------|----------------------------------------|----|
| 组长  | 李海  | SD 经理  | 中级工程师 | 本科    | 统筹管理、负责人                               | 专职 |
| 副组长 | 严伟达 | 环保资深主管 | 中级工程师 | 硕士研究生 | 辐射制度的制修订、质检管理、安全管理、工业辐照加速器操作和管理，制定应急计划 | 专职 |
| 组员  | 陈绍敏 | 环保工程师  | 中级工程师 | 本科    | 日常辐射管理                                 | 专职 |
| 组员  | 刘阳  | 环保工程师  | 工程师   | 硕士研究生 | 后勤保障工作                                 | 专职 |
| 组员  | 谢勇彬 | 环保技术员  | /     | 本科    | 辐射应急监测、物资管理等                           | 专职 |

领导小组职责：

（一）组长职责：领导整个应急工作，协调各部门的工作，为应急工作提供资金保障。并向当地生态环境部门、公安部门和卫生健康部门等主管部门报告。

（二）副组长职责：配合组长工作，当组长不在时，行使组长权利。

（三）救护职责：当事故发生后，迅速与医疗救护单位联系，配合协助其工作。

（四）物质供应职责：为事故的救助提供必要的物质保障。

## 12.2 辐射安全管理规章制度

### 12.2.1 辐射安全管理制度

厦门新能安科技有限公司已制定《放射源设备及 X 射线装置安全操作规程》《辐射安全保卫制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射安全与环境保护管理人员职责》《辐射源设备及射线装置检修维护制度》《辐射个人剂量和健康管理制度》《安全培训制度》《辐射监测方案》《设备台账制度》《设备使用登记制度》《监测仪器使用与检验刻度管理制度》等规章制度（附件 5），本项目除了具有防止误照射和误操作的设施外，工业 CT 机由专人负责管理，定期进行安全检查和记录。

厦门新能安科技有限公司制定各项规章制度符合《放射性同位素与射线装置安全

许可管理办法》第十六条第六款的要求，具有可行性。

本项目沿用上述现有各项规章制度，厦门新能安科技有限公司应严格执行，责任到人，将事故和危害降到最低限度。

### 12.2.2 人员培训

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）的相关规定，公司从事辐射工作人员需要全部参加辐射安全培训并取得合格证书。

厦门新能安科技有限公司拟为本项目配备 2 名管理人员和 8 名操作人员；其中 2 名管理人员和 2 名操作人员为现有人员，已取得辐射安全与防护培训合格证书；要求另新增 6 名人员均需取得辐射安全与防护培训合格证书，并承诺每 5 年接受再培训。

### 12.2.3 健康管理

按照国家关于健康管理的规定，厦门新能安科技有限公司拟为本项目工作人员配备个人剂量计；对新上岗工作人员，做好上岗前的健康体检，合格者才能上岗；同时，拟为辐射工作人员终生保存个人剂量监测档案和职业健康监护档案；在本公司从事过辐射工作的人员在离开该工作岗位时也将进行健康体检。

## 12.3 辐射监测

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）等的要求，公司针对本项目制定相应的辐射监测计划，包括：

- （1）辐射工作人员配备个人剂量计，并定期（每季度 1 次）送检；
- （2）每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境监测，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；
- （3）配置 X- $\gamma$  剂量率测量仪，自行定期对射线装置周围环境进行监测，发现问题及时整改，所有监测记录均存档备查。

项目监测计划表见表 12.2。

**表 12.2 项目辐射监测计划一览表**

| 监测对象         | 监测方案                                    | 监测因子    | 监测时间/频次                               |
|--------------|-----------------------------------------|---------|---------------------------------------|
| 工业 CT 机      | 检查安全联锁                                  | 安全      | 每次使用前                                 |
|              | 工业 CT 机自屏蔽外壳外 30cm 处、控制台、操作位、设备四周环境敏感目标 | 周围剂量当量率 | 自行监测：每季度 1 次，<br>委托监测：每年 1 次委托有资质单位监测 |
| 项目竣工环境保护验收监测 |                                         |         | 项目建成后 3 个月内                           |
| 辐射工作人员       | 佩戴个人辐射剂量计                               | 年有效剂量   | 每季度送检 1 次                             |

## 12.4 辐射事故应急

厦门新能安科技有限公司按照国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和环境保护主管部门的要求已制定《辐射事故应急预案》，方案包括如下内容：

- （一）应急机构和职责分工；
- （二）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；
- （三）辐射事故分级与应急响应措施；
- （四）辐射事故调查、报告和处理程序。

发生辐射事故时，公司应当立即启动应急方案，采取应急措施，并立即向当地生态环境部门、公安部门和卫生健康部门等相关部门报告。

**表 12.3 厂区辐射应急领导小组成员一览表**

| 机构组成  |     | 姓名 | 职务/部门      | 联系方式 |
|-------|-----|----|------------|------|
| 应急办公室 | 总指挥 | ** | 法人代表       | **   |
| 现场指挥组 | 组长  | ** | SD 经理      | **   |
| 医疗组   | 组长  | ** | ES 经理      | **   |
| 现场应急组 | 组长  | ** | XTW-PRD 经理 | **   |
| 现场监测组 | 组长  | ** | SD 资深工程师   | **   |

## 12.5 建设项目竣工环境保护验收一览表

建设项目竣工环境保护验收一览表见表 12.4。

表 12.4 建设项目竣工环境保护验收项目一览表

| 编号 | 验收项目   | 验收内容                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 验收标准及要求                                                           |
|----|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1  | 辐射防护措施 | <p>1、METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机<br/>工业 CT 机自带铅屏蔽体,设备前侧、后侧、左侧、底部: 5mm 铅+3mm 钢,设备前侧防护门、顶部: 3mm 钢+5mm 铅+3mm 钢,设备右侧(主射方向): 12mm 铅+3mm 钢,出风口: 5mm 铅+3mm 钢。</p> <p>2、TSOL-CT225X 型工业 CT 机<br/>工业 CT 机自带铅屏蔽体,设备前侧、前侧防护门、后侧、左侧、底部、顶部: 2mm 钢+10mm 铅+2mm 钢,设备右侧: 2mm 钢+15mm 铅+2mm 钢,设备前侧观察窗: 50mm 铅玻璃(<math>\geq 10\text{mmPb}</math>) 线缆穿孔: 2mm 钢+15mm 铅+2mm 钢,出风口: 2mm 钢+15mm 铅+2mm 钢。</p> <p>3、DBA-CT9300 型工业 CT 机<br/>工业 CT 机自带铅屏蔽体,设备前侧、前侧防护门、后侧、左侧、右侧、底部、顶部: 2mm 钢+10mm 铅板+2mm 钢,设备前侧观察窗: 25mm 铅玻璃(10mmPb),出风口: 2mm 钢+7mm 铅板+2mm 钢。</p> <p>设置门机联锁、急停按钮、工作指示灯、视频监控、电离辐射警告标志、警示灯、警戒线、警告牌装置。</p> <p>配备固定式场所辐射探测报警装置、便携式 X-<math>\gamma</math> 剂量率仪、个人剂量计、个人剂量报警仪。</p> | 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)相关规定。 |
| 2  | 管理制度   | <p>成立辐射防护安全管理机构。</p> <p>建立健全相应放射安全防护规章制度,各项规章制度应张贴上墙,严格执行。</p> <p>如有辐射事故的发生,严格按照《辐射事故应急预案》中规定采取应急措施,及时向生态环境部门报告,并向公安部门和卫生健康部门上报。</p> <p>辐射工作人员必须佩戴个人剂量计,包括仪器购买及维修、维护费用和单位项目预留防护资金,建立个人剂量档案和职业健康监护档案并长期保存。</p> <p>个人剂量计检测(3 个月 1 次)和健康体检(2 年 1 次)。</p> <p>安排人员参加辐射安全与防护培训,并取得合格证书。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关规定。                                      |
| 3  | 环境监测   | <p>项目建成后委托有资质的技术服务机构进行验收检测;投入使用后每年至少进行 1 次常规检测。</p> <p>辐射工作人员必须佩戴个人剂量计,建立个人剂量档案和职业健康监护档案并长期保存。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)相关规定                            |

表 13 结论与建议

## 13.1 结论

### 13.1.1 项目概况

厦门新能安科技有限公司位于厦门火炬高新区同翔高新城洪塘路 600 号，拟将现有位于 S8 厂房一层的 1 台 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机搬迁至 A2 厂房一层，同时 S13 厂房一层引进 1 台 TSOL-CT225X 型工业 CT 机、S11 厂房四层引进 1 台 DBA-CT9300 型工业 CT 机，以上 3 台工业 CT 机均自带屏蔽体，属于 II 类射线装置，用于电池的内部缺陷检测。

### 13.1.2 辐射安全与防护分析结论

厦门新能安科技有限公司已成立辐射安全管理机构，制定了完善的规章制度和辐射事故应急预案，拟为辐射工作人员配备个人剂量计和个人剂量报警仪。项目工业 CT 机均自带屏蔽体，同时设置门机联锁、急停按钮、工作指示灯、视频监控、电离辐射警告标志、警示灯、警戒线、警告牌装置，且经评价分析，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)相关规定，项目运行对周边辐射环境影响较小。

### 13.1.3 环境影响分析结论

根据估算结果，METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机主体外 30cm 处空气比释动能率最大为  $1.53\mu\text{Sv/h}$ 、TSOL-CT225X 型工业 CT 机主体外 30cm 处空气比释动能率最大为  $0.185\mu\text{Sv/h}$ 、DBA-CT9300 型工业 CT 机主体外 30cm 处空气比释动能率最大为  $9.24\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ ，均满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)中“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

根据剂量估算结果，项目 METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机对操作人员职业照射的最大年有效剂量值为  $0.19\text{mSv}$ 、TSOL-CT225X 型工业 CT 机为  $0.05\text{mSv}$ 、DBA-CT9300 型工业 CT 机为  $5.98\times 10^{-6}\text{mSv}$ ，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求，低于年受照剂量约束值  $5\text{mSv}$ ；METROTOM 1500 225kV G3 型工业 CT 机对公众照射的最大年有效剂量值为  $0.13\text{mSv}$ 、TSOL-CT225X 型工业 CT 机为  $0.007\text{mSv}$ 、DBA-CT9300 型工业 CT 机为  $1.26\times 10^{-5}\text{mSv}$ ，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求，低于年受照剂量约束值  $0.25\text{mSv}$ 。

#### 13.1.4 可行性分析结论

项目使用 3 台工业 CT 机用于电池的内部缺陷检测，不属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中的“限制类”和“淘汰类”，项目建设符合国家现行产业政策。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补可能引起的辐射危害时，该实践是正当的。满足企业的发展需求，提高产品质量，具有良好的社会效益和经济效益。根据报告分析，项目经辐射防护和安全管理后，可保证项目辐射环境剂量率和人员辐射剂量满足项目管理目标要求。项目对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，因此本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

综上所述，厦门新能安科技有限公司 3 台工业 CT 机项目只要严格按照国家有关辐射防护规定执行，采取切实措施做好辐射防护管理工作，保障人员安全，并落实本报告表提出的辐射防护措施，该项目运行时对周围环境产生的影响符合辐射环境保护要求。因此，从辐射环境保护角度论证，厦门新能安科技有限公司 3 台工业 CT 机项目是可行。

#### 13.2 建议

（1）公司若未来如需增加本报告表所涉及之外的污染源和射线装置或对其能进行调整变动，则应按要求向生态环境主管部门进行申报，并按污标采取相应的污染治理措施，主动接受生态环境主管部门的监督管理。

（2）本项目环评批复后，建设单位应及时向生态环境主管部门办理辐射安全许可证变更手续，并及时开展竣工环保验收工作。

表 14 审批

|              |              |
|--------------|--------------|
| 下一级环保部门预审意见： |              |
| 经办人          | 公 章<br>年 月 日 |
| 审批意见：        |              |
| 经办人          | 公 章<br>年 月 日 |