

T/NDAS

宁德市标准化协会团体标准

T/NDAS XXXX—XXXX

选矿车间 AI 无人机室内巡检技术规范

Technical specification for AI-powered drone indoor inspection in mineral processing plants

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

宁德市标准化协会 发布



目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	1
5 人员要求	1
6 设备要求	2
6.1 AI 无人机巡检系统构成	2
6.2 AI 无人机系统	2
6.3 无人机固定式换电机场	3
6.4 AI 智能分析及无人机联动设备	4
6.5 无人机智能管控系统服务器及 AI 智能分析服务器	5
6.6 自动飞行管理软件	5
6.7 无人机集群化开发架构应用平台	5
7 巡检工作内容	5
7.1 组成	5
7.2 静态巡检	6
7.3 动态巡检	6
8 功能要求	7
8.1 应急响应能力	7
8.2 多样化的智能检测能力	7
8.3 巡检报告的生成与导出	7
8.4 与钉钉等办公平台的智能化对接	8
8.5 AI 巡检目标发现	8
8.6 数据成果	8
9 数据整理与移交	8



前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东黄金矿业（莱州）有限公司三山岛金矿提出。

本文件由宁德市标准化协会归口。

本文件起草单位：山东黄金矿业（莱州）有限公司三山岛金矿、山东艾特智能技术有限公司。

本文件主要起草人：潘伟、曲伟霞、郑飞、陈珊珊、崔恒嘉、沈科伽、赵威、徐婧、刘轶群、张振、张广平。



选矿车间 AI 无人机室内巡检技术规范

1 范围

本文件规定了选矿车间AI无人机室内巡检的总体要求、人员要求、设备要求、巡检工作内容、功能要求、数据整理与移交等。

本文件适用于选矿车间AI无人机的室内巡检作业。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 33176 国家基本比例尺地图 1:500 1:1 000 1:2 000地形图

GB/T 38924.6 民用轻小型无人机系统环境试验方法 第6部分：振动试验

GB/T 39610 倾斜数字航空摄影技术规程

CH/T 3012 数字表面模型 航空摄影测量生产技术规程

CH/T 9008.3 基础地理信息数字成果 1:500 1:1000 1:2000 数字正射影像图

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

AI 无人机 AI-powered drone

指搭载人工智能（AI）系统的无人机，能够自主感知环境、决策、学习并执行复杂任务，减少或无需人工干预。

3.2

室内巡检 indoor inspection

指利用自主或半自主设备（如无人机、机器人、固定传感器等）在建筑内部进行环境监测、设备检查或安全隐患排查的过程，通常结合AI、计算机视觉（CV）和物联网（IoT）技术实现智能化作业。

4 总体要求

4.1 选矿车间 AI 无人机室内巡检作业应通过无人机自动飞行结合静态监控摄像及视频分析技术，实现对选矿车间相关线路、管道等设施的巡检工作，实现车间巡检工作的无人化、智慧化、自动化、流程化巡检等目标。

4.2 应依据选矿车间规模、布局、相关线路、管道等特点，合理部署固定摄像头，合理规划无人机巡检路线及频率。

4.3 巡检、数据分析过程中，发现重大问题应及时上报。

5 人员要求

5.1 工作人员应熟悉 AI 无人机系统操作、室内巡检作业方法和技术手段，通过相应机型操作培训，符合中国民用航空局对无人机驾驶员资质要求，并持对应机型无人机执照上岗。

5.2 工作人员应包括工作负责人和机组成员，作业分工应满足下列要求：

- 工作负责人应负责安全有序地组织开展无人机巡视工作，全面管理机组生产运行；
- 应配备至少 1 名负责航线规划、无人机操控、飞行参数监视、无人机应急等工作的机组成员；
- 应配备至少 1 名负责综合管控中心监控的机组成员；
- 无人机设备组装、撤收、数据处理等工作应由机组成员分工协调完成。



- 5.3 工作人员应身体健康，精神状态良好。
- 5.4 工作人员应进行安全、技术交底，熟悉工作内容、方法、流程及安全要求。

6 设备要求

6.1 AI 无人机巡检系统构成

AI无人机巡检系统应由AI无人机系统、无人机固定式换电机场、AI智能分析及无人机联动设备、无人机智能管控系统服务器及AI智能分析服务器、自动飞行管理软件、无人机集群化开发架构应用平台等构成。

6.2 AI 无人机系统

6.2.1 组成

AI无人机系统应由室内无人机综合调度管控平台前台、后台服务端、无人机控制软件组成。

6.2.2 室内无人机综合调度管控平台前台

6.2.2.1 一般要求

室内无人机综合调度管控平台前台内容应包括：

- a) 无人机信息、机库信息、巡检信息、现场监控系统；
- b) 告警信息、派单流程闭环图、任务提醒；
- c) 设备、管道、温度等巡检信息；
- d) 无人机正射影像、点云数据、热红外数据后处理结果展示，巡检报告展示，飞行现场实时直播。

6.2.2.2 前端

应根据无人机飞行数据在网页端展示无人机飞行路线，包含任务单的派发、任务流程、调度、巡检计划、巡检成果、日常联合调度、实时视频直播等。

6.2.2.3 地图引擎及地图发布服务

6.2.2.3.1 应将地图嵌入到网页里，实现内网主机上发布自主地图服务。

6.2.2.3.2 应能在地图上查看后端处理后的导入的数据、处理后的数据，对比变化的数据以及分析报告，并直接通过地图进行展示。

6.2.2.4 数据展示

应包含后端生成的图层文件、地图上展示结果数据及对应坐标，利用L1惯导实现绝对的坐标，利用地图引擎，对系统所采集的制图成果进行展示，包含DOM正射影像、DSM数字表面模型、激光点云、三维模型、分析结果图层等数据，并且能对预处理后的制图图层进行位置信息表达，提供量测、定位等工具。

6.2.2.5 无人机巡航

无人机根据具体坐标实现自动寻迹、自动规划路线和巡航，无人机飞行实施应符合GB/T 39610中航拍实施的相关要求。

6.2.2.6 排单及流程管理

应能实现系统内的部门管理、智能任务流程派单、首页待办任务提醒、钉钉预警信息提醒等内容。

6.2.2.7 其他要求

6.2.2.7.1 应能通过排单流程管控形成的文档与报表及报告单形成闭环。

6.2.2.7.2 分析判断结果能通过集群化架构平台进行分发。

6.2.2.7.3 应具备扩展性，可通过对外API接入安防报警系统、外部服务平台、钉钉。



6.2.3 后台服务端

6.2.3.1 地图服务

应能进行点云处理与地图内容的细化处理。

6.2.3.2 AI 分析

应能直接通过WEB端对所要分析的目标范围区域进行设定，实现更加精准的智能判断和流程调度。

6.2.3.3 数据预处理

6.2.3.3.1 后处理的数据 AI 模型，可用于选矿车间相关设备等变化监测，对浮选柱、管道等设备周围环境变化及时预警，降低事故风险。

6.2.3.3.2 应能实现运行数据、分析巡检数据、进行 AI 分析等后处理数据一系列操作。

6.2.3.4 重点监测

应能根据要求，针对球磨机等关键设备，设计专项巡检任务，重点监测电机温度、铜体衬板温度等关键参数，结合AI分析判断衬板磨损情况，为设备维护提供科学依据。

6.2.3.5 平台接入

其他各个飞行和监控平台的接入集群化架构平台，应能实现相关的数据操作、界面样式统一、操作无延时，结合相关的数据进行流程调度和人工操作。

6.2.4 无人机控制软件

6.2.4.1 无人机地面控制站

应由无人机、机场、5G的控制部分、无人机的地面控制系统构成。

无人机地面控制站要求包括：

- a) 应能实现机场、无人机、传感器、摄像头、无人机 5G 的数据互传；
- b) 通过内网部署的无人机的私有化部署，实现无人机控制；
- c) 实现实时巡检直播、飞行详情、飞行统计、人员管理、设备管理、航线模板、区域规划和个人中心等功能；
- d) 实现航线发布、航线规划、航线坐标、远程控制回传操控、网页上无人机直播、回放等功能。

6.2.4.2 自动充电

应实现自动充电的全自动作业方式，并配套深入行业的自动飞行算法和自动识别系统。

6.2.4.3 预设巡航

应能预先设定巡航轨迹，一键启动，无人机即可按照设定轨迹全自动巡检。

6.2.4.4 介入模式

工作人员应能通过实时查看巡查画面，可随时介入手动操作变焦航拍系统；无人机将要起飞时，钉钉发送消息提示相关人员，形成互动模式，实现足不出户即可快速巡查。

6.3 无人机固定式换电机场

6.3.1 组成

应由停机坪、机库本体、归中推杆、出风口等部件组成。

6.3.2 参数要求

无人机固定式换电机场参数要求见表1。



表 1 参数要求

项目名称	参数
外形尺寸, mm	850x850x700
重量, kg	120
空调功率, W	300
待机功率, W	50
最大功率, W	1 000
输入电压, V	220~240
温控方式	采用工业恒温空调, 自带 UPS 电源
输入电压, V	145~290
输出市电模式, V	200~250
应急使用时间, min	30
作业方式	自动充电
使用环境温度, °C	-20~50
供电方式, V/ A	220/10
防护等级	IP54

6.3.3 自动升降平台

- 6.3.3.1 承载能力设计承重应不小于 5 kg。
- 6.3.3.2 运行精度应采用高精度伺服电机和编码器, 升降精度为±1 mm。
- 6.3.3.3 应配备防坠落装置、过载保护和紧急停止按钮。
- 6.3.3.4 应采用高强度铝合金和不锈钢材料制成。

6.3.4 自动充电系统

应支持触点式快速充电和智能涓流充电, 内置电池管理系统 (BMS) 实时监控电池状态, 以防止过充、过放等安全问题, 同时具备短路保护、过温保护和防雷击设计。

6.3.5 智能计算系统

应采用高性能低功耗的嵌入式 ARM Cortex-A 处理器, 基于 Linux 或 RTOS 定制开发操作系统, 集成路径规划、自主避障、故障诊断等智能算法, 提升无人机作业效率和安全性。

6.3.6 图传和处理系统

应配备高分辨率 CMOS 或 CCD 图像传感器, 采用 H.265 或更高效率的视频编码技术, 延时小于 1.0 s。

6.4 AI 智能分析及无人机联动设备

6.4.1 AI 分析系统

- 6.4.1.1 应完成 AI 智能分析与管控平台的数据联动、AI 识别算法与无人机管控系统的数据联动。
- 6.4.1.2 数据分析应不低于 20 fps, 剪枝数据模型大小应不高于 100 M, 识别准确率不低于 0.96, 召回率不低于 0.9。

6.4.2 AI 机载模块

AI 机载模块要求应包括:

- a) 在与自动机库配合使用时, 应具备图像识别的降落功能, 在室内机场上降落偏差度不超过 20 cm; 重量不大于 220 g;
- b) 安装机载模块后, 无人机应能自主识别受限区域和障碍目标, 灵活调整飞行轨迹并贴合完成航线飞行;
- c) AI 算力不低于 21 TOPs, 视频编码能力不低于 2×4k @30 (HEVC), 视频解码能力不低于 2×4k @60 (HEVC), 内存不低于 16 GB 128 位元 LPDDR4, 内存速度不低于 72.3 GB/s, eMMC 存储容量不低于 256 GB;
- d) 无人机图像、视频数据应能通过机载大脑 Wifi 传输至控制中心, 传输速率不低于 30 MB/s;
- e) 应能搭载 5G 模块, 5G 通信 1080P 视频传输延迟不大于 180 ms, 5G 控制延迟不大于 120 ms;



- f) 遥控器信号失联时，应能继续自主作业和自主返航，测试遥控器信号失联时间应大于 15 min；
- g) 机场应具备电磁兼容检测报告，且报告具备 CNAS 和 CMA 盖章；
- h) AI 机载模块应满足 GB/T 38924.6-2021 的要求，并通过随机振动测试和正弦振动测试。

6.5 无人机智能管控系统服务器及 AI 智能分析服务器

6.5.1 无人机智能管控系统服务器配置

应包括 Intel E5-2680v4 服务器、16G 内存、2T 硬盘、256G 固态硬盘、4090 显卡等。

6.5.2 人工智能视觉服务器配置

应包括边缘计算服务×4，32G 内存，512SSD 固态硬盘×3，Ubuntu18.04 等。

6.6 自动飞行管理软件

自动飞行管理软件要求包括：

- a) 可新建、修改或预约机场/无人机作业任务，定时进行无人机飞行作业，无人机自动开机起飞，按既定航线飞行，拍摄图像或视频；
- b) 视频回传：无人机自主飞行过程中，实时显示无人机视频画面，支持可见光、红外光、画中画切换，在室内复杂环境下确保可见光、红外光等功能的有效应用；
- c) 数据自动下载：飞行任务完成后，无人机所拍摄数据自动下载至服务器，具备照片和视频查看功能；
- d) 无人机远程控制：操控人员可以远程对无人机和云台进行操纵，支持自动飞行和手动控制；
- e) 无人机飞行日志管理：应支持对无人机每次飞行任务的日志进行自动保存和下载；
- f) 自动机场运行日志管理：应支持对自动机场执行任务的日志进行自动保存和下载；
- g) API 接口：管控平台 API 控制接口开放，并提供相应 API 接口文件，可实现后端控制中心的任务对接和状态监控；
- h) 系统应能远程实时检测机场各部件健康状态，机库状态实时显示；
- i) 应具备私有化离线地图部署功能，可选择三种以上地图，可叠加自定义地图；
- j) 系统应与钉钉平台进行数据打通，可根据 AI 智能分析结果进行钉钉任务下发、审核及数据同步；
- k) 派单任务或报警信息应在地图画面显示并定位，页面应设定导航按钮，可实现从本地到目的地的地图导航；
- l) 应制作钉钉小程序，以钉钉小程序形式进行功能呈现。

6.7 无人机集群化开发架构应用平台

无人机集群化开发架构应用平台要求包括：

- a) 应将室内、室外无人机、摄像头检测等多平台系统融合接入到集成化架构系统中统一操作部署，如《基于 5G+Cloud+AI 的矿山智能应用_5G+AI 智联空地协同无人机应用》，增加对其他检测各系统的集成及强兼容性、对后期新增项目的可扩展性与扩容性，实现数据无缝集成与一致性；
- b) 系统应具备兼容现有及未来新增检测系统的能力，扩展性强；
- c) 操作界面动态美观，用户交互友好，权限管理精细；
- d) 接口布局应强调集群优势，确保操作流畅无延时；
- e) 集成无人机一体化管理模块，应支持 3D-SLAM 航线规划、机器视觉识别与 AI 视觉处理；
- f) 应进行系统私有化部署，通过 5G+有线与机场数据对接，实现远程智能化自动巡检与数据联动分析。

7 巡检工作内容

7.1 组成

应由静态巡检、动态巡检构成。



7.2 静态巡检

应在选矿车间一楼固定摄像头检测，内容包括：

- a) 通过接入摄像头，准确读取其视频和图片；
- b) 将数据传入检测平台进行 AI 检测；
- c) 实现对相关设备和环境的温度变化趋势分析，精准捕捉温度变化情况，以及安全问题报警，及时发现并警示安全隐患；
- d) 确保检测的准确性，为后续决策提供可靠依据；
- e) 能与整体巡检系统集成，实现集群化平台的完全数据和操作介入，实现数据统一处理与协同工作；
- f) 确认管道槽体跑冒滴漏；
- g) 检测浮选柱等设备的落槽情况；
- h) 对设备本体进行全面检测；
- i) 检测表计设备运行状态：
 - 1) 红灯表示正常；
 - 2) 绿灯表示停止；
 - 3) 提示报警信息至钉钉。

7.3 动态巡检

7.3.1 选矿车间其他楼层检测

对选矿车间进行全方位拍照与视频录制，获取详细影像资料，实现2D和3D建模，实时展示巡检路线及航点信息，确保车间区域无遗漏。

7.3.2 设备状态监测

设备状态监测内容包括：

- a) 管道、槽体方面，应确认跑冒滴漏情况；
- b) 电机、管路、槽体温度检测，利用红外温度传感器监测并分析温度变化趋势，设定预警值，异常时推送信息至钉钉并附图片；
- c) 针对球磨机，精确检测电机及铜体衬板温度，AI 分析衬板磨损情况；
- d) 全面检测设备本体有无异常现象，比如漏电、起火等发生，确保设备运行正常；
- e) 表计设备监测其运行状态，红灯正常、绿灯停止，异常时及时推送报警信息至钉钉。

7.3.3 特殊巡检项

特殊巡检项内容包括：

- a) 重点检测管道关键节点：
 - 1) 管道是否存在泄漏等安全问题；
 - 2) 是否有老化断裂的风险；
 - 3) 是否存在部分温度过高问题；
 - 4) 是否存在跑液、滴液的情况。
- b) 检查浮选柱等设备落槽情况：
 - 1) 浮选柱是否存在安全问题；
 - 2) 是否存在零件老化或者脱落的问题。

7.3.4 安全预警检测

7.3.4.1 应包括管道、槽体、电机、球磨机等设备，对其运行状态、温度变化、潜在故障及安全隐患等进行实时监测。



7.3.4.2 应能通过先进的传感器技术，如红外温度传感器、高清摄像头等，结合 AI 智能分析与无人机巡检，及时准确地获取数据并进行分析判断，在异常情况发生的第一时间发出预警信息至钉钉平台，通知相关人员迅速采取措施。

7.3.5 集群化架构系统开发要求

集群化架构系统开发要求包括：

- a) 制作动态效果界面；
- b) 美观度和用户交互；
- c) 赋予不同权限；
- d) 完善任务派单功能；
- e) 温度显示统计界面：
 - 1) 叠加颜色和指示图层；
 - 2) 展现温度区域区别。

7.3.6 智能化、无人化、全自动化要求

7.3.6.1 系统建设应实现无人化、智能化、全自动化的要求，替代并加强人工巡检的所有事项和人工巡检的不可抵达或不易发现的地方。

7.3.6.2 无人机在巡视过程中发现问题时，自动派发钉钉工单，下达维修防护等流程，并将流程执行结果同步到集群化架构系统中的无人机综合管控模块。通过激光测距功能可直接输出点位坐标，实现精准定位，为工作人员快速到达现场提供导航，为事故及时处理提供重要的位置依据。

7.3.7 AI 分析与钉钉智能一体化

AI分析与钉钉智能一体化内容包括：

- a) 实现一体化工作流程；
- b) 提高响应速度和效率；
- c) 优化巡检流程和决策支持。

8 功能要求

8.1 应急响应能力

8.1.1 应能利用现有选矿车间的摄像头 24 h 实时监控覆盖范围内的异常情况，对设备运转状态、安全问题等情况进行智能识别，当发现异常时，可根据异常情况特征与无人机综合管控平台联动，并下达无人机所要巡视的地点位置，由集群化架构平台的无人机综合管控模块自动生成巡视路线，无人机在得到指令后第一时间进行起飞巡视，并将巡视视频实时传递到直播服务平台供综合管控中心的管理人员查看。

8.1.2 应能实现对突发事故现场的远近距离视频直播实时查看，通过正摄、红外等多组镜头实现全天 24 h 的备航巡查需求，实现无人值守、24 h 备航备飞，常态化应急化稳定飞行。

8.1.3 应能满足检测 and 安全生产的需求及调度中心每日固定或指定位置巡检等。

8.2 多样化的智能检测能力

8.2.1 前期采集大量数据训练多组神经网络模型结合传统的计算机视觉和遥感分析手段，通过直播与采集数据分析，利用周期获取的覆盖同一位置的多类型数据及温度信息来确定和分析设备状态，温度变化、安全问题发生的可能性，并信息的空间分布及其变化的定性与定量信息。

8.2.2 结合三维激光、摄影测量等多种技术，获取检测区域的多源数据，经过半自动预处理流程获取区域的制图成果（正射或者模型）。根据应用场景将数据分析划分为自动与半自动对比分析流程，分别实现特定对象的自动提取和影像分割，并根据分割影像的多时相半自动对比分析，处理过程中生成数据报表与报告。

8.3 巡检报告的生成与导出

应能通过集群化架构平台的数据后分析处理，生成巡检报告，包括表计数据、温度变化趋势、相关设备运转状态等。



8.4 与钉钉等办公平台的智能化对接

应能实现部门管理、智能任务流程派单、首页待办任务提醒、钉钉预警信息提醒等智能化对接相融合的功能。

8.5 AI 巡检目标发现

应具备对视频中的目标进行检测、跟踪、信息分析，提取出视频中包含目标物体的图像之后对提取出的关键帧进行基于深度学习的图像智能分析的能力。

8.6 数据成果

8.6.1 宜通过相关软件生成监测区域数字成果，数字成果要求包括：

- a) 监测区域数字正射影像图的生产应符合 CH/T 9008.3 的相关规定；
- b) 监测区域数字表面模型的生产应符合 CH/T 3012 的相关规定；
- c) 监测区域数字线划图的生产应符合 GB/T 33176 的相关规定。

8.6.2 巡视数据成果宜包含双光视频、隐患照片。

8.6.3 工作人员应实时操控任务载荷设备完成巡视视频录制，并完成对应视频与照片拍摄，格式宜采用视频 MP4 和照片 JPG 等常规格式。

9 数据整理与移交

9.1 巡视作业完成后，工作人员应对飞行过程中拍摄的隐患照片及录像进行记录、校对、备份、汇总、分析等整理。

9.2 任务结束时，应将监控反馈信息、监控视频与照片、红外视频等数据成果移交维修部门。

9.3 工作人员应建立起降点和航线台账库，对已复飞验证过的巡视作业航线应及时存储，对不符合作业要求的航线应重新设计。

9.4 巡视成果数据应选择可靠的存储介质，宜具备冗余备份存储策略。

9.5 巡视成果数据移交应明确移交人及数据接收方，移交数据宜附数据清单，内容应包括移交数据容量、数据类型、巡视成果清单、移交人、数据接收方、移交时间。

9.6 巡视数据中涉及国家秘密和企业秘密的信息严禁在互联网及连接互联网的计算机中传输、处理和存储。未涉及国家和企业秘密的数据信息传输应采用加密措施，宜通过具备信息安全保护措施的信息内网或加密存储介质传输。

9.7 巡视原始数据应至少保存 2 年。

