

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—XXXX

基于自动驾驶技术的无人渣缓冷场建设指南

Guidelines for the construction of unmanned slag slow cooling sites based on automated driving technology

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国西部开发促进会 发布

目 次

前言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 建设原则	4
5 系统架构与基础设施要求	4
6 核心系统功能要求	5
7 运营、维护与持续改进	6
8 安全保障体系	6

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。

本文件由中国西部开发促进会标准与认证工作委员会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件首次发布。

基于自动驾驶技术的无人渣缓冷场建设指南

1 范围

本文件规定了基于自动驾驶技术的无人渣缓冷场（以下简称“无人渣缓冷场”）的建设原则、系统架构、基础设施要求、核心系统功能、运营维护及安全保障。

本文件适用于指导有色金属冶炼行业，特别是铜冶炼企业，进行渣缓冷场的无人化、智能化改造与新建项目。其他具有类似高温物料转运与处理需求的工业场景亦可参照执行。

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 28526 机械电气安全 安全相关电气、电子和可编程电子控制系统的功能安全

GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 16855.1 机械安全 安全控制系统 第1部分：设计通则

ISO 13849-1 机械安全 - 控制系统中与安全相关的部件 - 第 1 部分：设计通用原则 (Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design)

IEC 61508 电器用开关——第 1 部分：一般要求 (Switches for appliances - Part 1: General requirements (IEC 61058-1:2016); German version EN IEC 61058-1:2018)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人渣缓冷场 unmanned slag slow cooling yard

应用包括但不限于：自动驾驶、物联网、5G通信、无线Wifi、高精度定位及智能调度等技术，实现渣包转运、放置、缓冷（即渣包在指定区域自然冷却或喷淋冷却至规定温度的过程）、测温（即对渣包温度进行实时监测与数据采集，确保冷却工艺安全可控）及倒渣等全流程无人化作业的智能化生产区域。

3.2

渣包车 slag pot carrier

经过智能化装配（指在原有人工驾驶渣包车基础上，加装自动驾驶控制系统、环境感知系统、定位通信系统及安全冗余系统，使其具备无人驾驶和远程控制能力），具备自动驾驶功能，用于承载和转运高温熔融渣包的专用车辆。

3.3

高精度地图 high-precision maps

专门为自动驾驶车辆创建的、包含厘米级精度道路信息及关键设施位置信息的数字化地图，是车辆定位与路径规划的基础。

3.4

智能调度系统 intelligent dispatch system

负责对渣包搬运任务进行解析、分配、优化，并对多台渣包车进行协同管理、交通管制和路径规划的软件系统。

3.5

组合定位方案 combination positioning solution

综合采用全球导航卫星系统-实时动态差分（GNSS-RTK）、惯性测量单元（IMU）、超宽带（UWB）、激光同步定位与建图（激光SLAM）等多种技术，以实现全域、全场景、高鲁棒性的精准定位解决方案。

4 建设原则

4.1 安全第一

4.1.1 无人渣缓冷场的建设必须将人员与设备安全置于首位。系统设计应充分考虑高温、高粉尘、高湿、大雾、潜在爆炸（渣包喷爆/渣包爆裂）等危险因素，通过技术手段实现人车物理隔离、自动避障、应急接管等功能，并针对大雾天气制定相应的防范措施（如增强视觉感知系统、加装毫米波雷达或热成像仪、降低自动驾驶车速、增加安全距离冗余等），彻底消除高危环节对人员的直接威胁。

4.1.2 应建立并严格执行车辆连锁控制清单，确保车辆在未满足安全条件（如车门未关、人员进入危险区域）时无法启动或自动停机。

4.2 技术先进性与成熟度并重

应采用经过验证的、成熟的自动驾驶、通信和定位技术，确保系统的稳定性和可靠性。同时，鼓励采用业界领先的算法和架构，保证系统在未来一定时期内的技术先进性，并具备可升级、可扩展的能力。

4.3 系统集成与数据驱动

项目建设应强调整体解决方案，实现车载系统、路侧系统、通信网络、云控平台之间的无缝集成。构建统一的数据中心，对全流程数据进行采集、分析与建模，以数据驱动作业优化、predictive maintenance（预测性维护）和智能决策。

4.4 经济性与可推广性

在满足功能与安全要求的前提下，应优先考虑对现有设施和设备进行改造升级，控制初始投资成本。系统设计应模块化、标准化，便于在同类企业中进行快速复制和推广，具备显著的示范效应和经济效益。

5 系统架构与基础设施要求

5.1 总体系统架构

系统架构应支持远程集中监控与远程控制功能，实现“无人作业、少人值守无人作业、少人值守”的目标。

- a) 云端（平台层）：部署自动驾驶运营管理平台、数据服务中心、智能调度系统等，负责全局数据存储、计算分析、任务调度与可视化监控；
- b) 边缘层：在厂区部署边缘计算节点，处理对实时性要求极高的数据（如局部避障、车辆控制），减轻云端负担，提升系统响应速度；
- c) 端侧（设备层）：包括智能渣包车、路侧感知单元（激光雷达、摄像头等）、定位基站、5G CPE（客户终端设备）等，负责执行指令、采集环境与车辆数据。

5.2 通信网络基础设施

5.2.1 5G 专网覆盖

应在整个渣缓冷场及相关运输路径实现5G专网的全覆盖。网络需满足uRLLC（超可靠低时延通信）和eMBB（增强移动宽带）特性，确保车辆与控制平台间数据传输的高速率、低时延和高可靠性。

5.2.2 网络冗余与安全

关键通信链路应设计冗余备份（如结合有线网络）。网络架构应符合网络安全等级保护要求，部署防火墙、入侵检测系统，保障数据传输安全。

5.3 高精度定位基础设施

5.3.1 室外定位基准

建设GNSS-RTK基准站网络，为室外作业的渣包车提供实时厘米级差分定位服务。

5.3.2 室内及信号遮挡区定位

在冶炼车间、钢结构下方等GNSS信号弱区域，应部署UWB定位基站或采用激光SLAM技术，与IMU构成组合导航系统，确保定位的连续性和精度。

5.3.3 高精地图制作

需对全作业场景进行精确测绘，制作包含车道线、停止线、渣包位、倒渣口、障碍物等要素的高精度地图，并建立定期更新机制。

6 核心系统功能要求

6.1 数据服务中心与云控平台

6.1.1 数据汇聚与处理：平台需具备接入和处理多源异构数据的能力，包括车辆状态、位置信息、传感器数据、任务信息、视频流等。

6.1.2 数字孪生与可视化：应建立与物理场景一致的虚拟模型，实时映射渣包车位置、任务状态、设备健康状况，并提供全景、多维度的可视化监控界面。

6.1.3 数据分析与优化：基于历史数据和实时数据，平台应提供作业效率分析、路径优化建议、设备故障预测等高级分析功能。

6.2 智能调度系统

6.2.1 任务管理：自动接收来自上游生产系统（如MES）的渣包搬运指令，或由操作人员手动录入任务，实现任务的自动化解析与创建。

6.2.2 车辆调度与路径规划应符合以下要求：

——调度策略：系统应内置多种优化调度算法。例如，在接渣点采用“先来先服务（FIFO）”策略；在缓冷场根据渣包冷却时间和位置，采用“组合规则调度”；在倒渣口基于空间和时序逻辑，采用“规则树”模型进行最优选择；

——路径规划：能为每台车辆规划全局最优路径，并支持动态重规划以应对临时障碍。

6.2.3 交通管理：实现虚拟电子围栏、交通信号（虚拟红绿灯）、路口优先通行权管理、多车自动避让等功能，防止车辆碰撞和交通堵塞。

6.3 自动驾驶车辆系统

6.3.1 车载安全

车辆必须具备紧急停车按钮（车外至少1个，车内至少1个，布置于醒目且易操作位置）、声光报警装置、多级安全冗余制动系统，以及V2X通信能力。紧急停车按钮触发逻辑为直接切断动力并启动制动，按钮应为常闭触点，复位须手动操作。

6.3.2 远程控制时延要求

远程控制系统应满足端到端通信时延不大于100 ms的要求，测试方法为：从操作指令发出到车辆执行机构响应的时间间隔，采用视频时间戳同步或专用网络测试仪进行测量，测试应在网络负载 $\geq 80\%$ 条件下重复不少于30次，取95分位值作为判定依据。

6.3.3 多车协同远程控制

系统应支持一名操作人员同时监控多台车辆，并在必要时对指定车辆进行远程接管。

6.4 全流程视频监控系统

6.4.1 远程驾驶舱：应建设独立的远程驾驶舱，配备多功能显示屏、方向盘、踏板等操作设备，实现对渣包车的远程人工接管。

6.4.2 远程控制优先级管理：系统应建立明确的控制权限管理机制，明确远程控制与车辆自主驾驶的

优先级关系。远程控制指令应具备最高优先级，确保在异常情况下人工可随时接管。

6.4.3 远程控制时延要求：远程控制系统应满足端到端通信时延不大于 100 ms 的要求，确保远程操作的实时性和可控性。

6.4.4 远程状态反馈：远程驾驶舱应实时显示车辆状态、周边环境视频、定位信息、故障告警等关键数据，为远程操作人员提供完整的情景感知能力。

6.4.5 多车协同远程控制：系统应支持一名操作人员同时监控多台车辆，并在必要时对指定车辆进行远程接管，实现“一人多机”的远程控制模式。

7 运营、维护与持续改进

7.1 运营管理

应设立集中控制中心，配备经过培训的运营监控人员，负责系统日常监控、异常情况处置和远程协助。制定完善的标准操作规程（SOP）。

7.2 维护保养

建立定期的预防性维护计划，包括对车辆、传感器、通信设备、定位基站、喷淋设备、渣包寿命的检查、校准、保养和评估。其中：

- a) 喷淋设备应定期检查喷头堵塞情况、管道密封性及水压稳定性，确保冷却效果达标；
- b) 渣包寿命应建立全生命周期档案，记录每次使用时间、冷却次数、外观检查结果，达到设计寿命或出现严重变形、裂纹时及时报废更换。

7.3 持续改进

定期收集运营数据，分析系统瓶颈，通过算法优化、流程再造等方式，持续提升系统性能和作业效率。鼓励利用人工智能技术深化应用，如实现更智能的预测性维护和能源管理。

8 安全保障体系

8.1 总体要求

应构建覆盖驾驶安全、设备安全、通信安全、工艺安全的四位一体安全保障体系，确保无人渣缓冷场在各类运行条件下的安全可控。

8.2 驾驶安全

8.2.1 自主安全能力：渣包车应具备自主避障、异常停车、路径偏离检测等功能，确保在通信中断或定位失效等极端情况下仍能安全停车。

8.2.2 人车隔离与防撞：通过物理隔离、电子围栏、虚拟红绿灯等技术手段，实现人车分离，防止碰撞事故。

8.2.3 紧急干预：云控平台应支持远程紧急停车和远程驾驶接管功能，确保在异常情况下操作人员可及时介入。

8.3 设备安全

8.3.1 功能安全：所有设备的设计和选型应符合 GB 28526、GB/T 16855.1、ISO 13849-1 及 IEC 61508 的相关功能安全要求，其中控制系统安全完整性等级（SIL）不低于 SIL 2，或性能等级（PL）不低于 PL d。系统必须具备多层安全冗余，包括控制指令冗余、刹车系统冗余、通信链路冗余。

8.3.2 环境适应性：设备应具备耐高温、防尘、防震等特性，适应冶炼厂恶劣工况环境。

8.4 通信安全

8.4.1 网络安全防护：应按照 GB/T 22239 中第三级安全等级要求建立完整的网络安全防护体系，防止未经授权的访问和数据泄露。对关键数据进行加密传输和存储，定期（每 6 个月至少一次）进行网络安全风险评估和渗透测试。

8.4.2 关键控制链路应采用双链路冗余设计（如 5G+有线、5G+Wifi 等），确保单点故障不影响系统运行。网络通信应满足以下要求：

- a) 主通信链路中断时，备用链路应能在毫秒级自动切换，切换过程不应导致车辆失控或任务中断；
- b) 定期对通信链路的信号强度、丢包率、时延等指标进行监测，发现异常及时预警；
- c) 在网络覆盖薄弱区域，应增设中继设备或采用多基站重叠覆盖方式，消除通信盲区。

8.5 工艺安全

8.5.1 冷却工艺监控：对渣包冷却温度、时间进行实时监控，确保冷却工艺参数满足安全要求。

8.5.2 倒渣安全控制：倒渣作业应与上下游设备（如渣包翻转装置）实现联锁控制，防止高温熔渣飞溅或设备损坏。

8.6 应急管理

制定详细的应急预案，包括车辆失联、通信中断、定位失效、突发火情、渣包喷爆等场景的处置流程。每12个月至少组织一次应急演练，关键岗位人员应每6个月进行一次预案培训。应急预案应明确以下处置时限要求：

- a) 车辆失联：2 分钟内启动远程定位或现场排查；
 - b) 通信中断：1 分钟内触发车辆安全停车；
 - c) 突发火情：30 秒内启动报警并通知消防力量；
 - d) 远程接管失效：15 秒内触发自动安全停车。
-