

团 体 标 准

T/XXX XXX—XXXX

电站锅炉输煤栈桥轨道吊装式巡检机器人 技术规范

Technical specifications for overhead rail-mounted Inspection robot in coal
conveying galleries of power plant boilers

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(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

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 技术要求	2
4.1 环境适应性	2
4.2 外观要求	2
4.3 功能要求	2
4.4 安全要求	4
4.5 性能要求	4
4.6 电磁兼容性	5
4.7 可靠性	5
5 试验方法	5
5.1 环境适应性试验	5
5.2 外观检查	5
5.3 功能性试验	5
5.4 安全性试验	8
5.5 性能试验	9
5.6 电磁兼容性	10
5.7 可靠性	11
6 检验规则	11
6.1 检验分类	11
6.2 出厂检验	12
6.3 型式检验	12
7 标志、包装、运输和贮存	13
7.1 标志	13
7.2 包装	13
7.3 运输和贮存	13
参考文献	14

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。

本文件由中国特种设备检验协会提出并归口。

本文件起草单位：深圳昱拓智能有限公司、中电昱创（苏州）智能科技有限公司、长沙理工大学、淮南平圩第二发电有限责任公司、福建省特种设备检验研究院、国能粤电台山发电有限公司、国能北电胜利能源有限公司、神华福能发电有限责任公司。

本文件主要起草人：樊绍胜、黄明星、孙文敏、宋运团、吴超、盛亚明、孙承春、梁少华、任宪桥、曾远跃、杨铁强、管慧博、赵奇、张志文、焦世荣、马骋。

电站锅炉输煤栈桥轨道吊装式巡检机器人技术规范

1 范围

本文件规定了电站锅炉输煤栈桥轨道吊装式巡检机器人（以下简称“机器人”）的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存的要求。

本文件适用于非防爆型电站锅炉输煤栈桥轨道吊装式巡检机器人。

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 191-2008 包装储运图示标志
- GB/T 2423.1-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
- GB/T 2423.4-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db：交变湿热(12h+12h 循环)
- GB/T 2423.10-2019 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）
- DL/T 2772-2024 火力发电厂输煤廊道巡检装置技术规范
- GB/T 4208-2017 外壳防护等级(IP 代码)
- GB/T 5226.1-2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB/T 15412-2017 应用电视摄像机云台通用规范
- GB/T 17626.2-2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3-2023 电磁兼容 试验和测量技术 第3部分：射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.8-2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
- GB/T 22239-2019 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 26863 火电站监控系统术语
- GB/T 44253-2024 巡检机器人安全要求
- JB/T 14111-2020 电力场站巡检机器人通用技术条件
- DL/T 701 火力发电厂热工自动化术语

3 术语和定义

GB/T 26863 和 DL/T 701 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电站锅炉输煤栈桥轨道吊装式巡检机器人 Overhead rail-mounted inspection robot for coal conveying galleries in power plant boilers

在电站锅炉用输煤栈桥的场景下，能够沿着吊装轨道自动行驶并完成日常巡检任务的机器人。

3.2

通信漫游 *seamless communication roaming*

机器人在移动过程中，从一个基站的无线通信覆盖区域移动到另一个基站的覆盖区域时，能够无缝切换通信连接，以维持连续的通信服务。

4 技术要求

4.1 环境适应性

机器人在以下环境条件下应能正常工作：

- a) 工作温度：-20 ℃~55 ℃；
- b) 相对湿度：5 %~95 % (非凝结)；

4.2 外观要求

机器人整机应外观美观整洁、结构坚固，所有连接件、紧固件应有防松措施；外壳表面应有保护涂层或防腐设计，不应有伤痕、毛刺等其他缺陷。

4.3 功能要求

4.3.1 巡检功能

机器人应支持定时巡检和特殊巡检两种模式：

- a) 定时巡检。机器人可依照预先设置好的巡测内容、时间、周期、路线等参数信息，进行巡检作业；
- b) 特殊巡检。机器人可由操作人员人工选定巡检内容并手动启动巡检。

4.3.2 自主避障

机器人巡检时检测到障碍物，应自主停止运动，若障碍物一直存在，机器人应上报监控后台，提示人工处理障碍物。

4.3.3 通信漫游

机器人应通过 Wi-Fi 或 5G 网络或自由组网的方式与站内布置的网络进行通信。监控后台也应连接到通信网络与机器人实现互相访问。

4.3.4 自主充电

机器人检测到电池电量低于预设阈值时，应自主返航至充电桩充电。

4.3.5 自检

机器人应具备自检功能，检测电源、驱动、通信和传感器等部件的工作状态，发生异常时应能进行声光告警，向监控后台上报自检结果。

4.3.6 温度检测

机器人应能检测输煤栈桥的电机、减速机、滚筒表面和托辊表面的实际温度，若温度超过设备正常的安全温度阈值，向监控后台上报告警信息。

4.3.7 噪声检测

机器人应能检测输煤栈桥的电机、减速机、滚筒和托辊在运行时的噪声，通过算法分析其声纹特征，若发现异常，向监控后台上报告警信息。

4.3.8 跑偏检测

机器人应在巡检过程中检测皮带偏移量，若发现皮带偏移量超出安全阈值，向监控后台上报告警信息。

4.3.9 托辊脱落检测

机器人应在巡检过程中发现托辊是否发生脱落现象，若发生脱落，向监控后台上报告警信息。

4.3.10 犁煤器检测

机器人应在巡检过程中检测犁煤器的刀头是否完整无缺口，犁煤器落下后，犁煤器后方是否有残留煤料，犁煤器犁煤处周边地上是否有撒落在地上的煤粉堆积，若发现异常，向监控后台上报告警信息。

4.3.11 人防检测

在输煤栈桥某些特定区域不允许人员进入，通常设有防护栏或标识，对允许人员进入的区域也有严格的穿戴要求，机器人应具备相应的防护检测能力，包括但不限于：

- a) 检测人防入侵。机器人应检测输煤皮带指定区域，确保未经授权的人员不会进入该区域，从而保障皮带输送系统的安全运行，若发现违规入侵，向监控后台上报告警信息；
- b) 检测是否佩戴安全帽、穿戴工装。机器人应检测指定区域，识别人员的着装情况，包括安全帽、工装等，若发现未按要求穿戴，向监控后台上报告警信息。

4.3.12 煤料检测

机器人应在巡检过程中检测煤料的状态：

- a) 温度检测。检测皮带上煤料的温度是否在安全阈值内，当检测到温度超过设定阈值时，向监控后台上报告警信息；
- b) 明火检测。检测皮带上煤料是否存在火焰、烟雾或温度达到煤炭着火点，当检测到异常时，向监控后台上报告警信息。

4.3.13 环境温湿度监测

机器人应实时检测输煤栈桥内的温度和湿度，将数据实时传输到监控后台进行记录和分析。

4.3.14 有害气体检测

机器人应实时检测输煤栈桥内有害气体（如甲烷、一氧化碳、硫化氢和氨气等）的浓度，将数据实时传输到监控后台进行记录和分析。

4.3.15 粉尘、烟雾检测

机器人应实时检测输煤栈桥内粉尘与烟雾浓度，将数据实时传输到监控后台进行记录和分析。

4.4 安全要求

4.4.1 失电自锁

机器人在电源中断的情况下，应自动锁定其位置，防止因重力或其他外力导致的意外移动，可人工介入取消自锁以便维护。

4.4.2 急停按钮

机器人应配备符合 GB/T 5226.1-2019 中 10.7 规定的紧急停止装置。

4.5 性能要求

4.5.1 定位精度

机器人行走定位误差不高于 10 mm。

4.5.2 爬坡能力

机器人在轨道上移动时，能够克服一定范围内倾斜角度或坡度，应保持稳定，不会发生侧翻或打滑现象。机器人爬坡能力不小于 30°。

4.5.3 转弯半径

机器人在轨道上移动时，可随轨道走向转弯，运动应保持稳定。最小转弯半径不大于 500 mm。

4.5.4 续航时间

机器人续航时间不小于 5 h。

4.5.5 充电时间

机器人充电时间不大于 3 h。

4.5.6 制动距离

机器人在轨道上移动时，应具备随时停止移动的能力。机器人制动距离不大于 0.5 m。

4.5.7 最大速度

机器人最大移动速度不小于 0.5 m/s。

4.5.8 漫游通信

机器人在通信基站之间可无缝通信漫游，数据通信延时不大于 100 ms，丢包率不大于 1%。

4.5.9 高清分辨率

机器人配置高清摄像头，分辨率不低于 1920×1080。

4.5.10 红外分辨率

机器人配置红外热成像摄像头，分辨率不低于 384×288 。

4.6 电磁兼容性

4.6.1 工频磁场抗扰度

机器人应能承受 GB/T17626.8-2006 中第 5 章规定的严酷等级为 3 级的工频磁场抗扰度试验，试验期间和试验后应能正常工作。

4.6.2 静电放电抗扰度

机器人应能承受 GB/T 17626.2-2018 中第 5 章规定的严酷等级为 3 级的静电放电抗扰度试验，试验期间和试验后应能正常工作。

4.6.3 射频电磁场辐射抗扰度

机器人应能承受 GB/T17626.3-2016 中第 5 章规定的严酷等级为 4 级的射频电磁场辐射抗扰度试验，试验期间和试验后应能正常工作。

4.7 可靠性

4.7.1 防护等级

机器人防护等级应符合 GB/T 4208-2017 的规定，不低于 IP65。

4.7.2 耐震性

机器人应符合 GB/T 2423.10-2019 的规定，在受到频率为 10 Hz~55 Hz、振幅为 0.15 mm 范围内的振动，应能正常工作。

5 试验方法

5.1 环境适应性试验

5.1.1 低温试验

应按 GB/T 2423.1-2008 中“试验 Ad”的方法和 5.6.1 要求进行

5.1.2 高温试验

应按 GB/T 2423.2-2008 中“试验 Bd”的方法和 5.6.1 要求进行。

5.1.3 交变湿热试验

应按 GB/T2423.4-2008 规定的试验要求和试验方法进行试验，试验温度为 55°C ，循环次数为 2 次，试验期间和试验后机器人应能正常工作。

5.2 外观检查

目测检查机器人表面及电气线路，外观结构应满足 5.2 的规定。

5.3 功能性试验

5.3.1 巡检功能

按以下步骤进行试验：

- 1) 在试验场地模拟输煤栈桥的设备和环境；
- 2) 在本地监控系统上设定巡检内容、时间、周期、路线等参数信息；
- 3) 分别在自主模式和遥控模式下启动机器人，观察其是否能按照预设内容、时间、周期和路线进行巡检；
- 4) 巡检过程中在自主模式和遥控模式间互相切换，观察机器人在切换过程中，巡检状态和巡检姿态是否发生明显变化。

5.3.2 自主避障

测试方法需符合 GB/T 44253-2024 C.2 要求，对挂轨机器人开展水平、爬坡避障功能试验：

- 1) 水平运动：防碰撞模块中心点正前方设置 200mm×200mm 障碍物，机器人以正常工作速度水平运动，观察是否自动停止并记录与障碍物间距；遇障应自动停止，且与障碍物间距 $\geq 30\text{cm}$ ；
- 2) 30° 爬坡下降：防碰撞模块中心点正下方设置 200mm×200mm 障碍物，机器人以正常工作速度下降，观察是否自动停止并记录与障碍物间距；遇障应自动停止，与障碍物间距 10cm~30cm；
- 3) 全自主模式：观察障碍物移除后机器人能否恢复巡检。全自主模式下，障碍物移除后可恢复巡检。

5.3.3 通信漫游

按以下步骤进行试验：

- 1) 搭建两个通信基站与机器人连接在同一个网络中，机器人同时处于两个基站的信号覆盖范围内；
- 2) 打开监控后台，查看通信状态；
- 3) 断掉其中一个基站，记录切换时间，观察视频是否卡顿，持续数据包是否有丢包现象，监控后台是否断联；
- 4) 断掉的基站恢复上电，记录切换时间，观察视频是否卡顿，持续数据包是否有丢包现象，监控后台是否断联；
- 5) 断掉另一个基站，记录切换时间，观察视频是否卡顿，持续数据包是否有丢包现象，监控后台是否断联；
- 6) 断掉的基站恢复上电，记录切换时间，观察视频是否卡顿，持续数据包是否有丢包现象，监控后台是否断联；

5.3.4 自主充电

按以下步骤进行试验：

- 1) 启动机器人，进行定时巡检与特殊巡检；
- 2) 观察当机器人电量小于设定的电量时，机器人是否可自动回到充电桩充电；
- 3) 充电完毕后，是否可继续之前的任务；
- 4) 两种巡检模式各测试 5 次，均应通过。

5.3.5 自检

按以下步骤进行试验：

- 1) 启动机器人自检功能；

- 2) 是否可以自检电源、驱动、通信和传感器等部件的工作状态；
- 3) 模拟任意部件的异常，应能进行声光告警，可向监控后台上报自检结果；
- 4) 各部件各模拟异常测试 1 次，均应通过。

5.3.6 温度检测

按以下步骤进行试验：

- 1) 分别设定一个定时巡检任务和一个特殊巡检任务；
- 2) 任务内包含输煤栈桥的电机、减速机、滚筒和托辊，将超温告警设置在 60 ℃；
- 3) 将电机、减速机、滚筒和托辊表面通过加热装置，加热超过到 60 ℃；
- 4) 启动任务后，观察机器人是否可向监控后台上报告警信息。

5.3.7 异音检测

按以下步骤进行试验：

- 1) 分别设定一个定时巡检任务和一个特殊巡检任务；
- 2) 任务内容包含输煤栈桥的电机、减速机、滚筒和托辊异音检测；
- 3) 通过急速连续敲击电机、减速机、滚筒和托辊本体模拟异音；
- 4) 启动任务后，观察机器人是否可向监控后台上报告警信息。

5.3.8 跑偏检测

按以下步骤进行试验：

- 1) 分别设定一个定时巡检任务和一个特殊巡检任务；
- 2) 任务内容包含皮带跑偏检测；
- 3) 将皮带摆放至超出皮带限位器的位置；
- 4) 启动任务后，观察机器人是否可向监控后台上报告警信息。

5.3.9 托辊脱落检测

按以下步骤进行试验：

- 1) 分别设定一个定时巡检任务和一个特殊巡检任务；
- 2) 任务内容包含托辊检测；
- 3) 将托辊去掉，模拟托辊脱落工况，启动任务后，观察机器人是否可向监控后台上报告警信息；

5.3.10 犁煤器检测

按以下步骤进行试验：

- 1) 分别设定一个定时巡检任务和一个特殊巡检任务；
- 2) 任务内容包含犁煤器检测；
- 3) 采用无损贴片模拟方式，在完好犁煤器刀头制作不小于 2cm 视觉缺口，模拟刀头破损缺陷，验证机器人检测及后台告警上报功能；
- 4) 将犁煤器落下，在有煤运输的情况下，人工制造漏煤缺口，使得皮带上残留煤料，测试机器人是否可向监控后台上报告警信息；
- 5) 在犁煤器周边地面人工撒煤，形成至少 1 个不小于 5cm 的撒煤区，测试机器人是否可向监控后台上报告警信息；

5.3.11 人防检测

按以下步骤进行试验：

- 1) 分别设定一个定时巡检任务和一个特殊巡检任务；
- 2) 任务内容包含机器人检测输煤皮带指定区域，测试未经授权的人员进入该区域，机器人是否可向监控后台上报告警信息；
- 3) 任务内容包含检测是否佩戴安全帽、穿戴工装，通过未佩戴安全帽与工装进入机器人视野，机器人是否可向监控后台上报告警信息；
- 4) 告警信息是否具备对外联动的接口。

5.3.12 煤料检测

按以下步骤进行试验：

- 1) 分别设定一个定时巡检任务和一个特殊巡检任务；
- 2) 任务内容包含煤料温度检测，通过在皮带上的煤料上，通过加热装置，加热超过 60 °C，模拟超温，机器人是否可向监控后台上报告警信息；
- 3) 任务内容包含明火检测，通过在皮带上的煤料上放置防火盆，在防火盆内分别人工设置明火与烟雾，机器人是否可向监控后台上报告警信息。

5.3.13 环境温湿度监测

按以下步骤进行试验：

- 1) 分别设定一个定时巡检任务和一个特殊巡检任务；
- 2) 机器人是否可向监控后台实时上报环境温度与湿度信息。

5.3.14 有害气体检测

按以下步骤进行试验：

- 1) 分别设定一个定时巡检任务和一个特殊巡检任务；
- 2) 将定浓度的甲烷、一氧化碳、硫化氢和氨气分别释放于距离机器人气体检测传感器 2cm 位置，观察机器人是否可向监控后台实时上报气体浓度信息。

5.3.15 粉尘、烟雾检测

按以下步骤进行试验：

- 1) 分别设定一个定时巡检任务和一个特殊巡检任务；
- 2) 将定浓度粉尘与烟雾分别释放于距离机器人传感器 2cm 位置，观察机器人是否可向监控后台实时上报粉尘与烟雾浓度信息。

5.4 安全性试验

5.4.1 失电自锁

按以下步骤进行试验：

- 1) 分别搭建 0°、30° 斜坡的固定轨道；
- 2) 分别在 0°、30° 斜坡轨道上，设置机器人以 0.25 m/s 的速度进行运动测试；

- 3) 切断机器人电源，观察机器人是否自动锁定其位置且不发生自主移动，人工介入是否可以取消自锁，正反向运行各测试 5 次，均应通过。

5.4.2 急停按钮

按以下步骤进行试验：

- 1) 分别搭建 0° 、 30° 斜坡的固定轨道；
- 2) 分别在 0° 、 30° 斜坡轨道上，设置机器人以 0.25 m/s 的速度进行巡检任务；
- 3) 人工操作急停按钮，观察机器人是否立即停止。

5.5 性能试验

5.5.1 定位精度

定位精度应满足：

- 1) 在轨道上标记一个位置点，并将该位置点设置为采集点[1]；
- 2) 监控后台设置对采集点[1]制定巡检任务；
- 3) 启动机器人以最大速度运行到采集点[1]；
- 4) 观察并记录机器人实际到达位置与标记位置的距离，即定位精度；
- 5) 重复上述操作 5 次，要求每次误差在 $\pm 10\text{ mm}$ 内；
- 6) 测试至少标记不少于 3 个不同位置的采集点。

5.5.2 爬坡能力

按以下步骤进行试验：

- 1) 搭建 30° 斜坡的固定轨道；
- 2) 设置机器人以 0.25 m/s 的速度进行爬坡性能测试，至少运行 3 米距离；
- 3) 分别在电量 10%、50%、100% 时正反向运行各测试 5 次，5 次均应通过，且无打滑现象。

5.5.3 转弯半径

搭建半径为 500mm 转弯轨道，机器人分别以 0.1 m/s 、 0.25 m/s 、 0.5 m/s 的速度通过转弯轨道，前进和后退分别测试 5 次，观察机器人是否能正常通过，且转弯过程中无明显晃动。

5.5.4 续航时间

按以下步骤进行试验：

- 1) 搭建水平固定轨道；
- 2) 在 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 环境下，将机器人以 0.25 m/s 的速度来回在轨道上进行巡检；
- 3) 直至机器人触发低电量返回，记录机器人的工作时长；
- 4) 试验进行 5 次，取平均值，平均值应不小于 5h 。

5.5.5 充电时间

按以下步骤进行试验：

- 1) 搭建水平固定轨道；
- 2) 在 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 环境下，将机器人以 0.25 m/s 的速度来回在轨道上进行巡检；
- 3) 直至机器人触发低电量返回至充电桩充电，记录机器人从充电开始到充满时的时长；

- 4) 试验进行 5 次，取平均值，平均值应不大于 3h。

5.5.6 制动距离

按以下步骤进行试验：

- 1) 搭建水平固定轨道；
- 2) 将机器人以 0.5 m/s 的速度行驶至制动起始线，同时发出制动指令；
- 3) 当机器人完全停止时，测量机器人超出制动起始线部分的距离 d ；
- 4) 试验进行 5 次，取平均值，平均值应不大于 0.5 m。

5.5.7 最大速度

最大速度应满足：

- a) 搭建水平固定式轨道，标记始端位置和终端位置，测量两个位置的距离 d ，设置机器人以最大速度运行；
- b) 用秒表记录机器人驶过始端位置和终端位置所用的时间，计算行走速度；
- c) 分别在电量 10%、50%、100% 时执行上述操作，测试 5 次，取平均值，平均值应不小于 0.5 m/s，且电量不低于 30% 时，运行速度无明显变化。

5.5.8 漫游通信

按以下步骤进行试验：

- 1) 搭建两个通信基站与机器人连接在同一个网络中，机器人同时处于两个基站的信号覆盖范围内；
- 2) 打开监控后台，查看通信状态；
- 3) 断掉其中一个基站，记录切换时间，观察视频是否卡顿，持续数据包是否有丢包现象，监控后台是否断联；
- 4) 断掉的基站恢复上电，记录切换时间，观察视频是否卡顿，持续数据包是否有丢包现象，监控后台是否断联；
- 5) 断掉另一个基站，记录切换时间，观察视频是否卡顿，持续数据包是否有丢包现象，监控后台是否断联；
- 6) 断掉的基站恢复上电，记录切换时间，观察视频是否卡顿，持续数据包是否有丢包现象，监控后台是否断联；
- 7) 要求视频播放流畅，丢包率不大于 1%，切换时间小于 100 ms。

5.5.9 高清分辨率

机器人执行完可见光巡检任务时，检查可见光摄像机上传视频分辨率，其应不小于 1920×1080 。

5.5.10 红外分辨率

机器人执行完红外巡检任务时，查看其是否能自动对焦。巡检任务完成后，检查热成像仪分辨率不低于 384×288 。

5.6 电磁兼容性

5.6.1 工频磁场抗扰度

应按 GB/T17626.8—2006 中第 5 章的规定进行严酷等级为 3 级的工频磁场抗扰度试验, 试验期间和试验后机器人应能正常工作。

5.6.2 静电放电抗扰度

应按 GB/T 17626.2—2018 中第 5 章规定的严酷等级为 3 级的静电放电抗扰度试验, 试验期间和试验后应能正常工作。

5.6.3 射频电磁场辐射抗扰度

应按 GB/T17626.3—2016 中第 5 章规定的严酷等级为 4 级的射频电磁场辐射抗扰度试验, 试验期间和试验后应能正常工作。

5.7 可靠性

5.7.1 防护等级

防护性能试验分为防尘试验和防水试验。试验应分别按 GB/T4208-2017 规定的试验要求和试验方法进行。

5.7.2 耐震性

应按 GB/T 2423.10-2019 规定的方法进行试验, 试验过程中和结束后机器人应能正常

6 检验规则

6.1 检验分类

检验分为出厂检验和型式检验。检验项目按表 1 规定执行。

表 1 检验项目

序号	项目	技术要求	试验方法	型式检验	出厂检验	
1	环境适应性	4.1	5.1			
2	外观检查	4.2	5.2	●	●	
3	功能性试验	巡检功能	4.3.1	5.3.1	●	●
4		自主避障	4.3.2	5.3.2	●	●
5		通信漫游	4.3.3	5.3.3	●	●
6		自主充电	4.3.4	5.3.4	●	●
7		自检	4.3.5	5.3.5	●	●
8		温度检测	4.3.6	5.3.6	●	●
9		噪声检测	4.3.7	5.3.7	●	○
10		跑偏检测	4.3.8	5.3.8	●	○
11		托辊检测	4.3.9	5.3.9	●	○
12		犁煤器检测	4.3.10	5.3.10	●	○
13		人防检测	4.3.11	5.3.11	●	○

14		煤料检测	4.3.12	5.3.12	●	○
15		环境温湿度检测	4.3.13	5.3.13	●	●
16		有害气体检测	4.3.14	5.3.14	●	●
19		粉尘、烟雾检测	4.3.15	5.3.15	●	●
20	安全性试验	失电自锁	4.4.1	5.4.1	●	●
21		急停按钮	4.4.2	5.4.2	●	●
22	性能试验	定位精度	4.5.1	5.5.1	●	●
23		爬坡能力	4.5.2	5.5.2	●	●
24		转弯半径	4.5.3	5.5.3	●	●
25		续航时间	4.5.4	5.5.4	●	●
26		充电时间	4.5.5	5.5.5	●	●
27		制动距离	4.5.6	5.5.6	●	●
28		最大速度	4.5.7	5.5.7	●	●
29		漫游通信	4.5.8	5.5.8	●	●
30		高清分辨率	4.5.9	5.5.9	●	●
34		红外分辨率	4.5.10	5.5.10	●	●
35	电磁兼容性	工频磁场抗扰度	4.6.1	5.6.1	●	○
36		静电放电抗扰度	4.6.2	5.6.2	●	○
37		射频电磁场辐射抗扰度	4.6.3	5.6.3	●	○
38	可靠性	防尘与防水	4.7.1	5.7.1	●	○
39		耐震性	4.7.2	5.7.2	●	○
注：“●”表示需要检验的项目，“○”表示不需要检验的项目。						

6.2 出厂检验

产品出厂前应做出厂检验，检验合格方可出厂，出厂产品应有合格证。

6.3 型式检验

6.3.1 型式检验时间

型式检验应包括，但不限于：

- 新产品或老产品转生产的试制定型鉴定；
- 正式生产后，如结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能；
- 停产一年及以上重新生产时；
- 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异；
- 行业主管部门、国家或行业质量监督机构提出要求。

6.3.2 样品数量和检验方案

型式检验应从出厂检验合格的样品中随机抽取 1 台进行检验。

6.3.3 结论判定

当检验项目均符合本文件要求时判定该检验样品为合格，若有不合格的项目，允许重新加倍抽样，对其不合格项目重新进行检验，若仍不合格，则判定为型式检验不合格。

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 标志

标志应符合 GB/T 191-2008 中的要求。机器人应有永久性标牌，标牌的内容至少应包括：机器人名称、型号、制造商名称、生产日期和出厂日期、执行标准号。

7.2 包装

7.2.1 机器人包装箱内应附有装箱单、合格证、出厂检验报告、中文产品说明书、操作手册、维护手册。

7.2.2 包装箱上的标志应符合 GB/T 191 的规定。

7.3 运输和贮存

7.3.1 包装后的机器人宜用一般交通工具运输，运输过程中应防止日晒雨淋、剧烈碰撞，且不得与酸性腐蚀性物品混运。

7.3.2 机器人应储存在干燥、通风、无腐蚀性气体的室内。

参 考 文 献

- [1] GB 4943.1 音视频、信息技术和通信技术设备 第1部分：安全要求
- [2] GB/T 5080.1-2012 可靠性试验 第1部分：试验条件和统计检验原理
- [3] GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- [4] DL/T 664 带电设备红外诊断技术应用规范

**团体标准《电站锅炉输煤栈桥轨道吊装式
巡检机器人技术规范》（征求意见稿）**

编制说明

2026年03月

一、工作简况

1. 任务来源

根据中国特种设备检验协会团体标准工作委员会文件《中国特种设备检验协会团体标准项目任务书》（项目编号为：2025021）确立，本项目由中国特种设备检验协会团体标准工作委员会特种设备用机器人标准化工作组（以下简称“中特协团标委特种设备用机器人工作组”）指导、监督和具体管理，由浙江省特种设备科学研究院等多家单位负责起草，计划完成时间为2026年3月。

2. 主要工作过程

- ◆ 2024年7月，《电站锅炉输煤栈桥轨道吊装式巡检机器人技术规范》申请立项；
- ◆ 2025年3月，参加由中国特种设备检验协会团体标准工作委员会特种设备用机器人标准化工作组组织的团体标准立项评审会。
- ◆ 2025年4月，立项被批复，正式成立标准编制组；
- ◆ 2025年5月-6月，在中国特检人微信公众号公开征集参编单位；
- ◆ 2025年7月，召开标准启动会，明确了标准制定原则，对标准的框架设计、核心内容进行了研讨，从多个方面和维度对标准的实用性、全面性等提出建议，确定了任务分工及工作计划；
- ◆ 2025年7月-12月，根据任务分工各起草单位提出修改意见和建议，线上讨论和会稿；
- ◆ 2025年12月，召开第二次标准讨论会，总结了第一次工作会议以来的标准修订进展，围绕标准草案的修订内容逐条审议，重点讨论了范围、术语和定义、机器人要求、试验方法等章节，并对标准结构的优化和落地实施的可行性提出了建议；
- ◆ 2026年3月，标准编制组根据标准研讨会意见，起草组对标准草案进行修改完善，形成标准草案，在工作组年会上进行第三次讨论。
- ◆ 2026年4月，标准编制组根据年会上标准研讨会意见，起草组对标准草案

进行修改完善，并由工作组秘书处组织线上视频会议，对标准草案进行第四次讨论。并根据讨论意见修改，于 2026 年 5 月形成征求意见稿。

二、标准编制原则、主要内容及其确定依据，修订标准时，还包括修订前后技术内容的对比

1. 标准的编写原则

1.1 先进性

标准内容反映了当前电站锅炉输煤栈桥轨道吊装式巡检机器人技术的最新发展成果，吸纳双光谱高清红外监测、无缝通信漫游等先进技术，确保标准在技术上具有一定的前瞻性，引导技术进步和产品升级，贴合行业发展趋势。

1.2 适用性

标准充分考虑了火电厂输煤栈桥高温、高粉尘、空间狭窄等工业环境的特点，确保所提出的各项技术指标和要求能够在实际应用中得到有效实施，满足淮南平圩第二发电有限责任公司、国能粤电台山发电有限公司等用户的需求。

1.3 可操作性

标准的表述清晰明确，技术指标量化标准与试验方法流程具体可行，便于检测机构和生产企业准确理解和执行，为产品质量控制和检验检测提供明确依据。

1.4 实用性

标准紧密结合火电厂输煤栈桥的实际应用场景，确保所制定的规范能够有效提升巡检机器人的工作效能和安全性，解决实际应用中存在的兼容性、稳定性等问题，降低运维成本。

1.5 规范性

标准的编写格式、结构、术语使用等严格遵循 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》，确保标准的规范性和统一性。

2. 提出本标准的依据

本标准的技术内容主要基于以下依据：

1) 技术调研与分析：通过对国内外巡检机器人技术的广泛调研和分析，结合火电厂输煤栈桥的特殊需求，确定了本标准的核心技术指标和参数，确保技术内容贴合行业实际。

2) 相关标准与规范：参考了 GB/T 44253-2024《巡检机器人安全要求》、GB/T 36321-2018《特种机器人分类、符号、标志》等相关标准和规范，同时参考 ISO 9001:2015、IEC 60204-1 等国际通用标准，确保了本标准在技术上的合理性和规范性。

3) 实验数据与经验：在实验室内及火电厂实地对输煤栈桥巡检机器人进行了大量的测试和验证，收集了大量的实验数据。同时，结合实际应用中的经验反馈，对标准中的参数进行了优化和调整。具体参数来源包括但不限于：

- ◆ 环境适应性：根据火电厂输煤栈桥的实际工况，通过模拟高温、高粉尘环境测试，确定了机器人工作温度 $-20^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$ 、防护等级 $\geq \text{IP65}$ 的要求。
- ◆ 定位精度：通过多次往返巡检测试，确定了机器人定位误差 $\leq 10\text{mm}$ 的要求，确保巡检点位精准。
- ◆ 续航与爬坡能力：结合输煤栈桥轨道坡度实际情况，通过实地测试，确定了机器人爬坡能力 $\geq 30^{\circ}$ 、续航时间 $\geq 5\text{h}$ 的要求，满足全天候巡检需求。
- ◆ 安全性能：按照相关安全标准和规定，通过实验验证了机器人失电自锁、急停响应、网络安全二级保护等安全性能参数。

3. 制定本标准的基础

深圳昱拓智能有限公司、中电昱创（苏州）智能科技有限公司等起草单位在电站锅炉输煤栈桥轨道吊装式巡检机器人领域展现出了卓越的技术研发能力。各起草单位拥有专业的研发团队，致力于巡检机器人的核心技术攻关和产品创新，深入研究了火电厂输煤栈桥的运行特性和巡检需求，自主开发了恶劣环境适应性、精准定位巡检等核心技术，使机器人能够适应输煤栈桥恶劣环境，实现全方位、无死角巡检。

4. 实验内容

为了验证本标准的技术内容和参数的合理性和有效性，我们进行了以下实验：

1) 外观和结构实验：通过目测及手动检查机器人的外观质量、结构完整性，确保符合标准要求，无明显缺陷，结构稳固。

2) 功能实验：对机器人的开关机、状态指示、定时巡检、特殊巡检、自我保护、异常监测、故障预警、急停、通信和自主充电等功能进行了全面测试，确保各项功能正常可靠。

3) 性能实验：对机器人的定位精度、爬坡能力、续航时间、巡检效率、通信与数据传输、安全性能、环境适应性和电磁兼容性等性能进行了严格测试，确保各项性能指标达到标准要求。

5. 实际应用效果

在淮南平圩第二发电有限责任公司、国能粤电台山发电有限公司等火电厂用户的实际应用中，本标准指导下的电站锅炉输煤栈桥轨道吊装式巡检机器人表现出了以下效果：

1) 提高了巡检效率：机器人能够自主规划巡检路线，实现高频次、无间歇的巡检作业，较人工巡检效率提升 3 倍以上，大大提高了巡检效率。

2) 增强了安全性：机器人具备失电自锁、防碰撞等自我保护功能，在巡检过程中能够避免与障碍物发生碰撞，减少人员进入高危环境的频次，确保了巡检过程的安全性。

3) 提升了故障预警能力：机器人能够实时监测输煤栈桥电机温度、皮带跑偏、煤料明火等异常情况，发现潜在故障或异常情况时立即发出预警信号，并采取相应的处理措施，有效避免了事故的发生，将设备故障漏检率降至 1% 以下。

4) 降低了维护成本：机器人具备自主充电功能，能够自动返回充电，减少了人工维护的频次和成本，同时规范的产品标准也降低了设备运维的难度和成本。

三、试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

1. 主要试验或验证的分析

我们对电站锅炉输煤栈桥轨道吊装式巡检机器人进行了丰富的试验。试验内容涵盖了机器人的外观和结构、功能、性能、安全性能、电磁兼容性、故障检测与诊断等多个方面。试验方法包括目测及手动检查、预设路线测试、模拟故障测试、网络测试工具记录、高温/高粉尘/振动模拟测试、防尘防水测试等。

经过试验验证，电站锅炉输煤栈桥轨道吊装式巡检机器人在各项指标上均表现出色。机器人能够自主规划巡检路线，实现高频次、无间歇的巡检作业，并在巡检过程中根据实际情况调整巡检速度和频率。同时，机器人具备防碰撞、失电自锁等自我保护功能，以及实时监测、故障预警、急停等安全性能。在性能方面，机器人的定位精度、爬坡能力、续航时间、巡检效率、通信与数据传输等均达到或超过了预期目标，能够适应输煤栈桥的恶劣环境，满足实际巡检需求。

2. 预期效益

1) 经济效益：制定该标准将推动巡检机器人行业的标准化发展，提高整个行业的竞争力。同时，它还将促进相关企业的技术创新和产业升级，提高企业的经济效益和市场竞争力。此外，该标准还将为用户的选型和使用提供重要的参考依据，降低用户的使用成本和风险，减少火电厂故障停机损失，据测算可将设备返工和维修成本占比从 15% 降至 5% 以下，同时简化采购与招投标流程，将因规格不一致延长采购周期的项目占比从 50% 降至 20% 以下，从而推动整个行业的可持续发展。

2) 社会效益：制定该标准将提高巡检机器人的安全性和可靠性，减少安全事故的发生，保障作业人员生命安全。同时，它还将促进火电厂及相关行业的智能化、自动化发展，提高生产效率和产品质量水平，推动“智能制造”发展，提升能源行业运维技术水平。此外，该标准还将为用户的选型和使用提供

便利和保障，提高用户的满意度和信任度，从而推动社会的和谐稳定发展。

3) 生态效益：制定该标准将促进巡检机器人的绿色发展和节能减排。通过优化机器人的设计和制造过程，机器人采用锂电池供电并具备自主充电功能，降低能源消耗。同时，减少设备故障导致的异常排放，助力火电厂绿色低碳运行，推动相关行业的绿色发展和循环经济模式的建设，为生态环境的保护和可持续发展做出贡献。

四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况，或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

无。

五、以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

无。

六、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本标准的制定遵循国家现行的法律法规和国家标准、行业标准的要求，如《安全生产法》《产品质量法》《特种设备安全监察条例》等，以确保巡检机器人的设计、制造和使用过程中的安全性和合法性。与国家标准 GB/T 44253-2024《巡检机器人安全要求》、GB/T 36321-2018《特种机器人分类、符号、标志》相协调一致。同时，聚焦火电厂输煤栈桥轨道吊装式巡检机器人的特殊场景需求，补充细化了高温、高粉尘环境下的适应性要求及专项巡检功能，形成互补，进一步完善了巡检机器人标准体系。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

八、涉及专利的有关说明

无。

九、实施标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日

期的建议等措施建议

1) 组织措施

标准发布后，有针对性的开展《电站锅炉输煤栈桥轨道吊装式巡检机器人技术规范》培训工作，由中国特种设备检验协会联合起草单位大力宣传推广，落实标准的贯彻实施，增强标准的普及范围和实施力度，覆盖火电厂、机器人生产企业、检测机构等相关单位。

2) 技术措施

通过标准的实施、监督、评价和改进活动，使标准得到有效运用。建立标准实施跟踪机制，收集实施过程中的技术问题与应用反馈，适时开展标准修订完善工作；鼓励检测机构依据本标准开展检验检测服务，保障标准有效落地。

3) 过渡办法

由中国特种设备检验协会联合组织各级会员单位、起草单位开展学习研讨活动，解读标准内容，指导相关企业对照标准优化产品设计与生产流程，设置1个月过渡期，确保平稳过渡。

4) 实施日期

建议标准发布试运行一个月后实施，由中国特种设备检验协会联合起草单位在协会范围内开展宣贯活动，积极推动标准实施和应用，同时通过行业展会、官方网站、社交媒体等渠道推广标准，制作宣传册和解读视频，提供技术支持。

十、其他应当说明的事项

无。

标准编制组

2026年01月08日