

团体标准

T/ITS 0314-2026

公路隧道轨道式机器人智能巡检系统 技术规范

Technical specification for rail-mounted robot intelligent inspection systems in
Highway tunnels

2026-06-02 发布

2026-06-02 实施

中国智能交通产业联盟 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 系统组成及技术要求 2

5 巡检内容 6

6 作业流程 7

7 检验、验收与养护 8

8 标志、包装、运输和贮存 8

参 考 文 献 10

中国智能交通产业联盟

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。

本文件由中国智能交通产业联盟（C-ITS）提出并归口。

本文件起草单位：浙江数智交院科技股份有限公司、浙江台州沈海高速公路有限公司、北京首发公路发展集团有限公司、浙江高信技术股份有限公司、浙江永基智能科技有限公司、上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司、浙江中控信息产业股份有限公司、北京公科飞达交通工程发展有限公司、浙江景上智能装备有限公司、重庆交通大学、特路（北京）科技有限公司。

本文件主要起草人：王益维、叶蕾、陈翔、张小宁、罗高峰、陈希、应昶、陈添琪、汤灏、郑永辉、高能、王乾宏、黄宜春、周强鑫、张东森、钟福祥、陈诗蔚、朱皓、余牧、郑艺扬、高祥、薛金银、宋淼、田新广、檀亚运、全长兴、程飞、马庆禄、刘平、程新平。

公路隧道轨道式机器人智能巡检系统技术规范

1 范围

本文件规定了公路隧道轨道式机器人智能巡检系统的组成及技术要求，巡检内容，作业流程，检验、验收与养护，标志、包装、运输与贮存。

本文件适用于公路隧道中轨道式机器人智能巡检系统的设计、安装、调试、验收和运行维护。

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 4208 外壳防护等级（IP代码）
GB 50168 电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准
GB/T 191 包装储运图示标志
GB/T 7262-2025 公路通信技术要求及设备配置
GB/T 17626 电磁兼容 试验和测量技术系列标准
GB/T 28789-2025 视频交通事件检测器
JTG 5110-2023 公路养护技术标准
JTG 5210-2018 公路技术状况评定标准
JTG H12-2015 公路隧道养护技术规范
JTG H30-2015 公路养护安全作业规程
JTG/T D70-2010 公路隧道设计细则
JTG/T D70/2-01-2014 公路隧道照明设计细则
JTG/T D71-2004 公路隧道交通工程设计规范
JTG/T E61-2014 公路路面技术状况自动化检测规程
JT/T 600 交通专用通信系统工程验收规范
T/CITSA 02-2020 道路交通智能摄像机通用技术要求
T/JSCS 8-2022 高速公路日常养护巡检及经常性检查作业规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

轨道式机器人 rail-mounted robot

依托预设固定轨道作为运行载体，集成多维度感知、定位、数据采集与智能分析、异常预警及远程通信功能，以自主或半自主模式沿轨道完成特定区域“巡查-监测-诊断-记录”任务的智能化装备。

3.2

公路隧道轨道式机器人智能巡检系统 rail-mounted robot intelligent inspection system for highway tunnels

针对公路隧道特殊环境，以轨道式机器人为核心，集成数据采集、AI 诊断、预警联动、智能化运维，能够自动完成公路隧道内设施设备、环境状况等巡检任务，并对数据进行分析处理和预警的智能化系统。

4 系统组成及技术要求

4.1 系统组成

公路隧道轨道式机器人智能巡检系统由以下部分组成：

- 轨道式机器人，为前端执行单元，执行巡检任务并通过通信系统实时上报数据。
- 轨道系统，为轨道式机器人提供运行轨道。
- 供电系统，为轨道式机器人等提供电能。
- 通信系统，为轨道式机器人提供通信和数据传输。
- 管理平台，负责任务管理、机器人控制、数据分析与存储，并通过开放接口实现与用户管理系统的对接。

4.2 轨道式机器人

4.2.1 一般要求

- 应具备移动、感知、数据处理等能力。
- 应具备集成高清摄像头、红外热像仪、气体传感器、温湿度传感器、语音广播等设备的能力。

4.2.2 设备重量

设备总重应不超过轨道额定承载重量的80%。

4.2.3 运行速度

最大设计运行速度应 $\geq 5\text{m/s}$ ，可根据巡检需求实现无级调速，并具备分段限速与安全制动功能。

4.2.4 定位精度

定位精度应不低于 $\pm 30\text{mm}$ ，能准确记录位置信息。

4.2.5 续航能力

应采用高容量、长寿命的锂电池供电，续航时间应不低于4h，完成巡检任务后能自动返回充电点充电。

4.2.6 避障要求

轨道式机器人应搭载避障模块，避障响应距离宜在350mm~4000mm，能够自动探测周围环境。当识别到轨道上存在障碍物且无法安全通过时，能自动停止巡检任务，并向监控中心报警。

4.2.7 检测精度

4.2.7.1 高清摄像头分辨率应 $\geq 1920 \times 1080$ ，像素应 ≥ 400 万，光学变焦倍数应 ≥ 32 倍，可清晰识别隧道内设施设备表面缺陷、标识牌信息等。

4.2.7.2 红外热像仪测温精度应不低于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，测温范围宜在 $-20^{\circ}\text{C} \sim +300^{\circ}\text{C}$ ，可有效检测隧道内设备温度异常情况。

4.2.7.3 气体传感器对一氧化碳、硫化氢等有害气体检测精度应达到ppm级，响应时间应 $\leq 30\text{s}$ 。

4.2.7.4 温度传感器测量精度应不低于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度传感器测量精度应不低于 $\pm 5\%\text{RH}$ 。

4.2.8 语音广播

应支持语音播报和远程喊话功能，支持现场语音监听。拾音设备灵敏度应 $\geq -30\text{dB}$ 。

4.2.9 电磁兼容性

应通过GB/T 17626系列标准规定的静电放电抗扰度、射频电磁场辐射抗扰度、电快速瞬变脉冲群抗扰度等电磁兼容试验。

4.2.10 环境适应性

设备应适用于高速公路隧道环境，能在温度 $-20^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $5\% \sim 95\%$ 、存在粉尘、汽车尾气及车辆通行振动的恶劣环境下正常工作，外壳防护等级应不低于IP65。

4.2.11 挂载接口

应采用可拆卸连接结构，可实现机械连接、电连接和通信连接的同步对接，具有良好的防水、防尘性能。

4.3 轨道系统

4.3.1 轨道材质

4.3.1.1 宜采用材质为铝合金的轨道，技术参数应符合GB/T 3880.1-2006和GB/T 6892-2006要求。

4.3.1.2 导轨表面应采用硬质处理工艺，应具备防锈防腐性能，技术应参数符合GB/T 8013.1-2007要求。

4.3.2 轨道强度

4.3.2.1 应满足弯曲度 $\leq 4.8\text{mm}$ ，扭拧度 $\leq 3.9^{\circ}$ ，抗拉强度 $\geq 265\text{N/mm}^2$ ，非比例延伸强度 $\geq 245\text{N/mm}^2$ 。

4.3.2.2 应满足断后伸长率 $A_{50} \geq 7\%$ ，抗拉强度 $R_m \geq 260\text{MPa}$ ，规定非比例延伸强度 $R_{P0.2} \geq 240\text{MPa}$ ，布氏硬度 ≥ 95 。

4.3.3 吊装支架

4.3.3.1 吊装支架及相关结构件宜采用Q235材质，表面宜采用热浸锌处理，技术参数应符合GB/T 18226 – 2015《公路交通工程钢构件防腐蚀技术条件》要求。

4.3.3.2 支架固定后应在4400N拉拔力下，隧道面无损伤，支架无变形。固定螺栓埋深应 $\geq 65\text{mm}$ ，支架间距宜2m-3m，可根据极限载荷承重进行调整。

4.3.4 安装位置

4.3.4.1 轨道宜沿隧道纵向设置，安装于隧道侧壁。

4.3.4.2 布设时应确保不影响车辆正常通行及日常检修作业，轨道与管道、电缆等其他设施之间应满足设计净空要求。

4.3.4.3 不同车道数量隧道的轨道式机器人部署位置如图1.1-图1.3所示。

4.3.4.4 在布设时应避免遮挡光源，同时确保轨道不干扰通风孔和排风口。

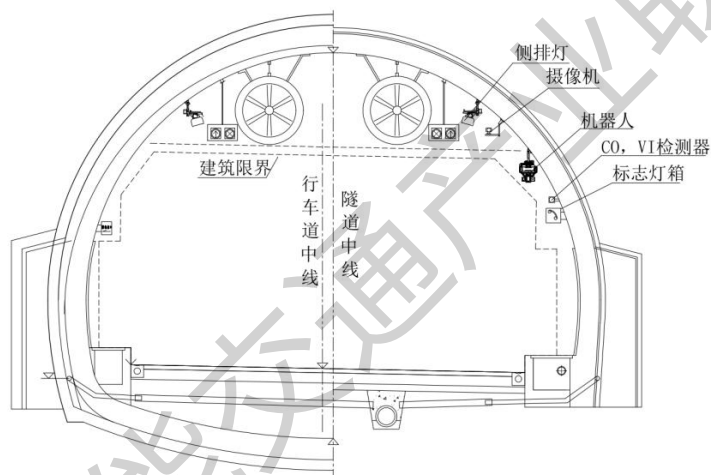


图 1.1 两车道轨道式机器人安装示意图

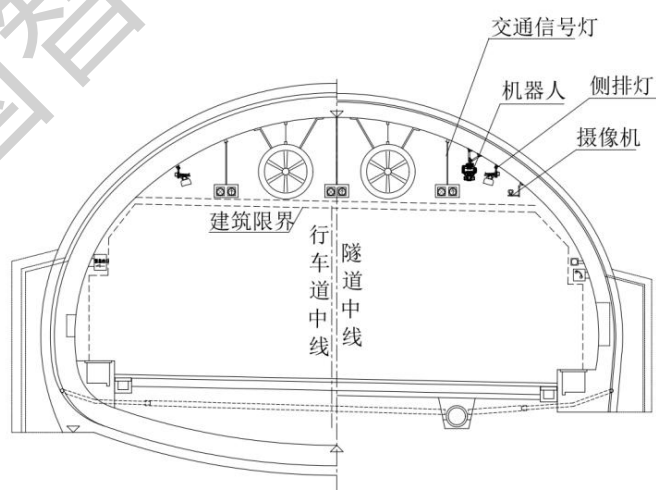


图 1.2 三车道轨道式机器人安装示意图

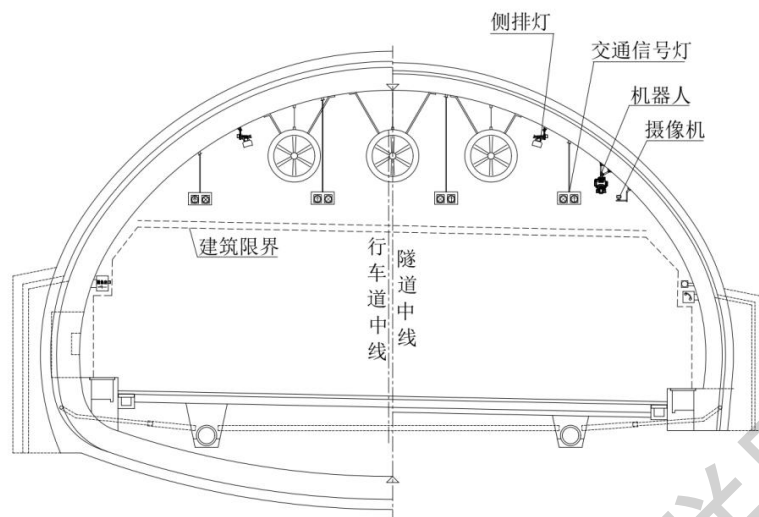


图 1.3 四车道轨道式机器人安装示意图

4.3.5 检修装置

4.3.5.1 宜在轨道上配置升降检修装置，可将轨道式机器人从运行轨道上降至地面，应支持手动模式和远程控制模式。

4.3.5.2 升降检修装置工作时不应影响车辆的正常通行，检修装置宜设置在隧道紧急停车带处。

4.4 供电系统

4.4.1 充电方式

宜采用非接触式的无线充电方式给轨道式机器人充电，应支持过充、过放、短路和过热保护功能。

4.4.2 充电时间

轨道式机器人从低电量至满电量的充电时间应 ≤ 2 小时。

4.5 通信系统

4.5.1 通信方式

宜采用无线+有线组合的通信方式。

4.5.2 通信速率

传输速率应 $\geq 1\text{Gbps}$ 。

4.5.3 通信稳定性

通信中断时间应 $\leq 5\text{s}$ ，数据传输丢包率应 $\leq 1\%$ 。

4.5.4 数据加密

应具有数据加密的功能，确保巡检系统的信息安全。

4.5.5 断点续传

轨道式机器人应具备数据本地存储功能，应支持数据断点续传和补发功能，平台应支持补发数据的接收。

4.6 管理平台

4.6.1 信息综合展示

应具备针对轨道式机器人巡检采集数据的综合展示与统计分析功能，能够自动生成统计报表，对智能巡检关键信息进行图形可视化展示。

4.6.2 巡检作业管理

应具备对巡检计划、设备及日常巡检工作进行综合管理的功能，能够自动生成巡检记录与月报，可对巡检次数、巡检里程、巡检时长等进行综合统计，可查看实时巡检状态和历史巡检记录。

4.6.3 病害智能分析

应具备对隧道病害进行数据统计和智能分析的功能。能够自动化统计并展示出隧道病害总数、病害类型、病害尺寸等信息，并能够按照轨道式机器人定拍点及病害类型搜索病害详情，对比前期同处巡检的图片，更直观地展示病害的演变过程。

4.6.4 巡检视频管理

应具备巡检视频查看及基础管理功能，支持用户查询调用历史采集视频，并支持巡检采集图片的在线全屏、播放功能。同时，可根据业务需求，提供新增、编辑、删除等视频管理功能。

4.6.5 综合决策支撑

宜能够利用巡检数据进行统计分析，为优化巡检、加强安全管理等工作提供决策支撑。

5 巡检内容

5.1 设施设备巡检

5.1.1 宜涵盖通风设备、照明设备、消防设备、监控设备、供配电设备等。

5.1.2 应能检查设备外观完整性、运行状态等。

5.1.3 隧道设施设备巡检应符合JTG H12-2015的规定，包括标志、标线、轮标、照明设施、通风设施等，巡检频率能根据养护需求设定。

5.1.4 一旦发现隧道内设施设备异常，应及时向平台推送告警，并记录异常位置。

5.2 隧道结构巡检

5.2.1 宜能检测隧道衬砌裂缝、渗漏水、剥落、变形等病害，检查隧道结构的稳定性。

5.2.2 隧道结构巡检应符合JTG H12-2015的规定，包括衬砌、路面、检修道、排水系统、吊顶等方面内容，巡检频率能根据养护需求设定。

5.2.3 当发现隧道内结构异常时，应及时向平台推送告警，并记录异常位置。

5.3 隧道环境巡检

5.3.1 应能辅助监测隧道内温湿度、有害气体浓度、能见度等环境参数，检测是否存在异常火源、烟雾等。

5.3.2 若发现隧道内环境异常，应及时向平台推送告警，并记录异常位置。

5.4 交通状况巡检

5.4.1 应能辅助识别隧道内车辆违章停车、逆行、拥堵等异常交通状况。

5.4.2 在隧道内部发生突发状况时，应能支持应急联动，第一时间前往事故发生位置，并自动开启视频录制功能，及时保存和传输事故现场数据。

5.4.3 管理人员应能通过语音功能以及实时监控功能对隧道内事故现场进行指挥调度，隧道现场人员也可及时反馈现场情况，开展应急救援。

6 作业流程

6.1 巡检计划制定

依据隧道特点、设备运行状况等因素，制定合理的巡检计划，包括巡检时间、路线、频次等内容。

6.2 巡检前准备

检查轨道式机器人电量、设备状态，确保通信正常，轨道无障碍物。

6.3 巡检执行

轨道式机器人应支持以下三种模式：

——自动巡检模式：轨道式机器人应按照预设路线和任务进行巡检，实时采集数据并传输至监控后台。

——手动巡检模式：由操作员远程手动操作轨道式机器人执行巡检任务。

——半自动巡检：轨道式机器人应按照预设路线和任务进行巡检，作业过程中，需巡检人员参与进行巡检数据采集并监控作业过程。当轨道式机器人出现故障或者其他突发状况时，由巡检人员切换至手动控制模式中中止作业并返回。

6.4 数据处理与分析

6.4.1 监控后台应能对采集的数据进行处理、分析和可视化展示，对比历史数据和标准阈值，判断隧道设施设备和环境是否正常。

6.4.2 对于日常巡检的数据，应能生成隧道日常巡检报告，记录隧道的安全状态和存在的问题，为运营养护部门提供处理依据。

6.5 告警与处置

6.5.1 告警分类

根据告警紧急程度，分为以下三种等级：

——一级告警（紧急/重大事件）：发生交通事故、火灾、危化品泄漏、隧道结构异常等重大紧急事件时触发。

——二级告警（一般/隐患事件）：检测到机电设备轻微故障、人员违规作业（如未按规定穿戴反光背心）、临时交通标识轻微偏移、环境参数异常等不影响正常通行的安全隐患时触发。

——三级告警（提示/状态类事件）：检测到设备电量偏低、轨道异物轻微遮挡、环境参数接近阈值、设备运行状态轻微异常等需关注但无需立即处置的事件时触发。

6.5.2 处置要求

6.5.2.1 一级告警：轨道式机器人应自动切入应急模式，快速赶赴现场，实时回传高清视频及监测数据，为应急决策提供现场依据。同时应启动语音广播，循环播放警示信息，引导车辆及人员疏散，并完整记录现场全过程信息。

6.5.2.2 二级告警：系统应及时推送告警信息至相关责任人员，提醒及时整改，消除安全隐患。

6.5.2.3 三级告警：系统应以提示信息推送至管理平台，记录相关状态，便于运维人员定期查看与预防性维护。

7 检验、验收与养护

7.1 检验

7.1.1 出厂检验：生产厂家在产品出厂时，应对每台轨道式机器人进行全面检验，检验项目包括外观、结构、功能、性能等。检验合格后，出具出厂检验报告。

7.1.2 现场检验：现场安装完成后，需对系统进行调试和检验，内容包括轨道安装质量、轨道式机器人运行情况、通信稳定性、检测设备精度等。

7.2 验收

7.2.1 系统试运行时间应 ≥ 1 个月，试运行期间无故障且各项性能指标满足要求时，由建设单位组织相关部门进行验收。

7.2.2 验收内容包括技术文件审查、现场测试、试运行报告审核等。

7.3 养护

7.3.1 自动清洁：宜配置自动清洁装置，可自动清理轨道式机器人本体及轨道表面的灰尘、蚊虫等杂物。

7.3.2 人工清洁：每月宜对轨道式机器人本体、轨道、摄像头、传感器等设备进行清洁保养。

7.3.3 人工检查：每月应检查轨道固定状态，查看有无松动、腐蚀或损伤，并清理轨道表面灰尘杂质及周边障碍物。

7.3.4 系统检查：每月应检查系统运行状态、设备故障和告警信息，确保各项功能正常可靠。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

产品应有清晰的铭牌，标注产品名称、型号、生产厂家、生产日期、主要技术参数等信息。

8.2 包装

应采用合适的包装材料，确保产品在运输和贮存过程中不受损坏。包装内应附带产品说明书、合格证、保修卡等文件。

8.3 运输

运输过程中应防止碰撞、雨淋、受潮，按照包装图示标志要求进行装卸。

8.4 贮存

产品应贮存在温度为-10℃-40℃，相对湿度 $\leq 85\%$ ，通风良好、无腐蚀性气体的仓库内。

中国智能交通产业联盟

参 考 文 献

- [1] GB 4208 外壳防护等级（IP 代码）
 - [2] GB 50168 电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准
 - [3] GB/T 191 包装储运图示标志
 - [4] GB/T 7262—2025 公路通信技术要求及设备配置
 - [5] GB/T 17626 电磁兼容 试验和测量技术系列标准
 - [6] GB/T 28789—2025 视频交通事件检测器
 - [7] JTG 5110—2023 公路养护技术标准
 - [8] JTG 5210—2018 公路技术状况评定标准
 - [9] JTG H12—2015 公路隧道养护技术规范
 - [10] JTG H30—2015 公路养护安全作业规程
 - [11] JTG/T D70—2010 公路隧道设计细则
 - [12] JTG/T D70/2-01—2014 公路隧道照明设计细则
 - [13] JTG/T D71—2004 公路隧道交通工程设计规范
 - [14] JTG/T E61—2014 公路路面技术状况自动化检测规程
 - [15] JT/T 600 交通专用通信系统工程验收规范
 - [16] T/CITSA 02—2020 道路交通智能摄像机通用技术要求
 - [17] T/JSCTS 8—2022 高速公路日常养护巡检及经常性检查作业规程
-

中国智能交通产业联盟

标准

公路隧道轨道式机器人智能巡检系统技术规范

T/ITS 0314-2026

北京市海淀区西土城路 8 号（100088）

中国智能交通产业联盟印刷

网址：<http://www.c-its.org.cn>

2026 年 6 月第一版 2026 年 6 月第一次印刷