

四足巡检机器人（通用版）

# 技 术 方 案

杭州宇树科技有限公司

2026 年

# 目录

|                      |    |
|----------------------|----|
| 一、 项目需求分析 .....      | 4  |
| 二、 行业应用场景 .....      | 4  |
| 2.1 电网应用场景 .....     | 4  |
| 2.2 电厂应用场景 .....     | 6  |
| 2.3 水厂应用场景 .....     | 9  |
| 2.4 石油化工应用场景 .....   | 10 |
| 2.5 工厂应用场景 .....     | 11 |
| 2.6 矿冶应用场景 .....     | 12 |
| 2.7 安防应用场景 .....     | 12 |
| 三、 系统概述 .....        | 13 |
| 四、 设计方案 .....        | 14 |
| 五、 四足巡检机器人系统介绍 ..... | 15 |
| 5.1 四足巡检机器人本体 .....  | 15 |
| 5.2 后台监控平台 .....     | 18 |
| 5.3 定位系统 .....       | 23 |
| 5.4 通信平台 .....       | 23 |
| 5.5 自主充电模块 .....     | 24 |
| 六、 核心功能 .....        | 25 |
| 6.1 三维巡检 .....       | 25 |
| 6.2 视频监控 .....       | 26 |
| 6.3 红外测温 .....       | 27 |
| 6.4 智能识别-设备巡检 .....  | 28 |
| 6.5 智能识别-安防巡检 .....  | 29 |
| 6.6 智能对比分析 .....     | 30 |
| 6.7 智能巡检报表 .....     | 31 |
| 6.8 局部放电、振动检测 .....  | 32 |
| 6.9 环境监测 .....       | 32 |
| 6.10 常规及特殊巡检 .....   | 33 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 6.11 无人化自主充电 .....            | 34 |
| 6.12 自身安全防护 .....             | 34 |
| 6.13 交互式对讲指挥 .....            | 34 |
| 七、（附件）设备性能参数 .....            | 35 |
| 7.1 四足巡检机器人本体-标准版 .....       | 35 |
| 7.2 六轴机械臂 .....               | 41 |
| 7.3 双光相机 .....                | 42 |
| 7.4 云台 .....                  | 42 |
| 7.5 红外热像仪 .....               | 43 |
| 7.6 可见光高清摄像机 .....            | 43 |
| 7.7 声学成像仪 .....               | 44 |
| 7.8 气体检测仪(可选配) .....          | 44 |
| 7.9 温湿度传感器(可选配) .....         | 45 |
| 7.10 交互式实时对讲平台 .....          | 45 |
| 7.11 声光报警器 .....              | 45 |
| 八、各行业项目案例 .....               | 45 |
| 8.1 变电站-内蒙古电网 220kV 变电站 ..... | 45 |
| 8.2 电力管廊-国网北京电力管廊 .....       | 46 |
| 8.3 水厂-临港水厂巡检项目 .....         | 47 |
| 8.4 水电-棉花滩水电站 .....           | 48 |
| 8.5 火电-定州火电厂 .....            | 48 |
| 8.6 矿冶-焦家矿巡检项目 .....          | 49 |
| 8.7 安防-西部影视城安防巡检 .....        | 50 |

## 一、项目需求分析

当前电网、电厂、水厂、石油化工、工业工厂、安防等关键领域，运维面临环境复杂、高危作业多、人工效率低、巡检覆盖不全等核心痛点。传统人工巡检及轮式、挂轨式巡检设备，无法适配全场景作业需求，亟需四足巡检机器人凭借全地形通过能力、强环境适应性，实现各领域运维无人化、智能化，替代人工高危作业，保障设施安全稳定运行。

1. 电网领域：涵盖室外变电站、室内配电房、地下管廊等场景，需应对高压强电磁、潮湿积水等复杂环境，解决人工巡检安全风险高、覆盖不全的痛点，实现设备测温、缺陷检测等全天候无人巡检。

2. 电厂领域：适配火电、光伏、风电、水电、核电等各类场站，应对高温、粉尘、野外崎岖地形、辐射等工况，替代人工高危作业，排查设备隐患，提升运维效率与发电效益。

3. 水厂领域：针对取水口、加氯间等潮湿、密闭高危场景，需检测设备磨损、管道渗漏、气体泄漏，解决人工巡检风险高、效率低的问题，保障供水安全。

4. 石油化工领域：适配装置区、储罐区等易燃易爆、有毒有害场景，需防爆、高防护的巡检设备，实现 24 小时不间断巡检，替代人工高危作业，提升安全管控水平。

5. 工业、矿冶领域：应对矿区、钢铁厂、选煤厂等高温高粉尘、腐蚀性环境，排查设备隐患，降低人工作业风险，助力工厂无人化运维。

6. 安防领域：覆盖文旅、综保区等园区，弥补人工巡逻盲区，实现周界防范、异常预警等功能，构建立体化安防体系。

各领域核心需求集中在：替代人工完成高温、高空、高危、恶劣环境下的巡检作业；实现全域、全天候无人化巡检，弥补盲区；提升巡检精准度与效率，及时排查隐患；实现巡检数据实时监测预警，助力各领域数字化、智能化转型。

## 二、行业应用场景

### 2.1 电网应用场景

#### 2.1.1 四足巡检机器人室外变电站/换流站应用场景

四足巡检机器人可在室外变电站、换流站全域自主巡检，轻松适应电缆沟盖

板、石子路、草地、台阶、坡地等复杂地形，无惧高压强电磁环境干扰，精准完成主变、断路器、隔离开关、互感器、避雷器等关键设备的红外测温、表计识别、外观缺陷检测、设备异响及局放监测，实现全天候、无人化、全覆盖智能巡检，有效替代人工高风险作业，保障变电站/换流站安全稳定运行。



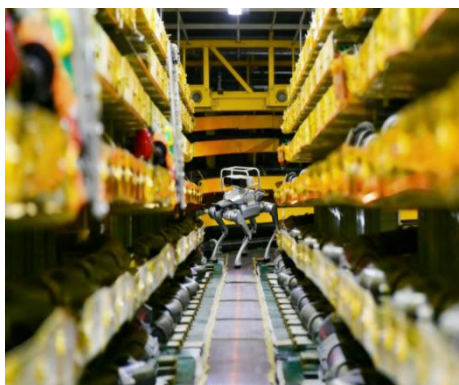
### 2.1.2 室内配电房、GIS 室核心设备巡检应用场景

四足巡检机器人适用于**室内配电房、GIS 室**等封闭空间智能巡检，可自主上下台阶、平稳穿行设备间隙，精准完成开关柜、环网柜、GIS 设备、母线、仪表等核心设备的 AI 表计识别、开关状态判别、红外测温、局部放电及异响检测，实时监测环境温湿度，实现室内设备全天候无人巡检、异常智能预警，大幅提升配电与 GIS 设备运维安全性与数字化水平。



### 2.1.3 地下管廊电缆接头、电缆桥架核心设备巡检应用场景

四足巡检机器人可深入**地下电缆管廊、电缆隧道**等有限密闭空间，适应潮湿、积水、泥泞等恶劣环境，自主完成电缆接头、电缆桥架、接地装置、支架等关键设施的巡检作业，通过红外测温精准监测接头过热、AI 视觉识别电缆破损与异物入侵，同时联动气体传感器实时监测缺氧及有毒有害气体浓度，有效规避爆炸、中毒、触电等高风险，实现地下管廊全天候无人化、智能化安全巡检。



## 2.2 电厂应用场景

### 2.2.1 火电/综合能源站应用场景

四足巡检机器人可在火力发电厂、综合能源站全域自主巡检，适应锅炉零米层、汽机平台、输煤栈桥、灰渣区、脱硫脱硝岛、升压站、化学水处理车间等复杂场景，无惧高温、粉尘、噪声、酸碱腐蚀环境，自主跨越台阶、管沟、障碍物，精准完成汽轮机、发电机、锅炉、磨煤机、风机、水泵、阀门、开关柜、仪表等设备的红外测温、振动与异响监测、跑冒滴漏识别、仪表读数识别、阀门状态判别、气体浓度监测，实现火电厂全区域全天候无人化智能巡检，替代人工高温高危作业，保障机组安全稳定运行。





## 2.2.2 光伏电站应用场景

四足巡检机器人适用于地面光伏电站、山地光伏、水面光伏、荒漠光伏电站巡检，可适应山地坡地、荒漠戈壁、草地、盐碱地等复杂地形，无惧强光、风沙、高温暴晒、雨雪环境，自主完成光伏组件、逆变器、汇流箱、箱变、电缆沟、支架基础等巡检作业；通过红外热成像识别组件热斑、遮挡异常、接线盒过热，AI 视觉识别组件破损、支架锈蚀、杂草遮挡与异物入侵，实现大型光伏电站全域无人化巡检，提升运维效率与发电效益。



### 2.2.3 风电场应用场景

四足巡检机器人适用于风电场智能巡检，可适应山地、坡地、草地、砂石路、滩涂等野外复杂地形，无惧风沙、雨雪、盐雾侵蚀，在风机箱变区域、升压站、集电线路区域自主完成风机塔筒外部、箱式变压器、开关柜、电缆沟、基础平台等设施巡检；通过红外测温监测电气设备过热、AI 视觉识别设备锈蚀与异物缠绕，同时监测环境温湿度、风速风向，部分场景可配合升降机构进入塔筒低层区域作业，实现风电场野外无人化巡检，大幅降低高空与野外作业风险。



### 2.2.4 水电站/抽水蓄能电站应用场景

四足巡检机器人可深入水电站、抽水蓄能电站地下厂房、大坝廊道、水轮机层、发电机层、泄洪设施、尾水区域、升压站等封闭潮湿空间，适应积水、泥泞、潮湿、高空平台等恶劣环境，自主完成水轮发电机组、主变、开关柜、阀门、压力管道、大坝渗流监测点、电缆桥架等设备设施巡检；通过红外测温监测设备过热、视觉识别结构裂缝与渗漏、监测环境气体与湿度，规避人员进入密闭廊道、高空区域的安全风险，实现水电站全天候智能巡检。



### 2.2.5 核电应用场景

四足巡检机器人可应用于核电站常规岛、辅助厂房、放射性控制区外围、电气厂房、泵房等区域，适应封闭、高安全等级、低辐射可控作业环境，自主完成核岛辅助设备、常规岛汽轮发电机组、水泵、阀门、仪表、电气开关柜、冷却系统等设备的红外测温、外观缺陷识别、仪表读数、渗漏检测、环境参数监测，替代人员进入低辐射风险区与密闭危险区作业，实现核电站关键区域少人化、无人化智能巡检，保障核安全与设备运行可靠性。

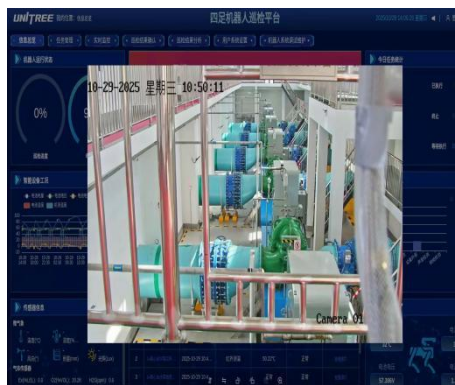


### 2.3 水厂应用场景

在取水口、沉淀池、滤池、加压泵站等场景中，四足机器人可替代人工进入潮湿、密闭或有限空间环境，搭载高清摄像头、声纹成像仪和各类传感器，检测水泵轴承磨损、管道渗漏；对各类表记、数字仪表进行 ai 识别，分析设备工况。



二氧化碳罐检测



离心机水泵-声纹检测



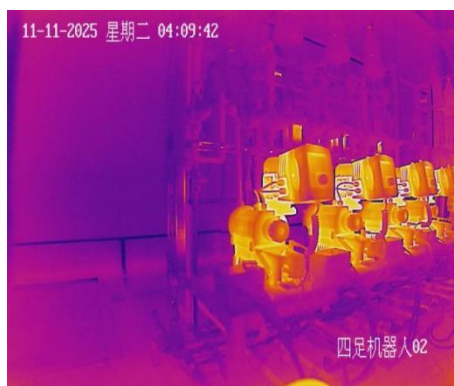
污水处理-现场巡检



加注泵-跑冒滴漏



加氯间-跑冒滴漏



加氯计量泵-红外测温

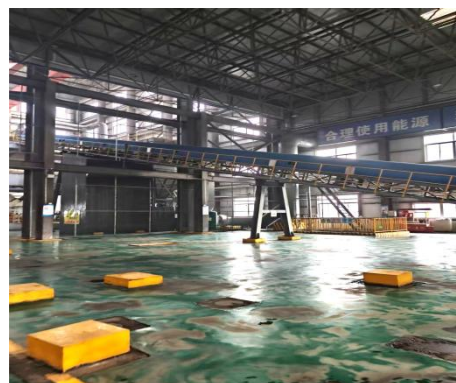
## 2.4 石油化工应用场景

四足巡检机器人可广泛应用于石油化工装置区、储罐区、管廊、装卸站及海上平台等高危场景，凭借整机防爆认证、IP67 高防护等级与强越障运动能力，自主完成设备红外测温、可燃/有毒气体检测、仪表智能识别、跑冒滴漏监测及应急环境侦察等任务，替代人员进入易燃易爆、有毒有害、高温高湿等危险区域，实现 24 小时不间断智能巡检，大幅提升石化厂区安全管控水平与运维效率，为石油化工安全生产提供可靠的智能化解决方案。



## 2.5 工厂应用场景

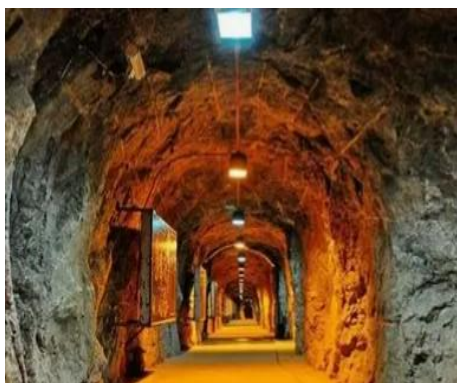
在恶劣的工业场景中如钢铁厂、选煤厂、污水处理厂等。针对高温高粉尘、潮湿积水、腐蚀性气体、异味浓重、地面湿滑等复杂工况，机器人能够自主穿行于生产车间、皮带廊道、生化池、泵房、加药间及各类配电室区域，通过红外测温、气体检测、视觉识别、液位与设备状态监测等功能，实时排查设备超温、线路老化、管道渗漏、皮带跑偏、有害气体超标等安全隐患，有效降低人员在高危、有毒有害及恶劣环境下的作业风险，提升巡检效率与数据可靠性，助力厂区实现全天候、智能化、无人化的设备运维管理。





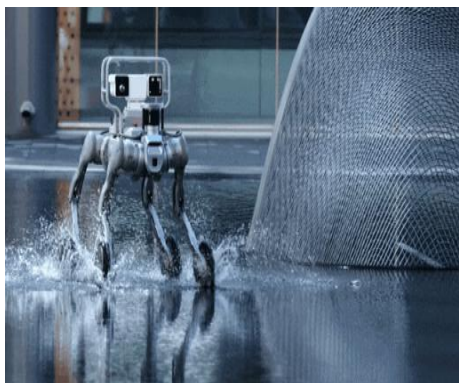
## 2.6 矿冶应用场景

四足巡检机器人凭借其灵活的移动性能和强大的环境适配能力，广泛应用于矿冶全场景，全面覆盖各类矿区、有色金属冶炼厂区及钢铁冶炼厂区，完美适配矿冶领域多样化、高风险、恶劣化的作业环境，有效替代人工完成各类高风险巡检任务，从根本上规避人工巡检的安全隐患，提升矿冶生产的智能化、安全化水平。



## 2.7 安防应用场景

四足巡检机器人在文旅安防、综合保税区、科技园区、商业园区、IDC 园区等场景中发挥着重要安防巡检作用。在开放园区，机器人可在建筑街巷、开阔场地、夜间无人区域开展常态化巡逻，实现周界防范、异常人员识别、烟火监测与突发情况预警，弥补人工巡逻盲区，保障园区物品防盗与游客安全。在综保区等封闭管理园区，机器人可沿卡口、围网、仓储区、道路全天候自主巡检，完成入侵检测、车辆异常识别、设备状态监控、环境安全巡查等任务，具备越障、爬坡、夜视能力，有效提升园区安防智能化水平，实现人防+技防+机防的立体化安全防控体系。



### 三、系统概述

四足巡检机器人系统以高适应性四足机器狗为移动底盘，可适配厂站高温、高粉尘、高湿度、高空廊道、设备密集、高压带电、有毒有害气体等特殊作业环境，搭载双光云台、声学成像仪、局放传感器、气体检测仪、温湿度传感器、激光雷达、对讲广播、声光报警等多类型感知与交互模块；同时配套建设 AI 智能分析中台等上层系统，构建集自主导航、智能识别、状态监测、异常预警、远程管控、数据追溯、任务调度、模型迭代于一体的全栈式智能巡检体系。



图：整体框架

## 四、设计方案

为实现四足机器人巡检的自动化、智能化、标准化落地，适配现场运维规范要求，解决传统巡检效率低、适配性弱、部署成本高的痛点，本方案围绕协议对接、点位配置、巡检执行、表计识别及实施落地五大核心维度，构建全流程、高可靠的四足机器人巡检系统设计体系，具体设计内容如下：



►**标准对接协议设计：**构建统一的设备与系统对接框架。通过标准化通信协议、数据格式与接口规范，实现四足机器人巡检系统与现场现有监控、检修、运维等系统的无缝集成，支持各类巡视终端、感知设备的快速接入与数据互通，保障跨系统协同的稳定性与兼容性，为全场景巡检数据流转奠定基础。适配现场的运维数据交互需求，确保巡检数据与厂站现有运维管理平台高效联动。

►**智能辅助配点设计：**依托内置高效点位配置工具，结合 AI 设备部件识别模型，自动解析现场三维场景与设备结构，精准定位关键巡检部位（如锅炉受热面、汽机轴承、变压器接头、仪表表盘、刀闸等），智能生成标准化巡视点序列。替代传统人工逐点标注方式，大幅降低配点工作量，提升点位布局的科学性与一致性，保障厂站核心设备、辅助系统巡检覆盖的全面性与精准性，适配厂站不同区域（主厂房、锅炉房、配电间等）的设备分布特点。

►**动态自主巡检设计：**基于视觉感知与语义理解技术，系统可自动识别巡视内容与设备部件状态，结合预设任务与实时环境信息，自主规划巡检路径、控制机器人姿态与采集参数。无需人工干预即可完成全流程巡检任务，有效减少点位

配置与现场操作工作量，提升巡检效率与响应速度，适配复杂多变的厂站现场工况。

➤**无建模表计识别设计：**采用增强表计识别算法，无需预先构建设备三维模型，即可自动定位表计位置、识别类型（指针式、数字式等），通过量程语义分割与图像畸变校正技术，精准提取表计读数。实现免标定、高鲁棒性的表计自动识别与数据采集，解决传统建模依赖大、部署成本高的痛点，提升巡检数据采集的自动化水平。

➤**高效实施流程设计：**构建覆盖安装、部署、调试、实施、验证全生命周期的标准化 SOP，明确各阶段操作规范、质量标准与交付物。结合现场安全管理要求，优化部署流程，规避高空作业、设备启停等潜在风险，通过流程化管控与工具化支撑，保障系统从现场部署到验收落地的高效推进，降低实施复杂度与风险，确保四足机器人巡检系统快速适配不同行业类型，稳定投入运维，助力实现客户运维智能化升级。

## 五、四足巡检机器人系统介绍

系统由四足巡检机器人本体、检测平台、充电平台、通信平台、定位模块、后台监控平台等组成。

### 5.1 四足巡检机器人本体

#### 5.1.1 宇树 B2 大型巡检机器狗

宇树 B2 智能巡检四足机器人，是我公司面向工业巡检与安防巡检场景推出的高性能无轨自主行走平台，可灵活搭载双光云台、定制化气体检测仪、声成像仪及对讲、报警、激光避障等设备，搭载高性能处理器与全地形自适应运动算法，在复杂路况下行走稳定灵活。整机含电池约 65kg，续航持 4-6 小时，防护等级达 IP67-IP68，通过前后双激光雷达实现全域感知与自主避障，支持二次开发与功能扩展，广泛适用于电力、能源、化工等场景巡检作业，是高效可靠的智能化巡检解决方案。



图：B2 四足巡检机器人本体

**核心产品优势：**宇树 B2 全栈自研核心部件，扭矩与负载性能行业断层，全地形、长续航（6h）、高防护、宽温域稳定作业，模块化扩展灵活，适配各类复杂场景高效巡检作业。

## 核心产品优势



### 卓越的地形适用能力

- 无往不胜
- 无所畏惧

四足巡检机器人拥有良好的通过性，可以跨越边界障碍，打通室内外的巡检场景，降低巡检成本。

良好的通过性可以缩短巡检路径、找到更合适的观测位置，提升巡检效率与数据精确度。

采用仿生四足式机构设计和动态平衡控制技术，凭借高扭矩关节和高速运动控制算法，实现斜坡、坑洼、石子路、草地等复杂路面的快速移动能力可自由搭载机械臂代替人工危急操作后，可以直接隔绝由人员操作带来的安全隐患。



### 快速换电能力

- 智能自主充电
- 快速更换电池

四足巡检机器人支持自主充电解决方案。

电池支持快速替换，百变应用场景任意适应。



### 持续的负载与续航能力

- 持续负载
- 强劲扭矩

持续负载提升100%，负载续航能力飙升200%。

持续行走负载大于40kg；20kg负载持续行走大于4小时，里程大于15km；空载持续行走大于5小时，里程大于20km。

关节性能激增170%，360N.m强劲扭矩，能够提供极致的性能，为工业操作提供更大的灵活性和稳定性。

►**行业顶配性能：**整机 1098mm×450mm×645mm，全栈自研核心关节、控制器、电池等关键部件。搭载 360N·m 高扭矩关节，性能较同级别机型提升 100%-200%，硬件与运维成本更具优势，40kg 持续负载、120kg 静态负载能力。

►**强全地形适配：**仿生四足+自适应动态平衡算法，可攀爬 45°陡坡、轻松翻越 40cm 高台阶，最大奔跑速度超 6m/s（21.6km/h），适配碎石、泥泞、湿滑、覆冰等复杂工况，动态稳定性强，斜坡、阶梯上可自由转身、全方位攀爬。

►**长续航高可靠：**45Ah（2250Wh）超大容量电池，空载续航超 5 小时、里

程超 20km, 20kg 负载续航超 4 小时、里程超 15km, 续航能力较前代提升 200%; IP67 高防护, -20°C~55°C宽温域稳定运行, 32 线车规级激光雷达+多目视觉全域避障, 支持快换电池+自主充电(选配), 7×24 小时稳定作业, 减少停机与人工风险。

►**模块化易扩展:** 接口标准化+开放式软件架构, 可快速搭载多类检测设备, 支持 AI 算法本地化部署、3D 建图、集群调度、5G 远程交互, 支持定制开发与场景化升级, 可选轮足混合变形底盘(选配), 复用性强、迭代成本低。

### 5.1.2 宇树 A2 中型巡检机器人

宇树 A2 智能巡检四足机器人(别名: 星际猎影), 是我公司适配工业巡检与安防巡检场景的智能无轨行走系统, 可灵活搭载双光云台、可定制气体检测仪、声纹成像仪及对讲、报警、激光停障等设备, 搭载高性能处理器与全地形自适应算法, 能在复杂路面灵活行走, 整机带电池约 40 千克, 空载续航 20 千米, 防护等级 IP67, 依托前后双工业级激光雷达实现全方位避障, 支持二次开发, 广泛应用于巡检领域, 是高效智能的巡检解决方案。

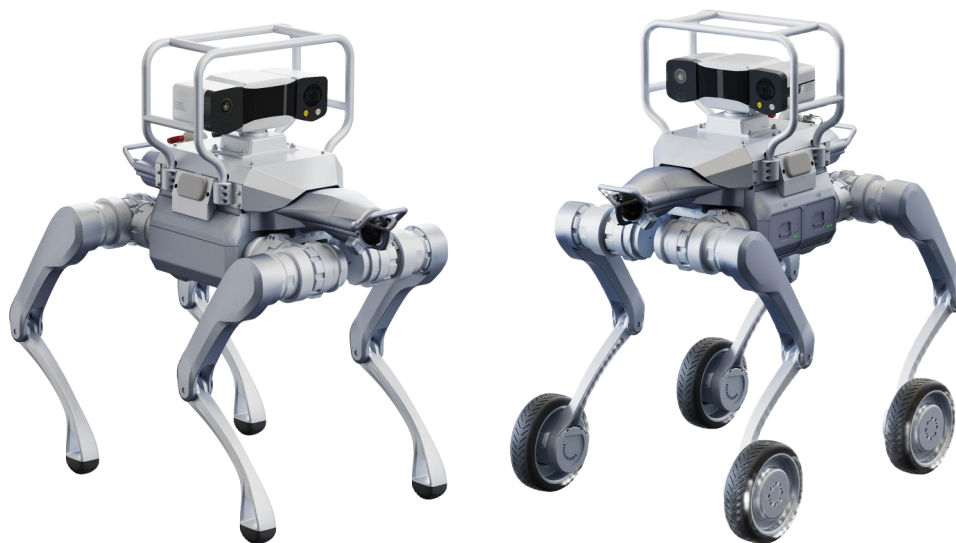


图: A2 四足巡检机器人本体

**核心产品优势:** 本四足智能巡检机器人集高性价比、强环境适应性、高可靠续航、灵活扩展与紧凑机身于一体, 全面适配厂站复杂巡检需求, 核心优势突出:

## 智能巡检机器人核心优势

### 高性价比

全栈自研，硬件与运维成本显著优于同级别机型。



### 强全地形适配

仿生四足 + 自适应算法  
可轻松翻越台阶、爬坡越障  
适配碎石、泥泞、陡坡



### 双电池热插拔、长续航可靠

双电池设计，支持热插拔；  
续航 12.5km-20km；  
双雷达+视觉全域避障；  
减少停机与人工风险。



### 模块化易扩展

接口标准，可搭载多类检测设备  
支持定制开发。

### 中型体态；强悍性能

尺寸：820mm x 440mm x 570mm；  
极限负载：100kg；稳定负载25kg；  
最大爬坡角度：45°；越障：0.5-1m；  
自适应步态，自主上下楼梯；  
运动速度：0-3.7m/s（极速5m/s）；  
工作温度：-20℃-55℃；  
防护等级：IP56-IP67；  
支持智能OTA升级



►**高性价比**：全栈自研核心部件，硬件与运维成本显著优于同级别进口机型，一次投入可长期替代人工，大幅降低巡检总拥有成本。

►**强全地形适配**：仿生四足+自适应算法，可轻松翻越台阶、爬坡越障，适配碎石、泥泞、陡坡等复杂工况。

►**长续航高可靠**：空载续航 20km，IP67 高防护，双雷达全域避障，7×24 小时稳定作业，减少停机与人工风险。

►**模块化易扩展**：接口标准化，可快速搭载多类检测设备，支持定制开发与场景化升级，复用性强。

►**身材小巧**：整机 820mmx440mmx570mm 结构紧凑、体积小巧，能够自如穿梭于设备密集区域、狭窄通道、电缆沟及电力管廊等空间受限场景，完成人工难以抵达区域的精细化巡检作业。

## 5.2 后台监控平台

后台监控平台将分析并存储本地的所有巡检数据，具备信息总览、实时监控识别、实时遥控指挥、三维巡视、巡检计划、巡检报表、历史数据等子系统，各系统的设计理念如下。

### 5.2.1 以运维用户为中心的 UI 设计

信息总览页面集中展示机器人运行状态、环境监测数据和巡检任务信息，主要包括机器人当前巡检进度、电池电量百分比、本体状态参数（如电池电压、电流、温度及机身温度等），以及环境温湿度、风速风向、雨量等实时气象数据。

同时提供实时视频监控画面、当日巡检任务完成情况统计、设备历史告警记录，并动态更新识别点位名称、识别时间与结果等实时信息，还包括设备告警和系统告警等关键状态提示，全面呈现巡检作业的各项核心指标和运行状况。



图：信息总览界面

### 5.2.2 多维度的数据查询与分析

历史查询界面分为任务查询与设备查询两大模块，对应两种差异化查询模式，满足不同维度的历史数据检索需求。

其中根据巡检任务列表进行查询界面，根据时间分类，显示了所有已经完成的巡检任务信息，通过双击某条任务可以进入到详细查询界面，查看本次任务所有设备的详细巡检情况，如图所示。



图：任务查询界面

根据设备列表查询则采用了另一种模式，通过在设备列表中勾选设备，来查询出具体某个设备的所有的巡检信息，可直观的看到该设备历史数据情况，长期数据可揭示设备性能退化趋势，例如效率下降、能耗增加等，帮助评估设备健康状态，如图所示。



图：对比分析界面

### 5.2.3 实时数据可视化

实时监控遥控界面通过拉取机器人实时视频流进行全域状态监视，在四足巡检机器人开机运行全过程中持续工作，实现对厂站/电力管廊现场及设备运行环境的实时查看与远程管控。监视场景覆盖站内设备运行状态、现场环境工况、人员及异物闯入、明火烟雾、温湿度异常等情况。同时支持机器人远程遥控操控、巡检状态实时查看、告警信息实时推送等功能。



立即执行：当前时间立即开始本次巡检任务，并暂停正在执行的任务。

定期执行：设定时间开始执行当前巡检任务。

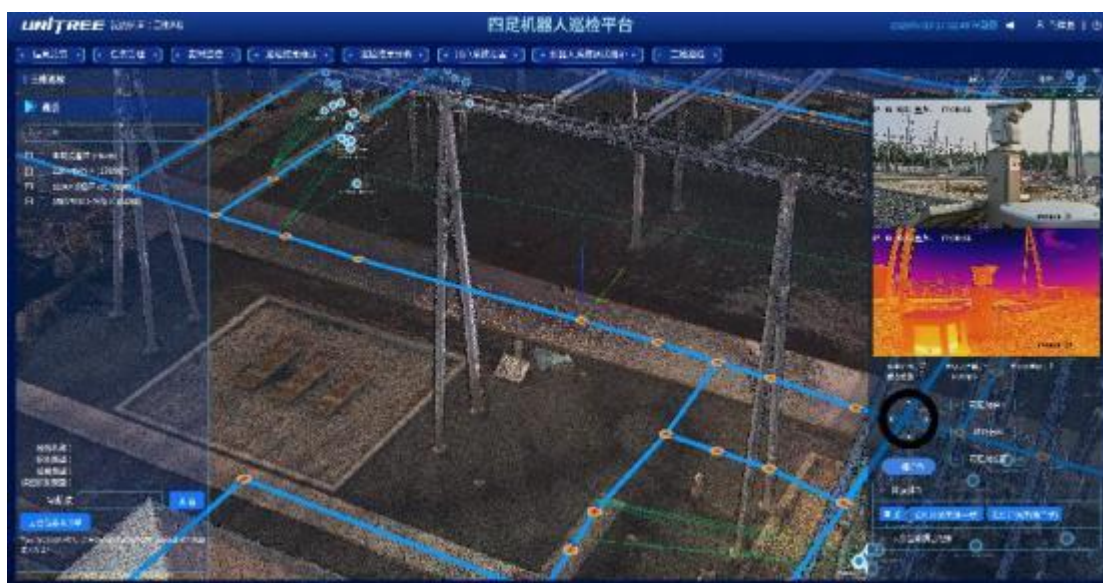
周期执行：可选择每日、每周（从日历日期选择）、每月等多种方式，确定巡检时间，按要求周期性执行巡检任务。



图：任务下发界面

### 5.2.5 三维可视化巡检

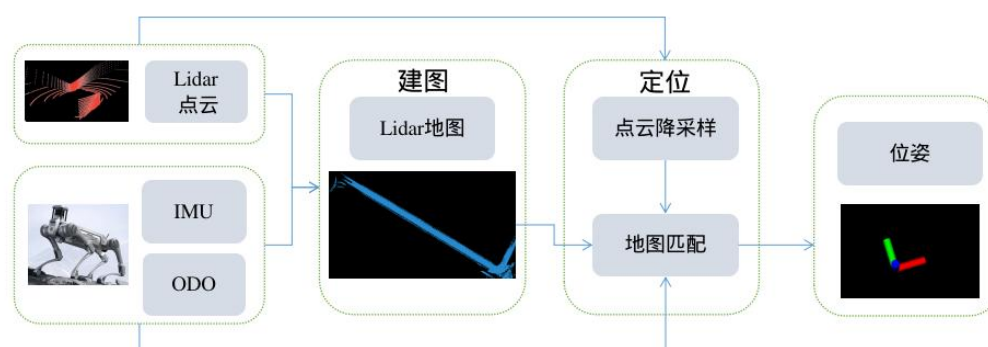
三维巡检技术，真实还原现场场景，在三维实景平台中可视化展示机器人巡检路径及设备分布。系统可实时显示四足巡检机器人的移动轨迹，精准定位其在厂站中的实际位置，定位发生故障的具体设备位置并在三维场景中标识出，直观呈现巡检状态。同时，平台支持导航拓扑图的规划与编辑，包括新增导航点、调整路径节点及修改点边属性，实现智能化巡检路径管理。



图：三维巡检界面

### 5.3 定位系统

在地图构建完成后，四足机器人需要确定自己在地图上的准确位置。四足巡检机器人通过 3D 激光雷达（Lidar）感知算法提供关于机器人周围障碍物等的信息，以及地面的状况和特征，使用惯性测量单元（IMU）和机器人本体的里程计（ODO）来获取自身的姿态和加速度信息，并结合激光雷达的数据与已构建地图进行匹配定位，结合多种传感器数据实现在负杂环境下自主定位和导航。



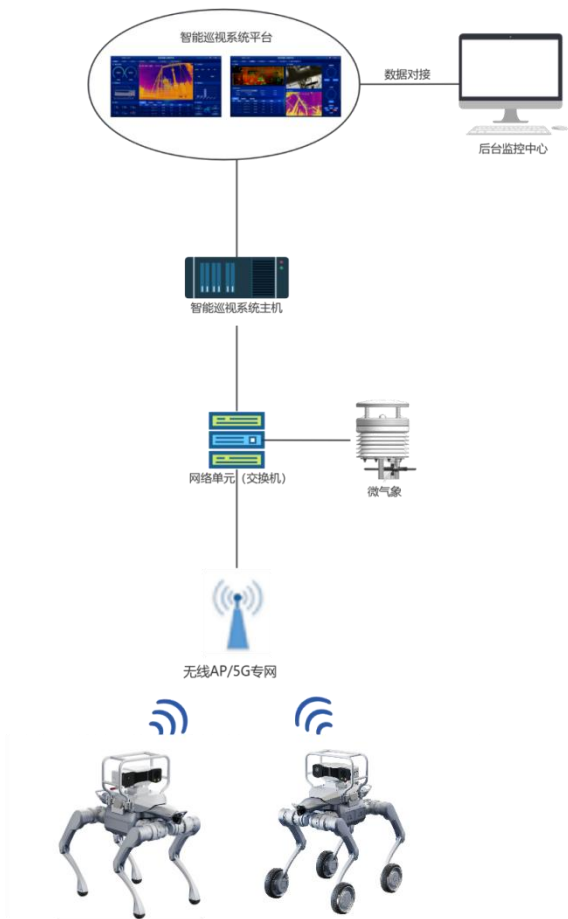
图：定位系统架构

### 5.4 通信平台

机器人智能巡检系统构建了多层级、智能化的网络架构，实现高效数据交互与远程监控管理。系统以智能巡视系统平台为核心，向下连接智能巡视系统主机，

依托网络单元，整合数据采集设备，同时通过自组局域网或 5G 专网，与四足巡检机器人建立稳定通信链路，向上则与后台监控中心完成数据对接，全方位支撑机器人巡检任务的指令下发、数据回传及远程监管，确保巡检工作高效、精准、智能开展。

系统网络拓扑简图如下图所示：



图：网络拓扑图

### 5.5 自主充电模块

为保障无人化厂站实现全天候、全自主、不间断智能巡检作业，需为巡检机器人配套建设智能充电房或布设自动充电板。充电房集成自动门控、充电对接及网络通讯等模块。

当机器人接收到回充指令后，充电房门自动开启；机器人依托高精度定位导航技术，自主驶入充电区域并完成与充电板的精准对准与可靠对接。系统实时监测电池状态，电量低于设定阈值时自动触发回充补能流程，满电后自动断开充电

连接，机器人立即重返巡检岗位继续作业。整套充电流程全程无需人工干预，形成自主闭环运行，可实 7×24 小时不间断动力保障，为无人化厂站安全稳定运行提供坚实可靠的能源支撑。充电模块设计如下：

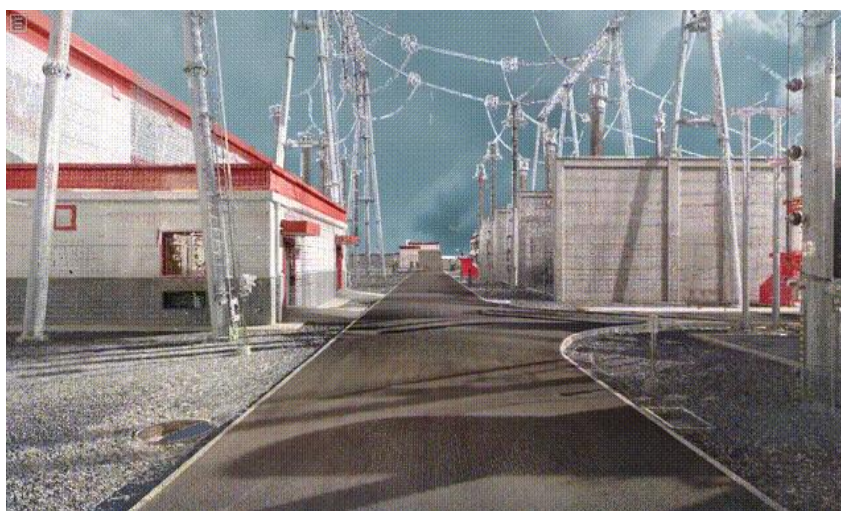


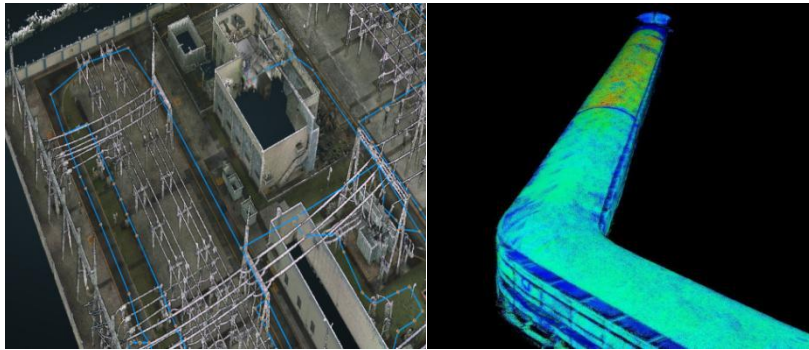
图：充电房及充电板

## 六、核心功能

### 6.1 三维巡检

我们以基建阶段移交的正向三维建模模型为基础，结合运维实际需求，对模型进行精细化优化处理，剔除冗余信息、补充运维所需关键参数，将其升级为适配运维场景的专用运维模型。实现场景的 1:1 实景复刻，为可视化巡检提供真实、精准的基础数据支撑。





图：变电站/电力管廊三维重建展示

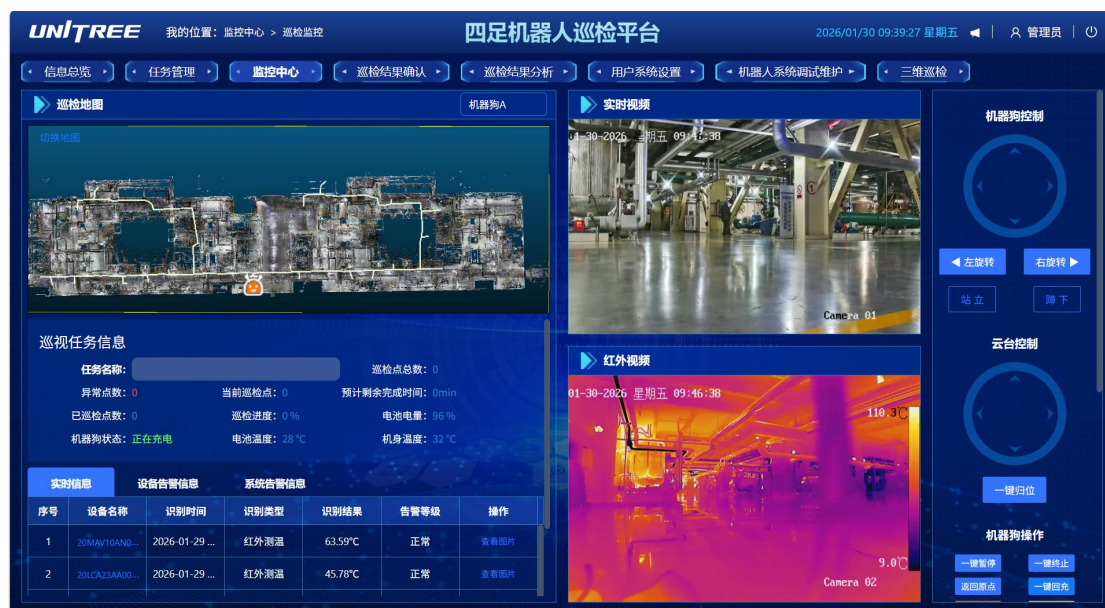
将该地图用于机器人导航的底图，就可以实时看到机器人在场站内的巡检情况。



图：三维巡检界面

## 6.2 视频监控

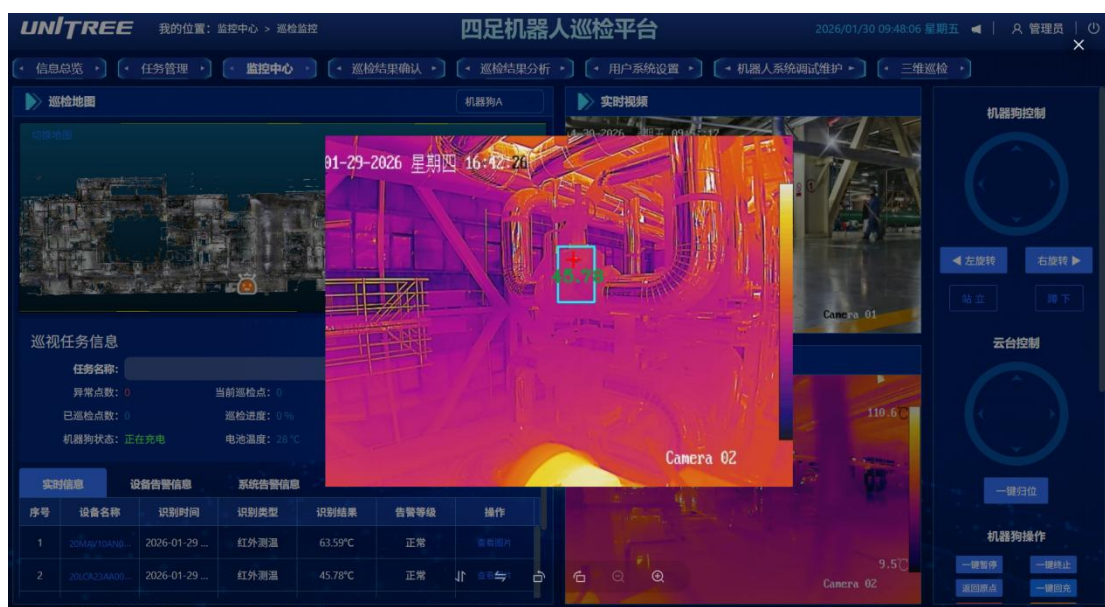
常用的固定监控系统存在着一定范围的视觉盲点，而四足巡检机器人自身具有可见光与红外视频图像采集功能，工作人员可通过上位机软件操作红外温度监控系统移动到指定位置，控制云台自由转动，可实现近距离地观察拍摄目标物体，将监控范围覆盖到盲区。机器人可拍摄出厂站内各种设备高清图像和红外热成像，并将采集到的信息经无线局域网实时传输到主控室，在主控室的工作人员便可根据图像判断出各种电力设备是否安全。当发现设备有异常情况，工作人员可在第一时间查清问题原因，并采取相应措施。



图：可见光和红外实时监控效果

## 6.3 红外测温

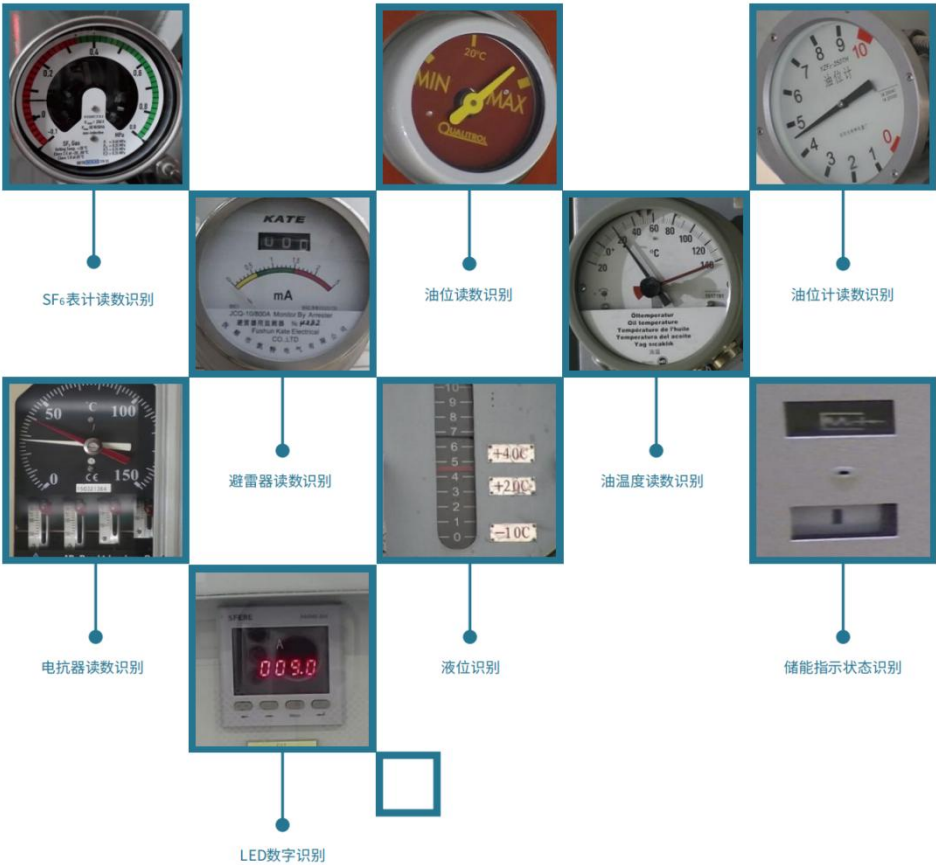
在主控室的工作人员可设定四足巡检机器人的高温报警极限值，当四足巡检机器人在工作过程中检测到某个点的温度超过上限值后，立即声光报警，以防止发生事故，造成生命危险。同时，将这些信息存储到数据库中，为之后的事故处理提供依据。



图：红外测温效果

6.4 智能识别-设备巡检

自主开发的高精度图像识别算法，基于计算机视觉与红外热成像技术，构建仪器仪表识别、外观缺陷识别；二大核心智能识别模块，实现电力设备状态的自动化、智能化巡检，替代传统人工巡检模式，提升巡检效率、精度与安全性，为厂站可靠运行提供技术支撑。



仪器仪表智能识别包括以下类型：

| 识别类别   | 识别对象                 | 技术能力                              |
|--------|----------------------|-----------------------------------|
| 指针式表计类 | 油温表、避雷器、电流/电压表、油位表   | 精准定位指针位置，自动计算并输出刻度读数，支持±1%精度      |
| 颜色指示类  | 分合指示、呼吸器、指示灯、带电指示    | 识别颜色状态变化，输出“正常/异常”状态判定，支持多场景光照自适应 |
| 数字表计类  | 雷击计数器、开关柜温度、蓄电池组电流电压 | 识别七段数码管、LCD 数字显示，输出精确数值，支持多表并行读取  |
| 刻度比例类  | 变压器油位、套管油位           | 识别液位刻度比例，输出油位百分比                  |

| 识别类别    | 识别对象                     | 技术能力                                        |
|---------|--------------------------|---------------------------------------------|
| 开关刀闸指示类 | 位置开关、空气开关、分合指示、开关柜压板、刀闸类 | 识别开关位置与压板状态，输出“分/合”“投入/退出”状态，支持复杂背景干扰下的精准识别 |

外观缺陷智能识别包括以下类型：

| 缺陷类型  | 识别对象                | 典型场景                              |
|-------|---------------------|-----------------------------------|
| 环境异物类 | 鸟巢、悬挂漂浮物            | 识别输电塔、构架上的鸟巢及空中漂浮异物，避免短路风险        |
| 设备状态类 | 呼吸器变色、表盘模糊、柜门打开、渗漏油 | 识别呼吸器硅胶颜色变化、表盘污损、设备柜门未关闭、渗漏油痕迹等缺陷 |
| 部件异常类 | 瓷瓶破损、部件锈蚀、金具松动      | 识别绝缘子破损、金属部件锈蚀、金具连接松动等外观异常        |
| 跑冒滴漏类 | 油箱、管线               | 变压器漏油、气体泄露、各类管道泄露                 |

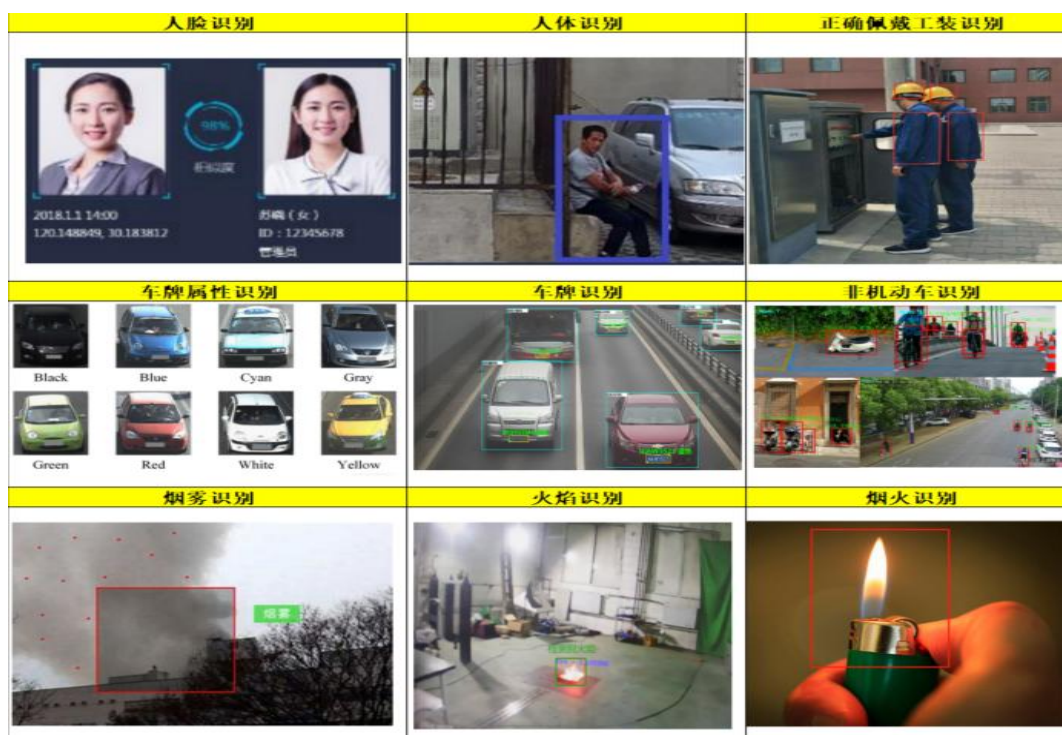
### 6.5 智能识别-安防巡检

系统采用多算法协同调度与多维度模式融合分析技术，构建了覆盖实时监控、智能研判、自动预警至闭环处置的全链条智能化管理体系，全面提升园区安全管控效率与应急响应能力。具体功能如下：

人员管理：基于高精度目标识别算法，支持人员名单库统一管理，可实现人脸信息实时快速比对与身份核验，同时具备区域人数自动统计、异常聚集监测等功能。

车辆管理：覆盖机动车号牌自动识别与非机动车智能分类，可精准区分电瓶车、自行车等车型，支持实时视频监控、关键画面定时抓图存档，并结合大模型深度分析实现车辆轨迹追踪与异常行为判别。

危险预警：集成火焰识别、烟雾检测、红外测温等多重感知手段，对园区内火情、高温异常等潜在安全隐患进行全天候实时监测，实现隐患早发现、早预警、早处置。



## 6.6 智能对比分析

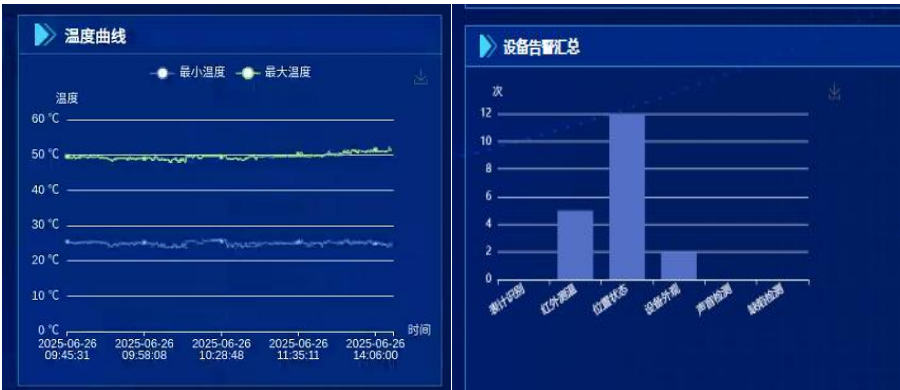
后台管理系统搭载智能温度分析与预警功能，可自动生成单台设备历史温度变化曲线，以及同类设备三相温度对比曲线。依托对历史温度趋势的智能分析，系统可显著提升设备运行状态预判能力，为设备状态评估与精准检修提供可靠数据支撑。

系统采用三相温度对比预警机制：即便某相设备温度未达独立报警阈值，若三相间温差超出预设范围，系统仍会触发告警，实现设备异常状态的早期发现与预警。该双重预警机制，大幅提升了设备状态监测的灵敏度与可靠性。



图：温度分析

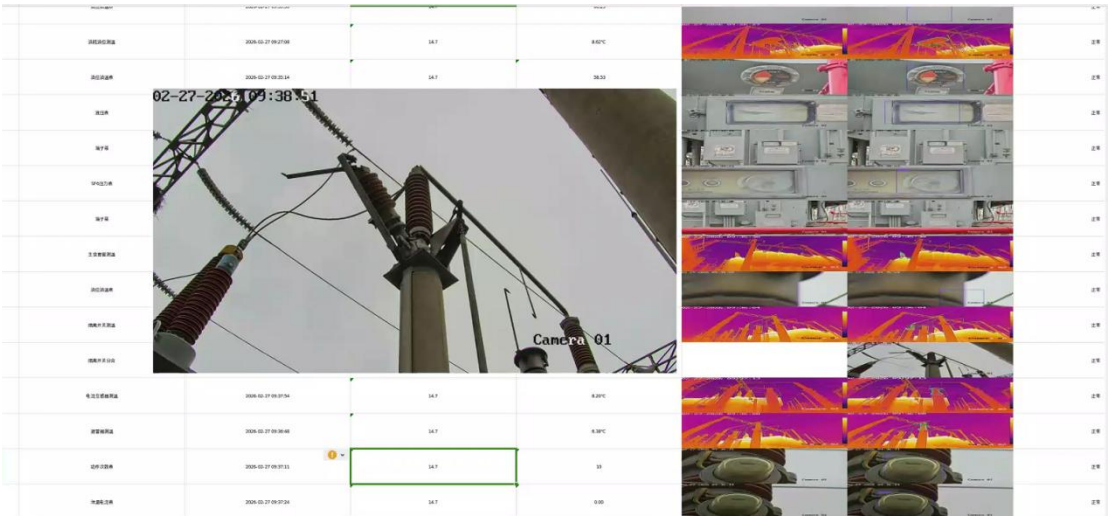
四足巡检机器人作业时，可通过无线网络将采集的图像、视频信息回传至主控室，并自动关联拍摄地点、时间等信息。系统支持日志记录并统一存储于数据库，工作人员可按人员、班次、时间、设备名称、问题表现、事故分析等关键字段生成多类型报表；报表支持表格、条形图、柱状图等多种展示形式，可通过同比、环比等方式开展多维分析，便于从不同维度判断各设备运行状况，预测设备性能趋势。



图：温度分析与告警记录一体化展示

6.7 智能巡检报表

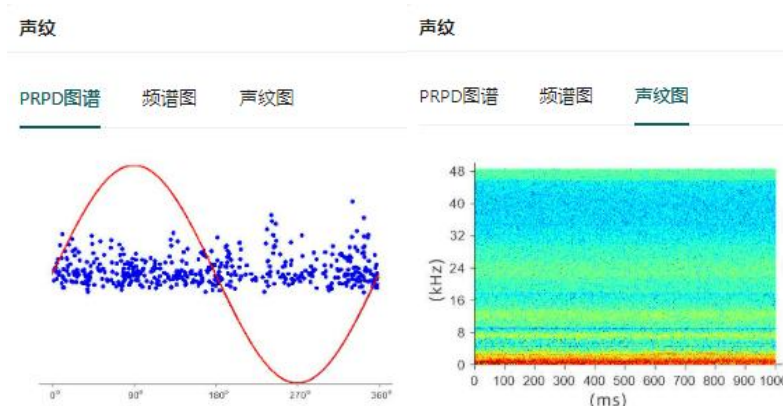
四足巡检机器人智能报表是基于机器人自主巡检任务全过程数据，自动生成的结构化、可视化运维报告。报表整合机器人运行状态、环境感知、设备检测、异常识别及任务执行信息，实现巡检工作可量化、可追溯、可闭环管理，为现场设备运维与安全管控提供数据支撑。



图：巡检报表

## 6.8 局部放电、振动检测

四足巡检机器人搭载声学成像仪，在巡检过程中，它能够全方位采集各个位置的音频数据，通过复杂的算法和多维度分析手段，对关键设备的局部放电、异响状态进行深入解析。与正常状态下的声音模型进行对比，精准判断设备是否存在故障隐患。



图：声纹检测

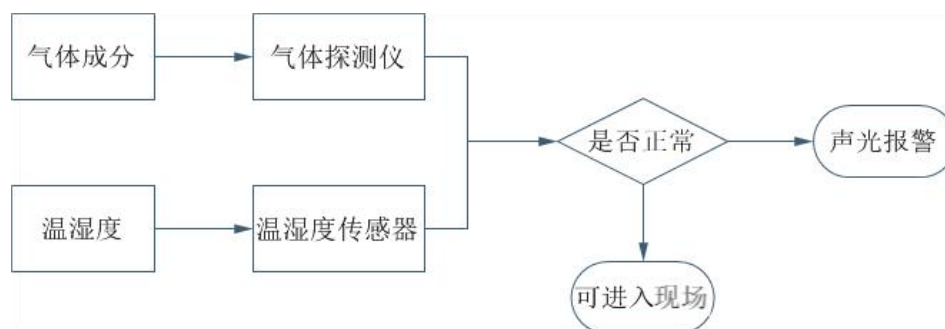
## 6.9 环境监测

**室外气象监测：**智能巡检管理平台与微气象站之间进行实时数据交互，实时获取户外环境的温度、湿度、风速风向及雨量等动态数据。这些气象数据为智能四足巡检机器人提供了重要的外部环境支持，不仅增强了机器人在不同天气条件下的任务适应能力，还优化了其运行效能，同时辅助红外热像仪实现更精准的温度检测。



图：微气象数据

**设备区环境监测：**四足巡检机器人可定制携带有气体探测器与温湿度传感器，可以随时对现场的空气环境与温湿度进行分析并得出结果，气体分析包括检测空气含氧（O<sub>2</sub>）量浓度、环境空气烟雾颗粒物（PM2.5，PM50，烟雾）以及有毒与可燃气体（CO，H<sub>2</sub>S，CH<sub>4</sub>）浓度大小，同时将结果反馈给主控室的工作人员，也可人工设置报警的限值，包括低温、高温报警限值，湿度报警限值，气体浓度报警限值，超过限值后立即声光报警，以防止由于工作人员对现场环境的误判，造成生命危险。同时四足巡检机器人也可作为一个安全引导员，当有工作人员下去进行检查时机器人可在前面作一个安全引导，提供有毒气体，温度，湿度的实时监测，一旦监测到异常情况立即发出警报提醒工作人员。



图：气体分析与温湿度检测步骤

## 6.10 常规及特殊巡检

四足巡检机器人可进行定时巡检、定点巡检、指定任务临时巡检、遥控巡检多种巡检方式。常用的定点巡检可以根据指定的路径和指定的巡检目标点进行自动匀速巡检，只需要设定巡检路径并启动自动巡检即可使机器人自动完成一次巡检。巡检过程中机器人每到一个巡检工作位置，能自动准确停车探测，做完规定的动作后再按照路径自动往下一个巡检目标点前进，并不需要人为操作控制，完成巡检作业，并自动记录并保存所采集到的数据。

**定时巡检：**到达设定时间后，四足巡检机器人可以沿预定好的轨迹进行自动巡视，根据原先设定的地点精确停靠后，自动对待检设备进行检测，所有检测完成后自动回到充电点进行自主充电。

**指定点巡检：**操作人员可设置区域内任意巡检点，四足巡检机器人可根据当前位置及目标点，规划出最优路径，自主运行到目标点。

**遥控巡检：**操作人员可以通过鼠标、键盘遥控四足巡检机器人，脱离预先设定的路线，行驶到满足四足机器人工作环境的指定位置（机器人可以达到），通过远程遥控机器人行驶和云台动作、摄像机调焦、红外热像仪的操作、可见光与红外数据采集，实现对待检设备进行特检。

利用四足巡检机器人自主完成场站设备的巡检，通过数据分析可以为工作人员提供设备工作状态；通过历史曲线提高设备的预知性，为状态检修或状态评估提供有效数据支持，从而减少事故的发生；利用四足巡检机器人完成设备的巡检，可以使操作人员远离带电设备，安全性好，可靠性高；同时，可以为无人值守厂站的推广应用提供了创新型的技术检测手段,提高了厂站的可靠稳定运行水平。

## 6.11 无人化自主充电

四足巡检机器人本体自带电池电量检测电路，且可人工设置电量报警下限，一旦机器人检测到电池电量低于设置值时则会自动停止当前巡检任务，同时发出警报，之后自主运行到充电点进行充电。

## 6.12 自身安全防护

四足巡检机器人采用激光停障系统，对厂站内障碍物和现场工作人员进行精准探测，遇到障碍时可根据障碍物大小、位置及通行条件，自主选择停障报警或绕障通行，提升巡检效率的同时保障安全。同时在结构上增加防护装置，防止碰撞造成人员或者设备损伤，与激光停障系统构筑双重安全保障，在激光停障系统失效情况下，可有效缓冲碰撞冲击力，避免与厂站设备、障碍物发生激烈碰撞，并同步触发系统安全报警，且在机器人明显位置安装有闪动警示灯，提醒厂站内工作人员注意避让。

在自主巡检的过程中，四足停障系统发现前方有障碍物时，若障碍物不影响绕障通行，机器人将自动规划绕障路径，平稳绕过障碍物后继续执行巡检任务；若障碍物无法绕障或绕障存在安全风险，机器人将发出警报并紧急停车，同步将障碍物信息反馈至主控室，通知工作人员排除障碍物。在此过程中，主控室可根据现场情况，下达返回、待命或其它无安全影响的巡检任务，待命状态下系统转入低功耗状态，有效节约电力，保障机器人续航能力。当厂站内发生设备故障、线路异常等紧急状况时，四足巡检机器人会自动切换到紧急模式，高速赶往现场，实时采集现场图像、数据，为主控室的工作人员提供第一时间的现场情况报告，助力快速处置突发情况。

同时，由于厂站内存在高压电场、复杂电磁环境等特殊情况，四足巡检机器人本体还设计有极强的抗电场干扰能力，可稳定抵御高压电场及电磁干扰，确保巡检过程中设备运行稳定、数据采集准确，其可行性已在 750kv 超高压换流站中成功验证，能够适配各类厂站的巡检场景需求。

## 6.13 交互式对讲指挥

当场站内设备发生复杂或者非常规问题时，现场工作人员不能解决时，通过四足巡检机器人的视频设备和语音设备可实现现场工作人员与远端专家的即时交互，由专家来指导和监督现场工作人员，实现正确规范的操作，有助于问题的现场解决。

交互式对讲指挥功能采用双向对讲广播系统，支持双向对讲和录音回放功能，完全满足主控室和现场的音视频实时交流，同时主控室的专家也可远程遥控机器人的姿态，云台转向等。

七、（附件）设备性能参数

7.1 四足巡检机器人本体-标准版

7.1.1 B2 型四足巡检机器人

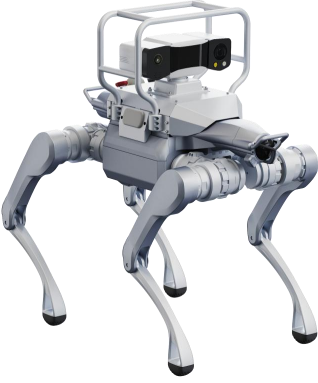
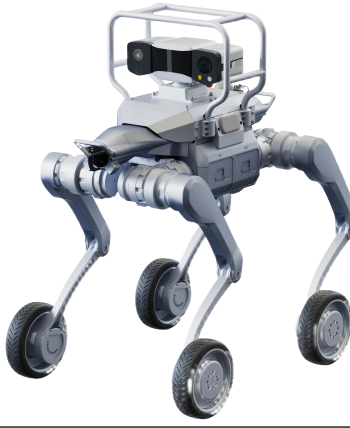
|                             |                   |            |                                                                            |                                                                                       |
|-----------------------------|-------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 智能<br>巡<br>检<br>机<br>器<br>人 | 基本<br>参<br>数      | 站立尺寸       | 1098mm×450mm×645mm                                                         |   |
|                             |                   | 折叠尺寸       | 880mm×460mm×330mm                                                          |                                                                                       |
|                             |                   | 重量         | 约 60kg                                                                     |                                                                                       |
|                             | 环境<br>适<br>应<br>性 | 防护等级       | 整机 IP67                                                                    |  |
|                             |                   | 工作温度       | -40~55℃（标准-20~55℃）                                                         |                                                                                       |
|                             |                   | 工作湿度       | 0~95%（无冷凝水）                                                                |                                                                                       |
|                             |                   | 储运温度       | -25~55℃                                                                    |                                                                                       |
|                             | 运<br>动<br>性<br>能  | 驱动方式       | 腿式电机驱动                                                                     |                                                                                       |
|                             |                   | 最小转弯半径     | 不大于其本身长度的 1 倍                                                              |                                                                                       |
|                             |                   | *最大运动速度    | 21km/h                                                                     |                                                                                       |
|                             |                   | *自主巡检速度    | 3.5m/s                                                                     |                                                                                       |
|                             |                   | *持续行走负载    | 2m/s                                                                       |                                                                                       |
|                             |                   | 站立负载       | 不低于 40kg                                                                   |                                                                                       |
|                             |                   | *最大爬坡角度    | 120kg                                                                      |                                                                                       |
|                             |                   | 最大越障高度     | 不低于 45°                                                                    |                                                                                       |
|                             |                   | 地形适应性      | 正向爬上和爬下高度 40cm 台阶                                                          |                                                                                       |
|                             |                   | *续航时长      | 综合运行续航 4-6 小时<br>空载持续行走> 6h，且续航里程> 20km<br>20kg 带载负载持续行走> 5.2h，且续航里程> 15km |                                                                                       |
|                             | 导<br>航<br>性<br>能  | 导航定位方式     | 多传感器融合定位                                                                   | 激光雷达+IMU+里程计+RTK（选配）                                                                  |
|                             |                   | 自主导航重复定位精度 | ±3cm                                                                       |                                                                                       |
|                             |                   | 自主导航安全防护功  | 具备避障停车、避障绕行功能、低                                                            |                                                                                       |

|  |         |         |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--|---------|---------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 电池性能    | 能       | 电量自主返航、自主充电功能                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  |         | 电池容量    | 45Ah (2250Wh)                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  |         | 换电方式    | 抽拉式设计，自主换电                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  | 通讯方式    | WIFI 方式 | 车载无线终端+AP 无线网桥组网方式（支持 2.4G 或 5.8G 频段）   | 车载参数： <ul style="list-style-type: none"> <li>• 支持 802.11a/n 协议，最大带宽 300Mbps</li> <li>• 支持 4920~6100MHz 扩展频率与多国频率漫游</li> <li>• 支持 FastRoaming 技术，漫游延迟≤50ms</li> <li>• 支持 TDMA 技术，带宽高、延迟低（配合同品牌 AP 基站）</li> </ul> 无线网桥参数： <ul style="list-style-type: none"> <li>• 支持 802.11a/n 协议，最大带宽 300Mbps</li> <li>• 支持最大发射功率 1W，覆盖距离可达 1~10km 范围（无遮挡配合车载天线）</li> <li>• 支持 4920~6100MHz 扩展频率与多国频率漫游</li> <li>• 支持共模 6Kv/差模 2Kv 浪涌防护与 16KvESD 防护</li> <li>• 支持 TDMA 协议，有效提高 PTMP 传输带宽</li> <li>• 支持-40~75℃工作温度，满足 IP67 防护等级</li> </ul> |
|  |         |         |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  | 3D 激光雷达 | 检测距离    | 0.2~150m                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  |         | 扫描角度    | 360°                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  |         | 线速      | 32 线                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  | 一体化云台   | 可见光相机   | 传感器                                     | 1/2.8" CMOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|  |         |         | 最大图像分辨率                                 | 2560×1440                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|  |         |         | 焦距                                      | 5~160mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|  |         |         | 补光功能                                    | 白光灯补光照射距离 30m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|  |         |         | 最低照度                                    | 彩色：0.05Lux@(F1.6, AGCON)；黑白：0.01Lux@(F1.6, AGCON)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|  |         |         | 聚焦方式                                    | 半自动/手动                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|  |         |         | 5-160mm32 倍光学变倍, 16 倍数字变倍               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  |         |         | 支持自动光圈、自动聚焦、自动白平衡、背光补偿、宽动态、3D 数字降噪、日夜转换 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  |         | 热成像     | 最高温十字定位                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  |         |         | 支持 1 条线测温 10 个框测温 和 10 个点测温             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  |         |         | 关联测温预置位 273 个                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  |         |         | 测温范围：-20° C~150° C, 0°                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|  |  |      |                               |                                                                       |
|--|--|------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|  |  |      | C~550° C                      |                                                                       |
|  |  |      | 测温精度：±2° C（或者量程的±2%）          |                                                                       |
|  |  |      | 支持全屏温度获取，热图获取，原始测温数据获取，方便二次开发 |                                                                       |
|  |  |      | 传感器类型                         | 氧化钒非制冷型探测器                                                            |
|  |  |      | 分辨率                           | 640×512                                                               |
|  |  |      | 响应波段                          | 8~14 μ m                                                              |
|  |  |      | NETD（噪声等效温差）                  | <50mk (@25° C, F#=1.0)                                                |
|  |  |      | 热成像镜头焦距                       | 7mm                                                                   |
|  |  |      | 热成像近摄距                        | 0.5m                                                                  |
|  |  |      | 视场角                           | 88.5° (H)×73.2° (V)                                                   |
|  |  |      | 调色板                           | 白热、黑热、融合 1、彩虹、融合 2、铁红 1、铁红 2、深褐色、色彩 1、色彩 2、冰火、雨、红热、绿蓝、深蓝              |
|  |  |      | 测温精度                          | ±2 度（或者量程的±2%）                                                        |
|  |  |      | 测温范围                          | -20° C~150° C，0° C~550° C                                             |
|  |  | 云台功能 | 水平范围                          | 水平 360°                                                               |
|  |  |      | 水平速度                          | 环温-20° C~70° C 情况下：0.5° -90° /s；<br>环温-40° C~-20° C 情况下：0.5° -20° /s； |
|  |  |      | 垂直范围                          | 垂直-90° ~90°                                                           |
|  |  |      | 垂直速度                          | 环温-20° C~70° C 情况下：0.5° -40° /s；<br>环温-40° C~-20° C 情况下：0.5° -20° /s； |
|  |  |      | 预置点精度                         | ±0.1°                                                                 |
|  |  |      | 预置点个数                         | 300 个                                                                 |
|  |  |      | 巡航扫描                          | 8 条，每条可添加 256 个预置点                                                    |
|  |  |      | 扫描模式                          | 自动扫描/帧扫描/全景扫描/垂直扫描/随机扫描/区域扫描/预置点/巡航扫描                                 |
|  |  |      | 精密电机驱动，反应灵敏，运转平稳，精度偏差少于 0.1 度 |                                                                       |
|  |  |      | 支持系统双备份功能，确保数据断电不丢失           |                                                                       |
|  |  |      | 支持断电状态记忆功能，上电后自动回到断电前的云台和镜头状态 |                                                                       |
|  |  |      | 双通道，单 IP 输出                   |                                                                       |
|  |  |      | 支持雨刷功能                        |                                                                       |
|  |  | 视音频  | 最大预览路数                        | 最多 20 路                                                               |
|  |  |      | 视频压缩标准                        | H.265/H.264/MJPEG，H.264 编码支持 Baseline/Main/HighProfile                |
|  |  |      | 音频压缩标准                        | G.711aLaw/G.711uLaw/G.722.1/G.726/MP2L2/AAC/PCM                       |
|  |  |      | 视频格式                          | H.264、H.265、MJPEG                                                     |
|  |  |      | 拾音器                           | 全指向，灵敏度-24dB，信噪比 60dB                                                 |
|  |  |      | 扬声器                           | 8 Ω，1.5W，F0=1200Hz，SPL=94dB                                           |

|  |  |         |                             |
|--|--|---------|-----------------------------|
|  |  | 电源输入    | DC24V±25%                   |
|  |  | 防护等级    | IP67                        |
|  |  | 工作温度和湿度 | 温度-40° C~70° C(室外)、湿度小于 90% |

## 7.1.2 A2 型四足巡检机器人

|                 |       |            |                                                          |                                                                                       |
|-----------------|-------|------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 智能<br>巡检<br>机器人 | 基本参数  | 站立尺寸       | 820mmx440mmx570mm                                        |   |
|                 |       | 折叠尺寸       | 720mmx550mmx220mm                                        |                                                                                       |
|                 |       | 重量         | 约 40kg                                                   |                                                                                       |
|                 | 环境适应性 | 防护等级       | 整机 IP67                                                  |  |
|                 |       | 工作温度       | -20~55℃                                                  |                                                                                       |
|                 |       | 工作湿度       | 0~95%（无冷凝水）                                              |                                                                                       |
|                 |       | 储运温度       | -25~55℃                                                  |                                                                                       |
|                 | 运动性能  | 驱动方式       | 腿式电机驱动                                                   |                                                                                       |
|                 |       | 最小转弯半径     | 不大于其本身长度的 1 倍                                            |                                                                                       |
|                 |       | *最大运动速度    | 5m/s                                                     |                                                                                       |
|                 |       | *自主巡检速度    | 2m/s                                                     |                                                                                       |
|                 |       | *持续行走负载    | 不低于 25kg                                                 |                                                                                       |
|                 |       | 站立负载       | 100kg                                                    |                                                                                       |
|                 |       | *最大爬坡角度    | 不低于 45°                                                  |                                                                                       |
|                 |       | 最大越障高度     | 约 0.5~1m                                                 |                                                                                       |
|                 | 导航性能  | 地形适应性      | 可适应草地、石子铺装路面、楼梯、土坡等环境                                    |                                                                                       |
|                 |       | *续航时长      | 空载：可持续行走 5 小时以上，里程约 20km 负载 25kg：可持续行走 3 小时以上，里程约 12.5km |                                                                                       |
|                 | 电池性能  | 导航定位方式     | 多传感器融合定位                                                 | 激光雷达+IMU+里程计+RTK（选配）                                                                  |
|                 |       | 自主导航重复定位精度 | ±3cm                                                     |                                                                                       |
|                 |       | 自主导航安全防护功能 | 具备避障停车、避障绕行功能、低电量自主返航、自主充电功能                             |                                                                                       |
|                 | 通     | 电池容量       | 单节电池：9000mAh（453.6Wh）<br>双节电池：18000mAh（907.2Wh）          | 车载参数：                                                                                 |
|                 |       | 换电方式       | 支持不断电热插拔，抽拉式设计                                           |                                                                                       |
|                 | 通     | WIFI 方式    | 车载无线终端+AP 无线网桥组网                                         |                                                                                       |

|  |         |       |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--|---------|-------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 讯方式     |       | 方式（支持 2.4G 或 5.8G 频段）                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 支持 802.11a/n 协议，最大带宽 300Mbps</li> <li>• 支持 4920~6100MHz 扩展频率与多国频率漫游</li> <li>• 支持 FastRoaming 技术，漫游延迟≤50ms</li> <li>• 支持 TDMA 技术，带宽高、延迟低（配合同品牌 AP 基站）</li> </ul> 无线网桥参数： <ul style="list-style-type: none"> <li>• 支持 802.11a/n 协议，最大带宽 300Mbps</li> <li>• 支持最大发射功率 1W，覆盖距离可达 1~10km 范围（无遮挡配合车载天线）</li> <li>• 支持 4920~6100MHz 扩展频率与多国频率漫游</li> <li>• 支持共模 6Kv/差模 2Kv 浪涌防护与 16KvESD 防护</li> <li>• 支持 TDMA 协议，有效提高 PTMP 传输带宽</li> <li>• 支持-40~75℃工作温度，满足 IP67 防护等级</li> </ul> |
|  | 3D 激光雷达 | 检测距离  | 60m                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  |         | 扫描角度  | 360°                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  |         | 线速    | 128 线                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  | 一体化云台   | 可见光相机 | 传感器                                     | 1/2.8 " CMOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|  |         |       | 最大图像分辨率                                 | 2560×1440                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  |         |       | 焦距                                      | 5~160mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|  |         |       | 补光功能                                    | 白光灯补光照射距离 30m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|  |         |       | 最低照度                                    | 彩色：0.05Lux@(F1.6, AGCON)；黑白：0.01Lux@(F1.6, AGCON)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|  |         |       | 聚焦方式                                    | 半自动/手动                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|  |         |       | 5-160mm32 倍光学变倍, 16 倍数字变倍               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  |         |       | 支持自动光圈、自动聚焦、自动白平衡、背光补偿、宽动态、3D 数字降噪、日夜转换 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  |         | 热成像   | 最高温十字定位                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  |         |       | 支持 1 条线测温 10 个框测温 和 10 个点测温             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  |         |       | 关联测温预置位 273 个                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  |         |       | 测温范围：-20° C~150° C, 0° C~550° C         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  |         |       | 测温精度：±2° C（或者量程的±2%）                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  |         |       | 支持全屏温度获取，热图获取，原始测温数据获取，方便二次开发           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  |         |       | 传感器类型                                   | 氧化钒非制冷型探测器                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|         |                                |                             |                                                                         |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|         |                                | 分辨率                         | 640×512                                                                 |
|         |                                | 响应波段                        | 8~14 μ m                                                                |
|         |                                | NETD（噪声等效温差）                | <50mk (@25° C, F#=1. 0)                                                 |
|         |                                | 热成像镜头焦距                     | 7mm                                                                     |
|         |                                | 热成像近摄距                      | 0. 5m                                                                   |
|         |                                | 视场角                         | 88. 5°（H）×73. 2°（V）                                                     |
|         |                                | 调色板                         | 白热、黑热、融合 1、彩虹、融合 2、铁红 1、铁红 2、深褐色、色彩 1、色彩 2、冰火、雨、红热、绿蓝、深蓝                |
|         |                                | 测温精度                        | ±2 度（或者量程的±2%）                                                          |
|         |                                | 测温范围                        | -20° C~150° C，0° C~550° C                                               |
|         |                                | 云台功能                        | 水平范围                                                                    |
|         | 水平速度                           |                             | 环温-20° C~70° C 情况下：0. 5° -90° /s；<br>环温-40° C~-20° C 情况下：0. 5° -20° /s； |
|         | 垂直范围                           |                             | 垂直-90° ~90°                                                             |
|         | 垂直速度                           |                             | 环温-20° C~70° C 情况下：0. 5° -40° /s；<br>环温-40° C~-20° C 情况下：0. 5° -20° /s； |
|         | 预置点精度                          |                             | ±0. 1°                                                                  |
|         | 预置点个数                          |                             | 300 个                                                                   |
|         | 巡航扫描                           |                             | 8 条，每条可添加 256 个预置点                                                      |
|         | 扫描模式                           |                             | 自动扫描/帧扫描/全景扫描/垂直扫描/随机扫描/区域扫描/预置点/巡航扫描                                   |
|         | 精密电机驱动，反应灵敏，运转平稳，精度偏差少于 0. 1 度 |                             |                                                                         |
|         | 支持系统双备份功能，确保数据断电不丢失            |                             |                                                                         |
|         | 支持断电状态记忆功能，上电后自动回到断电前的云台和镜头状态  |                             |                                                                         |
|         | 双通道，单 IP 输出                    |                             |                                                                         |
|         | 支持雨刷功能                         |                             |                                                                         |
|         | 视音频                            | 最大预览路数                      | 最多 20 路                                                                 |
|         |                                | 视频压缩标准                      | H. 265/H. 264/MJPEG，H. 264 编码支持 Baseline/Main/HighProfile               |
|         |                                | 音频压缩标准                      | G. 711alaw/G. 711ulaw/G. 722. 1/G. 726/MP2L2/AAC/PCM                    |
|         |                                | 视频格式                        | H. 264、H. 265、MJPEG                                                     |
|         |                                | 拾音器                         | 全指向，灵敏度-24dB，信噪比 60dB                                                   |
|         |                                | 扬声器                         | 8 Ω，1. 5W，F0=1200Hz，SPL=94dB                                            |
| 电源输入    |                                | DC24V±25%                   |                                                                         |
| 防护等级    |                                | IP67                        |                                                                         |
| 工作温度和湿度 |                                | 温度-40° C~70° C(室外)、湿度小于 90% |                                                                         |

7.2 六轴机械臂



|          |    |               |         |
|----------|----|---------------|---------|
| 型号       |    | Z1PRO         |         |
| 自由度      |    | 6 轴           |         |
| 自重       |    | 4. 5kg        |         |
| 负载       |    | ≥3kg          |         |
| 最大臂展     |    | 740mm         |         |
| 重复定位精度   |    | ~0. 1mm       |         |
| 电源需求     |    | 电压 24V 电流>20A |         |
| 接口       |    | Ethernet      |         |
| 用户控制系统   |    | Ubuntu        |         |
| 功率       |    | 峰值 500W       |         |
| 力反馈和碰撞检测 |    | 有             |         |
| 控制接口     |    | 位置+力控         |         |
| 关节       |    | 运动范围          | 最大速度    |
| 关        | J1 | ±150°         | 180° /s |
|          | J2 | 0-180°        | 180° /s |
|          | J3 | -165° -0      | 180° /s |

|             |    |                   |                          |
|-------------|----|-------------------|--------------------------|
| 节<br>参<br>数 | J4 | $\pm 80^{\circ}$  | $180^{\circ} / \text{s}$ |
|             | J5 | $\pm 85^{\circ}$  | $180^{\circ} / \text{s}$ |
|             | J6 | $\pm 160^{\circ}$ | $180^{\circ} / \text{s}$ |

### 7.3 双光相机



双光测温相机设备性能：

- 1 传感器类型：氧化钒非制冷型探测器
- 2 热成像分辨率：384\*288/640\*512
- 3 可见光摄像机：4 倍光学变倍，200 万像素
- 4 补光：白光灯补光，满足近距离远距离补光，最远 30 米
- 5 尺寸：90x55x95mm

### 7.4 云台



云台设备性能：

- 1 水平方向：0~360°；
- 2 垂直方向：-90°~90°；
- 3 垂直旋转速度：键控 100°/S，手动 0.5°~100°/S；
- 4 水平旋转速度：键控 100°/S，手动 0.5°~100°/S；

## 7.5 红外热像仪

红外热像仪基于标准以太网硬件和软件协议，能提供经济且精确的测温解决方案；能够提前发现异常情况，避免演变为严重故障，杜绝财产损失或对人身安全构成潜在威胁。主要性能参数如下：

红外热像仪设备性能：

- 1)支持手动模式下快门校正，AGC 模式可选择
- 1 支持 3D 降噪功能，图像细节增强功能
- 2 支持 15 种伪彩色可调节
- 3 支持温度异常报警功能，设定预警/报警温度阈值，超温后报警
- 4 测温范围：-20℃-150℃，0℃-550℃
- 5 测温精度：±2 度（或者量程的±2%）
- 6 最大成像分辨率：1920×1080

## 7.6 可见光高清摄像机

工业级高清晰彩色摄像机采用日夜型网络高清一体机，像素达 400 万，最大分辨率 2688×1520。具有曝光补偿、白平衡自调节等功能，可应用于各种光照拍摄和数据传输环境。

可见光高清摄像机设备性能：

- 1 最大分辨率 2688×1520；
- 2 焦距为 5~160mm，32 倍光学变倍，16 倍数字变焦；
- 3 最大分辨率：2K；支持自动光圈、自动聚焦、自动白平衡、背光补偿、宽动态、3D 数字降噪、日夜转换
- 4 深度学习智能功能：
- 5 支持 3D 定位功能，配合客户端软件/IE 可实现点击放大

## 7.7 声学成像仪

声学成像仪是一种基于声波信号的测量和分析技术，用于获取空间中声波分布的仪器。通过测量声波在空间的传播时间和相位差异，可以确定声源的位置和幅值，并以图像的方式显示声波在空间的分布。



- (1) 传感器数量：128 个
- (2) 传感器类型：高精度 MEMS 数字麦克风
- (3) 传感器动态范围：30dB~120dB，频带范围：2~65kHz
- (4) 测量距离：0.5m~50m
- (5) 应用场景：局放检测、气体外泄漏检测、振动异响检测



## 7.8 气体检测仪(可选配)

- 1 可探测气体： $O_2$ 、 $H_2S$ 、 $CO$ 、 $CH_4$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{50}$ 、烟雾；
- 2 测量范围： $H_2S$ ：0~200ppm、 $CO$ ：0~2000ppm、 $O_2$ ：0~30%Vol、 $CH_4$ ：0~100%lel、 $PM_{2.5}$ ：0~1000 $\mu g/m^3$ 、 $PM_{50}$ ：0~2000 $\mu g/m^3$ 、烟雾：0~200ppm；
- 3 测量精度： $H_2S$ ： $\pm 3\%$ 、 $CO$ ： $\pm 3\%$ 、 $O_2$ ： $\pm 1\%$ 、 $CH_4$ ： $\pm 3\%$ 、 $PM_{2.5}$ ：10 $\mu g/m^3$ +10%读数、 $PM_{50}$ ：10 $\mu g/m^3$ +10%读数、烟雾： $\pm 5\%$ ；

- 4 采样间隔：出厂设定间隔 30 秒，可调整；
- 5 自动归零校准。

## 7.9 温湿度传感器(可选配)

- 1 测量范围：温度：-40℃~+85℃、湿度：0%~100%RH；
- 2 测量精度：温度：±0.5℃、湿度：±2%RH。

## 7.10 交互式实时对讲平台

- 1 全双工的语音对讲，匹配任何语音处理；
- 2 内置高灵敏度麦克风，对讲距离为 3 米，无回声啸叫；
- 3 采用动态降噪算法，能够在高噪声环境中清晰拾音；
- 4 内置防破音技术，最大限度保护扬声器的输出；
- 5 噪声消除频响范围：20Hz~8kHz；
- 6 灵敏度：-20dB。

## 7.11 声光报警器

通过警示灯的不同颜色来表示四足巡检机器人当前的各种状态，如正常运行，停障，发生故障，电池电量不足等。

- 1 三色光报警灯：额定功率 2W；
- 2 防水、防潮、防尘性能好，防护等级 IP67。

# 八、各行业项目案例

## 8.1 变电站-内蒙古电网 220kV 变电站

此项目的场景主要是变电站室外 220KV 和 110KV 区域，室内的 10KV 配电室和主控室及继保室，机器人在区域间巡视会涉及到楼梯坡道、挡鼠板和门。

**项目效果：**根据项目要求和现场勘察的实际情况，我们选配四足机器人 B1 加装 3D 激光雷达、双光云台相机、机械臂、充电房及无线模块等，实现机器人在巡检区域自主充电；通过云台相机检测仪器仪表的数据及状态，识别设备的异常（状态）；通过加装的机械臂实现开关的自动闭合（分合闸）；通过机器人配

备的远程智能巡检系统，可在中控室实现机器人的全自主运行和巡检的实时查看，完全实现现场设备的全自主智能化巡检。



图：现场作业实拍

## 8.2 电力管廊-国网北京电力管廊

此项目的应用场景主要是长安街、鸟巢、前三门大街电力隧道等区域。

**项目效果：**国网北京电缆公司在长安街、鸟巢、前三门大街电力隧道内建成了一条长约 10 公里的电缆数字化隧道无人巡检示范区。项目配备 6 台四足机器人 B2，搭载 3D 激光雷达、红外热像仪、可见光摄像机及 CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>S、CO、O<sub>2</sub> 气体传感器，配合机械臂动作，能够全面监测设备的运行状态和环境动态，记录和分析电缆的温度工作状态。同时，四足机器人可通过远程调度，完成自主巡检作业，并且可在第一时间发现风险预警，协同运维人员进行快速干预，最大限度减少运营风险，提高人员安全。



图：权威媒体报道



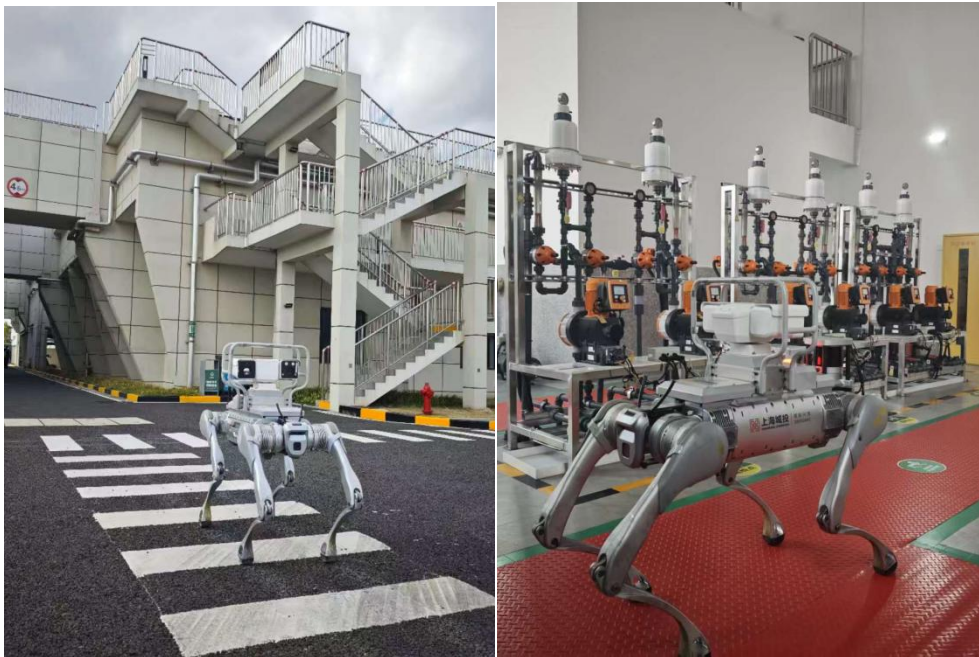
图：现场作业实拍

### 8.3 水厂-临港水厂巡检项目

为落实“生产少人化、运维智能化”目标，临港水厂启动四足巡检机器人项目，打造智慧水务无人巡检体系，本项目机器人应用在园区整体安防巡逻及设备的精细化巡检。

**项目效果：**项目投入运行后，四足巡检机器人实现了临港水厂关键生产区域如（污水处理车间、加矾间、臭氧车间），可灵活跨越障碍、穿梭复杂工况，通过视觉识别、红外测温、声纹监测及环境传感等功能，精准完成仪表读数、设备异常、渗漏锈蚀、气体超标等隐患识别，大幅提升巡检效率与覆盖范围。





图：现场作业实拍

#### 8.4 水电-棉花滩水电站

此项目的应用场景主要是水电站的发电机层、水轮机层带电屏柜。

项目效果：机器狗重点对发电机层开展智能巡检，实现多层空间全域覆盖与全流程自动化巡检作业。机器人可对发电机层、水轮机层带电屏柜的各类仪表进行精准识别，并同步完成设备红外测温，及时发现异常状态，有效保障发电机组安全稳定投运。



图：现场作业实拍

#### 8.5 火电-定州火电厂

此项目的场景主要是火电厂 220kV 升压站、锅炉房、汽机室及相关配套设施。

**项目效果：**根据项目要求和现场勘察的实际情况，我们选配四足机器人加装 3D 激光雷达、双光云台相机、360 激光、声纹成像仪、充电房及无线模块等，实现机器人在巡检区域自主充电；通过云台相机检测仪器仪表的数据及状态，识别设备的异常（状态）；局部放电以及气体浓度检测；通过机器人配备的远程智能巡检系统，可在中控室实现机器人的全自主运行和巡检的实时查看，完全实现现场设备的全自主智能化巡检。



图：媒体报道

## 8.6 矿冶-焦家矿巡检项目

本项目智能巡检机器狗主要应用于矿区变电站、配电房、高压设备区、露天

矿区道路、工业厂区、边坡及重点安防区域等复杂作业场景，可适应矿区高低起伏路面、碎石坡道、狭窄通道及多粉尘、多震动、多干扰的恶劣环境，重点承担变电站设备巡检、矿区全域安防巡查、关键设施隐患排查、环境参数监测等任务，有效覆盖人工巡检难度大、风险高、覆盖不全的区域。

**项目效果：**本项目采用智能巡检机器狗整合多传感融合、高精度定位、搭载双光云台、警示灯、激光雷达等硬件模块，并集成噪音传感器、环境传感器、红外传感器、温震传感器及感知相机等多类型感知设备。可高效完成矿区变电站设备检测、矿区道路全域巡视任务，替代人工实现全天候、自动化、智能化巡检，大幅提升矿区安防与设备运维的效率和可靠性。



图：现场作业实拍

## 8.7 安防-西部影视城安防巡检

主要应用于镇北堡西部影城全域，覆盖明清古城、民国街、影视拍摄区、游客集散广场、城墙周界、文物展厅、停车场及偏僻巷道等复杂文旅场景。适配景区开阔场地、高低错落地形、多台阶坡道、夜间低光、风沙环境，重点承担常态化安防巡逻、人流密集区秩序管控、文物与重点区域看护、周界防入侵巡查、夜间全域巡检、应急事件快速响应等任务，填补固定监控盲区与人工巡检覆盖不足的问题。

**项目效果：**项目采用定制化安防机器狗（影城守护者），整合高清云台、红外热成像、多模态感知、激光雷达、自主定位与自主回充等模块。可 24 小时自主执行全域巡逻、实时视频回传、异常行为识别、周界入侵告警、人流聚集预警、文物看护监测，替代人工实现全天候、无盲区、自动化、智能化安防巡检。大幅

提升景区安防响应速度与管控精度，降低人力成本超 20%，构建“机器狗巡防+指挥中心联动+安保快速处置”的智慧安防体系，全面保障游客安全、文物安全与景区运营秩序。



图：权威媒体报道