

文章编号: 1674—8247(2021)04—0069—04  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.04.014

## 铁路牵引变电所智能巡控机器人系统研究与设计

代文平<sup>1</sup> 陈纪纲<sup>2</sup> 尹磊<sup>1</sup> 肖琨<sup>2</sup> 贺毅<sup>1</sup>

(1. 四川艾德瑞电气有限公司, 成都 610031; 2 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:**随着我国电气化铁路运营里程的快速增长,铁路运营值守人员逐年趋于不足。为满足牵引变电所智能巡控需求,提升巡控质量和效率,本文从牵引变电所巡视、巡控现状出发,基于智能巡控和自动控制理念,探讨了一种适用于牵引变电所智能巡控机器人系统方案,并对巡控系统功能进行了详细设计研究。系统采用智能巡控机器人代替人工实现对变电所的智能巡控和应急操作,工程实践验证了系统功能和性能的实用性,可为牵引变电所智能运维提供技术支持,较大地提高生产效率,节约人工成本。

**关键词:**牵引变电所; 机器人; 智能巡控; 应急操作; 系统功能

中图分类号:U226 文献标志码:A

### Study and Design of Intelligent Patrol Control Robot System for Railway Traction Substation

DAI Wenping<sup>1</sup> CHEN Jigang<sup>2</sup> YIN Lei<sup>1</sup> XIAO Kun<sup>2</sup> HE Yi<sup>1</sup>

(1. Sichuan EDRI Electric Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** With the rapid growth of the electrified railways operating in China, the number of railway operation attendants tends to be insufficient year by year. In order to meet the demand of intelligent patrol inspection in traction substations and improve the quality and efficiency of patrol control, this paper discusses a scheme of intelligent patrol control robot system for traction substations based on the concept of intelligent patrol inspection and automatic control from the perspective of the current patrol inspection of traction substations, and designs and studies the functions of the patrol control system in detail. The system uses unattended intelligent patrol control robots to realize intelligent patrol inspection and emergency operation of substations. The practicability of the system function and performance has been verified by practice. It can provide technical support for intelligent operation and maintenance of traction substations, for the purpose of higher production efficiency and lower labor costs.

**Key words:** traction substation; robot; intelligent inspection; emergency operation; system function

为掌握电气化铁道牵引变电所内设备的运行状况,根据《高速铁路牵引变电所检修规则》等相关规定,运营单位需安排值班人员在所亭值守<sup>[1]</sup>。值守人员劳动强度较大,巡控数据录入信息管理系统工作耗

时、繁琐,巡视质量与值守人员的个人经验和能力密切相关,且牵引变电所高电压或恶劣气象等条件还可能对值守人员人身造成一定的危害,迫切需要利用新兴技术将值守人员从机械的工作中解放出来。同时,随

收稿日期:2020-11-10

作者简介:代文平(1987-),男,工程师。

引文格式:代文平,陈纪纲,尹磊,等. 铁路牵引变电所智能巡控机器人系统研究与设计[J]. 高速铁路技术,2021,12(4):69-72.

DAI Wenping, CHEN Jigang, YIN Lei, et al. Study and Design of Intelligent Patrol Control Robot System for Railway Traction Substation[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(4):69-72.

随着我国电气化铁路开通运营里程的快速增长,铁路运营单位的值守人员也逐年趋于不足。因此,在牵引变电所开展智能化巡视巡检研究具有重要的意义。

电力系统机器人的大量应用,为牵引变电所的智能化建设提供了理论和实践基础。近年来,国内外专家学者开展了牵引变电所机器人巡检的相关研究<sup>[2-10]</sup>,但由于产品功能单一、扩展性及适用性差等问题,导致目前机器人在电气化铁路牵引变电所鲜有应用。基于此,本文探讨了一种适用于牵引变电所的智能巡检机器人系统方案,对监控系统功能进行详细研究。系统采用智能巡检机器人代替人工,实现了变电所的智能巡检和应急操作。

## 1 智能机器人监控系统

### 1.1 系统方案

铁路牵引变电所智能巡检机器人系统运用智能巡检和自动控制的理念,采用模块化设计,将视频巡检、应急操作、微气象等子模块集成于统一的软件平台,各子模块可根据工程需要灵活配置。系统采用分层架构,由智能巡检机器人、微气象、机器人室、本地监控后台及管理服务器组成,网络架构如图1所示。

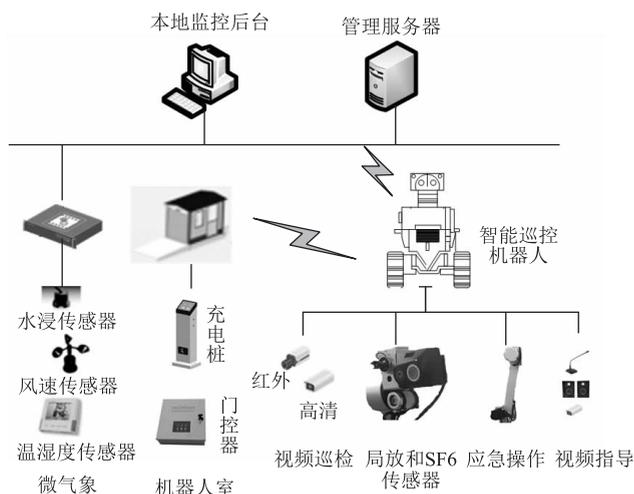


图1 智能巡检机器人系统网络架构图

各辅助设备就地化安装于牵引变电所监测点,由相应的子模块单元完成信息感知及处理,通过网络设备组网完成信息共享,并运用管理服务器、本地监控平台实现全所的信息存储和可视化监控。全所设备的巡检工作由智能巡检机器人完成,并通过对巡检机器人机械手臂的操控实现应急操作,为牵引变电所集中监控和智能运维提供支撑。

### 1.2 系统特点

(1)牵引变电所设备及运行环境综合监控技术  
牵引变电所智能巡检机器人系统采用智能巡检机

器人移动巡检技术代替人工巡检及操作控制,对牵引变电所环境和设备的温度、局部放电情况及运行状态等信息进行监测,实现对牵引变电所设备及运行环境的综合监控。

### (2)应急操作技术

智能巡检机器人搭载有多种传感器,可实现变电所的智能巡检,并配置有机械手臂,在远动失灵且需要应急操作时,运营人员可通过本地监控后台,控制智能遥控机器人机械手臂对变电所内断路器或开关进行应急操作,避免安全事故的发生或扩展,保证牵引变电所的运行安全。

## 2 系统设计

智能巡检机器人搭载多传感器、高清摄像机、高清红外仪、机械手臂等,对所内设备进行全天候、全覆盖巡视监控,完成牵引变电所的智能巡检、应急操作功能。其主要功能架构如图2所示。

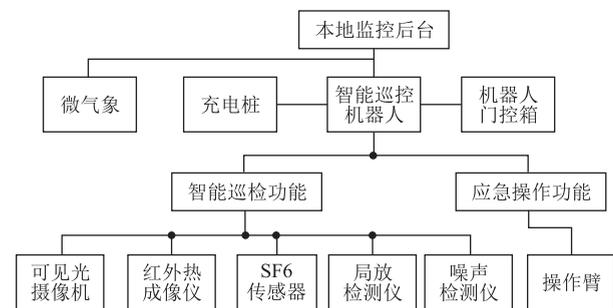


图2 智能巡检机器人系统主要功能架构图

### 2.1 智能巡检设计

牵引变电所智能巡检机器人系统智能巡检设计具有以下功能及特点:

(1)为适应牵引变电所面积大小,满足信息实时性要求等,智能巡检机器人采用自适应功能设计,既支持集中使用,也可在具有巡检、通信、供电设施的多个室内区间进行调配,实现轮换使用,具备对变电所设备区域进行自动化巡视、数据采集、数据分析、异常预警、协同作业等能力。

(2)为使巡检内容及功能尽可能地覆盖更广,充分利用移动巡检的优势,智能巡检机器人搭载高清可见光摄像机、高灵敏红外热成像仪、声音探测仪、局部放电检测设备、SF6传感器等多种传感器,自动对变电所室外设备、开关柜、综合自动化等设备进行外观检查、表计识别、温度诊断、局部放电检测和SF6含量检测,并对高压开关柜室内整体运行状态进行实时监测,将巡检数据自动上传到本地监控平台和综合应用服务器保存,生成检测分析报告及报表。

(3)为解决拍照环境光线不足及拍照抖动问题,可见光摄像机采用超低照度摄像机,并在智能巡检机器人上配置辅助照明灯,增加环境照度,保证清晰成像。同时采用一体化光学防抖技术,有效过滤5~15 Hz范围内的细小振动,使智能巡检机器人在行进过程中的视频效果稳定、清晰。

(4)为提高巡检效率,提升红外测温的准确性,智能巡检机器人采用红外普测加精确测温有机结合的技术方案。在行走过程中对视野范围内设备表面的温度场,进行整体区域性扫描式温度采集,并对设备进行热诊断,有效避免区域设备被遗漏。在红外普测模式下,智能巡检机器人可在行走过程中进行区域性红外扫描式普测,每隔一定距离采集一次红外热成像图,检测视野范围内的温度最高点,为设备普测巡检工作保留历史巡检图像。若设备发生异常,则可通过历史检测记录进行数据追溯。在普测过程中,若发现视野内存在温度超过安全阈值的设备,则立即进行声光报警,并对疑似故障设备进行进一步的温度精确分析,同时将巡检结果自动存储到本地监控后台,为运维人员判断设备缺陷提供依据。

(5)为解决变压器等电力设备故障时的声音异常问题,智能巡检机器人采用音频降噪算法和声音识别技术,减轻环境噪音干扰,增强音频信息识别的准确性和可靠性。音频数据经软件压缩后,传回综合应用服务器进行分析、识别及存储。

(6)为确保自动巡检工作的可靠性和高效性,智能巡检机器人采用激光雷达与惯性测量单元、导航与无线射频标签数据融合的方法,提供多种高精度的导航参数(位置、速度、姿态)。位置及导航信息通过网络实时传输到基站控制系统,利用计算机在电子地图上实时动态跟踪和显示智能巡检机器人的地理方位,实现导航信息的可视化、一体化和集成化。

(7)为满足智能巡检机器人自动巡航要求,系统配置有自动充电装置,充电装置安装于主控室或机器人专用充电房内,当智能巡检机器人电量低或巡检任务结束后,自动返回充电装置充电。特殊情况也可人工手动充电。

(8)为实现远程指导功能,智能巡检机器人搭载双向语音系统,安装有应急广播扬声器和麦克风,用于监控中心和现场人员双向对讲,双向语音传输结合可见光摄像机和红外热成像仪,满足远程视频指导,实现远程监控指挥。

## 2.2 应急操作设计

针对现有机器人巡检变电所可视不可控的问题,智能巡检机器人配置机械手臂,采用按钮视觉定位方

法,准确控制机械臂。如遇应急事件,运维人员可通过本地监控平台准确控制机械臂,对屏柜上的分合闸按钮、转换开关等元器件进行应急操作。机械臂采用双步进电机驱动,不仅能上下运动,还能在上下运动中任意角度调节(180°范围内),可有效作用于不同高度和位置分合闸开关的操作手柄,保证操作功能的可靠性。

## 2.3 机器人进出门设计

为解决智能巡检机器人户内外全面巡检的问题,智能巡检机器人系统配备门控箱,实现自动开/关门功能。当机器人执行巡检任务需进出门时,由智能巡检机器人通过无线通信发出开/关门信号至门控箱,门控箱接收到信号后,立即执行相应操作,实现自动开/关门。门位置信号通过RJ-45接口传送至本地监控后台,实现远程实时监控和闭锁功能。智能巡检机器人通过本地监控后台读取门的实时位置信号,确保机器人执行任务时能可靠进/出门。

## 2.4 微气象设计

为保障智能巡检机器人恶劣天气环境下巡检的可靠性和巡检数据的准确性,智能巡检机器人系统配备微气象,实时在线监测牵引变电所环境温度、湿度、风速、雨量、雪等气象数据,并将气象信息传送至本地监控后台,实现对牵引变电所区域微气象数据的收集、统计与分析。并将气象信息与智能巡检机器人定时巡检功能相结合:(1)将气象数据通过算法融入到设备的检测结果中,确保巡检数据的准确性和可靠性;(2)当出现风速大于30 m/s、积水超过100 mm或雪深超过50 mm等恶劣天气时,暂停机器人巡检任务计划,有效保证智能巡检机器人的安全。

## 2.5 本地监控后台设计

为实现对全所监测信息采集、数据分析结果、告警及联动处置情况、缺陷状态等的集中呈现,方便运维人员对所内的运行情况进行整体把控和运维作业管控,智能巡检机器人系统采用C/S架构的本地集控后台设计,兼容windows、Andriod、IOS等主流移动终端操作系统,操控智能巡检机器人对各监控点进行日常手动或定时巡视,并实时获取和展示变电所温湿度、可见光视频、热成像图像和SF6和局放等数据。数据通过本地集控后台收集处理,自动生成相关的报警信息和统计记录,方便操作人员进行数据分析、管理和判断,及时对异常情况进行报警,并控制智能巡检机器人执行相关任务,实现事故的提前预防与应急操作。

## 2.6 通信设计

### (1)智能巡检机器人系统内部通信

智能巡检机器人与本地监控平台采用无线通信,以满足机器人巡检的灵活性和工程适用性;微气象安

装于主控室房顶,可根据工程具体情况灵活选用有线或无线方式与本地监控平台通信。

### (2)智能巡检机器人系统与辅助监控系统通信

智能巡检机器人系统分布于铁路沿线的牵引变电所内,为实现铁路局/供电段对智能巡检机器人系统的操控,采用铁路专用光纤通道完成智能巡检机器人系统与牵引变电所辅助监控系统的数据信息交互,以满足视频、图片等数据传输带宽要求。根据工程实际情况,用户也可选用5G无线网络实现牵引变电所智能巡检机器人系统与辅助监控系统的信息传输。

## 3 应用效果

基于本文所述的牵引变电所智能巡检机器人系统研究及设计方案生产的产品已应用于柳南客运专线进德牵引变电所和西成高速铁路洋县西牵引变电所。产品采用分层架构,通过智能巡检机器人、微气象等辅助监控设备采集所内辅助设备信息,集成了视频巡检、红外巡检、环境监测等功能,实现了全所的环境信息监测、设备智能巡检及应急操作,所内智能巡检系统前端设备能与设置在段部监控系统进行远程通信,实现了信息采集、远程控制、数据存储、告警处理和监控等功能。自2018年12月至今,该智能巡检机器人系统运行正常,性能稳定,系统监控后台界面友好、功能齐全、组态方便,提高了牵引变电所的正常巡视和应急操作的自动化和智能化水平。产品现场运行图片如图3所示。

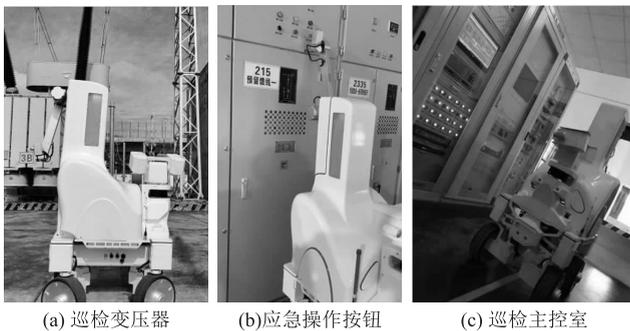


图3 智能巡检机器人现场运行图

## 4 结束语

本文从牵引变电所巡视巡检现状出发,基于智能巡检和自动控制的理念,探讨了一种适用于牵引变电所智能巡检机器人系统方案,详细阐述了系统方案并对巡检系统功能进行详细研究。系统采用智能巡检机器人代替人工,实现对变电所的智能巡检和应急操作。在西成高速铁路和柳南客运专线工程中的成功应用,验证了系统功能和性能的实用性,可为牵引变电所智

能运维提供技术支撑,较大地提高生产效率,节约人工成本。

## 参考文献:

- [1] 铁总运[2015]50号文,高速铁路牵引变电所检修规则[S]. TIE Zong Yun [2015] No. 50, Maintenance Rules for Traction Substation of High Speed Railway[S].
- [2] 苏鹏程. 山区高速铁路无人值班变电所的智能运维技术[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(S2): 85-88. SU Pengcheng. Intelligent Operation and Maintenance Technologies of Unmanned Substations of High Speed Railway in Mountain Areas[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(S2): 85-88.
- [3] 严瑾. 视频监控技术在川藏铁路中的应用探讨[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(3): 51-54. YAN Jin. Discussion on the Application of Video Surveillance Technology in Sichuan-Tibet Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(3): 51-54.
- [4] 谢佳奇, 朱家诚, 魏俊杰, 等. 铁路牵引变电所智能巡检机器人的研制[J]. 机床与液压, 2020, 48(15): 12-16. XIE Jiaqi, ZHU Jiacheng, WEI Junjie, et al. Development of Intelligent Inspection Robot for Railway Traction Substation [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2020, 48(15): 12-16.
- [5] 魏泽旭. 铁路牵引变电所智能巡检机器人研究与开发[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019. WEI Zexu. Research and Development of the Intelligent Inspection Robot in the Railway Traction Substation [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2019.
- [6] 盛伟. 铁路牵引变电所智能巡检机器人控制系统研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019. SHENG Wei. Research of Intelligent Inspection Robot Control System for Railway Traction Substation [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2019.
- [7] 方明进. 铁路变配电所设备智能巡检机器人的研制[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019. FANG Mingjin. Development of Intelligent Patrol Robot for Equipment of Railway Transformer Substation [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2019.
- [8] 王飞. 矿井变电所机器人智能巡检系统设计[J]. 煤炭工程, 2020, 52(10): 159-164. WANG Fei. Design of Intelligent Robot Inspection System for Mine Substation[J]. Coal Engineering, 2020, 52(10): 159-164.
- [9] 刘方. 铁路牵引变电所基于智能移动机器人智能运维管理体系建设构想[J]. 电子技术与软件工程, 2019(16): 218-219. LIU Fang. Construction of Intelligent Operation and Maintenance Management System for Railway Traction Substation based on Intelligent Mobile Robot [J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2019(16): 218-219.
- [10] 于国旺. 浅谈机器人在重载运输线牵引变电所的应用与发展[J]. 中国设备工程, 2018(4): 185-186. YU Guowang. Application and Development of Robot in Traction Substation of Heavy Haul Transportation Line [J]. China Plant Engineering, 2018(4): 185-186.