

城市轨道交通箱式牵引变电所智能运维方式探讨

段国伟

湖南轨道交通控股集团有限公司, 湖南 长沙

收稿日期: 2023年9月26日; 录用日期: 2023年10月20日; 发布日期: 2023年12月5日

摘要

调研现有城市轨道交通箱式牵引变电所运维方式弊端, 探讨智能运维发展趋势, 提出利用辅助设备实现“定期巡检”到“状态检修”的思路, 并对辅助设备的设置方案进行了阐述, 为箱式牵引变电所设计研发提供了参考, 部分思路在湖南省凤凰磁浮文化旅游项目已得到了有效验证, 表明了所提思路的可行性和有效性。

关键词

箱式牵引变电所, 智能运维, 状态监测, 辅助监控系统

Discussion on Intelligent Operation and Maintenance of Urban Rail Box-Type Traction Substation

Guowei Duan

Hunan Rail Transit Holding Group Co., Ltd., Changsha Hunan

Received: Sep. 26th, 2023; accepted: Oct. 20th, 2023; published: Dec. 5th, 2023

Abstract

Investigate the drawbacks of the operation and maintenance mode of existing urban rail transit box-type traction substation, explore the development trend of intelligent operation and maintenance, propose the idea of using auxiliary equipment to achieve “regular inspection” to “condition maintenance”, and describe the installation scheme of auxiliary equipment, which provides a reference for the design and development of box-type traction substation. Some of the ideas have been effectively verified in the Phoenix maglev cultural tourism project in Hunan Province, which shows the feasibility and effectiveness of the proposed ideas.

Keywords

Box Type Traction Substation, Intelligent Operation and Maintenance, Condition Monitoring, Auxiliary Monitoring System

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

城市轨道交通牵引变电所[1]是为城市轨道交通机车提供牵引电能的重要供电设备,近年来,城市用地资源紧缺,为了减少牵引变电所占地面积和建设投资,缩短建设周期,牵引变电所建设模式由“房屋式结构”逐步向“箱式结构”转变[2]。箱式牵引变电所遵循“紧凑型设计”的理念,在满足设备基本操作和维护空间的前提下,尽可能缩小占地面积,因此相对于房屋式牵引变电所,箱式牵引变电所后期运维方面较为不便,而国内大多箱式牵引变电所采用的运维模式仍是定期巡检和发生故障后再进行检修的模式[3],运维工作量大、运维效率低,且故障停电会造成一定的经济损失。因此研究一种能提高运维效率、降低运维成本的箱式牵引变电所智能运维方式具有重要意义。

要解决以上问题,最好的思路是实现“定期巡检”到“状态检修”的转变。目前已研制的箱式牵引变电所产品设置了火灾报警、环境监控、安全监控等辅助监控设备,12 kV 开关柜和直流开关柜设置了温度传感器和智能终端,用以实现所内环境情况和开关设备健康状态的实时监测,监测数据可实时上传至所内一体化自动化平台,通过一体化自动化平台分析处理后将诊断结果和运维建议上传至上级运维中心,运维人员便可实现“状态检修”,所研制的箱式牵引变电所在凤凰磁浮文化旅游项目中得到了应用与验证。基于此,本文对城市轨道交通箱式牵引变电所智能运维方式进行深入探讨,并给出可行性的思路和方案。

2. 箱式牵引变电所典型布置

城市轨道交通箱式牵引变电所集中压开关柜、牵引变压器、组合变流装置、直流开关柜、交直流屏、一体化自动化屏以及接地漏电保护装置等设备于一个双层、密封、防腐的金属箱体内,将城市电网 AC10kV 的电能整流为 DC1500V,提供给机车使用,又能在机车制动的情况下,将 DC1500V 电能逆变为 AC10kV,反馈回电网,起到节能、环保的作用。以湖南省凤凰磁浮文化旅游项目为例,其典型布置如图 1 所示。

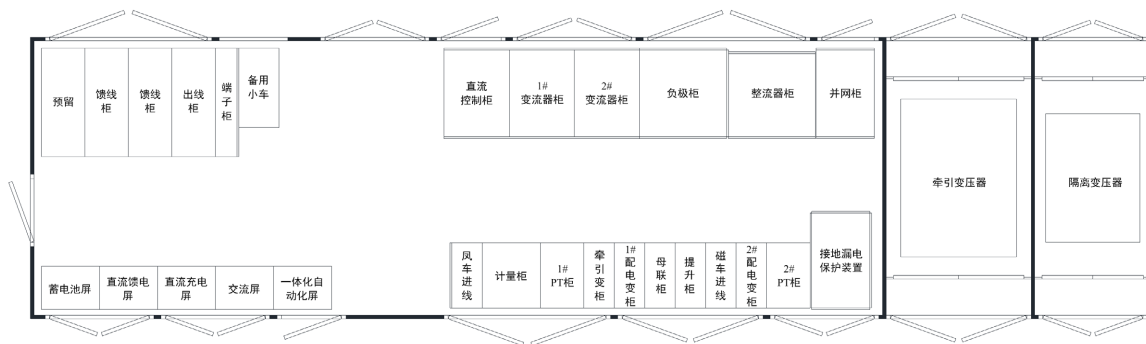


Figure 1. Layout scheme of box-type traction substation in depot

图 1. 车辆段箱式牵引变电所布置方案

3. 箱式牵引变电所智能运维实现方案

本文从实现箱式牵引变电所“定期巡检”到“状态检修”的发展趋势角度出发，探讨箱式牵引变电所的智能运维方案，实现“无人值班、无人值守”的要求。前期市场调研和分析现有运维方式的弊端，通过在箱式牵引变电所内设置辅助监控系统，如安全监控、环境监控、火灾报警、电气设备智能化状态监测等系统，并建立至上级运维中心的专用信息传输通道，实现所内火灾、环境、安防以及电气设备运行和健康状态的实时监控，保证运维人员能实时掌握所内环境和设备运行情况，实现“状态检修”，提高运维效率，降低运维成本，满足“智能运维”底层支撑和箱式牵引变电所“无人值班、无人值守”的要求。以图1车辆段箱式牵引变电所布置方案为例，辅助设备的建议布置方案如图2所示。

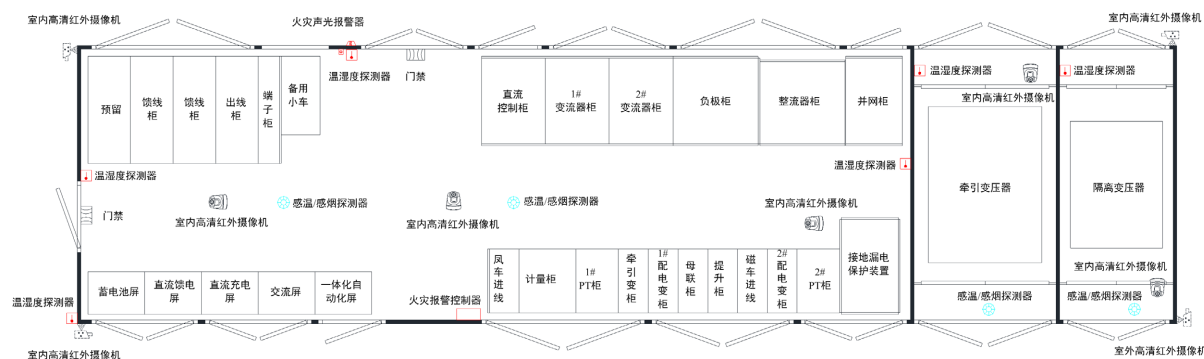


Figure 2. Layout scheme of auxiliary equipment for box-type substation in depot

图 2. 车辆段箱式变电所辅助设备布置方案

3.1. 火灾报警设计

为了监测所内火灾情况，需设置火灾自动报警系统[4]，其系统拓扑如图3所示，其中包含：

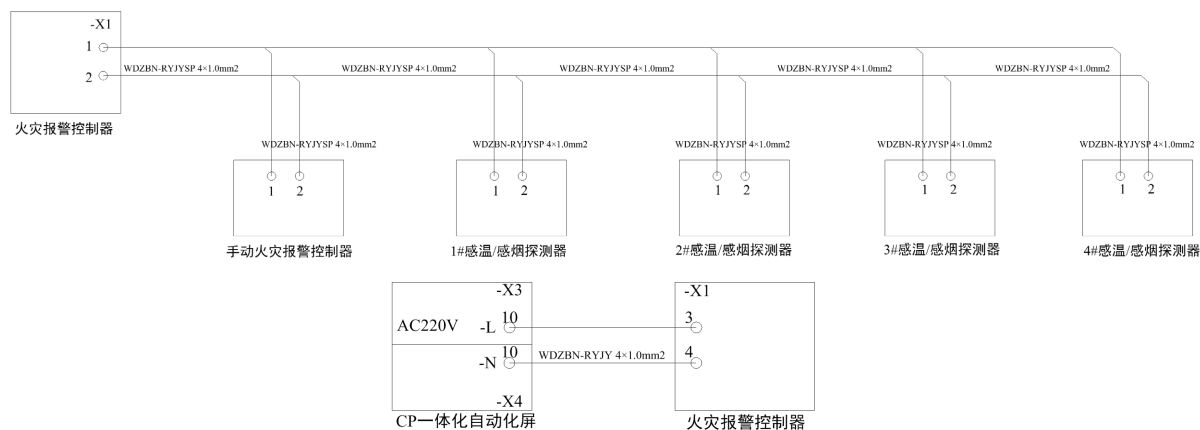


Figure 3. Design of automatic fire alarm system

图 3. 火灾自动报警系统设计

(1) 火灾报警控制器具备信号采集、输出控制、网络通信等功能，与一体化自动化系统进行通信与信息交互。当元器件损坏或积尘超过设定值时，应发出故障告警信号。此外，火灾报警控制器还应具备供电中断而丢失程序的措施，同时应能接受通信系统下达的时钟同步信号。

(2) 火灾探测器采用感温/感烟探测器，现场感应箱式变电所内烟雾信号，把正常和火警信号上传至

火灾报警控制器。

(3) 手动报警按钮布置在火灾报警控制器旁,当发生火灾时,变电所内人员可按下按钮向火灾报警控制器发出报警信号。

此火灾报警设计方案在凤凰磁浮文化旅游项目的箱式变所得以实现,在试验联调阶段,通过模拟烟雾试验测试了火灾报警系统的灵敏性和可靠性,验证了火灾自动报警系统的设计与布置方案的合理性和有效性。

3.2. 环境监控设计

要实现智能运维,上级运维中心需实时掌握所内环境情况,环境参数可用温度和湿度衡量,因此应在箱式牵引变电所合适位置设置温湿度监测系统,其系统拓扑如图4和图5所示。

温度探测器量程范围: $-20^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$,湿度探测器量程范围: $0\%\sim 100\%$,温湿度探测器阻值特性应符合 DIN EN 60751/43760 要求。温湿度监控装置应具有 RJ45 以太网通讯接口或 RS485 接口,将采集到的温湿度信息上传至所内综合自动化系统,进而通过专用传输通道上传至运维中心。此外应在所内设置智能空调系统,按照预设温湿度要求,自动打开或关闭空调相关功能,其运行参数可通过一体化自动化系统上传至运维中心,同时运维中心可控制空调运行状态,调节运行参数。

此环境监控设计方案在凤凰磁浮文化旅游项目箱式变电所内得以实现,验证了环境监控系统的设计方案的合理性和有效性。

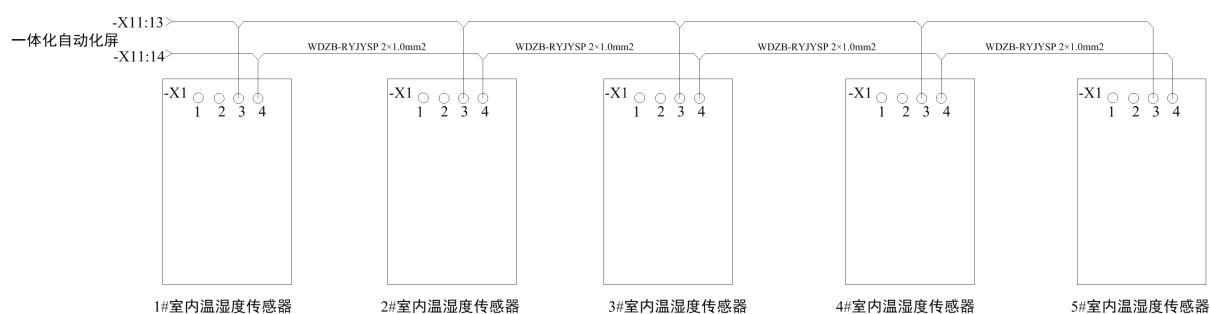


Figure 4. Design of temperature and humidity monitoring system

图4. 温湿度监测系统设计

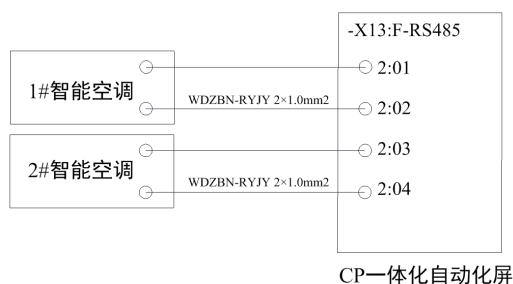


Figure 5. Design of intelligent air conditioning system

图5. 智能空调系统设计

3.3. 安全监控设计

安全监控设计主要针对箱式牵引变电所人员的进出门管理与视频监控,如图6和图7所示。箱式牵引变电所人员进出门应设置门禁传感器,采用门卡或密码锁形式,门禁传感器应实时采集门的开关信号,

将门的正常情况及异常情况(如开门超时、强行开门、非授权开门等)实时上传至变电所综合自动化系统。电力调度系统、供电运维系统及所内综合自动化系统能对任一门锁分、合状态进行控制。门禁可通过变电所综合自动化系统与火灾报警系统联动,在火灾发生时,打开所有预先设定的门。

此外,应在所内和所外设置视频监控系统,可采用球机或枪机,可实现对变电所内和所外环境进行监测,电力调度、供电运维能对任一摄像机进行控制,可对摄像机各具体功能(如方位、聚焦等)参数进行的调整,也可对摄像机(如区域位置、区域覆盖等)参数进行设置,还能对云台进行预置和操作,为变电所室内和室外的安防、远程巡视提供硬件基础支撑。

此安全监控设计在凤凰磁浮文化旅游项目箱式变电所内得以实现,可实现所内全方位的监视,其方位和聚焦参数可通过一体化自动化平台以及上级控制中心控制,同时通过一体化自动化平台实现了不同辅助监控系统之间的联动,验证了安全监控设计的可行性和有效性。

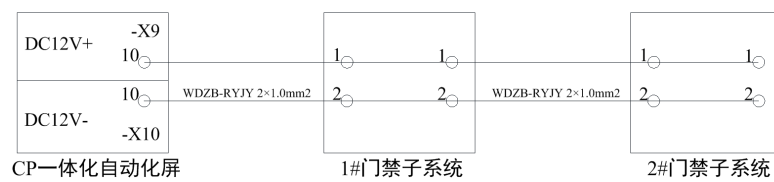


Figure 6. Design of access control system
图 6. 门禁系统设计

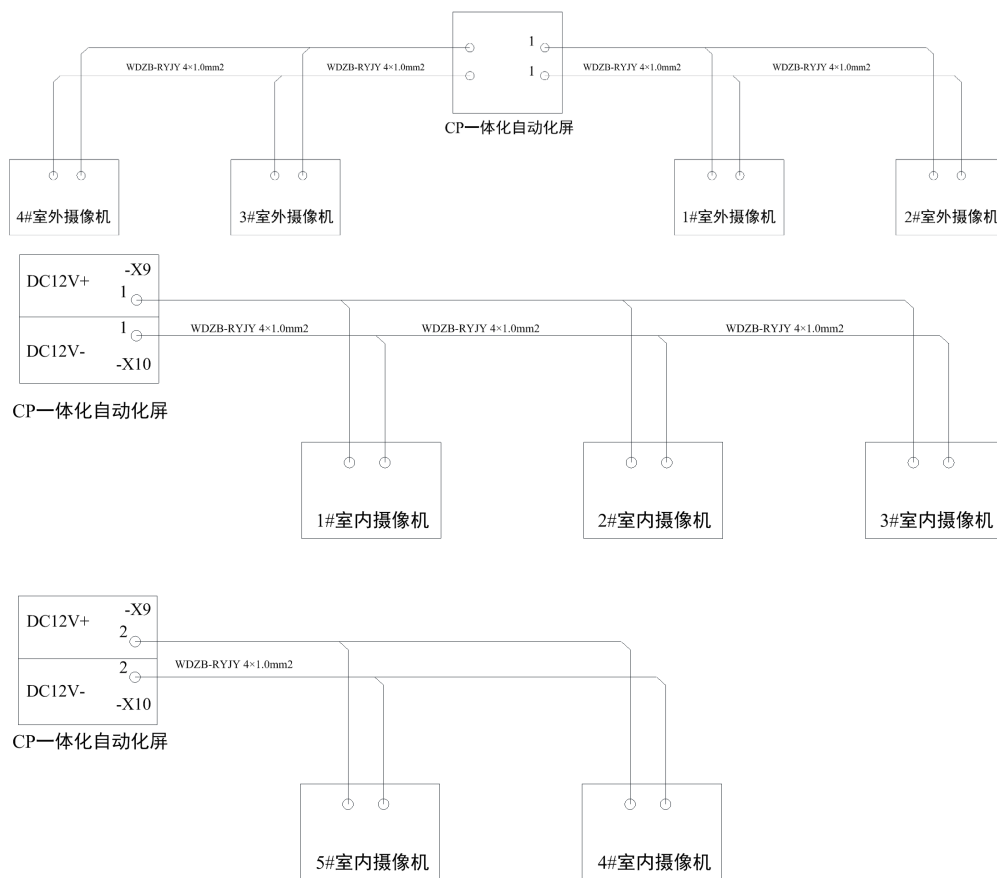


Figure 7. Design of video surveillance system
图 7. 视频监控系统设计

3.4. 电气设备状态监测设计

箱式牵引变电所内电气设备运行状态监测[5]设计框架分为感知层、通讯层和应用层。

感知层包含 12 kV 开关柜和直流开关柜温度监测，在开关柜电缆室一次电缆连接部位、母排搭接处以及断路器手车与开关柜连接的动静触头部位设置温度传感器。其中一次电缆连接部位采用电缆堵头传感器，如图 8 所示；母排搭接处采用捆绑式传感器，如图 9 所示。

在 12 kV 开关柜和直流开关柜内设置智能终端，通过内置算法对采集的数据进行处理，形成精简特征集 SFS，采用传感器终端稳态信号和非稳态信号的信号压缩处理、边缘计算、低功耗硬件架构和计算算力的优化设计方法，提高数据处理水平和准确率。通讯层设置智能网关，将智能终端采集处理后的数据采用先进及可靠的通讯方式上传至应用层，同时智能网关具备多通道即插即用的数据汇入和边缘代理功能，支持标准化工业数据接口和通讯协议要求。此外对本地智能网关的多路收发、多协议转换、异构信息处理和边缘计算进行标准化设计，从而优化数据传输和存储结构，使得系统安全、稳定、流畅运行。

应用层负责特征参数、故障诊断结果的展示，数据的存储和查询，以及配置管理。该平台包括高效运维平台、可靠性管理、电气资产管理、人员安全管控等方面内容，涵盖了对配电资产、配电设备、环境数据和信息全面的采集、存储、分析和可视化，通过自动告警机制，智能分析、故障诊断、生命周期管理等应用。



Figure 8. Cable plug sensor
图 8. 电缆堵头传感器

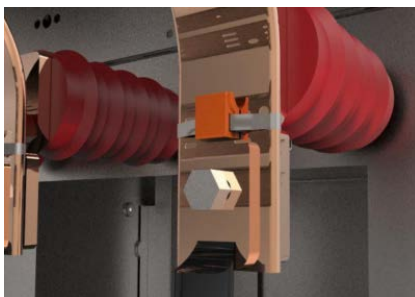


Figure 9. Bundled sensors
图 9. 捆绑式传感器

4. 总结

通过轨道交通变电所信息的全面感知，获取运行状态、设备信息、环境等全景数据，结合智能一次设备、智能传感器、智能终端等智能电气设备，构建以设备感知层、网络通讯层和站级应用层为核心的分层分布式系统架构，推进箱式变电所电气设备状态智能化和状态监测，实现电气设备状态全面感知、设备智能管理分析、设备问题主动预警、事故应急处置决策，使电气设备运维从“人工经验”转向“数

据驱动”，从“人力巡检”转向“智能运维”。

根据箱式牵引变电所辅助监控设备的设计，运维人员可实时获知所内火灾、环境、安防等情况以及电气设备运行和健康状态，为箱式牵引变电所智能运维提供底层支撑，为运维人员提供全面综合的决策信息和依据，进而实现“定期检修”到“状态检修”的转变，提高运维效率，实现箱式牵引变电所“无人值班、无人值守”的要求。在湖南省凤凰磁浮文化旅游项目中，箱式牵引变电所设置了火灾报警、环境监控、安全监控及开关设备状态监测等装置，自 2021 年 10 月投入运行以来，运行情况良好，能及时发现故障，且未发生漏报和误报的情况，表明了所提方案的合理性、可行性和有效性。

参考文献

- [1] 喻奇. 箱式直流牵引变电站在城际轨道交通中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(8): 177-180.
- [2] 王尉舟, 由恒远. 大型箱式牵引变电所在新制式轨道交通中的应用[J]. 中国新技术新产品, 2021(1): 61-63.
- [3] 陈燕. 箱式变电所电气设备维护管理措施分析[J]. 照明电器, 2022(6): 112-114.
- [4] 董慧妍. 轨道交通火灾自动报警系统设计与应用[J]. 南京工业职业技术学院学报, 2016, 16(2): 1-5.
- [5] 孙有德. 电气设备在线监测及状态检修技术研究[J]. 电气时代, 2022(4): 34-36.