

# 铁路箱式变电站智能监测系统研究

孙树军<sup>1</sup> 范增盛<sup>2</sup> 姜敏暄<sup>3</sup> 张超<sup>4</sup>

1. 中国铁路青藏集团有限公司西宁供电段 青海省西宁市 810000
2. 中国铁路青藏集团有限公司供电部 青海省西宁市 810000
3. 中国铁路西安局集团有限公司宝鸡供电段 陕西省宝鸡市 721000
4. 南京恒星自动化设备有限公司 江苏省南京市 211135

**摘要:** 当前铁路箱式变电站多为传统箱式变电站,基本具备远程监控、设置运行参数等功能。目前,铁路箱式变电站的运行状况总体良好,但也面临着一些挑战,随着铁路交通的快速发展,对供电系统的稳定性和可靠性提出了更高的要求,同时智能电网的推广也对箱式变电站的技术水平和智能化程度提出了更高的要求。为了应对这些挑战,铁路箱式变电站行业需要不断加强技术创新和产品审计,提高设备的智能化、集成化水平,同时还需要加强运维管理、提高运维效率和管理水平。铁路箱式变电站的监测不仅依赖于传统的传感器和仪表,还要结合无线通信技术、以太网通信技术,实现多种监测手段的有机结合。通过数字孪生技术,利用物理模型、传感器、运行数据等,继承多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程,在虚拟空间中完成映射,从而反映相对应的实体设备的全生命周期过程,数字孪生技术还可以进行预测、诊断、训练等仿真工作,并将仿真结果反馈给物理对象,以帮助优化和决策。

**关键词:** 箱式变电站; 智能化; 数字孪生; 视频联动; 智能运维

## 1 引言

传统箱式变电站在长期运行中,由于各种客观原因造成箱式变电站在投运后出现以下问题:电缆搭接处故障、母线故障、操作机构故障、避雷器故障、变压器故障、箱式变电站内凝露问题引发的绝缘闪络故障、防水防火问题、防盗问题等,从而对设备本身的安全及电网的可靠运行带来了隐患,直接影响设备的安全稳定运行。

为实现箱变的可观、可测、可控、节能,具备供电电网监测的信数据采集,以及状态监测、门禁、环境监测、火灾自动报警、视频监控等功能,并能整合、优化以上各子系统,实现信息共享与各子系统之间的联动,可与供电调度系统、综合运维系统等进行信息交互,实现对变电站的智能化监测、控制和保护,提高变电站的运行效率和安全性,提高运维水平。

## 2 国内外研究现状

### 2.1 国外研究现状

在欧美国家,箱式变电站已经广泛应用于城市配电网、工矿企业以及新能源发电站等领域,其监测系统也经过了长期的实践和优化。国外在铁路箱式变电站监测系统的研究

中,广泛采用了云计算、大数据、人工智能等新技术,提高了监测系统的智能化水平和数据分析能力。国外还建立了完善的箱式变电站及其监测系统的标准和规范体系,为系统的研发、生产、运行和维护提供了有力的保障。

### 2.2 国内研究现状

国内铁路箱式变电站监测系统的研究热点主要集中在智能化和自动化方面,通过引入先进的传感器、数据采集技术和智能分析算法,实现对变电站运行状态的实时监测、故障诊断和预警。随着物联网技术的发展,国内铁路箱式变电站监测系统也加强了对通信技术和网络安全的研究,以确保监测数据的实时、准确传输和系统的安全稳定运行。

## 3 研究内容

本文主要研究的是一套铁路箱式变电站智能监测系统(软件)及与之配套的智能型箱式变电站,实现箱变的可观、可测、可控、节能,具备供电电网监测的信数据采集,以及状态监测、门禁、环境监测、火灾自动报警、视频监控等功能,并能整合、优化以上各子系统,实现信息共享与各子系统之间的联动,可与视频监控系统、综合运维系统等进行信息交互,实现对变电站的智能化监测、控制和运维,提高变电站

的运行效率和安全性，提高运维水平。

#### 4 关键技术

##### 4.1 多源异构故障信息融合及识别机制

基于深度学习技术的铁路箱变供电设备多源异构故障信息的融合及识别机制，实现既有监控状态信息、台帐信息、检修信息、故障信息等多数据高效融合及设备状态的识别，对设备的健康状态进行量化处理，得出对应的健康因子。

##### 4.2 设备状态巡检

铁路箱变目前采用定期巡检方式，设备巡视时一般有两人或以上共同执行。基于箱变一体化平台实现辅助监控和设备在线监测数据共享，多源数据整合，评估设备运行状态，将原有以单一时间维度作为巡检间隔的模式，创新成通过在线状态评估的预检修模式，提高了工作效率。

##### 4.3 基于数字孪生创建的铁路箱式变电站数字孪生体技术

通过数字孪生技术，对铁路箱式变电站的站内场景、设备、室内场景等进行三维建模，创建箱式变电站的数字孪生体。使得运维人员可以直观地查看箱变的运行状态和设备信息，实现全维度的感知。该技术在铁路箱式变电站监测中的应用涵盖了与实时监控、智能分析与预测性维护、优化设计与仿真验证、远程监控与智能管理以及安全管理与风险预警等多个方面。这些应用不仅提高了变电站的运维效率和管理水平，还降低了运维成本和风险，为铁路电力系统的稳定运行提供了有力保障。

#### 5 设计方案

传统的箱式变电站只是将中压开关设备、变压器以及低压设备进行有效整合，形成一种成套变配电设备，配置电力远动终端装置，实现远程监控。

本方案以兰青线老鸭城站箱变为研究对象，实现箱变的智能化监测，研制一套一套铁路箱式变电站智能监测系统（软件）及与之配套的智能型箱式变电站，以减少日常运维工作量，实现箱变的可观、可测、可控、节能，提高运维水平和供电可靠性为目标。

##### 5.1 智能型箱式变电站构成

智能型箱变在统一的智能一体化平台上，建立起对箱变各个分立系统及元件的综合管理、控制、保护、测量，能够在一个统一的界面上发布箱变的各项信息和实现远程操作，能够在站控层看见箱变的有关机械结构、一次设备的参

数等。智能箱式变电站节能、环保、可消除大量安全隐患，有着传统变电站不可比拟的优点。

##### 5.2 箱变一体化平台

智能型箱变融合电力监控、一次设备在线监测、环境监测、视频监控、门禁系统等各个子系统，基于箱变一体化平台实现各个系统数据共享，多源数据整合，实现运行数据、设备状态和运维管理功能。

箱变一体化平台对多源数据进行整合，通过设备状态的可靠评估，全面提高箱变设备安全保障能力，推进打造现代化的、安全优质高效的设备管理体系，促进铁路安全信息化支撑能力，为建立科学、高效、标准、规范的箱变设备管理体系提供技术支持，提升供电安全管理与设备维护水平。

箱变一体化平台主要实现以下功能：

###### (1) 电力监测

###### (2) 箱变辅助监控

###### 1) 智能门禁

接收平台管理单元的开门授权命令；使用密码或人脸识别开启门禁；门禁开闭状态的实时上报。

###### 2) 照明

智能箱式变电站内安装照明设备，与门禁进行联动，开门打开照明，关门关闭照明。

###### 3) 环境监测

包括温湿度传感器、轴流风机、空调、烟感、水浸传感器等。

###### (3) 能耗监测

对箱变内各供电回路进行能耗监测，对电压不平衡、漏电、偷电等情况进行监测和报警。

###### (4) 联动功能

支持设备间的广泛联动，设备之间的联动关系可以自由设置。

支持开关量输入联动开关量输出，支持一对多，多对一，多对多的开关量输入输出联动。

###### (5) 智能一次设备在线监测

在铁路系统电气设备安全中绝缘破坏即绝缘失效是用户主要的防护风险之一。当电气设备老化、变质或受到高温、潮湿、腐蚀等作用而失去绝缘能力时，可能会引发供电设备短路、起火、甚至爆炸等电气事故。绝缘破坏过程中常伴随磁场变化、电气参量变化、气体分子变化以及温度、光强等

物理量变化，这些现象依次发生在绝缘失效初期、中期和后期，因此对于电力管理者而言尽可能的掌握早期数据变化是预防事故发生的最佳方法。

### 1) 局放监测

对变压器进线进线局放监测，通过电容耦合原理采集暂态电压信号，在不破坏电气结构的前提下捕捉柜内局放信号强度，根据需求和应用经验将局放检测标准设定为“抓大放小”规则，在减小误报的同时提高了准确率。

### 2) 变压器声纹监测

声纹在线监测系统对变压器关键零部件进行实时在线监测，高清声纹采集器将实时采集的振动语音数据，根据音频频谱变化规律分析出设备运行状况，工作人员在远程监控端实时查看设备运行情况。当变压器运行异常时产生的音频频谱会发生变化，利用神经网络判断故障点，分析故障情况，远程监控界面收到故障报警，工作人员根据报警采取维护措施。

### 3) 电缆头温度监测

高压电缆接头、母排连接处、绝缘子等节点在发生故障前会伴随着温度的异常升高，高温状态下会造成绝缘设备的绝缘强度降低，产生放电现象，然而在开关柜内故障节点分散不易于监测，采用电缆头无线测温技术可以很好的解决故障定位问题，提前预警避免故障扩大化。

## 5.3 视频监控

### 5.3.1 箱变环境视频监控

在箱变外部配置网络摄像头，监控箱变外部环境，根据预设的布防区域，捕捉动态侵入目标，自动进行录像。

### 5.3.2 设备视频监控

箱变内安装网络摄像机，对关键设备进行视频监控，并设置预置位，与设备报警及预警信号联动，信号发生时，摄像头自动对准信号发生点进行视频和拍照记录。

### 5.3.3 视频巡检

智能终端根据设置的巡检卡片对箱变设备进行智能巡视，可以替代人工巡视，巡检方案可编辑，生成巡检报告。

利用深度学习智能图像识别技术，在自动巡视时判断设备运行是否正常，如果出现异常自动进行报警；

### 5.3.4 视频联动

当事件告警时，关联摄像机自动对准告警目标并启动录像功能。

## 5.4 智能运维

通过对箱变的设备状态和运行环境的实时监测和分析，极大增强设备管理的精细度，提高管理的实效性和效率，实现基于时间的检维修模式向基于状态和基于风险分析的检维修模式的转变。对可能发生的运行故障进行预警，可以有效避免故障发生或者故障范围扩大，减少损失，从而提高箱变的运行效率和安全性，同时减少运维工作量，节约人力、物力资源。

智能运维主要包括以下功能：

(1) 设备状态巡检：基于多源数据整合，评估设备运行状态，将原有以单一时间维度作为巡检间隔的模式，创新成通过在线状态评估的预检修模式，提高了工作效率。

(2) 精确故障诊断和故障定位：箱变可以极大提高运行可靠性，能够实现故障精确定位，及时准确的发现故障点，缩小事故范围，减少用户停电时间，提高箱变供电可靠性。

(3) 设备全生命周期管理：箱变供电设备监控状态信息、台帐信息、检修信息、故障信息等多数据高效融合及设备状态的识别，实现对设备的生命周期管理。



图 1 数据可视化大屏画面



图 2 箱变数字孪生体

## 6 结论

铁路箱式变电站智能监测系统的研究，符合我国铁路电力发展的需要，具有重大意义和广阔应用前景，该系统采

用标准化设计，现场设备易安装，软件部署灵活。系统实现对箱式变电站的智能化监测、控制和运维，提高变电站的运行效率和安全性，提高运维水平。

**参考文献：**

- [1] QCR 929-2022 《铁路电力远动终端装置》
- [2] GB / T 40773-2021 《变电站辅助设施监控系统技术规范》
- [3] QCR796\_2020 《铁路供电调度控制 (SCADA) 系统

技术条件》

- [4] T/CES 273-2024 《变电站数字孪生体构建流程与通用技术要求》

- [5] GB/T 43441.1 《信息技术 数字孪生》 第 1 部分：通用要求

- [6] GB/T 22239 《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》