

# 基于在线预检修模式的牵引变电所设备状态 评估系统研究<sup>\*</sup>

戴丽君 赵紫龙 童岩峰 武智慧

(南京铁道职业技术学院铁道供电系, 210031, 南京//第一作者, 教授)

**摘 要** 针对基于信息通信技术及互联网技术研发的牵引变电所设备状态评估系统, 详细介绍了其系统架构、模块构成, 说明了其技术原理、功能及主要技术指标, 并阐述了该系统的实施与应用。牵引变电所设备状态评估系统采用先进的系统技术、通信技术、信息处理技术和计算机网络技术, 基于多元数据集成技术, 可通过在线评估设备运行状态实现预检修, 并为设备安全运营和维护提供安全策略。其近2年的实际运行经验表明, 该系统可实施性强, 能有效解决运维不及时难题, 能确保各种设备设施有机协同安全运行。

**关键词** 轨道交通; 牵引变电所; 设备状态; 评估系统

**中图分类号** U224.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.08.005

## Research on Equipment Condition Evaluation System of Traction Substation Based on On- line Pre-maintenance Mode

DAI Lijun, ZHAO Zilong, TONG Yanfeng,  
WU Zhihui

**Abstract** Targeting the traction substation equipment status evaluation system developed on the basis of information communication technology and internet technology, the system architecture and module composition are introduced in-depth. The technical principle, functionality and main technical indicators are explained, and the implementation and application of the system are expounded. Traction substation equipment status evaluation system adopts advanced system technology, communication technology, information processing technology and computer network technology. Based on multivariate data integration technology, pre-maintenance can be realized through online equipment operation status evaluation, providing safety strategy for equipment safe operation and maintenance. The practical operation experience in the past two years has proven that the system has strong applicability, solving difficult issues

including untimely operation and maintenance, ensuring organic and synergic safe operation of various equipment.

**Key words** rail transit; traction substation; equipment status; evaluation system

**Author's address** Department of Railway Power Supply, Nanjing Institute of Railway Technology, 210031, Nanjing, China

目前,各运营单位对于牵引变电所内设备的管理主要是采用传统的人工定期巡检方式。这种巡检方式依赖于人工,流程繁琐:需为各设备设立台账信息,并为每个设备做静态履历簿;值班人员根据变电所设备状况,制定设备定期巡视周期表,并在变电所内建立专用设备巡视记录簿和日常设备巡视卡,每巡视一次则登记一次;设备巡视一般由2人或2人以上共同执行;变电所应标注醒目的设备巡视路线及重点巡视部位;设备巡视中如发现异常或设备事故,再按相关管理规程及安全工作规程的规定汇报处理;各变电所每月巡视2次,每季度夜间巡视1次,节假日或恶劣气候时应进行特殊巡视,发生紧急情况时巡视应立即终止,并迅速参加事故处理,事毕后再及时补巡。可见,采用传统的人工巡视方式,人员工作强度非常大,且受人为方式或其他不可预测情况影响,突发事件处理也不够及时。

移动互联网技术的兴起,使各种在线采集系统得以广泛应用。“互联网+”融合了云计算、大数据、物联网等技术,实现人与人、人与物、人与服务、人与场景、人与未来的连接,给整个行业带来新的发展格局,为变电所设备的在线状态评估提供了条件。

本文提出的牵引变电所设备状态评估系统(以

<sup>\*</sup> 江苏省轨道交通控制工程技术研发中心开放基金项目(KFJ2003);南京铁道职业技术学院“青蓝工程”优秀教学团队项目(RCQL19213);南京铁道职业技术学院优秀科技创新团队项目(CXTD2022001)

下简称为“变电所设备评估系统”),将互联网技术与通信技术相结合,通过构建统一的设备管理数据库,能实现变电所内综合自动化系统和辅助监控系统监控数据的全面共享,创新了设备管理信息化应用模式。采用该系统,一方面可为处理事件、流转业务的应急调度指挥、后台盯控、及时有效进行处理等业务提供有力保障;另一方面,还能提升工作效率、降低运营维护成本,并为制定维护策略提供切实、可用、安全、可控的技术支持。

## 1 变电所设备评估系统总体架构

变电所设备评估系统由设备信息及运维管理、设备可靠性分析、系统管理等部分组成,通过对设备基本信息、运行数据、检修数据、故障数据及既有知识库的查询,实现设备的可靠性评估分析,作出相应的健康状态评估,为设备检修提供依据。

### 1.1 变电所设备评估系统的研发

变电所设备评估系统采用 B/S(浏览器和服务)架构模式,采用 Dot Net 或 Java 开发语言,其数据层为 Oracle 网络的分布式存储;通过 Web service、HTTP(超文本传输协议)等同 ERP(企业资源计划)系统、SCADA(监控与数据采集)系统及辅助监控系统集成。便于用户通过浏览器可直接访问服务器数据,提高了用户端使用的便捷性。

设备评估系统采用 SOA(面向服务的架构)体系的企业级软件架构。在 SOA 体系下,应用软件被划分为具有不同功能的服务单元,各服务单元利用标准的软件接口相互连通。通过 SOA,企业能快速适应业务的迅速变化,可有效整合新旧软件资产,降低软件整体拥有成本;能有效兼容不同设备服务器的数据,提高不同设备数据有效传输及读取效率,提升系统的可扩展性、灵活性、先进性和可控性。

### 1.2 系统整体架构

变电所设备评估系统基于牵引变电所的综合自动化系统进行搭建,并通过数据标准接口连接辅助监控系统、操作票管理、环境监控系统、生产计划管理等各外部系统,从而实现在线的静态数据和动态数据的实时共享。接口实时传送的数据保证了设备可靠性分析、设备维修管理及设备状态评估结果的真实性和准确性。

变电所设备评估系统整体架构(如图 1 所示)由数据采集层、数据分析计算处理层(核心部分)、扩展应用层三部分构成。

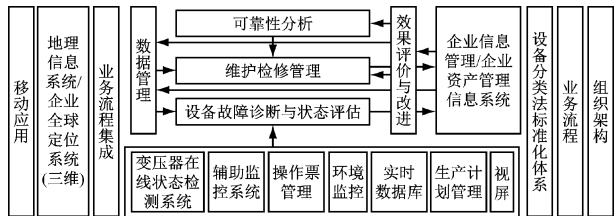


图 1 变电所设备评估系统整体架构

Fig. 1 Overall architecture of substation equipment evaluation system

#### 1.2.1 设备可靠性分析

可靠性分析算法基于系统建模理论。按变电所内相关设备及其周边设备组成的系统,采用 XML(可扩展标记语言)格式建立起可靠性模型,作为可靠性分析的基础。根据可靠性数据库及设备自身的故障历史数据,来计算上述设备所构成系统的可靠性水平。可靠性评价指标包括:MTBF(平均故障间隔时间)、失效率  $\lambda(t)$  及可靠度  $R(t)$ 。

#### 1.2.2 设备维护检修管理

将由 RCM(以可靠性为中心的维修)、RBI(基于风险评估的设备检验技术)、SIL(安全完整性等级)、RCA(根本原因分析)等模块得到的结论,以及由其他模块得到的维护检修建议进行统一管理和可靠性分析,并通过集成各模块的实施过程,促进策略的优化。

#### 1.2.3 设备故障诊断与状态评估

通过对变电所供电设备健康状况和可靠性进行评估推断,实现对既有监控状态信息、台账信息、检修信息、故障信息等多数据的高效融合,并识别设备状态,对设备的健康状态进行量化处理,进而提供多维度解决方案。

### 1.3 九大模块

变电所设备评估系统主要包含九大模块,各模块功能为:

- 1) 设备信息管理模块:系统数据管理、系统设备基本信息管理、知识库管理。
- 2) 设备运维管理模块:主要包括设备维修数据管理、设备运行数据管理、设备故障案例库。
- 3) 项目管理模块:确定项目类型,管理项目评价。
- 4) 可靠性分析模块:提供可靠性计算、可靠性结果查看和标准失效库管理等功能。

5) FMEA(潜在失效模式与效应分析)模块:包括设备关键性分析、FMEA 及风险评估和 FMEA

报表。

6) 设备维修维护模块:包括设备维修策略和设备维护策略两部分。

7) 维修维护策略库模块:为设备维修和维护提供策略支持,包括维修方式、维修项目、维护方法等。

8) 基础数据管理模块:能便捷快速地查询系统的基础数据信息,包括安装地点、故障模式、故障机理、故障原因、设备类型、设备类故障模式、设备类故障部件、应用领域、生产厂家等。

9) 系统管理模块:可以对系统菜单进行个性化设计,提供角色和用户管理,以及单位管理等。

## 2 变电所设备评估系统的技术要求

### 2.1 技术原理

变电所设备评估系统采用基于深度学习的设备运行状态评估算法,结合变电所设备物理模型,建立供电设备多源异构故障信息的融合及识别机制,进而实现变电所内综合自动化系统和辅助监控系统的监控数据全面共享;结合设备指数分布的生命周期曲线,统一构建设备数据库管理;基于多元数据整合,评估设备运行状态;将原有以单一时间维度作为检修间隔的模式,创新为通过在线状态评估的预检修模式;通过神经网络分析失效判定和故障预测,对设备失效状态进行评估分级,及时发现设备状态变化和可能存在的安全隐患,并自动给出检修预案。

### 2.2 变电所设备评估系统的功能

通过设备台账等静态设备信息及 SCADA 系统动态在线监测数据的融合,结合设备指数分布的生命周期曲线,统一构建设备数据库管理。变电所设备评估系统主要功能包括:

1) 设备数据管理功能。包括牵引变电所设备系统数据管理、维修数据管理、运行数据管理、故障案例库管理、知识库管理等功能。

2) 可靠性分析功能。可实现对牵引变电所设备的可靠性分析及可靠性数据管理,提供可靠性数据库建立、可靠性数据的趋势分析、可靠性分布分析、故障模式与影响分析等功能。

3) 检修策略策略管理及应用功能。可提供维修策略库管理、牵引变电所设备分级及维修策略等功能。

4) 系统管理功能。提供菜单自定义功能、角色和用户管理功能,以及使用单位、安装地点等公共

信息管理功能。

5) 强大的后台管理功能。该功能真正实现了模块和角色的灵活定制,突出了通用性。变电所设备评估系统将模块、使用单位与用户权限相结合,可有效地对登陆用户进行分类管理。

### 2.3 主要技术指标

变电所设备评估系统的主要技术指标为:一般查询功能平均相应时间 $\leq 2\text{ s}$ 、消息推送或预警时间延迟 $\leq 3\text{ s}$ 、运行环境温度为 $-40\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、运行环境湿度为 $5\%\sim 95\%\text{ RH}$ 、触头温度分辨率 $\leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、触头测温精度 $\leq \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;采用 $15\text{ kV}$ 空气放电作为静电隔离保护措施,并采用 $8\text{ kV}$ 接触放电保护;采用 $4\text{ kV}$ 光电隔离防护及 $36\text{ V}$ 直流过压保护;电磁兼容性指标须满足电力行业标准;健康因子准确率 $\geq 95\%$ 。

## 3 变电所设备评估系统的实施与应用

### 3.1 变电所设备评估系统的实施

变电所设备评估系统实现了对变电所设备的全生命周期管理,可根据设备大数据分析结果自动生成维修申请单。设备大数据分析的数据源如图 2 所示。

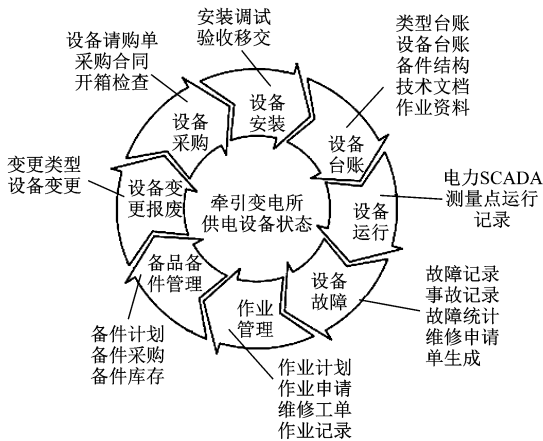


Fig. 2 Data source for device big data analysis

根据历史维修信息及运行信息,变电所设备评估系统能快速完成可靠性评价指标的计算,通过后台分别查询失效率、失效机理-失效模式、维修部件-失效模式、可靠度相关数据。

变电所设备评估系统具有有效 FMEA 功能,既支持在线完成 FMEA 及风险评估,也支持部分离线进行 FMEA,并通过导入完成评估的功能。根据

FMEA 评估结果,设备状态划分为 5 个等级。FMEA 还可通过设备运维知识库自学习,完成不同等级的事故处理预案。

变电所设备评估系统在实施过程中提高了牵引变电所设备检维修工作的效率,其实施目标为:将以时间为基准的检修策略改变为基于状态和风险分析的设备检维修模式。具体实施要点如下:

1) 实现变电所设备维修由故障修模式转为状态修模式的既定目标。充分运用各种在线监测的系统集成技术,在线评估牵引供电设备的运行状态。

2) 实现牵引变电所设备全生命周期管理,建立健全牵引变电所设备大数据源,并自动生成维修申请单。

3) 支持设备运维知识库自学习及多种评估实现方式。评估结果将设备状态分等级处置,实现不同等级的事故处理预案。

### 3.2 变电所设备评估系统的应用

变电所设备评估系统可为变电所检修及故障预判提供依据和方案。该系统自 2020 年 7 月在中国铁路上海局集团有限公司南京供电段投入试运行,至今已稳定运行 2 年。

变电所设备评估系统在实际应用中的工作流程为:首先,通过标准数据库接口,自动接入现有的 SCADA 系统及辅助监控系统等数据源,并借助信息化手段对数据进行校验和核对,从而提高作业数据准确性;然后,基于多元数据集成技术,评估设备运行状态,形成在线状态评估的预检修模式;最后,通过神经网络分析失效判定和故障预测,对设备失效状态进行预测并分级,及时发现设备状态变化和可能存在的安全隐患,从而实现牵引供电现场抢修作业的精细化管理。

### 3.3 经济效益

变电所设备评估系统的实施和应用可带来较大的经济效益。

1) 获得的数据信息更加精准,可降低人力管理成本。通过标准数据库的接口,能自动接入各系统数据源,减少了人工收集处理数据的压力,提升了工作效率。通过高效的信息化技术来校验和核对数据,提高了数据信息的可靠性。

2) 管理过程流程化,保障了管理的规范性。变电所设备评估系统的流程化管理能有条不紊地收集各类作业信息,并分析整合数据,关联多维度生产活动信息,既能有效地进行安全监管,也能对生

产过程进行规范化管理。

3) 设备管理更加精细化和信息化。变电所设备评估系统基于多元数据集成技术,通过在线评估设备运行状态实现了预检修,通过神经网络分析失效判定和故障预测,将设备失效状态进行分级,可及时发现设备状态变化和可能存在的安全隐患,实现现场抢修作业的精细化管理,降低了人力监管成本。

## 4 结语

本文基于以往供电设备台账信息化实施的经验,详细介绍了变电所设备评估系统。该系统针对丰富的在线监测系统数据,实现了变电所内综合自动化系统和辅助监控系统监控数据的全面共享,统一构建了设备数据库管理,基于多元数据整合来评估设备运行状态,将原有以单一时间维度作为检修间隔的模式,创新成通过在线状态评估的预检修模式,可有效提高工作效率,能够有效解决设备维护过程中投入和产出的不平衡。该系统的研发应用,实现了供电设备设施维修体制改革的重大突破,具有良好的应用前景。

## 参考文献

- [1] 赵峰,陈子文,陈小强,等.高速牵引变电所健康状态评估[J].铁道科学与工程学报,2019(9):2162.  
ZHAO Feng, CHEN Ziwen, CHEN Xiaoqiang, et al. Assessment of health status of high-speed traction substation[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2019(9):2162.
- [2] 赵玮杰,耿微,张凯玲.变电所电气设备运行的状态评估信息化管理[J].中国管理信息化,2015(18):68.  
ZHAO Weijie, GENG Wei, ZHANG Kailing. Information management of electric equipment operation status evaluation in substation[J]. Management Information Technology of China, 2015(18):68.
- [3] 唐楚雪.数字化牵引变电所二次设备状态估计[D].成都:西南交通大学,2018.  
TANG Chuxue. The state estimation of the secondary equipment of digital traction substation[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018.
- [4] 弓静强.基于模糊综合评判的变电所设备状态检修管理研究[D].北京:华北电力大学,2014.  
GONG Jingqiang. Study on substation equipment condition maintenance management based on fuzzy comprehensive evaluation[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.

(收稿日期:2021-01-23)