

重庆轨道交通环线电力监控与数据采集系统的建设与创新

周尚明

(重庆轨道交通(集团)有限公司,400080,重庆//高级工程师)

摘要 基于电力监控与数据采集系统深度集成于综合监控系统的弊端分析,介绍了重庆环线电力监控与数据采集系统独立组网的自立分层分布式系统结构,及其在控制中心与综合监控系统的互联。介绍了基于电力系统 CIM(公用信息模型)和 CIS(组件接口规范)的电力监控与数据采集系统模型建立,详细阐述了重庆环线电力监控与数据采集系统的程序控制技术、远程图形服务技术,以及该系统在能源管理及其他高级应用方面取得的创新成果。

关键词 城市轨道交通;重庆环线;电力监控与数据采集系统;程序化控制;能源管理

中图分类号 U231.8

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.05.034

Construction of Key Technologies Research and Summary on Chongqing Rail Transit Circle Line PSCADA

ZHOU Shangming

Abstract Based on the malpractice analysis of the integration of power supervision control and data acquisition (PSCADA) system into integrated supervisory control system (ISCS), the independent hierarchical distributed system structure of Chongqing rail transit circle line PSCADA and the connection with ISCS at the control center are introduced. The construction of PSCADA model based on common information model (CIM) and component interface specification (CIS) of power system is introduced. On this basis, the sequential control technology and remote graphic service technology of PSCADA on Chongqing rail transit circle line, the achievements of PSCADA in energy management system (EMS) and other advanced applications are elaborated in detail.

Key words urban rail transit; circle line in Chongqing City; PSCADA; sequential control; EMS

Author's address Chongqing Rail Transit General Co., Ltd., 400080, Chongqing, China

关系到列车的行车安全。一旦发生供电非正常中断,不仅会造成城市轨道交通的瘫痪,甚至可能直接危及到乘客的生命安全和财产安全。因此,对于如何保证供电系统的稳定、可靠、高效、节能运行,长期以来一直是城市轨道交通建设的重中之重,受到广泛关注^[1-2]。PSCADA(电力监控与数据采集)系统是城市轨道交通供电系统的重要组成部分,对于保证城市轨道交通供电系统稳定可靠地运行起到十分重要的作用。

在重庆轨道交通线网中,重庆轨道交通环线(以下简为“重庆环线”)在缓解城区内部交通压力、转换客流方面的作用尤为突出,其供电系统的安全显得更加重要。重庆环线线路全长约 50.926 km,设 33 座车站(13 座为换乘车站)。其中有地下站 28 座、高架站 3 座及半地面站 2 座,平均站间距为 1 543 m。

重庆环线 PSCADA 系统由电力调度系统、主变电所和变电所综合自动化系统、通信通道及供电复示系统等构成。PSCADA 系统与各变电所内相对独立的综合自动化系统共同完成对全线牵引降压混合变电所及降压变电所内的 AC 35 kV 开关柜、DC 1 500V/750 V 开关柜、AC 400 V 开关柜、整流变电柜、整流器、配电变电柜、排流柜、接触网隔离刀闸、钢轨电位限制装置、交直流屏、再生制动、有源滤波等供电设备的实时监控管理,还能指挥供电设备的检修调度工作和事故工况下的抢修调度工作,以保证全线的安全可靠供电。PSCADA 系统主要有控制、数据采集处理、显示、报警,以及维修、事故抢修等调度功能。

随着城市轨道交通自动化系统向信息化、智能化方向的不断发展,对 PSCADA 系统的要求也越来越高。

城市轨道交通供电系统的连续稳定运行,直接

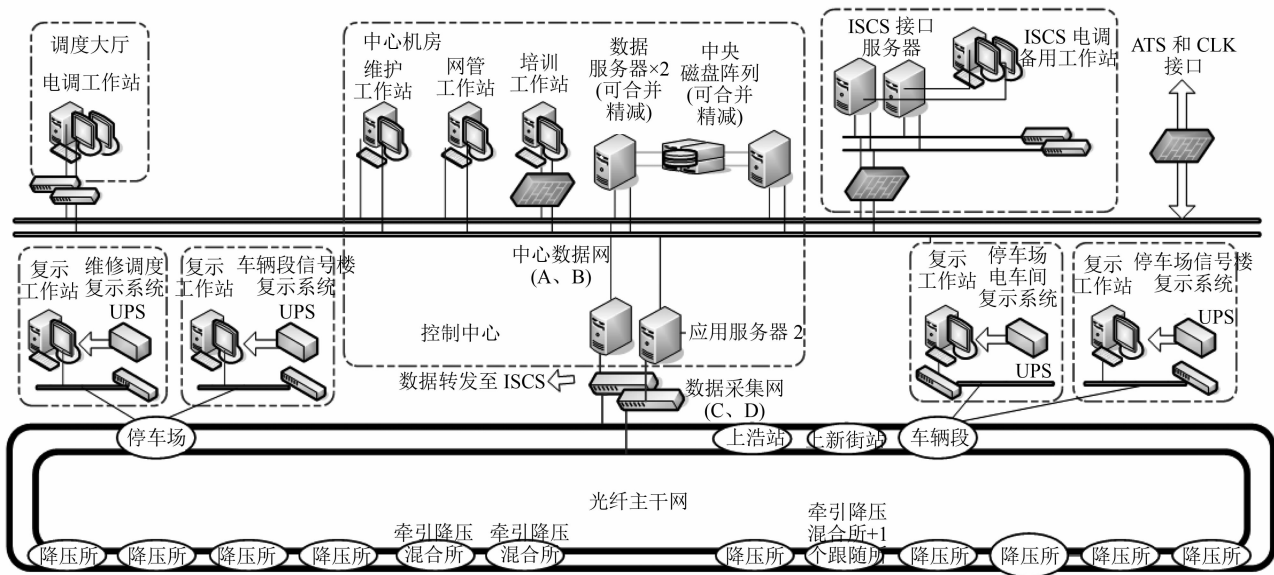
1 重庆环线 PSCADA 系统结构

重庆环线 PSCADA 系统网络结构如图 1 所示。其中:电力调度系统所在的主控站设置在大竹林控制中心,被控站的综合自动化系统设置在各主变电所、牵引降压混合变电所、降压变电所及跟随所;供电复示系统设置在车辆段及停车场的信号楼调度室、主变电所及供电车间。PSCADA 系统通信通道骨干网采用通信网络独立组网方式。

重庆环线 PSCADA 系统的站级网及中央级网均独立组网、自成系统,并且在中央级网与综合监

控系统之间互连,实现信息互通。这不仅是因为PSCADA系统的重要性越来越高,也是因为深度集成于综合监控系统的弊端不断暴露出来。这些弊端主要表现在以下三个方面^[3]:

1) 由于车辆、信号及环控等系统的调试必须具备稳定可靠的电源,因此,在工序安排上,一般要求供电系统先于其他系统进行调试。但此时,综合监控的设备机房往往尚未建设好,各变电所的电力监控数据无法上送到控制中心。所以供电系统调试时,无法开展PSCADA系统的远动调试。



注: UPS为不间断电源; ISCS为综合监控系统; ATS为列车电动控制; CLK为时钟

图 1 重庆环线 PSCADA 系统网络结构图

2) 当 PSCADA 系统深度集成综合监控系统时,主控站 PSCADA 系统施工调试往往都由综合监控系统承包商实施。故综合监控系统承包商和供电设备供应商要不断协调、交叉施工,这不利于工程实施的统一安排和管理。

3) 当 PSCADA 系统深度集成于综合监控系统时,控制中心综合监控系统除集成 PSCADA 系统外,还要集成互联十多个其它子系统,容易使 PSCADA 系统运行的稳定性和可靠性受到影响。

综合上述因素,重庆环线采用了 PSCADA 系统中心级独立组网自成系统的结构,通过标准的通信规约及报文同综合监控系统实现信息的互联互通。

2 PSCADA 系统的标准模型建设

PSCADA 系统标准模型的建设符合 IEC-61970

《能量管理系统应用程序接口(EMS-API)》的规定。其中,电力系统 CIM(公用信息模型)和 CIS(组件接口规范),是应用程序集成和系统间模型交互、互联互通的基础。随着重庆轨道交通网络化发展的需要,建立全线网高效协调的运营指挥中心势在必行^[4]。PSCADA 系统标准模型的建立,为在线网指挥中心建立线网电力调度管理平台提供了必要的技术条件。

但城市轨道交通供电系统有其特殊性,在 IEC-61970 标准中,CIM 中并未描述供电系统中特有的直流牵引供电系统设备(如整流机组、逆变回馈、接触网、钢轨等)。重庆环线 PSCADA 系统通过扩展,对直流牵引供电系统建立 CIM,使城市轨道交通电力调度领域不同系统和不同应用间的交互与集成成为可能,使得基于供电系统网络模型的各类高级

应用(如状态估计、潮流计算、短路电流计算等),能方便地拓展到城市轨道交通电力调度领域。

3 PSCADA 系统的关键技术和应用

目前,PSCADA 系统在各个变电所内综合自动化系统中的功能需求比较明确,标准化程度比较高,变化不大。但是,随着城市轨道交通向网络化、智能化方向的发展,以及建设绿色、节能城市轨道交通的需要,在控制中心的电力调度系统面临很多新的需求。

3.1 程序控制技术

与传统大电网不同,城市轨道交通 PSCADA 系统每天要对 DC 1 500 V 接触网进行停送电操作。一般每天运营结束后,都需要对正线 1 500 V 列车牵引供电部分进行停电操作,以便于实施列车直流接触网的日常巡检工作,第二天早上再对其进行送电操作。重庆环线共有 27 座 35 kV 牵引降压变电所。每座牵引降压变电所连接到直流接触网的 1 500 V 断路器和电动隔离开关最少的有 8 个,最多的有 12 个。如果通过传统电网的单点遥控(包括选择、监护、执行等步骤)的方式,每天对全线接触网进行停送电,不仅重复操作的工作量浩大繁琐、令人难以忍受,而且操作的正确性和可靠性也难以保证。

PSCADA 系统的程序控制功能是指按照设定好的控制序列对所控对象进行远方控制的功能。此功能主要应用于早间对供电接触网的送电、夜间对供电接触网的停电、越区供电及区间供电等控制操作。程序控制功能可大大提高操作人员的工作效率,降低日常工作量和误操作可能性,提高 PSCADA 系统的安全性和可靠性。

正常情况下,操作员在 PSCADA 系统中选择已经编辑好的程序控制卡片,点击开始按钮,使系统自动校验程序控制条件,并在校验通过后自动执行该顺序操作。当执行过程中出现操作执行失败时,还可由人工选择重试、跳过或中止操作。

3.2 远程图形服务技术

重庆环线 PSCADA 系统在控制中心与综合监控系统互联。目前,在城市轨道交通 PSCADA 系统的 CIM 模型尚未被广泛接受、采纳的情况下,如何保证 PSCADA 系统数据在控制中心综合监控系统中的正确显示也是一个亟待解决的技术难题。而交直流混合、整流机组及逆变回馈等特殊设备装置

的参与,也进一步提高了轨道交通 PSCADA 系统网络拓扑的复杂性。

在一般的综合监控系统中,对这些电力设备进行正确的网络拓扑,并对这些设备图符进行正确着色、决策始终是一个令人头疼的问题。在工程施工时,控制中心的综合监控系统与 PSCADA 系统互联,其网络拓扑都有大量的调试、测试工作。

在重庆环线 PSCADA 系统实施中,在 Q GDW 11208—2014《电力系统远程浏览技术规范》的基础上,开发并部署了一种适用于城市轨道交通 PSCADA 系统的远程图形服务技术。这远程图形服务技术的应用,大大降低了综合监控系统正确集成并显示 PSCADA 数据的技术难度。综合监控系统只需要根据标准接口协议就可以获取用于图形显示的实时数据,包括各个电力设备的图符决策方案及颜色拓扑数据等。

此外,远程图形服务技术的应用也使得在车辆段或停车场供电复示系统的部署变得更为简单。在车辆段或停车场的工作站只需要部署远程图形浏览客户端,通过连接部署在控制中心的远程图形服务,就能够正确显示 PSCADA 系统数据。复式系统采用这种基于远程图形服务的瘦客户系统结构,一方面降低了对硬件设备的性能需求,另一方面也减少了维护人员的维护成本。

3.3 能源管理应用

城市轨道交通能源管理受到越来越多的重视^[5-6]。2018 年中国城市轨道交通协会启动了“基于云平台的城轨线网级绿色、减排、节能技术及工程应用项目”。为了建设绿色、环保的城市轨道交通,尽可能控制和减少对能源的浪费,重庆轨道交通环线能源管理建设工作也取得了初步成效。

绿色节能的基础是量化、精细化的能源管理。而能源管理的很多计量数据需要由 PSCADA 系统采集,才能完成统计与分析。重庆环线 PSCADA 系统基于其计量数据建立了一套基础能源管理系统。该系统共有线路概况、线路能耗、线路分项能耗、车站能耗、车站分项能耗、设备运行状态和环境状态等 7 个功能模块,如图 2 所示。

线路概况、线路能耗及线路分项能耗等 3 个功能模块可反映重庆环线的能耗情况。其中:线路概况模块对环线及各车站实时能耗量进行统计,动态展示线路及各变电站实时功率、能馈效率等信息;线路能耗模块统计分析不同周期内的全线总能耗

及各车站能耗等,分析环比及同比变化,评估各车站能耗等指标,发现用能趋势和异常点;线路分项能耗模块对全线能耗按照牵引、通风、动力、照明和

特殊等系统分别统计,分析各系统能耗之间比例关系,评估各车站各系统的能耗状况,挖掘节能潜力点。



图 2 重庆环线基于 PSCADA 数据的能源管理系统界面

3.4 其他高级应用

在建立城市轨道交通 PSCADA 系统 CIM 的基础上,还可对城市轨道交通供电系统开展一系列的高级应用研究工作,对供电系统的运行状态进行分

析计算,并为电调运行人员分析决策提供依据,也为未来网络规划提供技术支持手段^[7]。基于 CIM 的城市轨道交通 PSCADA 系统高级应用分析数据流如图 3 所示。

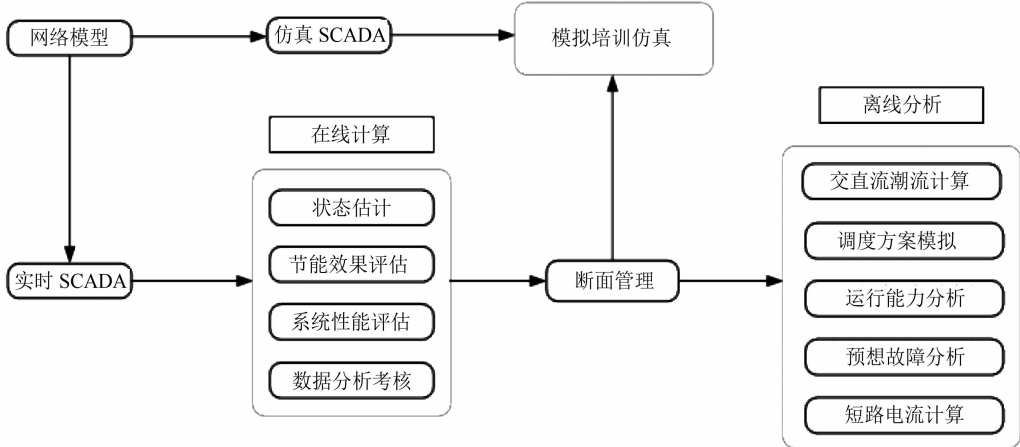


图 3 PSCADA 高级应用数据流

3.4.1 列车牵引计算

列车牵引计算根据车辆编组信息、牵引制动特性以及线路坡度和曲线等信息计算列车上下行不同位置处的取流情况,得到列车取流与运行距离、运行时间三者之间的关联关系。

3.4.2 模拟运行图

根据列车牵引计算的结果和列车发车间隔自动生成列车模拟运行图,描述在各个时刻线路上有多少列车在运行以及每列车所处的位置,是列车时空分布的直观显示。

3.4.3 车站时空潮流的分布

通过潮流计算描述车站时空潮流的分布情况,模拟列车在运行过程中列车位置和车站运行功率的动态变化。

3.4.4 模拟调度方案

通过潮流计算模拟调度方案,分析、计算、预判调度方案是否满足要求。如:牵引所解列、主所解列时,供电系统是否满足供电能力需求。

3.4.5 运行能力分析

通过潮流计算,还可分析供电系统的列车运行

能力。

1) 供电能力裕度计算。计算设备负载率、电缆载流、母线电压、牵引网网压及钢轨电位等。

2) 针对运营计划的供电系统模拟。根据列车运行图校核不同排车计划下的供电系统运行能力。

3) 极限情况下运行能力分析。根据模拟运行图计算不同调度方案下的最大排车能力。

4 结语

重庆环线的东北半环段已于 2018 年 12 月 28 日正式开通试运营。其控制中心电力调度系统的建设工作保证了重庆环线供电系统安全可靠地运行,使 PSCADA 系统向规范化、标准化方向发展,以迎接绿色节能的城市轨道交通新时代。

重庆环线 PSCADA 系统在规范化及标准化方面的探索和创新,为后期线网平台 PSCADA 系统建设,以及 PSCADA 与其它系统互联互通奠定技术基础。重庆环线 PSCADA 系统采用独立组网方式,形成自立的分层分布式系统结构,并在控制中心与综合监控系统互联。基于 IEC 61970—2014 标准,控制中心的电力调度系统扩展建立了 CIM。标准

CIM 的建立使重庆环线电力系统的高级分析应用得以实现。重庆环线 PSCADA 系统的程序控制技术、远程图形服务技术,以及其在能源管理及其他高级应用方面的成果,能够为其他城市 PSCADA 系统的建设提供借鉴。

参考文献

[1] 周尚明.轨道交通供电安全生产管理体系浅述[J].中国新技术新产品,2017(3): 138.

[2] 周尚明.电阻-逆变型再生制动能量地面吸收装置的节能分析[J].城市轨道交通研究,2013(12): 111.

[3] 杜李苹,李宇.城市轨道交通 PSCADA 系统集成方式与工程划分的分析[J].中国新技术新产品,2017(2): 6.

[4] 解凯,钱晓超.城市轨道交通线网指挥中心系统关键技术研究[J].现代城市轨道交通,2018(6): 53.

[5] 上海申通地铁集团有限公司.上海轨道交通能耗监测管理系统[J].交通节能与环保,2015(6): 13.

[6] 董存祥.基于综合监控系统的城轨交通节能研究[J].铁道标准设计,2014(8): 168.

[7] 谷峰,王耀辉,湛锋.基于 Matlab 的地铁列车牵引模型研究及其仿真[J].工业控制计算机,2017(12): 39.

(收稿日期:2019-04-01)

(上接第 143 页)



图 6 历史故障统计查询界面效果图

系统,通过大数据分析技术、物联网技术的应用,实现了列车数据集与地面设备高速、高质量实时交互以及基于大数据运用的全生命周期的状态监测与故障预警功能,能够满足用户对车辆实时监控、数据智能分析等智能运维方面的需求,可提升列车综合检测信息的安全性、高效性、便捷性,可提高无接触网有轨电车车地传输技术和智能化应用水平。

同时,该系统具有较强的可扩展性,使其可满足各类城市轨道交通列车的应用需求,在有轨电车领域拥有较好的应用前景。

参考文献

[1] 中国城市轨道交通协会现代有轨电车分会.中国有轨电车现状与发展[J].城市轨道交通,2018(7): 44.

[2] 刘丙林,朱佳,李翔宇.城市轨道交通车辆智能运维系统探索与研究[J].现代城市轨道交通,2019(6): 16.

[3] 代娇.基于工业以太网的地铁列车通信网络实时性及仿真研究[D].北京:北京交通大学,2016.

[4] RAHAT I, FAIYAZ D, BRIAN M, et al. Big data analytics: Computational intelligence techniques and application areas[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2020: 153.

[5] 武大权.高速铁路车地无线数据传输高可靠性和高实时性的研究与实现[D].北京:北京交通大学,2014.

(收稿日期:2019-11-25)