

# 都市圈轨道交通线网级电力调度系统应用方案

杨 凯<sup>1</sup> 喻 奇<sup>2</sup> 汪 理<sup>3</sup> 蔡彬彬<sup>3</sup> 裴丽君<sup>3</sup>

(1. 南京地铁运营有限责任公司, 211135, 南京; 2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉;

3. 南京地铁建设有限责任公司, 210017, 南京//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 随着国内都市圈的发展, 区域一体化发展正在经历大提速, 多层次轨道交通迎来发展机遇。都市圈轨道交通网络化运营离不开线网控制中心, 电力调度系统作为线网调度的核心之一, 需不断提升其自动化、智能化水平。介绍了轨道交通线网级电力调度系统的网络架构、系统配置和接口方案, 阐述了轨道交通供电系统实现安全校核功能技术方案, 为电力调度预案的制定提供数据支撑。针对目前国内轨道交通管理现状, 提出了都市圈轨道交通线网级电力调度的管控方案, 以实现由分线管控模式逐步向线网管控模式的过渡。

**关键词** 都市圈; 轨道交通; 电力监控; 安全校核; 管控模式

**中图分类号** U223.5<sup>+</sup>1

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2023.03.041

## Application Scheme of Power SCADA System for Metropolitan Rail Transit Network

YANG Kai, YU Qi, WANG Li, CAI Binbin, PEI Lijun

**Abstract** With the development of metropolitan areas in China, regional integration development is experiencing a great acceleration, and multi-level rail transit welcomes development opportunities. The networking operation of metropolitan rail transit cannot be independent from network control center. As one of the cores of network control center, power SCADA (supervisory control and data acquisition) system needs to continuously improve its automation and intelligence level. The network architecture, system configuration and interface scheme of rail transit line network-level power SCADA system are introduced, and the technical scheme of rail transit power supply system to realize the safety verification function is expounded, so that data support for the formulation of power dispatching plan is provided. Targeting the current situation of rail transit management in China, a new management and control scheme of power dispatching for metropolitan rail transit network is proposed to realize the gradual transition from distributed line management mode to line network management mode.

**Key words** metropolitan area; rail transit; power SCADA; safety verification; management and control mode

**First-author's address** Nanjing Metro Operation Co., Ltd., 210017, Nanjing, China

为支撑国家重大发展战略, 加速形成以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的发展格局, 区域交通一体化正经历大提速, 以都市圈中心城市为核心的城际、市域(郊)铁路快速大容量交通将迎来大发展机遇, 建立都市圈轨道交通线网调度中心乃大势所趋。

都市圈轨道交通线网级电力调度系统是是整个线网调度的核心之一, 为各线运营提供外部电源保障。该系统建立在各线路电力调度系统层级以上, 主要作用为监控全线网各主变电所 110 kV 外部电源进线开关, 统一调度各共享主变电所对应线路的中压开关, 以及调度各线路环网联络开关和线间支援供电联络开关。

建立都市圈轨道交通线网级电力调度系统的目的在于统筹各线路外部电源的供电和线间支援供电, 切实有效提高整个线网运营的供电可靠性, 同时充分共享既有主变电所资源, 降低新建建设对新建主变电所的需求, 从而有利于节省工程投资, 提高资源利用效率。

## 1 线网级电力调度系统

轨道交通线网级电力调度系统伴随着轨道交通线网规模壮大应运而生, 该系统是建立于各轨道交通线路电力调度系统层级之上的全线网供电骨干调度系统, 实现对内统筹各主变电所资源调配、对外统一与地方供电部门接口。各线电力监控系统的底层数据采集会因线路的建设时序和具体实施方案不同而存在一定差异, 线网级电力调度系统整体架构相对复杂。

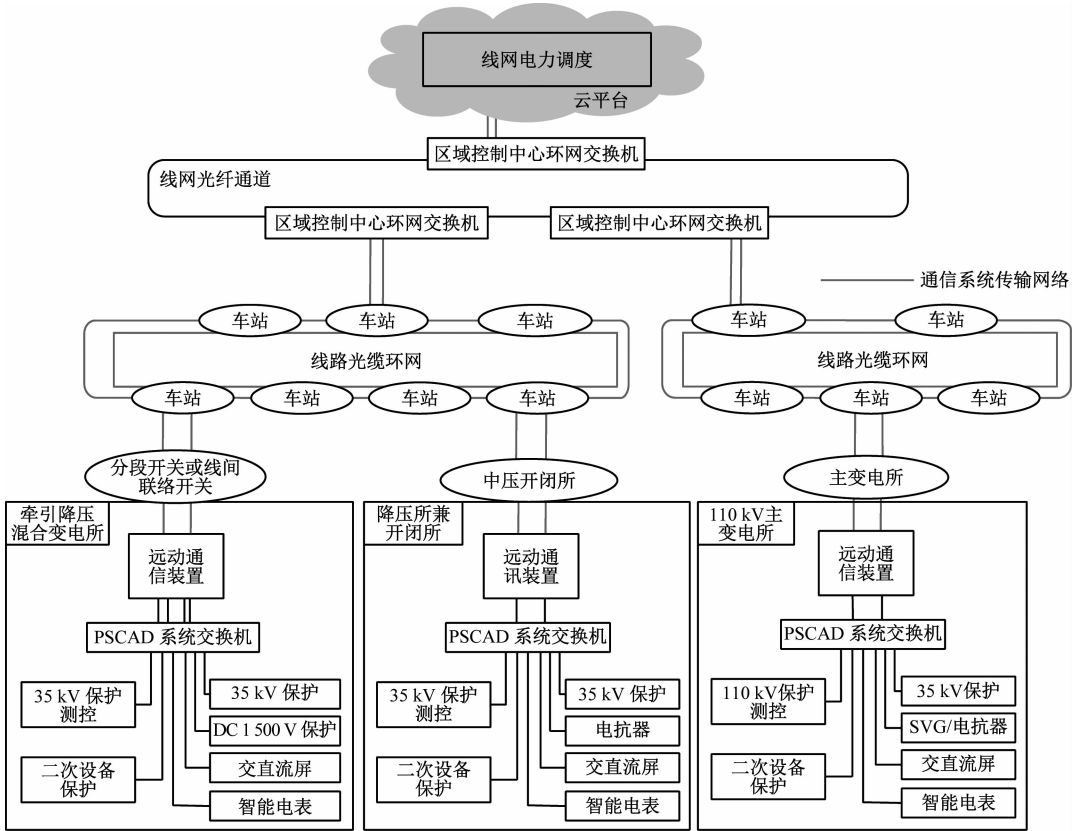
1.1 线网级电力调度系统网络架构

轨道交通线网级电力调度系统可从线网层面调度各线路中高压交流供电的运行方式,包括主变电所 110 kV 开关的调度、共享主变电所故障退出后涉及的多线供电运行方式调整、应急情况下线间支援供电、跨省市支援供电等,涉及调度的变电所包括全线网 110 kV 主变电所、中压开闭所、各线中压环网分段开关所在的变电所和换乘车站线间中压联络变电所。对于涉及调度的各类变电所采用直采直控模式,并通过各线电力监控系统或综合监控系统转发的方式采集全线网的关键供电信息数据,

实现线网主变电所统一管理以及跨区域、跨线支援供电,缩短复杂形势下恢复供电的时间。

线网级电力调度系统平台通常部署于 NCC(线网指挥调度中心)或 COCC(综合运行控制中心),通信网络以各区域控制中心之间的上层通信网为骨干,由通信系统提供主变电所、中压开闭所、各线中压环网分段开关所在的变电所和换乘车站线间中压联络变电所至对应控制中心或线网指挥调度中心的传输通道。

典型线网级电力调度系统网络架构图如图 1 所示。



注:PSCAD——电力监控与数据采集;SVG——静止无功发生器。

图 1 线网级电力调度系统网络架构示意图

Fig. 1 Architecture diagram of line network-level power SCADA system networking

1.2 线网级电力调度系统配置

1) 硬件配置方案:线网级电力调度系统硬件配置主要包括服务器、数据存储设备、工作站和接入交换机。服务器包括数据采集服务器(冗余)、中央数据库服务器(冗余)、中央应用服务器(冗余)、高级应用服务器(冗余)、培训服务器、接口服务器、调度发令管理服务器,工作站包括调度员工作站(冗余)、维护管理工作站、培训工作站。设置两台接入

交换机,用于线网供电系统采集数据双通道接入。服务器、工作站和数据存储均可部署于城轨云端<sup>[1]</sup>。

2) 软件核心功能配置:线网级电力调度系统软件核心功能包括:交流供电系统核心设备的调度,即主变电所各设备、中压开闭所各开关、环网分段开关和线间中压联络开关的调度;全线网供电系统设备集中监视,包括全线网供电系统的各类信息采

集和展示,如全线网主变电所供电及联络简图、各线交直流供电系统图、各变电所主接线图,可以集中展示全线网中压系统能量流向、110 kV 主变压器和中压环网负载率、各中压节点电压偏差及功率因数等相关参数指标;中高压交流供电方案模拟潮流计算和安全校核功能;线网供电调控一体化功能。

### 1.3 线网级电力调度系统接口方案

除了采用直采方式获取变电所监控数据外,线网级电力调度系统还需设置与综合监控系统、能源管理系统、地区电力调度系统的接口,以满足实现系统相关功能的信息源数据需求。线网级电力调度系统接口方案示意图如图 2 所示。

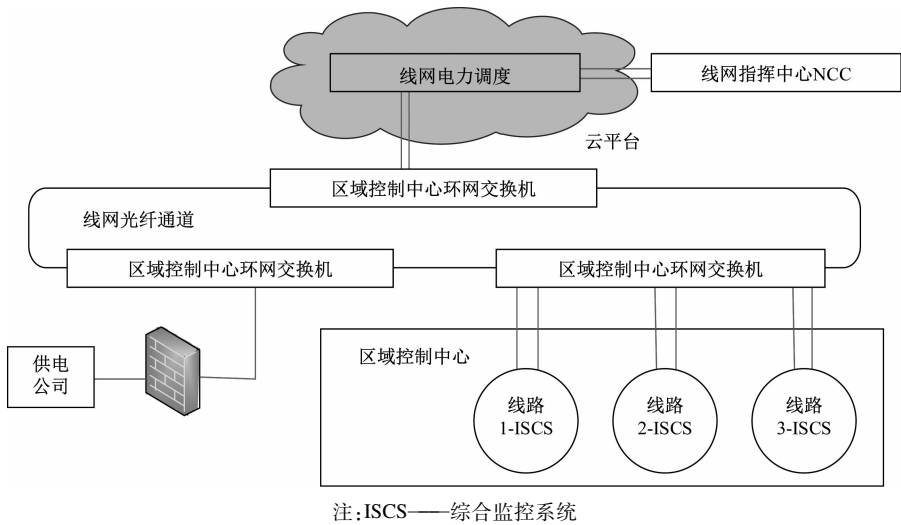


图 2 线网级电力调度系统接口方案示意图

Fig. 2 Interface scheme diagram of power SCADA system dispatch system

对于未被线网级电力调度系统直采监控数据的中压变电所,系统所需信息数据通过线路综合监控系统进行转发。各线综合监控系统经各区域控制中心上层通信环网与线网级电力调度系统相连,采用 IEC 60870-5-104 通信规约向线网级电力调度系统传输各类信息数据。

各线路能源管理系统通过对应控制中心上层通信环网与线网指挥调度中心的 NCC 系统相连,线网级电力调度系统可结合高级应用的数据需求访问 NCC 系统中存储的能源管理系统历史数据。

线网级电力调度系统作为轨道交通电力调度中心,统一与地区供电公司电力调度系统接口,传输 110 kV 主变电所的各开关状态、电量及电能质量监测等相关数据,地区电力调度系统可根据其控制权限调度轨道交通 110 kV 系统相关设备。

线网级电力调度系统与地区供电公司电力调度系统之间设置硬件防火墙。

依据 GB/T 22240—2020《信息安全技术网络安全等级保护定级指南》,线网级电力调度系统的网络安全保护等级宜为第三级。对于部署于云计算平台的线网级电力调度系统,云计算基础设施保护

等级定级应不低于第 2 级<sup>[3]</sup>。

## 2 供电安全校核功能

在线网级电力调度系统中建立基于 IEC 61970 (国际电工委员会制定的《能量管理系统应用程序接口(EMS-API)》系列标准)的轨道交通供电系统模型(采用公共信息模型 CIM 建模方法),用于描述轨道交通供电系统中各类设备基本属性及其连接关系<sup>[3]</sup>。

轨道交通供电系统交流供电系统的潮流计算包含以下核心要素:110 kV 外部电源、主变压器、中压环网线路和中压母线各用电负荷,其他要素还包括中压系统的 SVG(静止无功发生器)和电抗器、中压逆变再生制动能量吸收装置。

为在线网级电力调度系统中实现潮流计算,将线路运营的牵引和动力照明负荷等值为变压器负荷,以典型时间段的相关变压器需量负荷(需量负荷是指在一定周期内测得的平均功率最大值,该周期通常为 15 min。)作为潮流计算的基础源数据。具体实施方案为:以中压母线挂载的牵引变压器需量负荷作为等值母线牵引负荷,与变压器卷建立一对一的关联关系,通过设备编码进行关联;以中压

母线挂载的配电变压器需量负荷作为母线动力照明负荷,与变压器卷建立一对一的关联关系,通过设备编码进行关联<sup>[4]</sup>。

系统根据特征时间段的牵引和动力照明需量负荷进行运算,建立关键设备的潮流计算结果表,包含 110 kV 主变压器潮流计算结果表、中压环网线路潮流计算结果表、中压母线潮流计算结果表,其中计算结果中包括设备编码、点号、电压、电流、功率、功率因数等属性,任一主变压器、中压环网线路、中压母线按照特征时段得出多个潮流计算结果。特征时段按照不同季节、不同高峰小时行车密度区分,特征时段对应的需量负荷数据取自能源管理系统历史数据,以确保等值负荷的真实性。

系统根据预设的模拟供电方案进行基于中压母线需量负荷的潮流计算,将 110 kV 主变压器、中压环网线路的潮流计算结果与其对应的重载或过载的限值进行比较,判断电压、电流、功率、功率因数是否出现重载或越限的情况,以此判别该预设的模拟供电方案是否满足安全供电的各项指标要求。

系统提供的供电安全校核功能既可用于常规支援供电方式的技术指标验证,也可用于非常规支援供电方式的预案制定。

### 3 线网级电力调度系统管控方案

#### 3.1 管控分类

线网级电力调度系统按管控对象分为两类:一类为全网各主变电所;另一类为各线的中压开闭所(若有)、环网分段开关和线间中压联络开关。

对于主变电所而言,主变电所综合自动化系统同时与其所属线路电力监控系统(单独设置或集成于综合监控系统)和线网级电力调度系统进行数据通信,由线网级电力调度系统向共享该主变电所的后期线路电力监控系统转发该主变电所综合自动化系统采集的信息。共享该主变电所的各线路均可监视该主变电所设备状态,线网级电力调度系统和主变电所所属线路电力监控系统可根据运营需求进行控制权限交接和进行相关控制操作。

对于中压开闭所(若有)、环网分段开关和线间中压联络开关而言,可采用以下两种方式:第一种与主变电所类似,适用于在建和新建线路;第二种,中压开闭所、环网分段开关和线间中压联络开关所属的中压变电所(牵引降压混合变电所或降压变电所)综合自动化系统仅与所属线路电力监控系统进

行数据通信。线网级电力调度系统通过与该线路电力监控系统进行数据通信实现对上述开关的监控,既有线路可采用该方式。

#### 3.2 控制权限交接

线网级电力调度系统和线路电力监控系统(单独设置或集成于综合监控系统)均可对 110 kV 主变电所、中压开闭所、环网分段开关和线间中压联络开关实现供电设备的数据采集和控制。为保证控制操作执行的唯一性,即任何时刻只能由单一系统来实现对设备的控制操作,必需处理好控制权限交接的问题。

线网级电力调度系统和线路电力监控系统很可能由不同的设备供货商提供,通常情况下难以直接通过网络数据通信实现控制权限交接。

若变电所远动终端(通信管理机)具备两个通信上联口,可采用配置虚拟遥控点和遥信点的方式来实现权限交接方案。具体方案为:在远动终端配置 3 个遥控点(DO1、DO2 和 DO3)和 3 个遥信点(DI1、DI2 和 DI3),其含义详见表 1。线网级电力调度系统和线路电力监控系统通过与变电所远动终端通信(查询控制权限实时状态并发送遥控命令)实现对变电所远动终端的权限交接或转移。

表 1 远动终端虚拟遥控遥信点表

Tab. 1 Virtual telecontrol and telesignaling points of remote terminal

点名称	点类型	含义
DO1	遥控	线网级电力调度系统请求控制权限
DO2	遥控	线路电力监控系统请求控制权限
DO3	遥控	控制权限强制获取,1 表示线网级电力调度系统强制获取,0 表示线路电力监控系统强制获取
DI1	遥信	线路电力监控系统允许权限移交
DI2	遥信	线网级电力调度系统允许权限移交
DI3	遥信	控制权限所在位置,1 表示控制权限在线网级电力调度系统,0 表示控制权限在线路电力监控系统

线网级电力调度系统和线路电力监控系统中一方通过强制获取控制权限后,另一方则在一定时限内无法获取控制权限,该时限可根据运营需求设定。

#### 3.3 一体化协同调控

在线网级电力调度系统中建立调度操作指令管理系统,各线路部署受令工作终端,对线网级电

力调度的指令进行接收、回令、复诵、执行和确认完成等工作。各线路操作人员通过指令管理系统客户端接收调度指令,并通过网络信息交互严格按流程执行各指令步骤,在线路电调台执行控制操作。

调度操作指令管理系统具备智能编制指令票功能,在指令票编制过程引入安全防误子系统,对每步调控操作结合供电系统实时运行情况进行模拟,校验闭锁逻辑和校核供电安全指标,最大限度保证指令票的正确性。系统具备责任区划分功能,可按照主变电所、线路或两者的组合划分为不同的责任区域,责任区的定义应与用户权限管理相结合。同时系统采用信息分流技术,实现每个监控工作站只处理该责任区域内所需要处理的信息,消隐或屏蔽不属于该责任区域的设备和信息,对各个工作站节点之间的信息分层,并进行安全有效隔离<sup>[5]</sup>。

上述一体化协同调控技术对线网级电力调度系统直接调控形成有效补充,既理清了线网电调与线路电调的职能分工,又进一步提高了线网级电力调度系统的可靠性。

## 4 结语

轨道交通常规的电力调度模式应对主变电所故障反应速度慢,造成停电时间长,难以适应都市圈轨道交通线网对更高供电可靠性的需求。轨道交通新建主变电所越来越困难,充分共享既有主变电所成为必然,但由此也带来主变电所故障影响范围扩大的问题。建设线网级电力调度系统,建立自上而下的应急处理机制,实现主变电所和各线路供电方式转换的统一调度,可满足网络化运营模式下实现供电故障快速修复的需求。

本文提出了线网级电力调度系统的网络架构方案、系统配置和接口方案。同时引入供电安全校核功能,并且提出了具体的供电模拟校核计算方案。线网级电力调度系统的建设势必推动供电运营管理模式转型升级。本文提出了具体的管控实施方案,应用一体化协同调控技术作为线网级电力

调度系统的有效补充,可为线网级电力调度管控模式应用提供可靠保障。

伴随都市圈轨道交通线网规模的快速发展,电力调度管控效率需不断提升,为轨道交通运营提供更加安全可靠的供电保障,从线路管控模式逐步过渡到线网级管控模式将是必由之路。

## 参考文献

- [1] 竺方辉,宋真祥,魏源,等.基于云平台的城市轨道交通线网综合指挥调度系统设计[J].城市轨道交通研究,2019,22(4):98.  
ZHU Fanghui, SONG Zhenxiang, WEI Yuan, et al. Cloud platform-based design of integrated command and dispatch system for urban rail transit network[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(4): 98.
- [2] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.信息安全技术网络安全等级保护定级指南:GB/T 22240—2020[S].北京:中国标准出版社,2020.  
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Information security technology — classification guide for classified protection of cybersecurity: GB/T 22240—2020[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [3] 国家能源局.能量管理系统应用程序接口(EMS-API)第301部分:公共信息模型(CIM)基础:DL/T 890.301—2016[S].北京:中国电力出版社,2016.  
National Energy Administration. Energy management system application program interface (EMS-API) — part 301: common information model (CIM) base: DL/T 890.301—2016[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2016.
- [4] 刘念,张建华,熊浩,等.面向电力仿真系统异构性的CIM扩展方法[J].电网技术,2008,32(21):58.  
LIU Nian, ZHANG Jianhua, XIONG Hao, et al. An extension method of common information model oriented to heterogeneity of electric power simulation system[J]. Power System Technology, 2008, 32(21): 58.
- [5] 刘路登,贾伟,陈天宇,等.智能化电力调度指令操作系统研究与应用[J].电子器件,2021,44(5):1204.  
LIU Ludeng, JIA Wei, CHEN Tianyu, et al. Research and application of intelligent power dispatching order operating system[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2021, 44(5): 1204.

(收稿日期:2022-06-06)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. tongji. edu. cn