

城市轨道交通变电站一次设备智能化研究

龚晓冬

(上海市隧道工程轨道交通设计研究院, 200235, 上海//工程师)

摘要 城市轨道交通变电站的智能化将改变传统“被动、计划、人为”的运维模式,实现智能运维,进而提高供电系统的工作效率和可靠性。一次设备的智能化是实现变电站整体智能化的重要基础。通过分析智能化变电站的系统架构及技术特征,结合城市轨道交通供电系统的特点,对变电站内主要一次设备的智能化进行分析,提出其功能需求及结构框架。初步构建了城市轨道交通智能化变电站的系统架构,为后续进一步研究城市轨道交通变电站的智能化具有一定的借鉴作用。

关键词 城市轨道交通; 变电站; 一次设备; 智能化; 智能组件

中图分类号 U231.8

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.07.049

Study on Intelligentization of Primary Equipment in Urban Rail Transit Substation

GONG Xiaodong

Abstract The intelligentization of urban rail transit substation will reform the conventional operation and maintenance mode that is used to be passive, planned and man-made, so as to realize intelligent operation and maintenance, thus improving the efficiency and reliability of power supply system. The intelligentization of primary equipment is the essential foundation for realizing the overall intelligence of substation. Through analysis of intelligent substation system architecture and technical characteristics, the intelligentization of main primary equipment in substation is analyzed and the functional requirements and structural framework are proposed considering the characteristics of urban rail transit power supply system. The system architecture of urban rail transit intelligent substation is preliminarily constructed, providing reference for the following in-depth study of urban rail transit substation intelligentization.

Key words urban rail transit; substation; primary equipment; intelligentization; intelligent component

Author's address Shanghai Tunnel Engineering & Rail Transit Design and Research Institute, 200235, Shanghai, China

以满足快速增长的线网规模要求,以及运营安全和服务水平需求。打造智慧地铁是目前城市轨道交通系统的发展目标。对城市轨道交通供电系统而言,应加快探索、研究如何将最新的技术应用到设计、建设和运营中,用设备代替人、用技术保障运营,实现变电站的智能化。本文简要介绍智能化变电站的系统架构及技术特征,分析研究城市轨道交通变电站内主要一次设备实现智能化的功能需求及架构。在此基础上,以城市轨道交通典型变电站为例,初步构建智能化变电站的系统架构。

1 智能化变电站介绍

1.1 智能化变电站的定义

智能变电站是采用可靠、经济、集成、节能、环保的设备与设计,以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化、系统功能集成化、结构设计紧凑化、高压设备智能化和运行状态可视化等为基本要求,能够支持电网实时在线分析和控制决策,以提高整个电网运行可靠性及经济性的变电站^[1]。

智能化变电站建立在全球通用系列标准 IEC 61850 的基础上,由智能化一次设备和网络化二次设备分层构建而成,能实现变电站内智能电气设备的信息共享和互操作。

1.2 智能化变电站的系统架构

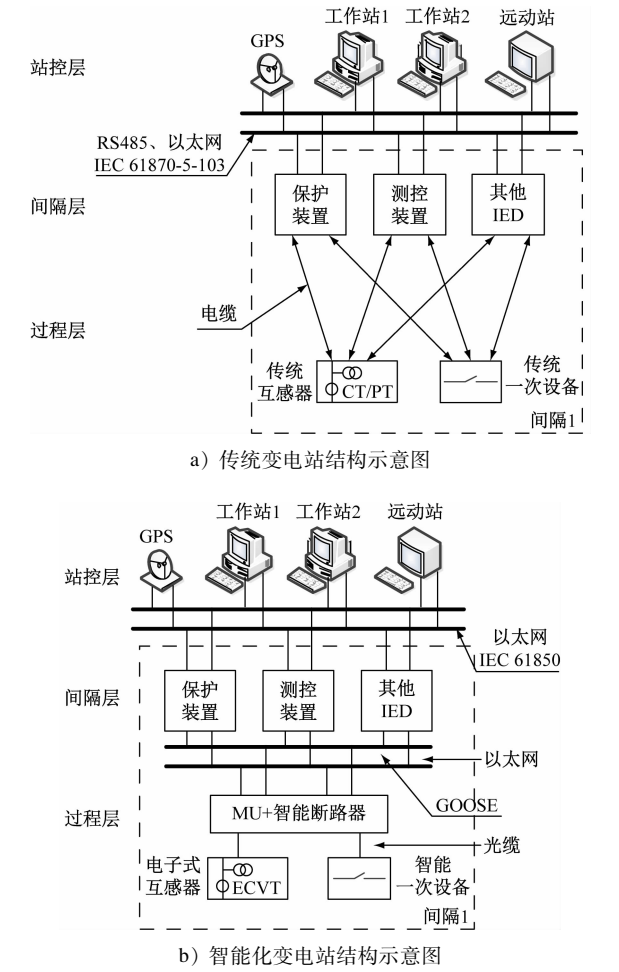
如图 1 所示,传统变电站与智能化变电站均采用“过程层+间隔层+站控层”的架构体系,两者的最大区别在于智能化变电站的间隔层与过程层间不用传统方式连接,而采用光纤以太网连接。该连接方式高效简单,其传输速率和可靠性更高,便于网络扩展,大大提高了工作效率^[2]。

两类变电站的主要区别如表 1 所示。

1.3 智能化变电站的技术特征

智能化变电站主要的技术特征包括信息数字化、通信网络化、共享标准化、系统集成化、结构紧凑

城市轨道交通传统的设备维护保养模式已难



注:GPS——全球定位系统;IED——智能电子装置;CT——电流互感器;PT——电压互感器;GOOSE——面向通用对象的变电站事件;ECVT——电子式互感器;MU——合并单元。

图 1 传统变电站与智能化变电站架构体系对比

表 1 传统变电站与智能化变电站的主要区别		
对比项目	传统变电站	智能化变电站
一次设备	采用传统一次设备	采用电子式互感器、智能断路器等智能化设备
二次设备	采用间隔层与过程层，采用电缆连接	二次设备网络化，均采用光纤以太网连接
网络协议	存在多种协议，协议间需要转换	全站采用标准化的 IEC 61850 通信协议

化、设备智能化和状态可视化。此外,智能化变电站还可根据需要,增加如电网的实时自动控制和智能调节、辅助在线分析决策、协同互动等高级功能,并实现与相邻变电站、电网调度等的互动。

2 城市轨道交通变电站的类型及设备

2.1 城市轨道交通变电站的类型

城市轨道交通变电站主要分为主变电站、牵引

变电站、降压变电站及跟随式降压变电站,其主要功能分别为:

- 1) 主变电站:将来自于城市电网的高压 AC 110 kV 电源变换为中压 AC 35 kV 电源。
- 2) 牵引变电站:将中压 AC 35 kV 电源降压、整流后,转化为可供城市轨道交通列车牵引使用的 DC 1 500 V 电源。
- 3) 降压变电站和跟随式降压变电站:将中压 AC 35 kV 电源降为低压 AC 0.4 kV 后,供城市轨道交通动力、照明设备使用。

同址的牵引变电站与降压变电站通常合设为牵引降压混合变电站。

2.2 城市轨道交通变电站的设备

城市轨道交通各类变电站内的主要一次设备如表 2 所示。

表 2 城市轨道交通各类变电站内的主要一次设备	
类型	主要一次设备
主变电站	包括主变压器、所用变压器、110 kV GIS、40.5 kV GIS、400 V 开关柜、交直流屏、110 kV 电缆、35 kV 电缆等
牵引降压混合变电站	包括牵引变压器、整流器、配电变压器、40.5 kV GIS、直流 1 500 V 开关柜、400 V 开关柜、排流柜、轨电位装置、交直流屏、35 kV 电缆、1 500 V 电缆等

注:GIS——气体绝缘开关柜。

3 变电站一次设备的智能化及其系统架构

3.1 变电站主要一次设备的智能化

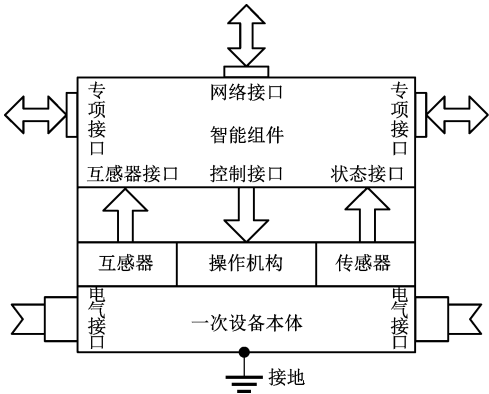
一次设备智能化是智能化变电站的重要标志之一。智能化的一次设备采用标准的信息接口,集状态监测、测控保护、信息通信等功能于一体,可实现重要参数在线监测、故障早期征兆识别、设备自我诊断、辅助决策等高级功能。

3.1.1 一次设备智能化的结构框架及原理

3.1.1.1 一次设备智能化的结构框架

智能化一次设备主要由电气部分和信息部分组成,其中:电气部分包括一次设备本体及其操作机构、互感器及传感器;信息部分为智能组件及其内部所配置的智能单元。其结构框架如图 2 所示。

- 1) 电气部分:与传统变电站的主要一次设备相比,智能化一次设备各本体及其操作机构具有相同的功能。将互感器和传感器加装在一次设备上,用以采集设备的状态和特征信息。



注：双向箭头表示数据流方向。

图2 一次设备智能化的结构框架示意图

2) 智能组件:是智能设备的重要组成部分,为智能单元提供信息处理、通信和执行等基础性服务。由设备本体的测量、控制、监测、保护(非电量)、计量的部分或全部 IED 集合而成,通过电缆或光缆与设备本体的传感器或控制机构连接成有机整体,用以实现对设备的状态检修。

3) 设备接口:网络接口接至站控层网络,用于智能一次设备相互间及和站控层主机的通信;专项接口直接连接智能单元,用于特殊智能单元的快速信息通信。

4) 智能单元:是智能化技术的应用终端,具有计算处理、分析和决策的能力。

3.1.1.2 智能组件的工作过程

1) 信息采集:传感器将反映一次设备状态信息(如在线监测信息、操作机构位置和动作信息等)的物理量数据转换为电气量数据,通过状态接口传输至智能组件。

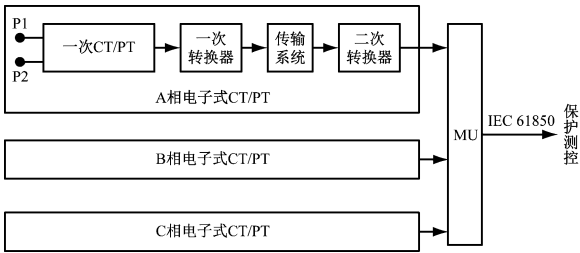
2) 分析处理:智能组件对收集到的各接口信息进行处理,得到分析所需的数据。再由智能组件里配置的智能单元进行计算分析,将分析结果送至输出部分。

3) 动作操作和信息发布:根据各智能单元的分析结果,智能组件进行相应的决策动作和信息发布。智能单元的决策产生或来自于上层的动作命令,通过控制接口对一次设备的操作机构进行操作;随后,智能组件通过网络接口发布自动上传和上层提取的信息。

3.1.1.2 电子式互感器

如图3所示,电子式互感器通过转换器将一次CT/PT的数据传输给二次转换器,通过MU进行数据合并后传送至保护测控装置。与传统互感器对

比,电子式互感器结构更简单,极大地降低了二次接线的复杂程度。



注：P1、P2 分别为 CT、PT 接线引出端子。

图3 电子式互感器工作原理

目前,电子式 CT 主要采用罗氏线圈,电子式 PT 主要采用分压电容。表3 为传统互感器与电子式互感器性能对比分析列表。

表3 传统互感器与电子式互感器性能对比分析		
比较项目	传统互感器	电子式互感器
绝缘	结构复杂	结构简单。高低压完全隔离,绝缘性能优良
体积	较大	较小
质量	较大	较小
CT 动态范围	范围小,有磁饱和	范围大,无磁饱和
CT 二次输出	不能开路	可以开路
PT 谐振	易产生铁磁谐振	无谐振现象
输出形式	模拟量	数字量
抗干扰能力	较差	较好。数据传输的可靠性较高
经济性	较差	较好。电压等级越高,经济性越明显

3.1.1.3 110 kV 主变压器

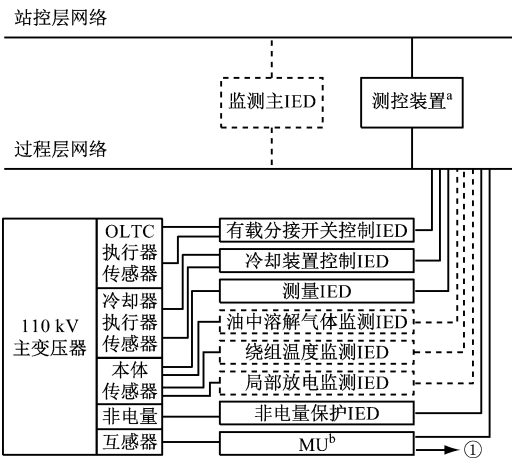
城市轨道交通 110 kV 主变压器选用三相双绕组、有载调压、自冷油浸式变压器。主变压器的智能化应具备自我检测和诊断的功能,包括本体监测和辅助设备监测两部分。

1) 本体监测:包含局部放电监测、油中溶解气体监测、油中含水量监测、绕组光纤测温监测、气体聚集量监测等。

2) 辅助设备监测:包含保护功能器件监测、冷却器监测、有载分接开关监测等。

主变压器的智能组件架构如图4所示。测控装置 A 为可集成于智能组件。合并单元 B 为可集成于智能组件,如设备集成了电子式互感器,则合并单元宜集成于智能组件。图4中:虚线框及虚线均为可选配内容,当至少有1个监测 IED 时,应配置

主 IED;a、b 均表示可集成于智能组件,如设备集成了电子式互感器,则 MU 宜集成于智能组件。



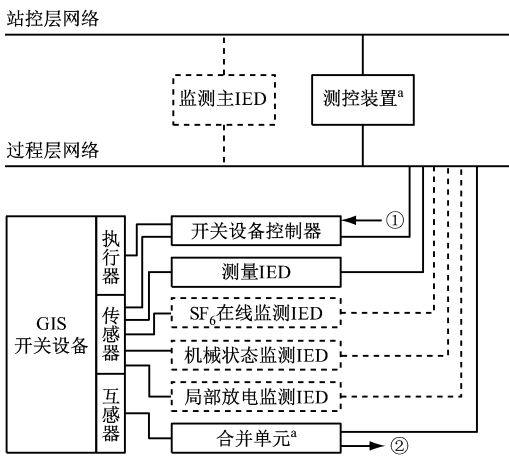
注:OLTC 为有载调压开关;①为继电保护装置。

图 4 110 kV 主变压器智能组件架构示意图

3.1.4 GIS 的智能架构

在城市轨道交通供电系统中,110 kV 开关柜、35 kV 开关柜均采用 SF₆(六氟化硫)气体绝缘的金属封闭式开关柜。

智能化的 GIS 由设备本体、传感器及智能组件组成,通过电缆或光纤与传感器、执行器连接,可自动完成信息的采集、测量、控制、保护、计量和监测等基本功能,并可支持实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级功能。其智能组件架构如图 5 所示。



注:①、②均为继电保护装置。

图 5 GIS 智能组件架构示意图

智能化的 GIS 包含以下功能:

1) SF₆ 在线监测:采用数字式气体压力和温度传感器检测 SF₆ 气体的压力、温度、微水含量、密度,并具有就地和远方显示的功能。

2) 断路器在线监测:监测分、合闸线圈电流;监测断路器的振动波形、动触头行程、开断电流、分合状态;诊断电气寿命和常规机械故障;在线监测储能电机的电流波形、储能状态、储能时间、频率等参量。

3) 局部放电在线监测:采用 UHF(特高频)无线电波外置式或内置式传感器,利用二维波形及三维相位图谱技术,通过对信息模式的识别及故障类型的诊断,实现局部放电故障点准确的定位诊断。

4) 视频监视:视频监视三工位隔离开关操作过程,直接观察隔离开关断口情况。

3.1.5 电力变压器

城市轨道交通供电系统中牵引变压器、配电变压器均选用空气自冷环氧树脂真空浇注干式变压器。智能化电力变压器就地安装智能组件,将光电数字信号代替传统的强电模拟信号,用光纤代替控制电缆,通过光缆接入过程层网络。智能化电力变压器可实现的采集、控制功能如表 4 所示。

表 4 智能化电力变压器的采集、控制功能

功能	具体功能描述
通信	温度传感器实时检测三相绕组温度和铁芯温度,并上传至 SCADA(电力监控与数据采集)系统;超温报警、超高温跳闸、风机运行/故障、外壳开门等信息通过远程通信口上送到 SCADA 系统及电力调度系统
遥控	风机具有就地控制和远程控制功能
对时	所有上传信息应带时标,时标精确到毫秒级;接收 SCADA 系统的对时信息,实现与系统的时钟同步

3.1.6 低压开关柜

以 1 座典型城市轨道交通地下车站为例,0.4 kV 低压开关柜约有 20~24 面,实际出线回路约有 70~90 回。其中,约有 1/3 的回路为动力照明一级负荷,部分回路甚至是一级负荷中特别重要的负荷。

可采取以下措施实现低压开关柜的智能化,实时监测重要的配电回路,提高供电系统的可靠性。

1) 对进、出线一次插件等关键部件进行温度监测、超温报警,及时发现潜在故障点。温度传感器采用嵌入插拔式结构,以便于维护。

2) 采用以太网集成,增强数据的处理能力,完善故障诊断功能。超大数据传输量可实现对开关柜运行状态的大数据分析。

3.1.7 电力电缆

对 35 kV 中压环网电缆、DC 1 500 V 电缆进行

局部放电量、介质损耗因数、直流分量等参量的监测,掌握其绝缘特性。

3.2 城市轨道交通智能化变电站的系统架构

城市轨道交通变电站一次设备的种类众多、供货商技术水平参差不齐。因此,智能化变电站在城

市轨道交通领域的发展、应用仍相对滞后。本文结合智能化变电站系统架构以及城市轨道交通变电站主要一次设备智能化,以牵引降压混合变电站为例,初步构建了城市轨道交通智能化变电站的系统架构,如图 6 所示。

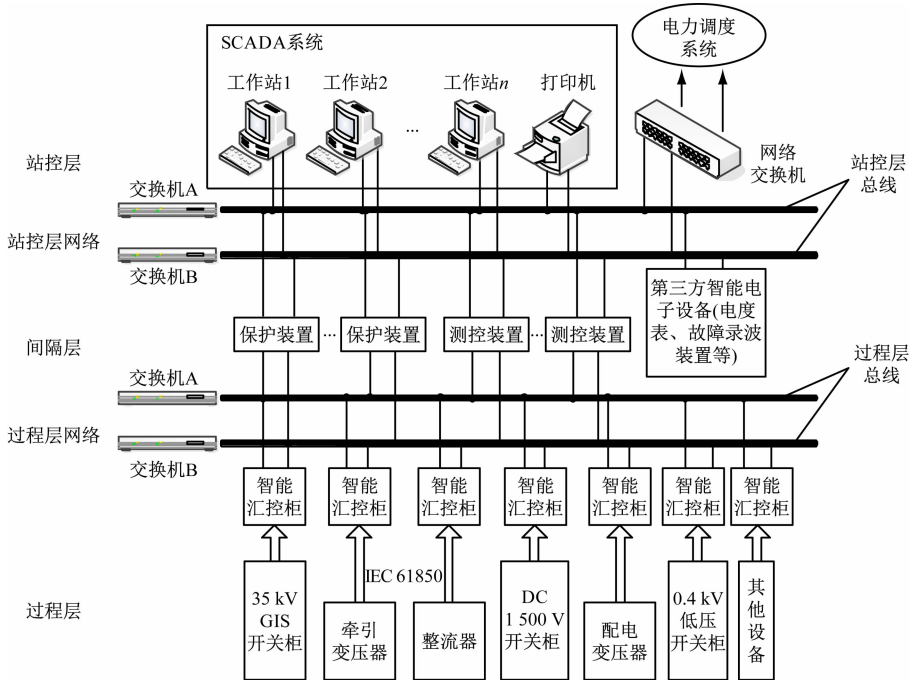


图 6 城市轨道交通智能化变电站架构示意图

4 结语

城市轨道交通变电站的智能化发展是必然趋势,是实现全面、主动、精准、高效的智能化运维模式的重要基础,也是适应城市轨道交通网络化发展的客观需求,对于更好地保障其运营安全,提高效率、节约资源等方面具有重要意义。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.智能变电站技术导则:GB/T 30155—2013[S].北京:中国标准出版社,2013:2.

[2] 高翔,张沛超.数字化变电站的主要特征和关键技术[J].电网技术,2006(23):67.

(收稿日期:2020-12-29)

复兴号智能动车组扩大开行 服务功能进一步提升

6月25日,伴随全国铁路第三季度列车运行图的提前实施,复兴号智能动车组的开行范围将扩大至京沪、京广、京哈、徐兰及成渝高铁,服务功能再次优化,更多旅客可享受复兴号智能动车组乘车体验。本次复兴号智能动车组扩大开行范围,将覆盖京、津、冀、辽、吉、黑、沪、苏、浙、皖、鲁、豫、鄂、湘、粤、陕、川、渝等18个省级行政区,辐射京津冀、长三角、粤港澳大湾区及成渝双城经济圈等地区。扩大开行使用的复兴号智能动车组包括CR400AF和CR400BF两个型号产品,车体外观分别采用“瑞龙智行”和“龙凤呈祥”方案,灵感来源于中国传统文化的“龙凤图腾”以及“舞龙”、“飞凤”等意象,寓意科技创新引领中华民族伟大复兴、中国高铁领先世界造福人类,表达了对祖国繁荣昌盛、人民幸福安康的美好祝福;列车编组分为8辆标准编组和17辆超长编组,列车定员分别为578人和1285人,以适应不同线路的运力需求。CR400AF和CR400BF采用了以太网控车、车载安全监测等9项智能运维技术,使其运维水平进一步提升,安全程度更高。

(据新华社2021年6月24日电)