

新一代智能化城市轨道交通牵引供电系统关键技术

文/北京交通大学 陈杰

长期以来,北京交通大学联合多家单位成立了多个创新及研究成果转化平台,致力于轨道交通牵引供电技术的创新与应用。2011年,中压能馈牵引供电系统被率先提出,随后,该系统又陆续加入了整流、分散式功率因数补偿、智能融冰等功能,并于2017年引入大数据和智能化功能。

新一代智能化城市轨道交通牵引供电系统包括整流、逆变、无功补偿和智能融冰等功能,功率器件为IGBT智能功率模块,功率因数大于0.99,变流器效率大于98%(额定功率下),电流谐波畸变率小于3%。

基于大功率四象限变流技术和大数据智能化技术的新一代智能化牵引供电系统方案具备两方面特点:基于大功率四象限变流技术,使得同一套供电装置整合了牵引供电、能量回馈、无功补偿和接触网融冰四大核心功能;基于大数据智能化技术,使得供电装置集成了大数据采集、数据存储、融合与分析、故障诊断、寿命预测和健康状态评估等功能。该系统的关键技术核心包括分散式无功补偿、分布式协同控制、分布式载波移向技术、车地一体化匹配控制、智能融冰策略、大数据智能云系统和智能寿命预测技术等。

其中,基于“变压回馈”的分布式协同控制方案,当列车进站制动时,随着制动功率增大,就近变电所能馈装置直流电压在一定范围内限行升高,从而触发相邻站能馈装置也投入工作,使得列车进站时的再生制动峰值功率能够被多个相邻站的能馈装置共同吸收。

分布式载波移向技术是借助高精度的过零点捕获技术,通过在一定范围内微调载波频率,使得各自三角载波相对于网压过零点的相位差始终保持恒定,以相同的交流电网电压过零点参考实现了自同步,从而取代了传统的硬线同步,实现了谐波对消。

智能寿命预测技术是基于IGBT功率模块的寿命与结温有关而建立的寿命预测模型,主要包括功耗计算,即通过变流器运行条件计算模块的功率损耗(包括IGBT和二极管的导通损耗、开通损耗和关断损耗等);结温预测,即根据计算所得的模块功率损耗,利用模块等效的热网络模型计算模块的结温随时间变化的曲线;数据分析,应用统计技术法(雨流法)对结温变化数据进行统计,获取不同温差、结温平均值及相应的循环次数等数据;寿命预测,根据功率模块寿命预测模型计算模块剩余寿命(通过加速老化试验,确立预测模型的系数,再通过累积损伤模型,计算剩余寿命)。

随着相关学科技术的不断进步,可以预计,城市轨道交通牵引供电系统将更加简化、更加节能和具有更好的供电品质和供电性能;电力电子技术的最新发展将使得系统更为可靠和高效;控制科学、网络与通信和计算机技术的发展将进一步促进智能化的发展;由单个变电所的独立供电单元向多变电所协同控制发展;我国具有自主知识产权的牵引供电系统,将不仅在国内更将在国际舞台上扮演着举足轻重的角色。EA