

城市轨道交通UPS集中供电系统技术与应用探讨

文/广州地铁设计研究院有限公司 何治新

目前,在我国共有27座城市开通城市轨道交通,总里程已超过3 500 km,未来将有更多的三、四线城市开通城市轨道交通。预计到2020年,我国城市轨道交通总里程将超过6 000 km。在轨道交通系统中,一旦出现供电问题,将造成重大事故,因此确保供电的可靠性至关重要。轨道交通大部分的弱电系统都配置了UPS装置来保障供电安全,然而也存在维护不方便、利用率低和占地面积大等问题。

轨道交通中UPS系统须整合

在城市轨道交通中,弱电系统包括通信系统、信号系统、综合监控系统、设备自动化系统(BAS)、火灾报警系统(FAS)、自动售检票系统(AFC)、门禁系统、智能低压系统、屏蔽门和防淹门。其中通信系统和信号系统用来保证地铁行车安全,避免晚点和撞车等事故的发生,是中央级的系统。BAS对地铁车站的设备和机组进行监视和控制,是中央级的综合系统。AFC也是非常重要的系统,相当于地铁中的银行,票务收入都在这里。防淹门是比较特殊的,当地铁在穿越河道时会设置,一旦有河水或湖水进入地铁隧道,防淹门的闸门将关闭,防止地铁被淹。这些系统对于地铁的安全、稳定运行都是极其重要的,一旦供电出现问题,造成的后果将不堪设想。

我国地铁供电系统安全可靠处于世界领先水平。我国早期的地铁供电系统是采用10 kV供电,目前绝大部分地铁供电系统由110 kV的电网供电。一般一条20 km的地铁线路设置两个主变

电站,那么110 kV电源引自两个不同的220 kV变电站,交流供电系统本身的可靠性是非常高的。在轨道交通比较重要的弱电系统中都配置了不间断电源供电系统(UPS),进一步提升了供电的可靠性。

目前大多数轨道交通中各弱电系统配置的UPS均是单独设立的。分散式的UPS供电系统其优点是电源故障风险分散,各系统之间不会相互影响。然而其缺点也比较突出,主要存在的问题如下。

1) 各弱电系统分别配置自己的电源系统,会造成设备重复配置,利用率低,占地面积大。由于地铁空间有限,每平方米的造价成本十分高昂,因此在经济上不合理。

2) 在运营维护当中,各弱电系统UPS装置规格、备品备件种类繁多,对运营维护要求高,运行维护的成本也很高。容易造成UPS装置维护不当的情况,同时也容易损坏UPS蓄电池,达不到备用时间要求。

针对轨道交通中分散式UPS供电系统存在的问题。解决方案是对各弱电系统的UPS装置进行硬件整合和集中布置,采用集中式UPS供电系统替代分散式UPS供电系统。对UPS装置整合后,可以对供电系统实施统一的管理和维护,更加专业地进行维修和更新,减少设备占地面积,从而降低车站土建工程造价,节约空调系统能耗,实现资源共享、节省投资的目的。

对UPS系统进行整合具体包括以下几个方面原因。

1) 分散式UPS系统设备重复配置,利用率

低，占地面积大，在经济上不合理。

2) 分散式UPS系统不易维护，如果维护不当会导致蓄电池容量降低，无法达到备用时间要求。

3) 整合UPS后，能集中管理，系统设置更加合理。

4) 分散式UPS系统存在产品由多个不同厂家提供的情况，整合后系统运营维护更加便利。

5) 整合UPS后可减少设备用房面积，降低车站土建工程造价。

6) 整合UPS后可减少蓄电池房间的空调系统能耗。

集中式UPS供电系统的具体实施

集中式UPS供电系统在轨道交通中实施时，首先需要考虑哪些系统不宜纳入集中供电系统。

设置UPS电源的系统中蓄电池为在线式，负荷由交流电供电。蓄电池为后备式运行，大部分负荷为直流电供电的直流自用系统不宜纳入集中供电系统。应急照明系统需要消防相关认证，也不宜纳入集中供电系统。另外，非在线式的应急电源系统（EPS）也不宜纳入集中供电系统。

对于如何整合UPS供电系统，分别根据负荷类型、供电负荷重要性、设备房分布和车控室位置设计了4套方案，4套方案特点对比如表1所示。

表1 集中供电系统方案设置对比

划分依据	方案一根据负荷类型	方案二根据供电负荷重要性	方案三根据系统设备房分布	方案四根据车控室位置
特点	屏蔽门系统为冲击负荷，因此单独设置UPS（位于屏蔽门控制室） 防淹门距离车控室较远，单独设置UPS 其他弱电系统UPS装置整合为集中式UPS（在车控室附近集中电源配电室）	信号系统和通信系统单独集中设置UPS装置 其他系统整合在一起集中设置UPS装置	在车站两端各设置一间UPS电源室，为相关系统提供电源	在车站靠近车控室设置一间UPS电源室，为整个车站相关系统供电
优点	避免各种负荷互相干扰	保证安全运行，充分利用设备容量	减少电缆故障，保证电压水平	节省设备房面积

最后通过权衡利弊，为了避免负荷受到干扰，选取了第一种设计方案。

由于集中式UPS供电系统的风险也是集中的，因此对可靠性提出了非常高的要求。必须选择可靠性高的UPS系统方案，建立安全完善的电源、配电和监控系统。因为各个弱电系统的后备时间并不一致，因此需要设置智能配电系统。另外，还需要设置监控系统对蓄电池、自动转换开关（ATS）和智能配电关键设备进行监控。

供电系统采用并联冗余方式：参与并联运行的各UPS单机在系统中具有同等地位，共同分担负荷。若任一台单机出现故障，其他单机能自动均担多出来的负荷，而故障单机将自动从负载母线上脱离系统。

采用并联冗余的优势包括：可靠性提高；可用性提高；维护简单。

并联冗余方案分为：整体式和模块式。

整体式：“1+1”并机冗余方式。

模块式：“N+X”并机冗余方式（每个模块容量为10 kV·A左右）。

集中供电UPS系统构成如下图所示。

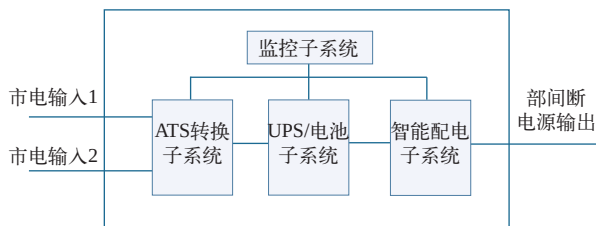


图 集中供电UPS系统构成

(1) 整体式“1+1”并机模式

由变电所接两路独立交流电源至车站UPS整合电源室的交流切换箱，切换时间不超过100 ms。由切换箱馈出至少4回路交流电源

采用两台UPS组成“1+1”并机冗余系统。并机系统采用全数字实时矢量控制技术，实时的负载均分调节和智能化控制实现。两台UPS的逆变输出电压幅度、频率以及相位保持一致，从而保证UPS系统输出一致。

控制环流，负载不平衡度小于2%。

(2) 模块式“N+X”并机模式

由变电所接两路独立交流电源至车站UPS整合电源室的交流切换箱，切换时间不超过100 ms。

由切换箱馈出至少4回路交流电源，

采用多台模块式UPS组成“N+X”并机冗余系统，由N个额定容量为10 kV·A的功率模块并联组成，系统总容量根据负载情况进行冗余设置。UPS可在不影响整机及负载工作的情况下，进行热插拔维修。

监控软件可对整个并机系统及各单机进行监控。设置静态旁路开关，自动把UPS负载无间断地切换到逆变器电源或旁路供电电源。

对整体式和模块式两种方案的供电可靠性进行分析，“1+1”并联冗余方式每台UPS单机输出功率为标称功率的50%，整个系统提供200%的标称输出功率理论可靠性达到99.999 999%。

“N+X”并机模式由于供电系统中间环节要多一些，因此“1+1”并联冗余方式的可靠性更高。

对于输出端的可靠性进行分析，从UPS输出端到最终用户设备输入端存在以下隐患。

1) 79%的故障来源于UPS输出端与负载之间的供电线路。

2) 11%的故障来源于UPS机组及蓄电池组。

3) 其他故障占10%左右。

UPS输出端供电至用户设备输入端有两种方案可供选择。

方案一：单回路馈出至各系统设备配电箱。

优点包括：

1) 电缆路劲短，故障几率小。

2) 满足各系统一级负荷要求。

缺点包括：

1) 避免不了线路故障。

2) 短路发生后，短路电流无法正常分断从而导致进线断路器跳闸，使UPS供电的所有系统断电。

方案二：双总线供电方式。

优点包括：

1) 一级负荷双进线末端切换要求，保证各系统供电可靠性。

2) 避免单一系统故障而影响整体系统运作。

缺点为系统造价比较高。

对于轨道交通，可靠性一定是最重要的，因此虽然造价偏高，还是选择方案二。

“1+1”并机冗余方式与双母线配电方式大大提高了UPS设备本体可靠性及线路可靠性；模块式“N+X”模式与单回路馈出方式虽在容错性和可靠性均有所提高，但电源输出方案上适合

可靠性较低的单回路馈出方式。综合考虑，选择“1+1”并机冗余结合双母线配电方式的方案。

集中式UPS供电系统已经应用于广州的地铁项目，下面以广州地铁4号线为案例来进行分析。

目前广州地铁4号线UPS的容量如表2所示。

表2 广州地铁四号线各系统UPS容量

系统	容量/kV·A
通信	44
信号	65
AFC	3
门禁	3
BAS	9
FAS	0.3
屏蔽门	15
智能低压	与BAS共用
主控	15
防淹门	2
合计	156.3

采用整体式UPS方案后，设备造价比分散式UPS方案略高4%，然而综合节约土建面积10 m²，降低了原UPS设备房空调系统能耗，因此总体造价较分散式UPS方案低，且可靠性和可维护性大为提高。

目前，集中式UPS供电系统已经应用于广州地铁7号线、9号线、11号线以及13号线。集中UPS系统整合范围：专用通信系统、综合监控系统、火灾自动报警系统、门禁系统和办公自动化系统。

上海地铁7、9、11、13、2号线东延和2号线西延段均采用了集中UPS供电系统。

整合范围：通信系统、信号系统（含转辙机等）、综合监控系统、FAS、BAS、AFC和门禁等。

北京地铁4号线、郊区4线、机场线和15号线均采用了弱电系统电源集中整合的形式。整合系统范围：专用通信系统、综合监控系统、OA、BAS、门禁系统、乘客信息系统和AFC。不纳入整合系统范围：商用通用系统、公安系统、政务通信系统、屏蔽门、信号系统、变电所操作电源、应急照明电源和FAS。

深圳9号线整合系统范围：通信系统（不含公众通信、警用通信）、综合监控系统、火灾自动报警系统、环境设备监控系统、门禁系统和自动售检票系统。车站UPS采用单机系统，UPS电源系统由带电源自动转换开关ATSE的进线电源柜、UPS主机、交流智能配电盘、蓄电池组及UPS电源集中监控系统组成。

哈尔滨市轨道交通1号线一二期工程，车站
(下转第74页)

构内经7 700 mm)可满足轨面以上净空面积及隧道阻塞比要求,满足轨道和接触网安装尺寸要求。

资源共享技术。根据《广州市域城市轨道交通2016—2022年建设规划》专题研究,从线网规划的角度,同时考虑线路延伸至机场和中山及28号线、新机场至市区及南山线路,18、22号线建设主变电所共4座。

同相供电技术。为适应工程高密度紧密运行要求,减少电分相对车辆运行的影响,节能降耗、提高电能质量,采用同相供电技术,取消全线电分相。结合目前同相供电系统的应用案例及相关设备的使用情况,推荐单相组合式同相供电方案,取消牵引变电所出口电分相;牵引所供电臂间推荐采用电子开关过分相,取消所间电分相。

交流160 km/h刚性接触网技术。接触网正线地下段采用架空刚性悬挂接触网,车辆段和停车场采用架空柔性悬挂接触网。为保证弓网关系,工程此阿勇曲臂式刚性悬挂、高速专用膨胀元件和弹性线夹,以满足160 km/h架空刚性接触网运行要求。全寿命周期成本低、维护量小。供电可靠性强。

分段测控保护技术。采用牵引网分段测控保护,隔离故障区间,实现小交路运行全系统采用61850保护技术,提高保护的选择性、供电系统

运营安全性。

供电系统智能运行维护技术,搭建在线检测系统、状态评估系统和设备信息管理系统,实现供电系统设备管理的自动化与智能化,进一步提高运营管理水平、降低运维成本。建设智能变电站。

展望与建议

随着国家城市化战略的深入发展,城市及城市圈的规模及空间将越来越大,对市域轨道交通建设的需求也越来越大。如何建立(包含供电系统在内)的安全、可靠、经济及绿色的市域轨道交通将是我们共同面对的问题,需要我们共同研究解决。

1) DC 3 000 V电压制式比较适合市域轨道交通,建议同时采用专用回流轨系统,以较好地解决直流供电系统的杂散电流问题。

2) AC 25 kV牵引供电系统中,同相供电系统较好地解决了交流牵引供电系统的电能质量、列车过分相、列车制动能量回馈效率,目前系统及装置方案需进一步完善。

3) 适应250 km/h速度目标值的国产化刚性接触网的应用。

4) 牵引供电系统的智能化及其运维管理模式的优化,以进一步提高安全性,降低运营成本。EA

(上接第71页)

弱电机房集中合并设置,设置了集中UPS系统。整合系统范围:信号系统、通信系统、AFC、FAS和BAS,其他系统各自设置UPS电源系统。车站UPS采用单机系统,后备时间考虑根据系统要求分时切断,通信系统为2 h、其他系统为1 h。一体化双电源配电屏将两路市电实现自动切换,提供给UPS系统,并完成UPS输出配电和分时控制输出。

集中式UPS供电系统的注意事项

UPS集中供电系统在实际应用中应注意以下几方面的问题。

1) 根据负载特性和重要性,合理选择纳入集中整合范围的设备。对于道岔、屏蔽门动力等冲击性负载应加以控制。

2) 设备容量选择时既要考虑各系统设备实际容量及同时使用的情况,提高设备负载率,又要根

据各系统特点合理预留裕度,提高灵活性。对于蓄电池容量的选择,根据各系统后备时间要求,采取分段切除的形式,合理确定蓄电池容量。

3) 出现事故时,应尽量控制事故范围。合理选择开关上下级的配合关系,设置上位监视系统对关键位置开关状态进行监视。

4) 由于UPS集中后,与各个系统都关系重大,在施工和运营管理方面都应充分做好各专业的紧急事件预案,保证各系统在调试和运营阶段的系统可靠性。

5) 需要制定严格的标准和程序对UPS进行运营维护。

在研究制定集中UPS供电系统方案时,在保证系统可靠性、可用性的前提下,应同时综合考虑系统设备的前期投入、土建建设费用、空调系统能耗及后期维护的成本,以达到系统经济技术最优。EA