

城市轨道交通弱电系统电源整合及发展方向探讨

闫富伦

中国铁路通信信号上海工程局集团有限公司 上海 200040

摘要：弱电系统作为城市轨道交通的灵魂和大脑，其供电的重要性不言而喻。为了保证供电的可靠性，需要提高UPS电源设备的可用性。本文研究了几种电源整合的设计方案，并通过分析弱电系统中通信、信号、综合监控等子系统负载的电源特性，提出了电源整合的合适范围，并相应设计了配套的电源整合方案，引入其他行业的UPS模块化设计，为未来轨道交通电源系统的发展提出了一种可能的方向。

关键词：城市轨道交通；电源整合；UPS并机；UPS模块化

引言：目前，中国内地累计有58个城市投运城市轨道交通，线路共计362条，线路长度累计12168.77公里，2024年中国内地城市轨道交通全年完成客运总量超过320亿人次，客运总量持续攀升，城市轨道交通在城市运转中，担负着越来越重要的作用。而在轨道交通系统中，一旦出现供电问题，将造成重大事故，因此保证供电的可靠性、可用性、安全性至关重要。作为地铁运转的灵魂和大脑，各弱电系统配备了电源UPS（不间断电源）设备，来保障供电安全。

1 背景与意义

弱电系统通常包含通信系统、信号系统、综合监控系统（ISCS）、环境与设备监控系统（BAS）、火灾报警系统（FAS）、自动售检票系统（AFC）、门禁系统、安防系统、屏蔽门和应急照明。目前，大多数弱电系统UPS是单独配备的，主要存在的问题如下：

1.1 各弱电系统各自单独的电源系统，造成电源设备重复，浪费宝贵的地下空间。地铁地下空间寸土寸金，经济上就不合理；

1.2 过多设置UPS电源设备，在同样故障率下，发生故障的次数会更多；

1.3 分散式UPS电源，单个容量较小，一般在5~40 kVA左右。相对而言，大容量的UPS主机在设计上冗余度更高，可靠性更强，MTBF会远超过小容量UPS；

1.4 在运营维护中，各弱电系统长期存在着多种品牌、规格，导致维护难度增加，备品备件种类较多。

针对以上问题，目前主要解决思路是对各个弱电系统的电源UPS设备进行整合，整合UPS具有更高的可靠性和冗余性，便于统一管理维护，优化减少备品备件的种类，降低电源设备运转的散热，进而节约空调能耗，减少设备占用的空间，降低土建工程造价，实现设备性能提升与成本节约的双重目的^[1]。

2 电源整合的现状与趋势

地铁车站内的弱电设备系统较多，并且各自承担着重要作用。为保证这些系统得到高可靠性供电，需为每个子系统分别配备UPS电源。

UPS电源的整合，应考虑到负载的容量大小、后备时间要求、各个子系统的负载特点，不是所有系统都能符合UPS整合电源技术要求，在进行电源系统整合时，需要对各个子系统进行具体分析^[2]。

2.1 通信系统：分为专用通信、公安通信、民用通信系统，主要为网络设备、计算机等容性负载，需要AC 380/220 V电源，适合用整合UPS电源供电。

2.2 信号系统：主要为网络设备、计算机等容性负载，使用AC 380/220 V电源，可靠性要求较高，可列入整合范围；

2.3 综合监控系统（ISCS）：主要为网络设备、计算机等负载，使用AC 380/220 V电源，可列入整合范围；

2.4 环境与设备监控系统（BAS）：主要为网络设备、计算机等容性负载，需AC 380/220 V电源，可列入整合范围；

2.5 火灾报警系统（FAS）：由于消防设备需公安部消防认证监督，应设置专用不间断电源，故主系统设备不纳入整合范围。对FAS终端电脑设备，可列入整合范围；

2.6 自动售检票系统（AFC）：主要为网络设备、计算机等容性负载，以及闸机，需AC 380/220 V电源，可列入整合范围；

2.7 门禁系统：主要为网络设备、计算机等负载，需AC 380/220 V电源，可列入整合范围。

2.8 安全防范系统：主要为网络设备、计算机等容性负载，以及入侵检测前端设备，需AC 380/220 V电源，可列入整合范围；

电源设备节点的增多会导致系统运行故障率升高,电源进一步整合的供电方案是未来发展的方向。为保障弱电系统的稳定运行,必须精心设计出一套能够充分满足安全使用需求的方案,下个章节对几种电源整合方案进行了详细分析对比。

3 电源整合方案对比分析

UPS电源整合主要存在三种方式:单UPS电源整合方式、双UPS电源整合方式、UPS模块化冗余设计方式,其中双UPS电源整合模式又可细分为双UPS并机方案和双UPS双母线方案。

3.1 单UPS方案

地铁车站电源系统设置一套ATSE双切箱、UPS电源装置(包含蓄电池、整流器、逆变器)、UPS输出配电柜、智能控制单元、环境监测单元等,如图1所示。

正常工作时,自市电引入两路市电接到ATSE双切箱,引入的市电电源其中一路失电时,将会自动切换到另一路中。UPS将引入的交流电源整流并逆变,为各个系统提供纯净的交流;当两路交流进线电源均失电时,UPS装置将电池储存能量逆变,为各个系统提供高质量电源;当UPS维修时,手动无间断切换至维修旁路,由交流进线电源直接对各系统供电;当UPS出现故障时,自动无间断切换至静态旁路,由切换后的交流进线电源直接对各系统供电^[3]。

3.2 双UPS 并机方案

双UPS并机方案是采用两台同品牌、同规格的UPS设备,通过并机线同步运行,实现两台UPS设备输出同样电压幅度、频率、相位的电流。双UPS并机方案已在不少城市的轨道交通项目中得到应用。

双UPS并机方案系统如图2所示,当其中一台UPS主机出现故障时,切换着静态旁路和另一台UPS和为各个子系统供电。相比于单UPS方案,双UPS并机方案可以实现现在切换维修旁路的同时,对故障UPS检修。然而,单独一台UPS供电很有可能出现供电能力不足的情况,故此本方案只能在UPS主机发生一般性故障时实现冗余功能,由静态旁路和另一台UPS共同承担供电,无法保证供电电源的稳定,在UPS完整故障时,甚至可能出现供电不足的情况。本方案对可用性的提高并不明显,在单UPS方案99.985379%的可用性基础上,提高了0.0007个百分点。根据规范要求,信号电源可用性要求在99.9995%及以上,所以本方案无法整合信号系统设备的供电^[4]。

3.3 双UPS 双母线方案

双UPS双母线方案设置两套相互独立的同品牌、同规格的UPS主机,配电母线及开关设备;再由UPS交叉为

输出配电柜箱供电,如图3所示。两套UPS电源在正常工作时,分别为输出配电柜提供双电源均衡输出,共同为负载供电。区别于双UPS并机方案,双UPS双母线方案在冗余设置UPS主机之外,采用双母线、双开关,交叉为负载输出配电柜提供电源,极大地提高了系统可靠性。

当一台UPS出现故障,不会干扰另一台UPS的正常工作,自动由其承担所有负载的供电。为确保UPS设备检修时,仍能为负载提供2路冗余电源供电,每台UPS需各自设置2路维修旁路;因双UPS双母线方案的冗余保护功能,可不再设置静态旁路;考虑到为市电的稳定性较强,以及UPS设备同时出现故障的概率极低,可不再设置ATSE双切箱,节约设备成本^[5]。

双UPS双母线方案,采取并联热备的2套系统,可靠性、可用性有了大幅提升。市电引入,开关元件、UPS设备、输出母线、输出开关均相互独立,可确保UPS电源系统的持续供电,保证设备不掉电,理论上可用性达到99.999997%,满足了信号系统电源设备可用性的要求。本方案可以降低弱电系统电源设备种类,降低运营维保的工作量,减少备品备件的种类和数量,提高运营检修的效率。

3.4 UPS模块化方案

UPS模块冗余方案主要采用“N+X”并机冗余方式,弱电各个子系统单独设置UPS装置时,容量一般为10的整数倍,故此可采用容量10kVA的模块。

模块化UPS装置,如图4所示,由机框、UPS功率模块、控制模块、静态开关模块及显示通信模块构成。多台模块式UPS组成“N+X”并机冗余系统,可采用由N个额定容量为10kV·A的功率模块叠加组成,各模块并联输出,N的数量由弱电系统所需电源总量决定,X的数量可根据系统所需安全冗余要求决定,模块化UPS的总容量大小为N*10KVA。同时,UPS装置的控制模块、旁路开关部分也可以采用模块化装置,一主一备,冗余配置。由这些不同作用、冗余配置的模块,组成了模块化UPS装置。UPS功率模块作为系统的核心,每个模块都具备电源逆变、整流、功率因数校正、充电功能,并且具备热插拔功能,在模块故障时,可由备用模块接管该模块职责,并在热插拔更厚后,切换回原模块。

UPS模块化相比于传统UPS装置,主要具备以下优势:

3.4.1 模块化UPS便于维护,在模块出现故障时,可采用热插拔方式,直接进行更换,降低了维护难度和更换时间;

3.4.2 模块化UPS提高了系统可靠性,通过模块冗余设置,可提高设备的稳定性;

3.4.3 模块化UPS设备易于扩容，对分期建设的项目，可于前期预留UPS功率模块的安装空间，在后期设备供电时，增加UPS功率模块的数量即可；

3.4.4 提高了UPS控制设备的冗余性，可设置双冗余的控制模块，避免控制单元出现故障导致的设备瘫痪，

提高了设备可靠性。

然而模块化UPS电源通常具有更复杂的系统架构和控制逻辑，由于其可扩展性和冗余性，模块化UPS电源需要更多的硬件和系统集成，因此成本较高。

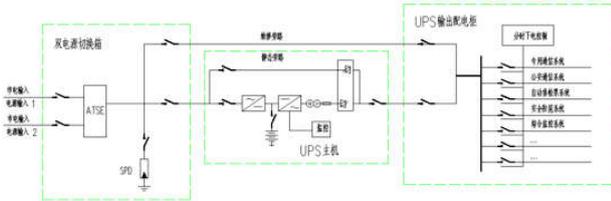


图1 单UPS工作示意图

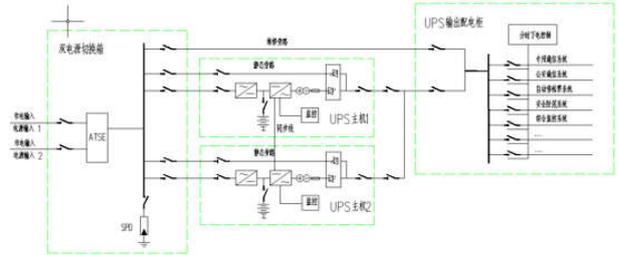


图2 双UPS并机工作示意图

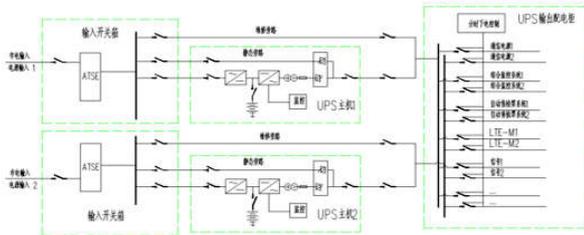


图3 双UPS双母线工作示意图

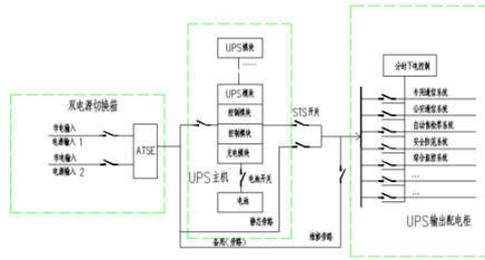


图4 UPS模块化工作示意图

3.5 几种方案的对比分析

集中式UPS供电分为单UPS和并联冗余的方式。在有可靠性、可用性要求的系统，需考虑使用并联冗余的方式，四种方式各有优缺点，分别适用于不同的使用场景。对于部分不参与电源整合的系统，可以采用单UPS模式；对于涉及到行车安全的通信、信号系统，在对其UPS设备进行整合时，UPS设备必须冗余设置，采用双UPS双母线方案。

4 结论

目前，城市轨道交通弱电系统的供电，已经开始从分散的UPS方案慢慢转向为UPS电源整合，单UPS、双UPS均得到了广泛应用，但是出于成本、可用性等角度，UPS整合的力度不一；UPS模块化目前在航天、医药、机场、交通枢纽、等领域得到了应用，随着设备成本的控制以及技术的基本，未来不失为城市轨道交通弱电UPS整合的发展方向之一。

城市轨道交通中弱电电源整合是一个发展趋势，通过弱电电源整合技术，可以提高供电系统管理的方便

性，增大了供电可靠性，并且有利于节能降耗。电源整合也代表着风险也是集中的，所以整合范围及电源的整体可靠性成了关键因素。本文根据集中电源整合方案的特性，推荐双UPS双母线的设计方案，并对比其他行业的UPS模块化方案，为未来轨道交通电源系统的发展提出了一种可能的方向。

参考文献

[1]伍维瑾.城市轨道交通车站电源整合方案探讨[J].电气化铁道,2020,31(S1):205-208.
 [2]何治新.城市轨道交通UPS应用探讨 采用集中式UPS供电系统应确保可靠性[J].电气应用,2017,36(02):13-14.
 [3]王凯.数据中心机房UPS供电模式可靠性分析[J].智能建筑与智慧城市,2020,(12):37-39.
 [4]王艳,冯敏,徐慧珍.UPS供电系统的可靠性分析及维护[J].电子世界,2018,(18):135-136.
 [5]冯伟.地铁车站弱电系统UPS集中供电分析[J].铁道通信信号,2010,46(06):75-77.