

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2020.02.022

轨道交通 AFC 系统车站终端设备供电方案探讨

刘皓凡

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

摘要: 为提高轨道交通自动售检票(automatic fare collection, AFC)系统运营安全、降低 AFC 系统建设运营成本、减轻 AFC 系统运营维护压力, 分析比较目前常见的 3 种 AFC 系统车站终端设备的供电方案, 指出内置小不间断电源(uninterrupted power supply, UPS)方案存在使用条件苛刻、寿命短、运营维护量大、整体建设运营成本高且与运营实际需求不符的问题, 以及集中式大 UPS 方案配电级数增多、故障点相应增加, 一旦发生故障影响面相应增大的问题。从 UPS 配置集中与分散相结合的角度, 提出人工售票机单独配置小 UPS 的方案; 用理论上一次安装终生免维护的超级电容替代闸机内设置的小 UPS 的方案; 结合“互联网+”及移动支付的快速发展趋势, 精确分析在该趋势下 AFC 终端设备内具体模块的实际后备电源需求变化情况, 提出减少非必要的模块后备用电负载、优化 UPS 配置的方案。所述方案为后续 AFC 系统建设提供参考。

关键词: 轨道交通; AFC 系统; 不间断电源; 集中与分散; 建设运营成本; 超级电容

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2020)02-0135-05

Electronic Supply Scheme for Automated Fare Collection Station-Level Equipment in Urban Rail Transit

LIU Haofan

(China Railway First Survey & Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043)

Abstract: To improve the operation safety of rail transit automated fare collection (AFC) systems, reduce the construction and operation cost of AFC systems, and alleviate the pressure of AFC operation and maintenance, the power supply schemes of three common AFC station terminals are analyzed and compared. The problems existing in the scheme of built-in small uninterruptible power supplies (UPS), such as harsh service conditions, short service life, large amount of operation and maintenance, high cost of overall construction and operation, and inconformity with the actual demand of operation, are discussed. In the centralized large-UPS scheme, the number of power distribution stages increases, and the number of fault points increases accordingly. Once the fault has occurred, the influence surface is enlarged correspondingly. In this study, from the point of view of the combination of centralized and decentralized UPS configurations, it is suggested that the manual ticket-vending machine should be equipped with a small UPS separately. In theory, a scheme is proposed to replace the small UPS in the automatic gate machine (AGM) with a lifetime maintenance-free supercapacitor. Combined with the fast development trend of “Internet +” and mobile payment, the change of actual backup power demand of specific modules in AFC terminal equipment under this current is analyzed precisely. It is suggested that nonessential module backup power load be reduced and UPS configuration optimized. This scheme can be a useful reference for subsequent AFC system construction.

Keywords: rail transit; AFC system; UPS; centralized and decentralized; supercapacitor; construction and operation cost

收稿日期: 2019-07-30 修回日期: 2019-11-14

作者简介: 刘皓凡, 男, 工程师, 一级建造师, 主要从事城市轨道交通 AFC 系统及通信系统的设计建设, liuhaofan@163.com

随着城市轨道交通建设的高速发展,各城市轨道交通 AFC 系统的车站终端设备供电方案开始出现多种不同的建设思路。从运营安全、建设运营成本、技术发展和贴合运营实际需求的角度对 AFC 系统车站终端设备供电方案进行剖析,探究不同供电方式下的各自特点以及后续建设时可行的优化方向。

1 AFC 车站终端设备的 UPS 供电方案

AFC 系统车站终端设备主要包括售票机、检票机、验票机等。对于这些设备的供电,《地铁设计规范》中有“自动售检票终端设备应确保停电后完成最后一笔交易,根据需要集中或分散设置不间断电源^[1]”。遵循该规范,目前国内地铁 AFC 车站终端设备的供电方案主要存在分散式 UPS 供电和集中式 UPS 供电两种模式。集中式 UPS 供电又分为 AFC 单系统集中式 UPS 供电和包含 AFC 的多系统集中式 UPS 供电。

1.1 分散式 UPS 供电方案

分散式 UPS 供电方案即在 AFC 车站终端设备内部配置小功率 UPS 的方案,如图 1 所示。

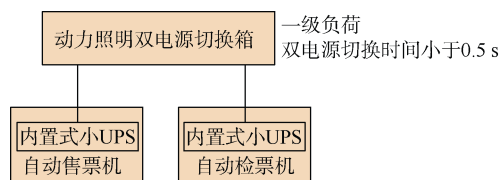


图1 分散供电方案

Fig. 1 Decentralized power supply scheme

分散式 UPS 供电是早期轨道交通 AFC 系统建设时最常采用的一种供电方案。

该方案的优点是:方案架构简单明确,针对“停电后完成最后一笔交易”的要求,直接在终端设备内部单独配置小功率 UPS,满足要求;安全性高,小功率 UPS 分散在各个终端设备内,每个终端设备都配有独立的后备电源,互为后备,如一组检票机中的某一通道检票机内的 UPS 故障,其他通道不受影响,停电后仍可完成最后一笔交易。

该方案的缺点是:终端设备内部环境受外部环境影响,灰尘多、温度变化范围大,小 UPS 蓄电池寿命普遍较短。蓄电池一般标准使用温度为 25℃,温度每下降 1℃,其容量下降 1%,温度每升高 10℃,电池寿命约降低一半^[2]。某南方城市轨道交通线路自动检票机内的 UPS 装置运营 1 年左右就开始出现电池浮充、老化、主板损坏等故障。全线自动检票机的 UPS

装置运营 2 年时大部分已将电池更换^[3];运营维护工作量大。为了维持 UPS 的正常使用,运营需对 UPS 进行经常性的清洁除尘及对电池进行定期充放电;综合以上两个因素,分散式 UPS 供电方案实际运营维护的人力成本、资金成本很高。

1.2 AFC 单系统集中 UPS 供电

AFC 单系统集中式 UPS 供电是指 AFC 系统独立设置一台大功率的 UPS 设备,负责整个车站范围 AFC 系统的所有设备用电(包括 AFC 车站终端设备)。各终端设备内部不再设置小功率 UPS,如图 2 所示。

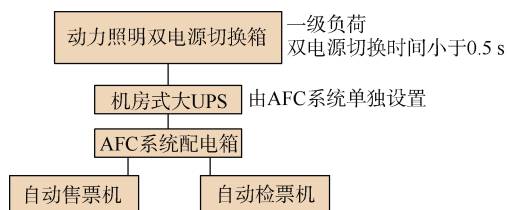


图2 AFC单系统集中UPS供电方案

Fig. 2 Centralized UPS power supply scheme of AFC single system

该方案的优点是:集中式大 UPS 设置于 AFC 设备室内,相较开放式的车站站厅,设备室内拥有更稳定的温湿度,蓄电池的使用寿命更有保障;运营由维护多个内置式小 UPS 改为维护一处集中式 UPS,工作量大大降低。该方案的缺点是:UPS 集中设置后,风险亦集中,一旦集中 UPS 发生整体性故障,该 UPS 下供电范围内的所有设备均失电;配电级数增多,故障点随之增加。

1.3 多系统合设集中 UPS 供电

尽管业内仍存争议,但近几年很多城市在新线建设时采用了 AFC 系统与其他系统集中设置 UPS 的方案。即图 3 中的多系统合设集中 UPS 供电方案。

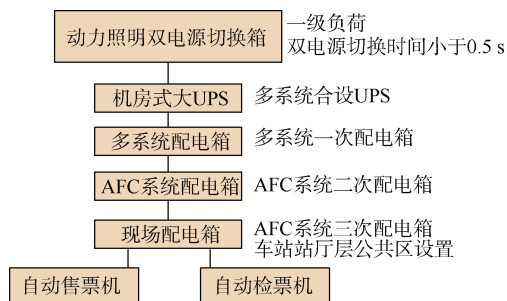


图3 多系统合设UPS供电方案

Fig. 3 UPS power supply scheme for multisystem integration

多系统合设集中 UPS 供电是指 AFC 系统与其他系统(如乘客信息系统等)共同设置一个大功率 UPS, 车站 AFC 系统的所有设备用电均来自该大功率 UPS。

该方案的优点是: 多系统合设集中 UPS 供电除拥有 AFC 单系统集中 UPS 供电的全部优点外, 还具有以下优势。多专业合设一处 UPS 比各个专业分设 UPS 更节省设备用房面积及空调系统能耗; 各专业合设一处 UPS 可对容量做整体冗余考虑, 较各个专业都考虑冗余量减少了配置上的浪费; 运营维护工作量进一步降低。

该方案的缺点是: UPS 更加集中, 风险亦更集中, 一旦多系统集中 UPS 发生整体性故障, 该 UPS 下辖的所有专业的所有设备均失电。配电级数进一步增多, 从图 3 可见, 从动力照明的配电箱至 AFC 终端设备之间的配电级数需要 5 级, 从末端配电箱向上的任何一级的单点故障均会导致车站的所有 AFC 终端设备失电。另外, 配电级数太多将给开关的选择性动作整定带来困难^[1], 也不符合《民用建筑电气设计规范》中的建议“低压配电系统的设计应符合下列规定: 变压器二次侧至用电设备之间的低压配电级数不宜超过三级^[4]”的规定。地铁设计规范中有“一级负荷中特别重要的负荷, 应增设应急电源, 并严禁其他负荷接入”的要求, AFC 系统不属于“特别重要的负荷”, 故在与其他系统合设 UPS 时, 需谨慎规划, 应选择同样不属于“一级负荷中特别重要的负荷”的系统共用一个 UPS。

2 UPS 供电方案的优化思路

2.1 集中与分散相结合

售票机、检票机作为直接担负乘客购票、进出站检票任务的终端设备, 若其电源均由一个集中大 UPS 提供, 则该 UPS 一旦发生故障, 车站全部售票机/检票机均会失电不可用, 势必会影响车站的正常运营。鉴于此, 应当考虑适当分散的设备供电方案, 优化大 UPS 的供电范围, 一个集中式大 UPS 发生故障, 不至于使得该车站进出站及售票功能全面瘫痪, 至少还有部分同类功能设备由其他电源供电, 能正常运转。

以售票机为例, 售票机分为自动售票机和客服中心内的人工售票机(即半自动售票机, 需要工作人员操作完成售票)。人工售票机的两个主要任务是对出站乘客进行异常票卡处理及大客流时补强售票能力, 如和自动售票机一道纳入集中 UPS 的供电范围, 一旦该集

中 UPS 故障则全站的售票功能均会瘫痪。如人工售票机采用内置独立的小 UPS 供电, 自动售票机采用集中大 UPS 供电, 则在集中大 UPS 故障时人工售票机仍可继续售票及处理异常票卡, 显著减低了运营风险。

故客服中心内的人工售票机应考虑内置独立的小 UPS, 而不应和其他自动售票机纳入同一个大 UPS 供电范围。同理, 在进出站检票机内, 亦可选择 1~2 个通道的双向检票机内置独立的小 UPS, 而不和其他检票机纳入同一个大 UPS 供电范围, 在大 UPS 故障时, 这 1~2 个通道的双向检票机仍可正常运转。

2.2 采用其他综合成本更低新型后备电源替代检票机的内置小 UPS

AFC 终端设备的用电负荷为一级负荷。一级负荷要求必须采用双电源双回路线路供电^[1], 只有当地铁主变电站引入的两路外部电源同时失电时才会造成一级负荷停电, 该情况发生的概率极低。从已开通线路的运营反馈来看, 实际情况如下:

1) 一级负荷电源完全失电的情况微乎其微, 以成都地铁 1 号线为例, 自 2010 年 9 月正式运营以来, 从未发生过任何运营时间内一级负荷故障断电事故^[3]。由此可见, 自动检票机 UPS 电源发挥后备作用的时刻, 基本只发生在一级负荷双电源切换的间隙, 而不是两路外部电源同时失电一级负荷故障的情况。

2) 当车站设备失电时, 自动检票机阻挡装置应处于释放状态^[1]。即自动检票机应“主动失效”。

由此可见, 地铁公司和乘客对 AFC 终端设备后备供电的时间要求, 主要是双电源切换装置即自动转换开关电器(automatic transfer switching equipment, ATSE)这一较短的切换时间。随着产品的升级换代, ATSE 的转换动作时间不断缩短, 市场已出现转换动作时间小于 75 ms 的 ATSE 产品^[5]。针对这种极短时间的后备要求, 相较于传统的电池式 UPS, 可考虑采用超级电容作为后备电源方案。超级电容内阻小、允许充放电电流大, 可以反复充放电数 10 万次, 容量几乎没有衰减^[6]。同时, 其材料构成、生产、使用、储存以及拆解过程均没有污染, 是理想的绿色环保电源; 而铅酸蓄电池、镍铬蓄电池均有毒性^[7]。下面以自动检票机为例, 具体分析超级电容的应用方案。

自动检票机内部的子模块很多, 各个模块的工作模式虽各不相同, 但可分为两类: ①有逻辑模块。这类模块内含系统逻辑环境, 一旦断电, 逻辑信息立即丢失, 来电后需要重启逻辑环境, 恢复功能需要一定时

间;②无逻辑模块。来电后可立即恢复进入工作模式。

工控机作为主控单元,是自动检票机的最核心部件,向下负责控制协调外围下位机的工作,向上负责向车站计算机系统发送交易数据、寄存器数据和状态数据,同时接收车站计算机系统下发的参数、命令和软件^[8],是自动检票机内最重要的有逻辑模块。

目前地铁建设中普遍采用配置有 CPU、内存,自带嵌入式系统的智能大读写器。大读写器软件中封装了完整的票卡处理逻辑^[9],是自动检票机内的另一个有逻辑模块。

除了工控机、读写器外,其他如显示器、扇门、票卡等模块均属于无逻辑模块,故只需要给工控机和读写器配置超级电容即可。自动检票机配置超级电容方案如图4所示。

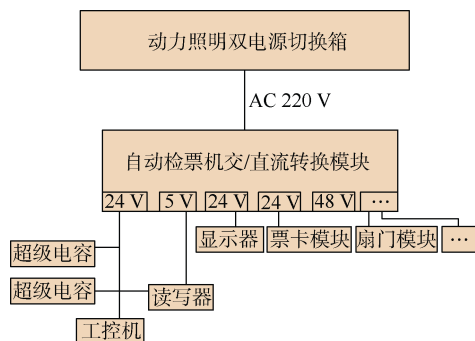


图4 自动检票机超级电容供电方案

Fig. 4 Super capacitor power supply scheme of AGM

超级电容并联在主电源模块和工控机、读写器之间,当主电源模块失电时,可由超级电容供电。因超级电容只能并联在直流电路中,且超级电容放电时会产生压降,故在使用超级电容做后备电源时,需要设备具备较宽的工作电压幅度。故在子模块设备选型时,应选择正常工作电压范围大的工控机与读写器,以获得更宽的电容放电窗口。

相较于传统 UPS 的后备蓄电池,超级电容的最大优点就是完全免维护,一次安装终生使用。采用超级电容方案作为 AFC 系统终端设备的后备供电方案,在降低建设成本、减轻运营维护压力上比传统的 UPS 方案更有优势,采用超级电容的综合成本显著低于采用 UPS。以常见的检票机内置小 UPS 为例,1 kVA 小 UPS 目前行业报价在 1000 元左右,0.5F 超级电容报价同为 1000 元左右,建设费用基本相同,但小 UPS 装置运营 2 年大部分已需更换电池^[3],而超级电容则基本没有后续维护费用。

2.3 排除、减少非必要 UPS 负载

纳入集中 UPS 的负载越多,UPS 的容量就越大;UPS 的后备时间越长,需要的后备蓄电池就越多。更大的 UPS、更多的蓄电池势必会增加建设成本。应仔细研究,尽可能减少 UPS 负荷的负荷量。

2.3.1 排除非核心业务的 UPS 用电需求

近年来,随着互联网技术的发展,地铁 AFC 系统的各种新型终端设置不断出现,如自助取票机、自助票务处理终端等。自助取票机的主要功能是给提前通过网络完成购票的乘客提供车站现场取票功能;自助票务处理终端的主要功能是给不能正常进出站的乘客提供自助票卡更新的功能。以上设备作为对传统 AFC 系统的优化与提升,给乘客提供了更加方便、快捷的服务,但从满足乘客正常的购票、进出站需求角度分析,这些设备提供的服务并非必须具备的功能,故可不纳入 UPS 供电范围。UPS 的供电范围应始终聚焦在车站现场的“售票”及“进出站”这两项核心业务上。

2.3.2 结合实际使用需求,优化 UPS 配置容量的计算方法

1) AFC 终端设备的用电需求实际上是由组成该设备的众多模块的用电需求共同构成的,以自动售票机为例,组成售票机的主要子模块有纸币模块、硬币模块、发卡模块、状态显示屏、读写器、乘客显示屏、工控机、打印机等。表1所列笔者参与建设过的某城市地铁 AFC 系统自动售票机的主要模块功耗。

由表1可见,纸币及硬币这两个现金处理模块是耗电量最大的两个子模块,占据了整个自动售票机功耗的一半以上。

随着“互联网+”及移动支付的快速发展,几乎所有城市的轨道交通 AFC 系统都在建设或升级支持移动支付的自动售票机。乘客在自动售票机前通过现金完成购票的比例正在大幅降低,从部分已开通移动支付的城市地铁运营情况来看,使用现金购买单程票的比例下降了 20%~50%^[10],并仍在进一步下降中。

如将该实际使用比例作为输入条件,优化 UPS 配置容量的计算方式,将 UPS 容量从满配调整为按需配置,则可有效降低 UPS 的配置容量。例如:假设一个车站配有 8 台自动售票机,功率 500 W(其中现金模块的功率为 250 W)。如按传统满配模式计算这 8 台自动售票机需要的 UPS 功率至少为 $500 \times 8 \div 0.85 = 4.7 \text{ kW}$ 。如考虑断电时,实际有 50% 的现金模块并不需要使用,则这 8 台自动售票机需要的 UPS 功率为 $(500 \times 4 \div 0.85) + (250 \times 4 \div 0.85) = 3.5 \text{ kW}$ 。

表 1 某城市地铁自动售票机主要模块功耗

Tab. 1 Main module power consumption of a TVM in a city

序号	主要模块	工作电压/V	工作电流/A	平均功耗/W	合计	功耗/W	功耗占比/%
1	硬币模块	24	5	120	现金处理 模块	264	54
2	纸币模块	24	6	144			
3	发卡模块	24	3	72			
4	工控机	24	1.25	30	其他模块	222	46
5	乘客显示屏	12	2	24			
6	后维护显示屏	12	1	12			
7	LED 状态显示屏	12	2	24			
8	打印机	24	2	48			
9	读写器	12	1	12			
10	以上全部模块					486	100

2)《地铁设计规范》中要求“自动售票机终端设备应确保停电后完成最后一笔交易”，完成最后一笔交易的时间，决定了 UPS 后备蓄电池的配置数量。在以往线路的建设中，该时间一般是按全现金支付的时间考虑的。

相比传统的现金购票模式，移动支付方式免去了“投入现金”及“现金识别及找零”的步骤，且不存在因现金面额、平整度、新旧等因素造成的“现金不识别及退出”的问题，大大降低了完成一笔交易的时间。

根据已开通运营线路的实际数据，可以精确地统计自动售票机完成一笔移动支付购票交易的平均所需时间，再结合移动支付的购票比例并统筹考虑峰值富余量，计算实际需要的 UPS 的后备电池数量，则 UPS 的电池配置数量将显著减少且更加合理。

2.4 综合风险成本与防范风险的成本,在后备供电范围上有所取舍

从实际风险成本的角度出发，可考虑将部分设备不纳入后备供电范围，如自动检票机彻底不配置任何形式的后备电源。

如前文所述，AFC 终端设备的用电负荷为一级负荷。一级负荷电源完全失电的情况极少发生。对于自动检票机来说，即使发生了因为停电造成乘客票卡未扣费出站或其他票款损失的小概率事件，由此造成的票务收益的损失是相当有限的，远小于设置和维护 UPS 的建设运营费用。从这个角度出发，取消自动检票机的后备电源方案也是一种“不完美”，但仍是具有实际可行性的方案。

3 结语

综上所述，随着已开通运营轨道交通线路的不断增加，对于车站 AFC 终端设备的供电方式，建设的常规思路与运营的实际需求之间正暴露出越来越多的不匹配。此外，“互联网+”、移动支付带来的乘客购票习惯的改

变，也在改变着车站 AFC 终端设备的实际用电需求。以上情况的出现，都要求在新的轨道交通线路建设时，对于 AFC 终端设备的供电方式应紧贴运营实际需求并与时俱进，在提高运营安全、降低建设运营成本、减轻运营压力上有所改进。

参考文献

[1] 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
Code for design of metro: GB 50157—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.

[2] 王旭. AFC 系统中 UPS 应用的调查研究[J]. 广西轻工业, 2011(3): 62-63.

[3] 谢峰, 魏鹏. 成都地铁自动检票机取消不间断电源装置可行性分析[J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18(1): 93-95.
XIE Feng, WEI Peng. Feasible analysis of UPS equipment removal from automatic gate machine in Chengdu metro[J]. Urban mass transit, 2015, 18(1): 93-95.

[4] 民用建筑电气设计规范: JGJ 16—2008[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 63.
Code for electrical design of civil buildings: JGJ 16—2008[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008: 63.

[5] 钟沁宏, 杨小川, 吴嘉颖. 双电源切换装置在轨道交通中的应用[J]. 电气应用, 2014, 33(20): 44-46.

[6] 肖勇. 电容储能 AUPS 与传统电池储能 UPS 性能对比研究[J]. 中国高新技术企业, 2016(27): 22-23.

[7] 王志勇, 田树仁, 夏国明, 等. 绿色储能元件: 超级电容的探讨[J]. 低压电器, 2011(7): 18-20.
WANG Zhiyong, TIAN Shuren, XIA Guoming, et al. Discussion on green energy storage component-super capacitor[J]. Low voltage apparatus, 2011(7): 18-20.

[8] 霍熙光. AFC 系统中检票机的设计与实现[D]. 沈阳: 东北大学, 2008.
HUO Xiguang. Design and implementation of automatic gate machine in AFC system[D]. Shenyang: Northeastern University, 2008.

[9] 崔茂迪, 刘念军. 青岛城市轨道交通 AFC 系统读写器软件接口特点介绍[J]. 现代城市轨道交通, 2014(5): 15-17.
CUI Maodi, LIU Nianjun. Reader software interface features in Qingdao transit AFC system[J]. Modern urban transit, 2014(5): 15-17.

[10] 赵晗, 陈琦, 高伟, 等. “互联网+”技术在郑州地铁 AFC 系统中的应用[J]. 都市轨道交通, 2017, 30(4): 81-85.
ZHAO Han, CHEN Qi, GAO Wei, et al. Application of “Internet +” Technology in AFC system of Zhengzhou metro[J]. Urban rapid rail transit, 2017, 30(4): 81-85.

(编辑: 王艳菊)