

# 城市轨道交通中压环网供电系统母线保护 配置方案的比较分析

郭志奇

(北京城建设计发展集团股份有限公司,100038,北京//高级工程师)

**摘要** 对城市轨道交通中压环网供电系统各种母线电流保护方案进行了分析。相对适用于小分区供电下的过电流级差配合母线电流保护方案以及大分区下闭锁型、电弧异常母线电流保护的方案,设置专用的母线差动保护装置作为母线主保护虽然投资略有增加,但利用专用的母线差动保护装置及后备过流保护装置建立了主备的母线电流保护方案,提高了城市轨道交通中压环网供电系统母线故障保护的可靠性。

**关键词** 城市轨道交通;供电系统;中压环网;大分区;母线差动保护

**中图分类号** U231.8

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.03.016

## Comparative Analysis of Bus Protection Schemes for Medium Voltage Ring Network Power Supply System in Urban Rail Transit

GUO Zhiqi

**Abstract** Various bus current protection schemes for the medium voltage power supply system in urban rail transit are analyzed. Compared with the over-current differential coordination bus current protection scheme in small partition power supply, the closed type and arc abnormal bus current protection schemes in big partition connection, a special bus differential protection device is set up as the parent. Though the cost of main line protection increases slightly, the establishment of the main bus current protection scheme will improve the reliability of the bus fault protection for urban rail transit network power supply system, by adopting the special bus differential protection device and the backup overflow protection device.

**Key words** urban rail transit; power supply system; medium voltage ring network; big partition connection; bus differential protection

**Author's address** Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., 100038, Beijing, China

## 1 中压环网的母线继电保护问题分析

城市轨道交通中压环网供电系统向大分区串联

接线的转变已然成为一种趋势,但是针对日益增长的母线故障并没有1套专门的母线保护装置。在城市轨道交通中压环网供电系统中,光纤纵差保护作为中压环网区间电缆的主保护,在保护区域内具有较高的速动性和选择性;但是光纤差动保护范围仅是两变电所进出线电缆两侧电流互感器之间的环网线路,而中压开关柜内母线保护则是基于后备保护装置的母线电流逻辑来实现母线短路故障的主保护。随着我国城市轨道交通的飞速发展,对供电系统可靠性的要求日益提高,特别是中压环网大分区(一路电源下串接变电所数量5个以上)串联接线(见图1)的应用<sup>[1]</sup>,需要突破传统继电保护,并通过级差配合实现母线保护选择性和速动性的需求,这对中压环网母线故障的切除提出了更高的要求。

根据近年来我国中压环网供电系统中各种故障的统计,中压开关柜内的故障远高于区间电缆故障,这是因为电压互感器、避雷器等设备直接插接在中压开关母线上,这些设备由于自身的故障引发了母线短路,加之频繁误操作,导致母线发生故障的概率大大提高,给设备的运维带来了很大的隐患。图2所示的变电所中压系统母线保护为广义上的母线保护,不仅包含GIS(气体绝缘开关柜)内的封闭母线,还包括PT(电压互感器)、避雷器、母线与所有进出线柜的连接段,即进线CT(电流互感器)与所有出线CT、母联CT中间的整个区域<sup>[2]</sup>。目前国内外绝大多数中压气体绝缘开关柜的结构限制了CT的安装,只能安装在开关柜电缆进出端,因此区间环网电缆主保护光纤差动保护范围最多只能覆盖两座变电所中压开关柜的出线端,这就使得中压开关柜内母线短路故障一直是中压环网供电系统保护的难点。目前通常的做法是通过环网进出线后备过流保护和延时配合出口动作,因动作时间较长,容易引起母线气室内部电弧故障,电弧持续燃烧时释放出巨大能量,从而引发

严重故障。工程中有通过在环网进出线后备过流保护中引入复压闭锁功能方案的实例,即当故障电流大于过流保护定值且母线电压低于设定值时,该进线过流保护启动并加速瞬时动作,此种情况被判定为母线短路故障;如故障电流大于保护定值且母线电压信号大于设定值时,环网进线过流保护经过延时后出口,此种情况被判定为变电所 35 kV 馈线短路故障。工程中亦有通过弧光保护作为母线主保护方案的实例,即通过密度继电器检测母线室气压等参数,将弧光保护作为母线保护的主保护,将

过流保护作为后备保护<sup>[3]</sup>。对于城市轨道交通环网中压开关柜内较高的故障率,应采用专用的中压母线保护切除故障以限制故障电弧的持续时间,保护环网系统和设备的安全运行。

随着人们对地铁服务品质的要求更高,必须有强有力的运维保障模式,而供电系统设备,特别是环网系统的故障能在不扩大化的情况下迅速切除并启动备自投显得尤为重要。因此,设置专用的母线差动保护从保障地铁供电的高可靠性和运维的高保障性方面已成为必然选择。

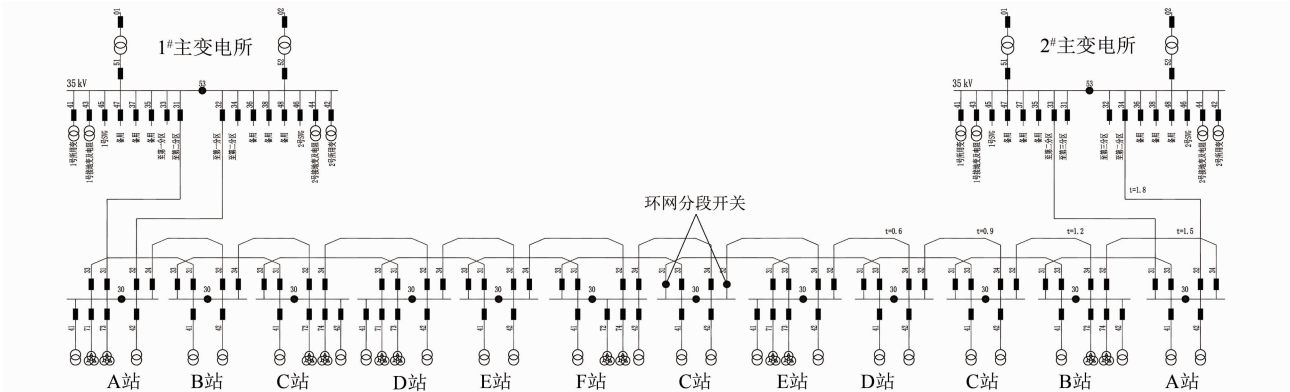


图 1 中压环网供电系统示意图

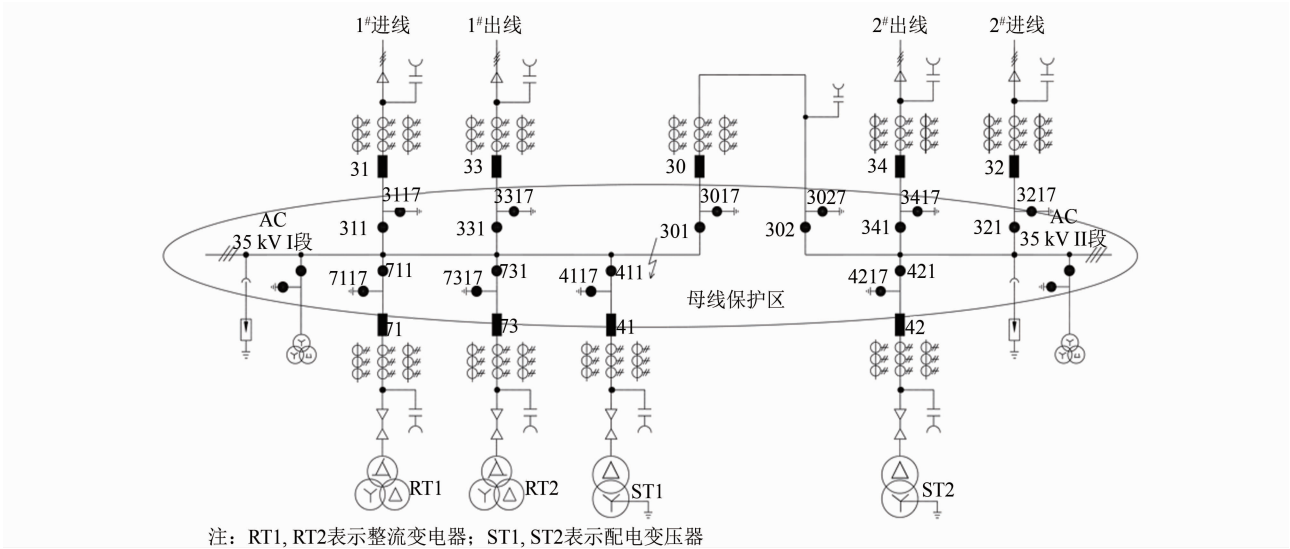


图 2 变电所中压系统母线保护区示意图

## 2 中压环网的母线继电保护配置方案分析

我国城市轨道交通中压环网传统保护配置为光纤纵差、定时限过流保护及定时限零序过流。光纤线路纵差保护用作电缆的主保护,定时限过流保护及定时限零序过流用作电缆线路的后备保护,并作为母线的主保护,而且需要通过上下级时限的配

合满足保护选择性要求,这种以传统的时间级差来进行母线电流保护的方案适用于小分区环网供电系统。随着城市轨道交通网密度的增加,以及主变电所资源共享的实现,为节省隧道空间、减少有色金属铜电缆的浪费、解决小分区环网供电时间级差不能满足保护选择性的需求,中压环网的结构逐渐由小分区接线转向大分区接线。当母线发生故

障时,与母线连接的所有进出线、母联、馈线上只有一路进线存在短路电流(或只判断进出线、母联的短路电流信息,馈线电流则通过时间级差来判断),将这些保护装置之间通过硬接线或以太网联结,实现各装置之间的信息共享,通过判断、比较以确定故障区段而快速跳闸,实现母线保护功能。这种全闭锁型或适当闭锁再辅助以时间级差来进行母线电流保护的方案适用于大分区环网供电系统。但上述的母线电流方案都是基于后备保护装置的母线电流逻辑实现的。针对日益增长的母线故障并未有1套专门的母线保护装置,用以快速切除母线故障,满足系统稳定性的需求。而 GB/T 50062—2008《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》第7.0.2条规定,发电厂和变电所采用110 kV双母线或采用110 kV单母线(重要的发电厂和变电所采用35~66 kV母线),且根据系统稳定或为保证重要用户最低允许电压要求需快速切除母线上的故障时,应装置专用母线保护<sup>[4-5]</sup>。考虑到城市轨道交通中压供电的重要性,宜设置母线差动专用保护装置,并利用后备保护装置的母线电流逻辑构建1套类似于线路光纤差动主保护和后备保护的方案。

结合中压环网继电保护技术的发展情况,形成了几种适用于城市轨道交通中压环网供电系统的母线电流保护方案。

### 2.1 时间级差母线电流保护方案

20世纪90年代末建设的广州地铁2号线、21世纪初建设的上海轨道交通1号线和深圳地铁4号线等中压环网系统受限于保护装置的技术水平,中压环网接线均以小分区(一路电源下串接变电所5个以内)为主,且中压环网保护范围均以区间线路和主母线(变电所开关柜)的理念进行设置。提出了以光纤纵联差动保护作为线路故障主保护、后备的过流保护作为中压开关柜母线故障的保护、进线保护和各馈线保护(包括分段保护)采用不同的时间延时的方案,以达到母线发生故障时保护具有选择性的目的。

但是传统的基于时间级差的母线电流保护方案的缺点亦很明显。如图3所示,以0.3 s的时间级差配合,则图1中中压环网供电变电所分区的环串末端从图示的D站到主变电所母线的进线开关的跳闸时间仅需1.8 s。为满足电力调度单位给定的母线过流延时定值,需压缩变电所间的配合级数,牺牲了保护的选择性;另外需在正常、故障、应急等运

行方式下设置至少3套保护定值,并且要求定值组能进行远方切换。不同变电所进(出)线的电流保护设有时间级差,同一变电站馈线与进线之间、进线与出线之间的电流保护也设有时间级差,从而实现母线故障、馈线故障,以及光差保护退出情况下的区间故障的保护选择性。故障点越靠近电源侧,保护动作时间越慢。该方案仅适用于小分区中压环网供电系统。

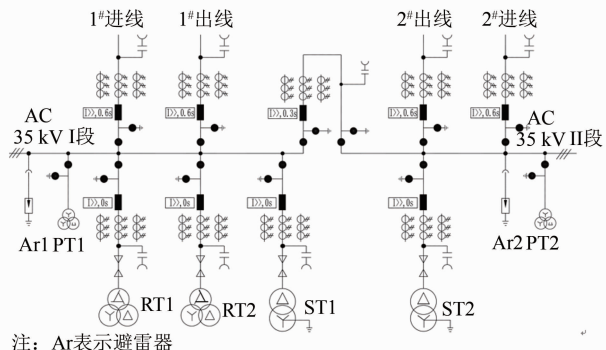


图3 传统母线电流保护动作延时机差

### 2.2 闭锁型母线电流保护

基于城市轨道交通中压环网供电系统的经济性,为解决传统继电保护在大分区供电方案中的选择性和速动性问题,以及在国内实施应用的大多数的地铁环网供电大分区接线方案中,为解决母线主保护级差配合问题,采用硬接线在各保护装置间传递过流启动信号并相互闭锁,通过馈线、分段和出线电流保护启动闭锁进线电流保护的方法,实现母线故障的选择性和速动性。同时考虑到中压环网系统反向供电或者母联合闸的情况,出线和母联中亦必须设置和进线等同的母线电流保护逻辑。如图4变电所内开关以0.2 s为时间级差,馈线开关参与至跳闸总母线。全闭锁型母线电流保护逻辑如图5所示,母线电流保护动作延时0.2 s动作,以便与馈线开关速动保护匹配。

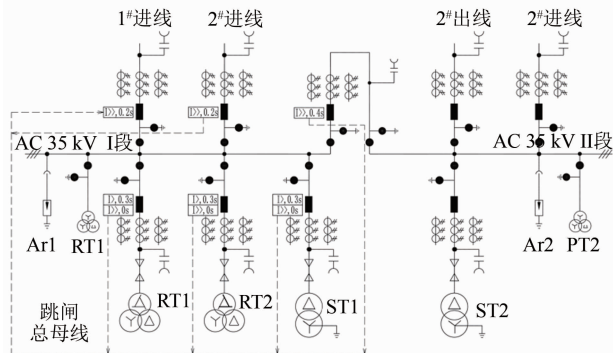


图4 闭锁型母线电流保护动作延时机差

但是该方案的逻辑比较复杂,特别是构建后备保护、多个出线或反向供电等复杂情况时,其逻辑、硬接线更加复杂,给生产、调试及施工带来一定的难度。

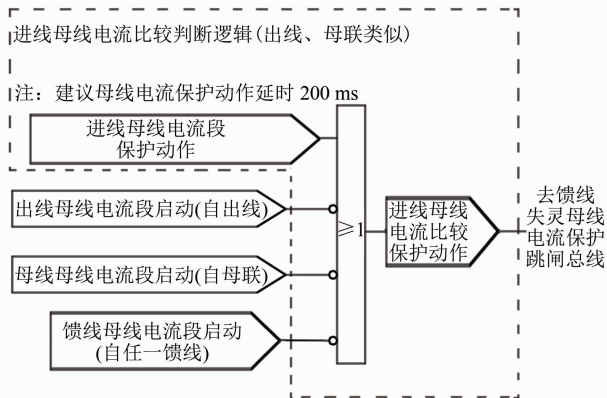


图5 全闭锁型母线电流保护逻辑图

### 2.3 电弧异常母线电流保护方案

基于城市轨道交通较多的采用 35 kV 中压网络,并且采用了 GIS 气体开关设备,所以该设备内设置了母线 GIS 气室,可以通过检测气室气压等参数来实现弧光保护功能。特别是采用集中式供电的主变电所 35 kV 母线保护方案中采用弧光保护来切除母线故障。对于 10 kV 中压网络,一般采用 AIS 开关设备,因此不具备弧光保护功能。该方案已在深圳地铁 5 号线和宁波地铁线路应用。中压开关柜内母线短路故障容易引起母线气室内部电弧故障,电弧持续燃烧时释放出巨大能量,从而引发严重故障。该方案可以通过弧光保护作为母线主保护,即通过密度继电器检测母线室气压等参数,将弧光保护作为母线保护的主保护、过流保护

作为后备保。图 6 所示的电弧异常母线电流保护逻辑中使用的电弧检测器是一种密度继电器。该方案可作为一种检测母线故障的手段,但不能涵盖所有的母线故障类型。

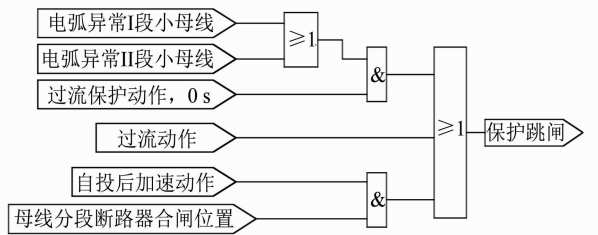


图6 电弧异常母线电流保护逻辑图

### 2.4 专用母线差动母线电流保护方案

对于中压开关柜内较高的母线故障率,应采用专用的母线保护切除故障以限制故障电弧的持续时间,保护中压环网系统和设备的安全运行。在变电所中压开关的两段母线各设置 1 套专用的集中式母线差动保护装置。母线差动保护的基本原理是基尔霍夫电流定律,即比较流入和流出保护区的电流以求得差动电流,使用求矢量和的方法,在采样周期内计算,具有速度快的优点;母差保护动作是基于比例制动的算法,比较差动电流和制动电流,只有当差动电流超过整定值的制动斜率曲线时,才允许发出跳闸命令,保证了区外故障时的稳定性,具选择性好的特点。因此母线主差动保护装置在城市轨道交通中压供电网络母线发生故障时可瞬时切除故障,满足母线保护高可靠性、快速性和具有选择性的要求。如图 7 母线差动保护逻辑所示,母差保护动作无延时跳闸进出线和母联,并闭

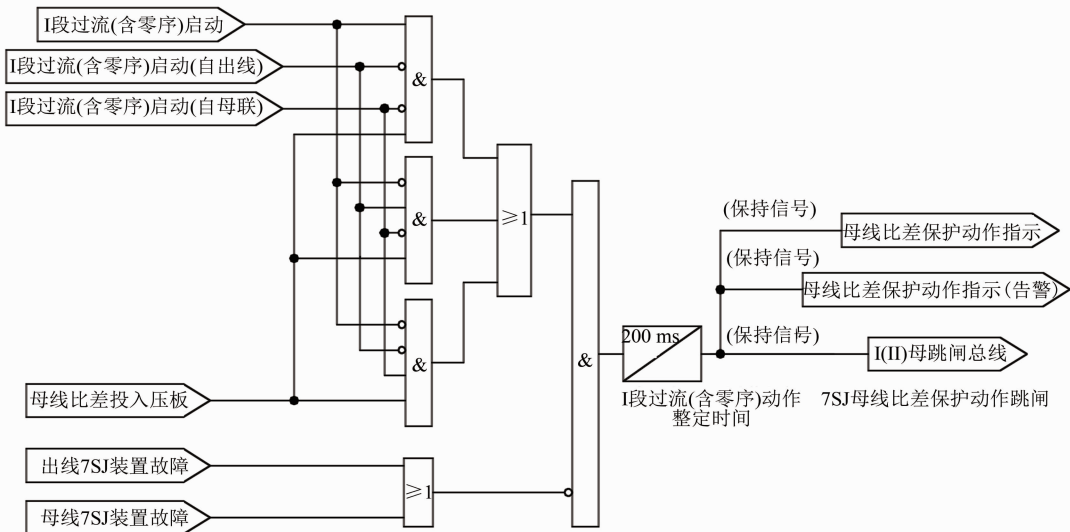


图7 母线差动保护逻辑图



锁母联 BZT( 备自投装置) 功能,同时当母线主差动保护动作时通过本站出线后备差动光纤传输母差动作信号至下级变电所进线,启动下级变电所 BZT。

同时,利用后备差动具有过流保护装置以及具备可编程的功能建立 1 套母线主差动保护之外的母线后备保护逻辑,即图 8 所示的母线比差保护逻辑。该逻辑方案只考虑环网进线、出线和母联间电流保护启

动互相闭锁,并结合馈线保护和母线电流保护之间的时间级差,以实现母线故障的选择性和速动性;同时接线比较简单,较好地平衡了速动性和可靠性的要求。考虑和馈线开关电流速段保护的时间匹配性,母线后备保护( 母线比差保护) 延时时间为 0.2 s。当判定为母线故障时,通过开关柜排列统一的 I(II)母联跳闸总线来跳开进线、出线及母联断路器。

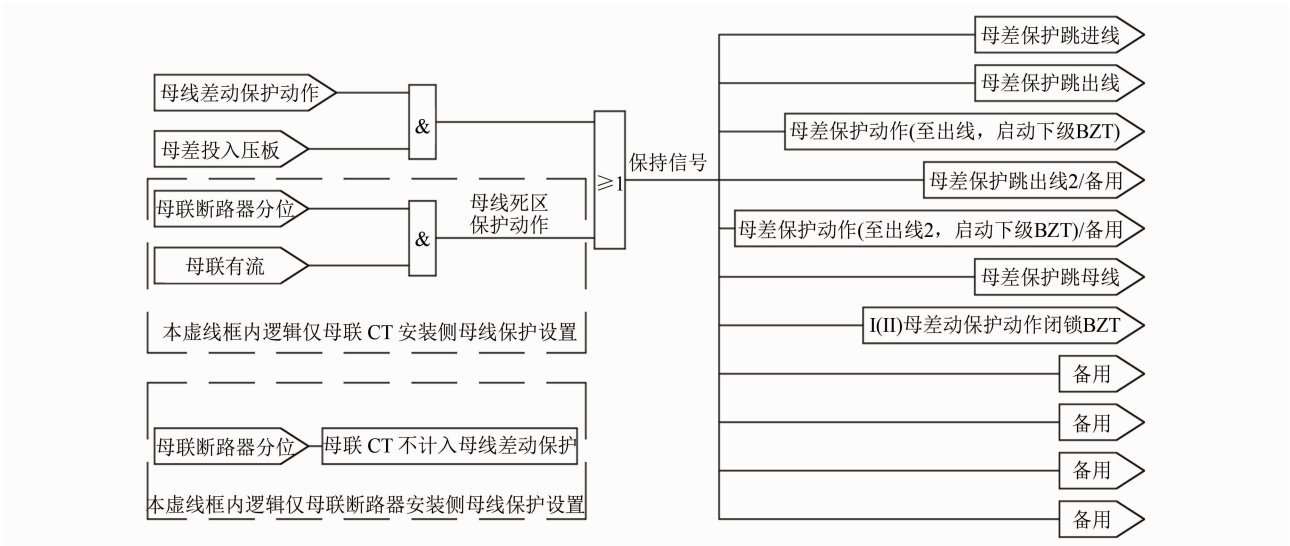


图 8 母线比差保护逻辑图

2.5 几种母线电流保护方案的比较

城市轨道交通中压环网供电系统几种母线电

流保护方案的性能对比,如表 1 所示。

表 1 城市轨道交通中压环网供电系统几种母线电流保护方案性能对比表

名称	方案	优点	缺点	实施及投资
时间级差母线电流保护	纯时间级差	传统和简单	速动性差,不适合大分区、时间级差多的情况	保护配置不变,投资不增加,通过后备电流保护装置逻辑及电流时间极差实现母线电流保护
闭锁型母线电流保护	下级电流启动,闭锁上级	速动性好	接线太复杂,特别是考虑反向供电的情况,影响可靠性,维护不方便	保护配置不变,投资不增加,装置之间通过硬接线实现信息闭锁
电弧异常母线电流保护	采用专门的电弧密度继电器检测母线故障	逻辑简单,对母线短路引起的电弧故障识别度较高	有一定的局限性,仅能判断母线短路引起的电弧故障,不能涵盖所有的母线故障类型	保护配置不变,母线气箱内设置电弧密度继电器,投资基本不变,跳闸判断逻辑简单
专用母线差动母线电流保护	专用母差装置和母线电流比差(进出线互锁+适度的时间级差)	速动性较好,同时接线比较简单,较好地平衡了速动性和可靠性的要求	与其它方案相比,每个变电所需增加两套母线差动保护装置	每段母线增加 1 套母线差动保护装置,其它保护配置不变,投资略微增加,专用母线差动电流保护作为母线主保护,母线电流比差作为母线后备保护

3 结语

本文对城市轨道交通中压环网供电系统各种母线电流保护方案(包括时间级差母线电流保护方案、闭锁型母线电流保护方案、电弧异常母线电流保护方案、专用母线差动保护装置母线电流保护方

案)进行了分析,并对各方案的优点、缺点、方案实施及投资等进行了对比。相对适用于小分区供电下的过电流级差配合方案以及大分区下闭锁型、电弧异常母线电流保护的方案,将专用母线差动保护装置作为母线主保护、母线电流比差保护作为

( 下转第 70 页)

应速率符合实际应用和相关标准。

表 1 二维码室外识读测试结果

用户名	扫描时刻	响应时刻	反应时间/s
张 * *	--4.56	--4.83	0.270
李 * *	--9.80	--10.10	0.300
彭 *	--15.96	--16.16	0.200
谢 * *	--23.54	--23.82	0.280
黄 *	--26.60	--26.43	0.230
黄 * *	--31.98	--32.12	0.140
zbj	--35.84	--36.02	0.180
祖 * *	--42.60	--42.79	0.190
⋮	⋮	⋮	⋮
平均反应时间			0.215

4 结语

针对现有地铁支付系统存在的不足,提出了一种基于微信的地铁一码通支付系统,以二维码为支付凭证,可实现“先乘车、后支付、方便快捷”出行的目的,提高乘客满意度和降低运营成本。

本文仅对一码通支付系统的功能进行了模拟测试,由于条件有限,对该系统的异常情况考虑还不够完善,投入实际应用可能面临的问题更多更复杂,因此该系统仍需在实际运用中不断完善,例如优化数据库结构和后台管理系统的并发处理能力。

参考文献

[ 1 ] 周琳,汪惠芬,刘婷婷.基于物联网的地铁车站级 AFC 信息管理系统研究[J].城市轨道交通研究,2013(2): 46.

[ 2 ] FERREIRA M C, NOVOA M H, DIAS T G, et al. A proposal for a public transport ticketing solution based on customer's mobile devices[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences,2014, 111: 232.

[ 3 ] FINZGAR L, TREBAR M. Use of NFC and QR code identification in an electronic ticket system for public transport [ C ] // ROZIC N, BEGUSIC D. Software, Telecommunications and Computer Networks. New York: IEEE Communications Society, 2011: 1-6.

[ 4 ] 陈锋武.基于互联网支付技术的地铁云购票机应用[C]//中国智能交通协会.第十一届中国智能交通年会大会论文集.北京:中国智能交通协会,2016: 10.

[ 5 ] 程琳琳.北京地铁支持刷手机进站 NFC 支付能否反攻? [J].通信世界,2017(23): 36.

[ 6 ] 刘景文,许玮,吕伯轩,等.基于 NFC 技术的移动支付系统设计方案[J].电信科学, 2018(2): 131.

[ 7 ] 天津市地下铁道运营有限公司.智慧城市与轨道交通[R].天津:天津市地下铁道运营有限公司,2016.

[ 8 ] 徐炜炜,徐骏善,叶飞.自动售检票系统中车站信息管理系统的研究与设计[J].城市轨道交通研究,2012(5): 53.

(收稿日期:2018-05-02)

(上接第 65 页)

母线后备保护的方案仅在每个变电所增加了 2 套母线差动保护装置,其投资远远小于小分区接线方案后所节约的环网电缆造价。与其他的大分区保护方案相比,该方案在经济性上也基本相当,但提高了母线故障继电保护可靠性的要求。在不占用保护时限的情况下准确切除故障区段,从而不扩大停电范围,同时兼顾了选择性和速动性,具有较高的工程推广应用价值。

参考文献

[ 1 ] 于松伟,杨兴山,韩连祥,等.城市轨道交通供电系统设计原理

与应用[M].成都:西南交通大学出版社,2008.

[ 2 ] 陈德胜.城市轨道交通中压供电网络保护设置[J].都市轨道交通,2010(3): 102.

[ 3 ] 张刚.城市轨道交通大分区中压供电系统保护方案及应用[J].都市轨道交通,2017(2): 75.

[ 4 ] 中华人民共和国住房和城乡建设部.电力装置的继电保护和自动装置设计规范:GB/T 50062—2008[S].北京:中国计划出版社,2009: 19-20.

[ 5 ] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.继电保护和安自动装置技术规程:GB/T 14285—2016[S].北京:中国标准出版社,2016: 2-3.

(收稿日期:2018-07-30)

《城市轨道交通研究》欢迎投稿

投稿网址:tougao.umat1998.com