

城市轨道交通供电系统综合分析 及其建设运营模式探索

李寒生

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要:城市轨道交通供电系统是城市轨道交通的能源总补给线,它直接影响城市轨道交通的运营,因此,建设一个灵活安全经济可靠的电力供电系统,对城市轨道交通有着极其重要的意义。基于此,针对城市轨道交通电力系统进行了全面的思考、分析和研究,对城市轨道交通供电系统模式作了深度思考,并对影响它的相关因素进行综合分析。通过分析认为城市轨道交通供电系统和城市电网有深度融合的基础,应充分发挥电力公司的建设经验和运营管理水平,把城市轨道交通供电系统大胆地分化给电力公司,实行专业化建设运营模式。

关键词: 轨道交通; 供电系统; 分析; 建设; 运营; 模式

中图分类号: U231+.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-2954(2013)05-0119-04

Comprehensive Analysis on Urban Rail Transit Power Supply System and Its Construction and Operation Mode

LI Han-sheng

(China Railway SIYUAN Survey and Design Group Co. , Ltd. , Wuhan 430063 , China)

Abstract: Because the power supply system of urban rail transit is the total energy supply source of urban rail transit , it directly affects the operation of urban rail transit. Therefore , constructing a flexible , secure , economical and reliable power supply system of urban rail transit has an extremely important significance. Based on this , the author conducted comprehensive thinking , analysis and research on the power supply system of urban rail transit. Especially , the author made a deep thinking on the mode of urban rail transit power supply system , and made corresponding analysis on relevant factors which influence it. Then the author came to the conclusion that the actual situation for integrating the rail transit power supply system deeply with the urban power network is good. Therefore , taking full advantages of construction experience and operation management level of electric power company , the urban rail transit power supply system should be transferred to the electric power company so that the professionalization mode of construction and operation can be put into practice.

Key words: rail transit; power supply system; analysis; construction; operation; mode

1 概述

城市轨道交通供电系统模式对城市轨道交通供电系统的建设、运营影响非常大,因此,如何正确理解城市轨道交通供电系统的模式有着非常重要的意义。基于此,从整个供电系统的角度出发,对供电模式及影响模式的各种因素进行了全面的介绍、分析和思考,在此基础上提出应该如何选择系统模式,才能建立更为科学合理的城市轨道交通供电系统。

收稿日期: 2013-02-02
作者简介: 李寒生(1966—),男,高级工程师,2005年毕业于西南交通大学电气工程专业,工程硕士。E-mail: tsylhs@126.com。

2 城市轨道交通供电系统模式的内涵

目前,城市轨道交通供电系统模式包括外电源模式、内部电源模式和接触网受电-受流模式3个内容。

2.1 外电源模式

外电源模式包括城市轨道交通供电系统从城市电网引入高压或中压电源,再将引入的外部电源进行电压转换或直接分配至轨道交通的牵引变电所或降压变电所,由牵引变电所和降压变电所分别为轨道交通运行主体的车辆和辅助用电设备(动力照明负荷)供电。轨道交通从外部电源引入的模式上一般分为集中供电、分散供电和混合供电3种^[1]。国内大部分采用集

· 电力/电气化 ·

中供电,一些城市采用分散供电,部分线路采用混合供电^[1]。

(1) 集中供电模式

设置专门数量不等的主变电所,即从若干个有限的集中点获取电能,城市轨道交通电力系统所有电能均通过主变电所获取。集中供电模式是目前我国轨道交通的主要供电模式。我国许多城市,如上海、广州、南京、香港、深圳、成都地铁等采用集中供电模式。它有很多优点,但也有缺点^[2]。图1就是典型的城市轨道交通供电系统集中式供电—牵引降压联合供电模式。

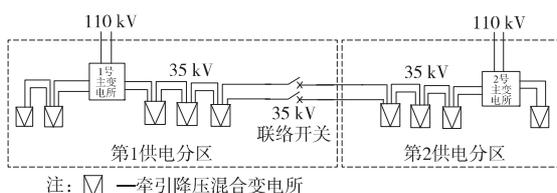


图1 城市轨道交通供电系统集中式供电-牵引降压联合模式

目前采用该模式的主要原因:一是国家电力资源相对紧缺,高峰时段会出现严重的电力不足,运行安全水平不高,为确保轨道交通的供电,不得不如此;二是城市轨道交通电力调度综合控制的要求很高,从控制速度和精度等方面,城市电网电力调度技术还无法满足;三是由于城市轨道交通和电力运营隶属于不同的部门,还无法完全实现信息共享,一旦出现问题,无法快速处理,势必造成不必要的损失,影响城市轨道交通的安全可靠运行;四是由于城市轨道交通供电系统是一个特殊的用户,对系统电网影响较大,因此从有限点接入有利于采取措施消除对系统电网的影响,如可以进行谐波集中治理、电能质量控制等。

(2) 分散供电模式

分散供电模式的显著特点是不设置专门的主变电所,而是分别从不同地点的城市电网获取电能。此种方式对城市或区域电网要求较高。同时也需要进行多座城市电网变电所的增容扩建,需要轨道交通部门和电力公司多次沟通协商,这种方式要求城市电网具有较大承载能力和高效的调度控制水平。到目前为止,我国北京城市轨道交通1号线、2号线、4号线、5号线、9号线以及10号线,长春轻轨,大连轻轨等采用这种供电模式。

(3) 混合供电

混合供电模式是介于集中供电模式和分散供电模式之间的一种结合方案,它吸收了集中供电模式和分散供电模式的各自优点,系统方案灵活、可靠、经济。混合供电模式可以根据轨道交通的需要、城市电网的现状以及城市电网未来的规划,选择不同的侧重,有时

以集中供电模式为主、分散供电模式为辅;有时以分散供电模式为主、集中供电模式为辅。

北京地铁10号线二期工程采用以分散供电模式为主的供电模式^[2]。武汉地铁一期工程采用以集中供电模式为主的供电模式^[2]。

2.2 内部电源模式

城市轨道交通供电系统的主要作用:一是把满足质量要求的电能可靠、安全地输送到轨道交通运行的主体车辆上;二是把满足质量要求的电能可靠、安全地输送到辅助用电设备(动力照明负荷)等各支持系统上。

(1) 牵引、降压联合模式

牵引、降压混合变电所完成两种电源的生产任务。对于直流牵引供电,正常运行时2套整流机组并联运行,接触网越区隔离开关打开,与相邻牵引变电所构成双边供电方式,共同向供电范围内的车辆供电。当该牵引变电所解列时,相邻的牵引变电所通过直流母线或接触网越区隔离开关恢复对该区段的供电,实现大双边供电。

对于动力变压器,正常运行时,降压变电所的2台动力变压器分列运行,负责其供电范围内的全部负荷的供电。当一台动力变压器退出运行时,切除三级负荷,由另一台动力变压器负责向其供电范围内的全部一、二级负荷供电^[3]。

(2) 牵引与降压混合相对独立模式

该模式设置独立的牵引变电所和独立的降压变电所,二者之间影响较小。

牵引变电所两路35kV进线电源来自城市电网区域变电所或地铁主变电所,正常运行时,两路进线电源分别向所连接的35kV母线供电,母联断路器断开。当一路进线停电时,母联断路器合闸,由另一路进线向原供电区域内的负荷供电。两组整流机组均由相同的牵引降压变压器和整流器组成,它们的直流侧并联工作,2个二次绕组和整流器组成多相整流,整流器输出的直流电的正极(+)经直流高速空气开关接到直流侧的正母线上,直流电的负极(-)经开关接到负母线上,通过直流馈线将电能送到接触网^[2-3]。

而降压变电所是为车站与线路区间的动力、照明负荷和通信信号电源供电而设置的。降压变电所对供电电源的要求,应按一级负荷考虑,由环形电网或两路电源供电,进线电压侧采用单母线分段接线。一般设有2台动力、照明变压器,每台变压器应满足一、二级负荷所需的容量;正常情况下,两变压器分别供电。动力、照明的一级负荷,包括排烟事故风机、通信信号、防灾报警系统、售检票系统、防淹门等,这类负荷如中断供电,将导致地下车站及其通信信号设备不能工作,引

起列车运行秩序混乱,并在发生事故时不能报警和消防。二级负荷包括车站、线路区间和作业场所的工作照明、地下车站风机、排水、排污泵、自动扶梯、人防工程等,这类负荷一旦断电,将对正常运营造成困难。除上述一、二级负荷以外,还有维修、清扫机械、空调等动力和其他照明为三级负荷。

2.3 馈电-受流模式

城市轨道交通车辆受流方式有2种:一是接触靴模式,二是受电弓模式。对应这2种模式,城市轨道交通供电系统馈电模式有第三轨和架空式2种,其供电电压有1500V、750V等多种制式^[4]。

(1) 受电弓-架空柔性接触馈电模式

柔性接触悬挂包括接触线、吊弦、承力索和补偿器及连接零件。接触悬挂通过支持装置架设在支柱上,其作用是将从整流所获得的电能输送给电动车辆。电动车辆运行时,受电弓顶部的滑板紧贴接触线摩擦滑行得到电能(简称“取流”)。

柔性接触悬挂根据结构的不同,分为简单悬挂和链形悬挂。

简单接触悬挂,即是由一根或几根互相平行的直接固定到支持装置上的接触线所组成的悬挂。一般用于车速较低的线路上,如城市电车、矿山运输线等,在城市轨道交通中主要用于车辆段,也有用于正线的情况,如上海市轨道交通1号线。简单悬挂结构简单,要求支柱高度较低,因此建设投资低,施工和检修方便。其缺点是不利于城市轨道交通车辆高速运行时取流。为了改善简单悬挂的弹性不均匀程度,在悬挂点处加装带弹性吊索,这种带弹性吊索的简单悬挂称为弹性简单接触悬挂。这种弹性简单接触悬挂可以在速度不超过90 km/h的线路上采用。由于弹性简单接触悬挂具有结构简单、支柱高度低、支柱负荷小、建造费用低及施工维修方便等优点,城市轨道交通车辆段一般采用这种形式的悬挂,如广州市轨道交通1号线车辆段接触网。

链形悬挂是一种运行性能较好的悬挂形式。它的结构特点是接触线通过吊弦悬挂在承力索上,承力索通过钩头鞍子、承力索座或悬吊滑轮悬挂在支持装置的腕臂上。使接触线在不增加支柱的情况下增加了悬挂点,通过调节吊弦长度使接触线在整个跨距中对轨面的高度基本保持一致,从而减小接触线在跨中的弛度、改善接触线弹性、增加接触悬挂的质量、提高了稳定性、满足高速运行时取流的要求。在城市轨道交通中,最常见的链形悬挂形式是简单链形悬挂,对应于架空柔性接触馈电模式,车辆提供的受流设备是受电弓,二者联合完成电能的传输和接受。

(2) 受电弓-架空式刚性接触馈电模式

刚性悬挂是和柔性悬挂相对应的一种接触悬挂方式,所谓刚性悬挂就是要考虑整个悬挂导体的刚度。架空刚性悬挂是刚性悬挂的一种,一般采用具有相应强度的导电轨或具有相应刚度的汇流排与接触线组成。

架空刚性接触网有2种典型代表(以汇流排的形状分),即以日本为代表的“T”型结构和以法国、瑞士等国为代表的“Π”型结构。

单接触线式“Π”型架空刚性悬挂主要由汇流排、接触导线、伸缩部件、中心锚结等组成。接触悬挂通过支持与定位装置安装于隧道顶或隧道壁上。简单地说,架空刚性悬挂用刚性的汇流排代替了柔性悬挂的上部承力索。

对应于架空式刚性接触馈电模式,车辆提供的受流设备也是受电弓,二者联合完成电能的传输和接受。

(3) 接触靴-第三轨馈电模式

接触靴-第三轨馈电模式有接触靴上接触式、接触靴下接触式、接触靴侧接触式3种^[4]。

接触靴上接触式是供电接触轨面朝上固定安装在专用绝缘子上。而受流器——接触靴从上压向接触轨轨头顶面受流。受流器的接触力是由下作用弹簧的压力调节的,受流平稳,由于端部弯头的过渡作用,能够减少在断电区的电流冲击。上磨式接触轨因接触靴在其上面滑动,所以固定方便,但不易加防护罩。北京地铁采用上接触式第三轨^[5-6]。

接触靴下接触式是接触轨面朝下安装。下接触式的优点是防护罩从上部通过橡胶垫直接固定在接触轨周围,对人员安全性好。莫斯科地铁就采用这种方式,利于防止下雪和冰冻造成集电困难。但是这种方式安装结构较复杂,费用较高。

接触靴侧接触式是近年来新开发的一种接触轨悬挂方式^[7]。侧面接触式就是接触轨轨头端面朝向走行轨,接触靴从侧面受流。跨座式独轨车辆就采用侧面接触形式。其受流器装在转向架下部,接触轨装在轨道梁上,需注意的是在轨道梁的2侧有两个接触轨,一个是1500V正馈线(接触轨),一个是回流线(负极轨)^[8]。

3 供电模式选择

3.1 根据城市电网的具体情况确定

供电模式选择需要根据实际情况确定,主要遵循以下几个方面:

一是城市电网承载能力大,容量充裕,可适当改扩建变电所容量,采用分散供电模式;

二是如果城市电网结构薄弱,电力相对不足,可采用集中供电模式;

三是在市政府的强力协调下,和电力部门通力合

· 电力/电气化 ·

作,采用集中供电和分散供电相结合混合模式,以达到合理利用资源和科学建设的目的。这种模式,可能会遇到许多问题。如建设与运营管理的问题。

3.2 根据城市轨道交通规划确定

城市轨道交通近期规划和远期规划直接影响和决定了轨道交通供电结构及模式,如选择的轨道交通的形式、线路的长短和形态、设计的客流量等,以及城市电网的结构、各所容量等;同时,供电模式一定要满足完成最大预测客流的要求。

4 城市轨道交通供电系统建设与运营若干问题的思考

4.1 观念认识

阻碍城市轨道交通供电系统供电模式更新的主要因素之一是观念认识。比如城市轨道交通供电系统和城市电网的深度融合问题。笔者认为,双方的合作是有基础的,是双赢的合作,原因如下。

(1) 有合作的基础和可能

城市轨道交通行业与电力系统同属国有资产委员会的下属企业,也就是说有一个共同的主管,因此有合作的基础。只要市政府有心支持和推动,二者会优势互补,推动这两项公用事业的科学、合理发展。此外,城市轨道交通行业与电力公司都是城市的公用企业单位,二者协力共同为市民提供良好的服务,是双方的职责所在。

随着电网技术的发展,也随着对电力公司专业技术能力的充分认识,把城市轨道交通供电系统的建设、维修、维保任务交由电力公司负责,不但不会影响城市轨道交通的安全可靠运营,还可以充分发挥电力公司的优势,提高城市轨道交通供电系统的运营水平。

(2) 有合作的必要和能力

把集中供电模式中的部分系统设备交由电力公司建设运营,有很多好处。比如把中压环网系统交由电力公司建设运营。

原因如下:一是电力公司具有较强的经济实力,而城市轨道交通公司由于其特殊性,不考虑社会效益的情况下,其狭义的经济效益是很有限的,目前几乎全部处于亏损状态。作为效益较好的电力企业,理应服务前移,以减少城市轨道交通公司的负担。

二是电力公司在建设运营方面,具有很强的技术能力,可以极大地减轻城市轨道交通公司在这方面的人才投资和技术负担,为轨道公司正常运营卸载。这一点各地政府必须通盘考虑。同时在建设方面,也省去了很多程序。

三是有利于城市电网的科学效益建设和运营。

可以把中压环网系统的建设和城市电网的建设进

行统一规划,不但可以节约投资资金,而且还有利于优化城市电网,做到资源共享,实现利益最大化。

四是电力公司作为提供电能的企业,理应把电能馈送到终端,因此从这一角度讲,电力公司有义务承担城市轨道交通供电系统的建设和运营任务。

同时轨道公司应积极大胆地把城市轨道交通供电系统的部分系统交给电力公司,不要担心一旦出现问题,指挥不动,协调不力,进而影响运营,影响自己的声誉,相信双方通过合作,都会做好各自的工作,确保城市轨道交通的运营。

4.2 投资计划

城市轨道交通供电系统模式受投资影响巨大。当财力紧张的时候,可能选择的供电模式就相对不灵活,可靠性就有所降低。对于资金充足的城市,其选择的模式就比较奢侈。例如:目前城市轨道交通供电保护的设置很奢侈,有些故障状况是不可能发生的,或者发生的几率很低,但是还是装备了这样的保护,浪费了大量的资金,如全所解列、母线故障等。建议对这些模式加以清理,重新研讨其必要性。建议新建轨道交通的城市,不要照搬照抄,要敢于创新,不要过分奢侈地讲“可靠”和“安全”,要从实际出发,采用经济、合理、科学的供电模式。

5 城市轨道交通供电系统供电模式评价标准

5.1 安全性与可靠性

城市轨道交通供电系统的安全性及可靠性体现在以下几个方面:一是必须保证不间断供电;二是必须保证供电质量。电能质量的好坏直接影响设备运营,甚至影响其安全。当电压不能满足车辆要求时,车辆会跳闸,造成停运的严重后果;三是保证人身安全和贵重高压电气设备的安全;四是具有一定的抗御外界环境影响的能力,如在大风、大雪、雷雨、雷电、高温等情况下,首先不能影响正常运营。其次保证不会出现安全问题,或能够缩小故障范围,尽量减少损失;五是要求城市轨道交通供电系统不会对周围环境或其他事物造成危害,如减少杂散电流,减小对城市管线、通信、高楼等损害,减少对居民生活的影响。

5.2 经济性

城市轨道交通供电系统必须科学建设和运营,以获得较好的效益。主要体现在以下方面:一是采用科学合理的结构模式,减少一次性投资,减少资金偿还压力;二是建成后,采用合理科学的运行模式,提高效能,节约用电;三是要有全网电力规划的概念。要结合未来整个城市的轨道交通网络,进行供电系统建设,并选择更为科学的模式。

(下转第131页)

所示。

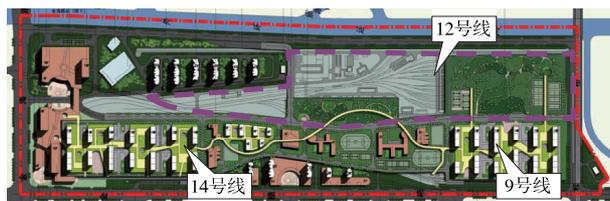


图 10 金桥车辆基地物业开发总图(现规划方案)

4.5 物业开发与车站的结合

一般情况下,车辆基地均设于线路的一端,如果考虑在车辆基地进行大面积物业开发,则建议在车辆基地周边设车站,一是吸引客流并解决开发属地的交通集散问题,二是可以结合车站进行更大规模的综合开发,更好地实现物业开发的目的。如金桥车辆基地物业开发周边设有9号线金海路车站、12号线金海路车站、14号线金穗路车站,能实现很好解决交通集散问题,达到较好的开发效果,如图11所示。

5 结束语

车辆基地物业开发项目应结合实际情况,在满足车辆基地功能的条件下,使其既能满足运营的需要,又

(上接第122页)

5.3 灵活性

在事故、正常、非正常状态下,城市轨道交通供电系统应能灵活选择不同的运行方式,以满足运营要求^[3]。其次在进行模式变化时,应力求灵活、操作简单。

6 结论及建议

通过分析,建设轨道交通时,应根据不同的地区,选择不同的供电模式。而且,城市轨道交通供电系统和城市电网有深度融合基础,应充分发挥电力公司的建设经验和运营管理水平,把城市轨道交通供电系统大胆地分化给电力公司,实行专业化运营模式,既可以减少运营费用,又可以发挥电力公司专业能力。为此,提出以下建议。

(1) 积极促进电力部门起城市轨道交通供电系统建设与运营工作

对于集中式供电,建议轨道交通10 kV以上电网建设由电力部门承担建设运营与维护工作。远期可实施城市轨道交通供电系统全部由电力部门承担。对于这种新理念,不但城市轨道交通公司要敢于接受,而且电力部门也要敢于承担其社会责任。

(2) 因地制宜,选取科学合适的供电模式

首先要和隧道的形式选择相结合,包括断面形状的选择、断面的大小等。其次对于电压等级的选择、受

铁道标准设计 RAILWAY STANDARD DESIGN 2013(05)

能优化物业开发,达到整体项目的最优化。



图 11 车站与上盖物业开发结合效果

参考文献:

- [1] 袁锋.城市轨道交通车辆段综合开发模式研究[J].铁道标准设计,2013(1):130-133.
- [2] 缪东.对城市地铁车辆段物业开发的思考[J].铁道勘察,2010(4):114-117.
- [3] 郭瑞霞.地铁物业开发探讨——介绍深圳地铁南头车辆段上盖建筑规划方案[J].现代城市轨道交通,2006(2):44-46.
- [4] 许维敏.城市轨道交通车辆基地物业开发模式的探讨[J].城市轨道交通研究,2010(5):21-25.
- [5] 周建非.香港地铁建设物业开发模式简介[J].地下工程与隧道,2003(3):43-47.
- [6] GB 50157—2003 地铁设计规范[S].北京:中国计划出版社,2003.

流方式的选择、电网结构的选择,甚至运营模式的选择,要敢于创新,不要照搬照抄,更不要盲目攀比。三是对于不同结构形态的城市,有的属于狭长结构,有的属于环形结构。要根据实际情况,科学制定。

(3) 渐次合作

应积极推进电力部门与城市轨道交通公司合作的深度。如在建设期可以开展项目合作,把部分建设任务交由电力部门;在运营期,可以采取维修、维保全权委托方式。总之,在双方共赢的基础上,充分利用本地现有资源,努力实现“集中供电、资源共享”或者实现“资源共享、分散供电”的目标。

参考文献:

- [1] 于松伟,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] 郑瞳芷,等.城市轨道交通牵引供电系统[M].北京:中国铁道出版社,2003.
- [3] 李建民.城市轨道交通导论[M].北京:机械工业出版社,2012.
- [4] 马沂文,等.城市轨道交通供电接触网类型的比较[J].城市轨道交通研究,2003(1):20-24.
- [5] 叶玉萍,赵青.北京市轨道交通房山线直流牵引供电接触轨系统设计[J].铁道标准设计,2011(1):47-50.
- [6] 朱晓军,姜坚白,孙京健,等.铝钢复合轨试验线的研究[J].铁道标准设计,2007(10):58-61.
- [7] 王宝忠.浅谈城市轨道交通接触网受流方式[J].福建建材,2009(6):61-62.
- [8] 王靖满,等.城市轨道交通供电系统技术[M].上海:科学普及出版社,2011.