

城市轨道交通 HVAC

栏 首 语

截至 2010 年,中国内地城市轨道交通已有 44 条运营线路、总里程 1 063 km;另有 73 条、1 700 余 km 的线路处于建设阶段;全部规划线路达到 317 条、12 440 km。北京城建设计研究总院作为国内第一家城市轨道交通设计单位、国家标准《地铁设计规范》、《城市轨道交通采暖通风与空气调节设计规范》的主编单位,在城市轨道交通通风空调系统及产品创新方面进行了积极的探索与实践,取得了一些成果。先后推出了“新型地铁通风空调多功能集成系统”、“一种城市轨道交通地下车站空气-水通风空调系统”、“地铁车站设置可开闭的新型屏蔽门的通风空调系统”等 8 项系统设计专利技术以及“空调过滤器湿式自动清洗装置”、“干式空调过滤器自动清洗装置”等 4 项产品专利技术。上述技术已成功应用于北京、广州、南京、沈阳等地的实际工程中,取得了巨大的经济和社会效益。《暖通空调》本期“城市轨道交通 HVAC”栏目,围绕着“安全健康、经济节能、环保美观”三大发展趋势,汇编了轨道交通通风空调系统技术综述、新型系统及设备研发成果、工程设计等方面的研究论文,希望能对城市轨道交通建设提供一些帮助,并对参与建设的设计施工行业及广大读者有所启示。热诚欢迎行业内相关人士批评指正,共同促进我国城市轨道交通事业的健康发展。

(李国庆)

城市轨道交通通风空调系统的 现状及发展趋势

北京城建设计研究总院有限责任公司 李国庆[☆]

摘要 回顾了城市轨道交通及其通风空调系统的发展历程,分析了系统功能、特点及存在的具体问题。介绍了近年来国内为解决工程实际问题而出现的新的通风空调系统,认为“安全健康、经济节能、环保美观”是城市轨道交通通风空调技术发展的方向。

关键词 城市轨道交通 通风空调 功能 创新

Present status and development trend of ventilation and air conditioning system for urban rail transportation

By Li Guoqing[★]

Abstract Reviews the development of urban rail transportation and its ventilation and air conditioning system. Analyses the function and characteristics of the system, and existing specific problems. Presents the new systems for solving practical engineering issues in recent years in China. Considers that the technology development should follow the three principles—“safety and health”, “cost-effectiveness and energy efficiency” and “environment-friendliness and good appearance”.

Keywords urban rail transportation, ventilation and air conditioning, function, innovation



李国庆

主要设计项目

- 北京地铁复八线西单站
- 广州地铁2号线江南西站
- 北京地铁1、2号线设备改造工程

1 城市轨道交通的历史、现状与发展

自 1863 年 1 月在英国伦敦开通第一条城市地铁以来,世界城市轨道交通的发展已有近 150 年的历史。已有近 50 个国家的 330 余座城市修建了轨道交通,线路总长度达数万 km。各大城市的地铁、轻轨、城市铁路、新型城市轨道交通得到了很好的发展,为城市的客运交通和经济发展作出了重要的贡献。

世界城市轨道交通的发展经历了一个曲折的过程,大致可分为以下几个阶段。

1.1 初步发展阶段(1863—1924 年)

在这一阶段,欧洲和美国的城市轨道交通发展较快,其间 13 个城市建成了地铁,还有许多城市建设了有轨电车。20 世纪 20 年代,美国、日本、印度和中国的有轨电车有了很大发展。尽管这种旧式的有轨电车行驶在城市的道路中间,运行速度慢,正点率很低,而且噪声大,加速性能低,乘客舒适度差,但在当时仍然是公共交通的主力。

1.2 停滞萎缩阶段(1925—1949 年)

第二次世界大战的爆发和汽车工业的发展,导致了城市轨道交通建设的停滞和萎缩。汽车的灵活、便捷及可达性使汽车成为城市交通的宠儿,得到飞速发展。而城市轨道交通因投资大、建设周期长而失宠。这一阶段只有 5 个城市修建了城市地铁,有轨电车有些线路被拆除。1912 年美国 370 个城市有有轨电车,但到 1970 年,只剩下 8 个城市保留了有轨电车。

1.3 再发展阶段(1950—1969 年)

汽车过度增加使城市道路异常堵塞。行车速度下降,严重时还会导致交通瘫痪。加之空气污染,噪声严重,大量耗费石油资源,市区汽车有时甚至难以找到停车场所,于是人们重新认识到,解决城市客运交通必须依靠电力驱动的轨道交通。轨道交通因此重新得到了重视,而且逐步扩展到日

本、中国、韩国、巴西、伊朗、埃及等国家,这期间有 17 个城市新建了地铁。

1.4 高速发展阶段(1970 年至今)

世界上很多国家都确立了优先发展轨道交通的方针,立法解决城市轨道交通的资金来源。世界各国城市化的趋势,导致人口高度集中,要求轨道交通高速发展以适应日益增加的客流运输,各种技术的发展也为轨道交通奠定了良好的基础。近几年又有 40 多个城市修建了地铁、轻轨或其他轨道交通。

1.5 国内地铁建设情况

北京是我国最早建设地铁的城市,1969 年根据战备的需要修建了我国第 1 条地下铁道,随后建成了地铁 2 号线(环线)、地铁复八线(1 号线的复兴门至八王坟段)、地铁 13 号线(城市铁路)、地铁八通线(1 号线的八王坟至通州段)。

截止到 2010 年 12 月,北京轨道交通线网已开通运营 14 条线,运营里程达 336 km。

到 2012 年底,预计开通地铁 8 号线二期、9 号线、6 号线,10 号线二期也将全部贯通,运营里程超过 400 km。

到 2015 年,预计开通 7 号线、14 号线、西郊线、4 号线北延等,北京市的城市轨道交通将形成三环、四横、五纵、八放射的网络格局。

到 2020 年,北京运营里程目标为 980 km。

目前,北京、上海、广州等 12 个城市已有城市轨道交通;至 2010 年 10 月底,已获国务院批复轨道交通建设规划的城市累计 27 个。目前在规划中的城市包括:东莞、济南、厦门、常州、石家庄、乌鲁木齐、太原等。

经济的快速发展和城市规模的扩大,对城市交通产生重要的影响。出行需求总量的持续增长以及机动化水平的提高使城市交通问题愈加突出。在发达国家,很多大城市都将大力发展城市轨道交通作为解决城市交通问题的重要手段。国内城市在面临交通问题时,需要采取相同的做法。

①☆ 李国庆,男,1966 年 10 月生,硕士,教授级高级工程师,注册公用设备工程师,党委书记,副院长

100037 北京市西城区阜成门北大街 5 号北京城建设计研究总院有限责任公司

(010) 88336002

E-mail: Ligq@buedri.com

收稿日期:2011-03-29

2 城市轨道交通通风空调系统的功能

通风空调系统作为城市轨道交通中的重要设备系统之一,担负着对城市轨道交通内部空间的空气温度、湿度、空气流速、空气压力和空气品质进行控制的任务。列车正常运行时,为乘客和工作人员提供一个适宜的人工环境,满足其生理和心理要求;当列车阻塞在区间隧道时,向阻塞区间提供一定的通风量,保证列车空调等设备正常工作,维持车厢内乘客在短时间内能接受的环境条件;当发生火灾事故时,提供迅速有效的排烟手段,为乘客和消防人员提供足够的新鲜空气,并形成一定的迎面风速,引导乘客安全迅速地撤离火灾现场;为各种设备提供必要的空气温度、湿度以及洁净度等条件,保证其正常运转。

从系统功能上可以看出,以满足乘客出行为目的的城市轨道交通需要通风空调系统为乘客和工作人员营造一个安全良好的内部空气环境,这是保证其开通运转必不可少的基础条件。

3 城市轨道交通通风空调系统的特点

城市轨道交通的通风空调系统具有以下显著特点:

1) 城市轨道交通的地下部分犹如一个庞大的横置于地下的狭长箱形建筑物,其内部空间相对闭塞,与外界的空气交换只能通过车站的出入口和有限的隧道、车站通风亭口部来进行。

2) 具有显著的内热源和污染源,包括列车牵引系统、车站照明及其他设备产生的巨大热量,列车刹车闸瓦产生的大量粉尘,乘客和工作人员的新陈代谢产生的大量的热湿负荷和 CO_2 气体等污染物。

3) 由于土壤的蓄放热特性,地下部分的建筑具有热壅效应显著、冬暖夏凉的特点。

4) 列车运行产生巨大的活塞通风效应。

4 城市轨道交通通风空调系统的现状

国外城市轨道交通通风空调系统是随着工程建设不断发展的,从最初完全采用自然通风到后来设置机械通风,再发展到空调降温,基本上与地面建筑设备技术是同步前行的。国内城市轨道交通从1969年北京地铁一期工程的通风系统开始,经过上海、广州等城市的工程建设和运营,通风空调系统不断完善,并在工程实践中学习和借鉴欧洲国家和美国的技术和经验,目前城市轨道交通通风空调系统已经能够满足功能需求,技术比较成熟和可靠。

目前城市轨道交通通风空调系统广泛采用的系统形式如下。

1) 通风系统(含自然通风、活塞通风和机械通风)(见图1)

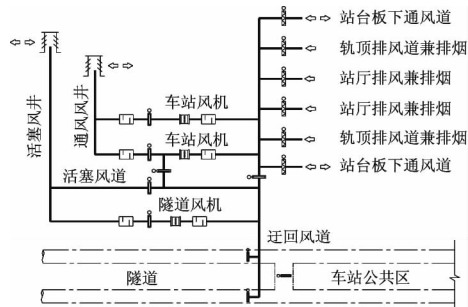


图1 典型车站通风系统图

2) 站台不设屏蔽门的通风空调系统(见图2)

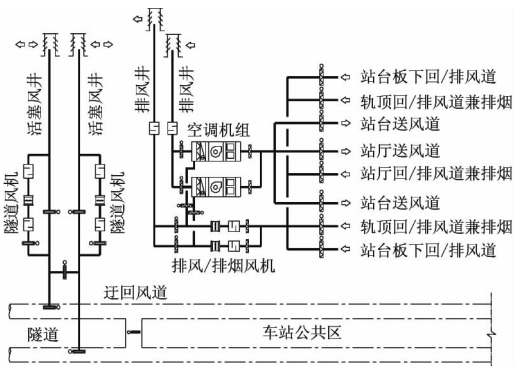


图2 典型车站通风空调系统图(站台不设屏蔽门)

3) 站台设置屏蔽门的通风空调系统(见图3)

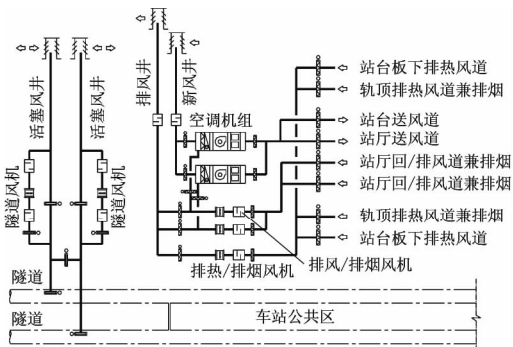


图3 典型车站通风空调系统图(站台设置屏蔽门)

具体到某个地下车站或某段地下隧道,通风空调系统的布局可能差异较大,但系统构成则是相同的。

笔者在多年的工程实践中发现,城市轨道交通通风空调系统存在诸多问题,其中最主要的问题包括:

1) 系统设置构成复杂,控制运行不便;

2) 占用面积和空间巨大,地下机房面积一般在 $1\,200 \sim 2\,500 \text{ m}^2$ 左右,占地下车站总面积的

12%~30%;

3) 系统运行能耗巨大,以地铁为代表的城市轨道交通的电力能源消耗主要体现在地铁列车的牵引用电和通风空调系统用电两个方面,在现有地铁线的实际耗能统计中,通风空调系统的能耗已经达到了地铁总能耗的 50% 左右;

4) 系统优化和技术创新,以及新产品、新技术、新工艺的应用进展缓慢。

5 城市轨道交通通风空调系统的发展状况

针对目前实际工程中存在的上述问题,国内城市轨道交通通风空调系统已经出现了一些很好的新形式,主要有以下几个方面。

5.1 地铁通风空调多功能设备集成系统(见图 4)

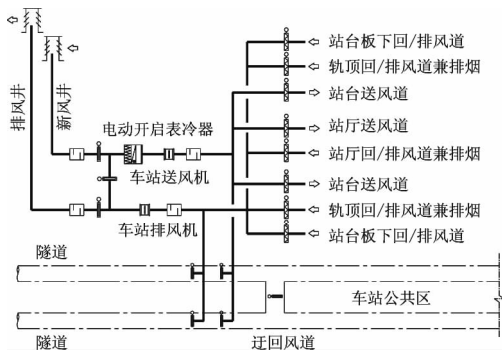


图 4 地铁通风空调多功能设备集成系统原理图

此种集成系统方式在系统的构成、系统功能的实现以及运行方式和系统控制方面均具有全新的特点,现在已经在北京地铁几条新线和南京地铁 2 号线的设计中得以采用,其基本思路是针对传统系统中区间隧道通风系统和车站通风空调系统部分进行有机整合,通过设备、风道等的共用,将区间隧道事故通风系统与车站公共区通风空调系统合二为一,将各种工况下的需求统一处理,构造出一种形式简单、功能齐全、节约机房占地、造价低廉的新型通风空调系统。集成系统完全满足城市轨道交通地下线路所需的功能,并且节省机房的土建面积,减小地下车站的土建规模,从而降低工程建设的投资;风机变频调速技术的采用,可以在空调季节,根据轨道交通系统内部空间的热负荷在不同运营时间的变化,实现系统的变风量运行;在通风季节能够打开表冷器,降低系统阻力,从而减少大量的能耗,运行费用要明显低于传统系统。

5.2 空气-水空调系统

空气-水空调系统在国内外已广泛应用于宾馆、

饭店、公寓、医院和办公楼等建筑物中,但在地下空间应用不广,主要原因在于地下车站对于新风补给和处理有严格的要求,同时对防水的重视程度极高。空气-水空调系统中的主要设备(风机盘管)的凝结水处理,以及给水和回水的设置都为防水带来了许多的问题,所以在此种工程上设计人员鲜有涉及。

但是,在一些结构型式特殊的车站,在工程中如果继续保持使用传统的全空气系统,虽然可以满足系统功能要求,但在技术上,特别是经济的合理性上存在极大的问题,尤其在地下车站为暗挖型式时,矛盾极为突出。

在广州地铁 2 号线的通风空调系统设计中,针对此类实际问题,北京城建设计研究总院进行了大胆而有益的探索,在广州地铁 2 号线的暗挖式江南西站中首次采用了空气-水空调系统(见图 5),实际运营情况良好。

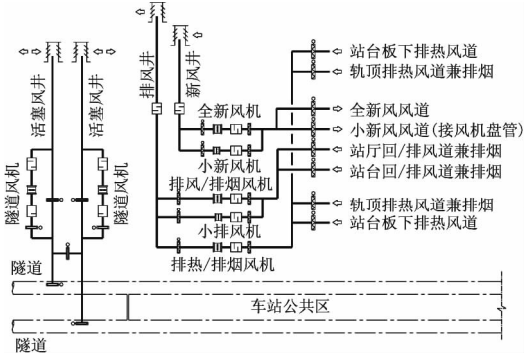


图 5 地铁空气-水空调系统原理图

地铁空气-水空调系统的工作原理是,将风机盘管布置在车站的非有效利用空间内,空调冷水直接送入盘管,新风通过专用风管送入车站,在通风工况下直接送入车站公共区;在空调季节新风则通过转换送入风机盘管与车站回风区的空间,先行混合后再一起进入风机盘管进行冷却处理,而后送入车站公共区。风机盘管的凝结水被引入行车隧道,并以蒸发冷却的方式降低隧道温度,加以充分利用。

此系统方式的特点是:

1) 充分利用了暗挖车站的结构型式特点,将设备布置在圆形车站围护壁面的非有效利用空间内,节省了传统系统空调机组所需的宽大空间,在暗挖施工的情况下,由于大大缩小了车站规模,因而节约了大量的建设资金。

2) 易于实现分区、分组控制,可以根据负荷情况灵活调节运行,运行经济合理。

3) 大大缩减了庞大的送、排风管,节约了空间高度。

4) 由于将冷水代替冷却后的空气送入使用区,而水的蓄冷量比空气大,故大大减少了冷媒的传输能耗。

5.3 通风空调高度集成系统

由于工程建设的城市主要集中在国内的中南部城市,所以以往的城市轨道交通通风空调系统在设置时,一般主要以空调工况为主,同时兼顾通风工况。但我国幅员辽阔,各地气候特点复杂多样,特别是东北地区冬季寒冷,如果沿用原有的技术,就不可避免地显露出技术上的严重不足。为此,北京城建设计研究总院的暖通空调专业的技术人员因地制宜,根据东北地区的情况,提出了适合我国严寒地区的通风空调高度集成系统,此种系统形式已经在沈阳地铁设计中使用。

该系统的设计思路是,将区间隧道通风系统和车站公共区通风系统有机结合,并采用小机型多组合的风机配置方式,结合风机变频技术,组成通风系统的基本形式。

该系统方式的特点是:

1) 适合东北地区冬季气候寒冷的特点,综合考虑冬、夏系统负荷情况和运行的要求,功能完善;

2) 系统设备及参数配置更加合理,系统制冷制热量调节范围更大、更合理,配合科学的控制运行方式,可以实现运行节能;

3) 设备小型化,便于运输、安装与维修。

另外,还有一些其他的通风空调新技术也在城市轨道交通工程中得以实施和尝试。

6 城市轨道交通通风空调系统发展展望

随着城市轨道交通建设规模的日益壮大,建设速度的加快和技术水平的不断提高,通风空调系统也将取得越来越快的发展进步,从国家工程建设、城市发展和人员等多方面的需求上分析,其未来发展趋势将是“安全健康、经济节能、环保美观”。

6.1 安全健康

通风空调系统担负着城市轨道交通内部的空气环境控制的重任,事关乘客和工作人员的健康与安全,系统设置和设备配置上一定要以此为最基本的出发点。以往工程上采用的系统形式也都是以此为前提的,但随着工程建设速度的加快,遇到的复杂实际情况越来越多,例如城市地下长大隧道、山岭隧

道、过江(河、海)隧道等。山岭隧道经常伴随着大埋深情况,过江(河、海)隧道经常具有较大长度,因此在隧道中部设置中间风亭的代价将极其巨大,甚至技术上不可实施;长大隧道由于结构施工的要求,其结构形式多种多样,隧道通风和排烟仅依赖已有的技术措施已不能完全满足要求或技术经济合理性很差,这些都导致传统的系统设置和运行模式无法适应实际的需要。中庭式车站、双洞或三洞式全暗挖车站等多种新型建筑和结构形式车站目前也屡见不鲜,通风空调系统必须根据实际需要不断改进,实现既满足人员健康要求又保证安全的目标。

在实际工程建设的地质勘察过程中,不断遇到地下气压较高的有害气体的情况。当城市轨道交通线路穿越储气层时,在设计、施工和未来运营过程中,一定要认真考虑有害气体对工程的危害以及对工程后期运营带来的不利影响,这是通风空调系统面临的新问题,如果没有合理可靠的技术手段,将会威胁人员的健康尤其是安全。杭州地铁1号线就遇到了类似的难题。现实问题要求通风空调系统适应新情况,发展新技术,解决新问题。

随着列车运行速度的提高,隧道内的空气压力也随之发生变化,国内已经有若干条城市轨道交通线路列车最高运行时速达到了120 km/h,空气压力的波动对人员的舒适造成较大影响,情况严重时危及健康。通风空调系统需要针对空气压力的变化,结合人员的健康要求,提出合理有效的控制标准,并会同有关专业共同加以解决。

城市轨道交通的地下部分相对较为闭塞,随着人们健康意识的提高,对地下空间的空气环境将提出越来越高的要求,如人员新风量要求、空气温度随季节和室外气候变化的要求等,另外对于空气品质的要求也不断提高,这些都需要通风空调专业不断研究,不断发展来逐渐加以解决,对此类问题,正在修编的GB 50157—2003《地铁设计规范》一些条款已经有所规定,如隧道人员新风量标准等,但现在还只是处于起步阶段,还需要经过大量的工程实践不断探索。另外,针对地下线路含尘量大,列车运行中轮轨摩擦、刹车过程中刹车片和轨道与车轮摩擦等产生大量的粉尘,以及日常对地下过滤器的清理难度较大等实际问题,需要研究相应的自动或半自动清洗装置,对过滤器或其他设施进行清洗。

6.2 经济节能

传统的城市轨道交通通风空调系统存在两大突出特点,一是占用面积和空间巨大,一般来说地下车站设备及管理用房一半的面积被通风空调机房占用。二是运行能耗极高,南方城市约 50% 的运营能耗为通风空调系统耗能;而北方城市通风空调系统的能耗也达到运行总能耗的近 1/3。

设计、科研单位和生产企业应高度重视这两大难题,并加以解决。目前出现的集成系统等就是在这方面作出的有益尝试,但这些与工程建设的需要,尤其是国家节能减排的国策要求还有很大差距,还需要继续努力,继续探索,要从系统的精确计算、系统制式的选择、系统设备的配置、系统控制、系统运行模式以及新设备的研发与应用等多个角度来做大量的工作。

从系统制式的选择上看,合理的系统方式设置对节省所占用的土建空间和运营节能至关重要,应当结合气候条件、运力因素、土建结构类型、地质情况、建设标准和经济实力进行综合的技术经济比较,发展和采用合理的系统制式。例如,日前通过国内多位著名专家鉴定的课题——“可调通风型站台门通风空调系统”就是一项意义重大的创新和探索。课题组开创性地提出了可调通风型站台门的理念,研制了相应的产品,并且提供了基于可调通风型站台门的适用于不同气候条件的新型环控系统形式,能够很好地满足城市轨道交通各种正常及事故工况下通风空调系统的全部功能需求,节能效果显著;同时,还可以有效解决严寒地区冬季站内温度偏低的技术难题。

在系统方式和系统构成方案确定后,系统设备的选用及配置就成为重要的环节,在工程建设中,考虑到不同运营时期客流量和热负荷的不同,通风空调应采用不同的设备配置标准以适应负荷的变化,达到最大的运行节能效果,因此,应该大力提倡设备的科学分期安装实施,尽管这样增加建设管理上的事务。另外,应从建设和运营管理及投资体制方面综合研究适当的对策和政策。

上述几方面涉及的都是系统结构形式的变化,是设备资源和系统设置理念的调整,在系统控制模式的发展上,也应给予高度重视,这是系统能否实现高效节能运行的关键。目前出现了一些可喜的情况,在南京地铁 1 号线的 BAS (building automation system) 系统的设置中,首次为其通风

空调系统设计了高度智能化的方案,并应用地下车站温度的全年控制标准取代目前的夏季温度标准和冬季温度下限,从而尝试解决通风空调系统在非最热季的优化控制问题,以实现系统的运行节能。

科学合理地确定系统运行模式对系统节能具有至关重要的作用,城市轨道交通通风空调系统的运营应根据季节、客流、运营时间和各地气候特点,本着充分利用外界自然条件,有效适应内部负荷变化规律的原则合理设定,这样才能有效节省运营能源。在运行模式方面应当结合工程实际,投入精力进行充分的研究。

6.3 环保美观

城市轨道交通是城市交通的主动脉,对城市具有多方位的影响,城市轨道交通通风空调系统也需要受到高度关注。

从城市景观角度考虑,凸出地面的风亭和设置在地面的冷却塔、风冷机组等设施与设备无疑会对城市景观造成影响。在一些敏感区域和道路、建筑物布局紧张地段,以及居民集中地区,这些矛盾极为突出。这就需要在风亭位置的选择、风亭尺寸的选用、风亭建筑形式等方面多加研究。对于通风空调系统也应进行创新性研究,以利于解决此类问题。例如目前出现的蒸发冷凝式系统就是其中的一项实际举措,这项技术采用蒸发冷凝机组取代传统意义上的冷却塔装置,设置在地下,并充分利用水的汽化潜热将热量散发,实现制冷效率的提高,也有利于节能。

城市轨道交通通风空调系统对城市环境的噪声与振动影响也不容忽视。城市轨道交通线路可能穿越城市不同环境要求的区段,其对周边的环境噪声与振动影响应满足环保的要求。从这个意义上分析,城市轨道交通通风空调设备应低噪声、低振动和低能耗。

7 结语

城市轨道交通通风空调系统技术需要总结国内外城市轨道交通通风空调系统的实际应用经验,结合新的理念,采用新的技术,改造和提升传统系统方式,加快系统技术的更新和促进技术进步,并充分结合工程建设的具体情况,解决在技术上和运行上存在的诸多不足,实现通风空调技术在城市轨道交通领域的科学理性探索和符合工程实际、满足国家需要的高水平发展。