

(上接第 35 页)

其设备及其配套设施的投资也在 1.3~1.8 倍之间。因地域环境和其他因素,同一系统模式的初投资可以略有不同,但不同系统模式的初投资差异却是显著的。

复合式系统由于配置与屏蔽门系统完全相同,可以与其以相同的方式运行;同时,由于通风窗的开启,有条件兼取闭式系统的优势,有效地利用隧道运动列车的活塞风,其全年运行能耗低于其他系统。对于地理纬度处于过渡地带的城市,复合式系统不失为一种可供选择的技术方案。

3 结语

通风空调的技术发展总是需要与时代共同进

步,在地铁建设工程中并无例外。我们期待新的技术进步,必将有全新的、更加经济和低碳环保的地铁通风空调技术方案,为地铁建设铺垫绿色的未来。

参考文献:

- [1] United State Department of Transportation Subway. Environmental design handbook [M]. Washington DC, 1978
- [2] 北京城建设计研究总院. GB 50157—2003 地铁设计规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2003
- [3] 钟星灿, 牟锐. 幕帘风阀: 中国, 1201120123980. 6 [P]. 2011-04-25

地铁通风空调系统模式探讨

中铁二院工程集团有限责任公司 钟星灿[☆]

摘要 地铁通风空调工程中,以地下车站站台与地铁区间隧道之间有无屏蔽门,分为屏蔽门系统和非屏蔽门系统(亦称闭式系统)。两种系统各具其优劣,南方地区较多选用前者。复合式系统是一种兼取二者之长的系统模式,结合工程案例,通过逐日能耗模拟计算,发现三种系统模式的全年能耗以复合式系统为最低。

关键词 地铁 通风空调 系统模式 能耗 复合式系统

Discussion on air conditioning and ventilation system mode for underground railway

By Zhong Xingcan[★]

Abstract In the air conditioning and ventilation system of underground railway, there are the platform-screen-door system and non-platform-screen-door system (referred to as closed system) depending on a platform-screen-door between the underground station platform and running tunnel. Each of them has advantages and disadvantages. The former is commonly used in the south area. Provides a composite mode which combines the advantages of the above two modes. With a project example, by daily energy consumption simulation and calculation, finds that the composite mode is the lowest in yearly energy consumption.

Keywords underground railway, air conditioning and ventilation, system mode, energy consumption, composite mode

[★] China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu, China

①

1 模式的由来与发展

1.1 早期的地铁通风系统

早期的地铁始于北欧,1863 年英国伦敦地铁建成通车,出于基本卫生需求,地铁隧道通风即成为必不可少的措施。世界各地早期地铁建设和营运中,由于客流密度不大,地铁列车运行频率不高,人类在地下空间活动产生的热量聚集对地下环境造成的影响并不明显,因此,采取普通的通风措施可以将地铁环境聚集热量有效地转移到地面大气环境。

1.2 人工降温技术的应用

随着地铁建设和运营的发展,客流密度增大,列车运行频率增加,地铁环境中热量聚集导致温度升高的问题日渐突出。尤其是处于低纬度地区的城市,夏季空气温度较高,对于地铁庞大的地下空间,一般的通风排热效果不尽如人意。另一方面,倘若地铁隧道环境温度总是高于周边的土壤温度,地铁隧道即犹如一条长期埋在地下的散热管道。

随着地铁营运时间的推移,热库效应(也称热沉入)逐渐显露,最终导致土壤温度趋近隧道环境空气温度,隧道完全失去与环境土壤的换热能力,成为造成地铁环境温度升高的重要因素。

当一般通风措施不能有效地解决人们对地铁隧道环境温度的实际需求时,人工降温技术开始在地铁环境中应用。实际应用中,不同地区结合当地环境特征,采用了相应的技术措施。

在中东地区,夏季温度较高但相对湿度偏低,直接对室外空气加湿(等焓加湿)送入地铁站内即可。由于这种技术方式经济、实用,成为了一种区域性相对固定的地铁通风空调技术方案(我国新疆地区具备这种气象特征,需要降温的公共环境有条

①[☆] 钟星灿,男,1954 年 3 月生,大学,高级工程师
610031 四川省成都市通锦路 3 号中铁二院工程集团有限责任公司
(028) 86446959
E-mail: zxc5454@sina.com
收稿日期:2012-03-21
修回日期:2012-08-15

件采用类似技术方案)。

但是多数地区夏季气温偏高且相对湿度较高,因此地铁空调系统需采用人工制冷的降温措施。

1.3 闭式系统

城市地铁以隧道连接众多车站构成一个庞大的地下空间环境,出于基本卫生需求,总是需要设置与外界大气环境相通的通风通道。通过这些通道,采用强制机械通风或是自然通风的方式,地铁空间的空气与室外大气得以交换,以满足地铁环境的基本需求。这种形式在地铁中是最为普遍的。

当采用人工制冷降温措施后,为了减少制冷能量的消耗,地铁系统在空调季节期间暂时切断(关闭)了地铁环境空间与室外大气环境的联络风道,从而形成今天业内人士所称的闭式系统。相对而言,地铁环境与室外环境联络的风道开启时,则称之为开式系统。

1.4 屏蔽门系统与设有安全门的闭式系统

实际上,人工制冷降温措施的引入,虽然其初衷是为了解决出行乘客的环境舒适性问题,但对于闭式系统环境下的地铁空间,最主要的热负荷却是来自隧道中运行的列车^[1]。以电力为动力的地铁机车,从启动、运行直至制动,所有输入机车的电力能源,最终都将以不同的过程转化为热能。按照能量守恒的基本规律,这些热量都将成为地铁环境通风空调系统的热负荷(近年来,尽管地铁列车的制动再生利用、制动电阻箱外置等技术措施有效地减少了地铁环境留存的热量,但其中大部分热量仍然需要依靠通风或空调的方式转移到室外)。统计资料显示,由隧道运行列车形成的热负荷,约占地铁环境通风空调系统热负荷的60%~70%^[1]。

在地铁技术的发展中,人们为了减少地铁夏季空调系统制冷能耗,在地铁区间隧道与地铁车站站台之间设立了屏蔽门,将列车运行的隧道空间与客流聚集的站台分隔(仅在列车停靠站台时,屏蔽门与列车车门对应的活动门开启)。这种模式下,地铁区间隧道与室外环境的风道保持开启,依靠自然或机械通风维持隧道列车运行的环境温度需求;而地铁空调系统所服务的空间大幅度减小,其服务区域也仅仅针对客流聚集的车站本身(站厅与站台)。在夏季空调期间,屏蔽门系统模式需要负担的热负

荷仅为闭式系统模式的1/3。由于其夏季节能效果显著,屏蔽门系统已成为地铁空调系统常用的系统模式之一。

实际应用的地铁通风空调系统中,当无需人工降温措施介入时,地铁空间通过联系大气环境的通风通道即构成一个简单的开式系统。对于夏季空调期而言,则有闭式系统和屏蔽门系统两种基本的模式。

随着地铁建设和实际运营的不断发 展,人们对出行环境的安全需求也增加。为了减少突发事故,在即使不需要设置屏蔽门的地铁车站,也设置了隔离人员的安全门,其作用既能有效地防止无关人员进入地铁隧道,也可以防止站台乘客意外跌落轨行区间。从而,现行我国国内地铁设计中,通风空调系统主要有两种应用模式,即:屏蔽门系统和设有安全门的闭式系统,见图1,2。



图1 地下车站站台屏蔽门



图2 地下车站站台安全门

屏蔽门系统以其夏季节能的技术优势,在我国气候偏热、全年空调期相对较长的南方城市地铁建设中得到了广泛的应用。但是,对于全年空调期短的地区,全年运行中的屏蔽门系统却并不能充分发挥节能优势。而闭式系统由于站台与隧道没有实质性的分隔,虽然夏季空调期并无节能的优势,但

在全年相当长的非空调期中,闭式系统皆可以方便地转换成开式系统运行,在隧道列车运动活塞效应的辅助作用下,充分利用外界温度较低的空气,置换隧道包括地下车站环境的空气,维持地铁正常营运的环境温度需求。因此,对于全年空调期较短的地区,就全年通风空调系统的能耗而言,夏季以闭式系统运行,而非空调期以开式系统运行的系统模式,比之屏蔽门系统模式的能耗更低,其经济性也更优。

鉴于闭式系统和屏蔽门系统各自不同的技术经济优势,在我国地铁建设的实际工程中,北方地区城市采用闭式系统更为常见。而在空调期较长的南方地区城市,例如广州、深圳、香港等地,地铁每年的空调期甚至超过 8 个月,因此,这类地区选择屏蔽门系统作为地铁通风空调系统的技术方案具有显著的优势。

在我国地铁工程建设中,实际形成的格局是,典型的北方地区城市地铁通风空调以闭式系统作为主要的系统模式;而在南方地区则以屏蔽门系统作为主要的系统模式。当地气象特征处在两者之间的地区,其系统模式的选择主要通过不同模式的技术经济比较,选择相对较优的系统模式作为该地区地铁工程的通风空调系统模式。

1.5 复合式系统

实际上,地铁通风空调工程中屏蔽门系统或闭式系统,在建筑形式上并无本质性的差异,仅仅在于后者站台安全门上方存在大约高 500 mm 的未封闭断面与隧道相通,而前者则完全封闭(上方没有与隧道相通断面空间)。

地铁车站站台门上方有或无这 500 mm 与隧道相通的断面,其实质在于地铁环境与隧道是否存在气流的沟通。

将站台门上方这 500 mm 与隧道相通的断面做成可以启闭的通风窗(该方案的设备按屏蔽门系统配置),使其在夏季空调季节关闭,而在其他非空调季节开启。那么,既可以容易地获得屏蔽门系统模式的夏季空调节能效果;同时,在非空调期也可以获得隧道列车运动活塞效应所强化的通风节能效果。

这种地铁通风空调技术方案如果可以作为一种模式——复合式系统,那么,在地理纬度处于过渡地带的任一城市,复合式系统皆可以作为系统模

式中一种适用的选择。

2 不同模式的比较

复合式系统在夏季空调期相当于屏蔽门系统;而在非空调期则是一个设备配置功率较低的闭式系统,其技术性与既有系统并无二致。故分析系统的经济性,成为技术方案比较取舍的关键。在经济性分析中系统的初投资和未来运行成本通常是人们关注的基本内容。

2.1 关于初投资

地下环境中,一个可以完全独立运行的通风空调技术方案,其系统的构成并不能简单视为专业设备的组合。由于不同系统模式的设备配备规模不同,其占用地下建筑的空间尺度也不同,在地下建筑空间造价显然高于地面的前提下,与之相应的建筑投资需要纳入方案的经济性分析中。与此同时,专业设备规模的不同也使得相应的配套供电规模随之改变。鉴于其改变的程度不容忽视,需要在方案的经济性分析中给予足够的重视。

因此,可将地铁车站通风空调系统技术方案的初投资分析归结为对以下三方面的分析:1) 专业设备购置费;2) 相关地下建筑投资;3) 配套供电设施投资。

2.2 影响运行成本的相关因素

不同的通风空调系统技术方案其运行成本也不同。本文所讨论的运行成本主要是指通风空调设备运行耗电费用;虽然其他因素对运行成本的影响依然存在,但由于其影响的程度相对较小,故不作为要素参与运行成本分析。

值得注意的是,不同系统模式的电耗比较,并不是简单地对比其装机容量。事实上,系统不同的负荷特征,选用不同的系统设备构成,不同的室外气象条件环境,不同场合的运行时间需求,甚至采用不同的运行策略等诸多因素,都将对系统运行的实际能耗产生影响。

首先,通常设备装机配电的额定功率并非设备实际的运行功率,设备实际最大耗电功率仅仅是其设计轴功率。同样地,对于一个系统而言,所有实际运行的设备并非总是处在最高设计负荷的状态下,其实际负荷的平均状态(或平均负荷率)才是设备运行真实的功率体现。

设备实际的电耗总是与其运行时间有关。因

此,需要依据系统的运行工况,逐一对应各台设备的具体运行时段,方能获得相对真实的运行成本。

实际上,地铁通风空调系统并不是只有单一的运行工况,且影响运行工况切换的因素也不唯一。其中最为典型的是,系统的空调工况与其他运行工况的切换。由于仅在空调工况下运行的相关制冷设备通常是系统的耗电大户,因此,准确地判断系统空调期起始与终止的界点,有助于提高运行成本分析的合理性。

对于尚未实际运行的技术方案,影响系统运行成本的因素也难穷其所有。综上分析,以影响程度相对较大的因素为其要素:

1) 系统设备实际的运行功率,需考虑设备设计轴功率与平均负荷率。

2) 能耗计算应依据系统运行的不同工况,对应不同设备的实际运行时间。

3) 系统空调期的确定(外界气象参数、设计标准、内部负荷特征、系统模式、设备配置等因素,都将影响分析对象的实际空调期)。

2.3 不同模式全年能耗的模拟

为了考察不同技术方案的经济性,针对实际工程案例进行了模拟量化分析。

根据工程所在地(青岛)的气象资料(见图3,最近连续6年逐时温度和相对湿度的平均值),地铁客流预测资料与设计列车行车计划,进行了全年逐时的计算机模拟^①。

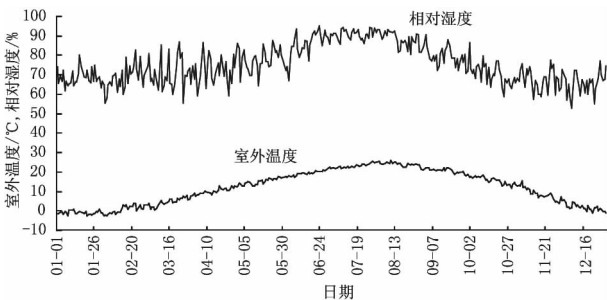


图3 全年逐时温度与相对湿度

模拟分析遵照 GB 50157—2003《地铁设计规范》^[2]的相关规定,任意时段皆以满足工程技术标准(环境温度、湿度、新风量等)为基本准则。在此前提下,按照不同方案的设备配置,以最低能耗运行,力图不同方案皆以最经济的方式运行,满足环境需求。

分析得到了关于青岛市地铁工程不同系统模式技术方案逐日能耗及全年能耗,见图4、5^②。

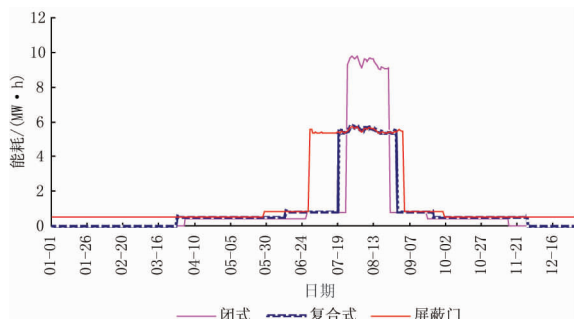


图4 不同系统模式逐日能耗

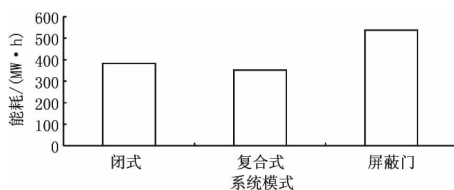


图5 不同系统模式全年能耗

从图中可以看出复合式系统较其他系统方案能耗更低。与屏蔽门系统相比,设备配置完全相同,夏季空调期部分重合;不同的是,复合式系统有条件开启通风窗,利用隧道列车运动的活塞通风效果,从而缩短了空调期,并在通风季节依然保持节能的优势。与闭式系统相比,复合式系统在夏季空调期的节能优势显著,全年综合能耗也较低。若考虑到地铁车站的出行环境效果,复合式系统的通风窗可以不采用传统的百叶风阀,抑或以幕帘风阀(见图6)完成开启或关闭的功能^[3](风阀有铁花一侧面向车站乘客)。

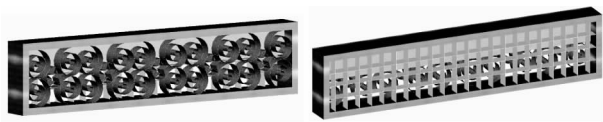


图6 幕帘风阀

2.4 模式的优选

从初投资的角度考察不同系统模式,由于闭式系统承担的空调负荷通常是屏蔽门系统的2~3倍,

(下转第26页)

① 中铁二院工程集团有限责任公司, 青岛市地铁2号线一期工程可行性研究报告

② 中铁二院工程集团有限责任公司, 西南科技大学, 青岛地铁通风空调系统运行能耗模拟研究