

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2016.02.025

车站通风空调系统运行与优化

陆 俊

(无锡地铁集团有限公司 江苏无锡 214023)

摘 要 在地铁运营中,车站通风空调系统能耗能占车站用电量的45%~60%,全国各地地铁公司都很重视通风空调系统的节能运行,但是,设计院在设计通风空调系统时是按照远景进行设计,对系统运行存在较大冗余量。通过对现无锡地铁通风空调系统分析,结合实际运营情况,对既定条件下通风空调系统进行优化和改进,以节约地铁运营成本,达到降本增效目的。

关键词 地铁;车站;通风空调系统;运行优化

中图分类号 U231 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2016)02-0109-04

在地铁运营中,车站通风空调系统能耗占车站用电量的45%~60%,因此,全国各城市地铁都很重视通风空调系统的节能运行,但是,对二、三线城市来讲,设计院当时是按照远景进行设计的,对系统运行存在较大冗余量,而以目前已开通城市来看,客流量远远未达到设计预期,如果按照设计要求按部就班运行,往往会造成极大的能耗浪费;其次,从设计到建设,最后到运营阶段,这其中又会存在较多偏差,可能最终结果又会差强人意,与设计预期存在较大出入。最重要的是,对于一个新的运营公司来讲,往往缺乏相应技术和数据积累,对整个系统运行存在的问题认识不够充分,在运行管理上也会存在一定的盲目性。目前,无锡地铁1、2号线已运营多日,客流也相对稳定,在前期存在的诸多问题,正在逐步完善和优化中,下面就结合无锡地铁实际情况,探讨如何在既定条件下,对车站通风空调系统运行进行优化,以达到节约运营成本的目的。

1 运营初期问题

在通风空调系统设计中,设备的选择一般都是按照最不利因素(即系统最大负荷时)选取,但实际上往

往达不到设计的最大负荷,从而造成通风空调系统运行状态与实际需要的状态不一致,导致系统运行能耗偏大,超过实际需要^[1]。如图1所示的运营状态点A,由于在试运营期间,客流量不稳定,且系统运行问题较多。在相关运行经验与数据缺乏的情况下,只能按照设计说明对车站通风空调系统进行运行和管理,这就造成了极大的成本浪费。因此,在目前运营阶段,应根据实际的系统状态、客流情况、管理架构,对整个通风空调系统从运行策略到运行维护管理上进行优化,以达到图1中状态点B,甚至可以进一步在服务质量与运营成本效益之间寻求最佳状态点,如图1中状态点C,以最大化节约运营成本,实现公司的节能增效的生产目标。

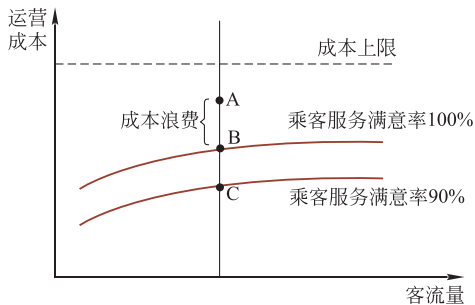


图1 运营要素关系

目前,作为一家新成立的地铁运营公司,无锡地铁在运营初期,往往缺乏通风空调系统设计与运行管理经验,还面临巨大运营成本负担。所以在服务质量与运营成本效益之间,寻求符合现状的最佳状态点是运营初期首要解决的难题。

2 负荷特点与能耗分析

无锡地铁采用了屏蔽门系统,车站空调负荷主要包括人员负荷、照明负荷、设备负荷、屏蔽门传热、渗透负荷、出入口渗透负荷、新风负荷以及广告、导向牌、指示牌产生的负荷。设备负荷是指电扶梯、AFC(自动售检票系统)等产生的负荷。空调系统湿负荷主要由人员负荷、围护结构湿负荷组成^[2]。现以无锡2号线某

收稿日期: 2016-03-01 修回日期: 2016-03-18

作者简介: 陆俊,男,本科,环控分析工程师,主要从事地铁车站通风空调系统运行管理研究,lujun1128@hotmail.com

标准站为例,分析车站设计负荷与实际负荷的差异。

通过对现场设备用电、客流以及风量测试分析(见图2),表明设计负荷远远大于实际负荷。

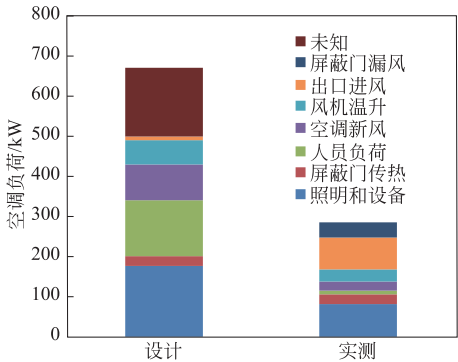


图2 无锡地铁某站设计负荷与实际负荷对比

单独就个别分项来看,在设计负荷计算中,因为取值是参考远期客流,但目前客流量远远低于设计预期,所以实测负荷不大,在车站实测的负荷比重也不大,可见现阶段客流量对车站通风空调系统运行影响不是很大。而照明和设备这部分实测的负荷比设计负荷也小了很多。屏蔽门传热由于无法直接测试,图2中设计和实测都是按照常规设计计算方法取值。空调新风负荷由于大系统送回风量不匹配,导致实际引入的新风量较少,实际新风负荷小于设计值。风机温升由于实际风机采用变频运行,输入功率远小于额定工况,所以实测值小于设计值。出口进风与屏蔽门漏风存在相互影响的关系,在测试站空调设计说明中并未提及如何考虑屏蔽门漏风对于车站负荷的影响,因此在设计负荷分析中,仅考虑了出入渗风的负荷,而现场实测则发现屏蔽门漏风对车站还是有一定影响的。由于屏蔽门施工缺陷,导致屏蔽门漏风,对出口进风影响也较大,所以出口进风负荷远远大于设计取值,同时增加了因屏蔽门漏风导致的负荷损失,所占比重大,因而室外空气将通过空气交换对车站负荷产生了明显的影响,造成车站负荷的季节性变化。在夏季,室外气温高,尤其是启用空调后,由于室外空气的含湿量一般较大,使车站空调负荷因此大为增加。在冬季,室外气温低,此时室外空气将对车站起到降温作用。其次,在设计负荷中还保留很大部分未知冗余量,这对前期车站通风空调系统运行存在一定的能耗浪费。

另外,根据测试站设备用电情况来看(见图3),车站通风空调系统用电约占28%,照明用电所占比例为18%。而在夏季时候,整个通风空调系统用电约占60%,照明用电所占比例为7%。从以上数据可以看

出,通风空调系统对车站整个用电量影响较大,尤其是夏季,开启空调水系统后,能耗增加较为明显。

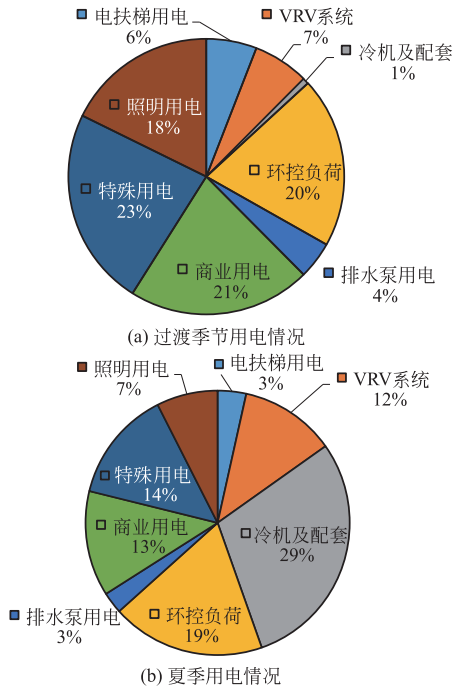


图3 无锡地铁某站过渡季节与夏季典型用电比

3 运行优化

表1是设计院给出的无锡地铁环控大系统模式,但目前从实际运营情况来看,无论是模式转换条件还是模式控制,都需要结合运营初期的数据和积累经验,对其从3个方面进行优化,首先是模式控制优化,其次是模式转换条件优化,最后就是根据现有运行管理条件,对模式时间表进行优化。

表1 无锡地铁环控大系统正常运营模式

全年运行工况及转换条件			新风机	组合式空调器	回/排风机
空调 季节	最小新风 工况 I	$I_w \geq I_A$	O	变	变
		$I_w < I_A$	X	变	变
	全新风 工况	II'	$T_w < 22\text{ }^{\circ}\text{C}$	X	变
		II'	$T_w < 22\text{ }^{\circ}\text{C}$	X	X
通风 季节	通风 工况	III	$T_w < 16\text{ }^{\circ}\text{C}$	X	变
		III'	$T_w < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	X	X

注:“O”表示开启;“X”表示关闭;“变”表示变频;

T_w 为室外空气干球温度; I_w 为室外空气焓值; I_A 为空调箱回风设计焓值。

3.1 模式控制优化

在南京、上海等成熟地铁的暖通空调设计中,有通风季节只排不送模式,而在无锡地铁设计中(见表1),只有只送不排模式,但从现阶段运营情况来看,增加只排不送模式能使通风空调系统运行管理更灵活、方便,

有利于节约运营成本。

大系统只排不送模式说明:只开启回排风机,空调新风机、组合式空调机组均关闭,利用回排风机排除公共区空气并形成风压差,由车站各出入口补入新风,见图4。

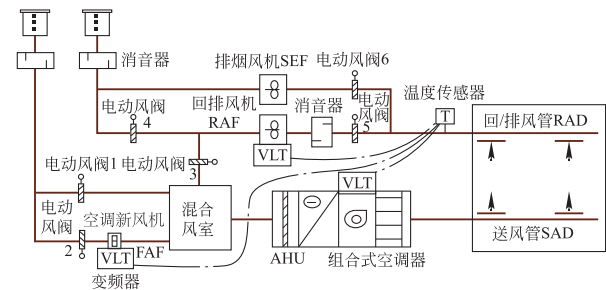


图4 典型车站大系统示意

由于利用车站乘客出入口作为风道,则乘客出入口通道的阻力对风量有决定性的影响。按照测试站空调总风量 130 000 m³/h 计算,车站出入口 2 个,每个截面 12 m²,则出入口风速为 1.5 m/s。出入口通道的局部阻力系数约为 5.8(弯头 2×1.15,门洞 1×2,突扩突缩 1×1.5),计算得到出入口通道阻力最大为 7.8 Pa,与空调机组送风机及回排风机的压头相比,不到 2%。因此,出入口阻力对于通风量的影响是相当小的,单排通风和单送通风方式完全能够满足系统通风量的要求。此外,从计算中也可以看到,单排单送模式引起的出入口最大风速变化不到 1.5 m/s,对于乘客来说是可以接受的。

通过实际能耗的测算得出,单排通风的能耗最小,仅为通风工况Ⅲ的 38%。另外,与单送通风比较,单排通风还避免了风机温升的影响,但由于出入口无组织进风,未经过空气净化处理,可能会导致地铁站内存在空气含尘浓度等指标偏高问题,因此,应在室外空气质量较好的情况下,与其他模式灵活使用,在不影响客运服务质量的前提下,减轻运营成本压力,是适合无锡地铁实际情况的。

3.2 模式转换条件优化

根据设计院给出的通风季与空调季的转换条件为临界温度 16℃,这无疑不符合无锡地铁现状,为此针对转换条件,必须重新进行优化,以达到运营成本目的,根据推导公式^[3],有

$$G = \frac{Q_{st}}{\rho c_p (t_o - t_s)} \tag{1}$$

式中, t_s, t_o 为送风温度,室内设定温度℃; Q_{st} 为车站显热负荷, kW; ρ 为空气密度, kg/m³; G 为送风量, m³/s; C_p 为空气定压比热, kJ/kg℃。

在开启冷机和通风情况下,采用较低的送风温度,被认为有利于节能,但实际送风温度不可能无限制,一

般送风温差最多在 10℃左右,送风量 G 是由车站负荷 Q_{st} 和室内外温差决定的,因此对于给定的系统,冷机的启停条件是由外温和车站负荷决定的。

根据计算可以得出按不同车站负荷计算的冷机启停外温条件,如图5所示。

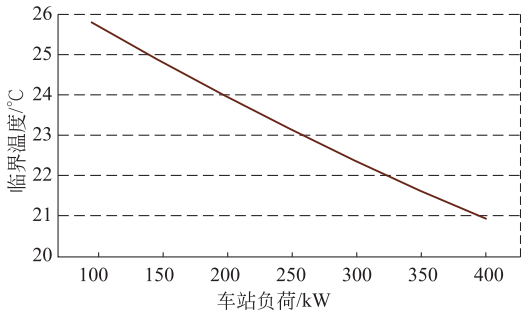


图5 冷机启停临界室外温度与车站负荷关系

从图5可知,外温高于临界温度时,启动冷机是经济的,否则纯通风方式运行是经济的。从曲线可以看出,临界温度范围在 21℃~26℃,并与车站负荷的变化趋势相反。车站发热量越大,临界温度越低,说明车站负荷大时,更应开启冷机。由于车站负荷在一天内有两个峰值,临界温度也出现两个低谷。在实际运行时,为了避免冷机的频繁启停,可以用临界温度的均值来进行判断,当然这样系统能耗会有少量增加。

由于无锡地铁车站无法实现对车站实时负荷变化的监控,且整个系统运行全依靠人为手动调整,难度较大,所以为方便运行调整,在不考虑相对湿度情况下,根据初期负荷和远期负荷的比值来确定这个临界温度。以实际负荷与设计负荷对比来看,实际负荷占设计负荷一半不到,取负荷占比 0.5,室内设定温度为 28℃,根据上述推导公式,计算得出临界温度值为 22℃。

在原设计模式转换条件下,对其适当调整,得出无锡地铁运营初期的模式转换条件^[4-10]。

1) 空调工况时以室内外焓值为判据。当室外空气焓值大于回风焓(室内设定焓值)即 $i_w > i_o$ 时,风机按最小新风空调工况模式运行,送回风机全开运行;

当 $i_w < i_o$ 时,风机按全新风空调模式运行,空调风机运行,停回排风机,由乘客出入口排风。

2) 非空调工况时以室内外温度为判据。当外温 t_w 高于 10℃时,作为过渡季处理,采用单排的通风模式,也可以采用单送的通风模式来改善进站乘客的舒适度;当外温 t_w 低于 10℃时,认为处于冬季,从节能的角度出发,建议采用单排的通风模式;考虑到运营初期,站内乘客较少,且存在屏蔽门漏风导致的站内外换气,

部分时段可以采用自然通风的模式,也就是停运模式。

3) 其他非空调工况建议采用通风工况Ⅲ模式。通风与空调工况的转换条件,将设计的临界温度 16℃ 调整到 22℃,大大延长了通风工况的运行时间,减少了冷机的开启。

3.3 时间表优化

由于无锡地铁通风空调系统没有智能控制系统,且缺乏相应数据,只能人为手动调整,不可能做到实时监控和实时调整,工作要求和强度大,所以只能利用现有模式以及 BAS(环境监控系统)时间表自动执行模式功能,合理制定时间表,并不断优化和调整,以实现节能与服务双效益局面。目前,根据以往测试车站实时负荷变化情况,将全线车站分为 A、B、C 3 个等级,A 等级车站为客流大站,在运营期间,车站逐时负荷因客流较多的原因一直保持较高数值;而 B 级站,主要受高峰、低谷客流量的影响较为明显;C 级站则一直保持低位,受客流影响较小,所以针对这 3 个等级车站,分别制定 3 个等级的通风空调系统模式时间表。在图 6 中,对通风季节,选取 B 级车站室外典型气象历史数据,根据优化后模式转换条件初步制定时间表,早上 8:00 之前室外温度低于 10℃,室外空气质量较好,根据模式转换条件采用单排通风模式,8:00 之后温度上升至 10℃以上,此时采用单送通风模式,以改善站内环境,持续运行至晚上 21:30,之后停

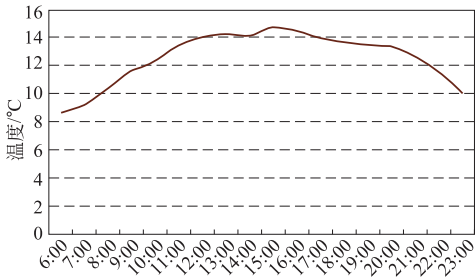


图 6 测试站实时室外温度变化

止运行,利用车站屏蔽门漏风以及出入口稳定送风来满足站内需求,同时并结合现场反馈温度数据加以调整和优化,以减少人工调节工作量和设备频繁动作。

4 结语

通过对现有无锡地铁通风空调系统分析,结合实际运营情况,对既定条件下通风空调系统进行优化和改进,以节约地铁运营成本,达到降本增效目的,并积累相关技术经验,着眼于未来,为将来新线的规划设计提供更多的技术支持。

参考文献

[1] 尚志宇. 地铁通风空调系统节能方法的控制研究[J]. 科技博览,2013(5):295.
[2] 闻彪,吴庆,洪学新. 地铁通风空调系统节能研究[J]. 建筑节能,2010(4):32-35.
[3] 清华大学建筑学院. 无锡地铁 2 号线典型车站环控系统测试报告[R]. 无锡,2015.
[4] 罗兹. 地铁环控系统的特点及其解决方案[J]. 电子工程师,2000(8):26-30.
[5] 地铁设计规范:GB 50157—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2014:50-55.
[6] 袁凤东. 智能化地铁通风空调系统节能技术研究[D]. 天津:天津大学,2006.
[7] 常莉,冯炼,李鹏. 地铁环控系统不同区域能耗分析[J]. 制冷与空调,2012(5):45-48.
[8] 孟鑫. 地铁车站设备管理用房多功能空调系统方案[J]. 都市轨道交通,2014,27(3):97-99.
[9] 林世生. 浅谈地铁车站通风空调系统设计中的优缺点[J]. 广东建材,2008(5):188-190.
[10] 姚景生. 地铁车站通风空调系统设计[C]//铁路暖通空调专业 2006 年学术交流会. 北京,2006:31-32.

(编辑:郝京红)

Optimal Operation of Ventilation and Air - conditioning System in Subway Station

Lu jun

(Wuxi Metro Group Co.,Ltd.,Wuxi, Jiangsu 214023)

Abstract: The energy consumption of ventilation and air-conditioning system accounts for 45% to 60% of the total power consumption in a metro station in operation. Therefore, energy saving for ventilation and air-conditioning system is of great importance to all subway operation companies. However, the ventilation and air-conditioning system is far-reaching design which results in redundancy during its early operation. Through the analysis of the existing ventilation and air-conditioning system of Wuxi metro and in view of the actual operation status, optimization and improvement of ventilation and air-conditioning system under the existing condition are adopted. By doing so, we can not only reduce the cost of subway operation but also achieve higher efficiency.

Key words: metro; station; air-conditioning; optimal operation