

温湿度独立控制空调负荷计算方法及运行经济费用研究

王黛

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

摘要: 对比了温湿度独立控制空调系统与全空气一次回风系统在地铁车站应用的优缺点,研究了温湿度独立控制空调系统的负荷计算方法。以深圳某一具体地铁车站为例,对比分析了温湿度独立控制空调系统与全空气一次回风系统在地铁车站运行的经济性。研究表明,温湿度独立控制空调系统比全空气一次回风系统节能34%左右。

关键词: 温湿度独立控制空调系统;全空气一次回风空调系统;经济性;地铁车站;负荷计算;节能

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.104

引言

根据《地铁设计规范GB50157-2013》^[1]13.2.14,深圳地区地下地铁车站采用空调系统时,站厅公共区夏季室内空气计算温度为30℃,站台公共区夏季室内空气计算温度为28℃,相对湿度40%-70%。地铁车站站厅、站台人员密集,车站显热负荷占总得热量60%-75%,潜热负荷占总得热量25%-40%。当室内空气干球温度28℃,相对湿度55%时,对应的露点温度为18.1℃。目前地下车站空调系统普遍应用全空气一次回风系统,其采用温湿度耦合处理,即冷凝除湿的方式来实现对空气的降温和祛湿。若处理后的空调送风,温度仅需满足车站降温要求,同时考虑传热温差以及介质的输送温差,冷源温度只需要低于18℃即可。而空调送风需满足地铁车站冷凝除湿要求,则要求冷源的温度必须低于室内空气的露点温度,从而达到降温和除湿的目的。一般地铁车站的空调冷源采用7/12℃的低温冷水。如此,占车站总负荷60%-75%的显热负荷,本可以利用高温冷源(湖泊、水库的水),却与除湿一起共用7/12℃的低温冷源,而造成能源利用品味上的浪费。另一方面,通过冷凝方式对空气进行冷却和除湿,其显热与潜热比只能在室内空气状态点、室内空气状态点对应的露点、冷水状态点三点围成的三角区域变化。地铁车站客流人数具有不确定性,且高峰客流人数比平时客流大很多,导致潜热一直处于变化中,显热与潜热比无法固定在某一区间。导致显热与潜热比很难匹配冷凝除湿基本固定的显热潜热比。目前地铁车站一般保证干球温度,而牺牲对湿度的控制。从而造成地铁车站相对湿度过高或过低,给人“过闷”或“过冷”的感觉,因此人体热舒适度降低^[2-3]。

针对以上全空气一次回风空调系统存在的弊端,温湿度独立控制空调系统将室内温度和室内湿度分开处理,将有效解决地铁车站能量品味浪费和舒适度的问题。温湿度独立控制空调系统把室内的温度和湿度两个参数的控制分为两个独立的处理过程,而常规空调系统温湿度为一个处理过程。温湿度独立控制空调系统利用高度除湿的新风来控制室内的湿度,利用自然界中湖泊

或水库的高温冷水来控制室内的温度^[4-6]。温湿度独立控制空调系统避免了全空气一次回风系统中热湿联合处理所带来的能耗损失,克服了全空气一次回风系统中难以同时满足温湿度参数要求的致命弱点。温湿度独立控制空调系统由于在节能和舒适度方面的优势而受到越来越多的关注,并在被逐步推广应用^[7]。

一、温湿度独立控制空调系统的负荷计算

按照地铁车站的功能特点,其空调系统主要有:车站公共区空调通风系统即平时乘客活动空间,定义为大系统;车站设备区房间空调通风系统,定义为小系统。大系统空调负荷主要由乘客散热、散湿负荷,维护结构散热、散湿负荷,照明负荷,新风负荷,轨顶风道(既有线路有些有轨底风道,新线路基本取消轨底风道)热负荷,出入口空气渗透负荷以及设备发热负荷组成;小系统空调负荷主要由工作人员散热、散湿负荷,围护结构散热、散湿负荷,照明负荷,新风负荷以及设备发热负荷组成^[8]。

新风的作用不仅需要满足人员卫生要求,还需要承担消除室内余湿的任务。新风量的确定,按照《地铁设计规范GB50157-2013》^[1]“地下车站公共区每个乘客每小时需供应的新鲜空气量不应小于12.6m³, (本设计中公共区每个乘客每小时需供应的新鲜空气量按卫生标准取20m³)且系统的新风量不应少于总送风量的10%,地下车站设备与管理用房内每个工作人员每小时需供应的新鲜空气量不应小于30m³,且空调系统的新风量不应少于总送风量的10%^{[4][8]}。

温湿度独立控制空调系统负荷与常规空调系统负荷不同,温湿度独立控制空调系统分为温度控制系统和湿度控制系统,由于这两种系统承担的热湿处理任务不同,在进行温湿度独立控制空调系统设计时,应针对这两种系统分别计算负荷^[9]。

(一) 湿度控制系统的负荷

湿度控制系统的核心是将新风处理到含湿量低于室内状态点的含湿量,由新风承担全部的室内潜热负荷。新风在除湿过程中,干球温度也会降低,因此新风送风温度低于室内设计温度,新风能承担部分室内显热负荷。故湿度控制系统的负荷为,将新风从室外状态点处理到送风状态点所需消耗的冷量。经处理的新风应当保证能够排除车站内所有的产湿量,其含湿量 d_s 计算公式^[10]如下:

$$d_s = d_n - \frac{W}{\rho_a G_w} \quad (1-1)$$

式中, d_n : 室内空气含湿量, g/kg; W : 室内产湿量, g/h; ρ_a : 空气密度, kg/m³; G_w : 新风量, m³/h。室内产湿量 W 主要来自于车站人员、维护结构内壁挂产湿量,计算方法与全空气一次回风系统相同。

湿度控制系统所承担的负荷 Q_{h1} 的计算公式^[11]为:

$$Q_H = \frac{\rho_a G_w (h_w - h_s)}{3600} \quad (1-2)$$

式中, h_w : 室外新风设计比焓值, kJ/kg; h_s : 新风送风状态比焓值, kJ/kg; G_w : 新风量, m^3/h 。

(二) 温度控制系统的负荷

温度控制系统, 主要是承担车站内部分显热负荷, 地铁车站 (主要指地下车站) 内的显热负荷主要包括车站内人员 (乘客和工作) 负荷、照明负荷、设备的产热量, 出入口和站台门漏风负荷, 轨顶风道排热负荷等^[8]。车站的显热负荷计算与全空气一次回风系统相同, 此处不赘述。

一般情况下, 新风送风温度会低于室内设计温度, 新风能承担部分室内显热负荷。因此, 温度控制系统所需承担的室内显热负荷, 为室内总显热负荷与新风送风承担的部分室内显热负荷之差。

新风送风承担的室内部分显热负荷 Q_{HS} 为:

$$Q_{HS} = \frac{c_p \rho_a G_w (t_n - t_s)}{3600} \quad (1-3)$$

式中, c_p : 空气定压比热, kJ/(kg·°C); t_n : 室内设计温度; t_s : 新风送风温度。

因此温度控制系统的负荷

$$Q_r = Q_s - Q_{HS} \quad (1-4)$$

式中, Q_s : 车站内总显热负荷, kW。

二、设计实例

本文以深圳市某个地下车站为例, 该站为地下三层岛式车站。其中负一层为物业层 (物业层单独考虑冷源, 本文不考虑物业层), 负二层为站厅层, 负三层为站台层, 车站主体面积33362 m^2 , 站厅层公共区面积3878 m^2 , 站台层公共区面积1738 m^2 , 站厅层设备及管理用房面积1570 m^2 , 站台层设备及管理用房面积680 m^2 。对该站分别用温湿度独立控制系统和全空气一次回风系统进行能耗计算和经济性对比分析^{[4][8]}。

(一) 空气处理过程比较

1. 全空气一次回风空调系统

全空气一次回风系统控制策略为根据室外空气焓值大小进行控制, 当空调回风焓值小于室外空气焓值时^[12], 采用小新风模式; 当空调送风焓值小于室外空气焓值小于等于空调回风焓值时, 采用全新风工况; 当室外空气焓值小于等于空调送风焓值时, 采用通风工况。

该站的冷负荷计算值见下表。

表2-1 该站的冷负荷

	公共区	设备用房
室内显热负荷/kW	620	432
室内潜热负荷/kW	310	48
新风负荷/kW	246	122
总冷负荷/kW	1176	602
新风量/(m^3/h)	36900	16700

全空气一次回风空调系统负荷均由冷水机组承担。站厅回风和站台回风混合 (N状态点) 后再与室外新风 (W状态点) 混合 (C状态点), 通过空气处理机组利用7°C/12°C冷水处理混风状态点C, 得到机器露点L, 由于设备运行有发热存在温升, 送风状态点为O, 具体处理

过程如图2-1所示。

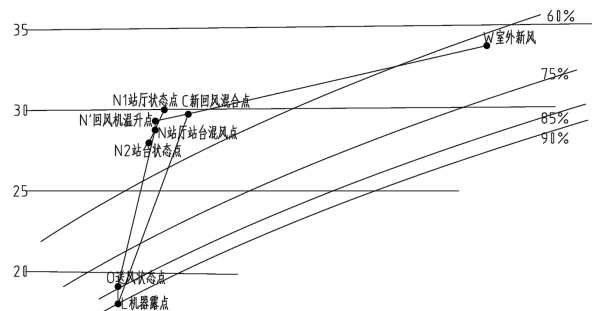


图2-1 该站全空气一次回风系统处理过程

W状态点、N状态点、O状态点参数如表2-2所示。

表2-2 该站公共区全空气一次回风系统空气状态点

	干球温度/°C	相对湿度/%	比焓/(kJ/kg)
新风	33.7	62.9	88.87
回风 (站厅站台混风点)	29	54.9	64.94
送风	19	85	48.75

根据表2-1和表2-2, 总冷负荷为送回风焓差与送风量的乘积, 公共区和设备区的总送风量分别为151400 m^3/h 、102300 m^3/h 。

2. 温湿度独立控制空调系统

温湿度独立控制空调系统将热、湿分开处理, 利用自然存在的高温冷水 (湖泊、水库的水), 本文采用16°C/21°C的高温冷水机组作为冷源。公共区采用溶液全空气机组, 设备区空调房间采用干式风机盘管和溶液新风机组。新风经过溶液除湿机组降温除湿后, 与室内回风混合, 经过高温冷水机组 (采用16°C/21°C自然高温冷水) 处理到送风状态点。因此, 溶液除湿机组负担全部新风负荷和室内湿负荷, 负责送风湿度; 高温冷水机组承担大部分的室内显热负荷, 负责送风温度。

高温冷水机组给干式风机盘管、溶液全空气机组提供16°C的高温冷水, 承担室内显热负荷。温湿度独立控制空调系统的空气处理过程与全空气一次回风系统空气处理过程略有不同, 具体过程如图2-2所示。溶液除湿机组的各个空气状态点如表2-3所示。

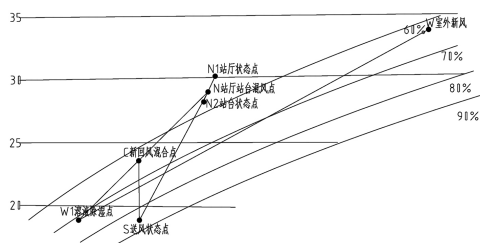


图2-2 温湿度独立控制空调系统的空气处理过程

由表2-1可知, 公共区所需新风量为36900 m^3/h , 因此溶液除湿机组需处理的新风量也应为36900 m^3/h 。除湿后的新风送风干球温度为19.0°C, 含湿量为9.18g/kg时, 不但能完全承担公共区的室内潜热负荷和新风负荷, 还能承担341kW 的显热负荷。故高温冷水机组承担835kW显热负荷。

表2-3 溶液除湿机组的空气处理过程状态点参数

	干球温度/℃	相对湿度/%	含湿量/(g/kg)	比焓/(kJ/kg)
新风	33.7	63	21.39	88.87
新风溶液除湿后(公共区)	19	66	9.18	42.47
新风溶液除湿后(设备区)	17	44.84	5.5	31.09
公共区回风	29	55	14.15	65.43
送风	19	85	11.95	49.48

同理,设备区空调房间所需的总新风量为16700m³/h,除湿后的新风送风干球温度为17.0℃,含湿量为5.5g/kg时,不但能完全承担设备区房间的室内潜热负荷和新风负荷,还能承担220kW的显热负荷;故高温冷水机组承担382kW显热负荷。

(二) 夏季空调运行费用估算

根据深圳市的气象条件和地铁空调运行时间,做如下规定:

- 1) 小新风模式空调季为每年4月1日~11月30日,一共244天,空调每天运行时间为6:00~24:00,即每天18小时;
- 2) 深圳地铁电价收费按0.85元/度算。

两种空调系统参数对比见表2-4,能耗估算对比见表2-5。

表2-4 两种空调系统参数对比

全空气一次回风空调系统		温湿度独立控制空调系统	
冷水机组总冷负荷	1778kW	溶液新风机组负荷	220kW
冷水机组COP	4.2	溶液新风机组效率	5.5
冷水供回水温度	7/12℃	溶液全空气机组负荷	341kW
冷却塔电机功率	5.5kW	溶液全空气机组效率	5.0
风机效率	0.7	高温冷水机组负荷	1217kW
水泵效率	0.8	高温冷水机组效率	6.5
		冷水供回水温度	16/21℃
		冷却塔电机功率	4kW
		风机效率	0.7
		水泵效率	0.8

表2-5 两种空调系统的能耗估算对比

	耗电量/kW	总耗电量/kWh	总费用/(万元/a)
常规空调系统	冷水机组	422	1853424
	风机	164	720288
	水泵	92	404064
	冷却塔风机	11	48312
	总计	689	3026088
温湿度独立控制空调系统	高温冷水机组	188	825696
	溶液全空气机组	75	329400
	溶液新风机组	37	162504
	风机	88	386496
	水泵	40	175680
	冷却塔风机	8	35136
	干式风机盘管	20	87840
总计	456	2002752	170.23

由表2-5可知,该站全年小新风工况下,温湿度独立控制空调系统的耗电量比全空气一次回风空调系统的耗电量少102.3万kWh,减少约33.8%;温湿度独立控制空调系统的运行电费比全空气一次回风空调系统的运行电费节约87万元,节省约33.8%。

三、总结

本文介绍了温湿度独立控制空调系统负荷计算的具体方法,并以实际的地铁站为例,验证温湿度独立控制空调系统的运行能源效率高于传统全空气一次回风系统,其运行节能率约为33.8%。

参考文献

- [1] 北京城建设计研究总院. GB50157-2013地铁设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [2] 马宏权, 龙惟定. 高湿地区温湿度独立控制系统应用分析[J]. 暖通空调, 2009, 39(2): 62-69.
- [3] 刘晓华, 江亿, 谢晓云. 温湿度独立控制空调系统及其性能分析[J]. 中国建设信息供热制冷, 2008(7): 21-23.
- [4] 易晓勤. 温湿度独立控制空调系统在地铁车站的应用[J]. 暖通空调, 2010, 40(07): 19-21+14.
- [5] 张海强, 刘晓华, 江亿. 温湿度独立控制空调系统和常规空调系统的性能比较[J]. 暖通空调, 2011, 01: 48-52.
- [6] 张涛, 刘晓华, 张海强等. 温湿度独立控制空调系统设计方法[J]. 暖通空调, 2011, 41(01): 1-8.
- [7] 吴爱侠等. 独立新风加干式风机盘管空调系统用于高温高湿地区的适应性分析[J]. 建筑科学, 2012, 28(10): 73-77. 2006.
- [8] 侯喜快, 刘伊江, 李俊飞. 青岛某地铁站温湿度独立控制空调系统全年能耗分析[J]. 暖通空调, 2013, 43(09): 91-95.
- [9] 溶液调湿. 百度百科(网址: <http://baike.baidu.com/view/1296669.html>); 2008-04-20.
- [10] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 第二版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 1792-1798.
- [11] 韩璐. 干盘管加独立新风空调系统的研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2011.
- [12] 孙锦铭. 地铁通风空调及火灾运行模式[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2014(13): 188-193.