

城市轨道交通地下车站公共区分散式空调系统的应用效果分析

李焱池

(长沙市轨道交通集团有限公司, 410021, 长沙//高级工程师)

摘 要 为进一步挖掘城市轨道交通地下车站公共区通风空调系统的节能潜力,解决传统全空气空调系统输配能耗高、管道占用空间大等方面的不足,在长沙市轨道交通6号线工程中应用了分散式空调系统。通过对地下标准车站公共区采用全空气系统、分散式空调系统两种不同的通风空调方案进行技术性和经济性的对比分析,得到结论如下:与全空气系统相比,分散式空调系统设备投资相对节省、土建投资相当、运行费用相对节省。从减小风机电耗、满足末端调控角度上对比,分散式空调系统更具优势。

关键词 城市轨道交通车站;全空气空调系统;分散式空调系统;节能减排

中图分类号 U231.4; TU96+2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.07.043

Application Effect Analysis of Distributed Air-conditioning System in Public Area of Urban Rail Transit Underground Station

LI Yanchi

Abstract In order to further tap into the energy saving potential of the ventilation and air-conditioning system in the public area of urban rail transit underground stations, and to solve the shortcomings of the conventional all-air system such as high energy consumption and large space occupied by pipes, a distributed air-conditioning system is applied in the project of Changsha Rail Transit Line 6. Through technical and economical comparison and analysis of applying two different ventilation and air-conditioning scheme, all-air system and distributed air-conditioning system, in underground station public area, conclusion is arrived to as follows: compared with all-air system, distributed air-conditioning system has relatively less investment in equipment, similar in civil engineering, and less in operating cost. From the perspective of reducing fan power consumption and serving terminal control, distributed air-conditioning system has more advantages.

Key words urban rail transit station; all-air air-conditioning system; distributed air-conditioning system; energy conserva-

tion and emission reduction

Author's address Changsha Metro Group Co., Ltd., 410021, Changsha, China

据统计,城市轨道交通地下车站通风空调系统的能耗约占线路运行总能耗的50%^[1]。如何结合城市轨道交通工程的特点对通风空调系统的设计进行优化和创新,以降低工程投资和运行能耗,值得作进一步深入研究。在与传统的全空气空调系统进行对比的基础上,本文将从系统配置、运行方式、工程投资等方面阐述分散式空调系统在城市轨道交通地下车站中的应用情况。

1 传统的全空气空调系统方案

1.1 全空气空调系统方案概述

传统的全空气空调系统方案中,通常将车站公共区通风空调系统简称为“大系统”,将为车站设备管理用房区服务的通风空调及防排烟系统简称为“小系统”。车站两端靠近新、排风道的位置设置大系统和小系统合用的空调机房。大系统一般采用双风机(组合式空调机组和回排风机)、全空气一次回风系统,其空调设备以车站中心里程为界作对称设置。城市轨道交通地下标准站大系统原理图如图1所示。

以适合6节编组A型车停靠的12 m宽的岛式站台车站为例,车站长度约为200~240 m,全空气空调系统的组合式空调机组和回排风机在设备集中端(以下简称“大端”)的送/回风距离约120 m,设备非集中端(以下简称“小端”)送风/回风距离约50 m。

传统的全空气空调系统的主要问题是输配能耗高、管线占用空间大。大系统大端组合式空调机组和回排风机通常因为送风距离过长,其单位风量

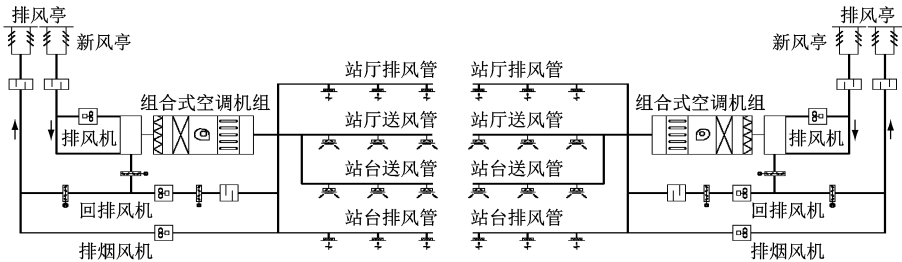


图1 城市轨道交通地下标准站大系统原理示意图

耗功率难以满足 GB 50189—2015《公共建筑节能设计标准》^[2] 的要求。

1.2 主要设备配置

传统的全空气空调系统方案主要配置的设备包括组合式空调机组、回排风机、小新风机、排烟风机,以及用于模式转换的电动风阀等管路附件。

1.3 正常运行模式

- 1) 空调季节:系统设备的运行工况按焓值控制。
- 2) 非空调季节:根据室外空气干球温度与空调送风温度的相对关系确定设备的启停。
- 3) 夜间运行:城市轨道交通线路夜间停运以后,大系统关闭。

小端设置大系统和小系统合用的空调机房。由此,传统全空气系统下大系统空调机房的面积得以相应减少。此外,在靠公共区位置增设立柜机房,在显著减少从空调机房经设备管理用房敷设至公共区管线的同时,降低了风系统的输配能耗。

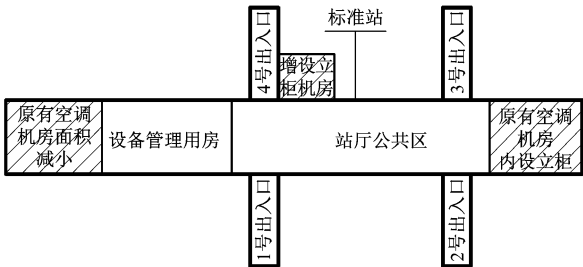


图2 在站厅公共区附近增设立柜机房示意图

2 分散式空调系统方案

2.1 分散式空调系统概述

分散式空调系统的特点是大型设备布置分散化,即将传统一次回风系统中集中设置在车站两端空调机房内的组合式空调机组调整至临近公共区位置分散布置。如图2所示,其具体的设置方案为:在站厅层大端靠出入口位置新增立柜机房,在站厅

为保证空调季节车站公共区的新风质量,在车站小端空调机房内单独设置1台新风柜机,负责在空调季节将室外新风处理至站厅公共区室内等焓点后送入;为满足车站公共区在过渡季节和非空调季节的通风换气、排除余热,以及在火灾事故工况下的排烟要求,在车站两端分别设置机械排风机和排烟风机。如图3所示,大端的排烟风机和机械排

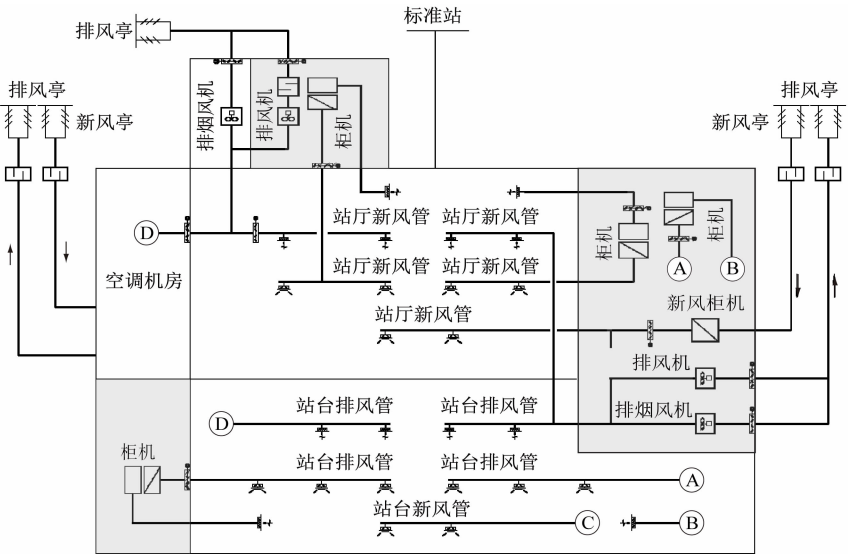


图3 城市轨道交通地下标准站公共区采用分散式空调系统的原理示意图

风机与大系统立柜机房均设置在车站出入口附近;小端的排烟风机和机械排风机与小系统共用空调机房。大端处空调的送风距离一般控制在 50 m 左右,因此,大端空调立柜配置的电机容量可大幅减小。

2.2 主要设备配置

分散式空调系统配置的设备主要包括空调立柜(含新风柜机)、机械排风机、排烟风机,以及用于模式转换的电动风阀等管路附件。

2.3 正常运行模式

1) 当站外空气温度大于车站空调送风温度时,空调系统柜机运行,新风经空调器处理至室内等焓点后送入。

2) 当站外空气温度小于车站空调送风温度时,冷水机组和空调柜机停止运行,开启机械排风机,由出入口补风,对室内进行通风换气。

3) 夜间车站运营结束后,车站空调大系统设备随之停止运行。

3 两种通风空调系统方案技术经济性对比

本文以长沙市轨道交通 6 号线工程的标准车站(停靠 6 节编组 A 型车)为例,分别在车站公共区采用全空气空调系统和分散式空调系统,对这两种技术方案进行对比分析。

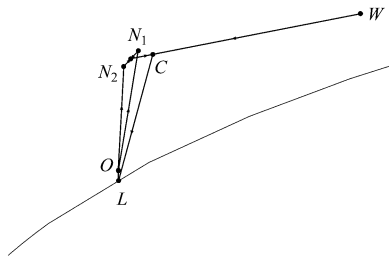
3.1 热湿处理过程分析

3.1.1 全空气系统

如图 4 所示,传统的全空气空调系统一次回风热湿处理过程如下:状态点 W 的室外新风与公共区回风混合至 C 点后进入组合式空调机组的表冷段;经降温除湿以后,在经过风机段及送风管道时产生温升,送风状态点变化至 O ;进入站厅、站台公共区的空调冷风根据相应热湿比线,按保证室内干球温度,送风状态点分别变化至 N_1 、 N_2 ;在保证站厅、站台不结露的前提下,应合理设定机器露点的相对湿度,以加大组合式空调机组送风点与站厅、站台的温差,降低组合式空调机组的总送风量,减少输送能耗。

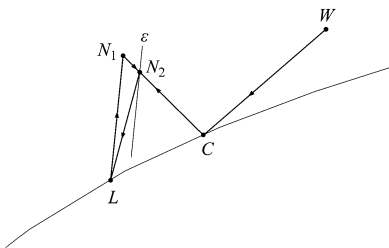
3.1.2 分散式空调系统

分散式空调系统热湿处理过程如图 5 所示。站厅与站台的热湿处理过程类似,具体过程为:新风由独立的新风柜机从室外状态点 W 处理至室内状态点 N_2 等焓线的露点 C ;回风型空调立柜把室内状态点 N_2 处理至机组出风状态点 L ;状态点 L 的空



注: N_2 ——站台空气状态点; N_1 ——站厅空气状态点; W ——室外空气状态点; O ——组空调送风点; L ——组空的机器露点; C ——室内外空气混合点。

图 4 一次回风热湿处理过程



注: N_1 ——回风型空调柜出风点; C ——新风柜机出风点; W ——室外空气状态点; L ——空调柜的机器露点; N_2 ——站厅或站台空气状态点; ε ——热湿比。

图 5 分散式空调系统热湿处理过程

气进入公共区后根据室内热湿比线变化到状态点 N_1 ;在公共区内,状态点 N_1 的空气与状态点 C 的新风混合到室内设计状态点 N_2 。

3.2 设备选型分析

根据热湿处理的计算结果,两种技术方案的设备选型情况分别如表 1、表 2 所示。

3.3 投资情况分析

3.3.1 土建部分

全空气空调系统和分散式空调系统在车站小端对空调机房面积的需求基本一致。对于全空气空调系统,车站大端大系统和小系统合用的空调机房面积需求约为 442 m^2 。对于分散式空调系统,车站大端小系统空调机房面积需求约为 340 m^2 ,在站厅层大端靠出入口处需增设面积约为 80 m^2 的大系统外挂机房(如图 6 所示),在站台层大端需增设 40 m^2 的大系统立柜机房。

3.3.2 运行情况说明

1) 长沙地区城市轨道交通的空调季节按 6 个月(每年的 5 ~ 10 月份)计算,空调的总运行时间指 180 d 计算;非空调季节车站按通风考虑;公共区风系统按每天运行 16 h 考虑;长沙地区的城市轨道交通工业用电电价按 0.66 元/kWh 考虑。

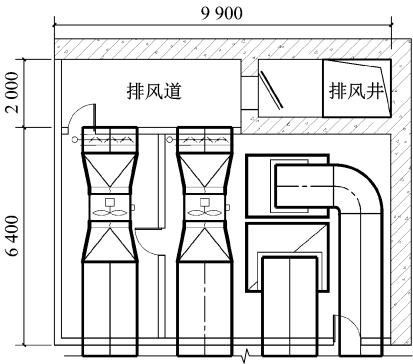
表 1 全空气空调系统方案的设备选型情况

序号	设备名称	设备主要技术参数				数量/台	备注
		$Q/(m^3/h)$	p_1/Pa	p/Pa	P/kW		
1	组合式空调器 1	59 150	512		22.0	1	变频
2	组合式空调器 2	59 150	409		22.0	1	变频
3	回排风机 1	53 235	493		11.0	1	变频
4	回排风机 2	53 235		395	11.0	1	变频
5	小新风机	5 915		80	1.1	2	
6	排烟风机 1	61 620		853	30.0	1	
7	排烟风机 2	61 620		700	22.0	1	

注: Q ——风量; p_1 ——机外余压; p ——全压; P ——功率。

表 2 分散式空调系统方案的设备选型情况

序号	设备名称	设备主要技术参数				数量/台	备注
		$Q/(m^3/h)$	p_1/Pa	p/Pa	P/kW		
1	柜式空调器 1	27 755	328		7.5	2	变频
2	柜式空调器 2	27 450	250		7.5	2	变频
3	排风机	50 762		390	11.0	2	变频
4	新风空调器	11 200		306	4.0	1	变频
5	排烟风机	61 620		690	22.0	2	



注:尺寸单位 mm

图 6 站厅层公共区外挂空调机房布置示意图

2) 全空气空调系统空调季节的运行设备包括 2 台组合式空调机组、2 台回排风机和 2 台小新风机,运行设备功率共计 68.2 kW。

3) 全空气空调系统非空调季节的运行设备包括运行 2 台回排风机,运行设备功率共计 22.0 kW。

4) 分散式系统空调季节的运行设备包括 4 台柜式空调机组和 1 台新风柜机,运行设备功率共计 34.0 kW。

5) 分散式系统非空调季节的运行设备包括 2 台机械排风机,运行设备功率共计 22.0 kW。

3.3.3 设备的投资费用及运行费用对比

依据设备选型情况,全空气空调系统、分散式空调系统的设备投资情况分别如表 3、表 4 所示。由表 3~4 可知,全空气空调系统方案的投资合计为 56.70 万元,分散式空调系统方案的投资合计为 45.01 万元。

表 3 全空气空调系统方案的投资情况

设备名称	单价/万元	数量/台	总价/万元
组合式空调器	20.70	2	41.40
小新风机	0.39	2	0.77
回排风机	5.09	2	10.20
排烟风机 1	2.20	1	2.20
排烟风机 2	2.13	1	2.13

表 4 分散式空调系统的投资情况

设备名称	单价/万元	数量/台	总价/万元
柜式空调器 1	6.38	2	12.76
柜式空调器 2	6.31	2	12.62
新风柜机	2.58	1	2.58
排风机	6.39	2	12.78
排烟风机	2.13	2	4.27

全空气空调系统、分散式空调系统的设备运行

费用分别如表 5、表 6 所示。由表 5 可知,全空气空调系统方案设备配置的总功率约为 90.2 kW,全年的总耗电量为 259 800 kWh,则全年运行费用为 17.15 万元;由表 6 可知,分散式空调系统下设备配置的总功率约为 56.0 kW,全年的总耗电量为 161 300 kWh,则全年运行费用为 10.65 万元。

表 5 全空气空调系统的运行费用情况				
季节	设备名称	设备功率/kW	全年运行累计数/(台·d)	全年耗电量/(kWh)
空调季节	组合式空调	44.0	2 880	126 720
	小新风机	2.2	2 880	6 338
	回排风机	22.0	2 880	63 360
非空调季节	回排风机	22.0	2 880	63 360

表 6 分散式空调系统的运行费用情况				
季节	设备名称	设备功率/kW	全年运行累计数/(台·d)	全年耗电量/(kWh)
空调季节	柜式空调	30.0	2 880	86 400
	新风柜机	4.0	2 880	11 520
非空调季节	排风机	22.0	2 880	63 360

全空气空调系统方案与分散式空调方案的对比说明如下:

1) 分散式空调系统方案的通风空调设备占用机房的总面积略有增加。这是因为设备分散布置后大系统和小系统无法共享检修和维护空间。但是,分散式空调系统方案因不需设置 7~8 m 长的组合式空调机组和 2 m 宽的混风室,可有效缩短车站主体结构的长度,其缩短幅度跟车站土建的具体布置方案密切相关。本文的方案比较并未将此影响因素计入。

2) 全空气空调系统方案的设备配置总功率约为 90.2 kW,分散式空调系统的设备配置总功率约为 56.0 kW。本文的方案比较未将因分散式空调系统设备配置总功率下降对配电系统的影响因素计入。

3) 在空调季节,分散式空调系统开启设备的总功率约为全空气空调系统开启设备总功率的 50%。运行设备功率的下降幅度,决定了其节能的潜力。经初步计算,采用分散式空调系统后,标准车站每年可节约用电 98 500 kWh。由此,按本地电价水

平,标准车站每年节约运行费用 6.5 万元/站。

4) 在通风季节,分散式空调系统的开启设备总功率与全空气空调系统的开启设备总功率相当。然而,在目前采用全空气空调系统的车站中,通风季节采用双风机运行的车站不在少数,也有仅运行组合式空调机组的情况。相比而言,分散式空调系统在通风季节的设备运行数量较少,设备的运行与控制相对也较为简单。

5) 本次的方案比较未考虑不同空调系统变频运行的情况。就变频运行策略和效果而言,分散式空调系统要相对简单,更易于实现。

4 结语

1) 分散式空调系统每年每站将节约 6.5 万元的电费。经初步核算,长沙轨道交通 6 号线全线共计 34 个地下车站,则每年预计可节约电费达 221 万元。因此,与全空气空调系统相比,分散式空调系统设备投资相对节省、土建投资相当、运行费用相对节省,实现了节能减排。

2) 分散式空调系统作为城市轨道交通工程车站公共区空调系统的应用创新,可大幅降低车站风系统输配能耗,减少管道占用设备区的空间,设备区走道、机房内的管线综合布置难度也随之降低。从减小风机电耗,满足末端调控角度看,采用分散式空调系统是有效可行的技术方案。

3) 分散式空调系统对于大型换乘枢纽站、带配线物业开发的车站,以及部分土建条件严重受限的车站而言,具有极高的灵活性和适用性。

4) 分散式空调系统目前已在长沙市轨道交通 6 号线及后续新线中得到了全面的推广应用。这些线路目前还尚未开通运营,后续将根据其运营使用情况对系统方案进行改进和完善,以期为类似的城市轨道交通工程项目提供参考。

参考文献

[1] 朱建章,孙兆军. 地铁通风空调系统新观点[J]. 暖通空调, 2015(7):1.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 公共建筑节能设计标准: GB 50189—2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2015:26.

(收稿日期:2021-01-04)