

文章编号: 1671-6612 (2021) 01-101-05

兰州某地铁站 蒸发冷却通风降温系统测试与应用研究

吴磊¹ 黄翔¹ 金洋帆¹ 常健佩¹ 刘振宇¹ 李朝阳¹

乔小博² 邓保顺² 李德辉² 侯卫华² 王志涛² 牛永胜²

(1. 西安工程大学 西安 710048; 2. 铁第一勘察设计院集团有限公司 西安 710048)

【摘要】 介绍了兰州某地铁站蒸发冷却通风降温系统, 通过对该系统中机组进出风温度、站厅站台公共区环境温湿度、空气品质的实际测试, 分析出该系统在实际运行过程中的情况。同时, 对该系统中现存的一些问题, 进行了分析说明, 并提出了后期的优化改进措施。最终的测试结果表明, 该蒸发冷却通风降温系统的运行情况较好, 车站内公共区的降温效果良好, 为以后蒸发冷却技术在轨道交通上的应用提供借鉴。

【关键词】 城市轨道交通; 蒸发冷却; 站厅站台公共区; 空气品质

中图分类号 TU831.6 文献标识码 A

Test and Application of Evaporative Cooling Ventilation Cooling System in a Subway Station in Lanzhou in a Metro Station

Wu Lei¹ Huang Xiang¹ Jin Yangfan¹ Chang Jianpei¹ Liu Zhenyu¹ Li Zhaoyang¹
Qiao Xiaobo² Deng Baoshun² Li Dehui² Hou Weihua² Wang Zhitao² Niu Yongsheng²

(1. Xi'an Polytechnic University, Xi'an, 710048;

2. China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd, Xi'an, 710048)

【Abstract】 This paper introduces the evaporative cooling ventilation and cooling system of a subway station in Lanzhou. Through the actual test of the air temperature in and out of the unit, the ambient temperature and humidity in the public area of the station hall and platform, and the air quality in the system, the actual operation of the system is analyzed. At the same time, some existing problems in the system are analyzed and explained, and the optimization and improvement measures in the later stage are put forward. The final test results show that the operation of the evaporative cooling ventilation cooling system is good, and the cooling effect of the public area in the station is good, which meets the design requirements, and provides reference for the later application of evaporative cooling technology in rail transit.

【Keywords】 urban rail transit; evaporative cooling; Public area of station hall and platform; Air quality

基金项目: 兰州地铁1号线直接蒸发冷却通风降温系统运行实测研究(编号: 19-53-01)

作者简介: 吴磊(1994.6-), 男, 在读研究生, E-mail: 635944561@qq.com

通讯作者: 黄翔(1962.7-), 男, 教授, E-mail: huangx@xpu.edu.cn

收稿日期: 2020-09-03

0 引言

随着社会经济的快速发展, 化石燃料大量不充

分燃烧, 环境的问题日益严重, 冰川融化, 海平面上升, 以及造成含硫含氮氧化物的大量排放形成酸

雨，雾霾问题等严重破坏大自然中建筑物结构以及动植物的生存。能源危机和环保压力日益加大，人类的生存面临极大的威胁，我们有责任从现在做起，从身边做起，减少这些污染物的排放，还一个可持续发展的地球。现如今，节能减排的号角已经吹响，各行各业已经将节能减排提上日程，努力的在利用一些清洁的能源来满足自己在生产过程的需求。在交通行业中，全国各大城市大力兴建轨道交通，以快速、便捷、不堵车等优点成为人们出行的首要选择^[1,2]。减少了人们采用小轿车的出行方式，降低了碳排放量，缓解了城市道路的交通压力，提高了人民的出行满意度，使得人民的出行效率、工作效率的提高，加快了社会的发展^[3]。据官方统计，截止 2019 年底，我国（不含港澳台）共有 40 个城市开通城市轨道交通运营线路 208 条，运营线路总长 6736.2 公里^[4]。地铁站不同于一般的建筑，它存在于地下，属于地下空间。这也就造成了在地铁运营的过程中，列车、设备、人员将产生大量的热湿负荷，难以消除。而用传统的机械制冷来消除站内的热湿负荷，其能耗高，并且氟利昂的泄漏还会污染环境，这时就需要一个节能环保的空调来代替传统机械制冷消除站内的余热余湿。而在我国广大西北干燥地区，大自然中存在着丰富的干空气能，利用可再生的干空气能来对地铁站进行通风降温已成为节能减排的关键^[5]。并且，蒸发冷却技术在我国西北干燥区的应用，已经有了多年的研究，其作为

低碳、节能、经济、健康的绿色空调技术，将在轨道交通中扮演着重要的角色^[6,7]。

本文通过对甘肃兰州某地铁站蒸发冷却通风降温系统在运行期间的相关测试与分析，探讨直接蒸发冷却技术在兰州地区地铁站中的应用效果，为系统后期的优化以及为西北地区其他城市轨道交通建设提供一定的借鉴。

1 工程概述

1.1 工程概况

该地铁站位于甘肃兰州，车站采用岛式双柱三跨箱型框架结构，共两层，全部为地下建筑，地下一层为站厅公共区和车站设备管理用房区，地下二层站台公共区。车站远期高峰客流量为 9000 人/h，车站总长 220.4m，标准段内径宽度为 17.3m，总高 19.49m，结构底板埋深 22.654m，顶板覆土 3.164m，有效站台长度 140m，站台宽度 12.5m，总建筑面积 24526.00m²。车站共设置 4 个出入口及 2 组风亭；A、B 号出入口位于规划道路北侧，C、D 号出入口位于规划道路南侧，组风亭均位于车站北 侧。^[8]

本次测试的蒸发冷却通风降温系统位于地下一层站厅公共区和地下二层站台公共区，该系统由位于车站两端土建风道中的直接蒸发冷却空调机组提供冷量，通过送风机、送风管的输送，到达站厅站台公共区，消除站厅站台公共区的热湿负荷。该系统在站厅站台公共区的位置如图 1、图 2 所示。

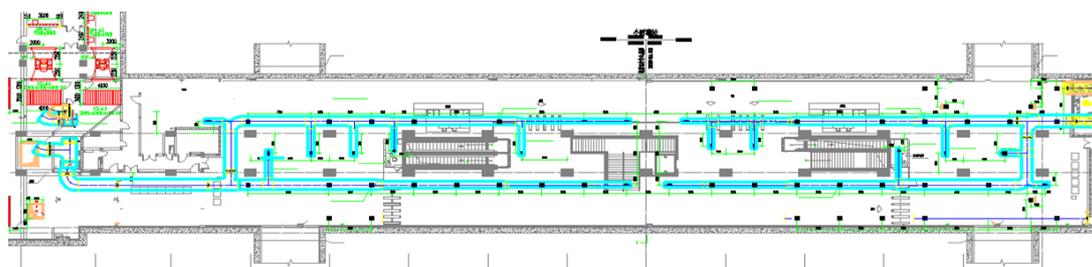


图 1 站厅公共区系统平面图

Fig.1 Station hall public area system plan



图 2 站台公共区系统平面图

Fig.2 Platform public area system plan

该系统采用少送多排的运行方式有效的解决了站内湿度大的问题。

1.2 设计参数

该蒸发冷却通风降温系统设计站厅公共区空气干球温度 29℃, 站台公共区空气干球温度 28℃, 相对湿度为 50%~70%。

2 蒸发冷却通风降温系统的工作原理及特点

2.1 蒸发冷却通风降温系统的工作原理

该蒸发冷却通风降温系统采用直接蒸发冷却空调机组产出的空气, 在送风机的作用下, 通过风管的输送, 到达被调节的区域, 消除该区域的余热余湿。而此空气通过风管的输送时会有一定的温升, 使得送风状态点 O 点的空气干球温度高于机组出风 L 点的空气干球温度。空气处理过程如图 3 所示。

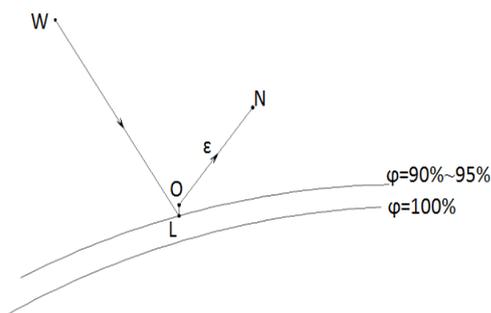


图 3 空气处理过程焓湿图

Fig.3 Enthalpy-Wet diagram of Air treatment process

2.2 蒸发冷却通风降温系统的特点

(1) 站内空气含尘量低。

空气中的可吸入固体颗粒经过蒸发冷却机组填料时, 被水膜阻留下来, 达到降尘的效果, 使得送入站内的空气固体颗粒物含量较低。

(2) 站内空气氧气含量高。

由于此蒸发冷却通风降温系统采用的是全新风模式, 所以, 站内空间有充足的氧气。

(3) 站内空气二氧化碳含量低。

在站内的工作人员以及乘客, 会产生大量的二氧化碳, 通过此系统, 可将二氧化碳排至站外。

3 蒸发冷却通风降温系统的运行测试与分析

3.1 蒸发冷却通风降温系统的运行模式

在不同的时间条件下, 蒸发冷却通风降温系统具有不同的运行模式^[9]:

(1) 当早高峰前 (5:30~7:30)、晚高峰后 (20:30~23:30) 时, 系统中直接蒸发冷却机组干工况运行 (循环水泵关闭, 送风机开启);

(2) 当早高峰 (7:30~9:30)、晚高峰 (16:30~20:30) 时, 系统中直接蒸发冷却机组湿工况运行 (循环水泵开启, 送风机全速运行);

(3) 当平峰 (9:30~16:30) 时, 系统中直接蒸发冷却机组湿工况运行 (循环水泵开启, 送风机变频运行)。

3.2 测试方法及内容

3.2.1 直接蒸发冷却机组进、出风温湿度的测量

采用 testo 温湿度自计仪测试机组进、出风截面不同位置的温湿度值。将机组进、出风截面平均分为 9 个等面积的小矩形, 在各小矩形中心布置温湿度测点来进行测量, 最后取其平均值。机组进、出风截面的测点布置如图 4 所示, 机组进、出风平均温度按下式进行计算^[10]:

$$\bar{T}_a = \frac{T_{a1} + T_{a2} + \dots + T_{an}}{n} \quad (1)$$

式中: \bar{T}_a 为机组平均进风温度, °C; T_{a1} 为第一个记录机组温度数据, °C; T_{an} 为第 n 个记录机组温度数据, °C; n 为记录机组温度数据的数量。

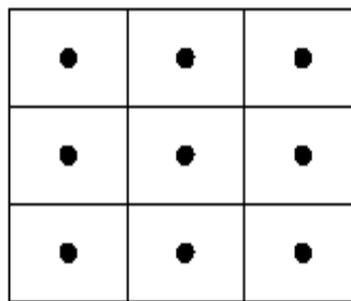


图 4 机组进、出风截面测点布置图

Fig.4 Layout of measuring points for intake section of generating units

3.2.2 站厅站台公共区环境温湿度的测量

在站厅站台公共区的人流密集区和人流非密集区各选取两个测点位置, 如表 1 所示。分别采用 testo 温湿度自记仪, 将其用尼龙绳挂在天花板上的粘贴挂钩上, 竖向每隔 0.5m, 布置一个测点, 使其最低的一个测点落在距站厅站台地面 1.5m 处 (人体热感区) 区域。

表 1 站厅站台公共区测点位置情况

Table 1 Location of measuring points in public area of

station hall and platform			
站厅公共区		站台公共区	
人流密集区	人流非密集区	人流密集区	人流非密集区
ZTC3	ZTL4	TC2	TL4
ZTC7	ZTL7	TC7	TL5

3.2.3 站厅站台公共区空气品质的测量

在站厅站台公共区的人流密集区和人流非密集区各选取两个测点位置，如表 1 所示。分别用尼龙绳将空气质量检测仪、CO₂ 检测仪，挂在天花板上的粘贴挂钩上，使其位置在距站厅站台地面 1.7m 处（人活动区域）区域。

3.3 测试结果分析

3.3.1 机组进、出风温度测试结果分析

从图 5 中可以得出，机组进风的干球温度随着时间的推移逐渐升高，由最初的 22.4℃ 逐渐上升为 30.9℃，变化较为明显。而进风湿球温度由最初的 15.7℃ 逐渐下降为 14.7℃，变化不大。干湿球温度差由最初的 6.7℃ 逐渐增大到 16.2℃，而机组的出风干球温度由 18.6℃ 降低为 15.3℃，说明随着进风干湿球温度差的增大，蒸发冷却的效果越好。同时，从图中可以看出在机组进风干球温度 30.9℃ 的情况下，机组出风干球温度能达到 15.3℃，温降 15.6℃，降温非常明显。这也保证了在站外温度高的情况下，直接蒸发冷却机组可以给站厅站台公共区提供充足的冷量，保证站内温度不随站外空气温度的升高而升高，满足站内人员和设备的需求。

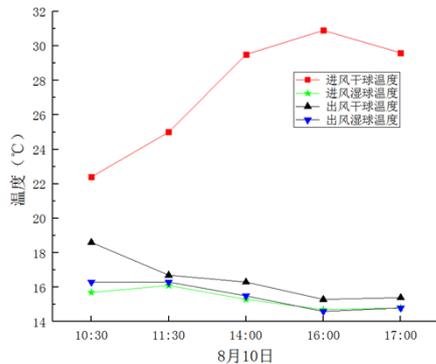


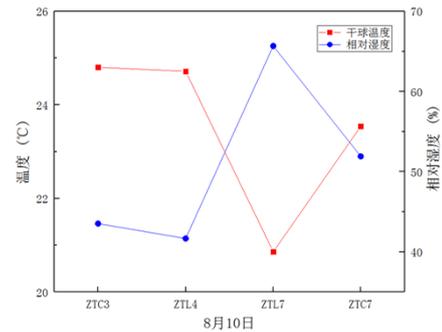
图 5 机组进、出风温度随时间变化曲线

Fig.5 Temperature curve of inlet and outlet air of unit with time

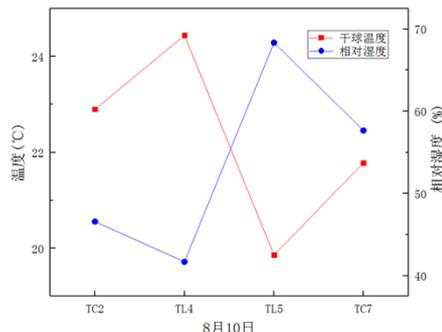
3.3.2 站厅站台公共区环境温湿度测量结果分析

如图 6 所示，站厅公共区的平均温度保持在 23.48℃，相对湿度保持在 50.70%；站台公共区的平均温度保持在 22.25℃，相对湿度保持在

53.57%，站厅公共区环境温度比站台公共区高 1℃ 左右，两者的相对湿度相差不大。站厅公共区人流非密集区 ZTL7 测点位置的温度远低于其他几个测点位置的温度，在实际测试过程中该区域几乎没有乘客经过，没有人员负荷，所以造成了局部温度过低。站台公共区人流非密集区 TL5 测点位置的温度远低于其他几个测点位置的温度，在实际测试过程中该区域距离扶梯口较远，没有乘客到此区域排队候车，因此没有人员负荷，所以造成了局部温度过低。总体的测试结果表明站厅站台公共区的环境温度均低于设计值，相对湿度在设计范围内，满足设计要求。



(a) 站厅公共区



(b) 站台公共区

图 6 站厅站台公共区环境温湿度曲线

Fig.6 Environmental temperature and humidity curve of public area of station hall and platform

3.3.3 站厅站台公共区空气品质的测量结果分析

如图 7 所示，站厅公共区平均 PM_{2.5} 含量为 44.75μg/m³，CO₂ 含量为 651.75ppm，站台公共区平均 PM_{2.5} 含量为 51.75μg/m³，CO₂ 含量为 615ppm，站台公共区的 PM_{2.5} 含量比站厅公共区高，这是因为地铁站采用的是安全门系统，在门的顶部有一排百叶风口与轨行区相连，在列车进站的过程中，在活塞风的作用下，轨行区一部分风通过轨顶风道排至站外，而另一部分空气将轨行区的尘土通过百

叶风口送入站台公共区, 造成 $PM_{2.5}$ 含量过高。而站台公共区的 CO_2 含量比站厅公共区低, 这是因为在列车驶离车站的时候, 在活塞风的作用下, 会将站台公共区的空气通过百叶风口吸入轨行区, 进而排出至站外。站厅公共区 ZTC3 测点位置的 CO_2 含量较低的原因是选择该入口处进站的乘客数量较少, 而站台公共区 TC7 测点位置的 CO_2 含量较高, 这是由于乘客在下了扶梯后, 就近选择了该区域停留, 等候列车的到来。

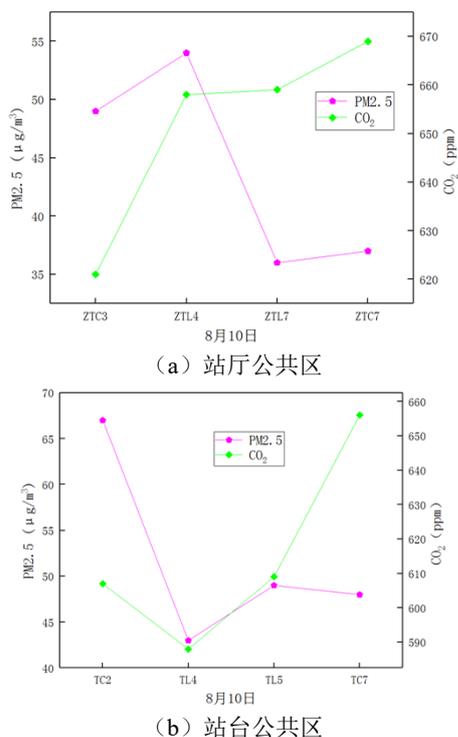


图 7 站厅站台公共区空气品质曲线

Fig.7 Air quality curve of public area of station hall and platform

4 存在问题及解决措施

(1) 根据测试结果显示, 站厅站台公共区的环境温度、湿度都能满足设计标准。但存在局部温度过低情况, 建议给人员停留较少的非公共区减少送风量, 可以将此区域的送风口减小或在此风口加装电动风阀, 以调节送风量的大小, 进而来控制该区域的环境温度。

(2) 在测试现场发现站厅站台公共区的百叶风口在送风量较大的情况下, 产生振动, 噪音大, 易给乘客造成心理恐慌。对此, 可将百叶风口的叶

片加厚或将百叶风口的叶片均分为四个, 缩短其长度, 以增强其坚挺度。

(3) 站台公共区人流密集区的空气品质相对较差。建议在刚下扶梯位置, 地面上做出明显的导流标识, 将乘客向车站中部区域进行引导, 以改善局部问题。

5 结论

(1) 根据实测结果显示, 该地铁站蒸发冷却通风降温系统中机组的制冷效果非常好, 降温效果明显, 产生的冷量可以满足该地铁站的冷负荷要求。

(2) 风量是冷量的携带者, 只有保证充足的送风量, 才能确保在站厅站台公共区的环境温度满足设计要求。

(3) 实测结果表明, 站厅站台公共区环境的 $PM_{2.5}$ 含量过高, 其原因是直接蒸发冷却机组将水进行了雾化送到站内公共区环境中, 并不是站外环境中的固体颗粒物导致 $PM_{2.5}$ 上升。

参考文献:

- [1] 李德辉. 蒸发冷却技术在地铁工程中的应用探讨[J]. 中国铁路, 2012, (5): 106-110.
- [2] 高源基. 直接蒸发冷却通风空调系统方案在兰州地铁的实验研究[J]. 制冷与空调, 2016, 30(3): 340-344.
- [3] 郑程升. 蒸发冷却技术在乌鲁木齐地铁的应用分析[J]. 制冷与空调, 2015, 15(8): 60-64, 38.
- [4] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 2019 年度统计和分析报告[EB/OL]. 2020.
- [5] 乔小博. 直接蒸发冷却通风降温在地铁高架地铁车站的应用[J]. 暖通标准设计, 2011, (9): 116-119.
- [6] 盛晓文. 干燥地区地铁用直接蒸发冷却机组关键技术研究[D]. 西安: 西安工程大学, 2014.
- [7] 盛晓文. 浅谈直接蒸发冷却空调在地铁的适用性[J]. 制冷技术, 2012, 32(4): 59-62.
- [8] 黄翔. 蒸发冷却空调原理与设备[M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
- [9] 刘超宇. 基于 AFC 系统数据的地铁客流分析及乘客出行特征研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2016.
- [10] 张学助等. 空调调试[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.