

地铁站分体式蒸发冷凝制冷系统

王 起 郑 奕

(北京市市政工程设计研究总院有限公司, 100082, 北京)

摘 要 [目的] 蒸发冷凝制冷系统具有节能、节水、节地及无需地面冷却塔装置等优点, 近年来蒸发冷凝制冷系统在地铁项目中的应用越来越多, 因此需对地铁站分体式蒸发冷凝制冷系统进行分析研究。[方法] 介绍了蒸发冷凝制冷系统及其制冷原理; 以北京某地铁车站为例, 结合其车站实际情况, 对蒸发冷凝制冷系统的适用性、选型设置、设备布置、系统能效等进行了分析; 分析了蒸发冷凝系统工程应用中常见的火灾工况、配管长度、水质处理、防水及防腐蚀等问题。[结果及结论] 相较于传统冷水式螺杆式机组制冷系统, 分体式蒸发冷凝制冷系统具有一定的节能优势。火灾工况时, 应保证风墙嵌装型蒸发冷凝装置的燃烧性能整体达到 A 级不燃, 并在嵌装位置采取有效的防火封堵措施。采取有效的水处理措施, 减少水垢凝结对蒸发冷凝制冷系统运行效率的影响。各机组间的配管长度应控制在合理范围, 以减少对蒸发冷凝制冷系统制冷量及能效比的影响。蒸发冷凝装置出风侧墙体及地面宜做防水处理。

关键词 地铁; 蒸发冷凝; 制冷系统

中图分类号 U270.383

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.02.041

Decentralized Split Evaporative Condensation Refrigeration System for Metro Stations

WANG Qi, ZHENG Yi

(Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., 100082, Beijing, China)

Abstract [Objective] Evaporative condensation refrigeration systems are characterized by energy efficiency, water conservation, space savings, not requiring ground cooling tower installations. The application of evaporative condensation refrigeration system in metro projects is increasing in recent years. Therefore, there is a need to analyze and study the split evaporative condensation refrigeration systems for metro stations. [Method] The above system and its refrigeration principles are introduced. Taking a metro station in Beijing as example and considering its actual conditions, the applicability, type selection and configuration, equipment layout, and system energy efficiency of the evaporative condensation refrigeration system are analyzed. Common issues in engineering application of evaporative condensation systems such as fire condition,

pipng length, water quality treatment, waterproofing and corrosion prevention are addressed. [Result & Conclusion] Compared to conventional chilled water screw unit refrigeration systems, the split evaporative condensation refrigeration system has certain energy-saving advantages. During fire conditions, it is essential to ensure that the combustion performance of the embedded evaporative condensation device in the wind wall reaches Class A non-combustibility level. Effective fire sealing measures should be implemented at the installation location. Adopting effective water treatment measures will reduce the impact of limescale condensation on the efficiency of the evaporative condensation refrigeration system. Piping lengths between units should be controlled within a reasonable range to minimize the impact on the refrigeration capacity and energy efficiency ratio of the system. Waterproofing treatment is recommended for the windward side walls and the ground around the evaporative condensation device.

Key words metro; evaporative condensation; refrigeration system

传统地铁站的制冷系统采用“水冷螺杆机组 + 冷却塔”组合形式, 地面冷却塔的設置与周围的城市景观显得格格不入, 同时还存在地面冷却塔噪声污染及漂水等问题。蒸发冷凝制冷系统以水和空气的混合物作为冷却介质, 利用冷却水蒸发时的汽化潜热带走系统冷凝换热盘管内制冷剂的凝结热, 其换热过程是一个传热传质过程, 具有更高的 COP (制冷系数)、焓效率及冷量利用率。此外, 蒸发冷凝制冷系统无需地面冷却塔, 可全地下设置, 减少了地面征地、占地, 以及对周围景观环境的影响。因此, 近年来蒸发冷凝制冷系统在地铁项目中获得了越来越多的应用。本文对蒸发冷凝制冷系统组成及其制冷原理进行了介绍, 并结合北京某地铁车站蒸发冷凝制冷系统的选型设置情况进行了能效分析, 对蒸发冷凝系统工程应用中的常见问题进行了研究。

1 蒸发冷凝制冷系统及制冷原理介绍

蒸发冷凝制冷系统通常分为整体式与分体式。分体式蒸发冷凝制冷系统是指蒸发冷凝装置、压缩机、直膨空调机组分体设置的系统,制冷剂采用氟利昂冷媒。直膨空调机组既是系统蒸发器,也是空调系统末端。除蒸发冷凝装置内设置冷却水泵外,不设置冷却塔、冷冻水泵等其他水系统设备。整体式蒸发冷凝制冷系统由整体式蒸发冷凝冷水机组、冷冻水泵、空调系统末端等设备组成。整体式蒸发冷凝冷水机组集蒸发冷凝装置、压缩机、蒸发器、冷却水泵于一体,也称为一体式蒸发冷凝冷水机组。整体式蒸发冷凝制冷系统以水为冷媒,当向车站供冷时仍需设置冷冻水泵。

在分体式蒸发冷凝制冷系统中,蒸发冷凝装置集成了冷却塔、冷却水泵及冷水机组冷凝器的功能,直膨式空调机组则集成了水管盘空调机组表冷器及冷水机组蒸发器的功能,其压缩机动力装置即为冷水机组压缩机。因此,分体式蒸发冷凝制冷系统中取消了冷却塔及冷冻水循环系统。从蒸发冷凝装置室外空气到空调末端室内空气,制冷量的传递只需经过1次循环(即1次冷媒制冷剂循环),以及制冷剂与空气的2次换热(即制冷剂先后分别与室内空气及室外空气进行换热)。

在整体式蒸发冷凝制冷系统中,一体式蒸发冷凝冷水机组集成了冷却塔、冷却水泵及冷水机组。空调系统末端采用水盘管空调机组,未设置冷却塔,但仍保留冷冻水循环系统及冷冻水泵。从一体式蒸发冷凝冷水机组室外空气到空调末端室内空气,制冷量的传递需要经过2次循环(1次冷媒制冷剂循环和1次冷冻水循环),以及3次换热(制冷剂与冷冻水的换热、室外空气的换热及室内空气与冷冻水的换热)。

相较于传统冷水式螺杆式机组制冷系统,分体式和整体式蒸发冷凝制冷系统极大地压缩了冷量及冷媒介质的传输过程。分体式与整体式蒸发冷凝制冷系统原理示意图如图1所示。

2 实际工程应用

2.1 车站概况

北京某地铁车站为地下四层侧式车站,呈“U”型南北布置,车站总建筑面积为14 852 m²。其中:

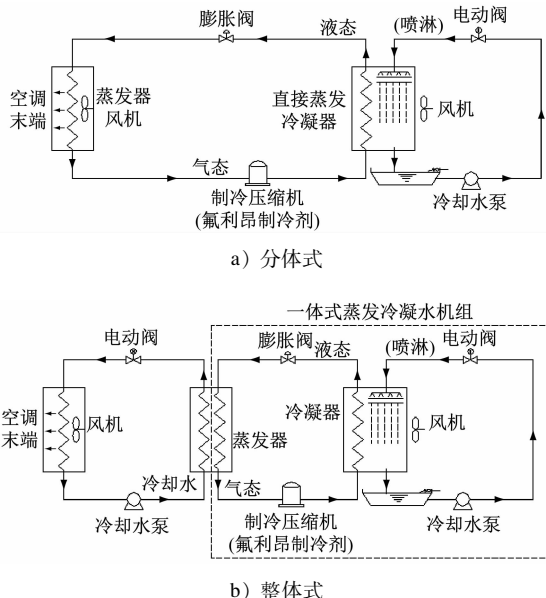


图1 分体式与整体式蒸发冷凝制冷系统原理示意图
Fig.1 Principle diagram of split and centralized evaporative condensation refrigeration systems

横向为车站主体(地下两层),包含车站站厅及站台层公共区;竖向为车站北侧外挂厅(地下四层),从上至下分别为下沉广场层、换乘站厅层、站厅层和站台层,竖向区域包含车站设备区及部分公共区。该车站位于城市核心区,与政府办公大楼及著名景点毗邻,为还原城市景观,车站顶部设置一体化下沉空间。车站的核心区位及地面景观需求限制了地面冷却塔等地面设备的设置,因此选定了蒸发冷凝制冷系统为车站提供冷源。

2.2 蒸发冷凝制冷系统适用性

蒸发冷凝装置的换热过程主要包括冷凝换热、盘管内制冷剂蒸汽与盘管外水膜的显热传递过程,以及盘管外水膜表面与空气之间水膜蒸发的潜热传热过程。这两种换热过程分别受室外空气干湿球及露点温度影响。

根据文献[1]针对全国31个省会城市的统计结果,全国各省会城市的地铁夏季晚高峰时刻、最高湿球温度及干球温度与蒸发冷凝系统常规冷凝温度之间存在较大的温差,可满足蒸发冷凝机组在地铁中的正常运行,适合采用蒸发冷凝制冷系统。

2.3 蒸发冷凝制冷系统类型选择

该车站设备区面积紧张,仅在车站站厅层北侧外挂厅设置一个环控机房,且环控机房下层为供电及通信等设备房间,无法设置地下冷水机房,因此无法采用需设置冷冻水循环系统的整体式蒸发冷

凝制冷系统,只能采用仅以氟利昂为冷媒的分体式蒸发冷凝制冷系统。

根据蒸发冷凝装置在车站风道内安装方式的

不同,分体式蒸发冷凝制冷系统可分为风道嵌装型、风墙嵌装型及风井嵌装型 3 种类型。3 种类型的分体式蒸发冷凝装置的优缺点如表 1 所示。

表 1 3 种类型分体式蒸发冷凝装置优缺点

Tab.1 Advantages and disadvantages of three types of split evaporative condensation refrigeration devices

类型	优点	缺点
风道嵌装型	可充分利用车站进行排风;利用已有排风道布置,不占用额外建筑面积	要求排风道具有一定的长度;要求蒸发冷凝装置具备可开启功能,且在车站消防排烟时应能保证 30 s 内开启到位
风墙嵌装型	不占用排风道面积,不影响车站消防排烟	蒸发冷凝装置需一直开启,并设置单独机房,需占用部分建筑面积,无法利用车站排风
风井嵌装型	可充分利用车站进行排风,不占用额外建筑面积	需占用井道空间,排风利用效率低,有阻碍人防门开启的可能性,且冷媒管道需穿越人防门

由于车站内排风道较短,排风道长度小于 20 m,且蒸发冷凝装置设置在排风井道内,通风利用率较低,故最终采用分体式风墙嵌装型蒸发冷凝制冷系统方案。风墙嵌装型蒸发冷凝装置设备示意图如图 2 所示。该蒸发冷凝装置由冷却风机、冷却水泵、冷凝盘管、防火阀及止回阀等组成。

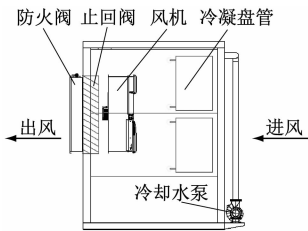


图 2 风墙嵌装型蒸发冷凝装置设备示意图

Fig.2 Diagram of wind wall embedded evaporative condensation device and equipment

2.4 设备布置

车站共设置 2 套蒸发冷凝制冷系统,系统编号分别为 ZFL-101 和 ZFL-201。ZFL-101 系统负责车站公共区通风空调系统(以下简称“大系统”)供冷,按大系统划分,配置 2 组直膨空调机组末端,空调季每天运行 18 h。ZFL-201 系统负责车站设备及管理用房通风空调系统(以下简称“小系统”)供冷,按小系统划分,配置 5 组直膨空调机组末端,空调季每天运行 24 h。蒸发冷凝制冷系统设备布置示意图如图 3 所示。风墙嵌装型蒸发冷凝装置嵌装于新排风道间隔墙,直膨空调机组及压缩机动力装置设置在邻近的环控机房内。

2.5 系统能效分析

根据各制冷系统分类及制冷量进行设备选型。蒸发冷凝制冷系统设备选型参数及系统能效比如表 2 所示。若该车站采用水冷螺杆式机组制冷系

统,其系统能效比为 3.77,而采用分体式蒸发冷凝制冷系统的系统能效比为 4.28,比前者高约 13.5%。由此可知,分体式蒸发冷凝制冷系统具有一定的节能优势。

3 工程应用中的常见问题

3.1 火灾工况问题

分体式蒸发冷凝系统的蒸发冷凝装置在车站新排风道间隔墙内嵌装,在客观上造成了防火墙功能的失效^[2]。正常工况时,蒸发冷凝装置从新风道吸风,向排风道排风。火灾工况时,为保证烟气不侵入新风道,影响排烟效果,应保证风墙嵌装型蒸发冷凝装置的燃烧性能整体达到 A 级不燃,并在嵌装位置采取有效的防火封堵措施。此外,还需在蒸发冷凝装置排风出口侧设置止回阀及 70℃防火阀,以保证设备出风侧的烟气不回流及火灾时 70℃防火阀的超温关断。在新风道引入口位置设置电动组合风阀,火灾时,关闭该组合风阀,进一步阻止烟气对新风道的侵入。该车站的蒸发冷凝制冷系统内所有设备均不参与火灾工况,不与车站 FAS(火灾报警系统)产生接口。正常工况时,车站 BAS(环境监控系统)对该设备只监视不控制;火灾工况时,蒸发冷凝制冷系统相关设备属非消防设备,自动断电停机。

3.2 水质处理问题

水质对蒸发冷凝装置的制冷效果有较大的影响。蒸发冷凝装置中的换热盘管集中布置,换热盘管管片间距狭小且难以拆卸更换,不易清洗。当水质不好时,容易使蒸发冷凝装置内的换热盘管产生和积累水垢、污垢及微生物,影响蒸发冷凝装置的换热效果,进而导致整个蒸发冷凝系统的制冷效率

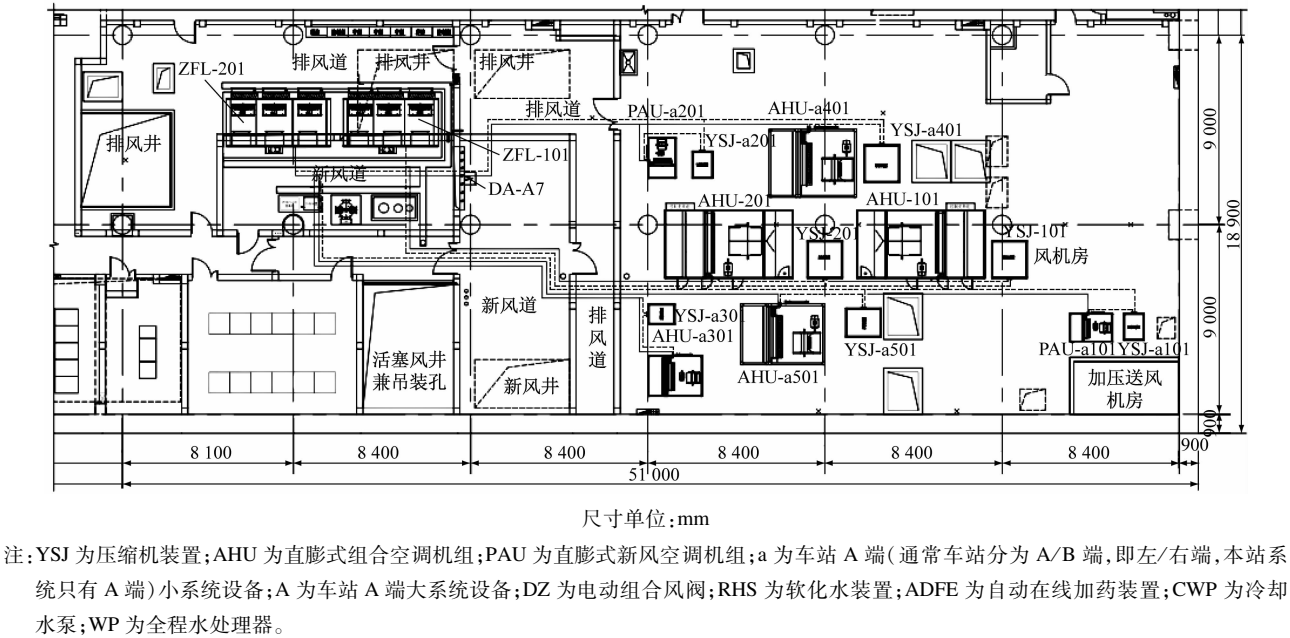


图 3 蒸发冷凝制冷系统设备布置示意图

Fig.3 Layout diagram of evaporative condensation refrigeration system equipment

表 2 蒸发冷凝制冷系统设备选型参数及系统能效比

Tab.2 Equipment selection parameters and system energy-efficiency ratio of evaporative condensation refrigeration systems

制冷系统	内嵌风机		内嵌水泵		总制冷量/kW	总耗电功率(不含空调机组)/kW	系统能效比	平均系统能效比	系统划分	直膨空调机组			压缩机 电功率/ kW
	数量/ 台	电功率/ kW	数量/ 台	电功率/ kW						设计风量/ (m ³ /h)	设计冷量/ kW	电功率/ kW	
ZFL-101	3	5.5	1	3	545	121.0	4.50	4.28	大系统 1	64 081	282.0	30.0	50.8
									大系统 2	58 400	263.0	30.0	50.8
									小系统 1	7 050	56.1	3.0	10.6
									小系统 2	5 450	45.0	2.2	10.4
ZFL-201	3	5.5	1	3	578	141.3	4.09	4.28	小系统 3	18 750	70.5	7.5	16.7
									小系统 4	47 560	255.3	18.5	50.6
									小系统 5	40 300	151.0	18.5	33.4

有所降低。此外,水流阻力增加,卫生环境恶化,也易对蒸发冷凝设备造成腐蚀^[3]。蒸发冷凝装置为开式系统,设置在地铁排风道内,空气环境较差、较复杂,从地铁排风系统中侵入水中的杂质较多,易造成水质不稳定。

北京地区自来水中的钙镁离子质量浓度较高,水质较硬,更易结垢。因此,为保障蒸发冷凝装置的良好运行,应采取相应措施,以降低水垢凝结并减缓设备腐蚀。可采取的主要措施有:

1) 采用新型蒸发冷凝换热器。相较于传统板管式换热器,新型蒸发冷凝换热器布水更均匀,换热效率更高,能够更有效地减少水垢。

- 2) 配置软化水设备,降低水质硬度,并提供软化后的冷却水系统补水。同时,配置全程水处理装置及自动加药装置。
- 3) 配置循环水在线吸垢器。循环水在线吸垢器可直接从水中不断吸取垢质及其他杂质,能够在使用过程中将循环水中的结垢成分同步去除。
- 4) 设置全自动排污控制装置。全自动排污控制装置可以根据水温、运行时间及水硬度,实现排污及补水的自动控制功能,进而降低水垢形成的概率。

冷却水水质标准根据 GB/T 29044—2012《采暖空调系统水质》中的蒸发式循环冷却水系统水质要

求执行。

3.3 配管长度问题

分体式蒸发冷凝制冷系统的制冷量及能效比受到机组连接配管长度的影响。多联式空调系统室内机和室外机的连接配管长度的增加将导致设备运行阻力的增加,制冷量和能效比的衰减^[4]。在空调系统制冷运行时,管长每增加 10 m,多联式空调机的制冷量下降 3.0% 左右、能效比下降 2.5% 左右。配管长度的增加同时还会导致多联式空调机系统内部的压力变化、制冷剂的沉积与闪发,影响系统安全与稳定运行^[5]。GB/T 27941—2011《多联式空调(热泵)机组应用设计与安装要求》对实际多联式空调机系统中室外机和室内机之间的最大允许连接管长提供了明确的计算方法。JGJ 174—2010《多联机空调系统工程技术规程》中明确规定系统冷媒管等效长度不宜超过 70 m。为减少不必要的能耗及投资成本,保证分体式蒸发冷凝制冷系统的高效运行,机组间的连接配管长度应参照多联式空调系统相关要求,将配管长度控制在 60 m 以内^[5]。本文所提车站各设备机组间的最大配管长度为 46 m,满足配管长度控制要求。

3.4 防水及防腐蚀问题

蒸发冷凝装置的出风侧断面风速通常为 3~5 m/s,易产生漂水现象,蒸发冷凝装置出风侧墙体及地面宜做防水处理。同时,经过蒸发冷凝装置淋水蒸发加湿、换热后排出的空气,其温度和湿度均较大,需考虑蒸发冷凝装置出风侧风道内管线及设备的防腐蚀措施^[6],或出风侧风道内不设置需检修、维修的设备及管线,并避免蒸发冷凝装置出风侧正对检修通道,影响检修人员通行。

4 结语

蒸发冷凝制冷系统具有节能、节水、节地及无需地面冷却塔装置等优点。蒸发冷凝制冷系统可分为整体式和分体式。分体式蒸发冷凝制冷系统又分为风道嵌装型、风墙嵌装型及风井嵌装型 3 种类型。以北京某地铁站为例,分析了分体式蒸发冷凝系统的选取及系统运行能效比。研究表明,相较于传统冷水式螺杆式机组制冷系统,分体式蒸发冷凝制冷系统具有一定的节能优势。同时,为保证蒸发冷凝制冷系统在地铁站内的良好高效运行,还需考虑以下几个方面:车站火灾工况时,蒸发冷

凝装置的设置及运行,减少设备对车站排烟模式的影响;采取有效的水处理措施,减少水垢凝结对蒸发冷凝制冷系统运行效率的影响;将系统内各机组间的配管长度控制在合理范围内,减少对蒸发冷凝制冷系统制冷量及能效比的影响。

参考文献

- [1] 苏晓青,黄翔,宋祥龙,等. 蒸发冷凝式冷水机组应用于地铁空调系统中的可行性分析[J]. 制冷与空调(四川), 2016, 30(2): 158.
SU Xiaqing, HUANG Xiang, SONG Xianglong, et al. Feasibility analysis of evaporation condensation water chillers used in the air-conditioning system in subway[J]. Refrigeration & Air Conditioning, 2016, 30(2): 158.
- [2] 辛振兴,石环球. 广东某地铁站应用蒸发冷凝直膨式空调系统的可行性分析[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(11): 105.
XIN Zhenxing, SHI Huanqiu. Feasibility analysis of application of evaporative condensation direct-expansion air-conditioning [J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(11): 105.
- [3] 黄翔. 蒸发冷却通风空调系统设计指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
HUANG Xiang. Design guide for evaporative ventilation and air conditioning system[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016.
- [4] 刘志胜,李子爱,石文星,等. 多联机性能随配管长度衰减特性研究[J]. 暖通空调, 2016, 46(7): 99.
LIU Zhisheng, LI Ziai, SHI Wenxing, et al. Performance attenuation of multi-split variable refrigerant flow units affected by length of refrigerant pipeline[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2016, 46(7): 99.
- [5] 石文星,邵双全,彦启森. 多联式空调(热泵)系统的作用域[J]. 制冷学报, 2007, 28(2): 8.
SHI Wenxing, SHAO Shuangquan, YAN Qisen. Effective region of multi-connected air-conditioner (heat pump) system[J]. Journal of Refrigeration, 2007, 28(2): 8.
- [6] 陈洋,朱祝龙,唐连波. 分体式蒸发冷凝机组在地铁中的应用分析[J]. 制冷与空调, 2020, 20(1): 92.
CHEN Yang, ZHU Zhulong, TANG Lianbo. Application analysis of split evaporative condensing unit in subway[J]. Refrigeration and Air-Conditioning, 2020, 20(1): 92.

· 收稿日期:2021-08-01 修回日期:2021-08-01 出版日期:2024-02-10
Received:2021-08-01 Revised:2021-08-01 Published:2024-02-10
· 通信作者:王起,工程师, xingl. uo@163. com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license