

文章编号: 1671-6612 (2023) 02-282-05

严寒地区地铁车站利用设备废热供暖研究

黄泽茂

(中铁第一勘察设计院集团有限公司 西安 710043)

【摘要】 位于严寒地区的地铁车站, 冬季时, 为了阻挡出入口渗透进入车站的冷空气, 需要设置电热风幕, 同时为避免引入车站的新风凝露, 也设置了新风预热装置, 耗费大量的电能, 且存在安全隐患。与此同时, 车站内弱电、供电设备用房产生的大量热量还需要利用机械通风系统将热量排除室外, 造成能量大量损失。针对地铁车站设备发热特点, 结合常规的冷源形式, 研究得出采用热回收型风冷热泵机组进行供暖和新风预热的方案, 具有系统简单、控制简便、节能效果好、经济效益显著的特点, 值得推广应用。

【关键词】 严寒地区; 地铁; 热回收型风冷热泵; 预热; 供暖

中图分类号 TU832 文献标识码 A

Study on the Utilization of Equipment Waste Heat for Heating in Subway Stations in Severe Cold Zone

Huang Zema

(China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Xi'an, 710043)

【Abstract】 For subway stations located in severe cold areas, in winter, in order to prevent the cold air from seeping into the station at the entrance and exit, electric hot air curtains need to be set up. At the same time, in order to avoid the condensation of fresh air introduced into the station, fresh air preheating devices are also set up, which consume a lot of electric energy and have potential safety hazards. At the same time, a large amount of heat generated by the weak current and power supply equipment room in the station also needs to use the mechanical ventilation system to remove the heat outside, resulting in a large amount of energy loss. According to the heating characteristics of subway station equipment, combined with conventional cold source forms, this paper studies and obtains the scheme of using heat recovery type air-cooled heat pump units for heating and fresh air preheating, which has the characteristics of simple system, simple control, good energy saving effect, and significant economic benefits, and is worth promoting.

【Keywords】 severe cold zone; subway; heat recovery air-cooled heat pump unit; radiant floor; preheating; Heating

0 研究背景

随着城市的发展, 城市交通问题日益, 地铁具有节能、省地、运量大、全天候、绿色环保无污染、安全等特点, 近年来得到了快速的发展。最冷月平均气温低于 -10°C 的地区被称为严寒地区, 国内严寒地区已经运营地铁的城市有哈尔滨、长春、沈阳等城市, 在建地铁的城市有乌鲁木齐、呼和浩特等^[1]。对于严寒地区的地铁通风空调系统, 冬季地铁

内的温度控制以及系统节能是需要特别关注的问题。

地铁车站按功能分区分为乘客乘车区域(通常称作公共区)以及为满足地铁运营服务的设备管理用房区域(通常称作设备区)。目前严寒地区已建成运营的地铁, 如哈尔滨地铁、沈阳地铁、长春地铁等, 冬季时均关闭活寒风井, 采用闭式运行的模式, 在出入口通道口部设置防寒电动门和电热风

作者(通讯作者)简介: 黄泽茂(1981.04-), 男, 本科, E-mail: 34629460@qq.com

收稿日期: 2022-11-22

幕，阻挡室外冷风进入，只补充满足人员卫生需求的最小风量新风，由于室外新风温度很低，不经处理直接送至室内，会引起地铁内部温度场的剧烈变化，影响地铁内部的舒适度，很难满足《地铁设计规范》^[2]GB 50157-2013 中冬季温度不低于 12℃ 的要求，并且可能产生送风结露的问题，一般设置电加热装置对新风进行预热。对于有工作人员办公的管理用房，为了满足工作人员的舒适和健康需求，需要设置供暖系统，通常采用电暖气加独立新风的系统形式，同时新风也需要设置电加热装置进行预热。由于电加热装置需长时间运行，能耗很大，且存在一定安全风险。

而另一方面，地铁车站内为满足列车运营设置了大量的弱电和供电设备，这些设备常年向外散热，冬季时还必须开启功率较大的通风机，将热量排除站外。一般每站设备的发热量约 200~300kW，发热量非常可观，如能有效的把这些热量利用起来，作为车站的新风预热、出入口通道内热空气幕、人员管理用房供暖系统的供暖热源，这样既可以减少供暖直接电加热引起的能耗，又可以减少风机开启所需的能耗，对于地铁工程节能降耗意义重大。

本文以严寒地区某典型地下车站为对象，对回收设备用房废热作为供热和新风预热热源的方案进行研究。

1 工程概况

该站为明挖地下两层岛式车站，站台宽为 11m，主体长 203m，标准段宽度 19.7m，有效站台长度 118m。站厅层公共区面积 1594m²，站台层公共区面积 1097m²，车站总建筑面积 12455m²。本站设置牵引降压混合变电所，信号系统为非集中站。

公共区室外通风空调计算参数为：夏季通风室外计算温度为 22.3℃；冬季通风室外计算温度为 -12.2℃。

设备管理用房室外通风空调计算参数为：夏季空调室外计算干球温度为 30.6℃、湿球温度为 21℃；夏季通风室外计算温度为 26.5℃；冬季采暖室外计算温度为 -17.0℃。

2 原车站通风空调系统设计方案概述

2.1 车站公共区通风系统

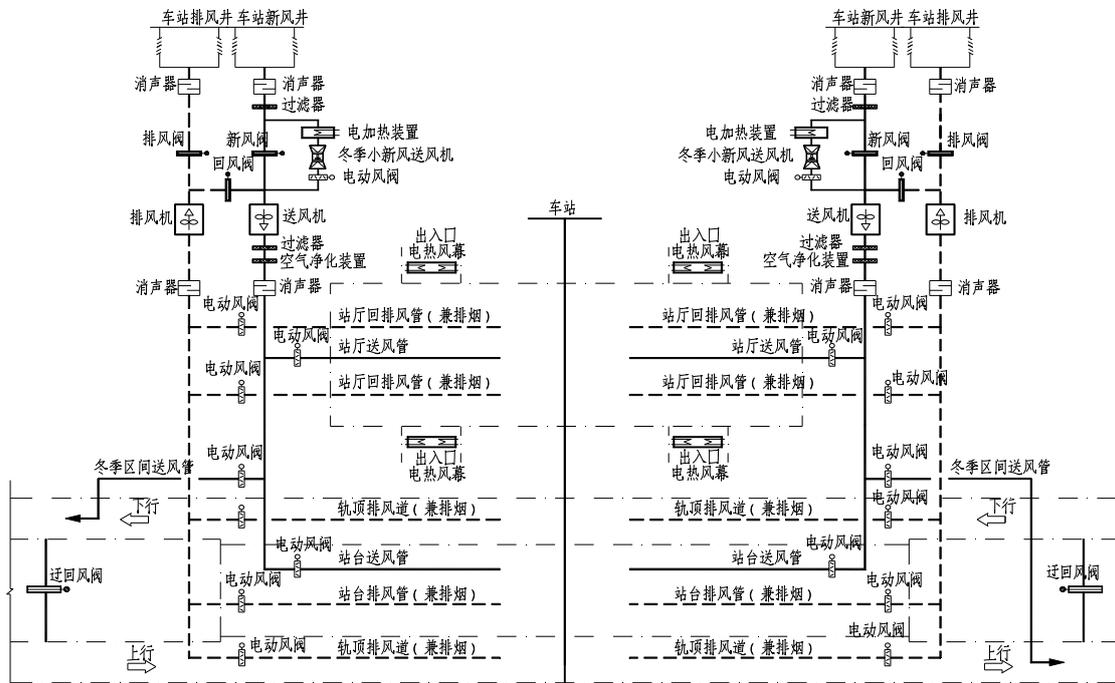


图 1 车站公共区通风系统原理图（原设计方案）

Fig.1 Schematic diagram of ventilation system in public area of station (original design scheme)

车站公共区通风系统原方案采用全空气直流通风系统，车站通风系统兼作排烟系统。车站两端

各设置一条送风道和一条排风道，每端送风道内依次布置对外土建风道消声器、粗效过滤器、送风阀、

送风机、粗效过滤器、静电杀菌净化装置、对内土建风道消声器，同时，在送风机前布置一台冬季小新风机；每端排风道内布置对外土建风道消声器、排风阀和排风机（兼做车站公共区排烟风机）、对内土建风道消声器。每端系统设备各负担半个车站公共区的通风系统所需风量。送、排风机均为变频运行，以满足不同风量下的运营需要。冬季采用小新风机模式运行，排风机兼作回风机，抽吸隧道内温度较高的空气与室外新风混合后，再经过送风机送入车站，满足人员新风与室内环境温度需求。同时在出入口通道内设置电热风幕，在活塞风道内，人防门内侧设置电动防寒卷帘，减少室外冷空气对车站及区间环境温度的影响。其原理图如图1所示。

2.2 车站设备管理用房通风空调系统

车站设备管理用房通风空调系统中，设置有4个空调系统，A端3个，B端1个。其中K-a1系统服务于A端管理用房，K-a2系统服务于A端弱电设备用房，K-a3系统服务于A端供电设备用房，K-b1系统服务于B端电气设备用房，均采用全空气双风机一次回风系统。

车站控制室、会议室、站长室等有人员办公的管理用房设置电暖气。

2.3 车站空调水系统

车站空调冷源采用风冷热泵机组供给，分别设置对应的冷冻水循环泵及定压补水装置。空调水系统采用一次泵末端变流量系统，在总供、回水干管上设置压差旁通阀，末端设备回水管上设置电动二通调节阀。

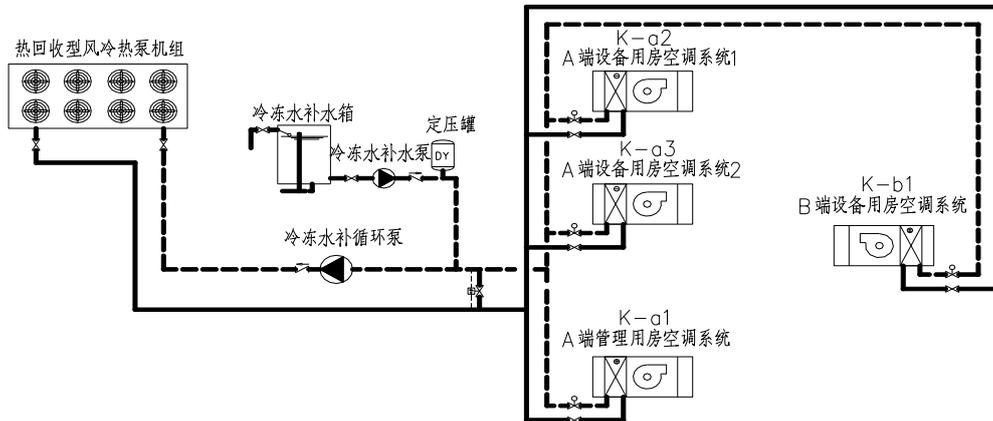


图2 车站空调水系统原理图（原设计方案）

Fig.2 Schematic diagram of station air conditioning water system (original design scheme)

3 供暖及新风预热负荷需求分析

供暖负荷主要包括管理用房的空调机组供热

负荷、公共区通风系统最小新风预热、出入口热风幕供热负荷组成。各部分主要热负荷表1所示。

表1 供暖热负荷需求分析表

Table 1 Analysis of heating load demand

| 位置 | 制热量 kW | 备注 |
|------------------|--------|--|
| 管理用房空调机组 | 13.5 | 风量 8000 m ³ /h，最小新风量 1410 m ³ /h |
| A、B 端公共区最小新风预热负荷 | 118 | 室外新风温度为-12.2℃，预热后温度为 12℃，风量为 14616 m ³ /h |
| 出入口风幕 | 140 | 四个出入口，每个出入口 2 台热风幕，每台加热量为 35 kW |
| 合计 | 271.5 | |

4 设备用房余热量分析

地铁车站内为满足列车运营设置了大量的弱电和供电设备，这些设备常年向外散热，冬季时还

必须开启功率较大的通风机，将热量排除站外。表2列出了本站主要设备用房的发热量。

表 2 主要设备用房发热量统计表

Table 2 Calorific value of main equipment rooms

| 序号 | 房间名称 | 风量 m ³ /h | 设备发热量 kW | 系统编号 |
|----|--------------|----------------------|----------|------|
| 1 | 照明配电室 (厅) | 1465 | 5.9 | |
| 2 | 民用通信设备室 | 6477 | 26.4 | |
| 3 | 通信设备室 | 5541 | 22.2 | |
| 4 | 公安通信设备室 | 2223 | 8.9 | |
| 5 | AFC 设备室 | 1418 | 5.7 | |
| 6 | 综合监控设备室 | 2439 | 9.8 | |
| 7 | UPS 电源室 | 5344 | 21.4 | K-a2 |
| 8 | 信号设备室 | 6495 | 26 | |
| 9 | 变电所控制室 | 965 | 2.7 | |
| 10 | 通风空调电控室 | 4725 | 18.9 | |
| 11 | 站台门控制室 | 1452 | 5.8 | |
| 12 | 照明配电室 (台) | 1392 | 5.6 | |
| 13 | 1500 KV 开关柜室 | 5649 | 29.9 | |
| 14 | 0.4 KV 开关柜室 | 10211 | 53.5 | |
| 15 | 再生制动变压器室 | 2413 | 12.8 | |
| 16 | 再生能动室 | 3009 | 15.9 | K-a3 |
| 17 | 整流变压器室 1 | 7102 | 37 | |
| 18 | 整流变压器室 2 | 7114 | 37.1 | |
| 19 | 通风空调电控室 | 3221 | 11.2 | |
| 20 | 照明配电室 (厅) | 1247 | 5.8 | K-b1 |
| 21 | 照明配电室 (台) | 837 | 5.7 | |
| | 合计 | | 368.2 | |

从表 1 和表 2 中的数据可以看出, 供暖所需热负荷为 271.5kW, 而设备总发热量为 368.2kW, 设备发热量是供暖所需热负荷的 1.35 倍。但表 2 中的发热量为各设备厂家提供, 用来计算空调冷负荷, 通常设备厂家会考虑一定安全裕量, 实际运行时设备发热量会低于表 2 中的数据。当采用热泵机组进行热回收时, 制热量=制冷量+机组输入功率, 因此设备发热量能满足供暖需求。

5 热回收供暖方案研究

目前地铁余热回收方面的研究从利用余热的部位来分, 主要是针对隧道内的余热的利用。从利用热量的方式来分, 有直接利用和热泵升温两个方向。直接利用是将携带余热的地铁排风直接引至用能区域, 但考虑到设备用房的发热量主要通过机柜

的排热孔或排热风扇向房间内散发, 且排风温度低, 此方法所需风管尺寸大, 潜在用能范围窄。因此热泵升温的方法是较为容易实现的方法^[3]。另外设备用房的余热利用, 需要结合夏季空调用冷的方式综合考虑, 得出最优的方案。

5.1 热回收型风冷热泵机组的原理及特点

热回收型风冷热泵机组是在传统的风冷热泵机组内, 增设独立的热回收器且与风冷冷凝器并联布置^[4]。通过控制可以实现单独制冷、制冷+全热回收、制冷+部分热回收等模式运行, 可以更好的适应热负荷和冷负荷的匹配和调节。

5.2 热回收供暖系统设计方案

图 3 为采用热回收型风冷热泵机组余热回收系统原理图。

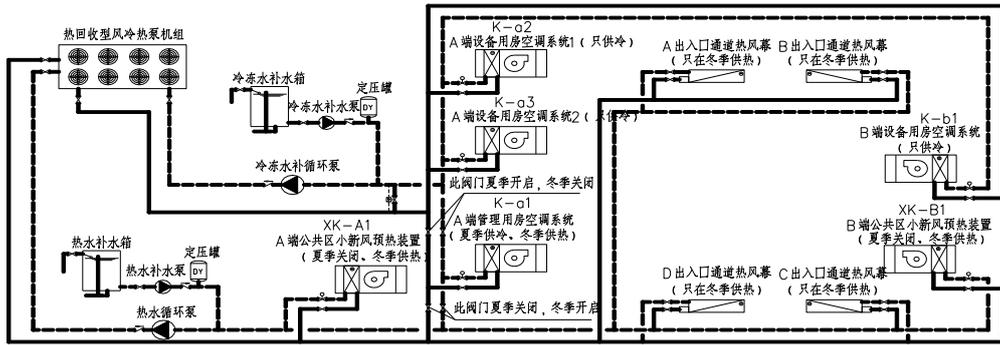


图 3 车站空调水系统原理图 (热回收风冷热泵机组)

Fig.3 Schematic diagram of station air conditioning water system (heat recovery air-cooled heat pump unit)

通过阀门转换,夏季时,利用风冷冷凝器和蒸发器,为车站空调机组提供空调冷冻水,热回收冷凝器不运行,与原方案一致。

冬季时,风冷冷凝器关闭,通过蒸发器为设备用房空调系统(K-a2、K-a3、K-b1)提供冷冻水,通过热回收冷凝器为供暖空调机组(K-a1)、公共区新风预热机组(XK-A1、XK-B1)和出入口热风

幕提供热水。可通过调节设备用房室外引入的新风量,调节制冷负荷与供热负荷匹配。

6 经济性分析

下面对采用热回收型风冷热泵机组(方案一)与原采用的风冷热泵机组+电加热(方案二)的方案进行经济技术综合比较分析。

表 3 方案综合比较表

Table 3 Comprehensive Comparison Table of Schemes

| 分项名称 | 方案一与方案二差值(万元) | 备注 |
|-----------|---------------|----------------------------|
| 冷热源系统 | 10 | 普通风冷热泵机组改为全热回收型风冷热泵机组 |
| | 26 | 增加热水系统循环泵、定压补水装置、管道、阀门及附件等 |
| 出入口通道热风幕 | -1.2 | 电热风幕改为热水型风幕 |
| 公共区新风预热装置 | 2.4 | 由新风机+电加热装置改为新风空调机组 |
| 合计 | 37.2 | |

(1) 相较于采用电热风幕的方案,仅需要将原冷水机组更换为带热回收功能的热泵机组,以及增加热水循环泵、定压补水装置及热水管路,增加投资约为 37.2 万元。

(2) 相较于电热风幕方案消耗的功率 260kW,热泵回收系统供暖时消耗的功率约为 74kW,粗略估算每年可节约用电 20 万度,按 0.7 元/度考虑,每年可节约运行费用约 14 万元,静态投资回收期约为 3.4 年。具有很好的经济效益。

(2) 相对于传统的供暖方案,热回收型风冷热泵机组方案增加的初投资较小,又能兼顾空调期供冷,具有系统形式简单、控制简便、节能效果好、投资回收期短等优点,与当前国家全面推进实现“双碳”目标的宏观政策背景契合,是一种值得推广应用的技术方案。

7 结论

(1) 通过对本典型车站的设备用房余热及供暖需热量分析,表明地下车站设备用房余热较大且稳定,余热大于冬季供暖需热量。综合考虑工艺设备排除余热的方式和车站夏季空调制冷系统形式,采用热回收型风冷热泵机组对余热进行回收并用于供暖的技术方案,是合理可行的。

参考文献:

[1] 韩平,张喜海,武世强.严寒地区环控系统利用再生制动能量探讨分析[J].铁道工程学报,2016,(2):91-95.
 [2] GB 50157-2013,地铁设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
 [3] 韩浩天.严寒地区地铁车站用水环多联式热泵系统的设计方法及性能研究[D].西安:西安建筑科技大学,2018.
 [4] 华国亮,刘道平,张小力,等.全热回收风冷热泵机组在星级酒店的应用探讨[J].制冷与空调,2012,(4):363-367.