

文章编号: 1671-6612 (2026) 01-144-04

某高铁车站地源/空气源热泵的运行测试

胡光华¹ 张大为¹ 王旭江²

(1. 济郑高速铁路有限公司 济南 250100; 2. 山东大学 济南 250000)

【摘要】 针对高铁车站空调系统运行能耗巨大加剧运营维护成本负担的问题, 对某高铁车站地源/空气源热泵的改造效果进行测试分析。利用高精度传感器, 测量了地源热泵和空气源热泵在长时间运行下的井温、环境温度、站内温度、供水流量与热量的数据, 并进行了系统分析。研究对于高铁车站空调系统节能改造具有重要的参考价值。

【关键词】 热泵; 高铁车站; 温度; 暖通空调

中图分类号 TK521+3 文献标志码 A

Operating Test of Ground-source/Air-source Heat Pumps in a High-speed Railway Station

Hu Guanghua¹ Zhang Dawei¹ Wang Xujiang²

(1. JiZheng High Speed Railway Co., Ltd, Jinan, 250100; 2. Shandong University, Jinan, 250000)

【Abstract】 Aiming at the issue that the substantial operational energy consumption of air-conditioning systems in high-speed railway stations exacerbates the operation and maintenance cost burden, this study conducted testing and analysis on the retrofit effectiveness of ground-source/air-source heat pumps at a specific station. High-precision sensors were employed to measure critical parameters-including well temperature, ambient temperature, inside-station temperature, water supply flow rate, and heat transfer quantities during prolonged operation of both ground-source and air-source heat pumps. Subsequent systematic analysis of the measured data was performed. This research holds significant reference value for energy-saving retrofits of air-conditioning systems in high-speed railway stations.

【Keywords】 Heat pump; High-speed railway station; Temperature; HVAC

0 引言

高铁车站作为现代化交通枢纽, 其能耗巨大问题不容忽视。从空间角度来看, 车站建筑体量大、内部空间开阔, 照明设施需大面积、长时间开启, 耗电量不容小觑^[1]。众多电子显示屏、安检设备等电子电器也时刻处于运行状态, 持续消耗电能。尤其值得关注的是空调系统, 出于保障旅客舒适度及应对极端天气等考虑, 设计指标往往存在冗余情况, 制冷、制热功率预留偏高。即便在非高峰时段或非极端天气下, 也按较高标准运行, 造成能源浪费。而且, 当前很多高铁车站的控制系统应用不够

广泛, 未能依据实时客流量、室内外温度等关键因素灵活调节设备运行状态, 无法实现精细化的能源管控。过往电力价格相对较低的时候, 高铁车站空调系统的电力费用压力较小。然而, 随着近年来电价的增加, 峰谷电价差的设计, 导致了空调系统的能耗费用不容小觑。因此, 若能合理的进行空调设计, 并广泛应用智能控制系统, 精准调控各设备, 便能有效降低能耗, 实现可观的节能效果, 推动高铁车站绿色运营^[2]。

目前, 实现高铁空调节能的方案与技术路线众多。其中一条是采用地源热泵方案。地源热泵是一

基金项目: 山东省交通运输厅科技计划项目 (2023BJN04-03)

作者简介: 胡光华 (1985.03-), 男, 硕士, E-mail: 979595310@qq.com

通讯作者: 王旭江 (1988.03-), 男, 博士, E-mail: w.wang@sdu.edu.cn

收稿日期: 2025-07-02

种利用浅层地热资源进行供热和制冷的高效节能装置^[3]。在冬季, 通过热泵机组, 把地下土壤中的热量提取出来, 经过热能的提升后传递到室内, 实现供暖; 而在夏季, 则逆向操作, 把室内的热量转移到地下土壤中, 起到制冷的效果, 热量转移依靠制冷剂在封闭的管道系统及相关组件内循环来完成。相比传统的供暖制冷方式, 地源热泵能大幅降低能耗, 长期运行可节省不少费用。其次, 环保无污染, 减少了温室气体排放。再者, 稳定性好, 地下温度受外界环境影响小, 系统运行可靠, 使用寿命长。而且还能一机多用, 同时满足供暖、制冷及生活热水需求。然而, 在供热与制冷需求差异大的地区, 比如北方冬季采暖时长、热负荷大, 夏季制冷需求小, 长期运行会使地下土壤热量收支失衡, 温度持续变化, 影响系统能效。另外, 若建筑功能单一, 如仅需采暖或制冷, 也易导致冷热不平衡。这不仅降低热泵工作效率, 还可能缩短设备使用寿命。为了解决该问题, 通常需要通过合理的运行规划, 同时辅以其他冷热源, 比如空气源热泵。实际上, 地源热泵+空气源热泵结合进行供暖制冷的研究已经广泛开展^[4-10]。Naihua Yue 等人^[4]针对寒冷地区地源热泵 (GSHP) 因建筑供暖负荷远大于制冷负荷导致的土壤温度下降、系统性能恶化问题, 提出光伏/热 (PVT) 辅助 GSHP 与空气源热泵 (ASHP) 的新型混合系统 (PVT-GA)。采用 FEDformer 暂态元模型和 NSGAI 算法优化, 结果表明该系统能有效平衡土壤温度, 提升光伏效率, 显著降低电网功耗、碳排放和生命周期成本, 为解决地源热泵热失衡问题提供了方案。Mika Yoshinaga 等人^[5]针对温暖地区以制冷负荷为主的地源热泵 (GSHP) 与空气源热泵 (ASHP) 并联系统, 研究优化运行控制方法。利用 TRNSYS 模拟, 提出夏季累积停止 (CS) 控制策略, 结合月延迟、小时延迟、环境温度和温差控制等策略, 有效稳定地温, 提升系统能效。研究表明, CS 控制结合其他策略可提高系统性能, 但需 GSHP 性能优于 ASHP, 为可再生能源应用提供了参考。Chika Kaneko 等人^[6]对日本温暖地区某大学的地源热泵 (GSHP) 与模块化空气源热泵 (ASHP) 并联系统开展长期运行分析。发现制冷负荷主导导致地温上升、GSHP 能效下降, 且 ASHP 因负荷波动频繁启停, 因此提出了依据室外温度切换热源的控制策

略。Zhihang Zheng 等人^[7]针对长沙某校园建筑地源热泵 (GSHP) 系统热负荷大于冷负荷导致的土壤温度下降问题, 提出光伏辅助 GSHP 与空气源热泵 (ASHP) 的集成系统 (PVGSH-ASHP)。经 TRNSYS 模拟及经济优化发现, 该系统年能耗仅 71700kWh, 生命周期成本最低, 优化后进一步降低 8.1%, 为解决负荷失衡和提升系统效率提供了新途径。

本研究选取某地新建高铁站为研究对象, 该车站采用地源热泵组合空气源热泵, 实现全季节的冷热供给, 改变了传统以冷水机组与市政供热结合的模式, 有望实现能耗大幅下降。本文主要对该高铁车站地源/空气源热泵的运行进行测试分析。

1 运行数据与分析

本文选取的车站为济郑高铁的某新建车站。济郑高铁是国家“八纵八横”高铁网的重要连接线, 设计时速 350 公里, 全线贯通后极大缩短济南至郑州的通行时间, 成为区域交通网络的关键工程, 属于国家重点项目。该车站项目总建筑面积 79785.8m², 总冷负荷 11674.13kW, 总热负荷 9788.92kW, 全部采用地源热泵+空气源热泵联合冷热源供能方案。该站地域属于温带季风气候, 夏热冬冷。夏天最高气温可达 40℃以上, 冬季最低温度也低至 0℃以下。

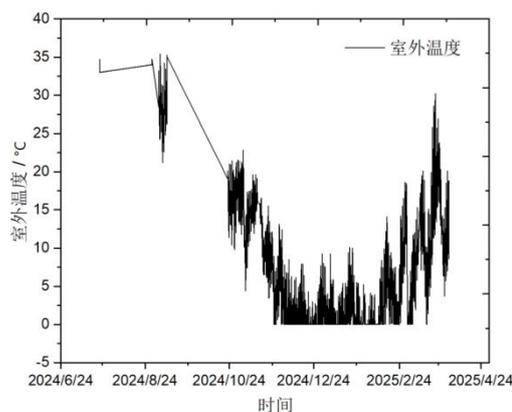
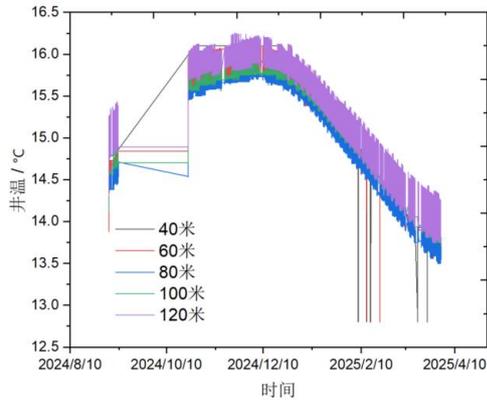


图 1 当地的室外温度

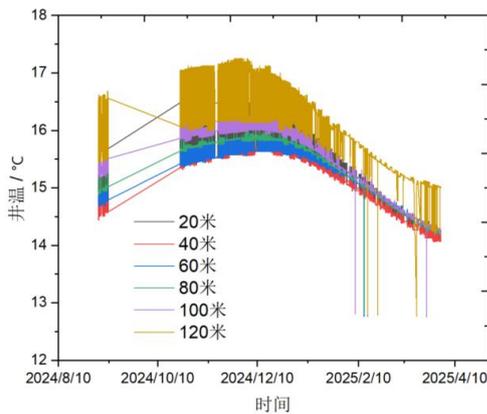
Fig.1 Local outdoor temperature

图 1 展示了高铁车站的室外温度。根据气候分区主要依据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB 50736-2012) 以及根据图 1 显示的数据可以看到, 高铁车站位于寒冷地区, 最低温度小于 0℃。进入 11 月份起, 到次年 3 月份左右, 当地的

温度始终处于 10℃ 以下。数据监测时间段内，最高温度可达 35℃，因此冬季需要供暖，夏季需要供冷。



(a) 1号井



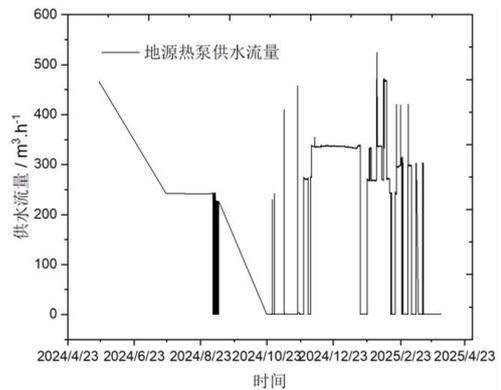
(b) 2号井

图2 不同地源热泵井温

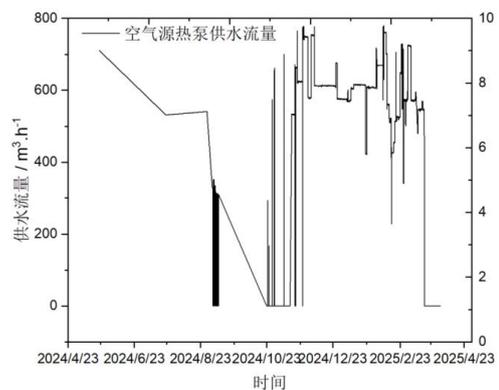
Fig.2 Temperatures of different ground source heat pump wells

图2展示了地源热泵井的不同位置处温度随着时间的变化情况。不同传感器每隔 20min 进行采样，并上传到服务器的数据库内进行保存。为了便于分析地源热泵的特性，我们首先针对土壤温度进行初步的定性预测。土壤（包括地下水）的温度收到了地表的热传导、热对流与太阳辐射共同影响而确定。其中，当地表接收热量之后，地下土壤的温度主要受到热传导的影响。为了简易的对不同深度土壤温度的定性预测，通常是忽略径向的温度分布，而只考虑垂直地标方向的热传导。当进行诸如含水量随着深度不变等假设，土壤温度方程可以近似简化为无内热源一维非稳态导热微分方程。作为定解条件，地表的太阳辐射与环境温度对于土壤内的温度分布具有重要的影响。基于传热方程的解析

解或者数值计算方法，分析可以得到土壤温度变化大多发生在地表的浅层。土壤由于具有比空气大的比热容，因此，其温度变化相对空气温度的变化具有延迟的特性。当环境降温的时候，土壤温度高于环境温度；当升温的时候，土壤温度低于环境温度。一般而言，随着深度的增加，突然温度变化的幅度越小，地表温度的影响也逐渐减弱。但是在文中涉及的浅层土壤，环境温度对于地表温度的影响比较明显。根据图1的气候条件，可以估算出突然温度影响也呈现类似的变化趋势。然而，随着地源热泵的运行，热泵井内的温度变化趋势完全相反。在环境温度最低的时候，热泵井内的温度明显更高。这主要是由于热负荷较大导致的正常现象。热泵井深度对于井温的影响比较大。如图2所示，不同位置处井温随着时间的变化趋势一致，但是在同一时刻温度相差比较大。最大的温差可以达到 2℃。因此，对不同深度的温度进行检测，很具有必要性。



(a) 地源热泵



(b) 空气源热泵

图3 不同类型热泵的供水流量

Fig.3 Water flow rates of different heat pump types

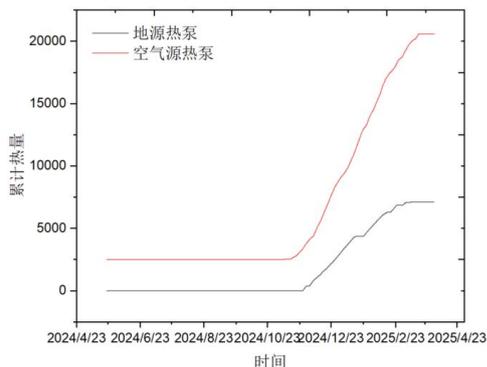


图4 不同类型热泵的累计热量

Fig.4 Cumulative heat output of different types of heat pumps

图3与4展示了不同类型热泵的供水量以及热量。如图所示,地源热泵与空气源热泵协作,共同承担空调系统的供冷制热的功能。考虑到当地处于长时间的寒冷,因此,虽然地源热泵的理论效率更高,但是依然采用了空气源热泵进行配合。从图2也可以看到,在承担部分负荷的前提下,热泵井温依然上升明显。因此,想要确保地源热泵的高效运行,需要采用其他冷热源进行配合。从图4中可以看到,空气源热泵的累计热量甚至要高于地源热泵。合理的控制策略对于高铁车站空调系统的运维意义重大。

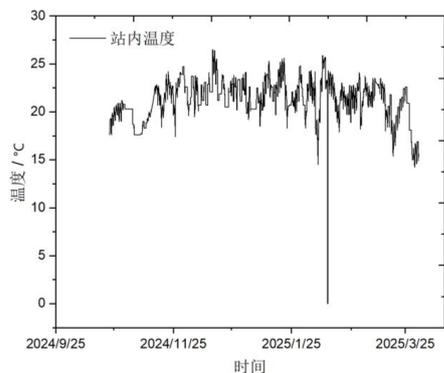


图5 不同日期站内的温度

Fig.5 Station temperature variations on different dates

最后,图5展示了不同时刻车站内的温度变化。从图中可以看到,大部分的时间车站内的温度维持在15~25℃之间。然而,整个温度的波动比较剧烈,因此,想要获得更优异的热舒适性,还需要采用更为细致的运维策略。

2 结论

高铁车站作为现代化交通枢纽,其能耗巨大且

不容忽视。尤其是空调系统,是高铁车站能耗的重要组成部分。因此,进行高铁车站空调系统节能的研究意义重大。地源热泵结合空气源热泵进行制冷供热,是空调系统节能的重要举措。本文针对高铁车站地源/空气源热泵系统的运行测试进行了分析。研究表明地源/空气源热泵系统能够实现车站冷热需求,但是其高效的运行还需要系统的研究与设计。

参考文献:

- [1] 肖滔,雷波.大型高铁客运站建筑能耗影响因素分析[J].制冷与空调,2021,35(1):13-17.
- [2] 方兴,李元阳,胡钦,等.地铁车站环控系统全局协调优化控制研究与应用[J].制冷技术,2024,44(6):64-74.
- [3] 薛小军,侯智华,张红昌,等.碳中和背景下燃气热电联产与地源热泵耦合替代燃气锅炉供热研究[J].动力工程学报,2022,42(4):359-364,386.
- [4] Yue N, Li L, Xu C. Multi-objective optimization of a hybrid PVT assisted ground source and air source heat pump system for large space buildings using transient metamodel[J]. Energy.,2025,328:136473.
- [5] Yoshinaga M, Kaneko C. Operational control methods for a parallel system combining ground source and air source heat pumps in a warm region[J]. Journal of Building Engineering, 2024,86:108712.
- [6] Kaneko C, Yoshinaga M. Long-term operation analysis of a ground source heat pump with an air source heat pump as an auxiliary heat source in a warm region[J]. Energy and Buildings, 2023,289:113050.
- [7] Zheng Z, Zhou J, Xu F, Zhang R, et al. Integrated operation of PV assisted ground source heat pump and air source heat pump system: Performance analysis and economic optimization[J]. Energy Conversion and Management, 2022,269:116091.
- [8] 刘艳峰,周位华,罗西,等.川西高山峡谷区空气源热泵多源互补供热系统热源方案比选及优化设计[J].太阳能学报,2021,42(10):478-86.
- [9] 温孚凯,曲志光,刘贤贤.空气源热泵和地源热泵在滨州海洋馆的复合应用[J].暖通空调,2022,(1):20-23.
- [10] 王文涛,李先庭,胡平放.空气与土壤复合源热泵在北方地区的匹配设计模拟分析[J].制冷学报,2021,42(2):61-68.