

河北省某医院供热与空调系统的节能改造研究 浅析

岳晋辉^{1,2,3}, 王嘉飞⁴, 刘卓^{1,2,3}, 蔡琼瑜^{1,2,3}, 马坤茹^{1,2,3}

¹河北科技大学建筑工程学院, 河北 石家庄

²河北省岩土与结构体系防灾减灾技术创新中心(筹), 河北 石家庄

³智能低碳装配式建筑技术研究中心, 河北 石家庄

⁴河北省辐射环境安全技术中心, 河北 石家庄

收稿日期: 2023年12月4日; 录用日期: 2023年12月21日; 发布日期: 2024年2月5日

摘要

河北省公共机构的供热和空调系统能耗较大, 需要进行整体优化以减少能耗。本研究针对河北省某医院的供热和空调系统进行了深入分析和评估, 探讨了潜在的节能和效率改进措施。分析结果表明, 热源设备选型过大, 建议加装气候补偿装置; 供热和空调系统的循环水泵需要加装变频控制系统以降低能耗; 替换传统热源为土壤源热泵能够显著提高系统的能效和降低运行成本。此外, 生活热水辅热系统也可以采用空气源热泵以实现节能。综合各项改造措施后, 可显著提高医院的能源效率, 减少二氧化碳排放。

关键词

采暖系统, 空调系统, 节能减排, 空气源热泵, 土壤源热泵

A Brief Analysis of the Energy-Saving Renovation of the Heating and Air-Conditioning System of a Hospital in Hebei Province

Jinhui Yue^{1,2,3}, Jiawei Wang⁴, Zhuo Liu^{1,2,3}, Qiongyu Cai^{1,2,3}, Kunru Ma^{1,2,3}

¹School of Civil Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei

²Hebei Provincial Geotechnical and Structural System Disaster Prevention and Mitigation Technology Innovation Center (In Preparation), Shijiazhuang Hebei

³Intelligent Low-Carbon Prefabricated Building Technology Research Center, Shijiazhuang Hebei

⁴Hebei Provincial Radiation Environment Safety Technology Center, Shijiazhuang Hebei

文章引用: 岳晋辉, 王嘉飞, 刘卓, 蔡琼瑜, 马坤茹. 河北省某医院供热与空调系统的节能改造研究浅析[J]. 电力与能源进展, 2024, 12(1): 1-7. DOI: 10.12677/aepe.2024.121001

Abstract

Heating and air-conditioning systems in public institutions in Hebei Province consume large amounts of energy and need to be optimized as a whole to reduce energy consumption. This study provides an in-depth analysis and assessment of the heating and air-conditioning system of a hospital in Hebei Province and explores potential energy-saving and efficiency improvement measures. The results of the analysis indicate that the heat source equipment is oversized and it is recommended that a climate compensation device be added; the circulating water pumps of the heating and air conditioning system need to be retrofitted with a variable frequency control system to reduce energy consumption; and the replacement of the traditional heat source with a soil source heat pump can significantly improve the energy efficiency of the system and reduce the operating costs. In addition, the domestic hot water auxiliary heating system can also use air-source heat pumps to achieve energy savings. The combination of all the retrofit measures can significantly improve the energy efficiency of the hospital and reduce carbon dioxide emissions.

Keywords

Heating System, Air Conditioning System, Energy Saving and Emission Reduction, Air Source Heat Pump, Ground Source Heat Pump

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

全球温室气体增长对生态系统构成威胁,我国提出碳达峰、碳中和的目标。医院成为碳排放“大户”,绿色转型是实现碳达峰目标的途径[1] [2] [3]。大中型综合医院的复杂性和对室内环境高标准的需求导致其能耗较高,为实现国家和地方的能源节约目标,医院建筑节能工作亟待加强。医院内部空间特殊,人员流动性大,要求内部暖通与空调系统时刻运行,以避免感染风险[4] [5]。因此,通过优化门诊大楼暖通空调系统,减少能源浪费,是一项具有现实意义的工作。

西方发达资本主义国家在城市化进程中,对既有建筑的节能改造越来越受重视,尤其在医院建筑领域,积极推动绿色发展和节能改造,致力于提高能源使用效率。英国在医疗设施发展方面通过绿色建筑评估标准和先进的理论探索,致力于提高医院建筑的节能水平。美国 ASHRAE 的调查[6]显示医院总能耗中三分之二与暖通空调系统相关,提供了有关暖通空调系统的能耗数据。日本岛根大学在医院建筑中推广新型余热发电系统[7] [8] [9],通过新技术替代传统的冷热源组合,成功降低了空调采暖能耗。此外,西方发达国家还针对医院建筑颁布了绿色建筑指南和专门的技术规范标准,如美国 LEED 评估系统的《医疗绿色建筑指南》[10]和德国的 VDI2176 标准。我国在节能领域的研究和实践起步较晚,受全国气候多样性的影响,面临较大挑战。医院节能政策相对较晚,于 2011 年实施《绿色医院评价标准》、于 2014 年发布《综合医院建筑设计规范》。

为了应对不断增长的用能需求和日益加剧的环境问题,我们针对河北省某医院的采暖和空调系统,

通过详尽的数据调查和分析,提出一系列的节能改造方案,以更有效地运行和维护这些用能设备,提高能源利用效率,减少能源消耗及运行成本,降低环境影响,深入分析和评估改进措施的经济和环保效益。

2. 建筑物概况

河北省某医院主要有五栋建筑,本文对其建筑功能、建筑面积与冷热源形式等进行调研,各调研建筑基本情况见表 1。

Table 1. Basic information on the building

表 1. 建筑基本信息表

序号	项目	1 号楼	2 号楼	3 号楼	保健病房	4 号楼	5 号楼	配电室
1	建筑功能	住院、门诊楼	住院楼	住院楼	住院楼	办公楼	住院、科研楼	设备用房
2	空调、采暖面积(m ²)	21,909	9379	2507.9	970.44	1926.4	2979.29	260
3	空调冷源形式	水冷螺杆式冷水机组	空气源热泵机组	分体空调	空气源热泵机组	分体空调	空气源热泵机组	空气源热泵机组
4	空调末端形式	风机盘管	风机盘管	分体空调	风机盘管	分体空调	风机盘管	风机盘管
5	采暖热源形式	燃气锅炉	空气源热泵机组	锅炉	锅炉	锅炉	锅炉	锅炉
6	采暖末端形式	风机盘管	风机盘管	暖气片	风机盘管	暖气片	风机盘管	风机盘管

3. 供暖系统分析

3.1. 供暖系统概述

河北省某医院采暖面积共计 41618.0 m²,锅炉房设有 2 台湿背全自动燃油气热水锅炉,型号为 WNS4.2-1.0/95/70-YQ,单台额定制热功率为 4.2 MW,承压 1.0 Mpa,额定供出水温度为 95/70℃。具有占地面积小、燃气单位消耗量小、运行费用低、使用寿命长及维修费用低等特点。

其中 1 号楼、保健病房、3 号楼、4 号楼、5 号楼、配电室为锅炉供暖。2 号楼为空气源热泵供暖。1 号楼、2 号楼、3 号楼、5 号楼、保健病房和配电室末端为风机盘管,热源热水经锅炉房内板式换热器换热为 40/35℃ 热水供风机盘管供热;3 号楼散热器供热系统直接由锅炉出水供热。多级离心泵型号为 KQDP50-16S*7,流量 16 m³/h,扬程 90 m,功率 7.5 kW。采暖热水温度为 95℃/70℃,循环水泵采用变频运行,供热管网为单管上供下回式采暖系统,热源管道埋地进入建筑物,室内采暖系统为普通散热器采暖。现供、回水管道安装有闸阀。医院采暖系统全天运行,全年运行约 2880 h。

3.2. 供暖系统分析评价

经过对河北省某医院供热采暖设计施工图进行复核以及模拟计算分析,室内热网设计参数能满足供热采暖要求。

热源设备选型过大,医院供暖锅炉单台供热量 4.2 MW,供热面积 39,932 m²,单位平米供热量在 105 W。锅炉设备选型较大,建议加装气候补偿装置,根据室外气象参数变化,及时调整锅炉运行负荷。

锅炉房供热循环水泵均为定频运行,切水泵使用年限较长,电机老旧。建议更换水泵且加装变频控制系统,减少水泵耗电量。

4. 空调系统分析

4.1. 空调系统概述

空调系统包括水冷中央空调系统、空气源热泵空调系统、分体式空调三种形式：其中 1 号楼、保健病房、5 号楼和配电室采用水冷中央空调系统，2 号楼为空气源热泵空调系统，3 号楼 4 号楼采用分体式空调。

医院 1 号楼、保健病房、5 号楼和配电室为中央空调，2 号楼为空气源，3 号楼 4 号楼为分体空调。其中 3 号楼制冷和制暖形式均为分体空调，其他楼除 2 号楼(空气源)外，均使用锅炉供暖。中央空调系统用风冷热泵机组，具体为 10 台型号 EKAC460BR1LHV 机组，功率 140 kW，5 台型号 EKAC460BR1LH-B 机组，功率 142 kW。空调机房冷水机组有 2 台型号 YRWGWCT4550C/22，功率 1494 kW，冷却塔循环泵 3 台，冷冻水循环泵 3 台，冷冻水补水泵 2 台，集中式中央空调系统在制冷机全天运行 24 h，全年运行约 150 d。分体式空调根据不同功能区域，人员随时启停使用，夏季制冷期和间使用运行时间约 1200 h。夏季空调室内设定温度为 26℃。

4.2. 主要空调设备能效分析

河北省某医院办公楼空调系统能耗占比大，结合现场调研，系统运行情况评价如下：

1) 水冷中央空调机组空调能效比 COP 值为 3.39，配置合理运行良好，设备选型合理，能很好的满足室内温湿度度的要求，如进一步减少中央空调机组能耗，可更换磁悬浮压缩机水冷机组，有效减少机组能耗及运维成本。

2) 水冷中央空调系统水泵、冷却塔等配套设备均为定频运行，且电机使用年限较长，建议更换水泵设备及冷却塔电机设备且加装变频控制装置，通过末端负荷变化调节水泵流量，减少水泵电耗。

5. 节能改造项目成效

5.1. 供热、空调系统循环水泵加装变频

供热、空调系统[11]在设计过程中都是按最大负载并增加一定余量设计，但在实际使用过程中，一年内满负载运行时间最多只有十多天，甚至十多个小时，几乎绝大部分时间负载都在 70% 以下运行。根据在对河北省某医院锅炉房设备和中央空调系统配套设备的现场勘测发现，供热循环水泵、空调系统冷却水、冷冻水循环水泵、冷却塔风机均采用工频控制，几乎长期在满负荷下运行，系统匹配不合理，导致“大马拉小车”的现象发生，造成了能量的大量浪费，也恶化了系统的运行环境和运行质量。因此建议针对供暖空调系统循环水泵、冷却水循环水泵、冷却塔风机加装变频装置[12]，根据机组运行情况和末端负荷优化控制循环系统，以达到节能的目的[13]。

循环水泵加装变频器改造后，平均运行功率降低至额定功率的 60%，即供暖循环泵运行功率 13.2 kW，空调循环水泵运行功率 27 kW，冷却塔运行功率 7.44 kW。按供暖系统年运行时间 2800 h，空调系统年运行时间 2800 h 计算，则全年节约电量为 27.8 万 kWh。按平均电价为 0.65 元/kWh，每年可节约资金约为 18.07 万元。改造预计增加循环水泵及冷却塔变频设备的初投资约为 20 万元，每年运行费用节省量为 18.07 万元。则静态投资回收期约为 1.1 年。

5.2. 冷热源替换为新型土壤源热泵冷/热源

目前采暖热源为燃气热水锅炉制取，夏季空调主要采用水冷螺杆制冷机组制取。随着近年燃气价格逐年增高，采暖费用逐年增高；夏季空调采用传统电制冷空调，在室外环境温湿度较高时，系统整体运

行效率不高。可考虑采用土壤源热泵供热/供冷系统[14] [15] [16]，利用医院绿化空地和停车场空地设置地热井，配合高效热泵机组可同时解决医院夏季制冷和冬季采暖的问题。

医院空调总负荷约为 4400 KW，冬季供热负荷约为 3400 KW，按夏季空调负荷设置地热井数量，每口 100 m 深 U 型管地热井换热能力为 5 kW (50 W/m)，则需要地热井数量约 1000 个，按 U 型管地热井设置间距 3.5 m 计算，则预计需要 1.3 万平方米的安装空间，可以考虑利用医院绿化、停车场空地布置地热井，布设位置见图 1。

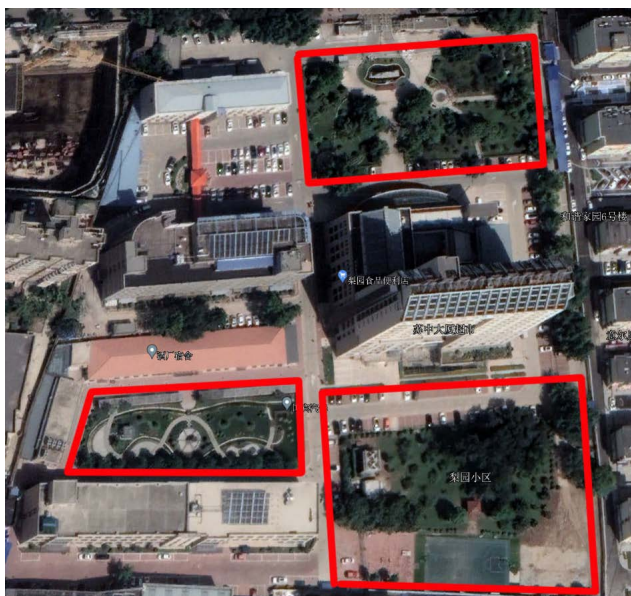


Figure 1. Schematic diagram of the layout of geothermal wells
图 1. 地热井布设位置示意图

土壤源热泵系统可同时满足冬季制热和夏季制冷，按冬季供热系数 $COP_1 = 3.5$ (系统 COP)，夏季制冷系数 $COP_2 = 4$ (系统 COP)，实际全年冷热负荷为设计负荷 50%，供热年运行时间均为 2800 小时计算，制冷年运行时间 3600h 计算，年供热制冷能耗为 326.8 万 kWh，按费用单价 0.65 元/kWh 计算，年运行费用 212.42 万元。

医院原采暖成本燃气费用为 268 万元，夏季空调成本约为 81.6 万元，则每年可减少供暖空调成本 137.2 万元，土壤源热泵系统的初投资约为 1200 万元，则投资回收期为 8.72 年。

5.3. 生活热水辅热系统改造

医院太阳能生活热水系统采用电加热方式辅助加热，电力属高品位能源，用于加热生活热水成本较高。建议采用太阳能热水系统+空气源热泵辅助[17]的方式，可降低生活热水制取成本，减少能源消耗。河北省第六人民医院屋顶安装太阳热水集热器，太阳能热水集热组件安装 580 m²，在阴雨天及冬季，太阳能集热器不能满足热水需求时，采用电辅热方式制取生活热水，生活热水主要用于病房、浴室等区域的热热水需求。

医院目前每天热水用量约 30 吨，采用太阳能热水和电辅热相结合的方式，如电辅热满足总制热量 30% 计算，则电辅热耗电量约为 11.5 万 kWh/年，如采用空气源热泵辅助制取热水，耗电量约为原来的 1/3，即 3.8 万 kWh，每年可节约电费 5.0 万元，空气源热泵热水系统初投资约为 30 万元，则投资回收期为 6.0 年。

5.4. 节能改造方案小结

综上所述, 针对上述系统存在的问题制定了全面的节能改造措施。节能改造措施全部实施后可有效减少能耗与碳排放, 有效提高公共机构的节能水平, 从而保障公共机构节能减排任务和节能指标的完成和达标。现将项节能改造措施带来的投资收益预估情况见表 2。

Table 2. Estimated results of energy-saving retrofitting schemes

表 2. 节能改造方案成效预估表

序号	项目名称	方案内容	节能潜力	减排量	投资	收益	投资回收期
			tce/年	t-CO ₂	万元	万元/年	年
1	循环水泵变频改造	供暖循环泵、空调循环泵、冷却塔等加装变频控制系统	34.2	88.92	20	18.7	1.1
2	替换土壤源热泵冷/热源	更换土壤源供热/制冷系统	494.7	1286.22	1200	137.2	8.72
3	生活热水电辅热系统节能改造	电辅热系统更换为空气源热泵热水系统	9.46	24.60	30	5.0	6.0
合计			538.36	1899.74	1250	160.9	

6. 总结

通过分析, 空调通风系统、照明系统、用水系统等及其他用能系统均存在一定问题, 具有改造潜力, 建议进行合理改造。

1) 热源设备选型过大, 河北省第六人民医院供暖锅炉单台供热量 4.2 MW, 供热面积 39932 m², 单位平米供热量在 105 W。锅炉设备选型较大, 建议加装气候补偿装置, 根据室外气象参数变化, 及时调整锅炉运行负荷。

2) 锅炉房供热循环水泵、空调循环水泵、冷却塔等均为定频运行, 切水泵使用年限较长, 电机老旧。建议更换水泵且加装变频控制系统, 减少水泵耗电量。

3) 医院供暖空调系统采用传统冷热源, 能源利用效率低成本高, 可考虑浅层地热能用于冬季采暖和夏季制冷, 可有效降低供暖空调运行成本。

4) 医院太阳能生活热水系统采用电加热方式辅助加热。医院日热水用量大, 用电加热成本较高, 经改造采用太阳能热水系统 + 空气源热泵辅助的方式, 避免了高位能源消耗的同时降低了医院日常运作的碳排放与经济成本。

参考文献

- [1] 李红. 医院工程中暖通空调节能改造效果分析[J]. 黑龙江科学, 2023, 14(22): 144-146.
- [2] 钱杰, 徐云华, 金永春, 等. 某专科医院住院楼热水系统节能改造实践及经济性分析[J]. 暖通空调, 2023, 53(S1): 364-366.
- [3] 李慧娟, 张可欣. 广州某医院综合节能改造案例分析[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(35): 154-157. <https://doi.org/10.19981/j.CN23-1581/G3.2022.35.038>
- [4] 吴耀洲. 暖通空调系统节能设计研究[J]. 装备制造技术, 2023(6): 212-214, 222.
- [5] 彭晓娟. 高大空间公共建筑暖通空调系统设计要点分析[J]. 中国建筑装饰装修, 2022(6): 96-98
- [6] 刘曦. 青岛地区既有建筑节能改造探讨[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2008: 5.
- [7] Okamoto, S. (2007) Energy Saving in a Hospital: Assessing Economic and Technical Potential. In: Cen, K., Chi, Y. and Wang, F., Eds., *Challenges of Power Engineering and Environment*, Springer, Berlin, 1305-1309.

-
- https://doi.org/10.1007/978-3-540-76694-0_245
- [8] Okamoto, S. (2008) Energy Consumption and Technical Potential of Energy Saving in a Hospital. *6th International Energy Conversion Engineering Conference*, Cleveland, 28-30 July 2008, 691-697.
<https://doi.org/10.2514/6.2008-5622>
- [9] Okamoto, S. (2007) Technical Potential of Energy Saving in a Hospital by Cogeneration System. *5th International Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit (IECEC)*, St. Louis, 25-27 June 2007, Article 4759.
<https://doi.org/10.2514/6.2007-4759>
- [10] 沃尔特·弗农, 吕晓婧. 从忽视到重视——美国绿色医院建筑演进过程[J]. 中国医院建筑与装备, 2009, 10(7): 26-29.
- [11] 韩强, 刘培陶, 魏翠琴, 等. 供暖季太阳能热泵冷热联供系统节能减排分析[J]. 制冷与空调(四川), 2021, 35(6): 884-888.
- [12] 刘野, 闵芸. 上海大中型医院综合节能改造案例分析[J]. 上海节能, 2022(5): 639-643.
<https://doi.org/10.13770/j.cnki.issn2095-705x.2022.05.017>
- [13] 邹国华. 暖通空调系统中节能环保技术的探讨与思考[J]. 居舍, 2019(9): 74.
- [14] 刘艳峰, 宋梦瑶, 周勇, 等. 分区串并联式太阳能-地源热泵跨季节蓄热组合系统性能研究[J]. 太阳能学报, 2021, 42(12): 71-79. <https://doi.org/10.19912/j.0254-0096.tynxb.2020-0063>
- [15] 胡海龙. 探究地源热泵节能环保技术在暖通空调系统中的应用[J]. 城市住宅, 2018, 25(5): 43-46.
- [16] 周巧利. 地源热泵复合技术在高校建筑节能改造的工程应用[J]. 能源与节能, 2023(11): 84-88.
<https://doi.org/10.16643/j.cnki.14-1360/td.2023.11.029>
- [17] 陈军, 毛斯影. 某三甲医院综合节能改造实例分析及思考[J]. 建筑热能通风空调, 2022, 41(7): 61-63+35.