

文章编号: 1671-6612 (2020) 01-057-05

# 水源热泵在某办公楼的可行性研究及能耗分析

强天伟 屈悦滢

(西安工程大学 西安 710048)

**【摘要】** 根据项目办公楼所在地的水文地质及相关资料,应用层次分析法建立地下水源热泵系统和土壤源热泵系统的评价体系模型并计算二者的适宜性指数,得出两种系统均适宜项目所在区域。综合分析两种系统的经济性、环境影响及地下水源热泵的回灌方式,比较确定地下水源热泵系统方案。利用 DEST 软件模拟结合负荷频率法计算年运行能耗,利用概算指标计算初投资并与传统系统进行对比。得出该办公楼地下水源热泵系统的费用年值比采用冷水机组+燃煤锅炉方案节省 18%。对于地下水源热泵系统的设计及方案的选择具有很好的借鉴意义。

**【关键词】** 地下水源热泵系统;层次分析法;负荷特性;经济性分析;费用年值

中图分类号 TU831.5 文献标识码 A

## Feasibility Study and Energy Consumption Analysis of Water Source Heat Pump in an Office Building

Qiang Tianwei Qu Yueying

(Xi'an Polytechnic University, Xi'an, 710048)

**【Abstract】** According to the hydrogeology and related data of the office building, the evaluation system model of groundwater source heat pump system and ground source heat pump system is established by using analytic hierarchy process, and the suitability index of the two systems is calculated. It is concluded that both systems are suitable for the project area. The economy, environmental impact and recharge mode of groundwater source heat pump are comprehensively analyzed, and the scheme of groundwater source heat pump system is determined by comparison. The annual energy consumption is calculated by using DEST software simulation combined with load frequency method. The initial investment is calculated by using budget estimates and compared with the traditional system. It is concluded that the annual cost of groundwater source heat pump system in this office building is 18% less than that of water chiller plus coal-fired boiler. It has a good reference significance for the design and scheme selection of groundwater source heat pump system.

**【Keywords】** groundwater source heat pump system; analytic hierarchy process; load characteristics; economic analysis; annual cost

基金项目: 陕西省大学生创新创业项目(编号: 201822067)

作者简介: 强天伟(1970.11-),男,博士研究生,教授, E-mail: 254599797@xpu.edu.cn

通讯作者: 屈悦滢(1995.1-),女,在读研究生, E-mail: 530037889@qq.com

收稿日期: 2019-04-30

## 0 引言

随着社会的发展,我国已经成为了世界上最大的能源消耗国,其中建筑能耗占比达到 30%~50%<sup>[1]</sup>,而在建筑能耗中,用于暖通空调的能耗又

占据建筑能耗的 40%~50%,由于传统空调设备利用率低,北方地区采暖常用中小型的锅炉,其燃料利用率普遍偏低,大多不到 60%甚至为 30%,即使是现代化的大型锅炉其一次能源利用率也仅

70%<sup>[2]</sup>，我国发电主要是采用燃煤锅炉产生蒸汽带动汽轮机发电为主，其一次能源的利用率更低，一般为 27%~33%<sup>[3]</sup>，因此造成了能源的大量浪费，节能减排迫在眉睫。

热泵作为一种利用少量高品位能源驱动搬运自然界的冷量和热量到室内的装置逐渐发展起来<sup>[4]</sup>。水源热泵系统属于可持续发展的能源利用技术<sup>[5]</sup>，减少空气污染、减少温室气体排放、有效利用资源方面有其明显的优势，但同时它又是一项非常复杂的“技术”。近年来，“地下水源热泵系统”在我国项目数量已达 300 多个<sup>[6-8]</sup>。西安市是一个水资源比较紧张的城市，因此非常有必要进行深入全面的调查研究减少不必要的浪费。

### 1 水源热泵空调工作机理

每种热泵空调各有优势和不足，选择系统的种类时应充分结合项目所在区域具体的水文地质、气象、场地等条件因地制宜的选择<sup>[9]</sup>。

水源热泵主要是利用地表水、地下水或污水作为热泵系统的冷热源进行建筑的采暖或制冷的节能技术。水源热泵空调系统由与用户侧冷冻水（或热水）换热的换热器、压缩机、热源侧换热器及其他辅助设备等组成。水源热泵系统工作原理如图 1 所示。

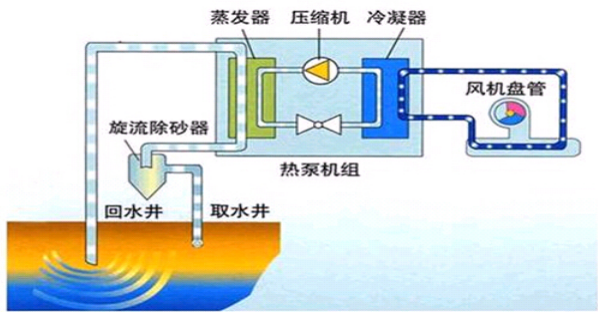


图 1 水源热泵工作流程图

Fig.1 Workflow diagram of water source heat pump

## 2 系统方案设计

### 2.1 项目概况

本项目位于西安市未央区郊区某鱼塘办公楼，东临草滩四路，北临渭河，属于寒冷区域，气象统计 30 多年平均干球温度为 13.5℃，累计最热月平均温度最高为 29.8℃，最冷月平均温度-0.3℃，统计极端最高气温达 41.2℃，统计极端最低气温为

-20℃。该建筑目前刚好处于北郊市政供暖范围之外，建筑总面积 1227.9m<sup>2</sup>，其中空调面积 967.68m<sup>2</sup>，共分三层全部为地上建筑，总高度 9.3m。六个鱼塘总面积达 32568.3m<sup>2</sup>，鱼塘的东西两边各有一个 120m 深的水井，单井出水量达 1200m<sup>3</sup>/d。

### 2.2 地下水/土壤源热泵系统回灌分析及适宜性评价

针对常用的地下水源热泵系统中存在的一些问题，不能完全回灌、地下水热污染和井间距过小造成的机组效率下降等问题结合项目所在的场地条件，本项目采用部分用作鱼塘的补水，其余部分水采用异井重力回灌。这样做既能减少回灌量，同时又降低了鱼塘补水的成本，也避免了不能完全回灌造成的水资源的浪费等问题，采用重力回灌通过缓慢的自然渗透到深层可以有效的避免对地下水造成热污染，本项目场区内现有的水井间距足够大，采用异井回灌不会造成水源热泵机组的效率降低。

通过层次分析法，根据适宜性指数=Σ（每一因素的权重值×相应的无量纲标准值），计算得出该项目区域内地下水源热泵的综合指数为 0.8059，土壤源热泵的适宜性综合指数为 0.9127，均属于适宜区域，结合现场的条件、经济性、环境影响、以及地下水源热泵的回灌性等最终确定本项目的系统方案采用地下水源热泵系统。

### 2.3 方案设计

本项目建筑物负荷计算结果如表 1 所示，方案采用地下水系统作为热泵主机的冷热源，对建筑物夏季提供 7℃冷冻水（冬季 60℃的热水），末端采用风机盘管加新风的形式对每个房间进行制冷及供暖。机房设计的原理图如图 2 所示。主要设备选型如表 2 所示，包括热泵机组的选型、循环泵的选型、潜水泵的选型及水处理设备的选型等。选型原则主要满足经济性、可靠性、系统的整体性。

表 1 建筑物负荷计算表

Table 1 Building Load Calculating Table

项目负荷统计	统计值	单位
热负荷	109.36	kW
冷负荷	121.78	kW
全年最大加湿量	25.81	kg/h
热负荷指标	113.02	W/m <sup>2</sup>
冷负荷指标	121.78	W/m <sup>2</sup>

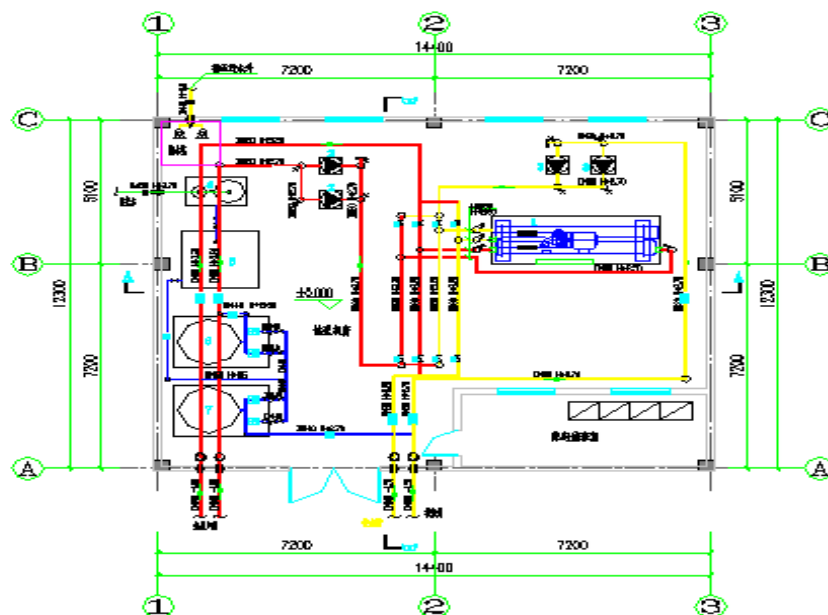


图 2 水源热泵机房原理图

Fig.2 Schematic diagram of water source heat pump room

表 2 主要设备选型表

Table 2 Selection Table of Major Equipment

序号	设备	规格型号	性能参数	单位	数量
1	热泵机组	格力满液式螺杆热泵机组 SSD1100W	制冷量 118.2kW, 输入功率 21kW 制热量 124kW, 输入功率 28.4kW	台	1
2	用户侧循环泵	凯泉 KCL-65/140-3/2 单级立式离心泵	流量 26m <sup>3</sup> /h、扬程 20.6m、 输入功率 3kW	台	2
	回灌水循环泵	凯泉 KCL65/235-1.5/4 水泵	流量 14.1m <sup>3</sup> /h、扬程 17m、 输入功率 3kW	台	2
3	补水泵	凯泉 KCL-20/110-0.37/2 单级立式离心泵	流量 1.8m <sup>3</sup> /h、扬程 16m、 输入功率 0.37kW	台	2
4	潜水泵	100QJ15-130/27 多级立式离心泵	流量 15m <sup>3</sup> /h、扬程 130m、 输入功率 7.5kW	台	1
5	风机盘管	FP-51	最大风量 510m <sup>3</sup> /h, 最大制冷量 2810kW, 最大制热量 4550kW	台	38
		FP-85	最大风量 850m <sup>3</sup> /h, 最大制冷量 4660kW, 最大制热量 7360kW		
		FP-102	最大风量 1020m <sup>3</sup> /h, 最大制冷量 5558kW, 最大制热量 8720kW		
6	吊顶式新风机组	KG01DII-B	新风量 1000m <sup>3</sup> /h	台	3
6	水处理装置	-	-	台	1
7	旋流除砂器	-	-	台	1

### 3 经济性分析

本项目办公楼位于西安市北郊紧邻渭河南岸, 根据我国现有冷热源的应用状况结合现场的水文地质及场地条件, 确定出以下冷热源方案。方案一为地下水热泵系统, 方案二为冷水机组+燃煤锅

炉。

#### 3.1 两种方案的初投资分析

方案一的初投资包括设备购置费和施工安装费等, 设备购置费主要包括水源热泵机组的购置费、水泵的购置费、管材的购置费、风机盘管的购置费、

及新风机组的购置费(因为现场已有水井可供使用,故方案一中不再计算打井费用)。方案二的初投资包括设备购置费和施工安装费等,设备购置费主要包括冷水机组的购置费和燃煤锅炉的购置费、水泵的购置费、管材的购置费、风机盘管的购置费、及新风机组的购置费。经计算,两种方案的初投资费用对比如图 4 所示。方案一初投资费用比方案二初

投资低 9.85%。主要因为本项目已经有水井可供使用,无需打井,方案二需多购置一套燃煤锅炉。

### 3.2 两种方案的运行能耗分析及费用分析

两种方案的运行能耗分别如表 3 和表 4 所示,年运行费用对比如图 3 所示。可得方案二的年运行费用比方案一节省 26.3%。

表 3 方案一主要设备全年运行能耗及费用汇总表

Table 3 Schemes I Summary of Energy Consumption and Cost of Major Equipment in Year-round Operation

设备	水源热泵 (制冷)	水源热泵 (制热)	用户侧循 环泵	回灌侧循 环泵	补水泵	潜水泵	总计
全年耗电量 (kWh)	13402.2	21382.5	2230	996.59	287.29	5701.88	44000.5
费用 (元)	10721.8	17106	1784	797.3	229.8	4561.8	35200.7

表 4 方案二主要设备全年运行能耗及费用汇总表

Table 4 Summary of energy consumption and cost of major equipment in operation for the whole year

设备	冷水机组	燃煤锅炉	用户侧循环泵	冷却水循环泵	补水泵	冷却塔	总计
全年耗电量 (kWh)	15817.2	75158.54	9123	7425	499.5	1350	109373.24
费用 (元)	12653.8	20367	7298.4	5940	399.6	1080	47738.8

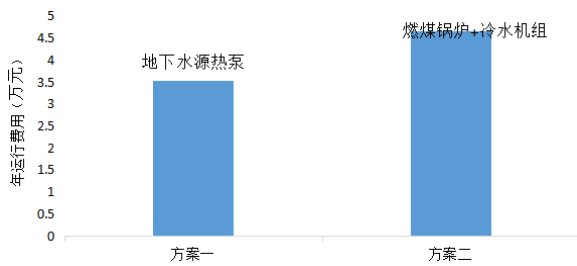


图 3 两种方案的年运行费用对比

Fig.3 Comparison of annual operating costs between the two schemes

### 3.3 年维护费用计算

年维护费用主要包括运行管理人员的工资福利,及系统的维护检修费用等。影响因素有很多,波动性也比较大,很难计算出准确的费用。根据概算指标(设备初投资费用的 5%)进行估算。计算得方案一的年运行维护费用为 9706.5 元,方案二的年运行维护费用为 10767.5 元。年维护费用对比如图 3 所示。方案二的年维护费用比方案一节省 10%。

### 3.4 动态费用年值分析

$$A_c = C_i \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + C_k \quad (1)$$

式中:  $A_c$  为费用年值, 元;  $C_i$  为初投资, 元;  $C_k$  为年运行费用与年维护费用之和, 元;  $i$  为回收系数,  $i$  取 10%;  $n$  为使用年限, 年。

本项目方案中的设备根据厂家推荐的经济使用年限均为 20 年, 即  $n$  取 20。根据公式 (1) 计算两种方案的费用年值, 方案一费用年值为 6.771 万元, 方案二费用年值为 8.259 万元。两种方案的经济性指标对比如图 4 所示。由以上分析可知方案一全寿命周期的费用年值比方案二全寿命周期的费用年值少 18%, 因此对于该项目来说采用方案一地下水热泵系统更经济。

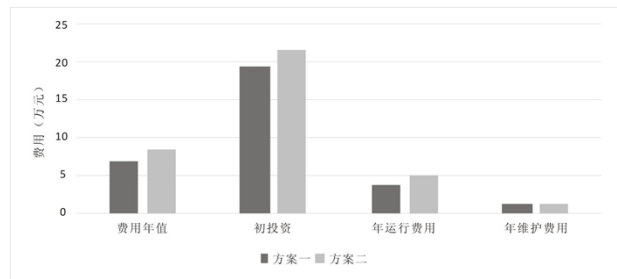


图 4 两种方案经济指标对比

Fig.4 Comparison of economic indicators of two schemes

## 4 结论

(1) 通过利用层次分析法分别构建了地下水热泵和土壤源热泵的评价体系结构模型,并分别计算了两种系统的适宜性指标,结果表明两种系统均适宜。结合工程的现场的条件、经济性、环境影

响、以及地下水源热泵的回灌性等进行分析比较最终确定地下水源热泵系统更适合。

(2) 通过 DEST 进行全年建筑最大负荷的模拟计算, 进行系统的设计及设备的选型。根据现场的场地条件因地制宜的进行系统的设计, 场区内有 6 个鱼塘夏季鱼塘需要补水, 因此地下水源热泵系统的设计中关于回灌水的去向, 将部分回灌水用作鱼塘的补水, 即减轻了回灌井的压力, 又节省了鱼塘补水的成本。

(3) 通过计算可得, 采用地下水源热泵系统比传统方案的初投资低 9.85%、年运行费用节省 26.3%、年维护费用节省 10%、费用年值低 18%, 因此采用地下水源热泵系统更经济。在水资源丰富的地区具有较好的应用优势和前景。

#### 参考文献:

- [1] 刘华清. 上海地区空调系统年耗能计算与能耗评估研究[D]. 上海: 东华大学, 2002.
- [2] HL von 库伯著. 王子介译. 热泵的理论与实践[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986.

- [3] 龙柄清, 赵仕林, 朱明, 等. 熵文明与绿色文明[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2001, (2): 166-167.
- [4] MJ Hatten. Ground water heat pumping lessons learned in 43 years at one building[J]. ASHRAE Trans-action, 1992, 98(1): 1031-1037.
- [5] A L Snijders. Aquifer Seasonal Cold storage for space Conditioning some cost-effective[J]. ASHRAE Trans-action, 1992, 98(3): 1123-1129.
- [6] 陈晓. 地表水源热泵系统的运行特性与运行优化研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2006.
- [7] 白亚娟. 地下水源热泵系统的性能分析及经济性评价[D]. 西安: 西安科技大学, 2009.
- [8] D Chwieduk. Analysis of Utilisation Renewable Energy as Heat Source for Heat Pump in Building sector in Poland[J]. WREC, 1996: 720-723.
- [9] 牛银龙. 浅谈地表水源热泵系统[J]. 洁净与空调技术, 2015, (4): 47-50.
- [10] 牛银龙. 水源热泵在渭河边某办公楼应用可行性研究及能耗分析[D]. 西安: 西安工程大学, 2017.

(上接第 56 页)

#### 4 结论

本文针对数据中心的高压冷水机组构建了定性分层有向图故障诊断模型, 实现了系统变量参数等信息的获取, 以图的形式表示, 便于在计算机中存储, 利用图模型简化现场工业流程系统的同时又能包容大量的信息。高压冷水机组分层有向图故障诊断模型定性地从系统全局变量进行描述, 当系统的某个部件失效或发生故障时, 能够实现整个系统的故障状态的实时诊断和预测。上述诊断方法对保证数据中心机房安全稳定生产、提高数据中心动环系统的安全性和经济效益起到了积极作用。

#### 参考文献:

- [1] 王路瑶, 吴斌, 杜志敏, 等. 基于长短期记忆神经网络的数据中心空调系统传感器故障诊断[J/OL]. 化工学报, 1-9[2019-02-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1946.TQ.20181013.1003.012.html>.
- [2] 宋其江, 徐敏强, 王日新. 基于分层有向图的航天器故障

诊断[J]. 航空学报, 2009, 30(6): 1058-1062.

- [3] 杨蕊, 谢刚, 陈泽华. 基于改进分层有向图的故障诊断方法[J]. 热力发电, 2014, (6): 108-111, 126.
- [4] 杨蕊, 谢刚, 陈泽华, 等. 分层概率符号有向图在热力系统故障诊断中的应用[J]. 热力发电, 2014, (9): 137-141.
- [5] 杨蕊. 基于定量知识的分层有向图故障诊断方法及其应用[D]. 太原: 太原理工大学, 2014.
- [6] Berger Ulrich, Schwichtenberg Helmut, Seisenberger Monika. Warshall algorithm and Dickson's lemma: Two examples of realistic program extraction[J]. Journal of Automated Reasoning, 2001, 26(2): 205-221.
- [7] 陈侃, 李昌禧. 故障传播有向图的故障定位研究[J]. 自动化仪表, 2011, 32(4): 14-17.
- [8] 韩华, 谷波, 任能. 基于主元分析与支持向量机的制冷系统故障诊断方法[J]. 上海交通大学学报, 2011, 9(20): 1355-1361, 1373.
- [9] 刘静. 基于粗糙集的分层有向图故障诊断方法研究及其应用[D]. 太原: 太原理工大学, 2011.