

# Analysis of Water Source Heat Pump in Hot Summer and Cold Winter Areas—Taking Underground Water Source Heat Pump Air Conditioning System of Jingxian Hospital as an Example

Shaoming Chen

Jingxian Hospital, Jingxian, Anhui, 252400, China

## Abstract

As a renewable energy utilization technology, water source heat pump uses the low-level energy formed by solar energy and geothermal energy absorbed by shallow water on the earth's surface. It can convert low-level heat energy into high-level heat energy by consuming only a small amount of power resources. It has the potential to reduce primary energy consumption and reduce greenhouse gas emissions. Combined with the water source heat pump central air-conditioning system used in Jingxian Hospital and its operation, starting from the actual project, this paper studies the energy-saving characteristics, economic benefits and environmental impact of the water source heat pump air-conditioning system, so as to provide reference for the research of the water source heat pump system. The analysis shows that the annual conventional energy substitution of the groundwater source heat pump system used by Jingxian Hospital is 324542.23kgce, and the CO<sub>2</sub> emission reduction is 801.62 t/y, which has obvious benefits.

## Keywords

water source heat pump; air conditioning energy consumption; energy saving; economy; environmental protection

# 夏热冬冷地区水源热泵节能环保实例分析——以泾县医院地下水源热泵空调系统为例

陈绍明

泾县医院, 中国·安徽 泾县 252400

## 摘要

水源热泵作为一种可再生能源利用技术,其利用地球表面浅层水所吸收的太阳能和地热能形成的低位能源,仅消耗少量的电力资源就可将低位热能转化为高位热能,具有减少一次能源消耗从而减少温室气体排放的潜力。论文结合泾县医院采用的水源热泵中央空调系统及其运行情况,从实际项目出发,研究水源热泵空调系统的节能特性、经济效益和环境影响,为水源热泵系统的研究提供参考。分析表明,泾县医院所采用的地下水源热泵系统全年常规能源替代量为324542.23kgce,CO<sub>2</sub>减排量为801.62t/y,环境保护作用突出,经济效益明显。

## 关键词

水源热泵; 空调能耗; 节能; 经济; 环保

## 1 引言

随着《零碳建筑技术标准》的实行,建筑从能耗管理转向碳排放管理。而建筑领域碳排放是碳排放的三大领域之一,大力减少建筑建造、运行、维护等各个环节的碳排放,将使整个行业产生革命性变化。国际能源署研究报告<sup>[1]</sup>显示,2019年建筑运行能耗占全球能耗的30%,而空调系统能耗占建筑运行能耗的30%~60%,节能潜力巨大。水源热泵技术的高效节能主要在于夏季工况的高温差散热以及冬季工况的低温差取热,地下水源热泵系统在夏季将抽出的地下水

通过封闭管路经热泵机组后再回灌至含水层<sup>[2]</sup>。在这一过程中,利用地下水温度比冷凝器温度高的特点,对冷凝器进行冷却,由此实现通过“绿色”利用能源方式来解决夏季制冷和冬季供暖问题,且系统运行稳定,冬季无需除霜,机组运行过程中没有任何污染,环境效益显著<sup>[3]</sup>。

Schibuola等<sup>[4]</sup>对冷凝锅炉和风冷式冷水机组的空气源热泵和传统解决方案的两个案例进行对比分析,表明水源热泵的优势。Yan等<sup>[5]</sup>针对水源热泵系统采用不同的低GWP制冷剂进行研究,考虑到水源热泵系统的COP、容积加热能力、压力比和排气温度,选择R1234ze(E)进行研究,因为它在较宽的工作温度范围内具有相对优异的系统性能。此外,还对使用R1234ze(E)作为工作流体的水源热泵进行了仿真、构建和测试。实验结果表明,R1234ze(E)热泵的COP可达3.5,热源在10℃~30℃,出水温度在60℃

【作者简介】陈绍明(1974-),中国安徽泾县人,本科,高级工程师,从事水源热泵中央空调、医院信息系统以及医疗设备管理与维护研究。

以上。Wang等<sup>[6]</sup>从地下水中低品位能量的梯级利用角度,提出一种新型地面水源热泵(GWHP)系统。地下水将首先用于冷却/加热预调节器中的新鲜空气,然后进入热泵(HP)单元的冷凝器/蒸发器进行二次利用。因此,最大限度地利用了地下水中储存的低品位能量,并降低了整个热泵系统和建筑物的能耗。

水源热泵技术因具备节能、环保、经济、高效等诸多优势在建筑行业暖通空调领域中的应用范围非常广泛,一大批学者及工程人员针对水源热泵技术不断探索优化,根据水源热泵运行工况的特点对制冷剂、换热器、循环泵等进行了大量研究,但在应用过程中仍然存在一些技术问题,论文从水源热泵系统的实际应用出发,对夏热冬冷地区公共建筑中地下水源热泵系统和传统方案进行对比分析,对水源热泵在节能、碳排放量、年节约费用、静态投资回收年限等方面的效益进行研究。

## 2 项目概况

泾县医院位于中国安徽省东南部,地处北纬30° 21′ ~ 30° 50′,东经117° 57′ ~ 118° 41′。泾县地下水多年平均补给模数为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ,降雨入渗补给模数为 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ;侧向径流排泄与侧向径流补给基本相等。研究区地下水集中开采条件较好,单井出水量 $500 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右。泾县医院新区水源热泵系统覆盖的建筑物面积约 $55000 \text{ m}^2$ ,夏季总冷负荷 $5508 \text{ kW}$ ,冬季总热负荷 $3948 \text{ kW}$ 。为满足冷热负荷及四季热水负荷需求设计有2台满液式水源热泵机组,机组参数如表1所示。夏季冷量不足采用冷却塔辅助散热,设计选用冷却塔按照全部冷负荷考虑,即夏季全部使用冷却塔也可满足制冷需求。

表1 机组参数表

序号	名称	规格	数量
1	水源热泵机组 LSBLGR-2570M	1-1、1-2	2
		制冷量: $1911.5 \text{ kW}$ , 输入功率: $372.5 \text{ kW}$	
		制热量: $2567.9 \text{ kW}$ , 输入功率: $482.4 \text{ kW}$	
2	水源热泵机组 LSBLGR-1670M	2	1
		制冷量: $1242 \text{ kW}$ , 输入功率: $244 \text{ kW}$	
		制热量: $1671.2 \text{ kW}$ , 输入功率: $316.2 \text{ kW}$	

根据当地的水源条件,地下水温度 $18 \sim 20^\circ\text{C}$ ,夏季制冷时取地下水温差为 $15^\circ\text{C}$ ,冬季供暖时取地下水温差为 $12^\circ\text{C}$ 。系统采用高位膨胀水箱定压补水,确保系统安全、稳定运行。定压点位于系统循环水泵吸入口。设计供、回水温度:夏季 $7/12^\circ\text{C}$ ,冬季 $45/40^\circ\text{C}$ 。本系统冷、热源采用井水,井水温度为: $19 \pm 1^\circ\text{C}$ 。夏季采用井水,优先制热水,如果井水水量不够则开启冷却塔。冬季采用井水采暖,优先制热水。

## 3 冷热负荷及水量计算

总建筑地上面积约 $55000 \text{ m}^2$ ,空调使用面积为 $4.125 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,冷负荷 $120 \text{ W/m}^2$ ,热负荷 $80 \text{ W/m}^2$ 。计算得空调总冷负荷为 $4950 \text{ kW}$ ;空调总热负荷为 $3300 \text{ kW}$ 。热水负荷:每天配置50吨, $50^\circ\text{C} \sim 55^\circ\text{C}$ 生活热水,每天制热水时间10小时,每小时热水负荷(取冬季极限温差 $45^\circ\text{C}$ 计算)为 $261.675 \text{ kW/h}$ ,系统总的热负荷为 $3561.675 \text{ kW}$ ,见表2。

表2 系统总冷热负荷

总冷负荷(kW)	总热负荷(kW)
4950	3561.675

地下水源热泵每小时所需的地下水量:

以原始水温按 $19^\circ\text{C}$ ,系统总的热负荷为计算依据,满液式水源热泵采用小流量大温差原理,取地下水温差 $10^\circ\text{C}$ ,计算每小时所需地下水量计算公式为:

$$Q_R = \frac{q_R}{4050(t_{D1} - t_{D2})} \times \frac{COP - 1}{COP} \quad (1)$$

其中, $Q_R$ 为冬季供热所需地下水量( $\text{m}^3/\text{h}$ ); $q_R$ 为系统总的热负荷( $\text{kJ/h}$ ); $t_{D1}$ 为进入热交换器的地下水温度( $^\circ\text{C}$ ); $t_{D2}$ 为离开热交换器的地下水温度( $^\circ\text{C}$ );COP为热泵的制热系数;4050是单位换算系数。

计算得每小时所需地下水量为 $235.028 \text{ t/h}$ ,根据勘探井抽水试验资料,按枯水期不回灌条件下保守单井出水量 $22 \text{ t/h}$ 计算(在回灌抽水条件下单井出水量将 $> 22 \text{ t/h}$ ),满足总需水量 $235 \text{ t/h}$ 要求时开采井为11口,回灌井按一抽一灌计算(回灌试验数据为一抽一灌),另外再增加2口备用井,总井数为24口。

## 4 节能特性分析

### 4.1 节能量计算

#### 4.1.1 传统系统的总能耗计算

冬季:根据建筑全年累计热负荷,计算整个供暖季传统系统的总能耗,计算公式如下:

$$Q_t = \frac{Q_H}{\eta_t q} \quad (2)$$

其中, $Q_t$ 为传统采暖系统的总能耗( $\text{kgce}$ ); $Q_H$ 为供暖季累计热负荷( $\text{MJ}$ ); $q$ 为标准煤热值( $\text{MJ/kgce}$ ); $\eta_t$ 为以传统能源为热源时的运行效率;根据项目适用的常规能源,其效率详见表3。

表3 以传统能源为热源时的运行效率

常规能源类型	热水系统	采暖系统	热力制冷空调系统
电	0.31	—	—
煤	—	0.70	0.70
天然气	0.84	0.80	0.80

计算得冬季传统系统的总能耗 $Q_t$ 为 $727038.04 \text{ kgce}$ 。

夏季:根据建筑全年累计冷负荷,计算整个供冷季传

统系统的总能耗,计算公式如下:

$$Q_t = \frac{DQ_c}{3.6EER_t} \quad (3)$$

其中,  $Q_t$  为传统空调系统的总能耗 (kgce);  $Q_c$  为供冷季累计冷负荷 (MJ);  $D$  为每度电折合所耗标准煤量 (kgce/kWh), 取 0.303kgce/kWh;  $EER_t$  为传统制冷空调方式的系统能效比; 以常规水冷冷水机组作比较对象, 其系统能效比如表 4 所示。

表 4 常规制冷空调系统能效比 EER

机组容量 (kW)	系统能效比 EER
< 528	2.3
528~1163	2.6
> 1163	2.8

计算得夏季传统系统的总能耗  $Q_t$  为 313981.80kgce, 传统系统的总能耗  $Q_t$  为 1041019.83kgce。

#### 4.1.2 水源热泵系统总能耗计算

根据热泵系统实测的系统能效比和建筑全年累计冷负荷, 计算整个供暖季 (制冷季) 水源热泵系统的年耗电量, 计算公式如下:

$$Q_{rc} = \frac{DQ_c}{3.6EER_{sys}} \quad (4)$$

$$Q_{rh} = \frac{DQ_h}{3.6COP_{sys}} \quad (5)$$

其中,  $Q_{rc}$  为水源热泵系统年制冷总能耗 (kgce);  $Q_{rh}$  为水源热泵系统年制热总能耗 (kgce);  $D$  为每度电折合所耗标准煤量 (kgce/kWh), 取 0.303kgce/kWh;  $Q_h$  为建筑全年累计热负荷 (MJ);  $Q_c$  为建筑全年累计冷负荷 (MJ);  $EER_{sys}$  为热泵系统的制冷能效比;  $COP_{sys}$  为热泵系统的制热性能系数。

计算得  $Q_{rh}=432881.14\text{kgce}$ ;  $Q_{rc}=283596.46\text{kgce}$ 。水源热泵系统的总能耗  $Q_r$  为 716477.60kgce。

#### 4.1.3 常规能源替代量

水源热泵系统的常规能源替代量  $Q_s$  = 传统系统的总能耗 (kgce) - 水源热泵系统的总能耗 (kgce), 计算可得该地下水源热泵系统的常规能源替代量  $Q_s=324542.23\text{kgce}$ 。

#### 4.2 能效评价

空调系统节能状况一般用能效比来反映, 能效比数值越大, 系统运行所需要消耗的电功率就越小, 制冷能效比和制热能效比计算方法:  $EER = \text{制冷量} / \text{制冷消耗功率}$ ;  $COP = \text{制热量} / \text{制热消耗功率}$  [7]。根据设计负荷和水源热泵机组参数, 计算得 EER 为 5.88, COP 为 4.67。

根据 GB/T19409—2013《水 (地) 源热泵机组》规定用 ACOP 表示水 (地) 源热泵机组在额定制冷工况和额定制热工况下满负荷运行时的能效,  $ACOP=0.566EER+0.44COP$ ,

计算得 ACOP 为 5.3512, 满足 GB/T19409—2013《水 (地) 源热泵机组》地下水式水源热泵机组额定制冷量大于 150kW 时综合性能系数 ACOP 达到 4.4 的要求。

#### 4.3 经济及环境效益分析

本水源热泵项目常规能源替代量为 324542.23kgce, 以 1t 煤发电量 3000kWh 计算,  $CO_2$ 、 $SO_2$ 、氮氧化物排放量分别为 2620kg、8.5kg、7.4kg。该系统运行后  $CO_2$  减排量约为 801.62 吨/年,  $SO_2$  减排量约为 6.49t/y, 粉尘减排量约为 3.25t/y。以 2022 年安徽省居民生活用电电价 0.5653 元 /kWh 计算, 该系统年节约费用 404602.02 元。项目增量成本约为 400 万元, 静态投资回收年限为 9.89 年, 如表 5 所示。

表 5 经济及环境效益表

$CO_2$ 减排量 (t)	$SO_2$ 减排量 (t)	粉尘减排量 (t)	年节约费用 (万元)	静态投资回 收年限(年)
801.62	6.49	3.25	40.46	9.89

#### 5 结语

论文从实际项目出发, 对水源热泵空调系统在经济、环境方面的优势进行定量分析。结果表明, 该项目中水源热泵空调系统可节约常规能源 324542.23kgce, 静态投资回收年限 9.89 年, 经济优势突出, 同时具有明显的环境效益, 工作过程中不排放废气、废水、废渣, 减少了环境的碳排放及污染物排放, 年二氧化碳减排量约为 801.62t/y, 二氧化硫减排量约为 6.49t/y, 粉尘减排量约为 3.25t/y。实现了通过“绿色”利用能源方式来调节建筑物内空气环境, 这对建设绿色低碳医院具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] 江亿, 胡珊. 中国建筑部门实现碳中和的路径[J]. 暖通空调, 2021, 51(5): 1-13.
- [2] 韦婷, 车巧慧, 韩玉杰. 水源热泵井群布置方案对地下水流场影响分析[J]. 地下水, 2014, 36(3): 31-33.
- [3] 车巧慧. 地下水动力学条件对地下水源热泵系统的约束研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
- [4] Schibuola L, Scarpa M. Experimental analysis of the performances of a surface water source heat pump[J]. Energy and Buildings, 2016(113): 182-188.
- [5] Yan H, Wu D, Liang J, et al. Selection and validation on low-GWP refrigerants for a water-source heat pump[J]. Applied Thermal Engineering, 2021(193): 116938.
- [6] Wang Z, Wang L, Ma A, et al. Performance evaluation of ground water-source heat pump system with a fresh air pre-conditioner using ground water[J]. Energy Conversion and Management, 2019(188): 250-261.
- [7] 李晖. 浅、薄含水层中地热能开发利用方法研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.