



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.02.031

洪顺军, 杜卫, 李志鹏, 等. 水源热泵系统取退水方案与温度场模拟[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(2): 203-208. HONG Shunjun, DU Wei, LI Zhipeng, et al. Water drawing and draining scheme for water source heat pump and simulation of temperature field[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(2): 203-208. (in Chinese)

水源热泵系统取退水方案与温度场模拟

洪顺军¹, 杜卫¹, 李志鹏², 刘永红¹, 吴义勇¹, 何敬行¹, 金羿¹

(1. 中节能先导城市节能有限公司, 长沙 410208; 2. 长沙理工大学 能源与动力工程学院, 长沙 410114)

摘要: 为了更加深入的研究水源热泵项目, 介绍了某水源热泵项目概况及取退水方案, 计算了夏季工况、冬季正常工况及冬季极端工况的取水量; 建立了取退水部分三维模型图, 采用 CFX 软件对 3 个工况下取退水对河流的影响进行了数值模拟, 并分析了水源热泵项目的节能效果。研究结果表明: 3 个工况下退水水流均不会对河流 A 上游取水口周边温度场产生影响; 河流 B 汇入河流 A 之前平均水温与河流 A 基础温度相比较, 温升(降) 低于 1℃, 退水不会对河流 A 产生影响; 项目节能效果显著。通过研究水源热泵取退水对河流温度场的影响以及项目的节能效果, 对水源热泵项目的设计与优化有一定参考作用。

关键词: 水源热泵; 取退水; 温度场; 数值模拟; 节能

中图分类号: TK79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)02-0203-06

Water drawing and draining scheme for water source heat pump and simulation of temperature field

HONG Shunjun¹, DU Wei¹, LI Zhipeng², LIU Yonghong¹, WU Yiyong¹, HE Jinghang¹, JIN Yi¹

(1. Cecep & Cpih City Energy Conservation Co. Ltd., Changsha 410208, China;

2. College of Energy and Power Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: In order to further study water source heat pump projects, we generally introduced a water source heat pump project and its water drawing and draining scheme, calculated the water intake in summer conditions, normal winter conditions, and extreme winter conditions, built a 3D diagram of the water drawing and draining part, used CFX to numerically simulate the effects of water drawing and draining on the river in the three conditions, and analyzed the energy conservation effect of water source heat pump. Results showed that in the 3 conditions, the draining streams have no effect on the temperature field around the upstream water inlet in River A. Compared with the basic temperature of River A, the average water temperature of River B before joining River A fluctuates by less than 1℃, meaning the water draining has no effect on River A. The energy conservation effect of the project is prominent. The study on the effect of water drawing and draining by water source heat pumps on the temperature field of rivers and the energy conservation effect of the project can provide reference for the design and optimization of water source heat pump projects.

Key words: water source heat pump; water drawing and draining; temperature field; numerical simulation; energy conservation

热泵是以消耗一部分高温位能或高品质能(电能、机械能等)为代价, 基于热力循环原理, 将热能由低温物体转移至高温物体的能量利用系统^[1-3]。水源热泵是热泵的一类, 水源热泵是一种被广泛应用

的热泵系统, 其能效比高于空气源热泵, 尤其是采用水源热泵技术能够有效降低整个空调系统能耗, 充分提高能源的利用率^[4-6]。近几年来, 国内将水源热泵的应用范围进行了拓展, 在水源热泵项目的基础

收稿日期: 2016-01-22 修回日期: 2016-06-13 网络出版时间:

网络出版地址:

作者简介: 洪顺军(1988-), 男, 贵州瓮安人, 主要从事流体系统节能、水源热泵系统及区域供能输配系统的研究与应用工作。E-mail: hongshunjun@126.com

上诞生了很多湖水源热泵项目,围绕该种技术形式的研究课题较为丰富,其中针对取水方式、系统能效以及节能效果等问题的研究较多^[79]。

1 项目概况

1.1 供能面积及负荷

某水源热泵项目供冷(热)面积为136.6万m²,建筑业态包括商业、住宅。根据《全国民用建筑工程设计技术措施》(暖通空调·动力),结合项目建筑的具体使用情况,确定了各建筑设计日的逐时冷负荷系数;根据陆耀庆主编的《实用供热空调设计手册》(第二版),确定了各建筑业态的同时使用系数,该项目设计日逐时冷热负荷见图1。

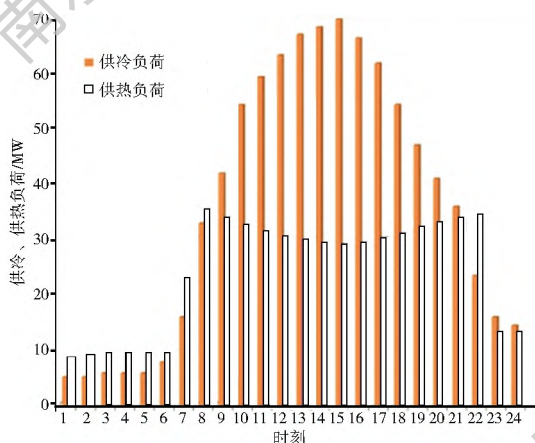


图1 设计日逐时负荷

Fig. 1 Hourly loads on design day

从图1可以看出,该项目设计日供冷负荷为69.9 MW,供热负荷为35.4 MW。

1.2 技术形式

我国水资源贫乏,针对江、河、湖的很多研究成果为水源热泵的应用提供了参考,有利于热泵项目的优化设计^[10-12]。该项目临近河流A及河流B,河流A流量远远大于河流B,两条河流交汇,河流B汇入河流A,是典型的可采用水源热泵为区域内建筑进行供能的项目,在考虑系统经济性及效率的基础上,采用水源热泵与冷水机组相配合的技术形式,该项目水源热泵系统主机配置见表1。

表1 系统主机配置

Tab. 1 Configurations of main body of the system

| 名称 | 装机容量/kW | 台数 | 供能能力/MW |
|------|------------|----|---------|
| 水源热泵 | 制冷量:10 000 | 4 | 40 |
| | 制热量:9 850 | | 39.4 |
| 冷水机组 | 制冷量:10 000 | 3 | 30 |

2 取退水方案

2.1 取水量分析与计算

2.1.1 夏季取水量分析计算

根据《实用供热空调设计手册》(第二版),对于水源热泵项目,夏季取水量可根据式(1)进行计算:

$$Q_1 = a \times (W_1 + 1 \div COP_1 \times W_1) \times 0.859 \div T_1 \quad (1)$$

式中: a 为取水系数,在设计过程中,考虑到取水安全、水处理损耗以及水泵并联后流量会衰减,根据设计经验,取1.1; Q_1 为取水量(m³/h); W_1 为夏季冷负荷(kW); COP_1 为主机制冷效率,该项目主机夏季 COP_1 为5.67; T_1 为取退水温差,该项目设计取退水温差为5℃。

结合该项目夏季设计日逐时供冷负荷数据,可计算出夏季设计日取水量,具体见图2。

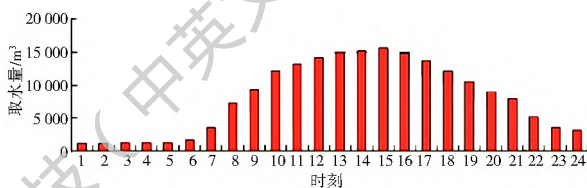


图2 夏季设计日各时刻取水量

Fig. 2 Hourly water intake on design day in summer

从图2可以看出,该项目夏季设计日总取水量为19.52万m³,最大小时取水量为1.52万m³。夏季周平均最大取水量取夏季设计日取水量的80%,夏季周总取水量为 $Q_{1w} = 0.8 \times 19.52 \times 7 = 109.31$ 万m³,平均小时取水量为0.65万m³。

2.1.2 冬季取水量分析计算

(1) 冬季正常工况取水量。

冬季正常工况取水量可根据式(2)进行计算:

$$Q_2 = a \times (W_2 - 1 \div COP_2 \times W_2) \times 0.859 \div T_2 \quad (2)$$

式中: a 为取水系数,取1.1; Q_2 为取水量(m³/h); W_2 为冬季热负荷(kW); COP_2 为主机制热效率,该项目主机冬季正常工况 COP_2 为4.45; T_2 为取退水温差,该项目冬季正常工况设计取退水温差为5℃。

结合该项目冬季正常工况设计日逐时供热负荷数据,可计算出冬季正常工况设计日取水量,具体见图3。

从图3可以看出,该项目冬季正常工况下设计日总取水量为8.47万m³,最大小时取水量为0.52万m³。冬季周平均最大取水量取冬季设计日取水量的80%,冬季正常工况周总取水量 $Q_{2w} = 0.8 \times 8.47 \times$

$7= 47.43 \text{ 万 m}^3$, 平均小时取水量为 0.28 万 m^3 。

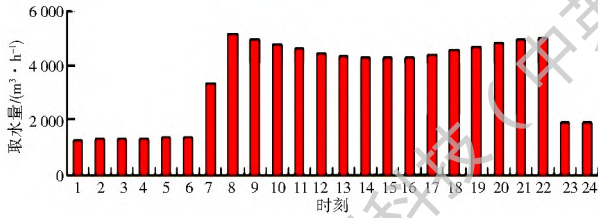


图3 冬季正常工况设计日各时刻取水

Fig. 3 Hourly water intake on design day in normal winter conditions

(2) 冬季极端工况取水。

冬季极端工况下取水计算参照式(2), 其中主机冬季极端工况 COP_3 为 4.0, 取退水温差 T_3 为 $3 \text{ }^\circ\text{C}$, 其他参数保持不变。通过计算, 冬季极端工况下设计日各时刻取水见图4。

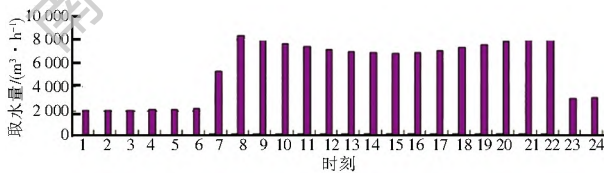


图4 冬季极端工况设计日各时刻取水

Fig. 4 Hourly water intake on design day in extreme winter conditions

从图4可以看出, 该项目冬季极端工况下设计日总取水量为 13.59 万 m^3 , 最大小时取水量为 0.84 万 m^3 。冬季周平均最大取水量取冬季设计日取水量的 80%, 冬季极端工况下周总取水量为: $Q_{3w} = 0.8 \times 13.59 \times 7 = 76.1 \text{ 万 m}^3$, 平均小时取水量为 0.45 万 m^3 。

该项目夏冬两季取水量见表2。

2.2 取水及退水位置

由于该项目靠近河流A及河流B, 项目能源站从河流A经取水头部取水, 退水于河流B中, 再汇入河流A中。能源站取退水总平面及退水部分示

表2 项目夏冬两季取水量

Tab. 2 Water intake of the project in summer and winter

| 工况 | 最大取退水流量 / (万 m³·h⁻¹) | 周平均小时取退水流量 / (万 m³·h⁻¹) | 取退水温差 (°C) |
|--------|----------------------|-------------------------|------------|
| 夏季 | 1.52 | 0.65 | 5 |
| 冬季正常工况 | 0.52 | 0.28 | 5 |
| 冬季极端工况 | 0.84 | 0.45 | 3 |

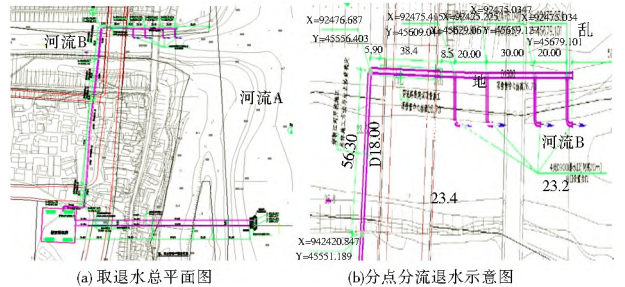


图5 取退水示意图

Fig. 5 Diagram of water drawing and draining

意图分别见图5(a)、图5(b)所示。

为了降低温排水对河流B退水口局部温度场的影响, 采用多点退水方式。

3 温度场数值模拟

ANSYS-CFX 软件主要应用于大坝、水轮机、河流污染等项目的流体仿真中。采用 CFX 对该项目取退水温度场进行模拟, 对于通常的河水流动, 湍流模型可选择标准的 $k-\epsilon$ 模型。标准 $k-\epsilon$ 模型是两个方程的模型, 要解两个变量, 速度和长度尺度。近年来, 很多学者采用数值模拟方法对(湖)水源热泵项目取退水方案进行了研究, 成果颇丰^[13-16]。

3.1 边界条件及模型

数值模拟采用的河流A、河流B水文数据, 包括江面水位、取退水流量、温升/温降等, 具体参数见表3。

表3 计算参数表

Tab. 3 Calculation parameters

| 工况 | 河流A来流量 / (m³·s⁻¹) | 河流B来流量 / (m³·s⁻¹) | 河流A下游水位 / m | 取退水流量 / (m³·s⁻¹) | 温升 / 温降 (°C) | 备注 |
|------|-------------------|-------------------|-------------|------------------|--------------|-----------|
| 夏季 | 559 | 7.41 | 28.9 | 1.8 | 5 | 河流A最小控制流量 |
| 冬季正常 | 559 | 3.69 | 28.9 | 0.81 | 5 | 河流A最小控制流量 |
| 冬季极端 | 559 | 3.69 | 28.9 | 1.27 | 3 | 河流A最小控制流量 |

此外, 夏季工况: 河流A基础温度为 $30 \text{ }^\circ\text{C}$, 河水表面综合散热系数为 $42.5 \text{ W/m}^2 \times k$; 冬季正常工况: 河流A基础温度为 $8 \text{ }^\circ\text{C}$, 河水表面综合散热系数为 $8.5 \text{ W/m}^2 \times k$; 冬季极端工况: 河流A基础温度为 $6 \text{ }^\circ\text{C}$, 河水表面综合散热系数 $8.5 \text{ W/m}^2 \times k$ 。

取退水模型采用非结构化网格, 考虑到该项目水源热泵系统是在设定工况下长期运行, 根据该项

目实际特点, 采用稳态分析方法, 模拟的主要内容包含河流A、河流B河面的温度场。该水源热泵项目取退水部分三维模型见图6。

3.2 模拟结果分析

(1) 夏季工况模拟。

夏季退水温度为 308 K ($35 \text{ }^\circ\text{C}$), 夏季两条河流河面温度场及河流B距河流A河岸 45 m 处截面温

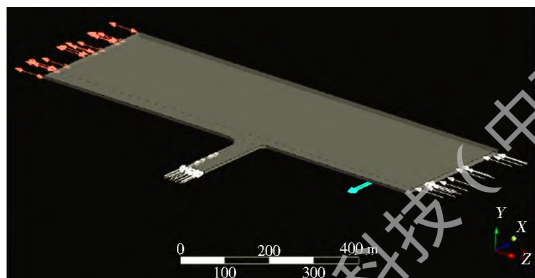
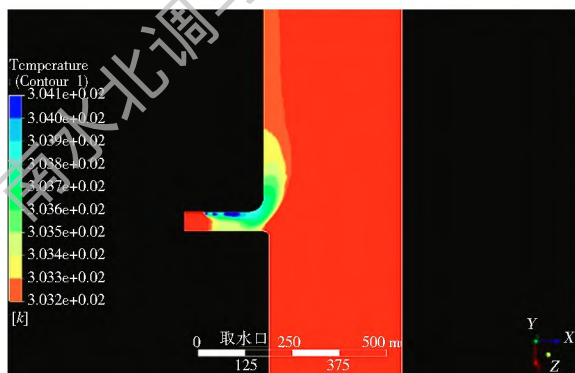


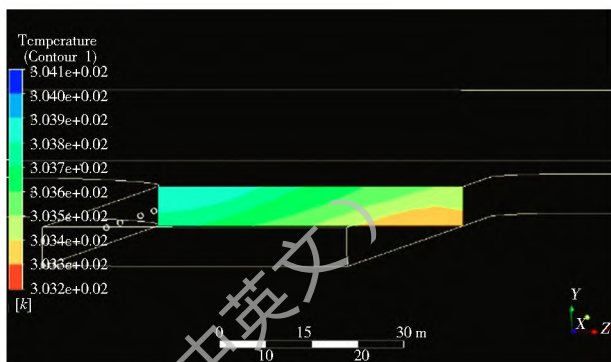
图 6 取退水三维模拟

Fig. 6 3D simulation diagram of water drawing and draining

度场模拟结果分别见图 7(a)、图 7(b) 所示。



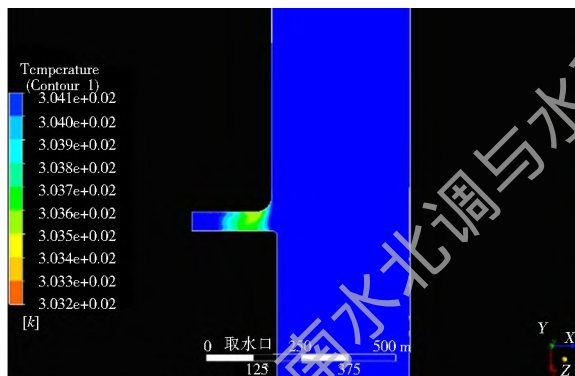
(a) 两条河流河面温度场



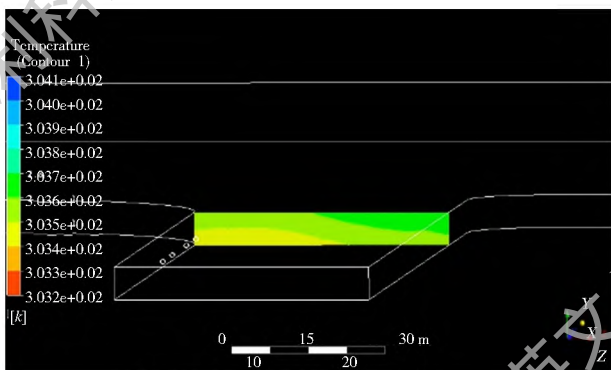
(b) 河流B距河流A河岸45m处截面温度场

图 7 夏季工况模拟结果

Fig. 7 Simulation results in summer conditions



(a) 两条河流河面温度场



(b) 河流B距河流A河岸45m处截面温度场

图 8 冬季正常工况模拟结果

Fig. 8 Simulation results in normal winter conditions

从图 8(a) 可以看出, 退水水流对河流 A 上游取水口周边温度场无影响; 从图 8(b) 可以看出, 河流 B 汇入河流 A 之前的平均水温为 7.31 °C(基础温度 8 °C), 温降小于 1 °C, 表明退水不会对河流 A 产生影响。

(3) 冬季极端工况模拟。

冬季极端工况下退水温度为 276 K(3 °C), 冬季极端工况下两条河流河面温度场及河流 B 距河流 A 河岸 45 m 处截面温度场模拟结果分别见图 9(a)、图 9(b)。

从图 9(a) 可以看出, 退水水流对河流 A 上游取

从图 7(a) 可以看出, 退水水流对河流 A 上游取水口周边温度场无影响; 从图 7(b) 可以看出, 河流 B 汇入河流 A 之前的平均水温为 30.51 °C(基础温度 30 °C), 温升低于 1 °C, 表明退水不会对河流 A 产生影响。

(2) 冬季正常工况模拟。

冬季正常工况下退水温度为 276 K(3 °C), 冬季正常工况下两条河流河面温度场及河流 B 距河流 A 河岸 45 m 处截面温度场模拟结果分别见图 8(a)、图 8(b) 所示。

水口周边温度场无影响; 从图 9(b) 可以看出, 河流 B 汇入河流 A 之前的平均水温为 5.39 °C(基础温度 6 °C), 温降小于 1 °C, 表明退水不会对河流 A 产生影响。

通过对夏季、冬季正常工况、冬季极端工况河流 A 及河流 B 河面温度场的模拟可以看出, 3 个工况下退水于河流 B 中的水流均不会对位于河流 A 上游的取水口产生影响; 3 个工况下河流 B 汇入河流 A 之前的平均水温与每个工况基础温度相比较, 温升(降)均低于 1 °C, 这表明退水水流不会对河流 A 产生影响。

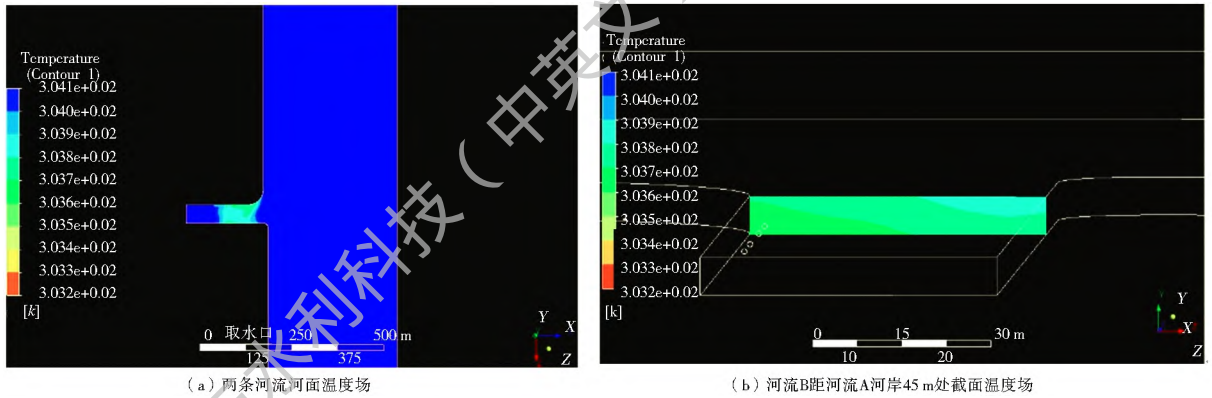


图9 冬季极端工况模拟结果

Fig. 9 Simulation results in extreme winter conditions

4 项目节能效果

随着泵站装置、阀门、拍门等水力机械设备的研究成果不断涌现,水力机械设备性能得以提升,有助于提高水源热泵项目的效率^[17-18]。水源热泵技术被广泛应用的一个重要原因是其在节能方面的优势,建筑节能已经成为我国的基本国策之一,针对水源热泵项目节能效果的研究成果较多^[19-21]。通过估算,该水源热泵项目与常规方案相比较,年节约用水429 113 t(折标煤36 79 tce),夏季节约电能消耗470 42万(k·Wh)(折标煤578 62 tce);虽然冬季采用水源热泵方案耗电增加1 385.22万(kW·h)(折标煤1 715 02 tce),但减少燃气消耗510.22万m³(折标煤6 195 75 tce),全年节约能源折合标煤5 157.675 9 tce。

5 结语

一个完整的水源热泵项目设计包含供能面积统计、负荷分析、技术方案、取退水方案、供能管网方案、投资造价及节能分析等多个方面的内容,其中取退水分析作为十分重要的一部分,取退水对江河表面温度场的影响分析至关重要。该水源热泵项目从河流A取水、退水于河流B中,通过对夏季、冬季正常工况、冬季极端工况的模拟分析,退水不会对取水口、河流A及河流B产生影响。此外,该水源热泵项目节能效果明显。通过分析水源热泵项目取退水对河流的影响、项目节能效果等内容,为未来水源热泵项目的应用及技术创新提供一定参考,能够有效推动节能环保行业的发展。

参考文献(References):

- [1] 王凯,李建风,曹锋,等.中高温水源热泵研究与发展趋势[J].流体机械,2007,35(3):68-72.(WANG Kai, LI Jianfeng, CAO Feng, et al. Research and development of medium high temperature water source heat pump [J]. Fluid Machinery, 2007, 35(3): 68-72. (in Chinese))
- [2] Oh S, Cho Y, Yun R. Raw water source heat pump for a vertical water treatment building [J]. Energy and Buildings, 2014, 68: 321-328.
- [3] 王勇,吴浩,刘勇,等.排热工况下湖水热泵系统的水体水温计算方法[J].土木建筑与环境工程,2010,32(4):62-65.(WANG Yong, WU Hao, LIU Yong, et al. Calculation method of water temperature in the condition of heat rejection for lake water source heat pump systems [J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2010, 32(4): 62-65. (in Chinese))
- [4] 梁葆春,杨志峰,孟可,等.黄浦江取排水在世博会工程水源热泵系统中的应用[J].给水排水,2010,36(5):96-100.(LIANG Bao chun, YANG Zhi feng, MENG Ke, et al. Application of the water taken from and drained to Huangpu River on Expo engineering water source heat pump system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(5): 96-100. (in Chinese))
- [5] 童明伟,秦增虎,张二峰.有限容积的湖水源热泵冬季供暖运行分析[J].重庆大学学报,2012,35(8):6-10.(TONG Ming wei, QIN Zeng hu, ZHANG Er feng. Operating analysis on finite volume of lake water source heat pump in winter heating [J]. Journal of Chongqing University, 2012, 35(8): 6-10. (in Chinese))
- [6] 梁昌祝,陈静,邓博.湖水源热泵冬季供暖适应性研究[J].制冷与空调,2014,28(2):252-256.(LIANG Chang zhu, CHEN Jing, DENG Bo. Study on the adaptability of lake water source heat pump in the heating engineering [J]. Refrigeration and Conditioning, 2014, 28(2): 252-256. (in Chinese))
- [7] 陈金华,刘猛,吴淑霞,等.湖水源热泵空调系统取水方式性能分析[J].湖南大学学报:自然科学版,2009,36(12):79-83.(CHEN Jin hua, LIU Meng, WU Shu xia, et al. Performance analysis of water intaking mode for lake source heat pump air conditioning system [J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2009, 36(12): 79-83. (in Chinese))
- [8] 马一太,刘春涛,田华,等.提高水源热泵机组效率的技术条件分析[J].太阳能学报,2012,33(1):30-36.(MA Yi tai, LIU Chun tao, TIAN Hua, et al. Technical conditions analysis of improving water source heat pump efficiency [J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2012, 33(1): 30-36. (in Chinese))

- [9] 王勇, 韩传璞. 基于降雨工况的开式湖水源热泵系统效率分析[J]. 中国给水排水, 2011, 27(21): 100-104. (WANG Yong, HAN Chuangpu. Analysis on efficiency of open loop lake water source heat pump system based on rainfall condition [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(21): 100-104. (in Chinese))
- [10] 李原园, 黄火键, 李宗礼, 等. 河湖水系连通实践经验与发展趋势[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(4): 81-85. (LI Yuan yuan, HUANG Huo jian, LI Zong li, et al. Practical experience and development trend of the interconnected river system network [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(4): 81-85. (in Chinese))
- [11] 张超. 影响湖水源热泵系统制冷供热能力若干因素的研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2012, 2-9. (ZHANG Chao. Study on the factors influencing the heating and cooling capacity of lake water heat pump system [D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2012, 2-9. (in Chinese))
- [12] 冉均均. 浅地表水源热泵在寿安镇区的应用研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2010, 3-8. (RAN Jun jun. The application of shallow surface water heat pump in Shouan Township [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010, 3-8. (in Chinese))
- [13] 郝小充, 余跃进. 湖水源热泵应用中的湖水温度场模拟[J]. 暖通空调, 2011, 41(9): 106-110. (HAO Xiaochong, YU Yuejin. Lake temperature field simulation in lake water source heat pump application [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2011, 41(9): 106-110. (in Chinese))
- [14] 刘冰, 刘加才, 庞炳乾, 等. 湖水源热泵退水对湖体温度场影响评价[J]. 可再生能源, 2015, 33(4): 572-578. (LIU Bing, LIU Jiaca, PANG Bingqian, et al. Lake water source heat pump water back impact assessment on the lake the temperature field [J]. Renewable Energy Resources, 2015, 33(4): 572-578. (in Chinese))
- [15] 杨建坤, 林丽娜, 甘崇炮. 夏热冬暖地区湖水源热泵取水方式的分析和研究[J]. 建筑热能通风空调, 2014, 33(4): 57-60. (YANG Jiankun, LIN Lina, GAN Chongpao, et al. Analysis and study on water intake way of lake water source heat pump in hot summer and warm winter area [J]. Building Energy & Environment, 2014, 33(4): 57-60. (in Chinese))
- [16] 王丽, 邹新胜, 徐磊, 等. 井头泵站竖井式贯流泵装置流态及性能分析[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(4): 123-127. (WANG Li, ZOU Xinsheng, XU Lei, et al. Flow pattern and performance analysis of shaft tubular pump system in jingtou pumping station [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(4): 123-127. (in Chinese))
- [17] 刘鹏, 田智华, 陈炼. 深圳地区湖水源热泵湖水温度预测模型的研究[J]. 建筑热能通风空调, 2012, 31(3): 5-7. LIU Peng, TIAN Zhihua, CHEN Lian. Study on mathematical model of lake water temperature in heat pump system with lake water source [J]. Building Energy & Environment, 2012, 31(3): 5-7. (in Chinese))
- [18] 洪顺军, 李志鹏. 上翻式和侧翻式拍门水力特性对比研究[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(2): 306-308. HONG Shunjun, LI Zhipeng. Comparative study on hydraulic characteristics of upturning and side dump flap valve [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015, 13(2): 306-308. (in Chinese))
- [19] 杨刚. 江水源热泵在长沙地区应用研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2014, 1-4. YANG Gang. Research on application of river water source heat pump technology in Changsha [D]. Changsha: Hunan University, 2014, 1-4. (in Chinese))
- [20] 崔文智, 姜宝石, 项勇. 水源热泵机组的节能效果[J]. 暖通空调, 2012, 42(2): 92-94. CUI Wen zhi, JIANG Baoshi, XIANG Yong. Energy saving effect of water source heat pump units [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2012, 42(2): 92-94. (in Chinese))
- [21] 薛志方, 史琳. 水源热泵系统节能运行控制研究[J]. 流体机械, 2006, 34(6): 46-50. XUE Zhifang, SHI Lin. Investigation on optimal control of economical operation of water source heat pump [J]. Fluid Machinery, 2006, 34(6): 46-50. (in Chinese))