

重庆市发展长江水源热泵的水源概况分析

王子云^{1,2}, 付祥钊¹, 王 勇¹, 仝庆贵¹

(1. 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 2. 河南科技大学 建筑工程学院, 河南洛阳 471003)

摘要: 为了解重庆段长江水作为热泵冷热源的概况, 对重庆段长江水温的横断面变化和时间变化进行了实测分析, 并对江水的水质和水位变化进行了分析, 得到长江水温在整个横断面基本恒定, 而江水的夏季月平均温度在 22~25 °C, 冬季月平均温度在 11~16 °C, 水温日变化幅度不超过 0.5 °C。是一种具有良好品质的稳定的冷热源。而长江水作为水源热泵的冷热源, 主要解决的水质问题是泥沙和悬浮物, 在三峡库区形成后水位变化可达到 30 m, 因此取水方式可考虑采用浮船取水方式。

关键词: 长江水源热泵; 冷热源; 水温; 水质; 含沙量

中图分类号: TU833+.3 文献标志码: A 文章编号: 1006-7329(2008)01-0092-03

Analysis of Yangtze River Water as a Potential Source for Developing a Water Source Heat Pump in Chongqing

WANG Zi-yun^{1,2}, FU Xiang-zhao¹, WANG Yong¹ and TONG Qing-gui¹

(1. College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 2. Architectural Engineering College, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003, P. R. China)

Abstract: The transectional distribution and temporal changes of Yangtze River water temperature are tested and analyzed in order to understand the general situation of Yangtze River water as the cooling and heating source for water source heat pumps in Chongqing, P. R. China. The water quality and water level variation are also analyzed. It is shown that Yangtze River water maintains a constant temperature across its transection. The monthly mean water temperature is 22~25 °C in summer and 11~16 °C in winter. Because daily water temperature variations do not exceed 0.5 °C, Yangtze River water is a high quality cooling and heating source. The main water quality problems are sediment concentration and suspended load. Because the water level varies by 30m since the formation of the Three Gorges Reservoir, a floating pontoon water intake is preferable.

Keywords: Yangtze River water source heat pump; cooling and heating source; water temperature; water quality; silt concentration

江、河、湖、海等天然水体中蕴含着大量的环境能源, 开发利用这些天然冷热源将为国家乃至世界能耗结构带来巨大的变化。重庆市地处长江上游地区, 长江与嘉陵江水在市区朝天门汇合后进入三峡库区, 根据两江汇合口朝天门下游 7 km 的寸滩水文站的资料统计, 长江在重庆段多年平均流量为 10 930 m³/s, 市区可利用的长江淡水冷热资源异常丰富, 国家已经将利用长江水发展水源热泵技术列入了“十一五”规划。但目前针对重庆段长江水作为冷热源的水源概况, 缺乏进一步的了解和分析。

江水温度的时间变化决定了其作为水源热泵的冷热源的品位和时间持续稳定性, 长江水温的空间分布和泥沙浓度有利于合理选择取水位置, 而江水的水质对我们选择水源热泵的系统形式和采用何种换热器形式起着决定作用。为此作者对长江重庆段的水温和水质进行了调研测试和分析。

1 重庆段长江水温的横断面分布

影响地表水温度空间分布的因素有水面空气温度和太阳辐射引起的换热、水体和接触土壤的热传导, 以

* 收稿日期: 2007-05-21

基金项目: 国家十一五科技支撑计划项目(2006BAJ01A06-3); 重庆市建委科技攻关项目(200641)

作者简介: 王子云(1972-), 男, 重庆大学博士研究生, 主要从事水源热泵技术研究, (E-mail) wzyfirst@163.com。

及水的流动引起的对流换热。为选择合适的江水取水位置,需要对江水的过流断面的温度分布进行测试分析。测试仪表选用 Hoboware 水下温度记录仪,仪表精度 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,该仪表可对水位和温度进行自动连续记录。同时用分度值为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水银温度计进行测试,以保证测试数据的准确性。

1.1 长江水温的垂直分布测试

为测试江水的垂直分布,于 2006 年 7 月 31 日和 2007 年 1 月 10 日,在重庆朝天门长江上游侧,以水深度分别为 0.2、0.5、1、2、3、5 m,测试位置选在距离江边 40 m 处(冬季该处测试时刻水深最大为 3 m),结果见表 1,由表可以看出,在 0.2 m 以下江水温度在垂直方向上没有变化。因此空气和太阳辐射与江水的换热只在水体表面进行,而水体温度在垂直方向上是分布均匀的。

表 1 水温的垂直分布测试表

测试时间	天气状况	水深/m					
		0.2	0.5	1	2	3	5
7月31日	晴天	27.7	27.7	27.6	27.6	27.6	27.6
8月3日	阴天	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	—

1.2 长江水温横向分布测试

于 2006 年 7 月 31 日和 2007 年 1 月 10 日,分别对距离江边 0.5 m、1 m、2 m、10 m、20 m 和 40 m,水深同为 0.5 m 的位置进行水温测试,测试结果表明同一时刻不同位置的江水温度相同(两个测试日水温分别为 $27.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $11.5\text{ }^{\circ}\text{C}$),可见水温在横向上分布也是均匀。

由长江水温度的垂直分布和横向分布测试结果可见,水温在整个横断面上的变化很小,分布基本均匀。水面空气温度和太阳辐射引起的换热、水体和接触土壤的热传导,对江水温度断面分布影响很小。由于江水的流动速度在 $2\sim 3\text{ m/s}$ 左右,使得江水在夏季从空气和太阳辐射得到的热量以及对土壤的散热(重庆地区地下土壤温度基本维持在 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右),由于江水紊流的作用,不能形成大范围的温度梯度。对于冬季江水温度高于空气温度,向空气散热,同时吸收太阳辐射和土壤热传导的热量,虽然传热方向有所不同,但由于江水的流速和夏季基本相同,因此江水温度横断面分布也基本均匀。因此在考虑取水位置时,可不考虑水深对温度的影响。由于江水表面到水深 0.5 m 的范围内,容易出现大尺度的漂浮物,会造成取水口的堵塞,而含沙量和泥沙粒径随着水深增加而增加^[1-2],为减少进入取水管道的泥沙量,可在水下 0.5 m~2 m 范围内取水。考虑到土壤温度夏季低于江水温度,冬季高于江水温度,对江水冷热源的利用是有利的,取水位置可尽量接近岸边,取水管也可采用地下直接掩埋的方式

(夏季土壤温度低于江水温度,冬季土壤温度高于江水温度),这样可以进一步保持和提高冷热源品质。

2 重庆段长江水温的时间变化分析

2.1 长江水温的月平均温度变化

取长江寸滩水文站 2004 年月平均水温资料、2006 年实测江水月平均温度及重庆月平均干球温度^[3]进行对比,见图 1,由图可以看出实测月平均水温和水文站水温资料基本一致,2006 年夏季月平均水温稍高于 2004 年夏季月平均水温,但温差不超过 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,引起这种变化的原因与 2006 年重庆出现罕见的高温干旱天气有关。从图中还可以看出长江水夏季月平均温度在 $22\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$,较夏季月平均干球温度低 $3\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,冬季月平均水温在 $11\sim 16\text{ }^{\circ}\text{C}$,较冬季月平均干球温度高 $2\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$,从一年内的月平均气温和月平均水温变化趋势上看,水温是随着气温的升高而升高,但由于水的热容比较大,水温相比于气温的变化具有一定的迟滞性,从而形成了夏季水温低于气温,冬季水温高于气温的现象。

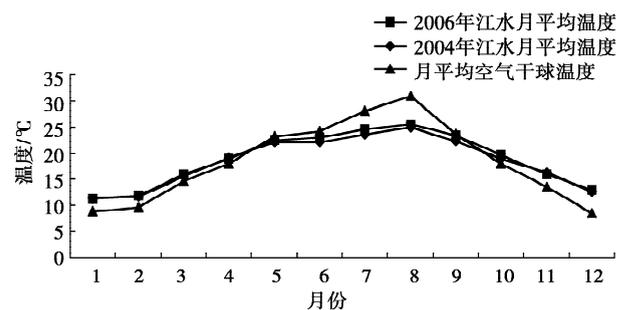


图 1 长江月平均水温及月平均干球温度变化

2.2 长江水温的日变化情况

由于气温日波动变化大,从月平均温度上比较只能从年变化趋势上大体比较气温和水温的变化规律,为更详细的了解水温的概况,有必要分析对比江水温度和空气干球温度的日变化情况,分别取 2006 年 8 月 28 日和 2007 年 1 月 6 日水温和空气干球温度的日变化测试数据进行比较,测试是以 1 h 为间隔,结果见图 2,图 3。由图 2 可以看出,在夏季测试日内,最高气温 $39.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低气温 $33.2\text{ }^{\circ}\text{C}$;最高水温 $26.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低水温 $26.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,在测试日内江水温度较气温低 9 到 $14\text{ }^{\circ}\text{C}$,在气温 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的波动范围内,水温的波动仅有 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由图 3 可以看出,在冬季测试日内,最高气温 $9.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低气温 $6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$;最高水温 $12.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低水温 $11.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,在测试日内江水温度较气温高 $2.7\sim 5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,在气温 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的波动范围内,水温的波动仅有 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。可见江水不但在夏季较气温具有较低的温

度,在冬季较气温具有较高温度,而且在夏季和冬季都具有水温日波动变化小的特点。

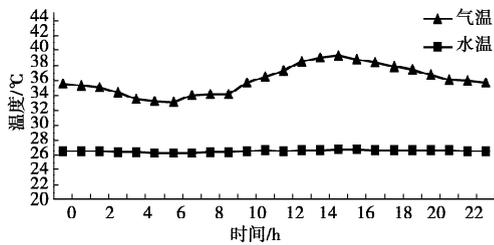


图2 实测夏季长江水温和空气干球温度日变化

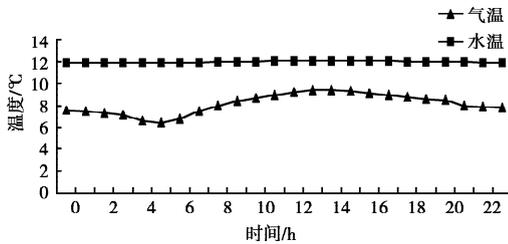


图3 实测冬季长江水温和空气干球温度日变化

以上2006年的测试数据中出现的较高的气温和水温,与2006年重庆出现罕见的干旱高温天气有关,但数据不影响气温和水温的对比以及水温的横断面分布情况。

2.3 重庆段长江水作热泵冷热源的节能性分析

从以上重庆长江水的月平均水温和水温的日变化情况可以见,江水相比于空气夏季具有更低的温度(月平均水温22~25℃),冬季具有更高的温度(月平均水温11~16℃),温度波动小,时间稳定性更好,而且江水具有更高的密度和比热,是一种具有更高品位的冷热源。

以夏季月平均水温作为热泵机组冷凝器冷却水进水温度(22~25℃),换热温差为5℃,冷冻水供回水温度分别为7℃和12℃,与冷水机组标准工况(冷凝

器冷却水进水温度30℃)比较,制冷性能系数可提高15%~24%^[4-5]。

以冬季月平均水温11~16℃为热泵机组蒸发器进水温度,换热温差为5℃,热水出口温度为45℃,与燃气锅炉(燃烧效率0.9)比较,考虑一次能源消耗率,江水源热泵系统节能率可提高20%~35%,与空气源热泵(重庆市冬季室外计算温度为3.5℃)比较,节能率可提高30~45%^[4]。

3 重庆段长江水质情况分析

水源的水质对水处理方式和机组的稳定运行有很大影响,图4为长江寸滩水文站2004年月平均含沙量变化,从图中可看出,长江水夏季月平均含沙量在370~920 mg/l,冬季月平均含沙量在23~42 mg/l,年平均含沙量为522 mg/l。可见长江水泥沙含量季节变化很大。

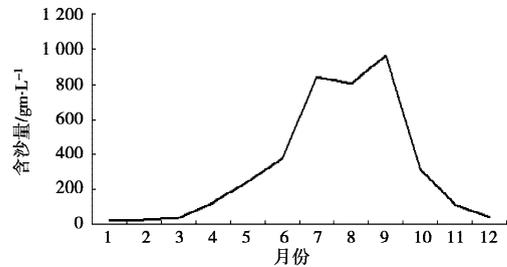


图4 长江寸滩水文站2004年月平均含沙量变化

为分析水质对长江水源热泵应用的影响,将文献6条文说明第7.3.3条和文献7第5.2.8条和6.2.4条对采用地下水、地表水的水源热泵机组推荐的水质要求值与实测长江重庆段水质比较,见表2:

表2 长江水水质与水源热泵机组推荐的水质要求比较

名称	PH值	CaO含量/ mg·L ⁻¹	矿化度/ g·L ⁻¹	Cl/ mg·L ⁻¹	SO ₄ ²⁻ / mg·L ⁻¹	Fe ²⁺ / mg·L ⁻¹	H ₂ S/ mg·L ⁻¹	含沙量/ mg·L ⁻¹
允许含量值	6.5~8.5	<200	<3	<100	<200	<1	<0.5	10
长江水水质	6.42~8.21	<80	<1.3	<15	<110	<0.2	<0.32	20~2 000

由表2可以看出水源热泵机组要求含沙量不能超过10 mg/L,长江水在泥沙含量上全年不能满足机组的要求。另外从表2可看出除了含沙量外,其它江水水质值均满足机组水质要求。由此可见,利用长江水做水源热泵水源,主要解决的问题是长江水的含沙量问题,尤其是夏季含沙量大、江水表面大尺度悬浮物含量高,使水变得浑浊。因此,利用江水发展水源热泵,对现有的水源热泵机组主要问题是长江水的处理,其处理工艺主要考虑除砂和悬浮物的过滤,同时合理选择取水深度(水面0.5 m以下),避免悬浮物进入管道。

4 三峡库区形成后长江水的水位变化

随着三峡水利枢纽的建设,大坝竣工后,库区的正常蓄水位为175 m,汛限制水位为145 m,水位变幅达30 m^[8],大坝上游库区沿岸的取水将面临着水位变化幅度大的问题,可用于水位变幅大的取水有缆车式取水、浮船式取水、圆筒形深井泵房取水和淹没式泵房取水等。选择取水方式时考虑到水源热泵需水量不大,为减少投资,浮船式取水方式是比较经济可行的取水方式。

(下转104页)

2) 试验结果表明,采用接触氧化+人工湿地的组合工艺处理中高浓度生活污水时,推荐的接触氧化池的运行工况是曝气强度为 $4.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,充水 0.25 h ,曝气为 2 h ,沉淀 1 h ,排水 0.25 h 。

3) 针对不同浓度的小区污水,本文认为可以通过调整组合工艺的运行方式以满足标准要求。对于较高污染浓度的小区污水按照间歇运行的方式运行,对污染浓度较低的小区污水采用低气水比连续曝气的方式运行。

4) 由于本实验是在冬季进行的,因此生物的活性较低,处理效果并不是最好的。如果在春季或夏季进行处理,因为温度升高时生物活性会相应提高,故处理效果将会有更大的提升。

参考文献:

- [1] 赵清. 污水回用中 COD 和氨氮去除方法探讨[J]. 石油化工环境保护 2001,7(3):1-5;
ZHAO Qing. Research on removal of COD and nitrogen in reused water [J]. Journal of Chemical-Agro Environmental Protection, 2001,7(3):1-5.
- [2] Hans brix use of constructed wetland in water pollution control historical development, present status, and futrueerspedtives [J]. Wat Sci Tech, 1994,30(8):209-223.

- [3] 白晓慧. 人工湿地污水处理技术及其发展研究 [J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1999(12):88-92.
BAI Xiao-hui. Study on constructed wetland treatment and application thereof [J]. Journal of Haer-Bing University, 1999(12):88-92.
- [4] 国家环保局. 环境保护国家标准汇编 [G]. 北京:中国标准出版社, 1999.
- [5] 谢有奎, 颜强. 污泥负荷对污水生物去除氮, 磷和有机的影响 [J]. 重庆建筑大学学报, 2004, 26(3):63-65.
XIE You-kui, YAN Qiang. Influence of sludge load for removal of nitrogen and phosphorus in wastewater [J]. Journal of Chongqing Architectural University, 2004, 26(3):63-65.
- [6] 周锋, 吴浩汀, 曾苏. 小区生活污水处理与回用技术 [J]. 污染防治技术, 2003, 16(4):50-53.
ZHOU Feng, WU Hao-ting, ZENG Su. Technology of recycling and treatment for district sewerage [J]. Journal of Pollution Control Technology, 2003, 16(4):50-53.
- [7] 王月红, 王正林. 生物接触氧化技术在生活小区污水处理中的应用 [J]. 净水技术, 2005, 24(4):28-30.
WANG Yue-hong, WANG Zheng-lin. Application of biological contact oxidation technology in district sewerage [J]. Journal of Water clarification Technology, 2005, 24(4):28-30.

(编辑 陈蓉)

(上接第94页)

5 结论

江水夏季月平均水温在 $22 \sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$, 冬季月平均水温在 $11 \sim 16 \text{ }^\circ\text{C}$, 夏季江水温度较空气温度低, 冬季较空气温度高, 而且温度波动小, 适合作为水源热泵的冷热源, 相比于空气具有更高的能源品质。

长江水水质除含沙量外, 其它水质要求值都满足相关文献对水源热泵水源水质的要求, 因此发展长江水源热泵主要解决的水质问题是泥沙和漂浮物的堵塞问题。

在江水取水位置和取水方式的选择上, 考虑到江水温度在整个断面上分布均匀、水面漂浮物多、含沙量和泥沙粒径随水深的增加而增加等因素, 可考虑选择取水位置为水面以下 $0.5 \sim 2 \text{ m}$ 的范围。由于三峡库区形成后江水的水位变化幅大, 最大可达到 30 m , 以考虑经济安全的浮船式取水方式为好。

参考文献:

- [1] 叶小云, 陈立, 吴门伍. 挟沙水流泥沙浓度分布的试验研究 [J]. 泥沙研究, 2003, 5(4):36-40.
YE Xiao-yun, CHEN Li, WU Men-wu. Experimental study on the distribution of sediment concentration in the sediment-laden flow [J]. Journal of Sediment Research, 2003, 5(4):36-40.

- [2] 许炯心. 近 40 年来长江上游干支流悬移质泥沙粒度的变化及其与人类活动的关系 [J]. 泥沙研究, 2005, 7(3):8-16.
XU Jiong-xin. Variation in grain size of suspended load in upper Changjiang river and its tributaries by human activities in recent 40 years [J]. Journal of Sediment Research, 2005, 7(3):8-16.
- [3] 中国气象局气象信息中心气象资料室. 中国建筑热环境分析专用气象数据集 [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2005.
- [4] 彦启森, 石文星, 田长青. 空气调节用制冷技术 [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2004.
- [5] 李玉云. 武汉地区地下水地源热泵的应用与分析 [J]. 暖通空调, 2006, 36(6):111-115.
LI Yu-yun. Application and analysis of groundwater source heat pump systems in Wuhan [J]. HV&AC, 2006, 36(6):111-115.
- [6] (GB50019-2003) [S]. 中华人民共和国建设部.
- [7] (GB50366-2005) [S]. 中华人民共和国建设部.
- [8] 张湘隆, 陈坚, 张小军. 大变幅水位水源泵站取水方式及机组选型研究 [J]. 中国农村水利水电, 2006, 10(5):97-101.
ZHANG Xiang-long, CHEN Jian, ZHANG Xiao-jun. Study on intake water mode and unit choice of pumping station of wide-range water level [J]. China Country Water Resource and hydropower, 2006, 10(5):97-101.

(编辑 胡玲)