

福州市闽江水源热泵技术应用基础数据库建设

欧阳恒^{1,2}

(1.福建工程学院 土木工程学院, 福建 福州 350118;

2.福建省土木工程新技术与信息化重点实验室, 福建 福州 350118)

摘要:对福州市境内闽江水的水温、水质和水位等重要参数开展测试工作,建立了福州市闽江水源热泵技术应用基础数据库。测试数据显示闽江水温在纵向断面上基本保持一致,相对气温变化稳定,适合作为冷热源。多项水质测试结果显示,主要水质指标均满足水源热泵机组的要求,闽江水存在浊度大和铁离子含量偏高的问题。闽江水位每日变化幅度受潮汐的影响较大,潮差自闽江口向闽江上游逐渐减少,其中马尾段每日最大水位差在2.58~5.34 m之间波动,水位年变化幅度为5.51 m。本研究旨在为福州市闽江水源热泵技术推广应用提供数据支撑。

关键词:水源热泵系统; 闽江; 水温; 水质; 水位

中图分类号: TU83

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2018)01-0017-05

Construction of the basic database for the application of Minjiang River water source heat pump technology in Fuzhou

OUYANG Heng^{1,2}

(1. School of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Fujian Provincial Key Laboratory of Advanced Technology and Informatization in Civil Engineering, Fuzhou 350118, China)

Abstract: The important parameters such as water temperature, water quality and water level of Minjiang River in Fuzhou were tested, and the basic database was established for the application of Minjiang River water source heat pump (WSHP) technology in Fuzhou. The test data show that the Minjiang River is suitable for the cold and heat sources of WSHP as the water flow is basically isothermal on the longitudinal section distribution and its temperature changes are relatively stable. Results from a number of water quality tests reveal that its main indexes can meet the requirements of the WSHP system, but the problems lie in the high turbidity and high iron ion concentration. The daily variation range of the Minjiang River water level is greatly affected by the tide, and the tidal range gradually decreases from the Minjiang River estuary to its upper reaches. The maximum daily water level difference in the Mawei section fluctuates between 2.58 and 5.34 m, and the annual variation of the water level is 5.51 m. The objective of this study is to provide data support for the extensive application of WSHP in Minjiang River in Fuzhou.

Keywords: water source heat pump system; Minjiang River; water temperature; water quality; water level

江水源热泵系统作为一种以江河水为冷热源的节能技术,由于其具有取水水源充足、年际水温

变化小等优点而得到较广泛的应用^[1]。随着国家对建筑节能与可再生能源利用的日益重视,江水源热泵系统的推广和应用也得到了政府部门的大力支持。水源条件中,除了位置受到地理条件的限制以外,水温、水质、水位是影响设备和系统性能的重要因素^[2]。掌握江水的水温、水质和水位等因素是确定江水源系统设计的主要条件。因此,建立江水源热泵系统数据库对江水源热泵系统的推广应用有着重大意义。例如重庆大学对长江和嘉陵江水温、水质、水位开展为期一年的实地测试,初步建立重庆市江水源热泵技术应用的基础数据库^[3],为江水源热泵系统在重庆的应用提供重要参考。

闽江是福建省第一大河,自西北向东南流经福州,为福州市区主要干流,河长 139 km^[4]。据竹岐水文站数据显示,闽江多年平均径流量 540.4 亿 m³^[4],蕴含着丰富的水能资源。福州市区已建和在建的江水源热泵系统项目主要集中在北港南岸,例如福州东部新城的商务中心(福州市行政中心)和海峡文化艺术中心。本研究自 2013 年以来对福州段闽江水温、水质和水位等水文数据进行了长期的监测,建立了福州市闽江水源热泵技术应用基础数据库。

1 测试方法

本次试验主要是监测福州闽江水温、水质和水位等水文数据,同时数据库对采样时的天气、气温、潮汐和位置进行了详细记录。对各江段测试数据进行对比分析后,对水源条件相对较差的江段和适于江水水源热泵项目推广的江段加强测试。

水温和水位测试使用 HOBO 水位记录仪(型号:U20-001-02)。温度测量范围为 -20 ℃ 至 50 ℃,温度测量精度为 0.37 ℃,分辨率为 0.1 ℃,温度反应时间为 3.5 min,水位测量范围为 0 ~ 30.6 m。水质测试选取在江水源热泵技术应用中影响较大的主要参数,主要包括 pH、总铁、浊度、硬度、Cl⁻、SO₄²⁻ 矿化度、H₂S 等水质指标。采样和测量都是根据标准方法^[5]。

2 温度数据与特征分析

2.1 气候特征分析

福州地区四季分明,7 月至 9 月为夏季,其中

7 月为最热月;12 月至次年 2 月为冬季,其中 1 月为最冷月。福州市典型气象年气温数据^[6]显示,最热月日平均气温高达 31 ℃ 左右,最冷月日平均气温最低至 7.3 ℃,冬、夏两季温差约 24 ℃;福州夏季温度较高,最高温度为 38 ℃,冬季最低温度 3.8 ℃;福州 5~10 月均存在大量高温超过 30 ℃ 的天气。因此,福州使用空调系统制冷时间较长,从而耗能相对较高。

2.2 水温数据分析

江水温度是决定江水源热泵系统可行性和经济性的关键因素^[7-9]。对闽江水温的空间分布特征进行测试,同时对不同江段、不同江水深度和不同离岸距离的江水进行温度测试,多次测试数据表明温差小于 0.1 ℃,水温表现出一定的均一性。下面将以 2014 年为例介绍水温数据特征。

冬季和夏季水温测试数据显示,水温在最冷月和最热月的极端天气中表现出明显的稳定优势。最冷月和最热月的日气温水温变化如图 1、图 2 所示。

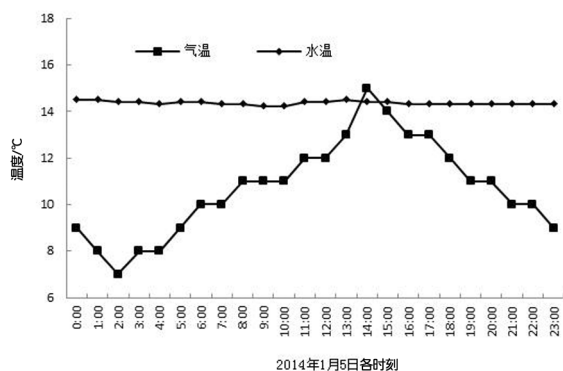


图 1 最冷月的日气温水温变化

Fig.1 The variation of daily temperatures in the coldest month

2014 年 1 月 5 日气温在 7~15 ℃ 之间波动,最大温差 8 ℃,平均气温 11 ℃;水温在 14.2~14.5 ℃ 之间波动,最大温差 0.3 ℃,平均水温 14.4 ℃。2014 年 7 月 15 日为极端酷热天气,在此之前福州已持续 15 日以上最高气温超过 35 ℃,当日气温在 24~36 ℃ 之间波动,最大温差 12 ℃,平均气温 30 ℃;水温在 28.7~29.6 ℃ 之间波动,最大温差 0.9 ℃,平均水温 29.2 ℃。

2014 年温度逐月变化数据如图 3 所示,水温与气温总体变化规律具有一致性,水温度随气温



图 2 最热月的日气温水温变化

Fig. 2 The variation of daily temperatures in the hottest month

的升高而升高,随气温的降低而降低。对比水温与气温发现,4~9 月水温低于气温,10~3 月水温高于气温。其中,冬季水温明显高于气温 2~4.6℃,水温平均高于气温 3℃;夏季水温略低于气温 0.8~2.1℃,水温平均低于气温 1.4℃。2014 年闽江月平均水温在 14.5~28.9℃之间变化,月平均气温在 12~31℃之间变化。福州冬季空气调节室外计算温度为 4.4℃,夏季空气调节室外计算干球温度为 35.9℃,夏季空气调节室外计算湿球温度为 28℃^[10]。冷却塔的出水温度一般比湿球温度高 3~5℃,因此相对于空气,江水作为冷热源更易于提高设备运行效率。

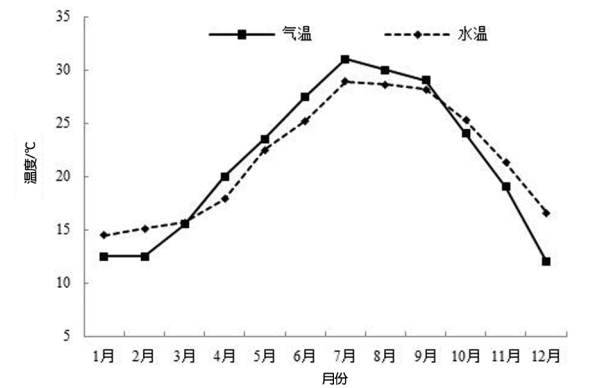


图 3 2014 年水温与气温月变化曲线

Fig.3 The monthly variation of water temperatures and air temperatures in 2014

3 水质数据与特征分析

获得江水水质数据可为实际工程提供合理选

择取水和水处理方式的依据,从而降低工程造价。福州位于闽江下游,境内的闽江段均为感潮河段^[11],水质受径流与潮汐共同影响。对不同江段水质进行水质测试,测试数据显示,距离入海口越近,江水的浊度、总铁、矿化度等水质参数值也越高;同一江段分别南北两岸取样进行水质测试,结果显示,南岸浊度明显高于北岸。

本研究选择具有代表性的江段对水质进行逐月的采样测试,针对降水和潮汐对水质的影响加强测试。将闽江水质与参考文献^[12-14]中对采用地表水的水源热泵机组推荐的水质允许值进行比较,如表 1 所示,除浊度和总铁外,闽江的其他水质参数均能满足水源热泵机组和换热器的要求。

表 1 闽江水质与水源热泵机组推荐的水质要求对比
Tab.1 Comparison of Minjiang River water quality and recommended water quality of the water source heat pump system

| 测试参数 | 闽江 | 允许值 | 备注 |
|--|------------|---------|-------|
| pH | 6.54~7.9 | 6.5~8.5 | 满足要求 |
| 浊度/NTU | 5~960 | <100 | 不满足要求 |
| $\rho_{\text{总铁}}(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 0.12~25.6 | <1.0 | 不满足要求 |
| $\rho_{\text{CaO}}(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 9.25~19.75 | <200 | 满足要求 |
| $\rho_{\text{Cl}^{-}}(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 1.77~14.18 | <100 | 满足要求 |
| $\rho_{\text{SO}_{4}^{2-}}(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 9.61~26.42 | <200 | 满足要求 |
| $\rho_{\text{矿化度}}(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$ | 0.07~0.14 | <3 | 满足要求 |
| $\rho_{\text{H}_2\text{S}}(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | <0.05~0.15 | <0.5 | 满足要求 |

基于上述原因,本研究提高了对浊度和总铁等参数的采样测试频率,并重点监测由于降水和泄洪引起的水质变化。

经多年测试,浊度逐月变化的典型数据如图 4 所示,闽江水浊度数值整体保持在 40NTU 以下,但 8、9、10、11 月存在浊度在 100NTU 以上的现象。多年来浊度最大值为 960NTU,其取样时间为 2013 年 8 月 26 日退潮阶段,取样地点在马尾罗星塔附近水域。造成这一现象的原因是由于台风天气引起大量降水,上游水库开始泄洪,闽江流量迅速增加,江水携带大量泥沙导致浊度急剧升高,并可持续 5~7 d。

经多年测试,总铁逐月变化的典型数据如图 5 所示,闽江水总铁含量整体保持在 0.7 mg/L 以下,但 8、9、10 月存在总铁在 1 mg/L 以上的现象,

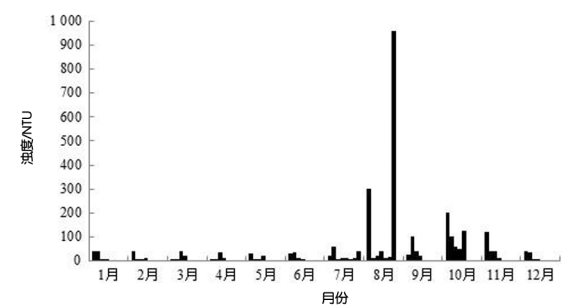


图 4 闽江浊度变化柱状图

Fig.4 Variation of turbidity of Minjiang River

最大值 25.6 mg/L 出现在 2013 年 10 月 28 日涨潮阶段,取样地点在马尾罗星塔附近水域。造成这一现象的原因是由于福州近 20 天未有降雨,枯水季节海水倒灌严重,导致铁离子含量急剧升高。

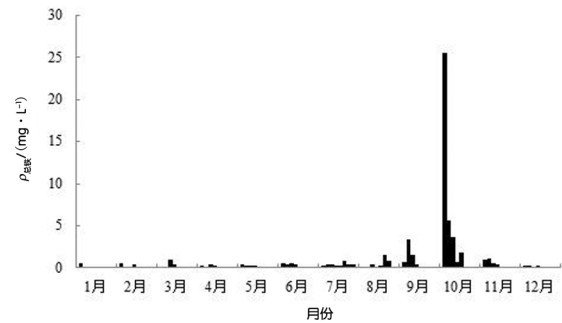


图 5 闽江总铁变化柱状图

Fig.5 Total iron variation of Minjiang River

4 水位数据与特征分析

福州境内闽江水位变化是区域降水、上游来水补给和潮汐等因素共同作用的结果。闽江水位情势十分复杂,如流水侵蚀作用具有多年变化周期性,径流补给形式的变化具有季节性周期,潮汐影响具有日变化周期等。

监测中发现潮汐对水位的影响尤为显著。闽江是福建省最大独流入东海河流,受东海潮汐的影响,每日各有两个高、低潮,时间间隔约 6 h。根据实测资料统计分析,闽江口最大潮差 6.95 m,平均潮差 4.37 m。潮差自闽江口向闽江上游逐渐减少,白岩潭水文监测站最大潮差达 5.42 m,平均潮差达 3.82 m;解放大桥(下)水文监测站最大潮差达 4.78 m,平均潮差达 2.88 m^[4]。

闽江马尾段是福建自贸试验区福州片区所在地,也是规划建设的新区,因此水位监测选择在马

尾段进行。据国家海洋信息中心资料显示,马尾潮高基准面在平均海平面下 2.96 m。2014 年马尾水文监测站最大潮差达 5.34 m,平均潮差达 4.20 m。2014 年闽江马尾段的水位测试数据如图 6 所示。受潮汐影响每日最高水位在 4.06~5.55 m 之间波动,每日最低水位在 0.04~1.71 m 之间波动,每日最大水位差在 2.58~5.34 m 之间波动,水位年变化幅度约 5.51 m。

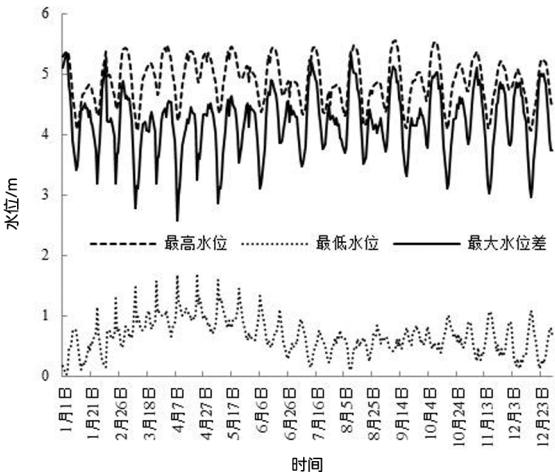


图 6 2014 年闽江水位变化曲线

Fig.6 The monthly water level variation of Minjiang River in 2014

尾段 2014 年逐月水位变化如图 7 所示。2014 年闽江最高水位出现在 9 月,最低水位出现在 1 月。马尾段最高水位受潮汐影响,即每

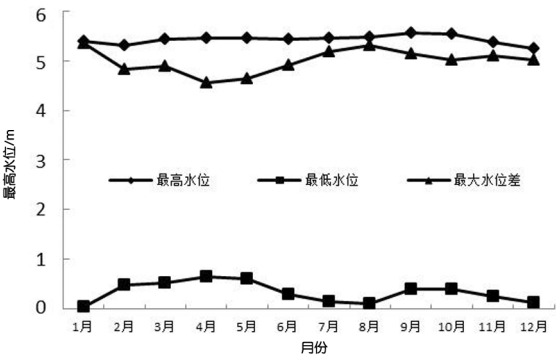


图 7 2014 年闽江逐月水位变化曲线

Fig.7 Water level variation of Minjiang River in 2014

日最高水位在涨潮阶段出现。每月最高水位变化平稳,在 5.24~5.55 m 之间。最低水位受气候和水口水电站泄洪量影响波动较大,最低水位出现

在1月枯水期;8月虽然是丰水期,但因水口水电站蓄洪,导致出现最低水位偏低的现象。最低水位的最大值出现在4月,最小值出现在1月;而最大水位差的最大值出现在1月,最小值出现在4月。可见闽江的枯水期水位主要受潮汐影响,洪水期水位主要受径流控制,平水期径流和潮流相互作用,相互消长。

5 结论与建议

福州地区闽江全年水温分布的特点是,冬季水温明显高于气温 $2\sim 4.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$,夏季水温略低于气温 $0.8\sim 2.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均 $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。相对于空气而言,江水是优质的冷热源,水源热泵运行具有更高的能效比。基于江水温度的稳定性,在江水源热泵系统设计中可采用日水温取代逐时水温。

水质方面,除浊度和总铁外,闽江的其他水质参数均能满足水源热泵机组和换热器的要求。8、9、10、11月存在浊度在 100 NTU 以上的现象,8、9、10月存在总铁在 1 mg/L 以上的现象。因此,在对应时间段应着重解决浊度大造成的堵塞问题,并考虑铁离子过高对水源热泵机组产生锈蚀的影响。

闽江水位受多种因素影响,变化频繁,其中潮汐对水位的影响尤为显著。闽江每日最大水位差在 $2.58\sim 5.34\text{ m}$ 之间波动,水位年变化幅度约 5.51 m 。因此,在进行闽江水源热泵系统设计时,需结合航道要求和水位变化,确定合理的取水位置。由于涨潮阶段江水倒流现象明显,系统排水口应远离取水口,并采用多点式排放,防止倒流影响取水温度。

参考文献:

- [1] 杨露露,卢军,白雪莲,等.重庆地区江水源热泵取水水源的时序分析[J].中国给水排水,2014,30(23):123-126.
- [2] 柴峰,白雪莲.江水源热泵的水源条件分析[J].暖通空调,2013,43(7):44-47.
- [3] 李百战,贾遵锋,丁勇,等.重庆市江水源热泵技术应用基础数据库建设[J].暖通空调,201141(1):95-98.
- [4] 戴志忠.福州地区水文特征分析[J].水利科技,2004(3):9-11.
- [5] 国家环保局.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,2002:34-41.
- [6] 中国气象局气象信息中心气象资料室,清华大学建筑技术科学系.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.
- [7] 徐伟,刘志坚.中国地源热泵技术发展展望[J].建筑科学,2013,29(10):26-33.
- [8] KINDAICHI Sayaka, NISHINA Daisaku, WEN Liwei et al. Potential for using water reservoirs as heat sources in heat pump systems[J]. Applied Thermal Engineering. 2015(76):47-53.
- [9] SI Pengfei, LI Angui, RONG Xiangyang X et al. New optimized model for water temperature calculation of river-water source heat pump and its application in simulation of energy consumption[J]. Renewable Energy.2015(84):65-73.
- [10] 中国建筑科学研究院.民用建筑供暖通风与空气调节设计规范:GB50736-2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [11] 洪小筠.闽江下游感潮河段水污染特性分析[J].水利科技,2010(3):4-5.
- [12] 中国建筑科学研究院.地源热泵系统工程技术规范:GB 50366-2005[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [13] 中华人民共和国建设部.采暖通风与空气调节设计规范:GB50019-2003[S].北京:中国计划出版社,2003.
- [14] 王子云,付祥钊,全庆贵.利用长江水作热泵系统冷热源的技术分析[J].中国给水排水,2007,23(6):6-9.

(责任编辑:许秀清)