

江水源热泵换热器污垢形成的关键水质因素分析

白雪莲¹, 程可辉²

(1. 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 2. 成都基准方中建筑设计事务所重庆分所, 重庆 400045)

摘要: 江水引起的热泵换热器结垢不仅会增大机组进出口阻力, 还会导致换热器的换热效率下降。江水水质对换热器污染起决定作用。江水源热泵污垢形成的关键水质因素及相关性分析是热泵用水体评价和水处理决策的基础。通过对重庆地区长江和嘉陵江水质测试分析, 并与现行允许水质指标的对比, 表明含沙量和浊度是江水源热泵的重点解决问题。对江水源热泵换热器污垢的成份分析则表明, 污垢是以小粒径泥沙的颗粒污垢为主。从而确定关键水质因素是含沙量和浊度。根据与实际江水泥沙配置保持一致的自配水样分析, 得到了含沙量与浊度的关系方程, 误差分析表明预测值与实测值能较好地吻合。

关键词: 江水源热泵; 污垢; 水质; 含沙量; 浊度

中图分类号: X824

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)02-0044-04

Key factors of water quality affecting fouling of the river water source pump heat exchanger

BAI Xuelian¹, CHENG Kehui²

(1. College of Urban Construction & Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China;

2. Branch Office in Chongqing, Chengdu Jizhun Fangzhong Architectural Design Firm, Chongqing 400045, China)

Abstract: Fouling on heat exchanger of water source heat pump will not only increase resistance of import and export of the units, but also will cause efficiency of the heat exchanger to drop. River water quality plays a decisive role in polluting heat exchanger. The key of water quality factor to the formation of fouling on river water source heat pump and correlation analysis is foundation of water treatment evaluation and decision-making. Annual water quality testing and analysis in the Yangtze River and Jialing River in Chongqing area have been done. With the current allowing the water quality index contrast, comparison shows that the sediment concentration and turbidity is the key to solve the problem of river water source heat pump. Studies have shown that fouling of water source heat pump exchanger are mainly particulate fouling. Main ingredients are small particle size of sediment. Therefore, the sediment concentration and turbidity are identified to be the key factors of quality. For river sediment in accordance with the actual configuration consistent with the analysis of water samples, relationship between sediment concentration and turbidity equation has been obtained. And error analysis shows that predicted and measured values can be well fit.

Key words: river water source heat pump; fouling; water quality; sediment; turbidity

江水源热泵是目前大力推广的可再生能源利用技术。在水质条件较好的情况下, 直接式系统因其对能源利用的高效在工程应用中被广泛采用^[1-6]。但是江水在一定条件下, 很有可能产生污垢、磨损、锈蚀以及由于微生物不断繁殖而产生生物污泥等问题, 由此将造成机组换热器的正常运行受到影响、制冷制热效果降低以及设备使用寿命缩短等^[7-10]。

水源热泵换热器污垢研究作为污垢研究领域的一个新方向, 虽然引起了人们关注但理论研究较少^[11-14]。本研究将通过江水水质分析和水源热泵换热器污垢成份分析, 确定影响江水源热泵换热器结垢的关键水质因素, 并研究其相关关系, 从而为江水源热泵的工程应用和相关标准判定提供理论基础。

收稿日期: 2012-01-11

基金项目: 中央高校基本科研业务费科研专项(CDJZR10210007); “十一五”国家科技支撑计划项目课题(2007BAB21B02-3)资助

作者简介: 白雪莲(1973-), 女, 陕西横山人, 副教授, 博士, 主要从事建筑节能和可再生能源利用领域的研究。

1 江水源热泵换热器污垢形成分析

1.1 江水水质测试分析

影响水源热泵水源侧换热器污垢生长的因素有:流体类型性质参数、换热器参数和运行参数。其

中流体性质是内因,是影响江水源热泵换热器污染的决定因素。研究选取重庆地区长江流域的朝天门码头和嘉陵江磁器口码头、朝天门码头共 3 个观测点,于 2010 年 9 月-2011 年 8 月进行水体取样和测试分析,结果见表 1。

表 1 全年长江和嘉陵江水质测试分析结果 mg/L, NTU, μ S/cm

序号	水质指标	测试方法	(5-10 月份)长江	(11-4 月份)长江	(5-10 月份)嘉陵江
			测试分析结果	测试分析结果	测试分析结果
1	pH 值	便携式 pHs-3C 精密 pH 计	7.93~8.21	8.22~8.39	7.71~8.03
2	Ca ²⁺	EDTA 滴定法	57.52~69.53	61.71~74.00	70.54~76.36
3	Mg ²⁺	EDTA 滴定法	1.456~2.005	1.915~2.040	1.968~2.105
4	铁离子	邻菲罗啉分光光度法	0.312~0.632	0.141~0.321	0.342~0.684
5	Cl ⁻	硝酸银滴定法	17.4~39.4	13.8~17.3	7.7~16.3
6	SO ₄ ²⁻	铬酸钡光度法	21.76~85.73	40.40~46.37	2.22~90.92
7	含沙量	烘干称重法	311~1395	189~223	302~3244
8	浊度	浊度仪	21~1320	54~66	34~1210
9	电导率	电导率仪	294~423	264~355	223~400
10	COD	快速消解分光光度法	11.0~65.1	18.8~91.7	16.0~55.1
11	矿化度	重量法	315~526	157~180	234~306
12	NH ₄ ⁺	纳氏试剂光度法	0.039~0.534	0.622~0.688	0.192~0.865
13	HCO ₃ ⁻	酸碱指示剂滴定法	2.56~2.84	2.52~2.58	2.54~3.02
14	总碱度	电位滴定法	128.25~142.02	126.25~128.88	127.0~151.4
15	游离 CO ₂	酚酞指示剂滴定法	4.07~6.60	2.19~2.75	4.11~7.04
16	总硬度	EDTA 滴定法	58.976~72.187	63.622~76.040	72.592~78.465

将实测数据与现行标准中水源热泵允许水质(地源热泵系统工程技术规范 B50366,采暖通风与空气调节设计规范 GB50019,工业循环冷却水处理设计规范 B50050)相比较发现:对于长江,全年含沙量和浊度过高,其中 12、1 月份 COD 含量也稍微超过标准允许值;在利用嘉陵江水作为水源时,5 月-10 月的江水水质大部分都能满足要求,含沙量和浊度过大是主要需解决的问题。

1.2 江水源热泵换热器污垢成份分析

采用烘干灼烧失重、EDS 能谱扫描分析和扫描电镜(SEM)方法分别对换热器污垢进行分析,以掌握污垢的主要成份及形态。

(1)烘干灼烧失重分析。在江水源热泵换热管内污垢热阻达到稳定后,取换热管内污垢样品 2g 各两份,一份在温度 520℃ 下灼烧,一份在温度为 120℃ 下烘干。然后用称量法分别计算其重量损失。其中灼烧失重 4.86%,烘干失重为 31.38%。说明烘干时水分占据了污垢整体比重约为 31.38%。520℃ 下灼烧失重的为有机物含量^[15],由此分析知,换热管内的污垢以颗粒污垢为主;其中水和有机物占总重量的 36.24%。

(2)EDS 能谱扫描分析。取换热管内污垢 20 g,在 60℃ 烘干 6~8 h,研磨后,采用 200 目滤塞进行处理,然后采用美国 EDS 能谱扫描分析,对垢样中所含元素进行鉴定,如图 1 和表 2。

表 2 换热管内污垢各元素原子比重和质量比重 %

元素	原子比重	质量比重	元素	原子比重	质量比重
C	2.89	5.51	O	37.72	54.02
Na	1.15	1.15	Mg	1.28	1.21
Al	7.54	6.41	Si	26.7	21.78
S	0.19	0.14	Cl	0.39	0.25
K	2.38	1.39	Ca	2.83	1.62
Ti	0.62	0.30	Fe	7.22	2.96
Cu	9.08	3.27			

通过对污垢能谱扫描分析,发现 Si 和 O 元素占总成份质量的 75.8%,说明污垢成份以泥沙颗粒(SiO₂)为主。同时发现含有少量的 Al、Ca、Mg、Fe、Cu 等元素,说明污垢中有这些盐类(沉淀物质)的存在。总之,污垢是以泥沙颗粒为主。

(3)污垢的扫描电镜分析。提取江水源热泵换热管的污垢,将污垢垢样进行分离、固定处理后,污垢样品进行电镜扫描,如图 2。

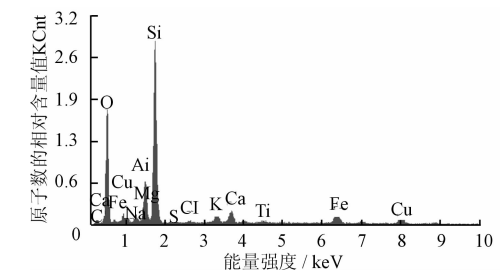


图1 换热管内污垢 EDS 能谱扫描分析谱图

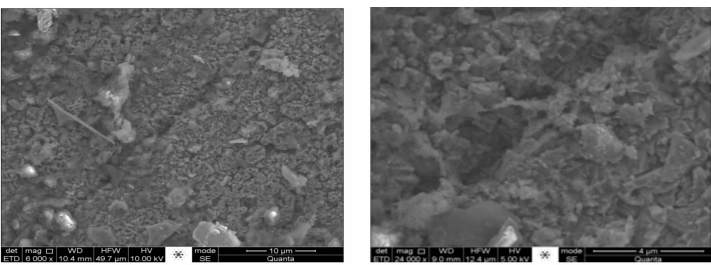


图2 换热管污垢电镜扫描观察

从图2可以看出,附着在换热管上的污垢密致,质地坚硬,以小粒径泥沙的颗粒污垢为主,未发现藻类。江水中的一些细小沙粒在换热管上的不断附着,同时不断老化、剥离,形成一层很薄的质地坚硬的污垢,其生长变化机理符合颗粒污垢增长的基本原理。

2 关键因素的相关性分析

2.1 关键因素确定与实验设计

上述水质实测分析和江水源热泵污垢成份研究表明,对于利用嘉陵江和长江的水源热泵,小粒径的泥沙对换热器污染起主要作用,即含沙量和浊度是影响结垢的关键因素。江水的浊度与含沙量之间没有固定的比值关系,往往相同含沙量的原水,表现不同的浊度,甚至相反。本研究采用自配江水溶液进行含沙量和浊度的相互关系分析。根据《长江泥沙公报》表明,长江多年中值粒径小于11 μm,而嘉陵江一般都小于8 μm。本研究以长江上游水文水资源勘测局提供的2008年6-8月长江(寸滩站)泥沙颗粒级配作为本实验原水的配水依据。经多次测量取平均值,泥沙的中值粒径为7.35 μm。由于江水含沙量具有非常多的粒径情况,无法精确到具体的颗粒级配,因此实验原水的配比以模拟江水沙粒粒径分布情况,其粒径分布见图3。所用实验设备及仪器见表3。

2.2 实验结果分析

采用以上配置好的泥沙,分别配置见表4的水样共31组,对这31组水样含沙量和浊度关系进行分析如图4。可得含沙量与浊度的关系拟合曲线方程为: $y = 3.47x + 151.99$, 其中 x 表示浊度 (NTU); y 表示含沙量 (mg/L)。方差 $R^2 = 0.99187$, 表明两者具有强的相关性。

拟合公式预测值与实测值的误差分析结果见图5,可以发现,其误差范围绝大部分小于10%,表明研究所得能够很好地预测江水含沙量和浊度的关系。

表3 主要实验设备及仪器

序号	设备及仪器	参数	备注
1	水箱	筒体直径 1.2 m, 高 1.3 m, 有效设计体积 1 m ³	
2	搅拌桨(搅拌设备)		
3	电子天平	HX - T 系列 1000.00 mg 以及 10.0000 mg	2 台
4	激光粒度仪	欧美克 LS - POP(6) 型, 测量范围 0.2 ~ 500 μm	
5	筛分仪	德国 Havor&Boecker 震动筛分仪	
6	试验筛	筛分仪规格分别为 500μm, 100μm, 40μm	
7	干燥箱	101 - 1 型电热鼓风恒温干燥箱	
8	浊度仪	哈希 2100P 便携式浊度仪, 最大量程 1000 NTU	
9	玻璃烧杯	500 mL	
10	量杯	5 mL	

表4 31 组不同含沙量和浊度的水样 mg/L, NTU

序号	含沙量	浊度	序号	含沙量	浊度
1	65.2	12.3	17	1402.2	322
2	145.2	25.4	18	1500.2	388
3	208.4	38.0	19	1676.2	429
4	267.8	48.8	20	1779.0	517
5	314.2	63.2	21	1871.0	475
6	365.8	66.9	22	1998.2	465
7	428.4	70.3	23	2104.2	536
8	468.4	96.1	24	2303.2	552
9	527.2	106	25	2495.8	683
10	625.4	134	26	2656.0	720
11	742.0	158	27	2819.4	778
12	885.4	216	28	2943.8	798
13	983.8	231	29	3089.8	888
14	1110.2	263	30	3284.6	938
15	1209.2	310	31	3487.8	975
16	1330.0	336			

实际应用中江水在进入热泵机组前初步的沉淀过滤等作用能大大减少粗大污物,而且本研究重点

为江水含沙量和浊度之间的相互关系,实验的泥沙配置保证了与实际江水的基本一致。并且忽略了实际江水中可能含有的微溶盐或难溶盐或其他不透明

杂质对浊度的影响。在此基础上,进一步掌握浊度与泥沙粒径以及其他因素之间的关系,为最终的水源热泵用水质综合评价奠定基础。

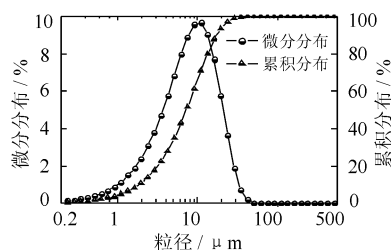


图3 实验原水粒径分布

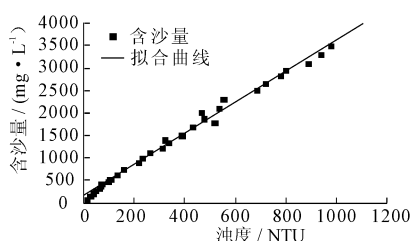


图4 含沙量与浊度的关系曲线

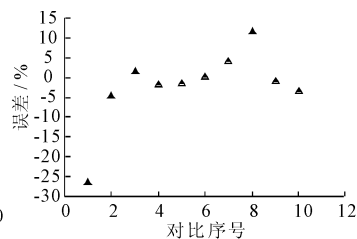


图5 预测值与实验值相对误差

3 结 语

(1)通过重庆地区长江和嘉陵江的水体采样和水质分析,掌握了16个水质指标的变化情况,并与现行标准中水源热泵允许水质的指标对比后发现:对于长江,全年含沙量和浊度过高,其中12、1月份COD含量也稍微超过标准允许值;在利用嘉陵江水作为水源时,5月-10月的江水水质大部分都能满足要求,含沙量和浊度也是主要需解决的问题。

(2)分别采用烘干灼烧失重、EDS能谱扫描分析和扫描电镜(SEM)方法对江水源热泵污垢成份分析表明,江水源热泵换热器污垢以小粒径泥沙的颗粒污垢为主,污垢密致,质地坚硬。通过水质测试和污垢成份研究,确定含沙量和浊度是影响江水源热泵换热器结垢的关键水质因素。

(3)根据实际江水泥沙颗粒级配,配置实验水样,得到了含沙量与浊度的关系方程: $y = 3.47x + 151.99$, x 表示浊度,单位为NTU; y 表示含沙量,mg/L。误差分析表明该方程能很好地预测江水含沙量与浊度的关系。在此基础上,掌握江河水浊度与泥沙粒度以及其他影响因素之间的关系是进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] 马最良,吕跃. 地源热泵系统设计与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [2] 姜明健,孟杉. 水源热泵系统的应用设计[J]. 制冷与空调,2008(3):23-24.
- [3] Chao Chen, Feng Lingsun, Leifeng, et al. Underground water source loop heat-pump air-conditioning system applied in a residential building in Beijing[J]. Applied Ener-

gy,2005,82:331-344.

- [4] 孟凡红,张伟,周德刚. 水源热泵技术发展优势及应用中存在的问题[J]. 科技信息,2007(20):34-35.
- [5] 郑峰. 水源热泵技术在节能建筑中的应用[J]. 建筑节能,2007(6):44-46.
- [6] 王子云,付祥钊,王勇,等. 重庆市发展长江水源热泵的水源概况分析[J]. 重庆建筑大学学报,2008,30(1):92-94.
- [7] 徐伟. 中国地源热泵发展研究报告(2008)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [8] Yang Wei, Zhou Jin, Xu Wei, et al. Current status of ground-source heat pumps in China[J]. Energy Policy, 2010,38:323-332.
- [9] Yong Cho, Rin Yun. A raw water source heat pump air-conditioning system[J]. Energy and Buildings, 2011(43):3068-3073.
- [10] Nam Y, Ooka R. Numerical simulation of ground heat and water transfer for groundwater heat pump system based on real-scale experiment[J]. Energy and Buildings, 2010(42):69-75.
- [11] 王子云,龙恩深,付祥钊,等. 江河水污垢对小管径恒壁温管内对流换热影响[J]. 土木建筑与环境工程,2010,32(3):100-104.
- [12] 吴荣华,张承虎,庄兆意,等. 地表水源热泵管式换热法及其特性研究[J]. 太阳能学报,2007,28(12):1389-1393.
- [13] 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.
- [14] Braun J E, Diderrich G T. Near optimal control of cooling tower for chilled water system[J]. ASHRAE Transactions, 1990,96(2):806-813.
- [15] 崔福义,李晓明,周红. 污水换热器污垢热阻特性研究[J]. 煤气与热力,2005,6(25):9-12.