

湖水源热泵系统尾水排放方式对水域温升分布的影响

周 健, 干丽莎, 刘月红, 卿晓霞, 龙腾锐, 黄向阳
(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘 要: 研究了湖水源热泵系统尾水射流式、表面式和淹没式3种排放方式,以及上述三种排放方式下单口、双口和穿孔管横向分散3种出流方式对湖泊局部水域温升分布的影响,探寻对湖泊水环境影响较小的尾水排放方式。采用权值平均法对试验结果进行评价优选,得出对湖泊水环境温升影响较小的排放方式有:穿孔管横向分散出流射流排放、穿孔管横向分散出流表面排放、穿孔管横向分散出流淹没排放、双口出流射流排放,其中穿孔管横向分散出流射流为最优排放方式。

关键词: 地表水源热泵; 尾水; 排放方式; 温升分布

中图分类号: TU991 文献标识码: C 文章编号: 1000-4602(2010)19-0054-05

Influence of Discharge Modes of Lake Water-source Heat Pump Tail Water on Temperature Rise Distribution in Lake

ZHOU Jian, GAN Li-sha, LIU Yue-hong, QING Xiao-xia, LONG Teng-rui,
HUANG Xiang-yang

(Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment < Ministry of Education > ,
Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Three discharge modes of tail water from lake water-source heat pump system, including jet-type, surface-type and submerged-type discharge and their flow modes including single port, double port and perforated pipe horizontal dispersion port were simulated to investigate their influence on the temperature rise distribution in the local lake water area. The discharge mode with less influence on the lake water environment was studied. The experimental results are evaluated and optimized by weighted average method. The discharge modes with less influence on the lake water environment are jet-type discharge with perforated pipe horizontal dispersion port, surface-type discharge with perforated pipe horizontal dispersion port, submerged-type discharge with perforated pipe horizontal dispersion port and jet-type discharge with double port. The jet-type discharge with perforated pipe horizontal dispersion port is the best.

Key words: surface water-source heat pump; tail water; discharge mode; temperature rise distribution

近年来,地表水源热泵系统因其节能效果显著而被广泛应用。但是,对于地表水源热泵系统尾水排放可能造成的环境影响却缺乏相关研究,尤其是

以湖泊和水库为水源的热泵系统,由于湖泊生态系统的脆弱性,研究水源热泵系统尾水的排放对湖泊水环境可能造成的影响成为当务之急。尾水排入湖

泊水体后,湖泊的边界条件、排入水的流量和流速、温差及尾水排放方式等因素将影响排放口附近水域的温升分布^[1]。笔者通过模拟试验研究了地表水源热泵系统尾水射流式、表面式和淹没式 3 种排放方式,以及各种排放方式下单口、双口和穿孔管横向分散 3 种出流方式对局部水域温升分布的影响,以探寻对湖泊水环境影响较小的尾水排放方式。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

试验装置见图 1。以重庆开县人民医院湖水源热泵系统为模拟对象,模拟湖泊为长×宽×高=6 m×2 m×0.7 m 的试验水池,并设高位水池(1 850 mm×1 250 mm×1 350 mm)贮存温水,水温模拟水源热泵系统的尾水水温,维持排放水比试验水池的水温高 6.15 ℃^[2,3],高位水池出水作为尾水排入模拟容纳水体。试验水池设置 3 层排水管,分别模拟淹没式(排水管低于水面 0.1 m)、表面式(排水管高于水面 0.01 m)和射流式(排水管高于水面 0.1 m)3 种排放方式,每种排放方式又分为单口、双口和穿孔管横向分散 3 种出流方式。单口出流方式采用管径为 50 mm 的单根排水管;双口出流方式采用水平间距为 100 cm、管径为 25 mm 的两根排水管;穿孔管横向分散出流是在双口出流的基础上,在每个出口连接管径为 25 mm、长为 40 cm 的横支管,横支管上有间距为 1.5 cm、孔径为 10 mm 的 16 个孔。

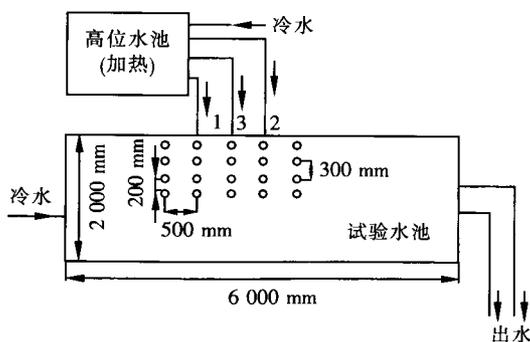


图 1 试验装置

Fig. 1 Schematic diagram of experimental system

测温系统采用 LTM8662 智能温度采集系统。温度传感器采用 LTM887X 数字化传感器,其采用 4×5×3 的三维布置方式,共布置 60 个;平面布置为 4×5,共 20 个,即沿池长方向布置 5 列,每列间隔为 500 mm;沿池宽方向布置 4 列,间隔分别为 200、300 和 200 mm;在深度方向上共布置 3 层,距池底距离分别为 400、550 和 700 mm。其中下层的温度传感

器编号分别为 1、4、7、10、13、16、19、22、25、28、31、34、37、40、43、46、49、52、55 和 58;中层的温度传感器编号分别为 2、5、8、11、14、17、20、23、26、29、32、35、38、41、44、47、50、53、56 和 59;上层的温度传感器编号分别为 3、6、9、12、15、18、21、24、27、30、33、36、39、42、45、48、51、54、57 和 60。

1.2 试验方法

在排放水量和温差相同的条件下,测试不同排放及出流方式在排放口附近水域的温度分布。

1.3 尾水排放方式的比选方法

采用权值平均法对试验数据进行分析。对温升均值、温升方差、最高温升值和超温升均值点数共 4 项指标按照由好到差的顺序赋予权值^[4]。在赋予权值之后,根据每项指标在监测中所占比重的不同,对其再赋予权值系数。根据其在监测当中所起的作用及其重要性,将温升均值、温升方差、最高温升值和超温升均值点数的权值系数分别取为 40%、15%、20% 和 25%。根据权值的优选值分配原则,对 4 项指标的权值计算完毕后,再求和得出优选值。由于权值的安排由小到大,因此优选方法按照优选值从小到大的原则选取。

2 试验结果与分析

2.1 尾水射流排放方式的影响

尾水射流排放方式对湖泊局部水域温升分布的影响见图 2 和表 1。

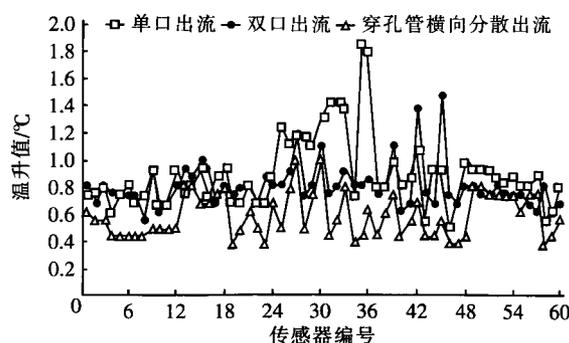


图 2 射流排放方式对湖泊水域温升分布的影响

Fig. 2 Influence of jet-type discharge on temperature rise distribution of lake water

由图 2 可知,当采用单口出流射流排水方式时,温升最高值为 1.88 ℃。在距离排放口 0.50 m 范围内,下层、中层、上层水体的温升均值分别为 1.29、1.39、1.34 ℃,温升较明显;在距离排放口 0.50 m 以外,下层、中层、上层水体的温升均值分别为 0.80、

0.75、0.90℃。

表1 单口、双口和穿孔管横向分散出流射流排放方式的比选

Tab.1 Comparison and selection of jet-types with single port, double-port and perforated pipe horizontal dispersion-port

项目	温升均值/℃	温升方差	最高温升值/℃	超温升均值点数	优选值
单口	0.91(3)	0.00195(1)	1.88(3)	22(3)	2.45
双口	0.82(2)	0.00910(2)	1.50(2)	27(1)	1.90
穿孔管横向分散	0.59(1)	0.01177(3)	1.10(1)	25(2)	1.55

注：括号内的数值为每种出流方式在每项指标中的权值，下同。

当采用双口出流射流排水方式时，在距离排放口0.50 m范围内，下层、中层、上层水体的温升均值分别为0.94、0.85、1.16℃；在距离排放口0.50 m外，下层、中层、上层水体的温升均值分别为0.68、0.70、0.80℃。

当采用穿孔管横向分散出流射流排水方式时，温升最高值为1.10℃。在距离排放口0.50 m范围内，下层、中层、上层水体的温升均值分别为0.75、0.77、1.00℃。在距离排放口0.50 m外，下层、中层、上层水体的温升均值分别为0.52、0.58、0.68℃。

由图2还可知，双口出流方式的温升最高值为1.50℃，比单口出流方式降低了0.38℃。并且，双口出流方式的温升较均匀，尤其是中层水体，其温升值可维持在0.75℃左右。采用双口出流方式，可明显加强热交换作用，避免了单口出流方式热量积累于一点的缺陷。

采用穿孔管横向分散出流方式时，其温升最高值比双口出流方式的降低了0.4℃。在该出流方式下，下层、中层、上层水体的温升最大值与最小值之差分别为0.43、0.42、0.56℃，温度变化较均匀。分析认为采用穿孔管式横向分散出流方式可以将水均匀分散地排入接纳水体，避免了单口出流和双口出流的局部温升过高的缺陷。此外，穿孔管式横向分散出流方式对接纳水体的扰动较大，热交换作用更充分，且水流冲击效应增大了温排水的影响深度。

由表1可知，单口、双口和穿孔管横向分散出流射流排放方式的优选值分别为2.45、1.90和1.55。根据优选值选择原则可知，穿孔管式双口横向分散出流射流排放方式对水环境的影响相对较小。

2.2 尾水表面排放方式的影响

尾水表面排放方式对湖泊局部水域温升的影响见图3和表2。

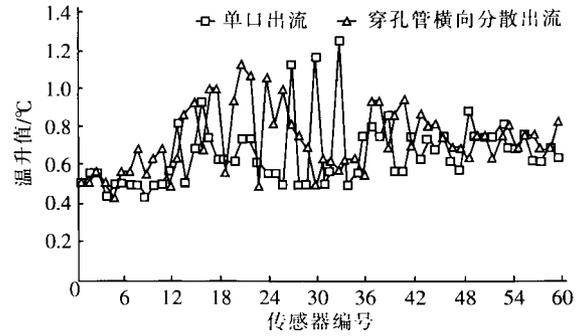


图3 表面排放方式对湖泊水域温升分布的影响

Fig.3 Influence of surface-type discharge on temperature rise distribution of lake water

表2 单口和穿孔管横向分散出流表面排放方式的比选

Tab.2 Comparison and selection of surface-types with single-port and perforated pipe horizontal dispersion-port

项目	温升均值/℃	温升方差	最高温升值/℃	超温升均值点数	优选值
单口	0.66(1)	0.02992(2)	1.25(2)	24(2)	1.60
穿孔管横向分散	0.73(2)	0.01211(1)	1.13(1)	26(1)	1.40

由图3可知，当采用单口出流表面排放方式时，温升最高值为1.25℃。在距离排放口0.50 m范围内，下层、中层、上层水体的温升均值分别为0.88、0.75、1.19℃；在距离排放口0.50 m之外，下层、中层、上层水体的温升均值分别为0.62、0.56、0.75℃。

当采用穿孔管横向分散出流表面排放方式时，温升最高值为1.13℃；在距离排放口0.50 m范围内，下层、中层、上层水体的温升均值分别为1.06、0.63、1.03℃；与单口出流表面排放方式相比，其温升最大值降低了0.12℃，平均温升升高了0.07℃。分析认为，采用表面排放方式时，热交换主要发生在水体表面，热量分布主要受到水体表面热交换作用和空气气流作用的影响。采用穿孔管横向分散表面排放方式可以加大水体表面热交换的有效作用面积，热量在接纳水体中的分布更加均匀^[4]。由表2可知，单口出流表面排放方式和穿孔管横向分散出流表面排放方式的优选值分别为1.60和1.40。根据优选值选择原则可知，穿孔管横向分散出流表面排放方式对水环境的影响相对较小。

2.3 尾水淹没排放方式的影响

尾水淹没排放方式对湖泊局部水域温升的影响见图 4 和表 3。

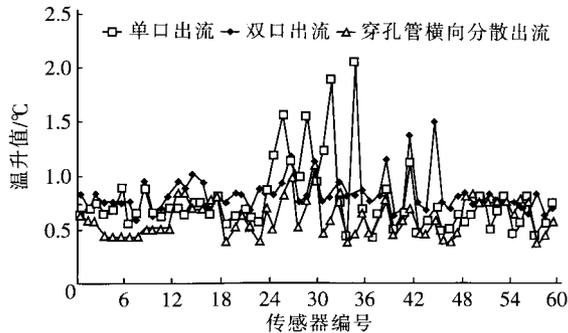


图 4 淹没排放方式对湖泊水域温升分布的影响

Fig. 4 Influence of submerged-type discharge on temperature rise distribution of lake water

表 3 单口、双口和穿孔管横向分散出流淹没排放方式的比选

Tab. 3 Comparison and selection of submerged-types with single-port, double-port and perforated pipe horizontal dispersion-port

项 目	温升均值/°C	温升方差	最高温升值/°C	超温升均值点数	优选值
单口	0.77(2)	0.012 77(3)	2.06(3)	17(3)	2.30
双口	0.87(3)	0.012 44(2)	1.50(2)	28(1)	2.15
穿孔管横向分散	0.64(1)	0.010 69(1)	1.14(1)	21(2)	1.25

由图 4 可知,当采用单口出流淹没排放方式时,温升最高值为 2.06 °C。在距离排放口 0.50 m 范围内,下层、中层、上层水体的温升均值分别为 1.15、1.77、1.25 °C;在距离排放口 0.50 m 外,下层、中层、上层水体的温升均值分别为 0.63、0.70、0.80 °C。当采用双口出流淹没排放方式时,温升最高值为 1.50 °C。在距离排放口 0.50 m 范围内,下层、中层、上层水体的温升均值分别为 0.94、0.97、1.34 °C;在距离排放口 0.50 m 外,下层、中层、上层水体的温升均值分别为 0.69、0.75、0.81 °C。

当采用穿孔管横向分散出流淹没排放方式时,温升最高值为 1.14 °C。在距离排放口 0.50 m 内,下层、中层、上层水体的温升均值分别为 0.81、0.78、1.00 °C;在距离排放口 0.50 m 外,下层、中层、上层水体的温升均值分别为 0.50、0.56、0.63 °C。

试验中发现,采用单口出流淹没排放方式时,在

距离排放口 0.20 m 位置处,温升值高达 2.06 °C。分析认为,与射流式和表面式相比,淹没式排放方式的温升分布受空气流动影响较小,主要取决于热水与冷水的热交换,这样易产生热水窝积现象,引起较大的热量累积,表现为局部水体的水温升高明显。当采用双口出流淹没排放方式时,温升最高值降至 1.50 °C,但是温升值仍然较大。穿孔管横向分散出流淹没排放方式是对双口出流淹没排放方式的进一步优化,其将热水均匀地排入受纳水体中,对水面以下水体的扰动更大,从而增强了热交换作用,使整个水域的温升均值由双口排放的 0.87 °C 降至 0.64 °C,降低了 0.23 °C。

由表 3 可知,单口出流、双口出流和穿孔管横向分散出流淹没排放方式的优选值分别为 2.30、2.15 和 1.25。根据优选值的选择原则可知,穿孔管横向分散出流淹没排放方式为相对较优的排放方式。

2.4 湖水源热泵系统尾水排放方式的综合比选

根据试验结果,通过权值平均法对各种排放方式及出流方式进行评价优选,结果见表 4。

表 4 各种排放方式的综合比选

Tab. 4 Comprehensive comparison and selection of various discharge ways

项 目	温升均值/°C	温升方差	最高温升值/°C	超温升均值点数	优选值	
射流排放	单口出流	0.91(8)	0.001 95(1)	1.88(7)	22(6)	6.25
	双口出流	0.82(6)	0.009 10(2)	1.50(5)	27(2)	4.20
	穿孔管横向分散出流	0.59(1)	0.011 77(4)	1.10(1)	25(4)	2.20
表面排放	单口出流	0.66(3)	0.029 92(8)	1.25(4)	24(5)	4.45
	穿孔管横向分散出流	0.73(4)	0.012 11(5)	1.13(2)	26(3)	3.50
淹没排放	单口出流	0.77(5)	0.012 77(7)	2.06(8)	17(8)	6.65
	双口出流	0.87(7)	0.012 44(6)	1.50(5)	28(1)	4.95
	穿孔管横向分散出流	0.64(2)	0.010 69(3)	1.14(3)	21(7)	3.60

由表 4 可知,穿孔管横向分散出流射流排放、双口出流射流排放、穿孔管横向分散出流表面排放、穿孔管横向分散出流淹没排放方式的优选值分别为 2.20、4.20、3.50 和 3.60,这 4 种排放方式对湖泊水环境的温升分布影响相对较小,其中穿孔管式横向分散出流射流为最佳排放方式。而单口出流射流排放和单口出流淹没排放方式的优选值分别为 6.25 和 6.65,对湖泊水环境的温升影响相对较大。

(下转第 62 页)

($\text{m}^3 \cdot \text{d}$)。由此可见,接触氧化池出水 COD 浓度完全能够达到设计要求($< 500 \text{ mg/L}$)。

3 结论

采用进水→中和调节池→UASB 反应器→沉淀池→接触氧化池→出水这一工艺流程处理甘草制品生产废水是合理的,设计参数选择适宜;经该工艺处理后,出水 COD 为 $200 \sim 500 \text{ mg/L}$,尤其在调试的最后 30 d 内,出水 COD 为 $200 \sim 300 \text{ mg/L}$,出水水质完全达到设计要求($< 500 \text{ mg/L}$)。但在系统运行过程中也应该注意以下问题:

① 厌氧消化过程中,pH 对产甲烷菌有较大影响。当 $\text{pH} < 6.5$ 时,产甲烷菌活性会受到抑制,使得反应器发生酸化,故一般取 $6.5 \sim 7.5$ 。该类生产废水的 pH 一般为酸性,需要用碱中和,以维持进水 pH 和反应器内的 pH 基本稳定。在实际工程中,由于废水量较大,进水 pH 会有波动,故应随时监测。

② 该废水中所含物质种类比较齐全,仅磷含量较低,因此在进水中只需加入磷盐,使 $\text{COD} : \text{P} = 200 : 1$,无需加入其他微量元素,微生物就能够正常生长,且能长期稳定。

③ 由于该废水的有机容积负荷变化较大,而厌氧反应器的运行很大程度上由容积负荷控制。因

此,在工艺运行过程中,一定要注意容积负荷的变化。

④ 产气率小说明产甲烷菌少或其活性弱,反应器可能存在酸化风险。因此,在产气率下降时,一定要注意反应器内各项指标的变化。

参考文献:

- [1] 祁佩时,李渊博,刘云芝,等. 前置反硝化二段 BAF 深度处理中药废水试验研究[J]. 中国给水排水,2006,22(21):267-270.
- [2] 戈军,吕锡武,刘壮,等. 多段活性污泥法处理高浓度中药废水[J]. 中国给水排水,2006,22(6):65-67.
- [3] 祝坚. 中药废水污染特点和处理研究进展[J]. 能源环境保护,2007,21(5):15-17.
- [4] 邹家庆. 工业废水处理技术[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- [5] 马溪平. 厌氧微生物学与污水处理[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

电话:13186086167

E-mail:guoyani2002@yahoo.com.cn

收稿日期:2010-05-15

(上接第 57 页)

3 结论

穿孔管横向分散出流优于单口和双口出流方式,而在射流式、表面式、淹没式 3 种排放方式中,射流排放较其他两种方式更有利于尾水散热;通过权值平均法进行评价优选,得出对湖泊排放口近水域温升影响较小的排放方式有穿孔管横向分散出流射流排放、穿孔管横向分散出流表面排放、穿孔管横向分散出流淹没排放、双口出流射流排放,其中穿孔管横向分散出流射流排放为最优排放方式。

参考文献:

- [1] 谭洪卫,李潇潇,朱金明,等. 黄浦江水温变化规律与

江水源热泵节能潜力研究[J]. 上海节能,2007,(6):21-25.

- [2] 吴明华. 地表水源热泵在重庆地区的工程应用研究[D]. 重庆:重庆大学,2007.
- [3] 陈金华,刘勇,丁勇,等. 重庆市开县人民医院湖水热泵空调系统实测分析[J]. 暖通空调,2008,38(8):111-114.
- [4] 张文字. 上海世博园大型地表水源热泵对黄浦江水环境的影响分析[D]. 上海:同济大学,2007.

电话:(023)66357572

E-mail:zhoujiantt@126.com

收稿日期:2010-03-13