

长江水作为粮库空调系统冷却水源的可行性研究

王 敏,余跃进,詹艳萍,张灿灿

(南京师范大学能源与机械工程学院,江苏 南京 210042)

[摘要] 针对现行低温储粮途径的局限,提出了利用长江水作为粮库空调系统冷却水源的低温储粮方式,重点分析了长江表层水温的变化规律,从而推导了气温与水温之间的关系式,综合阐述了冷却水系统排放对水体环境的影响.结果表明,以长江水作为低温储粮的冷源是可行的.

[关键词] 低温储粮,长江水,冷源,可行性

[中图分类号]TU831 [文献标志码]A [文章编号]1672-1292(2013)02-0032-05

Feasibility Research of Yangtze River Water as Cooling Water in Low-Temperature Grain Storage

Wang Min, Yu Yuejin, Zhan Yanping, Zhang Cancan

(School of Energy and Mechanical Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: In order to overcome the disadvantages of the current ways to store grain, this paper proposes a new grain low temperature storage technology that Yangtze River water is used as the cooling water of air conditioning system, analyses Yangtze surface water temperature change, derives the relationship between air temperature and water temperature, and comprehensively describes the change of the Yangtze River water environment after the cooling water system exhaust heat. The results indicate that it is feasible to use Yangtze River water as the cooling water of air conditioning system.

Key words: low-temperature grain storage, Yangtze River water, cold source, feasibility

低温储粮能有效抑制害虫和微生物的繁殖、延缓谷物陈化、避免储粮污染,被公认为 21 世纪绿色储粮的主要方式之一.目前我国大多数粮库冬季采用机械通风,夏季则通过谷物冷却机降低粮温的方式来实现全年低温或准低温储粮.但是谷物冷却机耗电量大,高昂的电费让大多数仓储企业对低温储粮技术望而却步,使得低温储粮技术的应用难以得到全面推广^[1].

在此背景下,节能、清洁的新冷源的开发成为近年来低温储粮的研究热点,如:浅层地温能低温储粮技术的开发应用及太阳能低温储粮制冷技术的研究.浅层地温能中的地表水资源因其水源分布广阔,可利用能源丰富,对生态环境影响较小,其工艺技术符合建设资源节约型社会的要求^[2].此外,我国大部分地区的地理环境也为地表水的利用提供了前提条件.如长江水系分布纵横交错,流域内湖泊众多,是我国水资源分布最为集中、水量最为丰富的地区,而且水质相对较好,使得这一地区利用江河水作为空调系统的冷源具备了现实条件^[3].长江沿岸的粮库因水上运输便利,大多库区选址于长江和河道周围,而长江具有丰富的水能资源,因此江水作为低温储粮的新冷源具有得天独厚的优势.

针对目前仓储行业电力运行成本过高的局面,本文提出了采用长江水直流冷却空调系统来实现低温储粮.长江水直流冷却空调系统的关键在于确定江水是否合适做冷源.在实际工程中,江水水温、水质、水位直接影响着系统的容量、形式及经济费用,因此江水水温、水质、水位受季节气候影响而产生的变化是我们研究的重点.此外,还需考虑利用了长江水的冷量后,是否会对长江的水环境带来不利影响.

1 江水直流冷却空调系统

1.1 江水直流冷却空调系统

水源冷水机组一般是使用江河湖海等地表水资源作为冷水机组冷却水系统的水源,即利用地表水体所储藏的温差进行制冷的空调系统.相对于传统的水冷式冷水机组,该系统直接利用地表水体中的冷能,无需设置冷却塔.江水在地表水资源的利用中最为广泛,由于江水水体温度和空气之间天然存在着温差,这种温差的利用在适宜的条件下可以获得较高的效率.

根据传热介质是否与大气相通,分为开式和闭式系统两种.闭式系统是将封闭的换热盘管按照特定的排列方法放入具有一定深度的江水中,传热介质通过换热管管壁与江水进行热交换.开式系统是指江水在循环水泵的驱动下,经处理后直接通过中间换热器进行热交换,如图 1 所示.与闭式江水源空调系统相比,该系统可减少江水温度的损失,提高冷源的能量利用率,节能效果比较显著,因此采用江水直流冷却是江水源空调系统的发展趋势.

1.2 江水直流冷却空调特点

江水直流冷却空调系统具有以下特点:(1)能源利用效率高,长江水温最不利情况为 28℃,夏季大多数时候在 25℃以下,相对于传统空调系统而言,冷凝温度较低,机组制冷效率较高;(2)环境保护效果显著,采用江水直流冷却可避免常规空调所使用冷却塔所造成的飘水、细菌滋生、噪声污染等问题,此外该系统排热由江水带走,可以避免向空气散热造成的局部高温,进而缓解城市热岛效应;(3)是具有更高的可靠性和稳定性,水温全年温度相对稳定,相比空气温度而言变化较小,有利于系统的稳定运行.

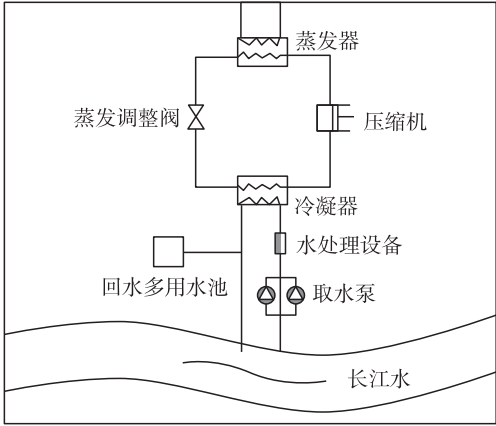


图 1 江水直流冷却空调系统示意图

Fig.1 Diagram of river direct cooled air conditioning system

2 粮库地理位置

南京某国有粮库分库现仓储容量达 9.2884 万 t,库区毗邻长江,紧临港口和沪宁铁路,地理位置十分优越,水上交通便利快捷.

在储粮区域划分中,南京属于中温高湿区.主要特点为冬季时间较短,温度一般在 0℃以上,因此单纯利用自然冷源无法实现全年的低温储粮.根据全年各月份的平均温度,只有 3 个月,即 12、1、2 月份,月平均温度在 0℃~10℃^[4].从低温储粮的角度分析,冬季进行机械通风操作的时间较短.而在 5、6、7、8、9、10 月份 6 个月的月平均温度超过 20℃,局部粮温甚至高达 30℃,需要采取仓房隔热保温和机械制冷等措施降低粮温,以实现准低温储粮.为了利用好低温时间和减少通风电耗,冬季机械通风时单位粮食的通风量可适当选大一些,而且入库时粮食的含水量可稍高于安全含水量.

3 长江水源水质特点

3.1 水温

江水温度是江水直流冷却空调系统应用成败的关键点,是实现江水资源利用的核心问题,决定了系统能否高效运行.利用江水作为天然冷源时要求水温为 5℃~38℃,直接采用江水作为冷却水使用时,江水温度越低,冷凝温度亦越低,从而冷水机组制冷系数越大.有研究表明冷却水温度每降低 1℃,机组制冷系数可提高 2%~3%左右^[5].目前国内尚未建立有关江水源空调系统设计专用的水温资料数据库,而大量研究表明水温和气温之间具有较好的线性关系,但这种线性表达式因地理位置的不同而有所差异.本文通过对比历年南京气温资料和长江南京段水温资料推导出气温与水温之间的关系式,然后利用逐时气温预测长江表层水温,为地表水空调系统的设计提供参考.

根据南京水位站 1964~2000 年对长江南京段水温的观测资料统计,最高水温为 32.2℃,最低水温为

2.2 ℃,年平均水温 17.8 ℃. 各月平均水温特征值,如表 1 所示。

表 1 南京各月平均水温表

Table 1 Average water temperature gauge of Nanjing

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月平均水温/℃	6.7	6.5	9.8	15.5	21.2	25.2	27.7	28.7	25.4	20.4	15.6	10.0

表 2 南京各月平均气温表

Table 2 Average air temperature gauge of Nanjing

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月平均最高温度/℃	7.0	8.8	13.3	20.3	25.6	28.7	31.9	31.7	27.3	22.2	15.9	10.0
月平均气温/℃	2.4	4.2	8.7	15.2	20.5	24.4	27.8	27.4	22.8	17.1	10.4	4.5

由表 1 可以看出,夏季月均水温为 25.6 ℃ (5~9 月). 由于夏季表层水温较室外空气平均最高温度低,并且表层以下水温的变化缓和,再者水的密度和比热比空气大,因此长江水作为水源空调系统的冷源,可以提高冷水机组的性能系数和能源利用率. 若粮库采用江水直流冷却,该空调系统理论制冷系数 (COP) 约为 3.75,高于仓储行业普遍采用的谷物冷却机制冷系数 (一般为 1.30~2.46),节能效果显著. 由此可知:长江水的这种温度特性可使其成为水源空调系统良好的低位冷源.

水温同气温一样具有日变化的基本特征,当每天气温接近最高值时,水温才与气温接近甚至略低于气温,水温的日差比气温的小,这都是源于水的容积热容量比空气大得多的缘故.

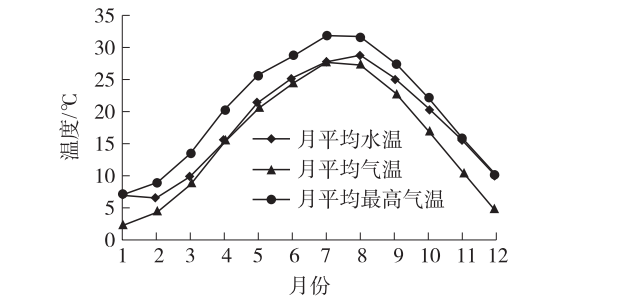


图 2 南京平均表层水温和气温对比

Fig. 2 Comparison of average surface water temperature and air temperature of Nanjing

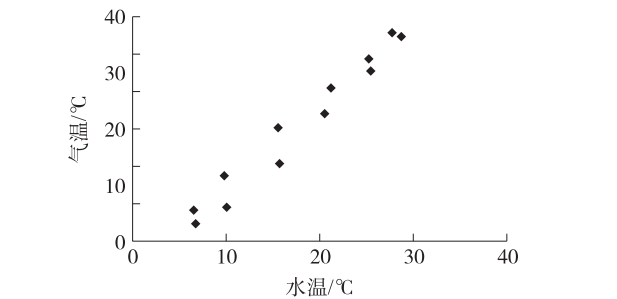


图 3 南京月平均气温和表层平均水温之间的散点关系图

Fig. 3 Scatter relationship diagram between average air temperature and average monthly surface water temperature of Nanjing

分析图 2 可知,水温和气温的变化趋势相近,做散点图如图 3 所示,经回归分析得到线性度为 0.984 的回归方程为:

$$Y=A+B * [X],$$

其中, $A=0.866,B=4.341$.

国内外关于水温沿深度方向的分布情况已做过大量研究,结果表明水面 8 m 以下的水域不会存在明显的温度分层现象,温差仅在 0.5 ℃~1 ℃之内. 而长江南京段流域水深较浅,涨、落潮稳定阶段沿水深方向水温分层现象不明显,因此取、排水口处温差可以忽略不计^[6].

3.2 泥沙

长江南京段泥沙主要来自于上游水体的沙泥,洪水季含沙量多,枯水季含沙量少,断面上含沙量分布不平衡. 长江南京段大通水文站多年的水文资料统计数据,如表 3 所示.

长江南京段年平均含沙量为 0.49 kg/m³,与国家冷却水水质标准 (GB50050—95) 对水质含沙量的规定 (<5 mg/L) 相比,长江水含沙量大大超标,无法满

表 3 长江南京段含沙量统计表

Table 3 Sediment concentration statistics of Nanjing section of Yangtze River

多年平均含沙量	0.49 kg/m ³
年最大含沙量	3.24 kg/m ³ (1959 年 8 月 6 日)
年最小含沙量	0.016 kg/m ³ (1999 年 3 月 3 日)
多年平均输沙率	14.9 t/s
最大输沙量	6.78 亿 t
多年平均输沙量	4.35 亿 t
最大断面平均含沙量	1.41 kg/m ³ (1980 年 7 月 4 日)
最小断面平均含沙量	0.024 kg/m ³
最大测点含沙量	4.24 kg/m ³ (1971 年 9 月 2 日)

足机组对水质的要求. 而通过天然河底滤床反向渗滤取水、江底直接取水流经旋流除沙器后再经过大间隙板式换热器、浮船取水等方案措施可以较好地解决这一问题^[7].

4 江水冷却系统对水环境的影响

根据制冷技术原理,粮库中的热量转移到环境水体中. 与机组进行热交换后的冷却水进入受纳水体达到热平衡后,其所携带的废热经过以下 3 种方式进行散热:(1)排水口与取水口进行热传递,由取水口带走一部分热量即所谓二次热回归;(2)由水域的自由表面逸散和风速的作用进入大气中;(3)水流的作用将热量代入下游水域^[8]. 第一种热量转移的方式将使得取水口的水温升高从而导致系统冷凝温度升高,使得热泵机组的效率下降,因此应尽量减少第一种方式的热量转移;第二种热量转移的方式将会抬高大气温度,加重城市的热岛效应,从环境生态保护角度出发,则应避免第二种热量转移方式;为了增强第三种换热方式,需要全面掌握排水口处水域的速度场和温度场的变化情况、水流速度、潮汐变化规律、取、排水口的相对位置等因素的影响. 其中合理设计取、排水系统的结构和尺寸对水环境和系统性能的影响尤为重要.

虽然江水直流冷却系统可以节省能耗、减少制冷剂排放以及缓解城市热岛效应,能够带来可观的经济效益和环境效益,但是在运用推广过程中该冷却系统不可避免地会将大量热量排入江中,势必会引起特定区域水环境的温升,从而对水中生物产生一定影响.

4.1 对浮游植物的影响

微生物的数量和种群分布与水体温度有着密切的相关性. 环境条件的改变,在一定限度内,可引起微生物形态、生长、繁殖等基本特征的改变,当环境条件的变化超过一定极限,则会导致微生物死亡. 影响微生物生长的外界因素很多,其中环境温度是最主要的因素之一^[9]. 天然水体中硅藻和绿藻是鱼类赖以生存的食物,一般情况下,20℃有利于硅藻的生长,30℃时绿藻的生长最为旺盛,而当温度升高到 35℃~40℃时蓝藻大量繁殖,则会使水体浑浊,水质恶化,破坏水环境的生态平衡.

夏季江水冷却系统将热量排入长江后,排水口附近水域温度有所上升. 但是由于长江水为明显流动水体,系统的排热会即时被流动的水体带到下游,不会产生热堆积;加之长江水容量大,水温增幅较小,因此不会彻底打破原有水环境的生态平衡. 由文献[8]的模拟分析结果可知,采用长江水作为冷却水源的空调系统夏季排热温升较小,对长江造成的影响极微. 即使在极端情况下局部水温超过 35℃时,短时间内有利于蓝藻的生长繁殖,但是此区域面积较小,且江水潮汐作用有利于局部区域的热扩散,使得排水口局部范围最高水温持续时间较短,蓝藻不至于大量繁殖.

4.2 对鱼类的影响

长江江面宽阔,洲滩众多,水产资源丰富,鱼类区系组成复杂,有淡水鱼、咸淡水鱼及海产洄游鱼. 研究表明鱼类对水温反应尤为敏感,其生长、繁殖和洄游等基本行为都不同程度地受到环境温度的影响. 但温排水对鱼类的影响是一个复杂的过程,不同鱼类适应温度和感觉温差的能力各不相同. 长江南京段流域以鲤、鲫为主,其中鲤鱼生活习性为暖水性,鲫鱼为温水性. 鲤鱼对温度变化适应性较强,从流水实验结果表明随着温度的升高水体溶氧量减少,鲤鱼呼吸急促,行为不安,上下游动频繁. 温度升至 35℃时未见异常,温度继续升高至 36℃时鲤鱼则跳跃不安,因此鲤鱼生存的临界温度为接近 36℃.

一方面江水源空调系统排热后人为造成的环境水温变化平均最大温升 $\leq 1^\circ\text{C}$,温度场内 36℃以上区域面积所占的比例甚小,此外长江流域宽广,鱼类有足够广阔的生存空间,因此对成鱼的生存影响较小. 另一方面鱼类对环境温度的变化相当敏感(尤其是鲤鱼),当自然水温超过其本身所能承受的温度时,鱼类会自动从高温区游向低温区,以寻找适合生存的水温区域. 由此可知,江水源空调系统的温排水所引起的小范围温升不会威胁鱼类的生存.

5 结论

(1)长江沿岸粮库具有采用江水作为低温储粮冷源的地理条件,符合绿色储粮的可持续发展观.

(2)南京地区江水夏季表层月均水温为 25.6℃(5~9月),较室外空气平均最高温度低,且水的密度和比热都比空气的大,系统制冷系数 COP 约为 3.75,高于仓储行业普遍采用的谷物冷却机制冷系数(其 COP 一般为 1.30~2.64),是合适的空调系统冷却水源.

- (3) 基于水温与气温之间线性关系的成熟理论,计算出南京地区江水表层温度与气温之间的线性关系式为 $Y=0.866+4.341X$,其线性度为 0.984.
- (4) 利用长江江水作为低温储粮的冷源可以缓解城市热岛效应,同时不可避免地引起特定区域水环境的温升而对水中生物产生一定影响.但是由于长江水容量大,温升幅度较小,对生态系统的影响较小,不会导致藻类的大量繁殖和威胁鱼类的生存.
- (5) 合理设计取水 and 排水系统的结构和尺寸对水环境和系统性能的影响尤为显著,今后有必要对其进行详细研究.此外,热量在水中的扩散方式、扩散程度、涨、落潮对热扩散的影响也有待进一步的探讨和研究.

[参考文献] (References)

- [1] 罗会龙,王如竹,代彦军,等. 低温储粮太阳能吸附式制冷系统研究[J]. 制冷学报,2006,27(2):10-12.
Luo Huilong, Wang Ruzhu, Dai Yanjun, et al. Research on solar-powered adsorption refrigeration system used for low-temperature storage of grain[J]. Journal of Refrigeration,2006,27(2):10-12. (in Chinese)
- [2] 许丁雪. 地表水源热泵在珠江三角洲地区应用的可行性分析[D]. 广州:华南理工大学电力学院,2010.
Xu Dingxue. Feasibility analysis of using surface water source heat pump in the Pearl River delta[D]. Guangzhou: South China University of Technology School of Electric Power,2010. (in Chinese)
- [3] 聂会元,吴艳菊,王勇. 中国气候区淡水源热泵适应性分析[J]. 重庆建筑大学学报,2008,30(3):112-120.
Nie Huiyuan, Wu Yanju, Wang Yong. Analysis of adaptability for water surface heat pumps in China climatic region[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University,2008,30(3):112-120. (in Chinese)
- [4] 曹阳. 基于两维图论聚类分析的中国储粮区域划分[J]. 中国粮油学报,2005,20(4):122-124.
Cao Yang. Analysis of China grain storage zoning based on two-dimensional graph theory[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association,2005,20(4):122-124. (in Chinese)
- [5] Chow T T. Applying district-cooling technology in Hong Kong[J]. Applied Energy,2004,79(3):275-289.
- [6] 郝小充,余跃进,张宏等. 开式湖水源热泵系统温排水热扩散模拟研究[J]. 南京师范大学学报:工程技术版,2011,11(2):47-52.
Hao Xiaochong, Yu Yuejin, Zhang Hong, et al. The numerical simulation of the thermal discharge in the open-loop lake water heat pump systems[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition,2011,11(2):47-52. (in Chinese)
- [7] 吴浩,王勇,李文. 地表水源热泵以长江水作为低位冷热源的可行性分析[J]. 制冷与空调,2009,23(1):12-15.
Wu Hao, Wang Yong, Li Wen. Feasibility analysis of surface-water heat pump with yangtze river water as heat source and sink [J]. Refrigeration and Air Conditioning,2009,23(1):12-15. (in Chinese)
- [8] 张文宇. 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:同济大学机械与能源工程学院,2007.
Zhang Wenyu. The impact of the surface water source heat pump of Shanghai world expo on the Huangpu River [D]. Shanghai: School of Mechanical and Energy Engineering, Tongji University,2007. (in Chinese)
- [9] Liu Wencheng, Liu Shinyi, Ming His Hsu, et al. Water quality modeling to determine minimum in stream flow for fish survival in tidal rivers[J]. Journal of Environmental Management,2005,76(4):293-308.

[责任编辑:刘 健]