

江水源热泵技术在黄浦江建筑群中的应用研究

施 焯 茹

(上海海事大学 交通运输学院, 上海 201306)

摘要:江水源热泵技术需要以江水为载体,在综合评价了黄浦江水水质的基础上,得出了该技术在上海地区的可行性。把江水源热泵系统与冰蓄冷技术相结合,使其比传统的冷却塔方式更节能环保。在工程中采用了综合能效测评法,计算出制冷系统 COP 和制热系统 COP 系数,使节能量值得信服。

关键词:江水源热泵;冰蓄冷;节能

中图分类号:TU8 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2016)01-0044-05

1 绪论

1.1 热泵的起源

随着经济持续高速发展,我国能源和环境问题越来越突出,必须不断地进行技术创新,才能实现国家的可持续发展的战略。江水源热泵技术的合理使用不仅符合国家能源战略,而且具有显著的节能效果与环保效益。

热泵最早来自于一个 1912 年的瑞士专利,在近几十年才被广泛应用。日本是最早普及热泵应用的国家,主要研发家用热泵型空调技术。而美国的水源热泵技术大多是运用在商业中心和家庭住宅之中。在我国,水源热泵再生能源利用技术在一部分工程中已经运行并取得了良好的效益,如:2008 年北京奥运会、重庆江北城 CBD^[1]、桂林阳朔的碧莲江景大酒店、2010 年上海世博会、上海港国际客运中心等等。

1.2 工程概况

本工程位于上海北外滩地区,基地南临黄浦江,西面为公平路,东面靠近秦皇岛路,而北面则有东大名路及杨树浦路,由东、中、西三地块组成,总用地面积为 41 345 平方米。为符合“节能、环保、生态”的最新理念,工程因地制宜采用江水源热泵技术,达到了节能减排的目的。

1.3 主要创新点

1)江水源冰蓄冷系统的节电技术应用。新港区建筑群中央制冷系统采用冰蓄冷系统,将冷量的生产和冷量的使用在时间上相分离的方法进行调荷,使之大大降低日间空调用电量,同时降低耗电费用,达到移峰填谷的目的。

2)江水冷却工艺流程优化设计。创新设计了“黄浦江→50 毫米格栅→30 毫米格栅→10 毫米齿耙式清污机→水泵→1 毫米反冲洗装置→桶式过滤器→板式热交换器→黄浦江”的江水冷却工艺流程。

3)COP 和系统输送能效比的评价方法应用。采用 COP 评价方法对黄浦江水制冷时的江水源式热泵离心式冷水机组的性能进行测评,发现江水地源式热泵系统制冷、制热效率高,节能效果明显,并予以应用。

2 水源热泵在上海地区的适用性

2.1 上海的气候条件和水资源

上海地处长江入海口,属于北亚热带湿润季风气候,四季分明,冬季冷夏季热,阳光充足,雨水充沛。

上海市水资源主要包括长江来水和太湖流域来水,具体见下表 1。上海的“母亲河”黄浦江水资源丰富,适宜江水源技术的应用。近年来,江水源热泵技术在建筑业的应用受到广泛关注,它的节能效果和环保优势也受到一致认可。

表 1 上海市水资源来源

项目	多年平均	偏丰年(P=20%)	平水年(P=50%)	偏枯年(P=75%)	枯水年(P=95%)
地表水资源量	24.3	33.6	22	15	7.8
太湖流域来水	106.6	132.1	104.9	84.8	58.7
长江过境水	9 335	10 570	9 188	8 232	7 078

收稿日期:2015-09-19

作者简介:施焯茹(1992—),女,江苏南通人,上海海事大学交通运输学院,硕士研究生,研究方向:国际航运现代化管理。

以江水做冷却水要比海水效果好,但由于黄浦江地处长江入海口,海水涨潮对江水影响甚大,江水很容易结垢。因此,必须处理好控制结垢、腐蚀、污损生物附着等问题^[2]。要时刻掌握潮汐动态,及时了解水温变化情况,使热泵机组在正常负荷状态下进行运行。

2.2 黄浦江水水质

江水源热泵技术的利用成效与水质有很大关系^[3]。经过对黄浦江取水监测可以看出,取水口水域水质较好,绝大部分指标的水质类别在 I-IV 类水之间,水质达到 IV 类水标准的达标率也很高。取水口水域有机污染和总磷总氮污染相对较重,对于本工程可能会产生一定的影响^[4]。

在所有参与评价的水质指标中,全年 100% 达标的指标共有 15 项:水温,PH,硒,总汞,氯化物,砷化物,六价铬,硫化物,挥发酚,阴离子,总氰化物,化学需氧量,硝酸盐氯高锰酸盐指数,五日生化需氧量;全年部分达标的指标共有 4 项,分别是:溶解氧(50%),氨氮(50%),总磷(50%),石油类(50%)。全年都未达标的只有一项,即总氯。此外,悬浮物和总硬度在

《地表水环境质量标准》中没有做出具体规定,因此不作为达标率的评价,并且得出结论:取水口水域的水环境质量是能够满足取用水要求的。

因此,水源热泵在上海地区是否适用,如何使用,需要结合上海地区的气候条件、水资源状况、负荷大小等多种影响因素进行分析^[5]。

上海占据独特的地理位置,很适合江水源热泵技术的发展。尽管在使用该技术的同时也一定会遇到如:热量排放到水中的扩散方式,热污染等难题,但经综合评价上海依旧是适应江水源发展的城市^[6]。

3 江水源热泵系统设计

3.1 江水源热泵技术特点

3.1.1 江水源热泵的供冷、供热工作原理

水源热泵技术以水为依托,可以是河水、江水、地下水及地热尾水,甚至工业废水、中水等低品位热能,再利用热泵系统,达到节能减排的目标^[7]。水源热泵系统一般由三部分组成:水源系统、热泵机房系统以及末端的散热系统。热泵系统的原理如下图 1 所示。

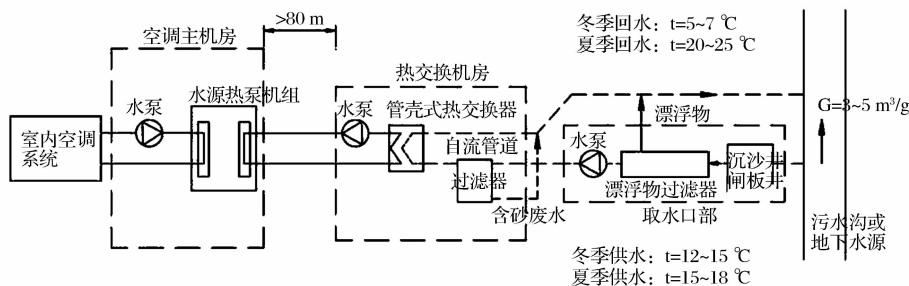


图 1 水源热泵系统原理

本工程中黄浦江水夏季取水温度为 32℃,经板式热交换器交换后水温度提高为 37℃,排回黄浦江中,再被抽取循环使用。而板式热交换器次级为夏季双工况机组及基载冷水机组冷凝器提供 33℃~38℃ 的冷却水。双工况机组空调工况时蒸发器产生 5℃~11℃ 的冷冻水,经板式热交换器交换后冷冻水温度为 6℃~12℃,为空调末端设备提供冷源。双工况机组谷时制冰工况时蒸发器产生 -5.5℃~-2.3℃ 的冰水,被送入蓄冰槽进行蓄冰,白天融冰供冷。载冷剂为 25% 的乙二醇溶液。夏季晚间及过渡季节,空调负荷较小时采用 3 台 400 冷吨基载冷水机组为空调系统提供冷源,蒸发器产生 6℃~12℃ 的冷冻水直接为空调末端设备提供冷源。

冬季制热时,黄浦江水取水温度为 4℃,经板式热交换器交换后水温度降低至 1℃,排回黄浦江中,再被抽取循环使用。而板式热交换器次级为水源式

螺杆机组蒸发器提供 1℃~3℃ 的水源。热泵机组冷凝器产生 40℃~45℃ 的热水直接为空调末端设备提供热源。

3.1.2 冷热源现状

整个工程的西、中、东三个地块总建筑面积约为 527 720 m²,采用 25% 的乙二醇溶液作为载冷剂根据空调冷负荷计算,考虑各空调功能区域的同时使用性,显示出项目所有建筑所需之最大空调负荷约为 42 478 kW(12 080 冷吨),在考虑到各区域的用途,使用时间及供冷的安全性,中央制冷系统采用冰蓄冷系统,将冷量的产生和使用进行分离,降低了空调用量和电耗,实现了移峰填谷的目标。考虑到制冷机组大部分时间处于高效运行阶段,现按最大负荷的 30% 由蓄冰系统提供,总蓄冰量为 37 800 冷吨·小时,中央制冷系统拟采用 4 台 1 800 冷吨、1 台 900 冷吨双工况制冷机、3 台 400 冷吨可供冷的水源热泵机

组作为基载制冷机组该系统系统特点：

1)双工况主机的制冷剂为：环保冷媒，载冷剂为：25%浓度的乙二醇。

2)冰蓄冷系统采用钢盘管内融冰方式，主机优先运行，当部分负荷时融冰优先运行。

3)采用部分蓄冰策略，蓄冰量约为设计日负荷的 29.3%，蓄冰量为 37 800 RT·h，日总负荷约为 128 865 RT，小时最大融冰冷量为 4 725 RT，融冰速率(小时最大融冰冷量与总蓄冷冷量之比)为 12.5%，日融冰率达 99%以上。

4)由于采用优化控制，平均每小时最大负荷移峰率为 39.1%。

考虑到冬季黄浦江水的温度曾经有 2~3℃的记录，故水源热泵系统中热泵和换热器之间冬季会采用乙二醇溶液，以避免冻结情况的发生，保证系统的正常运行^[8]。

3.1.3 江水源热泵和冰蓄冷技术的结合

根据上海国际航运中心项目建筑功能多样化和濒临黄浦江的特点，工程将综合利用江水源热泵和冰蓄冷相结合的区域供冷方式。黄浦江江水能源中心共服务地块内 13 栋楼及地下一层商业街，空调服务区域总面积为 330 677 m²。制冷机组装机容量 9 300 RT，蓄冰系统日蓄冰量 394 94 RT·h；制热机组装机容量 6 000 RT。

江水源(板换式)热泵+冰蓄冷空调系统供冷原理如下图 2 所示：

- 1)冷却水量：7 000 t/h。
- 2)冷却水输送泵：6 台(5 用 1 备)。
- 3)设三级过滤：格栅+齿耙机+自动除污过滤器。

冰蓄冷运行策略考虑在电价谷时蓄冰、基载主机供冷，峰值优先融冰供冷，不足采用双工况冷机和基载主机补充^[9]。

3.2 空调冷热源设计

3.2.1 空调冷源

考虑到空调制冷机组大部分时间处于高效运行阶段，现按最大负荷的 30%由蓄冰系统提供，中央制冷系统拟采用 5 台双工况制冷机及 3 台可供冷供热的水源热泵机组作为基载制冷机组。双工况制冷机利用晚上电网低谷时段蓄冰，白天融冰供冷，再利用板式换热器与空调末端冷冻水换热。

3.2.2 空调热源

冬季黄浦江水通过板式换热器进行热交换，吸取热量后的水源经水泵进入水源热泵机组循环使用，空

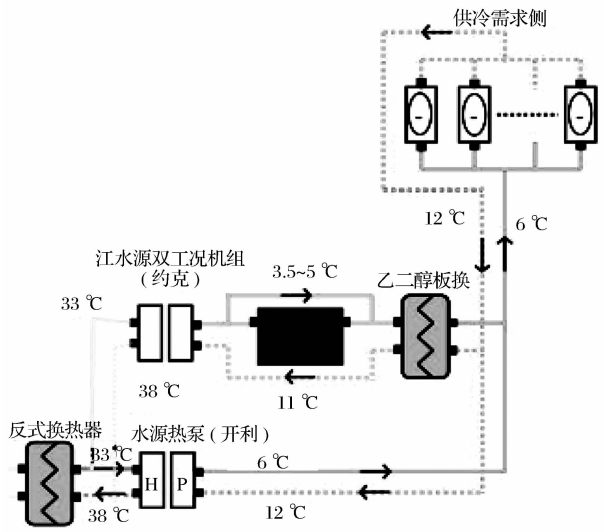


图 2 江水源(板换式)热泵+冰蓄冷空调系统供冷原理

调侧换热后热水经由供热水泵经输送水管网送至各末端采暖设备。西地块的采暖负荷将作为其中一部分负荷由中央冷热源机房提供^[10]。

3.3 能源中心江水侧的设计

黄浦江水作为机组的冷却水，需要进行水质分析，对照《地表水环境质量标准》GB3838—2002Ⅳ类标准，全年大部分水质指标合格。

水质分析对本工程的规模、实施方案、取水、回水要求作了详细论述，认为本工程回水口在取水口下游 300 米，布置合理。

冷却用水从黄浦江提供，热交换后再循环回黄浦江，工艺流程为：黄浦江→50 毫米格栅→30 毫米格栅→10 毫米齿耙式清污机→水泵→1 毫米反冲洗装置→桶式过滤器→板式热交换器→黄浦江。

3.4 运行情况调研

运行状况中 COP(coefficient of performance)性能系数的比较：

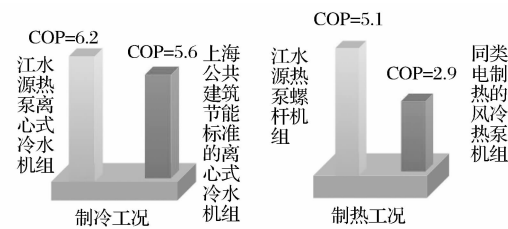


图 3 COP 系数比较

显而易见，采用江水源热泵机组的制冷、制热效率比较高，节能效果更明显。

在本工程运行之后，以 2014 年 12 月份为例，对

排至黄浦江水的水温和抽取黄浦江水的水温进行了数据分析(图4)。

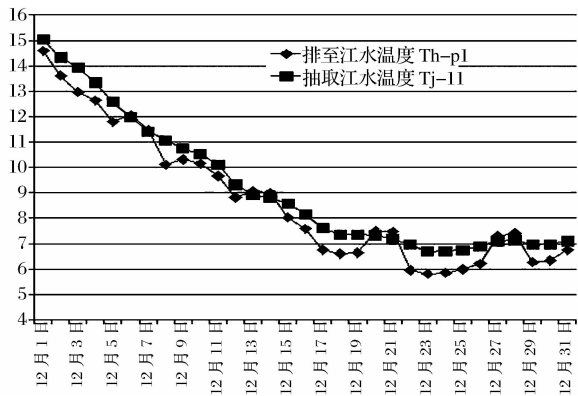


图4 2014年12月排至和抽取江水温度折线图

从上图可以看出,冬季排至江水温度和抽取江水温度差别很小,可见本项目运用水源热泵技术之后,对黄浦江温度影响很小,不会影响黄浦江水的水质。

4 能效测评方法

空调与供暖系统冷热源的选择应结合方案阶段的绿色建筑策划,通过技术经济比较而合理确定,应遵循下列原则:

- 1) 以可供利用的废热或余热优先作为热源。
- 2) 合理利用可再生能源。
- 3) 合理利用热电冷联供技术。
- 4) 空调用电负荷颇大,从经济效益看,需采用蓄冷空调系统。

现阶段对空调系统的能效测评方法,是评价项目节能、绿色环保及系统合理性的重要依据^[11]。

本工程中采用了综合能效测评法,计算了制冷系统 COP 和制热系统 COP。

制冷系统 $COP = \text{制冷量} / \text{运行净输入能量}$; 制热系统 $COP = \text{制热量} / \text{运行净输入能量}$

计算公式:

$$\text{制冷系统 } COP = \Sigma Q / (N1 + N2 + N3 + N4)$$

N1——江水源侧水泵运行功率, kW;

$$N1 = 9.8 * G * H / 3600 / \eta_b$$

N2——制冷机组运行功率, kW;

N3——空调冷却水泵运行功率, kW;

$$N3 = 9.8 * G * H / 3600 / \eta_b$$

N4——空调冷冻水泵运行功率, kW;

$$N4 = 9.8 * G * H / 3600 / \eta_b$$

Q——设计冷负荷, kW;

G——每台运行水泵的设计流量, m^3/h ;

K——每台运行水泵的设计扬程, m 水柱;

η_b ——每台运行水泵的设计工作点效率;

在本工程中: 制冷系统 $COP = \Sigma Q / (N1 + N2 + N3 + N4) = 3.70$

计算公式:

制热系统 $COP = \Sigma Q_r / (N11 + N12 + N13 + N14)$

N11——江水源侧水泵的运行功率, kW;

$$N11 = 9.8 * Gr * Hr / 3600 / \eta_b$$

N12——热泵机组运行功率, kW;

N13——蒸发器进水水泵运行功率, kW;

$$N13 = 9.8 * Gr * Hr / 3600 / \eta_b$$

N14——空调热水水泵运行功率, kW;

$$N14 = 9.8 * Gr * Hr / 3600 / \eta_b$$

Q_r ——设计热负荷, kW;

Gr——每台运行水泵的设计流量, m^3/h ;

Kr——每台运行水泵的设计扬程, m 水柱;

η_b ——每台运行水泵的设计工作点效率;

在本工程中: 制热系统 $COP = \Sigma Q_r / (N11 + N12 + N13 + N14) = 3.50$

由此可见,应用了江水源热泵系统技术之后,黄浦江建筑群在节能方面取得了很大的成效。

5 总结

经过实际调查,工程于 2013 年底全部建成并且成功投入运营,且黄浦江水水质未受明显影响,甚至有所好转。江水源热泵技术的应用与传统冷却塔相比,减少了占地面积,增加了运行的安全性和可靠性,避免了环境污染。江水源技术作为一种再生能源技术,响应了“节能环保、绿色经济”的国家战略,达到了节能减排的目的,必将得到大力推广。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 刘婷婷. 冬冷夏热地区应用地表水源热泵系统供暖的优化方法[D]. 长沙: 湖南大学, 2005.
- [3] 刘东. 水源热泵的经济性分析及应用[D]. 天津: 天津大学, 2004.
- [4] 刘德曦. 水源热泵系统的综合研究与工程应用[D]. 北京: 北方工业大学, 2003.
- [5] 李秋生. 住宅用水源热泵中央空调机组动态特性研究及能耗分析[D]. 天津: 天津大学, 2004.
- [6] 关海霞. 冰蓄冷与水源热泵系统设计实例[J]. 低温工程, 2006(4): 59-62.
- [7] 杨振静. 污水源热泵的应用及经济性分析[D]. 济南: 山东建筑大学, 2013.

(下转第 55 页)

[13] WANG E C. R&D efficiency and economic performance: a cross-country analysis using the stochastic frontier approach [J]. Journal of Policy Modeling, 2007, 29(2): 345—360.

[14] PAPAGEORGIOU CHRIS. Human capital as a facilitator of innovation and imitation in economic growth: further evidence from cross country regressions[R]. Louisiana State University Working Paper, 1999.

Human Capital, R&D Efficiency and Regional Inequality

ZHONG You-hui¹, DU Wei²

(1. School of Economic and Management, Shaoguan University, Shaoguan Guangdong 512005, China;
2. School of Economics and Management, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: By using DEA-Tobit , we empirically analyze the influence of the stock and the structure of the human capital on regional R&D efficiency in the whole country and the three regions. It shows that the human capital stock and the senior level human capital have significant effect on the efficiency of R&D in the whole country and the eastern region, but this is not true in the middle-western region. Therefore, it is important to strengthen the accumulation of human capital in order to improve the R&D efficiency in the central and western regions.

Key words: human capital; R&D efficiency; DEA-Tobit

(上接第 47 页)

[8] 吴艳菊. 地表水源热泵适宜性综合评价及规划研究[D]. 重庆:重庆大学, 2009.

[9] 彭亚美. 地下水源热泵系统的模拟分析与运行优化研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2013.

[10] 和彩凤. 水源热泵与冰蓄冷空调联合运行系统的优化设计与经济性分析[D]. 合肥:合肥工业大学, 2010.

[11] ZHIFANG XUE, LIN SHI. Modeling and experimental investigation of a variable speed drive water source heat pump [J]. Tsinghua Science and Technology, 2010(4): 434—440.

Application of Water Source Heat Pump Technology in the Construction Near Huangpu River

SHI Ye-ru

(College of Transportation and Communicate, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Water quality of Huangpu River is the carrier of water source heat pump technology, and the water quality of Huangpu River is evaluated comprehensively. This paper also analyses the applicability of the technology in Shanghai. In this paper, Water source heat pump system and ice storage technology are combined. This technology compared with the traditional cooling tower way can save more energy and is more environmentally friendly. Engineering uses a comprehensive energy efficiency evaluation method and calculates refrigeration system cop and heating system cop. Calculation makes the conclusion more convincing.

Key words: water source heat pump; ice storage; energy saving

(上接第 50 页)

[4] 何以文. 基于全寿命周期的房地产项目成本控制理论与方法应用研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2008.

[5] 汪亚宁. 全寿命周期造价管理在节能建筑项目的应用研究 [D]. 北京:北京交通大学, 2011.

Research on the Life Cycle Cost Control of Urban Complex

LI Jin-hua, ZHANG Hong-yue

(Tianjin Chenjian University, Tianjin 300384, China)

Abstract: Applying the idea of sustainable development in each stage, consider the cost of comprehensive. In the decision-making phase, considering the social and economic benefits, demonstrate the feasibility of the project. At the design stage to fully make use of the new technology and renewable resources. In the implementation stage, control costs and reduce the pollution to the environment. In the operational phase, cycle and economical use of resources. Research on sustainable development on the city complex can not only play a positive role for building materials saving, energy saving, resources and the environment protection, but also can have a great impact on the economic benefits of the urban complex and can greatly reduce the operation cost of the late.

Key words: urban complex; sustainable development; life cycle; cost control