

上海世博园地表水地源热泵的应用及环境影响分析

同济大学 张文宇[☆] 龙惟定

摘要 介绍了国内外地表水地源热泵的研究现状,分析了上海世博园区地理、气候条件以及空调负荷,认为以黄浦江江水作为冷热源的热泵系统可行,指出热泵系统与环境之间具有双向影响。

关键词 上海世博园 黄浦江 地表水地源热泵

Application of surface water source heat pump systems in Shanghai Expo and the environment effect analysis

By Zhang Wenyu[★] and Long Weiding

Abstract Presents the current research status of surface water source heat pump systems in and out of China. Analyses the geographic, climatic conditions and cooling load in Shanghai Expo area. Concludes that the water of Huangpu River is available as the cold and heat sources of the heat pump system during the Expo period. Points out that there are reversible effects between the heat pump system and environment.

Keywords Shanghai Expo, Huangpu River, surface water source heat pump

★ Tongji University, Shanghai, China

①

1 国内外地表水地源热泵研究现状

国外地表水地源热泵的研究始于 20 世纪 30 年代,瑞士苏黎世议会大厦安装了欧洲第一台大型热泵,以河水作为热源,输出热量 175 kW。在第二次世界大战期间,这种能适应战时能源紧缺情况的大型供热和工艺热泵装置得到了快速发展。

第二次世界大战后,热泵在美国首次掀起发展高潮,到 1950 年美国拥有 600 台热泵,其中 53% 为水源热泵。

1980 年美国海军对珍珠港等地进行了海/湖水空调在海军设施上应用的研究,通过对一个虚拟工程项目的经济分析得出结论:地表水地源热泵技术初投资比传统空调系统高 60%,但是运行费用却降低了 80%,在系统整个寿命周期内各种费用要比传统空调系统少 25%^[1]。

1995 年,瑞典利用已有的先进大型海水源热泵进行区域供热的经验和现成的设备,开发了以海

水和热泵蒸发器端作为冷源的区域供冷工程,经过 9 a 的运行后,斯德哥尔摩的区域供冷工程被认为是大型供冷解决方案中近乎完美的工程,具有很高的能源利用率、更加环保的效应以及更加经济的运行操作。图 1 是位于北纬 60° 的瑞典首都斯德哥尔摩市和北纬 45°45' 的我国哈尔滨市以及北纬 30°08' 的上海市月平均室外温度对比图,不难发现陆地性气候和海洋性气候的巨大差异^[2]。

2000 年 7 月,美国康乃尔大学以深层湖水作为冷源的区域供冷系统,设计供冷能力 70.4 MW,循环流量 2.02 m³/s,承担了校园夏季峰值冷负荷 54.6 MW 及 2001 年的持续峰值负荷 56.3 MW。

①[☆] 张文宇,女,1977 年 3 月生,在读硕士研究生
200092 上海四平路 1239 号同济大学暖通研究室
(021) 65982596
E-mail: rainy210@126.com
收稿日期: 2006-03-06

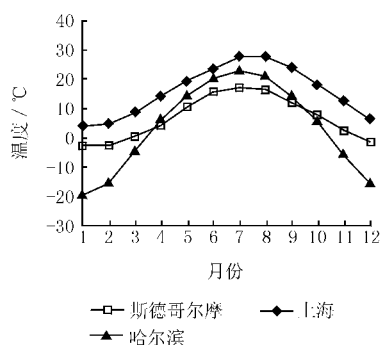


图1 三个城市月平均室外温度对比

运行结果显示典型年供冷量超过了 106 GW, 节约了 22 亿 kWh 的电量; 同时冷却器能耗减少了 86%, 也降低了电厂发电过程中污染物的排放量; 湖水冷却系统的寿命为 75~100 a 之久, 冷却器的寿命为 30~40 a^[3]。

土耳其具有丰富的地表水资源, 如果能充分利用地中海资源, 使用廉价的海水冷量可以获得巨大的经济效益和环保效益, 但是目前该国使用的热泵机组绝大部分仍然是空气源热泵, 仅有的水源热泵机组也只出现在工业领域, 其他(冷)热源的利用也极为有限。研究者调查发现推广地表水地源热泵技术的障碍在于: 1) 对冷热源的认识不够充分; 2) 技术不成熟; 3) 缺乏合格的设计师、承包商和操作人员^[4]。

目前, 在瑞典和挪威以地表水地源热泵进行区域供冷供热的技术已经实现了规模化应用, 而我国地表水地源热泵的研究和应用才刚刚起步, 与国外相比, 在热泵机组的优化设计和工程应用上还存在较大差距。在建的大连星海假日酒店采用 5 台国产 SGHP1000 型海水源热泵, 提供冷热源, 是目前国内最大的海水源热泵工程项目。

2 2010 年上海世博园简介

2.1 世博园地理优势

上海浦东新区位于北亚热带东亚季风盛行的地方, 北纬 30°08'~31°23', 东经 121°27'~121°48' 之间, 北扼黄浦江汇入长江的吴淞口, 东临长江主航道出海段, 有 65 km 长的沿江海岸线。新区受海洋性气候调节明显, 夏天昼热夜凉, 冬天日暖晚寒, 春秋两季冷热变化无常, 特殊高温和低温的天数不多。1994 年 7 月平均气温为 30.4 °C, 1 月为 5.2 °C。图 2 为上海 30 年月平均气温。

世博园区距市中心比较近, 分布在黄浦江两岸

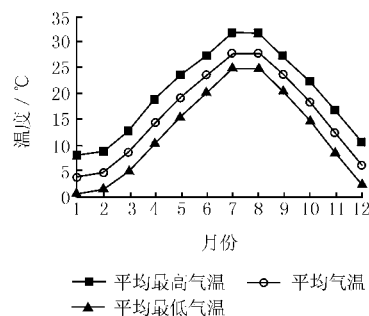


图2 上海 1961—1990 年 30 年间月平均气温

南浦大桥与卢浦大桥间 5.28 km² 的范围内, 浦东新区西侧从南到北, 黄浦江长 80 km, 江面平均宽度约 360 m, 深度 7~9 m, 根据黄浦公园水文站 1959—1993 年早上 8:00 实测水温资料, 历年平均水温 1 月为 6.0 °C, 4 月为 15.6 °C, 7 月为 29.3 °C, 10 月为 21.9 °C, 年平均净径流量为 315.7 m³/s。

由于目前缺乏黄浦江不同深度的水温资料, 因此借鉴位于北纬 31°04'~31°07', 东经 122°04'~122°12' 之间黄浦江入海口附近引水船海洋站数据 (1959 年 9 月至 2001 年 10 月)^[5]。由图 3 可见, 供冷期间, 表层水温总是低于室外平均最高温度, 并且表层以下水温的变化较室外气温的变化缓和, 说明水体较空气热量资源更为丰富。可见, 如能进行较好的水质处理, 则无论是夏季作为冷却冷凝器用水、冬季作为热泵热源水都是可以的。

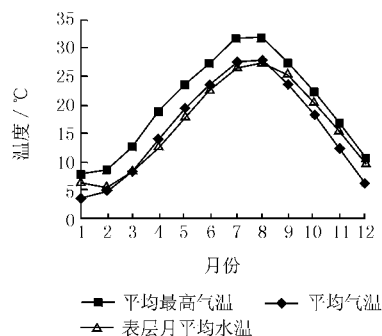


图3 引水船海洋站月平均表层水温与气温对比

上海世博会的主题是“城市, 让生活更美好”, 其基本理念之一就是构筑循环型城市, 充分利用现有的未利用能源(如江水和河水等), 将热电联产系统的排热和集中供冷供热设施供应的能量合理组合, 实现能源的有效利用, 利用黄浦江江水作为热泵冷热源, 无疑使这一理念得以贯彻。

2.2 空调负荷

上海世博会的展期预计为 6 个月,2010 年 5 月 1 日开幕,10 月 31 日闭幕。将主要建设主题馆、展馆、企业馆、公共配套服务设施、城市实验区、世博村等,总建筑面积达 200 万 m^2 。会后该地区将作为国际交流和贸易中心进行再开发,以办公楼、商业中心、高级公寓为主,规划建筑面积约 720 万 m^2 [6]。测算总客流量 7 000 万人次,平均日、高峰日和极端高峰日的客流量分别为 40,60,80 万人次,浦东、浦西园区到达客流量分别占 70% 和 30%,高峰时段预计出现在开园后 2~3 h,客流在 25 万人次/h 左右。园区日客流量按 80 万人次计算,则总空调负荷预计为 280 MW。

3 环境影响分析

3.1 城市热岛效应

上海夏季盛行东南风,冬季多为西北风,城市气温在空间分布上存在热岛效应,全年出现率为 87.8%。市区气温高于郊区,气温最大差值可达 4.8~6.8 $^{\circ}\text{C}$ 。而世博园区位于夏季主导风向的上风侧,因此必须采取有效对策来消除热岛效应。

首先应合理布置各展区,优化建筑外形,协调建筑、绿地和广场空间的关系;其次使用黄浦江江水作为集中供冷供热系统的冷却水,不仅可以提高空调系统的效率,而且由于水的热容量(4 187 $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$)比空气(1.28 $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$)大得多,从而水温的变化较室外气温的变化缓和得多,另外,水温的下降或升高较气温的下降或升高有一个延迟期,从而水体对温度有很大的调节功能。与传统空调系统相比,将相同的热量排放到水中与空气中,室外温升的差异很大,因此利用地表水地源热泵系统必然会缓解和衰减城市热岛效应。

3.2 系统与环境之间的双向影响

3.2.1 系统对水环境的影响

虽然节能和制冷剂的减排以及对城市热岛效应的缓解都会带来可观的环境效应,但是利用黄浦江的江水作为冷热源,在规模化应用过程中会有大量的冷量和热量排入江中。尽管水体流动、船只运行会产生江水扰动,但排热(冷)还是可能对特定的区域水体温度场分布产生影响,进而对水环境造成一定的污染。例如水温升高,会降低水中的溶解氧含量;温度增加,将加速有机污染物的分解,增大耗氧作用,也会使水体中某些毒物的毒性提高。这对鱼类的影响很大,甚至引起鱼的死亡;同时水温的

升高还破坏生态平衡的温度环境条件,加速某些细菌的繁殖,助长水草丛生,厌气发酵、散发恶臭。表 1 是两种藻类在不同温度时的生长参数。

表 1 两种藻类在不同温度时的生长参数

藻类	最大增长率 $\bar{U}_{\max}/\text{d}^{-1}$		最大现存量 $\bar{X}_{\max}/(\text{个}/\text{cm}^3)$	
	15 $^{\circ}\text{C}$	25 $^{\circ}\text{C}$	15 $^{\circ}\text{C}$	25 $^{\circ}\text{C}$
铜绿微囊藻	0.805	1.812	1.1×10^5	8×10^5
斜生栅藻	0.549	0.784	6×10^5	4×10^5

总之,热水的排放,使得水体温度上升,对物理过程和生物过程都有重要的影响,从而引起水质一定的变化。1988 年 6 月 1 日起实施的《地面水环境质量标准》中规定:中华人民共和国领域内江、河、湖泊、水库等具有适用功能的地面水水域,人为造成的环境水温变化应限制在夏季周平均最大温升 $\leq 1^{\circ}\text{C}$,冬季周平均最大温降 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 。

就世博园区范围内的黄浦江整体而言,水源热泵系统引起的水温升高约在 0.07 $^{\circ}\text{C}$ 左右,远低于上述标准中的规定值。就是因为微弱温升不易引起重视,使得目前国内对该项内容的研究工作较少。但在排水口特定区域内温度场的分布必然会有显著变化,从而造成水环境一定程度上的污染。因此有必要深入研究排热(冷)后江水速度场、温度场、水文分布情况以及流体热扩散等问题,为今后环境方面的深入研究奠定理论基础;同时确定水温是否在能够接受的范围内升高或降低也是设计人员决定此处地表水能否作为系统冷、热源的基础。

3.2.2 水环境对系统的影响

合理设计取水和排水系统的结构和尺寸对水环境和系统性能的影响显著。例如,以最小的排放动力将冷却冷凝器的热水排放到江河的表面,形成温度分层的热羽流,具有相对较大的表面积和较小的底面积,这种设计方法的优点在于通过扩大热表面与大气的接触面积,使水气之间的换热达到最大,同时较小的底面积减少了水底微生物受温升的影响。另外,取水、排水口间的距离应保证排放的热水不会直接进入到取水系统中。

图 4 是日本北九州 River Walk 河水源热泵 DHC 项目采用的瀑布型排水口,它不仅可作为城市景观,而且有效降低了对河流的热污染,但对城市热岛效应的缓解程度减弱。

水质的好坏将决定换热器的选取和使用效果。试验表明以江河水作为冷热源的热泵系统,当入口

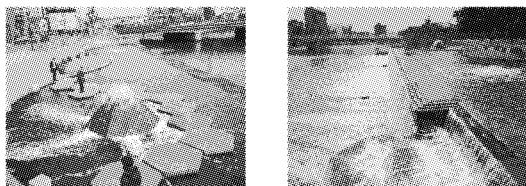


图 4 日本北九州 River Walk 河水源热泵 DHC 项目排水口

水温介于 $13\sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,具有很好的冷却效果和冷却能力;当入口温度低于 $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,冷却效果和冷却能力较好;可接受的温度范围为 $29\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$,当水温低于 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,可以考虑直接送往空调系统末端装置^[4]。由图 3 可知,黄浦江入海口处,表层水温从 5 月初到 10 月初介于 $15\sim 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,因此世博园区使用地表水地源热泵是十分有利的。

4 结论

4.1 上海世博园具有使用地表水地源热泵的条件,符合经济和能源现代化同步进行的可持续发展观。

4.2 系统和环境之间双向影响。一方面,水环境影响换热器的选择以及取、排水系统的结构设计;另一方面,水源热泵系统缓解了城市热岛效应,但对水环境造成一定程度的热污染。

4.3 地表水地源热泵使局部地区温度场的变化显

(上接第 52 页)

根据教学实践,笔者认为在选择角色模拟手段时,需要注意以下几个方面:

1) 选择合适的模式。作为初步尝试,可先选择捆绑课程模式,待积累了一定的经验和素材后,再结合自己学校的情况,适当应用独立专题模式和模拟项目管理模式。

2) 准备应充分。以捆绑课程模式为例,在课前要安排学生查阅并消化大量的专业资料,做到对自己的角色定位心中有数,避免仓促上阵。

3) 重视第一次。刚开始在课堂上引入角色模拟时,学生们虽然好奇,但很少有主动扮演的。为了开个好头,通常可直接指定扮演角色,有了好的开端后,后面的效果才会有保证。

4) 时间应控制好。为了不影响常规的教学计划,对于捆绑课程模式,每次不宜超过 10 min;对于独立专题模式,可安排 1~2 d;对于模拟项目管理模式,可结合毕业实习,安排一周左右。

5) 指导教师应具备相应的知识结构。除专业设计外,还应具备施工、监理、造价、销售等工程管理方面的知识。

4 结语

本文针对我国暖通空调专业的教学现状,结合具体的

著,今后有必要对以下内容展开详细研究:热量排放在水中的扩散方式、扩散程度、影响因素;取、排水系统,换热器的合理设计;热污染对水中生命形式的潜在影响;系统对城市的热岛效应的影响等。

参考文献

- [1] 李震,端木琳,舒海文,等. 海水空调的发展及在中国应用前景分析[J]. 暖通空调,2005,35(11):20-26
- [2] 王刚. 瑞典区域供冷技术对中国的启示[J]. 建筑节能通风空调,2004,23(3):24-29
- [3] Tim P, Joyce W S. Lake-source cooling [J]. ASHRAE Journal, 2002,44(4):437-439
- [4] Büyükalaca O, Ekinci F, Yilmaz T. Experimental investigation of Seyhan River and dam lake as heat source-sink for a heat pump[J]. Energy, 2003, 28(2):157-169
- [5] 周晓英,胡得宝,王赐震,等. 长江口海域表层水温的季节、年变化[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35(3): 357-362
- [6] 尾岛俊雄,许雷,王健,等. 2010 年上海世博园能源系统规划的研究[J]. 暖通空调,2005,35(5):107-111
- [7] Venkat S K, Edward M B, Philip E B. Hydrodynamic modeling of coastal LNG cooling water discharge [J]. Energy Engineering ASCE, 2003, 129(1):16-31

专业课程的教学,引入了角色模拟教学方法。相应的教学实践表明,应用角色模拟手段,可以让学生提前进入到相应的专业角色,提前了解社会的实际需求,让学生变被动学习为主动学习,对于提高学生的学习兴趣和增强就业竞争力大有裨益。

由于角色模拟首次被应用在暖通空调的专业课教学中,还很成熟,还有很多方面需要进一步探索、完善,甚至也会有一些不当的地方,非常希望同行共同努力,不断完善角色模拟手段并积极实践,为我国的暖通空调行业培养出更多更好的后备力量。

参考文献

- [1] 黄炜. 暖通空调教学体系建设与教学改革研究[J]. 暖通空调,2005,35(11)
- [2] 孟宪乐. 模拟法庭教学法研究[J]. 山西教育学院学报,1999(2):126-128
- [3] 董文秀. 会计模拟实习与双重模拟会计实习[J]. 长沙民政职业技术学院学报,2005,12(2):101-102
- [4] 朱立. 市场营销经典案例[M]. 北京:高等教育出版社,2004
- [5] 贺平,孙刚. 供热工程[M]. 3 版. 北京:中国建筑工业出版社,2006
- [6] 王宇清. 供热工程[M]. 北京:机械工业出版社,2005
- [7] 刘伊生. 建设项目管理[M]. 北京:北方交通大学出版社,2001