

中电·武汉电子广场水源热泵 空调系统设计

中南建筑设计院 刘华斌[☆]

摘要 介绍了该空调系统的设计,包括地下水资源的论证、空调冷热源、空调水系统及空调方式,并简要描述了地下取水管井的施工及构造。总结了设计经验。

关键词 水源热泵 空调系统 水资源论证

Design of water-source heat pump system for Wuhan Electronics City

By Liu Huabin[★]

Abstract Presents the air conditioning system design, including demonstration of water source, heat and cold source, water system and air conditioning mode, and briefly describes the construction and structure of groundwater pipe manhole. Summarizes design experiences.

Keywords water-source heat pump, air conditioning system, demonstration of water source

★ Central-south Architectural Design Institute, Wuhan, China

①

1 工程概况

工程位于武汉市汉口友谊路与中山大道交汇处,地处长江北岸一级阶地上,距长江堤防约 1 500 m,距汉江堤防约 1 200 m,建筑外观图见图 1。2008 年 2 月竣工,工程总建筑面积约 14.3 万 m²,地下 2 层,主要功能为车库、设备用房及商业用房,地上最高为 43 层,其中 1~6 层为电子商城及普通商业用房,7~8 层为餐厅、娱乐、KTV 等用房,9 层以上为住宅,空调面积约 64 000 m²。



图 1 中电·武汉电子广场外观图

2 主要设计参数

2.1 室内设计参数(见表 1)

表 1 室内设计参数

	夏季		冬季		新风量/ (m ³ / (人·h))	A 声级 噪声/dB
	温度/ ℃	相对湿度/ %	温度/ ℃	相对湿度/ %		
商场	25	≤60	19	≥35	20	50
餐厅	26	≤65	20	≥35	25	50
办公	25	≤60	20	≥35	35	40
KTV	25	≤60	20	≥35	20	40

2.2 设计负荷

夏季空调计算冷负荷 10 600 kW,冬季空调计算热负荷 6 800 kW。

3 空调系统设计

3.1 地下水资源的论证

1) 地下水水文地质条件

本工程所在位置属于汉口水源地,该水源地位于汉口城区长江北侧,根据长江水利委员会水文局关于本工程的《地下水资源论证报告》,该项目所在地含水层厚度 14.9~48.19 m,可开采量 6.93×10⁴ m³/d,为一大型水源地,拟全部采用水源热泵

①☆ 刘华斌,男,1967 年 4 月生,大学,教授级高级工程师
430071 武汉市中南二路 10 号中南建筑设计院
(027)87336898
E-mail:LHB-WH@163.com
收稿日期:2008-12-24

机组作为大楼空调的冷热源,所需地下水量仅占总可开采量的 19%。本地段地下水为第四系全新统承压水,其顶板为第四系全新统粉质黏土所覆盖,形成上隔水层,含水层为由第四系全新统粉砂、细砂、中粗砂夹砾(卵)石组成的空隙承压水含水层,层厚达 33 m,是储水良好的承压水含水层,静止水位埋深 3.5 m。地质构造见图 2。

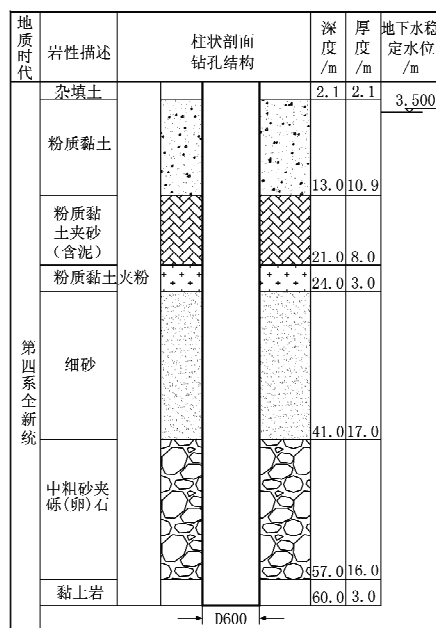


图 2 钻孔地质剖面图

本工程所在位置毗邻长江、汉水,地下水水力交替循环条件良好,且与长江水呈互补关系,是地下水较丰富地区,由于长江武汉段河床高程一般为 -9.2~-15.7 m,局部最低为 -16.8 m;汉水河床高程在 0~9 m,且河底多为砂及亚砂土堆积,而空隙承压水含水层顶板高程在 10 m 左右,因此河流切穿含水层顶板,江水与地下水直接沟通,水力联系密切,这一切决定了该区域丰富的地下水资源。该地段境外地势高于境内,地下水总的径流方向是由西北向东南方向移动。

2) 地下水水文地质试验及主要参数

在设计井位中取 2 口井作为抽水井(8#井)及观测井(1#井)进行抽水试验(本工程未进行回灌试验,《地下水资源论证报告》认为根据本工程所在

地其他项目的回灌经验,采用 2:1(回灌井:抽水井)的井位配置可实现 100%回灌),抽水试验从 2003 年 9 月 2 日 12:00 开始,延续 26 h,三次降深抽水试验水位稳定时间分别为 6 h,7 h,6 h 45 min,抽水试验停止后,5 h 18 min 就基本恢复至静止水位。抽水试验结果见表 2。

表 2 抽水试验结果

	降深 S/m			涌水量 Q/(m³/d)		
	S ₃	S ₂	S ₁	Q ₃	Q ₂	Q ₁
8# 抽水井	7.2	3.2	1.6	3 120	144	720
1# 观测井	1.0	0.4	0.2			

根据表 2,由式(1)计算渗透系数 K

$$K = \frac{0.366Q}{M(S_w - S_1)} \cdot \lg \frac{r_1}{r_w} \quad (1)$$

式中 Q——涌水量, m³/d;

M——含水层厚度, m, 根据试验结果取 33 m;

S_w——抽水井降深, m;

S₁——观测井降深, m;

r₁——观测井距抽水井距离, m, 根据试验结果取 90 m;

r_w——抽水井半径, m, 取 0.163 m。

由式(1)计算出该区域含水层渗透系数为 15.49~15.65 m/d,设计降深 6.63 m,图 3 为含水层不同点距井源的距离与水位降深的关系。

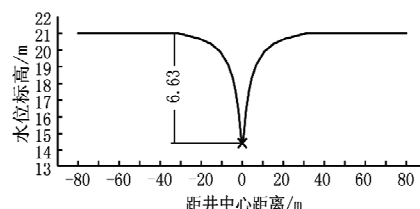


图 3 含水层水位降深剖面线

3) 出水量

根据成井后的实测,井水出水温度 18.5℃,单井日出水量约为 2 880 m³/d,小时最大出水量 150 m³/h,由于现场可供打井的场地不足,最终确定采用 6 口井作为抽水井,9 口井作为回灌井,评估报告中通过计算分析,考虑抽水时的井群干扰系数,实际出水流量会有所削减,10 h 抽水量约 4 032 m³。

4) 主要设计参数汇总(见表 3)

表 3 主要设计参数汇总

地下水温/℃	含水层厚度/m	静止水位埋深/m	涌水量/(m³/d)	渗透系数/(m/d)	抽水影响半径/m	设计降深/m	最大沉降量/mm
18.5	33	3.5	2 880	15.6	91.2	6.63	18.76

3.2 空调冷热源

通过地下水资源的论证,该工程有合适的地下

水资源可利用,建设单位为了避免冷却塔对周围住宅的影响,决定不设置冷却塔,全部采用水源热泵

方案,设计采用 3 台制冷量设计工况为 3 000 kW 的水源热泵机组。设计工况下,夏季运行时井水温差取 15℃,井水出水温度 19℃,即机组夏季冷凝器进出水温度 19℃/34℃,夏季空调供回水温度 7℃/12℃;冬季运行时井水温差取 10℃,井水出水温度 17.5℃,即机组冬季蒸发器进出水温度 17.5℃/7.5℃,冬季空调供回水温度 45℃/40℃;水源热泵机组名义工况参数见表 4。

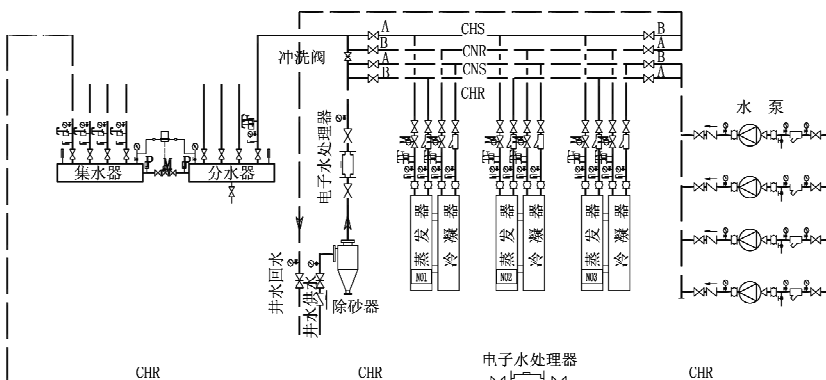
表 4 热泵机组名义工况参数

设备型号	LSBLGR-4000M
名义工况制冷量/kW	3 200
输入功率/kW	526
名义工况制热量/kW	3 500
输入功率/kW	702
压缩机	半封闭螺杆压缩机
蒸发器	满液式壳管换热器
冷凝器	壳管换热器
名义制冷工况冷却水流量/(m ³ /h)	300
名义制热工况冷却水流量/(m ³ /h)	290
制冷名义工况参数	
冷水进出水温度/℃	12/7
冷却水进出水温度/℃	18/29
制热名义工况参数	
热水(系统水)进出水温度/℃	40/45
冷水(热源水)进出水温度/℃	15/5

制冷机房设在大楼地下 2 层,机房内另设有空调循环水泵、旋流除砂机、电子水处理器、自动排污过滤器等设备附件。

3.3 空调水系统

空调水系统采用两管制一次泵变流量系统,高位膨胀水箱定压补水方式,水系统分 3 个环路送至各空调区域。空调冷热水系统原理图见图 4。



夏季制冷时: 阀门 A 开, 阀门 B 关;
冬季制热时: 阀门 B 开, 阀门 A 关。

图 4 空调冷热水系统原理图

3.4 空调方式

1) 1~6 层电子商城及大空间商业区采用全空气低风速集中空调系统,室内室外空气经低噪声柜

式空调器处理后,经低速单风管系统送至室内。过渡季节可较好地利用室外新风供冷,部分有条件的空调系统采用带全热交换器的空气处理机组,可实现对排风能量回收。

2) 7~8 层为小餐厅、KTV 等小房间,采用风机盘管加新风的空调方式,使用灵活。

3) 消防中心、电梯机房等要求 24 h 工作,房间采用分体空调。

3.5 空调系统的控制

空调系统采用集散型监控管理系统,由中央管理计算机、通讯网络、带网络接口的温(湿)度和浓度控制器、各种传感器、电动执行机构等组成。由中央管理计算机实现对各机房内 DDC 控制器的监测及控制指令设定,实现空调系统安全经济运行,创造舒适的室内环境。主要控制内容如下:

1) 本系统热泵机组的制冷量可根据负荷变化进行全自动调节并具备各项安全保护装置。

2) 水源热泵机组的启动顺序为:冷水泵→井水泵→热泵机组,停机时相反。

3) 柜式空调机控制:由装设在室内的温度传感器所检测的温度信号送往温度控制器与设定点温度相比较,用比例加积分加微分(PID)方式控制回水管上的电动调节阀的供水量,使室内温度保持在设定的范围内,电动阀与空调机的风机联锁,当切断风机电源时,电动阀亦同时关断。

4) 新风机的控制:由装设在送风管内的温度传感器所检测的温度信号送往温度控制器与设定点温度相比较,控制回水管上的电动调节阀,使送风温度保持在设定的范围内,电动阀与送风机联锁,切断风机电源,电动阀亦同时关闭。

5) 风机盘管的控制由室内恒温器和回水管上的两通电动阀组成,通过恒温器控制电动阀开关,使室温保持在设定范围内。

6) 制冷机房供回水总管设压差旁路控制:由压差控制器和电动调节阀组成,通过对供回水压差的检测,控制旁通水量,保持设定的压差值以及保证冷水机组在额定的水流量下运行。

7) 膨胀水箱水位控制:通过水位控制器控制

进水管上电磁阀开关。

3.6 管井施工及构造

管井施工的程序为:钻凿井孔→物探测井→冲孔换浆→井管安装→回填滤料→黏土封闭→洗井→抽水和回灌试验→管井验收。

本项目设计管井井深 58 m, 井径均为 600 mm, 井管为 D325 的无缝钢管, 下置过程中管与管间电焊连接, 抽水井井管总长 58.0 m, 其中实管长 28.0 m, 过滤管长 28.0 m, 沉淀管长 2.0 m。滤水管眼直径为 1.5 cm, 采用梅花形排列, 空隙率大于 30%, 采用缠丝包网过滤器, 管壁与孔壁间填砾料至孔口下 24 m, 24 m 以上用风干黏土捣实至地面。下管施工过程中应采用找中器精确定位。图 5 为抽水井及井室构造示意图, 图 6 为抽水及回灌两用井及井室构造示意图, 单独回灌井可参考图 6 布置, 井内不配潜水泵、抽水管、回扬管; 设计抽灌两用井不仅可实现抽水井及回灌井功能的互换, 而且可实现回扬功能, 回扬是预防和处理回灌井堵塞的有效方法, 是保证热源井正常、高效、长期运行的重要手段。回扬时, 关闭回灌管及抽水管路上的阀门, 开启回扬管路上的阀门, 启动潜水泵抽水, 清除附着在管壁处的堵塞物, 直至水清无污物为止。回扬管可接至雨水管网。

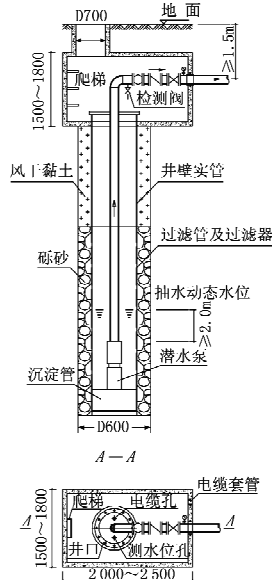


图 5 抽水井示意图

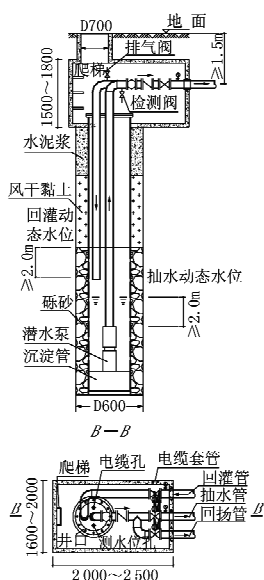


图 6 抽灌两用井示意图

4 设计总结

1) 地下水换热系统勘察及论证的重要性

地下水地源热泵系统方案设计前, 应进行工程

场地状况调查, 通过采用试验井的方法, 结合场地大环境的地下水资料, 对地下水资源进行全面的论证, 以确保工程竣工后有持续可使用的地下水资源, 确保地下水能够及时完全地回灌。文献[1]规定设计前勘察的内容应包括: 地下水类型, 含水层岩性、分布、埋深及厚度, 含水层的富水性和渗透性, 地下水径流方向、速度和水力坡度, 地下水水温及其分布, 地下水水质, 地下水水位动态变化。水文地质试验内容应包括: 抽水试验, 回灌试验, 出水水温的测量, 取样分析水质, 水流方向试验, 渗透计算。完成上述勘察内容后并应对周围其他用水户的影响进行评估, 在抽取承压水时同时应对周围地面的沉降进行评估, 沉降值应满足国家现行相关规范的要求, 地下水换热系统的勘察及论证是地下水地源热泵系统成功与否的关键因素之一。

2) 推广应用中存在的主要问题

① 用水收费的合理性

为了保护有限的水资源, 各个城市均根据《中华人民共和国水法》制订了自己的用水政策, 强调用水审批, 用水收费。而水资源的使用费部分地方近几年涨幅较大, 使得水源热泵的运行节能费用有可能不足以补偿增加的水资源费, 水源热泵的经济性变差, 推广的难度加大, 推广的价值不大。因此水源热泵的推广需要政府大力扶持, 应从可持续发展的角度, 合理确定水资源的使用费。

② 地下水的回灌

文献[1]第 5.1.1 条规定: “……必须采取可靠的回灌措施, 确保置换冷量或热量后的地下水全部回灌到同一含水层, 并不得对地下水资源造成浪费及污染。”这不仅是一种安全环保的措施, 也是一种确保地下水地源热泵系统可持续发展的关键因素, 由于不同的含水层地质构造、不同的回灌技术对回灌井回灌能力影响很大, 因此正确确定单井回灌量是必须的, 实际工程应用中因受场地限制、投资的影响、没有作回灌能力试验和论证等种种因素的影响, 导致回灌能力不足或仅仅只是象征性地回灌, 回灌能力的不足直接损害了水源热泵技术可持续发展的条件。在未进行回灌试验的方案论证前期, 可参考表 5 估算热源井的配置。工程竣工后, 政府主管部门应严格监管用水的合理回灌。

3) 热源水进出水温差的合理取值

(下转第 106 页)

有效地减少用户电费。3) 高峰用电负荷转移率高达 84%,能起到很好的“削峰填谷”作用。4) 追加投资回收期为 4.38 a,稍稍有些偏长。其主要原因是该冰蓄冷空调系统采用错峰设计,制冷主机装机容量比高达 77%,从而使得系统初投资偏大。另外,由于设计大楼空调运行时间内只含一个电力平峰段(10:00~12:00),导致其年平段电量比例(为 56%)大于年谷段电量比例(为 40%),从而无法节省更多的电费。5) 转换高峰负荷的投资额为 6 953 元/kW,高于一般冰蓄冷空调系统转移高峰负荷的投资额(2 000 元/kW 左右),但与其他的电力调峰方式相比,在经济性方面仍具有优势。我国建造各类电厂(包括配套的输变电设施)的平均投资为:燃煤电厂 9 200 元/kW、水电厂 17 000 元/kW、核电厂 17 000 元/kW^[5]。

3 结论

3.1 设计大楼冰蓄冷空调系统高峰用电负荷转移率可达 84%,具有很好的“削峰填谷”效果。

3.2 设计大楼冰蓄冷空调系统的调峰投资为 6 953 元/kW,低于其他几种方式的调峰投资。

3.3 在湖北省现行电价下,设计大楼的冰蓄冷空

调系统追加投资回收期为 4.38 年,对用户而言具有一定的经济效益。若能进一步降低工程初投资或降低平段电价,则其经济效益更理想。

3.4 在当前电价下,设计大楼冰蓄冷空调系统年电量与年电费中平段的比例都是最高,因此在制定适合冰蓄冷空调发展的分时电价政策时应重视平段电价对经济性的影响。

3.5 本文建立的冰蓄冷空调系统综合评价体系可全面、快捷地对冰蓄冷空调系统进行合理的分析与评价。

参考文献:

- [1] 张华,王宜义.冰蓄冷空调系统的评价方法[J].节能技术,1997(4):44-46
- [2] 吴喜平.蓄冷技术和蓄热锅炉在空调中的应用[M].上海:同济大学出版社,2000
- [3] 严德隆,张维君.空调蓄冷应用技术[M].北京:中国建筑工业出版社,1997
- [4] 熊成建,马友才.武汉华美达天禄酒店冰蓄冷空调运行分析[C]//2005 湖北暖通空调制冷及热能动力学术年会论文集.武汉,2005:218-222
- [5] 朱成章.深入学习电力需求侧管理[J].电力需求侧管理,2001,3(2):8-10

(上接第 44 页)

表 5 不同地质条件下的地下水系统设计参数估算值

含水层类型	灌抽比/%	井的配比	井的流量/(m ³ /h)
砾(卵)石	>80	一抽一灌	200
中粗砂	50~70	一抽二灌	100
细砂	30~50	一抽三灌	50

本工程地处商业区,周围建筑密集,可供打井的场地不足,6 口取水井的出水量在建筑物最大冷负荷时,主机的进出水设计温差为 15℃,在建筑物最大热负荷时,主机的进出水设计温差为 10℃,较大的取水温差设计可减少地下水的开采量,有利于地下水利用技术的持续发展,且较小的取水量减少了输水泵的电耗,但较大的取水温差降低了水源热泵机组的效率,而在地下水温低于 10℃的北方地区受蒸发温度影响,冬季进出水温差不可能取值过大,应综合考虑可利用的地下水量、水温、热泵机组的效率及最低蒸发温度等因素确定井水进出水温差,建议制冷工况温差取 8~15℃,供热工况温差取 4~10℃。

4) 重视及预防回灌井的堵塞问题

实际工程应用中,地下水的回灌随着时间的推

移愈来愈困难,部分工程直至最后无法回灌,严重影响了地下水的环境,而回灌井的堵塞是回灌量下降的主要原因之一,回灌井的堵塞一般存在:悬浮物堵塞、气泡堵塞、微生物的生长、化学沉淀、黏粒膨胀和扩散、砂层压密等引起的堵塞现象,可采取回扬、控制回灌水中悬浮物含量、去除水中的有机物、酸化处理等措施避免管井堵塞。在系统设计上,回扬是防止回灌井堵塞的有效措施之一,GB 50366—2005 第 5.2.4 条也推荐“抽水井与回灌井宜能相互转换……”,采用带有回扬管的抽灌两用井的方式取代单纯的只有回灌功能的回灌井,应该是优选的设计方案。

参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院. GB 50366—2005 地源热泵系统工程技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2005
- [2] 马最良,吕悦.地源热泵系统设计与应用[M].北京:机械工业出版社,2006
- [3] 蒋能照,刘道平.水源、地源、水环热泵空调技术及应用[M].北京:机械工业出版社,2007