

武汉塔子湖全民健身中心水源热泵水蓄冷(热)空调系统设计

武汉市建筑设计院 陈焰华[☆] 贾鲁庄

摘要 该工程采用地下水地源热泵空调系统,并利用消防水池和蓄冷(热)水池分别进行蓄冷、蓄热。介绍了蓄冷、蓄热模式和运行策略以及空调系统设计。

关键词 地下水地源热泵 水蓄冷蓄热 空调系统

Design of water-source heat pump air conditioning system combined with thermal water storage for Wuhan Tazihu People Exercise Center

By Chen Yanhua[★] and Jia Luzhuang

Abstract The project adopts groundwater heat pump air conditioning system combined with chilled/hot water storage using fire-fighting water pool and thermal storage reservoir. Presents chilled/hot water storage modes and operation schemes and design of the air conditioning system.

Keywords groundwater heat pump, chilled water or hot water storage, air conditioning system

① ★ Wuhan Architectural Design Institute, Wuhan, China



陈焰华

主要设计业绩

- ▶ 武汉东湖宾馆
- ▶ 武汉瑞通广场
- ▶ 武汉群光广场
- ▶ 武汉销品茂商城
- ▶ 武汉塔子湖全民健身中心



图 1 武汉塔子湖全民健身中心外景

1 工程概况

武汉塔子湖体育中心位于江岸区后湖乡金桥大道旁,为第六届全国城市运动会的重点建设项目。一期工程占地面积 496 667 m²,总建筑面积 5.7 万 m² 左右,项目总投资 6.3 亿元。规划建设了第六届全国城市运动会所需的垒球、曲棍球、飞碟、射箭 4 个项目比赛场和 3 个热身训练场及总建筑面积 1 万 m² 的比赛场附属设施和总建筑面积 43 959.3 m² 的全民健身中心。第六届全国城市运动会后,将改建成华中地区最大的体育主题公园,成为武汉全民健身活动中心。全民健身中心外姿雄健而靓丽(见图 1),建筑高度 23.50 m,局部地下 1 层,地上框架 4 层。大楼外形为矩形与弧的组合体,整体上形成优美流畅、凸凹彰显的视觉冲击效

果。主要设置有多功能厅、羽毛球馆、体育时尚店、健身馆、桑拿房、电子竞技室、体育书市、休闲吧、网球场、乒乓球馆、游泳池等。

2 热源井勘察及设计

该场地位于长江一级冲积阶地末端,地势平坦,地面标高 20.5 m,根据场地岩土工程勘察报告和水文地质勘察报告,场地内地下水类型包括上层滞水

①☆ 陈焰华,男,1963 年 11 月生,大学,工学学士,教授级高级工程师,设备所所长,暖通总工程师

430014 武汉市汉口四唯路 8 号武汉市建筑设计院
(027) 82739230

E-mail: chenyh918@yahoo.com.cn

收稿日期:2009-04-03

修回日期:2009-05-07

和孔隙承压水,上层滞水无利用价值,孔隙承压水与区域承压水体联系密切,水量丰富,开发利用条件极好,具备使用地下水地源热泵空调系统的条件。

2.1 场地水文地质条件

场地地层为第四系全新统冲积层,为二元结构,试验孔自上而下地层分布为:杂填土、黏土、淤泥质黏土、粉细砂、含砾中粗砂、卵砾石、强风化泥岩。场地含水层总厚度为 19 m,其中主要含水层厚度为 12 m,分布在中下部。

2006 年 4 月测得地下静水位埋深为 2.87 m,抽水试验系单井抽水试验,抽水量为 1 416 m³/d 时,水位降深值为 9.88 m,水位稳定时间为 24 h。经过计算,水文地质参数如下:渗透系数 K 值为 11.83 m/d,影响半径 R 值为 309.31 m。抽水、回灌试验结果表明,自然回灌时单井回灌量可达 50 m³/h。

地下水无色、无味、无肉眼可见物,实测水温为 18.5℃,经水质分析,地下水水化学类型属重碳酸钙型水,pH 值为 7.2,总矿化度为 980.75 mg/L,总硬度为 535.12 mg/L,属中等矿化级硬水。总铁(Fe)含量为 16 mg/L,其中 Fe²⁺ 含量为 15.8 mg/L,Mn²⁺ 含量为 0.44 mg/L,Cl⁻ 含量为 84.72 mg/L。不经专门处理,不适宜饮用和生活洗涤用。

2.2 热源井设计

抽水井、回灌井的布置及设计必须根据场地环境条件进行,保证水源热泵空调系统地下水长期稳定使用,且不致造成地下水过量开采。经过计算和水源热泵机组选型,地下水开采量必须达到满足高峰空调负荷的 350 m³/h。根据此用水量和抽水、回灌试验数据,抽水井设计为 4 口,间距 60~80 m;回灌井 6 口,抽水、回灌井最小井间距均大于 50 m。当 4 口抽水井与 6 口回灌井同时工作时,即抽取的地下水经水源热泵机组利用后全部回灌入 6 口回灌井时,经计算机模拟,场地的地面沉降均小于 0.5 cm,不会产生不良地质现象或影响建筑物的正常使用。

3 冷热源设计

3.1 蓄冷、蓄热设计

经计算,全民健身中心夏季空调逐项、逐时冷负荷综合最大值为 5 400 kW,冬季空调热负荷为 3 100 kW。在大楼地下 1 层的制冷机房内设 1 350 kW 高温型水源热泵机组(55℃/60℃)1 台,1 350 kW 中温型水源热泵机组(50℃/55℃)和 1 350 kW 中温型水源热泵机组(40℃/45℃)各 1 台,并

利用消防水池和蓄冷(热)水池分别进行蓄冷、蓄热。夏季利用消防水池(650 m³)、蓄冷(热)水池(1 000 m³)进行蓄冷,冬季利用蓄冷(热)水池(1 000 m³)进行蓄热,在夜间电力低谷时段利用 1 台高温型机组(55℃/60℃)和 1 台中温型机组(50℃/55℃)串联蓄冷(热),供白天电力高峰时段使用,实现移峰填谷,得到优惠的电价政策,实现节省运行电费的目的。水源热泵机组最低出水温度要求为 3℃,蓄冷运行温度为 4℃/12℃,蓄冷量为 15 490 kWh,负荷侧供回水温度为 8℃/13℃;蓄热运行温度为 60℃/45℃,蓄热量为 17 445 kWh,负荷侧供回水温度为 52℃/42℃。

空调系统间歇运行的建筑(一般间歇时间在夜间),尤其白天负荷量大又常发生突变的建筑,如比赛场馆、商场、剧场等,为了满足高峰负荷需要,制冷机容量往往配置过大,在部分负荷时设备闲置现象严重。采用蓄能空调系统是很好的解决办法,既可为电网运行削峰填谷,又可为用户节约可观的运行费。水蓄冷不但可以调节稳定供水温度,而且可以起到备用应急冷源的作用。

水蓄冷是利用水的显热实现冷量的储存,一个设计合理的蓄冷系统应通过维持尽可能大的蓄水温差并防止冷水与热水的混合来获得最大的蓄冷效率。冷量的储存型式有温度自然分层型、多水池型、隔膜型或迷宫与多水池折流型。本工程采用温度自然分层型储存型式,根据其特点设计蓄冷池深度和蓄冷池中的水流分配器,充分利用水在不同温度下密度不同而实现自然分层。系统组成是在常规的制冷系统中加入蓄冷、蓄热水池,如图 2 所示,图中阀门状态见表 1。如果设计合理,蓄冷效率可以达到 85%~95%,并且可以利用建筑的消防水池作为蓄冷水池,但消防水池不能作为蓄热水池。自然分层蓄冷水池结构及温度分布如图 3 所示。

在蓄冷循环时,制冷设备送来的冷水由底部水流分配器进入蓄冷水池,热水则从顶部排出,池中水量保持不变。在放冷循环中,水流动方向相反,冷水由底部送至负荷侧,回流热水从顶部水流分配器进入蓄冷水池。图 4 为蓄冷特性曲线图。曲线 A、C 分别为放冷循环时制冷机的回水和出水特性曲线;曲线 B、D 分别为蓄冷循环时制冷机的回水和出水特性曲线。一般用蓄冷效率来描述蓄水池的蓄冷效果。蓄冷效率的定义是蓄冷池实际放冷

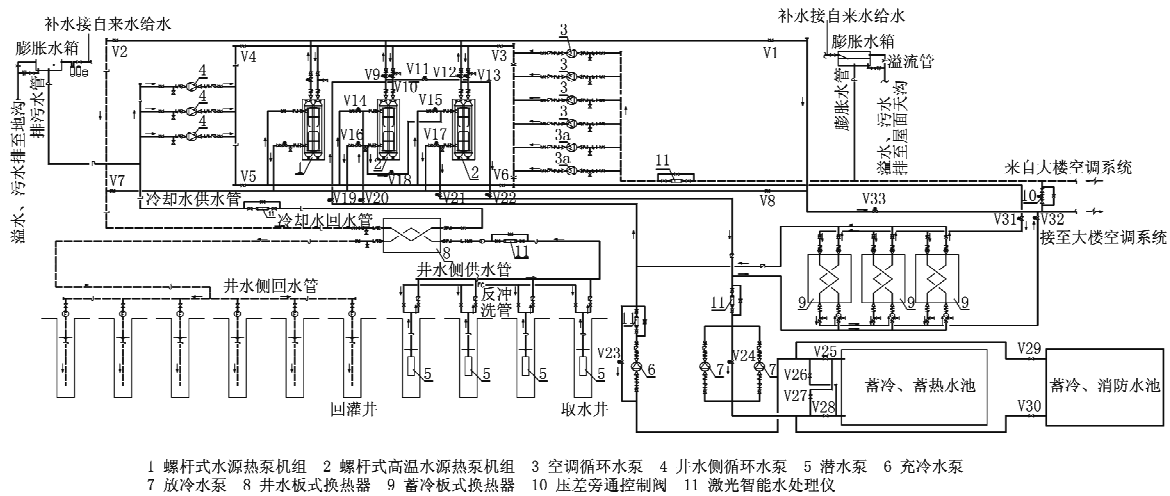


图2 水源热泵机组蓄冷蓄热原理流程图

表1 阀门状态表

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25	V26	V27	V28	V29	V30	V31	V32	V33
夏季主机供冷	关	开	关	开	关	开	关	开	开	关	开	开	开	开	开	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	开
夏季主机串联蓄冷	关	关	关	关	关	关	关	关	开	关	开	开	关	关	关	关	关	关	关	关	开	关	关	关	开	关	关	开	开	关	关	关	关
夏季放冷	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关
夏季并联放冷	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关
冬季主机供热	开	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关
冬季主机串联蓄热	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关
冬季放热	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关

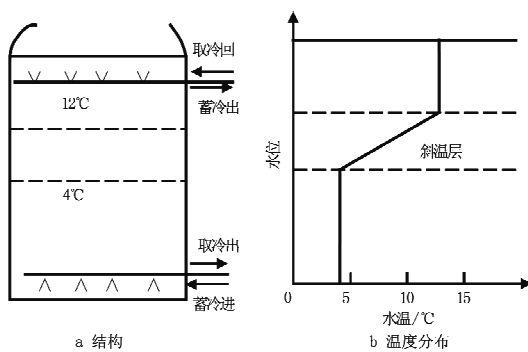


图3 自然分层蓄冷水池结构及温度分布图

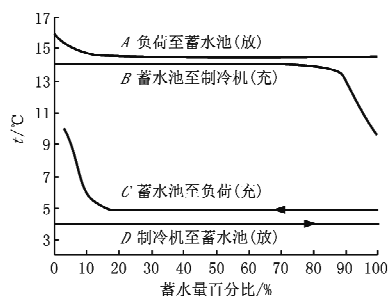


图4 蓄冷特性曲线图

量与蓄冷池理论可用蓄冷量之比，即：蓄冷效率=（曲线A与C之间的面积）/（曲线A与D之间的面积）。

当系统供、回水温差较大时，为了减少蓄冷工况的电耗，可采用冷水机组串联蓄冷模式，这样可减少第一级蓄冷冷水机组的耗电，提高水蓄冷系统的经济效益，放冷一般则采用并联供冷的模式。水源热泵机组具有既能供冷又能供热的技术特性，可利用蓄热水池进行蓄热，利用水源热泵系统蓄热（综合能源利用率约为2.5~3.0）的能源利用效率要远远高于电锅炉蓄热系统（考虑电锅炉热效率和蓄热装置的利用效率，电锅炉蓄热系统的综合能源利用率约为0.85），且更符合国家能源利用政策。水源热泵蓄热模式的蓄热水池设计温度可为55~65℃，本工程取60℃，蓄热水池设计温度应根据水源热泵机组和水蓄热系统的综合效率确定。

与常规空调系统不同，一个蓄冷、蓄热系统，必须以一个蓄能用能周期（一般为一个典型设计日24h的逐时负荷）为依据，以确定各种蓄冷、蓄热方案中的冷水机组、蓄能装置、加热装置、换热器、水泵等设备的容量。这就需要逐时平衡各项蓄能与供能的数量，以满足空调系统的逐时负荷要求。同时，通过充分利用电网低谷时段的电力，为用户尽可能节约运行费用。

3.2 蓄冷、蓄热模式

3.2.1 蓄冷模式

蓄冷:夜间电力低谷时段,开启 2 台水源热泵机组串联运行,制备低温(4℃)冷水向蓄冷水池充冷。水源热泵机组在向蓄冷水池充冷的同时,也可同时为建筑物供冷。

放冷:1) 水源热泵机组单独供冷——水源热泵机组按原有方式运行。2) 蓄冷水池单独供冷——正常空调季节,白天供冷时,停开水源热泵机组,将蓄冷水池已蓄存的冷量放出即可实现综合楼空调系统供冷功能。3) 水源热泵机组与蓄冷水池联合供冷——在气温较高的空调尖峰负荷时段,白天供冷时由以上两者同时向空调末端提供冷量,即制冷主机提供部分冷量,蓄冷水池也提供部分冷量。

3.2.2 蓄热模式

蓄热:夜间低谷电力时段,开启 2 台水源热泵机组串联运行,制备高温热水(60℃)对蓄热水池

蓄热。水源热泵机组在向蓄热水池蓄热的同时,也可同时为建筑物供热。

放热:1) 水源热泵机组单独供热——水源热泵机组按原有方式运行。2) 蓄热水池单独供热——正常空调季节,白天供热时,停开水源热泵机组,将蓄热水池已蓄存的热量放出即可实现综合楼空调系统供热功能。3) 水源热泵机组与蓄热水池联合供热——在气温较低的供热尖峰负荷时段,白天供热时由以上两者同时向空调末端提供热量完成。即水源热泵机组提供部分热量,蓄热水池也提供部分热量。

3.3 蓄冷、蓄热运行策略

3.3.1 蓄冷运行策略

先根据全民健身中心的实际运行情况得到空调逐时冷负荷(见表 2),再根据武汉市水蓄冷空调分时电价政策制定出设计日水蓄冷空调的运行策略,如图 5 所示。

表 2 空调逐时冷负荷分布

时段	冷负荷/kW	时段	冷负荷/kW	时段	冷负荷/kW
00:00~01:00	0	08:00~09:00	0	16:00~17:00	4 156
01:00~02:00	0	09:00~10:00	2 806	17:00~18:00	3 994
02:00~03:00	0	10:00~11:00	3 614	18:00~19:00	4 318
03:00~04:00	0	11:00~12:00	3 885	19:00~20:00	5 397
04:00~05:00	0	12:00~13:00	4 318	20:00~21:00	4 427
05:00~06:00	0	13:00~14:00	4 588	21:00~22:00	2 159
06:00~07:00	0	14:00~15:00	4 964	22:00~23:00	1 079
07:00~08:00	0	15:00~16:00	4 588	23:00~24:00	1 079

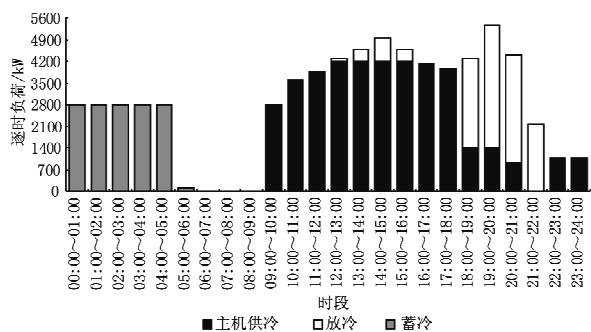


图 5 供冷负荷 100%设计日运行策略

供冷负荷 100%设计日,采用 2 台主机夜间串联蓄冷约 5 h(蓄满),在优先保证供冷要求的前提下,可以消除部分电力高峰时段负荷,冷量不足部分开启 1 台冷水机组补充。

其他设计日可以根据实际情况制定运行策略,可以消除全部或部分的白天冷负荷。采用水蓄冷

系统,每年可以减少 38.34 万 kWh 的高峰用电,减少 12.51 万 kWh 平段用电量,增加 51.07 万 kWh 低谷用电量。全民健身中心水源热泵机房部分预计每年夏季供冷耗电量约 129.86 万 kWh,水蓄冷空调比常规空调每年夏季供冷可节省运行费用约 30.77 万元。随着峰谷电价差的不断拉大,其经济效益将更加明显。

3.3.2 蓄热运行策略

先根据全民健身中心的实际运行情况得到空调逐时热负荷(见表 3),再根据武汉市供暖蓄热分时电价政策制定出设计日的蓄热空调运行策略,如图 6 所示。

供热负荷 100%设计日,采用制热量为 1 350 kW 的 1 台高温型机组(55℃/60℃)和 1 台中温型机组(50℃/55℃)夜间串联蓄热约 6 h(蓄满),可以消除全部电力高峰时段及部分电力平峰时段

表 3 空调逐时热负荷

时段	热负荷/kW	时段	热负荷/kW	时段	热负荷/kW
00:00~01:00	0	08:00~09:00	0	16:00~17:00	1 643
01:00~02:00	0	09:00~10:00	2 480	17:00~18:00	1 829
02:00~03:00	0	10:00~11:00	2 356	18:00~19:00	2 356
03:00~04:00	0	11:00~12:00	2 294	19:00~20:00	3 100
04:00~05:00	0	12:00~13:00	2 170	20:00~21:00	2 635
05:00~06:00	0	13:00~14:00	2 046	21:00~22:00	1 736
06:00~07:00	0	14:00~15:00	1 612	22:00~23:00	930
07:00~08:00	0	15:00~16:00	1 488	23:00~24:00	930

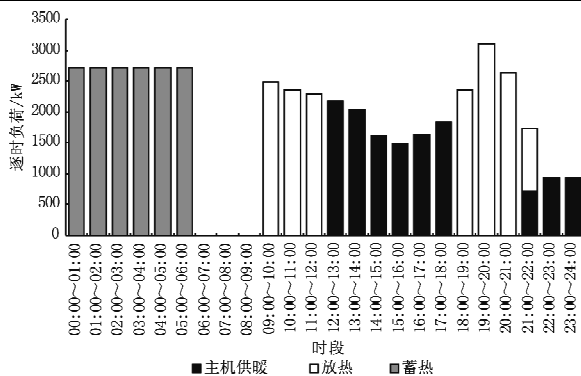


图 6 供热负荷 100%设计日运行策略

负荷。其他设计日均可实现削除高峰时段负荷,并根据供暖负荷情况可以削除全部或部分平峰时段负荷。采用供暖蓄热系统,每年可以减少 26.82 万 kWh 的高峰用电,减少 21.49 万 kWh 平段用电量,增加 49.65 万 kWh 低谷用电量。全民健身中心水源热泵机房部分预计每年冬季供热耗电量约 70.91 万 kWh,蓄热系统每年冬季供热比常规空调可节省运行费用约 25.86 万元。随着峰谷电价差的不断拉大,其经济效益将更加明显。全年水蓄冷(热)型水源热泵机房比常规水源热泵机房可节约运行费用 56.63 万元。

4 空调系统设计

空调水系统为一次泵变水量双管制机械循环系统,连接空调机组的水平管路采用异程式系统,每层水平管路供水管上设 Y 形过滤器,回水管上设流量平衡阀,供回水管上均设温度计和压力表。水源热泵机房供回水管上设压差旁通控制器,放冷循环水泵及 2 台空调末端循环水泵采用智能化节电控制装置,可以根据空调末端负荷变化对循环水泵进行智能化变频调节,既满足冬夏季水路系统的不同管路输送特性要求,又可以根据空调末端负荷变化充分降低水泵的运行能耗;同时对设备负载变化实施高效的监控和调节,使水泵电动机始终运行

在输出力矩最佳、耗能最小的状态下。

风机盘管由室温控制器加风机三速开关及动态平衡电动调节阀组成,空调机组、新风机组回水管上设置动态平衡电动调节阀,通过空调机组送风温度传感器的信号来实现机组供水量的调节。空调水系统采用高位膨胀水箱定压,膨胀水箱设在屋面上,地下水循环系统膨胀水箱吊设在地下室顶板上。

大厅、餐厅、多功能厅等大空间房间采用吊顶式或柜式空调机组低速送风系统,休闲吧、更衣室等小房间部分采用风机盘管加新风系统。1 层连接大厅、2 层连廊采用电动球形喷口侧送风,喷口冬夏季可以根据需要调节不同的送风角度,以保证此区域冬夏季分层空调的效果。3 层 VIP 厅、空间高大的运动场地和体育书市采用电动球形喷口顶送风,其余采用方形直片式散流器下送风。

游泳馆采用防结露保温透光屋顶及隔墙增加保温、加大热阻的措施,空调采用外窗贴附送热风的方式,同时加大排风量,以解决屋顶、墙体、外窗结露的问题。游泳馆未使用时,空调、通风系统停止运行,此时随室外温度降低外窗会出现结露,透光屋顶会出现少许结露,但在空调、通风系统恢复运行后,短时间内就可消除结露。

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] 建设部工程质量安全监督与行业发展司,中国建筑标准设计研究院. 全国民用建筑工程设计技术措施——节能专篇(2007) 暖通空调·动力[M]. 北京:中国计划出版社,2007
- [3] 北京市建筑设计研究院. 建筑设备专业技术措施[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006
- [4] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 2 版. 北京:中国建筑工业出版社,2008