

# 杭州交通银行金融大楼冰蓄冷空调设计介绍

## 1 工程总体概况：

1.1、建筑概况：交通银行杭州分行金融大楼，位于杭州市庆春路 173#，简洁而庄重的外形与美丽的西子湖遥相呼应。大楼占地面积 4000m<sup>2</sup>，总建筑面积 19913m<sup>2</sup>，空调使用面积 15000m<sup>2</sup>。大楼主体建筑高 51.1m，建筑物最高点 68m，共分 15 层，地下两层，是一座集金融、办公于一体的现代化大厦。大楼 1994 年 6 月动工，1997 年 8 月竣工。该大楼先后荣获全国新技术示范工程、中国建筑工程鲁班奖等多项荣誉称号。其采用的 STL 冰蓄冷中央空调技术被列为浙江省火炬计划项目。

1.2、空调概况：整个建筑夏季设计最大冷负荷为 1919kW，冬季热负荷为 1395kW，建筑面积冷指标为 128W/ m<sup>2</sup>，建筑面积热指标为 93W/ m<sup>2</sup>。大楼白天工作时间为 8:00-18:00，夜间无负荷，夏季全日设计总冷负荷为 17960kWh。室内主要采用以下空调形式：全空气系统；风机盘管加新风系统；单元式空调器系统；直流式全新风系统；再循环空气系统；冷热源采用 STL 冰蓄冷中央空调加轻油锅炉的形式，空调制冷机房面积 190m<sup>2</sup>，蓄冷罐放置面积 112m<sup>2</sup>，燃油锅炉放在屋顶锅炉房。

1.3、应用冰蓄冷的先决条件及背景：常规的蓄冰空调是利用昼夜峰谷负荷的差值进行夜间蓄冰白天放冷调节平衡电网负荷的一种空调系统。要采用蓄冰空调的先决条件是电力部门是否制订优惠的峰谷电价政策（应急冷源除外）。峰谷电价差值越大时，蓄冰空调的发展越有利，而受益最大的是国家电力能源部门。因此全国各地陆续出台了峰谷电价政策（见表 1）：由于夏季供电矛盾突出，近年来各地电力部门相继出台了采用冰蓄冷空调的优惠政策。杭州市三电办明文指出：采用冰蓄冷的业主一次性奖励 10 万 kWh 电。在用电高峰实行峰谷分时计量（即晚间 0.32 元/kWh，白天 0.97 元/kWh），夏季可不避峰使用，减征空调电力增容费 30-50%。这对促进杭州地区的冰蓄冷空调起到了积极的推动作用。而蓄冰空调特别适用于间歇空调系统及峰谷负荷差较大的连续运行空调工程，尤其在空调峰值负荷与电网负荷同步或接近同步时时更为适用。如：金融办公大楼、影剧院、体育馆、非昼夜运行的工厂车间等。正是在上述政策的推动下，经过详尽科学的经济技术比较，交通银行杭州分行最终决定采用法国西亚特的 STL 冰球蓄冰空调技术。

1.4、STL 技术简介：STL 为法语潜热储能系统的缩写，其技术核心为充满蓄冷液（相变物质）的蓄冰球，球外壳为高密度聚烯烃，蓄冷液为专利配方。冰球呈圆球形，分 C 与 S 两个系列，直径分别为 98mm（原为 96mm）和 77mm，舒适性空调中常用的为 C-00 系列，相变温度为

0℃。成千上万只冰球填充在储冰槽（或罐）中，当低温介质（常为 25%的乙二醇溶液）包围着冰球时，蓄冰球内的蓄能物质开始发生相变，冷量因此储存在冰球内，当介质温度升高，高于冰球的相变温度时，冰球开始融化，释放蓄存的冷量，从而达到能量转移的目的。

各地电网实施峰谷电价情况： 表一

地区 实施电量范围 时段划分 峰谷比

北京市 1) 商业 1-10kV,35kV

2) 非居民用电 1-10kV,35kV 1) 高峰 8:00-11:00

18:00-23:00

2) 平段 11:00-18:00

7:00- 8:00

3) 谷段 23:00- 7:00

4.5:1

天津市 1) 高峰 8:00-11:00

18:00-22:00

2) 平段 11:00-18:00

22:00- 0:00

3) 谷段 0:00- 8:00

4.4:1

上海市 1) 工业 2) 商业 1) 高峰 8:00-11:00

18:00-21:00

2) 平段 12:00-18:00

7:00- 8:00

3) 谷段 22:00- 6:00

1) 2.2:1

2) 1.89:1

浙江 1) 高峰 8:00-22:00

2) 谷段 22:00- 8:00 3:1

济南 1) 高峰 8:00-11:00

18:00-23:00

2) 平段 11:00-18:00

7:00- 8:00

3) 谷段 23:00- 7:00

3:1

湖北 1) 100KVA 及以上工业用户

2) 趸售用户 1) 高峰 (7 小时) 7:00-11:00

19:00-22:00

2) 平段 (10 小时) 11:00-19:00

20:00- 22:00

3) 谷段 (7 小时) 0:00- 7:00

4:1

河南 1) 工业

2) 商业

3) 趸售

4) 地方电厂上网 1) 高峰 (11 小时) 8:00-11:00

15:00-22:00

3) 谷段 (13 小时) 11:00- 15:00

23:00- 8:00

5:1

湖南 除福利厂外的

1) 大工业

2) 非普工业 1) 高峰 (11 小时) 7:00-11:00

15:00-22:00

2) 平段 (5 小时) 11:00-15:00

22:00- 23:00

3) 谷段 (8 小时) 23:00- 7:00

3:1

江西 1) 工业 (一、二班制或三班制负荷率小于 95%)

- 2) 农业
- 3) 趸售
- 4) 小水电上网 1) 高峰 (8 小时) 7:00-11:00  
19:00-23:00
- 2) 平段 (9 小时) 11:00-19:00  
6:00- 7:00
- 3) 谷段 (7 小时) 23:00- 6:00

### 3.2:1

- 网供 1) 转售葛、丹电量
- 2) 四省互供电量 1) 高峰 (8 小时) 7:00-11:00  
19:00-23:00
- 2) 平段 (10 小时) 11:00-19:00  
6:00- 7:00  
23:00-24:00
- 3) 谷段 (6 小时) 0:00- 6:00

## 2 蓄冰空调的设计:

### 2.1、蓄冰空调方案的选择:

2.1.1 蓄冰系统负荷计算方法: 在方案阶段可以利用负荷曲线中逐时负荷分布直接给出宾馆、办公、商场等建筑的逐时负荷系数。有关建筑物的平均负荷系数及工作时间如下表:(供参考)

建筑物用途	设计日平均负荷系数	工作时间 (h)
办公楼	0.8-0.93	10
商场	0.75	12-14
宾馆	0.67	24
学校	0.85	9

也可以直接估算设计日总负荷, 采用平均负荷法, 即: 日总负荷等于设计日空调运行小时数乘以日平均冷负荷。不同建筑平均冷负荷占峰值冷负荷之比为负荷系数, 一般为 0.56-0.85, 需要认真分析空调负荷特点, 进行合理取值。

2.1.2 空调蓄冰的方式: 在方案阶段采用哪种蓄冰方式也是蓄冰空调的设计的关键问题之一。就目前蓄冰空调而言, 共有如下几种方式, 见图:

动态冰 冰浆（或冰晶）

蓄冰方式 冰片滑落式

盘管式蓄冰 内融冰

静态冰 外融冰

封装冰 冰球（以法国 CIAT 为代表）

冰板

蕊心冰球

以上的蓄冰方式中用的最多的是封装冰蓄冷和盘管式蓄冷。经过设计人员和业主的调查分析后，决定采用简便、可靠、性能优良的法国西亚特 STL 蓄冰装置。本工程选用的是 C-00 系列冰球，每堆积 1 立方米冰球数为 1320 个，潜热为 48.4kWh。蓄冰罐常用的有立式罐、卧式罐和方槽三种形式，根据本工程的实际特点和机房形式，决定采用卧式罐。总蓄冷体积为 140m<sup>3</sup>，该罐为目前国内最大的单体蓄冷罐，但罐内压降非常小，只有 2.5mH<sub>2</sub>O，这也是 STL 系统相对其它系统来讲的一大特点。在该方案的确定过程中，主机的选择也非常重要。根据蓄冰的需要，该制冷主机必须具备双工况运行功能，即空调工况（出口 5℃）和蓄冰工况（出口 -6℃）。可供选择的主机形式有以下三种：往复式、螺杆式和多级离心式。往复式由于效率低未列入选择范围，而离心式制冷机由于其效率高的优势只有在大容量时才能体现，且零部件非常之多，我们认为也不适合于本蓄冰工程，最后我们选择了法国西亚特公司生产的单螺杆制冷机，采用 R22 制冷剂。单螺杆压缩机较目前常用的双螺杆机的主要长处在于其结构更加简单、受力平衡好、轴承受力小、运动部件之间余隙小但无磨损，所以部分负荷时效率高、使用寿命长，尤其适用于蓄冰空调中工况经常发生变化、连续运行时间长的特点。至于蓄冰的模式，可以采用的有全部（全量）蓄冰模式和部分（分量）蓄冰模式。空调根据蓄冰量所占比率的大小，基本分为全蓄冷和部分蓄冷两种，根据本工程特点，我们选用部分蓄冷的模式。

### 2.1.3 蓄冰空调模式：

a、全部（全量）蓄冰模式：如图 1，全部（全量）蓄冰模式的蓄冰时间与空调使用时间完全错开，在夜间非用电高峰期启动制冷机进行蓄冷，当所蓄冷量达到空调所需的全部冷量时，制冷机停机；在白天空调时，蓄冷系统将冷量供给到空调系统，空调期间制冷机不运行。全部蓄冰时，蓄冰设备要承担空调所需的全部冷量，故蓄冰设备的容量最大，初次投资费用高，若峰谷电价差价大，运行电费也最节省。

b、部分（分量）蓄冰模式，如图 2，部分（分量）蓄冰模式是指在夜间非用电高峰时制冷设

备运行，蓄存部分冷量。白天空调高峰期间一部分空调负荷（尖峰负荷）由蓄冷设备承担，另一部分则由制冷设备负担。在设计计算日（空调负荷高峰期）制冷机昼夜运行。部分蓄冷制冷机利用率高，蓄冷设备容量小，制冷机比常规空调制冷机容量小 30-40%，是一种更经济有效的运行模式。总结起来，根据以上分析，本设计方案采用了性能优越的 S T L 蓄冰系统，主机选择了目前使用可靠、能效比高、寿命长、特别适用于双工况运行的单螺杆压缩机，为在运行模式上充分发挥制冷机的利用率，采用了部分部分蓄冰模式。

2.1.4 蓄冰流程选择：蓄冰空调系统在运行过程中可有两种运行工况，即蓄冰工况和放冷工况。在蓄冰工况时，S T L 内的载冷剂，即 25%浓度的乙二醇溶液温度低于冰球内溶液的相变温度，后者内部的溶液便逐步结成冰（或固态），从而将冷能储存起来。在放冷工况时，S T L 系统的载冷剂温度高于冰球内溶液的相变温度，球内的冰（或固态）融解，将冷量释放出来。在 S T L 蓄冰空调系统中，水系统的流程有两种：并联流程和串联流程。a、并联流程：这种流程中制冷机与蓄冰罐在系统中处于并联位置，当最大负荷时，可以联合供冷。同时该流程可以蓄冷、蓄冷并供冷、溶冰供冷、冷机直接供冷等，并联流程原理如图 3：

b、串联流程：即制冷机与蓄冰罐在流程中处于串联位置，以一套循环泵维持系统内的流量与压力，供应空调所需的基本负荷，串联流程配置适当自控，也可实现各种工况的切换。串联系统原理如图 4：

并联流程在发挥制冷机与蓄冰罐的放冷能力方面均衡性较好，夜间蓄冷时只需开启功率较小的初级泵运行，蓄冷时更节能，运行灵活。串联流程系统较简单，放冷恒定，适合于较小的工程和大温差供冷系统。根据本工程特点，选用的是并联流程。

## 2.2、蓄冰装置的设计选型计算：

### 2.2.1 制冷机容量的计算：

制冷机的冷量是根据冷负荷图绘出的日常最大总负荷来选型，即：

根据本大楼工作情况：白天负荷从早上 8:00~18:00 为工作时间；晚上蓄冷时间为低谷电时段 22:00~ 8:00，实际冷机运行 20 小时，而晚上制冰蓄冷工况时，由于其蒸发温度较低，其制冷量小于空调制冷量，所以制冷机在白天空调工况下计算制冷量应为：

$$Pr=Qj/[(20-Lab) \times f+Lab]=17960/[10 \times 0.67+10]=1075.5kw(924930 \text{ Kcal/h})$$

式中：Lab—制冷机直接供冷时间（10h）

f —冷机直接供冷转为储冷工况而引起制冷量下降的系数，蒸发温度每下降 1℃，冷量减少 3%，从 5℃下降到 -6℃， $\Delta t=11^\circ\text{C}$ ， $f=1-0.03 \times \Delta t=0.67$

### 2.2.2 制冷机组的选用：

考虑到蓄冷装置、管道等的热损失，为安全计，制冷机组的实际安装容量须乘 1.10 的附加系

数，即为 1183kW。

根据供应商的技术资料，选用 2 台双工况 LBI661 型单螺杆制冷压缩机，2 台空调制冷量为： $628\text{kW} \times 2 = 1256\text{kW}$ ，其冷量调节为 10~100%，适合本工程空调、蓄冰的需要。

2.2.3 蓄冷量的计算：蓄冷时热能密度 DSTL（STL 每立方米储存的能量）

$$\text{DSTL} = Q_1 + Q_{s1} \times (t_3 - T_{st}) + Q_{ss} \times (T_{st} - T_m)$$

式中： $Q_1$  — C00 型蓄冷球的相变潜热  $48.40\text{kWh/m}^3$ ；

$Q_{s1}$  — C00 型蓄冷球的液态显热  $1.10\text{kWh/m}^3\text{°C}$ ；

$Q_{ss}$  — C00 型蓄冷球的固态显热  $0.70\text{kWh/m}^3\text{°C}$ ；

$t_3$  — 放冷阶段蓄冷系统的出液温度  $5\text{°C}$

$T_{st}$  — 蓄冷球的相变温度  $0\text{°C}$

$T_m$  — 蓄冷期结束时冷媒平均温度，蓄冷末期温度范围为  $-6\text{°C} \sim -2.6\text{°C}$ ，

则  $T_m = [(-6) + (-2.6)] / 2 = -4.3\text{°C}$

$$\therefore \text{DSTL} = 48.40 + (1.1 \times 5) + 0.7 \times 4.3 = 56.9(\text{kWh/m}^3)$$

需要储存的冷能： $Pr \times 0.67 \times 10 = 7926(\text{kWh})$

储冷必要的体积： $V = 7926 / 56.9 = 139.9(\text{m}^3)$ ，取  $V = 140\text{ m}^3$ （实际）

2.2.4 蓄冷罐的外形尺寸的确定：

根据现场布置与运输高度决定采用卧式蓄冷罐，直径取  $\phi = 3800\text{mm}$ ，长度  $L$ （含封头） $= 12400\text{mm}$ 。

2.3 部分蓄冰时负荷实际分布：I — 制冷，C — 冷机供冷，O — 关机

小时 逐时负荷 (Kw) 冷水机组状态 制冰(Kw) 供冷 (Kw) 融冰(kW)

0-1 I 797

1-2 I 797

2-3 I 797

3-4 I 797

4-5 I 797

5-6 I 797

6-7 O

7-8 O

8-9 1638 C 1256 382

9-10 1587 C 1256 331

10-11 1689 C 1256 433

11-12 1804 C 1256 548  
12-13 1821 C 1256 565  
13-14 1854 C 1256 598  
14-15 1880 C 1256 624  
15-16 1919 C 1256 663  
16-17 1903 C 1256 647  
17-18 1865 C 1256 609  
18-19 O  
19-20 O  
20-21 I 797  
21-22 I 797  
22-23 I 797  
23-24 I 797

总计 7970kWh 12560kWh

根据上面以冷机为主，部分蓄冰运行的负荷分布可以看出，蓄冰量大于融冰量（7970-5450=2570kw）。通过以上负荷分布分析，可以根据制冷主机和 STL 的选择进行运行模式和系统流程设计。本工程的蓄冰空调系统优先使用晚间所蓄的冷量来降低运行费用。经实际测试，在电力高峰时，可以停开主机 2-4 小时。

#### 2.4、施工图纸简介：

##### 2.4.1 系统流程图（图 5）：

##### 2.4.2、机房平面图（图 6）：

##### 2.4.3、空调制冷机房设备及材料表：

代号 名称 型号及规格 数量 备注

- 1 单螺杆冷水机组 LBI661,制冷量 566Kw, 最大功率 132Kw 2 台 法国西亚特
- 2 乙二醇初级泵 ITT1510-5G,流量 110m<sup>3</sup>/h,扬程 m,功率 11Kw 2 台 美国 ITT
- 3 乙二醇次级泵 ITT1510-6G,流量 220m<sup>3</sup>/h,扬程 25m,功率 22Kw 2 台 美国 ITT
- 4 空调水泵 IS200-150-315,流量 300m<sup>3</sup>/h,扬程 34m,功率 55Kw 2 台 山东博山
- 5 冷却水泵 IS200-150-315,流量 300m<sup>3</sup>/h,扬程 34m,功率 55Kw 2 台 山东博山
- 6 补液泵 40HGF12.5-20,流量 12.5m<sup>3</sup>/h,扬程 20m,功率 1.5Kw 1 台 杭州
- 7 凝结水泵 50HGR12.5-50,流量 12.5m<sup>3</sup>/h,扬程 50m,功率 4Kw 2 台 杭州



- 8 板式热交换器 PW55 2 台 法国西亚特
- 9 汽-水换热器 SFP.K-8.83 2 台
- 10 STL 蓄冷罐 V=138m<sup>3</sup> 1 只 当地加工
- 11 C-00 蓄冷球 直径 96mm,相变温度 0℃ 138m<sup>3</sup> 法国西亚特
- 12 乙二醇溶液 涤纶级 25 吨
- 13 贮液箱(不锈钢) 1500×1500×1200 1 只
- 14 低位膨胀水箱 1500×1500×1500 1 只
- 15 高位膨胀水箱 1500×1500×1500 1 只
- 16 凝结水箱 1500×1500×1500 1 只
- 17 冷却塔 FBLSSS-150, 电机功率 5.5Kw 2 台
- 18 No.1 分汽缸 D273×8,L=800mm 1 只
- 19 No.2 集水器 D273×8,L=690mm 1 只
- 20 No.3 集水器 D426×10,L=1950mm 1 只
- 21 No.4 分水器 D426×10,L=1510mm 1 只
- 22 电动三通阀 DN150 1 只 瑞士
- 23 电动二通阀 DN125 2 只 美国  
DN150 3 只
- 24 自力式调节阀 DN100 2 只 上海
- 25 蝶阀 DN250 14 只 天津  
DN200 32 只  
DN150 5 只
- 26 球阀 DN50 2 只  
DN25(不锈钢) 1 只  
DN15(不锈钢) 53 只
- 27 闸阀 DN32 2 只  
DN25 4 只  
DN20 8 只  
DN15(铜) 4 只
- 28 柱塞阀 DN100 10 只  
DN80 6 只  
DN50 16 只

DN25 3 只  
DN20 6 只  
29 减压阀 DN100 1 只  
30 安全阀 DN100 1 只  
31 疏水器 DN20 2 只  
DN25 2 只  
32 止回阀 DN250 4 只  
DN200 5 只  
DN50 5 只  
33 过滤器 DN250 4 只  
DN200 4 只  
DN100 1 只  
34 自动排气阀 DN20 8 只  
35 橡胶软接头 DN250 8 只  
DN200 16 只  
DN50 6 只  
36 指针式温度计 24 只  
37 压力表 43 只  
38 自动排气阀 不锈钢 DN20 8 只  
39 金属减振软管 DN200 2 只  
40 水表 DN25 1 只  
41 水箱配用 GSK 液位显示控制器 4 套

#### 2.4.4 蓄冰空调施工图设计说明:

##### 1)、空调室外设计参数 (杭州地区):

冬季:  $T_{wk}=-4^{\circ}\text{C}$   $\text{RH}=75\%$  夏季:  $T_{wg}=35.7^{\circ}\text{C}$   $T_{ws}=28.5^{\circ}\text{C}$

##### 2)、空调房间的设计参数

冬季:  $T_{n1}=18^{\circ}\text{C}-20^{\circ}\text{C}$   $\text{RH}=45\%-65\%$  夏季:  $T_{n2}=26^{\circ}\text{C}-28^{\circ}\text{C}$   $\text{RH}=50\%-65\%$

新风量:  $25\text{m}^3/\text{人}$  (过度季节全新风)

3)、本工程建筑面积  $15000\text{m}^2$ , 夏季设计冷负荷  $1919\text{Kw}$ , 冬季设计热负荷  $1395\text{Kw}$ 。建筑平

面冷负荷指标：128W/m<sup>2</sup>，建筑平面热指标：93W/m<sup>2</sup>。

4)、冷源选用法国 CIAT 生产的 LBI661 型单螺杆制冷压缩机，单台空调制冷量为 628kW/台，装机容量指标为 83W/m<sup>2</sup>，蓄冷量：7926kWh。

5)、蓄冷空调 25%乙二醇溶液系统采用闭式并联循环系统，与大楼内水系统采用板式热交换器进行间接联接，水温为 7℃/12℃。

6)、冬季热源由锅炉房供应的 0.2-0.3Mpa 蒸汽经汽水热交换器换热，大楼内热媒水 60℃/50℃进行供暖。水路系统为两管制，采用闭式机械循环。

#### 2.4.5 蓄冰空调的施工说明：

##### 2.4.5.1、空调水（包括 25%乙二醇溶液）系统施工说明：

1) 平面图上空调水管道与墙、柱之间的距离是假定的，图中所注管道标高均指管底标高，除图中有说明者外，均以室内底层地坪标高为 0.000 起算。标高单位为米。

2) 当管径 DN<100mm 时，采用镀锌钢管；DN>100mm 时，采用无缝钢管；蒸汽管道全部采用无缝钢管。当管径 DN<32mm 时，管道采用丝扣连接；DN>32mm 时，采用法兰连接，法兰间衬垫 3--5mm 厚的石棉橡胶板，焊缝处加涂磷化底漆两道。管道均热镀锌。

3) 空调水管与支吊架之间需垫以 50mm 厚并经防腐外理的二合硬木块，以防形成“冷桥”而结露。所有支吊架均需刷防锈漆两道，面漆两道。管道支吊架的具体形式和安装位置由安装单位根据现场情况确定，做法请参照国标 88R420。

4) 接往风机盘管的供回水支管均安装阀门。空调水干管可敷设 i=0.001--0.003 的坡度，以利于排气。所有可能形成气囊的干管安装均需安装自动排气阀。

5) 风机盘管的凝结水管为镀锌钢管，并应敷设一定的坡度(或高差)，坡向排水点。凝结水管安装好后，应逐个进行排水试验，确保风机盘管凝结水盘内不积水。

6) 水泵采用弹簧垫基础，与水泵相连的进、出水管上必须设置减震软接头，采用橡胶软接头。并在每台水泵的进水管上安装蝶阀，压力表，过滤器；出水管上安装蝶阀，蝶形止回阀，压力表。制冷机、热交换器进出口管道均安装压力表，指针式温度计。

7) 压力表阀门，风机盘管供回水阀门采用不锈钢球阀；自控压力传感器，排气阀的阀门采用铸铁闸阀；集分水器，凝结水箱，汽水热交换器排污阀为柱塞阀；低位膨胀箱，贮液箱，板式热交换器排污阀为闸阀。

8) 管道安装完毕后，系统应进行水压试验。试验压力按系统顶点压力加 0.1MPa 采用，但不得小于 0.3MPa。在 5 分钟内压力降不小于 0.2MPa 为合格。系统试压合格后，应反复冲洗，直至排出水中不挟带泥沙、铁屑等物。冲洗之前应先除去过不经过所有设备。

9) 空调供回水管及其阀门，凝结水管均需保温。保温材料采用聚氨酯发泡，外覆厚度为 1.2mm 的

铝板.保温层的厚度为:蓄冷罐为200mm,其余水管为50mm.为保证机房内管道的美观,部分在机房内的冷却水管也采用聚氨酯发泡外覆铝板,做法同上.

10)除上述说明者外,其余均按 GB505243-97《通风与空调工程施工及验收规范》和 GBJ243-82《采暖与卫生工程施工及验收规范》的有关规定进行施工.

#### 2.4.5.2、空调风系统施工说明:(略)

### 2.5、微机控制在蓄冰空调系统中的应用:

2.5.1、冰蓄冷系统微机控制的目的是作用:蓄冰空调系统的主要优势是电力移峰及节省运行费用。为了充分发挥蓄冷系统的长处,设置先进的控制系统十分重要。为此,设计中采用了微机控制系统,根据冷负荷的变化,控制冰蓄冷系统的经济运行。微机控制的主要目的和作用:

- ①、根据用户冷负荷的需求,按电费结构的特点,自动设置冰蓄冷系统最佳的运行方式,降低整个系统的运行费用;
- ②、充分利用蓄冷装置的容量,当日在保证满足高峰负荷的条件下,应尽量把所蓄冷量基本用尽,以发挥夜间机组制冷的运行能力,减少白天运行的容量;
- ③、自动检测系统的运行状态,保障冰蓄冷系统主要设备正常、安全运行;
- ④、自动记录系统运行的参数,显示系统运行流程图和打印系统运行参数报表。
- ⑤、预测未来的供冷负荷,确定未来的优化运行方案,最大限度的经济运行。

#### 2.5.2、微机控制系统的组成

随着微机控制技术应用的普及,它不仅在性能方面全面超过常规模拟仪表而且价格上也日益具有竞争优势。所以利用微机控制系统与一次仪表组成稳定、可靠并具有智能化的冰蓄冷微机控制系统,对于节约能源和提高系统运行效率具有十分重要的作用。

交行冰蓄冷微机控制系统,利用美国 Honeywell 公司的 Excel500 型集散型微机 and 控制系统,该系统利用共享总线型网络拓扑结构,把分布在控制现场不同部位的控制分站,以高达 1 Mbps 的通信速度直接用一条普通双绞线(总线)互相连接起来,形成集散式控制系统,其组成的控制系统可以直接作为整个大楼智能楼宇自动系统(BAS)的一个重要组成部分。

冰蓄冷微机控制系统硬件部分主要由中央站(图形工作站)、现场工作站(DDC)、打印机、显示器、数据采集/输出模板等组成,如图7所示:

显示器 中央(工作站) 打印机

Excel500

现场工作站

现场控制设备（一次仪表）

图 7、冰蓄冷微机控制系统组成方框图

微机控制系统软件包括如下部分：WINDOWS 操作系统，TCP / IP 网络通信协议，Excel 图形中心软件包，现场操作软件包，冰蓄冷数据采集软件、冰蓄冷微机操作软件、冰蓄冷系统图形界面和打印报表软件等。

微机控制系统对制冷机组、蓄冷罐、初级泵、次级泵、热交换器、主要管路系统提供动态实时监控，实时显示冰蓄冷系统运行流程图和参数表。对检测的运行数据进行分析、处理和存储，可按要求打印运行报表和蓄冷罐负荷曲线图，根据机组的运行工况和环境温度进行负荷预测，自动设置最经济运行的方式；实时检测冰蓄冷系统的主要设备及管路运行状态，提供开机、关机、故障报警，有连锁保护功能，以保证整个系统安全、正常运行。

### 2.5.3、交行冰蓄冷空调控制系统工艺流程原理图：

如图 8 所示，制冷机组与蓄冰罐在流程中处于并联位置，与用户通过板换间接连接。该系统包含两个并联回路：初级回路和次级回路，供回液温差约为 5℃。供出溶液的温度由热交换器副边端出口处温度 TE201 传感器的温度控制三通调节阀 FV101 进行 PID 自动调节，当三通阀 FV101 回流量大时，初级泵的流量可通过阀 V1 进行回流。另外为了平衡初级泵和次级泵之间的流量，可以对 V2 进行调节，使 FV101 基本保持稳定流量。为了有效的设置最佳的运行方式，必须由微机进行蓄冷罐的负荷预测，即根据蓄冷罐进出口温差和流量，动态实时累积计算蓄冷负荷；并按环境温度和统计数据进行修正，从实测数据进行动态负荷计算。为满足供冷负荷的要求，冰蓄冷系统有如下 6 种运行方式。其设备操作、控制阀的各运行方式下的工作状态表如下：

#### 冰蓄冷运行方式设备及阀门状态表

运行方式	设备名称	直供	充冷	释冷	联供	充冷并供冷	待用
制冷机组	制冷	制冰	不工作	制冷	制冰	不工作	
蓄冷罐	不工作	工作	工作	工作	工作	不工作	
初级泵	工作	工作	不工作	工作	工作	不工作	
次级泵	不工作	不工作	工作	工作	工作	工作	
三通阀 FV101	调节	直通关	调节	调节	调节	调节	直通关
电动阀 V1	关	关	关	关	关	关	关

电动阀 V2 调节 调节 关 调节 调节 关

电动阀 V3 关 开 关 关 开 关

电动阀 V4 关 开 开 开 开 关

电动阀 V5 关 开 开 开 开 关

#### a、直供运行方式

当蓄冷罐释冷结束时或供冷负荷进行必需的临时调度时，仅电制冷机组直接供冷，而蓄冷罐不工作，三通阀 FV101 根据冷负荷的变化进行调节，以保证板式换热器出口温度恒定。

#### b、充冷运行方式

当次级泵回路不需冷量，由制冷机组进行制冰充冷运行，此工况一般运行在夜间电价谷段。此时次级泵停止运行，且三通阀直通关以隔断冷机和次级回路，制冷机组首先使初级回路显热降温，直降到蓄冷球相变温度，随着继续吸收机组产生的冷量，蓄冷球开始发生相变（结冰），在结冰期间 STL 不断吸取机组产生的冷量，至制冷机组产生的冷冻流体温度也降至相变结束时相应的最终温度，这时机组继续以显热使初级回路降温，这时冷冻液的降温速度很快，而这种快速的降温表明了蓄冷阶段的结束，微机系统可以测知这一快速降温特性，从而决定充冷结束停机。

#### c、释供运行方式

此工况仅用于蓄冷罐释冷可满足用户冷负荷要求，而制冷机不工作。在此过程中，制冷机组和初级泵停止运行，阀门 V2 关，使所有冷冻液流经蓄冷罐，微机控制系统根据换热器副边温度 TE201 对三通阀 FV101 进行自动调节，维持副边出口温度恒定，以满足用户冷负荷的要求。

#### d、联供运行方式

当用户冷负荷大于制冷机组所产生的冷量需要蓄冷罐与制冷机组同时运行供冷，即是联供运行方式。本系统按分量蓄冷运行策略设计，在较热季节大都需要采用联供运行方式。此工况下制冷机组、初级泵、次级泵、蓄冷罐均投入运行，三通阀 FV101 调节如前所述，微机控制系统根据动态负荷预测的数据，控制蓄冷罐释冷量的大小，使蓄冷罐的蓄冷量当天基本用尽，又不能出现最后几小时蓄冷系统供不应求，使冰蓄冷系统运行达到最经济的效果。

#### e、充冷并供冷运行方式

当用户冷负荷所需冷量低于制冷机组所生的冷量时，可在对蓄冷罐进行充冷的同时，分出一部分冷剂供用户冷负荷，即为充冷并供冷运行方式。微机控制三通阀在满足冷负荷的基础上，进行蓄冷罐充冷，此时因为部分冷负荷的制冷量是制冷机组在制冰工况运行提供，作为充冷

供冷在能耗及制冷机组容量上并不经济，故此工况应尽量少用。

#### f、待用方式

蓄冷系统不运行，处于备用状态。由于本冰蓄冷系统是按分量蓄冷运行策略设计，即要求制冷机组和蓄冷罐联合供冷方能满足设计日用户负荷需要，但是某些季节冷负荷低时往往只靠冰罐释冷便能满足冷负荷要求，要求微机控制系统根据动态蓄冷负荷预测，自动的控制系统的运行方式，使冰蓄冷系统运行在最佳的工作状态，以达到移峰填谷节约能源的目的。

### 3 STL 蓄冰空调的测试与应用：

3.1、投入运行及现场测试：该系统安装完毕后一次调试成功,于 1997 年 6 月 28 日投入运行。同济大学空调测试中心于 8 月 19 日-8 月 21 日对该系统进行了系统科学的现场测试，结果表明：该系统蓄冰单位冷吨耗电仅为 0.875kW，蓄冰率高达 99.27%，融冰率为 100%，完全达到了设计要求。8 月 28 日通过了全国部分专家组成的评议小组的评议，一致认为该系统：设计合理、指标先进、施工质量良好、美观、运行可靠、性能良好、社会效益显著、具有典型的示范作用。

3.2、运行一年后测试：为了进一步证实该冰蓄冷系统运行的稳定性如何，我们特对该系统在运行一年后进行了重新测试。时间为 98 年 8 月 16 日、17 日两天，测试结果如下：

蓄冰率：97.7%，融冰率 100%，（当日白天平均气温:34.96℃）

这证明该系统性能非常稳定。

#### 3.3、实际运行效果：

为了掌握工程运行的实际移峰数据，我们对该系统的用电情况进行了跟踪记录，其中选 1998 年 5 月 11 日-5 月 15 日用电量作为过度季节代表和 1998 年 7 月 6 日-7 月 10 日作为夏季代表，记录如下：

日期 5 月 11 日 5 月 12 日 5 月 13 日 5 月 14 日 5 月 15 日

每日峰电用量 kWh 703 678 618 879 658

每日谷电用量 kWh 2976 3374 2700 3491 3474

日期 7 月 6 日 7 月 7 日 7 月 8 日 7 月 9 日 7 月 10 日

每日峰电用量 kWh 2006 3300 2723 3083 3220

每日谷电用量 kWh 3343 3357 3266 3093 3149

从以上两表可以看出，该系统较好地实现了设计思想，移峰能力强，尤其是过渡季节，每日谷电用量远远超过峰电用量，效果非常显著。

#### 3.4、用户意见：

杭州交通银行用户经过二年的运行使用，对该系统的使用意见可供广大同行及读者参考：

①我行金融大楼采用了 STL 蓄冰空调系统以后，与原方案常规空调比空调主机减少电容量 486kW，在实施峰谷电价政策的支持下，高峰期每日可节约电费 3481 元，每年为我行节约运行费用约 40.8 万元，体现出了良好的经济效益；

②采用了 STL 蓄冰系统以后，我行每年可转移高峰电量约 42 万千瓦时，具有显著的社会效益，为改善电网负荷作出了应有的贡献；

③采用了 STL 蓄冰系统以后，中央空调放冷非常迅速，早上上班时不再需要常规空调的预冷阶段，可以使大楼温度在短时间内迅速降下来；

④由于本空调系统采用了完善的微机控制管理系统，使机房管理变得更加可靠简单，计算机工作站随时可以提供大量的工作数据以供打印和分析，而管理人员仅需一名退休工人，为我行节约了管理资金。

#### 4、蓄冰空调设计的主要思路

在蓄冰空调设计中，主要应考虑除电力部门给定的优惠政策外，还应对各种方案进行技术分析比较。因蓄冰空调较一般的常规空调系统投资较大，占地面积增加，必须进行多方案的分析比较，最重要的是能否利用峰谷电价日常节省的运行费用来回收新增加的投资额。根据有关资料表明：回收年限在 2-3 年采用蓄冰空调系统是合适的，若回收年限在 5 年以上则是不经济的。交通银行金融大楼根据与原空调方案进行的比较，2 年即可回收投资增加的部分。结合交行金融大楼，蓄冰空调的设计主要思路是：

①空调负荷的特点：空调负荷峰谷差越大，进行蓄冷所产生的节能效果和经济效益越显著，但必须进行昼夜能耗分析，以提高节能效果和经济效益。

②蓄冷方式即考虑是全量蓄冷还是考虑采用部分蓄冷。全部蓄冷可得到最大的避峰让电效果，这时空调制冷设备容量加大，运行费用也高；而部分蓄冷也能得到最好的节能效果和经济效益，但缺点是没有全部避峰让电，但它的初投资和装机容量却可大大减少。在通常情况下，尽量采用部分蓄冷为好。

③蓄冰空调系统的冷负荷确定及计算方法：蓄冰空调的冷负荷是空调建筑物昼夜逐时设计冷负荷，并按蓄冷方式特点确定制冷系统工作小时数  $N$ ，然后按下式计算出制冷系统的冷负荷：



$Q_j = \sum P(i)/N$  式中：N=24h-部分蓄冷空调（实际为 20h）

i=1 N=10~14h 全量蓄冰空调用

(4)选择制冷主机及蓄冷装置：在蓄冷空调的设计中，由于工况复杂，除空调工况外，还有晚间制冰工况。空调工况与制冰工况的不同，主机制冷系统的蒸发温度与冷凝温度相应变化，设备的制冷系数也随之改变，能耗即在变化。在制冰工况时，制冷机的蒸发温度在 $-8^{\circ}\text{C} \sim -11^{\circ}\text{C}$ 左右，与空调工况的蒸发 $0^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$ 相比下降了 $10^{\circ}\text{C}$ 左右。这时的蒸发温度每下降 $1^{\circ}\text{C}$ 制冷量降低 3%（不考虑夜间冷凝温度的降低）。如果按制冰工况选择主机则偏于安全，而按空调工况选择主机则偏于不安全。本设计中选择主机的方法是：按昼夜的冷量综合平衡进行主机的选择。即：

$$P = Q_j / [(20 - L_{ab}) \times f + L_{ab}]$$

式中：L<sub>ab</sub>—制冷机直接供冷时间

f—冷机直接供冷转为储冷工况而引起制冷量下降的系数

在蓄冷装置的选择中应根据蓄冷的种类及各自的特性及应用的场合合理的进行配置。在交行设计中是根据 STL 每立方米储存的能量来选择计算它蓄冷容积及决定蓄冷罐的外形尺寸、承压能力。蓄冷罐可为开式和闭式，而闭式系统是应用较多、系统稳定的一种蓄冷形式。

⑤微机控制与监测十分重要：在蓄冰空调的设计中，微机控制不仅能设置最佳的经济运行工况，而且可以进行负荷预测，对于选择系统运行的方式起着关键的作用。初看起来增加自控部分费用，但从长远发展的眼光看问题。无论在控制监测管理方面却十分节省、方便、先进。对整个冰蓄冷系统不言而喻，是大有好处的。应该用现代空调的思维方式，设计超前的空调系统。

## 5、STL 蓄冰空调设计中应注意的问题：

5.1、罐体制作与安装：STL 闭式蓄冰罐视不同系统及其在系统中的不同位置承受不同的工作压力，但一般均为压力容器，应由专业容器生产制造厂家生产，并按压力容器要求检验。因蓄冰罐工作温度常低于摄氏零度，故其制作材料应考虑低温性能好的 16Mn 钢。罐体内部防腐采用二布四油环氧树脂涂层，外保 150mm 厚聚氨脂发泡材料，铝板保护壳。STL 蓄冰罐无论是立罐还是卧罐在设计中必须考虑载冷剂（即 25%的乙二醇溶液）的分配均匀性，在罐的入口和出口设有均流器。本工程采用了上下 DN200 的扩散管，将载冷剂的冷量均匀有效地传输给罐内蓄冷球。蓄冷罐简图如图 9。STL 蓄冰罐在安装过程中，罐与下面的支撑必须进行隔冷处理，以免局部形成冷桥，罐的本体必须进行绝热保温设计以减少冷损失。

5.2、罐体的运输：本工程因蓄冰罐直径太大（ $\Phi 3800$ ），运输及吊装过程较为复杂，耗费了

一定的人力物力，建议单体蓄冰罐尺寸不应过大。本工程蓄冰罐安装在室外地下，与主体建筑不相连，考虑建筑沉降问题，与机房管路连接处增设了一对金属软接头。

5.3、冰球的投放：根据 STL 安装手册建议，我们采用先向清洗干净的空罐中注入约 1/3 高度的水，然后由上部人孔投入冰球，同时降低罐内水位，使罐内冰球排列均匀。实践证明冰球的投放非常简单，这也是 STL 系统的一大特色。

5.4、乙二醇的投放：经过反复几次测量系统总容量后，我们根据此容量先向系统注入约 1/3 的水，然后加注纯的乙二醇至所需数量，再将系统水注满。开动水泵运行 5 小时，将系统内水与乙二醇均匀混合，同时排空系统内空气。检测系统内乙二醇溶液浓度，若未均匀再运行水泵，至系统内乙二醇溶液浓度恒定为止。

5.5、STL 蓄冰时相变膨胀量问题：

在 STL 系统中乙二醇溶液受球内介质相变时的影响而体积膨胀，在 STL 系统中它的相变膨胀量是每立方米 20 立升。为此系统设置低位膨胀箱外，还需设置溢流箱或称溶液储量器，在本系统中称为溶液补给箱，设置溶液补给箱可以：

- ①很方便的给系统补充乙二醇溶液，
- ②当蓄冷球相变时，体积膨胀低位膨胀箱中溶液容纳不下时溢流至补给箱，这样使得低位箱的体积不至非常庞大而难于安装。
- ③作为补给箱可以作为系统的结冰计量标志，当蓄冷工况时，根据相变膨胀量溶液膨胀至低位箱溢流至补给箱，经过校正好的溢流量在补给箱液位控制器上反映出来，这时即说明蓄冰已经完成。
- ④作为补给箱可以很方便的检查乙二醇溶液的浓度，所以本工程蓄冰系统中采用的溶液补给箱又是储量器，这也是本系统的特点之一。

5.6、STL 蓄冰空调系统中三通阀的作用：

STL 蓄冰空调系统的特点是通过微机控制不同的工况，在调节过程中是通过合流三通阀并配合电动二通阀来实现的。本工程中通过自控分析计算采用了瑞士驷法公司的抛物线流量特性的调节阀，其中  $C_v=0.67$ ，口径  $DN=150$ ，它具有直线性和等百分比特性的中间特性，调节性能优良。在电动三通调节阀的选择计算中除技术参数外，还应特别注意几点：

- ①电动三通调节阀的密封性能，否则会漏乙二醇溶液
- ②必须有手动调节装置
- ③安装时介质流向应与箭头一致，严禁阀杆向下安装。在设计 STL 空调蓄冷系统中不仅对三通调节阀有很高的要求，而且对管路系统的电动二通蝶阀，手动蝶阀都有较高的要求。尤其是初级泵（蓄冷泵）、次级泵决不能有漏液现象，为了确保泵的质量，设计中选择了进口的 ITT

泵，在蓄冷空调系统中，乙二醇溶液循环回路必须选择可靠、耐用、机械密封质量好的泵，热交换器及管路阀门附件决不能出现漏滴现象。

#### 5.7、蓄冰空调系统中与用户的连接问题：

在冰蓄冷系统流程中与用户的连接过程方式是一个很重要的问题，有直接连接即整个系统全部充满乙二醇溶液，间接连接即乙二醇溶液系统仅限于一定范围内，通过板式热交换器与二次水进行热交换，我们在设计中采用了间接连接，乙二醇仅限于制冷机房内，整个大楼仍是水系统，这样做有几个好处：

①乙二醇溶液仅限于制冷机房用量少；

②用户在大楼内不存在漏乙二醇溶液的问题，尤其是高层建筑能起到隔断高层建筑冷水系统的静压以保护空调制冷主机，而缺点仅仅是增加了一台热交换器，通过实践证明，乙二醇溶液系统越小越好，以减少漏损可能性。

#### 5.8、机房设计中应考虑的问题：

①机房通风：在高层建筑中空调制冷机房一般都设在地下室内，应该设计送、排风系统。主要是：a、通风系统应能顺利排走因事故泄漏的制冷剂；b、排走机房内因电机发热和冷凝器散热等造成的多余热量；

②机房的噪声问题：由于冷冻机的噪声再加上各种水泵所产生的噪声至少在 80 分贝以上，降低噪声是我们面临的课题之一。交行大楼制冷机房在建筑物四周采用微穿孔板进行消声。机房与微机控制室采用隔声玻璃隔断，效果较好。

交通银行杭州分行金融大楼 STL 蓄冰空调系统经过检测表明：各项运行参数均达到了设计要求，经专家权威评议：“是成功的、先进的蓄冰空调系统，具有典型示范作用。”