

文章编号: 1005—0523(2006)01—0063—05

冰蓄冷中央空调主机与蓄冷量匹配的最优算法

邓胡滨, 周 洁

(华东交通大学, 信息工程学院 江西 南昌 330013)

摘要:研究在冰蓄冷中央空调系统中如何根据外界温度变化进行主机与蓄冷量匹配最优智能算法, 该冰蓄冷中央空调控制策略是优化控制策略即以全天运行费为目标函数, 在满足用户负荷需求, 蓄冰设备融冰能力的约束条件下, 使全天运行费最小.

关 键 词:冰蓄冷; 空调; 负荷; 匹配; 智能算法

中图分类号: TP1 **文献标识码:** A

1 前言

冰蓄冷中央空调是将电网夜间谷荷电力制冰(或其它相变材料)的形式储存起来, 在白天用电高峰时将冰融化释放冷量, 用以部分或全部满足供冷需求. 我国峰、谷时段电价政策(峰高价、谷低价), 将给使用冰蓄冷中央空调用户带来实惠, 而受益最大的是国家电力能源部门.

2 概述

冰蓄冷中央空调系统的硬件设备主要有基载主机、双工况主机、蓄冰罐、板式换热器、电动阀、冷却塔、冷却水泵等. 冰蓄冷中央空调系统的原理图如图 1.

冰蓄冷中央空调系统的工况有 5 种模式: ①蓄冷工况, 此时负荷供冷由基载主机提供, 双工况主机工作在出口温度为 -6°C , 由他提供冷量给蓄冰罐进行制冰蓄冷; ②双工况主机边蓄冷边供冷, 双工况主机工作在出口温度为 -6°C , 此时供冷效率较低, 仅为 65%, 一般建议不使用此工况; ③双工况直供, 此时负荷供冷首先由基载主机提供, 不够时由双工况主机提供, 而这时双工况主机工作在出口温度为 5°C ; ④联合供冷, 负荷所需冷量首先由基载主机提供, 不够由蓄冰罐融冰释冷和双工况主机供冷, 此时双工况主机工作在出口温度为 5°C ; ⑤蓄冰罐融冰释冷工况, 此时双工况主机

不工作, 而基载主机工作与否看情况而定. 冰蓄冷运行工况及阀门状态见表 1.

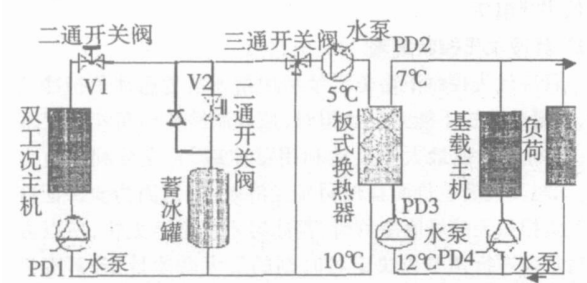


图 1 冰蓄冷中央空调系统的原理图

注意: 由于基载主机出口温度为 7°C , 供冷效率为 100%, 双工况主机即空调工况(出口温度 5°C)和蓄冰工况(出口温度 -6°C), 供冷效率为 95%, 而蓄冷效率为 65%, 所以供冷一般首选基载主机, 然后是双工况主机, 而蓄冰罐融冰释冷根据需要安排在特定时间进行.

3 冰蓄冷中央空调控制策略分析和选择

冰蓄冷系统中运行策略按冷量平衡原则(也就是夜间的有效蓄冷量加上空调使用期内制冷机所提供的冷量之和等于空调的总负荷). 冰蓄冷空调系统的控制就是要解决冷负荷在制冷机和蓄冰罐之间的分配问题. 控制策略有: 制冷机优先控制策略、释冷优先控制策略和优化控制策略.

收稿日期: 2005—07—20
作者简介: 邓胡滨(1964—), 女, 江西瑞昌人, 华东交通大学副教授.

表 1 冰蓄冷运行工况设备及阀门状态表

运行方式设备名称	蓄冷工况	双工况直供	释冷	联供	边蓄冷边供冷
基载主机	工作	工作	不工作	工作	工作
双工况主机	工作	工作	不工作	工作	工作
蓄冰罐	工作	不工作	工作	工作	工作
三通调节阀	直通关	调节	调节	调节	调节
初级水泵 PD1	工作	不工作	不工作	工作	工作
次级水泵 PD2	不工作	工作	工作	工作	工作
水泵 PD3	不工作	开	开	工作	工作
水泵 PD4	不工作	开	不工作	工作	工作
二通开关阀 V1	开	开	关	开	开
二通开关阀 V2	开	关	开	开	开

3.1 制冷机优先控制策略

制冷机优先控制策略是如果冷负荷小于制冷机组制冷能力则蓄冰装置不融冰供冷，完全依靠制冷机组负担冷负荷，如果冷负荷大于制冷机组制冷能力，则在制冷机组满负荷情况下依靠蓄冰装置融冰来负担不足部分。冷机优先的控制策略工程实现简单，运行可靠，但这种控制策略在冷负荷较小时，冰罐使用率极低，不能有效地削减电负荷高峰和降低用户电费。

3.2 释冷优先控制策略

释冷优先控制策略是尽量利用蓄冰装置融冰负担冷负荷，当蓄冰装置不能完全负担时，依靠制冷机组负担不足部分。这种策略能最大限度地利用蓄冰罐。它充分利用电力峰，固时段电费差价而获得明显经济效益，但因为要保证冷源能负担每天的峰值冷负荷，蓄冰罐不能融冰太快，所以需要对负荷进行预测以决定各时刻的最大融冰量。若蓄冷量不能很好控制和合理分配，就会造成蓄冷供冷系统不能满足逐时负荷要求，有可能在最后几个小时出现冷量供不应求或一天结束蓄冰罐中还有很多冰没有融化蓄冷。

3.3 优化控制策略

优化控制是提出某目标函数，在一定的约束条件下，使该目标函数达到极值。为了使冰蓄冷系统最大限度地发挥作用，尽可能地减少电负荷高峰期的用电，使用户的电费最少这个目标。我们选择就是优化控制策略，即根据输入温度 and 标准日负荷曲线，计算调整后的日负荷曲线。再根据输入温度、调整好的日负荷曲线和输入的高价电时段，低价电时段，平价电时段的开始时间，在满足逐时负荷要求约束条件

下，进行智能配冷，得到智能匹配后的日负荷曲线和各主机的工作状况，达到满足逐时负荷要求条件下，用户费用最小化的目标。

4 主机与蓄冷量最优匹配智能算法软件功能描述

冰蓄冷中央空调系统主机与蓄冷量最优匹配智能算法软件实现了三个功能：输入检测功能，智能配冷功能和绘图控制功能。

1、输入检测功能：输入最低温度，最高温度，输入高价电时段，低价电时段，平价电时段的开始时间并检测这些数据是否合法。

2、智能配冷功能：根据输入温度，计算调整后的日负荷曲线，并根据输入的高价电时段，低价电时段，平价电时段的开始时间，进行智能配冷，得到智能匹配后的日负荷曲线和各主机的工作状态。

3、绘图控制功能：描绘调整后日负荷曲线和智能匹配后的日负荷曲线并输出各主机的工作状态。

4.1 智能配冷功能模块

智能配冷模块分为日负荷曲线调整、各种工况的充释冷冷量分析、联合供冷分析、高价电和低价电时段的分析和中心调配等五个子模块。后文遇到的符号意义见存储数据定义表如表 2。

注意：为了保证调配的精确度，我们把负荷定义为每十分钟提取一次，即：每个小时定义六个等时间间隔的负荷值，一天总共定义 144 个。

表 2 存储数据定义表

数据	类型	默认值	含 义
α	double	0.65	蓄冰效率系数
β	double	0.95	双工况主机的效率
QJ	double	1024KW	基载主机的制冷制冷量
QSB	double	639KW	双工况主机的制冰制冷量
QSK	double	1024KW	双工况主机的制冷制冷量
Tmin	double	-20	最低温度

Tmax	double	40	最高温度
High __Start	int	16	高价电时段开始时间
Low __Start	int	21	低价电时段开始时间
Mid __Start	int	4	平价电时段开始时间
SR[144]	double	定义标准逐时负荷值	定义标准的 0 点到 1 点,1 点到 2 点……23 点到 0 点的逐时负荷,每 10 分钟定义一次
RR[144]	double	0	定义调整后逐时负荷
RS[144]	double	0	定义实际提供逐时冷量
FS __LH[144]	int	0	联合供冷标志 11
F __CG[144]	int	0	边充冷边供冷标志 11
F __R[144]	int	0	融冰供冷标志 00
F __J[144]	int	0	基载主机单独供冷标志 10

4.1.1 日负荷曲线调整

自动调整日负荷曲线是系统进行自动配冷的基础,我们把标准日负荷曲线和温度造成的负荷波动比例定义为 2:1,把温度造成的负荷波动定义为平均温度((最高温度+最低温度)/2)占温度变化范围的线性比例.即:((平均温度-最低温度)/(最高温度-最低温度)).根据这些理论,得到的调整公式为

$$RR[i]=SR[i]\times((Tmax+Tmin)/240+0.666667)$$

SR[i]是 i 时刻标准日负荷,RR[i]是调整后 i 时刻日负荷

4.1.2 各种工况的充冷、放冷冷量

我们根据高价电时段,低价电时段,平价电时段的开始时间和基载主机,双工况主机的制冷量,把冰蓄冷中央空调系统的工作状况分为以下六种,并求出对应的冷量.但要注意主机的制冷效率并不是恒定的,温度每下降一摄氏度,制冷效率就要下降百分之三.

考虑蓄冷主机蒸发温度下降(蓄冷主机蒸发器出水温度从 5℃降至-6℃),取效率降低系数为 65%.(这个系数与蒸发温度的下降幅度和不同的压缩机形式有关,一般可用于制冰的制冷机其产品样本上均标明在不同工况下的制冷量),双工况主机的降低系数为 95%.

(1)低价电充冷运行时的蓄冷总冷量
此时双工况主机单独蓄冰,这里既要考虑双工况主机的降低系数,又要考虑主机蓄冰的效率降低系数.蓄冷总冷量=QSK×α×β,约束条件:RR[i]≤=QJ

(2)低价电边充冷边供冷时的蓄冷总冷量
此时基载主机和双工况主机同时工作,提供所需要的冷量并将多余冷量蓄冰.要考虑的因素有双工况主机的降低系数、主箕蓄冰的效率降低系数、双工况主机的制冷量、机载主机的制冷量和调整后的逐点负荷.

蓄冷总冷量=(QSK×β+QJ-RR[i])×α,约束条件:RR[i]>QJ

(3)平价电边充冷边供冷时的蓄冷总冷量
此时机载主机和双工况主机同时工作,提供所需要的冷量并将多余冷量蓄冰.要考虑的因素有双工况主机的降低系数、主机蓄冰的效率降低系数、双工况主机的制冷量、机

载主机的制冷量和调整后的逐时负荷.
蓄冷总冷量=(QSK×β+QJ-RR[i])×α
约束条件:QSK+QJ>RR[i]且 Q(x)≤=Q __All 额定
(4)平价电联合供冷时的释冷总冷量
基载主机和双工况主机同时工作,提供所需要的冷量,不足的部分由蓄冷主机融冰提供.要考虑的因素有双工况主机的降低系数、主机蓄冰的效率降低系数、双工况主机的制冷量、基载主机的制冷量和调整后的逐时负荷.
释冷总冷量=RR[i]-QSK×β-QJ ,约束条件:RR[i]>QSK+QJ

(5)平价电融冰供冷时的释冷总冷量
基载主机和双工况主机都不工作,所需要的冷量由蓄冰罐融冰提供.要考虑的因素有调整后的逐时负荷.释冷总冷量=RR[i],约束条件:Qx>Qh
(6)高价电融冰供冷时的释冷总冷量
基载主机和双工况主机都不工作,所需要的冷量由蓄冰罐融冰提供.要考虑的因素有调整后的逐时负荷.释冷总冷量=RR[i].

4.1.3 联合供冷分析子模块

“移峰填谷”是冰蓄冷空调最基本的功能.由于在日负荷曲线的“山峰”时段,系统的负荷量非常大,所以我们要采取联合供冷.基载主机和双工况主机全部工作,不足的部分由蓄冰罐融冰提供.

在这个模块,我们要考虑的因素有联合供冷总时间,联合供冷开始的时间,联合供冷结束的时间和联合供冷需要融冰的总冷量.

4.1.4 高价电和低价电时段的分析

由于在系统的配冷方案中,必须根据高价电和低价电时段的冷量进行调配方案的选择,所以,有必要对高价电和低价电时段的冷量进行详细的分析.我们考虑的方案是在低价电时段尽可能的储存冷量,在高价电时段,以节省开支为目的,尽可能的采用融冰供冷和基载主机单独供冷.当然,在高价电时段首先需要考虑的是需要提供的总冷量,即:高价电时段的总冷负荷.

4.1.5 中心调配模块

该模块对高价电和低价电时段的冷量进行分析, 选择对应的分配策略. 我们在分配策略上采取回溯法, 即在可能的时间片内进行试探, 如果不合理就回溯, 直到找出最合理分配方法.

回溯法的一般描述:

$X(1:n)$ 是解集: $T(X(1), X(2), \dots, X(p-1))$ 给出 $X(p)$ 所有可能取值.

限界函数 $BK(X(1), \dots, X(p))$ 判别哪些元素 $X(p)$ 满足条件.

$p=1; X(p)=0;$

while ($p > 0$)

{if (调整检验 $X(p)++$ 是否满足条件)

{if ($X(1), \dots, X(p)$) 是一条到达答案的路径

输出 ($X(1), \dots, X(p)$);

$p++$; 考虑下一个解集

}

else $p--$; 回溯到先前的一步

}

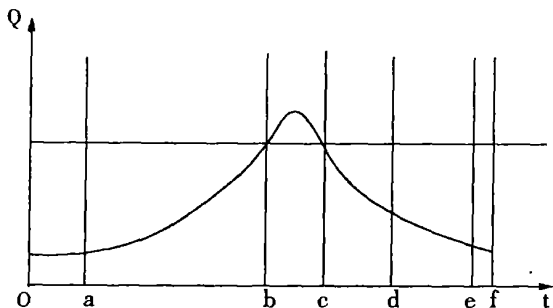


图2 日负荷曲线分析图

我们先求出低价电时能够存储的总冷量 (Q_{S_Low}) (图2所示的 0a 段和 ef 段), 上坡边充冷边供冷所能提供的总冷量 (Q_{S_Up}) (图2所示的 ab 段), 下坡边充冷边供冷所能提供的总冷量 (Q_{S_Down}) (图2所示的 cd 段) 和高价电时需要提供的总冷量 (Q_{N_High}) (图2所示的 de 段). 然后分析这四个量之间的关系, 选择具体分配的策略.

冷量的具体分配方法是一个具有约束条件的分段函数, 符号定义如下:

$QLH-N$: 联合供冷时需要融冰的总冷量;

QL_S : 低价电时能够存储的总冷量

Q_{S_U} : 上坡边充冷边供所能提供的总冷量

Q_{S_D} : 下坡边充冷边供所能提供的总冷量

Q_{N_H} : 高价电时需要提供的总冷量

$Q-O_i-S$: O_i 时刻所能提供的总冷量 ($i=1, 2, 3, 4$)

$Q-O_i-N$: O_i 时刻所能融冰的总冷量 ($i=1, 2, 3, 4$) Q_{du} :

多余的冷量冷量调配方案: 定义为分段函数, 参照日负荷曲线图2

0a 段: $Q_{du}=QL-S - QLH-N$ 约束条件:

$QL-S > QLH-N$

ab 段: 分配失败, 需增大功率 约束条件:

$QL-S + Q_{S_U} < QLH-N$

$Q_{du}=QL-S + Q_{S_U} - QLH-N$ 约束条件: $QL-S + Q_{S_U} > QLH-N$

cd 段: $Q_{du} + Q-O_1-S = Q-O_1-N + QLH-N$ 约束条件: $Q_{du} + Q_{S_D} > Q-N-H$

$Q_{du} + Q_{S_D} + Q-O_2-S = Q-O_2-N$ 约束条件: $Q_{du} + Q_{S_D} < Q-N-H$

$Q_{du} + Q-O_3-S = Q-O_3-N + Q-N-H$ 约束条件: $Q_{du} + Q_{S_U} + Q_{S_D} > Q-N-H$

de 段: $Q_{du} + Q_{S_U} + Q_{S_D} + Q-O_4-S = Q-O_4-N$ 约束条件: $Q_{du} + Q_{S_U} + Q_{S_D} < Q-N-H$

根据冷量调配方案, 获得一天时间表自动进行制冰和控制系统运行工况转换, 从而控制空调外设.

4.2 绘图控制模块

我们采用单文档的模式把标准负荷曲线、调整后的负荷曲线和智能匹配后的负荷曲线打印在同一张图纸上. 并且为他们设置了同样的坐标轴, 为了方便比较, 均采用同样大小的缩放比例. 同时, 在输出曲线效果图4的右下角, 按照十分钟的间隔输出基载主机和双工况主机的工作状况. “开”, 表示主机工作, “关”, 表示主机不工作.

为了方便比较不同时刻负荷的差别, 我们采用填充的颜色随负荷量值的变化而变化. 如果相临时刻的负荷量相等, 他们所填充的颜色就一样, 这样, 负荷量的波动就可以很明显的表现出来, 如图4所示:

高价电时段为 cd 段, 低价电时段为 0a 段和 de 段, 平价电时段为 ac 段. 基载主机和双工况主机同时工作仍然不能满足负荷需求的“山峰”时段为 bc 段.

在图4中, 我们可以很明显的看出智能配冷前后日负荷曲线的变化. 最明显的就是“移峰填谷”, 在调整后的负荷曲线图中, bc 段的负荷“山峰” (基载主机和双工况主机之和 870 所对应的直线以上部分) 已经被移到了低价电时段的 0a 段和 de 段这两个“山谷”. 并且, 我们在高价电时段尽量少工作, 在低价电时段尽量多工作多蓄冷. 在图4上, 高价电时段 (cd 段) 所需要的负荷已经基本移动到了低价电时段 (0a 段和 de 段) 和平价电时段 (ac 段). 由于负荷量和用电量是正比关系, 所以经过智能配冷以后, 高价电时段用电量最少, 用电费用得到了最大程度上的节省.

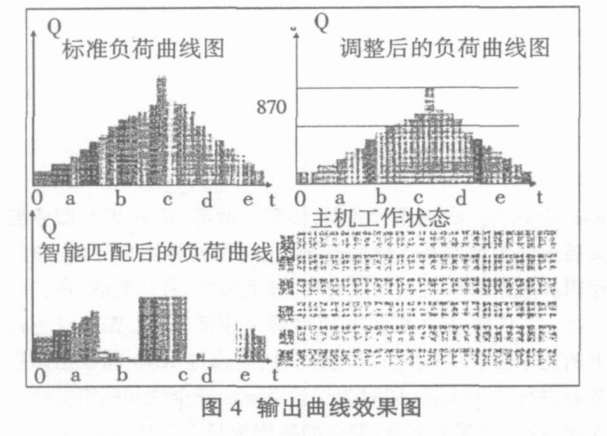
5 系统的经济性分析

采用优化控制策略, 就是以全天运行费为目标函数, 在满足用户负荷需求, 蓄冰设备融冰能力的约束条件下, 使全天运行费最小. 运行费包括制冷机组 (双工况主机和基载主机)、泵和风扇的运行费, 优化控制数学模型为:

$$M_{min} = \sum_{i=1}^N Q_{si} \times a_{si} + \sum_{i=1}^N [q_i - q_{si}] \times b_i + \sum_{i=1}^N q_{ji} \times a_{ji}$$

$$\text{约束条件: } 0 \leq q_{si} \leq SC, 0 \leq \sum_{i=1}^N q_i - q_{si} \leq 8 \times NC$$

M:全天运行费用;元
 q_i :i 时刻双工况主机提供的冷负荷,kW
 q_{si} :i 时刻双工况主机承担的负荷,kW;
 a_{si} :i 时刻双工况主机单位供冷负荷费用,元/kW
 q_{ji} :i 时刻基载主机承担的负荷;kW;
 a_{ji} :i 时刻基载主机单位供冷负荷费用,元/kW
 b_i :i 时刻蓄冰罐单位供冷负荷费用,元/kW;N:双工况主机运行时间
O:蓄冰罐供冷运行时间,h;
P:基载主机运行时间,h
SC:双工况主机最大供冷能力,kW;
NC:双工况主机夜间最大供冷能力,kW.



7 智能软件性能

冰蓄冷中央空调系统主机与蓄冷量匹配最优智能算法是针对当前冰蓄冷空调系统存在的问题,提出的一种全新的控制方案.力求最大限度的实现配冷的准确性,节省用户费用的最小化.它具有以下四个方面的性能:

(1) 根据每天温度的变化,自动调整日负荷曲线,为准确的实现主机与蓄冷量最优匹配奠定基础.

(2) 实现日负荷曲线的移峰填谷,保证系统在用电高峰时段的正常运行.

(3) 实现低价电蓄冷,高价电释冷,力求用户费用最省.

(4) 实现价电时段及电价的可调性,保障用户的最大利益.

参考文献:

[1] 飞思科技产品研发中心. Visual C 灵感编程[M]. 北京:电子工业出版社,2002.

[2] 官章全,唐晓卫. Visual C++ 6.0 编程实例详解[M]. 北京:电子工业出版社,1999

[3] 蔡宣三. 最优化与最优控制[M]. 北京:清华大学出版社,1982.

[4] 方贵银. 直接蓄冰系统蓄冷过程的动态模型研究[J]. 热能动力工程,1999,(3).

[5] 严德隆,等. 空调蓄冷应用技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.

[6] 张 华,等. 冰蓄冷空调系统的评价方法[J]. 节能技术,1997,(4).

Analysis of Method for Optimal Matching Ice Storage Central Air-conditioning's Mainframe with Cool Storage

DENG Hu-bin,ZHOU Jie

(School of Information Engineering,East China Jiaotong University,Nanchang 330013,China)

Abstract: This article researches on the intelligent algorithm, with which the mainframe of the ice storage central air-conditioning matches the cool storage according to changes in extraneous temperature. The optimal controlling strategy of the ice storage central air-conditioning gives operation expense of the whole day as the target function. It can minimize the operation expense of the whole day under some constraint conditions including meeting needs for user load and melting capacity of devices for storing ice.

Keywords: ice storage; air conditioning; load; matching; the intelligent algorithm