



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105004015 B

(45)授权公告日 2017.07.28

(21)申请号 201510525972.7

CN 104374042 A,2015.02.25,

(22)申请日 2015.08.25

CN 104534627 A,2015.04.22,

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 104566868 A,2015.04.29,

申请公布号 CN 105004015 A

JP 特开2012-149839 A,1999.08.06,

(43)申请公布日 2015.10.28

周磊等.聚合空调负荷的温度调节方法改进及控制策略.《中国电机工程学报》.2014,第24卷(第31期),

(73)专利权人 东南大学

聂清珍.暖通空调系统节能与节支优化策略研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技II辑》.2010,C038-156.

地址 211103 江苏省南京市江宁区东山街道万安西路59号

(72)发明人 高赐威 张良杰

徐柳等.基于HS算法的Markov模型及收敛性分析.《西安工程大学学报》.2013,第27卷(第6期),

(74)专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所

(普通合伙) 32249

代理人 黄成萍

高赐威等.中央空调负荷聚合及平抑风电出力波动研究.《中国电机工程学报》.2009,第29卷(第00期),

(51)Int.Cl.

F24F 11/00(2006.01)

韩红燕等.改进的和声搜索算法在函数优化中的应用.《计算机工程》.2010,第36卷(第13期),

(56)对比文件

CN 104713197 A,2015.06.17,

CN 101363653 A,2009.02.11,

CN 102779228 A,2012.11.14,

CN 103234256 A,2013.08.07,

审查员 程玉蓉

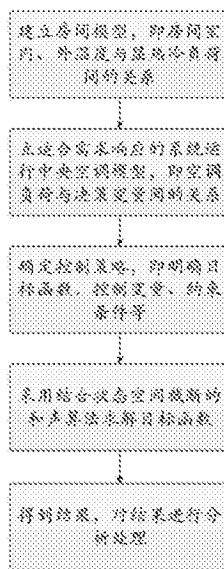
权利要求书5页 说明书11页 附图4页

(54)发明名称

一种基于需求响应的中央空调控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于需求响应的中央空调建模及控制策略,包括以下步骤:建立房间模型,即房间室内、外温度与显热冷负荷间的关系;建立适合需求响应的系统运行中央空调模型,即空调负荷与决策变量间的关系;确定控制策略,即明确目标函数、控制变量、约束条件等;采用结合状态空间截断的和声算法求解目标函数;得到结果,对结果进行分析处理。本发明通过细致建立模型,明确多控制变量协同优化的策略,为中央空调参与需求响应的系统运行提供了科学理论支持。



CN 105004015 B

1. 一种基于需求响应的中央空调控制方法, 中央空调系统运行中涉及三个循环, 分别为冷却水循环、冷冻水循环和空气循环, 冷却水循环将制冷机中的热量通过冷却水带入冷却塔中冷却, 冷冻水循环将制冷机产生的冷量通过冷冻水带入表冷器, 冷冻水循环通过表冷器与空气循环进行热交换, 风机设置在空气循环中, 在冷却水循环上设置定速冷却水泵, 在冷冻水循环上设置变速冷冻水泵; 其特征在于: 包括如下步骤:

(1) 建立房间模型, 即建立室内温度、室外温度与显热冷负荷间的关系, 具体为:

$$T_{in}^{t+1} = T_{out}^{t+1} - \frac{Q}{A} - (T_{out}^{t+1} - \frac{Q}{A} - T_{in}^t) \varepsilon \quad (\text{式 1})$$

$$Q = Q_c - \sum \sigma Q_{in} \quad (\text{式 2})$$

$$\varepsilon = e^{-\frac{\tau}{T_c}} \quad (\text{式 3})$$

$$Q_c = E_g Q_{c_d} \quad (\text{式 4})$$

式中: T_{in}^t 表示 t 时刻的室内温度, T_{out}^t 表示 t 时刻的室外温度, Q 为显热冷负荷, A 为导热系数, ε 为散热系数, Q_c 为空调制冷负荷, σ 为热负荷影响系数, Q_{in} 为室内热负荷, τ 为控制时间间隔, T_c 为时间常数, E_g 为热交换效率, Q_{c_d} 为制冷机设计冷量;

(2) 建立适合需求响应的系统运行中央空调模型, 即空调负荷与决策变量间的关系, 具体为:

$$P_{\Sigma} = P_c(t_{co}, t_{ni}, t_s, t_N) + P_f(t_s, t_N) + P_p(t_s, t_{co}, t_{ci}, t_N) + P_z(t_{ni}) \quad (\text{式 5})$$

式中: P_{Σ} 为总功率, P_c 为制冷机功率, P_f 为风机功率, P_p 为水泵功率, P_z 为冷却塔功率; t_{co} 为制冷机出水温度, t_{ni} 为冷却水进水温度, t_s 为送风温度, t_N 为室内干球温度, t_{ci} 为制冷机进水温度; 具体步骤为:

(2.1) 建立制冷机的模型

$$P_c = Q_{c_d} \beta_{C\&T} \frac{1}{COP_d} \beta_{E\&T} \beta_{E\&F} \quad (\text{式 6})$$

式中: COP_d 为制冷机设计 COP 值, $\beta_{C\&T}$ 为制冷机制冷量因数, $\beta_{E\&T}$ 为制冷机 EIR 温度因数, $\beta_{E\&F}$ 为制冷机 EIR 负荷率因数; EIR 指能量消耗与制冷量的比值, EIR 与 COP 互为倒数关系; 具体步骤为:

(2.1.1) $\beta_{C\&T}$ 为制冷机制冷量因数, 制冷机冷量与温度之间的曲线是一个二次的性能曲线, 包括两个自变量, 即制冷机出水温度 t_{co} 和冷却水进水温度 t_{ni} :

$$\beta_{C\&T} = C_{CT1} + C_{CT2} t_{co} + C_{CT3} t_{co}^2 + C_{CT4} t_{ni} + C_{CT5} t_{ni}^2 + C_{CT6} t_{co} t_{ni} \quad (\text{式 18})$$

式中: C_{CT1} 、 C_{CT2} 、 C_{CT3} 、 C_{CT4} 和 C_{CT5} 为制冷机特性系数;

(2.1.2) $\beta_{E\&T}$ 为制冷机 EIR 温度因数, EIR 与温度之间的关系曲线是一个二次曲线, 定义为制冷机 EIR 随温度的变化, 部分负荷率是指实际冷负荷与制冷机可用冷量的比值:

$$\beta_{E\&T} = C_{ET1} + C_{ET2} t_{co} + C_{ET3} t_{co}^2 + C_{ET4} t_{ni} + C_{ET5} t_{ni}^2 + C_{ET6} t_{co} t_{ni} \quad (\text{式 19})$$

式中: C_{ET1} 、 C_{ET2} 、 C_{ET3} 、 C_{ET4} 、 C_{ET5} 和 C_{ET6} 为制冷机特性系数;

(2.1.3) $\beta_{E\&F}$ 为制冷机 EIR 负荷率因数, EIR 与部分负荷率之间的关系曲线是一个二次曲线, 定义为制冷机 EIR 随部分负荷率的变化, 部分负荷率是指实际冷负荷与制冷机可用冷量的比值:

$$\beta_{E\&F} = C_{EF1} + C_{EF2}\mu_c + C_{EF3}\mu_c^2 \quad (\text{式 } 20)$$

式中： C_{EF1} 、 C_{EF2} 和 C_{EF3} 为制冷机特性系数， μ_c 为制冷机部分负荷率；

$$\mu_c = \frac{1.01m_a(t_{ai} - t_{ao})}{Q_{c,d}\beta_{C\&T}} \quad (\text{式 } 21)$$

(2.1.4) 系统中，冷却水由冷却塔提供，制冷机的冷却水进水温度 t_{ni} 与冷却塔出水温度 t_{zo} 相等；根据制冷机冷负荷和制冷机功率，求得冷却水回路负荷，在此基础上，冷却水出水温度 t_{no} 按下式求解：

$$t_{no} = t_{ni} + \frac{P_c\eta_c + 1.01m_a(t_{ai} - t_{ao})}{m_c C_p} \quad (\text{式 } 22)$$

式中： η_c 为压缩机效率， m_c 为冷却水流量， C_p 为冷却水的比热；

(2.2) 建立风机的模型

$$P_f = \frac{\mu_f m_{a,d} P_d}{1000 \varepsilon_f \rho_a} \quad (\text{式 } 7)$$

式中： μ_f 为风机部分负荷因数， $m_{a,d}$ 为风机设计风量， P_d 为风机设计压力， ε_f 为风机总效率， ρ_a 为空气密度；

$$\mu_f = C_{f1} + C_{f2}\left(\frac{m_a}{m_{a,d}}\right) + C_{f3}\left(\frac{m_a}{m_{a,d}}\right)^2 + C_{f4}\left(\frac{m_a}{m_{a,d}}\right)^3 + C_{f5}\left(\frac{m_a}{m_{a,d}}\right)^4 \quad (\text{式 } 8)$$

式中： C_{f1} 、 C_{f2} 、 C_{f3} 、 C_{f4} 和 C_{f5} 为风机特性系数， m_a 为送风量；

$$m_a = \frac{Q_c}{1.01(t_N - t_s)} \quad (\text{式 } 9)$$

式中：1.01为干空气定压比热；

(2.3) 建立水泵的模型

$$P_p = \mu_p P_{p,d} \quad (\text{式 } 10)$$

式中： $P_{p,d}$ 为水泵设计功率， μ_p 为水泵部分负荷因数；

$$\mu_p = \begin{cases} 1 & \text{定速冷却水泵} \\ C_{p1} + C_{p2}\left(\frac{m_w}{\rho_w v_{w,d}}\right) + C_{p3}\left(\frac{m_w}{\rho_w v_{w,d}}\right)^2 + C_{p4}\left(\frac{m_w}{\rho_w v_{w,d}}\right)^3 & \text{变速冷冻水泵} \end{cases} \quad (\text{式 } 11)$$

式中： C_{p1} 、 C_{p2} 、 C_{p3} 和 C_{p4} 为变速冷冻水泵特性系数， m_w 为变速冷冻水泵流量， ρ_w 为水密度， $v_{w,d}$ 为变速冷冻水泵设计水流速；变速冷冻水泵采用变温差控制，即 m_w 随表冷器温差变化：

$$m_w = \frac{1.01m_a(t_{ai} - t_{ao})}{C_p(t_{wi} - t_{wo})} \quad (\text{式 } 12)$$

式中： t_{ai} 为表冷器进风温度， t_{ao} 为表冷器出风温度， t_{wi} 为表冷器进水温度， t_{wo} 为表冷器出水温度；

(2.4) 建立冷却塔的模型

$$P_z = \omega_z P_{z,d} \quad (\text{式 } 13)$$

式中： ω_z 为冷却塔风机的开启率， $P_{z,d}$ 为冷却塔风机的额定功率；

$$\omega_z = k_z t_{ni} \quad (\text{式 } 14)$$

式中： k_z 为冷却系数；

(2.5) 建立表冷器的模型

表冷器是连接冷冻水循环和空腔循环的模块，表冷器不产生功率消耗，但是表冷器将各个模块的决策变量联系在一起；表冷器的热交换效率为：

$$E_g = \frac{t_{ai} - t_{ao}}{t_{wo} - t_{wi}} \quad (\text{式 15})$$

设定表冷器出风温度 t_{ao} 等于送风温度 t_s ，表冷器进风温度 t_{ai} 通过下式计算：

$$t_{ai} = \frac{(m_a - m_x)t_r + m_x t_x}{m_a} \quad (\text{式 16})$$

式中： m_a 为送风风量， m_x 为新风风量， t_r 为回风温度， t_x 新风温度；

$$t_r = t_N + \frac{\sum \sigma Q_m}{1.01 m_a} \quad (\text{式 17})$$

表冷器的冷却水回路中，冷冻水来自制冷机，表冷器进水温度 t_{wi} 等于制冷机出水温度 t_{co} ；

(3) 确定控制策略，即明确目标函数、控制变量和约束条件；确定控制策略的过程具体包括以下步骤：

(3.1) 建立目标函数

①单台空调情况：要求 n 个控制周期削减负荷总量最大，目标函数为：

$$\max \sum_{j=1}^n (P_D - P_\Sigma) \quad (\text{式 23})$$

②单台空调情况：要求 n 个控制周期内保证削减量最小的周期有最好的削减效果，目标函数为：

$$\max \left[\min_{j=1}^n (P_D - P_\Sigma) \right] \quad (\text{式 24})$$

③多台空调情况：经过控制之后负荷曲线最接近电网公司给出的目标负荷曲线，目标函数为：

$$\min \sum_t \left| G(t) - \left[D(t) - \sum_i (P_D - P_\Sigma) \right] \right| \quad (\text{式 25})$$

式中： P_0 为未受控的中央空调负荷； $G(t)$ 为电网公司给定的目标负荷曲线， $D(t)$ 为日负荷曲线；

(3.2) 明确控制变量

控制变量包括室内温度 T_{in}^t 、送风温度 t_s 、制冷机进水温度 t_{ci} 、制冷机出水温度 t_{co} 、冷却水进水温度 t_{ni} ，设定控制时间间隔 τ 为5~10min，一个控制时间间隔内，控制变量不发生变化；

(3.2) 明确约束条件

①室内干球温度约束：

$$t_{Nmin} \leq t_N \leq t_{Nmax} \quad (\text{式 26})$$

②送风温度约束：

$$t_{smin} \leq t_s \leq t_{smax} \quad (\text{式27})$$

③制冷机进水温度约束

$$t_{cimin} \leq t_{ci} \leq t_{cimax} \quad (\text{式28})$$

④制冷机出水温度约束

$$t_{comin} \leq t_{co} \leq t_{comax} \quad (\text{式29})$$

⑤冷却水进水温度约束:

$$t_{nimin} \leq t_{ni} \leq t_{nimax} \quad (\text{式30})$$

⑥送风风量约束:

$$m_{amin} \leq m_a \leq m_{amax} \quad (\text{式31})$$

⑦变速冷冻水泵流量约束:

$$m_{wmin} \leq m_w \leq m_{wmax} \quad (\text{式32})$$

(4) 根据上级调度部门指标,采用结合状态空间截断的和声搜索算法对目标函数进行求解;

(5) 得到结果,对结果进行分析处理。

2. 根据权利要求1所述的基于需求响应的中央空调控制方法,其特征在于:所述步骤(4)中,采用结合状态空间截断的和声搜索算法对目标函数进行求解,具体过程包括如下步骤:

(4.1) 和声搜索算法参数初始化

和声算法的初始化参数包括目标函数、约束条件和其他参数,其中:

目标函数为步骤(3.1)中建立的目标函数;

约束条件为步骤(3.2)中建立的约束条件;

其他参数包括:①解的维数:即决策变量个数,共 $5n$ 个, n 为控制周期数;②和声记忆库考虑概率HMCR:取值为0.8;③微调概率PAR:取值为0.2;④最大迭代次数NI:取值为5000;⑤终止条件:达到最大迭代次数;

(4.2) 和声记忆库HM初始化

随机产生 N 组决策变量组,即产生 N 组(式33):

$$\begin{bmatrix} t_{N_1} & t_{N_2} & \dots & t_{N_n} \\ t_{s_1} & t_{s_2} & \dots & t_{s_n} \\ t_{ci_1} & t_{ci_2} & \dots & t_{ci_n} \\ t_{co_1} & t_{co_2} & \dots & t_{co_n} \\ t_{ni_1} & t_{ni_2} & \dots & t_{ni_n} \end{bmatrix}_{5 \times n} \quad (\text{式33})$$

将这 N 组决策变量组作为 N 个初始解放置于和声记忆库HM中,并计算每组初始解的目标函数值,即将 N 组决策变量带入目标函数中进行求解;

(4.3) 生成新解

生成一个随机数 r_1 , $0 < r_1 < 1$:若 r_1 小于给定的HMCR,则基于和声记忆库HM中的决策变量组生成新解;否则,按照(式33)在和声记忆库HM外随机生成一组新的决策变量组作为新解;

基于和声记忆库HM生成新解的方法为:生成一个随机数 r_2 , $0 < r_2 < 1$:若 r_2 小于给定的PAR,则对和声记忆库HM进行扰动,产生 N 组新决策变量组作为 N 组新解;否则,从和声记忆库

HM中随机选择一组决策变量作为新解；

对和声记忆库HM进行扰动的扰动原则为：对于和声记忆库HM的N组决策变量组，每组决策变量组发生扰动的概率为 r_2 ；发生扰动的决策变量组交换其奇数列与偶数列的决策变量数值，即交换奇数控制周期和偶数控制周期的 $[t_N, t_s, t_{ci}, t_{co}, t_{ni}]$ 数值，具体为，将(式33)的第i列和第i+1列整体进行交换：当n为偶数时， $i=1, 2, \dots, n-1$ ，当n为奇数时， $i=1, 2, \dots, n-2$ 或 $i=2, 3, \dots, n-1$ ；将扰动后的声记忆库HM中的N组新决策变量作为N组新解；

(4.4) 更新和声记忆库HM

将新解带入目标函数中进行求解，将新解的计算结果与声记忆库HM中的最差解进行比较：

- ①若所有计算结果均劣于和声记忆库HM中的最差解，则不更新和声记忆库HM；
- ②若计算结果中存在优于和声记忆库HM中的最差解的新解，并且这样的新解仅有一个，则使用该新解替代该最差解，更新和声记忆库HM；
- ③若计算结果中存在优于和声记忆库HM中的最差解的新解，并且这样的新解有两个以上，则采用状态空间截断法，对这两个以上新解的计算结果和和声记忆库HM中N个解的计算结果进行排序，选取计算结果最优的N个解对和声记忆库HM进行更新；

(4.5) 判断是否满足终止条件

判断是否满足终止条件：若满足，则终止循环并输出结果；否则，重复步骤(4.3)和(4.4)。

一种基于需求响应的中央空调控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统及其自动化技术,具体涉及一种中央空调参与需求响应的建模及控制策略。

背景技术

[0002] 日前,我国电力供需仍有可能出现紧张状态,需求响应技术是解决这一矛盾的关键,它可以增强系统应对潮流波动的能力、提高系统运行效率、促进节能减排。在夏季负荷高峰期时,空调负荷在电网中已占尖峰负荷的30%-40%,使得空调负荷成为需求响应技术应用的主要研究对象。空调负荷所属建筑环境具备一定的热存储能力,且在一定的温度范围内人体无明显的不适感觉,从而为负荷调整创造了条件。特别是中央空调系统,与分体式空调相比,中央空调系统一般容量更大,可控性更强,即具有更高的需求响应潜力和挖掘意义。

[0003] 目前采用的中央空调控制技术主要是以节能或节支为主要目的,且更注重硬件的改造,而研究中央空调参与需求响应的很少。本发明提供了建立了适合参与需求响应的中央空调系统的模型,以削减高峰负荷或跟踪负荷曲线为目标,分析了多个控制变量协同控制下影响下的系统控制策略。采用结合状态空间截断的和声算法,求解目标函数,并通过实例验证了模型和控制策略的准确性。为进一步研究中央空调参与系统运行、调峰调频提供参考。研究中央空调参与需求响应,有利于更有效的电网调度,有利于调动电力用户参与需求响应的积极性实现有限电能资源的高效利用,提高用电效率。

发明内容

[0004] 发明目的:为了克服现有技术中存在的不足,本发明从参与需求响应的角度出发,提供一种新的中央空调建模及控制策略,通过建立常规中央空调系统各模块的模型,以削减高峰负荷或跟踪负荷曲线为目标,同时给出多个控制变量协同控制下的系统控制策略,并利用结合状态空间截断的和声算法求解函数。

[0005] 技术方案:为实现上述目的,本发明采用的技术方案为:

[0006] 一种基于需求响应的中央空调建模及控制策略,中央空调系统运行中涉及三个循环,分别为冷却水循环、冷冻水循环和空气循环,冷却水循环将制冷机中的热量通过冷却水带入冷却塔中冷却,冷冻水循环将制冷机产生的冷量通过冷冻水带入表冷器,冷冻水循环通过表冷器与空气循环进行热交换,风机设置在空气循环中,在冷却水循环上设置定速冷却水泵,在冷冻水循环上设置变速冷冻水泵;包括如下步骤:

[0007] (1) 建立房间模型,即建立室内温度、室外温度与显热冷负荷间的关系,具体为:

$$[0008] \quad T_{in}^{t+1} = T_{out}^{t+1} - \frac{Q}{A} - (T_{out}^{t+1} - \frac{Q}{A} - T_{in}^t) \varepsilon \quad (式1)$$

$$[0009] \quad Q = Q_c - \sum \sigma Q_{in} \quad (式2)$$

$$[0010] \quad \varepsilon = e^{-\frac{\tau}{T_c}} \quad (式3)$$

[0011] $Q_c = E_g Q_{c_d}$ (式4)

[0012] 式中： T_{in}^t 表示t时刻的室内温度， T_{out}^t 表示t时刻的室外温度，Q为显热冷负荷，A为导热系数， ε 为散热系数， Q_c 为空调制冷负荷， σ 为热负荷影响系数（本发明考虑到室内热负荷的随机性，令 σ 服从[0, 1]上的均匀分布）， Q_{in} 为室内热负荷， τ 为控制时间间隔， T_c 为时间常数， E_g 为热交换效率， Q_{c_d} 为制冷机设计冷量；

[0013] (2) 建立适合需求响应的系统运行中央空调模型，即空调负荷与决策变量间的关系，具体为：

[0014] $P_\Sigma = P_c(t_{co}, t_{ni}, t_s, t_N) + P_f(t_s, t_N) + P_p(t_s, t_{co}, t_{ci}, t_N) + P_z(t_{ni})$ (式5)

[0015] 式中： P_Σ 为总功率， P_c 为制冷机功率， P_f 为风机功率， P_p 为水泵功率， P_z 为冷却塔功率； t_{co} 为制冷机出水温度， t_{ni} 为冷却水进水温度， t_s 为送风温度， t_N 为室内干球温度， t_{ci} 为制冷机进水温度；考虑中央空调参与日前市场需求响应，一般将控制时间间隔 τ 设定为5-10min，并忽略调整时间；

[0016] (3) 确定控制策略，即明确目标函数、控制变量和约束条件；

[0017] (4) 根据上级调度部门指标，针对这一大规模、多变量、多约束混合整数非线性多目标规划问题，采用结合状态空间截断的和声搜索算法（简称HS算法）对目标函数进行求解；

[0018] (5) 得到结果，对结果进行分析处理。

[0019] 具体的，所述步骤(2)中，建立适合需求响应的系统运行中央空调模型的具体步骤为：

[0020] (2.1) 建立制冷机的模型

[0021] $P_c = Q_{c_d} \beta_{C\&T} \frac{1}{COP_d} \beta_{E\&T} \beta_{E\&F}$ (式6)

[0022] 式中： COP_d 为制冷机设计COP值， $\beta_{C\&T}$ 为制冷机制冷量因数， $\beta_{E\&T}$ 为制冷机EIR温度因数， $\beta_{E\&F}$ 为制冷机EIR负荷率因数；EIR指能量消耗与制冷量的比值，EIR与COP互为倒数关系；

[0023] (2.2) 建立风机的模型

[0024] $P_f = \frac{\mu_f m_{a_d} P_d}{1000 \varepsilon_f \rho_a}$ (式7)

[0025] 式中： μ_f 为风机部分负荷因数， m_{a_d} 为风机设计风量， P_d 为风机设计压力， ε_f 为风机总功率， ρ_a 为空气密度；

[0026] $\mu_f = C_{f1} + C_{f2} \left(\frac{m_a}{m_{a_d}}\right) + C_{f3} \left(\frac{m_a}{m_{a_d}}\right)^2 + C_{f4} \left(\frac{m_a}{m_{a_d}}\right)^3 + C_{f5} \left(\frac{m_a}{m_{a_d}}\right)^4$ (式8)

[0027] 式中： C_{f1} 、 C_{f2} 、 C_{f3} 、 C_{f4} 和 C_{f5} 为风机特性系数， m_a 为送风风量；

[0028] $m_a = \frac{Q_c}{1.01(t_N - t_s)}$ (式9)

[0029] 式中：1.01为干空气定压比热；

[0030] (2.3) 建立水泵的模型

[0031] $P_p = \mu_p P_{p_d}$ (式10)

[0032] 式中： P_{p_d} 为水泵设计功率， μ_p 为水泵部分负荷因数；

$$[0033] \quad \mu_p = \begin{cases} 1 & \text{定速冷却水泵} \\ C_{p1} + C_{p2} \left(\frac{m_w}{\rho_w v_{w,d}} \right) + C_{p3} \left(\frac{m_w}{\rho_w v_{w,d}} \right)^2 + C_{p4} \left(\frac{m_w}{\rho_w v_{w,d}} \right)^3 & \text{变速冷冻水泵} \end{cases} \quad (\text{式 11})$$

[0034] 式中： C_{p1} 、 C_{p2} 、 C_{p3} 和 C_{p4} 为变速冷冻水泵特性系数， m_w 为变速冷冻水泵流量， ρ_w 为水密度， $v_{w,d}$ 为变速冷冻水泵设计水流速；变速冷冻水泵采用变温差控制，即 m_w 随表冷器温差变化：

$$[0035] \quad m_w = \frac{1.01m_a(t_{ai} - t_{ao})}{C_p(t_{wi} - t_{wo})} \quad (\text{式 12})$$

[0036] 式中： t_{ai} 为表冷器进风温度， t_{ao} 为表冷器出风温度， t_{wi} 为表冷器进水温度， t_{wo} 为表冷器出水温度；

[0037] (2.4) 建立冷却塔的模型

$$[0038] \quad P_z = \omega_z P_{z,d} \quad (\text{式 13})$$

[0039] 式中： ω_z 为冷却塔风机的开启率， $P_{z,d}$ 为冷却塔风机的额定功率； ω_z 与冷却塔出水温度存在近似线性关系，因此冷却塔功率由冷却塔出水温度决定；而在不考虑水泵升温的情况下，可设定冷却塔出水温度 t_{zo} 和冷却水进水温度 t_{ni} 相等，因此有：

$$[0040] \quad \omega_z = k_z t_{ni} \quad (\text{式 14})$$

[0041] 式中： k_z 为冷却系数；

[0042] (2.5) 建立表冷器的模型

[0043] 表冷器是连接冷冻水循环和空腔循环的模块，表冷器不产生功率消耗，但是表冷器将各个模块的决策变量联系在一起；表冷器的热交换效率为：

$$[0044] \quad E_g = \frac{t_{ai} - t_{ao}}{t_{wo} - t_{wi}} \quad (\text{式 15})$$

[0045] 可设定表冷器出风温度 t_{ao} 等于送风温度 t_s ，表冷器进风温度 t_{ai} 通过下式计算：

$$[0046] \quad t_{ai} = \frac{(m_a - m_x)t_r + m_x t_x}{m_a} \quad (\text{式 16})$$

[0047] 式中： m_a 为送风风量， m_x 为新风风量， t_r 为回风温度， t_x 新风温度；

$$[0048] \quad t_r = t_N + \frac{\sum \sigma Q_{in}}{1.01m_a} \quad (\text{式 17})$$

[0049] 表冷器的冷却水回路中，冷冻水来自制冷机，在不考虑水泵升温的情况下，表冷器进水温度 t_{wi} 等于制冷机出水温度 t_{co} 。

[0050] 具体的，所述步骤(2.1)中，建立制冷机的模型的具体步骤为：

[0051] (2.1.1) $\beta_{C\&T}$ 为制冷机制冷量因数，制冷机冷量与温度之间的曲线是一个二次的性能曲线，包括两个自变量，即制冷机出水温度 t_{co} 和冷却水进水温度 t_{ni} ：

$$[0052] \quad \beta_{C\&T} = C_{CT1} + C_{CT2}t_{co} + C_{CT3}t_{co}^2 + C_{CT4}t_{ni} + C_{CT5}t_{ni}^2 + C_{CT6}t_{co}t_{ni} \quad (\text{式 18})$$

[0053] 式中： C_{CT1} 、 C_{CT2} 、 C_{CT3} 、 C_{CT4} 和 C_{CT5} 为制冷机特性系数；

[0054] (2.1.2) $\beta_{E\&T}$ 为制冷机EIR温度因数，EIR与部分负荷率之间的关系曲线是一个二次曲线，它可以定义为制冷机EIR随部分负荷率的变化，部分负荷率是指实际冷负荷与制冷机可用冷量的比值：

$$[0055] \quad \beta_{E\&T} = C_{ET1} + C_{ET2}t_{co} + C_{ET3}t_{co}^2 + C_{ET4}t_{ni} + C_{ET5}t_{ni}^2 + C_{ET6}t_{co}t_{ni} \quad (\text{式 } 19)$$

[0056] 式中： C_{ET1} 、 C_{ET2} 、 C_{ET3} 、 C_{ET4} 、 C_{ET5} 和 C_{ET6} 为制冷机特性系数；

[0057] (2.1.3) $\beta_{E\&F}$ 为制冷机EIR负荷率因数，EIR与部分负荷率之间的关系曲线是一个二次曲线，它可以定义为制冷机EIR随部分负荷率的变化，部分负荷率是指实际冷负荷与制冷机可用冷量的比值：

$$[0058] \quad \beta_{E\&F} = C_{EF1} + C_{EF2}\mu_c + C_{EF3}\mu_c^2 \quad (\text{式 } 20)$$

[0059] 式中： C_{EF1} 、 C_{EF2} 和 C_{EF3} 为制冷机特性系数， μ_c 为制冷机部分负荷率；

$$[0060] \quad \mu_c = \frac{1.01m_a(t_{ai} - t_{ao})}{Q_{c,d}\beta_{C\&T}} \quad (\text{式 } 21)$$

[0061] (2.1.4) 系统中，冷却水由冷却塔提供，忽略定速冷却水泵的升温，则制冷机的冷却水进水温度 t_{ni} 与冷却塔出水温度 t_{zo} 相等；根据制冷机冷负荷和制冷机功率，求得冷却水回路负荷，在此基础上，冷却水出水温度 t_{no} 按下式求解：

$$[0062] \quad t_{no} = t_{ni} + \frac{P_c\eta_c + 1.01m_a(t_{ai} - t_{ao})}{m_c C_p} \quad (\text{式 } 22)$$

[0063] 式中： η_c 为压缩机效率， m_c 为冷却水流量， C_p 为冷却水的比热。

[0064] 具体的，所述步骤(3)中，确定控制策略的过程具体包括以下步骤：

[0065] (3.1) 建立目标函数

[0066] ①单台空调情况：在参与控制前后，有最大的负荷削减量，要求 n 个控制周期削减负荷总量最大，目标函数为：

$$[0067] \quad \max \sum_{j=1}^n (P_D - P_{\Sigma}) \quad (\text{式 } 23)$$

[0068] ②单台空调情况：电网公司希望削减效果在较长时间内保持稳定，要求 n 个控制周期内保证削减量最小的周期有最好的削减效果，目标函数为：

$$[0069] \quad \max \left[\min_{j=1}^n (P_D - P_{\Sigma}) \right] \quad (\text{式 } 24)$$

[0070] ③多台空调情况：经过控制之后负荷曲线最接近电网公司给出的目标负荷曲线，目标函数为：

$$[0071] \quad \min \sum_t \left| G(t) - \left[D(t) - \sum_i (P_D - P_{\Sigma}) \right] \right| \quad (\text{式 } 25)$$

[0072] 式中： P_D 为未受控的中央空调负荷，它是空调不受控的负荷预测值，可由该空调历史负荷曲线得到； $G(t)$ 为电网公司给定的目标负荷曲线， $D(t)$ 为日负荷曲线；

[0073] (3.2) 明确控制变量

[0074] 控制变量包括室内温度 T_m^i 、送风温度 t_s 、制冷机进水温度 t_{ci} 、制冷机出水温度 t_{co} 、冷却水进水温度 t_{ni} ，设定控制时间间隔 τ 为5~10min，一个控制时间间隔内，控制变量不发生变化；

[0075] (3.2) 明确约束条件

[0076] ①室内干球温度约束：

$$[0077] \quad t_{N\min} \leq t_N \leq t_{N\max} \quad (\text{式 } 26)$$

[0078] ②送风温度约束:

$$[0079] \quad t_{smin} \leq t_s \leq t_{smax} \quad (\text{式27})$$

[0080] ③制冷机进水温度约束

$$[0081] \quad t_{cimmin} \leq t_{ci} \leq t_{cimmax} \quad (\text{式28})$$

[0082] ④制冷机出水温度约束

$$[0083] \quad t_{comin} \leq t_{co} \leq t_{comax} \quad (\text{式29})$$

[0084] ⑤冷却水进水温度约束:

$$[0085] \quad t_{nimin} \leq t_{ni} \leq t_{nimax} \quad (\text{式30})$$

[0086] ⑥送风风量约束:

$$[0087] \quad m_{amin} \leq m_a \leq m_{amax} \quad (\text{式31})$$

[0088] ⑦变速冷冻水泵流量约束:

$$[0089] \quad m_{wmin} \leq m_w \leq m_{wmax} \quad (\text{式32})$$

[0090] 具体的,所述步骤(4)中,采用结合状态空间截断的和声搜索算法对目标函数进行求解,具体过程包括如下步骤:

[0091] (4.1) 和声搜索算法参数初始化

[0092] 和声算法的初始化参数包括目标函数、约束条件和其他参数,其中:

[0093] 目标函数为步骤(3.1)中建立的目标函数;

[0094] 约束条件为步骤(3.2)中建立的约束条件;

[0095] 其他参数包括:①解的维数:即决策变量个数,共 $5n$ 个, n 为控制周期数;②和声记忆库考虑概率HMCR:取值为 0.8 ;③微调概率PAR:取值为 0.2 ;④最大迭代次数NI:取值为 5000 ;⑤终止条件:达到最大迭代次数;

[0096] (4.2) 和声记忆库HM初始化

[0097] 随机产生 N 组决策变量组,即产生 N 组(式33):

$$[0098] \quad \begin{bmatrix} t_{N_1} & t_{N_2} & \dots & t_{N_n} \\ t_{s_1} & t_{s_2} & \dots & t_{s_n} \\ t_{ci_1} & t_{ci_2} & \dots & t_{ci_n} \\ t_{co_1} & t_{co_2} & \dots & t_{co_n} \\ t_{ni_1} & t_{ni_2} & \dots & t_{ni_n} \end{bmatrix}_{5 \times n} \quad (\text{式33})$$

[0099] 将这 N 组决策变量组作为 N 个初始解放置于和声记忆库HM中,并计算每组初始解的目标函数值,即将 N 组决策变量带入目标函数中进行求解;

[0100] (4.3) 生成新解

[0101] 生成一个随机数 $r1$, $0 < r1 < 1$:若 $r1$ 小于给定的HMCR,则基于和声记忆库HM中的决策变量组生成新解;否则,按照(式33)在和声记忆库HM外随机生成一组新的决策变量组作为新解;

[0102] 基于和声记忆库HM生成新解的方法为:生成一个随机数 $r2$, $0 < r2 < 1$:若 $r2$ 小于给定的PAR,则对和声记忆库HM进行扰动,产生 N 组新决策变量组作为 N 组新解;否则,从和声记忆库HM中随机选择一组决策变量作为新解;

[0103] 对和声记忆库HM进行扰动的扰动原则为:对于和声记忆库HM的 N 组决策变量组,每

组决策变量组发生扰动的概率为 r_2 ;发生扰动的决策变量组交换其奇数列与偶数列的决策变量数值,即交换奇数控制周期和偶数控制周期的 $[t_n, t_s, t_{ci}, t_{co}, t_{ni}]$ 数值,具体为,将(式33)的第 i 列和第 $i+1$ 列整体进行交换:当 n 为偶数时, $i=1,2,\dots,n-1$,当 n 为奇数时, $i=1,2,\dots,n-2$ (最后一列不变)或 $i=2,3,\dots,n-1$ (第一列不变);将扰动后的声记忆库HM中的 N 组新决策变量作为 N 组新解;

[0104] (4.4)更新和声记忆库HM

[0105] 将新解带入目标函数中进行求解,将新解的计算结果与声记忆库HM中的最差解进行比较:

[0106] ①若所有计算结果均劣于和声记忆库HM中的最差解,则不更新和声记忆库HM;

[0107] ②若计算结果中存在优于和声记忆库HM中的最差解的新解,并且这样的新解仅有一个,则使用该新解替代该最差解,更新和声记忆库HM;

[0108] ③若计算结果中存在优于和声记忆库HM中的最差解的新解,并且这样的新解有两个以上,则采用状态空间截断法,对这两个以上新解的计算结果和和声记忆库HM中 N 个解的计算结果进行排序,选取计算结果最优的 N 个解对和声记忆库HM进行更新;

[0109] (4.5)判断是否满足终止条件

[0110] 判断是否满足终止条件:若满足,则终止循环并输出结果;否则,重复步骤(4.3)和(4.4)。

[0111] 有益效果:本发明提供的基于需求响应的中央空调建模及控制策略,建立了中央空调的能应用于需求相应的系统运行模型,并在多控制变量协调优化的情况下,运用结合状态空间截断的和声算法,求解了削减量最大或跟踪负荷曲线的目标函数;本发明有益于评估中央空调参与需求响应的潜力,并能进一步应用于求解中央空调应用于系统调峰调频等一系列问题;另外,本发明方法具有普适性,各城市、各行业均可运用。

附图说明

[0112] 图1为本发明方法的总流程图;

[0113] 图2为中央空调各模块关系图;

[0114] 图3为结合状态空间截断的和声算法求解流程图;

[0115] 图4为中央空调参与负荷削减结果图。

具体实施方式

[0116] 下面结合附图对本发明作更进一步的说明。

[0117] 一种基于需求响应的中央空调建模及控制策略,如图2所示,中央空调系统运行中涉及三个循环,分别为冷却水循环、冷冻水循环和空气循环,冷却水循环将制冷机中的热量通过冷却水带入冷却塔中冷却,冷冻水循环将制冷机产生的冷量通过冷冻水带入表冷器,冷冻水循环通过表冷器与空气循环进行热交换,风机设置在空气循环中,在冷却水循环上设置定速冷却水泵,在冷冻水循环上设置变速冷冻水泵;具体实施过程如图1所示。

[0118] (一)建立房间模型,即建立室内温度、室外温度与显热冷负荷间的关系,具体为:

$$[0119] \quad T_{in}^{i+1} = T_{out}^{i+1} - \frac{Q}{A} - (T_{out}^{i+1} - \frac{Q}{A} - T_{in}^i)\varepsilon \quad (式1)$$

[0120] $Q = Q_c - \sum \sigma Q_{in}$ (式2)

[0121] $\varepsilon = e^{-\frac{\tau}{T_c}}$ (式3)

[0122] $Q_c = E_g Q_{c_d}$ (式4)

[0123] 式中： T_{in}^t 表示t时刻的室内温度， T_{out}^t 表示t时刻的室外温度，Q为显热冷负荷，A为导热系数， ε 为散热系数， Q_c 为空调制冷负荷， σ 为热负荷影响系数（本发明考虑到室内热负荷的随机性，令 σ 服从[0, 1]上的均匀分布）， Q_{in} 为室内热负荷， τ 为控制时间间隔， T_c 为时间常数， E_g 为热交换效率， Q_{c_d} 为制冷机设计冷量。

[0124] (二) 建立适合需求响应的系统运行中央空调模型，即空调负荷与决策变量间的关系，具体为：

[0125] $P_{\Sigma} = P_c(t_{co}, t_{ni}, t_s, t_N) + P_f(t_s, t_N) + P_p(t_s, t_{co}, t_{ci}, t_N) + P_z(t_{ni})$ (式5)

[0126] 式中： P_{Σ} 为总功率， P_c 为制冷机功率， P_f 为风机功率， P_p 为水泵功率， P_z 为冷却塔功率； t_{co} 为制冷机出水温度， t_{ni} 为冷却水进水温度， t_s 为送风温度， t_N 为室内干球温度， t_{ci} 为制冷机进水温度；考虑中央空调参与日前市场需求响应，一般将控制时间间隔 τ 设定为5-10min，并忽略调整时间。

[0127] (2.1) 建立制冷机的模型

[0128] $P_c = Q_{c_d} \beta_{C\&T} \frac{1}{COP_d} \beta_{E\&T} \beta_{E\&F}$ (式6)

[0129] 式中： COP_d 为制冷机设计COP值， $\beta_{C\&T}$ 为制冷机制冷量因数， $\beta_{E\&T}$ 为制冷机EIR温度因数， $\beta_{E\&F}$ 为制冷机EIR负荷率因数；EIR指能量消耗与制冷量的比值，EIR与COP互为倒数关系。

[0130] (2.1.1) $\beta_{C\&T}$ 为制冷机制冷量因数，制冷机冷量与温度之间的曲线是一个二次的性能曲线，包括两个自变量，即制冷机出水温度 t_{co} 和冷却水进水温度 t_{ni} ：

[0131] $\beta_{C\&T} = C_{CT1} + C_{CT2} t_{co} + C_{CT3} t_{co}^2 + C_{CT4} t_{ni} + C_{CT5} t_{ni}^2 + C_{CT6} t_{co} t_{ni}$ (式18)

[0132] 式中： C_{CT1} 、 C_{CT2} 、 C_{CT3} 、 C_{CT4} 和 C_{CT5} 为制冷机特性系数。

[0133] (2.1.2) $\beta_{E\&T}$ 为制冷机EIR温度因数，EIR与部分负荷率之间的关系曲线是一个二次曲线，它可以定义为制冷机EIR随部分负荷率的变化，部分负荷率是指实际冷负荷与制冷机可用冷量的比值：

[0134] $\beta_{E\&T} = C_{ET1} + C_{ET2} t_{co} + C_{ET3} t_{co}^2 + C_{ET4} t_{ni} + C_{ET5} t_{ni}^2 + C_{ET6} t_{co} t_{ni}$ (式19)

[0135] 式中： C_{ET1} 、 C_{ET2} 、 C_{ET3} 、 C_{ET4} 、 C_{ET5} 和 C_{ET6} 为制冷机特性系数。

[0136] (2.1.3) $\beta_{E\&F}$ 为制冷机EIR负荷率因数，EIR与部分负荷率之间的关系曲线是一个二次曲线，它可以定义为制冷机EIR随部分负荷率的变化，部分负荷率是指实际冷负荷与制冷机可用冷量的比值：

[0137] $\beta_{E\&F} = C_{EF1} + C_{EF2} \mu_c + C_{EF3} \mu_c^2$ (式20)

[0138] 式中： C_{EF1} 、 C_{EF2} 和 C_{EF3} 为制冷机特性系数， μ_c 为制冷机部分负荷率。

[0139] $\mu_c = \frac{1.01 m_a (t_{ai} - t_{ao})}{Q_{c_d} \beta_{C\&T}}$ (式21)

[0140] (2.1.4) 系统中，冷却水由冷却塔提供，忽略定速冷却水泵的升温，则制冷机的冷却水进水温度 t_{ni} 与冷却塔出水温度 t_{zo} 相等；根据制冷机冷负荷和制冷机功率，求得冷却水

回路负荷,在此基础上,冷却水出水温度 t_{no} 按下式求解:

$$[0141] \quad t_{no} = t_{ni} + \frac{P_c \eta_c + 1.01 m_a (t_{ai} - t_{ao})}{m_c C_p} \quad (\text{式 } 22)$$

[0142] 式中: η_c 为压缩机效率, m_c 为冷却水流量, C_p 为冷却水的比热。

[0143] (2.2) 建立风机的模型

$$[0144] \quad P_f = \frac{\mu_f m_{a_d} P_d}{1000 \varepsilon_f \rho_a} \quad (\text{式 } 7)$$

[0145] 式中: μ_f 为风机部分负荷因数, m_{a_d} 为风机设计风量, P_d 为风机设计压力, ε_f 为风机总功率, ρ_a 为空气密度;

$$[0146] \quad \mu_f = C_{f1} + C_{f2} \left(\frac{m_a}{m_{a_d}} \right) + C_{f3} \left(\frac{m_a}{m_{a_d}} \right)^2 + C_{f4} \left(\frac{m_a}{m_{a_d}} \right)^3 + C_{f5} \left(\frac{m_a}{m_{a_d}} \right)^4 \quad (\text{式 } 8)$$

[0147] 式中: C_{f1} 、 C_{f2} 、 C_{f3} 、 C_{f4} 和 C_{f5} 为风机特性系数, m_a 为送风风量。

$$[0148] \quad m_a = \frac{Q_c}{1.01(t_N - t_s)} \quad (\text{式 } 9)$$

[0149] 式中:1.01为干空气定压比热。

[0150] (2.3) 建立水泵的模型

$$[0151] \quad P_p = \mu_p P_{p_d} \quad (\text{式 } 10)$$

[0152] 式中: P_{p_d} 为水泵设计功率, μ_p 为水泵部分负荷因数。

$$[0153] \quad \mu_p = \begin{cases} 1 & \text{定速冷却水泵} \\ C_{p1} + C_{p2} \left(\frac{m_w}{\rho_w v_{w_d}} \right) + C_{p3} \left(\frac{m_w}{\rho_w v_{w_d}} \right)^2 + C_{p4} \left(\frac{m_w}{\rho_w v_{w_d}} \right)^3 & \text{变速冷冻水泵} \end{cases} \quad (\text{式 } 11)$$

[0154] 式中: C_{p1} 、 C_{p2} 、 C_{p3} 和 C_{p4} 为变速冷冻水泵特性系数, m_w 为变速冷冻水泵流量, ρ_w 为水密度, v_{w_d} 为变速冷冻水泵设计水流量;变速冷冻水泵采用变温差控制,即 m_w 随表冷器温差变化:

$$[0155] \quad m_w = \frac{1.01 m_a (t_{ai} - t_{ao})}{C_p (t_{wi} - t_{wo})} \quad (\text{式 } 12)$$

[0156] 式中: t_{ai} 为表冷器进风温度, t_{ao} 为表冷器出风温度, t_{wi} 为表冷器进水温度, t_{wo} 为表冷器出水温度。

[0157] (2.4) 建立冷却塔的模型

$$[0158] \quad P_z = \omega_z P_{z_d} \quad (\text{式 } 13)$$

[0159] 式中: ω_z 为冷却塔风机的开启率, P_{z_d} 为冷却塔风机的额定功率; ω_z 与冷却塔出水温度存在近似线性关系,因此冷却塔功率由冷却塔出水温度决定;而在不考虑水泵升温的情况下,可设定冷却塔出水温度 t_{zo} 和冷却水进水温度 t_{ni} 相等,因此有:

$$[0160] \quad \omega_z = k_z t_{ni} \quad (\text{式 } 14)$$

[0161] 式中: k_z 为冷却系数。

[0162] (2.5) 建立表冷器的模型

[0163] 表冷器是连接冷冻水循环和空腔循环的模块,表冷器不产生功率消耗,但是表冷器将各个模块的决策变量联系在一起;表冷器的热交换效率为:

$$[0164] \quad E_g = \frac{t_{ai} - t_{ao}}{t_{wo} - t_{wi}} \quad (\text{式 } 15)$$

[0165] 可设定表冷器出风温度 t_{ao} 等于送风温度 t_s ,表冷器进风温度 t_{ai} 通过下式计算:

$$[0166] \quad t_{ai} = \frac{(m_a - m_x)t_r + m_x t_x}{m_a} \quad (\text{式 } 16)$$

[0167] 式中: m_a 为送风风量, m_x 为新风风量, t_r 为回风温度, t_x 新风温度。

$$[0168] \quad t_r = t_N + \frac{\sum \sigma Q_{in}}{1.01m_a} \quad (\text{式 } 17)$$

[0169] 表冷器的冷却水回路中,冷冻水来自制冷机,在不考虑水泵升温的情况下,表冷器进水温度 t_{wi} 等于制冷机出水温度 t_{co} 。

[0170] (三) 确定控制策略,即明确目标函数、控制变量和约束条件。

[0171] (3.1) 建立目标函数

[0172] ①单台空调情况:在参与控制前后,有最大的负荷削减量,要求 n 个控制周期削减负荷总量最大,目标函数为:

$$[0173] \quad \max \sum_{j=1}^n (P_D - P_\Sigma) \quad (\text{式 } 23)$$

[0174] ②单台空调情况:电网公司希望削减效果在较长时间内保持稳定,要求 n 个控制周期内保证削减量最小的周期有最好的削减效果,目标函数为:

$$[0175] \quad \max \left[\min_{j=1}^n (P_D - P_\Sigma) \right] \quad (\text{式 } 24)$$

[0176] ③多台空调情况:经过控制之后负荷曲线最接近电网公司给出的目标负荷曲线,目标函数为:

$$[0177] \quad \min \sum_t \left| G(t) - \left[D(t) - \sum_i (P_D - P_\Sigma) \right] \right| \quad (\text{式 } 25)$$

[0178] 式中: P_D 为未受控的中央空调负荷,它是空调不受控的负荷预测值,可由该空调历史负荷曲线得到; $G(t)$ 为电网公司给定的目标负荷曲线, $D(t)$ 为日负荷曲线。

[0179] (3.2) 明确控制变量

[0180] 控制变量包括室内温度 T_{in}^t 、送风温度 t_s 、制冷机进水温度 t_{ci} 、制冷机出水温度 t_{co} 、冷却水进水温度 t_{ni} ,设定控制时间间隔 τ 为5~10min,一个控制时间间隔内,控制变量不发生变化。

[0181] (3.2) 明确约束条件

[0182] ①室内干球温度约束:

$$[0183] \quad t_{Nmin} \leq t_N \leq t_{Nmax} \quad (\text{式 } 26)$$

[0184] ②送风温度约束:

$$[0185] \quad t_{smin} \leq t_s \leq t_{smax} \quad (\text{式 } 27)$$

[0186] ③制冷机进水温度约束

$$[0187] \quad t_{cimmin} \leq t_{ci} \leq t_{cimmax} \quad (\text{式 } 28)$$

[0188] ④制冷机出水温度约束

[0189] $t_{comin} \leq t_{co} \leq t_{comax}$ (式29)

[0190] ⑤冷却水进水温度约束:

[0191] $t_{nimin} \leq t_{ni} \leq t_{nimax}$ (式30)

[0192] ⑥送风风量约束:

[0193] $m_{amin} \leq m_a \leq m_{amax}$ (式31)

[0194] ⑦变速冷冻水泵流量约束:

[0195] $m_{wmin} \leq m_w \leq m_{wmax}$ (式32)

[0196] (四) 根据上级调度部门指标,针对这一大规模、多变量、多约束混合整数非线性多目标规划问题,采用结合状态空间截断的和声搜索算法(简称HS算法)对目标函数进行求解。

[0197] (4.1) 和声搜索算法参数初始化

[0198] 和声算法的初始化参数包括目标函数、约束条件和其他参数,其中:

[0199] 目标函数为步骤(3.1)中建立的目标函数;

[0200] 约束条件为步骤(3.2)中建立的约束条件;

[0201] 其他参数包括:①解的维数:即决策变量个数,共 $5n$ 个, n 为控制周期数;②和声记忆库考虑概率HMCR:取值为 0.8 ;③微调概率PAR:取值为 0.2 ;④最大迭代次数NI:取值为 5000 ;⑤终止条件:达到最大迭代次数。

[0202] (4.2) 和声记忆库HM初始化

[0203] 随机产生 N 组决策变量组,即产生 N 组(式33):

$$[0204] \begin{bmatrix} t_{N_1} & t_{N_2} & \dots & t_{N_n} \\ t_{s_1} & t_{s_2} & \dots & t_{s_n} \\ t_{ci_1} & t_{ci_2} & \dots & t_{ci_n} \\ t_{co_1} & t_{co_2} & \dots & t_{co_n} \\ t_{ni_1} & t_{ni_2} & \dots & t_{ni_n} \end{bmatrix}_{5 \times n} \quad (式33)$$

[0205] 将这 N 组决策变量组作为 N 个初始解放置于和声记忆库HM中,并计算每组初始解的目标函数值,即将 N 组决策变量带入目标函数中进行求解。

[0206] (4.3) 生成新解

[0207] 生成一个随机数 $r1, 0 < r1 < 1$:若 $r1$ 小于给定的HMCR,则基于和声记忆库HM中的决策变量组生成新解;否则,按照(式33)在和声记忆库HM外随机生成一组新的决策变量组作为新解。

[0208] 基于和声记忆库HM生成新解的方法为:生成一个随机数 $r2, 0 < r2 < 1$:若 $r2$ 小于给定的PAR,则对和声记忆库HM进行扰动,产生 N 组新决策变量组作为 N 组新解;否则,从和声记忆库HM中随机选择一组决策变量作为新解。

[0209] 对和声记忆库HM进行扰动的扰动原则为:对于和声记忆库HM的 N 组决策变量组,每组决策变量组发生扰动的概率为 $r2$;发生扰动的决策变量组交换其奇数列与偶数列的决策变量数值,即交换奇数控制周期和偶数控制周期的 $[t_n, t_s, t_{ci}, t_{co}, t_{ni}]$ 数值,具体为,将(式33)的第 i 列和第 $i+1$ 列整体进行交换:当 n 为偶数时, $i=1, 2, \dots, n-1$,当 n 为奇数时, $i=1, 2, \dots, n-2$ (最后一列不变)或 $i=2, 3, \dots, n-1$ (第一列不变);将扰动后的声记忆库HM中的 N 组

新决策变量作为N组新解。

[0210] (4.4) 更新和声记忆库HM

[0211] 将新解带入目标函数中进行求解,将新解的计算结果与声记忆库HM中的最差解进行比较:

[0212] ①若所有计算结果均劣于和声记忆库HM中的最差解,则不更新和声记忆库HM;

[0213] ②若计算结果中存在优于和声记忆库HM中的最差解的新解,并且这样的新解仅有一个,则使用该新解替代该最差解,更新和声记忆库HM;

[0214] ③若计算结果中存在优于和声记忆库HM中的最差解的新解,并且这样的新解有两个以上,则采用状态空间截断法,对这两个以上新解的计算结果和和声记忆库HM中N个解的计算结果进行排序,选取计算结果最优的N个解对和声记忆库HM进行更新。

[0215] (4.5) 判断是否满足终止条件

[0216] 判断是否满足终止条件:若满足,则终止循环并输出结果;否则,重复步骤(4.3)和(4.4)。

[0217] (五) 得到结果,对结果进行分析处理。

[0218] 实施例:

[0219] 以一个虚拟的需求响应市场区域为例,总共有全部负荷40MW,其中中央空调全部负荷10MW,为100台10kW空调,分为10个组,每组十台,同组空调的运行状态相同,空调参数参考工业实践经验值。得到夏季某日负荷曲线如图4所示。在10组中选取空调组1-3的14:00-14:30主要控制变量数据及负荷情况如表1。

[0220] 表1多台中央空调主要控制变量数据

[0221]

组别	时刻	室外温度(°C)	室内温度(°C)	送风量(kg/s)	送风温度(°C)	冷冻水流量(kg/s)	表冷器出水温度(°C)	制冷机出水温度(°C)	冷却塔出水温度(°C)	总功率(kW)
1	14: 00	33.5	26	28.2	11.3	24.1	10.6	5.8	22.8	83.6
	14: 10	35.2	27	30.9	11.2	24.2	10.2	5.4	23.4	87.7
	14: 20	34.1	28	32.7	10.5	24.5	10.3	5.3	21.6	90.8
2	14: 00	35.2	25	28.6	11.6	24.7	10.1	5.1	23.4	82.1
	14: 10	34.3	25	27.4	10.7	24.1	10.3	5.2	22.2	81.9
	14: 20	36.6	26	28.6	11.1	24.1	10.6	5.6	23.2	84.2
3	14: 00	34.3	27	28.6	11.8	29.6	9.8	4.2	23.1	88.1
	14: 10	35.7	28	33.9	9.9	26.1	10.3	5.0	23.4	91.3
	14: 20	35.1	28	29.1	10.8	25.6	11.6	5.4	23.6	87.1

[0222] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出:对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

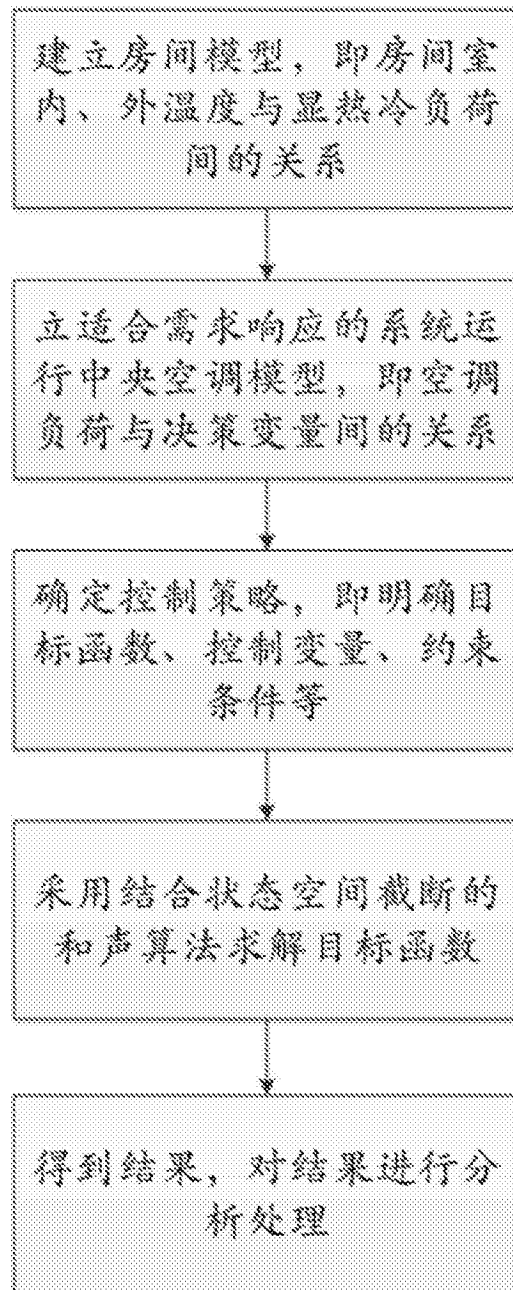


图1

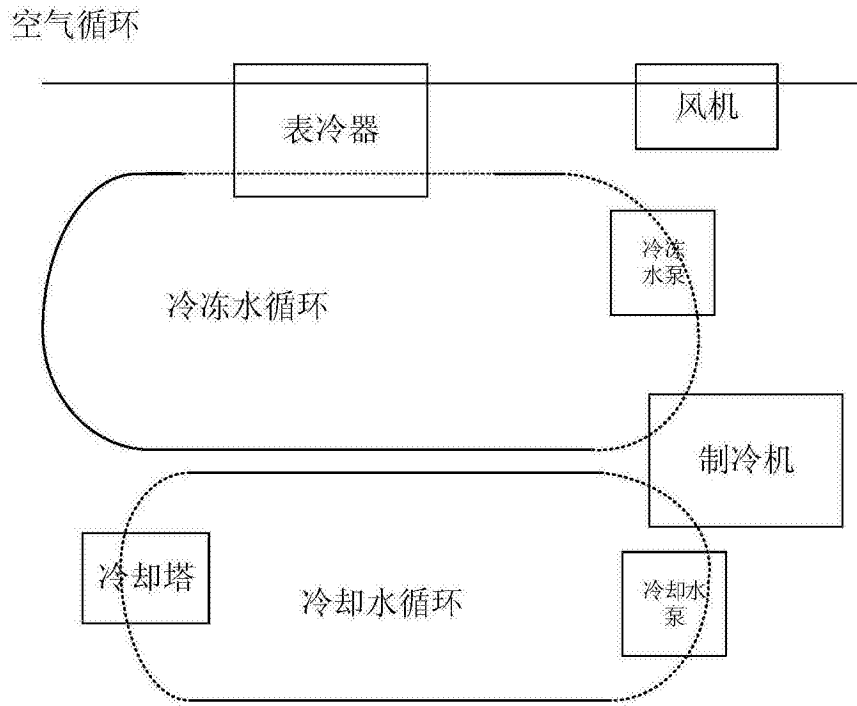


图2

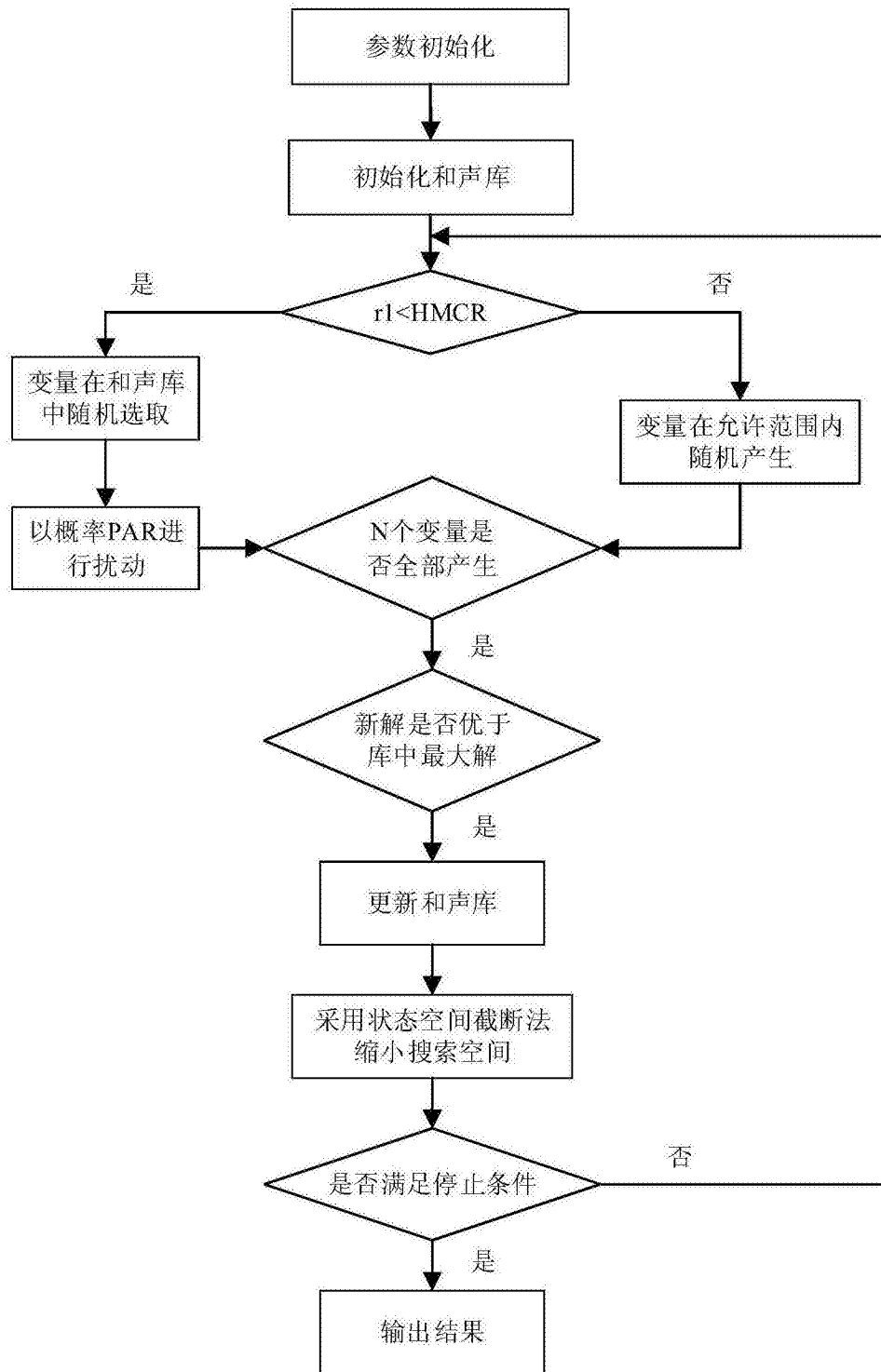


图3

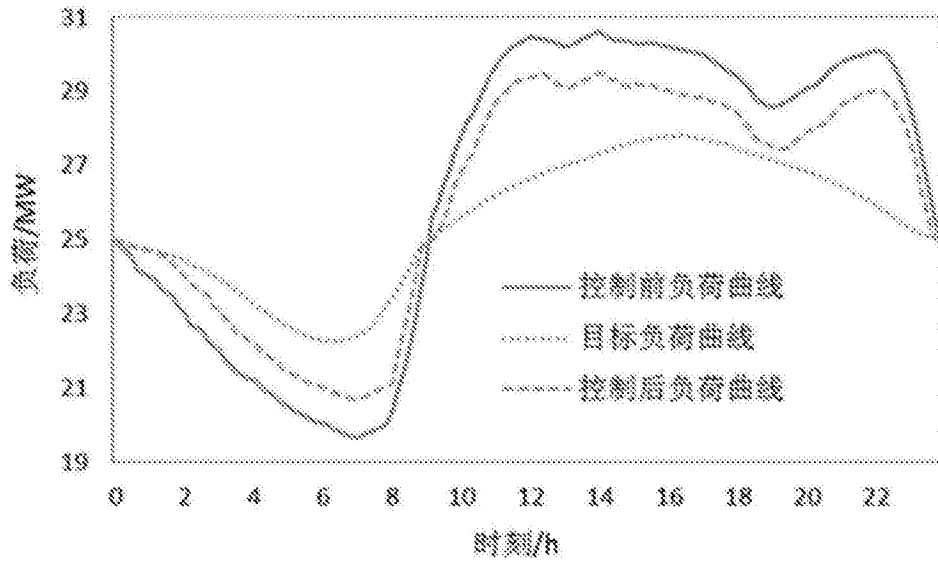


图4