

中央空调系统的二级最优控制方法及其理论分析*

聂玉强

(广东省佛山建筑设计研究院, 广东 佛山 528000)

摘要:中央空调系统是一个串联型动态系统, 适合分解为若干子系统进行串联计算。为了求解中央空调大系统运行能耗的整体最优, 通过对空调系统运行特性及模型的分析与能耗最小化计算模型的讨论, 将大系统处理为最优控制的二次型凸问题, 并把 Lagrange 对偶函数法运用于分解后的二级系统, 得到整体系统的全局最优解, 同时对算法进行了理论证明。

关键词:中央空调系统; 二级系统; 最优控制; 对偶函数法

中图分类号: TU831 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 03-0057-05

在能源消耗中, 城市建筑能耗占我国能耗消费比例约 20%^[1-2], 对现有为数众多的中央空调系统进行节能技术改造, 具有很大的社会和经济效益^[3-4]。目前节能技改的主要手段之一是将阀门开度调节改为变频器驱动, 以及采用有多种控制方案的计算机控制^[5-8], 从实践看, 他们是对各耗能单元的局部最优控制来实现的, 然而, 空调过程是一个“整体”的过程, 局部耗能单元的优化不能代表整个系统节能最优化, 文[9-11]虽然从系统最优角度出发讨论了空调系统全局寻优节能控制的原理, 但仅是原理性的探讨, 没有具体实现的方案, 更没有在建立系统能耗计算模型、各单元耦合、机组实际运行约束的基础上建立全局最优控制模型及分析系统的全局收敛性。本文考虑到系统规

模较大、较复杂, 同时考虑系统全局最优控制系统的稳定性, 在作者研究空调系统对象特性和模型以及能耗计算的数学模型基础上^[3], 采用大系统分解与协调方法, 设计了一套二级最优控制系统方案, 并通过对所设计的系统全局最优算法进行了理论上的证明, 为本系统控制方法提供了强有力的支撑。

1 二级最优控制系统结构及函数模型

1.1 控制系统结构

本文设计的中央空调系统是个串联动态系统, 在控制结构上是个二级系统。结构模型如图 1 所示。

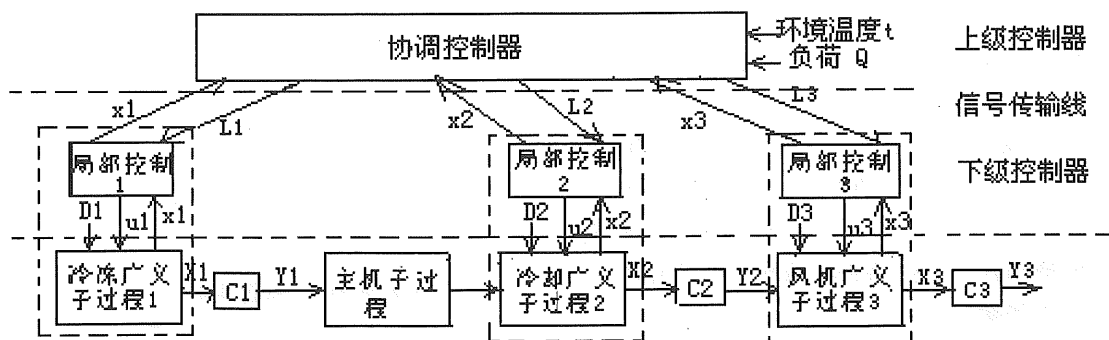


图1 串联动态二级系统控制结构

Fig. 1 Series form dynamical two-level system control construction

图中, 最顶层是协调控制级(上级)。通常是一台计算机, 或是计算机的一部分功能; 往下是信

* 收稿日期: 2007-11-25

基金项目: 建设部科学项目规划资助项目(06-K5-30); 广东省自然科学基金资助项目(05001893)

作者简介: 聂玉强(1964年生), 男, 高级工程师; E-mail: fsnyg@126.com

号传输线;再下是局部控制级(下级,又叫过程控制级);最下层是广义子过程(包括PID控制器)。各子系统间有连线关联着。主机子系统本文不考虑控制,只有直线连接。 D 为扰动量; X 为状态量; C 为观测向量; Y 为输出量。

将PID控制器连同变频器和子过程一起构成的闭环系统,看成为一个广义子过程。作者在文[3]给出了闭环传递函数: $B(s) = \frac{K_0 K_p T_i s + K_0 K_p}{T_0 T_s^2 + (T_i + K_0 k K_p T_i) s + K_0 + K_p}$ 。为了更好的对系统进行理论分析,将传递函数模型转换为状态空间模型,即转换为向量状态方程。经转换并整理后得: $\dot{X} = AX(t) + Bu(t)$

$$\text{其中, } A = \begin{pmatrix} -\frac{1 + K_0 K_p}{T_0} & \dots & 1 \\ -\frac{K_0 K_p}{T_0 T_i} & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} K_0 K_p T_i \\ K_0 K_p \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中,状态 X 为2阶列向量; A 为 2×2 定常矩阵; B 为 2×1 定常矩阵。于是,广义子过程变成在 u 控制下的开环系统。

1.2 系统目标函数及约束

1.2.1 子系统目标函数的构造 一个单输入单输出系统,评价系统动态性能的质量指标不仅要考虑误差同时要顾及控制能量代价。本文选定以误差平方积分作为系统的目标函数,同时在目标函数中加入 u^2 项。于是,目标函数是:

$$J_i = \int_{t_0}^{t_f} [(x_i - x_{0i})^2 + u_i^2] dt \quad (2)$$

以冷冻水子系统为例, x_i 表示回水温度 T_h , x_{0i} 表示回水温度的理想值(即目标值),此处取设计值 12°C 。在最优化问题中,目标函数的选取是有较大的自由的。在目标函数中加入某些项并不影响求取的状态最优值。这样,目标函数就是状态和控制的二次型函数。因此是个凸函数。最优化时间取 $t_0 = 0$, t_f 不予限定。

1.2.2 整体目标函数及子目标函数 设状态完全可观测,三个子系统的两相邻目标之间不存在矛盾,或只存在微小而可忽略的矛盾。整体系统的任务是要求如下三个分离目标函数为极小:

$$I = \sum_{i=1}^3 \left\{ \min \frac{1}{2} \int_0^t [\|x_i - x_{0i}\|^2 Q_i + \|u_i\|^2 R_i] dt \right\} \quad (3)$$

式中, x_{0i} 为目标值。冷冻水子系统为 12°C ,冷却水子系统为 37°C ,风机子系统为 32°C 。 Q_i , R_i 为

设计者规定的加权矩阵。 Q_i 为半正定, R_i 为正定。 $0 \sim T$ 为最优化时间。三个子目标函数均是二次型函数,是凸函数^[11-12]。

1.2.3 关联约束 子系统是串联关系。对一个子系统,有两个输出量,输出状态量 x_i 反馈到上级系统和耦合输出量 y_i ,接到另一个子系统的关联输入端 z_i 。有两个输入量。控制量 u_i 和关联输入量 z_i 。对冷冻子系统,没有从其他子系统来的关联, $z_1 = 0$ 。对冷却水泵系统,有来自冷冻水子系统的关联。耦合输出量 y_i 就是状态输出量 x_i 。关联方程是 $z_2 - x_1 = 0$ 。冷却水泵系统对风机系统的关联是 $z_3 - x_2 = 0$ 。要解析地描述这种关联是很困难的。通常总认为这种关系是与时间无关比例系数为1的关系。关联约束是线性等式约束,因此是凸函数。

1.2.4 动态约束 动态约束就是状态方程:

$$\dot{x}_i = A_i x_i + B_i U_i + z_i + D_i, \quad i = 1, 2, 3 \quad (4)$$

这是三个线性等式约束,因此是凸函数^[11-12]。

1.2.5 界约束集 各子系统的状态量目标值在静态设计时均已确定。回水温度为 12°C ,出水温度为 37°C ,进水温度为 32°C 。考虑在动态过程中最大超调为 $\leq 30\%$,故得约束边界集合 M 如下^[3]。

冷冻水泵子系统的 $M_1: T_h - 15.6 \leq 0, -T_h - 8.4 \leq 0$;

冷却水泵子系统的 $M_2: T_c - 48.1 \leq 0, T_c - 25.9 \leq 0, T_c - 4T_h \leq 0$;

风机子系统的 $M_3: T_f - 4161 \leq 0, -T_f - 22.4 \leq 0, T_c - T_f - 6.5 \leq 0, -T_c + T_f - 3.5 \leq 0$;

关联约束: $T_h - T_g - 6.5 \leq 0, -T_h + T_g - 3.5 \leq 0$,其约束范围比各自变量的约束范围小,是多余的,应予删去。 $T_c - 4T_h \leq 0$ 是保证主机正常工作加入的。

以上不等式约束的每一个都是一个闭半空间,因此是个凸集。由多个凸集组成的集是凸集。

2 系统最优化方法

2.1 子系统最优化问题求解

由于加入了关联约束,计算子系统优化时出现了关联输入量 z_i 的奇异解,使计算难以进行。为避免奇异解,在目标函数中加入 $(1/2) \|z_i\|^2 s_i$ 项。这在原理上不必要,但实际计算时很重要,在后面计算时可以看到。各子系统最优化问题如下:

$$I_i = \min \frac{1}{2} \cdot$$

$$\int_0^t [\|x_i - x_{0i}\|^2 Q_i + \|u_i\|^2 R_i + \|z_i\|^2 s_i] dt \quad (5)$$

$$S. t. \dot{x}_i = A_i x_i + B_i u_i + z_i + D_i$$

$$z_i = x_{i-1}$$

$$x_i \in M_i \quad i = 1, 2, 3$$

为叙述方便, 称上述最优化问题为原问题。现用拉格朗日对偶函数法解此原问题。把关联约束归并到目标函数中便构成了拉格朗日函数 (可看成是修正目标函数)。取 Q 为单位对角矩阵, $R=1$, $S=1$ 。第 i 个子问题的拉格朗日函数是:

$$L_i(x_i, u_i, z_i, \lambda_i) = \int_{t_0}^{t_f} \frac{1}{2} [(x_i - x_{0i})^2 + u_i^2 + z_i^2] + \lambda_i^T (z_i - x_j) dt \quad (6)$$

$$S. t. \dot{x} = A_i x_i + B_i u_i + z_i + D_i, \quad x_i(t_0) = x_{i0}$$

λ 称为与关联约束相联系的拉格朗日乘子。加入了关联约束后, 各子问题可作独立处理。故得整体拉格朗日函数等于子拉格朗日函数之和。

$$L(x, u, z, \lambda) = \sum_{i=1}^3 L_i(x_i, u_i, z_i, \lambda_i)$$

再定义一个对偶函数

$$F(\lambda) = \min_{x, u, z} L(x, u, z, \lambda) = \min_{x, u, z} \sum_{i=1}^3 L_i \cdot$$

$$(x_i, u_i, z_i, \lambda_i) = \sum_{i=1}^3 \min_{x_i, u_i, z_i} L_i(x_i, u_i, z_i, \lambda_i) \quad (7)$$

$$S. t. \dot{x} = A_i x_i + B_i u_i + C_i z_i + D_i,$$

$$x_i(t_0) = x_{i0}, \quad i = 1, 2, 3$$

$F(\lambda)$ 的定义域为 D , $D = \{\lambda, \text{能使 } \min L(x, u, z, \lambda) \text{ 存在的 } \lambda \geq 0\}$ 。目标函数和两种约束函数都是定义在有界闭凸集 M 上的凸函数, 子系统的最优化问题是个线性二次型的凸问题。将动态约束归并到修正目标函数中, 把约束最优化变成无约束最优化问题。第 i 个子问题是:

$$J_i = \min_{x_i, u_i, z_i} \int_{t_0}^{t_f} \left\{ \frac{1}{2} [(x_i - x_{0i})^2 + u_i^2 + z_i^2] + \lambda_i^T (z_i - x_{i-1}) + \rho_i^T (A_i x_i + B_i u_i + z_i + D_i - \dot{x}_i) \right\} dt \quad (8)$$

上式中的 $\lambda_i x_{i-1}$ 项表示本子系统的给定乘子与前面子系统状态的乘积。即本子系统的计算涉及前一子系统的状态。可幸, 所论的是串联系统, 在计算 x_i 时, x_{i-1} 已计算出来了。而计算第 $i=1$ 子系统时可令 $x_0=0$ 。采用最优化理论中的最大值原理解此无约束最优化问题^[11]。定义一个哈密顿函数:

$$H_i(x_i, u_i, z_i, \rho_i) = \frac{1}{2} [(x_i - x_{0i})^2 + u_i^2 + z_i^2] +$$

$$\lambda_i^T z_i - \lambda_i^T x_{i-1} + \rho_i^T (A_i x_i + B_i u_i + z_i + D_i)$$

得最优性必要条件如下:

$$\frac{\partial H_i}{\partial x_i} = -\rho_i = x_i - x_{0i} + A_i^T \rho_i, \quad \rho_i(t_f) = \rho_{if}$$

$$(\text{共态方程}) \quad (9)$$

$$\frac{\partial H_i}{\partial \rho_i} = \dot{x} = A_i x_i + B_i u_i + z_i + D_i, \quad x_i(t_0) = x_{i0}$$

$$(\text{状态方程})$$

$$\frac{\partial H_i}{\partial u_i} = 0, \quad u_i = -B_i^T \rho_i$$

$$\frac{\partial H_i}{\partial z_i} = 0, \quad z_i = -(\lambda_i + \rho_i)$$

把 u_i 和 z_i 代入状态方程, 得

$$\dot{x} = A_i x_i - (B_i B_i^T + 1) \rho_i - \lambda_i + D_i, \quad x_i(t_0) = x_{i0} \quad (10)$$

(9)、(10) 二式构成一个两点边值问题。给定 λ_i 值, 此问题可解。本文将两点边值问题化为单点边值问题求解, 结果导致求解代数矩阵 Riccati 方程和扰动向量微分方程

$$A_i^T K_i + K_i A_i + K_i B_i B_i^T K_i + 1 = 0, \quad K_i(T) = 0$$

$$g_i - [K_i (B_i B_i^T + 1) A_i^T] g_i - K_i D_i + x_{0i} = 0$$

$$g_i(T) = 0$$

解 Riccati 方程得解 K_i 是个 2×2 阶常数矩阵。以 K_i 代入, 求得 g_i 。从而求得:

$$x_i = (A_i - B_i B_i^T K_i - K_i) x_i + (B_i B_i^T + 1) g_i - \lambda_i + D_i$$

解此方程可求得 x_i 。最后可求得: $u_i = -B_i^T K_i x_i + B_i^T g_i$ 。

2.2 整体系统优化问题求解

表征中央空调系统的目标有二。一是制冷量 Q_0 , 二是能耗 N_0 。系统追求的目标是: 制冷量最大, 能耗最小。因此, 中央空调系统是有两个目标的系统。两目标是:

$$J_1 = \min[-Q_0(T_h, T_c)],$$

$$J_2 = \min[N_0(T_h, T_c, T_g, T_j)]$$

文 [2] 给出了 Q_0 、 N_0 模型。只要求出最优解 T_c^* 、 T_h^* 、 T_j^* 代入, 这两目标即可同时达到。

2.2.1 上级系统算法 上级系统的任务是求对偶函数最大, 即 $\max F(\lambda)$ 。上级所能采取的算法是很多的, 本文采用梯度法。为此, 必须求出 $F(\lambda)$ 对 λ 的偏导数, 以便确定最速下降方向:

$$\frac{\partial F(\lambda)}{\partial \lambda} = \frac{\partial}{\partial \lambda} (\min L(x, u, z, \lambda)) =$$

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\sum_{i=1}^3 H_i(x_i, u_i, z_i, \lambda_i) \right) =$$

$$\sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial \lambda} H_i(x_i, u_i, z_i, \lambda_i) =$$

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} \sum_{i=1}^3 \lambda_i (z_i - x_{i-1}) = \sum_{i=1}^3 (z_i - x_{i-1})$$

2.2.2 二级算法步骤

第一步: 在上级, 任选一组初始协调量 λ_i^1 , 作为协调参数送至下级进行迭代计算。设已迭代到第 k 次;

第二步: 下级求解子最优化问题, 即解两点边值问题。求得 $z_i^k(\lambda^k)$ 和 $x_i^k(\lambda^k)$, 送至上级;

第三步: 在上级, 把 $z_i^k(\lambda^k)$ 和 $x_i^k(\lambda^k)$ 用于更新协调量 λ 。用下式确定第 $k+1$ 步迭代的新的协调量 (第 $i=1$ 子系统时 $x_{i-1}=0$)

$$\lambda_i^{k+1} = \lambda_i^k + a_i [z_i^k(\lambda^k) - x_{i-1}^k(\lambda^k)]$$

代入误差检验式 $\sqrt{\int_0^T (\lambda_i^{k+1} - \lambda_i^k) dt} < \varepsilon$, $i=1, 2, 3$

其中, ε 为确定精度的小正数。看是否满足, 若满足, 迭代可停止, 最优解已经找到, 转第四步。否则, 转回第二步;

第四步: 将求得的 $u^{i*}(\lambda^*)$ 经编码和 D/A 转换器, 其输出标准电压 ($0 \sim 10$ V) 接于广义过程输入端上, 与 PID 给定值叠加后作用于广义过程上。求得实际的过程状态 x^*i , 再代入求出 Q_0^* 、 N_0^* 。

3 算法的理论证明

将所论最优化问题概括为如下凸问题^[11-12]:

$$\begin{aligned} \min f(x) \\ \text{s.t. } \dots g(x) = 0, \dots x \in M \end{aligned}$$

式中, x 为 n 维列向量, 概括了 x, u, z 变量; M 为 n 维欧氏空间的有界闭凸集; $f(x)$ 为定义在 M 上的二次型凸函数; $g(x)$ 为线性函数向量, 它由下面二等式组成:

$$Ax + Bu + z + D - x = 0, \quad z - x = 0$$

则本问题是个凸最优化问题。

定义1 定义拉格朗日函数 $L(x, \lambda) = f(x) + \lambda g(x)$, $\lambda \geq 0$ 称为拉格朗日乘子。

定义2 定义对偶函数 $F(\lambda) = \min_{x \in M} L(x, \lambda) = \min_{x \in M} [f(x) + \lambda g(x)]$

$F(\lambda)$ 的定义域为 D , $D = \{\lambda, \text{能使 } \min L(x, \lambda) \text{ 存在的 } \lambda \geq 0\}$

对所有的 $\lambda \geq 0$, $\min L(x, \lambda)$ 对所有的 λ 均存在, 而 $L(x, \lambda)$ 对 M 连续, M 是有界闭凸集, 故 $D = \{\lambda, \lambda \geq 0\}$ 也是凸集。

定义3 若有一点 (x^*, λ^*) , 其中 $\lambda^* \geq 0$, $x \in M$, 当满足

$$L(x^*, \lambda) \leq L(x^*, \lambda^*) \leq L(x, \lambda^*)$$

时, 称该点为 $L(x, \lambda)$ 的鞍点。即 x^* 在整个 M

中能使 $L(x, \lambda^*)$ 为极小, 同时在全部 $\lambda \geq 0$ 能使 $L(x^*, \lambda)$ 为极大。

定理1 一点 (x^*, λ^*) , 若以下条件满足

(1) x^* 在整个 M 中有 $\min_{x \in M} L(x, \lambda^*)$

(2) $\lambda^* \geq 0$ 非负, $\lambda^* g(x^*) = 0$

则该点是为 $L(x, \lambda)$ 的鞍点。

证明 由条件 (1), 必有 $f(x^*) + \lambda^* g(x^*) \leq f(x) + \lambda^* g(x)$;

由条件 (2), $\lambda^* g(x^*) = 0$, 上式变成 $f(x^*) \leq f(x) + \lambda^* g(x)$;

对于所有满足 $g(x) = 0$ 的 $x \in M, \lambda^* \geq 0$, $\lambda^* g(x)$ 均非正, 故有 $f(x^*) \leq f(x)$ 。

即 x^* 为所给问题的最优解, 证毕。

定理2 若 (x^*, λ^*) 是 $L(x, \lambda)$ 的鞍点, 则有: $F(\lambda^*) = f(x^*)$ 。

证明 由鞍点条件可知, $\lambda^* g(x^*) = 0$, 故得证:

$$F(\lambda^*) = f(x^*) + \lambda^* g(x^*) = f(x^*)$$

反之, 设 x^* 不能使 $L(x, \lambda)$ 为极小, 则必有另一点 $x^0 \in x(\lambda^*)$, 使得:

$$F(\lambda^*) = f(x^0) + \lambda^* g(x^0) < f(x^*) + \lambda^* g(x^*)$$

但已知 $F(\lambda^*) = f(x^*)$

$$\text{故上式变成: } f(x^*) < f(x^*) + \lambda^* g(x^*)$$

$$\text{即 } \lambda^* g(x^*) > 0$$

这与 $\lambda^* \geq 0, \lambda^* g(x^*) = 0$ 相矛盾。因此, 只能有 $x^* \in x(\lambda^*)$ 。即 (x^*, λ^*) 是 $L(x, \lambda)$ 的鞍点。(证毕)

引理1 对偶函数 $F(\lambda)$ 在其定义域 D 的任何凸子集上是凹函数。

证明 D 为凸集, D 内两元素为 $\lambda_1 \in D, \lambda_2 \in D$ 。此两元素连线中的任一点 λ 满足 $\lambda = a\lambda_1 + (1-a)\lambda_2, 0 \leq a \leq 1$ 。按对偶函数定义得下式

$$F(\lambda) = F[a\lambda_1 + (1-a)\lambda_2] =$$

$$\min L[x, a\lambda_1 + (1-a)\lambda_2] =$$

$$\min[aL(x, \lambda_1) + (1-a)L(x, \lambda_2)] \geq$$

$$a \min L(x, \lambda_1) + \min(1-a)L(x, \lambda_2)$$

最后得

$$F(\lambda) = F[a\lambda_1 + (1-a)\lambda_2] \geq$$

$$aF(\lambda_1) + (1-a)F(\lambda_2)$$

这结果正是凹函数的定义。(证毕)

4 结论

(1) 把大规模系统中的多级理论用于中央空调系统的最优控制目前是个空白。本文目的在于证明所提方案的正确性和实际可行性。因此只考虑线性情况。

(2) 本文提出的低成本节能改造方案是一个二级控制方案。这是将大规模系统的二级控制理论、最优化理论、计算技术、经典PID调节和变频器技术等结合起来而提出的。上级算法的内容相当简单,无疑是其突出优点。针对中央空调系统具有的凸性,采用了拉格朗日对偶函数算法,得到了系统的全局最优解。这是其它类型算法难以做到的。

(3) 本算法子系统的每一次迭代必须到达终了才能得到可行解。因此,计算时间较长。但串联系统具有的过程延时性,使这不足之处得到补偿。上级用梯度型算法是为简单起见。更新协调量时,采用人工选择步长方法,有不足之处。如采用自动搜索最优步长方法,则要付出大的代价。因为自动搜索最优步长所需时间几乎占系统运行总时间的大部分。

参考文献:

- [1] 司小雷. 我国的建筑能耗现状及解决对策[J]. 建筑节能, 2008, 36(2): 71-74.
SI Xiaolei. The present situation of the chinese building energy consumption and some countermeasures[J]. Construction Conserves Energy, 2008, 36(2): 71-74.
- [2] 白雪莲, 王洪卫, 郭林文. 公共建筑暖通空调系统提高能效的措施分析[J]. 建筑节能, 2007, 35(9): 1-5.
BAI Xuelian, WANG Hongwei, GUO Linwen. Study on measures for energy efficiency of HVAC systems of public buildings[J]. Construction Conserves Energy, 2007, 35(9): 1-5.
- [3] 聂玉强, 李安桂. 中央空调系统高效节能技术分析与应用[J]. 重庆建筑大学学报, 2007, 29(1): 85-89.
NIE Yuqiang, LI Angui. Analysis and application on high-efficacy saving energy technique of central air-conditioning system [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2007, 29(1): 85-89.
- [4] 侯志坚, 连之伟, 蔡志军, 等. 某大型空调系统能耗分析[J]. 建筑节能, 2007, 35(4): 43-45.
HOU Zhijian, LIAN Zhiwei, CAI Zhijun, et al. Analysis on energy consumption of a large air-conditioning system [J]. Construction Conserves Energy, 2007, 35(4): 43-45.
- [5] BROWNE M W, BANSAL P K. Steady-state model centrifugal liquid chillers[J]. International Journal of Refrigeration, 1998, 21(5): 343-358.
- [6] BROWNE M W, BANSAL P K. Transient simulation of vapor-compression packaged liquid chillers[J]. International Journal of Refrigeration, 2002, 25(5): 597-610.
- [7] ADMIRAAL D M, BULLARD C W. Experimental validation of heat exchanger models for refrigerator freezer[J]. ASHRAE Transactions, 1995, 101(1): 34-43.
- [8] 颜全生. 中央空调节能系统的设计及实现[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(1): 91-93.
YAN Quansheng. Designing and realizing the energy-saving system for central air-conditioning[J]. Proceedings of The Csu-epsa, 2003, 15(1): 91-93.
- [9] 施灵. 多台冷水机组空调系统的优化控制[J]. 暖通空调, 2005, 35(5): 79-81.
SHI Ling. Optimization control strategy in air conditioning system with multi water chillers[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2005, 35(5): 79-81.
- [10] 潘毅群, 黄治钟. 建筑能耗模拟的校验方法及其应用[J]. 暖通空调, 2007, 37(7): 21-27.
PAN Yiqun, HUANG Zhizhong. Verification method for building energy simulation and its application[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2007, 37(7): 21-27.
- [11] 秦寿康. 最优化理论与方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 1986.
- [12] 李教安, 邝硕. 大系统的动态递阶控制[M]. 北京: 科学出版社, 1983.

Two-Level Optimal Control Method and its Theory Analysis for Central Air-Conditioning System

NIE Yu-qiang

(Foshan Architectural Design Institute, Guangdong, Foshan 528000, China)

Abstract: The central air-conditioning system is a series form of dynamical system, it can be decomposed into many sub-systems for series computation. In the light of solving energy consumption overall optimal, the system may be treated as a quadric form convex problem, and so the Lagrange dual function method is applied to decomposed two-level system, and obtain overall system global optimal solutions. At the same time it carry on theory proof in regard to algorithm.

Key words: central air-conditioning system; two-level system; optimal control; dual function method