



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110595008 A

(43)申请公布日 2019.12.20

(21)申请号 201911029307.3

G06Q 10/04(2012.01)

(22)申请日 2019.10.28

G06Q 10/06(2012.01)

G06Q 50/08(2012.01)

(71)申请人 山东建筑大学

地址 250101 山东省济南市历城区临港开发
区凤鸣路1000号

(72)发明人 彭伟 曲杰辉 阎俏 李成栋

邓晓平 张桂青 王延伟 任飞

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221

代理人 李琳

(51)Int.Cl.

F24F 11/64(2018.01)

F24F 11/88(2018.01)

F24F 11/47(2018.01)

F24F 11/89(2018.01)

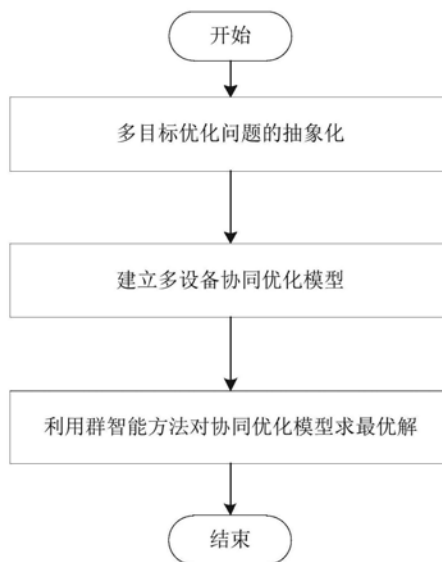
权利要求书3页 说明书9页 附图1页

(54)发明名称

一种地源热泵空调系统多设备协同优化方法及系统

(57)摘要

本公开提供了一种地源热泵空调系统多设备协同优化方法及系统,根据地源热泵空调系统关键设备二型模糊模型,得到地源热泵空调系统的系统总换热量和系统总能耗模型,以系统总换热量最大和系统总能耗最小为目标进行系统总换热量和系统总能耗模型优化;以热源机组的多个换热机组对应的控制器为基础,建立基于热负荷需求响应的群智能节能控制模型;采用基于群智能的分布式优化方法求解所构建的节能控制模型最优解,得到最优的节能控制策略;本公开对地源热泵空调系统的多个设备协同问题进行了抽象并转化成了多目标优化问题,建立了节能控制模型,利用群智能分布式优化方法得到了控制模型的最优解,从而实现地源热泵空调系统中的热泵系统的多设备协同最优控制。



1. 一种地源热泵空调系统多设备协同优化方法,其特征在于,步骤如下:

根据地源热泵空调系统关键设备二型模糊模型,得到地源热泵空调系统的系统总换热量和系统总能耗模型,以系统总换热量最大和系统总能耗最小为目标进行系统总换热量和系统总能耗模型优化;

以热源机组的多个换热机组对应的控制器为基础,建立基于热负荷需求响应的群智能节能控制模型;

采用基于群智能的分布式优化方法求解所构建的节能控制模型最优解,得到最优的节能控制策略。

2. 如权利要求1所述的地源热泵空调系统多设备协同优化方法,其特征在于,系统总换热量和系统总能耗可抽象化为:

$$\begin{cases} J_{HE}(t, f, p, v, \theta) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \hat{y}_{HE}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i) \\ J_{EC}(t, f, p, v, \theta) = \sum_{i=1}^m \hat{y}_{EC}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i) \end{cases}$$

其中, $J_{HE}(t, f, p, v, \theta)$ 和 $J_{EC}(t, f, p, v, \theta)$ 分别为在输入变量进/回水温差 $t \in T$ 、流量 $f \in F$ 、压力 $p \in P$ 、阀门开度 $v \in V$ 和 $\theta = \{\theta_T, \theta_F, \theta_P, \theta_V\}$ 下系统总换热量和系统总能耗; $\hat{y}_{HE}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i)$ 和 $\hat{y}_{EC}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i)$ 分别为在输入变量和约束条件集合下第 i ($i = 1, 2, \dots, m$) 个关键设备二型模糊模型输出,即第 i 个设备的换热量和能耗, λ_i 为第 i 个关键设备的换热效率, m 为系统中关键设备数量。

3. 如权利要求2所述的地源热泵空调系统多设备协同优化方法,其特征在于,以系统总换热量最大和系统总能耗最小为目标进行系统总换热量和系统总能耗模型优化,具体为解决如下带约束的多目标优化问题:

$$\begin{cases} \max_{t, f, p, v, \theta} J_{HE}(t, f, p, v, \theta) \\ \min_{t, f, p, v, \theta} J_{EC}(t, f, p, v, \theta) \end{cases}$$

$$s. t. t \in \theta_T, f \in \theta_F, p \in \theta_P, v \in \theta_V$$

4. 如权利要求1所述的地源热泵空调系统多设备协同优化方法,其特征在于,所述热源机组由 N 个换热机组组成,建立热源机组在 τ 时刻的基于热负荷需求响应的群智能节能控制模型为:

$$\begin{aligned} \min E \left\{ \sum_{i=1}^N \left[\sum_{\tau=1}^T \omega_i p_i(\tau) \frac{P_i^{HSU}(\tau)}{P_B^{HSU}} + (1 - \omega_i) \frac{HE_i(\tau)}{HE_B} \right] \right\} \\ s.t. \begin{cases} P\{HE_i(\tau) \leq HE_{\max}\} \geq \beta_{HE} \\ P\{0 \leq P_i^{HSU}(\tau) \leq P_{\max}^{HSU}\} \geq \beta_P \end{cases} \end{aligned}$$

其中, ω_i 为第 i ($i = 1, 2, \dots, N$) 个换热机组能耗和热负荷权重因子,取值范围 $[0, 1]$, $p_i(\tau)$ 为第 i 个换热机组在 τ 时刻的电能转换效率, $P_i^{HSU}(\tau)$ 为第 i 个换热机组的电能消耗, P_B^{HSU} 为热源机组能耗基准均值, $HE_i(\tau)$ 为第 i 个热源机组在 τ 时刻的换热量, HE_B 为热源机组换热量基准值, $P\{\cdot\}$ 表示约束条件成立概率, β_{HE} 和 β_P 为设定的阈值, HE_{\max} 和 P_{\max}^{HSU} 为最大换热量

和最大电能消耗量。

5. 如权利要求4所述的地源热泵空调系统多设备协同优化方法,其特征在於,采用基于群智能的分布式优化方法求解所构建的节能控制模型最优解 f^* ,具体为:

$$\begin{aligned} f^* &= \min_x \sum_{i \in D} f_i(x_i) \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{i \in D} g_i(x_i) = c \\ \text{or} \quad &\sum_{i \in D} g_i(x_i) \leq c \end{aligned}$$

6. 一只地源热泵空调系统多设备协同优化系统,其特征在於,包括:

多目标优化问题建立模块,被配置为:根据地源热泵空调系统关键设备二型模糊模型,得到地源热泵空调系统的系统总换热量和系统总能耗模型,以系统总换热量最大和系统总能耗最小为目标进行系统总换热量和系统总能耗模型优化;

模型建立模块,被配置为:以热源机组的多个换热机组对应的控制器为基础,建立基于热负荷需求响应的群智能节能控制模型;

寻优模块,被配置为:采用基于群智能的分布式优化方法求解所构建的节能控制模型最优解,得到最优的节能控制策略。

7. 如权利要求6所述的地源热泵空调系统多设备协同优化系统,其特征在於,所述多目标优化问题建立模块建立的系统总换热量和系统总能耗模型为:

系统总换热量和系统总能耗可抽象化为:

$$\begin{cases} J_{HE}(t, f, p, v, \theta) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \hat{y}_{HE}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i) \\ J_{EC}(t, f, p, v, \theta) = \sum_{i=1}^m \hat{y}_{EC}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i) \end{cases}$$

具体为解决如下带约束的多目标优化问题:

$$\begin{cases} \max_{t, f, p, v, \theta} J_{HE}(t, f, p, v, \theta) \\ \min_{t, f, p, v, \theta} J_{EC}(t, f, p, v, \theta) \end{cases}$$

$$\text{s. t. } t \in \theta_T, f \in \theta_F, p \in \theta_P, v \in \theta_V$$

其中, $J_{HE}(t, f, p, v, \theta)$ 和 $J_{EC}(t, f, p, v, \theta)$ 分别为在输入变量--进/回水温差 $t \in T$ 、流量 $f \in F$ 、压力 $p \in P$ 和阀门开度 $v \in V$ --和 $\theta = \{\theta_T, \theta_F, \theta_P, \theta_V\}$ --下系统总换热量和系统总能耗。

$\hat{y}_{HE}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i)$ 和 $\hat{y}_{EC}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i)$ 分别为在输入变量和约束条件集合下第 i ($i = 1, 2, \dots, m$)个关键设备二型模糊模型输出(即第 i 个设备的换热量和能耗), λ_i 为第 i 个关键设备的换热效率, m 为系统中关键设备数量。

8. 如权利要求6所述地源热泵空调系统多设备协同优化系统,其特征在於,所述热源机组由 N 个换热机组组成,建立热源机组在 τ 时刻的基于热负荷需求响应的群智能节能控制模型为:

$$\min E \left\{ \sum_{i=1}^N \left[\sum_{\tau=1}^T \omega_i p_i(\tau) \frac{P_i^{HSU}(\tau)}{P_B^{HSU}} + (1 - \omega_i) \frac{HE_i(\tau)}{HE_B} \right] \right\}$$

$$s.t. \begin{cases} P\{HE_i(\tau) \leq HE_{\max}\} \geq \beta_{HE} \\ P\{0 \leq P_i^{HSU}(\tau) \leq P_{\max}^{HSU}\} \geq \beta_P \end{cases}$$

采用基于群智能的分布式优化方法求解所构建的节能控制模型最优解 f^* ,具体为:

$$f^* = \min_x \sum_{i \in D} f_i(x_i)$$

$$s.t. \sum_{i \in D} g_i(x_i) = c$$

$$or \sum_{i \in D} g_i(x_i) \leq c$$

其中, ω_i 为第 i ($i=1, 2, \dots, N$)个换热机组能耗和热负荷权重因子,取值范围 $[0, 1]$, $p_i(\tau)$ 为第 i 个换热机组在 τ 时刻的电能转换效率, $P_i^{HSU}(\tau)$ 为第 i 个换热机组的电能消耗, P_B^{HSU} 为热源机组能耗基准均值, $HE_i(\tau)$ 为第 i 个热源机组在 τ 时刻的换热量, HE_B 为热源机组换热量基准值, $P\{\cdot\}$ 表示约束条件成立概率, β_{HE} 和 β_P 为设定的阈值, HE_{\max} 和 P_{\max}^{HSU} 为最大换热量和最大电能消耗量。

9.一种可读存储介质,其上存储有程序,其特征在于,该程序被处理器执行时实现如权利要求1-5任一项所述的地源热泵空调系统多设备协同优化方法中的步骤。

10.一种电子设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的程序,其特征在于,所述处理器执行所述程序时实现如权利要求1-5任一项所述的地源热泵空调系统多设备协同优化方法中的步骤。

一种地源热泵空调系统多设备协同优化方法及系统

技术领域

[0001] 本公开涉及地源热泵空调系统技术领域,特别涉及一种地源热泵空调系统多设备协同优化方法及系统。

背景技术

[0002] 本部分的陈述仅仅是提供了与本公开相关的背景技术,并不必然构成现有技术。

[0003] 地源热泵空调系统作为一种充分利用清洁、可再生地热资源实现系统节能减排的新型空调系统相比传统空调系统可以降低29.2%的系统能耗,减少14.7%的建筑总能耗有效提升建筑物能源效率,被广泛应用于构建超低能耗/零能耗绿色建筑中。

[0004] 本公开发明人发现,(1)地源热泵空调系统的关键设备如热源机组、制冷机组、末端机组之间具有约束性、不确定性和复杂性,并且设备之间具有强耦合特性;(2)地源热泵空调系统通常为经验式、粗放型管控,导致设备运行工况差(欠负荷运行或超负荷运行),故障概率高;(3)设备子系统的各设备的控制各自为政,缺乏协同,造成系统效率低、能耗高。

发明内容

[0005] 为了解决现有技术的不足,本公开提供了一种地源热泵空调系统多设备协同优化方法及系统,对地源热泵空调系统的多个设备协同问题进行了抽象并转化成了多目标优化问题,建立了地源热泵空调系统中的热泵系统节能控制模型,利用群智能分布式优化方法得到了节能控制模型的最优解,从而实现地源热泵空调系统中的热泵系统的多设备协同最优控制。

[0006] 为了实现上述目的,本公开采用如下技术方案:

[0007] 第一方面,本公开提供了一种地源热泵空调系统多设备协同优化方法,步骤如下:

[0008] 根据地源热泵空调系统关键设备二型模糊模型,得到地源热泵空调系统的系统总换热量和系统总能耗模型,以系统总换热量最大和系统总能耗最小为目标进行系统总换热量和系统总能耗模型优化;

[0009] 以热源机组的多个换热机组对应的控制器为基础,建立基于热负荷需求响应的群智能节能控制模型;

[0010] 采用基于群智能的分布式优化方法求解所构建的节能控制模型最优解,得到最优的节能控制策略。

[0011] 作为可能的一些实现方式,系统总换热量和系统总能耗可抽象化为:

$$[0012] \begin{cases} J_{HE}(t, f, p, v, \theta) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \hat{y}_{HE}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i) \\ J_{EC}(t, f, p, v, \theta) = \sum_{i=1}^m \hat{y}_{EC}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i) \end{cases}$$

[0013] 其中, $J_{HE}(t, f, p, v, \theta)$ 和 $J_{EC}(t, f, p, v, \theta)$ 分别为在输入变量即进/回水温差 $t \in T$ 、流量 $f \in F$ 、压力 $p \in P$ 、阀门开度 $v \in V$ 和 $\theta = \{\theta_T, \theta_F, \theta_P, \theta_V\}$ 下系统总换热量和系统总能耗;

$\hat{y}_{HE}^i(t, f, p, v, \theta)$ 和 $\hat{y}_{EC}^i(t, f, p, v, \theta)$ 分别为在输入变量和约束条件集合下第 i ($i=1, 2, \dots, m$) 个关键设备二型模糊模型输出, 即第 i 个设备的换热量和能耗, λ_i 为第 i 个关键设备的换热效率, m 为系统中关键设备数量。

[0014] 作为进一步的限定, 以系统总换热量最大和系统总能耗最小为目标进行系统总换热量和系统总能耗模型优化, 具体为解决如下带约束的多目标优化问题:

$$[0015] \quad \begin{cases} \max_{t, f, p, v, \theta} J_{HE}(t, f, p, v, \theta) \\ \min_{t, f, p, v, \theta} J_{EC}(t, f, p, v, \theta) \end{cases}$$

$$[0016] \quad s. t. t \in \theta_T, f \in \theta_F, p \in \theta_P, v \in \theta_V$$

[0017] 作为可能的一些实现方式, 所述热源机组由 N 个换热机组组成, 建立热源机组在 τ 时刻的基于热负荷需求响应的群智能节能控制模型为:

$$[0018] \quad \min E \left\{ \sum_{i=1}^N \left[\sum_{\tau=1}^T \omega_i p_i(\tau) \frac{P_i^{HSU}(\tau)}{P_B^{HSU}} + (1 - \omega_i) \frac{HE_i(\tau)}{HE_B} \right] \right\}$$

$$[0019] \quad s. t. \begin{cases} P\{HE_i(\tau) \leq HE_{\max}\} \geq \beta_{HE} \\ P\{0 \leq P_i^{HSU}(\tau) \leq P_{\max}^{HSU}\} \geq \beta_P \end{cases}$$

[0020] 其中, ω_i 为第 i ($i=1, 2, \dots, N$) 个换热机组能耗和热负荷权重因子, 取值范围 $[0, 1]$, $p_i(\tau)$ 为第 i 个换热机组在 τ 时刻的电能转换效率, $P_i^{HSU}(\tau)$ 为第 i 个换热机组的电能消耗, P_B^{HSU} 为热源机组能耗基准均值, $HE_i(\tau)$ 为第 i 个热源机组在 τ 时刻的换热量, HE_B 为热源机组换热量基准值, $P\{\cdot\}$ 表示约束条件成立概率, β_{HE} 和 β_P 为设定的阈值, HE_{\max} 和 P_{\max}^{HSU} 为最大换热量和最大电能消耗量。

[0021] 作为进一步的限定, 采用基于群智能的分布式优化方法求解所构建的节能控制模型最优解 f^* , 具体为:

$$[0022] \quad f^* = \min_x \sum_{i \in D} f_i(x_i)$$

$$[0023] \quad s. t. \sum_{i \in D} g_i(x_i) = c$$

$$[0024] \quad or \sum_{i \in D} g_i(x_i) \leq c$$

[0025] 第二方面, 本公开提供了一只地源热泵空调系统多设备协同优化系统, 包括:

[0026] 多目标优化问题建立模块, 被配置为: 根据地源热泵空调系统关键设备二型模糊模型, 得到地源热泵空调系统的系统总换热量和系统总能耗模型, 以系统总换热量最大和系统总能耗最小为目标进行系统总换热量和系统总能耗模型优化;

[0027] 模型建立模块, 被配置为: 以热源机组的多个换热机组对应的控制器为基础, 建立基于热负荷需求响应的群智能节能控制模型;

[0028] 寻优模块, 被配置为: 采用基于群智能的分布式优化方法求解所构建的节能控制模型最优解, 得到最优的节能控制策略。

[0029] 作为可能的一些实现方式, 所述多目标优化问题建立模块建立的系统总换热量和

系统总能耗模型为：

[0030] 系统总换热量和系统总能耗可抽象化为：

$$[0031] \begin{cases} J_{HE}(t, f, p, v, \theta) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \hat{y}_{HE}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i) \\ J_{EC}(t, f, p, v, \theta) = \sum_{i=1}^m \hat{y}_{EC}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i) \end{cases}$$

[0032] 具体为解决如下带约束的多目标优化问题：

$$[0033] \begin{cases} \max_{t, f, p, v, \theta} J_{HE}(t, f, p, v, \theta) \\ \min_{t, f, p, v, \theta} J_{EC}(t, f, p, v, \theta) \end{cases}$$

[0034] s. t. $t \in \theta_T, f \in \theta_F, p \in \theta_P, v \in \theta_V$

[0035] 其中, $J_{HE}(t, f, p, v, \theta)$ 和 $J_{EC}(t, f, p, v, \theta)$ 分别为在输入变量--进/回水温差 $t \in T$ 、流量 $f \in F$ 、压力 $p \in P$ 和阀门开度 $v \in V$ --和 $\theta = \{\theta_T, \theta_F, \theta_P, \theta_V\}$ --下系统总换热量和系统总能耗。 $\hat{y}_{HE}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i)$ 和 $\hat{y}_{EC}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i)$ 分别为在输入变量和约束条件集合下第 i ($i=1, 2, \dots, m$) 个关键设备二型模糊模型输出(即第 i 个设备的换热量和能耗), λ_i 为第 i 个关键设备的换热效率, m 为系统中关键设备数量。

[0036] 作为可能的一些实现方式, 所述热源机组由 N 个换热机组组成, 建立热源机组在 τ 时刻的基于热负荷需求响应的群智能节能控制模型为：

$$[0037] \min E \left\{ \sum_{i=1}^N \left[\sum_{\tau=1}^T \omega_i p_i(\tau) \frac{P_i^{HSU}(\tau)}{P_B^{HSU}} + (1 - \omega_i) \frac{HE_i(\tau)}{HE_B} \right] \right\}$$

$$[0038] \text{s.t.} \begin{cases} P\{HE_i(\tau) \leq HE_{\max}\} \geq \beta_{HE} \\ P\{0 \leq P_i^{HSU}(\tau) \leq P_{\max}^{HSU}\} \geq \beta_P \end{cases}$$

[0039] 采用基于群智能的分布式优化方法求解所构建的节能控制模型最优解 f^* , 具体为：

$$[0040] f^* = \min_x \sum_{i \in D} f_i(x_i)$$

$$[0041] \text{s.t.} \sum_{i \in D} g_i(x_i) = c$$

$$[0042] \text{or} \sum_{i \in D} g_i(x_i) \leq c$$

[0043] 其中, ω_i 为第 i ($i=1, 2, \dots, N$) 个换热机组能耗和热负荷权重因子, 取值范围 $[0, 1]$, $p_i(\tau)$ 为第 i 个换热机组在 τ 时刻的电能转换效率, $P_i^{HSU}(\tau)$ 为第 i 个换热机组的电能消耗, P_B^{HSU} 为热源机组能耗基准均值, $HE_i(\tau)$ 为第 i 个热源机组在 τ 时刻的换热量, HE_B 为热源机组换热量基准值。 $P\{\cdot\}$ 表示约束条件成立概率, β_{HE} 和 β_P 为设定的阈值, HE_{\max} 和 P_{\max}^{HSU} 为最大换热量和最大电能消耗量。

[0044] 第三方面, 本公开提供了一种可读存储介质, 其上存储有程序, 该程序被处理器执行时实现本公开所述的地源热泵空调系统多设备协同优化方法中的步骤。

[0045] 第四方面, 本公开提供了一种电子设备, 包括存储器、处理器及存储在存储器上并

可在处理器上运行的程序,所述处理器执行所述程序时实现本公开所述的地源热泵空调系统多设备协同优化方法中的步骤。

[0046] 与现有技术相比,本公开的有益效果是:

[0047] 1、本公开对地源热泵空调系统的多个设备协同问题进行了抽象并转化成了多目标优化问题,以系统总换热量最大和系统总能耗最小为目标进行系统总换热量和系统总能耗模型优化,从而有效的实现了对地源热泵空调系统的整体节能管控,提高了对地源热泵空调系统的多个设备的协调控制能力。

[0048] 2、本公开建立了地源热泵系统的热源机组的节能控制模型,利用群智能分布式优化方法得到了控制模型的最优解,从而实现地源热泵空调系统中的热泵系统的多设备协同最优控制。

附图说明

[0049] 图1为本公开实施例1所述的地源热泵空调系统多设备协同优化方法流程图。

[0050] 图2为本公开实施例1所述的地源热泵空调系统关键设备框图。

具体实施方式

[0051] 应该指出,以下详细说明都是例示性的,旨在对本公开提供进一步的说明。除非另有指明,本文使用的所有技术和科学术语具有与本公开所属技术领域的普通技术人员通常理解的含义。

[0052] 需要注意的是,这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本公开的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式也意图包括复数形式,此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0053] 实施例1:

[0054] 如图1所示,本公开实施例1提供了一种地源热泵空调系统多设备协同优化方法,步骤如下:

[0055] 根据地源热泵空调系统关键设备二型模糊模型,得到地源热泵空调系统的系统总换热量和系统总能耗模型,以系统总换热量最大和系统总能耗最小为目标进行系统总换热量和系统总能耗模型优化;

[0056] 地源热泵空调系统关键设备系统框图如图2所示,包括由地埋换热器和热泵机组构成的热源机组、制冷机组和末端机组,N个换热机组的控制器构成一个多智能体网络,以热源机组的N个换热机组对应的控制器为基础,建立基于热负荷需求响应的群智能节能控制模型;

[0057] 采用基于群智能的分布式优化方法求解所构建的节能控制模型最优解,得到最优的节能控制策略。

[0058] 本实施例所述的地源热泵空调系统关键设备二型模糊模型,具体构建方法为:

[0059] 一、边界约束条件向模型结构和参数约束的转化:建立多输入多输出的热源机组二型模糊模型,同时考虑边界约束条件对热源机组二型模糊模型的输入变量集合、输出变量集合及其参数进行约束;

[0060] 二、约束条件下数据驱动二型模糊规则自组织：在考虑边界约束条件的热源机组二型模糊模型的基础上，建立带约束的数据驱动自组织二型模糊规则库；

[0061] 三、约束条件下数据驱动模型参数自学习：利用带约束的数据驱动自组织二型模糊规则库对热源机组二型模糊模型的参数进行自学习优化训练；在热源机组二型模糊模型的参数自学习优化训练过程中，将参数自学习优化问题转化为带约束的多目标优化问题，进而构建出带约束的多目标优化函数，求解带约束的多目标优化函数，得到热源机组二型模糊模型的最优参数。

[0062] 在步骤一中，

[0063] 1) 以进水与回水温差 t 、流量 f 、压力 p 、阀门开度 v 为输入变量，构成二型模糊系统输入参数集合，将换热量 HE 和能耗 EC 作为输出变量，构成模型输出参数集合。建立多输入多输出热源机组二型模糊模型。

[0064] 2) 模型输入参数和输出参数均采用高斯型，以输入变量之一的进水与回水温差为例。在该模糊集合中，进水与回水温差 t 时的隶属度为区间值 $[\underline{\mu}_A(t), \bar{\mu}_A(t)]$ ，区间隶属度可更好的处理埋换热器周边地质环境的非连续一致性带来的强不确定性，有助于利用具有各种不确定性的数据进行建模。

[0065] 为建立该模型，需要根据约束条件和数据中的信息确定参数进水与回水温差最小值 t_{\min} 、进水与回水温差最大值 t_{\max} 以及隶属度函数的均值 m 和方差 δ 。二型模糊建模中，输入参数或输出参数对应的隶属度函数，常用的有：三角形、梯形、高斯型等，采用高斯型就需要确定高斯型隶属度函数的均值 m 和方差 δ ，即本实施例中的 (m_1, δ_1) 以及 (m_2, δ_2) ，如图2所示，进水与回水温差对应的是高斯型隶属度函数，当进水与回水温差的隶属度为1时，对应的两个均值分别为 m_1 和 m_2 ，对应的两个方差分别为 $\delta_1 m_1$ 和均值 δ_2 。

[0066] 3) 考虑边界约束条件对二型模糊模型前件（输入变量）集合和后件（输出变量）集合及其参数的约束。以热源机组中埋换热器埋入深度（一般在70米-120米）和系统不同的工作模式（制冷/制热）对进水与回水温差的约束转化为例。通常在埋入深度80米，夏季制冷模式下进水与回水温差边界值为7℃至12℃；冬季制热模式下进水与回水温差边界值为3℃至6℃。因此，进水与回水温差二型模糊前件参数需满足这一边界约束条件，即 $t_{\min} \leq t_i \leq t_{\max}$ ，（ $t_{\min}=3$ ， $t_{\max}=12$ ）。

[0067] 4) 在实际系统中，输入变量--进水与回水温差 $t \in T$ 、流量 $f \in F$ 、压力 $p \in P$ 、阀门开度 $v \in V$ --都有具体的取值范围，拟将其抽象化的记为 $t \in T \in \theta_T$ 、 $f \in F \in \theta_F$ 、 $p \in P \in \theta_P$ 、 $v \in V \in \theta_V$ ，并构成输入变量边界约束集合 $\theta = \{\theta_T, \theta_F, \theta_P, \theta_V\}$ 。数据的边界条件对参数 $m_1, \sigma_1, m_2, \sigma_2$ 构成结构上的约束，记为结构约束集合 $\omega = \{m_i, \sigma_i\}$ ，（ $i=1, 2$ ）。

[0068] 步骤二中，

[0069] 1) 考虑热源机组的4种输入变量（包括进水与回水温差、流量、压力、阀门开度）与2个输出变量（即换热量和系统能耗）之间的关系。在边界条件构成的模型结构和参数约束基础上，建立带约束的数据驱动自组织二型模糊规则库：

[0070] 初始化：由边界约束条件初始化构成对模型结构和参数的约束，设定数据与规则间的匹配度评价指标（相关性）和阈值。

[0071] 规则生成：拟采用粗糙集方法由数据初步建立规则库，比如：

[0072] $R^{i_1 i_2 i_3 i_4} : IF T \text{ is } A_{i_1} \text{ and } F \text{ is } B_{i_2} \text{ and } P \text{ is } C_{i_3} \text{ and } V \text{ is } D_{i_4}, THEN HE = H_{i_5} \text{ and } EC = E_{i_6}$

[0073] 其中 A_{i_1} , B_{i_2} , C_{i_3} , D_{i_4} 分别为输入变量进水与回水温差 T 、流量 F 、压力 P 和阀门开度 V 在边界约束条件下的二型模糊前件集合; H_{i_5} 和 E_{i_6} 分别为输出变量换热量 HE 和能耗 EC 二型模糊后件集合。

[0074] 规则自组织:

[0075] 新规则的产生: 当数据输入时, 计算该数据与已有规则的匹配度。若匹配度满足阈值要求, 将其归类到已有规则中, 并调整规则参数, 同时要保证调整后的参数仍满足初始化时边界条件构成的参数约束。若匹配度不满足阈值要求, 则产生新的规则。

[0076] 规则合并: 定义规则间的相关性评价以及合并阈值, 当规则间的相关性满足合并阈值时, 将规则进行合并, 同时在参数约束指标内调整规则参数。

[0077] 规则拆分: 设定规则拆分条件和拆分准则, 当规则满足拆分条件时, 对规则进行拆分, 同时保证拆后的规则不会构成规则合并。

[0078] 规则删除: 对初始化阶段建立的规则按照设定指标进行裁剪, 去除冗余规则。

[0079] 在步骤三中,

[0080] 基于步骤一中构建的约束集合 $\theta = \{\theta_T, \theta_F, \theta_P, \theta_V\}$ 和 $\omega = \{m_i, \sigma_i\}$, 利用数据来优化所构建二型模糊模型的参数。假定有 N 组数据 $(x^1, y^1), \dots, (x^N, y^N)$, 其中 $x^k = (x_T^k, x_F^k, x_P^k, x_V^k)$, $k = 1, 2, \dots, N$ 为二型模糊模型输入数据, 即进水与回水温差 T 、流量 F 、压力 P 和阀门开度 V ; $y^k = (y_{HE}^k, y_{EC}^k)$ 表示模型输出数据, 包括换热量和能耗。采用

$$[0081] \begin{cases} J_{HE}(t, f, p, v, \theta) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \hat{y}_{HE}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i) = \sum_{k=1}^N \left[y_{HE}^k - \hat{y}_{HE}^k(x^k, \theta, \omega) \right]^2 \\ J_{EC}(t, f, p, v, \theta) = \sum_{i=1}^m \hat{y}_{EC}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i) = \sum_{k=1}^N \left[y_{EC}^k - \hat{y}_{EC}^k(x^k, \theta, \omega) \right]^2 \end{cases}$$

[0082] 作为所构建二型模糊模型参数训练的目标函数, 其中 $\hat{y}_{HE}^k(x^k, \theta, \omega)$ 和 $\hat{y}_{EC}^k(x^k, \theta, \omega)$ 分别为模型关于 x^k 的输出。 $J_{HE}(\theta, \omega)$ 和 $J_{EC}(\theta, \omega)$ 分别为换热量目标函数和能耗目标函数。

[0083] 其中, $J_{HE}(t, f, p, v, \theta)$ 和 $J_{EC}(t, f, p, v, \theta)$ 分别为在输入变量进/回水温差 $t \in T$ 、流量 $f \in F$ 、压力 $p \in P$ 、阀门开度 $v \in V$ 和 $\theta = \{\theta_T, \theta_F, \theta_P, \theta_V\}$ 下系统总换热量和系统总能耗; $\hat{y}_{HE}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i)$ 和 $\hat{y}_{EC}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i)$ 分别为在输入变量和约束条件集合下第 i ($i = 1, 2, \dots, m$) 个关键设备二型模糊模型输出, 即第 i 个设备的换热量和能耗, λ_i 为第 i 个关键设备的换热效率, m 为系统中关键设备数量。

[0084] 以系统总换热量最大和系统总能耗最小为目标进行系统总换热量和系统总能耗模型优化, 具体为解决如下带约束的多目标优化问题:

$$[0085] \begin{cases} \max_{t, f, p, v, \theta} J_{HE}(t, f, p, v, \theta) = \sum_{k=1}^N \left[y_{HE}^k - \hat{y}_{HE}^k(x^k, \theta, \omega) \right]^2 \\ \min_{t, f, p, v, \theta} J_{EC}(t, f, p, v, \theta) = \sum_{k=1}^N \left[y_{EC}^k - \hat{y}_{EC}^k(x^k, \theta, \omega) \right]^2 \end{cases}$$

[0086] s. t. $t \in \theta_T, f \in \theta_F, p \in \theta_P, v \in \theta_V$

[0087] Θ 为输入变量边界约束预设范围; Ω 为结构约束预设范围。

[0088] 4) 由于所构建二型模糊模型的输出与规则中隶属函数的参数之间是非线性的,因此该优化问题是一个带约束的非线性多目标优化问题。采用非线性优化算法(比如粒子群算法,神经网络,深度网络等)对上述问题进行优化。

[0089] 本实施例对所构建的二型模糊参数进行自学习优化,将约束条件下模型参数优化问题转化为带约束的多目标优化问题,由于所构建二型模糊模型的输出与规则中的隶属函数的参数之间是非线性的,因此该优化问题是一个带约束的非线性多目标优化问题。

[0090] 因此,可采用两种方法来得到最优参数:

[0091] A) 若目标函数关于参数的偏导数存在且易于求得,则采用惩罚函数将带约束的多目标优化问题转化为无约束的多目标优化问题,继而可采用梯度下降法进行求解;

[0092] B) 若目标函数关于参数的偏导数不存在或极难求,则采用非线性优化算法(如粒子群算法、神经网络、深度网络等)优化之。

[0093] 所述热源机组由N个换热机组组成,建立热源机组在 τ 时刻的基于热负荷需求响应的群智能节能控制模型为:

$$[0094] \quad \min E \left\{ \sum_{i=1}^N \left[\sum_{\tau=1}^T \omega_i p_i(\tau) \frac{P_i^{HSU}(\tau)}{P_B^{HSU}} + (1-\omega_i) \frac{HE_i(\tau)}{HE_B} \right] \right\}$$

$$[0095] \quad s.t. \begin{cases} P\{HE_i(\tau) \leq HE_{\max}\} \geq \beta_{HE} \\ P\{0 \leq P_i^{HSU}(\tau) \leq P_{\max}^{HSU}\} \geq \beta_P \end{cases}$$

[0096] 其中, ω_i 为第 i ($i=1,2,\dots,N$)个换热机组能耗和热负荷权重因子,取值范围 $[0,1]$, $p_i(\tau)$ 为第 i 个换热机组在 τ 时刻的电能转换效率, $P_i^{HSU}(\tau)$ 为第 i 个换热机组的电能消耗, P_B^{HSU} 为热源机组能耗基准均值, $HE_i(\tau)$ 为第 i 个热源机组在 τ 时刻的换热量, HE_B 为热源机组换热量基准值。 $P\{\cdot\}$ 表示约束条件成立概率, β_{HE} 和 β_P 为设定的阈值, HE_{\max} 和 P_{\max}^{HSU} 为最大换热量和最大电能消耗量。

[0097] 采用基于群智能的分布式优化方法求解所构建的节能控制模型最优解 f^* ,具体为:

$$[0098] \quad f^* = \min_x \sum_{i \in D} f_i(x_i)$$

$$[0099] \quad s.t. \sum_{i \in D} g_i(x_i) = c$$

$$[0100] \quad or \sum_{i \in D} g_i(x_i) \leq c$$

[0101] 在此工程中,以热源机组为例,将机组的各个设备当作粒子,最优解为总能耗最低并且总换热量最大。

[0102] 其中, $f_i(x_i)$ 为 $\sum_{i=1}^N \left[\sum_{\tau=1}^T \omega_i p_i(\tau) \frac{P_i^{HSU}(\tau)}{P_B^{HSU}} + (1-\omega_i) \frac{HE_i(\tau)}{HE_B} \right]$, $g_i(x_i)$ 为 $HE_i(\tau) \leq$

HE_{\max} 。

[0103] 所述群智能的分布式优化方法,具体为:包括以下几个步骤:

[0104] (1) 初始化粒子群,包括粒子的位置和速度;

[0105] (2) 计算每个粒子的适应度;

[0106] (3) 根据适应度更新粒子的位置和速度;

[0107] (4) 其中位置和速度的更新公式为 $v_{ij}(t+1) = v_{ij}(t) + c_1 r_1(t) [p_{ij}(t) - x_{ij}(t)] + c_2 r_2 [p_{gi}(t) - x_{ij}(t)]$ $x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1)$ 其中 c_1, c_2 为学习因子,也成加速常数; r_1, r_2 为范围在0到1之间的均匀随机数, v_{ij} 是粒子的速度由用户设定粒子的速度范围;

[0108] (5) 判断是否达到迭代次数或者最有解条件,如果达到则结束,如果没达到则返回步骤2继续搜索;

[0109] (6) 结束。

[0110] 实施例2:

[0111] 本公开实施例2提供了一只地源热泵空调系统多设备协同优化系统,包括:

[0112] 多目标优化问题建立模块,被配置为:根据地源热泵空调系统关键设备二型模糊模型,得到地源热泵空调系统的系统总换热量和系统总能耗模型,以系统总换热量最大和系统总能耗最小为目标进行系统总换热量和系统总能耗模型优化;

[0113] 模型建立模块,被配置为:以热源机组的多个换热机组对应的控制器为基础,建立基于热负荷需求响应的群智能节能控制模型;

[0114] 寻优模块,被配置为:采用基于群智能的分布式优化方法求解所构建的节能控制模型最优解,得到最优的节能控制策略。

[0115] 所述多目标优化问题建立模块建立的系统总换热量和系统总能耗模型为:

[0116] 系统总换热量和系统总能耗可抽象化为:

$$[0117] \begin{cases} J_{HE}(t, f, p, v, \theta) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \hat{y}_{HE}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i) \\ J_{EC}(t, f, p, v, \theta) = \sum_{i=1}^m \hat{y}_{EC}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i) \end{cases}$$

[0118] 具体为解决如下带约束的多目标优化问题:

$$[0119] \begin{cases} \max_{t, f, p, v, \theta} J_{HE}(t, f, p, v, \theta) \\ \min_{t, f, p, v, \theta} J_{EC}(t, f, p, v, \theta) \end{cases}$$

[0120] s. t. $t \in \theta_T, f \in \theta_F, p \in \theta_P, v \in \theta_V$

[0121] 其中, $J_{HE}(t, f, p, v, \theta)$ 和 $J_{EC}(t, f, p, v, \theta)$ 分别为在输入变量--进/回水温差 $t \in T$ 、流量 $f \in F$ 、压力 $p \in P$ 和阀门开度 $v \in V$ --和 $\theta = \{\theta_T, \theta_F, \theta_P, \theta_V\}$ --下系统总换热量和系统总能耗。

$\hat{y}_{HE}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i)$ 和 $\hat{y}_{EC}^i(t_i, f_i, p_i, v_i, \theta_i)$ 分别为在输入变量和约束条件集合下第 i ($i=1, 2, \dots, m$)个关键设备二型模糊模型输出(即第 i 个设备的换热量和能耗), λ_i 为第 i 个关键设备的换热效率, m 为系统中关键设备数量。

[0122] 作为可能的一些实现方式,所述热源机组由 N 个换热机组组成,建立热源机组在 τ 时刻的基于热负荷需求响应的群智能节能控制模型为:

$$[0123] \quad \min E \left\{ \sum_{i=1}^N \left[\sum_{\tau=1}^T \omega_i p_i(\tau) \frac{P_i^{HSU}(\tau)}{P_B^{HSU}} + (1-\omega_i) \frac{HE_i(\tau)}{HE_B} \right] \right\}$$

$$[0124] \quad s.t. \begin{cases} P\{HE_i(\tau) \leq HE_{\max}\} \geq \beta_{HE} \\ P\{0 \leq P_i^{HSU}(\tau) \leq P_{\max}^{HSU}\} \geq \beta_P \end{cases}$$

[0125] 采用基于群智能的分布式优化方法求解所构建的节能控制模型最优解 f^* , 具体为:

$$[0126] \quad f^* = \min_x \sum_{i \in D} f_i(x_i)$$

$$[0127] \quad s.t. \sum_{i \in D} g_i(x_i) = c$$

$$[0128] \quad or \sum_{i \in D} g_i(x_i) \leq c$$

[0129] 其中, ω_i 为第 i ($i=1, 2, \dots, N$)个换热机组能耗和热负荷权重因子, 取值范围 $[0, 1]$, $p_i(\tau)$ 为第 i 个换热机组在 τ 时刻的电能转换效率, $P_i^{HSU}(\tau)$ 为第 i 个换热机组的电能消耗, P_B^{HSU} 为热源机组能耗基准均值, $HE_i(\tau)$ 为第 i 个热源机组在 τ 时刻的换热量, HE_B 为热源机组换热量基准值。 $P\{\cdot\}$ 表示约束条件成立概率, β_{HE} 和 β_P 为设定的阈值, HE_{\max} 和 P_{\max}^{HSU} 为最大换热量和最大电能消耗量。

[0130] 实施例3:

[0131] 本公开实施例3提供了一种可读存储介质, 其上存储有程序, 该程序被处理器执行时实现本公开实施例1所述的地源热泵空调系统多设备协同优化方法中的步骤。

[0132] 实施例4:

[0133] 本公开实施例4提供了一种电子设备, 包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的程序, 所述处理器执行所述程序时实现本公开实施例1所述的地源热泵空调系统多设备协同优化方法中的步骤。

[0134] 以上所述仅为本公开的优选实施例而已, 并不用于限制本公开, 对于本领域的技术人员来说, 本公开可以有各种更改和变化。凡在本公开的精神和原则之内, 所作的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本公开的保护范围之内。

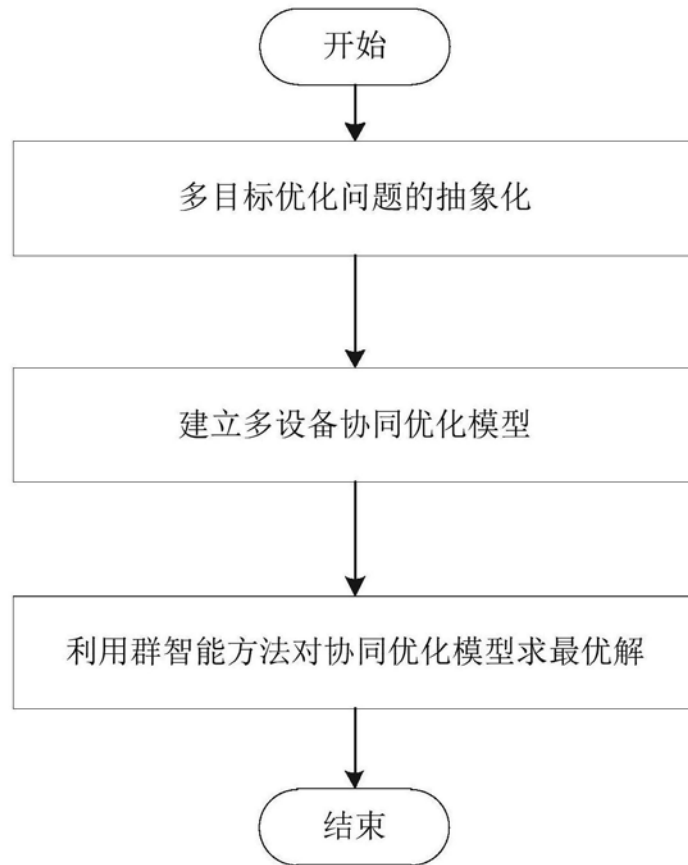


图1

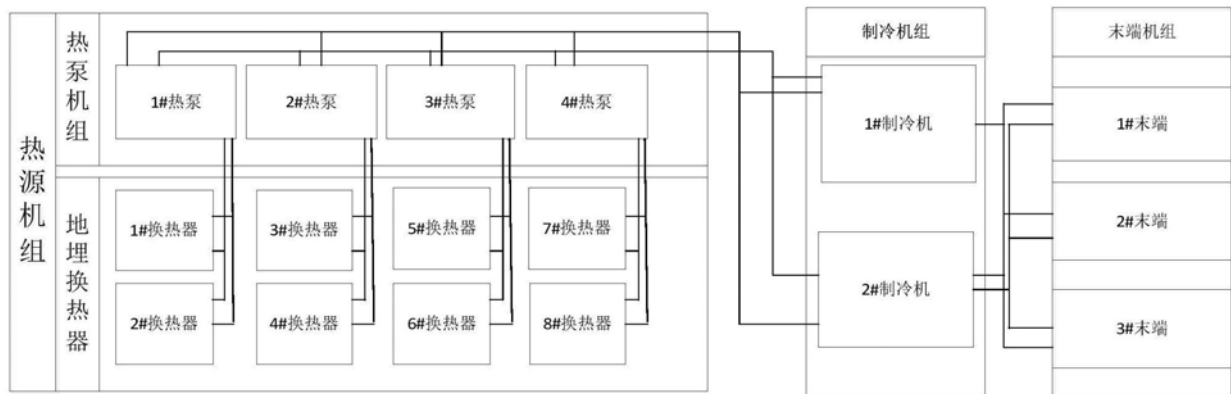


图2