

卷烟企业能源平衡调度模型与应用^①

徐晓光¹, 朱道飞², 张孝涵², 安小宇¹

¹(郑州轻工业学院, 郑州 450002)

²(昆明理工大学, 昆明 650093)

摘 要: 为实现卷烟企业能源的供需平衡调度, 研究了卷烟企业能源平衡调度方法与数学模型. 在考虑卷烟企业能源种类多、分时段供应等条件下, 建立了以最小化单位最终产品综合能耗和单位最终产品总能源消耗成本为目标的卷烟企业能源平衡调度模型, 并构建了一种分段实数编码和基因中间重组操作的改良遗传算法来求解数学模型. 某卷烟厂蒸汽平衡调度案例表明: 建立的模型和求解算法能较好地解决卷烟企业能源平衡调度, 并能有效降低卷烟生产能源 2% 左右. (Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

关键词: 卷烟企业; 能源平衡调度; 遗传算法; 分段实数编码

Application and Model of Energy Balance Scheduling in Cigarette Enterprise

XU Xiao-Guang¹, ZHU Dao-Fei², ZHANG Xiao-Han², AN Xiao-Yu¹

¹(Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

²(Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: For the energy balance scheduling of supply and demand in cigarette enterprise, the energy balance scheduling method and mathematical model of cigarette enterprise were studied. An optimization model for energy balance scheduling was established. In the model, the conditions of energy variety and time-interval supply are taken into account, and the object is to minimize unit final product comprehensive energy consumption and unit consumption of the final product cost. An improved genetic algorithm was designed to solve the model, which includes a subset real number encoding and divisional crossover operation. A case for steam balance scheduling of a cigarette factory shows that the model and algorithm can solve the energy balance scheduling of cigarette enterprise, and the comprehensive energy consumption is about 2% shorter than before.

Key words: cigarette enterprise; energy balance scheduling; genetic algorithm; subset real number code

我国烟叶产量约占世界的 35%, 卷烟产量约占世界的 32%, 是世界第一烟草大国. 大型烟草企业也是万吨标煤以上的能耗大户, 其能源管理与调度水平, 不但影响产品的质量, 而且直接影响能耗. 近年来, 卷烟企业通过积极的节能减排探索, 使得行业万元工业增加值能耗、工业二氧化硫排放总量和化学需氧量排放总量大幅度下降, 但还具有较大节能潜力^[1].

目前, 卷烟企业信息化建设取得丰硕成果^[2-10]. 特别是能源管理系统(Energy Management System, 简称 EMS), 能实现企业能源生产、输配和消耗的动态监控

和管理, 提高能源利用效率, 因此卷烟企业逐步推广应用能源管理系统^[2-4]. 部分卷烟企业已经建立了 EMS, 实现了动力能源设备的集中监控, 以及能源计量数据的采集和监视, 但缺乏对能源数据的应用, 特别是对各用能设备的能源需求预测, 以及能源的在线平衡与优化调度^[5-7]. 本文应用所建的卷烟企业能源平衡调度系统, 可根据生产计划及生产实时工况, 对不同工况下卷烟企业的能源供需进行精确预测, 实现能源的在线平衡调度, 以优化资源配置、降低卷烟企业生产能源消耗和成本.

① 收稿时间:2015-03-17;收到修改稿时间:2015-05-25

1 卷烟企业能源平衡调度系统原理

卷烟企业能源平衡调度系统, 采用基于事件的能

源平衡调度方法,其原理如图 1 所示.系统通过从数据库中读取卷烟企业的生产计划、生产调度信息和维修计划等事件信息,运行系统中的适应敏捷制造的能

源平衡调度模型,实现能源的动态平衡调度(能源系统随生产系统的实时启动、低负荷运行、满负荷运行、关闭等).

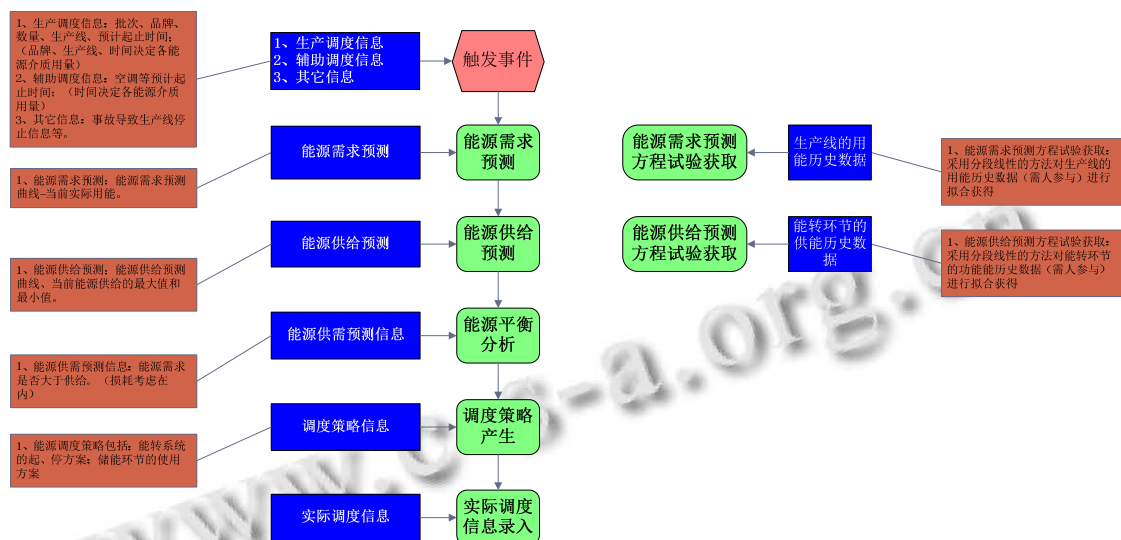


图 1 基于事件的能源平衡调度示意图

基于事件的能源平衡调度法,由生产调度信息或辅助调度信息发生改变,或出现生产异常信息来触发能源的重新平衡调度.其中,生产调度信息主要包括生产批次、品牌、数量、生产线或生产预计起止时间等.此生产调度信息发生变化,会导致各能源介质用量发生变化,必然要进行能源的重新调度;卷烟企业辅助调度信息,主要指空调开启与关闭信息,其起止时间段变化引起能源介质与能源供应的变化;生产异常信息是指因事故或、设备维修导致生产线部分设备停止运行,影响整个系统能源供需变化.

2 能源平衡调度建模

2.1 能源平衡与优化数学模型描述

在卷烟企业能源平衡与优化数学建模过程中,目标函数设计至关重要,其直接影响各种能源介质供应量及整个系统的能源调度.在此模型中,设计了单位最终产品综合能耗最少和单位最终产品总能源消耗成本最少二个优化调度目标,可供用户自行选择一个优化调度目标作为数学模型的目标函数.

目标函数为:

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & C(t) \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} \sum_{k=1}^K \zeta_{i,j,k}(t) \cdot X_{i,j,k}(t) / M(t) \\ & + C(t) \cdot \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} \sum_{k=1}^K b_{i,j,k}(t) \cdot X_{i,j,k}(t) / M(t) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} x_{i,j} \cdot R_{i,j} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

式中, i 表示生产工序编号,共 N 道生产工序; j 表示工序上用能设备编号,共有 M_i 个用能设备; k 表示能源介质编号,共有 K 种能源介质; $X_{i,j,k}(t)$ 表示 t 时间段内工序 i 上第 j 个用能设备上第 k 种能源介质消耗量; $M(t)$ 表示 t 时间段内最终产品产量; $\zeta_{i,j,k}(t)$ 表示 t 时间段内工序 i 上第 j 个用能设备上第 k 种能源介质折算标煤系数; $C_{i,j,k}(t)$ 表示 t 时间段内工序 i 上第 j 个用能设备上第 k 种能源介质的单位质量成本; $x_{i,j}$ 和 $R_{i,j}$ 分别表示 t 时间段内工序 i 上第 j 个用能设备启动次数及设备启动的平均成本; $C(t)$ 表示 t 时间段内用户是否选择此优化目标,约定如下:

$$C(t) = \begin{cases} 1 & \text{Yes} \\ 0 & \text{No} \end{cases}$$

生产工序能源平衡与优化数学模型的约束条件可归纳为以下几类:

① 用能设备物质流平衡约束

任何用能设备,首先要保证其物质流的平衡.根据所建单元设备的物质流模型,此约束可表示为:

$$\sum_{j=1}^{M_i} F_{i-1}^j + \sum_{j=1}^{M_i} \alpha_i^j + \sum_{j=1}^{M_i} \beta_{m_i}^j + \sum_{j=1}^{M_i} \beta_{i,i}^j = \sum_{j=1}^{M_i} F_i^j + \sum_{j=1}^{M_i} \gamma_i^j + \sum_{j=1}^{M_i} \beta_{i,k}^j + \sum_{j=1}^{M_i} \beta_{i,i}^j \quad (2)$$

② 用能设备能量流平衡约束

任何用能设备,其输入输出的能量流保持平衡。根据所建单元设备的能量流模型,此约束可表示为:

$$g_{k-1}^{C-j} + g_{\alpha-k}^{C-j} + g_{\beta-k}^{C-j} = g_k^{0-C-j} + g_{\beta-k}^{C-j} + g_{\gamma-k}^{C-j} + g_{\gamma-k}^{C-j} \quad (3)$$

③ 用能设备的能源需求约束

用能设备的能源需求约束是保证调度的 t 时间段内该设备生产所需的能源消耗量,它反映了设备对于能源量的需求。企业内某一用能设备,当使用不同的能源介质时,对应不同的能源利用系数。数学描述为:

$$\sum_{k=1}^K \frac{X_{i,j,k}(t)}{m_{i,j,k}} = P_{i,j}(t) \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{M_i} P_{i,j}(t) = P_i(t) \quad (5)$$

式中, $P_{i,j}(t)$ 表示 t 时间段内工序 i 上第 j 个用能设备的产品产量; $P_i(t)$ 表示 t 时间段内工序 i 上所有用能设备的产品产量; $m_{i,j,k}$ 表示 t 时间段内工序 i 上第 j 个用能设备使用第 k 种能源介质的单位消耗量。

此外,为了生产上的安全需要或设备本身的需要,要求某种或某几种能源介质的用量必须大于某一个量。其数学形式为:

$$\sum_{j=1}^{M_i} X_{i,j,k}(t) \geq \text{const} \quad (6)$$

④ 用能设备的工艺约束

用能设备的工艺约束反映了各用能设备的工艺加热要求,该约束条件考虑了用能设备的热工制度即在使用某种能源介质时必须保证加热设备温度的要求。如锅炉对外购煤的热值有一定要求等,约束条件的具体形式为:

$$Q_{i,j_min} \leq Q_{i,j} \leq Q_{i,j_max} \quad (7)$$

$$Q_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^K X_{i,j,k}(t)}{\sum_{i=1}^K \frac{X_{i,j,k}(t)}{Q_{i,j,k}}} \quad (8)$$

式中, $Q_{i,j}$ 为工序 i 上第 j 个用能设备所要求的用能量; Q_{i,j_min} 为工序 i 上第 j 个用能设备需求用能量小值; Q_{i,j_max} 为工序 i 上第 j 个用能设备需求用能量大值; $Q_{i,j,k}$ 为第 k 种能源介质在工序 i 上第 j 个用能设备上可释放的能量。

⑤ 能源介质产耗量约束

由于能源转换设备的操作要求,特定输入能源介

质可能需要约束在一定范围内:

$$L_{i,j,k(\min)} \leq X_{i,j,k}(t) \leq L_{i,j,k(\max)} \quad (9)$$

式中, $L_{i,j,k(\min)}$ 、 $L_{i,j,k(\max)}$ 分别表示工序 i 上设备 j 消耗能源 k 的上限和下限。

⑥ 能源介质调整速度约束

调整输入或输出能源介质质量时,要在一个合理的变化速度下进行:

$$|X_{i,j,k}(t_\tau) - X_{i,j,k}(t_{\tau-1})| \leq \delta_{i,j,k} \quad (10)$$

式中, $\delta_{i,j,k}$ 表示工序 i 第 j 个用能设备上第 k 种能源介质的变化速度上限; $X_{i,j,k}(t_\tau)$ 表示 t_τ 时刻工序 i 第 j 个用能设备上第 k 种能源介质。

⑦ 能源状态与状态变化约束

对于能源缓冲型设备,其存储状态受本身存储能力的限制:

$$V_{i,j,k(\min)} \leq V_{i,j,k}(t) \leq V_{i,j,k(\max)} \quad (11)$$

为了其安全,要求调节变化速度不能超过某一限制条件:

$$|V_{i,j,k}(t_\tau) - V_{i,j,k}(t_{\tau-1})| \leq \Delta V_{i,j,k(\max)} \quad (12)$$

式中, $V_{i,j,k}(t)$ 、 $V_{i,j,k(\min)}$ 、 $V_{i,j,k(\max)}$ 分别表示能源缓冲型工序 i 设备 j 上第 k 种能源介质的存储量、可以存储的最小和最大量; $\Delta V_{i,j,k(\max)}$ 表示存在状态变化速度的上限。

⑧ 能源介质约束

能源转换设备所产生的新形式的能源介质,在企业内部应尽量利用。用户使用量不大于其产生量,具体表述如下:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} X_{i,j,k}(t) \leq Y_i \quad (13)$$

式中, Y_i 为第 i 种能源介质的可用资源量。

通过以上八类约束条件,构成所建数学模型的约束方程与不等式。

2.2 基于改良遗传算法的数学模型求解

遗传算法(GA)具有编码和遗传操作简单,优化不受限制性条件的约束,隐含并行性和全局搜索能力等特点,由于上述所模型变量多、不等式约束多,因此设计一种改良遗传算法对所建模型模型进行求解。

① 染色体设计

根据染色体的编码结构,编码方法有一维编码和多维编码^[11]。构建一种类似多维编码的分段实数编码方法来编码染色体。染色体由所有能源介质消耗量构

成, 将每个生产工序所有用能设备的能源介质消耗量设计成染色体的一段, 便于进行遗传操作的方便。

② 初始种群生成

先确定种群大小, 假如由 Z 个个体组成。在对应工况下, 根据能源介质消耗预测数据, 将能源介质消耗最小值至最大值区间平分为 Z 份, 从平分区间内依次随机生成此能源介质的消耗量, 作为染色体的一个基因。重复上述操作, 直到个体数达到设定规模, 完成种群初始化。

③ 适应度函数选取

适应度函数是遗传算法进化搜索的依据, 直接影响算法的收敛速度以及能否找到最优解。本文选取下式为适应度函数, 其中 $C_{\max}$ 是一个足够大的正数, z 是数学模型中的目标函数。

$$f = C_{\max} - z \quad (14)$$

④ 选择、交叉和变异

选择策略选取:

采用精英选择和轮盘赌相结合的混合选择策略。先将父代个体按适应值从大到小排序, 适应值最大的个体直接复制到子代中, 其余个体由轮盘赌选择策略从父种群中选择, 经交叉、变异和基因修复后生成。

交叉操作设计:

根据染色体分段编码的特点, 对基因采用基因中间重组操作, 计算式如下:

$$Offspring1 = Parent1 + \theta_1 (Parent1 - Parent2) \quad (15)$$

$$Offspring2 = Parent2 + \theta_2 (Parent2 - Parent1)$$

θ_1 、 θ_2 分别为 $[-0.25, 1.25]$ 间的随机数。完成基因中间重组后, 验证是否超出可选范围, 如果其不在可选区间, 采用染色体修复策略将其修复到此范围内。

变异操作设计:

对染色体采用扰动式变异, 即在原个体基因值的基础上, 加减一个扰动变量, 得到变异后的基因值。

⑤ 算法实现

模型求解优化算法的求解流程如图 2 所示。

通过此能源平衡调度优化数学模型与设计的基于遗传算法的求解算法, 即可得到优化的能源调度与配置方案。

3 能源平衡调度模型应用分析

由于蒸汽是卷烟生产中非常重要的能源介质, 在制丝、制冷等系统中不可或缺。而蒸汽具有不可贮存性、状态随时间变化敏感等特点, 当蒸汽供应量大于

消耗需求时, 多余蒸汽将排空损耗, 因此进行蒸汽平衡调度对降低卷烟生产能耗、节约成本具有非常重要意义。以某卷烟企业为应用对象, 将以上述模型为核心模块的能源平衡调度系统(主界面如图 3 所示)应用于此企业, 对蒸汽进行平衡调度。

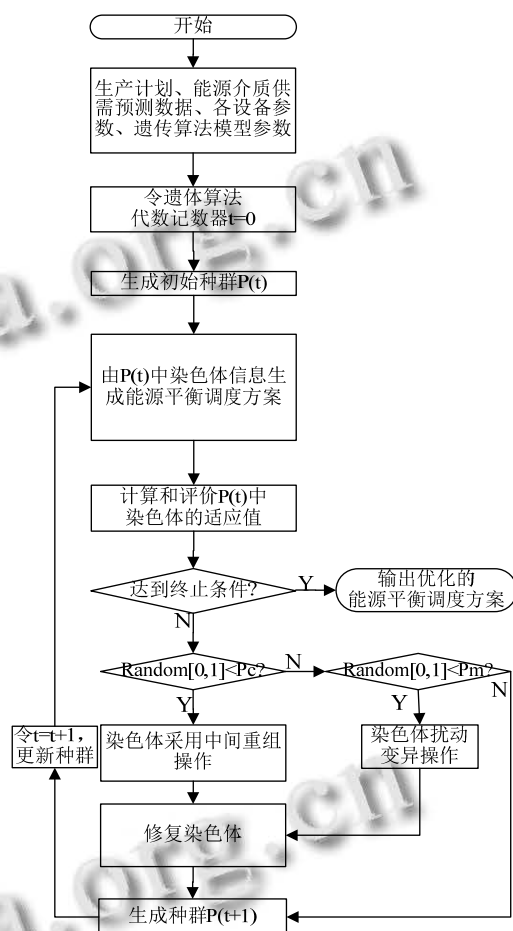


图 2 模型求解流程图

在能源平衡调度系统中, 遗传算法设置种群规模为 40, 交叉概率为 0.92, 变异概率为 0.08。在 CPU 为 i5 四核 1.6GHz, 内存为 4G 的笔记本上进行多次实验, 本系统均能在遗传算法进化到 100 代以内, 约 0.3s 内找到不同工况下蒸汽平衡调度方案。图 4 为本系统应用前后对应的蒸汽供应曲线。

从图 4 中可以看出, 能源平衡调度系统应用后, 平衡调度的实际蒸汽供应趋势与历史供应趋势一致, 说明模型与系统是有效的。同时, 蒸汽供应量下降了 3.65% 左右, 从而降低万支香烟综合能耗约 2%, 取得较好的节能效果, 并有效降低了生产成本。

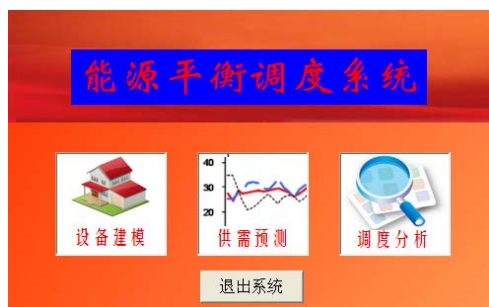


图3 能源平衡调度系统主界面

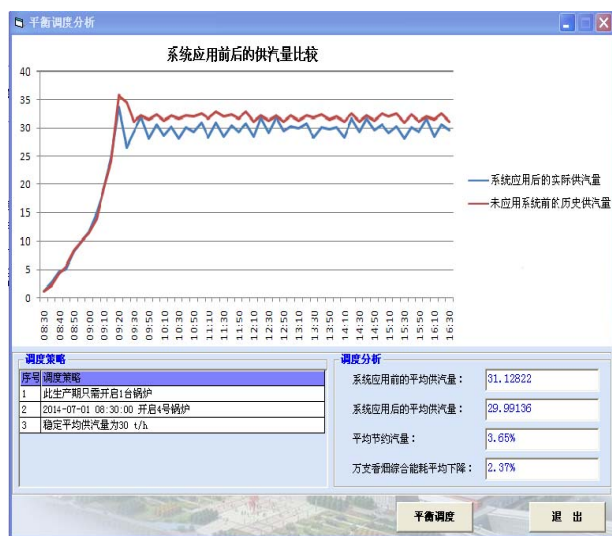


图4 模型应用前后对应的蒸汽供应曲线比较

4 结语

(1)在考虑卷烟企业能源种类多、分时段供应等特点的基础上,为降低卷烟单位最终产品综合能耗和单位最终产品总能源消耗成本,建立了多约束、多目标、非线性的卷烟企业能源平衡调度与优化数学模型。

(2)构建了一种多维分段实数编码染色体和基因中间重组操作的改良遗传算法,能较好地求解本文所建立的卷烟企业能源平衡调度与优化数学模型。

(3)将能源平衡调度系统应用于某卷烟企业蒸汽的平衡调度与优化,实验分析表明,系统所采用的数学模型和算法有效,并能有效降低蒸汽供应量3.65%左右,降低万支香烟综合能耗约2%,有效降低卷烟生产能耗和成本。

参考文献

- 1 吴志婷.浅析中国烟草产业发展现状.现代经济信息,2009,(20):340-342.
- 2 曹涌.能源管理系统(EMS)助烟厂节能降耗.科学技术与工程,2011,11(36):9088-9091.
- 3 杨勇,陈静春,韩志辉,沈丁洋,李俊明.卷烟生产企业能源管理系统设计与应用.信息技术,2013,(1):22-24.
- 4 王慧,徐跃明,韩志辉,张竑斌,张清昆.卷烟生产企业能源管理系统开发与应用.节能,2012,31(9):12-16.
- 5 任工昌,王党席,苗新强. GPRS 在卷烟企业能源管理系统中的开发研究.机械设计与制造,2010,(6):246-247.
- 6 郭兆春,蔡蓝燕.厦门卷烟厂动力系统电力能源管理.海峡科学,2009,(12):22-25,31.
- 7 赵航社.建立卷烟厂动力能源集中监控系统的探讨.科技与企业,2011,(14):47.
- 8 徐屹秦,张盛山,吕希胜.基于规则的烟草计划与排产系统.计算机系统应用,2013,22(7):72-76.
- 9 吕鹏,王拓,王云飞,邵小东.基于3S技术的现代烟草农业信息综合管理系统.计算机系统应用,2012,21(2):30-33,17.
- 10 密红,何利力,杨秀梅.烟草数据中心 ETL 技术应用.计算机系统应用,2011,20(5):184-187.
- 11 玄光男,程润伟.遗传算法与工程优化.北京:清华大学出版社,2004.