

高耗能企业系统化节能模型控制研究

张少军¹, 叶安丽¹, 王景星²

(1. 北京建筑工程学院电气工程与自动化系, 北京 100044; 2. 宁夏煤炭研究所, 银川 750021)

[摘要] 在高耗能企业中采用“系统化节能动态模型控制”技术, 将企业电耗分成若干环节, 构建各环节的电耗目标函数模型, 再将各环节电耗目标函数值作为企业系统目标控制函数中的决策变量, 构建企业级电耗目标函数, 并进行优化计算与控制, 实现企业电耗最小。

[关键词] 高耗能企业; 节能; 动态模型控制; 电耗目标函数

[中图分类号] TM4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)02-0073-04

1 引言

在生产过程中, 能耗很高的企业, 如铁合金企业、冶金企业等均属于高耗能企业。由于我国西北部地区、西南部地区的电价较沿海、东部及中部地区要低的多, 因此分布了许多高耗能企业——铁合金生产企业。其产品如硅铁、锰铁、锰硅合金、硅钙、碳素铁合金等, 这些产品吨耗能很高, 如生产75%硅铁1t, 电能消耗就高达9500kW·h。由于生产成本低, 市场售价受诸多因素限制一直上不去, 因此利润薄。对于生产铁合金产品的这类高耗能企业, 实施系统化节能技术, 在完成生产任务及指标的同时, 降低生产过程中的能耗, 对于降低企业生产成本, 增大企业利润, 增强企业核心竞争力和抵御市场波动风险有较大的意义。

对于高消耗企业, 采用系统节能技术比采用单项或几项节能技术, 效果要好得多; 采用系统节能技术使企业综合节能有一个较高的水平, 提高企业的综合经济效益。

2 模型控制的系统节能技术

将高耗能企业(以铁合企业为例)的各个相对

独立的较大能耗环节作为一个子系统, 根据生产工艺条件对子系统建立能耗控制目标函数^[1]

$$s(x, u) = \sum_i e_i(u)x_i + \sum_j c_j(u)x_j, \quad (1)$$

式中 $s(x, u)$ 是子系统能耗控制目标函数值, x 为子系统能耗控制目标函数的决策变量, u 为状态参量, $e_i(u)$, $c_j(u)$ 分别是与状态变量有关的能值函数和费用函数, e_j , c_j 分别是第 j 种能源或非能源物体的能值和价格。

子系统的目标函数及目标函数附加的约束条件包含原料和燃料条件约束、生产工艺约束、设备能力约束、资源供应约束、产量约束。模型的约束分为系统约束和过程约束。系统约束为

$$a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots = r; \quad (2)$$

过程约束为

$$b_1x_1 = r_1, b_2x_2 = r_2, \dots \quad (3)$$

约束方程中的 $a_1, a_2, a_3, \dots; b_1, b_2, \dots$ 分别为模型参数, 由企业具体的耗能结构、生产工艺等条件确定。

实际子系统的能耗目标函数和约束经适当化简后, 结构简化, 变量个数因消去低级别的变量而减少, 求优过程也被简化。子系统的能耗目标函数模型为^[2]:

$$s(x, u) = \sum_i e_i(u)x_i + \sum_j c_j(u)x_j; \quad (4)$$

$$a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots = r_0,$$

$$b_1x_1 = r_1,$$

$$\vdots$$

$$b_kx_k = r_k. \quad (5)$$

该子系统有 k 个过程约束。将式 (4) 和式 (5) 简化为

$$s(x, u) = f_1x_1 + f_2x_2 + f_3x_3 + \dots; \quad (6)$$

$$d_{11}x_1 + d_{12}x_2 + d_{13}x_3 + \dots \geq m_1,$$

$$d_{21}x_1 + d_{22}x_2 + d_{23}x_3 + \dots \leq m_2,$$

$$\vdots$$

$$d_{k1}x_1 + d_{k2}x_2 + d_{k3}x_3 + \dots \leq m_k. \quad (7)$$

将若干个子系统的能耗函数值 s_1, s_2, \dots, s_k 作为企业目标能耗函数 S 的决策变量, 构建企业级能耗目标函数, 经化简后得

$$S(s_i) = F_1s_1 + F_2s_2 + F_3s_3 + \dots; \quad (8)$$

$$D_{11}s_1 + D_{12}s_2 + D_{13}s_3 + \dots \geq M_1,$$

$$D_{21}s_1 + D_{22}s_2 + D_{23}s_3 + \dots \leq M_2,$$

$$\vdots$$

$$D_{k1}s_1 + D_{k2}s_2 + D_{k3}s_3 + \dots \leq M_k. \quad (9)$$

式中 s_1, s_2, \dots 分别为企业中诸能耗环节子系统的能耗目标函数值, 在 S 函数中作决策变量。

$F_1, F_2, F_3, \dots, D_{11}, D_{12}, \dots, D_{21}, D_{22}, \dots$ 分别为模型参数, 可由企业具体的耗能结构、生产工艺等诸条件确定数值。

对于能耗最小的目标函数的寻优, 可用多种可视化编程语言来进行数值求解, 如用 VB 可视化程序设计语言来建立模型控制运行界面, 通过控件、窗体、菜单及程序代码建立 sub 过程, function 过程来实现。

子系统寻优过程为:

1) 编制对子系统能耗最小目标函数实现求解的 VB 程序, 也可用 VBscript 脚本语言来编写求解程序, 并调通运行;

2) 输入约束条件个数;

3) 输入控制变量个数;

4) 输入最小目标函数 $\min z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots$;

5) 输入约束方程对应的增广矩阵的矩阵元数据;

6) 按顺序求解。求得最优解, 即给出控制变量的最佳值, 在控制变量取最佳变量组时, 目标函

数的最优值为 Z 并以确定的数据输出^[3]。

将若干个子系统再合成为 1 个大系统, 用类似的方法编制出求大系统的能耗最小目标函数模型, 同时附加大系统的约束。进一步地寻优求解, 得到企业的最小能耗目标函数的最佳解及各子系统的的目标能耗控制值。因为各子系统的的目标能耗目标函数的最小值组一般并不一定是企业最小能耗目标函数的最佳控制变量组, 因此, 大系统的能耗最小目标函数模型中的常数、系数要经过修正, 求出的结果才能与实际情况有较好的吻合。

3 企业主要能耗子系统及节能

3.1 铁合金厂企业的主要能耗子系统及节能

1) 铁合金电炉部分子系统 这个子系统又分为若干个二级子系统, 如供配电、变压器环节、电弧炉电极控制环节。该子系统还含有: 电弧炉电极智能化控制环节, 使用智能化控制技术控制电极进给, 可降低电耗、电极消耗。如天津某钢管公司引进一套电弧炉人工智能电极调节系统, 在 150 t 超高功率电弧炉运行, 可降低电耗 10~15 kW·h/t; 电极消耗降低幅度也较大。

2) 循环水子系统 采用电弧炉冷却水循环水泵变频调速系统后, 有较大的节能幅度。循环水泵子系统, 对容量中等以上的水泵均可考虑及实施变频调速, 这一方面节能幅度也较大。

3) 企业的泵类或风机子系统 中等以上容量及部分小容量风机、水泵的电机采用变频调速装置拖动。

4) 变压器、供配电线路子系统 变压器供配电系统中, 主要是提高变压器的功率因数使变压器经济运行。

5) 照明子系统 可以将企业中照明电耗环节分离出来, 作为构建企业电耗目标函数模型控制中的子系统。照明节电是按照要求、标准合理地选用照明光源和灯具; 确定照明方式和节约照明负荷; 推广使用照明节电措施; 推广使用照明节电装置; 加强照明器具的维护管理。一部分场合使用节能灯代替白炽灯, 如 11 W 的小体积 H 型荧光灯亮度相当于 75 W 的白炽灯。

6) 原材料供给子系统 原材料供给子系统中, 可考虑的节能技术和措施有; 使用复合炉料, 节能幅度可达 20%, 节约焦炭可达 25%; 回收铁合金电炉的煤气和热量, 如将余热再用于预热炉料^[4]。

7) 企业的其他电耗环节 对企业内的电动机可采用多项节电技术, 如, 避免电机轻载、空载运行, 使用电动机节电风扇、风罩 (节电可达 2 %); 提高电机线路的 $\cos \varphi$ 和运行效率; 对于有调速要求的电机可考虑采用变频调速。尤其是要将电机容量与负荷匹配, 电机长期实际负荷小于额定值的 30 % 时, 要更换电机; 保持电机供电电压的正常; 还可考虑采用: 新型节能电机、高效专用电机。

3.2 采用节电技术处理好投资与效益的关系

在企业能耗各子系统中, 采用一些新技术, 如对风机泵类负载采用变频调速方式, 涉及投资问题, 对于企业来讲不可能一次性的对许多减小电耗的环节同时投资, 而是详细地计算投资与效益产出的关系, 精心地、有步骤地采用新的低能耗设备、技术来装备和改造企业, 使以节能为目的的投资能较快地回收并产生新的效益。

4 子系统的划分及模型化控制的特点

由于高耗能企业的产品结构不规范生产部门设置不尽相同, 因此, 在建立综合节能控制模型时, 子系统的划分可以是多样化的, 可以将铁合金电炉、循环水、照明等作为子系统。也可以将企业中的各个主要生产部门、相关部门作为子系统, 下设班组、室作为二级子系统。总之, 子系统的划分可根据企业情况灵活划分, 主要是便于对企业能耗目标最小函数的模型化控制进行管理^[5]。

综合节能模型化控制的主要特点是将综合节能作为 1 个系统工程, 该系统具有以下几个特征:

- 1) 整体性;
- 2) 相关性 系统内任何一个要素及子系统中的一个要素一旦发生改变, 其他要素也联动发生变化;
- 3) 清晰并定量化 各子系统服从企业总目标, 在此基础上确定子系统的定量化目标;
- 4) 具有很强的环境适应性 系统不仅适应某一行业、某一企业, 目标控制模型也能适合绝大多数企业。

5 控制模型结构及评价系数

在高耗能企业推行系统化节能模型控制中, 使用计算机来帮助建立和进行模型控制的操作和管理。模型的层次结构为见图 1。

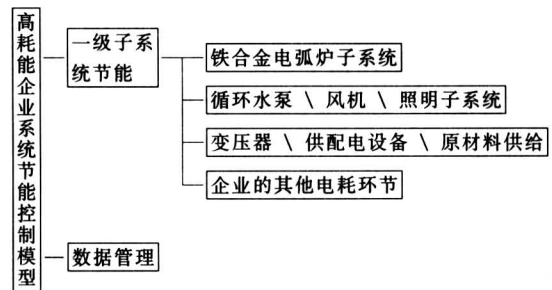


图 1 模型的层次机构

Fig.1 Model layers structure

为定量描述系统、各子系统及二级子系统 (各子系统下设置的一些环节) 的节能效果, 使用评价系数体系。评价系数包括: 目标评价系数、当前评价系数。企业设有 k 个子系统, 则子系统节能效果考核值分别为 m_1, m_2, \dots, m_k , 则系统评价系数

$$M = (\delta_1 m_1 + \delta_2 m_2 + \dots + \delta_k m_k) / k, \quad (10)$$

式中 $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k$ 分别为各子系统的评价系数权重, 其值可根据企业生产统计数据中各个子系统能耗的年平均经评价给出。例如, 某车间的水泵群组电耗在车间每月总电耗中的平均份额为 0.17 %, 则水泵群子系统的的评价系数权重约为 0.1, 如果从年度考虑, 可做必要的修正。

6 企业实际应用例

系统化节能模型控制对于高耗能企业的节能降耗有重要意义。下面是该方法在西部一家小型铁合金企业初步使用的情况介绍。该企业主要有生产 65 #, 75 # 硅铁合金产品的电炉 2 台, 容量分别为 5 000 kVA 和 1 800 kVA, 还包括动力变压器、吊车、龙门吊、上料系统、破碎系统、锅炉房、成品库等用电设施。这些用电设备平均工作时间 16 h, 产品的吨电耗为 9 570 kW·h/t, 电耗占产品成本的 73 %。采用了系统化节能模型控制方法进行了计划和生产管理, 通过 3 个月的生产统计资料对比, 将产品的吨电耗降为 9 416 kW·h/t, 比原吨电耗降低 1.61 %。由于该铁合金厂的信息管理系统投入不足, 使用系统化节能模型控制的支持条件不理想; 还有对厂里的风机、水泵进行变频调速的改造未投入, 导致只能在一定的程度上实施系统化节能模型控制方法。尽管如此, 考虑到企业的其他一些燃料消耗也纳入综合模型控制管理的范围中,

经统计,电耗由原来的占产品成本的65%降为63.9%、其他能耗也平均降低3.6%。取得了一定的节能效果,为企业创造了效益。

7 结语

在高耗能企业实施系统化节能模型控制,是一个降低成本、提高企业综合经济效益的好方法。在能源价格日趋上涨的情况下,在保证产品质量,完成正常的生产任务的条件下,使用科学的运筹方法来降低企业的能耗,对企业来讲是一个涉及生死存亡的大问题。企业的竞争不仅是企业实力的硬件部分,重要的比拼方面还有实力的软件部分,如产品质量竞争、价格竞争、市场份额竞争、成本竞争、管理竞争等,竞争是综合实力的竞争。作为企业经

营来讲,综合系统模型控制是高耗能企业进行节能管理的一个有力武器。

参考文献

- [1] 陆钟武. 系统节能基础 [M]. 北京: 科学出版社, 1993. 12~18
- [2] 袁忠良. 运筹学应用程序集 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1989. 57~59
- [3] 吴受章. 应用最优控制 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1987
- [4] 赵沛. 钢铁节能技术分析 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999. 79~84
- [5] 李维铮. 运筹学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1982. 32~37

Modeling Control Research of the High Energy Consumption Enterprises for Saving Energy

Zhang Shaojun¹, Ye Anli¹, Wang Jingxing²

(1. Department of Electronic Engineering and Automation, Beijing Architecture and Engineering Institute, Beijing 100044, China; 2. Ningxia Coal Institute, Yinchuan 750021, China)

[Abstract] In the high energy consumption enterprises, systematic model controlling technology is used for saving energy. Electrical energy consumption of enterprise is divided into some units, and the object function model of electricity consumption of the units is constructed. The individual object function values of the units are the most important variants in the enterprise's system object function. The object function model of the enterprise's electricity consumption is constructed. Based on them, the optimum calculation and control are done to realize the minimum of the enterprise's electricity consumption.

[Key words] the high energy consumption enterprise; saving energy; model controlling; the object function of the electricity consumption