

7-2-2020

Energy Conservation and Emissions Reduction Policy Simulation about Energy-consuming Enterprises

Yongbo Yang

Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China;

Chen Ying

Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China;

Yang Jing

Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China;

Mingzhong Liu

Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Energy Conservation and Emissions Reduction Policy Simulation about Energy-consuming Enterprises

Abstract

Abstract: Energy conservation and emissions reduction policy have made some achievements, at the same time there are still some problem such as too much administrative command, lack of market mechanism and the lack of price mechanism. The government is both energy conservation leader, supervisor also rule makers. In order to formulate energy conservation policy, they must have overall cognition on energy conservation and emissions reduction. *The dynamic relationship between the government, enterprise and environment was analyzed setting up simulation model for key energy-consuming enterprises based on system dynamics. Through the simulation, the influence of different policies for energy conservation and emissions reduction effect could be studied, providing certain reference basis for the government decisions.*

Keywords

system dynamics, energy saving and emission reduction, policy simulation, energy consumption enterprises

Authors

Yongbo Yang, Chen Ying, Yang Jing, Mingzhong Liu, Zhenchao Jiang, and Zeng Rong

Recommended Citation

Yang Yongbo, Chen Ying, Yang Jing, Liu Mingzhong, Jiang Zhenchao, Zeng Rong. Energy Conservation and Emissions Reduction Policy Simulation about Energy-consuming Enterprises[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(4): 972-978.

耗能企业节能减排政策模拟推演

杨勇波, 陈纓, 羊静, 刘明忠, 姜振超, 曾荣

(国网四川省电力公司电力科学研究院, 成都 610071)

摘要: 节能减排政策在取得一定成效的同时仍然存在行政命令过多、缺乏市场机制、缺乏价格机制等问题。政府既是节能减排的主导者、监督者也是规则制定者, 需要对节能减排有整体认知才能科学的制定节能减排政策。利用系统动力学原理, 分析了政府、企业、环境之间的动态关系, 建立了重点耗能企业节能减排政策模拟推演模型。从政策制定者角度出发, 通过仿真研究了不同节能减排政策的影响效果, 为政府决策提供了一定的参考依据。

关键词: 系统动力学; 节能减排; 政策模拟; 耗能企业

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2016) 04-0972-07

Energy Conservation and Emissions Reduction Policy Simulation about Energy-consuming Enterprises

Yang Yongbo, Chen Ying, Yang Jing, Liu Mingzhong, Jiang Zhenchao, Zeng Rong

(Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China)

Abstract: Energy conservation and emissions reduction policy have made some achievements, at the same time there are still some problem such as too much administrative command, lack of market mechanism and the lack of price mechanism. The government is both energy conservation leader, supervisor also rule makers. In order to formulate energy conservation policy, they must have overall cognition on energy conservation and emissions reduction. The dynamic relationship between the government, enterprise and environment was analyzed setting up simulation model for key energy-consuming enterprises based on system dynamics. Through the simulation, the influence of different policies for energy conservation and emissions reduction effect could be studied, providing certain reference basis for the government decisions.

Keywords: system dynamics; energy saving and emission reduction; policy simulation; energy consumption enterprises

引言

进入 21 世纪以来, 我国经济迅速发展同时能源消耗也在按照每年 10% 的增速快速增长。以资源过度消耗为高额代价的粗放型发展, 消耗了大量的

能源能使产生了大量环境问题、资源问题。“十七大”提出要深入贯彻落实科学发展观, 促进社会和谐, 推动科学发展的规划, 政府在“十二五”规划对节能减排工作提出了具体要求。政府提出了节能减排计划, 而企业才是实现节能减排的主体, 因此如何引导企业加强节能减排管理, 如何科学制定节能减排政策是实现节能减排的重要因素。国内外研究中刘丽娟等人^[1-2]通过构建火电企业节能减排模型, 重点分析了企业单位电量煤耗和综合厂用电率与企业利润的关系。王喜平等人^[3]构建了火电企业



收稿日期: 2014-12-11 修回日期: 2015-04-01;
作者简介: 杨勇波(1974-), 男, 湖北襄阳, 博士, 工程师, 研究方向为节能减排技术和运营模式; 陈纓(1968-), 男, 四川成都, 高工, 研究方向为电力需求侧管理; 羊静(1987-), 男, 四川成都, 工程师, 研究方向为节能工程。

<http://www.china-simulation.com>

• 972 •

节能减排投资的系统动力学模型, 重点分析降低企业能耗和减少污染物的排放效果的关系。尚羽等人^[4]以物流园节能减排为研究对象, 构建了物流园区节能减排动力学模型, 通过仿真研究了节能减排投入与园区产值和能耗之间的关系。唐丽敏等人^[5]则通过改变物流消费结构、改变运输方式、增加减排投入等方法通过了系统动力学进行了政策模拟, 比较分析得出节能减排的最佳方式。王灵梅等人^[6]通过不同方案比较得出最适合可持续发展的方案。C. Narasimha 等人^[7]以中小企业为对象, 研究了能耗与持续发展之间的关系, 为节能减排政策提供依据。张华等人^[8]以钢铁企业为研究对象, 通过分析钢铁企业生产流程, 为降低能源消耗和减少成本提供依据。孙浩^[9]等人利用协调学方法提出了钢铁工业节能减排模式。公兵^[10]等人博弈论的方法, 建立了钢铁行业节能减排博弈模型。以上文献都为后人建立系统动力学模型分析提供了参考, 但上述文献中所涉及的节能减排系统动力学模型针对单一个体, 同时也缺乏市场机制, 而这正是现阶段节能减排存在的问题: 行政命令太多, 缺乏了市场机制和价格机制的引导, 不能形成持久有效的减排机制。因此在不断发展节能减排技术, 加强节能减排投入的同时需要对节能减排政策提供依据。本文则利用系统动力学的方法对节能减排政策进行研究, 通过定量的数据分析, 研究各种节能减排的效益, 为政府决策提供依据。

1 节能减排政策系统动力学分析

1.1 系统动力学简介

系统动力学(System Dynamics)由美国麻省理工学院 Forrester 教授在 20 世纪 60 年代创立。系统动力学是一门以控制反馈理论为基础, 通过建立系统动态模型, 借助计算机进行仿真实验对系统发展趋势进行预测的学科; 是一种定性定量结合, 系统、分析、综合与推理的方法, 以定性分析为先导, 定量分析为支持^[11-13]。它强调系统整体的观点和联系发展运动的观点, 最适用于研究复杂系统的结构功

能与行为之间动态的辩证对立统一关系, 而节能减排政策模拟系统恰是一个具有非线性反馈性动态性等特点的复杂系统, 因此它适合用系统动力学方法对其进行研究。系统具有整体性与层次性, 根据分解原理可以把系统 S 划分为 p 个子系统:

$$S = \{S_i \in S \mid 1 \leq i \leq p\} \quad (1)$$

其中, S 代表整个系统; S_i 代表子系统, 由基本单元、一阶反馈回路组成。一阶反馈回路包含三种基本的变量: 状态变量 $\dot{L}$, 速率变量 R , 辅助变量 A , 可由状态方程、速率方程与辅助方程表示。

$$\dot{L} = TR \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} R \\ A \end{pmatrix} = W \begin{pmatrix} L \\ A \end{pmatrix} \quad (3)$$

1.2 模型假设

对重点耗能企业建模的过程中, 为了更好的适用于各类企业, 更直观的反映节能减排投资和政策的效果, 通过一下的假设来简化模型。

- 1) 市场未处于饱和状态, 能源价格平稳。
- 2) 以企业为边界条件, 企业产能长期保持稳定增长。

1.3 模型因果回路图

为了研究确定系统的反馈结构, 首先要分析系统整体与局部的关系, 进而追索因果与相互关系链, 然后把他们重新联结一起形成回路。系统动力学中常用的图形表示方法包含因果与相互关系图和流图。因果与相互关系图是表示系统反馈结构的重要工具, 图中各变量之间由标出因果关系的箭头(因果链)所连接, 常用符号如表 1 所示。

表 1 因果与相互关系图常用符号	
符号	解释
	因果链: A 的变化使 B 在同一方向上发生变化。
	因果链: A 的变化使 B 在相反方向上发生变化。
	回路标识符: 正反馈回路
	回路标识符: 负反馈回路

根据系统动力学的方法, 首先筛选出影响企业节能减排的各类因素, 分析各类因素之间的相互关系, 建立因果与相互关系图, 如图 1 所示。

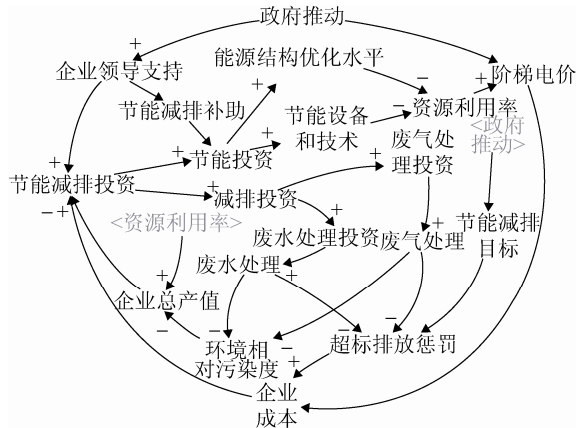


图 1 节能减排因果与相互关系图

其中, 正反馈是指回路中任何一个环节发生初始偏离时, 循环一周将获得增大或加强; 负反馈是指根据目标值与当前值的偏离大小, 调整速率变量使得当前值逐渐趋近于目标值。具体的回路如下所示:

1) 节能减排投资→节能投资→能源结构优化水平(节能设备和技术)→资源利用率→企业总产值; 节能减排投资→减排投资→废弃处理投资(废水处理投资)→相对环境污染度→企业总产值。这都是正反馈回路, 反映了节能投资和减排投资对企

业经济效益的影响, 并反馈到了节减排投资, 调整投资力度。

2) 节能减排投资→减排投资→废气处理投资(废水处理投资)→废水处理(废弃处理)→相对环境污染度→超标排放惩罚→企业成本→企业总产值; 节能减排投资→节能投资→能源结构优化水平(节能设备和技术)→资源利用率→阶梯电价→企业成本→企业总产值; 这是政策子系统, 通过使用阶梯电价和超标惩罚政策提高企业成本来刺激企业进行节能减排改造。

2 节能减排系统动力学模型分析

根据之前的因果与相互关系图只能定性的表示各因素之间的关系, 为了更好的描述各因素之间的定量关系需要使用流量与存量图来表示。使用系统动力学专业仿真软件 VENSIM 建立的节能减排存量与流量图模型, 该模型中包含了 5 个状态变量可以简化为 5 个一阶微分方程。下面分子系统介绍。

2.1 企业子系统

图 2 可以看出, 该子系统包含企业总产量(QYZCL)和单位产品成本(DCCB)2 个状态变量, 分别受总产量变化量(QYZCBD)、成本增加(CBZJ)和成本减少(CBJS)3 个速率影响。

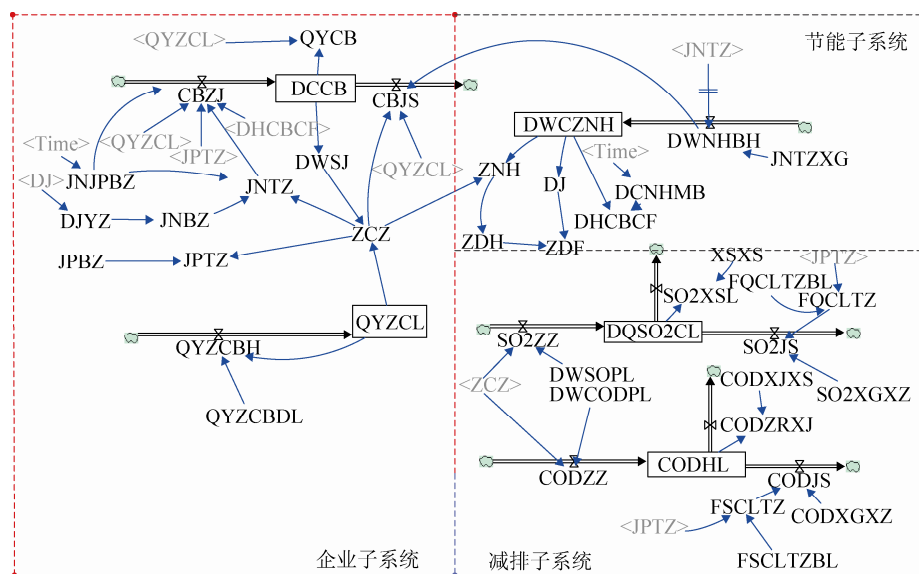


图 2 子系统存量与流量 2.3 减排子系统

本文仿真过程中参照耗能企业历史产值变化数据, 设定了企业产量增长速率呈现稳定增长。企业对节能减排投资会造成企业短期成本增加(见方程), 同时通过技术改造、设备升级、生产方式改进等多种方式减少资源消耗量, 对成本的降低具有一定的延时。企业成本子系统政府可以通过提供节能减排补助, 超标惩罚等刺激措施力图通过对企业成本的影响刺激企业节能减排改造。

2.2 减排子系统

减排子系统模拟整个减排过程, 该系统中企业生产过程中会产生二氧化硫和 SOD。虽然能够在大气环境下自然分解但速度缓慢, 因此企业需要对污染物进行排放处理。二氧化硫和 SOD 的处理能力分别用 SO2XGXZ 和 CODXGXZ 表示万元投资

力度下的处理能力

$$FSCLTZ = JPTZ * FSCLTZBL$$

$$CODHL = INTEG(CODZZ - CODJS - CODZRXJ, CODHL)$$

$$SO2JS = FQCLTZ * SO2XGXZ$$

$$SO2XSL = DQSO2CL * XSXS$$

$$SO2ZZ = DWSOPL * QYZCL$$

$$FQCLTZ = JPTZ * FQCLTZBL$$

$$CODZZ = QYZCL * DWCODPL$$

$$CODZRXJ = CODXJXS * CODHL$$

$$CODJD = CODXGXZ * FSCLTZ$$

$$FSCLTZ = JPTZ * FSCLTZBL$$

系统中各变量名及其含义见表 2。

表 2 变量表

序号	变量名	变量名含义	序号	变量名	变量名含义
1	CBJS	成本减少	23	FSCLTZBL	废水处理投资比例
2	CBZJ	成本增加	24	JNBZ	节能补助
3	CODHL	COD 存量	25	JNJPBZ	减排投资比值
4	CODJS	COD 减少量	26	JNTZ	节能投资
5	CODXGXZ	COD 减排效果因子	27	JNTZXG	减排投资效果因子
6	CODXJXS	COD 自然消减系数	28	JPBZ	减排投资比重
7	CODZRXJ	COD 自然消减量	29	JPTZ	减排投资
8	CODZZ	COD 生产量	30	QYCB	企业成本
9	DCBHMB	单位产能耗值变化量	31	QYZCBDL	企业总产量变动率
10	DCCB	单位产品成本	32	QYZCBH	总产量变化值
11	DHCBCF	单位产值超标惩罚	33	QYZCL	企业总产量
12	DJ	电价	34	QYZCL	企业总产量
13	DJYZ	电价因素	35	S02ZZ	SO ₂ 增加量
14	DQSO2CL	大气污染 SO ₂ 存量	36	SO2JS	SO ₂ 减少量
15	DWCODPL	单位产值 COD 排放量	37	SO2XGXZ	SO ₂ 减排效果因子
16	DWCZNH	单位产值能耗	38	SO2XSX	SO ₂ 消散量
17	DWNHBH	单位产值能耗变化量目标	39	XSXS	消散系数
18	DWSJ	单位产品售价	40	ZCZ	总产值
19	DWSOPL	单位产值 SO ₂ 排放量	41	ZDF	总电费
20	FQCLTZ	废气处理投资	42	ZDH	总电耗
21	FQCLTZBZ	废气处理投资比例	43	ZNH	总能耗
22	FSCLTZ	废水处理投资			

3 节能减排系统动力学政策模拟与仿真

3.1 系统参数确定

本研究以几类典型的重点耗能企业为对象,查阅历史统计年鉴,通过加权算法求得各类信息。这类参数有企业总产量变化率为年均增长 6%,单位产值能耗为 2.2 吨标准煤/万元,大气 SO_2 浓度单位为: 10 mg/m^3 , 水 COD 含量单位为: 7.5 mg/L 。

3.2 模型效验

模型的效验应该分为以下几步:

首先,模型的建立是在全面分析节能减排政策、分析企业节能减排的基础上建立的,建立能反映各子系统之间动态制约关系的因果与相互关系图;

其次,利用仿真软件 VENSIM[14]建立仿真模型,对重点耗能企业节能减排动力学模型正确性进行了检验,检验结果完全满足要求;

最后,通过模型运行,分析各种节能减排方案组合的节能减排效果。通过检验证实所建立的模型较好地反映耗能企业节能减排的本质特征。

3.3 系统仿真

根据系统动力学的思想,全面分析节能减排的各类因素的基础上搭建了系统动力学模型,仿真时间设定为 2010—2020 年,步长为一年。不同于传统方法改变各因素变量,本文采用五种不同的方案,通过模拟仿真对比比较各种政策对企业节能减排的影响。

方案一: 无任何节能减排政策;

方案二: 单独实行阶梯电价;

方案三: 单独实行节能减排补助;

方案四: 在原有方案上同时进行阶梯电价和节能减排补助;

方案五: 所有的节能减排政策一同实施。

3.4 结果分析

对于单位产值能耗这一指标,仿真结果都为下降趋势。方案二、三相比实行补助对企业的单位产值能耗下降效果更加明显,显示实行阶梯电价最能增加企业节能减排的意愿,促进单位产值能耗量下降。

图 3 和图 4 中,方案四和方案五无明显的差距,可以认为在采用了阶梯电价和节能减排补助的情况下,企业都能达到国家的限定标准,超标惩罚制度效果不佳。

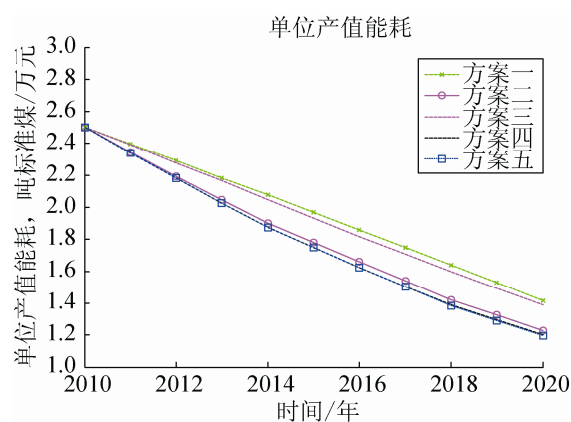


图3 各方案单位产值能耗图

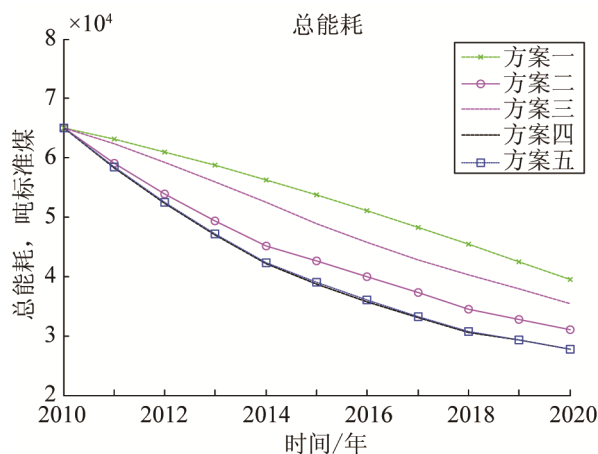


图4 各方案总能耗图

图 5 为各方案总电费,与图 4 比较分析,可以明显表明使用阶梯电价方案会增加耗能企业的初期的电费成本,一方面增大了企业的成本压力,一方面也会促使企业通过节能减排改造降低单位产值能耗,从而降低用电成本。从第 4 年开始采用阶

梯电价方案成本已经低于不采取任何节能减排措施的方案一。方案三和方案四在用电成本上都呈现出线性下降的趋势, 相比较而言惩罚制度的效果要好于补贴。

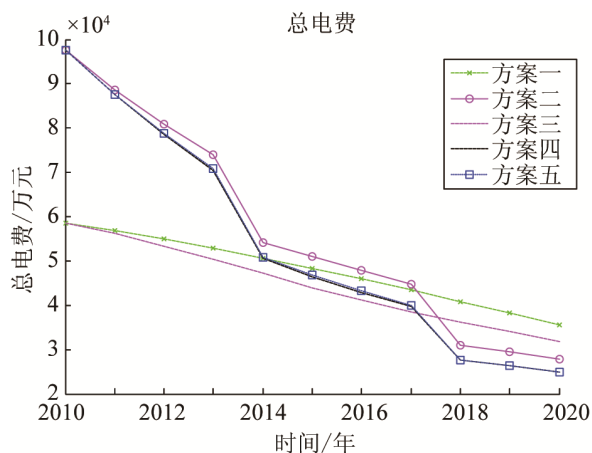


图 5 各方案总电费图

从图 6 和图 7 分别是对二氧化硫和 COD 含量的仿真结果图, 未采取任何措施的情况下 COD 含量和二氧化硫含量会不断上升。我们可以看出通过阶梯电价这一价格杠杆能很好的抑制排放量。分析原因有以下 2 点:

1) 在单位产值能耗下降的同时也伴随着污染物排放的减少。

2) 本研究中污染物排放量的确定上使用单位产值排放量这一指标, 方案二能够很好的降低单位产品的成本从而降低了企业的产值。

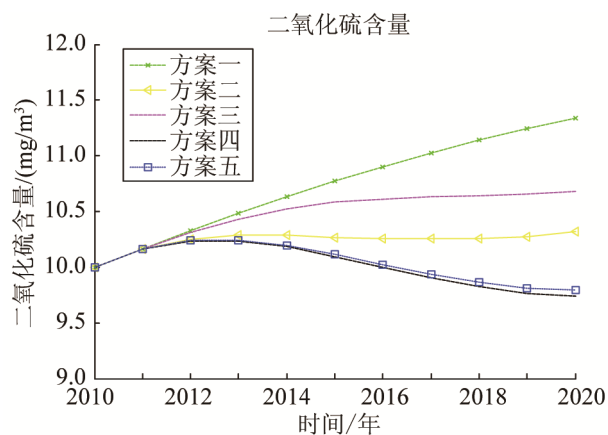


图 6 各方案二氧化硫含量图

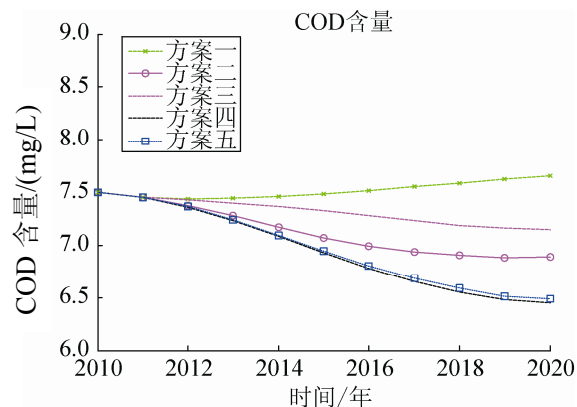


图 7 各方案 COD 含量图

综合各个因素比较可以得出利用阶梯电价价格杠杆的方式最能促进耗能企业的节能减排, 但也存在这会增加初期企业用电成本的问题。对企业的节能减排投资进行补助是单个方案中作用力度最小的方案, 但是最为平稳的一种方案。在政府补助下单位产值, 污染物排放量与没有方案一比较都呈现明显的下降。

4 结论

本研究利用系统动力学适用于复杂系统等特点, 区别于传统的系统动力学仿真利用改变控制变量提供不同的方案进而做出判断, 而是通过在相同断面下采用不同的政策, 利用系统动力学良好的模拟推演能力研究各种政策对企业节能减排的影响。通过仿真结果我们可以得出对节能改造补助、阶梯电价、能耗超标惩罚 3 种政策而言, 节能改造补助是企业最愿意接受的, 同时也是对企业生产经营活动影响最小的一种措施。而阶梯电价通过价格杠杆作用节能减排效果的效果是最好的, 也能受到电网企业的欢迎, 但会在初期是企业承受更大的成本, 对企业的经营会产生一定困难。能耗超标惩罚政策虽然能促进企业节能减排, 但是会增加企业的成本, 大量惩罚不利于企业的经营。因此, 在节能减排工作中可以政府可以根据企业类型、发展阶段采用 1 到 2 种节能减排方案, 既可以保证企业正常发展也能促进节能减排方案的实施, 也能保证企业的正常发展。

参考文献:

- [1] 刘丽娟, 王灵梅, 武卫红. 火电企业节能减排的系统动力学模拟与调控 [J]. 山西电力, 2012 (1): 36-39.
- [2] 刘丽娟, 王灵梅, 杨春. 火电企业节能减排的系统动力学仿真模型的建立 [J]. 华东电力, 2010, 38(10): 1498-1500.
- [3] 王喜平, 刘兴会, 张锴, 等. 基于系统动力学的火电企业节能减排投资研究 [J]. 黑龙江电力, 2013, 35(3): 200-202.
- [4] 尚羽, 董景峰, 王立海. 基于系统动力学的物流园区节能系统仿真研究 [J]. 森林工程, 2012, 28(3): 78-84.
- [5] 唐丽敏, 曾颖, 王成武, 等. 基于系统动力学的物流节能减排政策模拟 [J]. 系统工程, 2013 (6): 87-94.
- [6] 王灵梅, 张金屯, 倪维斗. 火电厂生态工业园的系统动力学模拟与调控 [J]. 系统工程理论与实践, 2005, 7(7): 119-121.
- [7] Narasimha C, Nagesha N. Energy efficiency in sustainable development of Small and Medium Enterprises: An empirical study [C]// Intelligent Systems and Control (ISCO), 2013 7th International Conference on. USA: IEEE, 2013: 487-491.
- [8] 张华, 陈凤银, 王艳红, 等. 钢铁企业节能减排投资系统动力学研究 [J]. 现代制造工程, 2012 (7): 22-25.
- [9] 孙浩, 涂序彦. 基于协调学的钢铁工业节能模式研究 [J]. 冶金能源, 2006, 25(1): 3-5.
- [10] 公兵, 王会清, 汪波. 基于博弈论的钢铁行业节能减排对策分析 [J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2014, 36(2): 229-232.
- [11] 王其藩. 系统动力学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.
- [12] 钟永光, 贾晓菁, 李旭. 系统动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [13] 苏愈康. 系统动力学原理及应用 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1991.
- [14] 韩雨, 张喜. 基于 Vensim 仿真的城市机动车耗油量预测方法研究 [J]. 山东科学, 2012, 25(4): 69-72.
- [15] WW Hu, YC Huang, CP Li. Improved algorithm of muscle fatigue detection using linear regression analysis [J]. Electronics Letters (S0013-5194), 2013, 49(2): 89-91.
- [16] 张宇山. 多元线性回归分析的实例研究 [J]. 科技信息, 2009, 9: 54-56.
- [17] Huang Yixiang, Xuan F Zha. Discriminant diffusion maps analysis: A robust manifold learner for dimensionality reduction and its applications in machine condition monitoring and fault diagnosis [J]. Mechanical Systems and Signal Processing (S0888-3270), 2013, 34(1-2): 277-297.
- [18] Cai Yudong, Liu XiaoJun, Xu Xuebiao. Support vector machines for predicting HIV protease cleavage sites in protein [J]. Journal of Computational Chemistry (S1096-987X), 2002, 23(2): 267-274.
- [19] 胡刚, 刘侍刚. 基于扩散距离的 SIFT 特征匹配算法 [J]. 计算机系统应用, 2012, 21(9): 92-96.
- [20] 姜万录, 吴胜强. 基于 SVM 和证据理论的多数据融合故障诊断方法 [J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(8): 1738-1743.
- [21] Zhiqiang Ge, Luping Zhao. Utilizing transition information in online quality prediction of multiphase batch processes [J]. Journal of Process Control (S0959-1524), 2012, 22(3): 599-611.
- [22] Cao Shugang, Liu Yanbao. A forecasting and forewarning model for methane hazard in working face of coal mine based on LS-SVM [J]. Journal of China University of Mining & Technology (S1006-1266), 2008, 18(2): 172-176.
- [23] Zhiqiang Ge, Zhihua Song. Online monitoring of nonlinear multiple mode processes based on adaptive local model approach [J]. Control Engineering Practice (S0967-0661), 2008, 16(12): 1427-1437.
- [24] 赵清艳, 张超. 基于 GA-LSSVR 的铣削加工变形预测 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2011, 12: 57-60.
- [25] 刘毅, 王海清. Pensim 仿真平台在青霉素发酵过程的应用研究 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18(12): 3524-3527.

(上接第 971 页)