

# 差别电价效应及影响因素的系统动力学分析

施应玲<sup>1</sup>, 孙艺新<sup>2</sup>, 谭忠富<sup>1</sup>, 庞南生<sup>1</sup>

(1. 华北电力大学 工商管理学院, 北京 102206; 2. 北京动力经济研究所, 北京 100761)

**摘要:**差别电价政策作为价格杠杆直接调控经济, 在实施中受较多因素的影响。本文建立了差别电价政策的系统动力学模型, 对影响差别电价政策效果的因素进行了分析。研究表明, 在其他因素不变的前提下, 当高耗能企业的单位电耗降低时, 企业为获取较多利润会增加生产量, 从而使用电量提高; 当高耗能企业产品的市场价格提高时, 企业较少考虑差别电价, 会提高实际生产量, 差别电价政策的效果弱化; 当高耗能企业产品的市场价格减低时, 企业会降低实际生产量, 差别电价政策的效果很明显。

**关键词:**差别电价; 系统动力学; 影响因素; 高耗能企业

**中图分类号:** F402.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2008)08-0085-05

系统动力学是由美国麻省理工学院的杰伊·福瑞斯特(Jay W. Forrester)教授<sup>[1]</sup>于 20 世纪 50 年代中期创立的。由于系统动力学模型对精度要求不高, 较适用于分析系统的结构与动态行为, 在政策模拟研究上具有一定优越性。Ford<sup>[2,3]</sup>利用系统动力学知识对美国加州市场的 PX 规则进行了模拟研究, 结果发现, 在 PX 规则下电力市场将出现剧烈的投资周期波动和相应的价格周期性波动, 并分析了其波动的条件。国内学者黄健柏基于用户相应函数、发供方电价联动、发供用三方利益均衡构建了我国电力市场简要的系统动力学模型<sup>[4,5]</sup>。Faulhaber<sup>[6]</sup>对包括电力事业在内的公共事业领域的价格差异和补贴的政策进行了研究。我国对于差别电价政策的研究虽已取得了一些成果, 但仍缺乏对政策实施效果模拟和阐述的研究。本文从微观视角研究差别电价政策问题, 讨论企业行为和市场对差别电价政策效果的干扰。

## 1 差别电价政策的系统动力学基本模型

### 1.1 模型结构和边界分析

差别电价政策在执行中涉及多个利益主体, 影响的传导机制较为复杂, 需要借助社会经济系统模型对各个利益主体之间的相互反应以及政策执行情况

做出模拟。

本文将系统模型分为电费成本、经营及计划、实际生产及用电 3 个模块。

电费成本模块主要研究差别电价政策的出台对高耗能企业电费成本(包括电量电费和容量电费)的影响。主要变量和参数有: 用电量、平均用电量、报装容量、报装延迟、设备利用率、容量电价、单位容量电价、平均单位电价、差别电价、电度电价、单位电耗和电费成本。

经营及计划模块主要研究电费成本的变化对高耗能企业成本和收益的影响, 以及其如何影响高耗能企业的投资决策。主要变量和参数有: 电费成本、管理成本及其他、原材料成本、单位产品成本、预期单位价格、预期单位利润率、投资系数、投资计划表、月增加生产能力和需要调整的生产能力。

实际生产及用电模块主要研究高耗能企业受差别电价政策的影响来制定经营生产计划后, 企业实际的生产及用电情况。主要变量和参数有: 需要调整的生产能力、生产量变化延迟、生产量变化值、实际生产量、初始生产能力、用电增加量、单位电耗、用电量和初始用电量。

### 1.2 模型总流图和系统方程

#### 1.2.1 模型总流图

收稿日期: 2008-04-29

基金项目: 北京市自然科学基金项目(9072010)

**作者简介:**施应玲(1965—), 女, 湖北宜昌人, 华北电力大学工商管理学院副教授, 博士研究生, 研究方向: 电力经济与可持续发展; 孙艺新(1983—), 男, 辽宁丹东人, 北京动力经济研究所助理研究员, 研究方向: 电力经济; 谭忠富(1964—), 男, 辽宁长岭人, 华北电力大学工商管理学院教授, 博士生导师; 庞南生(1962—), 男, 安徽安庆人, 华北电力大学工商管理学院副教授, 研究方向: 系统理论与优化技术。

本文以电解铝行业的高耗能企业为例,建立系统动力学模型的总流程图,见图 1。

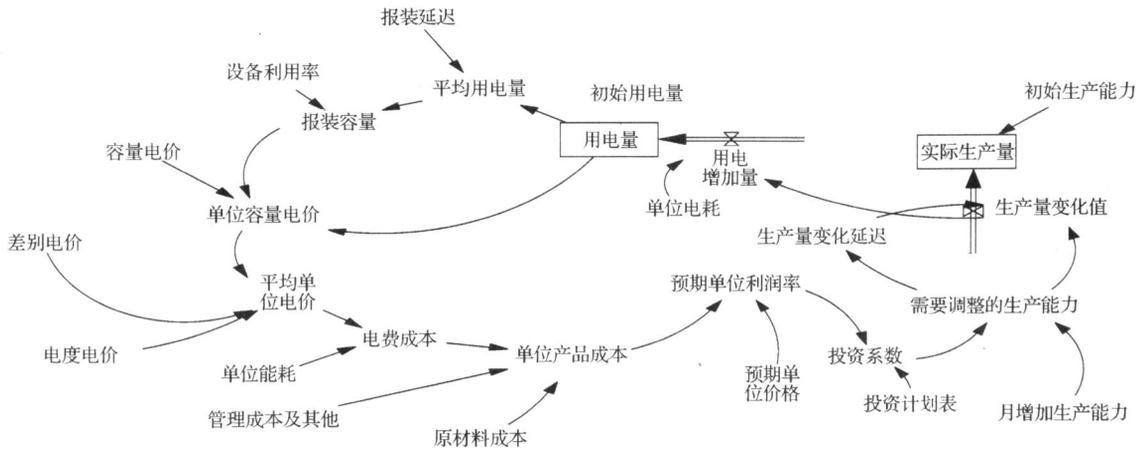


图 1 高耗能企业的系统动力学模型总流程图

### 1.2.2 系统方程

本文以 2005 年国家发展改革委员会发布的《国家发改委会关于印发电价改革实施办法的通知》(发改价格[2005]514 号)和《销售电价管理暂行办法》、2006 年 9 月国务院发布的《关于完善差别电价政策的意见》(国办发[2006]77 号)、2007 年发布的《关于进一步贯彻落实差别电价政策有关问题的通知》(发改价格[2007]2655 号)等管理办法为基准,并参照电解铝行业的特点,构建了系统结构方程。其中,企业用电量、实际生产量为状态变量,用电增加量和生产变化值为速率变量,投资计划表是一个表函数,其他为辅助变量,差别电价运用 STEP 函数描述其阶段性变化。

### 1.3 模型参数确定

本模型中各变量的初始数值以及常数的确定大部分基于相关统计部门公开的数据或内部文献,还有一部分数据是根据相关专家的估计得出的。系统动力学理论认为:模型结构的正确与否,远比参数准确度的高低要重要得多。本文重点揭示差别电价政策影响下各有关变量的变化趋势,而对于各个参数,则只能在一定程度上确保其准确性。也正由于系统动力学并不要求参数的绝对准确,因此本文才能够做到政策模拟和分析的科学性。

设备利用率。根据中国有色网的信息,目前

国内电解铝设备利用率仅约 75%~78%。本文将设备利用率取值为 75%。

差别电价。对于差别电价变量数值的确定,本模型主要通过近期国家相关政策以及河南省的有关规定进行模拟。按照相关规定,从 2007 年 7 月 1 日开始,对限制类企业差别电价定为 0.04 元/千瓦时,2008 年 1 月 1 日再加价 0.05 元/千瓦时。本文假设 2009 年 1 月 1 日再加价 0.05 元/千瓦时。

原材料价格。在本文模型中,原材料价格主要指氧化铝的价格。自 2006 年下半年氧化铝价格开始跳水以来,历经了数轮阴跌,到 2007 年 2 月份已到了一个相对较低的水平。国内氧化铝供应商在 2006 年 8 月、9 月曾两度下调氧化铝现货价格(下调前的 2006 年上半年最高价格曾达 6300 元/吨),从 5650 元/吨下调到 4900 元/吨,再下调到 3800 元/吨,最低时一度下探到 2400 元/吨。此后,虽然氧化铝价格仍不断有所调整,但一直维持在 4000 元/吨以下。直到 2007 年 3 月 21 日,氧化铝价格才略为上调,从 3600 元/吨上调到 3900 元/吨。本文取中间波动值 4000 元/吨作为氧化铝的单位价格。

电解铝预期价格。2007 年中国铝市场整体呈现出振荡走弱格局。2007 年初,铝价最高一度

主要为:2005 年国家发展改革委员会发布的《国家发改委会关于印发电价改革实施办法的通知》和《销售电价管理暂行办法》、2006 年 9 月国务院发布的《关于完善差别电价政策的意见》、2007 年国家发展改革委员会发布的《关于进一步贯彻落实差别电价政策有关问题的通知》等。

主要为:河南省人民政府办公厅转发河南省发改委会的《关于完善差别电价政策实施意见的通知》、河南省人民政府《关于印发河南省节能减排方案的通知》、河南省发改委会《关于印发第一批差别电价企业分类名单的通知》等。

信息来源:中央人民政府门户网站([http://www.gov.cn/gzdt/2007-07/06/content\\_675227.htm](http://www.gov.cn/gzdt/2007-07/06/content_675227.htm))。

信息来源:上海期货交易所网站(<http://www.shfe.com.cn/index.html>)。

达到 21700 元/吨,随后铝价呈现振荡下滑的走势;到 2007 年 4 月初,其跌至 19100 元/吨;从 2007 年 4 月 4 日开始,国内铝价出现了一轮短期的上升行情,到 2007 年 5 月上旬,其最高到达 21650 元/吨一带。本文按照 2007 第一季度的均价 20000 元/吨来计算。

管理成本及其他。电解铝行业所需人工费、管理费用和维修成本总和约为 1000 ~ 2000 元/吨。本文对其取值为 1500 元/吨。

单位电耗。根据国家电网公司 2003 年课题研究报告《重点行业用电趋势研究报告》,本文将单位电耗取值为 15362 千瓦时/吨。

电度电价和容量电价。参照 10 万千瓦时以下、35 千伏 ~ 110 千伏的电度电价和容量电价,分别是 0.466 元/千瓦时和 20 元/千伏安·月。

初始生产能力及初始用电量。根据国家统计局最新资料,截至 2007 年 1 月 1 日,河南省的电解铝产量约为 211.5 万吨。本文以该数值作为本模型的初始生产能力。对应地,初始用电量(初始生产能力 × 单位电耗)为 3249063 万千瓦时。

月增加生产能力。2000—2004 年,中国电解铝产能年均增长率为 30%,月平均增长率约为 2.5%。结合前面初始生产能力的的数据,本文将月增加生产能力定为 18.066 万吨/月。

日负荷率。铝工业用电日负荷曲线很平稳,电解铝生产的日负荷率在 95% 以上。本文对其取值为 98.3%。

## 1.4 模型有效性检验

### 1.4.1 结构性检验

结构性检验是模型有效性检验中最重要的一环,它包括:

模型边界合适性检验。本研究的目的在于能够建立一个适用研究高耗能企业在差别电价政策下进行经营和投资活动的模型。为集中于经营活动的研究,降低其他非必要外生变量的干扰,本文仅将与企业经营有关的重要变量纳入模型。

模型结构检验。该项检验的主要目的是检验模型结构是否与描述该系统的相关知识相吻合。通过资料收集、相关文献探讨及与相关人员讨论,本文所设计的模型基本在结构上能够满足模型研究的目的。

灵敏度检验。灵敏度检验的主要目的在于验证当改变某一参数后,模型产生的系统行为是否发

生重大变化;若发生重大的变化,则该参数即为敏感性高的参数。本文使用 Vensim 软件的参数变化自动模拟“Automatically Simulate on Change”功能进行模型的参数敏感性检验。通过灵敏度检验发现,当改变模型的主要参数时,模型的各个变量都没有发生剧烈波动,从而证明本模型的参数是有效的。

### 1.4.2 参数检验

本文运用 Vensim 软件对模型中的各个变量、方程式、常数、初始条件进行单位一致性检验。检验结果表明,所有变量和常量的单位都符合检验的要求。

### 1.4.3 行为检验

极端状况检验。该项检验的目的在于检验模型的稳定性。当输入为极端情况时,所构建的模型必须反映相同性质的行为模式。本文以总用电量为检验内容,假定单位电耗变为 0,验证总用电量是否合理,即观察行为变化是否合理。

行为异常检验。行为异常检验的主要目的在于验证模型是否会产生在实际情况中未曾观察到的或已察觉到但极其不同的行为模式。一旦发现此类异常行为,必须分析造成此类异常行为的原因及其结构;如果是模型预设条件发生了错误,则必须对其予以修正。本文所构建的模型经实际模拟后,未发现有无解释的异常行为。

## 2 影响因素的模拟分析

### 2.1 单位产品电耗

单位产品电耗的变化体现了企业的节能降耗水平。若企业能逐步降低单位产品电耗,则其单位生产成本也会逐步下降,从而使企业的经营情况得到改善。假设某电解铝行业企业开始的单位产品电耗是 15362 千瓦时/吨,半年后降低为 14262 千瓦时/吨,一年半后将为 13262 千瓦时/吨,三年半后降为 12762 千瓦时/吨。企业总用电量变化如图 2 所示。

图 2 中,曲线 current 表示在原有单位产品电耗水平下,企业的总用电量的增长情况;曲线 changed 表示单位产品电耗水平降低后,企业的总用电量的增长情况。对比分析发现,当企业单位产品电耗水平逐步降低后,企业的电费成本压力有所减轻,企业总用电量的增幅会更大,从而导致差别电价的政策效果减弱。

数据来源:国家电网公司 2003 年课题研究报告《重点行业用电趋势研究报告》。

数据来源:河南省电力公司公开的目录电价信息(2006)。

数据来源:国家电网公司 2003 年课题研究报告《重点行业用电趋势研究报告》。

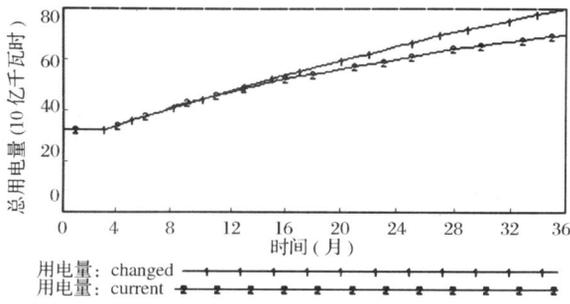


图 2 单位产品电耗变化前后总用电量的对比图

单位产品电耗决定着企业的电费成本。对于高耗能企业,电费成本在企业的生产成本中占较大比重,故单位产品电耗对企业的利润水平有显著影响。单位产品电耗变化前后企业的预期单位产品利润率的变化如图 3 所示。

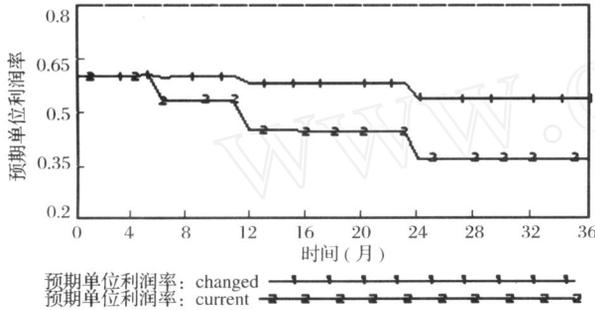


图 3 单位产品电耗变化前后企业预期单位产品利润率对比图

图 3 中,曲线 current 显示了在原单位产品电耗水平下企业的预期单位产品利润率的变化情况;曲线 changed 显示了单位产品电耗水平降低后企业的预期单位产品利润率水平的变化情况。从图 3 可以看出,曲线 changed 比曲线 current 的变化走势更平缓,这说明该企业在单位产品电耗降低后,已能够抵御差别电价提高所带来的成本压力。在此情形下,企业则会扩大生产规模以保持比较可观的收益率。

### 2.2 单位产品预期市场价格

由于以电解铝为代表的一些资源产品受国际市场的影响较大,因此企业往往只能成为价格的被动接受者。单位产品预期市场价格是本模型中比较重要的参数,在前文政策模拟中,本文假设了电解铝价格为常数(20000 元/吨),本文将逐步改变其大小并进行对比分析。

试将电解铝的预期单位价格分别向上和向下各调整 10%和 20%,对应的价格分别为 16000 元/吨、18000 元/吨、22000 元/吨和 24000 元/吨;将其分别

带入系统动力学模型中,所对应的实际生产量曲线分别为 a、b、c、d,曲线 current 表示电解铝预期单位价格不变时实际生产量的变化情况,具体如图 4 所示。

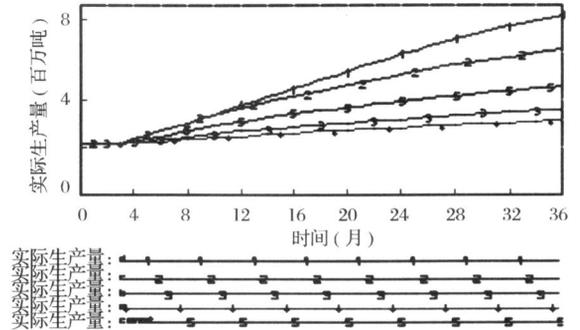


图 4 电解铝预期单位价格的变化对企业实际生产量的影响

图 4 显示,5 条曲线开始比较接近,随着时间的推移,预期单位价格的变化对企业产能的影响开始逐渐显现。可见,电解铝产品价格的波动性对企业的生产安排有着很大影响。当产品的市场价格有较大幅度增加时,企业在电力消耗上的高成本可以从产品的高售价中找回,使得差别电价政策的效果大打折扣,甚至丧失。

### 2.3 原材料成本价格

设电解铝行业的原材料成本在 3 年中以每年 10%的速度递增。根据河南省差别电价政策,从 2007 年 7 月 1 日开始,对限制类企业差别电价定为 0.15 元/千瓦时,2008 年 1 月 1 日再加价 0.2 元/千瓦时,假设 2009 年 1 月 1 日再加价 0.2 元/千瓦时,则修改的结构方程如表 1 所示,模拟预期单位产品利润率的变化情况如图 5 所示。

表 1 修改的结构方程

同时改变的参数	单位
原材料成本 = 3300 + step(330, 12) + step(363, 24)	元/吨
差别电价 = 0 + step(0.15, 6) + step(0.2, 12)	元

图 5 中,曲线 current 表示参数未变时的企业预期单位产品利润率的变化情况;曲线 a 表示在原材料成本逐年上升后限制类企业预期单位产品利润率的变化情况;曲线 b 表示在原材料成本逐年上升后淘汰类企业预期单位产品利润率的变化情况。由图 5 可知,当原材料成本进一步增加时,限制类企业与淘汰类企业的预期单位产品利润率都随之降低;同时,由于差别电价政策的影响,淘汰类企业的预期单位产品利润率下降更快,最终达到亏损(约为 -4%)。

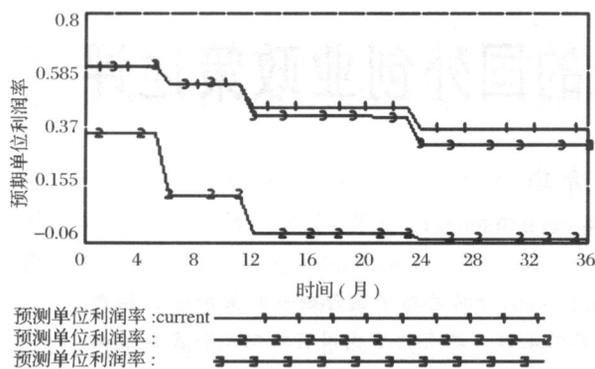


图5 成本提高后预期单位产品利润率对比分析

### 3 研究结论

第一,差别电价政策会使高耗能企业的生产成本增加。在其他因素不变的前提下,通过改变系统动力学模型中的一些参数(如单位电耗),企业会获得较大的利润增长空间,故企业存在改进技术的动力。当企业的生产技术提高后(比如单位电耗降低),企业就能够在既定的差别电价中有效降低产品成本,这种变化在初期并不明显,但会随着时间逐渐显露出来的。

第二,企业单位产品预期市场价格、原材料成本等变化也会影响差别电价政策的效果。如当高耗能企业的产品市场价格提高时,企业会提高实际生产量,实际生产量的增幅与产品市场价格的增幅有同向性,如此会削弱差别电价政策的效用。当高耗能企业的产品市场价格降低时,企业会降低实际生产量,实际生产量的降幅与产品市场价格的降幅有同

向性。同时,实际生产量的这种增幅和降幅会随着时间的延长而越来越大。

关于差别电价政策的影响因素还有许多,与此问题相关的经济增长方式与能源、资源的消耗结构和定价问题也引起了关注<sup>[9]</sup>,在经济增长中实现节能降耗的政策导向问题有待进一步深入研究。

### 参考文献

- [1] FORRESTER J W. Principles of systems: Text and Workbook [M]. Massachusetts, USA: Wright-Allen Press, 1968.
- [2] FORD A. System dynamics and the electric power industry[J]. System Dynamics Review, 1996, 13(1): 57-85.
- [3] FORD A. Cycles in competitive electricity markets: a simulation study of the western United States [J]. Energy Policy, 1999, 27(11): 637-658.
- [4] 黄健柏. 基于系统动力学的峰谷分时电价模型与仿真(一)模型的建立[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(11): 18-23.
- [5] 黄健柏. 基于系统动力学的峰谷分时电价模型与仿真(二)仿真结果及其分析[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(12): 23-26.
- [6] FAUL HABER G R. Cross-subsidization: pricing in public enterprises [J]. American Economic Review, 1975, 65(10): 966-977.
- [7] 阙光辉. 商业电价是否存在“歧视”?——兼论销售电价联动与取消交叉补贴[J]. 中国电力企业管理, 2003(11): 22-24.
- [8] 施应玲, 孙艺新. 对售电价格管制模型的经济思考[J]. 华北电力大学学报(社科版), 2007(1): 6-9.
- [9] 丁和平. 我国转变经济增长方式的难关及对策研究[J]. 技术经济, 2007, 26(10): 51-52.

## Study on Influence Factors of Discriminatory Electricity Price Based on System Dynamics

Shi Yingling<sup>1</sup>, Sun Yixin<sup>2</sup>, Tan Zhongfu<sup>1</sup>, Pang Nansheng<sup>1</sup>

(1. College of Business Management, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. Institute of Beijing Power Economic, Beijing 100761, China)

**Abstract:** Discriminatory electricity price policy, as a crucial price lever controlling economy, is influenced by many factors. This paper establishes the system dynamics model, and analyzes the factors influencing the effect of discriminatory electricity price policy. The result shows that, the high energy-consuming enterprises may increase the production and electricity consuming while unit electricity consuming descends; when product market price rises, the enterprise may increase production with less consideration of discriminatory electricity price, which results in the weakening of the effect of the discriminatory electricity price policy; the high energy-consuming enterprises may decrease production as the product market price drops, and then the effect of the discriminatory electricity price policy is very obvious.

**Key words:** discriminatory electricity price; system dynamics; influence factor; high energy-consuming enterprise