

电力行业管理与执法实务全书

# 电力安全管理 (二十八)

卢炳瑞 主编

中国言实出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

电力行业管理与执法实务全书/卢炳瑞主编.

—北京:中国言实出版社,2004.9

ISBN 7-80128-321-6

I. 电…

II. 卢…

III. 电力工业—法规—中国—汇编

IV. F407.616

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 103281 号

中国言实出版社出版发行

(北京市西城区府右街 2 号 邮政编码 100017)

中铁十六局印刷厂

787×1092 32 499.125 印张

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1~1 000 册

定价: 2560.00 元(本卷 16.00 元)

# 目 录

◎用户与电力公司之间电力期货合同的风险建模 MODELLING RISKIN ELECTRICITY FUTURE CONTRACTS .....	1
◎中国电力管制价格形成机制研究 .....	12
◎变电站分布式微机监控系统设计中的若干问题 .....	24
◎“电力先行”是经济发展的客观规律 .....	32
◎水煤浆代油发电要慎重 .....	39
◎电力改革要促进电 .....	48
◎淡化电力弹性系数 .....	51
◎浅谈利用海水发展电力工业 .....	60
◎电业改革一能否实现自由选电 .....	64
◎美国电力工业的发展 DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC POWER INDUSTRY IN U.S.A. ....	72
◎在社会主义市场经济下电力市场的运行机制探讨 .....	80
◎提高交流 500kV 线路输电能力的实用化技术和措施 ...	88
◎数字电力系统(DPS)——21 世纪的电力信息化 .....	102
◎电力工业引入竞争机制后如何落实计划 .....	113
◎“十五”期间:我国电力需求预测 .....	124
◎电话、电脑、电视和电力“四网合一”的概念 与关键技术 .....	128
◎“西电东送”的战略意义和展望 .....	144

◎直流输电技术的现状和在西电东送中的应用 .....	154
◎建设绿色经济强省，把云南建成国家实施 “西电东送”战略的重要能源基地 .....	168
◎抓住西部大开发的机遇加快西北能源资源 开发把西北建成全国重要的电力基地 .....	181

## ◎用户与电力公司之间电力期货合同的风险建模 Modelling Riskin Electricity Future Contracts

电力市场环境下的电力交易行为通常有两种,即现货交易和期货交易,相应存在两种定价机制,即实时定价和期货定价.电力市场的期货运行机制可以减少电力交易者因市场价格波动而带来的利益风险,并能促进供需双方信息的交流,体现了电力市场环境中电力生产与消费的计划性和经济性,从而有利于电力市场的健康有序发展.电力市场的期货交易是通过签订期货合同和具体执行来完成的,电力期货合同可能是一种固定的协议,要求保证供电和执行,或是一种可选择的协议,如允许电力公司违约,中断给用户的供电,允许私人供电商违约,中断给电力公司的供电,或电力公司违约,拒绝接受私人供电商的供电,等等.期货合同内容除规定交易双方的权利和义务外,一般还包括供电时间、供电量、价格以及违约时的惩罚量等主要参数.为了保证电力市场的公正公平,这些合同参数必须科学合理地制定.

电力期货合同参数的确定不仅与合同所规定的各种权利和义务有关,而且与将来供电时刻的各种条件密切相关,而未来条件不可避免地存在各种不确定

性(即风险),如电力公司由于燃料价格、负荷预测、发电机组强迫停运等不确定性而造成的发电成本不确定性,这些风险对合同参数的确定具有重要影响 [2~4] .而现有文献中大多假设发电成本服从一已知的概率分布,这大大限制了方法的实用性和精确性.

本文首先介绍一种用户与电力公司之间可选择的期货合同模型,它不仅考虑了电力公司发电成本的不确定性,而且给予公司中断供电的权利.还提出一种电力公司边际发电成本概率分布和密度函数的求解方法,利用边际发电单元的概念及其概率计算公式,获得边际发电成本的概率分布与密度函数,以及燃料价格不确定性的计入方法,并应用于合同定价模型.算例分析给出了各种风险对合同参数的影响.

### 1 电力期货合同模型

用户为将来某时刻  $T$  的用电而与电力公司签订购电合同.假设:

(1)电力公司将时刻  $T$  的发电边际成本为  $S$ (随机变量) [元/kWh] ,其概率分布函数为  $Q_S(x)$ ,概率密度函数为  $q_S(x)$ .

(2)用户只能与该电力公司发生电力交易,而无别的选择.用户在时刻  $T$  的用电单位效益为  $V$  [元/kWh] .

(3)合同预购电价为  $P$  [元/kWh] .电力公司在时

刻  $T$  有权利不履行合同,即拒绝供电,但须付给用户违约金(即中断电价) $K$ (元/kWh),则当  $S > K$  时,公司将拒绝供电.

### 1.1 预购电价的计算

预购电价  $P$  的确定在原理上可作如下分解:假如不发生公司拒绝供电的情况,则预购电价应等于公司在时刻  $T$  的边际发电成本的期望值,而事实上公司有权利拒绝供电,因而预购电价中应考虑与这种权利相对应的价格折扣.

对于公司拒绝供电的情况,当条件  $S > K$  满足时发生,此时拒绝供电权利会给公司产生单位电量  $S \sim K$  的价值,当  $S < K$  时,公司不履行拒绝供电权利,此时这种权利没产生实际价值.因此,公司拒绝供电权利所产生的单位电量价值为  $\max\{0, S \sim K\}$  的期望值,应在预购电价中扣除.

假定  $H_t$  为合同签订时刻  $t$  时所能利用的全部信息,则预购电价可表示为

### 1.2 用户对于中断电价 $K$ 的选择

实现电力交易合同给用户带来的效益可作以下分析:对于公司拒绝供电情况,用户获得单位电量效益为  $(K \sim P)$ ;对于公司供电情况,用户获得单位电量效益为  $(V \sim P)$ .则用户单位电量期望效益为

$$EB=(K-P) [1-QS(K)] +(V-P)QS(K).$$

利用

(1)式,由极值条件可推得:

$$(V-K)qS(K)=0.$$

由于通常  $qS(K) \neq 0$ , 则

$$K=V.$$

(2)

显然当

(2)式满足时,用户单位电量期望效益达到极大值点.

### 1.3 讨论

以上电力交易合同模型具有如下特性:

(1)对于电力公司来说,当  $S < K$  时,供电给用户;当  $S > K$  时,中断用户供电.当电力公司的供电较紧张时,或者市场上的电价较高时,可中断那些具有较低中断电价的用户供电,而首先供电给中断电价较高的那些用户,或者卖电给市场上,来保证其效益损失最小或获利最大.因而这种供电合同可作为电力公司的一种“电力资源”,结合到经济调度中.

(2)对于具有  $V > 0$  的用户,选择最优中断电价  $K=V$ , 相当于拥有一个无风险的合同,因为用户在合同实现时,或者得到供电,取得用电效益  $V$ , 或者被中断供电,取

得违约金也是  $V$ 。也就是说,用户虽然有断电风险,但无用电效益损失的风险。

(3)选择最优中断电价  $K=V$  的用户,当  $V>S$  时将得到供电,当  $V<S$  时将被中断供电。从全社会角度来看,这种供电机制可以达到有限电力资源的最优分配。

## 2 电力公司边际发电成本的概率分布函数估计方法

上述合同模型需要用到电力公司边际发电成本的概率分布和密度函数,现有文献大多假设它服从一已知的概率分布 [2~4],从而限制了其精确度和实用性。实际上,电力公司边际发电成本的概率分布和密度函数可以根据电力公司的实际情况,来精确计算。下面我们应用发电系统随机生产模拟技术,提出一种边际发电成本概率分布和密度函数的求解方法。

### 2.1 电力公司的边际发电单元及其概率

设电力公司拥有  $I$  个发电单元,第  $i$  个发电单元的概率模型用其有效容量  $x_i$ (随机变量)来表示

其中  $FOR_i$  为单元  $i$  的随机强迫停运率; $C_i$  为单元  $i$  的装机容量(kW)。

定义面对某一时刻的负荷  $L$ ,若前  $i-1$  个单元的有效容量总和小于等于  $L$ ,但前  $i$  单元的有效容量总和大于  $L$ ,则称第  $i$  个发电单元为此时刻系统的边际发电

单元.

应用发电系统随机生产模拟技术 [5,6] ,求得前  $i$  个发电单元加载后,面对负荷需求  $L$  的系统失负荷概率  $LOLP_i$ ,其中  $i \in \{1,2,\dots,I\}$  为发电单元的最经济加载序,则有以下定理:面对某一时刻的负荷  $L$ ,第  $i$  个发电单元为此刻系统的边际发电单元的概率  $m_{pi}$  由如下公式计算:

其中  $LOLP_i$  为面对负荷  $L$ ,前  $i$  个发电单元加载后系统的失负荷概率  $LOLP$ ;第  $I+1$  个发电单元是一个提供系统不足发电容量的假想电源.

证明由  $LOLP$  的定义可知, $LOLP_i$  表示前  $i$  个单元的有效容量总和小于负荷  $L$  的概率,则上式右边第一、第二项分别表示前  $i-1$  个单元的有效容量总和小于等于负荷  $L$ ,以及前  $i$  个单元有效容量大于负荷  $L$  这两个事件的概率,由于这两个事件必有一个发生,则由概率理论可知,上式表示的是两个事件同时发生的概率,即  $LOLP_{i-1} \sim LOLP_i$  表示负荷  $L$  大于等于前  $i-1$  个单元的有效容量总和,但小于前  $i$  个单元的有效容量总和的概率,也就是说,它表示的是当负荷为  $L$  时,单元  $i$  为系统的边际发电单元的概率,即  $m_{pi} = LOLP_{i-1} \sim LOLP_i, i=1,2, \dots, I$ ,其中  $LOLP_0$  表示没有单元加载时的  $LOLP$ ,则只要  $L > 0$ ,必有  $LOLP_0 = 1$ .上述递推式同样适

用于第  $I+1$  个假想电源, 由于  $LOLPI+1=0$ , 则有  $mpI+1=LOLPI$ . 定理得证.

## 2.2 系统边际发电成本的概率密度与分布函数

如果不考虑发电单元燃料价格的不确定性, 即各个发电单元的单位运行成本为一确定量, 由于系统边际发电单元的单位发电成本即为系统的边际发电成本, 则由以上定理易于推出系统在负荷  $L$  时的边际发电成本的概率密度函数其中  $b_i$  为单元  $i$  的单位运行成本(元/kWh),  $i=1, 2, \dots, I$ ;  $b_{I+1}$  为假想电源的单位运行成本, 即系统的单位缺电损失成本(元/kWh);  $\delta(x)$  为单位脉冲函数, 由

(3)式容易验证:

即上述

(4)式的概率密度函数在数学上是一个合理的密度函数. 由此可相应求得边际发电成本的概率分布函数其中  $u(x)$  为单位阶跃函数.

边际发电成本的期望均值  $E[S]$  和方差  $Var[S]$  可分别表示为

## 2.3 燃料价格不确定性的计入

与发电机组的随机强迫停运一样, 未来发电燃料价格的不确定性对边际发电成本的估计同样具有重要影响. 严格精确的方法应把各个发电单元的单位运

行成本  $b_i$  描述为随机变量,即用概率密度函数来描述各个随机变量  $b_i$ .由式

(4)可知,此时边际发电成本的密度函数应描述为取值若干随机变量(而不是确定量)的概率,若各个随机变量  $b_i$  的密度函数已知,为

其中, $b_{ij}$  为  $i$  单元运行成本  $b_i$  的第  $j$  个取值状态; $b_{pij}$  为  $i$  单元运行成本  $b_i$  取值第  $j$  个状态的概率为  $i$  单元运行成本  $b_i$  总的取值状态数.

由于燃料价格的不确定性和发电单元强迫停运的随机性是相互独立的,系统的边际发电成本的概率密度函数可表示为容易验证

即上述

(9)式的密度函数是合理的,边际发电成本的概率分布函数表示为由此可同样求得边际发电成本的期望均值和方差.

### 3 算例分析

#### 3.1 电力公司边际发电成本服从正态分布时的算例

假设电力公司在将来  $T$  时段的边际发电成本  $S$  服从一正态概率分布,其均值  $E[S]$  为 0.5 元/kWh,方差  $\text{Var}[S]$  取 0.01,0.04,0.09,0.16,0.25 五种情况.由以上合同定价模型可分别解得五种情况下预购电价  $P$

与中断电价  $K$  的关系曲线.

(1) 预购电价  $P$  是关于中断电价  $K$  的一个非减凹函数,  $P$  总是小于等于  $K$ .

(2) 当  $K$  较小时, 电力公司中断供电的可能性较大, 此时公司的中断供电权利会带来较大价值, 因此预购电价  $P$  较小; 随着  $K$  的不断增大,  $P$  趋向于边际发电成本的期望均值  $E[S]$ , 其物理意义是当  $K$  很大时, 电力公司中断供电的可能性将非常小, 此时公司的中断供电权利不会带来多少价值, 因此预购电价  $P$  近似为边际发电成本的均值.

(3) 当发电边际成本的方差为 0 时,  $P$  和  $K$  的函数关系为  $P = \min\{E[S], K\}$ , 发电边际成本的不确定性越小, 则  $P$  和  $K$  的关系曲线越向上逼近曲线  $\min\{E[S], K\}$ , 其物理意义为: 对于相同的一个中断电价  $K$ , 电力公司边际发电成本的不确定性较大时, 预购电价  $P$  较小.

(4) 由于用户选择最佳的中断电价  $K$  为用户的单位用电价值  $V$ ,  $V$  值不同表示用户类不同, 则图 1 也可看作是不同的用户类的预购电价曲线, 显然, 用户的单位用电价值越大, 预购电价也越大, 作为回报, 公司中断该用户供电的可能性越小.

### 3.2 电力公司边际发电成本的概率分布精确计算

## 时的算例

以上算例表明了合同定价模型的一些特性,但由于电力公司的边际发电成本正态概率分布是我们假设的,不完全符合实际情况.因而对于一个实际的电力公司,须采用本文介绍的边际发电成本概率分布函数估计方法来进行计算.

用 IEEE-RTS 的数据 [7],发电单元数据如表 1,其中为了避免水电问题,将水电用相同容量的火电单元代替.公司单位缺电损失成本应取为每度电的使用价值,它与社会的劳动生产率密切相关,这里假设为发电单元中最大单位运行成本的 120%.

图 2 给出了峰负荷天峰时段( $L=2850\text{MW}$ )和谷时段( $L=1680\text{MW}$ )边际发电成本的概率分布函数曲线.可以看出,谷时段边际发电成本在低值处有较大的概率,且取值相对比较集中,因而其边际成本具有较小的期望均值( $15.0\$/\text{MWh}$ )和方差(12.4);而峰时段边际成本在较高值处有较大的概率,且取值相对较分散,因而其边际成本具有较大的期望均值( $27.0\$/\text{MWh}$ )和方差(58.0).图 3 给出了相应的峰谷时段的预购电价曲线,峰时段有较高的预购电价,谷时段的预购电价较低,这是由两个时段的边际发电成本概率分布所决定的.

峰时段负荷预测具有不确定性(考虑为一正态分

布,均值为 2850MW,标准差为 200MW 和 300MW)的计算结果,并与不考虑负荷预测不确定性的结果比较,可以看出,负荷预测的不确定性愈大,边际发电成本取值的分散性也越大,其期望均值和方差均增加了(预测标准差为 200MW 时,边际成本期望均值为 28.14,方差为 80.2;预测标准差为 300MW 时,边际成本期望均值为 29.2,方差为 99.4).

#### 燃料价格不确定性对峰时段合同电价的影响

考虑燃料价格的不确定性,为了简化,假定所有发电单元用同一种燃料,燃料价格考虑为一个随机变量,它有三个概率相等的可能取值 $\{0.8, 1.0, 1.2\}$ ,其均值为 1.0(即上述计算中的取值),方差为 0.013.对于峰时段边际成本的计算与未考虑燃料价格不确定性时相比,尽管边际成本的期望均值不变,但其取值的分散性明显增加,因而边际成本的方差由原来的 58.0 增加到 74.0.出了相应的预购电价曲线,由于两种情况的边际成本均值相同,但考虑燃料价格不确定性后边际成本的方差增大,因而其预购电价较小,这与图 1 中的情况一致.

#### 4 结论

本文介绍了电力市场的一类可选择期货合同的风险定价模型.该购电合同形式简单、易于操作,可作

为电力公司的一种电力资源参与经济调度,用户避免了电力交易中的资金风险,且可使有限的电力资源达到全社会的最优分配.从该合同定价模型的实用性考虑,本文提出一种边际发电成本概率分布函数的估计方法,其中应用系统边际发电单元的概念,并用随机生产模拟方法得到边际发电单元的概率计算公式,从而获得系统边际发电成本的概率分布与密度函数.该方法不仅能考虑发电机组随机强迫停运和负荷预测的不确定性,而且易于计入燃料价格的不确定性.它有清晰的物理概念,易于理解和实现.算例分析表明了以上模型和方法的合理性和有效性.

### ◎中国电力管制价格形成机制研究

电力产业是对社会经济发展影响极大,在结构上又十分复杂的基础设施产业。由于它具有较强的自然垄断性,一定范围内的极少数几家垄断经营企业会利用其垄断力量,制定高价获得垄断利润,其结果会扭曲社会分配效率,损害消费者利益。同时,中国目前正处于初步工业化向现代化过渡时期,工业产品仍以高耗能的初级产品为主,电力消耗成本占工业成本的比重较高,电价水平对国民经济成本影响较大。由此可见,对电力价格进行恰当的管制,使电价结构科学、水平合理具有重大意义。

## 一、中国现行的电力管制价格形成机制

价格形成机制是指影响价格的各种因素及相互关系，电力价格政府管制的改革实质上就是电力管制价格形成机制的改革。因此，中国电力管制价格形成机制也是随着政府管制体制改革的深入，也一直处于发展和完善之中。中国电力管制价格形成机制的改革大体上经历了三个阶段：第一阶段(1952~1978年)，全国统一电价制度，在很大程度上缓解了当时电力严重短缺的状况；第二阶段(1979~1984年)，调整电价制度，由于当时煤炭和运输价格上调，导致电力企业资金利润水平急剧下降。为了解决这个问题对电价采取了局部调整的措施，以改善电力企业的效益水平；第三阶段(1985年至今)，多种电价制度，多种电价主要体现为电价方法是以个别成本为基础的成本加成法。根据《电力法》的规定，电价由基价和各种收费项目构成，基价包括成本、费用、税金、利润，附加费则包括公用事业附加费、电网建设基金等。电力管制价格由国务院价格管理部门制定，如果由于燃料价格上涨或通货膨胀等原因导致电力成本费用提高的话，则首先由电力经营企业向当地物价部门递交提价申请，并提供作为调价理由的有关财务资料，当地物价主管部门对企业上报的调价资料进行审核，同时召开电力