

文章编号: 1006-4710(2011)02-0219-05

基于动态成本理论的水电厂发电成本分析

牛艳利, 李郁侠, 师彪, 李小龙, 王煜

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 应用成本分摊理论将固定成本按水电厂出力分摊, 结合变动成本求出动态成本。以汉江流域某新建水电厂为例的研究分析表明, 水电厂的边际成本和会计成本不随系统负荷的变化而变化, 是迟滞的。动态成本随着系统负荷的增加而增加, 其在反映市场供需关系对电价的影响方面优于会计成本和边际成本。本研究对指导电力市场环境下水电厂的优化运行和竞价上网具有重要意义。

关键词: 电力市场; 水电厂; 动态成本

中图分类号: TM612, F407.61

文献标志码: A

The Hydropower Generation Cost Analysis Based on Dynamic Cost Theory

NIU Yanli, LI Yuxia, SHI Biao, LI Xiaolong, WANG Yu

(Faculty of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In order to study the dynamic costs of hydropower generation, the cost-sharing theory is used to share the fixed costs in terms of hydropower output by the hydropower plant, and to combine with the variable costs to calculate the dynamic costs. The research and analysis results with some newly-built hydropower plant in the Hanjiang river valley as an example indicate that the marginal cost and accounting cost of the hydropower plant can not vary with the variation in the system loading, is in stagnation, but the dynamic cost increases with an increase in the system loading, whose reflection of the effect of market supply and demand relationship upon electric price is superior to the accounting cost and the marginal cost. Accordingly, this research is of great significance in the hydropower plant optimal operation and price bidding in the power grid under the environment of electricity market.

Key words: electricity market; hydropower plant; dynamic cost

电力市场环境下发电企业通过竞价上网参与市场竞争, 水电厂作为发电厂商, 能否获得发电机会以及获得发电利益的大小都与该厂的发电成本密切相关^[1-2]。因此, 研究水电厂的发电成本具有重要的意义。目前常用的成本分析方法有会计成本法和边际成本法^[3-6], 但两种方法都无法反映市场供需关系对发电价格的影响。本文应用动态成本理论将水电厂的固定成本按水电厂出力的变化情况进行分摊, 再结合变动成本求出动态成本。此方法在一定程度上反映了电力市场的供需关系, 能为水电厂竞价上网和优化运行提供准确的数据支持。

1 动态成本法

水电厂的上网电价受诸多因素的影响, 如季节、气象^[7]、节假日和用户的用电时间等, 这些因素的影响最终反映为负荷的需求。系统的负荷需求越高, 需要发电企业供给的电量就越多, 水电厂的上网电量相应增加, 电价随之提高, 水电厂的发电收益增大。系统的负荷需求量低时水电厂可调低电价, 保持一定的利润空间。因此, 水电厂制定上网电价时的成本分摊与系统的负荷需求量密切相关。

将水电厂的固定成本按照投入运行的机组容量

收稿日期: 2011-02-28

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(SJ08E220)。

作者简介: 牛艳利(1984-), 女, 陕西榆林人, 硕士生, 研究方向为水电厂发电成本, 经济调度。

E-mail: niuyanli864@126.com。

李郁侠(1953-), 男, 陕西西安人, 教授, 研究方向为水力发电工程。E-mail: li-yuxia@163.com。

进行分摊,再计入变动成本产生动态成本。动态成本分摊理论^[8]与传统的分摊方法不同,是一种与系统负荷密切联系的全新分摊方法,分摊到的固定成本并不是单位电量成本的实际损耗,而是固定成本在投入运行机组容量上的合理分配。

1.1 动态成本定价原理

水电厂动态成本计算根据电网峰谷电价的分摊原理^[9]按照以下步骤进行:

1) 以系统下达的次日负荷需求数据为依据按96个报价时段,将各时段负荷由高到低排序,分别为 $N_1', N_2', \dots, N_{96}'$ 。

2) 电力系统中水电厂承担负荷的比例可用 k 值表示,计算公式为:

$$k = \frac{P}{\sum P_i} \quad (1)$$

式中, P 为水电厂装机容量; $\sum P_i$ 为系统总装机容量; P_i 为系统中 i 电厂的装机容量。

如果已知系统下达的次日负荷 N_i' ,则水电厂承担的系统负荷为:

$$N_i = k \cdot N_i' \quad (2)$$

3) 传统的成本分摊理论是将成本平均分摊在平、谷、峰三个负荷段。考虑到电力市场环境下水电上网电价各时段的多变性,可把1天内的负荷由低到高分为 n 个阶段,分别为 $N_{d1}, N_{d2}, \dots, N_{dn}, d_1, d_2, \dots, d_n$ 分别表示负荷阶段1、阶段2、 \dots 、阶段 n 。每个阶段内的负荷变化量相等,即:

$$\Delta N = \frac{N_{dn} - N_{d1}}{n} = N_{di} - N_{d(i-1)} \quad (3)$$

其中, $N_{d1} = N_1, N_{dn} = N$ (N 为电厂总装机容量)。 n 值由水电厂的出力范围确定,出力变化范围大, n 值就大,出力变化范围小, n 值就小。任意负荷段, $N_{di} = N_{d1} + \Delta N \times (i - 1)$ 。

1.2 水电厂动态成本计算

将上述改进的成本分摊理论应用于水电厂,结合变动成本计算,可得出水电厂发电的动态成本。动态成本分摊的原理如图1所示。

动态成本分摊的步骤是:

1) 确定第 i 时段的负荷 N_{di}

依次将负荷 N_1, N_2, \dots, N_{96} 与 N_{di} 比较,第一次出现 $N_x, x \in [1, 96]$ 小于 N_{di} 且大于 $N_{d(i-1)}$ 时,记录 x ;继续比较,直到 N_{x+m_i-1} 小于 $N_{d(i-1)}$ 时结束,记录 m_i , m_i 为在负荷区间 $[N_{d(i-1)}, N_{di}]$ 中的负荷个数。图1在负荷阶段 $N_{d(i-1)} \sim N_{di}$ 的系统负荷中,有3个时段满足,故 $m_i = 3$,分别为 N_x, N_{x+1}, N_{x+2} 。

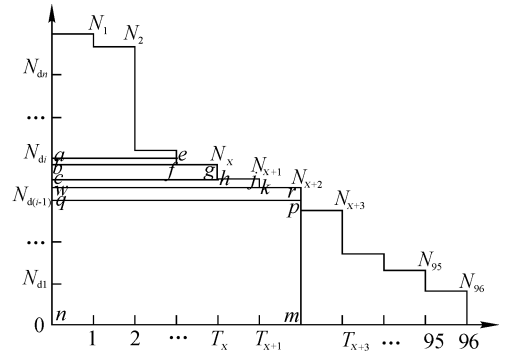


图1 动态成本分摊原理

Fig. 1 Cost-sharing schematic diagram

2) 确定分摊系数 K

$$K = \frac{C}{365 \times N_{\max}} \quad (4)$$

3) 确定当天最高负荷 N_{\max}

$$N_{\max} = \begin{cases} N_1 & N_1 < N_{dn} \\ N_{dn} & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

4) 计算负荷阶段 $N_{d(i-1)} \sim N_{di}$ 分摊的动态成本 F_i

$$F_i = \begin{cases} \frac{K}{96} & i = 1 \\ \frac{K\Delta\bar{N} + F_{i-1}S_{qpmn}}{S_i} & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

其中, S_{qpmn} 是介于 $N_{d(i-1)} \sim N_{di}$ 之间的系统负荷在低于该负荷阶段的供电量, $a \sim w$ 为图1中的节点, $S_{qpmn} = N_{d(i-1)} \times T_{x+2}$ 为图1中矩形 $qpmn$ 的面积; S_i 为介于 $N_{d(i-1)} \sim N_{di}$ 之间的系统负荷需要的供电量,可表示为多个矩形的面积,为:

$$S_i = S_{wrpq} + S_{cjkw} + S_{bghe} + S_{aefb}$$

则介于 $N_{d(i-1)} \sim N_{di}$ 之间的系统总供电量为:

$$S_i = S_{qpmn} + S_{wrpq} + S_{cjkw} + S_{bghe} + S_{aefb}$$

由 $S = N \times T$,推导出一般公式为:

$$S_{ij} = \sum_{q=j}^{j+m_i-2} [(N_{q+1} - N_q) \times T_{q+1}] + (N_{di} - N_j) \times T_{j-1} + (N_{j+m_i-1} - N_{d(i-1)}) \times T_{j+m_i-1} \quad (7)$$

$$S_i = S_{qpmn} + \sum_{q=j}^{j+m_i-2} [(N_{q+1} - N_q) \times T_{q+1}] + (N_{di} - N_j) \times T_{j-1} + (N_{j+m_i-1} - N_{d(i-1)}) \times T_{j+m_i-1} = N_{d(i-1)} \times T_{j+m_i-1} + \sum_{q=j}^{j+m_i-2} [(N_{q+1} - N_q) \times T_{q+1}] + (N_{di} - N_j) \times T_{j-1} + (N_{j+m_i-1} - N_{d(i-1)}) \times T_{j+m_i-1} = \sum_{q=j}^{j+m_i-2} [(N_{q+1} - N_q) \times T_{q+1}] + (N_{di} - N_j) \times T_{j-1} + N_{j+m_i-1} \times T_{j+m_i-1}$$

则 $\overline{\Delta N} = \frac{S_{ij}}{T_{j+m_i-1}}$, 负荷阶段 $N_{d(i-1)} \sim N_{d_i}$ 的动态成本为:

$$F_i = \begin{cases} \frac{K}{96} & i = 1 \\ \frac{\frac{KS_{ij}}{T_{j+m_i-1}} + F_{i-1}N_{d(i-1)} \times T_{j+m_i-1}}{\sum_{q=j}^{j+m_i-2} [(N_{q+1} - N_q) \times T_{q+1}] + (N_{d_i} - N_j) \times T_{j-1} + N_{j+m_i-1} \times T_{j+m_i-1}} & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

2 动态成本理论在水电厂的应用

2.1 制定上网报价曲线

电力市场环境下水电厂上网报价曲线的制定是应用分摊理论计算出水电厂各出力段内对应的动态成本,再依据次日发电计划中各时段对应的出力,生成报价成本曲线。具体步骤为:

1) 水电厂的成本分为固定成本和变动成本两大部分,固定成本占发电成本的比重大,将其动态分摊到单位电量中,结合变动成本确定动态发电成本。

2) 计算每日的水电报价依据。水电厂参与电力市场竞价上网的报价依据随次日系统日负荷曲线的变化不断改变,与系统下达的次日系统负荷图密切相关,在一定程度上反映了市场供需关系。

3) 基于以上分析计算,绘制水电厂的次日报价曲线。 i 时段的竞价上网电价 P_i 的计算见式(9):

$$P_i = \begin{cases} F_n + c + r & P_i > N_{dn} \\ F_{j-1} + c + r & N_{d(j-1)} < P_i \leq N_{dj} \\ F_1 + c + r & P_i \leq N_{d1} \end{cases} \quad (9)$$

式中, c 为水电厂单位变动成本因子; r 为水电厂单位收益电价因子。

2.2 指导水电厂日优化运行

水电厂水费支出小,变动成本低,发电成本中固定成本所占比例大。以前的水电厂发电调度往往追求发电量,发电量大就意味着发电收益大。电力市场环境下,所有发电企业通过竞价上网,水电厂必须对自己的发电成本进行核算,根据电价变化制定发电计划。在系统电价偏低时,水电厂停机蓄水积累水量,在系统电价较高时上网发电,以提高发电收益。要达到这一目的,就必须在水电厂发电调度模型中增加电价约束,电价低于理论成本,停止发电,蓄水等待。

3 实例计算

以陕西汉江流域某水电厂为例。该水电厂装机3台,总装机容量180 MW,在系统总负荷中承担水电负荷的比例系数为0.030,调整系数为0.949,增

值税税率为17%,城建附加税税率为1%,教育附加税税率为3%,水费单价为0.000 3元/kWh,库区维护基金为0.008元/kWh。计算得出的该水电厂的总投资为122 828.75万元,2009年全年折旧费为4 752.19万元,工资福利费为464.8万元,工资附加费为255.07万元,财务费为596.59万元,材料费为17.92万元,修理费为928.29万元,其他费用合计为414.98万元。

根据以上数据,计算该水电厂的固定成本与变动成本,可绘制成本与机组出力的关系曲线(见图2)。

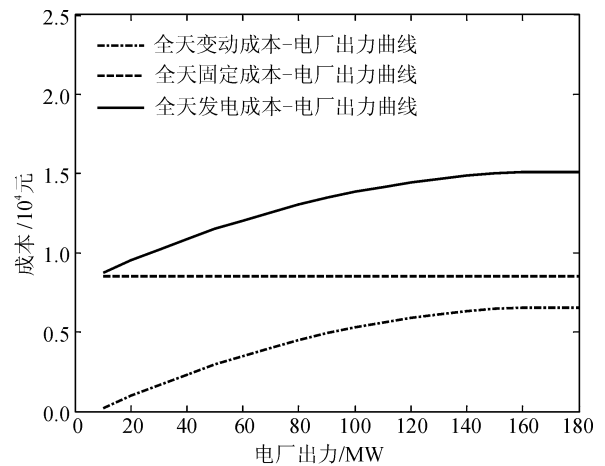


图2 某水电厂日发电成本曲线
Fig.2 Hydropower generation cost curve

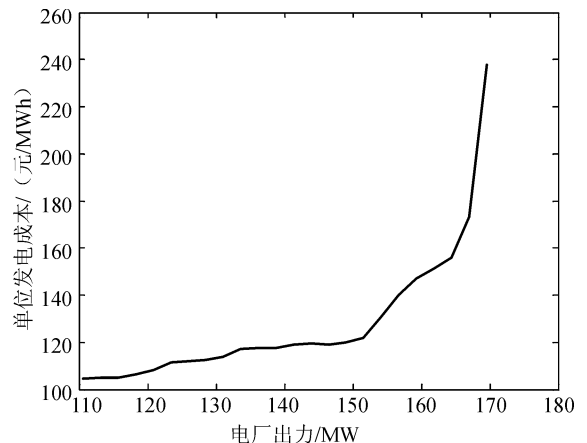


图3 某水电厂出力-动态成本关系曲线
Fig.3 Curve of the output dynamic cost in a hydropower plant

由图2可知,一天中水电厂的固定成本是不变的,且与机组出力无关。变动成本与机组出力成二次函数关系,故全天成本是随机组出力变化的。应用本文阐述的动态成本定价理论,计算水电厂某日各负荷段的发电量成本,结果见表1。

为了分析动态成本的变化趋势,绘制水电厂出力-动态成本关系曲线(见图3)。由图3可知,随着负荷的增加,水电厂的动态成本呈平缓上升趋势,动态成本在电厂出力较低的负荷段,电力系统供需关

系松弛,水电厂分摊到该负荷段的固定成本较低,单位电量的动态成本也相应较低。在电厂出力较高的负荷段,系统供需关系紧张,水电厂分摊到该负荷段的固定成本较高,单位电量的动态成本也相应较高。在165~170 MW负荷段,单位电量分摊到的固定成本急剧增加,从而导致动态成本急剧上升,这是由于系统的当日负荷需求量主要集中在该荷段内,水电厂参与固定成本分摊的出力已接近额定出力。

表1 动态成本计算结果表
Tab.1 Dynamic cost calculation table

序号	出力 /MWh	单位电量成本 / (元/MWh)	单位动态成本 / (元/MWh)	序号	出力 /MWh	单位电量成本 / (元/MWh)	单位动态成本 / (元/MWh)
1	110.609 9	50.444 5	104.494 5	13	141.345 7	65.061 9	119.111 9
2	113.171 2	50.975 5	105.025 5	14	143.907 1	65.524 2	119.574 2
3	115.732 6	50.975 5	105.025 5	15	146.468 4	65.123 1	119.173 1
4	118.293 9	52.033 5	106.083 5	16	149.029 7	65.622 6	119.672 6
5	120.855 2	54.022 8	108.072 8	17	151.591	67.681 4	121.731 4
6	123.416 5	57.324 3	111.374 3	18	154.152 3	76.557 5	130.607 5
7	125.977 8	57.682 7	111.732 7	19	156.713 7	85.740 9	139.790 9
8	128.539 2	58.314 9	112.364 9	20	159.275	93.162 3	147.212 3
9	131.100 5	59.853 2	113.903 2	21	161.836 3	97.219 2	151.269 2
10	133.661 8	62.996	117.046	22	164.397 6	101.742 8	155.792 8
11	136.223 1	63.326 6	117.376 6	23	166.958 9	119.327 6	173.377 6
12	138.784 4	63.458 5	117.508 5	24	169.520 2	183.699 7	237.749 7

水电厂以会计成本法计算的单位容量成本为124.15元/MWh,单位发电成本为178.20元/MWh,而边际成本计算的单位容量成本为87.23元/MWh,单位发电成本为141.28元/MWh。对比三种成本计算结果可得,应用边际成本法和会计成本法计算的水电厂次日单位容量成本和单位发电成本不随系统负荷的变化而变化,是迟滞的,不能反映市场供需关系对电价的影响;而动态成本法随着系统负荷量的增加,发电成本呈上升趋势,对应到水电厂出力,出力越大,动态成本越高,反之,出力越低,动态成本越低,与市场的供需关系影响商品价值的理论相吻合。

以上分析表明,采用动态分摊理论有利于鼓励水电厂机组在较大出力段发电。机组在高出力段发电,可以在较短的发电时间内收回全天固定成本,且收回全天固定成本的日发电量偏低;机组在低出力段发电,则需较长的发电时间收回全天固定成本,且收回全天固定成本的日发电量偏高,耗费更多的水能资源,并使机组的变动成本增加。在收回全天发电成本以外,水电厂的发电收益就是水电厂的纯利润。

以2009年9月22日为例,计算出水电厂各时段的发电量,然后得出申报上网电价的下限数据,如图4所示。

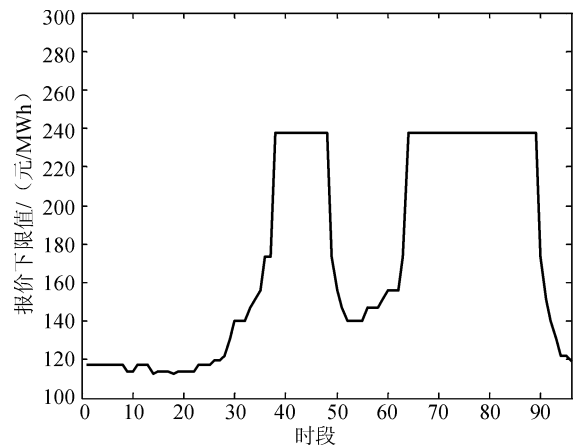


图4 次日报价曲线的下限值

Fig.4 The lower limit of bidding curve at the next day

由图4可知,水电厂应用动态成本理论分摊得到的各时段报价下限曲线与电力系统负荷图是相似的,在37~48时段和63~87时段出现波峰,表现为系统负荷越高,该时段分摊到的动态成本越多,报价

下限值就越大。图4的意义在于次日对应时段的报价不得低于图中的数值,该曲线可以做为水电厂制定上网报价曲线的依据,结合竞价策略确定上网电价。

4 结 论

会计成本与边际成本反映的是水电厂发电过程需要支付的固定成本与变动成本的费用之和,而动态成本是将水电厂的固定成本按照投入运行的机组容量进行分摊,再计入变动成本后产生的。按照动态成本理论分摊的固定成本并不是传统意义上的单位电量成本实际损耗。水电厂单位电量的动态成本与电力系统的负荷需求密切相关,在系统负荷需求高的时段,发电厂上网电价提高,水电厂投入运行的容量增加,单位容量分摊到的固定成本随之增加。反之,在系统负荷需求小的时段,单位容量分摊到较少的水电固定成本。随着动态成本的增加,通过上网电价的提高水电厂实现的固定成本回收随之增加。上网电价越高,回收的固定成本越多。通过动态成本核算,可以从成本角度反映电力市场的供求关系。

与会计成本法、边际成本法相比,动态成本法计入了市场供求关系对电价的影响,建立了系统负荷与水电厂动态成本之间的关系,充分体现了发电成本的动态变化,能更好地指导电力市场环境下水电厂的优化运行与竞价上网。

参考文献:

- [1] 宋恒力,袁湘华,龙健,等. 流域统一上网电价的经济分析[J]. 水力发电,2010,5(36):1-3.
Song Hengli, Yuan Xianghua, Long Jian, et al. Economic analysis on unified electricity price for cascade hydropower stations[J]. Water Power, 2010,5(36):1-3.
- [2] 马玉新,解建仓,罗军刚. 基于组织进化粒子群算法的水电站水库优化调度研究[J]. 西安理工大学学报,2009,

25(3):256-261.

- Ma Yuxin, Xie Jiancang, Luo Jungang. Study on optimum operation based on organizational evolutionary particle swarm algorithm for hydropower station reservoir[J]. Journal of Xi'an University of Technology,2009,25(3):256-261.
- [3] 麻欣,李郁侠,钟当书,等. 水电厂发电成本计算方法研究[J]. 水电能源科学,2009,27(1):211-214.
Ma Xin, Li Yuxia, Zhong Dangshu, et al. Approach on hydroelectricity producer power cost reckon[J]. Water Resources and Power,2009,27(1):211-214.
- [4] 马光文,王黎. 水电竞价上网优化运行[M]. 成都:四川科学技术出版社,2003.
- [5] 于尔铿,周京阳,吴玉生. 发电报价曲线研究[J]. 电力系统自动化,2001,25(2):23-26.
Yu Erkeng, Zhou Jingyang, Wu Yusheng. A study on generator bidding curves[J]. Automation of Electric Power Systems,2001,25(2):23-26.
- [6] 朱治中,杨耿杰. 机组发电成本曲线的相关研究[J]. 现代电力,2002,19(1):31-36.
Zhu Zhizhong, Yang Gengjie. Relevant research on the generating cost curve of units[J]. Modern Electric Power, 2002,19(1):31-36.
- [7] 潘家华. 气候变化背景下的水电发展再认识[J]. 鄱阳湖学刊,2010,(3):11-17.
Pan jiahua. Rethinking China's development of hydropower in the context of climate change[J]. Journal of Poyang Lake,2010,(3):11-17.
- [8] 李凡生,徐丽杰,王玮. 试论火力发电厂动态成本分析[J]. 电网技术,2001,25(7):44-47.
Li Fansheng, Xu Lijie, Wang Wei. Analysis of dynamic cost in power plant operation for bidding[J]. Power System Technology,2001,25(7):44-47.
- [9] 庞建军,杜欣慧. ERP在发电成本核算中的应用[J]. 电力学报,2004,19(3):209-211.
Pang Jianjun, Du Xinhui. The adhibition of the ERP in cost of generating electricity[J]. Journal of Electric Power, 2004,19(3):209-211.

(责任编辑 李虹燕)