

电力市场中基于机组可靠性的容量成本分摊

吴杰康, 李佳宇

(广西大学电气工程学院, 广西 南宁 530004)

摘要: 针对以往投资方不承担任何容量投资风险, 只要投资办电就一定盈利的局面, 利用经济学概念的长期边际成本方法计算容量成本, 提出了电力市场环境计及机组可靠性的容量成本分摊方法和数学模型, 在容量成本分摊中适度引入了竞争机制。算例表明, 这种方法可以在不同时段各类机组间合理分摊容量成本, 并能够刺激发电厂提高其机组的可靠性水平。

关键词: 长期边际容量成本; 机组可靠性; 成本分摊

中图分类号: TM73; F123.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004) 19-0005-04

0 引言

合理的电价体制应该包括容量和电量的成本和效益。在不同时段, 不同发电厂之间的分摊也必须慎重处理。但在制订容量成本的分摊方法时, 现有的定价体制都或多或少地保证了容量投资的零风险^[1~4], 这在特定的历史条件下对电力工业的发展是有积极作用的, 在全国性的电力过剩出现后, 如何控制新建电厂逐年升高的建设预算, 达到社会资源的合理优化配置, 在容量成本的分摊中适当引入竞争机制不失为一种好的方法。

在电力市场环境下, 发电设备的可靠性对机组的商业价值有着巨大影响。机组在峰、谷、腰各时段的可靠性水平对其产生的利润影响应该不同, 可靠性高的机组, 应能够从市场上获得稳定的、更高的收益, 以实现成本的回收。本文采用长期边际成本的定价方法, 在容量成本的分摊中考虑机组可靠性带来的影响, 从而引入竞争机制, 并给出了具体的数学模型。

1 计及机组可靠性的容量成本分摊方法

1.1 长期发电边际容量成本计算

所谓发电边际容量成本是在一定条件下, 为了满足电能消费者新增单位千瓦的负荷需求而引起的发电投资。边际发电容量成本是根据边际电厂投资年金而得, 还要考虑电厂的运行维护费用以及电厂在建设每年不同的投资流, 并把投资折算到投产年来计算。此外, 还要考虑燃煤节约费用, 机组的厂用电率和可用率。计算公式为:

$$M_c = \frac{I(C_r K + O_m)}{(1 - R_s) R_k} - F_s \quad (1)$$

其中: M_c 为边际发电容量成本, 是可用容量的年金; I 为边际电厂单位千瓦投资; O_m 为运行维护费率, 以单位千瓦投资的百分数表示; F_s 为燃煤节约费用; R_s 为厂用电率; R_k 为机组可用率。

$$C_r = \frac{A}{Q} = \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^t}}$$

其中: i 为社会折现率; t 为设备的经济寿命; A 为每年回收的资金, 即年金; Q 为设备投资。

$$K = I_1(1+i)^{n-1} + I_2(1+i)^{n-2} + \dots + I_n$$

其中: K 为调整系数; i 为折现率; n 为电厂建设年限; I_1, I_2, \dots, I_n 为电厂建设期的逐年投资流。在一定时期内, M_c 可以选择系统现有发电机组中造价较高的新建机组来进行计算。

本文提出的容量成本是经济学的容量成本(即用目标年的年金计算的), 包括目标年新电源投资的年金和现存电源还贷的年金, 不同于会计学的折旧费, 而是用现存容量的影子成本来度量的。

式(1)所计算的是单位可用容量成本, 由于涉及维修备用(维修率)和事故备用(强迫停运率), 单位可用容量成本和单位装机容量成本之间相差一个可用率 R_k , 即装机容量成本除以可用率, 等于可用容量成本, 在以往的计算中, 可用率均取特定值 80%。由于大型机组的强迫停运率在 5% 到 20% 之间, 各机组的维修率也有所不同, 所以不能表示各机组可靠性的高低, 也就不能达到公平、合理的市场准则, 本文使用机组的单位装机容量成本, 并引入能够准确表示各机组可靠性的等效可用系数的概念, 来打破以往容量成本分摊中这种吃“大锅饭”, 平均分配的局面。

1.2 机组可靠性标准

由于发电设备的可靠性是一个时间连续而状态

空间离散的马尔科夫过程,很难对机组事故进行准确估计。由容量成本分摊的公平有效性原则,本文使用机组的等效可用系数^[5]这一统计数据来表示机组的可靠性,而不是应用概率的方法来确定某机组在某时刻退出运行的概率。

发电机组等效可用系数 EAF (Equivalent Availability Factor) N_{EAF} 定义为:

$$N_{EAF} = \frac{S_H + R_H - E_{UNDH}}{S_H + R_H + U_{OH} + P_{OH}} \times 100\% \quad (2)$$

$$E_{UNDH} = \frac{\sum D_i T_i}{G_{MC}}$$

式中: S_H 和 R_H 分别为统计时间内运行小时数、备用小时数; E_{UNDH} 为统计时间内机组等效降出力利用小时数; D_i 和 T_i 分别为统计时间内机组第 i 种降出力和降出力持续时间; G_{MC} 为机组最大容量(铭牌容量); U_{OH} 和 P_{OH} 分别为统计时间内机组非计划停运小时数和计划检修小时数。

影响 N_{EAF} 数值的主要因素有 S_H 、 R_H 、 E_{UNDH} 、 U_{OH} 和 P_{OH} 。其中 S_H 主要受发电机组各种故障(引起停运或降出力)、检修和系统对发电厂调度安排的影响; R_H 和 E_{UNDH} 主要受到机组各种故障(引起降出力)和系统对发电厂调度安排的影响; U_{OH} 主要受机组各种故障(引起停运)的影响; P_{OH} 主要受机组检修计划安排的影响。由于式(2)中计入了机组的故障和设备检修带来的影响,所以每个机组在相同的统计时间内 N_{EAF} 的数值会因各机组事故发生的次数和持续时间以及计划检修安排的不同而有所不同,能够准确地反映一定时期内机组的可靠性水平,进而为在容量成本的分摊中引入竞争机制提供了依据。

1.3 边际容量成本的分摊方法及数学模型

由于各机组在系统中的地位不同,有的担任基荷、腰荷,有的只参与调峰,所以对不同类型机组应有不同的分摊方式。

1.3.1 基荷与腰荷机组

$$M_{Cij} = M_C K_j (a + b \frac{N_{EAFij}}{N_{Pj}}) \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, N; \quad j = 1, 2, 3$$

$$N_{Pj} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{EAFij}}{n}$$

其中: M_C 为经济学意义下的长期装机边际容量成本,由式(1)得出; M_{Cij} 为在特定时间内(一月或一

年)中 j 时段第 i 个机组的容量成本分摊。将一天 24 h 分为峰荷时段、腰荷时段、谷荷时段。 K_j 为容量成本在不同负荷时段的分摊比例。将一天分为 3 个时段, $j = 1$ 代表峰荷时段; $j = 2$ 代表腰荷时段; $j = 3$ 代表谷荷时段; N_{EAFij} 为第 i 个机组在特定时间内(一月或一年)中 j 时段的等效可用系数; N_{Pj} 为所有担任基荷或腰荷的机组在特定时间内(一月或一年)每天 j 时段的平均等效可用系数; n 为 j 时段的机组总数; a 和 b 为政府调控系数, $a + b = 1$, 在电力市场的不同时期采用不同的权重来表示在容量成本分摊中引入竞争程度的高低。

在式(3)中,由于各时段对机组可靠性的要求不同,在峰荷时段对机组可靠性的要求最高,腰荷其次,谷荷最低,故在容量成本分摊中,适当向峰荷时段倾斜,体现容量成本在不同时段的不同价值。对峰、腰、谷时段取不同的权重,进行容量成本的分摊。可以相应取为峰时段 $K_1 = 50\%$; 腰时段 $K_2 = 30\%$; 谷时段 $K_3 = 20\%$ 。

1.3.2 调峰机组

对于调峰机组,仅参与系统的调峰,全年运行时间短,所有容量成本均在峰荷时段进行分摊,相应表达式为:

$$M_{Ct1} = M_C (a + b \frac{N_{EAFt1}}{N_{P1}}) \quad (4)$$

$$t = 1, 2, \dots, T; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

其中: M_{Ct1} 表示在峰荷时段第 t 个调峰机组的容量成本; N_{EAFt1} 为峰荷时段各机组的等效可用系数; n 为峰荷时段机组总数; N_{P1} 为峰荷时段所有机组的平均等效可用系数,计算公式如式(4)。 a 、 b 意义如式(3)、 T 为调峰机组数。

2 实例研究

设某电网中有 15 台机组,在某月中,每天峰荷时段、腰荷时段、基荷时段的等效可用系数如表 1。电网的长期装机边际容量成本为 1 606 元/(kW a), 分配到该月的值为 133.8 元/kW。其中机组 10 至 15 为调峰机组。6 号机组和 13 号机组由于出现事故使得峰荷时段的等效可用系数仅为 86.39% 和 84.32%。3 号机组和 5 号机组在腰荷时段安排了计划检修,但由于 5 号机组的计划检修有漏洞,致使在谷荷时段出现了事故。1 号机组在谷荷时段安排了计划检修,效果很好,9 号机组由于自身管理有问

题,使得当月各时段等效可用系数均较低。

表 1 各时段机组的等效可用系数

Tab.1 Equivalent availability factors of different units in each period of time

机组	等效可用系数/(%)		
	峰时段	腰时段	谷时段
1	93.06	95.1	88.32
2	92.66	93.71	90.11
3	90.79	87.74	94.33
4	91.18	90.82	89.11
5	92.43	87.32	86.22
6	86.39	92.32	91.17
7	90.11	91.98	95.22
8	89.91	92.34	96.11
9	90.19	89.71	88.22
10	94.11	91.12	90.32
11	94.32		
12	98.73		
13	84.32		
14	90.68		
15	91.77		
各时段平均值/(%)	91.377	91.216	90.913

取 $a = 0.6$, $b = 0.4$, 由式(3)可得基荷机组、腰荷机组的容量成本分摊, 由式(4)可得调峰机组的容量成本分摊, 如表 2 所示。

表 2 机组各时段容量成本分摊

Tab.2 Allocation of capacity cost of different units in each period of time

机组	容量成本分摊/元 $\cdot \text{kW}^{-1}$			当月	边际容量成本 差值/元 $\cdot (\text{kW})^{-1}$
	峰时段	腰时段	谷时段		
1	167.392 9	40.823 7	26.454 7	134.671 4	0.871 4
2	67.275 8	40.579 0	26.665 5	134.520 3	0.720 3
3	66.728 2	39.528 2	27.162 3	133.418 7	-0.381 3
4	66.842 4	40.070 3	26.547 7	133.460 4	-0.339 6
5	67.208 5	39.454 2	26.207 5	132.870 2	-0.929 8
6	65.439 6	40.334 3	26.790 2	132.564 2	-1.235 8
7	66.529 1	40.274 5	27.267 1	134.070 7	0.270 7
8	66.470 5	40.337 9	27.371 9	134.180 3	0.380 3
9	66.552 5	39.874 9	26.442 9	132.870 3	-0.929 7
10	67.700 5	40.123 1	26.690 2	134.513 8	0.713 8
11	135.524			135.523 9	1.723 9
12	138.106 9			138.106 9	4.306 9
13	129.666 9			129.666 9	-4.133 1
14	133.392 0			133.392 0	-0.408 0
15	134.030 4			134.030 4	0.230 4

设机组均为 30 MW。由计算可得由于在峰荷时段出现故障, 6号机组当月分摊容量成本为 132.564 2 元/kW, 比传统分摊方式减少 1.235 8 元/kW, 当月减少容量付费 24.28 万元, 3号机组在腰荷时段安排计划检修, 当月减少容量付费 11.4 万元。

由于 5 号机组计划检修的失误和 9 号机组自身管理水平的欠缺使得他们相应减少容量付费均为 27.9 万元, 相应的 1 号机组由于合理安排计划检修、自身管理水平高, 当月增加容量付费 26.1 万元。由计算数据也可得到, 调峰机组如果能够保证峰荷时段机组的可靠性, 则能相应得到更多的容量付费, 体现了向调峰机组倾斜的产业政策, 鼓励建设调峰机组。当然, 如果调峰机组不能保证机组的可靠性, 则将受到更严厉的惩罚, 体现了风险和利益的均衡。

3 容量成本分摊的计算步骤

暂不考虑电价机制中其成分诸如容量效益、电量成本、电量效益的计算方法与结果, 仅对容量成本年金在电厂一年运行中的分摊步骤作简要说明, 首先由政府给出适当的分配权重 a 和 b 。具体计算步骤如下:

1) 计算整个系统的单位容量成本年金 M_c , 并将其按一定比例分摊到一年的 12 个月中。

2) 电力交易中心按照每个月末各机组的实际情况, 统计得出各机组在一个月內每天不同负荷时段中的等效可用系数。

3) 根据式(3)、(4)计算不同机组容量成本在一个月中各负荷时段的分摊。

4) 对各机组的当月容量成本进行结算, 可靠性高的机组得到高收益, 可靠性低的机组得到相应的惩罚。

4 结论

本文提出了一种基于机组可靠性的容量成本分摊方法, 对在容量成本的分摊中引入竞争机制进行了初步的探讨。通过结果分析, 得到以下结论:

1) 在竞争环境下, 机组在不同时段可靠性的将影响发电厂成本的回收和利润的高低。可靠性低的机组可能不能完全收回投资。这将刺激发电厂努力提高机组可靠性水平, 进而提高整个系统的可靠性水平。

2) 在可靠性评估中使用了机组的等效可用系数这一统计数据, 可以更加准确地表明机组在各时段的可靠性水平。使基于机组可靠性的容量成本分摊更加合理。

参考文献:

- [1] 文福栓, 吴复立, 倪以信 (WEN Fu-shuan, WU Fu-li, NI Yi-xin). 电力市场环境下的发电容量充裕性问题 (Gen-

- eration Capacity Adequacy in the Deregulated Electricity Market Environment) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(19): 16-22.
- [2] 马文光, 王黎 (MA Wen-guang, WANG Li). 确定两部制上网电价的长期边际成本方法 (A Long Term Marginal Cost Method for Two-part Electricity Pricing of Power Plant) [J]. 电网技术 (Power System Technology), 2002, 26(9): 51-54.
- [3] 任震, 吴国丙, 祁达才 (REN Zhen, WU Guo-bing, QI Da-cai). 计及电量效益的发电上网电价定价方法 (The Pricing Method of Pool Purchase Price Considering the Utility of Energy) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2000, 24(5): 15-19.
- [4] 言茂松 (YAN Mao-song). 当量电价与融资重组 (Electricity Value Equivalent Pricing and Restructuring) [M]. 北京: 中国电力出版社 (Beijing: China Electric Power Press), 2000.

- [5] 卢文远, 张焰, 张勇, 等 (LU Wen-yuan, ZHANG Yan, ZHANG Yong, et al). 大型发电机组最佳等效可用系数的研究 (Research on the Optimum Equivalent Availability Factors of a Large Scale Turbo Generator) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(7): 18-22.

收稿日期: 2003-12-26; 修回日期: 2004-03-25

作者简介:

吴杰康 (1965 -), 男, 博士, 副教授, 从事电力市场、电力系统智能检测与智能控制、配电自动化、电力系统智能仪表的研究;

李佳宇 (1980 -), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力市场。E-mail: Lijiayu2222 @163.com

Applying the turbo generator's reliability criterion of capacity cost allocation in the electricity market

WU Jie-kang, LI Jia-yu

(School of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: In order to break the complex that investors don't be charged with the risk of capacity investment and must be paid if they invest the power industry, this paper presents a model in electricity market for calculating the allocation of the capacity costs, using the long run marginal cost method of generation in terms of economics and the criterion of reliability of power plant and introducing the competitive mechanism in the allocation of capacity cost. The calculation and analysis show that the method can allocate the capacity cost in each period of time of different units properly and stimulate power plants to improve the reliability of their units.

Key words: long run marginal cost of capacity; reliability of power plant; cost allocation



远征综保产品技术成熟获好评

近年来, 西安市远征科技有限公司投入巨资积极致力于电力系统智能化产品的研发, 积极进行科技创新和科技成果转化, 在创造巨大经济效益的同时更加注重社会效益并且成效显著:

2003年, 自主研发的“预装式变电站综合保护装置”获陕西省信息产业科技成果二等奖之后, 2004年该项目又获得了“西安市科学技术进步奖”, 被国家科技部列为“重点国家级火炬计划”。同时, 公司综保类支柱产品—YZ系列综合数字继电器于2004年9月获得了“西安名牌产品”称号, 并得到政府资金的奖励。

获奖项目“BZBH-5000预装式变电站综合保护装置”融合了计算机技术、传感器技术、数据处理技术、通信技术、电力电子技术等多项高新技术, 集电量监测、继电保护、微机控制、无功补偿、环境温湿度监测与调节、GSM组网通信为一体, 结构紧凑, 实现了预装式变电站的计量、保护、控制、温湿度监测与调节、无线通信等功

能, 具有数字化、智能化、集成化、网络化、小型化的特点。经过西安科技局组织的专家鉴定, 结论认为该产品“在国内外都属首创, 总体技术水平国际先进”。

荣获“西安名牌产品”的YZ系列综合数字继电器是电力系统自动化的基础装置, 集测量、保护、控制、通讯、事件追忆等功能于一体, 可以替代传统保护系统, 从而实现开关的智能化控制, 使系统运行更加安全可靠。它的特点是: 多种功能的高度集成、灵活的配置、高可靠性、友好的人机界面。

目前, YZ系列综合数字继电器通过了国家继电器监督检验中心的检验。同时, 和YZ系列综合数字继电器相配套的三套嵌入式软件也通过了陕西省软件评测中心的检测。(牛斌)

西安市远征科技有限公司

电话: (029) 8849 9735-2399 传真: 8848 0346
手机: 13201615613 E-mail: nb0910@163.com