

文章编号:1000-582X(2006)05-0052-03

# 基于机组寿命等值损耗模型的维护费用计算\*

张伟峰,唐胜利

(重庆大学 动力工程学院,重庆 400030)

**摘要:**维修费用是发电成本中难以计算的部分,它的变化受制于机组可靠性的 高低,而维修活动对可靠性指标之一的寿命有重要影响.首先建立基于维修的寿命等效延长模型,然后在此基础上建立发电设备维修—寿命—发电成本三者之间的量化关系,为发电成本的计算提供新的思路和方法.

**关键词:**发电成本;等效寿命;维护费用;维修效果

**中图分类号:**TK17

**文献标识码:**A

发电成本变化主要取决于变动成本,在变动成本中,燃料费、水费等由于单价在一定时间段内变化不大,影响因素较少因而计算相对简单<sup>[1]</sup>;设备维护费用的变化则复杂得多,它受制于设备可靠性的 高低.由于设备出现故障有一定的偶然性,设备维护费用一段时期内并不是固定不变的,它将随着设备可靠性的变化而改变,难以准确计算<sup>[2]</sup>.发电设备的寿命是发电厂可靠性评价体系中的一个重要指标,对发电任务能否可靠地完成具有决定意义,而维修活动对设备的寿命有重要影响.文中首先建立维修对机组寿命的等效延长模型,然后在此基础上计算机组发电成本.

## 1 基于维修的寿命等效延长模型

发电设备寿命损耗过程受到各种各样环境条件和操作条件的影响.因此,在一个正常的工作条件(环境条件和操作条件)下,发电设备的等效寿命等于从安装到目前这段时间内由于寿命损耗使发电设备等效减少的寿命;而在相对恶劣的工作条件下,因为寿命损耗加剧,设备老化速度加快,其等效寿命将小于这段时间值.

这里引入一个连接函数  $\Psi(z)$ ,用它把发电设备的寿命和工作条件联系起来<sup>[3]</sup>:

$$\Psi(z) = e^{\beta_{EC} \cdot EC + \beta_{OC} \cdot OC}, \quad (1)$$

式中, $Z$  是一个  $2 \times 1$  维的列向量,为工作条件中的环境条件(用 EC 表示)和操作条件(用 OC 表示).

$\beta$  是  $2 \times 1$  维的列向量,代表与向量  $Z$  的回归系数;故 2 个系数分别为  $\beta_{EC}$  和  $\beta_{OC}$ ,对应于工作条件中的环境条件和操作条件.

假定对发电设备的维修是修复如旧.为使关系函数化,引入参数  $\xi(\xi \in [0, 1])$  来表示维修效果.计及不完全维修效果的发电设备寿命损耗可以由一个不连续函数表示,它的取值依赖于从设备安装到当前所经历的时间、其间的工作条件和维修活动.因此,发电机组在某一时刻的等效寿命损耗可表示为它在上一次检修后的等效寿命损耗加上从上一次检修到此时刻这段时间内等效寿命损耗增长的函数<sup>[4]</sup>.

用  $t_m$  表示对发电设备进行第  $m$  次维修的时刻,代表设备从安装到第  $m$  次维修所经历的时间.令  $\Gamma_{m+1}(t, \xi, z)$  表示第  $m$  次维修和第  $m+1$  次维修之间设备等效寿命损耗随时间  $t$  变化的函数.  $\xi$  为向量  $\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m\}$ ,表示从安装到时刻  $t$  这段时间内所进行的每一次维修的效果;  $Z$  为向量  $\{z_1, z_2, \dots, z_m\}$ ,  $z_i (i=1, 2, \dots, m)$  表示从安装到时刻  $t$  这段时间内进行的第  $i-1$  次维修和第  $i$  次维修之间这段时间的工作条件.向量  $Z$  和向量  $\xi$  中的元素可以取不同的值.

因此,在第  $m+1$  时间段,发电设备的等效寿命损耗与时间  $t$  的关系可表示为:

$$\Gamma_m^{t-1} \Gamma_m^* \cdot \Psi(z_{m+1}) \cdot (t - t_m), t \geq t_m \quad (2)$$

其中,  $\Gamma_m^*$  为第  $m$  次维修后设备在时刻  $t_m$  的等效寿命损耗;  $\Psi(z_{m+1})$  为连接函数,由第  $m+1$  时间段的工作

\* 收稿日期:2005-12-17

基金项目:国家 863 项目(20004AA414060)

作者简介:张伟峰(1978-),男,河南新乡人,重庆大学硕士研究生,主要从事电站热力系统计算机仿真和发电设备可靠性管理研究.

条件  $z_{m+1}$  决定, 可由 (1) 式得到. 一般来讲, 维修效果和工作条件都不能认为是常数.

由递推关系易得, 第  $m$  次维修后的发电设备等效寿命损耗为:

$$\Gamma_m^* = \sum_{j=0}^{m-1} \Psi(z_{m-j}) \cdot \prod_{r=0}^j (1 - \xi_{m-r}) (t_{m-j} - t_{m-j-1}). \quad (3)$$

这里的维修效果  $\xi$  和工作条件  $Z$  是变量, 在不同的时间段内是不同的. 为使计算简化, 假定维修效果和工作条件都是常量, 即  $\xi_j = \xi, z_j = z (j = 1, 2 \dots m)$ . 则上式可简化为:

$$\Gamma_m^* = \Psi(z) \cdot \left[ \sum_{j=0}^{m-1} (1 - \xi)^j \cdot \xi \cdot (t_{m-j} - t_{m-j-1}) \right] = \Psi(z) (tm - \Delta\Gamma_m). \quad (4)$$

其中,  $\Delta\Gamma_m = \sum_{j=0}^{m-1} (1 - \xi)^j \cdot \xi \cdot t_{m-j}, \quad (5)$

$\Delta\Gamma_m$  为不考虑工作条件时前  $m$  次维修累计使发电设备延长的寿命, 单位为 h.

## 2 考虑寿命的机组维护费用计算模型

设备的寿命损耗必然影响机组的运行时间、备用时间以及非计划停运时间, 最终也必然影响到发电成本及上网报价. 基于机组寿命等效损耗模型, 认为每一次维修活动都是使机组的寿命在相应维修效果下的延长, 将这段被延长的寿命加入到成本计算中, 可以计算出由于维修而带来的成本增加<sup>[5-6]</sup>.

对于单台机组来说, 基于维修的寿命等效延长模型的发电成本增量可由下面式子计算:

$$\Delta C = \left[ \sum_{j=1}^m (M_{FS} + POL_{FS} M_P) t_{FSj} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_1} (M_{ei} + Pol_{ei} M_P) t_{Sij} + \sum_{j=1}^m M_{FR} t_{FRj} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_2} M_{Ri} t_{Rij} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_3} (M_{Uoi} + M_{TR}) t_{UOij} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_4} M_{POi} t_{POij} \right] \left( \frac{\Delta\Gamma_m}{T} \right), \quad (6)$$

式中,  $T$  为统计时间;  $M_{FS}$  为统计时间内发电机组全出力运行平均成本;  $M_{ei}$  为统计时间内发电机组第  $i$  种降出力的平均成本;  $M_{FR}$  统计时间内发电机组全出力备用平均成本;  $M_{Ri}$  统计时间内发电机组第  $i$  种降出力备用平均成本;  $M_{Uoi}$  统计时间内发电机组第  $i$  种非计划停运平均成本;  $M_{POi}$  统计时间内发电机组第  $i$  种计划停运平均成本;  $M_{TR}$  机组因故障而无法如期发电的平均电量转移费; 假定统计时间  $T$  内有  $m$  次维修;  $t_{FSj}$  和  $t_{FRj}$  表示在时间段内全出力运行时间、全出力备用时间;  $t_{Sij}, t_{Rij}, t_{UOij}, t_{POij}$ , 分别表示在时间段内第  $i$  种降出力运

行时间、降出力备用时间、非计划停运时间和计划停运时间;  $POS_{FS}, POL_{Si}$  统计时间内发电机组全出力、第  $i$  种降出力单位时间内的平均排污超标量;  $M_P$  机组排污量超标后单位排污量的罚款,  $n_1, n_2, n_3, n_4$  分别为发电机组降低出力运行、降出力备用、非计划停运、计划停运的种类数 ( $n_1 = 5, n_2 = 5, n_3 = 5, n_4 = 3$ ).

可以看出, 此模型中除了考虑机组本身的运行成本、环保费用和电量转移费用以外还加入了维修活动使寿命延长带来的费用增加.  $\Delta\Gamma_m$  为在统计时间内  $m$  次维修后总共延长的寿命;  $\Delta\Gamma_m$  为  $T$  延长的寿命与统计时间的比值, 与统计时间内机组的成本相乘所得结果可以作为这段延长寿命的维护成本估计值, 将其加入到模型中就成为综合考虑维修和工作条件对机组寿命影响的机组发电成本计算模型.

必须指出, 维修对设备寿命的延长不是无限的. 维修的次数与其所带来的设备寿命延长二者之间存在一个平衡点, 寿命的延长是以成本的急剧增加为代价的. 由经典的浴盆曲线可知, 当设备到了寿命末期其故障率迅速上升, 此时再对设备进行维修不仅不能带来效益的增加, 反而会使发电可靠性降低、发电成本增加, 不利于机组在电力市场条件下的竞价上网. 此时就应该更换新的设备, 来提高发电可靠性和自身竞争力.

## 3 实例计算

选取沙角 C 电厂在 2000 年 11 月 ~ 2001 年 11 月间 #1 号 660 MW 机组实际运行情况为例来实际说明文中模型. 为简化计算这里不考虑排污超标罚款项及电量转移费用. 从开始到统计时间结束共进行一次维修活动, 其中  $T = 47\ 645$  h, 维修效果  $\xi = 0.15$ . 机组在期间的状态数据及计算结果如表 1 所示.

表中,  $\Delta C$  为机组各状态对应的成本增量;  $\Delta\Gamma_m$  为由于维修而使设备寿命等效延长量;  $UD_1, UD_2, UD_3, UD_4$  分别表示第 1、2、3、4 类非计划降出力;  $UO_1, UO_4$  表示第 1、4 类非计划停运;  $PO_2$  表示小修停运.

按照文中模型, 此次维修使寿命等效延长了 7 146.75 h, 总成本增加了 782 518 99.89 元. 由表 1 可知, 非计划停运 (UO) 对发电成本的增加贡献最大, 其次是非计划降出力运行 (UD), 而这两者 (UO 和 UD) 均与机组的可靠性状态密切相关. 维修对于提高机组运行可靠性、延长机组运行寿命来说至关重要. 若电厂在条件允许下使机组尽可能长时间的运行而不进行维修, 必然使机组性能变坏、故障率上升, 寿命损耗加剧, 故障维修时间延长, 使得机组发电成本中维护费用项急剧升高, 不利于自身在竞价上网中占优以及取得最

佳效益.

表1 机组状态对成本的影响

项目	非计划降出力(UD)				非计划停运(UO)		计划停运(PO)
	UD <sub>1</sub>	UD <sub>2</sub>	UD <sub>3</sub>	UD <sub>4</sub>	UO <sub>1</sub>	UO <sub>4</sub>	PO <sub>2</sub>
总次数	19	21	1	4	8	3	1
总持续时间/h	982.16	807.62	35.67	41.9	26.19	586.23	438.85
平均成本/元/h	192 970	192 970	151 500	104 300	345 000	254 600	18 780
$\Delta C/\text{元}$	28 429 112.28	23 376 964.71	810 600.75	655 525.5	1 355 332.5	22 388 123.7	1 236 240.45
$\Delta T/h$					7 146.75		

#### 4 结束语

维护费用是发电成本中难以计算的一部分,笔者在机组寿命等值损耗模型基础上建立维护费用和机组寿命之间的关系,认为每次维修活动都是使机组寿命在相应维修效果下的寿命延长.将这段被延长的寿命加入成本计算模型中,由此来量化维修、寿命与成本三者之间的关系,为安排合理的检修计划提高机组运行可靠性及计算最优经济效益建立基础.

#### 参考文献:

- [1] 焦树建.关于电厂发电成本计算方法的探讨[J].燃气轮机技术,2000,13(3):7-10.
- [2] 黄雅罗,黄树红.发电设备状态检修[M].北京:中国电力出版社,2000.
- [3] SEBASTIAN MARTORELLI, ANA SANCHEZ, VICENTE SERRADELL. Age - dependent Reliability Model Considering Effects of Maintenance and Working Conditions [J]. RELIABILITY ENGINEERING&SYSTEM SAFETY,1999,64: 19-31.
- [4] SEBASTIAN MARTORELL, AURELI MUNOZ, VICENTS SERRADELL. Age - Dependent Models for Evaluating Risks & Costs of Surveillance & Maintenance of Components [J]. IEEE Transaction on Reliability,1996,145(3): 433-442.
- [5] TAO ZHANG, MASATOSHI NAKAMURA. Reliability - Based Optimal Maintenance Scheduling by Considering Maintenance Effect to Reduce Cost [J]. Quality and Reliability Engineering International,2004,21:1-1.
- [6] 曾小军,唐胜利.基于设备可靠性的发电成本改进算法[J].重庆大学学报,2004,27(6):82-84.

## Calculation of Maintenance Cost Based on the Proportional Life Setback Model

ZHANG Wei-feng, TANG Sheng-li

(Power Engineer College of Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Maintenance cost is one of the most difficult parts to calculate in variant-cost, for it is decided by the reliability of components. As an important factor of reliability, life is largely affected by maintenance. The proportional life prolonged model based on maintenance is presented firstly. Based on this model, the function of Maintenance—Life—Cost is deduced. Which provides a new method for power plant to calculate maintenance cost more accurately.

**Key words:** generation cost; equivalent age; maintenance cost; maintenance effectiveness

(编辑 陈移峰)