

基于全寿命周期分析的电力设备费用模型

赖佳栋¹, 杨秀苔¹, 熊小伏², 张 媛²

(1. 重庆大学 经济与工商管理学院, 重庆 400044; 2. 重庆大学 电气工程学院, 重庆 400044)

摘 要:针对我国供电企业的实际情况,将电力设备费用分为一次投资费用和运行维护费用两部分,建立了电力设备全寿命周期费用定量模型。针对一次投资费用的特点,建立了基于时间分摊的一次投资费用模型;针对运行维护费用长期发生的特点,建立了基于灰色关联度确定分布类型的运行维护费用模型。同时,将两个费用模型综合考虑,建立了供电企业电力设备全寿命周期费用模型,据此可计算电力设备全寿命周期最小费用和最佳使用寿命。最后,以某变电站综合自动化项目为例,验证了该模型的有效性。

关键词:供电企业;全寿命周期费用;灰色关联分析;分布函数

中图分类号:F403.7;TM727 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-980X(2008)11-0029-04

成本管理是企业管理永恒的主题^[1-2];成本管理又是一个与经济、技术密切关联的问题,它的理念和方法必须随着技术经济条件的变化而变革。

目前常用的成本管理方法主要有:基于统计的经验法、总分账类法、基于重组技术的成本管理方法、回归分析法、作业成本法、神经网络法等^[3-7]。这些方法主要适用于制造业,而供电企业因其行业的特殊性,长期以来尚缺乏合适的定量成本模型,其成本管理的难点源于电力设备从投资建设到设备运行维护所具有的长期性和不确定性。

供电公司作为资金、技术密集型企业,其电力设备具有初始投资大、运行成本高、服役时间长的特点,因此,如何实现有效的成本管理成为供电公司关注的焦点。本文提出一种基于灰色关联分析的电力设备全寿命周期成本管理方法,该方法不仅考虑电力设备的一次投资费用,还把设备的运行维护费用纳入到成本管理的整个过程之中,以总费用最低为目标进行分析。其中,一次投资费用由均值计算,运行维护费用采用灰色关联分析法计算。使用灰色关联分析方法的步骤是:首先,假定运行维护费用模型符合几种常用寿命模型中的一种;然后,通过灰色关联分析分别求出关联度,用此关联度所对应的分布函数表示运行维护费用模型;最后,将一次投资费用和运行维护费用求和。

1 全寿命周期费用模型

全寿命周期费用(life cycle cost, LCC)管理是从企业的长期经济效益出发,全面考虑设备或系统的规划设计、建造、购置、运行、维护、更新、改造,直至报废的全过程,使 LCC 最小的一种理念和方法^[6]。本文将该模型表示为:

$$L_{LCC} = A_c + S_c \quad (1)$$

式(1)中:一次投资费用 A_c 是电力设备的建设费用,包括调研费、设计费、建筑工程费、监造费、设备购置费、包装费、运输费、库存费、安装费、人力资源费、生产流动资金等;运行维护费用 S_c 包括电力设备的日常运行费、检测费、维修费、维护费、更改费、材料费、报废费用、人员工资、税赋、企业损失和社会损失等。

确定全寿命周期成本的目的是将全寿命周期成本准确分摊。因此,式(1)可表示为瞬时值的形式:

$$L_{LCC}(t) = A_c(t) + S_c(t) \quad (2)$$

图 1 显示了一次投资费用和运行维护费用与时间的关系。图 1 中:一次投资费用 $A_c(t)$ 随时间的推移逐渐减少,其与时间呈近似的线性关系;而运行维护费用 $S_c(t)$ 是一个需要长期投入的费用,同时由于涉及诸多不确定的因素,该项费用随时间的变化曲线表现为非线性,即随时间的推移而增加;另

收稿日期:2008-09-08

基金项目:国家自然科学基金项目(50777068)

作者简介:赖佳栋(1965—),男,广东梅县人,重庆大学博士研究生,高级工程师,研究方向:技术经济、投资决策;杨秀苔(1933—),男,重庆人,重庆大学教授,博士生导师,研究方向:电力经济、投资决策;熊小伏(1962—),男,重庆人,重庆大学教授,博士生导师,研究方向:电力系统。

外,总费用函数 $L_{LCC}(t)$ 呈现出凹函数形状,即电力设备在全寿命周期中存在最小费用 $L_{LCC}(T_0)$ 和最佳使用寿命 T_0 ,此后费用会随使用时间的推移而增加。可见,在成本管理过程中,充分考虑项目的可能最小费用和可能最佳使用寿命对于设备维修、维护、更换有着重要意义,同时也能保证企业投资利润的最大化。

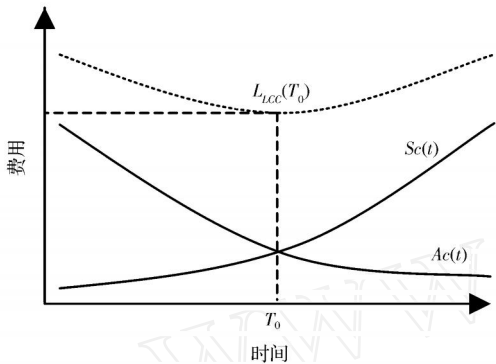


图 1 设备费用关系图

图 1 中,一次投资费用具有线性特性,因此可按时间平均换算为单位时间费用模型,即:

$$A_c(t) = A_c / t \quad (3)$$

而设备运行维护费用的投入需要贯穿从设备投入到报废的整个过程,在设备运行后长时间内仍然需要不断投入,故在转化为瞬时值时要考虑寿命分布的情况。

在电力工程中,由于运行维护费用具有复杂性,因此如果用时间平均分摊,将难以反映工程的实际情况。由图 1 可知,该项费用在前期投入很少,随着时间的推移而增加,直至报废而终止投入,整个过程具有非线性增加的特点。运行维护费用的图形特点与威布尔分布、正态分布、对数正态分布、指数分布等几种典型的寿命分布类似,若运用合适的数学方法确定运行维护费用的分布类型和参数,就可确定运行费用随时间的分摊方式,由此确定总的费用模型。

传统的确定运行维护费用分布类型的方法主要有:均方差最小准则法和基于模糊理论的模糊贴近度法^[7-12]。但由于两者在数据量较小时都较容易产生较大的误差,所以本文针对电力设备的实际情况,提出采用灰色关联分析方法来进行运行维护费用分布类型的最佳拟合。

2 基于灰色关联分析的电力设备单位时间运行维护费用模型

灰色关联分析的基本思想是通过对系统动态发

展过程进行量化分析来考察系统诸因素之间的相关程度,即根据曲线间的相似程度来判断因素间的关联程度,以关联度作为其关系密切程度及相互比较的相对标志^[13-15]。由于此方法对样本量的大小没有太高要求,而且分析的结果一般与定性分析相吻合,因而具有广泛的适用性。

通过灰色关联分析确定电力设备运行维护费用模型的步骤如下:

计算经验分布函数。

据近似中位秩公式 $F_i = (i - 0.3) / (n + 0.4)$ 计算经验分布函数 F_0 。其中, n 表示维修次数; i 表示第 i 次维修。

求取分布函数参数。

根据寿命数据求出各假设分布的参数及其各点分布函数。因为运行维护费用模型一般符合威布尔分布、正态分布、对数正态分布、指数分布这 4 种分布,所以本文假定数据样本满足下述 4 种分布函数的一种。

威布尔分布函数:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\sigma}\right)^b} \quad (4)$$

正态分布函数:

$$F(t) = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt \quad (5)$$

对数正态分布分布函数:

$$F(t) = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2} dt \quad (6)$$

指数分布函数:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (7)$$

以威布尔分布函数参数的求取为例:对威布尔

分布函数进行极大似然估计,得到 $\sum_{i=1}^n \ln t_i / \sum_{i=1}^n t_i^b - 1/b = \sum_{i=1}^n \ln t_i / n$; 用该方程进行迭代计算,得到 b , 即 b 的极大似然估计值,同时可以得到 $a = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i^b\right)^{\frac{1}{b}}$, 由此可计算出 a 的估计值 $\hat{a}$; 因为 b 是有偏的,由文献[14]的表 8-11 查得 $B(n)$, 由 $\hat{b} = B(n)b$ 可以得出 b 的无偏估计值 $\hat{b}$ 。

其他分布函数的参数求取与上述方法类似,在这里不再重复。

确定灰色关联度。

在灰色系统中,诸如运行机制、结构和行为的信息既不是确定性的,也不是完全不知的,而是部分知道的。通常通过关联分析和模型建立处理系统

行为,使用不完全的信息进行决策。为此,这里在确定4种分布函数的基础上,通过灰色关联度分析确定分布类型。

求在第k点 F_i 序列对于 F_0 序列的关联系数:

$$\xi_i(k) = \frac{[\min_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq k \leq n} |F_0(k) - F_i(k)| + \rho \times \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq k \leq n} |F_0(k) - F_i(k)|]}{[|F_0(k) - F_i(k)| + \rho \times \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq k \leq n} |F_0(k) - F_i(k)|]}; \tag{8}$$

$$\Delta_i(k) = |F_0(k) - F_i(k)|. \tag{9}$$

式(8)中: ρ 为分辨率系数,一般取 $\rho=0.5$; m 为运行维护费用分布函数的个数; n 为故障次数; $\Delta_i(k)$ 为k点 F_i 序列对 F_0 序列的绝对偏差。

因此, F_i 序列对于 F_0 序列的关联度为:

$$\gamma_i(F_0, F_i) = \frac{1}{n} \sum_k \xi_i(k). \tag{10}$$

根据关联序列确定最佳拟合分布类型。
依 γ_i 值的大小排出关联序列,分析系数序列间影响程度的大小。关联度越大,代表该运行维护费用函数的分布类型越接近经验分布函数。由最大关联度确定最佳拟合分布。

最后,可以得出最佳拟合分布所对应的设备维修费用瞬时值:

$$S_c(t) = S_c \times F(t). \tag{11}$$

3 计算实例

本文以某110kV变电站综合自动化系统设备

为例进行全寿命周期费用分析。

该综合自动化系统的一次性投资约为80万,使用初期的投入为60万,该综合自动化系统设备头10次发生故障或维修的间隔时间按平均每年1次计算,依次为:7940、15883、23810、31765、39713、47635、55585、63520、71455、79395,单位为小时。按第二节所提方法,确定其费用模型。

1) 综合自动化系统单位时间投资费用。

$$A_c(t) = \frac{A_c}{t} = \frac{80}{t} \tag{12}$$

2) 基于灰色关联分析的综合自动化系统单位时间运行维护费用。

计算经验分布函数。根据近似中位秩公式 $F_i = \frac{(i - 0.3)}{(n + 0.4)}$, 计算经验分布函数 F_0 , 见表1。

求取分布函数参数。根据式(4)~式(7)参数求取方法,可得出各函数的参数,分别为:威布尔分布函数的参数, $a = 49266, b = 1.718$; 正态分布函数的参数, $\mu = 43670, \sigma = 22805$; 对数正态分布函数的参数, $\mu = 10.4901, \sigma = 0.6954$; 指数分布函数的参数 $\lambda = 0.00002$ 。

求取其分布概率。其中, F_1 代表威布尔分布, F_2 代表正态分布, F_3 代表对数正态分布, F_4 代表指数分布。由此分布概率可得各自与 F_0 的绝对偏差, 关联分析结果见表1。

表1 关联分析结果

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_0(k)$	0.0673	0.1635	0.2596	0.3558	0.4519	0.5481	0.6442	0.7404	0.8365	0.9327
$F_1(k)$	0.0425	0.1333	0.2493	0.3753	0.4987	0.6109	0.7078	0.7872	0.8496	0.8967
$F_2(k)$	0.0586	0.1115	0.1919	0.3008	0.4311	0.5690	0.6993	0.8080	0.8885	0.9414
$F_3(k)$	0.0149	0.1200	0.2767	0.4292	0.5568	0.6570	0.7345	0.7934	0.8383	0.8727
$F_4(k)$	0.1662	0.3049	0.4203	0.5168	0.5972	0.6641	0.7200	0.7665	0.8053	0.8377
$\Delta_1(k)$	0.0248	0.0302	0.0103	0.0195	0.0468	0.0628	0.0636	0.0468	0.0131	0.0360
$\Delta_2(k)$	0.0087	0.0520	0.0677	0.0550	0.0208	0.0209	0.0551	0.0676	0.0520	0.0087
$\Delta_3(k)$	0.0524	0.0435	0.0171	0.0734	0.1049	0.1089	0.0903	0.0530	0.0018	0.0600
$\Delta_4(k)$	0.0989	0.1414	0.1607	0.1610	0.1453	0.1160	0.0758	0.0261	0.0312	0.0950

确定灰色关联度。用式(9)可算出第k点 F_i 序列对于 F_0 序列的关联系数:

$$\min_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq k \leq n} \Delta_i(k) = 0.0018;$$
$$\max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq k \leq n} \Delta_i(k) = 0.1610.$$

用式(8)可算出:

$$\xi_1 = [0.7816, 0.7435, 0.9064, 0.8230, 0.6465, 0.5743, 0.5711, 0.6465, 0.8793, 0.7064];$$
$$\xi_2 = [0.9226, 0.6211, 0.5553, 0.6074, 0.8124, 0.8116,$$

$$0.6069, 0.5557, 0.6211, 0.9226];$$
$$\xi_3 = [0.6193, 0.6637, 0.8432, 0.5348, 0.4439, 0.4345, 0.4819, 0.6165, 1.0000, 0.5858];$$
$$\xi_4 = [0.4588, 0.3709, 0.3412, 0.3408, 0.3645, 0.4188, 0.5266, 0.7720, 0.7368, 0.4689].$$

求取 F_i 序列对于 F_0 序列的关联度,由式(10)可得:

$$\gamma_1(F_0, F_1) = 0.7279; \gamma_2(F_0, F_2) = 0.7073;$$

$$Y_3(F_0, F_3) = 0.6224; Y_4(F_0, F_4) = 0.4799。$$

根据关联序列确定最佳拟合分布类型。

依 Y_i 值的大小排出关联序列,分析系数序列间影响程度的大小: $Y_1 > Y_2 > Y_3 > Y_4$ 。

由分析结果可知,此例中寿命数据和近似中位秩所作的分布曲线与威布尔分布函数曲线最接近,正态分布次之,对数正态分布较正态分布又差,指数分布最差,因此威布尔分布拟合最佳。

将威布尔分布函数带入式(11),可得:

$$S_c(t) = S_c[1 - e^{-(\frac{t}{49266})^{1.718}}] = 60[1 - e^{-(\frac{t}{49266})^{1.718}}]。 \quad (13)$$

式(13)便是该设备所对应的最佳单位时间运行维护费用模型。由此可以看出,通过灰色关联分析确定单位时间运行维护费用模型,可以最大限度地拟合分布类型。

3) 求取综合自动化系统费用模型。

将式(12)确定的年投资费用和式(13)确定的运行维护费用带入式(2),得到电力设备的费用模型,该模型反映了任意计算时刻的电力设备的总费用。

$$L_{LCC}(t) = A_c/t + S_c[1 - e^{-(\frac{t}{49266})^{1.718}}] = 80/t + 60[1 - e^{-(\frac{t}{49266})^{1.718}}]。 \quad (14)$$

4 结论

在电力市场环境下,供电公司已成为自主经营企业,因此其更注重成本效益的提高;而对于电力设备而言,其运行和维护的支出费用远高于一次投资费用。鉴于此,本文提出了一种基于灰色关联分析的电力设备费用模型。结论如下:

1) 根据电力设备 LCC 的定性模型呈现凹函数的特点,将电力设备全寿命周期费用分为一次投资费用和运行维护费用两部分;采用函数拟合的方式

反映运行维护费用的分布规律。

2) 由于运行维护费用模型的分布函数具有不确定性,因此本文提出了基于灰色关联分析的费用模型分布函数确定方法,通过灰色关联度分析确定最符合的分布类型,由此确定运行维护费用模型。

参考文献

- [1] 帕尔·G,拜茨·W. 工程设计学[M]. 冯培恩,译. 北京:机械工业出版社,1992.
- [2] OSTWALD P F. Engineering Cost Estimating[M]. 3rd ed. Prentice Hall,1992.
- [3] DEWHURST P,BOOTHROYD G. Early cost estimating in product design[J]. Journal of Manufacturing systems, 1998,7(3):185-193.
- [4] PARSAEI H R,SULLIVAN W G. Design to Cost Concurrent Engineering: Contemporary Issues and Modern Design Tools[C]. London:Chapman and Hall,1993:330-351.
- [5] 李红梅. 我国企业质量成本管理的四大误区[J]. 技术经济,2005(4):26-27.
- [6] 孙茂竹,姚岳. 成本管理战略[M]. 北京:中国人民大学出版社,2003.
- [7] BODE D J. Neural networks for cost estimation[J]. Cost Engineering,1998,40(1):25-30.
- [8] 刘秋生. 基于 ERP 的企业成本管理模式研究[J]. 技术经济,2002(2):53-55.
- [9] 韩庆兰,黎浩勇. 论作业成本管理与企业基本竞争战略[J]. 技术经济,2001(11):19-21.
- [10] 蔡莉,吾敏. 产业寿命周期发展规律研究[J]. 技术经济,1996(3):19-21.
- [11] 蔡军. 全生命周期成本中的产品成本设计思路分析[J]. 中国管理信息化,2006,9(12):8-10.
- [12] 王艳芳. 关于“设备经济寿命的唯一性”的进一步探讨[J]. 技术经济,2003(5):57-58.
- [13] 陈举华,赵建国,郭毅之. 电力系统可靠性研究的灰关联和模糊贴近度分析方法[J]. 中国电机工程学报,2002,22(1):59-63.
- [14] 王超,王金. 机械可靠性工程[M]. 北京:机械工业出版社,1992.
- [15] 王丽燕. 寿命不同的多个投资方案选优研究[J]. 技术经济,2001(8):55-57.

Research on Cost Model of Electrical Equipment Based On Life Cycle Cost

Lai Jiadong¹, Yang Xiutai¹, Xiong Xiaofu², Zhang Yuan²

(1. School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: The life cycle cost is divided into the one-off investment cost and the operation-maintenance cost according to the actual situation of power supply enterprises in China, and the quantitative model on life cycle cost of electrical equipment is proposed. According to the characteristics of one-off investment cost, the one-off investment cost model based on time-proportion is established. Similarly, the operation-maintenance cost model based on the grey relational analysis is established too. By comprehensive consideration of these two models, the life cycle cost can be achieved, and the method to calculate the minimum cost and the optimal service life is discussed. Finally, the effectiveness of this method is verified by analyzing the practical example of one integrated automation system of some substation.

Key words: power supply enterprise; life cycle cost; grey relational analysis; distribution function