

变电站投资费用模型及敏感因素分析

黄瑞萍¹, 夏莹²

(1. 昆明供电局, 昆明 650000; 2. 重庆大学 电气工程学院, 重庆 400044)

摘要: 本文结合变电站各阶段费用的特点, 应用全寿命周期费用分析方法对变电站的建设进行决策分析。将变电站的全寿命周期费用分为一次投资费用、运行费用和中断供电损失费用, 建立了变电站全寿命周期费用估算模型, 基于运行年限、年利率和通货膨胀率对变电站的全寿命周期费用进行修正以及敏感因素分析。以 220kV 变电站为例, 对其综合自动化系统和常规保护系统进行全寿命周期费用的分析和比较, 从而验证了所建全寿命周期费用模型对变电站建设进行决策分析的实用性和可行性。

关键词: 变电站; 一次投资费用; 运行费用; 全寿命周期费用; 敏感因素分析

中图分类号: F403.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2009)09-0058-05

在现代电力系统中, 大型发电机组接入超高压输电网, 经远距离输电, 多级变压向用户供电, 要经过多级变电站才能将电力送到普通用户。因此, 每增加一定的发电容量, 相应地就要增加一定的变电容量^[1]。可见, 变电站的建设费用在整个电力系统投资中占相当重要的份额。在今后十几年, 从全球来看, 40% 的变电设备将用于现有变电站的更新改造, 剩余的 60% 将用于新变电站建设^[2]。因此全寿命周期费用的研究将会给变电站的投资建设带来很大的经济效益。

然而, 目前的变电站费用管理模式只是考虑工程建设前期到工程竣工移交并调试运行完成这一阶段, 并没有充分考虑变电站投运之后的运行和维护费用。费用管理是一个系统工程, 不仅需要加强对工程项目的立项策划、建设实施的管理, 还要兼顾运行维护等各个阶段的费用, 这样才可以进一步提高变电站的费用管理水平^[3-5], 因此有必要对变电站全生命周期费用 (life cycle cost, LCC) 管理模式进行研究。

LCC 是指设备在预期的寿命周期内为其论证、研制、生产、使用与保障以及退役处置所支付的所有费用之和。全寿命周期成本技术是从设备、项目的长期经济效益出发, 全面考虑设备、项目或系统的规划、设计、制造、购置、安装、运行、维修改造、更新直至报废的全过程, 使 LCC 最小的一种方法^[6-8]。本文应用全寿命周期费用的概念和分析方法来研究变电站的投资建设费用, 对变电站的建设成本进行研究及决策分析, 因此本研究有重要的经济价值。

1 变电站 LCC 的估算方法及模型

1.1 变电站 LCC 估算简化

LCC 的计算方法通常有参数法、类比法、分析估算法、工程法, 但无论采用哪种 LCC 估算方法, 均需大量的历史数据支持, 以估算关系式中有关系数的确定。在具体操作上很难严格按照 LCC 技术的方法与步骤进行分析, 需利用 LCC 原理并根据实际情况简化, 以便于使用 LCC 技术^[9-10]。本文对变电站 LCC 的估算作以下简化处理:

允许不考虑共同拥有的费用。尽管 LCC 是设备寿命周期内共支出费用的总和, 但 LCC 技术的目标并不是全面、完整、准确地计算费用, 而是通过计算各方案间 LCC 的差别, 为选择最佳方案提供决策依据, 即 LCC 技术更重要的作用是方案优选。借用 LCC 技术对“已支费用”的解释, 通过不考虑“各方案所共同拥有的费用”来简化优选的过程。

相对的费用也是决策依据。某些决策者在利用 LCC 技术时, 可能需要一个相对值作为决策依据, 更愿意分析人员为他提供“新的方案将比基准方案的 LCC 增加或减少多少百分比”这样的分析结果, 然后利用自己所掌握的基准方案的 LCC 来估算新方案的 LCC, 从而做出决策。

1.2 变电站建设决策的 LCC 模型

变电站建设时不但要考虑一次投资, 还要顾及今后运行和维护等支出费用。变电站的 LCC 指的是变电站经济寿命周期内, 所支付的总费用由一次投资费用 (investment cost, IC)、运行费用 (operation cost, OC)、故障引起的中断供电损失费用 (fail-

收稿日期: 2009-07-15

作者简介: 黄瑞萍 (1960—), 女, 云南昆明人, 昆明供电局助理工程师, 研究方向: 电力系统运行管理; 夏莹 (1987—), 女, 安徽芜湖人, 重庆大学电气工程学院硕士研究生, 研究方向: 电力系统。

ure cost, FC) 组成, 因此变电站寿命周期费用可写成:

$$LCC = IC + OC + FC. \quad (1)$$

根据变电站 LCC 的各个组成部分建立变电站 LCC 的估算模型。

一次投资费用 (IC)。对于变电站来说, 一次投资费用所包含的内容相当多, 所涉及的配件和设备的种类和数量也很大, 因此要确定一个比较通用和合适的费用模型比较困难, 所以本文采用工程法对各项费用进行估算, 然后逐项叠加, 以此来估算变电站的一次投资费用。对其中一些小的费用组成, 也可以采用参数法或类比法进行估计。其费用模型可表示为:

$$IC = IC_1 + IC_2 + \dots + IC_m. \quad (2)$$

式(2)中: IC 为变电站总的一次投资费用; $IC_1, IC_2, \dots, IC_m$ 为变电站一次投资各组成部分的费用。

运行费用 (OC)。变电站的运行费用一般都与变电站本身的容量和规模相关, 因此对变电站运行费用的估算, 既可以参照已有变电站所支出的运行费用的历史记录, 与新建变电站的一些特征参数进行比较, 利用比拟法进行估算, 又可以把某些特征参数作为费用影响因素, 利用参数法进行估算。其费用模型可以表示为:

$$OC = \lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2 + \dots + \lambda_i C_i. \quad (3)$$

式(3)中: $C_1, C_2, \dots, C_i$ 既可以看成是已运行变电站各部分的历史费用, 也可以看成是影响各费用的参数, 如数量、单位价格、面积等; 同样, $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i$ 既可以看成是新建变电站和已建变电站各费用的比拟系数, 也可以看成是各费用参数的费用系数。

中断供电损失费用 (FC)。变电站的中断供电损失费用由变电站平均年故障率、故障发生时间、中断供电功率相关用户性质和供电损失价值及修复故障、恢复供电等因素所决定。其费用模型可表示为:

$$FC_i = \sum (aW_j T_j + \lambda_j RC_j MTTR_j). \quad (4)$$

式(4)中: λ_j 为 j 设备年平均故障数; T_j 为 j 设备年故障中断供电时间; W_j 为 j 设备故障中断供电功率; RC_j 为 j 设备故障平均修复费用; $MTTR_j$ 为 j 设备平均修复时间; a 为相关用户平均中断供电电量的价值, 它随用户的性质、用户所在地区的不同而变化。

上面所述各费用之和, 就是变电站的 LCC, 因此变电站 LCC 的估算模型可表示为:

$$LCC = IC + OC + FC$$

$$= IC_1 + IC_2 + \dots + IC_m + \lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2 + \dots + \lambda_i C_i + \sum (aW_j T_j + \lambda_j RC_j MTTR_j). \quad (5)$$

2 基于经济参数的变电站 LCC 修正

2.1 基于运行年限的修正

在对不同方案的 LCC 进行比较时, 往往会出现两方案中设备的运行年限不同的情况, 这时 LCC 分析中出现年限选择的问题, 在这种情况下, 一般有两种解决方法:

可以取两种设备运行年限的最小公倍数作为最终的分析年限, 最后计算得出的分别是两方案的 LCC, 然后再进行相关的分析与评估。

仍仍以各自设备的运行年限分别计算出各自的全寿命周期费用, 接着再用式(6)计算出年平均 LCC_a, 然后再用 LCC_a 进行相关的分析和评估。

$$LCC_a = \frac{LCC}{n}. \quad (6)$$

式(6)中, LCC 为全寿命周期费用, n 为设备的运行年限, LCC_a 为年平均全寿命周期费用。

2.2 基于年利率的修正

众所周知, 同样数额的钱在现在和将来某一时刻这两个不同的时间具有不同的价值, 这就是现金流量的时间价值概念。要计算现金流量的时间价值, 通常用到现金流量的终值和现值。

1) 终值的含义及其计算。

终值是指现在的现金 (货币) 经过若干年后的本利之和, 用公式表示就是:

$$V_n = V_0 \times (1 + R)^n. \quad (7)$$

式(7)中: V_0 为现金现在的价值; R 为年利率; n 为存款的年限; V_n 为 n 年之后的终值。

2) 现值的含义及其计算。

现值是指未来某一时刻的现金 (货币) 折合成现在的价值, 用公式表示就是:

$$V_0 = V_n \times (1 + R)^{-n}. \quad (8)$$

式(8)中符号的含义与式(7)中的相同, 其中 $(1 + R)^{-n}$ 为现值系数, 也称为贴现系数。因为计算 LCC 时肯定会涉及未来时刻的费用, 所以在计算费用时要将其折合到同一时间点才能进行比较。

2.3 基于通货膨胀率的修正

通货膨胀对设备 LCC 的影响是相当大的。特别是当设备的寿命较长时, 更要考虑通货膨胀的影响。设原来的经费为 A , 在计算期内每年的通货膨胀率 (物价指数) 为 r , n 年后的实际所需费用 B (考虑了通货膨胀率后) 按式(9)计算:

$$B = A(1 + r)^n. \quad (9)$$

需要注意的是, 在估算期内各年的物价指数不

尽相同,物价有高有低。为简化计算,通常按估算期内的平均物价指数计算,但计算结果略有误差,因此,最好逐年计算。

3 变电站 LCC 的敏感因素分析

变电站 LCC 分析的重点是显著影响变电站 LCC 的因素,分析变电站 LCC 中各费用因素对 LCC 的影响程度,即进行变电站 LCC 的灵敏度分析。找出敏感参数,才能通过对它们的控制来有效减少变电站的 LCC,获取较好的经济效益。根据 LCC 的基本构成和作用原理,建立参数的敏感性函数,并依据参数的大小共同确定参数的重要性。

3.1 费用因素的敏感性函数

费用估算关系式一般具有如下结构:

$$LCC = f(P_1, P_2, \dots, P_m) = a_1 P_1 + a_2 P_2 + \dots + a_m P_m \quad (10)$$

式(10)中: $P_1, P_2, \dots, P_m$ 为影响费用各因素的具体数值,可以是数量、容量、单位价格、使用年限、平均故障间隔时间、平均修复时间等; $a_1, a_2, \dots, a_m$ 为经线性或非线性变换后的费用系数,可以是一个常数,但在更多情况下可能是 $P_1, P_2, \dots, P_m$ 的函数。对于式(10)而言, LCC 对 P_i 的偏导数的数值越大,则 LCC 对 P_i 的敏感性也越大,因此 LCC 对任意参数 P_i 的敏感性函数为:

$$\frac{\partial LCC}{\partial P_i} = \frac{\partial}{\partial P_i} f(P_1, P_2, \dots, P_m) = a_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

由导数的数学含义可知:如果 $a_i > 0$, 则说明 P_i 的增加将使 LCC 增加;如果 $a_i < 0$, 则说明 P_i 的增加将使 LCC 减少;如果 $a_i = 0$, 则说明 P_i 对 LCC 没有影响。同样也可看出,如果 a_i 很大,则 LCC 将随着 P_i 变化而较剧烈地变化。

3.2 敏感度的工程计算

敏感性函数仅能表征 LCC 对某一参数变化的敏感性程度,并不说明 LCC 变化的绝对值。参数及其敏感性函数对 LCC 的影响同时存在、相互放大,即当参数的量值较大且该参数的敏感性函数计算值也较大时,其对 LCC 的影响也就较大;反之则影响较小。因此,对敏感性函数进行处理时,必须同时考虑参数的量值及其敏感性函数对 LCC 的共同作用。

对于影响 LCC 的各参数 $P_1, P_2, \dots, P_m$, 根据工程经验,可粗略地确定每一个参数的最小值 $P_{1min}, P_{2min}, \dots, P_{mmin}$ 和最大值 $P_{1max}, P_{2max}, \dots, P_{mmax}$ 。利用这两个数据,可以计算出各参数的平均值 $P_{1mid}, P_{2mid}, \dots, P_{mmid}$ 。其中:

$$P_{imid} = (P_{imin} + P_{imax})/2 \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (12)$$

利用各参数的均值 $P_{1mid}, P_{2mid}, \dots, P_{mmid}$ 和式(12)即可得出各参数的敏感性函数:

$$\frac{\partial LCC}{\partial P_i} = \frac{\partial}{\partial P_i} f(P_{1mid}, P_{2mid}, \dots, P_{mmid}) = a_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (13)$$

在得到各参数的敏感性函数后,再利用各参数的最小值 $P_{1min}, P_{2min}, \dots, P_{mmin}$ 和最大值 $P_{1max}, P_{2max}, \dots, P_{mmax}$, 计算出该参数对 LCC 影响的最小值和最大值。设:

$$|a_i \cdot P_{1min}| = SL_{P_{1min}} \quad (i = 1, 2, \dots, m); \quad (14)$$

$$|a_i \cdot P_{1max}| = SL_{P_{1max}} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (15)$$

式(14)和式(15)的计算结果反映了各参数对 LCC 绝对值的影响规律。根据上述敏感性函数分析的结论并进一步利用式(14)、式(15),可以得到:

$SL_{P_{1min}} + SL_{P_{1max}}$ 反映了参数 P_i 所占 LCC 份额的大小。如果该数值较大,则说明受参数 P_i 影响的费用占了 LCC 的份额较大,准确计算 LCC 的具体数值时必须认真考虑;反之,可不必花费大量精力确认该数据。

$SL_{P_{1min}} - SL_{P_{1max}}$ 反映了 LCC 对参数 P_i 的实际敏感性。如果该数值较大,则说明 LCC 对参数 P_i 变化非常敏感,该数值的变化将带来 LCC 剧烈的变化,在考虑 LCC 决策问题时必须认真对待。

如果某参数的 $SL_{P_{1min}} + SL_{P_{1max}}$ 和 $SL_{P_{1min}} - SL_{P_{1max}}$ 均比较大,则说明该参数非常重要,对决策的影响很大,必须认真对待;反之,则说明该参数不太重要,不必花费太多的精力。

如果某参数的 $SL_{P_{1min}} + SL_{P_{1max}}$ 很大,但 $SL_{P_{1min}} - SL_{P_{1max}}$ 很小,说明尽管该参数所造成的费用占 LCC 的大部分,但对 LCC 的变化影响不大,在进行方案间比较时,如果各方案的该参数的差别不大,则可不考虑,从而减少 LCC 分析的工作量。

如果某参数的 $SL_{P_{1min}} + SL_{P_{1max}}$ 不大,但 $SL_{P_{1min}} - SL_{P_{1max}}$ 较大,说明尽管该参数所造成的费用不占 LCC 的大部分,但参数的变化对 LCC 影响较大,当进行方案比较时,应该仔细考虑,以保证分析结果的准确合理性。

如果某参数的 $SL_{P_{1min}} + SL_{P_{1max}}$ 和 $SL_{P_{1min}} - SL_{P_{1max}}$ 均较小,则说明该参数不重要,在对 LCC 估算的准确性要求不很高时,例如粗略估算 LCC、几个方案间优选时,可不予考虑。

4 算例

应用 LCC 技术对某 220kV 变电站采用的常规保护系统和综合自动化系统进行分析和比较,从 LCC 理念以及经济的角度,定量地来说明综合自动

化系统的优势所在。

综合自动化系统和常规保护系统的部分费用、参数如表 1 所示。

表 1 综合自动化与常规保护系统费用、参数表^[11-12]

序号	项目名称	综合自动化系统	常规保护系统
1	初期建设投资(万元)	204	85.2
2	运行年限(年)	12	8
3	年运行、维护费用(万元/年)	1	6
4	社会贴现率(%)	6	6
5	通货膨胀率(%)	3	3
6	年平均故障次数 λ (次/年)	0.3503	3.0103
7	年平均故障中断供电时间 T (小时)	1.8	42
8	平均故障中断供电功率 W (kW)	120000	120000
9	平均修复成本 RC (万元/小时)	0.0067	0.029
10	平均修复时间 $MTTR$ (小时)	4	8
11	平均中断供电电量的价值 a (万元/kW·h)	0.000011	0.000011

由于两系统的运行年限不同,因此,取它们运行年限的最小公倍数 24 年为分析年限。利用上述所建立的变电站 LCC 估算模型,考虑年利率和通货膨胀率的影响,分别计算两系统的 IC、OC 和 FC 及变电站的 LCC 费用,如表 2 所示。

表 2 综合自动化系统和常规保护系统估算费用比较

费用项目	综合自动化系统		常规保护系统	
	费用(万元)	百分比(%)	费用(万元)	百分比(%)
IC	348.5461	85.41	206.7356	15.90
OC	17.594	4.31	105.5640	8.12
FC	41.9685	10.28	987.6989	75.98
总计	408.1086	100	1299.9985	100

通过表 2 的横向比较,可以发现综合自动化的初期设置费用远较常规保护系统高,比常规保护方案费用增加了 68.60%。但在考虑社会贴现率和通货膨胀率的影响后,常规保护方案的断电费用是综合自动化方案的 20 多倍,这点可以说明综合自动化系统的可靠性明显高于常规保护系统。另外,从表 2 还可以看到,综合自动化方案的运行费用和修复费用也要低于常规保护方案,从这点可以说明,综合自动化系统要比常规保护系统维护简便。

通过表 2 的纵向比较,可以看到综合自动化系统总费用中一次投资费用是主要组成部分,而中断供电损失费用占常规保护系统寿命周期费的四分之三左右。因此,对于决策者来说,要减少综合自动化

系统的全寿命周期费用,就要想办法降低其一次投资费用,对于常规保护系统来说,就要采取相应的措施,尽量降低中断供电损失费用。

根据第 3 节中的分析方法分别计算综合自动化系统和常规保护系统各费用影响因素对 LCC 影响程度的大小。对于综合自动化系统而言,其 LCC 对参数 A 和 R 的变化最敏感,它们数值的变化会带来 LCC 剧烈的变化,在考虑决策问题时,必须认真对待。从计算结果中还可以判断,断电成本对故障中断供电功率的敏感性较大,修复费用对平均修复成本的敏感性较大。因此,在考虑决策问题时,对这两项也要多加考虑。对常规保护系统而言,其 LCC 对参数 R 和 W 的变化最敏感,它们的变化会带来 LCC 剧烈的变化,在考虑决策问题时,必须认真对待。同时还应注意到,与综合自动化系统一样,断电成本对故障中断供电功率 W 的敏感性较大,修复费用对平均修复成本的敏感性较大。

5 结论

本文根据变电站建设的特点,提出了变电站 LCC 的计算方法,将变电站的 LCC 分为一次投资费用、运行费用、中断供电损失费用并分别进行研究,并在此基础上建立了变电站 LCC 估算模型,同时提出了基于经济参数的变电站 LCC 的修正方法及灵敏度分析,最后用所建模型对某 220kV 变电站的综合自动化系统和常规保护系统分别进行了 LCC 的估算和敏感因素分析,定量地说明了综合自动化系统相比常规保护系统的优越性,从而验证了本文提出全寿命周期费用模型对变电站建设进行决策分析的实用性和可行性。

参考文献

[1] 邹江. 全生命周期工程造价理论在电力工程造价管理中的运用[J]. 技术与管理,2005(1):47-49.

[2] ASIEDU Y, GU P. Product life cycle cost analysis: state of the art review[J]. Journal of Production Research, 1998,36(4):883-908.

[3] BATTERY M J. Life considerations in energy storage applications and their effect on life cycle costing[C]. Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE, 2001(1):452-455.

[4] MEYER C, DONCKER R W D. LCC analysis of different resonant circuits and solid-state circuit breakers for medium-voltage grids[J]. Trans on Power Delivery, IEEE, 2006,3(21):1414-1421.

[5] 罗云,张俊迈,吴奕亮. 重视设备寿命周期费用技术的研究与应用[J]. 中国设备工程,2003(1):11-13.

[6] 陈玉波,张柳,曲长征. 产品 LCC 估算模型研究及仿真分析[J]. 计算机仿真,2005,22(9):73-75.

- [7] BREIDENBACH D P. Life cycle cost analysis[C]. Aerospace and Electronics Conference, 1989, 4(3) :1216-1220.
- [8] BROOKS S M. Life cycle costs estimates for conceptual ideas[C]. Aerospace and Electronics Conference, 1996, 3(2) :541-546.
- [9] MILL WARD D G Life-cycle cost trade studies for hardness assurance [J]. Trans on Nuclear Science, IEEE, 1996, 6(43) :3133-3138.
- [10] 金家善,邵立周. LCC 分析的简化方法[J]. 中国设备工程, 2003(9) :6-8.
- [11] 士宪. 全国电力客户服务工程预算参考定额及费用[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2001 :92-95.
- [12] 楼晓东,秦杰. 在工程设计中学习与运用 LCC 分析[J]. 上海电力, 2004(3) :197-199.

Investment Cost Model and Sensitive Factor Analysis on Substation

Huang Ruiping¹, Xia Ying²

(1. Kunming Power Supply Bureau, Kunming 650000, China;

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

Abstract : According to the characteristics of costs of substation in different phases, this paper uses the analysis method based on Life Cycle Costs(LCC) to carry on the decision analysis on substation construction. Life Cycle Costs of substation are divided into three parts: investment cost, operation cost and failure cost. The cost estimation model of LCC is set up, and the modification on the basis of runtime, annual interest rate and inflation rate is carried out, as well as the sensitive factor analysis. Taking a 220kV substation as the example, it analyzes and compares integrated automatic system and general protective system to verify the validity and feasibility of the proposed life cycle cost model.

Key words : substation; investment cost; operation cost; life cycle cost; sensitive factor analysis

(上接第 52 页)

- [10] CHARLES Y J C, LIU J. Valuing governmental support in infrastructure projects as real options using Monte Carlo simulation[J]. Construction Management and Economics, 2006, 24(5) :545-554.
- [11] SUBPRASOM K, CHEN A. Effects of regulation on highway pricing and capacity choice of a build-operate-transfer scheme[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2007, 133(1) :64-71.
- [12] BAUCCELLS M, SARIN R K Group decisions with multiple criteria[J]. Management Science, 2003, 49(8) :1105-1118.
- [13] 秦学志,王雪华,杨德礼. AHP 中群组评判的可信度法() [J]. 系统工程理论与实践, 2000(5) :76-79.
- [14] 马飒飒,王光平,赵守伟,基于多属性群决策的软件可靠性模型选择方案[J]. 数学的实践与认识, 2007, 37(15) :70-76.
- [15] 申桂香,陈炳银,张英芝,等. 基于熵值 - 模糊综合评判的可靠性模型优选[J]. 吉林大学学报(工学版), 2008(S2) :117-121.

Multiple Attribute Group Decision Method of Risk Identification of BOT Project

Liu Ning, Dai Dashuang, Wu Haixi

(School of Management, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning 116024, China)

Abstract : A new risk identification model for BOT project is established to calculate the weights of experts and attributes more objectively, and to reflect the impacts of different decision-makers and different attributes more reasonably. Firstly, angle cosine of two-space vector transformed from multi-dimensional vector is derived into the similarity and the difference of experts. Secondly, the weights of attributes reflecting the importance degree for decision-making are derived from entropy expressing information content of attributes. While the entropy of a attribute is smaller, the weight is bigger. Risk identification result is based on the value of integrated decision-making. A typical case proves that the method is feasible and reasonable.

Key words : BOT project; risk identification; multiple attribute; group decision