

基于全寿命周期成本的智能变电站建设分析

李 哲¹, 张 沁²

(1.中国电力科学研究院, 江苏 南京 210061; 2.南京师范大学, 江苏 南京 210042)

摘 要:随着智能变电站试点建设的开展, 智能变电站一次性投资比常规变电站高出很多这一问题引起业内对于智能变电站建设经济性是否合理的疑惑。本文从全寿命周期成本的角度出发, 将智能变电站与综合自动化变电站进行了分析比较, 论证了智能变电站在经济性、可靠性及维护的便捷性方面都要优于综合自动化变电站。

关键词:全寿命周期成本; 智能变电站; 综合自动化变电站

0 引言

国家电网公司于 2009 年 5 月宣布建设坚强智能电网, 智能变电站作为智能电网六大环节之一, 为智能电网提供坚强可靠的节点支撑。2010 年第一批试点工程的 7 座变电站开始实施建设, 具体涉及到 3 个智能化改造站和 4 个新建智能变电站。截止 2011 年 3 月, 已经有第一批试点工程的 6 座智能变电站和第二批试点工程的 2 座智能变电站投入运行。随着试点变电站的陆续投运及评估, 智能变电站建设也暴露出一些问题。其中, 比较明显的是智能变电站一次性投资比常规变电站高出很多, 这一现象引起业内对于智能变电站建设经济性是否合理的疑惑。本文将利用全寿命周期成本的分析方法来分析智能变电站建设投资的合理性。

1 全寿命周期成本概述

全寿命周期成本 (Life Cycle Costs), 简称 LCC, 是指设备或项目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^[1]。它由设备或项目一生所消耗的一切资源量化为货币值后累加而得, 明确地指出了为拥有一个设备或项目在其一生要花多少钱, 因而是一个极其重要的经济性参数量值, 并已成为现代质量观念中的主要内涵和要素^[2]。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, 使全寿命周期成本最小化的一种管理理念和方法。此方法科学的划分设备在寿命周期内的一切费用项目, 又利用统计资料和方法建立费用估算关系式和费用

模型, 从而可按不同需要相当准确地估算出设备或项目的寿命周期费用, 供决策和管理之需。其核心内容是对设备、项目或系统的全寿命周期成本进行分析, 并进行决策。

全寿命周期成本 LCC 最早起源是瑞典的铁路系统 (1904 年)。把 LCC 的概念用于技术经济分析可追溯到 1947 年在美国创立的价值分析法^[3]。然而 LCC 问题真正引起重视并得到发展却是在 20 世纪的后半叶。

目前的变电站成本管理模式还只是从工程建设前期到工程竣工移交并调试运行完成为止, 并没有充分考虑变电站投运之后的运行和维护费用。由于成本的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, 也要兼顾运行维护等各个阶段的费用, 才可以进一步提高变电站的成本管理水平, 因此有必要对变电站全生命周期成本管理模式进行研究。全寿命周期成本 (LCC) 就是从设备、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, 直至报废的全过程中, 一共所支出的费用总和。因此, 我们应用全寿命周期成本的概念和分析方法来研究变电站的成本, 就可以做出较为合理经济性分析。

2 变电站全寿命周期成本的组成^[4]

在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。这种考虑变电站建设和运行的总成本就称为变电站的寿命周期成本, 以下简称变电站的 LCC。变电站 LCC 指的是变电站经济寿命周期内, 所支付的总费用, 由以下几部分组成: 一次投资成本 (Investment Costs), 简称

IC; 运行成本(Operation Costs), 简称OC; 故障引起的中断供电损失成本(Failure Costs), 简称FC; 另外, 还应加上设备的报废成本(Discard Costs), 简称DC。因此变电站全寿命周期成本可写成:

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

2.1 一次投资成本(IC)

所谓一次投资成本(IC), 就是指在变电站建设和调试期间内, 在变电站正式投入运行以前, 所付出的一次性成本。要建设一个新的变电站, 其一次投资所涉及的部分是相当多的。在对变电站进行详细设计以后, 对一次投资成本的组成部分, 我们可以采用工程法, 采用工程预算中的参考定额和费用, 对各项所需的成本费用进行估算, 然后逐项迭加即可。当然, 对其估算要尽量的做到准确、全面, 如对设备费应有它的零件或部件套数及其单价, 对劳动工时费应有各级职工的人数, 所耗工时及其工资与附加费用等等。同时, 对于其中的一些组成部分的费用, 比如变压器的安装等, 我们可以以某一影响参数为自变量, 由参数估算法建立其费用估算关系式, 从而对其费用进行估算。同样, 对其中的某些费用单元也可以使用类比法进行费用的估算。

2.2 运行成本(OC)

变电站的运行成本, 就是指变电站运行期间所花费的一切费用的总和, 包括: 能耗费、人工费、环境费用、维护保养费以及其他费用。运行成本的各项组成部分费用的多少, 一般都与变电站的容量、规模、先进性相关, 因此对其费用的估算, 可以参照已运行变电站所花费用的历史记录, 与新建变电站的一些特征参数进行比较, 利用类比法进行估算。需要注意的是, 在估算维护保养费用时, 要考虑变电站的检修方式。

2.3 中断供电损失成本(FC)

随着高新技术的发展, 将出现更多对电敏感的工业。目前, 用户对中断供电的抱怨还在逐年增加。供电中断使电力企业减少供电量和售电收入, 对用户造成一定的经济损失。因此, 在电力系统规划和运行中, 电力企业把变电站故障(事故)引起中断供电损失(FC)作为自己的成本是符合实际的, 能较好地与供电可靠性联系起来, 尽管相关用户停电损失还不用补偿。可靠性的提高, 增加了电力企业生产成本, 但将减少用户停电损失和紧急备用电源的投资。图1给出了可靠性随用户, 电力企业的边际成本变化的关系曲线。图1中A是电力企业的边际成本随

可靠性变化曲线; B是用户边际成本随可靠性变化曲线。2条曲线的交叉点即C点就是最优的可靠性。因此, 最优的可靠性就是可靠性改善对用户产生的边际效益等于电力企业为此付出的边际成本。

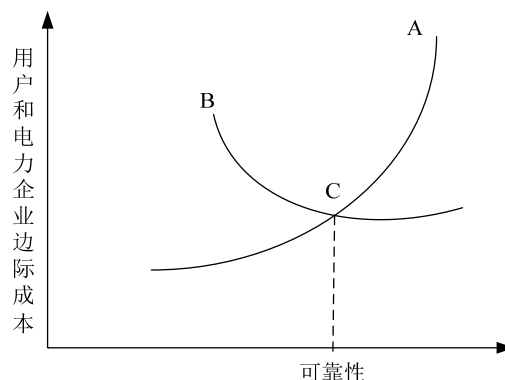


图1 用户和电力企业边际成本与可靠性关系

故障引起中断供电损失成本是由多个因素所决定的。年中断供电损失成本可用下式进行估算。

$$FC = a \cdot W \cdot T + \lambda \cdot RC \cdot MTTR \quad (2)$$

其中, λ 为设备年平均故障数; T 为设备年故障中断供电时间; W 为设备故障中断供电功率; RC 为设备故障平均修复成本; $MTTR$ 为设备平均修复时间; 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。

式(2)中, $a \cdot W \cdot T$ 为断电(惩罚)成本, $\lambda \cdot RC \cdot MTTR$ 为修复成本。

2.4 报废成本(DC)

报废成本(DC)指产品寿命周期结束后, 清理、销毁该产品所需支付的费用。不同类型、用途的产品报废成本是不一样的, 有些可以产生一定数量的残值收入, 用以冲销有关的费用, 这种报废成本应为负值, 如设备的正常报废; 而有些不仅不能产生任何残值收入, 而且需要花费大量的资金用于其报废和清理, 这种报废成本为正值, 如化学产品和核产品等。在产品报废的过程中, 既需要消耗一定的人力、物力、财力, 又有可能产生一定的收入, 所以, 应该认真进行核算。这部分费用一般是以以往的历史数据作为参考, 来进行大体的估算得出的。

3 智能变电站与综自变电站全寿命周期成本(LCC)计算实例

本文应用全寿命周期成本分析技术对某试点智能变电站采用的智能化系统和综合自动化变电站建设方案中采用的综自化系统进行分析 and 比较, 从

全寿命周期成本理念以及经济的角度, 定量地来说明智能化变电站建设方案的优势所在。

表1所列的部分参数综自变电站部分是根据历史运行经验估算所得, 智能变电站部分是根据智能化产生的有益效果在综自变电站参数基础上估算所得, 当然可能和实际运行会有所出入, 但在当前智能变电没有长期运行实例的情况下, 暂以此估算参数作为实例分析依据, 待以后有长期历史运行经验后, 再根据实际情况进行修正。

表1 智能化系统与综自系统费用与参数比较

序号	参数名称	智能化系统	综自化系统
1	比较内容初期投资费用/万元	2669	618
2	使用年限/年	30	30
3	报废成本DC/万元	0	0
4	年运行维护费/万元	200	400
5	社会贴现率R/%	6	6
6	通货膨胀率r/%	3	3
7	年平均故障次数 λ	0.5	3
8	年平均故障中断供电时间T/h	0.5	4
9	平均故障中断供电功率W/kW	120000	120000
10	平均修复成本RC/(万元/h)	0.005	0.01
11	平均修复时间MTTR/h	2	4
12	中断供电量价值a/(万元/kWh)	0.00015	0.00015

3.1 一次投资成本(IC)现值计算

该智能变电站智能化部分的初期投资为 2669 万元, 如采用综自变电站方案综自部分的投资为 618 万元, 投资增加 2051 万元。由于智能变电站及综自变电站都按照 30 年使用寿命设计, 设计年限相同, 所以不考虑社会贴现率及通货膨胀率的影响, 智能变电站智能化部分的一次投资成本现值即为初期建设投资成本 $IC_1=2669$ 万元, 综自变电站综自部分的一次投资成本现值 $IC_2=618$ 万元。

3.2 运行成本(OC)现值计算

本工程由于采用了智能化设备, 采用LED灯具实现节能环保, 降低了变电站能耗费用; 采用状态检修的方式减少了不必要的检修费用; 由于采用智能化设备, 大大减少了变电站的正常的运行成本, 可以减少日常维护人员人工费用。按照500kV综自变电站的年运行成本为400万元作为参考, 智能变电站的年运行成本约减少一半, 即200万元。所以本工程采用智能变电站方案比综自方案运行成本每年节省200万元。考虑到年利率和通货膨胀率的影响, 智能变电站的运行维护的总现值为:

$$OC_1 = \frac{200 \times \left\{ 1 - \left[\frac{(1+3\%)}{(1+6\%)} \right]^{30} \right\}}{1 - \left[\frac{(1+3\%)}{(1+6\%)} \right]} = 4080.58 \text{ (万元)}$$

综自变电站的运行维护的总现值为:

$$OC_2 = \frac{400 \times \left\{ 1 - \left[\frac{(1+3\%)}{(1+6\%)} \right]^{30} \right\}}{1 - \left[\frac{(1+3\%)}{(1+6\%)} \right]} = 8161.16 \text{ (万元)}$$

3.3 中断供电损失成本(FC)现值计算

智能变电站通过状态监测实时监视设备的运行状态, 使故障消灭在萌芽状态, 从而减少了年平均故障次数 λ 。同时, 通过智能告警及分析决策、顺序控制等智能化高级应用, 减少了年平均故障中断供电时间 T, 平均修复时间 MTTR 得以缩短, 供电安全可靠得到提高。

通过对年贴现率 R 和通货膨胀率 r 的考虑, 可以计算得到智能变电站的中断供电损失成本现值:

$$FC_1 = \sum_{i=0}^{29} \left[a_1 \cdot \left(\frac{1+r}{1+R} \right)^i \cdot W_1 \cdot T_1 + \lambda_1 \cdot RC_1 \cdot \left(\frac{1+r}{1+R} \right)^i \cdot MTTR_1 \right]$$

$$= 183.39 + 0.10 = 183.49 \text{ (万元)}$$

综自变电站的中断供电损失成本现值:

$$FC_2 = \sum_{i=0}^{29} \left[a_2 \cdot \left(\frac{1+r}{1+R} \right)^i \cdot W_2 \cdot T_2 + \lambda_2 \cdot RC_2 \cdot \left(\frac{1+r}{1+R} \right)^i \cdot MTTR_2 \right]$$

$$= 1467.15 + 2.44 = 1469.59 \text{ (万元)}$$

3.4 全寿命周期成本(LCC)费用总和

上面已经分别计算出两个系统分别的IC、OC以及FC, 报废成本DC由于两个系统都是按30年保费, 且残值相差不大, 我们将它们都忽略不计, 两个系统分别的LCC计算结果如下:

$$\begin{aligned} LCC_1 &= IC_1 + OC_1 + FC_1 \\ &= 2669 + 4080.58 + 183.49 \\ &= 6933.07 \text{ (万元)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCC_2 &= IC_2 + OC_2 + FC_2 \\ &= 618 + 8161.16 + 1469.59 \\ &= 10248.75 \text{ (万元)} \end{aligned}$$

由以上计算结果可知, 智能变电站智能化系统的全寿命周期成本LCC1要远小于综自变电站综自系统的全寿命周期成本LCC2。所以智能变电站的经济性优于综合自动化变电站。

4 结论

根据以上对于智能变电站与综自变电站的估算结果, 我们可以列出表 2。

通过表 2 的横向比较, 可以发现变电站智能化系统的初期设置费用, 也就是一次投资成本 IC, 远较综合自动化系统大, 智能化方案比综合自动化方

案一次投资费用增加了 2000 多万元,但最终按全寿命周期成本计算的总费用智能化方案比综合自动化方案可节省 3000 多万元,由此可以看出在经济性方面,智能化方案要优于综合自动化方案。在考虑社会贴现率和通货膨胀率的影响后,两者的中断供电损失成本有着较大的差距,综合自动化系统的断电成本是智能化系统的 8 倍,这点可以说明智能化系统的可靠性明显高于综合自动化系统。另外,从表中还可以看到,智能化方案的运行成本比综合自动化方案的运行成本要降低一半,从这点可以说明,智能化系统要比综合自动化系统维护简便。

表2 智能化系统与综合自动化系统估算费用比较

费用名称	智能化系统		综合自动化系统	
	费用/万元	百分比/%	费用/万元	百分比/%
一次投资成本IC	2669	38.50	618	6.03
运行成本OC	4080.58	58.86	8161.16	79.63
中断供电损失成本FC	183.49	2.64	1469.59	14.34
总计	6933.07	100	10248.75	100

总的来看,从全寿命周期成本的角度来看,智能变电站的经济性优于综合自动化变电站,变电站

智能化系统的可靠性要远高于综合自动化系统,而且智能化系统也比综合自动化系统维护简便,因此,综合自动化变电站被智能化变电站所取代是必然的。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 陆海松,冯柯,鲁东林.LCC 分析法在工程装备选型决策中的应用[J].解放军理工大学学报,2000,1(2):47-49.
- [3] 帅军庆.全寿命周期成本管理是公司可持续发展的重要举措[J].上海电力,2004(3).
- [4] 张俊.基于全寿命周期成本(LCC)的变电站建设的决策分析[D].重庆:重庆大学,2007.

作者简介:

李 哲 (1971-),男,江苏张家港人,高级工程师,从事电力相关领域咨询及规划,E-mail: lizhe17@126.com;
张 沁 (1970-),女,江苏武进人,从事数控实习培训工作。