

基于全寿命周期管理的电力设备状态检修成本研究

刘晓燕

(《江苏电机工程》编辑部,江苏南京 211103)

摘要: 全寿命周期成本(LCC)管理是以设备、项目的长期经济效益为出发点,全面考虑设备或系统从规划设计直至报废的全过程,以使成本最小化。在综合分析 LCC 理论发展的基础上,结合状态检修策略,通过分析变压器、开关、高压电缆电网主设备运维检修阶段 LCC 模型构成及参数灵敏度分析,区分识别出运维阶段主要数据,为电力系统全寿命周期管理系统构建提供参考。

关键词: 全寿命周期管理;状态检修;LCC 模型;灵敏度分析

中图分类号: F426.61

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2016)05-0074-03

资产全寿命周期成本(LCC)管理^[1-3]是指从资产的长期效益出发,全面考虑资产的规划、设计、采购、建设、运行、检修、技改、报废的全过程,在满足安全、效益、效能的前提下追求资产 LCC 最低的一种管理理念和方法。LCC 具有全系统、全费用、全过程特点,技术一般包括 LCC 估算、LCC 分析、LCC 评价和 LCC 管理等;在具体实施过程中,主要包括 LCC 设备管理范围选择、LCC 模型建立、LCC 费用分解、LCC 参数灵敏度分析等。电网设备状态检修是指电网公司以安全、可靠性、环境、成本为基础,通过设备状态评价、风险评估、检修决策,达到运行安全可靠、检修成本合理的一种检修策略。文中将 LCC 管理理念贯穿到设备状态评价与状态检修中,分析不同电力一次设备在运维检修阶段 LCC 成本构成及关注重点,为电力公司全寿命周期管理系统构建提供参考。

1 LCC 理论概述

目前 LCC 管理理念广泛应用于交通运输、国防安全、电力系统、能源石化以及住房建设等领域。美、英、法、日等相继成立 LCC 委员会,推广 LCC 在其国内的普及应用;国际电工委员会(IEC)等机构相继制定适合 LCC 应用的国际标准,推广相应领域内对 LCC 的应用^[4,5]。在电力系统中,LCC 管理方法最先由美国应用于核电站,并逐步扩大到加拿大、欧盟等国家的电网中。国网公司于 2008 年全面引入 LCC 理念,开展相应 LCC 管理研究工作;上海市电力公司认识到应用 LCC 技术对企业可持续发展有着重要的战略意义,十分重视开展 LCC 工作。同时,国内的专家和学者也研究和探讨 LCC 在电力系统中的应用^[6,7],在变电站建设技改、输变电设备维修等方面取得了一定成果。

1.1 LCC 成本分解

LCC 管理方法的核心内容是对设备在整个 LCC

进行费用分解、LCC 计算,然后决策。针对输变电设备,可以得到如下的 LCC 费用计算模型:

$$C_{LCC} = C_1 + C_0 + C_M + C_F + C_D \quad (1)$$

式中: C_{LCC} 为全寿命周期成本; C_1 为投入成本; C_0 为运行成本; C_M 为维护成本; C_F 为故障成本; C_D 为废弃成本。

1.2 LCC 参数灵敏度分析

对各个环节费用中的参数进行灵敏度分析,以便找出关键参数。对于 LCC 来说,逐级进行各项费用分解,谨慎对待、重点分析其中具有较大影响的参数。

1.2.1 LCC 估算式普通结构

一般来说,LCC 估算过程中可以利用参数法、工程法、类比法等方法,在构建 LCC 估算模型时,需首先分解费用结构,确定基本关系式,然后利用所知数据,代入回归以确定关系式的相关系数。LCC 估算模型如(2),各参数含义如表 1 所示。

$$C_{LCC} = f(C_1, C_2, \dots, C_m) = a_1 C_1 + a_2 C_2 + \dots + a_m C_m \quad (2)$$

表 1 LCC 参数含义

参数	含义	实例
C_1, C_2, \dots, C_m	费用影响因素	设备数量 设备容量 单位价格 使用年限 故障间隔平均时间 故障修复平均时间
a_1, a_2, \dots, a_m	费用系数	常数 C_1, C_2, \dots, C_m 的函数

1.2.2 敏感性分析函数

对式(2)各相参数进行求导,相关参数的偏导函数数值与 LCC 对该参数敏感性成正比。因此,参数敏感性分析函数为:

$$\frac{\partial C_{LCC}}{\partial C_i} = \frac{\partial}{\partial C_i} f(C_1, C_2, \dots, C_m) = a_i \quad (3)$$

1.2.3 敏感度的工程计算

对于 C_1, C_2, \dots, C_m , 根据工程经验,可粗略地确定

其最小值 $C_{1\min}, C_{2\min}, \dots, C_{m\min}$ 和最大值 $C_{1\max}, C_{2\max}, \dots, C_{m\max}$ 。由此可以计算出平均值 $C_{1\text{mid}}, C_{2\text{mid}}, \dots, C_{m\text{mid}}$ 。其中:

$$C_{m\text{mid}} = (C_{i\min} + C_{i\max}) / 2 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

利用 $C_{1\text{mid}}, C_{2\text{mid}}, \dots, C_{m\text{mid}}$ 和各参数敏感性的函数式,可以确定相应敏感性函数:

$$\frac{\partial C_{\text{LCC}}}{\partial C_i} = \frac{\partial}{\partial C_i} f(C_{1\text{mid}}, C_{2\text{mid}}, \dots, C_{m\text{mid}}) = a_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

1.2.4 敏感性参数选择与应用

利用各参数 $C_{1\min}, C_{2\min}, \dots, C_{m\min}$ 和 $C_{1\max}, C_{2\max}, \dots, C_{m\max}$, 可以计算出 LCC 受该参数影响时的最小值和最大值, 设:

$$|a_i C_{i\min}| = SL_{C_{i\min}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$|a_i C_{i\max}| = SL_{C_{i\max}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

式(6)、(7)计算结果反映了各参数对 LCC 绝对值的影响规律。

2 电网主设备运维 LCC 成本分析

2.1 运维成本构成

电力设备运行维护阶段对应的成本主要包括运行成本 CO、维护成本 CM 和故障成本 CF。

CO 主要包括设备运行期间的能耗费用、为确保设备运行无异常而由运行单位所进行的日常巡视检查费用;另外随着大众对环保的日益关注,运行费用还包括支付的环保费用等。具体到电网设备中,诸如断路器、隔离开关等设备其能耗费用可以忽略不计;而对变压器等设备,其能耗费用具体包括变压器本体能耗费用和变压器辅助设备能耗费用两部分。其中,前者又分为空载能耗和负载能耗费用,并均可以对应到能量损失与电价的乘积。

CM 主要包括周期性的解体检修费用、检修维护费用两大类,主要是指设备达到检修周期时所发生的材料、人工费用。设备检修维护主要包括预防性试验、日常维护保养、小修、大修(计划及非计划)等。每项检修维护费用包括设备供应商提供的设备材料费以及检修维护服务费,设备业主方在检修维护中提供的设备材料费、交通运输费以及人工费。

CF 主要包括故障检修费用、故障损失费,是指因设备故障引起的检修费用以及因此而产生的直接和间接损失费用。对于故障检修费用,可以将其列入 CM 或者 CF 中;这里为了明确设备故障时的费用,将其列入 CF。故障检修费主要包括故障现场的检修费用以及如需返厂修理所引起的其他费用。

故障损失费用主要指由于电网设备故障造成的用

户停电而带来的经济损失,是供电可靠性的直接经济体现;主要包括售电减少损失费、设备性能损耗及相应的寿命损失以及其他间接损失费。这里着重介绍故障停电损失费,其包括直接损失和间接损失。其中,前者是因为售电暂停而无法获得的电费收入;后者是指对用户停电损失的赔偿费。

停电成本的计算比较复杂,目前国际上关于停电成本主要由以下 2 种简单估算方法:

(1) 按国内生产总值 GDP 计算。该方法是按 GDP 减少量/(kW·h)来计算平均停电成本,反映了停电对国内整体经济影响。

(2) 按电价倍数计算。该方法先对各种类型用户的停电损失进行及时调查、分析,然后乘以平均电价倍数来估算停电损失。以英国为例,不同负荷时电价倍数如表 2 所示。

表 2 不同负荷时电价倍数

行业	价倍数	行业	价倍数
工业	60	居民	70
商业	70	综合	50

2.2 输变电一次主设备运维 LCC 成本分析

输变电一次主设备主要包括变压器类设备、开关类设备、高压输电电缆等,各设备由于运行环境、故障种类不同,其 LCC 成本构成有较大差异。

由表 3 可以看出,对于开关类设备^[4-6],其运行成本主要由日常巡视费组成;检修成本中 A、B 类检修由设备评价状态和产品设计参数综合决定,C、D 类检修主要由电力公司经验数据决定;故障成本中,设备的年故障率指产品运行数据由厂家提供并结合采纳电力公司历史数据。

对于变压器类设备,其运行成本主要由变压器能耗费用及日常巡视费组成,其中能耗费用主要由变压器空载、负载参数决定;检修成本中 A、B 类检修由设备评价状态和产品设计参数综合决定,C、D 类检修主要由电力公司经验数据决定;故障成本中,设备的年故障率指产品运行数据由厂家提供或采纳电力公司历史数据。

对于电缆类设备,其运行成本主要由能耗费用及日常巡视费组成,其中能耗费用主要由线路电阻参数决定;检修成本中 A、B 类检修由设备评价状态决定,C、D 类检修主要由电力公司经验数据决定;故障成本中,设备的年故障率指产品运行数据由厂家提供或者采纳电力公司历史数据。

综合上述分析,针对线圈类设备、开关类设备、高压输电电缆等设备,在采购阶段所需关注的重点参数如表 4 所示。为开展此类设备 LCC 运维成本进一步分析计算,需要数据参数如表 5 所示。

表3 输变电一次主设备 LCC 运维成本分析

成本构成		开关类	变压器类	电缆	
详细分类	说明				
运行成本	设备能耗费	忽略不计	产品运行数据,厂家	产品运行数据,厂家	
	日常巡视费	供电公司经验数据	供电公司经验数据	供电公司经验数据	
检修成本	A类检修费用	“严重状态”; 产品设计,需重点考虑	“严重状态”; 产品设计,需重点考虑	“严重状态”	
	B类检修费用	“严重状态”、“异常状态”; 产品设计,需重点考虑	“严重状态”、“异常状态”; 产品设计,需重点考虑	“严重状态”、“异常状态”	
	C类检修费用	供电公司经验数据	供电公司经验数据	供电公司经验数据	
	D类检修费用	供电公司经验数据	供电公司经验数据	供电公司经验数据	
故障成本	故障检修费	年故障率	产品运行数据,厂家	产品运行数据,厂家	
		现场故障修复费	供电公司经验数据	供电公司经验数据	
	故障损失费	年故障率	产品运行数据,厂家	产品运行数据,厂家	产品运行数据,厂家
		停电损失费用	供电公司经验数据	供电公司经验数据	供电公司经验数据
	电网支援电量费用	供电公司经验数据	供电公司经验数据	供电公司经验数据	

表4 输变电一次主设备 LCC 采购关注重点

设备	采购阶段重点参数
开关类	设计 A、B 类检修次数,设备 A、B 类检修缺陷率、年故障率
变压器类	空载、负载能耗,设计 A、B 类检修次数,设备 A、B 类检修缺陷率、年故障率
高压电缆类	负载能耗,设备 A、B 类检修缺陷率、年故障率

表5 LCC 运维成本分析所需进一步数据

数据	配合
设计 A、B 类检修次数	设备厂家
年故障率	地方电力公司
设备 A、B 类检修缺陷率	
A、B 类检修成本	财务部

3 结束语

在综合分析 LCC 理论发展的基础上,结合状态检修策略,通过分析运维检修阶段 LCC 模型构成及参数灵敏度分析,区识别出变压器、开关、高压电缆电网一次主设备运维阶段主要数据,得出主要结论如下:

(1) 开关类设备采购时应关注设计 A、B 类检修次数,设备 A、B 类检修缺陷率、年故障率;(2) 变压器类设备采购时应关注空载、负载能耗,设计 A、B 类检修次

数,设备 A、B 类检修缺陷率、年故障率;(3) 高压电缆类设备采购时应关注负载能耗,设备 A、B 类检修缺陷率、年故障率。

参考文献:

- [1] 李鸿雁. 全寿命周期成本在国家电网公司招标管理中的应用研究[D]. 北京:华北电力大学,2012.
- [2] 滕乐天,陈红兵,王怡风,等. LCC 在设备采购中的应用实践[J]. 华东电力,2007,35(10):27-29.
- [3] 赵颖. 基于全寿命周期管理理论的青岛错埠岭 220 kV 输变电项目管理研究[D]. 北京:华北电力大学,2009.
- [4] SWEETSTER C, (Bill)ERGMAN W J, MONTILLET G. Strategies for Selecting Monitoring of Circuit Breaker. IEEE Transaction On Power Delivery, 2002, 17(3): 156-160.
- [5] ZHANG Z, YU T B, LIANG B Z, et al. AHP-based Vendor Evaluation in Combination with FCE[J]. Journal of Northeastern University, 2006, 27(10):1142-1145.
- [6] 凌峰,汤旭烽,卫志农. 全寿命周期成本在海上风电输电方式经济性评估中的应用[J]. 江苏电机工程,2013,32(5):5-9,12.
- [7] 杨江,宣伟锡,姜念. 基于全寿命周期的城市电力管沟规划建设模式研究[J]. 江苏电机工程,2016,35(3):34-38.

作者简介:

刘晓燕(1963),女,江苏仪征人,高级工程师,从事电力系统科技信息研究和《江苏电机工程》期刊编辑工作。

Study on Electrical Equipment Condition-based Maintenance Cost with Life Cycle Cost Theory

LIU Xiaoyan

(Editorial Department of Jiangsu Electrical Engineering, Nanjing 211103, China)

Abstract: Life Cycle Cost (LCC) management takes long-term economic benefits as starting point, and the whole process from design to retirement is fully considered in order to minimize costs. The development of LCC theory is analyzed firstly in this paper. Then, combined with condition-based maintenance strategy, the LCC model and sensitivity analysis of the key equipment such as transformer, switch, high voltage cable are studied. Finally, the key data in the operation and maintenance process is identified to give reference to power system life-cycle management system building.

Key words: life cycle cost management; condition-based maintenance; LCC model; sensitivity analysis