

基于设备全生命周期成本的老旧变压器评估

房博一, 阳仁庆, 王贵山, 周经中, 龙志祥

(中国南方电网有限责任公司超高压输电公司柳州局, 广西 柳州 545000)

摘要:本文以某运行近 25 年的老旧变电站 500 kV 电力变压器为实例研究了变压器设备的全生命周期成本为实例, 基于该变电站运行多年以来的运行数据, 对该站主变的材料、性能、运行工况进行分析, 结合 20 年前生产制造的工艺、水平和技术能力, 考虑包括初始投资成本、运行成本、检修维护成本、故障成本以及退役处置成本, 对某变电站 500 kV 主变压器的全寿命周期成本进行综合评估, 并通过电力变压器对合资品牌以及国产优质品牌 2 个质量水平的产品进行分析比较, 得出了设备购置成本对 LCC 的控制起到主导作用, 在检修维护成本、故障成本以及退役处置成本占比不大的情况下, 合资品牌产品较高的设备购置费用不利于成本的控制, 国产优质品牌产品的全寿命周期成本相对更优的结论。

关键词:全生命周期; 成本; 变压器; 老旧设备

文章编号:2096-4633(2018)01-0075-05 **中图分类号:**TM41 **文献标志码:**B

目前, 电气设备包括采购、施工、运行、维护和废除各阶段的工作, 基本上分开独立进行的^[1]。而通过电气设备的全寿命周期分析结果, 可以站在整个设备寿命周期的角度对设备的各个阶段进行有机的整合, 使得设备在整个寿命周期内达到成本的最优化^[2-3]。

1 项目研究背景及意义

全寿命周期成本是指设备在预期的寿命周期内, 为其论证、研制、生产与保障以及退役所支付的所有费用之和。全寿命周期管理是从固定资产的长期经济效益出发, 全面考虑固定资产的规划、购置安装、运行、维护、改造、更新直至报废的全过程, 使生命周期相对成本最小的一种管理理念和方法^[4-5]。电气设备的设计寿命一般为 30 年, 某 500 kV 变电站投运至今已逾 25 年, 初期投运的主要设备已经接近其设计寿命年限。电力系统运行过程中的复杂工作环境给电气设备的各个部件带来的不可逆的影响, 使得设备发生故障的概率大大提高, 给变电站以及电网的安全运行带来隐患。老旧设备还能否合格的胜任工作成为目前运行人员关心的问题。

2 国内外研究现状

全寿命周期成本概念起源于瑞典铁路系统,

1965 年美国国防部在全军实施。1996 年国际电工委员会(IEC)发布了相关国际标准(IEC60300-3-3), 并于 2004 年 7 月又发布了修订版^[6-7]。此外, 国际大电网会议(CIGRE)在 2004 年提出要用全寿命周期成本来进行设备管理, 鼓励制造厂商提供产品的全寿命周期成本报告。国际上各重要电力设备制造商, 如 ABB、Siemens 等, 也在对产品的全寿命周期成本进行了相关研究^[8-10]。国外电力公司非常重视全寿命周期成本管理, 通过资产管理计划制定资产的全寿命周期管理策略; 国内电力行业全寿命周期成本的应用也于近年逐步开展, 并越来越受到重视^[11-12]。国家电网公司在 2008 年年中工作会议和第四季度会议上, 对加资产全寿命周期管理作出统一部署, 高度概括了开展全寿命周期管理的重要性和必要性。全寿命周期成本研究正在国内外逐渐形成推广应用之势。

3 项目主要研究内容

本文基于某 500 kV 变电站运行多年以来的运行数据, 对该站主变的材料、性能、运行工况进行分析, 结合 20 年前生产制造的工艺、水平和技术能力, 进行综合评估。

(1) 基于来宾站设备运行日志及今年检修试验报告, 对设备状态进行评价, 确定设备目前所处的状态。

(2)对包含成本、环境、人身安全、电网安全在内的要素进行综合分析计算,确定设备的可能损失资产。并基于设备状态评价结果确定设备风险值。

(3)进行设备全寿命周期成本研究,对不同质量水平的设备进行计算,并分析比较设备在全寿命过程中的成本分布,提出设备采购及检修维护策略。

4 主变 LCC 分析

4.1 主变全寿命周期成本计算

500 kV 变压器价格高昂,采用纯进口设备进行采购需要交纳高额的进口税费,主变体积较大属于大件物品的运输范畴,长距离的运输费用同样不菲。因此主变压器的 LCC 分析计算对象只针对合资品牌以及国产优质品牌进行,不考虑纯进口水平的产品。选择具有相同技术参数不同水平主变 A、B,其中主变 A 为合资水平设备,B 为国产优质水平设备。结合厂家生产的主变历史数据,对以上 2 种 500 kV 变压器的 LCC 进行计算与分析^[13-14]。

500 kV 变压器的主要技术参数:新的 1 号主变

压器为单相式自耦无载调压变压器,共配置三台单相变压器,组成三相变压器组。额定电压为 550/242 ± 2 × 2.5%/34.5 kV,额定容量为 250/250/80 MVA(单台),连接组别为 YN,ao,d11;额定电流 787.3/1789.3/2318.8A,中性点直接接地,变压器采用无载调压方式,调压分接头在中压侧,设置五档分接头,冷却方式采用 ONAN/ONAF(70%/100%),即自然循环自冷/自然循环风冷。主变负荷最大利用小时数 $T_{max} = 6500$ h,空载损耗 $p_0 = 65$ kW;负载损耗 $p_k = 350$ kW,最大负荷率 80%。为了便于分析和比较,主变的使用寿命统一按照 30 年计。根据近期国家发改委的规定,将社会折现率取为 $r = 8\%$,社会贴现率取为 $R = 4\%$ 。其他相关数据根据历史经验和运行习惯得到。

(1)初始投资成本计算。变压器 A、B 的初始投资成本如表 1 所示,初始投资成本包含了购置费和安装调试费。进口设备制造成本高,并且购置过程中需要支付设备进口关税以及大件物品长距离的高额运输费^[15],设备购置费明显高于合资及国产优质产品。设备的安装调试费用处于同一水平。

表 1 初始投资成本

Tab. 1 Initial investment cost

成本项目	A	B
购置费/万元	2400	2000
安装调试费/万元	42	42
初始投资成本现值合计/万元	2442	2042

(2)运行成本计算。变压器 A、B 的运行成本包含日常巡视检查费用和环保费用、以及电能损耗费用。随着高压电气设备技术方向趋于一致,不同电气设备的操作及日常巡视要求也基本相同,在本次研究中将不同变压器在 LCC 成本计算中的巡视检查和环保费用视为相同。

变压器是电力系统中电能损耗的主要设备,其在运行状态下始终消耗着电能。据估计,我国变压器总损耗占到系统总发电量的 3% - 5%。电能损耗计算取经验系数 $K = 0.3$,得到年负荷损耗率:

$$\eta = K\left(\frac{T_{max}}{8760}\right) + (1 - K)\left(\frac{T_{max}}{8760}\right)^2 \quad (1)$$

变压器的年电能损耗电量:

$$\Delta W = (p_0 + \beta_2 p_k) \times \eta \times 8760 \quad (2)$$

电费按照 0.5 元/kWh 计算,可以得到 C_{sh} 。

设备的运行成本如表 2 所示。

(3)检修维护成本计算。根据南方电网公司《电力设备检修规程》对变压器主要零部件及本体的检修周期要求,除有载调压开关以外的主要零部件及设备本体检修周期为 3 年,有载调压开关的检修周期为 6 年。根据目前 500 kV 主变的制造水平,设备厂家对规定的检修维护周期均大于规程要求。因此本次研究按照电力设备检修规程周期进行计算。变压器 A 厂家承诺主变终身免拆解维护所以该部分费用为零。如变压器 A、B 的检修维护成本如表 3 所示。设备的检修维护成本如表 3 所示。

(4)故障成本计算。变压器 A、B 的故障成本如表 4 所示,故障成本为故障修复费用。设备的故障

率与每个阶段的持续周期及平均故障率有关。高质量水平的电气设备,在全寿命周期过程中拥有更长的偶发故障区,及更短的损耗故障期。同时各个阶段内保持较低的平均故障率,发生故障的维修成本

也更低。设备的故障成本计如表 4 所示。
(5)退役处置成本计算。变压器 A、B 的故障成本如下表所示,退役处置成本包含处理费用和设备残值。设备的退役处置成本如表 5 所示。

表 2 运行成本
Tab. 2 Cost of running

成本项目	A	B
年巡视检查费用/万元	10. 00	10. 00
30 年巡视检查费用现值/万元	182. 98	182. 98
年环保费用/万元	1. 00	1. 00
30 年环保费用现值/万元	18. 30	18. 30
年电能损耗费用/万元	230. 89	230. 89
30 年电能损耗费用现值/万元	4224. 86	4224. 86
30 年运行成本限制合计/万元	4426. 09	4426. 09

表 3 检修维护成本
Tab. 3 Cost of overhaul and maintenance

成本项目/万元	A	B
每次周期性检修维护费用	8	8
30 年内周期性检查维护费用	41. 04	41. 04
每次周期性解体维修费用	0	26. 00
30 年内周期性解体维修费用	0	13. 00
30 年内检修维护成本现值合计	41. 04	54. 04

表 4 故障成本
Tab . 4 Cost of fault

成本项目	A	B
年故障率%	4. 67	6. 67
平均修复费用/(万元·每次-1)	20	45
年故障费用/万元	0. 94	3. 00
30 年故障成本现值合计/万元	17. 25	54. 83

表 5 退役处置成本
Tab. 5 Cost of decommissioning disposal

成本项目	A	B
处理费用/万元	15. 00	15. 00
处理费用现值/万元	5. 02	5. 02
残值/万元	- 720. 00	- 600. 00
残值现值/万元	- 240. 98	- 200. 82
退役处置成本现值合计/万元	- 235. 93	- 195. 80

4. 2 变压器的 LCC 比较

对表 1 至表 5 各部分成本进行合计,即可得到

变压器 A、B 的每部分成本值和总成本即 LCC,如表 6 所示。

表 6 变压器 LCC 计算结果

Tab. 6 Calculation results of transformer LCC

	C_{CI}	C_{CO}	C_{CM}	C_{CF}	C_{CD}	LCC
A	2400	4426	41	17	- 235	6648
B	2000	4426	54	54	- 195.	6339

在购置成本上,代表合资水平的变压器 A 明显高于代表国产优质水平的变压器 B。考虑设备全寿命周期成本的 LCC 计算结果显示,代表国产优质设备水平的变压器 B 表现最优,比 A 设备减少 309.3 万元。

4.3 变压器的 LCC 分析

从 LCC 结果可以知道,不同阶段的成本对 LCC 成本的影响及在 LCC 成本当中的占比不同。各阶段的 LCC 成本占比如表 7 所示。

表 7 各部分成本占比(%)

Tab. 7 Cost ratio of each part (%)

	C_{CI}		C_{CO}			C_{CM}		C_{CF}	C_{CD}	LCC
	C_{gz}	C_{az}	C_{xs}	C_{hb}	C_{sh}	C_{jwxx}	C_{jwzh}			
A	36.1	0.6	2.8	0.3	63.5	0.0	0.6	0.3	-3.5	100
B	31.5	0.7	2.9	0.3	66.6	0.2	0.6	0.9	-3.1	100

主变压器是电力系统中的主要耗能设备,其损耗是设备采购过程中重点关注的一项技术参数。在变压器 LCC 计算结果中,主变运行损耗占到总成本的约 60%。在设备的招投标过程中,设备技术规范书对变压器空载损耗以及负载损耗做出要求,要求应标设备厂家的产品等于或者优于该参数。根据厂家出厂试验报告可以知道,厂家应标产品一般情况根据自身产品序列以及产品生产线的要求进行生产,与设备厂家生产水平没有直接关系,无法表征不同制造水平设备之间的运行成本差距,因此本文按照相同的损耗条件进行计算。在实际 LCC 计算中,可以根据厂家的实际相应参数进行计算。

除去设备运行损耗成本,变压器的成本集中于设备初始购置成本中。在不同质量水平变压器购置成本差距较大,运行及检修维护成本所占的比例很小的情况下,设备购置成本成为了变压器 LCC 的主导因素。

5 结论

本文针对 500 kV 电力变压器的全寿命周期成本进行分析比较。通过考虑包括初始投资成本、运行成本、检修维护成本、故障成本以及退役处置成本,分析某变电站 500 kV 主变压器的全寿命周期成本。电力变压器对合资品牌以及国产优质品牌 2 个质量水平的产品进行分析比较。

电力变压器的 LCC 成本中,设备购置成本以及运行成本中的运行损耗成本占到总成本的约 30% 以及 60%,检修维护成本、故障成本以及退役处置成本仅占不到 10%。由于变压器的运行损耗受招标方技术参数要求的控制,厂家根据自身产品的布局及生产线的实际生产能力,其响应参数在满足应标要求的前提下各有优劣,与设备生产厂家的制造水平无关,因此这一项成本在不同的工程招投标过程中需根据具体的应标参数进行确定。除此之外,设备购置成本对 LCC 的控制起到主导作用,在检修维护成本、故障成本以及退役处置成本占比不大的情况下,合资品牌产品较高的设备购置费用不利于成本的控制,国产优质品牌产品的全寿命周期成本更优。

参考文献:

- [1] 刘昌,吕蜀明,刘志强等. 南方电网公司资产全生命周期管理研究[J]南方电网技术 2014,8(02):113-116.
LIU Chang, LU Shu Ming, LIU Zhiqiang, et al. South power grid corp asset lifecycle management of china southern power grid[J] Technology 2014,8[02]:113-116.
- [2] DNALD P, BREIDENBACH. Life cycle cost analysis[J]. Aerospace and Electronics Conference, 1989 (5):1216-1220.
- [3] 史京楠,韩红丽,徐涛. 全寿命周期成本分析在变电工程规划设计中的应用[J]. 电网技术, 2009, 9(33): 63-66.
SHI Jingnan, HAN Hongli, XU Tao. Application of lifecycle costs analysis in planning design of power transformation projects [J].

- Power System Technology,2009,9(33):63-66.
- [4] 姚明,陈红兵. 全寿命周期成本(LCC)方法在500 kV地下变电站GIS采购中的应用[J]. 中国电力,2008,8(41):32-34.
- YAO Ming, CHEN Hongbin. Research of LCC method and its applications to gis purchases in 500 kV underground substations[J]. Electric Power,2008,8(41):32-34.
- [5] 杨凌辉,刘兆林. 基于失效建模和概率统计的高压断路器寿命评估探讨[J]. 华东电力,2009,2(37):2010-02-12.
- YANG Linghui, LIU Zhaolin. HV circuit breaker life time assessment based on the failure model and probability statistics[J]. East China Electric Power,2009,2(37):2010-02-12.
- [6] 曹杨. 基于LCC理论的电力设备采购评标方法及其应用研究[D]. 重庆:重庆大学,2008.
- [7] 蒋仁言,威布尔模型族特性、参数估计和应用[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [8] 施吉林. 计算机数值方法[M]. 北京:高等教育出版社,2009.
- [9] 赵永翔,张质文. 相邻大修周期机器可靠性和性能劣化的新模型[J]. 机械工程学报,1996,1(32):23-27.
- ZHAO Yongxiang, ZHANG Zhiwen. New model for predicting machine reliability and performance degradation between neighboring overhaul circles[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering,1996,1(32):23-27.
- [10] 赵丽华,高进强,郭相国. 浅谈电力设备智能化[J]. 高压电器,2010,46(12):1-4.
- ZHAO Lihua, GAO Jinqiang, GUO Xiangguo. Discussion on intelligent electric power equipment[J]. High Voltage Apparatus, 2010,46(12):1-4.
- [11] 武星,殷晓刚,魏泉,等. 电力产品可靠性研究的本质动因和前景展望[J]. 高压电器,2011,47(10):75-80.
- WU Xing, YIN Xiaogang, WEI Quan, et al. Motivation and prospect of research on electrical equipment reliability[J]. High Voltage Apparatus,2011,47(10):75-80.
- [12] 陆爽,陈红兵,肖福利. 资产全寿命周期管理在物资采购中的应用研究[J]. 华东电力,2010,38(9):1323-1326.
- LU Shuang, CHEN Hongbing, XIAO Fuli. Research on application of Life cycle asset management in materials procurement[J]. East China Electric Power,2010,38(9):1323-1326.
- [13] JEROMIN I, BALZER G, BACKES J, et al. Comparison between gas and air insulated network concepts with the life cycle cost[C]// Proceedings of the International Symposium Modern Electric Power Systems. [S.l.]:IEEE,2010:1-5.
- [14] 查申森,郑建勇,胡继军. 基于全寿命周期理念的500 kV变电站初期主接线选择[J]. 电网技术,2010,34(3):117-122.
- ZHA Shensen, ZHENG Jianyong, HU Jijun. Selection of main electrical connection of a 500 kV substation in initial stage based on idea of life cycle[J]. Power System Technology,2010,34(3):117-122.
- [15] 邹积岩,胖志玲,尹承尚. 高压开关设备的状态检修技术[J]. 高压电器,1999,35(5):45-47.
- ZOU Jiyang, PAN Zhiling, YIN Chengshang. Condition based maintenance technology of high-voltage switchgear equipment[J]. High Voltage Apparatus,1999,35(5):45-47.

收稿日期:2017-11-08

作者简介:



房博一(1987),本科,工程师,主要从事电力设备管理方面的工作。

(本文责任编辑:范斌)

An old transformer evaluation based on total life cycle cost of equipment

FANG Boyi, YANG Renqing, WANG Guishan, ZHOU Jingzhong LONG Zhixiang,

(Liuzhou Bureau, EHV Power Transmission Company of CSG, Liuzhou 5450006 Guangxi, China)

Abstract: In this paper, the whole life cycle cost of transformer equipment is studied by an example of 500 kV power transformer in an old transformer substation that has been running for nearly 25 years, based on the data of the substation operation for many years, the station of the main transformer materials, performance, operation condition is analyzed, combining with the manufacturing process of 20 years ago, level and technical ability, consider including the initial investment cost, operation cost and maintenance cost, fault and decommissioning disposal cost, The total life cycle cost of 500 kV main transformer in a substation is evaluated comprehensively, Through the analysis and comparison of the two quality level products of the joint venture brand and the domestic high-quality brand by the power transformer, it is concluded that the purchase cost of the equipment plays a leading role in the control of LCC, In the case that the cost of overhaul and maintenance, the cost of failure and the cost of decommission-disposal are relatively small, the purchase cost of the high equipment of the joint venture brand is not conducive to the control of cost, The whole life cycle cost of domestic high quality brand products is relatively superior.

Key words: whole life cycle; cost; transformer; old equipment