

Study on the Maintenance Strategies of Transmission and Transformation Equipment Based on Life Cycle Cost Model

Zhaoting Li

Guangzhou Power Supply Bureau Co., Ltd., Guangzhou Guangdong
Email: 285919913@qq.com

Received: Dec. 4th, 2017; accepted: Dec. 21st, 2017; published: Dec. 28th, 2017

Abstract

The factor of LCC (Life Cycle Cost) is not considered in the present process of making maintenance strategy for power equipment, which leads to the failure of the maintenance strategy to maximize the economic benefits. In this paper, these common maintenance strategies for transmission and transformation equipment are corrected based on the LCC model considering time based maintenances and condition based maintenance. On the premise of ensuring the safe and stable operation of the system, some reasonable maintenance strategies of highly valuable in engineering are formulated, and the economic goal is realized.

Keywords

Life Cycle Cost, Power Equipment, Maintenance Strategy, Time Based Maintenance, Condition Based Maintenance

基于全寿命周期成本模型的输变电设备检修策略研究

李昭廷

广州供电局有限公司, 广东 广州
Email: 285919913@qq.com

收稿日期: 2017年12月4日; 录用日期: 2017年12月21日; 发布日期: 2017年12月28日

摘要

当前电力设备检修策略制定过程中未考虑全寿命周期成本(Life Cycle Cost, LCC)因素,存在着检修策略无法实现经济效益最大化的问题。本文以定期检修和状态维修为例,基于全寿命周期成本模型修正了常用的输变电设备检修策略。在保证系统安全稳定运行的前提下,制定出合理的检修策略,同时实现经济性的目标,具有工程实用性。

关键词

全寿命周期成本, 输变电设备, 检修策略, 定期检修, 状态维修

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

设备检修是指为保持和恢复设备完成规定功能的能力而采取的技术活动,能够保证电力系统安全、经济运行[1],所以有必要高度重视检修工作,贯彻“应修必修、修必修好”的原则。随着我国电力设备电压逐渐增高、容量逐渐增大、可靠性要求也随之增高,之前普遍使用的定期检修暴露出各种不足,比如具有盲目性、维修后易导致新的隐患,耐压试验可能造成输变电设备绝缘损伤等。基于上述问题,状态检修已经引起国内外的广泛关注。状态检修是根据先进的监测技术和诊断技术实时提供设备的状态信息,判断设备的异常,预测设备可能出现的故障,在故障发生前进行检修的方式,即根据设备的健康状态来安排检修计划,实施设备检修[2]。

在保证电力系统安全运行的前提下,其经济性也是电力企业追求的目标。全寿命周期成本(Life Cycle Costs, LCC),指设备在其生命周期内,即从设备设计与开发、制造、安装、运行、维护以及废弃各个阶段折现后总的成本[3]。因此,本文以定期检修和状态检修为例,基于LCC模型完善了不同的检修策略,能够在保证电力系统安全稳定运行的基础上,制定出合理的检修策略,实现经济性的目标,延长设备的使用寿命。

2. 电力设备全寿命周期成本模型

电力设备全寿命周期成本模型表达式如式(1)所示[4]。

$$LCC = C_1 + C_O + C_M + C_F + C_D \quad (1)$$

式中: C_1 为初始投资成本(Investment costs), 元; C_O 为运行成本(Operation costs), 元; C_M 为维护成本(Maintenance costs), 元; C_F 为故障成本(Failure costs), 元; C_D 为退役处置成本(Disposal costs), 元。

2.1. 初始投资成本 C_1

电力设备初始投资成本 C_1 指在设备建设和调试期间内,在其正式投入运行以前,所付出的一次性的投资成本,主要包括设备购置费、土地购置费、安装调试费[5]。

采用工程法对各项费用进行估算,再逐项叠加,以此来求解设备的初始投资成本,如式(2)所示。

$$C_1 = \sum C_{1n} (n=1,2,3,\dots) \quad (2)$$

式中： C_{1n} 为第 n 个元件的投资成本，元； n 为元件总个数，个。

2.2. 运行成本 C_O

运行成本 C_O 指设备运行期间所花费的所有费用之和，主要包括日常巡视费和损耗费。日常巡视费包括巡视人员的固定工资、巡视所需的设备费和材料费等。损耗费主要包括输电线路损耗费和变压器损耗费，前者包括电阻损耗费和电晕损耗费，后者包括空载损耗费和负载损耗费。

2.3. 维护成本 C_M

维护成本 C_M 主要包括日常维护成本和计划检修成本。对于可修复的设备，假设每次维修后，电力设备都能恢复到正常运行的故障水平，寿命分布的参数保持不变[6] (图 1)。

由于电力设备故障类型及其对应的维修费用是已知条件，所以设备的维护成本模型为：

$$CM = \frac{T}{T_a + T_b} \times \sum_{j=1}^q CM_j \times f_j \quad (3)$$

式中： $T/(T_a + T_b)$ 为 T 时间内的维修次数，次； q 为故障类型数，个； CM_j 为第 j 种故障类型的维修成本，元； f_j 为第 j 种故障类型的概率在所在故障类型中的比例。

2.4. 故障成本 C_F

故障成本 C_F 主要包括断电成本、修复成本和惩罚成本。断电成本指由供电量减少而造成的经济损失；修复成本指由断电到恢复供电所需的成本；惩罚成本指因断电给用户造成损失后需赔偿的成本。因此，年故障成本计算方法如式(4)所示。

$$C_F = \lambda C_R + W_{EENS} \varepsilon + W_{EENS} r \quad (4)$$

式中： λ 为年平均故障数，个， $\lambda = T/(T_a + T_b)$ ； C_R 为故障平均修复成本，元/个； W_{EENS} 为期望断供电量，kWh； ε 为输电电价，元/kWh； r 为产电比，元/kWh。因此， λC_R 为修复成本； $W_{EENS} \varepsilon$ 为断电成本； $W_{EENS} r$ 为惩罚成本。

2.5. 退役处置成本 C_D

退役处置成本 C_D 主要包括设备全生命周期结束后所需的清理成本和残值。由于残值为收入，取负值。

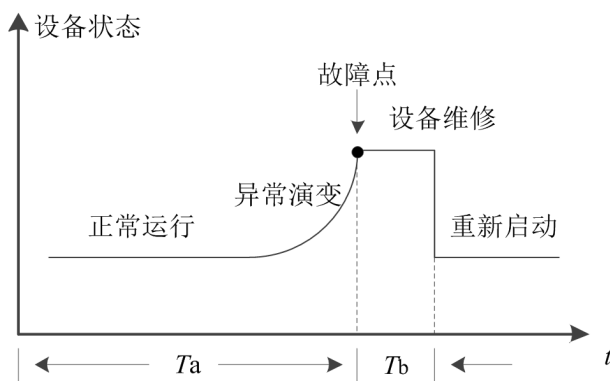


Figure 1. State transition diagram on the equipment that can repair
图 1. 可修复设备状态转化图

本文引入净残值算法进行计算。残值指设备预计生命周期结束后剩余的价值；净残值指剩余的价值(残值)减去清理成本后的价值。假设设备折旧年限为 T 年，净残值占原值 $a\%$ ，则退役处置成本如式(5)所示。

$$C_D = -C_l \times a\% \quad (5)$$

2.6. 对 LCC 模型进行经济学修正

由于资金具有时间价值，同时受到通货膨胀的影响，因此有必要对输变电设备的全寿命周期成本模型进行经济学修正。资金的时间价值引入折现率进行修正，因此基于折现率和通货膨胀率的经济学修正方法，如式(6)。

$$C_p = \sum_{t=1}^n C_t \times \frac{(1+R)^t}{(1+r)^t} \quad (6)$$

式中： C_p 为资金的现值，元； C_t 为资金第 t 年的年值，元； n 为折算年限，年； R 为通货膨胀率； r 为折现率。

3. 电力设备检修策略

根据电力设备的维修历史，其检修制度大致可分为三个阶段，即事故后维修、定期检修和状态维修[7]。

1) 事故后维修是指当电力设备发生故障或事故时进行的维修，这种检修制度以设备是否损坏为依据，属于被动式维修。

2) 定期检修(Time Based Maintenance, TBM)是指按照检修规程、以固定时间为基础的检修方式，属于预防性检修。但是由于其忽略了不同设备的现状(磨损、使用情况等)，可能导致维修过度或不足，对设备本身造成一定损伤。

3) 状态检修(Condition Based Maintenance, CBM)是指基于设备当前的状态，通过各种状态监测技术，识别故障的早期征兆，对故障部位、严重程度及发展趋势做出预判，从而确定各设备的最佳维修时间[8]。随着在线监测技术和故障诊断技术的不断发展，状态检修逐渐走向实用化，与定期检修相比，状态检修主要有以下几点[9]：

1) 状态检修可根据输变电设备的运行现状，通过综合分析来确定设备是否需要检修，何时进行检修，因此针对性更强。

2) 对于状态较好的设备，状态检修能延长维修周期，节省大量的人力、物力，避免不必要的浪费。

3) 对于状态较差的设备，状态检修能缩短检修周期，提高供电可靠性。

状态检修的基础是状态监测与故障诊断。其中，状态监测是状态特征量的收集过程，故障诊断是特征量收集后的分析判断过程[10]。目前，状态特征量的收集有以下主要途径：在线监测、离线试验、完善设备的档案。

4. 基于 LCC 模型的不同检修策略修正

4.1. 定期检修(TBM)策略

定期检修策略下，电力设备的初始投资成本、运行成本、故障成本和退役处置成本不受检修策略的影响，均保持原形不变。只有维护成本模型会发生相应的变化，如式(7)所示[11]。

$$CM_{TBM} = \frac{T}{T_{aTBM} + T_{bTBM}} \times \sum_{j=1}^q CM_j \times f_j \quad (7)$$

式中： T_{aTBM} 策略下设备平均寿命为 T_{aTBM} ；故障维修所需时间为 T_{bTBM} ； $1/(T_{aTBM} + T_{bTBM})$ 为平均故障率； q 为故障类型数； CM_j 为第 j 种故障类型的维修成本； f_j 为第 j 种故障类型的概率在所在故障类型中的比例。

4.2. 状态检修(CBM)策略

在状态检修策略下，设备的初始投资成本、维护成本均受检修策略的影响。

1) 初始投资成本

为了实现电力设备的状态检修，需要在初始投资时购置相应的检修设备，包括：在线监测设备、故障诊断系统以及相关培训等。

2) 维护成本

在状态检修策略下，电力设备的维护成本与定期检修类似，具体参见 4.1 节。

5. 结论

本文以定期检修和状态维修为例，基于全寿命周期成本模型完善了不同的维修策略，得出如下结论：

1) 当前 LCC 模型中存在一些不足，如未考虑不同检修策略下模型的不同，同时经济学修正时应同时考虑折现率和通货膨胀率等。

2) 目前电力系统的检修策略主要为定期检修和状态维修相结合的方式。

3) 针对不同检修策略，建立其相应的 LCC 模型，能够在保证系统安全稳定运行的前提下，制定出合理的检修策略，实现经济性的目标。

参考文献 (References)

- [1] 郭丽杰. 基于风险的石化动设备智能维修决策研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 化工大学, 2009.
- [2] 王丹, 邢丽敏. 变电站设备状态检修技术及其应用探讨[J]. 科技创新导报, 2011(30): 76.
- [3] Nilsson, J. and Bertling, L. (2007) Maintenance Management of Wind Power Systems Using Condition Monitoring Systems-Life Cycle Cost Analysis for Two Case Studies. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, **22**, 223-229.
- [4] 滕乐天, 陈红兵, 王怡风. LCC 在设备采购中的应用实践[J]. 华东电力, 2007, 35(10): 27-29.
- [5] 苏海锋, 张建华, 梁志瑞, 等. 基于 LCC 管理的高压直流输电线路工程设计方案评价研究[J]. 华东电力, 2011(5): 698-701.
- [6] 郭基伟, 柳纲, 唐国庆, 王英. 电力设备检修策略的马尔可夫决策[J]. 电力系统及其自动化学报, 2004(16): 6-10.
- [7] 张大波. 基于状态监测与系统风险评估的电力设备维修及更新策略研究[D]: [博士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [8] 许婧, 王晶, 高峰, 等. 电力设备状态检修技术研究综述[J]. 电网技术, 2000, 24(8): 48-52.
- [9] 宋秀省. 电力设备状态检修技术研究[J]. 低碳世界, 2013(16): 66-67.
- [10] 李刚, 于长海, 刘云鹏, 等. 电力变压器故障预测与健康诊断: 挑战与展望[J]. 电力系统自动化, 2017: 1-12.
- [11] 冀凯琳. 基于 LCC 理论的电力设备检修策略研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学(北京), 2011.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2328-0514，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：aepe@hanspub.org