

Research on Life-Cycle Reliability Costs of Transmission Lines

Mingjun Li¹, Yuqiang Ou¹, Dehua Cai¹, Suijiang Mo¹, Hanyang Shen²

¹Jiangmen Power Supply Bureau of China Southern Power Grid, Jiangmen

²Shanghai Proinvent Information Tech Ltd., Shanghai

Email: prolmj@126.com

Received: Nov. 11th, 2013; revised: Dec. 8th, 2013; accepted: Dec. 14th, 2013

Copyright © 2014 Mingjun Li et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Mingjun Li et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: The article gives calculation and comparison analysis on life-cycle reliability costs of different transmission lines, shows what is related to the lost on system of full life cycle costs, and reducing its once investment cost is an important link. But blindly reducing investment cost to reduce full life-cycle costs is not desirable, it's better to select long-life equipment according to the different stage of costs and reliability.

Keywords: Life-Cycle; Reliability; Cost Analysis

输配电线路全生命周期可靠性成本研究

李铭钧¹, 欧郁强¹, 蔡德华¹, 莫穗江¹, 沈瀚洋²

¹南方电网江门供电局, 江门市

²上海博英信息科技有限公司, 上海市

Email: prolmj@126.com

收稿日期: 2013 年 11 月 11 日; 修回日期: 2013 年 12 月 8 日; 录用日期: 2013 年 12 月 14 日

摘要: 本文对不同的输配电线路型的可靠性成本分别进行了 LCC 计算和比较分析, 说明了要减少输配电系统的全寿命周期成本费用, 降低其一次投资成本是重要环节, 但是一味降低投资成本 IC 来减少全寿命周期的成本费用并不可取, 根据线路在应全生命周期不同阶段的费用和可靠性综合来考虑, 选择利于长期运行的设备。

关键词: 全生命周期; 可靠性; 成本分析

1. 引言

架空输配电线路的可靠性运行对国民经济的快速稳定发展以及人们日常生活起着极其重要的作用。另外, 架空输配电线路设计、改造、运行和维护都需要架空输配电线路可靠性评估后提供的一些技术指导。因此, 提高供电可靠性对整个电网系统具有举足轻重的意义。提高架空输配电线路供电可靠性不仅是用户的需求也是供电企业自身发展的需要。它不但可

以减少停电损失避免因停电引起的经济纠纷还可以树立良好的供电企业形象。

电力企业在当前激烈竞争的情况下开始兼顾可靠性与成本效益。因此, 在架空输配电线路的建设时不但要考虑一次投资, 还要顾及今后运维过程中支出费用带来的可靠性收益。架空输配电线路建设和运行的总成本就称为架空输配电线路的全寿命周期可靠性成本。

架空输配电线路的全生命周期可靠性成本(Life Cycle Costs LCC)基本由：一次投资成本(Investment Costs)、运行成本(Operation Costs)、故障引起的中断供电损失成本(Failure Costs)与设备的报废成本(Discard Costs)组成(图 1)^[1]。

2. 架空输配电线路的全生命周期可靠性成本分解

2.1. 全生命周期可靠性成本 1：一次投资成本(IC)

所谓一次投资成本(IC)，就是指在架空输配电线路建设和调试期间内，在架空输配电线路正式投入运行以前，所付出的一次性的投资成本。

对于架空输配电线路来说，这一部分所包含的内容相当的多，所涉及到的配件和设备的种类和数量也很大，因此要找出一个比较通用和合适的费用模型比较困难，所以可以采用工程法对各项费用进行计算，然后逐项叠加，以此来计算架空输配电线路的一次投资成本(IC)^[2]。对其中的一些小的费用组成部分，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：

$$IC = IC_1 + IC_2 + \dots + IC_n \quad (1)$$

其中： IC_1, IC_2, IC_n 为架空输配电线路一次投资各组成部分的成本，包括：杆塔、基础、拉线、导线、防雷接地装置、绝缘子及金具和杆上输电设备等，以及各设备安装和调试期间所有的人工费、材料费以及机械费等^[2]。

2.2. 全生命周期可靠性成本 2：运行成本(OC)

架空输配电线路的运行成本，就是指架空输配电线路在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。

架空输配电线路的运行成本，一般都与架空输配电线路的电压等级相关，因此对架空输配电线路运行成本的计算，可以参照已有的架空输配电线路所支出的运行费用的历史记录，利用类比法进行计算。其费用模型可以表示为：

$$OC = \lambda_1 OC_1 + \lambda_2 OC_2 + \dots + \lambda_n OC_n \quad (2)$$

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 可以看成是新架设的架空输配电线路

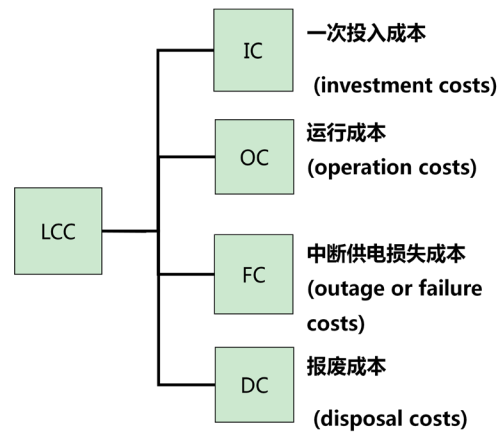


Figure 1. LCC process decomposition of overhead transmission and distribution lines

图 1. 架空输配电线路的 LCC 流程分解

路和已投运架空输配电线路各费用的比拟系数，也可以看成是各费用参数的费用系数； OC_1, OC_2, OC_n 可以看成是已投运架空输配电线路各部分的历史费用。

2.3. 全生命周期可靠性成本 3：中断供电损失成本(FC)

当电力企业中断供电时，不但会减少供电量和售电收入，还会对用户造成一定的经济损失。因此，在计算架空输配电线路的投资成本时，电力企业把因架空输配电线路故障(事故)引起的中断供电损失(FC)作为自己的成本是符合客观实际情况的，这样还能较好地将成本与供电可靠性联系起来，为项目决策提供依据^[3]。

架空输配电线路的中断供电损失成本由架空输配电线路的平均年故障率、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：

$$FC = \sum_i (\alpha \cdot \beta_i \cdot W_i \cdot T_i + \beta_i \cdot R_i \cdot MTTR_i) \quad (3)$$

其中， α 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，下文按 0.30 元/Kw·h 进行计算； W 为设备故障平均中断供电功率； T 为设备故障平均中断供电时间； β 为设备年平均故障数； R 为设备故障平均修复成本； $MTTR$ 为设备平均修复时间。

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,如杆上配电变压器的正常报废;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,如架空输配电线路在清除线路杆塔时,需填充拔除杆塔时地面留下的坑洞、平整地面的费用等^[4]。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,而这部分费用一般是以以往的历史数据作为参考,来进行大体的计算得出的。

架空输配电线路的报废成本就是各设备报废成本之和,其费用模型可表示为:

$$DC = DC_1 + DC_2 + \dots + DC_n \quad (4)$$

其中: DC_1, DC_2, DC_n 为架空输配电线路报废各组成部分的成本。

3. 架空配电导线的全生命周期可靠性成本分析

3.1. 架空配电导线的简介

架空电力线路导线是用来传输电能的,要求有良好的导电性能和机械性能。目前配电线路所用较多的是裸铝线,其由多股铝线绞制而成,易塑性使用施工,比重小,质量轻,机械强度较高,价格相对低廉,导电性能良好,因而得到了广泛的应用,但是因为防外力破坏能力较差,现被逐渐取代。随着电网建设的不断深入,配电线路已由原来的裸铝导线向绝缘导线的方向进行改造。架空绝缘导线由于多了一层绝缘层,比裸导线优越的绝缘性能,可减少线路相间距离,降低对线路的支持件的绝缘要求,提高同杆架设线路的回路数。同时由于外层有绝缘层,比裸导线受氧化腐蚀的程度小,抗腐蚀能力较强,可延长线路的使用寿命。并能有效减少受树木,飞飘金属膜和灰尘等外在因素的影响,减少相间短路及接地事故^[5]。目前南方电网某地供电分公司所辖范围 10 KV 架空配电线路共计 40239.245 km,每年每百公里线路故障停运 1.622 次,每次故障停电平均持续时间 2.99 小时;每年每百公里线路故障修复时间未 0.048 小时。

3.2. 架空配电导线的成本计算

选取 LGJ-120 (PS-15)、JKLYJ-120 (PS-15)、

JKLYJ-120 (PSL-12/4)架空配电导线的成本计算(仍以 8%的折现率计)^[6]: 如表 1

$$IC_1 = 5245 + 5245(1+0.08)^{-12} + 5245 + 5245(1+0.08)^{-24} + 5245 + 5245(1+0.08)^{-36} + 5245 + 5245(1+0.08)^{-48} = 8613.9$$

$$IC_2 = 7160 + 7160(1+0.08)^{-15} + 7160 + 7160(1+0.08)^{-30} + 7160 + 7160(1+0.08)^{-45} = 10352.98$$

$$IC_3 = 9573 + 9573(1+0.08)^{-15} + 9573 + 9573(1+0.08)^{-30} + 9573 + 9573(1+0.08)^{-45} = 13842.05$$

$$OC_1 = \sum_{t=0}^{59} 668(1+0.08)^{-t} = 8928.94$$

$$OC_2 = \sum_{t=0}^{59} 454(1+0.08)^{-t} = 6068.47$$

$$OC_3 = \sum_{t=0}^{59} 239(1+0.08)^{-t} = 3194.64$$

根据表 2 相关数据资料做中断供电损失成本 FC 的计算得:

$$FC_1 = \sum_{t=0}^{59} (\alpha_1 \cdot \beta_1 \cdot W_1 \cdot T_1 + R_1 \cdot \beta_1 \cdot MTTR_1) \cdot (1+0.08)^{-t} = \sum_{t=0}^{59} (0.3 \times 0.0265 \times 3600 \times 3.48 + 816.83 \times 0.0265 \times 2.75) \cdot (1+0.08)^{-t} = 159.12 \sum_{t=0}^{59} (1+0.08)^{-t} = 2126.91 \text{元}$$

$$FC_2 = \sum_{t=0}^{59} (\alpha_2 \cdot \beta_2 \cdot W_2 \cdot T_2 + R_2 \cdot \beta_2 \cdot MTTR_2) \cdot (1+0.08)^{-t} = \sum_{t=0}^{59} (0.3 \times 0.0141 \times 3600 \times 2.44 + 1057.6 \times 0.0141 \times 2.12) \cdot (1+0.08)^{-t} = 68.77 \sum_{t=0}^{59} (1+0.08)^{-t} = 919.23 \text{元}$$

$$FC_3 = \sum_{t=0}^{59} (\alpha_3 \cdot \beta_3 \cdot W_3 \cdot T_3 + R_3 \cdot \beta_3 \cdot MTTR_3) \cdot (1+0.08)^{-t} = \sum_{t=0}^{59} (0.3 \times 0.0032 \times 3600 \times 1.95 + 1452.3 \times 0.0032 \times 1.78) \cdot (1+0.08)^{-t} = 15.01 \sum_{t=0}^{59} (1+0.08)^{-t} = 200.63 \text{元}$$

由表 3, 表 4 计算可得

Table 1. Costs of wire units-1
表 1. 导线装置的费用参数-1

设备名称	导线规格	使用装置形式	运行年限(年)	最大载流量(A)	年运行维护费用(元/Km)	购置费用(元/Km)
裸导线	LGJ-120	PS-15	23	352	668	8613.9
绝缘导线	JKLYJ-120	PS-15	23	352	454	10352.98
绝缘导线	JKLYJ-120	PSL-12/4	23	352	239	10384.20

Table 2. Costs of wire units-2
表 2. 导线装置的费用参数-2

设备名称	设备型号	使用装置形式	年平均故障次数 β	平均故障时间 T(h)	故障中断供电功率 W(Kw)	平均修复成本 R(元/h)	平均修复时间 MTTR(h)	损失电量单价 α (元/Kw*h)
裸导线	LGJ-120	PS-15	0.0265	3.48	3600	816.83	2.75	0.3
绝缘导线	JKLYJ-120	PS-15	0.0141	2.44	3600	1057.6	2.12	0.3
绝缘导线	JKLYJ-120	PSL-12/4	0.0023	1.95	3600	1452.3	1.78	0.3

Table 3. Costs of wire units-3
表 3. 导线装置的费用参数-3

设备名称	设备型号	使用装置形式	设备退役费用(元)	设备剩余残值(元)	报废成本 DC (元)
裸导线	LGJ-120	PS-15	800	-350	450
绝缘导线	JKLYJ-120	PS-15	800	-350	450
绝缘导线	JKLYJ-120	PSL-12/4	800	-550	250

Table 4. Costs of wire units-4
表 4. 导线装置的费用参数-4

设备名称	设备型号	使用装置形式	IC	OC	FC	DC	LCC
裸导线	LGJ-120	PS-15	8613.9	8928.94	2126.91	450 × 5	21919.75
绝缘导线	JKLYJ-120	PS-15	10352.98	6068.47	919.23	450 × 4	19140.68
绝缘导线	JKLYJ-120	PSL-12/4	13842.05	3194.64	200.63	250 × 4	17237.32

$$LCC_1 = IC_1 + OC_1 + FC_1 + DC_1 = 21919.75 \text{元}$$

$$LCC_2 = IC_2 + OC_2 + FC_2 + DC_2 = 19140.68 \text{元}$$

$$LCC_3 = IC_3 + OC_3 + FC_3 + DC_3 = 17237.32 \text{元}$$

$$LCC_1 > LCC_2 > LCC_3$$

4. 全生命周期可靠性成本分析

架空配电导线的成本评估

通过比较可以发现：选用架空绝缘导线相比钢芯铝导线在不影响线路可靠性(并且能少少许提供线路可靠性)的同时，能可有效降低减少线路的投资成本、运行成本、报废成本，全生命周期可靠性成本得到有效降低，且根据线路所处地区的电力设备及基建情况，选取合

适的型号，能进度降低全生命周期可靠性成本，配电导线应向此类趋势进行淘汰改造。

5. 结论

验证了通过应用全寿命周期成本对架空输配电线路建设进行决策分析的实用性和可行性，使资金得到有效利用、资源得到有效配置，侧面说明了应用全寿命周期成本分析对提高输配电线路可靠性的积极意义。

参考文献 (References)

- [1] Stewart, M.G. and Melchers, R.E. (1997) Probabilistic risk assessment of engineering system. Chapman & Hall, London,

输配电线路全生命周期可靠性成本研究

- 274 p.
- [2] 帅军庆 (2010) 电力企业资产全寿命周期管理: 理论、方法及应用. 中国电力出版社, 北京.
- [3] 王成山, 王赛一, 葛少云等 (2002) 中压架空输配电线路不同接线模式经济性和可靠性分析. *电力系统自动化*, **26**, 34-39.
- [4] 能源部, 建设部 (1995) 城市电力网规划技术导则. 水利水电出版社, 北京.
- [5] 黄志明 (1999) 输电线路建设与展望. *中国电力*, **10**, 32.
- [6] DL/T599-2005 (2006) 城市中低压架空输配电线路改造技术导则. 中国电力出版社, 北京.