

# 电力设备全寿命周期管理分析模型的建立 及应用研究

马 薇

(北京市电力公司,北京 100031)

**摘 要:** 主要探讨如何对供电企业固定资产进行精细化管理,以实现供电企业安全供电的基本目标和追求利润最大化的目标。研究思路是遵循固定资产购置、运行、维护、报废这一生命周期过程,找出影响供电企业固定资产全生命周期正常运行的技术因素和成本费用因素,运用精细化管理理论构建出一套完整的固定资产精细化管理方法。还对供电企业中最重要固定资产——变电设备的技术参数进行回归分析、对其成本费用进行因素分析,找出了影响固定资产运行的重要因素,确立了状态检修在固定资产维护过程中的主导地位。

**关键词:** 固定资产; 全生命周期; 精细化管理; 回归分析; 绩效考核

**Abstract:** The main subject is to discuss how to apply the fine management to the fixed assets of power supply enterprises so that to achieve their fundamental aim, that is, supplying power safely, and their enterprise goal, that is, profit maximization. The research thought is to find out the technical factors and the cost factors that affect the normal operation of the life circle of the fixed assets in power supply enterprises by following the life circle of purchase, running, maintenance and retirement of the fixed assets, and to launch a full set of fine management measures for fixed assets according to the fine management theories. And then, taking the most important fixed assets of power supply enterprises – the transformation equipment as an example, its technical parameters are analyzed by using regression analysis as well as its costs by using factor analysis, so that the important factors influencing the running of fixed assets are found out, and the leading role of condition – based maintenance is defined during the maintenance of fixed assets.

**Key words:** fixed assets; life circle; fine management; regression analysis; performance assessment

中图分类号: TM407.6 文献标志码: A 文章编号: 1003 – 6954(2012)05 – 0068 – 05

## 0 前 言

变电设备的主体是变压器,它是电力生产企业最主要的生产资产之一,它的特点是设备价值高、专业性强、技术复杂、故障率也高,对管理维护的要求很高,一旦出现问题,将会导致大面积停电。由于供电企业固定资产的自身特点,对其进行精细化管理主要是对其整个寿命周期进行控制。以变电设备为例,其寿命周期主要包括购置、运行、维护、报废 4 个大的阶段。每个阶段的管理状况都直接影响变电设备的使用寿命和成本支出状况,下面将通过数学模型对其进行详细分析。

## 1 变电设备全寿命周期管理的回归分析

影响变电设备正常运行的因素有很多,例如产

地、已使用年限、定期寿命检修频率、绝缘方式、一般缺陷处理频率、有载开关检验频率、状态检修频率、购置成本等。北京电网的安全可靠性为 99.97%,且没有停滞的变电设备,也就是说一组变电设备一年只允许停止运行 2.628 h。现以某供电公司运行不超过 10 年的变电设备为研究对象,采集了 20 组数据样本,以分析上述 8 个因素对变电设备正常运行的影响为目的,建立线性回归模型。

### 1.1 线性回归模型的建立

采集了某供电公司 20 组变电设备的各类数据,根据调研结果,变电设备按照电压等级分为 500 kV、220 kV、110 kV、35 kV。不同等级的变电设备从成本,到安装调试、运行维护的差别都很大,故在采集数据样本时,只选取电压等级为 110 kV 的变电设备,因此不会影响问题的研究。产地、已使用年限、定期寿命检修频率、绝缘方式、一般缺陷处理频率、

有载开关检验频率、状态检修频率、购置成本、故障频率,分别用变量  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, y$  表示,其中变量  $x_1, x_4$  为虚拟变量。

$$x_1 = \begin{cases} 1 & \text{进口设备} \\ 2 & \text{合资设备} \\ 3 & \text{国产设备} \end{cases} \quad x_4 = \begin{cases} 1 & \text{SF}_6 \\ 2 & \text{油} \end{cases}$$

假设以上变量有如下的线性关系。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 + \beta_8 x_8 + \varepsilon \quad (1)$$

式中,令  $\beta_0 = 0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8$  是未知参数,  $\varepsilon$  是随机误差。用一组变量 ( $y_i, y_{i1}, y_{i2}, y_{i3}, y_{i4}, y_{i5}, y_{i6}, y_{i7}, y_{i8}$ ) 表示样本的第  $i$  组数据,由 (1) 式可知  $y_i$  具有如下数据结构式。

$$y = \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} + \beta_4 x_{i4} + \beta_5 x_{i5} + \beta_6 x_{i6} + \beta_7 x_{i7} + \beta_8 x_{i8} + \varepsilon_i \quad (i = 1, 2, \dots, 20) \quad (2)$$

其中,  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_{20}$  相互独立,且均服从  $N(0, \sigma^2)$ 。

### 1.2 利用 EXCEL 进行回归分析

对其进行回归,由表 1 可得  $\hat{\beta}_1 = 0.046711, \hat{\beta}_2 = -0.043816, \hat{\beta}_3 = 0.942688, \hat{\beta}_4 = 0.47123, \hat{\beta}_5 = 0.262359, \hat{\beta}_6 = 1.49173, \hat{\beta}_7 = -1.56619, \hat{\beta}_8 = 0.07232$  可得如下结果。

$$y = 0.046711x_1 - 0.04386x_2 + 0.942688x_3 + 0.47123x_4 + 0.262359x_5 + 1.49173x_6 - 1.26619x_7 + 0.072324x_8$$

(0.308) (-1.050) (0.683) (3.318) (2.731)  
(1.004) (-2.729) (1.303)

$$R^2 = 0.941699 \quad \bar{R}^2 = 0.886797$$

### 1.3 置信度检验

对故障频率与其影响因素所作的线性关系假设是否成立,进行如下检验。如果假设不成立,即有条件  $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8$ 。根据运算结果得  $F = 11.750$ ,在  $\alpha = 0.05$  的水平下,查  $F$  分布表得,  $F_{0.95}(8, 11) = 4.74$ ,由于  $11.75052 > 4.74$ ,故拒绝  $H_0$ ,即故障频率关于其影响因素的 8 个变量的回归方程在  $\alpha = 0.05$  水平下有显著意义。

### 1.4 显著性检验

由运行结果表 1 可得

$$t_1 = 0.308714, t_2 = -1.05099, t_3 = 0.68336, t_4 = 3.318813, t_5 = 2.730566, t_6 = 1.003695, t_7 = -2.72909, t_8 = 1.303238$$

$\alpha$  取  $=0.05$ ,查  $T$  分布表得  $t_{0.95}(11) = 1.796$ ,由于  $|t_1| < 1.796, |t_2| < 1.796, |t_3| < 1.796, |t_4| > 1.796, |t_5| > 1.796, |t_6| < 1.796, |t_7| > 1.796, |t_8| < 1.796$ ,所以对  $j = 4, 5, 7$  接受  $H_0, j = 1, 2, 3, 6, 8$  拒绝  $H_0$ ,也就是说在 0.05 的水平下,一般缺陷处理频率、绝缘方式、状态检修频率对故障频率有显著影响,而产地、已使用年限、定期寿命检修频率、有载开关检验频率、购置成本对故障频率没有显著影响。

### 1.5 多重共线分析

通过 EXCEL 程序检验相关系数,可得  $x_1, x_4; x_1, x_8; x_8, x_4$  可能存在多重共线,即产地、绝缘方式、产地、购置成本,绝缘方式、状态检修频率,可能存在严重的线性相关性。运用回归法对其进行分析,步骤如下。

对  $x_1$  和  $y$  进行回归,得出

$$R^2 = 0.098374 \quad \bar{R}^2 = 0.045743$$

对  $x_4$  和  $y$  进行回归,得出

$$R^2 = 0.422831 \quad \bar{R}^2 = 0.370199$$

对  $x_1, x_4$  和  $y$  进行回归,得出

$$R^2 = 0.467914 \quad \bar{R}^2 = 0.382798$$

对  $x_4$  和  $y$  进行回归,得出

$$R^2 = 0.422831 \quad \bar{R}^2 = 0.370199$$

对  $x_8$  和  $y$  进行回归,得出

$$R^2 = 0.608743 \quad \bar{R}^2 = 0.556111$$

由于  $x_8$  和  $x_4$  是负相关,所以用  $x_8$  倒数进行回归。

对  $x_4, x_8$  和  $y$  进行回归,得出

$$R^2 = 0.588137 \quad \bar{R}^2 = 0.5097$$

方程调整:对于故障频率、绝缘方式、购置成本存在严重线形相关。由于加入  $x_4$  后,拟合度并没有很大变化,所以剔除变量  $x_4$ 。原方程调整为

$$y_i = \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} + \beta_5 x_{i5} + \beta_6 x_{i6} + \beta_7 x_{i7} + \beta_8 x_{i8} + \varepsilon_i \quad (i = 1, 2, \dots, 20) \quad (3)$$

其中,  $y$  为故障时间。

对方程进行回归:由运行结果可得  $t_2 = 3.9158, t_3 = 0.2431, t_5 = 3.3837, t_6 = 1.522, t_7 = -2.098, t_8 = -2.141$ 。取  $\alpha = 0.05$ ,查  $T$  分布表得  $t_{0.95}(13) = 1.7709$ ,由于  $|t_2| > 1.7709, |t_3| < 1.7709, |t_5| > 1.7709, |t_6| < 1.7709, |t_7| > 1.7709, |t_8| > 1.7709$ ,对  $j = 2, 5, 7, 8$  接受  $H_0, j = 3, 6$  拒绝  $H_0$ ,也就是说在 0.05 的水平下,一般缺陷处理频率、状态检修频率、已使用年限、购置成本对故障频率有显著影响,而定

期寿命检修频率、有载开关检验频率对故障频率没有显著影响。

方程为

$$y = 1.162x_2 + 2.037x_5 - 6.43x_7 - 0.63x_8$$

$$(3.915\ 8) \quad (3.383\ 7) \quad (-2.098) \quad (-2.141)$$

$$R = 0.700\ 803 \quad \bar{R}^2 = 0.690\ 735$$

由以上分析可以得出结论:一般缺陷处理频率、已使用年限与故障频率是正相关;购置成本、状态检修频率与故障频率是负相关。

## 2 变电设备成本因素分析

前面提到的全寿命周期方程为基础构建模型:

$$LCC = CI + CO + CM + CD$$

式中,LCC 为全寿命周期成本( life cycle cost)。

CI为投入成本,包括采购成本及建设成本( investment costs);安装时花费的运输、人工、调试等全部费用;CO为运行成本( operation costs);试验

表1 运用差额分析法算出与均值相比较各种成本变化量对总成本变化量的影响

设备型号	运行成本 变化量	占总成本 %	维护成本 变化量	占总成本 %	废弃成本 变化量	占总成本 %	购置成本 (M)变化量	占总成本 %	总成本 变化量
合肥 ABB/SSZ	27.23	77.80	8.09	23.11	0	0	-47.5	-135.71	35
奥地利伊林 (ELIN) / TDQ - 504L11	-141.8	152.44	49.09	-52.78	0	0	102.5	-110.22	-93
西安变压器厂 /SSZ9	360.23	90.51	38.09	9.57	0	0	-197.5	-49.62	398
比利时 PAUWELS/ORF	-33.77	-225.13	49.09	327.27	0	0	52.5	350.00	15
中山 ABB /SSZ9	-20.77	159.77	8.09	-62.23	0	0	-47.5	365.38	-13
西安变压器厂 /SSZ9	214.23	81.46	49.09	18.67	0	0	-147.5	-56.08	263
奥地利伊林 (ELIN) / TDQ - 255R22T9K - 99	-20.77	159.77	8.09	-62.23	0	0	102.5	-788.46	-13
奥地利伊林 (ELIN) / TDQ - 255R22T9K - 100	-73.77	88.88	-8.91	10.73	0	0	102.5	-123.49	-83
中山 ABB /SSZ9	6.23	-56.64	-16.91	153.73	0	0	-47.5	431.82	-11
中山 ABB /SSZ9	126.23	97.10	4.09	3.15	0	0	-47.5	-36.54	130
中山 ABB /SSZ9	27.23	85.09	5.09	15.91	0	0	-47.5	-148.44	32
保定保菱 /SSZ9	206.23	91.66	19.09	8.48	0	0	2.5	1.11	225
中山 ABB /SSZ9	-193.8	116.73	28.09	-16.92	0	0	-47.5	28.61	-166
法国施耐德 (JST) /PLN	53.23	166.34	-20.91	-65.34	0	0	102.5	320.31	32
法国施耐德 (JST) /PLN	74.23	72.77	28.09	27.54	0	0	102.5	100.49	102
保定保菱 /SSZ9	74.23	75.74	24.09	24.58	0	0	2.5	2.55	98
中山 ABB /SSZ9	-103.8	117.92	16.09	-18.28	0	0	-47.5	53.98	-88
法国施耐德 (JST) /PLN	-193.8	90.97	-18.91	8.88	0	0	102.5	-48.12	-213
中山 ABB /SSZ9	-193.8	120.35	33.09	-20.55%	0	0	-47.5	29.50	-161
法国施耐德 (JST) /PLN	-193.8	95.45	-8.91	4.39	0	0	52.5	-25.86	-203

费用:在认定设备技术标准中所进行的必要型式或特殊试验项目,如短路耐受能力试验、温升试验和局部放电测量等所发生额外试验费用,以及状态检修所需要的一切费用。CM为维护成本(maintenance costs);在寿命周期内按照寿命检修要求,定期更换零部件等备件的费用,以及抢修、维护、试验、巡检等所需要的材料费、人工费、交通费等。CD为废弃成本(disposal costs)。变电设备退役后拆除、运输等费用减去变电设备报废后可回收的费用。

变电设备的使用阶段是变电设备寿命周期中占时最长的一个阶段,以LCC最小为目标的设备管理是必要的手段。将LCC值除以变电设备的使用寿命(即使用年限,通常为30年),得到每年的运行成本,称为EUAC,  $EUAC = LCC/N$  (equivalent uniform annual cost)。在相同使用效果的条件下,EUAC越小,系统和设备的经济效益越高。

根据收集的原始数据,运用差额分析法算出与均值相比较各种成本变化量对总成本变化量的影响(见表1)。

结论:由差额分析法可以得出运行成本是总成本变化的主因素,由于运行成本主要包括状态检修的相关成本,这也就和回归分析的结论一致。

### 3 模型结果分析以及专业管理目标的改进方法

#### 3.1 模型结果分析

对于以上两个模型,可以得出以下几点结论。

(1) 提倡状态检修。状态检修就是在设备的运行在有可靠的保证措施(其他监测手段:如在线监测设备的发热、运行参数、运行中测试绝缘油及气体分析数据)及依据(历次的检修、调试、试验情况良好)的情况下,适当延长或缩短(如果数据不良也可能缩短)检修周期,根据设备的运行状况和绝缘状态进行检修的一种做法。一般缺陷处理频率、状态检修频率是变电设备运行状态的参数,必要的维护是必须的,检修工作应结合设备的健康状况评估结果确定。

(2) 频繁定期寿命检修工作不应提倡,寿命检修与设备的正常运行没有必然关系。反之工作状态良好的设备若强制按照计划进行寿命检修,一方面影响了设备的正常工作,另一方面,容易造成相关零

件的损坏及新问题发生,反而不利于设备正常工作。供电企业历史上长期沿用寿命检修方式,这并没有遵循变电设备自身特点,不但造成了成本的大幅提高,也没有起到好的效果。因此在以后的设备管理中,应提倡状态检修。

(3) 质量好的设备(如进口、合资产品)可以适当延长检修与维护周期。从以上分析中可以看出,购置成本较高的设备绝缘方式比较先进,设备运行状态也比较稳定。对设备的管理应该分门别类。对于老化比较严重,技术比较落后且还在运行的设备应给予更多关注。对状态比较好的设备没有必要浪费过多成本进行检修管理。对于重要缺陷,进行及时检修是必须与必要的,通过状态监控设备发现异常的设备,及时给予修理,可以保证设备的安全运行及延长设备寿命。

(4) 追求利润最大化,提高绩效水平是企业追求的目标。在固定资产的管理中,每一年的运行成本越小,资产的绩效水平也就越高。每年的运行成本由整个寿命周期的运行成本分摊到使用年份。因此,应该对总成本进行控制的同时尽量延长设备的寿命周期,这样才能使得单位期间的成本最小化。

#### 3.2 专业管理目标改进方法

为实现电网坚强的目标,确保变电设备的管理和运行水平不断得到提高,更为了提高企业的绩效水平,下一步应该从以下几个方面加大工作力度,使变电设备管理不断得到改进。

(1) 进一步实现设备的全过程管理。从组织订货、设备选型、安装调试、验收投运到运行维护、日常检修每个环节都加大管理力度,抓好执行,进一步明确完善设备管理各个环节的流程和相关单位的责任,严肃责任追溯和考核。日常工作中重视设备的缺陷管理,引导职工加深对各自分管设备的了解程度,对设备运行状态做到心中有数,打好状态检修的基础。在状态检修的基础上,根据设备的状况开展有针对性的大修和改造,进一步提高设备在全寿命周期的可控、在控水平。

(2) 大力推广精细化作业。在实现专业化检修和运行的基础上,继续深化精细化建设,按照设备的寿命周期特点和技术特点对其进行管理,针对各种设备的特点和影响其运行的重要环节制定管理方法,并对其进行详细分析,使之专业化、系统化,更加符合精细化管理需要,在具体执行中狠抓落实。

(3) 对与设备相关的成本费用支出进行全面的控制分析。科学控制成本的思想应该贯穿在整个寿命周期中,从最初的可研阶段,就应该拿出各种方案的预计后续支出和状态报告。在设备运行的各个阶段都进行收入成本的配比分析,对设备的使用效率进行评价。

(4) 提高人员素质。针对目前变电设备更新换代快、高科技含量高的特点,加大岗位培训和操作技能培训。认真组织好对有关反措和规程、规范的学习,深刻领会内涵;有针对性的开展各种专业技术、技能比武,以赛促练,促进职工工技术、练技能的积极性,使职工的专业技术水平有显著的提高。

## 4 结 语

提出了固定资产全寿命周期理论,并将 LCC 全

寿命周期理论应用于供电企业固定资产管理环节。通过回归分析,确定了影响固定资产运行的重要因素,确立了状态检修在固定资产维护过程中的主导地位。

本系统只考虑了影响固定资产正常运行的主要因素,由于数据问题没能将其影响因素再作细分。对于一些辅助因素考虑的也不够全面。例如:由于计量问题,忽略了惩罚成本因素。为了方便计算,对固定资产的报废成本取了一个固定值。这都对模型的精确性产生了影响。固定资产全寿命周期的管理方法,比较适用于供电企业中资产净值较大、对企业的生产经营活动有着比较重要的影响和技术含量高的设备。从成本效益原则和精细化管理的初衷考虑,对于资产价值较小,重要性较低的资产不适用于此方法。

(收稿日期:2012-08-20)

(上接第 63 页)

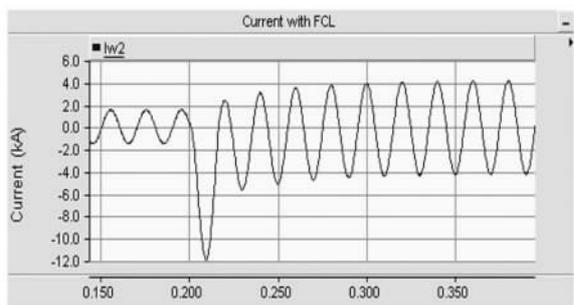


图 8 加入 FCL 时变压器出口短路电流波形

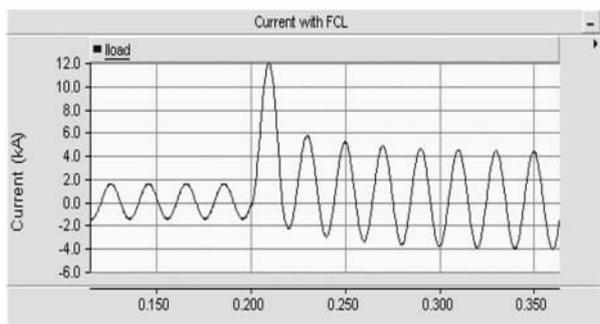


图 9 加入 FCL 时线路短路电流波形

果良好,电流波形良好,能够在实际中得到应用。

## 4 结 语

研究了一种新型的基于可控门极晶闸管(IGCT)的故障电流限制器,正常运行时串在电路中,功耗很小;短路时,投入限流电抗限流。通过实际试验,证明

该故障限流器不仅能够限制短路电流还能够抑制电压跌落,提高系统的暂态稳定性,具有良好的技术和经济性能,在电力系统中具有广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1] 何仰赞,温增银. 电力系统分析(第三版) [M]. 武汉:华中科技大学出版社,1996.
- [2] 李光琦. 电力系统暂态分析 [M]. 北京:水利电力出版社,1985.
- [3] 江道灼,敖志香,卢旭日,等. 短路故障限流技术的研究与发展 [J]. 电力系统及其自动化学报,2007,19(3): 8-19.
- [4] 王华昕,习贺勋,汤广福,等. 面向超高压电网的故障限流器的应用研究 [J]. 高电压技术, 2007, 33(5): 99-102.
- [5] 曾琦,李兴源,蔡鑫贵,等. 带串联补偿故障限流器的仿真和实验 [J]. 电力系统自动化,2003,27(14): 54-56.
- [6] 郑敏,李兴源,刘俊勇,等. 具有串联补偿作用的新型故障限流器的拓扑结构和仿真 [J]. 中国电机工程学报, 1999,19(6): 52-55.

(收稿日期:2012-07-18)