

# 变压器全生命周期质量联动评价方法

孙宏志<sup>1</sup>, 赵红卫<sup>2</sup>, 陈令英<sup>1</sup>, 王加冕<sup>1</sup>, 王晓敏<sup>2</sup>, 匡雪莲<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国网山东省电力公司, 山东 济南

<sup>2</sup>山东鲁软数字科技有限公司, 山东 济南

收稿日期: 2023年8月1日; 录用日期: 2023年8月22日; 发布日期: 2023年9月5日

## 摘要

传统的LCC评价方法, 在采购应用中, 基础数据依赖供应商自主填报。数据验证机制复杂, 周期跨度长, 应用要求较高。LCC质量联动评价是一种替代方法, 通过设备LCC与质量的关联性分析, 简化LCC采购应用模型。本文以变压器为例, 采用LCC质量联动法, 得到采购成本、能耗成本、故障抢修材料成本、故障抢修委外服务成本和报废年限, 共计5项高敏感度因子, 并给出了供应商评价的具体应用方法。

## 关键词

变压器, 全生命周期, 质量联动, 层次分析法

# Research on Coordinate Evaluation for Transformer with LCC and Quality

Hongzhi Sun<sup>1</sup>, Hongwei Zhao<sup>2</sup>, Lingying Chen<sup>1</sup>, Jiamian Wang<sup>1</sup>, Xiaomin Wang<sup>2</sup>, Xuelian Kuang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Grid Shandong Electric Power Company, Jinan Shandong

<sup>2</sup>Shandong Luruan Digital Technology Co., Ltd., Jinan Shandong

Received: Aug. 1<sup>st</sup>, 2023; accepted: Aug. 22<sup>nd</sup>, 2023; published: Sep. 5<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Traditional LCC evaluation method rely on the data which are submitted by suppliers in procurement application. Data certification operates with complex mechanism, long cycle span, various application requirements. Coordinate evaluation with LCC and quality is an alternative method which is based on analysis for the correlation between LCC and quality. LCC procurement models could simplify in the case of coordinate evaluation. This thesis applies coordinate evaluation for the example of transformer. It gives 5 highly sensitivity factors which are procurement cost, ener-

gy consumption cost, emergency repair material cost, emergency repair entrusted service cost and retirement life. It also gives the application method of supplier evaluation.

## Keywords

Transformer, Life Cycle Cost, Coordination with Quality, AHP

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

全生命周期成本(LCC)是从全局目标考虑, 统筹设备的设计、测试、生产、采购、安装、运行、维修直到报废的全部成本, 追求系统全过程的成本最优。对于电力企业而言, 实现主要设备全生命周期成本最优, 合理安排采购运维, 有效控制预算支出, 优化资产结构, 提高生产效益, 是生命周期资产管理(LCAM)转型的核心。LCAM 体系包含四个层次内容: 数据层、工具层、模型层和应用层, 如图 1 所示。

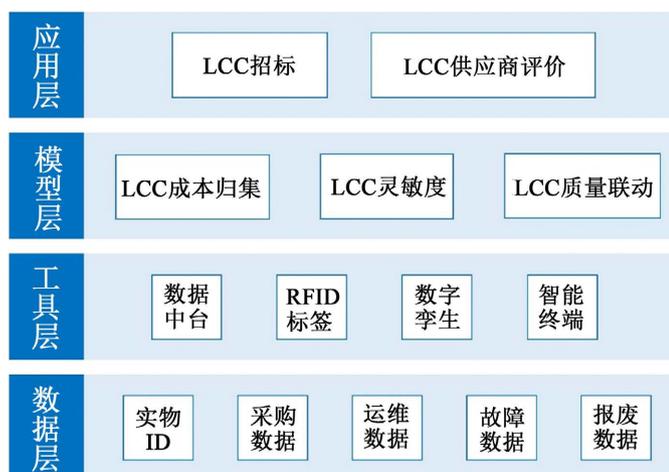


Figure 1. Analytic hierarchy of LCAM system

图 1. 全生命周期资产管理体系层次分解

传统的 LCC 评价方法, 以 LCC 精准归集和采购应用为切入点。由于 LCC 后期费用依赖于供应商自主提报, 采购应用对数据的可信度有较高要求, 后期需要繁琐的 LCC 验证和合同补偿, 验证周期有时长达 3~5 年, 实际操作“要求高、难度大、调整慢”。LCC 质量联动评价作为一种替代方法, 其核心思路是利用 LCC 与质量的相关性, 以可测的质量水平作为分析基础[1], 对 LCC 进行修正。采购应用中, 若为简化操作, 可以仅取 LCC 质量敏感性较高的因素进行评审, 而不必要求核算全口径的 LCC, 不失为一种兼顾可行性和有效性的 LCC 应用[2]。

## 2. 变压器 LCC 归集工程估算法

质量联动的电力设备 LCC 归集, 通常采用工程估算法, 该方法将设备生命周期分阶段拆解, 合理分摊投入费用, 并且计入相应阶段, 最后从未级费用开始, 逐项相加求得上一级费用, 直至得出 LCC 总值。

这种方法对基础数据的收集能力要求较高，虽然实际操作中有一定难度，但以工程阶段为归集依据，正好与质量分析的思路一致，即设备在某个工程阶段，即可以分解得到 LCC，又可以将质量因素纳入进来，符合联动评价的理论条件[3]。

LCC 工程归集阶段，按照投入 CI、运行 CO、维修 CM、故障 CF 和报废 CD 划分，共分为 5 个阶段。其中，设备故障损失包括因停电造成的社会面经济损失，设备报废的残值以负值计入，全部费用归集明细见表 1。

**Table 1.** LCC cost apportionment model of transformer  
**表 1.** 变压器 LCC 成本归集模型

一级费用	二级费用	三级费用
投入 CI	购置费	设备费、现场服务费、专用工具和配件费、运输费
	安装调试费	-
	其他费用	-
运行 CO	设备能耗费	本体能量损耗 辅助设备能量损耗
	日常巡检费	设备及工具损耗 巡检人工费
	环保费	噪音处理费、有害物排放处理费
	普修费用	-
修理 CM	大修费用	-
	预防性试验费	-
	设备运维费	-
	综合费用	供货方和业主方的设备、材料费和服务费
故障 CF	故障检修	供货方和业主方的设备、材料费和服务费 返修工厂修理费、土建环境破坏修复费、设备起吊费、设备运输费、 主业见证验收试验费
	故障损失费	停电损失费 设备性能及寿命损失费 间接损失
	设备退役处理费	人工费、工具费、运输费、环保费
报废 CD	设备残值	-

### 3. 变压器质量联动评价因素分析

#### 3.1. 质量敏感性模型简化

变压器 LCC 质量敏感性赋权，采取基于专家打分的 AHP 层次分析法，并进行必要的一致性检验，以消除专家评分过程的主观偏见。AHP 法是一套完整的多目标决策分析法[4]，而不仅仅是一种指标赋权法。相比于德尔菲法中直接赋权的做法，AHP 法先将所有指标两两比较，给出相对重要性。实操中为简

便起见，一般采用 AHP 判断矩阵  $\begin{pmatrix} \omega_{11} & \cdots & \omega_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{n1} & \cdots & \omega_{nn} \end{pmatrix}$ ， $\omega_{ij}$  为指标*i*相对指标*j*的重要性，取值在 1~9 之间，1

代表两条指标同等重要，2 代表指标*i*略微比指标*j*重要，其后数字越大指标*i*相对重要性越高，若指标 *j* 的重要性高于指标*i*，则取倒数。

AHP 两步走的赋权方法, 对指标重要性判定更为细腻, 但当某层级的指标过多时, 专家容易沉溺于细节比较, 失去对事物整体的评断。此外, 两两配对式的打分法, 要求关联指标的重要性保持一致, 但指标数量过多时, 主观上很难做到高度严谨[5]。为此, 在对变压器 LCC 质量敏感性赋权之前, 为降低基础数据收集要求, 同时有利于打分结果的一致性, 专家组提前对 LCC 分解模型作了简化, 将三级费用作了合并或删除, 形成了二级结构的费用表。

### 3.2. 质量敏感性 AHP 赋权

专家组根据变压器 LCC 的一级费用, 开展两两打分, 其中投入、运行和报废期费用, 对设备质量敏感度适中, 检修阶段费用与供应商关系更大, 相对重要性在  $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 1, \frac{1}{3}, 1)$ , 故障阶段费用与设备质量关系密切, 相对重要性在  $(2, 2, 3, 1, 2)$ , 完整的判断矩阵见表 2。

**Table 2.** Quality sensitivity of LCC in the 1 strank

**表 2.** LCC 一级费用质量敏感性判断矩阵

一级费用	投入费用	运行费用	检修费用	故障费用	报废费用
投入费用	1	1	2	1/2	1
运行费用	1	1	2	1/2	1
检修费用	1/2	1/2	1	1/3	1
故障费用	2	2	3	1	2
报废费用	1	1	1	1/2	1

专家组又对判断矩阵的一致性作了必要分析,  $C.I. = 0.013$ ,  $R.I. = 1.120$ ,  $C.R. = 0.0116 < 0.1$ , 检验结果表明, 专家打分是高度一致的。

一级费用的 AHP 判断矩阵完成后, 可以对每个一级费用矩阵, 拆解为二级费用判断矩阵继续进行打分。以投入费用为例, 二级费用包括采购成本、抽检费用、监造费用、运输费用、包装费用、安装费用和调试费用, 共计 7 项。专家组认为采购成本(投标报价)与质量高度相关, 抽检和监造费用一般编列取费标准, 与质量关联极低, 运输费用为纯粹配送成本, 与质量关联度极低, 包装、安装和调试费用由工程概预算确定, 与质量几乎无关。按照重要性打分规则, 二级费用可得 AHP 判断矩阵, 具体如表 3 所示。

**Table3.** Quality sensitivity of LCC in the 2rd rank

**表 3.** LCC 二级费用质量敏感性判断矩阵

二级费用	采购成本	抽检费用	监造费用	运输费用	包装费用	安装费用	调试费用
采购成本	1	9	9	8	8	7	7
抽检费用	1/9	1	1	1/3	1/3	1/2	1/2
监造费用	1/9	1	1	1/3	1/3	1/2	1/2
运输费用	1/8	3	3	1	1	1/2	1/2
包装费用	1/8	3	3	1	1	1	1
安装费用	1/7	2	2	2	1	1	1
调试费用	1/7	2	2	2	1	1	1

判断矩阵的一致性分析,  $C.I. = 0.0405$ ,  $R.I. = 1.360$ ,  $C.R. = 0.0298 < 0.1$ , 表明专家打分是一致可靠的。同理, 运行、检修、故障和报废二级费用也作了判断矩阵, 并通过了一致性检验。

一致性检验合格的判断矩阵，可以被用来计算相对权重，此处使用和积法。和积法以算术平均求取权重，具体计算过程是对于判断矩阵  $\begin{pmatrix} \omega_{11} & \cdots & \omega_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{n1} & \cdots & \omega_{nn} \end{pmatrix}$ ，将每一列向量归一处理，即  $\bar{\omega}_{ij} = \frac{\omega_{ij}}{\sum_{k=1}^n \omega_{kj}}$ ，且有  $\sum_{i=1}^n \bar{\omega}_{ij} = 1$ 。再令  $\bar{\omega}_i^* = \sum_{k=1}^n \bar{\omega}_{ik}$ ，并且将列向量  $\begin{pmatrix} \bar{\omega}_1^* \\ \vdots \\ \bar{\omega}_n^* \end{pmatrix}$  归一化，得到第  $i$  个一级费用分解后，二级费用的相对权重  $\begin{pmatrix} W_{i1} \\ \vdots \\ W_{in} \end{pmatrix}$ 。若第  $i$  个一级费用的相对权重为  $W_i$ ，分解后第  $j$  个二级费用相对权重  $W_{ij}$ ，则其绝对权重为  $W_i * W_{ij}$ 。AHP 绝对权重梳理完毕后，专家组横向比对权重的高低，将权重 5% 以下的 LCC 因子列为低敏感性，高于 5% 且不超过 10% 的 LCC 因子列为中敏感性，超过 10% 的 LCC 因子列为高敏感性，具体如表 4 所示。

Table 4. Quality sensitivity of LCC in the all rank

表 4. LCC 全部费用质量敏感性判断矩阵

一级费用	绝对权重	二级费用	绝对权重	质量敏感度
投入 CI	18.58%	采购成本	10.14%	高
		抽检费用	0.78%	低
		监造费用	0.78%	低
		运输费用	1.57%	低
		包装费用	1.80%	低
		安装费用	1.75%	低
		调试费用	1.75%	低
运行 CO	18.58%	巡视维护材料成本	3.74%	低
		委外服务成本	2.19%	低
		能耗成本	12.65%	高
修理 CM	11.54%	修理材料成本	5.77%	中
		修理委外服务成本	5.77%	中
故障 CF	34.94%	故障抢修材料成本	17.47%	高
		故障抢修委外服务成本	17.47%	高
报废 CD	16.36%	提前报废/延长使用年限	11.39%	高
		处置收益	3.79%	低
		拆卸、运输等的处置成本	1.18%	低

AHP 法得到了 LCC 关键费用的质量敏感度，其中采购成本、能耗成本、故障抢修材料成本、故障抢修委外服务成本和报废年限是高敏感费用项，共计 5 项。

#### 4. 讨论与展望

LCC 质量联动评价的应用方向，主要是供应商后评价。供应商后评价是在采购完成后，针对投运中的设备状态进行评估，明确供应商的产品质量和配套服务的绩效，作为新一轮采购的参考依据，具体应用方法主要有三种：1) 信用公示：在公开媒体发布供应商的不良信用记录；2) 分配额度：削减供应商在框架采购中的分配额度；3) 邀请限定：限制供应商参与邀请招标等定向的采购活动。

根据 LCC 质量联动的分析结果, 变压器的后评价应用, 可以基于高敏感质量因子。采购成本单独应用于招标过程, 作为前评价的一部分。能耗和故障抢修费用, 根据供应商质量后评价结果, 按照经验系数调整入供应商填报的 LCC 中。报废年限应用于资产折旧模型的调整依据。

## 参考文献

- [1] 袁淼, 赵斌, 张友南, 等. 论面向产品全生命周期的质量控制[J]. 橡塑技术与装备, 2016, 42(2): 49-51.  
<https://doi.org/10.13520/j.cnki.rpte.2016.02.016>
- [2] 王丽. 低压成套开关设备可靠性预测及全寿命周期成本评估方法的研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 河北工业大学, 2017.
- [3] 李荟萃, 吕志军, 项前, 等. 面向产品生命周期的质量控制模型及应用[J]. 机械设计与制造, 2012(1): 231-233.  
<https://doi.org/10.19356/j.cnki.1001-3997.2012.01.087>
- [4] 程华福, 王超. 基于全寿命周期成本的电力物资招标采购应用及供应商服务质量评估研究[J]. 企业管理, 2017(S2): 263-265.
- [5] 焦琳璐. 住房全生命周期成本分析及国际比较[D]: [硕士学位论文]. 镇江: 江苏科技大学, 2019.
- [6] 杨健. 配网改造项目管理中成本与质量的综合决策[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2013.