

# 基于熵权TOPSIS法的抽水蓄能电站财务综合评价研究

张昶, 王司辰

中电建华东投资有限公司, 江苏 南京

收稿日期: 2023年3月13日; 录用日期: 2023年4月13日; 发布日期: 2023年4月20日

## 摘要

为研究国内抽水蓄能电站财务综合评价方法, 本文综合考虑抽水蓄能电站的成本和利润来源, 选取容量电价、电量电价、单位千瓦静态投资和设计年发电量四个参数, 通过熵权TOPSIS法对抽水蓄能电站财务情况进行评判、排序。发现抽水蓄能电站容量电价和建设成本对项目的财务收益影响相对较大。该方法为行业领域提供一个新的研究思路, 具有较好的研究价值。

## 关键词

抽水蓄能, 财务评价, 熵权TOPSIS法

# Comprehensive Financial Evaluation of Pumped Storage Power Plants Based on the Entropy-Weighted TOPSIS Method

Chang Zhang, Sichen Wang

POWERCHINA East China Investment Co., Ltd., Nanjing Jiangsu

Received: Mar. 13<sup>th</sup>, 2023; accepted: Apr. 13<sup>th</sup>, 2023; published: Apr. 20<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

In order to study the comprehensive financial evaluation method of domestic pumped storage power plants, four parameters, namely capacity tariff, electricity tariff, static investment per kilowatt and design annual power generation, are selected for analysis, considering both cost and profit sources of pumped storage power plants. The financial situation of pumped storage power

plants is judged and ranked by the entropy-weighted TOPSIS method, and it is found that the capacity tariff and construction cost of pumped storage power plants have a relatively large impact on the financial returns of the projects. This method provides a new research idea for the industry field and has good research value.

## Keywords

Pumped Storage, Financial Evaluation, Entropy-Weight TOPSIS Method

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

抽水蓄能是当前技术最成熟、经济性最优、最具大规模开发条件的电力系统绿色低碳清洁灵活调节电源,与风电、太阳能发电、核电、火电等配合效果较好,具有调峰、调频、调压、系统备用和黑启动等多种功能,是电力系统的主要调节电源[1]。加快发展抽水蓄能,是构建以新能源为主体的新型电力系统的迫切要求,是保障电力系统安全稳定运行的重要支撑,是可再生能源大规模发展的重要保障。在全球应对气候变化,我国努力实现双碳目标,加快能源绿色低碳转型的新形势下,抽水蓄能加快发展势在必行。而完善抽水蓄能电价形成机制,对促进抽水蓄能电站健康发展、提升电站综合效益发挥了重要作用。

2004年以前,国内抽蓄电站实行单一电量电价、单一容量电价和两部制电价试水并行,在单一容量电价下,收益固定,机组运行时间增加反而提高运营成本,电站缺乏发电积极性。而单一电量电价下,由于追求利润,容易出现多发超发的情况[2]。2014年后,两部制电价开始实行,电价按无风险收益率(长期国债利率)加1%~3%的风险收益率核定。抽蓄容量电费和抽发损耗纳入当地省级电网运行费用统一核算,并作为销售电价调整因素统筹考虑。届时电价机制只考虑了抽蓄电站向电网提供保证电网安全稳定运行的辅助服务,未考虑向风电、光伏及核电等企业提供服务[3]。为了促进抽水蓄能电站快速发展,2021年,国家发改委发布相关指导意见,要求以两部制电价政策为主体,进一步完善抽水蓄能价格形成机制,逐步推动抽水蓄能电站进入市场。由于过去抽水蓄能电站原则上由电网经营企业建设和管理,其建设和运行成本纳入电网运营费用统一核定,社会上从投资财务评价方面对抽水蓄能电站综合评价的研究尚不充分。

TOPSIS法[4][5]是系统工程中有限方案多目标决策分析中的一种决策方法,是比较常用的一种综合评价方法,具有正式、只管、可靠的优点。本文将从容量电价、电量电价、使用效率以及建设成本等方面,探讨综合评价方法,以期对抽水蓄能电站财务综合评价提供参考。

## 2. 研究数据及方法

### 2.1. 参数选取

根据抽蓄两部制电价形成机制,抽蓄电价由容量电价和电量电价组成。电量电价以竞争性方式形成,抽水蓄能电站提供调峰服务的价值,抽水蓄能电站通过电量电价回收抽水、发电的运行成本。容量电价体现抽水蓄能电站提供调频、调压、系统备用和黑启动等辅助服务的价值,抽水蓄能电站通过容量电价

回收抽发运行成本外的其他成本并获得合理收益。本文综合考虑抽水蓄能电站的成本和利润来源, 选取容量电价、电量电价、单位千瓦静态投资和设计年发电量四个参数综合评价抽蓄电站[6]。

### 2.1.1. 容量电价

容量电价弥补固定成本及准许收益, 体现抽水蓄能电站提供调频、调压、系统备用和黑启动等辅助服务的价值, 抽水蓄能电站通过容量电价回收抽发运行成本外的其他成本并获得合理收益[6]。

计算公式为:

$$\text{不含税容量电价} = \text{年平均收入} \div \text{覆盖电站机组容量}$$

由于电站经营期按 40 年核定, 经营期内资本金内部收益率按 6.5% 核定, 实际工作中容量电价会按 6.5% 的资本金内部收益率反算, 并且核准时会有一定下浮。

### 2.1.2. 电量电价

抽水蓄能电站上网电量由电网企业收购, 上网电价按燃煤发电基准价执行。体现抽水蓄能电站调峰服务的价值, 抽水蓄能电站通过电量电价回收抽水、发电运行成本[6]。

本研究中抽蓄电站的电量电价按当地煤电平均基准电价计算。

### 2.1.3. 单位千瓦静态投资

在抽水蓄能电站工程设计方案确定后, 工程的单位千瓦静态投资是体现工程经济性的主要指标, 单位千瓦静态投资越低项目经济性越好[7]。

计算公式为:

$$\text{单位千瓦静态投资} = \text{电站静态投资} \div \text{覆盖电站机组容量}$$

### 2.1.4. 设计年发电量

设计年发电量是评价抽水蓄能电站运行效果的重要指标, 体现了机组利用水平[8]。

计算公式为:

$$\text{设计年发电量} = \text{平均装机年发电利用小时数} \times \text{覆盖电站机组容量}$$

## 2.2. 研究方法

熵权 TOPSIS 法是一种综合评价方法, 先利用数据变异程度通过熵权法确定评价对象参数的客观权重, 再通过 TOPSIS 法对评价对象进行评价, 可以有效减少主观赋值偏差, 并结合 TOPSIS 法进行排序。具体步骤通常分为 3 步: 首先, 将数据标准化; 其次, 用熵值法确定评价指标值和权重; 最后, 结合 TOPSIS 法得到评价对象的排序结果[9] [10]。

### 2.2.1. 构建矩阵

假设有  $m$  个抽蓄电站, 根据容量电价、电量电价、单位千瓦静态投资和设计年发电量 4 个评价指标, 构成矩阵  $X$ , 即

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{15} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{m4} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:  $x_{ij}$  为第  $i$  个抽蓄电站的第  $j$  个评价指标,  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $j = 1, 2, 3, 4$ 。

### 2.2.2. 数据正向化处理

将数据按极大型指标(效益类指标)和极小型指标(成本类指标)分类。其中容量电价、电量电价和设计

年发电量等 3 个指标越大越好, 不需正向化处理。而单位千瓦静态投资越小越好, 属于极小型指标, 需要正向化处理, 计算公式为:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{x_i} \quad (2)$$

$x_i$  代表转化前指标,  $\bar{x}_i$  代表转化后结果。

### 2.2.3. 标准化处理

将正向化后数据进行归一化处理, 消除量纲带来的影响。计算公式为:

$$z_i = \frac{x_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_i^2}} \quad (3)$$

### 2.2.4. 构建加权决策矩阵

确定指标权重, 计算概率矩阵, 采用熵权法构建加权决策矩阵。

概率矩阵  $P$  的计算公式为:

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (4)$$

第  $j$  个指标熵值  $e_j$  的计算公式为:

$$e_j = -\frac{1}{\ln(4)} \cdot \sum_{i=0}^4 p_{ij} \cdot \ln(p_{ij}) \quad (5)$$

第  $j$  个指标熵权  $w_j$  的计算公式为:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^4 (1 - e_j)} \quad (6)$$

建立加权的决策矩阵:

$$\bar{Z} = Z * w \quad (7)$$

### 2.3.5. 评分构建

寻找各指标的最大值和最小值, 计算正向理想值  $Z^+$  和负向理想值  $Z^-$ , 则

$$\begin{aligned} Z^+ &= [\max Z_{i1}, \max Z_{i2}, \dots, \max Z_{i4}] \\ Z^- &= [\min Z_{i1}, \min Z_{i2}, \dots, \min Z_{i4}] \end{aligned} \quad (8)$$

计算各个指标到最大理想值和最小理想值的距离, 到最大理想值的距离记为  $D^+$ , 到最小理想值的距离记为  $D^-$ , 最终评价指标记为  $C_i$ , 则

$$\begin{aligned} D_i^+ &= \sqrt{\sum_{j=1}^4 (Z^+ - Z_{ij})^2} \\ D_i^- &= \sqrt{\sum_{j=1}^4 (Z^- - Z_{ij})^2} \\ C_i &= \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \end{aligned} \quad (9)$$

根据  $C_i$  的大小进行排序,  $C_i$  越大则抽蓄电站的财务综合评价越好。

### 3. 计算分析

#### 3.1. 研究数据

本文以部分抽蓄为研究对象, 数据来源是项目前期可研或预可, 并经过脱密处理的计算数据, 并非原始真实数据, 仅用于研究抽蓄财务综合评价方法。容量电价指标记作 X1, 电量电价指标记作 X2, 单位千瓦静态投资指标记作 X3, 设计年发电量记作 X4, 初始数据如表 1 所示。

**Table 1.** Initial data of each index

**表 1.** 各指标初始数据

样本	X1	X2	X3	X4
抽蓄 1	597.3	0.4153	5499	14.0
抽蓄 2	627.6	0.4153	5539	14.4
抽蓄 3	621.0	0.3910	5706	12.0
抽蓄 4	628.9	0.4153	5589	12.0

#### 3.2. 成果分析

基于上述方法对初始数据进行正向化和标准化处理, 结果如表 2 所示。

**Table 2.** Standardized data for each indicator

**表 2.** 各指标标准化数据

样本	X1	X2	X3	X4
抽蓄 1	0.4826	0.5073	0.5075	0.5324
抽蓄 2	0.5071	0.5073	0.5038	0.5477
抽蓄 3	0.5018	0.4776	0.4891	0.4564
抽蓄 4	0.5081	0.5073	0.4993	0.4564

计算得到熵权  $w = [0.2502, 0.2501, 0.2502, 0.2495]$

求出正向理想距离  $D^+$ 、负向理想距离  $D^-$  以及相对接近程度  $C$ , 如表 3 所示。

**Table 3.** Final evaluation results

**表 3.** 最终评价结果

样本	$D^+$	$D^-$	$C$	评分顺序
抽蓄 1	0.01483	0.04182	0.73816	2
抽蓄 2	0.00190	0.05003	0.96337	1
抽蓄 3	0.04893	0.00956	0.16351	4
抽蓄 4	0.04578	0.02022	0.30637	3

计算熵权可以看出, 容量电价、电量电价、单位千瓦静态投资和设计年发电量四个指标中, 权重基本持平, 各指标对项目财务收益都有重要影响。相对的, 权重较大的有容量电价和单位千瓦静态投资,

既抽水蓄能电站容量电价和建设成本对项目的财务收益影响相对较大, 而设计年发电量影响相对较小。

表 3 评分排序结果可以看出, 抽蓄 2 和抽蓄 1 财务情况较好, 而抽蓄 3 和抽蓄 4 相对较差, 需要通过精细化管理, 优化建设成本, 以领先机组提高年均发电效率等方式降本增效。

#### 4. 结论

在我国“双碳”目标的背景下, 抽水蓄能电站的建设开发逐渐走向市场化, 抽蓄电站的投资财务评价亟需研究分析。本文基于熵权 TOPSIS 法, 构建容量电价、电量电价、单位千瓦静态投资及设计年发电量等 4 个评价指标的指标体系, 熵权计算结果可以发现这四个指标权重基本持平, 各指标对项目财务收益都有重要影响, 其中容量电建和单位千瓦静态投资影响相对更大。本文提供了一个新的方法分析研究抽蓄电站财务综合评价模型, 为综合评价提供一个可行的解决途径。

#### 参考文献

- [1] 中国水力发电工程学会. 中国抽水蓄能电站建设[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [2] 彭天波, 刘晓亭. 我国抽水蓄能电站建设经营现状分析[J]. 电力技术, 2004, 37(12): 38-42.
- [3] 邵春峰. 新电改下抽水蓄能电站电价形成机制探讨[J]. 中国经贸, 2015(23): 96-97.
- [4] 胡永宏. 对 TOPSIS 法用于综合评价的改进[J]. 数学的实践与认识, 2002, 32(4): 572-575.
- [5] 高永, 王玖, 石德文. 加权 TOPSIS 法综合评价在 Excel 中的实现[J]. 中国卫生统计, 2007, 24(4): 428-429.
- [6] 张春生. 抽水蓄能电站设计: 全 2 册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [7] 白云鹏, 张彦东, 李晓军. 辽宁大雅河抽水蓄能电站装机容量分析[J]. 东北水利水电, 2017, 35(8): 9-11.
- [8] 王伟, 王高红, 周翔, 等. 抽水蓄能电站服务电网评价指标体系及方法[J]. 电网与清洁能源, 2010, 26(8): 88-92.
- [9] 蒋军, 王平安, 李娴, 等. 混合预约模式下基于熵权 TOPSIS 法的船闸通航调度方法[J]. 水运管理, 2022, 44(11): 17-21+35.
- [10] 戴剑勇, 黄晓庆, 王雯雯. 基于改进 TOPSIS 的道路交通风险网络排序研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2022, 41(4): 33-39.