

# 基于神经网络的成品物资采购价格研究

韩欣之

国网浙江省电力有限公司物资分公司, 浙江 杭州

收稿日期: 2022年12月23日; 录用日期: 2023年1月22日; 发布日期: 2023年1月29日

## 摘要

能源行业数字化转型和当前国际原料价格波动双背景下, 电力企业物资采购价格风险较大, 为减轻企业经营风险, 保障区域用电安全, 电力企业通过构建多因素和基于时空特征提取的时间序列模型对国际铜价格进行预测, 在此基础上基于回归模型构建原材料与成品招标价格的关系, 从而强化对物资采购价格的把控和决策分析, 实现对合理招标采购价格匡算、未来物资采购价格趋势预判以及招标价格区间设置, 从而提升资源利用效率, 保障物资供应质效。

## 关键词

铜价格预测, 价格趋势预测, 神经网络

# Research on Purchase Price of Finished Materials Based on Neural Network

Xinzhi Han

Materials Branch, State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

Received: Dec. 23<sup>rd</sup>, 2022; accepted: Jan. 22<sup>nd</sup>, 2023; published: Jan. 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Under the dual background of the digital transformation of the energy industry and the current international raw material price fluctuations, the price risk of power enterprises' material procurement is relatively large. In order to reduce the business risks of enterprises and ensure the safety of regional electricity consumption, power enterprises have constructed multi-factor and spatio-temporal features based extraction methods. The time series model predicts the international copper price. On this basis, the relationship between the raw material and the finished product bidding price is constructed based on the regression model, so as to strengthen the control and decision-making analysis of the material purchase price, and realize the estimation of the

reasonable bidding purchase price, trend prediction of future material purchase price and bidding price range setting, so as to improve resource utilization efficiency and ensure the quality and efficiency of material supply.

## Keywords

Copper Price Forecast, Price Trend Forecast, Neural Network

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. 背景

“2030年碳达峰”“2060年碳中和”目标的提出让中国能源革命有了更明确的时间表，而能源互联网是落实能源革命的具体载体[1]。为了应对能源转型给电力系统带来的挑战，电力企业坚持聚焦能源消费革命、提升社会综合能效水平，着力推进开源开放、实现经营发展方式转变，推动公司从重资产模式物流企业向现代轻模式平台企业的顺利转型。

近年来，在海外疫情不断蔓延的同时，全球范围内的流动性变得宽松，包含铜、铝在内的多种大宗原材料商品价格持续走高，进而导致电力物资的采购价格呈现增高的趋势。然而电力企业物资供应链采购还停留在传统管理阶段，存在以下问题：

1) 电力企业进行招标采购价格申报时，缺乏对未来物资价格趋势预测，往往直接使用物资当前联动价格，导致出现框架协议采购金额低估或超额的现象发生。

2) 招投标过程中智能化程度欠缺，尚未有效运用大数据分析挖掘的手段匡算物资合理价格区间，缺乏预警防范、供应商不合理报价导致超额利润或低价抢标等现象的有利手段，防范廉政风险能力有待提升。

3) 尽管应用价格联动公式，但原料价格波动巨大，造成采购价格与当前市场价格匹配性不高，导致供应商不愿意履约等不良行为产生，影响物资保障安全。

因此，电力企业迫切需要运用数据技术，强化对物资采购价格的把控和决策分析，进一步提升物资供应链采购的数字化水平，积极推动供应链采购决策过程数字化升级，实现对合理招标采购价格匡算、未来物资采购价格趋势预判以及招标价格区间设置，从而提升资源利用效率，保障物资供应质效。

## 2. 研究方法

### 2.1. 多因素和基于时空特征提取的时间序列的铜价预测

从近年来的铜市场情况和供需情况分析，铜价格的波动是受到了多重因素的影响，如铜库存量、铜产量、汇率、生产价格指数(PPI)等[2]，需要构建多因素下的铜价格预测模型对铜价格进行预测。

ELMAN神经网络是一种典型的动态递归神经网络，可用来预测铜价。其基本公式如下：

$$y(k) = g(w^3 x(k)) \quad (1)$$

$$x(k) = f(w^1 x_c(k) + w^2(u(k-1))) \quad (2)$$

$$x_c(k) = x(k-1) \quad (3)$$

其中,  $y$  是  $m$  维输出节点神经元向量,  $x$  为  $n$  维隐藏层节点神经元向量,  $u$  为输入节点神经元向量,  $x_c$  为  $n$  维反馈传递向量,  $w^3$  为隐藏层节点到输入层节点之间的连接权重值,  $w^2$  为输入层节点到隐藏层节点之间的连接权重值,  $w^1$  为承接层节点到隐藏层节点间的权重值,  $g(*)$  为输出神经元的传递函数,  $f(*)$  为隐藏层神经元的传递函数。

小波神经网络 WNN 是以小波变换为基础的神经网络模型, 小波变换是一种建立在傅里叶变换基础上的新的数据变换处理方法[3], 因此可以更好地从时间序列中提取有用的特征信息。基本公式如下:

$$u_i = \sum_{j=1}^m w_{jk} \cdot x^T \quad (4)$$

$$h_i = \psi\left(\frac{u_i - b_i}{a_i}\right) \quad (5)$$

$$y = \sum_{j=1}^m w_{jk} \cdot h_i \quad (6)$$

其中,  $u_i$ 、 $h_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) 分别为隐藏层第  $i$  个时刻的网络输入值与输出值。

利用 LSTM 从日常铜价格数据列中提取时间序列特征, LSTM 可以解决 RNN 实现过程中梯度爆炸或消失问题, 其计算公式如下:

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (7)$$

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (8)$$

$$\tilde{C} = \tanh(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_C) \quad (9)$$

$$C_t = f_t \times C_{t-1} + i_t \times \tilde{C} \quad (10)$$

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (11)$$

$$h_t = o_t \times \tanh(C_t) \quad (12)$$

接着用正则化自注意力机制克服神经网络易陷入局部最优和丢失时空特征的缺点, 自注意力机制使解码器重点关注源数据中的特定部分:

$$e_{ij} = \frac{f(x_i)^T g(x_j)}{\sqrt{d_k}} \quad (13)$$

$$a_{ij} = \text{softmax}(e_{ij}) = \frac{\exp(e_{ij})}{\sum_j \exp(e_{ij})} \quad (14)$$

$$o = a_{ij} h(x_i) = \text{softmax}(e_{ij}) h(x_i) \quad (15)$$

其中,  $e_{ij}$  表示第  $i$  个值和第  $j$  个值之间的关系,  $\sqrt{d_k}$  表示  $f(x_i)$  矩阵维度的平方根, 因此使得收敛速度比其他模型更快。通过 softmax 函数分配注意力权重  $a_{ij}$ , 而  $o$  表示正则化自注意力特征图。

最后通过卷积神经网络结构, 提取每日贵金属价格的空间特征, 最后用全连接层来提取铜价时间序列数据的关键特征进行铜价预测。

接下来将两种预测结果进行组合。通过构建一个目标函数, 使得目标函数在相应的权重下达到最小值或者最大值。本模型采用的目标函数有最大化预测有效度, 最小化误差平方和等等。通过遗传算法来计算最小化误差平方和从而确定各模型的权重系数, 然后将两种预测方法结果进行线性加权, 得到最优预测结果。最终将以上数据分析和各类预测方法进行系统性的整合, 形成完整的原料价格预测体系。

## 2.2. 成品与原材料价格回归分析

针对成品的招标价格分析，基于回归模型构建原材料与成品招标价格的关系。线性回归法主要针对自变量少的情况下对目标值进行预测，通过自变量与目标间的特征评估出一种合理的线性关系，该算法主要是利用数理统计中回归分析，确定相关量及预测量之间相互关联依赖的关系度，在实际业务中应用十分广泛[4]。其模型为  $y = a + bx$ ，其中回归系数用最小二乘法来求解：

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (16)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (17)$$

## 3. 实证研究

### 3.1. 数据概况

为实现成品价格的预测分析，本文主要从原料价格、社会经济因素、物资采购方面进行数据收集，主要包括如下数据：

- 1) 铜现货价格，取 1#电解铜(2019/01/02 至今，日均价，来源：上海有色网)；
- 2) 铝现货价格，取 A00 铝(2019/01/02 至今，日均价，来源：上海有色网)；
- 3) 仓单数量(2019/01/02 至今，日期末数量，来源：上海期货交易所)，即仓库中可供交割的商品数量；
- 4) 人民币兑美元汇率(日，来源：中国银行外汇牌价)；
- 5) WTI 原油期货结算价、布伦特原油期货结算价(日，来源：NYMEX)；
- 6) 2018~2021 年招标数据(来源：内部数据)；
- 7) 2018~2021 年采购履约数据(来源：内部数据)。

### 3.2. 数据清洗及准备

以公司的 2018~2021 年招标及采购履约数据为基础，结合能源数据和公共数据收集，进行数据清洗，主要包括异常值处理、数据关联、缺失数据补充、维度聚合，在此基础上形成数据建模和分析的基础。

(1) **数据关联**：以框架协议编号、框架协议行项目将采购履约数据与中标数据进行关联。

(2) **数据准备**：基于铜、铝现货价格，根据招标日期、匹配日期，分别计算其前 1 天、前 7 天、前 30 天的铜、铝原料均价。

(3) **维度聚合**：针对采购履约的关联数据进行维度聚合，颗粒度最细保留到物料描述、需求批次、供应商、招标批次维度的采购价格及其他相关数据。

### 3.3. 成品价格趋势预测

通过结合前文模型结果，对成品价格进行趋势预测。以 10 kV 电力电缆为例，模型对未来 52 周(自 2021 年 19 周)的 10 kV 电力电缆的中标价格进行预测，预测结果如图 1 所示。随着铜价的波动及对原料的价格敏感性，各成品的中标价格波动趋势符合预计。

### 3.4. $k$ 值回归分析

$k$  是代表了单位原材料价格变动对成品价格的影响。基于联动公式  $P = P_0 + K * (B - A)$ ，发现

$K = (P - P_0) / (B - A)$ ，即(采购履约价 - 中标价)/(履约时上月原料均价 - 中标时原料价格)，是成品价格波动与原料价格波动的比值。它本身是客观存在的值，由成品物料清单中所需的原材料的数量，供应商相关运营成本等因素决定。准确的  $k$  值能根据当前市场的原料价格判断合理的成品价格，也能原料价格的预测指导成品价格的走势。

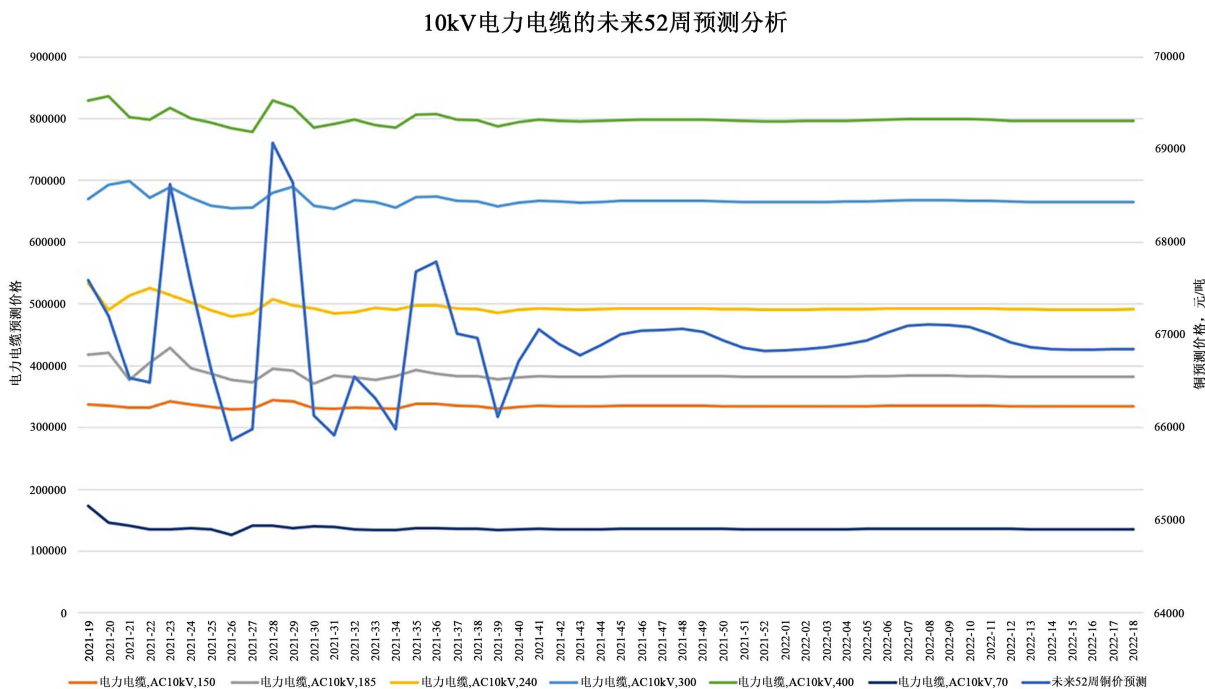


Figure 1. Forecast analysis of 10 kV power cable in the next 52 weeks

图 1. 10 kV 电力电缆未来 52 周预测分析

因此，本文通过对  $P - P_0$  和  $B - A$  进行回归分析，计算各物料的  $k$  值。主要从前  $N$  天原料均价和中标批次两个维度对 10 kV 电力电缆进行分析，并与原值进行对比。

1) 1120 AB 的  $k$  值结果更具代表性

由于铜的价格自 2020 年下半年起有明显的增长，对比自 19 年履约的所有中标批次和 1120 AA、1120 AB 的中标批次履约，从结果上来看，考虑 1120 AA 或 1120 AB 的  $k$  值计算相对合理。以多次招标时间的对应的中标价格作为期望的市场采购价格，经验证，1120 AB 的  $k$  值较 1120 AA，更接近原料对成品的市场价格波动应影响

2) 原料均价观测时长对  $k$  值影响较低

对比 1120 AA 中标批次履约的前 3 天原料均价和前 7 天原料均价，由于 1120 AA 履约期间铜价整体呈现上升趋势，因此考虑过去 7 天均价时，履约前均价会略微偏低，略微影响  $k$  值结果。

3) 电力电缆的当前  $k$  值普遍偏低

从物料上来看，对比当前  $k$  值和 1120 AA、1120 AB 的  $k$  值，电力电缆的当前  $k$  值普遍略微偏低，导致当前采购价格偏低。

#### 4. 推广前景

本文根据大宗原材料价格数据的特点，利用神经网络模型对其进行了价格预测。不同于以往的单一

成品价格预测模型, 本文综合考虑成品价格波动因素, 对关键原材料进行多因素和时间序列模型一次预测, 在此基础上基于回归模型对成品价格进行预测分析, 多维度分析价格取数, 进一步降低价格预测的偏差。实验结果表明, 该模型在成品价格预测方面具有较好的性能, 预测准确率达到 95% 以上, 能够帮助电力企业合理匡算招标价格, 提高资金运用效率。鉴于神经网络具有强大的自我学习能力、良好的泛化能力以及高度可调节性, 本研究在未来可以有进一步改进[5]。

同时可将价格预测的分析思路和模型进行典型经验总结, 立足物资专业、引领示范推广。基于企业物资采购业务需求实际和未来行业发展需要, 以价格分析与预测为核心, 打造电力企业供应链采购决策体系, 加强宣传推广, 切实执行电力企业数字化转型的战略部署。实现横向及纵向全面推广, 对内可以拓展到全行业, 推进物资价格分析与预测成果应用, 贯通各业务层级、各专业领域的数据壁垒, 从物资价格维度实现物资高质量供应, 提升招标风险防控能力; 对外可以总结典型经验、创新供应链采购决策机制, 打造数字化物资计划管理新模式, 全面提升物资服务保障能力, 助力我国能源革命建设。

## 参考文献

- [1] 刘华军, 石印, 郭立祥, 乔列成. 新时代的中国能源革命: 历程、成就与展望[J]. 管理世界, 2022, 38(7): 6-24. <https://doi.org/10.19744/j.cnki.11-1235/f.2022.0098>
- [2] 王晓敏. 多因素和时间序列下铜价格预测模型的构建及应用[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020. <https://doi.org/10.27393/d.cnki.gxazu.2020.000726>
- [3] 王阳. 基于小波变换和神经网络的电能质量扰动分析研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉纺织大学, 2021. <https://doi.org/10.27698/d.cnki.gwhxj.2021.000117>
- [4] 安颖坤, 朱永丹. 基于线性回归法和指数平滑法对电力负荷的预测[J]. 电力设备管理, 2021(5): 177-179.
- [5] 袁铭涓, 孙若莹. 基于 LSTM 神经网络的大宗农产品价格预测研究[J]. 海峡科技与产业, 2021, 34(11): 43-47+60.