

# 基于原材料价格和库容监控的铜制废旧线缆处置分析模型研究

宣子旺<sup>1</sup>, 高常恺<sup>1</sup>, 刘浩雍<sup>1</sup>, 傅鹏飞<sup>1</sup>, 肖 锋<sup>2</sup>

<sup>1</sup>恒能泰利永分公司, 上海

<sup>2</sup>上海久隆企业管理咨询有限公司, 上海

Email: fengnadong@126.com

收稿日期: 2020年11月30日; 录用日期: 2020年12月24日; 发布日期: 2020年12月31日

## 摘 要

随着电网建设规模的持续扩大, 对金属导线的用量需求逐渐增加, 由于新旧产品的更替速度较快, 每年有大量铜制废旧线缆退役退出, 为提高电网企业废旧物资管理的经济与社会效益, 本项目从铜制废旧线缆的实际处置情况出发, 识别废旧电力电缆处置价格的关键材料, 建立多因素时间序列分析模型, 实现废旧线缆处置与市场价格联动, 形成智能分包与智能设定竞拍底价的处置策略, 实现处置效益的最大化。同时, 结合废旧仓库库容管理, 形成铜制废旧线缆动态批次处置预警机制, 以实现处置效率的最大化。联合价格预测、库容监控两方面共同优化电力企业废旧物资处置管理工作, 提升电力企业废旧线缆处置收益, 为电力公司提质增效做出贡献。

## 关键词

铜制废旧线缆, 价格理论, 时间序列分析, 最优化理论

# Research on Analysis Model of Disposal of Waste Copper Cables Based on Raw Material Price and Storage Capacity Monitoring

Ziwan Xuan<sup>1</sup>, Changkai Gao<sup>1</sup>, Haoyong Liu<sup>1</sup>, Pengfei Fu<sup>1</sup>, Feng Xiao<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hengneng Tailiyong Branch, Shanghai

<sup>2</sup>Shanghai Jiulong Enterprise Management Consulting Co., Ltd., Shanghai

Email: fengnadong@126.com

Received: Nov. 30<sup>th</sup>, 2020; accepted: Dec. 24<sup>th</sup>, 2020; published: Dec. 31<sup>st</sup>, 2020

## Abstract

With the continuous expansion of the scale of power grid construction, the demand for metal wires is gradually increasing. Due to the rapid replacement of new and old products, a great number of waste copper cables are withdrawn from service every year. In order to improve the economic and social benefits of waste materials management for power grid enterprises, this project starts from the actual disposal of copper-made waste cables, identifies key materials for the disposal price of waste power cables, establishes a multi-factor time series analysis model and realizes the disposal of waste cables link with market prices to form a disposal strategy of intelligent subcontracting and intelligent setting the bidding reserve price to maximize disposal benefits. At the same time, combined with the storage management of waste warehouses, a dynamic batch disposal early warning mechanism for copper waste cables is formed to maximize disposal efficiency. Combining price forecasting and storage capacity monitoring to jointly optimize the disposal and management of waste materials for power companies, increase the income of power companies from the disposal of waste cables, and contribute to the improvement of quality and efficiency of power companies.

## Keywords

Copper Waste Cables, Price Theory, Time Series Analysis, Optimization Theory

Copyright © 2020 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

近年来, 废旧物资的回收、处理和再利用逐渐受到重视, 废旧物资的处置管理也被提升到企业发展的战略高度。在电力行业, 更加集约化、精益化的报废物资处置方式逐渐形成并应用到设备资产的采购、退役、报废及回收处置的全过程, 大幅提高了电网企业物资管理的经济与社会效益[1]。随着电网建设规模的持续扩大, 对金属导线的用量需求逐渐增加, 由于新旧产品的更替速度较快, 每年有大量铜制废旧电线电缆退役退出, 因此, 电力企业优化完善铜制废旧线缆的处置工作, 保证评估价格测算的合理性与科学性, 对我国经济发展具有重要意义。

本项目从电力废旧线缆类物资仓库的实际处置过程出发, 综合评估处置收益和成本情况, 识别废旧电力电缆处置价格的关键材料, 根据关键材料价值波动的趋势, 建立多因素铜制废旧线缆处置分析模型, 实现废旧线缆处置与市场价格和库容情况的联动, 优化电力企业废旧物资处置管理工作, 提升电力企业废旧线缆处置收益。

## 2. 相关理论与方法

### 2.1. 价格理论研究基础

#### 1) 价值规律与价格机制

价值规律是商品生产和商品交换的基本经济规律, 商品的价值量取决于社会必要劳动时间。而商品价格会因为商品的供求关系而出现反复震荡波动的情况。价格机制是在市场中商品的供需情况和导致价

格发生变动的相关因素的基础上形成的，其中包含价格的形成、运行和调节机制。价格机制可以调整生产、传导信息和优化资源配置。

## 2) 均衡价格理论

均衡价格是指某种商品的需求量等于其供给量时所对应的价格，即当市场实现供需均衡时，商品所对应的价格，在此价格水平上的商品成交量被称为均衡数量。当铜的价格处于较低水平时，市场上的铜需求量多于其供给量，供不应求的情况导致铜的价格出现上涨的趋势；当铜的价格处于较高水平时，市场上的供给量多于其需求量，供过于求的情况导致铜价格出现下跌的趋势。如图 1 所示，其中 S 曲线代表铜的供给曲线，D 曲线代表铜的需求曲线，点 E 即为铜的均衡点，点 E 的横坐标值点  $Q_e$  即为铜的均衡数量，纵坐标点  $P_e$  即为铜的均衡价格。

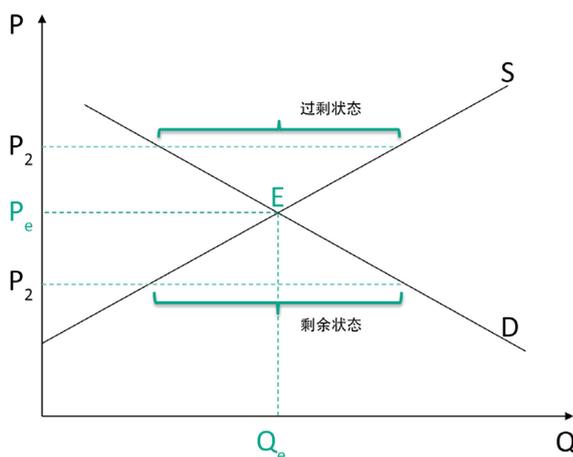


Figure 1. Equilibrium price theory  
图 1. 均衡价格理论

## 2.2. 价格预测研究方法

### 1) 相关性分析法与回归预测分析法

相关分析和回归分析都是研究客观事物之间相关关系的分析方法。相关性分析指对两个或多个具备相关性的变量元素进行分析，从而衡量两个变量因素的相关密切程度。相关性分析可以看出变量之间是否有关系以及这种关系的强弱，但无法判断相关因素之间的因果方向。回归分析则可以通过在相关分析的基础上进一步分析因素之间作用的方向从而建立回归模型。根据自变量个数的不同，回归分析可以分为一元回归和多元回归。

### 2) 时间序列分析法

时间序列，指某些数值在固定的时间间隔上按照被观测的次序排列起来而产生的一组数列，其变化规律可以大体分为三种：趋势性变动、周期性变动、随机性变动。复杂的时间序列将这三种变化叠合在一起。其中第一种和第二种变化规律相对简单，被称为确定性时间序列。第三种，随机性变化是指变化无规则且不确定，多由偶然因素引起，分析起来比较复杂，被称为随机性时间序列分析。

## 2.3. 仓储管理理论基础

仓储管理是指对仓储进行管理的行为和活动，仓储管理涉及对仓储的库房及物资进行管理，并对物资出入库进行统一的管理，仓储管理是物资管理部门针对仓储管理的现状进行仓储活动的安排，使仓储物资利用率达到最优的过程和行为。随着我国经济发展的市场化程度不断提升，针对物资仓储管理的概

念也不断变化，基于最优化理论，遵循物资仓储管理经济效益最优化原则，运用背包动态规划的方法开展仓储管理能够提高物资管理水平，降低仓储成本，提高管理的科学化和精确度，从而提高企业的经济效益。

最优化理论是关于系统的最优设计、最优控制、最优管理问题的理论与方法。最优化是在一定的约束条件下，使系统具有所期待的最优功能的组织过程，其目的在于针对所研究的系统，求得一个合理运用人力、物力和财力的最佳方案，发挥和提高系统的效能及效益，最终达到系统的最优目标。运用最优化理论的过程中应遵循局部效应服从整体效应的原则、系统多级优化原则、优化的绝对性与相对性结合的原则。

### 2.4. 仓储管理研究方法

物资仓储管理的主要作用就是提供高效服务所进行的计划、组织、控制和协调过管理流程和措施进行企业物资的出入库管理、利库管理、三料管理等各项活动，进一步降低物资仓储的成本，物资仓储管理可以满足企业物流管理和供应链管理的日常需要。主要研究方法包括优化配置仓储物资资源、合理组织管理机构。合理的规划和组织物资仓储管理部门，设立有效的物资仓储管理机构、充分利用先进的仓储手段。

## 3. 基于原材料价格的废旧线缆处置价格分析模型

### 3.1. 铜制废旧线缆处置价格与铜价的相关性分析

铜作为重要的大宗商品，具有熔点低、电阻率低、延展性好、导热性强和导电性能好等特性，被广泛用于电力电器、机械电子制造业、交通能源和建筑领域，成为支撑国民经济发展的主要有色金属之一。

如图 2，从铜矿到铜制品，一般经过找矿、采矿、选矿、冶炼(粗炼、精炼)、加工等过程，铜的供给分为铜矿供给和冶炼供给两方面，铜冶炼供给的最终产品为精炼铜[2]。铜制废旧线缆处于铜行业产业链的供应端，属于铜的冶炼供给，最终产品为精炼铜，以电解铜为代表。选取 2015 年 1 月 5 日至 2020 年 9 月 9 日电解铜日均价格数据，绘制趋势图如下图 3 所示。

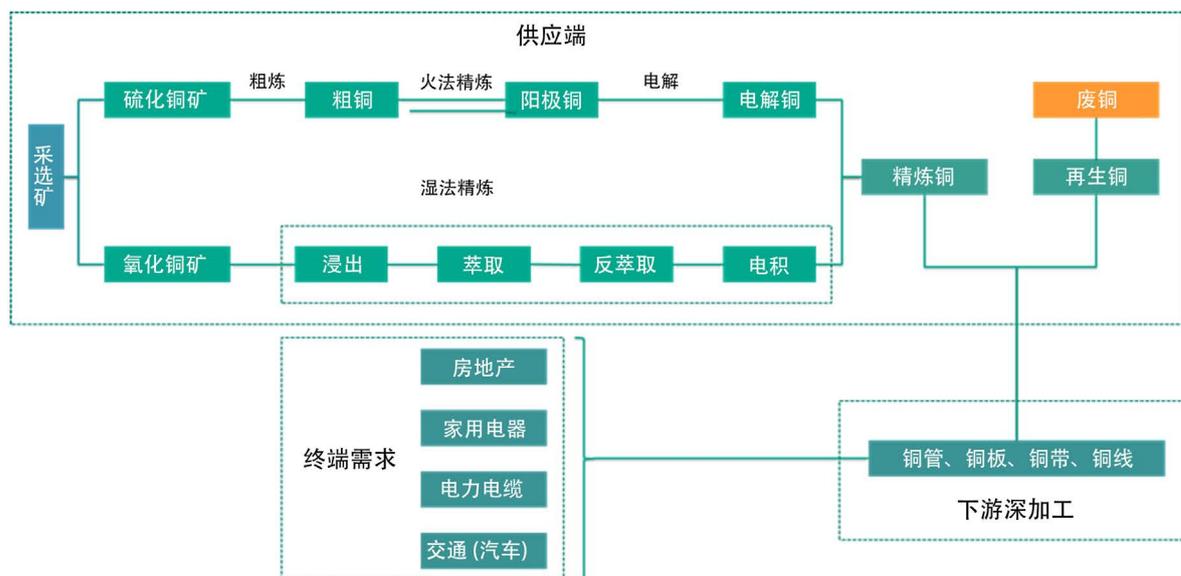


Figure 2. Copper industry industrial chain  
图 2. 铜行业产业链

如图 3，铜的价格波动性较强且波动规律复杂，呈现出非平稳、非线性和高噪声等特点[3]。现货铜价格、期货铜价格以及铜制废旧线缆历史成交数据，都可按照时间的先后顺序排列，而时间序列数据之间往往存在统计上的依存关系。选取 2019 年 1 月至 2020 年 3 月废旧线缆处置价格与对应的铜现货价格与期货价格月度数据开展相关分析，见图 4。

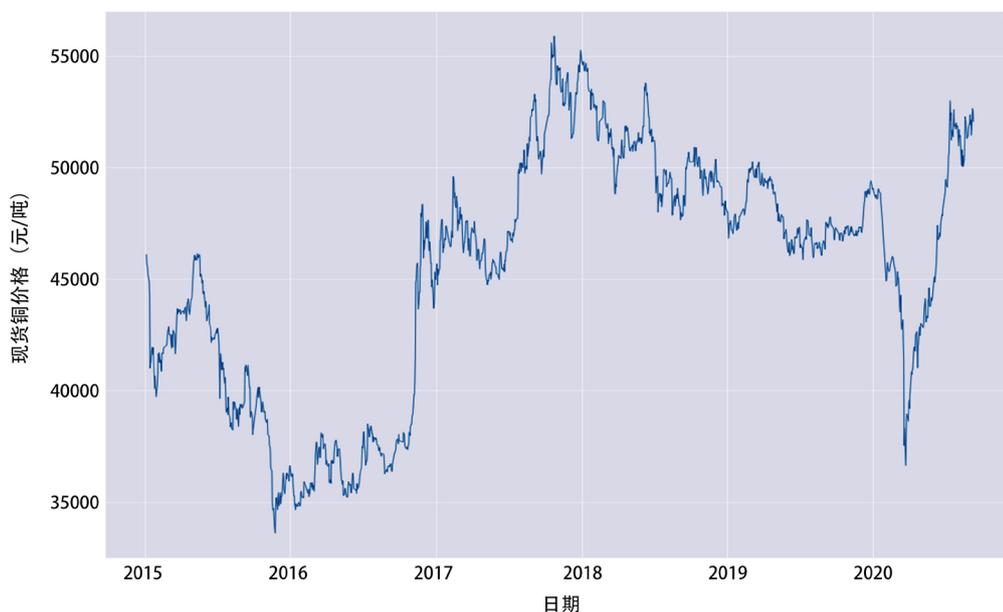


Figure 3. Average daily price of electrolytic copper

图 3. 电解铜的日均价格

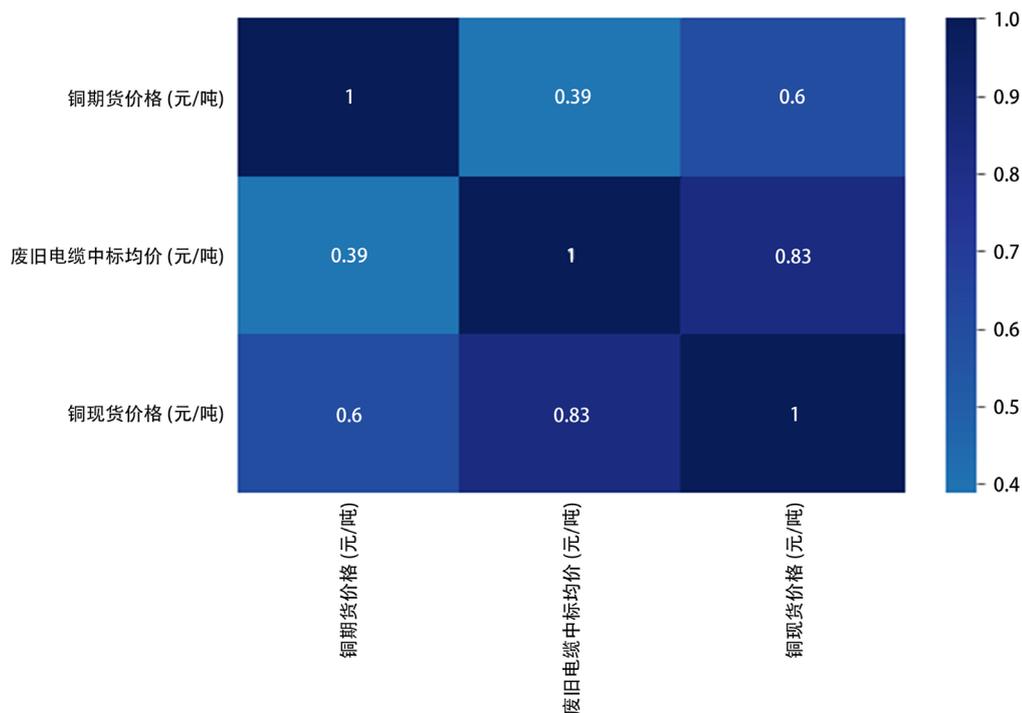


Figure 4. Correlation analysis

图 4. 相关性分析

电网废旧电缆处置价格与现货铜的价格具有强相关关系，见表 1。同时，就废旧物资本身而言，不存在期货价格[4]，因此本文主要考虑废旧电缆的历史成交价格与现货铜的价格的波动。基于同一时间段内，8808 笔废旧电缆历史交易的日均成交单价与对应的现货铜日均价格、单日最高价格、单日最低价格数据，绘制趋势图如下图 5 所示。

**Table 1.** Correlation coefficient test of copper price  
**表 1.** 铜价格的相关系数检验

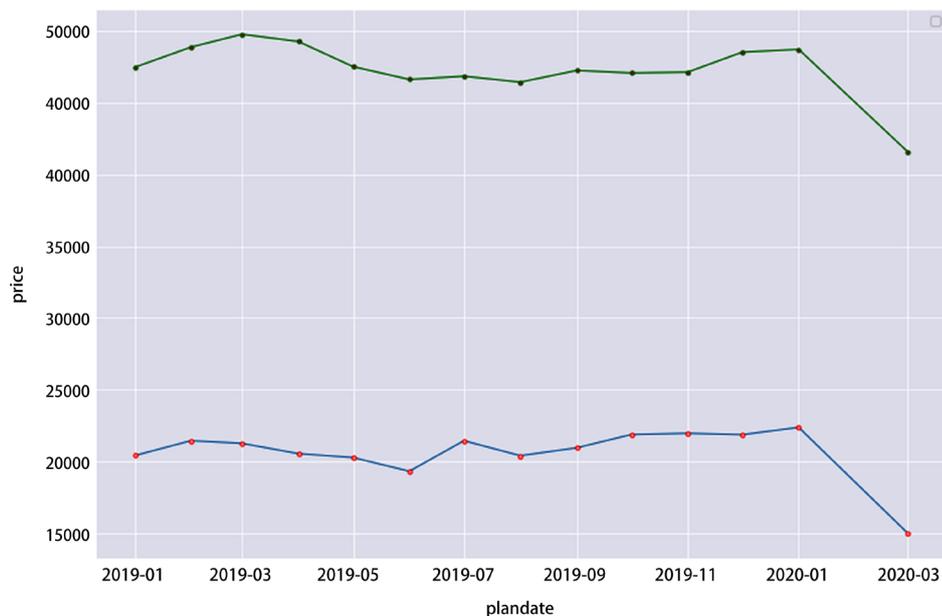
单位：元/吨		废旧线缆均价	铜现货价格	铜期货价格
废旧线缆均价	相关系数	1		
	$p$ 值			
铜现货价格	相关系数	0.833**	1	
	$p$ 值	0.000		
铜期货价格	相关系数	0.387	0.597*	1
	$p$ 值	0.171	0.024	

\* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ .

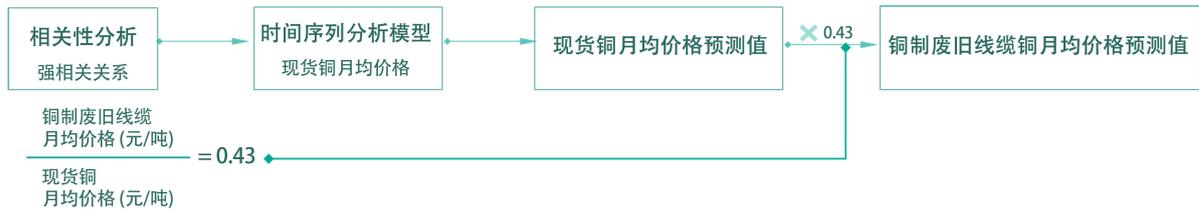
由图 5 可知，废旧线缆的历史处置价格与现货铜的价格水平均具有一定的趋势性，且二者之间具有明显的联动特征。通过相关系数检验，确定废旧线缆的真实处置价格与现货铜的交易价格之间同样具有显著的相关关系，相关系数在 0.3 左右。由于日度数据具有较大的波动性，本文采用月度数据，保证时间序列数据的稳定性。现货铜的月均价格与铜制废旧线缆价格之间的比值稳定在 0.43 左右(见图 6)。

### 3.2. 基于原材料市场价格的时间序列分析模型

本文选取 2019 年 1 月至 2020 年 3 月期间现货铜的月均价格作为样本数据集进行分析。基于前文分析可知，现货铜的月度平均价格是非平稳时间序列，且具有一定的趋势性，因此首先对时间序列进行差分处理，开展平稳性检验，又称单位根检验。



**Figure 5.** Average daily price trend of scrap cables and spot copper  
**图 5.** 废旧线缆与现货铜日均价格趋势图



**Figure 6.** Forecast and analysis route of the monthly average price of scrap copper cables  
**图 6.** 铜制废旧线缆月均价格预测分析路线

由表 2 可知, 针对铜现货价格(元/吨) (一阶差分), 该时间序列数据 ADF 检验  $t$  统计量为-4.908,  $p$  值小于 0.01, 即在 1%的置信水平下, 可以拒绝原假设, 经过一阶差分的时间序列没有单位根, 是平稳序列。

**Table 2.** ADF test result  
**表 2.** ADF 检验结果

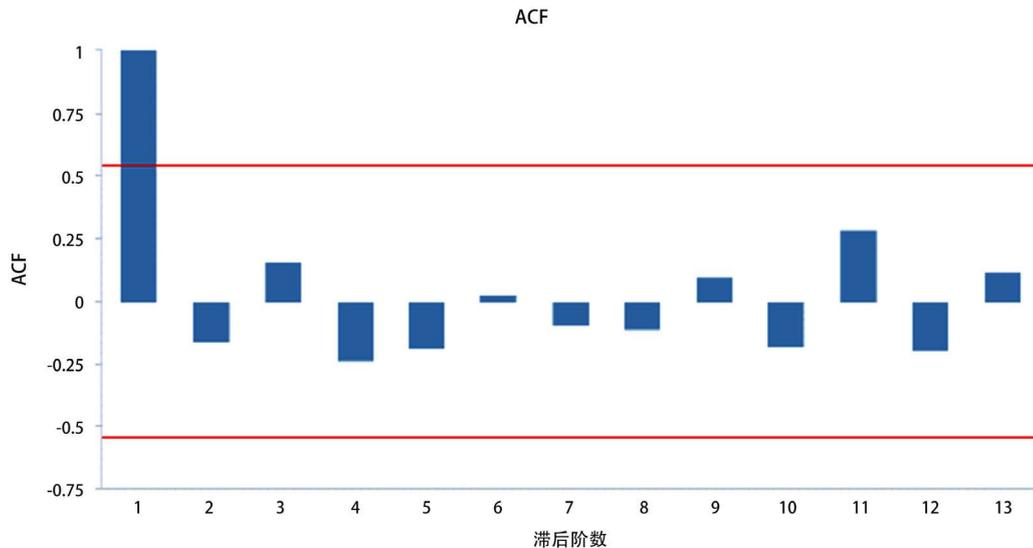
差分阶数	$t$	$p$	临界值		
			1%	5%	10%
1	-4.908	0.000	-4.138	-3.155	-2.714

如图 7, 现货铜价一阶差分序列的自相关系数和偏自相关系数始终不为零, 均具有拖尾性。因此可以判断序列适用于 ARIMA ( $p, 1, q$ )预测模型。对  $p$  值和  $q$  值均进行不超过 6 的尝试, 综合显著性最大, AIC 和 SIC 最小以及模型最简的原则考虑, 建立差分自回归移动平均模型 ARIMA (2, 1, 1), 模型表达式为:

$$y_{(t)} = 101.972 \times y_{(t-1)} + 0.188 \times y_{(t-2)} + 0.358 \times \varepsilon_{(t-1)}$$

$$\text{铜制废旧线缆预测价格} = \text{现货铜预测价格} \times 0.43$$

其中  $y$  是现货铜预测价格,  $t$  代表月度周期,  $\varepsilon$  表示随机序列。对模型残差进行白噪声检验, 根据 Q 统计量结果, Q6 的  $p$  值(0.803)大于 0.1, 说明在 0.1 的显著性水平下不能拒绝原假设, 此模型的残差是白噪声, 模型基本满足要求, 预测曲线见图 8。



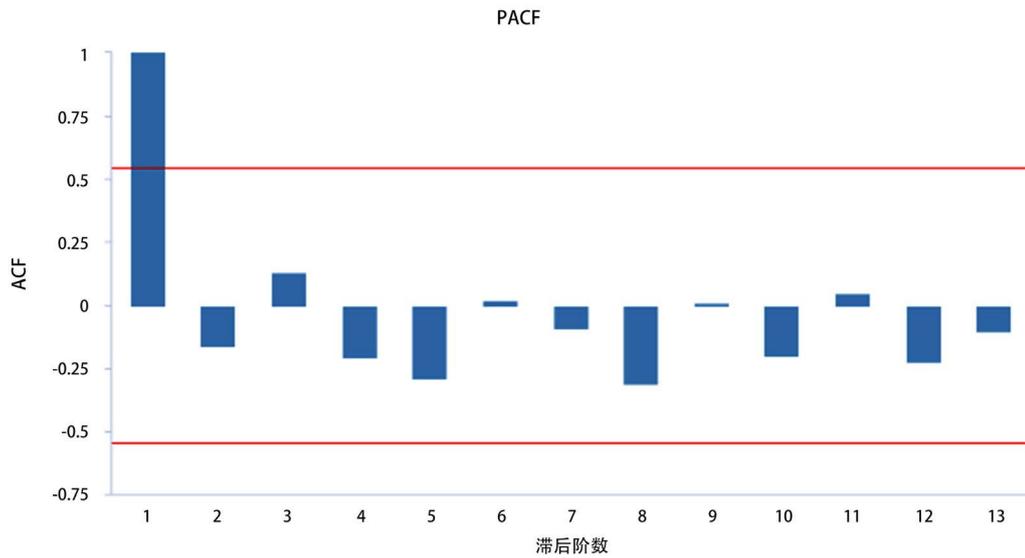


Figure 7. Autocorrelation Function (ACF) analysis and Partial Autocorrelations Function (PACF) analysis  
图 7. 自相关和偏自相关分析图

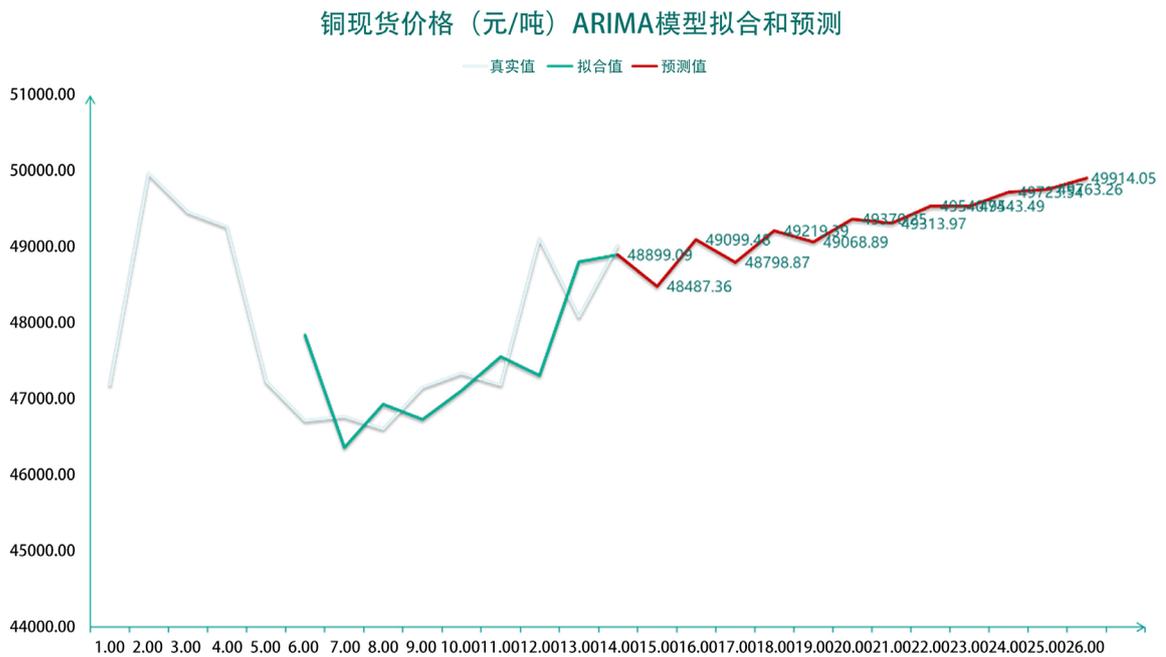


Figure 8. Model fitting and prediction of copper spot price (yuan/ton)  
图 8. 铜现货价格(元/吨)模型拟合和预测

相比于铜制废旧线缆的真实交易历史价格，现货铜价数据更具连续性和稳定性，因此逐月动态更新同年现货铜的月度平均价格水平数据，计算智能处置预警系数  $k$ ：

$$k = \frac{\text{最近一个周期铜的价格预测结果}}{\text{同年度铜的平均价格水平}}$$

计算 2018 年均价格，经计算， $k$  的取值范围为[0.970, 1.043]，其 1/4、3/4 分位数依次为 0.98、1.02，分层级设置智能处置计划预警，见表 3。

**Table 3.** Early warning table of hierarchical intelligent disposal plan  
**表 3.** 分层级智能处置计划预警示意表

$k$ 值区间范围	智能处置计划预警信号
$k < 0.98$	减少或停止安排处置计划。 当不得不进行处置时，出铜率较低的种类优先。
$0.98 < k < 1.02$	正常安排处置计划。
$1.02 < k$	增加安排处置计划 出铜率较高的种类优先。

## 4. 多因素铜制废旧线缆处置分析模型应用方案设计

### 4.1. 铜制废旧线缆仓储空间使用价值评估模型

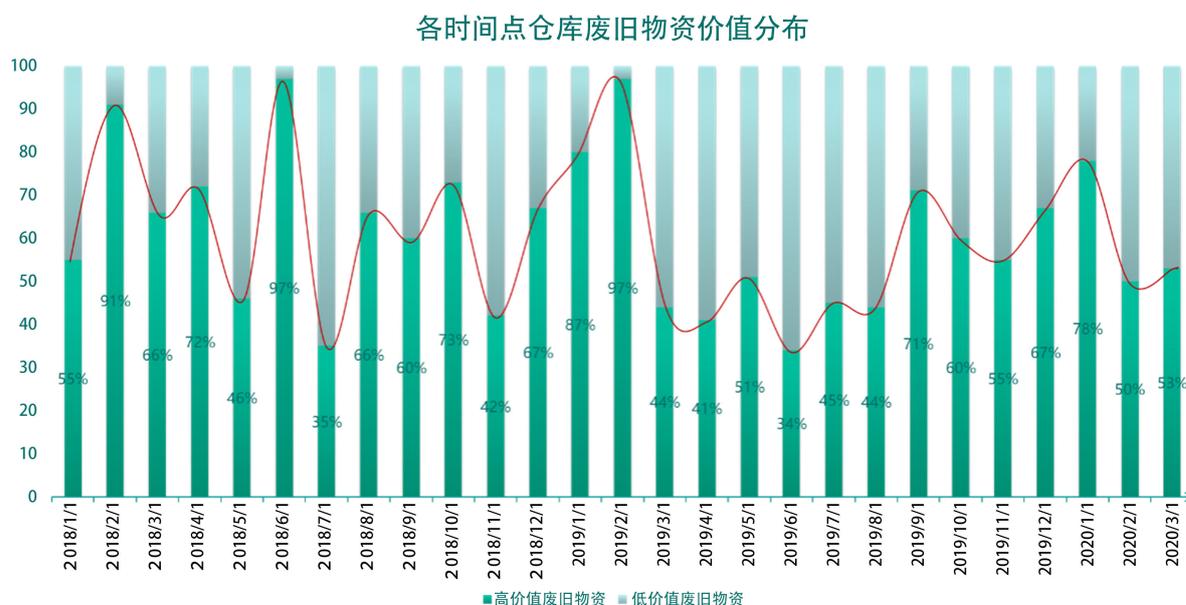
在真实拍卖过程中，不同型号规格的铜制废旧线缆的价格主要由其提炼所得铜的重量决定，不同型号、不同规格的铜制废旧线缆具有不同的出铜率，即每单位长度的线缆能够提炼出铜的重量[5]。因此，可以建立铜制废旧线缆的价值估算模型，表达式如下：

$$V = \theta_{\text{材料}} \cdot l \cdot p$$

### 4.2. 基于库容监控的动态批次处置机制

由于仓库空间是有限的，而且废旧物资的价值存在差异，处置时间的延迟意味着保管和仓储的费用增加[6]，因此对仓库的空间分配和物料的价值分布情况进行统计分析，以便为铜制废旧物料处置时机的选择提供建议。

从图9和图10可以看出废旧仓库的价值构成具有周期性特征，每年1月至3月，8月~10月仓库以铜为代表的高价值废旧物料在废旧仓库的价值构成中占较大比重，仓库内铜制废旧线缆的总价值较高，是仓库总价值的重要组成部分，其对废旧仓库空间的占用情况也具有明显的周期性特征，每年1月至3



**Figure 9.** Value composition of waste warehouses  
**图 9.** 废旧仓库的价值构成情况



Figure 10. The proportion of space occupied by copper waste materials  
图 10. 铜制废旧物料的空间占比情况

月、5月至9月间都会出现存量骤减的情况，即清库。根据趋势曲线的波动情况，清库行为都发生在存量接近高峰水平线之后，说明目前的处置计划仅考虑库容的堆积情况，并未与现货铜的价格进行联动。统计分析铜制废旧物料在废旧物资仓库内的空间占比历史数据分布的中位数、四分之三分位数设定库容监控的处置预警点，应用废旧物资价值评估模型进行即时运算，形成动态批次处置机制，见表4。

Table 4. Dynamic batch disposal mechanism  
表 4. 动态批次处置机制

仓库空间占比	库容状态	提示信息
45%以下	安排处置计划	若历史铜价与预测铜价均呈下降趋势，则适当增加处置量。 若现货铜的预测价格大幅上升，则增加高价值品类铜制废旧线缆的处置量。
45%~55%	安排处置计划	若历史铜价与预测铜价均呈下降趋势，则适当增加处置量。 若现货铜的预测价格大幅上升，则增加高价值品类铜制废旧线缆的处置量。
55%以上	<b>爆仓预警</b>	尽快处置。

### 4.3. 基于价格研判的智能分包策略

铜制废旧线缆按照型号、规格的不同，其单位长度包含铜的重量不同，内在价值也不同[7]。利用出铜率指标对其科学分包，并根据处置时机的选择，为其设定合理的处置优先级。对ERP系统内含出铜率的212条物料信息进行分析，按物料编码绘制不同物料编码的出铜率情况，见图11。

如图12，从总体来看，铜制废旧线缆按出铜率进行分包定价是合理的，将铜制废旧线缆分为五包，按此级别划分物料编码并进行分类保管、分包竞拍，同时基于各标包内所有规格型号的铜制废旧线缆的价格估值情况，计算其平均值设定为竞拍底价，见表5。

### 4.4. 基于原材料价格和库容监控的铜制废旧线缆处置分析模型

基于多因素铜制废旧线缆价格预测和废旧仓库的空间占用和价值分布情况，根据最优化理论，建立动态组合优化模型，见图13。

**目标函数：**处置收益最大化

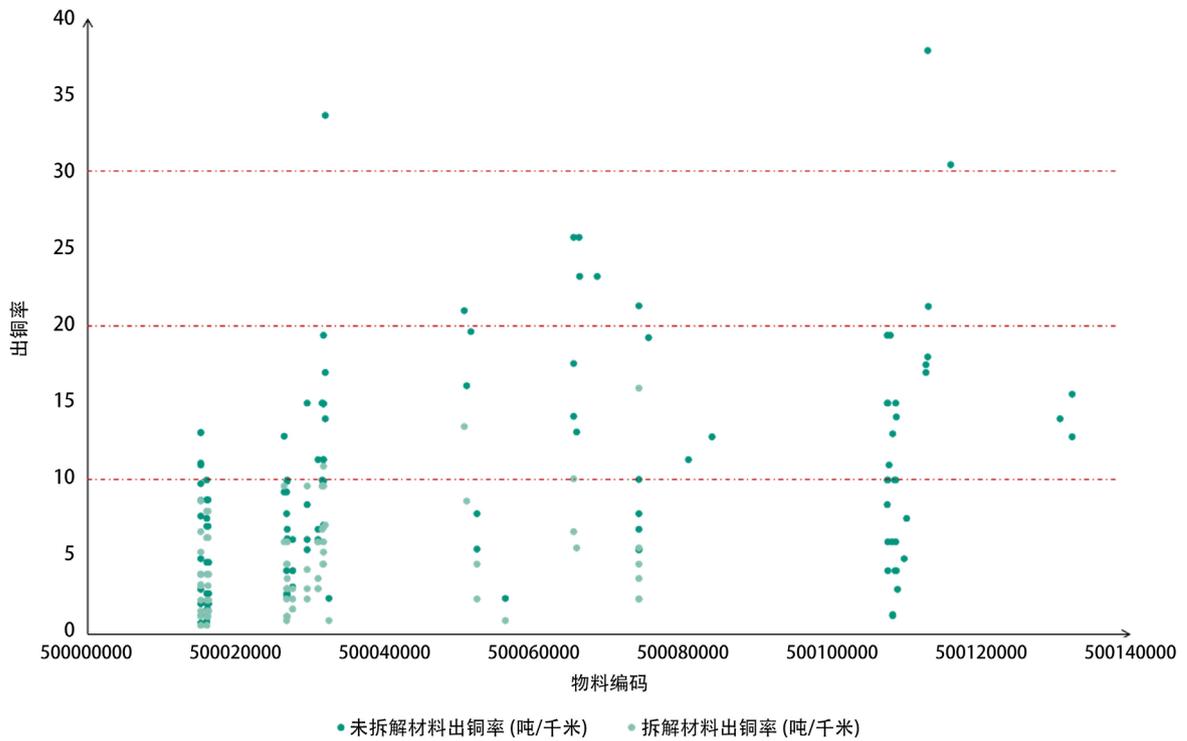


Figure 11. Distribution of copper rate on material code

图 11. 出铜率在物料编码上的分布情况

不同规格铜制废旧线缆出铜率的分布情况

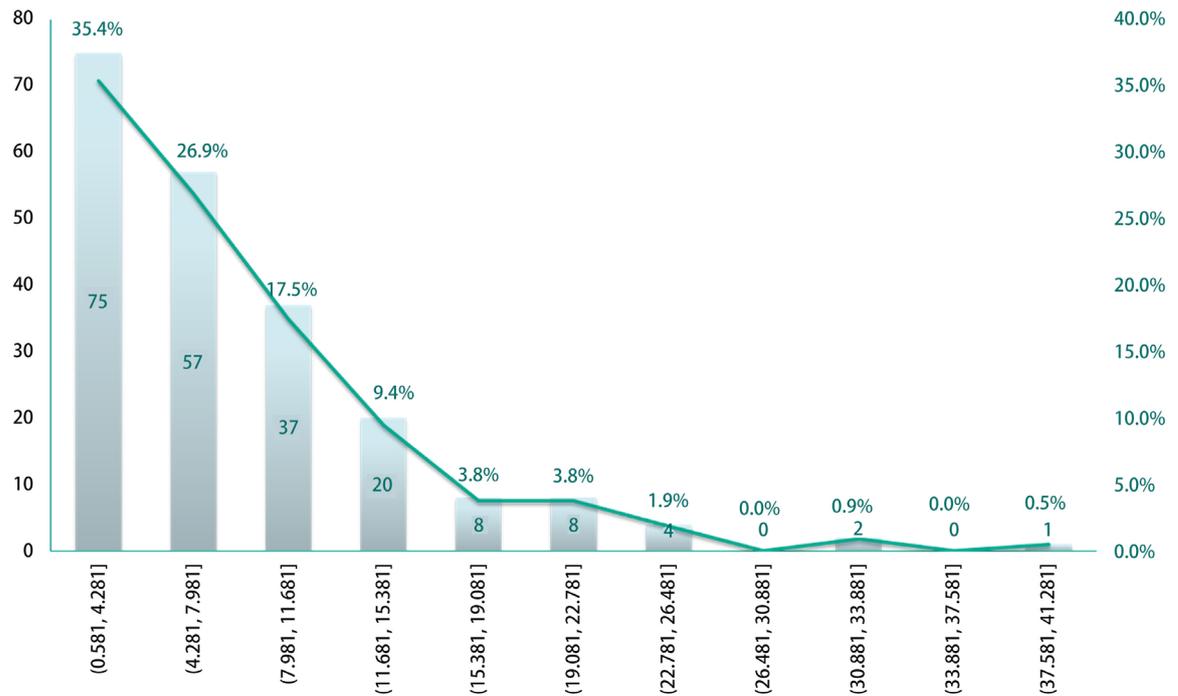
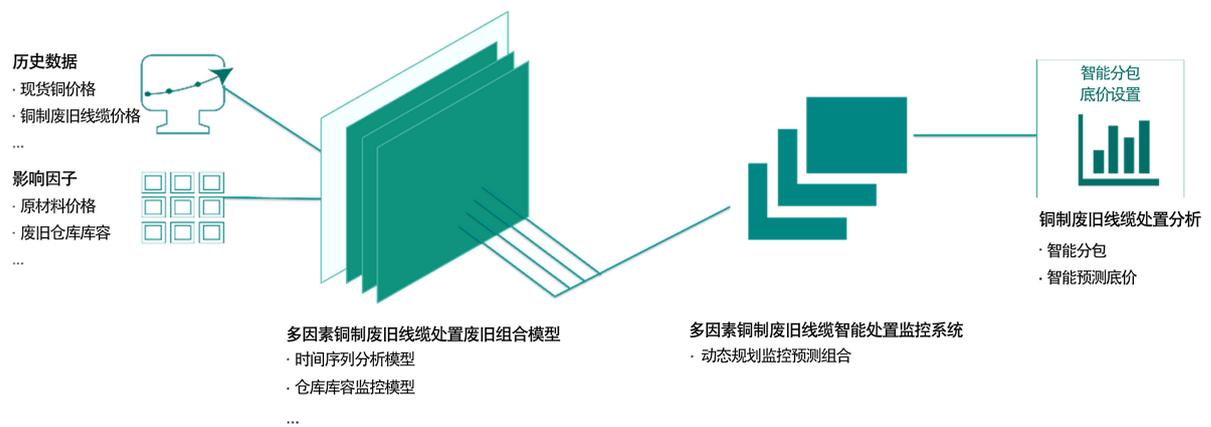


Figure 12. Distribution of copper yields of scrap copper cables with different specifications

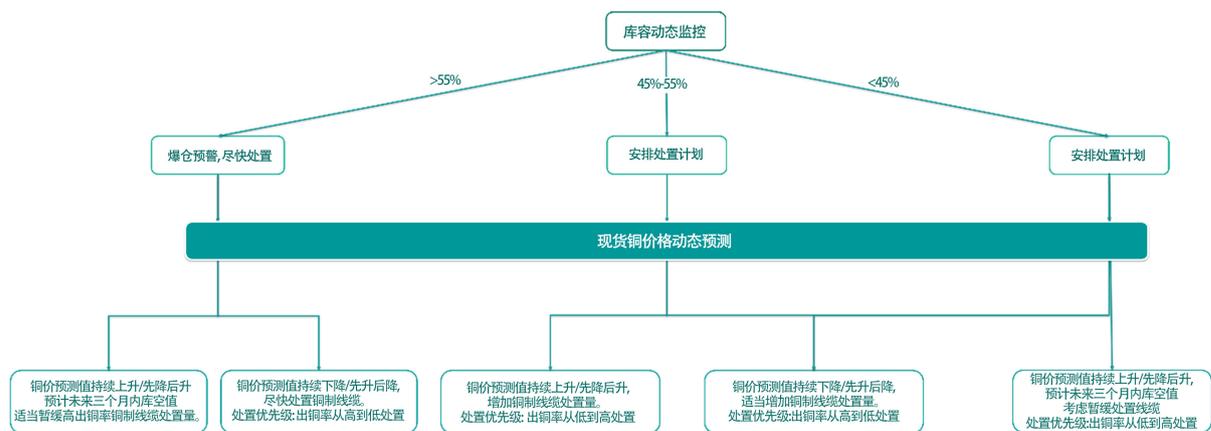
图 12. 不同规格铜制废旧线缆出铜率的分布情况

**Table 5.** Smart subcontracting disposal plan  
**表 5.** 智能分包处置计划

出铜率区间范围	分包物料编码个数
(0.581, 4.281]	75 种
(4.281, 7.981]	57 种
(7.981, 15.381]	57 种
(15.381, 26.481]	20 种
(26.481, +∞)	3 种



**Figure 13.** Multi-factor analysis model for the disposal of waste copper cables  
**图 13.** 多因素铜制废旧线缆处置分析模型



**Figure 14.** Intelligent monitoring and early warning system based on raw material value and storage capacity monitoring  
**图 14.** 基于原材料价值与库容监控的智能监控预警系统

**限定条件:**

- 1) 库容监控预警模型
  - 预警机制: 废旧铜制线缆的仓库空间占比
- 2) 现货铜价格预测——铜制废旧线缆价格监控预警
  - 处置价值估测: 铜制废旧线缆处置价格估测
  - 预警机制: 按 K 值发布分级处置提醒

## 5. 总结

如图 14, 运用多因素废旧物资报废处置监控预警系统一方面可以对废旧仓库的库存情况进行日常监控, 预警提示能够帮助管理人员及时处置低价值铜制废旧线缆, 避免爆仓情况的发生, 实现仓储效率最大化。另一方面, 基于智能分包策略, 将不同价值水平的铜制废旧线缆分类保管, 能够科学评估废旧仓库的价值结构及分布, 为高、低不同价值的铜制废旧线缆选择适宜的处置时机, 智能设定竞拍底价, 实现处置效益的最大化。以上策略能够合理评估废旧物资的处置价格, 引导回收商有序竞争, 建立良好的市场秩序; 避免由于价格变动导致回收商产生履约风险, 提升报废物资处置成功率, 以实现仓储效率和处置效益的最大化, 为电力公司提质增效做出贡献。

## 参考文献

- [1] 肖洒, 王利军, 任乔林, 黄海洋. 废旧电线电缆回收处理技术研究[J]. 通信电源技术, 2016, 33(3): 46-48.
- [2] 章光东, 陈家庚, 魏俊奎. 电网废旧物资价格评估机制及估值模型[J]. 价格月刊, 2016(8): 7-13.
- [3] 陶磊, 刘涛. ARIMA 模型在有色金属价格预测中的应用[J]. 黄金, 2015, 36(1): 5-8.
- [4] 周济. 基于时间序列的上海期铜价格短期预测模型研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国社会科学院研究生院, 2014.
- [5] 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.
- [6] 吴美琼. 电网工程设备材料价格影响因素分析与预测模型研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2018.
- [7] 洪芳华, 施鸣达, 江辰, 顾逸峰, 徐丽. 废旧物资报废处置智能监控预警系统设计及实现[J]. 科技创新与应用, 2017(35): 105-107.