

# 螺纹钢线材市场的多重分形特征

——基于上期所的实证研究

李岩, 庄新田, 苑莹, 田琨

(东北大学工商管理学院, 辽宁 沈阳 110819)

**摘 要:** 运用时间序列分析、多重分形谱以及重标极差分析方法(R/S分析法)对我国螺纹钢线材市场收益率序列进行实证研究。结果表明,我国螺纹钢和高线两种钢材收益率序列具有尖峰厚尾特征,并不服从正态分布,价格之间存在长记忆性,市场未达到弱势有效,从而质疑有效市场假说的合理性。且二者均存在明显的多重分形特征,价格仅用单一的标度指数对其进行描述是不充分的,多重分形分析方法为更好地描述钢材价格的变化规律提供了有力的工具。

**关 键 词:** 螺纹钢线材市场;分形特征;多标度;长记忆性;预测

中图分类号: F 830.9

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2015)06-0903-06

## Multi-fractal Characteristics of the Rebar and Wire Rod Markets: an SHFE-based Empirical Study

LI Yan, ZHUANG Xin-tian, YUAN Ying, TIAN Kun

(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: ZHUANG Xin-tian, E-mail: xtzhuang@mail.neu.edu.cn)

**Abstract:** Based on the time series analysis, multi-fractal method and fractal rescaled range analysis (the R/S method), an investigation on the time series of returns on the rebar and wire rod markets in China was done empirically. It was found that the time series of the returns on both steels are characterized by being leptokurtic and heavy-tailed, which are not normally distributed and show a long-term memory between prices, thus indicating that the rebar and wire rod markets don't reach the soft efficiency. The efficient market hypothesis is thus to be queried. The scale variations of time series show that a single-scale index is insufficient to describe the price fluctuations of commodities. However, the multi-fractal analysis as a powerful instrument can serve to describe more accurately how the prices of rebar and wire rod vary.

**Key words:** rebar and wire rod market; fractal characteristic; multi-scaling; long-term memory; forecast

近年来,非线性系统理论的研究取得了长足发展,诸如混沌、分形等非线性理论已经在各个领域得到应用,其中包括资本市场。分形市场假说从价格波动的长记忆性、收益波动的自相似性角度,解释市场的非线性波动特征<sup>[1]</sup>。Malevergne等<sup>[2]</sup>利用标准普尔500指数的高频数据,研究发现收益率存在负幂律性质。苑莹等<sup>[3]</sup>研究了股市收益率与交易量长记忆性。汪冬华等<sup>[4]</sup>基于每个交易日数据的多重分形分析,构造新的风险度量指标

MFV,用以比较大盘股和中小盘股的风险。

综上,国内学者在研究资本市场分形特征时更多地关注于股票和外汇市场,而对我国大宗商品现货市场的关注较少。在金融危机的影响逐渐消退后,随着中国经济逐渐复苏,钢铁行业所面临的新形势如下:第一,产能过剩、供需矛盾问题尖锐。钢铁企业巨大的产能释放,对市场的供需平衡产生巨大的压力。第二,行业竞争加剧。我国钢铁行业跨地区、跨所有制大规模并购整合,促使行业

收稿日期: 2014-04-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71171042,71271047)。

作者简介: 李岩(1980-),男,辽宁本溪人,东北大学博士研究生;庄新田(1956-),男,吉林四平人,东北大学教授,博士生导师。

集中度进程加快.第三,钢材市场价格出现大起大落,加大了钢铁企业的经营风险.但目前的研究多采用自相关函数及 R/S 等经典方法<sup>[5-7]</sup>对市场的长记忆性及标度不变性进行确认,而很少使用多重分形的分析方法全面地研究分形市场的本质特征,例如自相似性特征、多标度特性等<sup>[8-9]</sup>.

本文对我国螺纹钢线材市场的标度特征进行实证研究.从我国螺纹钢线材市场的描述性统计入手,实证检验结果违背有效市场理论的假设前提,从而引入分形理论.并通过多重分形谱和 R/S 实证研究对我国螺纹钢线材市场的分形特征进行较全面的研究,发现钢材市场中多标度特征.

## 1 研究方法

### 1.1 BDS 检验

依据空间重构方法,给定时间序列  $\{r_t\}$  ( $t = 1, 2, \dots, N$ ), 构造延滞时间的嵌入向量为  $r_t^m = (r_t, r_{t+1}, \dots, r_{t+m-1})$ ,  $t = 1, 2, \dots, T - m + 1$ , 其中  $m \geq 2$  为嵌入维, 定义关联积分为

$$C_{m,T}(\varepsilon) = \frac{2}{(T-m+1)(T-m)} \times \sum_{1 \leq t \leq s \leq T-m+1} I_\varepsilon(r_t^m, r_s^m). \quad (1)$$

式中  $I_\varepsilon = \begin{cases} 1, & \|r_t^m - r_s^m\| \geq \varepsilon \\ 0, & \|r_t^m - r_s^m\| < \varepsilon \end{cases}$ ,  $\|\cdot\|$  为向量的最大模.

当  $T \rightarrow \infty$  时,  $C_{m,T}(\varepsilon) \xrightarrow{d} [C_1(\varepsilon)]^m$ , 统计量 BDS 满足渐进的标准正态分布:

$$\text{BDS}(m, \varepsilon) = \frac{\sqrt{T}(C_{m,T}(\varepsilon) - C_{1,T}(\varepsilon)^m)}{\sigma_{m,r}(\varepsilon)} \sim N(0, 1), \quad (2)$$

式中

$$\sigma_{m,r}(\varepsilon) = 2[K^m + 2(\sum_{j=1}^{m-1} K^{m-j} C_{1,T}(\varepsilon)^{2j}) - (m-1)^2 C_{1,T}(\varepsilon)^{2m} - m^2 K C_{1,T}(\varepsilon)^{2m-2}]^{1/2}, \quad (3)$$

$$K(\varepsilon) = \frac{6 \sum_{t < s < l} h_\varepsilon(r_t^m, r_s^m, r_l^m)}{[(T-m+1)(T-m)(T-m-1)]}, \quad (4)$$

$$h_\varepsilon(i, j, k) = [I_\varepsilon(i, j)I_\varepsilon(j, k) + I_\varepsilon(i, k)I_\varepsilon(k, j) + I_\varepsilon(j, i)I_\varepsilon(i, k)]/3. \quad (5)$$

Brock 等证明, 当统计量 BDS 不收敛于  $N(0, 1)$ , 则时间序列存在非线性结构.

### 1.2 多重分形谱

采用  $q$  阶矩结构分割函数法求解多重分形

谱, 步骤如下:

1) 将价格时间序列  $P_i$  标准化, 即  $P_i = p_i / \sum p_i$ .

2) 计算时间窗  $T$  的价位概率  $P_j(T)$ , 给定  $q$  值, 求配分函数:

$$M_q = \sum_{j=1}^n P_j^q(T). \quad (6)$$

式中:  $n$  为时间窗的总数;  $q$  为任意实数.

3) 建立标度关系:

$$M_q \propto T^{\tau(q)}. \quad (7)$$

4) 求  $\ln M_q(T) \sim \ln T$  曲线的斜率  $\tau(q)$ , 计算多重分形谱  $f(\alpha)$ :

$$\frac{d}{dq}[\tau(q)] = \alpha(q), \quad (8)$$

$$\tau(q) = q\alpha(q) - f(\alpha). \quad (9)$$

$\alpha$  反映了时间序列中各个区间不同的奇异程度,  $f(\alpha)$  值反映了  $\alpha$  所对应的指数值出现的次数, 则  $f(\alpha_{\min})$  和  $f(\alpha_{\max})$  是对应  $\alpha_{\min}$  与  $\alpha_{\max}$  子集的分形维数.

## 2 实证研究

中国是全球最大的钢铁生产国和消费国, 2013 年粗钢产量突破 7.82 亿吨, 占全球产量的 48.5%. 其中螺纹钢和普通线材的产量大, 对国际市场的影响力强. 由于我国正处于工业化和城市化的加快发展阶段, 多年来对螺纹钢和线材需求保持旺盛, 同时我国也是全球最大的线材和螺纹钢出口国. 但是二者的生产、消费、流通环节均处于行业集中度低、竞争激烈的市场格局中, 市场价格波动大, 上下游企业避险需求强烈. 因此本文选取螺纹钢和线材中的高线两个品种进行研究.

### 2.1 螺纹钢线材市场的非线性检验

实证研究数据取自螺纹钢和高线每天的现货价格. 其中, 螺纹钢选择的材质为 HRB335 (交割标准品二级螺纹), 规格为公称直径 20 mm, 高线选择的材质为 Q235, 规格为公称直径 6.5 mm. 数据样本区间为 2005 年 1 月 4 日 ~ 2010 年 11 月 3 日, 共 1 456 个观察数据. 本文的数据来源: 上海斯迪尔电子交易市场、上海大宗钢铁电子交易中心、上海中联钢电子交易市场的实盘交易数据.

#### 2.1.1 螺纹钢线材价格的正态性检验

为了分别降低螺纹钢线材和高线的异方差, 本文对它们进行了对数化处理, 根据现货市场价格原始数据分别得到螺纹钢和高线每日收益 (对数收益率) 时间序列并将其作为检验样本. 其基

本统计分析结果及 Jarque - Bera, Kolmogorov - Smirnor 统计量如表 1 所示。

表 1 螺纹钢、高线日收益基本统计量  
Table 1 Basic statistics of daily yields of rebar and wire rod

钢材	样本数	均值	标准差	峰度	偏度	J - B 统计量	K - S 统计量
螺纹钢	1 456	0.000 066 2	0.002 524	34.660 56	-1.275 632	61 164.55	0.47(0.00)
高线	1 456	0.000 070 2	0.002 617	33.324 33	-1.391 396	56 218.09	0.46(0.00)

注:圆括号中的数字为  $p$  值。

从表 1 可以看出,螺纹钢和高线的日收益率序列的峰度均远大于 3,说明其呈现尖峰态势;偏度均小于 0,说明其分布呈左偏态势;而 J - B 检验统计量估计值均远远大于 1% 和 5% 所对应的临界值(在零假设下,  $J - B \sim \chi^2(2)$ ,  $\chi^2(2, 0.01) = 9.210 3$ ,  $\chi^2(2, 0.05) = 5.991 5$ ),因而都拒绝了日收益率序列服从正态分布的零假设;同样,通过拟合优度检验, K - S 统计量数值均大于给定的临界值。从上述统计结果分析,螺纹钢和高线的收

益率序列都具有典型的“尖峰厚尾”特征,并且不服从正态分布,传统的正态分布假设在置信水平较高时会低估钢材现货市场的实际风险程度。厚尾性越大说明状态持续性越强,在预测价格走势时历史信息越重要,这也进一步表明螺纹钢线材市场价格波动的集群性。

### 2.1.2 螺纹钢线材市场价格的单位根检验

螺纹钢线材市场价格收益率序列的 ADF 检验结果如表 2 所示。

表 2 收益率序列的 ADF 检验  
Table 2 ADF test of stock price index return series

钢材	ADF 统计量	临界值(1%)	临界值(5%)	临界值(10%)
螺纹钢	-16.022 49	-3.434 639	-2.863 322	-2.567 767
高线	-13.314 84	-3.434 642	-2.863 323	-2.567 768

从表 2 可以看出,螺纹钢和高线的日收益率序列的检验  $t$  统计量值分别是 -16.022 49 和 -13.314 84,均远远小于显著性水平为 1%、5% 及 10% 所对应的临界值,因此至少可以在 99% 的置信度下拒绝非平稳假设,认为螺纹钢和高线日收益率序列不存在单位根,表明该收益率序列不服从随机游走的假设。

### 2.1.3 螺纹钢线材市场收益相关性检验

对螺纹钢线材的日收益率序列的线性相关性

进行 Ljung - Box 检验。选择 Ljung, Box 提出的修正  $Q$  统计量:

$$Q = T(T+2) \sum_{k=1}^m (T-K)^{-1} \hat{\rho}_k^2 \sim \chi^2(m) \quad (10)$$

式中:  $\hat{\rho}_k$  是残差序列的  $k$  阶自相关系数;  $T$  为样本容量;  $m$  是设定的滞后阶数。

表 3 为螺纹钢和高线的日收益率序列的 Ljung - Box 检验结果。

表 3 Ljung - Box 检验:修正  $Q$  统计量  
Table 3 Ljung-Box test: modified  $Q$  statistic

钢材	5	10	20	30	40	50
螺纹钢	504.37	558.14	582.18	595.66	600.22	611.12
高线	4 911.9	9 669.2	17 725	24 180	29 090	32 556

表 3 结果表明,螺纹钢和高线的日收益率序列  $Q$  值在 1% 水平下显著,表明螺纹钢线材市场收益率序列存在着较显著的相关性。

进一步选用 BDS 统计量来检验时间序列是否存在非相关性,发现用 AR(6) 拟合螺纹钢和高线的收益率序列的残差,其  $Q$  统计量检验结果如表 4 所示。从表 4 中可以看出, AR(6) 模型的残差序列已消除收益率序列中的线性相关成分。

取嵌入维度为 2 ~ 6, 阈值  $r$  分别为拟合模型

残差序列的标准差的 0.5, 1, 1.5, 2 倍, 表 5 和表 6 给出了 AR(6) 模型残差序列的 BDS 检验结果, 在 1% 和 5% 的显著性水平下, 所计算的螺纹钢和高线的 BDS 统计量的概率值均为 0, 而且随着空间维数  $m$  的增加而增大, 表明所有检验都是显著的, 因此拒绝了 AR(6) 拟合模型的残差是独立的原假设, 说明螺纹钢和高线的日收益率数据分布中存在非线性结构。

表 4 AR 残差:Q 统计量  
Table 4 AR residual:Q statistic

钢材	5	10	15	20	25	30	35	40
螺纹钢	6.077 8	18.088	29.121	36.021	41.900	50.478	53.856	55.991
高线	2.018 8	12.669	22.190	31.880	35.774	50.108	52.005	53.467

注:各滞后阶数在 1% 的显著性水平下的检验结果.

表 5 螺纹钢 BDS 检验  
Table 5 BDS statistics of rebar

<i>m</i>	0.5	1	1.5	2
2	0.041(0.00)	0.042(0.00)	0.024(0.00)	0.012(0.00)
3	0.070(0.00)	0.094(0.00)	0.062(0.00)	0.036(0.00)
4	0.075(0.00)	0.128(0.00)	0.094(0.00)	0.059(0.00)
5	0.068(0.00)	0.148(0.00)	0.119(0.00)	0.079(0.00)
6	0.058(0.00)	0.162(0.00)	0.144(0.00)	0.100(0.00)

表 6 高线 BDS 检验  
Table 6 BDS statistics of wire rod

<i>m</i>	0.5	1	1.5	2
2	0.086(0.00)	0.132(0.00)	0.105(0.00)	0.063(0.00)
3	0.123(0.00)	0.239(0.00)	0.224(0.00)	0.150(0.00)
4	0.121(0.00)	0.289(0.00)	0.306(0.00)	0.224(0.00)
5	0.111(0.00)	0.310(0.00)	0.363(0.00)	0.287(0.00)
6	0.099(0.00)	0.315(0.00)	0.401(0.00)	0.339(0.00)

通过上述实验研究,正态分布检验、单位根检验、收益相关性检验以及非线性的 BDS 检验都表明,看似随机的螺纹钢线材市场收益率数据不是完全随机的,其中均存在着非线性相关结构,这说明我国的螺纹钢线材市场并不是弱势有效市场,这显然与有效市场假说相悖.

2.2 螺纹钢线材市场的异象性特征研究

2.2.1 螺纹钢线材的多重分形标度特征

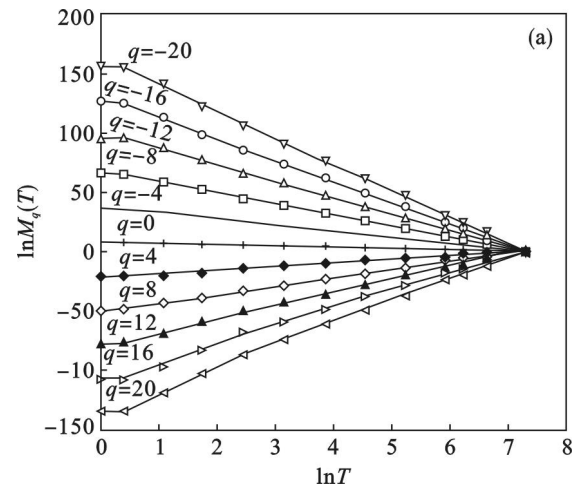
根据多重分形谱公式(9),对我国螺纹钢线材市场中的螺纹钢和高线收益率序列进行多重分形检验,其中  $T$  和  $q$  为选取的参数,结果如图 1 所示.

图 1a 分别为螺纹钢和高线日收益率的多重分形谱  $\ln M_q(T) \sim \ln T$  图形,具有明显的多重分形特征.图 1b 分别为螺纹钢和高线收益序列的  $\tau(q) \sim q$  图形,该图形的非线性也说明螺纹钢线材市场具有多标度的特征.而从图 1c 的  $f(\alpha) \sim \alpha$  多重分形谱图中可进一步看出,螺纹钢和高线市场的  $\alpha$  值均非只有一个标度指数,其  $\alpha$  值分别以  $(0.889 \sim 1.083)$  和  $(0.894 \sim 1.069)$  为标度范围,且整个标度范围均大于 0.5,这不仅再一次证实了螺纹钢线材市场收益率序列具有长记忆性的分形特征,而且通过  $f(\alpha)$  图形关于  $\alpha$  值的不对称性,表明在不同波动幅度下其标度指数也不同的

多标度特性.另外,螺纹钢和高线时间收益率序列的  $f(\alpha)$  多重分形谱图形均呈现右钩状,表明在样本区间时间内,线材价格处于低价位的机会比处于高价位的机会要大.

2.2.2 持久性特征

根据文献[10]重标级差分析方法,对我国螺纹钢线材市场的日收盘价对数收益率来进行检验,分别得出螺纹钢和高线日收盘对数收益率的  $R/S$  值对时间间隔  $n$  的  $\ln(R/S) \sim \ln n$  回归拟合直线(图 2,图 3).





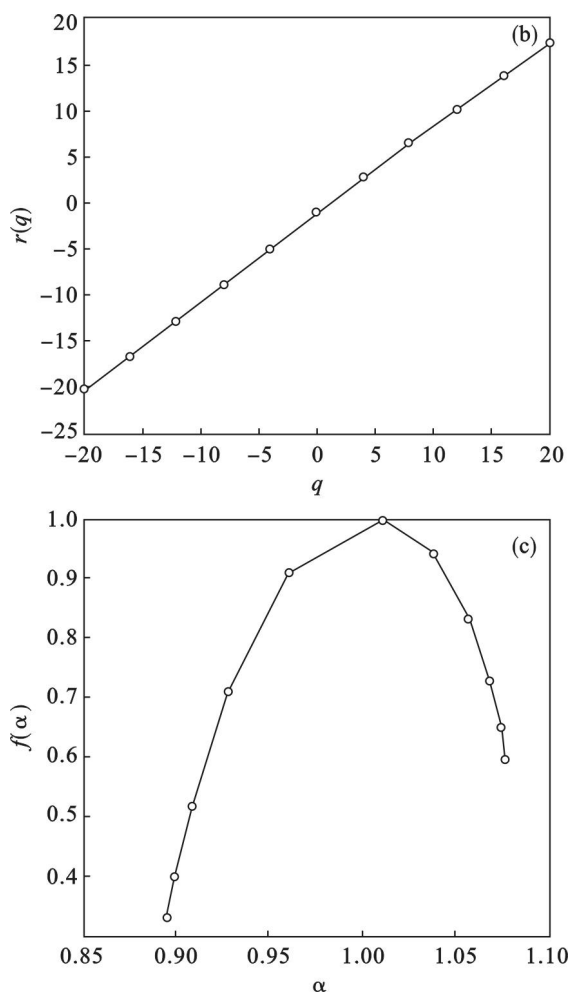


图1 收益率的多重分形谱

Fig. 1 Multi-fractal plot of returns

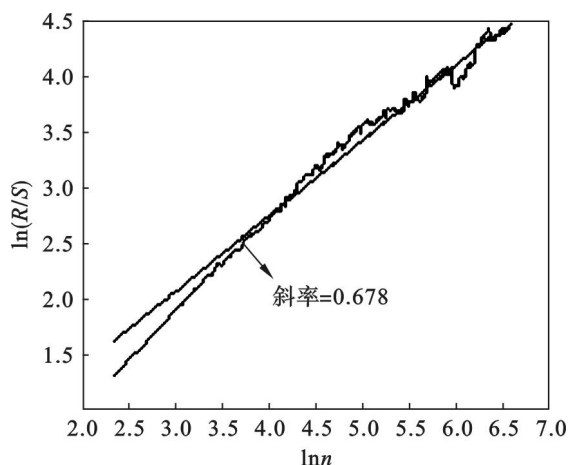
(a)  $-\ln M_q(T) - \ln T$ ; (b)  $-r(q) - q$ ; (c)  $-f(\alpha) - \alpha$ .

图2 螺纹钢日收益率的 R/S 分析结果

Fig. 2 Classical R/S analysis of rebar

回归计算得到螺纹钢市场日收益率的  $H = 0.6781$ , 高线市场日收益率的  $H = 0.6828$ ,  $H$  值明显大于 0.5, 这表明市场存在长期记忆的分形特征, 即波动性聚类特性。而且高线市场日收益率的  $H$  值大于螺纹钢市场日收益率的  $H$  值, 表明高

线市场的风险要大于螺纹钢市场的风险。另外, 根据得到的  $H$  值, 可以计算出我国螺纹钢线材市场的分形维  $(2 - H)$ , 螺纹钢和高线市场的分形维分别为 1.3219 和 1.3118, 数值大于 1 表明至少需要两个变量来解释我国螺纹钢线材市场特征。

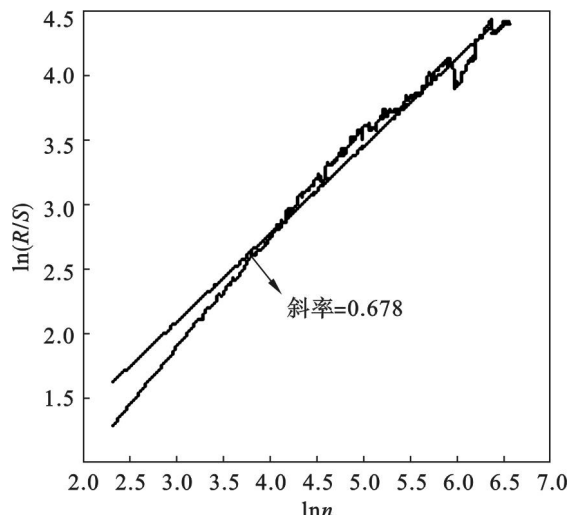


图3 高线日收益率的 R/S 分析结果

Fig. 3 Classical R/S analysis of wire rod

### 3 结 论

1) 我国螺纹钢线材市场价格变化特性同有效市场理论下市场的特性相比具有很大差异。收益数据的分布呈典型的“尖峰厚尾”特征, 正态分布难以拟和时间序列分布的厚尾性特征, 因此基于正态分布的我国螺纹钢线材市场的价格波动定量模型分析的精确性也较低。

2) 我国螺纹钢线材市场表现出明显的分形特性, 存在多标度特征与长期记忆性的分形特征, 用单一的标度指数不能对其进行全面细致的刻画, 用多标度模型对其描述分析更为合适。这是因为市场是由具有不同收益率期望的短期和长期投资者共同构成的, 市场的特征表现与各类投资者的参与程度密切相关。

3) 螺纹钢和钢线市场的价格分形维数大于 1, 证明了我国螺纹钢线材市场是个复杂系统, 具有明显的分形特征, 说明市场的运行及价格形成机制受到多个因素的共同影响。

综上所述, 我国的螺纹钢线材市场具有非线性特征, 其收益具有多标度性、长程相关性等明显的分形特征, 螺纹钢线材市场是一个复杂的系统, 其更适合用分形市场假说和多标度理论进行表述和解释, 借助分形工具可以度量钢材市场的多标度特性, 研究市场价格特性及预测市场运行规律。

(下转第 912 页)