

世界铅锌市场的混沌研究

陈进^{1,2}, 吴爱祥¹, 王洪武¹

(1. 中南大学 资源与安全工程学院, 湖南 长沙 410083 2 云南驰宏锌锗股份有限公司, 云南 曲靖 655000)

摘要: 对 LME (伦敦金属期货交易所) 自 1970 年的铅锌价格进行了调查分析, 采用混沌理论研究世界铅锌市场规律. 计算得出, 铅市场和锌市场演化的最大 Lyapunov 指数均大于零, 表明世界铅锌市场发展具有混沌特性; 铅市场演化的分维数和最大 Lyapunov 指数均比锌市场小, 表明国际锌市场变化过程比铅市场复杂. 通过确定性检验, 证明铅锌市场的复杂变化是其内在动力学机制演化的结果. 对铅锌市场变化数据进行傅立叶变换, 得出世界铅市场演化周期是 8.27 年, 锌市场变化周期是 8.93 年. 研究结果显示, 对铅锌市场价格数据重构相空间以后, 市场变化的细微差别被放大, 混沌理论能充分揭示世界铅锌市场的内在演化规律.

关键词: 铅锌市场; 混沌; Lyapunov 指数; 傅立叶变换

中图分类号: F014.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2007)03-0019-04

Research on Chaos of International Lead and Zinc Market

CHEN Jin^{1,2}, WU Aixiang¹, WANG Hongwu¹

(1. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

2 Yunnan Chihong Zinc-Germanium Co., Ltd., Qujing Yunnan 655000, China)

Abstract The prices for lead and zinc in LME (London Metal Exchange) since 1970 are analyzed and the changing laws of lead and zinc market in the world are studied by the chaos theory. The result of calculation shows that both the maximum Lyapunov indexes of the lead market and zinc market are larger than zero, showing that the chaotic character exists in the development of the world lead and zinc market. At the same time, both the fractal dimensions and maximum Lyapunov index of the lead market are smaller than that of the zinc market, indicating that the changes of the international zinc market is more complex than that of the lead market. The determinacy verification shows that the complex changes in the lead and zinc market are resulted from the evolution of its internal dynamics mechanism. Through Fourier transformation, it is obtained that the evolution cycle of the world lead and zinc markets are 8.27 and 8.93 years respectively. The results show that with the method of reconstructing phase space to the data of the lead and zinc market, the subtle differences in market changes are magnified, and chaotic theory can fully demonstrate the intrinsic evolution laws of the world lead and zinc market.

Key words lead and zinc market; chaos; Lyapunov index; Fourier transformation

0 引言

目前, 我国已成为世界铅锌生产和消费大国^[1]. 据中国有色金属工业协会统计信息, 2005 年我国铅锌产量分别达到 238 万 t 271 万 t 占世界总产量的 32.6% 和 26.3%; 铅锌消费量分别为 202 万 t 315 万 t 占世界总消费量的 26.0% 和 30.2%, 在全球铅锌产业链中处于重要地位. 但与铅锌生产、消费大国不相适应的是我国在全球竞争中只是被动地适应国际市场, 1996~1997 年有色金属价格上一轮上涨周期结束之

收稿日期: 2007-03-21. 基金项目: 国家杰出青年基金项目资助项目 (项目编号: 50325415).

第一作者简介: 陈进 (1966-), 男, 在读博士研究生, 高级工程师. 主要研究方向: 铅锌矿业可持续发展研究. E-mail

fggswh@yahoo.com.cn

后,进入长达 6 年的低迷期^[2],其间中国一直是铅锌的出口大国,随着中国经济的增长,2004年后我国锌金属由年出口 40 万吨变成进口 40 万吨^[2],重新成为锌的进口大国.2004~2006 年,国际有色金属价格开始了新一轮的增长,2006 年,有色金属各品种价格屡创新高,IME(伦敦金属期货交易所)三月期货每吨最高价分别达到:锌 4500 美元、铅 1765 美元.在国际竞争中,我国铅锌工业的优势并不明显,一方面与当前国内铅锌矿产资源保证程度下降、产业结构不合理有关,另一方面取决于国际市场的复杂性,对铅锌市场规律的认识不足.

混沌是宏观非线性系统在一定条件下所呈现的不确定或不可预测的随机现象,是确定性与非确定性,规则性与非规则性,有序性与无序性融为一体的现象^[3,4].混沌具有初始值敏感性及遍历性等特性,在确定性与内在随机性之间架起了一个起连接作用的桥梁^[5].20 世纪 80 年代,美国经济学家 Stutzer 首先将混沌理论用于经济研究^[6],Petere 和 Benoit Mandelbort 则将混沌与分形运用于对资本市场的分析^[7].混沌理论丰富与发展了资本市场理论,为铅锌市场规律研究提供了一种新的研究思路.

论文分析了 IME(伦敦金属期货交易所, London Metal Exchange) 36 年的价格变化数据,采用混沌理论对铅锌市场规律进行了深入研究.

1 铅锌市场变化规律的混沌研究原理

1.1 铅锌价格变化数据的相空间重构

铅锌价格变化数据是一个时间间隔为 Δt 的单变量时间序列: x_1, x_2, \dots, x_n , 按时间差 $p = \Delta t$ 重构相空间 Y_j :

$$Y_j = (x_j, x_{j+p}, \dots, x_{j+(m-1)p}) \quad j = 1, \dots, m \quad (1)$$

式中: m 为嵌入维数.

重构相空间之后,这些相点在相空间中就形成一条轨线.可以从这些相点相互关联的角度计算关联维数,即混沌吸引子 D .假定一共构造了 N 个矢量 Y_i .若给定一个任意的小数 r ,然后比较有多少点对之间的距离 $|Y_i - Y_j|$ 小于 r ,把距离小于 r 的点数与 N^2 的比记作 $C(r)$,它可以表示为:

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N \theta(r - |Y_i - Y_j|) \quad (2)$$

式中: θ 是 Heaviside 单位函数.

根据(2)式,可由 $\ln C(r)$ 与 $\ln r$ 的关系曲线中线性部分的斜率,求得关联维数 D ^[8].当嵌入维数 m 较小时, D 值随着 m 的增大而增大,当 m 增大到一定的程度, D 值不再变化或变化很小,此时 m 为饱和嵌入维数, D 为混沌吸引子.

1.2 铅锌市场的混沌识别

一般认为,只要是开放的、远离平衡、非线性以及能量耗散过程不可逆的系统,均有可能出现混沌现象^[9].Lyapunov 指数 (σ) 是反应相空间的轨迹收缩或扩张的量,当 $\sigma < 0$ 时,轨迹收缩,运动稳定,对于初始条件不敏感;当 $\sigma > 0$ 时,轨迹迅速分离,对于初始值敏感. m 维离散系统中,存在 m 个 Lyapunov 指数 $\sigma_i (i = 1, \dots, m)$,如果其中最大的指数 $\sigma_{\max} \geq 0$ 则该系统一定存在混沌^[10].

对于系统混沌识别可用相图法、熵法、功率谱法、关联指数饱和法、Wolf 法等,论文采用 Wolf 法计算铅锌市场变化最大 Lyapunov 指数^[11].

1.3 铅锌市场价格演化的确定性检验

铅锌市场价格的复杂变化是由外在随机因素引起,还是受其自身的内在确定性动力学机制支配呢?这是探索系统混沌特征的基础.

基于原理^[12]: 对于一个连续映射,靠在一起的点,映射后仍然靠在一起.因此可采用映射对时间序列的确定性结构进行检验.

设 Y_0 是重构相空间中的一个固定向量, $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_k$ 表示其 k 个邻近值, $S_1, S_2, S_3, \dots, S_k$ 是对应的映射值.其传递向量 V 为^[3]:

$$V_j = Y_j - S_j \quad j = 0, 1, 2, \dots, k \quad (3)$$

传递误差为 E_{trans} :

$$E_{\text{trans}} = \frac{1}{k+1} \sum_{j=0}^k \frac{\|Y_j - V\|^2}{\|v\|^2} \quad (4)$$

式中: V 表示传递向量 V 的平均值.

如果时间序列是确定性的, 传递误差 E_{trans} 应当很小.

1. 4 铅锌市场价格演变的傅里叶快速变换

对铅锌价格变化的时间序列重构相空间后, 在相空间中的每一个相点表示铅锌价格变化的一个状态. 设 t_k 时刻, 参考态为 $Y(t_k)$, 其最邻近态为 $Y_{nbt}(t_i)$, $Y_{nbt}(t_i)$ 与 $Y(t_k)$ 的关系可表示为:

$$Y_{nbt}(t_i) = \min[\|Y(t_k) - Y(t_i)\|], i = 1, \dots, (m - 1) \quad (5)$$

设 t_1 时刻, 相点 $Y(t_1)$ 的最邻近相点为 $Y(t_{b1})$, $Y(t_1)$ 与 $Y(t_{b1})$ 的距离为 Z_1 ; 在 t_2 时刻, 相点 $Y(t_2)$ 与其最近邻相点 $Y(t_{b2})$ 之间的距离为 Z_2 ; 依此类推, 直到相空间的终点. 可得出相空间中最近邻点距离演变时间序列 Z :

$$Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_j) \quad j = 1, \dots, (n - m) + 1 \quad (6)$$

对时间序列 Z 作快速傅里叶变换:

$$\hat{Z} = \frac{1}{\sqrt{n - m + 1}} \sum_{j=1}^{n-m+1} Z_j e^{-i2\pi jk/(n-m+1)} \quad (7)$$

根据离散时间序列的傅里叶变换^[13, 14], 可得 Z 的时间功率谱及时间序列变化周期.

2 LME 铅锌市场演化规律研究

2.1 LME 铅锌市场分维数和最大 Lyapunov 指数

国内铅锌市场已与国际市场接轨, 国内铅锌价格与国际市场铅锌价格同步变化. LME 铅锌现货价格 36 年的走势如图 1 所示 (数据来源于伦敦金属期货交易网).

采用式 (1) 重构 LME 铅锌价格变化数据, 根据式 (2) 计算时间序列的分形维数, 对于 LME 铅价格数据, 当 $m = 2$ 时, 重构相空间可得 35 个 2 维向量 ($N = 36 - 2 + 1$), 计算得出 $D_{m=2} = 0.7735$; $m = 3$ 时, 重构相空间可得 34 个 3 维向量, 计算得出 $D_{m=3} = 1.0673$; $m = 4$ 时, 重构相空间可得 33 个 4 维向量, 计算得出 $D_{m=4} = 1.5142$; $m = 5$ 时, 重构相空间可得 32 个 5 维向量, 计算得出 $D_{m=5} = 1.5189$; $m = 6$ 时, 重构相空间可得 31 个 6 维向量, 计算得出 $D_{m=6} = 1.5210$. 从以上计算过程可看出, 如图 2 所示当 $m \geq 4$ 时, 关联维数变化较小, $m = 4$ 即为饱和嵌入维数, 铅价格变化时间序列的关联维数 $D = 1.5142$.

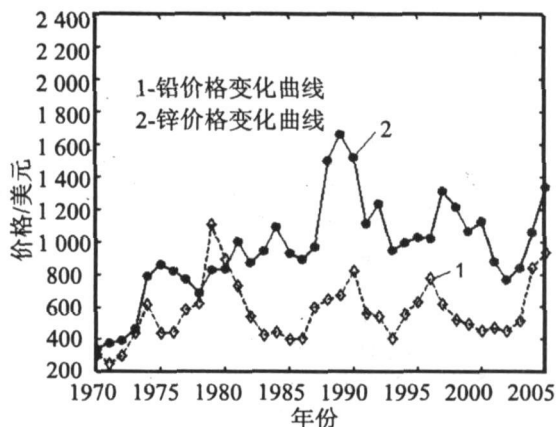


图1 1970~2005年LME铅锌价格变化曲线
Fig.1 Curve of Lead and zinc prices in LME since 1970

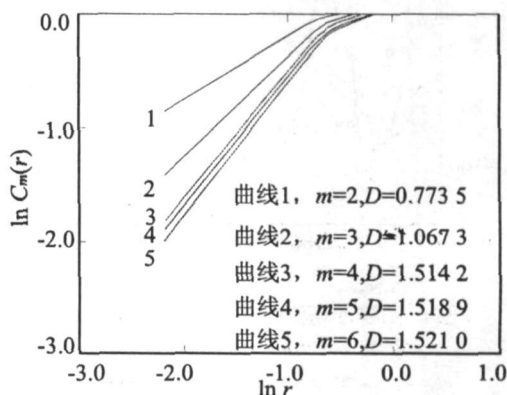


图2 铅市场分维数计算图
Fig.2 Calculating figure of fractal dimensions of lead market

同理分析 LME 锌市场价格变化数据如图 3 所示, 锌价格变化的饱和嵌入维数 $m = 4$ 关联维数 $D^* = 1.5984$. 用 Wolf 法计算铅市场变化最大 Lyapunov 指数 $\sigma_{max} = 0.1682$, 锌市场变化最大 Lyapunov 指数 $\sigma^* = 0.2136$. 从计算结果可以看出, 铅市场和锌市场的最大 Lyapunov 指数均大于 0, 表明 LME 铅锌市场变化具有混沌特性. 铅市场变化的分维数和最大 Lyapunov 指数均比锌市场小, 表明锌市场变化过程比铅市场复杂.

2.2 LME 铅锌市场演化确定性检验

采用式 (1) 重构 LME 铅锌市场演化数据, k 取饱和嵌入维数 $k = m = 4$ 用式 (3) 和式 (4) 进行计算, 得出铅

市场演化的传递误差为 $E_{trans}^{lead} = 1.0486$ 得出锌市场演化的传递误差为 $E_{trans}^{zinc} = 0.8601$ 铅锌市场演化的传递误差均在 1.05 以内, 相对于成百上千元的铅锌价格来说, 传递误差可以忽略不计, 表明铅锌价格的复杂变化是受市场内在确定性动力学机制所支配, 是市场规律自身演化的结果。

2.3 LME 铅锌市场演化周期分析

采用图 1 数据重构相空间, 嵌入维数 $m = 4$, 得 35 个重构相点, 相点距离演变规律如图 4 所示。从图 4 可以看出, 铅市场在 1979 年波动最剧烈, 锌市场在 1988 年波动剧烈, 价格波动明显; 1975 年、1983 年和 1998 年铅市场价格波动很小; 1975 年、1982 年、1994 年及 2000 年锌市场价格波动较小; 2004 年以后, 预示着另一轮价格上涨行情。铅锌市场价格数据重构相空间以后, 市场变化的细微差别被放大, 混沌理论有利于揭示市场规律。

根据式 (5) 得出相空间中最近邻点距离演变时间序列 Z , 采用式 (6) 对时间序列 Z 作快速傅里叶变换, 得到时间序列 Z 的频率功率谱如图 5 所示。

快速傅里叶变换计算得到, 铅市场变化的频率 $f_{lead} = 0.121$, 锌市场变化的频率 $f_{zinc} = 0.112$ 根据市场变化的频率可得市场演化周期: $T_{lead} = 1/f_{lead} = 8.265$ 年, $T_{zinc} = 1/f_{zinc} = 8.929$ 年。此外, 从图 5 可以看出, 铅市场演化的功率谱曲线比锌低, 表明铅市场的波动幅度不如锌市场。

以上分析表明, 世界铅锌市场的特点是: 铅市场演化周期短、价格变化幅度小; 锌市场演化周期稍长、价格变化幅度大; 锌价的低点呈逐步上升态势, 铅价的低点每次几乎处在同一个水平。

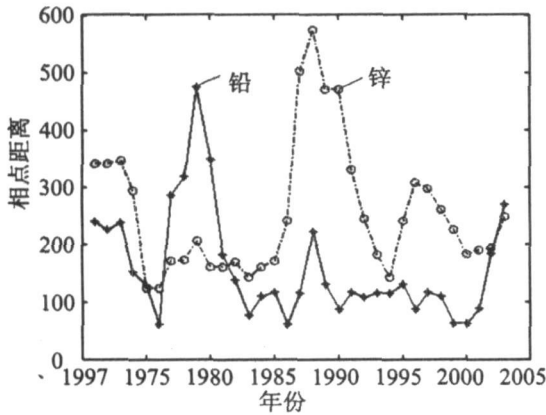


图4 铅锌市场价格在相空间中相点距离演变
Fig.4 Distance changes of lead and zinc prices in phase space

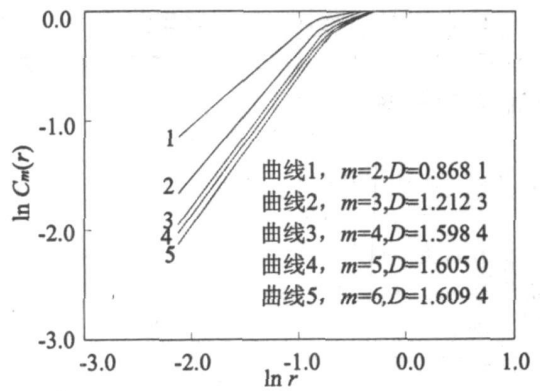


图3 锌市场变化分维数计算图
Fig.3 Calculating figure of fractal dimensions of zinc market

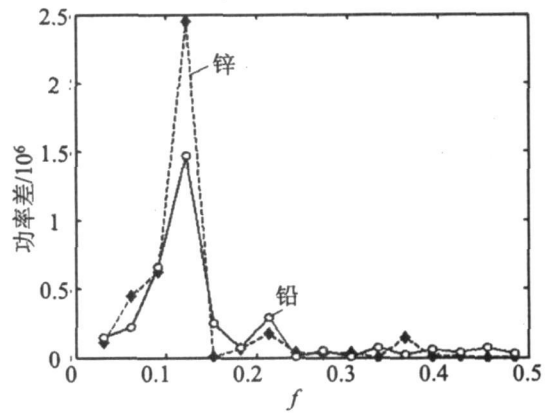


图5 铅锌价格在重构相空间中的频率功率谱
Fig.5 Frequency-power curves of prices changes of lead and zinc in reconstructing phase space

3 结语

1) LME 铅市场和锌市场演化的最大 Lyapunov 指数均大于 0 表明国际铅锌市场具有混沌特性。铅市场变化的分维数和最大 Lyapunov 指数均比锌市场小, 表明锌市场变化比铅市场复杂。

2) LME 铅锌市场的复杂变化是其内在动力学机制演化的结果, 对铅锌市场价格数据重构相空间以后, 市场变化的细微差别被放大, 混沌理论能充分揭示铅锌市场演化规律。

3) 研究表明, LME 铅市场变化周期是 8.27 年, 锌市场变化周期是 8.93 年; 锌价的低点呈逐步上升态势, 铅价的低点每次几乎处在同一个水平; 铅市场的波动幅度不如锌市场。

(下转第 34 页)

5 结 语

由实际测试可看出用这种方法可有效实现旋转机械的阶比跟踪. 提出的基于惠特克插值的阶比跟踪与原方法^[2]中使用的线性插值相比具有其突出的优点, 即可在较低采样率下实现数据的高精度插值进而实现阶比跟踪, 在实际应用中可降低对采集设备的采样率要求, 是对原有技术的有力补充. 方法由软件实现, 特别适合于虚拟仪器发展的要求^[8], 有良好的应用前景和价值.

参考文献:

- [1] Opatinskaia E L, Zhu J Mathew J. Monitoring Varying Speed Machinery Vibration—II Recursive Filters and Angular Domain [J]. Mechanical Systems and Signal Processing 1995, 9(6): 647–655
- [2] 郭瑜, 秦树人. 基于瞬时频率估计的旋转机械阶比跟踪 [J]. 机械工程学报, 2003, 39(3): 32–36
- [3] Fyfe K R, Munck E D S. Analysis of Computed Order Tracking [J]. Mechanical Systems and Signal Processing 1997, 11(2): 187–205.
- [4] Bossley K M, McKendrick R J, Harris C J et al. HYBRID COMPUTED ORDER TRACKING [J]. Mechanical Systems and Signal Processing 1999, 13(4): 627–641
- [5] Hoffmann G. Windowed Sinc Interpolation [EB/OL]. www.flac-enden.de/~hoffmann/lanczos07112002.pdf 2005-10-18
- [6] Luo Deyang. Digital resampling for frequency tracking in engineering signal analysis [J]. Proceeding of Asia-Pacific Vibration'97. Kyongju, Korea 1997, 658–662
- [7] Fumas C C. Evaluation of the Modified Bessel Function of the First Kind and Zeroth Order [J]. American Mathematical Monthly, 1930, 37(6): 282–287.
- [8] 郭瑜, 罗德扬. 基于瞬时频率估计的瀑布图分析 [J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2005, 30(3): 42–45

(上接第 22 页)

参考文献:

- [1] 赵翠青. 当前中国锌工业的发展形势与思考 [J]. 中国金属通报, 2005, 23: 4–5
- [2] 苏鸿英. 2006 年西方铅精矿供应大有潜力 [J]. 中国金属通报, 2006, 50: 29–30
- [3] 丁培培, 伍海华. 关于经济系统混沌存在性判断的讨论 [J]. 价值工程, 2005, 6: 8–11
- [4] 刘洪. 混沌理论的预测原理 [J]. 科技导报, 2004, 2: 13–16
- [5] Gitter M. Order and Chaos Are They Contradictory or Complementary [J]. European Journal of Physics, 2002, 23(2): 119–122
- [6] 李建功. 中国期货市场的混沌研究 [J]. 重庆邮电学院学报, 2004, 59(1): 54–56
- [7] Serletis A, Shintani M. No Evidence of Chaos But Some Evidence of Dependence in the US stock market [J]. Chaos, Solitons and Fractals, 2003, 17(2–3): 449–454
- [8] Albano A M, Muench J, Schwartz C et al. Singular-value Decomposition and the Grassberger–Procaccia Algorithm [J]. Phys Rev. A, 1988, 38: 3017–3026
- [9] 权先璋, 蒋传文, 张勇传. 径流预报的混沌神经网络理论及应用 [J]. 武汉城市建设学院学报, 1999, 16(3): 33–36
- [10] Tiwari R K, Rao K N. Phase Space Structure, Attractor Dimension, Lyapunov Exponent and Nonlinear Prediction from Earth's Atmospheric Angular Momentum Time Series [J]. Pure Appl Geophys, 1999, 156: 719–736
- [11] Wolf A, Swift J B, Swinney H L. Determining Lyapunov Exponents From a Time Series [J]. Physica D, 1985, 16: 285–317.
- [12] 陈士华, 陆军安. 混沌动力学初步 [M]. 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 1998
- [13] George E P B, Gwilym M J, Gregory C R. 时间序列分析 [M]. 顾岚译. 北京: 中国统计出版社, 1997.
- [14] 潘文杰. 傅里叶分析及其应用 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2000