

国际天然铀价格的统计变点检测与趋势分析

许静¹⁾, 单广宁²⁾

1) 对外经济贸易大学统计学院, 北京, 100029; 2) 中国核工业集团公司地质矿产事业部, 北京, 100013

我国核电的快速发展对铀资源的需求迅猛增加, 作为核电发展的原料, 天然铀的价格也受到了业界的广泛关注。早期 (1945~1989 年), 铀资源需求主要受军事需求驱动, 扭曲了其商品属性; 晚期 (1989 年冷战结束以来), 和平利用核能才成为主流^{①②}。目前, 天然铀是否具有商品的属性, 其价格对国际市场供需形势是否具有指示作用都尚无定论, 因此研究天然铀价格的变化规律和影响因素, 对预测天然铀价格走势和供需形势具有重要意义, 可为天然铀产业投资决策提供依据。

1 均值-方差变点检测方法

按照统计学的定义, 对于某一随机变量序列, 如果存在一个时间点, 在其前后的序列的分布不同, 这个时间点就可定义为变点。变点检测包含两方面内容, 一是检测是否存在变点, 二是估计变点的位置。

天然铀价格的变化率可用正态分布刻画, 其均值和方差都有变点发生, 故本文采用 Chen (2011) 介绍的单变量的均值-方差变点模型, 对天然铀价格进行变点检测和分析。设 X_1, X_2, \dots, X_n 是独立的正态随机变量, 并且 $X_i \sim N(\mu_i, \sigma_i^2), i=1, 2, \dots, n$, 若该序列的均值和方差都有变点存在, 则检验如下假设

$$H_0: \mu_1 = \dots = \mu_n = \mu \text{ 且 } \sigma_1^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2, \text{ 其中 } \mu, \sigma^2 \text{ 未知} \quad (1)$$

$$H_1: \mu_1 = \dots = \mu_{k_1} \neq \mu_{k_1+1} = \dots = \mu_{k_2} \neq \dots \neq \mu_{k_q+1} = \dots = \mu_n \quad (2)$$

$$\text{且 } \sigma_1^2 = \dots = \sigma_{k_1}^2 \neq \sigma_{k_1+1}^2 = \dots = \sigma_{k_2}^2 \neq \dots \neq \sigma_{k_q+1}^2 = \dots = \sigma_n^2$$

其中 q 是变点个数, k_1, k_2, \dots, k_q 是变点位置。

上述多变点的检测可通过一系列的二分段的单变点检测来实现。基本过程是: 首先, 就整个序列检测是否有一个变点, 即将 (2) 式替换为

$$H_1: \mu_1 = \dots = \mu_k \neq \mu_{k+1} = \dots = \mu_n \quad (3)$$

$$\text{且 } \sigma_1^2 = \dots = \sigma_k^2 \neq \sigma_{k+1}^2 = \dots = \sigma_n^2$$

其中 k 是该序列中未知变点的位置, $1 < k < n$ 。如果不拒绝 H_0 , 则停止检测, 否则 k 是检测到的变点位置; 如果 k 是变点位置, 则这一变点将原序列分割成两个子序列, 对每个子序列, 分别再检测是否有一个变点; 重复这个操作, 直到在每一个子序列中都检测不出变点为止。

Chen 给出了分别在两个假设 (1) 和 (3) 下的 Schwarz 信息准则。在 H_0 下, Schwarz 信息准则的值定义为 $SIC(n) = n \log 2\pi + n \log \hat{\sigma}^2 + n + 2 \log n$, 其中 $\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \hat{\mu} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 分别是在 H_0 下的

σ^2, μ 的最大似然估计; 在 (3) 给出的 H_1 下, 对于任意的 $2 \leq k \leq n-2$, Schwarz 信息准则的值定义为 $SIC(k) = n \log 2\pi + k \log \hat{\sigma}_1^2 + (n-k) \log \hat{\sigma}_n^2 + n + 4 \log n$,

其中 $\hat{\sigma}_1^2, \bar{x}_k, \hat{\sigma}_n^2, \bar{x}_{n-k}$, 分别是在 H_1 下的 $\sigma_1^2, \mu_1, \sigma_n^2, \mu_n$ 的最大似然估计。

如果所有这些 SIC 值相差不大, 可以认为不存在变点, 否则存在变点。在给定显著性水平 α 时, Chen 得到了相应的检验临界值 C_α , 如果 $SIC(n) < \min_{2 \leq k \leq n-2} SIC(k) + c_\alpha$, 则不拒绝 H_0 , 认为不存在变点; 否则拒绝 H_0 , 认为存在变点, 并且变点位置的估计 \hat{k} 满足 $SIC(\hat{k}) = \min_{2 \leq k \leq n-2} SIC(k)$ 。

2 天然铀价格变点检测和分析

2.1 天然铀价格数据

本文收集了 1995~2013 年核能交换公司铀现货的 228 个月度天然铀限制价格进行分析 (数据来源: www.indexmundi.com, 单位为美元/磅 U_3O_8)。从天然铀价格的时间序列图 (图 1) 可以看出, 天

收稿日期: 2014-12-20; 改回日期: 2015-03-13; 责任编辑: 郝梓国。
作者简介: 许静, 女, 1977 年生。博士, 副教授, 统计学。Email: fouringx@163.com。

然铀价格在这一时期变化明显。影响天然铀价格的因素较多,不同时期天然铀价格主要取决于哪些因素,需要识别出价格变点的位置,分析其与各种市场、核能政策、核事故等之间的对应关系。

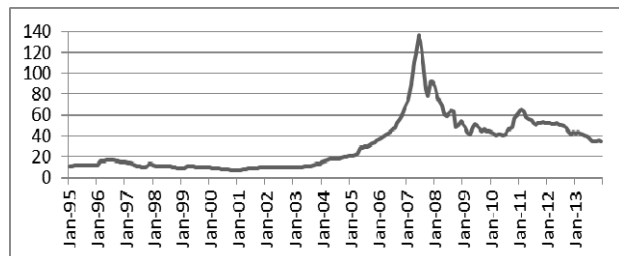


图1 天然铀价格的时间序列图

(注:纵轴为天然铀价格,单位为美元/磅 U_3O_8 ;横轴为时间)

2.2 变点检测结果及分析

经过变点检测,得到1999年5月、2001年2月、2006年9月、2007年7月和2011年5月共5个变点,将整个时间段分为6段。估计每段的均值和标准差,作为各段特征,分析了其成因,据此将国际天然铀价格的变化分为3个阶段(表1)。

表1 天然铀价格变点检测结果

时间范围	各段特征		阶段划分
	均值	标准差	
1995.1~1999.4	0.0025	0.06066	稳中有降期
1999.5~2001.1	-0.0199	0.01629	
2001.2~2006.8	0.0294	0.03753	大幅上扬期
2006.9~2007.6	0.1124	0.05536	
2007.7~2011.5	-0.0147	0.08604	震荡下降期
2011.5~2013.12	-0.0155	0.02862	

2.2.1 稳中有降期

自1995年至2001年1月,天然铀价格相对平稳,稳中有降。该期,虽然世界铀矿勘查、开发部门都经历了大幅度消减、破产,导致天然铀供给减少,但俄罗斯与美国签署了长达20年的高浓缩铀转化低浓缩铀协议,二次补给市场,导致市场供大于求,铀价整体持续下滑^{①②},到2000年底达到历史最低点(7.1美元/磅 U_3O_8)。

2.2.2 大幅上扬期

自2001年初持续到2007年6月,受核电发展、铀资源储备和商业投机等因素影响^{①②},天然铀需求的持续增加,其价格从历史低点逐步回升,2006年8月之后,回升速度明显加快,持续快速上涨至2007年6月,达到历史最高点(136.22美元/磅 U_3O_8)。

2.2.3 震荡下降期

自2007年7月至2013年底,影响天然铀价格的外部因素增多,导致铀价大幅震荡,但总体略有下降。2007年7月后,受经济危机影响天然铀市场开始了调整,铀价下降;2010年,受欧洲核能可持续发展工业计划、修订乏燃料和放射性废物管理提案以及中国在长期期货市场上的活跃等因素影响,天然铀价格逐步回升;2011年3月,受日本福岛核事故影响,导致天然铀价格在2011年4月后产生变点。欧洲、日本等国受到国内要求放弃核电的压力,天然铀需求降低,其价格持续下降^{①②}。

2.3 天然铀价格趋势分析

由上述分析可知,天然铀的价格受多种因素的影响,并显现出受供需关系影响明显的商品属性。2011~2013年天然铀价格的下降趋势在减缓,这预示着天然铀价格未来有可能震荡上行。铀价上行反映的是天然铀市场的变化,可能与2013年,俄罗斯高浓缩铀转换低浓缩铀协议执行完成,二次铀源供应可能会减少,天然铀供应减少有关,更重要的是中国、俄罗斯、韩国和印度等国家大力发展核能政策的影响,世界各国的核电装机容量增加7%以上^{①②},天然铀的需求将进一步增加。

3 结论与建议

通过对1995~2013年国际天然铀价格变点分析,得出的结论与建议如下:

(1) 国际天然铀的价格受核事故、二次供给、核电政策、产量变化等多种因素影响,导致铀价波动和变点的产生。

(2) 天然铀逐渐显示出其商品的属性,其价格受供需关系的影响明显,又反映了供需情况。

(3) 建议有关部门加强对天然铀价格跟踪,及时、准确预测天然铀的供需形势和价格趋势,为我国天然铀储备和勘查开发提供决策依据。

注 释 / Notes

^① 从卫克,王兴无,唐宝彬,等译. 2008. 铀资源、生产与需求四十年回顾. 中国国家原子能机构, 10~20.

^② 从卫克,刘悦,陈隆玉,等译. 2014. 铀资源、生产与需求——2014. 中国国家原子能机构, 7~117.

参 考 文 献 / References

- Chen J, Gupta A K. 2011. Parametric statistical change point analysis. Boston: Birkhauser, 1~80.