

# 中国石油战略储备策略研究

林 应<sup>1</sup>, 宋益全<sup>2</sup>

(1. 浙江大学 经济学院, 浙江 杭州 310027; 2. 绍兴益泉房地产有限公司, 浙江 绍兴 312000)

**摘要:**近年来世界石油市场异常动荡,石油价格变化不断。基于对现实情况的分析,认为是石油需求膨胀而非供给中断引发了石油价格的剧烈波动。文章着眼于石油战略储备策略的设计,以解决潜在的并有可能愈演愈烈的石油安全问题。引入了一个旨在使国家经济损失最小化的多期随机模型,并运用递归的方法寻求每一期石油存储量的最优路径。结果表明,最优储备策略是在第一年以每天3.25百万桶的购买率购买石油,购买率逐年增加,到第32年达到峰值——每天8.73百万桶石油,随后购买率又逐年递减。

**关键词:**石油安全;随机动态模型;最优石油储备策略

中图分类号:F407.22

文献标志码:A

文章编号:1008-5831(2009)06-0019-08

## 一、引言

最近一段时间国际市场石油价格波动剧烈,石油安全以及可能导致的国家经济安全问题引起人们广泛关注。所谓石油安全就是在合理的价位上保障能满足经济社会持续发展所需要的石油供应,而石油不安全则主要体现在石油供应暂时突然中断或短缺、价格暴涨对一个国家经济的损害。石油价格的一路飙升在学界引发了一浪研究热潮。他们中的有些学者着眼于石油价格的预测。Tang和Hammoudeh<sup>[1]</sup>运用第一代目标区域(first-generation target zone)模型研究了世界石油价格的行为。Bernabe, Martina, Alvarez-Ramirez和Ibarra-Valdez<sup>[2]</sup>用一个多期随机模型对石油价格进行了动态分析。Shahriar Yousefi, Llona Weinreich和Dominik Reinartz<sup>[3]</sup>利用微波这一工具来研究未来石油市场的有效性。还有一些学者则关注石油价格与宏观经济间的相关性。Chang和Wong<sup>[4]</sup>研究了石油价格冲击对新加坡经济的影响。Doroodian和Boyd<sup>[5]</sup>检验美国的石油价格是否有一定的通货膨胀的倾向。Cunado和Gracia<sup>[6]</sup>关注石油价格冲击在经济活动和消费价格指数方面的经济影响。

与上述研究不同,笔者以中国石油战略储备策略作为研究对象,这一角度在中国尚算空白,但它的重要性却不言而喻。翻阅大量的文献后,我们发现早期石油战略储备策略的分析大多是运用简单的两阶段静态模型来求得最优石油储备量<sup>[7-10]</sup>。这种静态模型没能求得每一期的石油购买量或销售量,因此未能很好地解决在变化莫测的石油市场上遇到的难题。而后,Teisberg<sup>[11]</sup>、Chao和Manne<sup>[12]</sup>引入了随机动态模型,弥补了之前模型的缺陷。而Oren和Wan<sup>[13]</sup>为了对模型结果作敏感性分析并捕捉石油冲击的一些特性,简化了模型。通过假设每一期的石油购买量或销售量恒定来求得相关结果。

以上这些讨论基于当时的情况——1973年出现的石油禁运事件,而1979年又发生伊朗战争导致石油供给短缺,笔者着重分析了石油供给的中断对价格的影响,进而设计石油储备战略。由于现实情况的改变,笔者用石油需求膨胀而

收稿日期:2009-06-28

基金项目:国家自然科学基金项目“开放式自主创新的机理与资源配置模式研究”(70672048)

作者简介:林应(1973-),女,浙江杭州人,浙江大学经济学院博士研究生,主要从事应用经济学研究。  
欢迎访问重庆大学期刊社 <http://qks.cqu.edu.cn>

非供给中断来解释石油价格的剧烈波动。近来有很多研究支持我们的观点。Alvarez-Ramirez, Ibarra-Valdez, Bernabe 和 Rodriguez<sup>[14]</sup> 研究发现现行的石油价格的调整对石油供给的敏感度很低,他们认为,在很大程度上是亚洲经济的快速增长导致了石油需求的急速膨胀,进而影响了世界石油价格。此外,我们的亲眼所见也证实了我们的观点:这些年来石油

供给相对稳定,是中国和印度急速增长的石油需求致使石油价格从2003年9月下旬起就一路高歌猛进。在最近一段时间内,石油价格持续上扬,在2005年短短的一年间,石油价格竟增长了57%。这些都表明石油市场正经历着由供求极度失衡造成的结构性变化。此外,最近美国经济的复苏也给石油市场带来了一定的压力。

表1 1994-2006年世界石油供给(千桶/天)

| 年份   | 1994      | 1995      | 1996      | 1997       | 1998      | 1999      | 2000      | 2001      |
|------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 千桶/天 | 68 588.09 | 70 271.87 | 71 916.75 | 74 157.59  | 75 654.07 | 74 839.56 | 77 762.11 | 77 684.02 |
| 年份   | 2002      | 2003      | 2004      | 2005       | 2006      |           |           |           |
| 千桶/天 | 76 994.98 | 79 615.43 | 83 124.28 | 84 615.483 | 84 632.13 |           |           |           |

数据来源:美国能源部网站 www.eia.doe.gov。所采集的数据来源于美国能源信息管理局(EIA)、世界银行、国际货币基金组织和BP2005年世界能源统计回顾。

我们将构建一个多期随机动态模型,旨在使由潜在需求冲击引起的经济损失最小化。我们用递归方法寻求每期石油最优购买量或抛售量,再而求得每期储存量的最优路径。余下部分是这样安排的:第二部分引入石油战略储备模型以及相关的参数、变量和函数等;第三部分根据已有的数据拟合所有模型所需函数;计算结果和敏感性分析在第四部分;最后是结论部分。

## 二、中国石油战略储备模型

我们运用供给与需求模型来确定世界石油价格。在这里,我们先将整个世界视为一个整体,并认为任何石油需求的突然变化和任何防御措施都会影响到世界石油市场。

$$S_t(P_{wo})D_t(P_{wo}, N) + A_t \quad (1)$$

我们用函数  $S_t(P_{wo})$  来描述在  $t$  时期的世界石油供给情况,  $P_{wo}$  代表此时段世界市场石油价格,  $D_t(p_{wo}, N)$  则刻画该时期世界石油需求。这里的世界石油需求受到当期世界石油价格和世界石油市场状况  $N$  的影响,  $N$  具有两种状态:一种是“正常”状态,用  $I$  表示,另一种是“异常”状态,用  $J$  表示。此外,  $t$  时期中国石油变化量用  $A_t$  来表示。此处的  $A_t \in R, A_t > 0$  意味着该期石油购入量,  $A_t < 0$  表明该期石油抛售量,  $A_t = 0$  则说明该期既不购买也不出售石油。根据方程(1),我们就能够得到世界石油市场的均衡价格  $p_{wo,t} = p(N, A_t)$ 。

关于这个供求模型,我们有四点需要阐释清楚,以消除可能存在的疑惑。首先,运用供求模型确定世界市场的石油价格是合理的,不存在 Teisberg<sup>[11]</sup> 提及的理论问题。MacAvoy<sup>[15]</sup> 已经提供了足够的证据论证了石油价格取决于竞争市场上石油的供给和需

求情况,而非石油供应商的卡特尔行为。其次,缘于美国等诸多石油进口国的国内石油供给对于世界石油市场的价格也存在影响,在我们的模型里,我们定义的石油供给是整个世界的石油产出,而不是世界石油市场上的净石油出口量。同样,模型中的需求不是净进口需求,而是整个世界的石油消费。再次,根据 Oren 和 Wan<sup>[13]</sup>, 一个国家的最优石油战略储备政策将会消除风险中私人投资者的投机行为。所以在我们的研究中,将不考虑旨在投机的私人石油储备行为。最后要说明的一点是,在我们的模型中,我们假设各国政府干预石油价格的举措都会对世界石油市场产生影响。也就是说,一国为了使石油价格正常化而采取的措施,将会使其他国家从中受益。这里就有可能出现所谓的“搭便车”现象。但事实上不存在这个疑虑。Hogan<sup>[9]</sup> 曾经研究过这个问题,他认为在这个与每个国家国民经济紧密相关的石油安全问题上,任何国家都不会选择搭顺风车而无所贡献。

由于中国对石油进口征收关税,税率约为5%,因此,在  $t$  时期中国国内的石油价格可表示为:

$$p_{do,t} = (1 + 5\%)p_{wo,t}$$

鉴于世界石油市场的变幻莫测,中国国民经济有遭受损失的潜在可能性,我们姑且把这种损失称为预期成本。显然,单位时间内的预期成本由三部分组成:(1)消费者剩余的净损失;(2)由石油储备量变化引起的费用;(3)储备石油的成本。

给定  $t$  时期的国内石油价格,我们可以计算出由石油市场的不安全性引发的消费者福利损失  $C_{1,t}$ :

$$C_{1,t} = \int_{P^p}^{P^{do,t(B,A_t)}} D_{China,t}(P_{do,t}, P_{coal,t}, N) dp_{do,t} \quad (2)$$

其中  $p_i^0$  是石油市场处于正常状态时的国内市场价,  $D_{China,t}(P_{do,t}, P_{coal,t}, N)$  代表中国石油需求, 它取决于国内石油价格、石油市场状态和国内煤炭价格(此处的假设是合理的, 因为煤炭是中国最主要的能源来源, 也是石油的重要替代品) 三个因素。

由石油储备量变化引起的这笔费用  $c_{2,t}$ , 我们可以用下面这个表达式来描述:

$$C_{2,t} = A_t \cdot p_{do,t}(N, A_t) \quad (3)$$

由  $A_t$  的性质, 我们可以看出,  $C_{2,t}$  可正、可负, 亦即这里所谓的“费用”既可能是收益也可能是支出。

很显然, 石油存储成本  $C_{3,t}$  是单位存储成本  $H$ , 到上一期为止的石油储备量  $SP_{t-1}$  和这一期的石油变化量  $A_t$  的函数。

$$C_{3,t} = H \cdot (SP_{t-1} + A_t) \quad (4)$$

为使模型不至于太复杂, 也为了便于之后的计算, 我们假设单位存储成本是个常数。

由此可以得到在  $t$  时期中国可能会由于石油安全问题而遭受的损失, 表达式如下:

$$\begin{aligned} C_t &= C_{1,t} + C_{2,t} + C_{3,t} \\ &= \int_{p_i^0}^{p_{do,t}(N, A_t)} D_{China,t}(P_{do,t}, P_{coal,t}, N) dp_{do,t} \\ &\quad + A_t * P_{do,t}(N, A_t) + H * (SP_{t-1} + A_t) \end{aligned} \quad (5)$$

笔者的目标是使在今后相当长的一段时间内, 中国由于石油不安全性而引起的损失总额现值最小化。利用上一节中已经得到的单期成本函数表达式, 得到我们的目标函数:

$$C_{all} = \text{Min} \sum \beta^t C_t \quad (6)$$

其中,  $\beta = 1.1 + r$ , 是贴现率, 而  $r$  是中国资本市场上现行的无风险收益率。

由于石油是一种不可再生资源, 所以总有一天会枯竭。我们假定石油将在第  $n$  个时期被耗尽。更具体地说, 在  $n - 1$  时期, 石油战略储备策略依然奏效, 该时期的石油最优变化量为  $A_{n-1}$ , 石油最优储备总量为  $SP_{n-1}$ ; 而在末期  $n$ , 我们将停止石油储备战略, 售出所有为应对石油危机而累积的石油储备  $SP_{n-1}$ 。根据这些假设, 我们可以得到如下目标函数:

$$\begin{aligned} C_{alt} &= \text{Min}_{(A)} \sum_{t=1}^n \beta^t C_t(A_t), \\ &= \text{Min}_{(A)} \sum_{t=1}^n \beta^t \left[ \int_{p_i^0}^{p_{do,t}(N, A_t)} D_{China,t}(P_{do,t}, P_{coal,t}, N) dp_{do,t} + \right. \\ &\quad \left. A_t * P_{do,t}(N, A_t) + H * (SP_{t-1} + A_t) \right] \\ \text{s. t. } &SP_t = SP_{t-1} + A_t, t \in [1, n - 1] \\ &SP_0 = 0 \\ &SP_n = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

利用递归法, 可以得到所建动态模型的解, 并求出关键变量的最优路径。

首先写出贝尔曼方程:

$$V(SP_{t-1}) = \text{Min}_{(A)} [C_t(SP_t - SO_{t-1}) + \beta V(SP_t)] \quad (8)$$

其次, 给出一阶条件, 也就是对(8)式关于控制变量  $SP_t$  求一次导, 使等式为 0。

$$\frac{\partial V(SP_{t-1})}{\partial SP_t} = C'(A_t) + \beta \frac{\partial V(SP_t)}{\partial SP_t} \quad (9)$$

接下来需要写出 Benveniste-Scheinkmann 条件, 即对(8)式关于状态变量  $SP_{t-1}$  求导:

$$\frac{\partial V(SP_{t-1})}{\partial SP_{t-1}} = -C'(A_t) \quad (10)$$

由上式, 显然

$$\frac{\partial V(SP_{t-1})}{\partial SP_t} = -C'(A_{t+1}) \quad (11)$$

合并(9)和(11)就得到了欧拉方程, 也就得到了模型的解:

$$C'(A_t) = \beta C'(A_{t+1}) \quad (12)$$

然而在计算过程中, 我们发现需要引进另一个变量——石油市场状态间的转移概率。我们将石油市场各状态间的转移概率用一个马尔科夫矩阵  $P$  来表示, 即:

$$P = \begin{pmatrix} P_{II} & P_{IJ} \\ P_{JI} & P_{JJ} \end{pmatrix}.$$

$P_{ij}$  表示石油市场从状态  $i$  转变到  $j$  状态的概率, 它是前一期世界 GDP 以及世界 GDP 增长率的函数,  $P_{ij,t} = f_{ij,t}(GDP_{t-1}, g_{GDP,t-1})$ 。

### 三、模型中各函数的拟合

为了求出问题的显性解, 需要拟合模型中的各个函数, 给出其具体表达式。

Harri Ramcharran<sup>[16]</sup> 假设石油供给曲线为  $\ln S = \alpha + \gamma \ln p'_{wo} + \beta_t$ , 并利用 1973 年至 1997 年的历年数据进行了拟合。表达式中的  $S$  是石油的供给量(百万/天),  $p'_{wo}$  是世界市场上石油的实际价格(由石油的名义价格除以石油的商品价格指数得到, 美元/桶),  $t$  是时间。鉴于得不到石油商品价格指数的数据, 我们将 Ramcharran 的计量模型稍加改动: 在计算石油的实际价格时, 用通货膨胀率替代石油的价格指数。利用 1990 到 2004 年历年数据<sup>①</sup> 拟合供给函数, 得到如下结果:

$$\alpha = 4.02, \gamma = 0.02, \beta = 0.013.$$

①由于未能找到这里所需要的历年石油价格的数据, 这里所用的每一年数据是我们通过计算该年中多个时点的世界石油价格的平均值得到的。

因此供给函数  $S_i(p_{wo})$  的隐性表达式为:

$$\ln S = 4.02 + 0.02 \ln p'_{wo} + 0.013.$$

和 Teisberg<sup>[11]</sup> 一样,我们假定处于正常状态的世界石油需求函数具有如下形式:

$$D_N = (\bar{q} + a p_{wo}^b) e^{ct} \quad (13)$$

此处的  $D$  代表世界石油需求(百万桶/天),  $\bar{q}$  表示最低石油需求量,其他变量与世界石油供给函数中的含义相同。下面我们逐步来确定这些参数值。

为了计算参数  $a$  和  $b$  的值,首先需确定石油需求的价格弹性。假定世界石油的最低需求水平为当期总需求的  $2/3$ ,利用 2004 年的每月数据,可以计算出在 (28.2, 81.9) 这个点上石油需求的价格弹性为  $-0.038$ <sup>②</sup>。由此得到  $a$  和  $b$  的值,分别是 40 和  $-0.114$ 。至于世界石油需求的年增长率  $c$ ,我们用 1990 到 2004 的每年数据进行计算,结果为  $c = 0.016$ 。

上面得到了正常状态下世界石油需求函数,对于异常状态下的石油需求,我们假设它有如下形式:

$$D_A = \mu D_N, \mu, \mu > 1 \quad (14)$$

换句话说,我们用需求曲线的上移来描述异常状态下的世界石油需求。

Yang, Hwang 和 Huang<sup>[17]</sup> 通过分析市场结构、稳定与非稳定的需求结构和相关的需求弹性来研究世界石油价格的波动性,运用纠错模型来拟合具有如下形式的需求函数:

$$D = m p^b P C^c Y R^d P N^f \quad (15)$$

式中,  $D$  是石油的需求量,  $p$  是石油价格,  $PC$  是煤炭价格,  $PN$  是天然气价格,  $YR$  是实际 GDP。

为了便于操作,我们适当简化中国国内需求函数。假设国内需求(百万桶/天)仅仅依赖于三个变量:国内石油实际价格  $P'_{do}$ (由石油的名义价格除以  $CPI/100$  得到,美元/桶),石油市场的状态以及煤炭的实际价格  $P'_{coal}$ (由煤炭的名义价格除以  $CPI/100$  得到,美元/桶)。具体的函数形式为:

$$D_{China,t}(P_{do,t}, P_{coal,t}, N) = \begin{cases} m p_{do}^d p_{coal}^f e^{gt} & \text{正常状态} \\ \delta m p_{do}^d p_{coal}^f e^{gt} & \text{异常状态} \end{cases}$$

式中的  $\delta > 1$ ,是个常数。同样,用 1990 到 2004 的历年数据<sup>③</sup>,可以得到所要求的各个参数值:

$$m = e^{0.73}, d = -0.041, f = 0.06, g = 0.073.$$

Delucchi<sup>[18]</sup> 将石油的存储成本视为把资金投资

到储备石油上的机会成本。在此我们对这一定义作适当修正。我们把因持有石油而造成的一些物理花费也归于存储成本,并认为存储石油是一项无风险投资。依据这些假设,可以得到石油的单位存储成本:  $H = h + r p_{do}$  (16)

这里的  $h$  是每单位石油因占地、管理等造成的一系列费用,  $r$  是无风险利率。假定单位物理花费为 1 美元/年,无风险利率为 3%<sup>④</sup>,因此,  $H = 1 + 0.03 p_{do}$ 。

以下需要拟合已于上一节给出假设的转移概率。首先,需要给出两个定义,石油市场“正常”状态和“异常”状态。到底何谓石油市场正常和异常状态?在我们这个模型中,我们把市场价格处于历史波动范围内的石油市场称为处于正常状态,反之则称为异常状态。确定这个历史波动率的计算方法为: (1) 从石油市场上获取在固定时间间隔上的石油价格  $p_t$ ; (2) 对于每个时间段,求出该时间段末的市场价格  $p_t$  与该时段初的市场价格  $p_{t-1}$  之比的自然对数; (3) 求出这些对数的标准差,再乘以一年中包含的时间段数量的平方根,得到的即为历史波动率。

$$\text{历史波动率} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\ln m_t - \ln m) \cdot \sqrt{M}} \quad (17)$$

其中:

$N$  是总共的时间段数量;  $\ln m_t$  是  $p_t$  和  $p_{t-1}$  比值的自然对数;  $\ln m$  是  $\ln m_t$  的平均值;  $M$  是一年中的时间段数量。

我们收集了 1990 年至今的年数据,计算得出的历史波动率为 0.357。

有了历史波动率,便可以开始拟合转移概率。为了不至于使我们的模型过于复杂,我们假设转移概率是关于前一期世界 GDP 和 GDP 增长率的线性函数:

$$P_{ij,t} = x + y \text{GDP}_{world,t-1} + z g_{\text{GDP},t-1} \quad (18)$$

其中:

$x, y, z$  是常数;  $\text{GDP}_{world}$  是世界 GDP;  $g_{\text{GDP}}$  是世界 GDP 的增长率(%)

通过拟合得到的结果<sup>⑤</sup>如下:

② 28.2 美元/桶是 2003 年的世界石油实际价格, 81.9 百万桶/天是 2004 年 1 月世界石油总需求。这里最低消费量是总需求的  $2/3$  的假设有些任意, 但又不失合理性。

③ 因为在中国实行对煤炭的价格管制, 我们这里所用的煤炭价格数据实际为日本进口炼焦煤的价格。

④ 这里的 3% 是一年期的美元存款利率。

⑤ 这里有两点需要说明。第一, 这里 GDP 的单位是百万美元。第二, 在计算世界 GDP 的时候, 我们并没有把世界上所有国家都包括在内, 我们只选择了下面这些国家: 中国、日本、韩国、新加坡、泰国、马来西亚、印度尼西亚、菲律宾、印度、德国、法国、意大利、英国、奥地利、比利时、丹麦、希腊、爱尔兰、卢森堡、荷兰、葡萄牙、西班牙、瑞典、保加利亚、匈牙利、波兰、捷克、俄罗斯、乌克兰、美国、加拿大、墨西哥、澳大利亚、新西兰、埃及、南非、阿根廷、巴西、智利和秘鲁。

$$\begin{aligned}
 P_{II} &= 0.55 + 3.22 * 10^{-9} \text{GDP}_{\text{world}} + 0.017g_{\text{GDP}} \\
 P_{IJ} &= 0.45 - 3.22 * 10^{-9} \text{GDP}_{\text{world}} + 0.0174g_{\text{GDP}} \\
 P_{JI} &= 0.98 - 2.8 * 10^{-8} \text{GDP}_{\text{world}} + 0.078g_{\text{GDP}} \\
 P_{JJ} &= 0.02 + 2.78 * 10^{-8} \text{GDP}_{\text{world}} - 0.078g_{\text{GDP}}
 \end{aligned}$$

由以上准备,我们可得到每一期成本函数的显性表达式。

为简便起见,假定正常状态下的石油价格遵循着这样一条价格路径:

$$p_{0,t} = p_0 e^{0.02t}$$

有了这些假设,利用先前的供求模型,我们可以得到在两种市场状态下分别实施石油储备政策后的市场均衡价格。

$$c_{1,t} = \begin{cases} \frac{(1+5\%)^{d+1} m p_{\text{coal},t}^f e^{gt}}{(d+1)} \left\{ \left( \frac{\bar{q} + a p_{0,t}^b + A_t^*}{e^\alpha} \right)^{\frac{d+1}{\gamma}} - p_{0,t}^{d+1} \right\} & \text{正常状态} \\ \frac{(1+5\%)^{d+1} \delta m p_{\text{coal},t}^f e^{gt}}{(d+1)} \left\{ \left( \frac{\mu(\bar{q} + a p_{0,t}^b) + A_t^*}{e^\alpha} \right)^{\frac{d+1}{\gamma}} - p_{0,t}^{d+1} \right\} & \text{异常状态} \end{cases} \quad (21)$$

由于石油储备量变化会引起一定的费用,这个费用即当期市场单位价格与石油变化量的乘积,因此

$$c_{2,t} = \begin{cases} (1+5\%) * \left( \frac{\bar{q} + a p_{0,t}^b + A_t^*}{e^\alpha} \right)^{\frac{1}{\gamma}} * A_t^* & \text{正常状态} \\ (1+5\%) * \left( \frac{\mu(\bar{q} + a p_{0,t}^b) + A_t^*}{e^\alpha} \right)^{\frac{1}{\gamma}} * A_t^* & \text{异常状态} \end{cases} \quad (23)$$

根据上一节给出的假设  $c_{3,t} = H * (SP_{t-1} + A_t)$  和  $H = 1 + 0.03p_{do}$ ,

$$c_{3,t} = \begin{cases} [1 + 3\% (1 + 5\%) * \left( \frac{\bar{q} + a p_{0,t}^b + A_t^*}{e^\alpha} \right)] \frac{1}{\gamma} * (SP_{t-1}^* + A_t^*) & \text{正常状态} \\ [1 + 3\% (1 + 5\%) * \left( \frac{\mu(\bar{q} + a p_{0,t}^b) + A_t^*}{e^\alpha} \right)] \frac{1}{\gamma} * (SP_{t-1}^* + A_t^*) & \text{异常状态} \end{cases} \quad (25)$$

因此,第  $N$  期的石油安全成本可以用下面的函数来表达:

正常状态下:

$$C_{N,t} = \frac{(1+5\%)^{d+1} m p_{\text{coal},t}^f e^{gt}}{(d+1)} \left\{ \left( \frac{\bar{q} + a p_{0,t}^b + A_t^*}{e^\alpha} \right)^{\frac{d+1}{\gamma}} - p_{0,t}^{d+1} \right\} + (1+5\%) * \left( \frac{\bar{q} + a p_{0,t}^b + A_t^*}{e^\alpha} \right)^{\frac{1}{\gamma}} * A_t^* + [1 + 3\% (1 + 5\%) * \left( \frac{\bar{q} + a p_{0,t}^b + A_t^*}{e^\alpha} \right)^{\frac{1}{\gamma}}] * (SP_{t-1}^* + A_t^*)$$

异常状态下:

$$C_{AN,t} = \frac{(1+5\%)^{d+1} \delta m p_{\text{coal},t}^f e^{gt}}{(d+1)} \left\{ \left[ \frac{\mu(\bar{q} + a p_{0,t}^b) + A_t^*}{e^\alpha} \right]^{\frac{d+1}{\gamma}} - p_{0,t}^{d+1} \right\} + (1+5\%) * \left[ \frac{\mu(\bar{q} + a p_{0,t}^b) + A_t^*}{e^\alpha} \right]^{\frac{1}{\gamma}} * A_t^* + [1 + 3\% (1 + 5\%) * \left[ \frac{\mu(\bar{q} + a p_{0,t}^b) + A_t^*}{e^\alpha} \right]^{\frac{1}{\gamma}}] * (SP_{t-1}^* + A_t^*)$$

此外,我们假定石油会在 40 年后<sup>⑥</sup>枯竭。

#### 四、计算结果和敏感性分析

在案例一中,给出下列假设条件:

- (1) 初始石油储备量为零,这与中国现状相符;
- (2) 世界石油需求冲击规模和中国国内石油需求冲击规模分别是正常状态的 110% 和 115%,亦

当市场处于正常状态时,由  $e^\alpha p_{wo}^\gamma = \bar{q} + a p_{wo}^b + A^*$ ,求得当期世界石油均衡价格为:

$$p_{N,t} = \left( \frac{\bar{q} + a p_{0,t}^b + A_t^*}{e^\alpha} \right)^{1/\gamma} \quad (19)$$

同样,异常状态下的世界石油价格为:

$$p_{AN,t} = \left[ \frac{\mu(\bar{q} + a p_{0,t}^b) + A_t^*}{e^\alpha} \right]^{1/\gamma} \quad (20)$$

再由  $p_{do,t}$  等于  $(1 + 5\%) p_{wo,t}$ ,我们可分别写出两种市场状态下可能造成的净福利损失:

即,  $\mu = 110\%$ ,  $\delta = 115\%$ ;

(3) 所有状态变量都取现行值为它们的初始值;  $p_0 = 50$ ,  $p_{\text{coal}} = 16$ ;

(4) 转移概率矩阵为

$$\begin{pmatrix} 0.7 & 0.3 \\ 0.6 & 0.4 \end{pmatrix}.$$

<sup>⑥</sup>此数据来源于 BP 的 2006 年的世界能源统计回顾。

表2 案例一:中石油储备的每年变化量(百万桶/天)

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 年   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
| 变化量 | 3.25 | 3.41 | 3.57 | 3.73 | 3.9  | 4.07 | 4.25 | 4.44 |
| 年   | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   |
| 变化量 | 4.62 | 4.82 | 5.02 | 5.22 | 5.42 | 5.64 | 5.85 | 6.07 |
| 年   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   |
| 变化量 | 6.28 | 6.5  | 6.72 | 6.93 | 7.15 | 7.35 | 7.56 | 7.05 |
| 年   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   | 31   | 32   |
| 变化量 | 7.94 | 8.11 | 8.27 | 8.41 | 8.53 | 8.63 | 8.69 | 8.73 |
| 年   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   | 38   | 39   | 40   |
| 变化量 | 8.72 | 8.68 | 8.58 | 8.43 | 8.22 | 7.93 | 7.56 | -255 |

我们在表2中给出了基础案例的相应结果。发现在基础案例中,最优储备策略是在第一年以每天3.25百万桶石油的购买率购买石油,购买率逐年增加,到第32年达到峰值,购买率为每天8.73百万桶石油,随后购买率又逐年下降。在末期出售所有石油储备。

在这一部分,我们选择三个变量作敏感性分析,考察它们发生变动时会对案例一的结果产生何种影响。我们在分析其中某个变量的影响时,将使其他

变量保持不变。

与世界需求密切相关的参数,决定着石油市场的价格和中国可能遭受的损失,进而会对储备策略产生极大的影响。正如我们所预期的那样,我们发现当冲击规模从110%扩大到120%的时候石油购买量大幅升高。初期的石油购买率增至每天3.71百万桶石油;之后的30多年中,每年的石油购买量都持续增加。

表3 案例二:中石油储备的每年变化量(百万桶/天)

|     |       |       |      |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 年   | 1     | 2     | 3    | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| 变化量 | 3.71  | 3.9   | 4.09 | 4.29  | 4.5   | 4.73  | 4.96  | 5.2   |
| 年   | 9     | 10    | 11   | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    |
| 变化量 | 5.45  | 5.71  | 5.98 | 6.26  | 6.55  | 6.84  | 7.15  | 7.47  |
| 年   | 17    | 18    | 19   | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    |
| 变化量 | 7.8   | 8.13  | 8.48 | 8.83  | 9.2   | 9.57  | 9.94  | 10.32 |
| 年   | 25    | 26    | 27   | 28    | 29    | 30    | 31    | 32    |
| 变化量 | 10.71 | 11.1  | 11.5 | 11.89 | 12.29 | 12.68 | 13.07 | 13.44 |
| 年   | 33    | 34    | 35   | 36    | 37    | 38    | 39    | 40    |
| 变化量 | 13.81 | 14.16 | 14.5 | 14.81 | 15.1  | 15.35 | 15.57 | -359  |

表4给出的是中国国内石油需求冲击规模对储备策略的影响。我们看到,国内石油需求冲击与世界石油需求冲击产生了类似的影响,但国内需求增长越快,即冲击规模越大,平均每年的购买量就减少。另外我们还发现,购买率峰值的到来要早于案

例二和案例一的32年。

我们假定折现率增长到0.978,也就是说无风险利率降低至2.25%。我们把相应的计算结果列在表5。结果表明我们将在第38年开始出售石油储备。

表4 案例三:中石油储备的每年变化量(百万桶/天)

|     |      |      |      |      |      |      |      |        |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| 年   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8      |
| 变化量 | 3.18 | 3.33 | 3.47 | 3.62 | 3.78 | 3.93 | 4.1  | 4.26   |
| 年   | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16     |
| 变化量 | 4.43 | 4.6  | 4.77 | 4.95 | 5.12 | 5.3  | 5.48 | 5.65   |
| 年   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24     |
| 变化量 | 5.82 | 5.99 | 6.15 | 6.31 | 6.46 | 6.6  | 6.72 | 6.84   |
| 年   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   | 31   | 32     |
| 变化量 | 6.93 | 7    | 7.05 | 7.07 | 7.06 | 7.02 | 6.93 | 6.79   |
| 年   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   | 38   | 39   | 40     |
| 变化量 | 6.61 | 6.36 | 6.05 | 5.66 | 5.18 | 4.62 | 3.94 | -215.1 |

表5 案例四,中石油储备的每年变化量(百万桶/天)

|     |      |      |      |      |      |       |       |        |
|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|--------|
| 年   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6     | 7     | 8      |
| 变化量 | 2.93 | 3.04 | 3.16 | 3.27 | 3.39 | 3.61  | 3.62  | 3.74   |
| 年   | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14    | 15    | 16     |
| 变化量 | 3.86 | 3.98 | 4.09 | 4.2  | 4.31 | 4.51  | 5.86  | 6.07   |
| 年   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22    | 23    | 24     |
| 变化量 | 4.6  | 4.68 | 4.75 | 4.8  | 4.85 | 4.876 | 4.885 | 4.87   |
| 年   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30    | 31    | 32     |
| 变化量 | 4.84 | 4.77 | 4.68 | 4.54 | 4.37 | 4.16  | 3.9   | 3.58   |
| 年   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   | 38    | 39    | 40     |
| 变化量 | 3.19 | 2.74 | 2.22 | 1.61 | 0.9  | -0.83 | -1.88 | -137.2 |

## 五、结论

近期石油价格的变化引发了各方对石油安全问题的担忧,掀起了学界的研究热潮,也引起了我们的关注。笔者从设计石油战略储备策略着手,试图解决潜在的并有可能愈演愈烈的石油安全问题。笔者引入了一个多期随机动态模型。笔者认为石油需求大幅膨胀才是导致近期石油市场动荡的主要原因。我们首先运用供求平衡来确定石油的均衡价格;接着利用可获得数据来拟合与石油战略储备模型相关的所有函数;最后,以最小化国家潜在经济损失为目标,运用递归法计算出石油存储量的最优路径,并选择了三个重要变量作敏感性分析,考察它们变动时对模型结果产生的影响。我们发现,世界石油需求冲击规模的增大将使石油储备的最优路径上移,而中国国内需求规模的增大和折现率的增大则会产生相反效果。

笔者虽然只是对中国石油战略储备策略设计的初步探索,但引入的模型已基本抓住了当今石油市场的最主要特征。后续研究可以从扩展石油需求冲击的定义着手,考虑石油需求加速膨胀和急速萎缩之间的转换,亦即 $\mu$ 和 $\beta$ 大于零而非仅仅大于一。我们衷心希望笔者能对石油安全问题的解决有所裨益。

## 参考文献:

- [1] TANG L, HAMMOUDEH S. An empirical exploration of world oil price under the target zone model[J]. Energy Economics, 2002,24(6):525-649.
- [2] BERNABE MARTINA, ALVAREZ-RAMIREZ, IBARRA - VALDEZ. A multi-model approach for describing crude oil price dynamics[J]. Physica A,2004,338:567-584.
- [3] SHAHRIAR YOUSEFI, WEINREICH I, REINARZ D. Wavelet - based prediction of oil prices, chaos[J]. Solitons Fractals, 2005,25:265-275.
- [4] CHANG YOUNG - HO. WONG JOON FONG. Oil price fluctuations and singapore economy[J]. Energy Policy, 2003,

31:1151-1165.

- [5] DOROODIAN K, BOYD R. The linkage between oil price shocks and economic growth[J]. Energy Policy, 2003, 31: 989-1006.
- [6] CUNADO J, GRACIA F. PEREZ De. Oil Prices, Economic activity and inflation: evidence for some Asian countries [J]. Quarterly Review of Economics & Finance, 2004,45: 65-83.
- [7] NORDHAUS. The 1974 report of the president's council of economic advisers: energy in the economic report[J]. American Economic Review, 1974,64(4):556-565.
- [8] TOLLER, WILMAN. The Foreign dependence question[J]. Journal of Political Economy, 1977,85(2):323-347.
- [9] HOGAN. Oil stockpiling: help the neighbor[Z]. Harvard Energy Security Program, Discussion Paper, 1982.
- [10] ROWEN, WEYANT. Reducing the economic impacts of oil supply interruptions: an international perspective[J]. Energy Journal, 1981,3(1).
- [11] TEISBERG. A dynamic programming model of the U. S. strategic petroleum reserve[J]. Bell Journal of Economics, 1981,12(2).
- [12] CHAO, MANNE. Oil stockpiles and import reductions: a dynamic programming approach[J]. Energy Vulnerability, 1982.
- [13] OREN, WAN. Optimal strategic petroleum reserve polities: a steady state analysis[J]. Management Science, 1986, 32(1).
- [14] ALVAREZ - RAMIREZ, IBARRA - VALDEZ, BERNABE, RODRIGUEZ. Power-law period in the 2003 - 2004 crude oil Price dynamics[J]. Physica A, 2005, 349: 625 - 640.
- [15] MacAVOY, PAUL W. Crude oil prices as determined by OPEC and market fundamentals[M]. Cambridge, Mass.: Ballinger, 1982.
- [16] RAMCHARRAN. Oil production responses to price changes: an empirical application of the competitive model to

- OPEC and non-OPEC countries [J]. *Energy Economics*, 2002, 24: 97 – 106.
- [17] YANG, HWANG, HUANG. An analysis of factors affecting price volatility of the oil market [J]. *Energy Economics*, 2002, 24: 107 – 119.
- [18] DELUCCHI M A. The social-cost calculator (SCC): documentation of methods and data, and case study of sacramento [R]. Draft Report, 2005.

## Analysis of Chinese Strategic Petroleum Reserve

LIN Ying<sup>1</sup>, SONG Yi-quan<sup>2</sup>

(1. School of Economics, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Shaoxing Yiquan Real Estate Ltd., Shaoxing 312000, China)

**Abstract:** In recent months, the world oil market has shown an abnormal behavior as compared with past few years, with the most relevant feature of unpredicted prices. We primarily aim to design stockpile policy to deal with oil insecurity issue that do exist and will likely intensify in the future. We concentrate on the demand side on the ground of our observation of its significant impacts on oil price, develop a stochastic multi-period model and employ the recursive method to look for the optimal path of stockpile size indicated by the optimized dynamics of acquisition. We, with the objective of minimizing potential oil insecurity costs over a long time, figure out that the optimal stockpile policy is that the acquisition rate is 3.25 million barrels per day in the initial year, rises and reaches the peak 8.73 million barrels per day later and then declines gradually.

**Key words:** oil insecurity; stochastic dynamic model; optimal stockpile policy

(责任编辑 傅旭东)