

文章编号: 0253-2697(2006)05-0139-04

来稿选登

# 石油峰值理论及世界石油峰值预测

冯连勇<sup>1</sup> 赵 林<sup>1</sup> 赵庆飞<sup>2</sup> 王志明<sup>3</sup>

(1. 中国石油大学工商管理学院 北京 102249; 2. 中国石油化工股份有限公司勘探开发研究院 北京 100083;  
3. 中国石油天然气集团公司 北京 100724)

**摘要:** 追溯了石油峰值理论的起源,对国内外一系列关于石油峰值理论模型的定量研究表明,石油峰值理论模型大体有 3 种类型: 基于生命有限体系的生命模型; 基于概率论和统计学理论的随机模型; 基于生产实践和理论推理的广义数学模型。从预测模型的发展过程中可以看出,国外从单循环模型发展到多循环模型,侧重于模型的纵向发展;而国内从翁氏模型发展到一系列的预测模型,侧重于模型的横向发展。利用广义翁氏模型对世界石油产量峰值进行的预测结果是:世界石油的峰值产量约为  $40.3 \times 10^8 \text{ t}$ ,峰值出现时间大约在 2020 年。

**关键词:** 世界石油;石油峰值;预测模型;峰值预测;生命周期

**中图分类号:** TE011

**文献标识码:** A

## Models of peak oil theory and forecast of world oil peak

Feng Lianyong<sup>1</sup> Zhao Lin<sup>1</sup> Zhao Qingfei<sup>2</sup> Wang Zhiming<sup>3</sup>

(1. School of Business Administration, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Research Institute of Exploration and Production, Sinopec, Beijing 100083, China; 3. China National Petroleum Corporation, Beijing 100724, China)

**Abstract:** Peak oil theory is an influential theory concerning the long-term oil reserve and rate of oil production. The origin of the peak oil theory was discussed, and a comprehensive comparison of the different quantitative models used in predicting peak value was made. The forecast models can be categorized into three types of life models based on the limited life system, random models based on the theories of probability and statistics, generalized mathematical models based on actual production and logical reasoning. The development of the forecast models shows that the foreign forecast models evolved from monocyclic ones to multi-cyclic ones emphasized the models' vertical development, whereas Chinese models such as the Weng's model and many others emphasized their horizontal development. Future researches should combine the two fields, especially to push forward the vertical development of the models. The world oil peak value was calculated on the basis of the generalized Weng's model. The estimated peak of world oil production is about 4.03 billion tons, and the oil peak will arrive around by the year 2020.

**Key words:** world oil; peak oil; forecast model; peak oil forecasting; life cycle

## 1 石油峰值理论发展及研究现状

### 1.1 国外对石油峰值理论模型的研究

M. K. Hubbert 是美国著名的石油地质学家,他开创了石油峰值理论的模型研究。1949 年他在《Science》上发表文章,提出了矿物资源的“钟型曲线”问题<sup>[1]</sup>。1956 年,Hubbert 与美国地质调查局(USGS)合作,对美国的石油生产趋势预测结果显示,美国本土的石油生产将在 1966 年至 1971 年达到高峰期,然后将持续递减,但是却没有给出具体的数学模型。1962 年,Hubbert 利用实际资料拟合 logistic 曲线的方法,得到了可以用于预测累积产量和最终可采储量的模

型。该模型在国外得到广泛应用,并被命名为 Hubbert(哈伯特)模型<sup>[2]</sup>。1996 年,我国陈元千教授对该模型进行了理论推导<sup>[3]</sup>。美国学者 Al-Jarri 于 1997 年基于年产量与累积产量之间的一元二次方程也完成了该模型的推导<sup>[4]</sup>。其主要关系式为

$$N_p = \frac{N_R}{1 + a e^{-bt}} \quad (1)$$

$$Q = \frac{abN_R e^{-bt}}{(1 + a e^{-bt})^2} \quad (2)$$

$$Q_{\max} = 0.25 b N_R \quad (3)$$

$$N_{pm} = 0.5 N_R \quad (4)$$

$$t_m = \frac{1}{b} \ln a \quad (5)$$

**作者简介:**冯连勇,男,1966 年 5 月生,1997 年获莫斯科石油大学经济学博士学位,现为中国石油大学(北京)工商管理学院经济与贸易系主任,副教授,主要从事能源经济、石油经济及企业战略管理方面的教学和科研工作。E-mail:memef2003@yahoo.com.cn

式中  $Q$  为油产量,  $10^4 \text{ t/a}$ , 或产气量,  $10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_{\max}$  为最高产油量,  $10^4 \text{ t/a}$ , 或产气量,  $10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $t$  为相对开发时间,  $\text{a}$ ;  $t_m$  为最高年产量发生的时间,  $\text{a}$ ;  $N_p$  为累积产油量,  $10^4 \text{ t/a}$ , 或产气量,  $10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $N_R$  为可采油量,  $10^4 \text{ t/a}$ , 或可采气量,  $10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $a$  和  $b$  分别为预测模型常数。

美国本土 48 州的石油生产于 1970 年达到高峰, 然后持续递减, 与 Hubbert 模型的预测相吻合。以后, Hubbert 将其模型发展应用于探明可采储量的发现规律和最终可采资源量的预测, 并应用于北美及其他地区可采资源量的预测, 取得了较好的效果。其他学者, 也曾应用概率统计学原理, 建立了动态勘探发现模型用于预测美国的最终可采资源量。目前, 该模型在勘探、开发领域已得到广泛的应用。

Campbell 继承了 Hubbert 的理论并成立了石油峰值研究协会 (ASPO) 组织, 研究并宣传石油峰值理论。他在 1998 年发表了文章, 在油价还十分低迷的时候得出了廉价石油时代必将终结的结论, 近来的高油价验证了其结论<sup>[5]</sup>。Al-Jarri 和 Startzman 在 1999 年将单循环 Hubbert 模型发展成多循环 Hubbert 模型<sup>[6]</sup>, 并在 2000 年利用多循环 Hubbert 模型对世界天然气供应进行了预测<sup>[7]</sup>。该模型主要关系式为

$$Q(t) = \sum_{i=1}^n Q(t)_i = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{4Q_{\max,i} e^{bt}}{(1 + e^{bt})^2} \right] \quad (6)$$

$$G_{pa} = \sum_{i=1}^n \frac{4Q_{\max,i}}{b_i} \quad (7)$$

$$G_p = \sum_{i=1}^n \frac{4(Q_{\max}/b)_i}{(1 + e^{bt})_i} \quad (8)$$

式中  $G_{pa}$  为天然气的最终可采储量,  $10^8 \text{ m}^3$ ;  $G_p$  为累积产量,  $10^8 \text{ m}^3$ 。

## 1.2 中国学者对石油峰值理论的研究

在石油峰值理论研究方面, 我国著名地球物理学家、中国科学院院士翁文波先生做出了开创性的工作。他在 1984 年出版的专著《预测学基础》中提出: “任何事件都有‘兴起—成长—鼎盛—衰亡’的自然过程, 油气的发现也有类似的规律”。基于此理论思想, 他又提出了泊松旋回 (Poisson Cycle) 模型<sup>[8]</sup>。该模型是我国建立的第一个预测油气田储量和中长期产量的预测模型, 称之为翁氏模型, 可用于对某一油区、国家或组织全过程的产量进行预测。翁文波院士于 1991 年出版了《Theory of Forecasting》专著, 将泊松旋回更名为生命旋回 (Life Cycle)<sup>[9]</sup>。

以陈元千教授为代表继承并发展了翁院士的预测理论, 并在油气田储量、产量预测及中长期规划方面得到了广泛应用。1996 年, 陈元千教授完成了翁氏模型

的理论推导<sup>[10-11]</sup>, 并提出了求解非线性模型的线性试差法。由于原翁氏模型是在模型常数  $b$  为正整数时理论推导结果的特例, 故将此结果称之为广义翁氏模型。该预测模型的基本关系式为

$$Q = at^b e^{-(t/c)} \quad (9)$$

$$Q_{\max} = a(bc/2.718)^b \quad (10)$$

$$t_m = bc \quad (11)$$

$$N_R = ac^{b+1} (b+1) \quad (12)$$

式中  $(b+1)$  为伽马函数, 当  $b$  为正整数时,  $(b+1) = b!$ ;  $c$  为预测模型常数。

此外, 陈元千、胡建国、张盛宗等还提出了威布尔 (Weibull) 模型<sup>[12]</sup>、胡—陈—张 (HCZ) 模型<sup>[13]</sup>、胡—陈 (HC) 模型<sup>[14]</sup>、对数正态分布模型<sup>[15]</sup>、瑞利模型<sup>[16]</sup>、广义 I 型数学模型以及广义 II 型数学模型<sup>[17]</sup>。黄伏生、赵永胜、刘青年提出了  $t$  模型<sup>[18]</sup>, 并由胡建国等<sup>[19]</sup>完成推导。陈玉祥、张汉亚将经济学中的龚帕兹 (Gompertz) 模型<sup>[20]</sup>也应用于石油峰值问题的研究。该模型可由 HCZ 模型的简化得到, 它在国外又称为 Moor (莫尔) 模型。

## 1.3 关于石油峰值问题的争论

近年来, 以石油资源预测和石油危机研究的石油科学组织正在兴起, 例如, 世界范围内以石油峰值问题为主题的网站就有 200 多个。典型的研究组织有在瑞典乌普萨拉市的 ASPO 和在伦敦的石油枯竭分析中心, 相应的学者有 Campbell、Laherr 和 Aleklett 等。ASPO 组织已经 4 次举办世界性的石油枯竭问题研讨会。最近的一次会议是 2005 年 4 月在葡萄牙里兹本举行, 有 300 多名学者参加了会议。这些组织及有关学者认为, 石油峰值将出现在近 10 年, 随后的下降被描绘成“陡降”。届时, 石油价格将急剧上升。

与 ASPO 组织意见相左的研究机构和学者也很多, 如美国联邦地质调查局 (USGS)、美国能源情报局 (EIA) 和国际能源机构 (IEA) 等官方政府组织。USGS 的世界能源工程项目主任 Thomas Ahlbrandt 坚持高产稳产概念, 不相信即将来临的石油峰值, 争辩英国北海油田过去 20 年中屡次违背钟形曲线式样规律。《Science》杂志 2004 年 5 月发表了 Leonardo Maugeri 的文章, 他认为石油时代远没有结束<sup>[21]</sup>。

随着时间的推移, 争论似乎对峰值论者越来越有利, 目前油价居高不下正是这些观点的有利佐证。同时, 双方在一些观点上是有共识的: 石油资源是有限的, 总有枯竭的时候; 石油峰值会来临, 分歧只是在时间上。美国《Oil & Gas Journal》在 2003 年 7—8 月连载了 6 篇文章<sup>[22-27]</sup>, 从不同方面对此问题进行了评

述,最终还是没有定论。由此可以看出,世界范围内对关于石油峰值问题的争论已经进入了白热化阶段。

2 对国内外相关研究的评析

石油峰值理论是研究石油产量的长期估计和折耗的理论,既适用于一个单独油田,也适用于一个地区。综合对比国内外 10 多种关于石油峰值理论定量研究的模型,大体分为如下 3 类: 基于生命有限体系的生命模型,如:Hubbert 模型、广义翁氏生命旋回模型和龚帕兹模型; 基于概率论和统计学理论的随机模型,如威布尔模型、对数正态分布模型、瑞利模型和 t 模型; 基于生产实践和理论推理的广义数学模型,如 HCZ 模型、HC 模型、广义 I 型数学模型和广义 II 型数学模型。

从预测模型的发展过程中可以看出,在国外,从单循环模型发展到多循环模型更侧重的是模型的纵向发展;而在国内,从翁氏模型发展到一系列的预测模型更侧重于模型的横向发展,所以应该说国内外对预测模型的研究是各有千秋。在以后的研究中,须将两者有机结合,并侧重在模型的纵向上进行深入研究。

3 对世界石油峰值的预测

根据 2005 年 BP Statistical Review of World Energy 的统计数据(见表 1),利用广义翁氏模型,对世界石油产量峰值进行了预测,预测结果如图 1 所示。

表 1 世界石油产量数据

Table 1 The world oil production data

年 份	产量/10 <sup>6</sup> t	年 份	产量/10 <sup>6</sup> t
1965	1 566. 3	1985	2 792. 1
1966	1 700. 6	1986	2 935. 8
1967	1 824. 7	1987	2 947. 2
1968	1 990. 9	1988	3 069. 1
1969	2 141. 2	1989	3 103. 0
1970	2 355. 2	1990	3 170. 6
1971	2 492. 7	1991	3 160. 5
1972	2 636. 6	1992	3 189. 8
1973	2 866. 6	1993	3 188. 5
1974	2 875. 2	1994	3 237. 1
1975	2 734. 4	1995	3 282. 0
1976	2 969. 0	1996	3 376. 9
1977	3 073. 3	1997	3 477. 3
1978	3 103. 1	1998	3 546. 0
1979	3 233. 2	1999	3 477. 1
1980	3 087. 9	2000	3 614. 0
1981	2 910. 0	2001	3 597. 7
1982	2 795. 7	2002	3 575. 2
1983	2 759. 3	2003	3 702. 9
1984	2 814. 6	2004	3 867. 9

利用广义翁氏模型对世界石油产量峰值的预测结果为:世界石油的峰值产量为 40. 3 ×10<sup>8</sup> t,峰值出现时间大约在 2020 年。

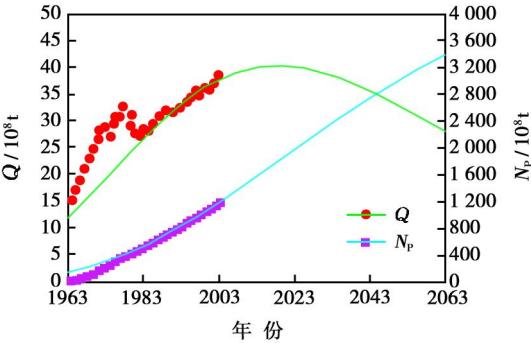


图 1 利用广义翁氏模型对世界石油产量峰值的预测结果

Fig.1 The peak value of world oil production forecasted by the generalized Weng's model

4 结束语

石油峰值理论从一个全新的角度对储量、产量及各作业量进行定性和定量的研究,是确定国家石油安全战略的基石,是科学制定国家石油政策问题的基础理论之一。开展石油峰值理论的研究,对国家制定能源战略、现代石油战略,石油公司进行油田开发规划以及成本预测方面有着迫切的现实意义。特别是笔者在检索资料过程中发现,国外对石油峰值理论的研究和争论已经进入了白热化,而国内相关研究严重缺乏,政府、学术界均重视不足;因此,呼吁更多的有识之士参与到石油峰值理论的相关研究中来。

参 考 文 献

[1] Hubbert M K. Energy from fossil fuels[J]. Science, 1949, 109 (2823): 103-109.

[2] Hubbert M K. Degree of advancement of petroleum exploration in the United States[J]. AAPG Bulletin, 1967, 52 (11): 2 207-2 227.

[3] 陈元千,胡建国,张栋杰. Logistic 模型的推导及自回归方法[J]. 新疆石油地质, 1996, 17 (2): 150-155.

[4] Al-Jarri A S, Startzman R A. Worldwide petroleum-liquid supply and demand[J]. JPT, 1997, 49 (12): 1 329-1 338.

[5] Campbell Collin. The end of cheap oil [J]. Scientific American, 1998, 278 (3): 78-83.

[6] Al-Fattah S M, Startzman R A. Analysis of worldwide natural gas production[R]. SPE 57463, 1999: 1-14.

[7] Al-Fattah S M, Startzman R A. Forecasting world natural gas supply[R]. SPE 62580, 2000: 1-7.

[8] 翁文波. 预测论基础[M]. 北京:石油工业出版社, 1984: 79.

[9] Weng Wenbo. Theory of forecasting[M]. Beijing: International Academic Publishers, 1991: 80.

[10] 陈元千. 广义翁氏预测模型的推导与应用[J]. 天然气工业, 1996, 16 (2): 22-26.

- [11] 陈元千,胡建国.对翁氏模型建立的回顾及新的推导[J].中国海上油气(地质),1996,10(5):317-324.
- [12] 陈元千,胡建国.预测油气田产量和可采储量的 Weibull 模型[J].新疆石油地质,1995,16(3):250-255.
- [13] 胡建国,陈元千,张盛宗.预测油气田产量的新模型[J].石油学报,1995,16(1):79-86.
- [14] 胡建国,张栋杰,陈元千.油气田产量预测的模型研究[J].天然气工业,1997,17(5):31-34.
- [15] 陈元千,袁自学.预测油气田产量和可采储量的新模型[J].石油学报,1997,18(2):84-88.
- [16] 袁自学,陈元千.预测油气田产量和可采储量的简易模型[J].中国海上油气(地质),1996,10(2):101-105.
- [17] 李从瑞,陈元千.广义预测模型的建立与应用[J].石油勘探与开发,1998,25(4):38-41.
- [18] 黄伏生,赵永胜,刘青年.油田动态预测的一种新模型[J].大庆石油地质与开发,1987,6(4):55-62.
- [19] 胡建国,陈元千.t 模型的推导、应用与讨论[J].天然气工业,1995,15(4):26-29.
- [20] 陈玉祥,张汉亚.预测技术与应用[M].北京:机械工业出版社,1985:83-89.
- [21] Maugeri Leonardo. Oil: never cry wolf — why the petroleum age is far from over[J]. Science, 2004, 304(5674): 1114-1115.
- [22] Williams Bob. Debate over peak-oil issue boiling over, with major implications for industry, society[J]. Oil & Gas Journal, 2003, 101(27): 18-29.
- [23] Williams Bob. Debate grows over US gas supply crisis as harbinger of global gas product on peak[J]. Oil & Gas Journal, 2003, 101(28): 20-31.
- [24] Williams Bob. Heavy hydrocarbons playing key role in peak-oil debate, future energy supply[J]. Oil & Gas Journal, 2003, 101(29): 20-27.
- [25] Williams Bob. Progress in IOR technology, economics deemed critical to staving off world's oil production peak[J]. Oil & Gas Journal, 2003, 101(30): 18-25.
- [26] Williams Bob. Refiners' future survival hinges on adapting to changing feed stocks, product specs[J]. Oil & Gas Journal, 2003, 101(31): 20-34.
- [27] Williams Bob. Peak-oil, global warming concerns opening new window of opportunity for alternative energy sources[J]. Oil & Gas Journal, 2003, 101(32): 18-28.

(收稿日期 2005-11-10 改回日期 2006-02-22 编辑 黄小娟)

#### (上接第 138 页)

- asures facing casing damage in Daqing Oil Field [R]. SPE 92292, 2005: 195-209.
- [2] 运新. 油层套管损坏因素的分析与预测[J]. 钻采工艺, 1992, 15(4): 60-65.
- [3] 胡博仲,徐志良. 大庆油田油水井套管损坏机理及防护研究[J]. 石油钻采工艺, 1998, 20(5): 95-99.
- [4] 魏兆胜,王文军. 榆树林油田套管损坏机理分析[J]. 大庆石油学院学报, 1997, 21(1): 33-37.
- [5] 姚洪田,王伟,边志家. 套管损坏原因与修井效果[J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(1): 35-37.
- [6] Dale B A, Narahara G M, Stevens R M, et al. Case history of reservoir subsidence and wellbore damage management in the south belridge diatomite field[R]. SPE 60844, 2000: 365-369.
- [7] Bruno M S. Geomechanical and decision analyses for mitigating compaction-related casing damage[R]. SPE 79519, 2002: 179-181.
- [8] Dusseault M B, Bruno M S, Barrera J. Casing shear: causes, cases, cures[R]. SPE 72060, 2001: 99-107.
- [9] Hilbert L B, Gwinn R L, Deitrick G L. Field-scale and wellbore modeling of compaction-induced casing failures[J]. SPE Drilling & completion, 1999, 14(2): 92-101.
- [10] Li X, Mitchum F L, Bruno M, et al. Compaction, subsidence, and associated casing damage and well failure assessment for the Gulf of Mexico Shelf Matagorda Island 623 Field [R]. SPE 84553, 2003: 195-209.
- [11] 张立平,王东坡. 松辽盆地白垩纪古气候特征及其变化机制[J]. 岩相古地理, 1994, 14(1): 11-16.
- [12] 王璞君,刘招君,王东坡. 嫩江组黑色页岩-白云质结核-生物灰岩互层序成因与海水侵入的片流模式[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(4): 380-390.

(收稿日期 2005-10-15 改回日期 2006-02-13 编辑 黄小娟)