

预测天然气产量的多循环模型的构建及应用

冯连勇 王建良 赵林

中国石油大学(北京)工商管理学院

冯连勇等. 预测天然气产量的多循环模型的构建及应用. 天然气工业, 2010, 30(7): 114-116.

摘要 以广义翁氏模型为代表的单循环模型是目前运用最为广泛的天然气产量预测模型。但对于存在多个产量循环的油气田而言,单循环模型的预测产量与历史产量拟合程度比较低,预测的最终可采储量误差较大。为此,对现有的单循环模型进行改进,建立多循环预测模型,阐述了模型的求解步骤和对预测效果的评价方法。采用所建立的多循环模型对世界天然气产量进行了预测,并与单循环模型预测结果进行了对比分析。结果表明,世界天然气产量峰值将于2031年左右到来,峰值产量约为 $4.04 \times 10^{12} \text{ m}^3$,最终可采储量约为 $395.21 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。结论认为:多循环预测模型比单循环模型更加有效和实用。

关键词 天然气 产量 预测 多循环 模型 改进 峰值

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2010.07.030

据翁文波的理论^[1],笔者将天然气产量从上升到顶峰再到下降的过程定义为一个产量循环。按照产量循环的个数,可以将天然气产量预测模型分为单循环模型和多循环模型。以往多运用单循环模型,包括 Hubbert 模型^[2]、广义翁氏模型^[3]、HCZ 模型^[4]等。但对于存在多个产量循环的油气田而言,单循环模型存在预测产量与历史产量拟合程度比较低,预测的最终可采储量误差比较大等问题。Al-Fattah 和 Startzman^[5]通过对实际生产数据的分析,指出多产量循环在天然气生产中广泛存在,并运用改进的 Hubbert 模型对主要国家的天然气产量进行了预测。笔者在吸取国内外经验的基础上,结合国内外天然气生产实际,建立了适合我国天然气产量预测的多循环模型。

1 多循环模型的构建

1.1 多循环预测模型的构建

目前,广义翁氏模型是预测油气田产量的重要方法之一。笔者对其进行了改进,建立了多循环广义翁氏模型。单循环广义翁氏模型^[3]如下所示:

$$Q = a^b e^{-t/c} \quad (1)$$

$$Q_{\max} = a(bc/e)^b \quad (2)$$

$$t_m = bc \quad (3)$$

$$N_R = ac^{b+1} \Gamma(b+1) \quad (4)$$

式中 Q 为年产量, 10^8 m^3 ; Q_{\max} 为峰值产量, 10^8 m^3 ; N_R 为最终可采储量, 10^8 m^3 ; t 为相对开发时间, a ; t_m 为峰值时间, a ; a 、 b 、 c 为模型参数; $\Gamma(b+1)$ 为伽马函数,当 b 为正整数时, $\Gamma(b+1) = b!$

对上述公式进行变换改进,得到 k 个产量循环下的产量与最终可采储量预测公式:

$$Q = \sum_{i=1}^k Q_i = \sum_{i=1}^k \left[Q_{\max} \left(\frac{et}{t_m} \right)^b e^{-\left(\frac{t}{t_m} \right)} \right]_i \quad (5)$$

$$N_R = \sum_{i=1}^k N_{Ri} = \sum_{i=1}^k \left[\frac{Q_{\max}}{(t_m/e)^b} c^{b+1} \Gamma(b+1) \right]_i \quad (6)$$

式中 Q_i 表示第 i 个循环的年产量, 10^8 m^3 ; N_{Ri} 第 i 个循环的最终可采储量, 10^8 m^3 ; $i=1, 2, 3, \dots, k$ 。可以看出,单循环模型是当 $k=1$ 时的多循环模型。

1.2 模型求解步骤

1) 确定产量循环的个数。可从 2 个角度来确定:
① 根据产量变化的“外在表现”来确定,因为无论是哪种因素引起的多循环现象,最终都会在产量曲线上表现出来,可以通过对历史产量曲线进行分析确定循环

基金项目 国家自然科学基金项目“国际能源价格波动背景下国家能源价格调控策略研究”(编号:70841024)和国家重大专项“大型油气田及煤层气开发”(编号:2009ZX05042-001)。

作者简介 冯连勇,1966年生,教授,博士,博士生导师;中国石油大学工商管理学院经济与贸易系主任,从事能源、技术经济及石油峰值等方面的教学和科研工作。地址:(102249)北京市昌平区府学路18号。电话:13911236801。E-mail:fengly@yahoo.cn

的个数;②根据其变化的“内在原因”来确定,即从引起产量变化的原因出发,例如某年发现了一个大的储量区块并投产,那么该年可以认为是新循环的起点。

2)求解模型参数。在确定出产量循环个数之后,利用线性试差法对各循环中的模型参数进行求解。

3)计算产量、最终可采储量。在确定出每个产量循环中的模型参数之后,分循环求出每个循环的产量和可采储量,然后将各循环的产量进行叠加,得到总的产量,将各循环的可采储量相加得到总的可采储量。

1.3 预测效果评价

本文主要进行拟合优度检验,在此运用无量纲的均值平方根 (D_{rms}),对每个地区、国家、油气田而言, D_{rms} 等于均值平方根 (R_{MS})除以各循环产量峰值的最大值,即

$$R_{MS} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{cal})^2 / n} \quad (7)$$

$$D_{rms} = \frac{R_{MS}}{(Q_{max})_{max}} \quad (8)$$

式中 Q_{obs} 为实际产量, 10^8 m^3 ; Q_{cal} 为预测产量, 10^8 m^3 ; n 为预测年数。

R_{MS} 反映了预测值相对于实际值的平均离散程度, D_{rms} 反映了均值平方差与最大产量之间的相对大小。由此可见, R_{MS} 和 D_{rms} 的值越小,拟合精度就越高。借鉴有关衡量标准^[5],即当 $D_{rms} \leq 5.5\%$ 时,拟合程度较好;当 $5.5\% < D_{rms} \leq 18.1\%$ 时,拟合程度一般;当 $D_{rms} > 18.1\%$ 时,拟合程度较差。同时通过对比单循环与多循环模型的 R_{MS} 和 D_{rms} ,可以比较预测模型的优劣。

2 多循环模型实证分析

笔者对世界天然气产量进行预测,将世界天然气产量分为两部分,即经济合作发展组织(OECD)国家产量和非 OECD 国家产量,并分别预测其产量和最终可采储量,最后将预测结果叠加得到世界总的天然气产量和最终可采储量。根据 BP2009 年的能源统计资料^[6],可以获得世界和 OECD 国家的天然气历史产量数据,二者之差即为非 OECD 国家的天然气产量。

2.1 模型预测

2.1.1 确定产量循环个数

OECD 国家天然气生产经历了两大阶段:①1986 年之前,产量经历了从上升到下降的过程;②1986 年之后,产量又开始增长(图 1)。OECD 国家天然气产量主要来自北美地区(占 70% 以上),其中以美国为主。美国天然气产量在 1972 年达到第一个产量峰值

后开始下降,一个重要原因是由于公众担心天然气资源不足及由此造成政府对天然气开发和利用的限制。1986 年后产量开始新一轮增长,部分原因是由于美国非常规气(煤层气、页岩气等)产量的增加。此外,加拿大和墨西哥的天然气产量在 1986 年左右也出现转折:1986 年之前加拿大的产量增长平稳,1970~1986 年年均增速仅为 2.29%,之后产量增长加快,1986~1995 年年均增速达 8.18%;墨西哥天然气产量在 1983 年达到第一个峰值后开始下降,到 1986 年后又逐渐开始增长。据此认为 OECD 国家天然气生产经历了 2 个大的产量循环:1986 年之前及之后。

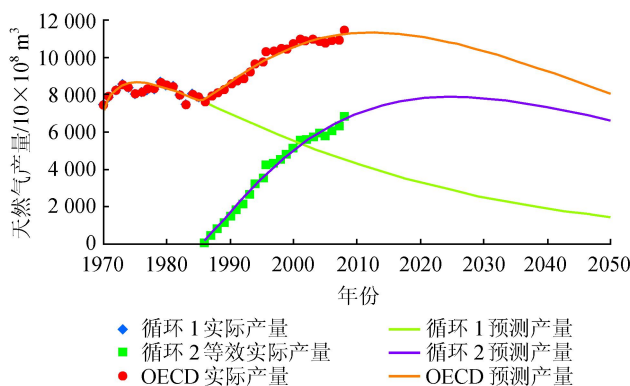


图 1 OECD 国家天然气产量预测结果图

2.1.2 产量预测

对于存在 2 个产量循环的地区而言,需要求解 2 组参数,每组包含 3 个参数,运用线性试差法对待定参数进行求解,然后将求解的参数代入产量和储量公式确定产储量。产量预测结果如图 1 所示。循环 1 所用预测数据为 1970~1985 年 OECD 国家实际产量数据,循环 2 所用预测数据是用 1986~2008 年 OECD 国家实际产量数据减去同期循环 1 的预测数据得到的等效实际产量数据,然后将二者的预测结果叠加,得到 OECD 国家天然气产量预测的最终结果。同理可得非 OECD 国家的天然气产量预测结果(图 2)。

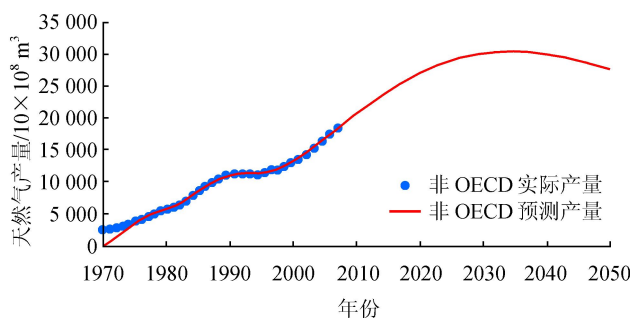


图 2 非 OECD 国家天然气产量预测结果图

2.2 预测结果对比与效果评价

为了说明多循环模型在预测产量方面的比较优势,运用单循环广义翁氏模型对 OECD 国家和非 OECD 国家天然气产量进行预测,将其与多循环广义翁氏模型的预测结果进行对比,见图 3 和表 1。

由图 3 可知,单循环模型对最后一个产量循环的拟合程度较高,但对于之前的产量循环,拟合程度则比较低,导致其对最终可采储量的预测误差偏大,而多循环模型则弥补了这一不足。由表 1 可知,多循环模型预测 OECD 国家和非 OECD 国家的 D_{rms} 分别为 2.74% 和 2.07%,均明显小于单循环模型的预测结果,表明多循环模型的评价效果比较好。

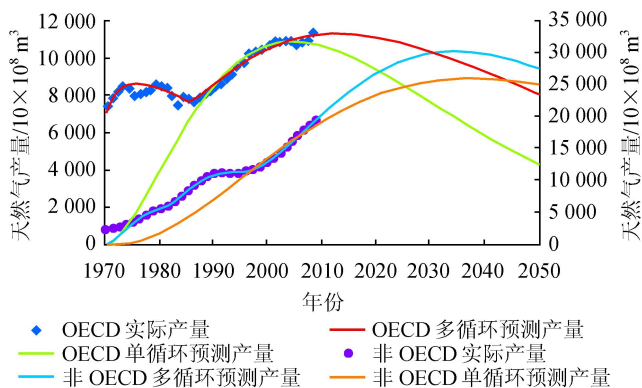


图 3 OECD 和非 OECD 国家天然气产量预测结果对比图
注:左纵轴为 OECD 国家,右纵轴为非 OECD 国家

表 1 不同预测模型下的预测结果及效果检验

预测对象	预测模型	t_m	$Q_{max} / 10^8 \text{ m}^3$	$N_R / 10^{12} \text{ m}^3$	D_{rms}	D_{rms} 评价结果
OECD 国家	多循环模型	2013 年	11 328.72	121.05	2.74%	较好
	单循环模型	2004 年	10 887.23	71.09	32.65%	较差
非 OECD 国家	多循环模型	2034 年	30 269.10	274.16	2.07%	较好
	单循环模型	2037 年	25 708.62	280.53	11.01%	一般

2.3 世界天然气产量预测分析

在对 OECD 国家和非 OECD 国家天然气产储量预测结果的基础上,将其叠加可以得到世界总的天然气产量和最终可采储量,产量预测结果如图 4 所示。

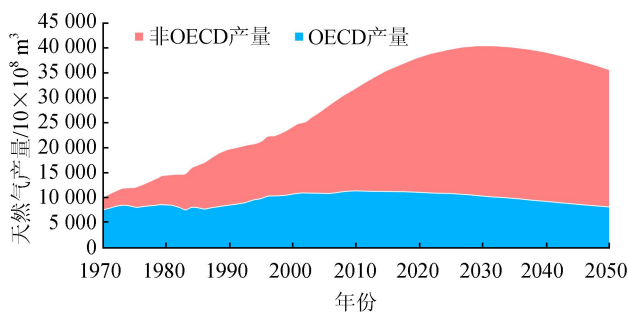


图 4 世界天然气产量预测结果图

通过预测,世界天然气产量峰值将于 2031 年左右到来,峰值产量约为 $4.04 \times 10^{12} \text{ m}^3$,最终可采储量约为 $395.21 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。同时,对比 OECD 国家与非 OECD 国家的产量曲线可以看出,OECD 国家未来的产量增长空间较小,到 2013 年后产量将逐渐减小;而非 OECD 国家产量增长空间较大。因此,我国在确定天然气发展战略时,应将非 OECD 国家列为主要战略合作国,及早加强合作。

3 结论

建立了天然气产量预测的多循环广义翁氏模型,

并给出了求解步骤和结果的检验方法。通过对世界天然气产量的实证分析,论证了模型的可靠性,并且通过与单循环模型预测结果的对比,证明了模型的优越性。但该模型还存在一些不足:①对产量循环个数的确定有一定的主观性;②多循环模型虽对过去诸多因素引起的额外产量循环加以了考虑,但对于未来技术进步等因素可能引起的新产量循环则未加以考虑。

参 考 文 献

- [1] 翁文波.预测论基础[M].北京:石油工业出版社,1984.
- [2] HUBBERT M K. Techniques of prediction as applied to the production of oil and gas [C]// Proceedings, U.S. Dept. of Commerce Symposium, Washington, D.C.: [s.n.], 1980.
- [3] 陈元千.对翁氏预测模型的推导及应用[J].天然气工业, 1996, 16(2): 22-26.
- [4] 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(1): 79-86.
- [5] AL-FATTAH S M, STARTZMAN R A. Analysis of worldwide natural gas production [G]// SPE Eastern Regional Conference and Exhibition, 21-22 October 1999, Charleston West Virginia: . SPE, 1999: SPE 57463.
- [6] BP. Statistical Review of World Energy 2009 [DB/OL]. (2009-06-20) [2010-02-08] <http://www.bp.com/statisticalreview>.