

文章编号: 0253-2697(2016)06-0796-06 DOI:10.7623/syxb201606010

油气田剩余可采储量、剩余可采储采比和 剩余可采程度的年度评价方法

陈元千 唐 玮

(中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

摘要: 剩余可采储量、剩余可采储采比和剩余可采程度是判断油气田当前开发形势的重要指标,是决策是否进行开发调整的重要基础,因而受到全球各石油公司的高度重视。根据中国行业标准,评价可采储量的方法主要包括水驱曲线法、产量递减法和预测模型法。水驱曲线法仅适用于水驱开发的油田,而产量递减法和预测模型法则适用于已经进入递减阶段的任何储集类型、驱动类型和开采方式的油气田。DeGolyer and MacNaughton 和 Ryder Scott 两家评估公司对中国境内油气田的剩余经济可采储量进行年度储量资产价值评价所使用的方法是由美国证券交易委员会多部门团队提供的 Arps 指数递减的变异公式。利用适用于不同开发模式的广义指数递减法,推导得到了油气田年度经济可采储量、剩余经济可采储量、技术可采储量、剩余技术可采储量、剩余可采储采比和剩余可采程度的计算公式,并对 DeGolyer and MacNaughton 公司使用的变异指数递减法进行了说明和评价。通过 8 个油田实际应用结果表明,笔者提供的计算方法实用有效。

关键词: 油气田;可采储量;剩余可采储量;剩余可采储采比;剩余可采程度;评价方法

中图分类号:TE328

文献标识码:A

Annual evaluation methods for remaining recoverable reserves, remaining recoverable reserves-production ratio and remaining recoverable degree of oil and gas fields

Chen Yuanqian Tang Wei

(PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China)

Abstract: Remaining recoverable reserves, remaining recoverable reserves-production ratio and remaining recoverable degree are key indices for judging the current development status of oil and gas fields and provide an important basis for determining whether to adjust the development scheme, thus attracting high attention from global oil companies. According to national industry standards, the main evaluation methods of recoverable reserves include waterflooding curve method, production decline method and forecast model method. The waterflooding curve method is only applied to waterflooding oilfields, while production decline method and forecast model method can be used for any oilfields of all reserving types, flooding types and production modes in the decline stage. DeGolyer and MacNaughton Company and Ryder Scott Company were hired to evaluate the annual reserves asset values of remaining economical recoverable reserves for all national oil and gas fields. The evaluation method they adopt is the variation formula of Arps exponential decline method proposed by the U. S. Securities and Exchange Commission multi-department team. In this study, the generalized exponential decline method applicable to different development modes is used to derive the calculation equations of annual economical recoverable reserves, remaining economical recoverable reserves, technical recoverable reserves, remaining technical recoverable reserves, remaining recoverable reserves-production ratio and remaining recoverable degree of oil and gas fields. In the meantime, the variant exponential decline method adopted by DeGolyer and MacNaughton Company was illustrated and evaluated. The calculation methods presented by the author were confirmed practical and effective in terms of actual application results in eight oilfields.

Key words: oil and gas fields; recoverable reserves; remaining recoverable reserves; remaining recoverable reserves-production ratio; remaining recoverable degree; evaluation method

引用: 陈元千,唐玮. 油气田剩余可采储量、剩余可采储采比和剩余可采程度的年度评价方法[J]. 石油学报,2016,37(6):796-801.

Cite: Chen Yuanqian, Tang Wei. Annual evaluation methods for remaining recoverable reserves, remaining recoverable reserves-production ratio and remaining recoverable degree of oil and gas fields[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(6): 796-801.

第一作者及通信作者: 陈元千,男,1933年10月生,1952年考入清华大学石油工程系,1956年毕业于北京石油学院钻采系,中国石油勘探开发研究院教授级高级工程师,长期从事油藏工程、油气田开发和油气储量评估工作。

评价油气田经济和技术可采储量的方法主要包括水驱曲线法、产量递减法和预测模型法。尤其是产量递减法已经广泛地应用于国内外油气田的产量和可采储量的预测。中国于 20 世纪 80 年代开始引入产量递减法,并于 1998 年和 2010 年分别将其引入国家行业标准^[1-4]。笔者在文献[5-27]中发表了有关产量递减法研究方面的主要成果。其中,2005 年发表的快速预测可采储量的方法^[5],被引入 2010 年新版的国家行业标准^[3],并有效地应用于打加密井^[6]、注聚合物^[7]、页岩气^[8]和重油热力开采^[9,10]等方面可采储量的评价。笔者对文献[5]的结果进行了重新推导,得到了油气田年度可采储量、剩余可采储量、剩余可采储采比和剩余可采程度的计算方法,并对 DeGolyer and MacNaughton(D & M)公司使用的 Arps 变异指数递减进行了介绍和评价。

1 评价方法的建立

对于任何储量规模的油气田,其开发过程都是一个不尽相同的生命周期。这些生命周期可以用无峰、单峰、双峰、多峰和均峰等开发模式表示。无论哪一种开发模式,都可以利用递减基础数据段的拟合来判断递减类型,确定递减参数,建立产量、可采储量和剩余可采储量的预测方法。图 1 是一个双峰开发模式,其中的 Q_0 为递减基础段的初始产量,相应的生产时间为 t_0 ; Q_s 为评价段开始的产量,或称为评价年度的产量,相应的生产时间为 t_s ; Q_{EL} 为经济极限产量,相应的时间为 t_{EL} 。

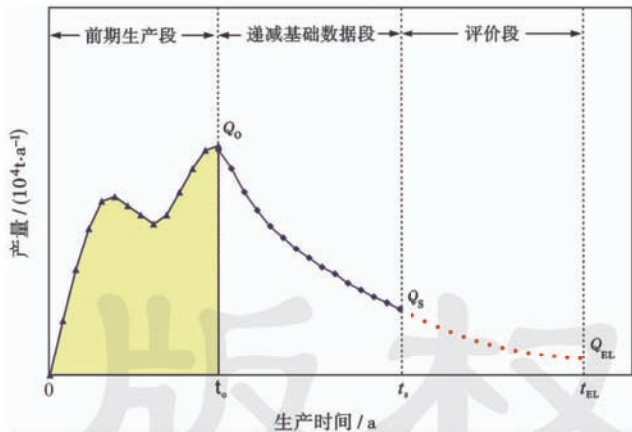


图 1 双峰开发模式

Fig. 1 Double peak development mode

如图 1 所示,对于基础数据段 t 生产时间的总累积产量可表示为:

$$N_{pr} = N_{pr_0} + \int_{t_0}^t Q dt \quad (1)$$

1.1 可采储量的计算方法

根据国内外大量油气田开发的实践经验表明,大

多数油气田的产量递减均符合 Arps 的指数递减。本文的广义指数递减产量与时间的关系可表示为:

$$Q = Q_0 e^{-D(t-t_0)} \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)积分后整理可得广义指数递减时间 t 的总累积产量为:

$$N_{pr} = N_{pr_0} + \frac{Q_0}{D} \left(1 - \frac{Q}{Q_0} \right) \quad (3)$$

由式(3)可以得到,广义指数递减的产量与累积产量的关系式为:

$$Q = A - BN_{pr} \quad (4)$$

由式(4)看出, Q 与 N_{pr} 呈直线下降关系,直线的截距和斜率分别表示为:

$$A = Q_0 + DN_{pr_0} \quad (5)$$

$$B = D \quad (6)$$

当取 $Q = Q_{EL}$ (经济极限年产量) 时,由式(4)可得预测经济可采储量的关系式为:

$$N_{RE} = (A - Q_{EL})/B \quad (7)$$

根据国家行业标准^[3]的规定,当取 $Q = 0$ 时,由式(4)可得技术可采储量的关系式为:

$$N_{RT} = A/B \quad (8)$$

由式(8)减去式(7)可得,计算技术可采储量大于经济可采储量数值的关系式为:

$$\Delta N_R = Q_{EL}/B \quad (9)$$

1.2 剩余可采储量的计算方法

当 $Q = Q_s$ 时,由式(4)可得评价年度 t_s 时间的总累积产量的关系式为:

$$N_{pr_s} = (A - Q_s)/B \quad (10)$$

评价年度的理论年产量,由广义指数递减确定:

$$Q_s = Q_0 e^{-D(t_s-t_0)} \quad (11)$$

由式(7)减去式(10)可得,评价年度剩余经济可采储量的关系式为:

$$N_{RER} = (Q_s - Q_{EL})/B \quad (12)$$

由式(8)减去式(10)可得,评价年度剩余技术可采储量的关系式为:

$$N_{RTR} = Q_s/B \quad (13)$$

1.3 剩余可采储采比的计算方法

将油气田的剩余可采储采比定义为评价年度的剩余可采储量与当年的年产量之比,因此由式(12)除以 Q_s ,可得评价年度剩余经济可采储采比的关系式为:

$$\omega_E = (Q_s - Q_{EL})/BQ_s \quad (14)$$

由式(13)除以 Q_s ,可得评价年度剩余技术可采储采比的关系式为:

$$\omega_T = 1/B \quad (15)$$

1.4 剩余可采程度的计算方法

剩余可采程度定义为评价年度的剩余可采储量除以可采储量,因此由式(12)除以式(7),可得评价年度

的剩余经济可采程度的关系式为:

$$R_{DE} = (Q_s - Q_{EL}) / (1 - Q_{EL}) \quad (16)$$

由式(13)除以式(8),可得评价年度剩余技术可采程度的关系式为:

$$R_{DT} = Q_s / A \quad (17)$$

1.5 年度产量的预测方法

评价年度的产量由式(11)计算,其后各年的产量为:

$$Q = Q_s e^{-D(t-t_s)} \quad (18)$$

当年产量取经济极限产量时,经济极限的生产时间为:

$$t_{EL} = t_s + \{[\ln(Q_{EL}/Q_s)]/D\} \quad (19)$$

1.6 经济极限产量的计算方法

根据油气田评价年度的总生产成本(直接成本加间接成本)和该年度的净收入平衡的原则,可以得到经济极限年产油量的关系式为^[28]:

$$Q_{EL} = C_1 / [\eta P_o (1 - T_s)] \quad (20)$$

2 D & M 公司的评价方法

中国石油天然气集团公司自1997年以来,每年都聘请D & M公司对所辖各油气田进行剩余经济可采储量的评价。评价方法是由美国证券交易委员会多部门团队所提供的Arps指数递减的变异公式,其可以计算第1年的平均日产量:

$$\bar{q}_1 = q_s e^{-D} \quad (21)$$

预测段第2年和其后各年的平均日产量为:

$$\begin{cases} \bar{q}_2 = \bar{q}_1 e^{-D} \\ \bar{q}_3 = \bar{q}_2 e^{-D} \\ \dots\dots \\ \bar{q}_n = \bar{q}_{n-1} e^{-D} \end{cases} \quad (22)$$

由式(21)和式(22)计算得到的产量,可以形成一个预测段产量的分布剖面,将经济评价得到的经济极限产量作为截止值,通过对预测段各年产量的叠加,可以得到评价年度的剩余经济可采储量。

应当指出,D & M公司使用的评价方法是没有

经过正式推导直接给出的结果,因此,难以被理解和正确使用。在文献[29]中,对D & M公司的评价方法进行了较为详细的推导。其结果表明,该方法是成立的,属于Arps指数递减的一个变异形式,只能用于评价段每年或每月的平均日产量计算。根据产量预测剖面,由经济极限产量作截止值,将各时间的产量叠加,可以得到油气田剩余经济可采储量。应当指出,递减率是应用指数递减法预测的重要基础。然而,在D & M公司的评价方法中,并没有提及确定年递减率的方法。而在应用实例中,提出利用待定的剩余经济可采储量,确定年递减率的方法:

$$D = 365(Q_s - Q_{EL}) / N_{RER} \quad (23)$$

是不可行的。

3 应用实例

为了说明本文方法的实用性和可靠性,以塔里木盆地8个已开发油田为例,进行可采储量、剩余可采储量、剩余可采储采比和剩余可采程度的年度评价。这8个油田从投产开始的年产量与总累积产量关系曲线如图2所示。根据递减基础数据段的数据,由式(4)进行线性回归求得的直线截距A、斜率B和相关系数列于表1。

由图2可以看出,这8个油田多数已处于开发的后期。由于开发调整的实施,所发生的直线关系变化是比较明显的。鉴于各油田缺少评价年度的经济极限产量数据,本文仅对8个油田的技术可采储量 N_{RT} 、剩余技术可采储量 N_{RTR} 、剩余技术可采储采比 ω_T 和剩余技术可采程度 R_{RT} 进行了年度评价。评价的结果与2014年度中国油气矿产储量通报的可采储量和剩余可采储量数据列于表2。由表2可以看出,本文方法评价的可采储量与国家储量通报的数据基本一致。通报的个别油田可采储量明显偏高,可能与油田采用的评价方法不同有关,比如水驱曲线法和投产新块的采收率经验公式法以及当年新投加密井预期可采储量加入法等原因。

表1 8个油田的基础数据和线性回归结果

Table 1 Basic data and linear regression results of 8 oilfields

油田	投产年份	t_0/a	$Q_0/(10^4 t \cdot a^{-1})$	t_s/a	$Q_s/(10^4 t \cdot a^{-1})$	A	B	相关系数
东河塘油田	1991	16	46.3	23	15.6	157.66	0.1542	0.9975
哈得逊油田	2000	13	153.9	15	111.8	488.77	0.1728	0.9997
轮南油田	1989	10	95.0	21	22.1	213.38	0.1248	0.9752
塔河4区	1997	4	117.7	18	8.5	153.61	0.1803	0.9839
塔河7区	2000	6	48.0	15	11.0	86.21	0.2401	0.9633
塔中4油田	1994	5	151.6	19	20.4	297.86	0.1817	0.9840
塔中16油田	1997	10	28.0	17	6.8	100.67	0.2243	0.9623
解放渠东油田	1992	8	12.2	20	3.0	37.66	0.1088	0.9553

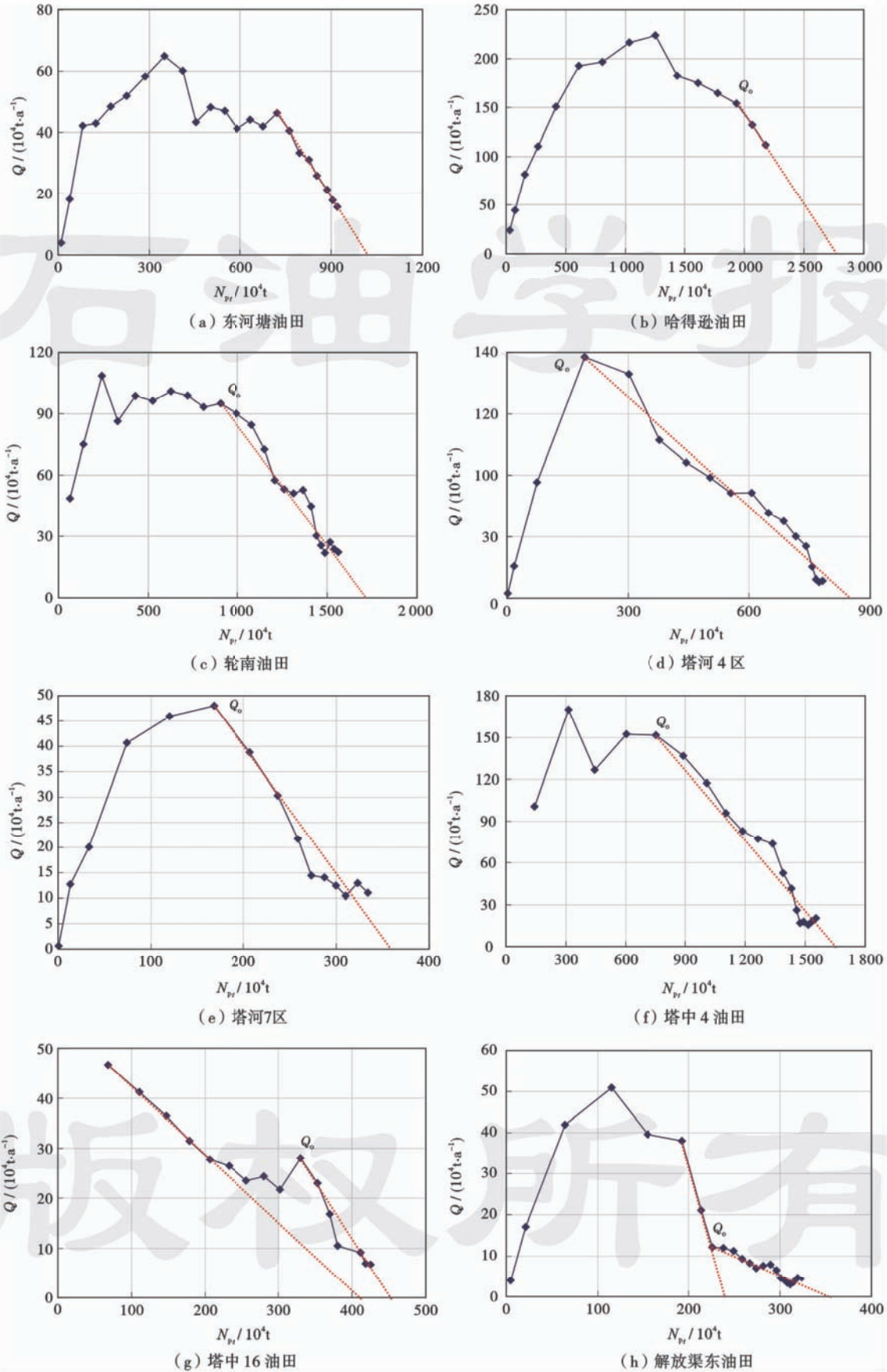


图 2 不同油田 Q 与 N_{pr} 关系

Fig. 2 Relationship between Q and N_{pr} in different oilfields

表 2 2014 年度 8 个油田的评价结果

Table 2 Annual evaluation results of 8 oilfields in 2014

油 田	$N_{RT}/10^4t$		$N_{RTR}/10^4t$		ω_T/a		$R_{DT}/\%$	
	由 式(8)	通报 数据*	由 式(13)	通报 数据*	由 式(15)	由 式(17)		
东河塘	1022	1087	101	182	6.5	9.9		
哈得逊	2829	2537	647	361	5.8	22.9		
轮南	1710	1647	177	103	8.0	10.4		
塔河 4 区	852	971	47	196	5.5	5.5		
塔河 7 区	359	533	46	198	4.2	12.8		
塔中 4	1639	1627	112	83	5.5	6.8		
塔中 16	449	468	30	61	4.5	6.7		
解放集东	345	353	28	29	9.2	11.5		

注: * 为 2014 年全国油气矿产储量通报数据。

4 结 论

(1) 利用广义指数递减, 推导得到了油气田可采储量、剩余可采储量、剩余可采储采比和剩余可采程度的年度评价方法, 其具有较好的实用价值, 并为 8 个油田的实际应用所证明。由 ω_T 和 R_{DT} 的评价结果表明, 这 8 个油田的多数已处于开发后期。

(2) D & M 公司所用的评价方法成立, 但属于 Arps 指数递减的一种变异形式, 并具有一定的不确定性和不完善性。

(3) 油气田开发的管理部门, 为了提高油田采收率会适时地进行开发调整工作, 比如打加密井进行井网、井距和层系的调整, 以及油田内新层、新块的投产和规模性三次采油方案的实施等开发调整工作, 都必然会引起产量动态曲线的变化(如双峰或多峰的情况的发生)。此时, 必须利用最后的递减阶段数据作为评价的基础, 判断递减类型、确定递减参数、进行可采储量评价, 确定因开发调整增加的可采储量。如果开发调整后的 Q 与 N_{pv} 关系曲线上翘, 则需待上翘后的递减数据再进行年度跟踪评价。

符号注释: N_{pv} —从投产计量到 t 时间的总累积产量, 10^4t ; N_{pv_0} —从投产计量到 t_0 时间的总累积产量, 10^4t ; Q — t 时间的年产量, $10^4t/a$; t —从投产开始计时的生产时间, a ; t_0 —从投产开始计时到 Q_0 的生产时间, a ; Q_0 — t_0 时间的年产量, $10^4t/a$; D —年递减率, a^{-1} ; A —线性迭代求得的直线截距; B —线性迭代求得的直线斜率; N_{RE} —经济可采储量, 10^4t ; t_{EL} —从投产计时的经济极限生产时间, a ; Q_{EL} —经济极限年产量, $10^4t/a$; N_{RT} —技术可采储量, 10^4t ; ΔN_R —技术可采储量大于经济可采储量的数值, 10^4t ; Q_s —评价年度的年产量, $10^4t/a$; N_{pv_s} —从投产开始计时到 t_s 时间的总累积产量, 10^4t ; t_s —从投产开始计时到评价年度的生产

时间, a ; N_{RE} —剩余经济可采储量, 10^4t ; N_{RTR} —剩余技术可采储量, 10^4t ; ω_E —评价年度的剩余经济可采储采比, a ; ω_T —评价年度的剩余技术可采储采比, a ; R_{DE} —评价年度的剩余经济可采程度; R_{DT} —评价年度的剩余技术可采程度; C_i —评价年度的总生产成本, 10^4 元/ a ; T_x —评价年度的综合税率; P_0 —评价年度的油价, 元/ t ; η —原油商品率; q_s —预测段开始之前的瞬时日产量, t/d ; \bar{q}_n —预测段第 n 年的平均日产量, t/d 。

参 考 文 献

- [1] 中国石油天然气总公司. SY/T 5367-1998 石油可采储量计算方法[S]. 北京:石油工业出版社,1999.
China National Petroleum Company. SY/T 5367-1998 The method for calculating oil recoverable reserves[S]. Beijing:Petroleum Industry Press,1999.
- [2] 国家石油和化学工业局. SY/T 6098-2000 天然气可采储量计算方法[S]. 北京:石油工业出版社,2001.
National Petroleum and Chemical Industry Bureau. SY/T 6098-2000 The estimated methods of natural gas recoverable reserves [S]. Beijing:Petroleum Industry Press,2001.
- [3] 国家能源局. SY/T 5367-2010 石油可采储量计算方法[S]. 北京:石油工业出版社,2010.
National Energy Administration. SY/T 5367-2010 The estimated methods oil recoverable reserves[S]. Beijing:Petroleum Industry Press,2010.
- [4] 国家能源局. SY/T 6098-2010 天然气可采储量计算方法[S]. 北京:石油工业出版社,2010.
National Energy Administration. SY/T 6098-2010 The estimated methods of natural gas recoverable reserves[S]. Beijing:Petroleum Industry Press,2010.
- [5] 陈元千. 预测油气田可采储量和剩余可采储量的快速方法[J]. 新疆石油地质,2005,26(5):544-548.
Chen Yuanqian. Method for quickly forecasting recoverable reserves and remaining recoverable reserves in oil and gas fields [J]. Xinjiang Petroleum Geology,2005,26(5):544-548.
- [6] 陈元千,王小林,姚尚林,等. 加密井提高注水开发油田采收率的评价方法[J]. 新疆石油地质,2009,30(6):705-709.
Chen Yuanqian, Wang Xiaolin, Yao Shanglin, et al. A method for evaluation of EOR of waterflooding oilfield by infill well process [J]. Xinjiang Petroleum Geology,2009,30(6):705-709.
- [7] 陈元千,胡丹丹,赵庆飞,等. 注聚合物提高采收率幅度的评价方法及应用[J]. 油气地质与采收率,2009,16(5):48-51.
Chen Yuanqian, Hu Dandan, Zhao Qingfei, et al. Evaluation method and its application of enhancing recovery efficiency of polymer-flooding[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2009,16(5):48-51.
- [8] 陈元千,李剑,齐亚东,等. 页岩气藏地质资源量、可采资源量和井控可采储量的确定方法[J]. 新疆石油地质,2014,35(5):547-551.
Chen Yuanqian, Li Jian, Qi Yadong, et al. Determination methods of geological resources, recoverable resources and well-controlled recoverable reserves in shale gas reservoir[J]. Xinjiang Petroleum Geology,2014,35(5):547-551.
- [9] 陈元千,周翠,张霞林,等. 重质油藏注蒸汽开采预测经济可采储

- 量和经济极限汽油比的方法:兼评国家行业标准的预测方法[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(5): 1-6.
- Chen Yuanqian, Zhou Cui, Zhang Xialin, et al. Methods for predicting economically recoverable reserves and economic limit of steam-oil ration of heavy oil reservoir by steam flooding recovery: comment on the prediction methods of the national industry standard[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(5): 1-6.
- [10] 陈元千, 周游, 李秀峦, 等. 利用 SAGD 开采技术预测重质油藏可采储量新方法[J]. 特种油气藏, 2015, 22(6): 85-89.
- Chen Yuanqian, Zhou You, Li Xiuluan, et al. A new method of using SAGD exploitation technique to predict the recoverable reserves of heavy oil reservoir[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015, 22(6): 85-89.
- [11] 陈元千, 李剑, 雷占祥, 等. 产量递减阶段开发指标的预测方法[J]. 新疆石油地质, 2013, 34(5): 545-547.
- Chen Yuanqian, Li Jian, Lei Zhanxiang, et al. Methods for forecasting development index in production decline stage[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(5): 545-547.
- [12] 陈元千, 王孝金, 程继蓉, 等. 适用于海外合作开发油田预测可采储量、产量和储采比的方法[J]. 中国海上油气, 2011, 23(6): 380-383.
- Chen Yuanqian, Wang Xiaojin, Cheng Jirong, et al. Methods to predict production rate, recoverable reserves and reserve-production ration for overseas joint-operation oilfields[J]. China Offshore Oil and Gas, 2011, 23(6): 380-383.
- [13] 陈元千, 李剑. 中国新版《石油可采储量计算方法》标准中存在的主要问题及建议[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(5): 8-13.
- Chen Yuanqian, Li Jian. Reviews on problems and recommendations for new edition standard of the estimated methods of oil recoverable reserves in China[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(5): 8-13.
- [14] 陈元千, 张霞林. 中国新版《天然气可采储量计算方法》标准存在的主要问题及建议[J]. 断块油气田, 2014, 21(6): 735-741.
- Chen Yuanqian, Zhang Xialin. Existed main problem and recommendation for new edition standard of "The estimated methods of natural gas recoverable reserves" in China[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2014, 21(6): 735-741.
- [15] 陈元千, 周翠. 中国《页岩气资源/储量计算与评价技术规范》计算方法存在的问题与建议[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(1): 1-4.
- Chen Yuanqian, Zhou Cui. Problems and recommendations for the regulation of shale gas resources/reserves estimation in China[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(1): 1-4.
- [16] 陈元千. 确定递减类型的新方法[J]. 石油学报, 1990, 11(1): 74-80.
- Chen Yuanqian. A new method of identify the type decline curve[J]. Acta Petrolei Sinica, 1990, 11(1): 74-80.
- [17] 陈元千. 双曲线递减分析的一个简单方法[J]. 天然气工业, 1989, 9(2): 24-27.
- Chen Yuanqian. A simple method for hyperbola decline analysis[J]. Natural Gas Industry, 1989, 9(2): 24-27.
- [18] 陈元千. 双曲线递减的简化及确定可采储量的截距法[J]. 天然气工业, 1994, 14(4): 32-37.
- Chen Yuanqian. Simplification of hyperbolic decline and the intercept method of determining recoverable reserves[J]. Natural Gas Industry, 1994, 14(4): 32-37.
- [19] 陈元千. 判断油田递减类型的新式典型曲线图[J]. 中国海上油气(地质), 1993, 7(6): 33-39.
- Chen Yuanqian. New typical curve for the judgement of decline types of oil field[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1993, 7(6): 33-39.
- [20] 陈元千. 利用递减参数确定可采储量的方法[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(3): 95-98.
- Chen Yuanqian. The method of determining recoverable reserves of oil and gas field by the decline parameters[J]. Petroleum Exploration and Development, 1994, 21(3): 95-98.
- [21] 陈元千. 广义的 КОПЫТОВ 公式及其应用[J]. 石油勘探与开发, 1991, 18(1): 56-61.
- Chen Yuanqian. Generalized KOPATOV's formula and its application[J]. Petroleum Exploration and Development, 1991, 18(1): 56-61.
- [22] 陈元千, 胡建国. 新型递减曲线方程的推导及应用[J]. 新疆石油地质, 1992, 13(3): 251-256.
- Chen Yuanqian, Hu Jianguo. Derivation and application of a new type equation of decline curve[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1992, 13(3): 251-256.
- [23] 陈元千, 郝明强, 李飞. 油气资源量评估方法的对比与评论[J]. 断块油气田, 2013, 20(4): 447-453.
- Chen Yuanqian, Hao Mingqiang, Li Fei. Comparison and review of estimating methods of oil and gas resources[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2013, 20(4): 447-453.
- [24] 陈元千, 郝明强. Arps 递减微分方程的推导及应用[J]. 断块油气田, 2014, 21(1): 57-58.
- Chen Yuanqian, Hao Mingqiang. Derivation and application of Arps decline differential equation[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2014, 21(1): 57-58.
- [25] 陈元千, 周翠. 线性递减类型的建立、对比与应用[J]. 石油学报, 2015, 36(8): 983-987.
- Chen Yuanqian, Zhou Cui. Establishment, comparison and application of the linear decline type[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(8): 983-987.
- [26] 陈元千, 李剑, 李云波, 等. 利用典型曲线拟合的递减常数预测油气藏的可采储量[J]. 中国海上油气, 2015, 27(5): 49-54.
- Chen Yuanqian, Li Jian, Li Yunbo, et al. Using decline constants from matching type curve to predict recoverable reserves of oil and gas reservoirs[J]. China Offshore Oil and Gas, 2015, 27(5): 49-54.
- [27] 陈元千, 邹存友. 预测油田产量和可采储量模型的典型曲线及其应用[J]. 石油学报, 2014, 35(4): 749-753.
- Chen Yuanqian, Zou Cunyou. Model's typical curve and its application for forecasting production and recoverable reserves of oil fields[J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(4): 749-753.
- [28] 陈元千, 李莹. 现代油藏工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 127-147.
- Chen Yuanqian, Li Dang. Modern petroleum reservoir engineering[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 127-147.
- [29] 陈元千. 油气藏工程实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 95-102.
- Chen Yuanqian. The practice of petroleum reservoir engineering [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 95-102.