

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

陈元千, 李 剑

(中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:新版《石油可采储量计算方法》是由国家能源局于2010年12月15日发布实施的行业标准,至今已3 a有余,它是评估石油可采储量的重要规范。石油可采储量计算方法是该标准的核心部分,它将影响到评估结果的可靠性、可利用性和投资的风险性,因此,应当重视标准中计算方法的选用。新版标准的石油可采储量计算方法包括:类比法、经验公式法、驱油效率法、产量递减法和水驱曲线法,对于这些计算方法存在的若干不确定性和不可靠性问题进行了评论,并提出了有关的具体建议。建议删除可信度较低的经验公式,引用通过实际应用证明有效的国外经验公式,修正部分经验公式和产量递减法的公式,在判断递减类型和确定递减参数时,不要忽略线性试差法、曲线位移法和典型曲线拟合法的应用,删除由甲型和乙型水驱特征曲线派生的水驱曲线,增加预测模型法等内容。

关键词:新版 行业标准 石油可采储量 计算方法 问题 建议

中图分类号: TE313.8

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)05-0008-06

中国不但是产油和用油大国,也是石油进口大国。中国的石油工业已融入国际石油体系之中。中石油、中石化和中海油3大国有石油公司,已成为拥有大量海外投资和油气资源的国际石油公司。因此,所制定的国家行业标准,除应考虑其科学性、实用性和国际性外,还应考虑与中国石油工业的国际地位相符。虽然新版《石油可采储量计算方法》标准^[1](简称为新版标准)已发布了3 a有余,但在实际可采储量评估应用中,出现问题的反馈尚不清楚。然而,笔者在对新版标准阅读和研讨后,深感有若干值得关注的问题。为此,针对上述问题提出了仅供参考和讨论的意见和建议。

1 存在的主要问题

石油可采储量的计算方法,大体上可分为类比法、经验公式法、驱油效率法、产量递减法和水驱特征曲线法5类。笔者针对新版标准中有关计算方法方面存在的问题分别加以简要评论。

1.1 类比法

类比法又称为经验类比法,主要应用于勘探初

期,由预探井发现含油气构造和区块后,评估专家利用类比法选用采收率,将其与由容积法估算的地质储量相乘即为相应的可采储量。依据其可信度划分,该可采储量属于预期可采资源量,可用于下一步评探工作的部署。在新版标准5.3.2.3类比法中,仅提出了类比条件,而缺少可供选用的采收率选值范围。对于一次采油和二次采油开发的油田,笔者在表1中列出了不同驱动类型可供参考使用的采收率变化范围。

表1 油田类比法采收率选值范围^[2]

驱动机理	采收率, %	备注
弹性驱	2~5	个别情况可达10%以上
一次采油	溶解气驱	10~30
	气顶驱	20~50
	天然水驱	25~50
	重力驱	30~70
二次采油	注水	25~60
	注气	30~50
	混相驱	40~60
	热力驱	20~50
		一次开采的重油

收稿日期:2014-07-03。

作者简介:陈元千,男,教授级高级工程师,从事油气藏工程、油气田开发和油气储量评价等方面的研究。联系电话:(010)62398212, E-mail:lijianlijian@petrochina.com.cn。

1.2 经验公式法

经验公式法又被称为相关经验公式法,主要用于评价详探阶段的初中期,通过若干探井的钻井、取心、测井和试油,取得静动态资料,利用有关的经验公式计算采收率,再乘以由容积法估算的地质储量,即可得到相应的可采储量。该可采储量按可信度划分,属于概算级可采储量,可用于可行性概念开发设计方案。新版标准中的经验公式法存在3个主要问题。

问题一,5.3.2.1.1中水驱砂岩油藏采收率的经验公式1可信度低。该经验公式由文献[3]提出,但因没有公布建立该经验公式的基础资料,而且只有25个统计样本,相关系数为0.621,因此,可信度低。

问题二,5.3.2.1.1中水驱砂岩油藏采收率的经验公式3来源不清。新版标准中列出的井控面积与采收率的经验公式(表2),未见正式发表,也缺少建立公式的样本数和相关系数值,其可靠性难以判断。笔者认为,表3中列出的Maproc等^[4]统计研究乌拉尔—优尔加地区采收率与井控面积的经验公式具有一定的参考价值。

表2 井控面积与采收率的经验公式^[1]

类别	流度/ ($10^{-3} \mu\text{m}^2 \cdot (\text{mPa} \cdot \text{s})^{-1}$)	经验公式
I	300~600	$E_R = 0.603 1e^{-0.020 12S}$
II	100~300	$E_R = 0.550 8e^{-0.023 54S}$
III	30~100	$E_R = 0.522 7e^{-0.026 35S}$
IV	5~30	$E_R = 0.483 2e^{-0.054 23S}$
V	< 5	$E_R = 0.401 5e^{-0.101 48S}$

注: E_R 为原油采收率; S 为井控面积, ha/井。

表3 马尔托斯的经验公式^[4]

类别	流动系数/ ($10^{-3} \mu\text{m}^2 \cdot \text{m} \cdot (\text{mPa} \cdot \text{s})^{-1}$)	油田数/ 个	经验公式
I	< 5 000	23	$E_R = 0.778e^{-0.005 2S}$
II	1 000~5 000	24	$E_R = 0.726e^{-0.008 2S}$
III	500~1 000	45	$E_R = 0.644e^{-0.010 7S}$
IV	100~500	24	$E_R = 0.555e^{-0.019 6S}$
V	< 100	14	$E_R = 0.42e^{-0.020 5S}$

问题三,5.3.2.1.4中稠油热采油藏采收率的经验公式7可靠性低。在新版标准中,稠油蒸汽驱开采的经验公式由文献[5]引入。但因蒸汽驱在中国稠油开采中得到了广泛的应用,因此,该经验公式已普遍用于稠油蒸汽驱采收率的评价。由调研结果获悉,该经验公式不是根据稠油蒸汽驱开发的实

际采收率与相关参数的统计研究建立的结果,而是首先人为设定一个稠油油藏的基础参数:厚度为18 m,净毛比为0.6,渗透率变异系数为0.6,原始含油饱和度为0.7,渗透率为 $1 000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,地层原油粘度为 $800 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,埋深为800 m,应用蒸汽驱数值模拟技术,求得该假定油藏的采收率;然后利用改变其中某个参数的数值,如厚度,固定其他参数数值,再进行注蒸汽模拟计算,求得不同厚度下的采收率。依此方法类推,可以求得不同参数与采收率的变化关系,其关系可以用直线、半对数和双对数表示;最后,通过综合处理,可以得到多因素影响的采收率经验公式。这种脱离矿场实际,完全通过人为改变参数建立起来的经验公式是不可信的,根本不能用于蒸汽驱采收率的预测。

1.3 驱油效率法

驱油效率法是一种以实验室模拟实验为基础的微观确定水驱油采收率的方法。新版标准中驱油效率法主要存在2处错误。

错误一,将采出程度误认为驱油效率。

在新版标准5.3.2.2.2中,驱油效率的表达式为

$$E_D = \frac{\bar{S}_w - S_{wi}}{1 - S_{wi}} \quad (1)$$

式中: E_D 为驱油效率; \bar{S}_w 为平均含水饱和度; S_{wi} 为原始含水饱和度。

若将式(1)中的分子和分母同乘以 V_p 并同除以 B_{oi} ,则式(1)变为

$$E_D = \frac{V_p(\bar{S}_w - S_{wi})}{\frac{B_{oi}}{V_p(1 - S_{wi})} B_{oi}} \quad (2)$$

式中: V_p 为有效孔隙体积, 10^4 m^3 ; B_{oi} 为原始原油体积系数, Rm^3/STm^3 。

由式(2)可以看出,在注水保持地层压力的条件下,分子为到某一时间时累积注入水的体积量,即被水累积驱替的原油体积量,分母则为原油地质储量。因此,式(1)不是驱油效率的表达式,而应当是到某一时间的采出程度,即

$$R = \frac{\bar{S}_w - S_{wi}}{1 - S_{wi}} \quad (3)$$

式中: R 为某一时间地质储量的采出程度。

根据水驱油的两相流动测试资料,可以建立油水两相相对渗透率曲线,束缚水饱和度下的原始含油饱和度和最高含水饱和度下的残余油饱和度之

差为可流动含油饱和度,而驱油效率定义为可流动含油饱和度与原始含油饱和度的比值^[6-10],其表达式为

$$E_D = \frac{S_{oi} - S_{or}}{S_{oi}} \quad (4)$$

式中: S_{oi} 为原始含油饱和度; S_{or} 为残余油饱和度。

错误二,将采收率误认为采出程度。

在新版标准 5.3.2.2.2 中,将采出程度错误地写为

$$R = E_D E_A E_Z \quad (5)$$

式中: E_A 为平面波及系数; E_Z 为垂向波及系数。

应当指出,国际上将采收率^[6-16]统一定义为驱油效率与平面波及系数和垂向波及系数三者的乘积,即

$$E_R = E_D E_A E_Z \quad (6)$$

同时在新版标准中,将国际上通用的驱油效率法,称之为驱油效率一波及系数法,也是不妥当的。

1.4 产量递减法

在新版标准中将产量递减法称为递减曲线法。对于已进入产量递减阶段的油田,可以利用产量递减法预测产量和可采储量。产量递减法的应用与油藏类型、储集类型、驱动类型和开发方式无关。中石油、中石化和中海油3大国有石油公司,每年都花费重金,聘请 DeGolyer and MacNaughton Company 和 Ryder Scott Company 2 家国际著名的评估公司,对所管辖油田的可采储量和剩余可采储量进行年度评估,而他们采用的都是产量递减法。油田的开发模式分为4类(图1):①投产即进入递减(图1a);②先稳产后递减(图1b);③上产到峰值后递减(图1c);④上产—稳产—递减(图1d)。新版标准的产量递减法主要存在以下4个问题。

问题一,在新版标准中,产量递减法的所有公式,只适用于投产即进入递减的开发模式(图1a),而不适用于其他3类经常发生的开发模式。

问题二,新版标准 5.4.1.2 中有关判断递减类型的方法,只推荐采用文献[2]中的图解法,而忽视了线性试差法、曲线位移法和典型曲线拟合法的应用,而后3类方法更为有效。当利用电脑程序计算时,后3类方法可快速得到准确的结果。

问题三,在新版标准的 5.4.1.3 中,对于确定递减参数,仅提出使用图解法和二元回归法^[11],而忽视了更为实用有效的线性试差法、曲线位移法和典

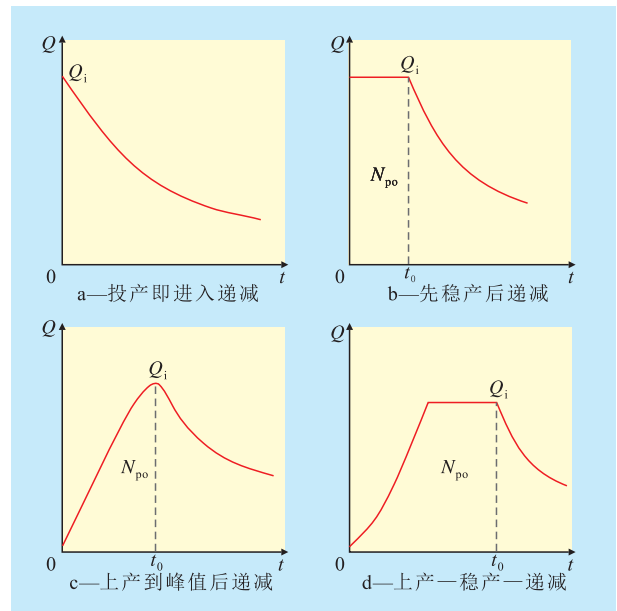


图1 油田开发模式

Q 为递减阶段从投产开始计时 t 时间的年产油量, 10^4 t/a; t 为从投产开始计时的生产时间, a; Q_i 为4类开发模式中产量开始进入递减时的初始年产油量, 10^4 t/a; t_0 为进入递减时的生产时间, a; N_{po} 为生产到 t_0 时间的累积产油量, 10^4 t

型曲线拟合法。由于二元回归法并不存在线性关系,因此,难以判断所求结果的可靠性。同时,将确定初始递减率 $D_i = 1/[a_i(1-n)]$ 的公式,误写为 $D_i = -1/[a_i(1-n)]$ 。这可能是印刷校对不严格出现的问题,但作为国家行业标准,该错误是不应当出现的。

问题四,在新版标准 5.4.1.4 中,应用产量递减法确定技术可采储量和经济可采储量时,所引用的产量和累积产量的关系式,只适用于投产即进入递减的开发模式,而不适用于其他3类开发模式。为此,笔者针对适用于4类开发模式的3种递减类型,预测可采储量的关系式分述如下。

对于指数递减法^[12-14],递减阶段的年产油量和总累积产油量的表达式分别为

$$Q = Q_i e^{-D(t-t_0)} \quad (7)$$

$$N_{pt} = N_{po} + \frac{Q_i - Q}{D} \quad (8)$$

式中: D 为年递减率, a^{-1} ; N_{pt} 为从投产开始记录的总累积产油量, 10^4 t。

指数递减的年产油量与总累积产油量的关系式为

$$Q = A_1 - B_1 N_{pt} \quad (9)$$

其中

$$A_1 = Q_i + D N_{po} \quad (10)$$

$$B_1 = D \quad (11)$$

当 $Q=0$ 和 $Q=Q_{EL}$ (Q_{EL} 为经济极限年产量, 10^4 t/a) 时, 由式(9)可得预测技术可采储量和经济可采储量的关系式为

$$N_{RT} = \frac{A_1}{B_1} \quad (12)$$

$$N_{RE} = \frac{(A_1 - Q_{EL})}{B_1} \quad (13)$$

式中: N_{RT} 为技术可采储量, 10^4 t; N_{RE} 为经济可采储量, 10^4 t。

对于双曲线递减法^[9,12], 递减阶段的年产量和总累积产量的表达式分别为

$$Q = \frac{Q_i}{[1 + nD_i(t - t_0)]^{1/n}} \quad (14)$$

$$N_{pt} = N_{po} + \frac{Q_i^n}{D_i(1-n)}(Q_i^{1-n} - Q^{1-n}) \quad (15)$$

式中: n 为递减指数, 其值为 $0 \sim 1$; D_i 为初始递减率, a^{-1} 。

双曲线递减的年产量与总累积产量的关系式为

$$Q^{1-n} = A_2 - B_2 N_{pt} \quad (16)$$

其中

$$A_2 = Q_i^{1-n} + D_i(1-n)Q_i^{-n}N_{po} \quad (17)$$

$$B_2 = \frac{D_i(1-n)}{Q_i^n} \quad (18)$$

当 $Q=0$ 和 $Q=Q_{EL}$ 时, 由式(16)可得预测技术可采储量和经济可采储量的关系式分别为

$$N_{RT} = \frac{A_2}{B_2} \quad (19)$$

$$N_{RE} = \frac{A_2 - Q_{EL}^{1-n}}{B_2} \quad (20)$$

对于调和递减法^[2], 递减阶段的年产量和总累积产量的表达式分别为

$$Q = \frac{Q_i}{1 + D_i(t - t_0)} \quad (21)$$

$$N_{pt} = N_{po} + \frac{Q_i}{D_i} \ln \frac{Q_i}{Q} \quad (22)$$

调和递减的年产量与总累积产量存在如下的半对数关系

$$\lg Q = A_3 - B_3 N_{pt} \quad (23)$$

其中

$$A_3 = \lg Q_i + \frac{D_i N_{po}}{2.303 Q_i} \quad (24)$$

$$B_3 = \frac{D_i}{2.303 Q_i} \quad (25)$$

应当指出, 在新版标准中, 将式(25)写为 $B_3 = 2.303 D / Q_i$ 是不正确的。

当 $Q=1$ 和 $Q=Q_{EL}$ 时, 由式(23)可得预测技术可采储量和经济可采储量的关系式分别为

$$N_{RT} = \frac{A_3}{B_3} \quad (26)$$

$$N_{RE} = \frac{A_3 - \lg Q_{EL}}{B_3} \quad (27)$$

而在新版标准的 5.4.1.4.3 中, 将经济可采储量错误地写为

$$N_{RE} = \frac{A_3 - Q_{EL}}{B_3} \quad (28)$$

1.5 水驱特征曲线法

从 20 世纪 90 年代开始, 水驱特征曲线法已经成为中国标定石油可采储量必备的方法, 但在新版标准中的水驱特征曲线法, 仍存在如下值得重视的问题。

问题一, 含水率、含油率和水油比三者分别与总累积产量的关系式, 都是甲型和乙型水驱曲线的派生公式, 而且前二者只适用于高含水期^[15]。

由于甲型水驱曲线^[16]和乙型水驱曲线^[17], 以及丙型和丁型水驱曲线^[18], 均已被比较完整的理论推导所证明, 并在中国得到了广泛的应用, 因而, 在新版标准中, 由甲型和乙型水驱曲线派生的含水率与累积产量的水驱曲线(5.4.2.1.1)、含油率与累积产量的水驱曲线(5.4.2.1.2)和水油比与累积产量的水驱曲线(5.4.2.1.3)的内容均可删除。这 3 种派生的水驱曲线, 其功能完全等同于甲型和乙型水驱曲线, 现就其派生关系推证如下。

由文献[16]理论推导证明的甲型水驱曲线的表达式为

$$\lg W_p = a_1 + b_1 N_p \quad (29)$$

式中: W_p 为累积产水量, 10^4 t; a_1 和 b_1 分别为甲型水驱曲线直线段线性回归的截距和斜率。

将式(29)对时间 t 求导, 并考虑 $dW_p/dt = Q_w$ (Q_w 为产水量, 10^4 t), $dN_p/dt = Q_o$ (Q_o 为产油量, 10^4 t) 和 $Q_w/Q_o = WOR$ 的关系时, 即可得 5.4.2.1.3 的水油比与累积产量的关系式, 即为

$$\lg WOR = \alpha_1 + \beta_1 N_p \quad (30)$$

其中

$$\alpha_1 = a_1 + \lg 2.303 b_1 \quad (31)$$

$$\beta_1 = b_1 \quad (32)$$

式中: WOR 为水油比。

由文献[17]理论推导证明的乙型水驱曲线的表达式为

$$\lg L_p = a_2 + b_2 N_p \quad (33)$$

式中: L_p 是累积产液量, 10^4 t; a_2 和 b_2 分别为乙型水驱曲线直线段线性回归的截距和斜率。

将式(33)对时间 t 求导, 并考虑 $dL_p/dt = Q_1$ (Q_1 为产液量, 10^4 t), $dN_p/dt = Q_o$ 和 $Q_1/Q_o = 1 + WOR$ 的关系时, 可得到如下关系式

$$\lg(1 + WOR) = \alpha_2 + \beta_2 N_p \quad (34)$$

其中

$$\alpha_2 = a_2 + \lg 2.303b_2 \quad (35)$$

$$\beta_2 = b_2 \quad (36)$$

因 $f_w = WOR/(1 + WOR)$, 将式(30)与式(34)相减, 可得 5.4.2.1.1 的含水率与累积产油量的关系式为

$$\lg f_w = \alpha_3 + \beta_3 N_p \quad (37)$$

其中

$$\alpha_3 = (a_1 - a_2) + \lg \frac{b_1}{b_2} \quad (38)$$

$$\beta_3 = b_1 - b_2 \quad (39)$$

式中: f_w 为含水率。

已知 $1 + WOR = 1/f_o$, 故由式(34)可得 5.4.2.1.2 的含油率与累积产油量的关系式为

$$\lg f_o = \alpha_4 - \beta_4 N_p \quad (40)$$

其中

$$\alpha_4 = -\alpha_2 \quad (41)$$

$$\beta_4 = \beta_2 \quad (42)$$

式中: f_o 为含油率。

问题二, 童宪章图版法的表达式不够严谨。

在新版标准 5.4.3 中, 童宪章图版法所依据的关系式为

$$\lg \frac{f_w}{1 - f_w} = 7.5 (R - E_R) + 1.69 \quad (43)$$

将式(43)可以改写为物理概念比较清楚的表达式, 即

$$\lg \frac{f_w}{1 - f_w} = 1.69 - 7.5 (E_R - R) \quad (44)$$

应当指出, 童宪章图版法建立的基础为 $N = 7.5/b_1$ (N 为地质储量, 10^4 t) 和 $f_{wl} = 0.98$ (f_{wl}

为技术极限含水率), 主要用于判断开发调整的阶段效果, 不能确定水驱采收率, 否则会在调整效果减弱或失效时, 含水率变化的数据点由右向左移动, 表现出采收率会减小。

问题三, 技术极限含水率一律采用 98% 并不合理。

在新版标准中, 为了确定技术可采储量, 将技术极限含水率统一规定为 98% 是不合理的。对于不同渗透率级别和不同类型的油藏, 应规定不同的技术极限含水率。关于如何确定经济极限含水率, 可以参考文献[19-20]介绍的有关内容。

2 相关建议

关于新版标准中存在的问题, 在简要评述的基础上, 笔者对今后新版标准的修订, 提出了如下仅供参考的建议。

第一, 作为国家行业标准, 应当重视行文严谨流畅, 叙述简明准确, 注重标点符号的使用, 切忌内容重复, 篇幅失调。

第二, 对经验公式的选用应本着少而精和宁缺毋滥的原则, 重点考虑方法的实用性和可靠性。对于那些资料不充分、样本少和相关系数低的公式, 如新版标准中的经验公式 1、经验公式 7 和表 3 中所列的经验公式可以考虑删除。对于中国 20 世纪 90 年代由统计研究建立的具有地质特点的经验公式, 如新版标准中的经验公式 4 和经验公式 5, 由于当时油田尚未进行重大的开发调整, 拥有的资料所限, 用来源于水驱特征曲线法或其他方法所确定的采收率一般偏低, 因此, 需要考虑对这些公式进行修正。同时, 还应考虑在标准中引用那些通过实际应用证明有效的国外经验公式, 如文献[9, 20]所介绍、并为国外石油公司所熟悉的经验公式。

第三, 应当考虑增加预测模型法^[21-22]的内容。它可用于油田、地区和全国年产油量、累积产油量和可采储量的预测, 以及盆地、地区和全国的年资源量、累积资源量和总资源量的预测。

第四, 作为国家行业标准, 可采储量计算方法所用的物理量符号, 应当注意它们的科学性、合理性和国际性, 尽量避免符号设置的随意性和局限性, 比如, 产层净毛比的符号用 h_1 , 原油商品率的符号用 D_o , 钻井井数的符号用 W_d 等均是不规范的。同时, 还应当注意引用一些希腊文的符号, 比如 α , β , η , σ , ε 和 ω 等; 如果将产层净毛比、原油商品

率和钻井井数分别改为 ε , η 和 n_d ,则更为合理。另外,在新版标准的附录A(符号注释)中,将符号的物理量名称,写成物理量数值的作法极为不妥,因为它是符号的名称,而不是符号的数值。

第五,新版标准中的术语和定义部分,应考虑修订。例如,将国际上通用的可采储量和剩余可采储量 Reserves 定义为“地质储量和可采储量的统称”是不正确的。

第六,为便于标准的使用者对不同计算方法的查询、了解和核对,需考虑标注不同方法的来源或署名作者的姓名。

3 结束语

石油可采储量是油田开发建设中的重要物质基础,它的可靠性将决定开发投资建设的风险程度。石油可采储量的计算方法是评估工作的重要尺度,必须考虑它的科学、实用和可靠。笔者作为一名长期从事油气可采储量评估方法的研究者和实践者,十分关注新版标准《石油可采储量计算方法》的制定和实施。在对新版标准阅读和思考之后,对可采储量计算方法存在的问题,提出了仅供参考的意见和建议,期望大家各抒己见,参与讨论。

参考文献:

- [1] 侯建锋,李军诗,纪淑红,等.SYT 5367—2010石油可采储量计算方法[S].北京:石油工业出版社,2010.
- [2] 陈元千,李昱.现代油藏工程[M].北京:石油工业出版社,2001:78,162-170.
- [3] 俞启泰,赵明,林志芳.水驱砂岩油田含水率变化规律与采收率多因素分析[J].石油勘探与开发,1992,19(3):63-68.
- [4] Мартос В Н, Куренков А И. Прогнозирование на стадии разведки месторождения[M]. Москва: Недро, 1989.

- [5] 张锐.稠油热采技术[M].北京:石油工业出版社,1999:442-443.
- [6] 鲍尔G,威尔海特.注水[M].刘民中,唐金华,译.北京:石油工业出版社,1992:47-48.
- [7] Losse R. Basics of reservoir engineering [M]. Paris: TECHNIP, 1993:275-277.
- [8] Donnez P. Essentials of reservoir engineering, Vol.2 [M]. Paris: TECHNIP, 2012:155-157.
- [9] 陈元千.油气藏工程实践[M].北京:石油工业出版社,2005:245-254,270-287,375-424.
- [10] Petroleum Society of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. 油气储量评估方法[M].2版.王永祥,张君峰,毕海滨,等,译.北京:石油工业出版社,2012:206-207.
- [11] 陈元千.确定递减类型的新方法[J].石油学报,1990,11(1):74-80.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 陈元千,胡丹丹,赵庆飞.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.
- [15] 陈元千.实用油气藏工程方法[M].东营:石油大学出版社,1998:264-269.
- [16] 陈元千.水驱曲线关系式的推导[J].石油学报,1985,6(2):69-78.
- [17] 陈元千.一种新型水驱曲线关系式的推导及应用[J].石油学报,1993,14(2):65-73.
- [18] 陈元千.纳扎洛夫确定可采储量经验公式的理论推导及应用[J].石油勘探与开发,1995,22(3):63-68.
- [19] 陈元千.确定经济极限含水率和经济可采储量的方法[J].新疆石油地质,2010,31(2):158-162.
- [20] 陈元千.预测油田可采储量的方法[J].新疆石油地质,2000,21(2):130-137.
- [21] 陈元千.油气藏工程实用方法[M].北京:石油工业出版社,1999:1-144.
- [22] 陈元千,李剑.威布尔模型的典型曲线及应用[J].油气地质与采收率,2014,21(1):33-35.

编辑 常迎梅

《油气地质与采收率》网站网址变更声明

《油气地质与采收率》网站网址变更为 <http://yqdzycsl.cnjournals.com>, 原网址 <http://www.yqdzycsl.com> 停止使用。特此声明。