

文章编号: 0253-9985(2007)03-0320-04

改进定容含硫气藏储量计算方法

岑芳^{1,2}, 赖枫鹏³, 姜辉³, 黄志文³, 邹存友³

(1. 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 荆州 434020 2. 中国石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083 3. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083)

摘要: 气藏物质平衡方程式可以确定气藏的原始地质储量, 是气藏工程中计算储量的重要方法。由于含硫气藏的特殊性, 如硫析出形成硫沉积等, 而目前在用物质平衡方程计算定容含硫气藏原始储量时, 仍然采用原有的定容气藏物质平衡方程, 因而忽略了硫沉积造成的差异, 会对计算结果造成一定的影响。本文针对含硫气藏的特殊性, 如硫析出形成硫沉积等问题, 基于物质平衡原理, 考虑硫沉积造成的差异, 建立起新的定容含硫气藏物质平衡方程。并应用于定容含硫气藏储量计算, 计算结果表明新方程计算结果更加可靠。

关键词: 定容含硫气藏; 硫化氢; 物质平衡; 储量计算方法

中图分类号: TE15 **文献标识码:** A

An improved calculation method for reserve of constant-volume sour gas reservoirs

Cen Fang^{1,2}, Lai Fengpeng², Jiang Hui², Huang Zhiwen², Zou Cunyou²

(1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources Ministry of Education, Yangtze University, Jinzhou, Hubei 434020 2. Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083 3. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract The material balance equation for gas reservoir can be used in the calculation of the original gas in place (OGIP) of reservoirs and has been widely adopted in the calculations of gas reserves. However, the equation is not suitable in the calculation for the reserves of constant-volume sour gas reservoirs due to such facts as sulfur may precipitate and form depositions and etc. The neglect of differences caused by sulfur deposition would distort the results to some extent in the calculation of OGIP in constant volume gas reservoirs. This paper levels at such features of sour gas reservoirs and formulates a new material balance equation, which takes the differences into consideration. The application of the new equation to constant-volume sour gas reservoirs yields positive results and shows that it is more reliable.

Key words constant-volume sour gas reservoir; hydrogen sulfide; material balance; reserve calculation

含硫天然气指天然气中含有硫化氢。含硫化氢天然气在全球分布广泛, 目前世界上已发现了 400 多个具有工业价值的含硫化氢气田^[1]。我国探明的含硫化氢天然气, 分布十分广泛, 已经在四川、渤海湾、鄂尔多斯、塔里木和准噶尔等含油气盆地中相继发现了含硫化氢天然气^[1~12]。近几年我国在川东北三叠系飞仙关组陆续发现大规模高含硫化氢天然气田 (硫化氢含量平均高达 10%)。

新发现的四川普光高含硫气田已探明储量达 $2\,510.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[13], 成为四川盆地已发现的最高含硫天然气田。

在气藏的开发中, 准确计算出气藏的储量是开发好气藏的关键之一。含硫气藏中硫化氢的存在会形成硫沉积堵塞地层。在用物质平衡方程计算定容含硫气藏原始储量时, 仍然采用原有的定容气藏物质平衡方程, 计算结果与气藏实际状况

收稿日期: 2006-09-26

第一作者简介: 岑芳 (1979-), 女, 博士研究生, 油气藏工程

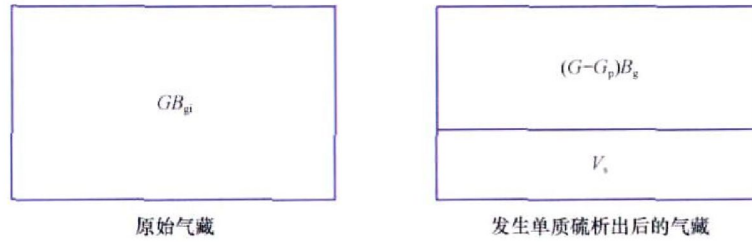


图 1 定容含硫气田硫沉积前后地层平衡图

Fig. 1 Constitutional diagrams before and after sulfur deposition in constant-volume sour gas fields

将存在偏差, 且偏差大小将会随着硫化氢含量的增加而增加, 对于硫化氢含量比较高的定容含硫气藏, 会得出错误的结论。

考虑到硫沉积造成的差异, 基于物质平衡原理, 推导出新的定容含硫气藏物质平衡方程。进而应用新的物质平衡方程计算定容含硫气藏地质储量, 并与其他方法计算结果进行对比, 结果表明新方法计算结果更加准确。

1 推导定容含硫气藏物质平衡方程

对于正常压力系统下的定容封闭性气藏, 不存在边水和底水的驱动作用。假设气藏的原始地层压力条件下, 天然气的原始体积系数为一固定值。当气藏投入开发一定时间时, 地层压力下降到一定程度, 相应的天然气的体积系数也发生变化, 气藏在地面条件的累积产气量、此时析出硫体积、束缚水饱和度也发生变化。

将该定容含硫气藏进行简化, 简化后的气藏体积变化如图 1 所示:

根据体积守恒定律可知:

$$GB_{gi} = (G - G_p)B_g + GB_g \left[\frac{C_w S_{wi} + C_i}{1 - S_{wi}} \right] (p_i - p) + (W_e - W_p B_w) + V_s \quad (1)$$

式中: G 为气藏在地面标准条件下 (0.101 MPa 和 20 °C) 的原始地质储量, m^3 ; G_p 为气藏在地面条件的累积产气量, m^3 ; B_{gi} 为天然气的原始体积系数; B_g 为气藏投入开发一定时间时天然气的体积系数; C_w 为地层水的压缩系数, MPa^{-1} ; C_i 为地层岩石的有效压缩系数, MPa^{-1} ; S_{wi} 为地层束缚水饱和度, %; W_e 为累积天然水侵量, m^3 ; W_p 为累积产水量, m^3 ; V_s 为析出硫体积, m^3 ; P_i 为原始地层压力, MPa; P 为采出 G_p 时对应的地层压力, MPa; B_w 为地层水体积系数。

由于地层束缚水和岩石弹性膨胀占据的孔隙体积在正常压力系数的气藏中数值很小, 可以忽略, 所以根据 (1) 式简化可以得到:

$$GB_{gi} = (G - G_p)B_g + V_s \quad (2)$$

根据质量守恒定律, 可以得到析出硫元素的体积为:

$$V_s = \frac{GB_{gi}c_i - (G - G_p)B_g c - G_p c_{sc}}{\rho_s} \quad (3)$$

式中: c_i 为原始条件下硫的溶解度, kg/m^3 ; c 为采出 G_p 时硫的溶解度, kg/m^3 ; c_{sc} 为原始条件下硫的溶解度, kg/m^3 ; ρ_s 为天然气密度, kg/m^3 。

将 (3) 代入 (2) 中, 简化 (2) 可以得到与普通定容气藏物质平衡方程相类似的定容含硫气藏物质平衡方程式:

$$\frac{p}{z} = \frac{p_i}{z_i} \frac{\left| 1 - \frac{G_p}{G} \right|}{1 + \frac{p_i T_{sc}}{T \rho_s z_i p_{sc}} \left| B_g c - B_{gi} c_i + \frac{G_p}{G} (c_{sc} - B_g c) \right|} \quad (4)$$

当气藏中不含硫化氢时, 即 $c = 0$ 方程 (4) 简化为:

$$\frac{p}{z} = \frac{p_i}{z_i} \left| 1 - \frac{G_p}{G} \right| \quad (5)$$

式中: T_{sc} 为地面标准温度, K; P_{sc} 为地面标准压力, MPa; z_i 为原始条件下的气体偏差系数, z 为采出 G_p 时的气体偏差系数; T_i 为原始地层温度, K; T 为采出 G_p 时的地层温度, K。

与普通定容气藏物质平衡方程^[11]一致, 说明推导正确。

2 实例验证

为了验证推导出的新定容物质平衡方程计算储量结果的准确性, 进行了假设计算 (图 2)。假

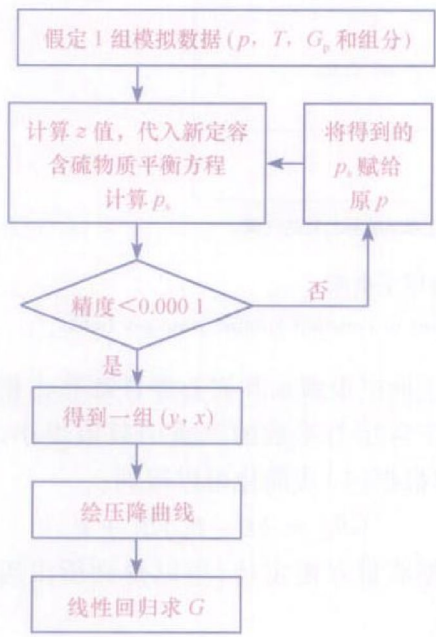


图 2 压降法计算流程图

Fig. 2 Flow chart of calculation for pressure draw down method

定已知定容含硫气藏的储量为 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$, 原始地层温度为 77°C , 天然气的相对密度为 0.65 , 二氧化碳和氮气含量假定均为 3% , 且这些条件在开采中不发生变化。假定采出程度分别达到 10% , 20% , 30% , 40% 。为了更好的对比计算结果, 因此对硫化氢含量分别作了 0% , 1% , 5% , 10% , 20% 和 50% 的假设计算。

1) 压降法

首先采用传统的压降法计算含硫气藏储量,

即公式 (4) 变形为:

$$\frac{p}{z} \left| 1 + \frac{p_i T_{sc}}{T \rho_{sc} p_{sc}} \right| B_g c - B_{gi} c_i + \frac{G_p}{G} (c_{sc} - B_g c) \left| \right| = \frac{p_i}{z_i} \left| 1 - \frac{G_p}{G} \right| \quad (5)$$

利用公式 (5) 计算含硫气藏储量 (图 3)。

根据计算结果发现, 当气藏不含硫化氢时, 物质平衡方程能很好的拟合气藏储量。随着硫化氢含量的增加, 含硫气藏视地层压力与累积产气量之间线性关系的相关系数减小, 且储量拟合误差增加。因此不能采用压降法直接计算含硫气藏的储量。

2) 一元线性回归法

下面采用一元线性回归法计算定容含硫气藏储量。

令
$$\phi = \frac{p/z}{p_i/z_i} \quad (6)$$

式 (5) 可以改写为:

$$\phi + \phi \frac{p_i T_{sc}}{z_i T \rho_{sc} p_{sc}} (B_g c - B_{gi} c_i) = 1 - \frac{G_p}{G} \left| 1 + \phi \frac{p_i T_{sc}}{z_i T \rho_{sc} p_{sc}} (c_{sc} - B_g c) \right| \quad (7)$$

设

$$y = \phi + \phi \frac{p_i T_{sc}}{z_i T \rho_{sc} p_{sc}} (B_g c - B_{gi} c_i) \quad (8)$$

$$x = G_p \left| 1 + \phi \frac{p_i T_{sc}}{z_i T \rho_{sc} p_{sc}} (c_{sc} - B_g c) \right| \quad (9)$$

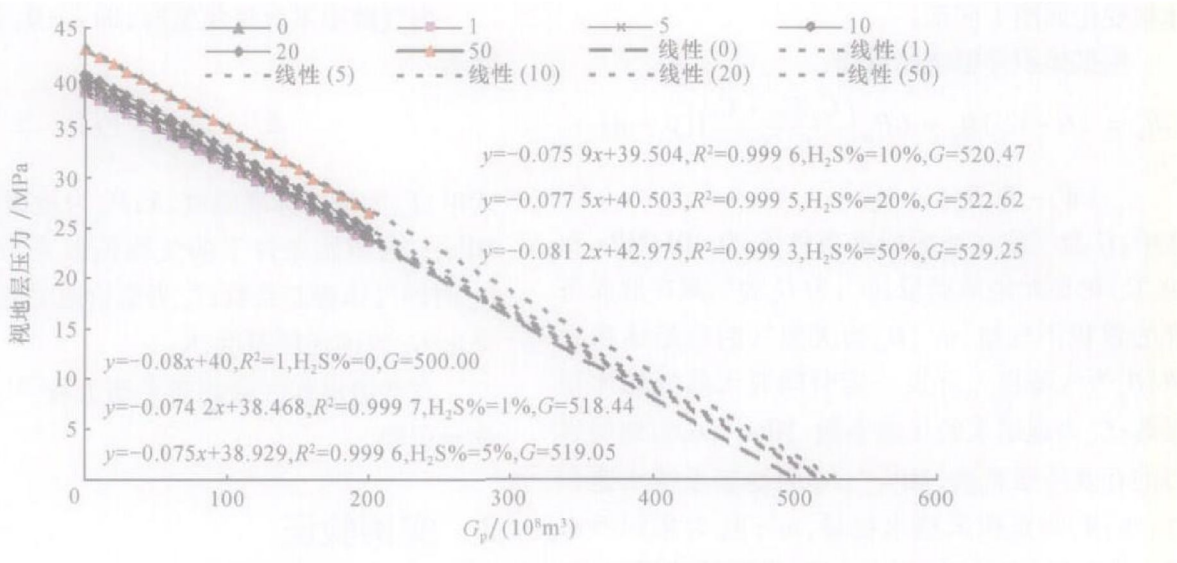


图 3 普通气藏与不同硫化氢含量含硫气藏压降对比图

Fig. 3 Correlation of drawdown curves of normal gas reservoirs and sour gas reservoirs with various contents of H_2S (图中图例里的数字分别代表不同的硫化氢含量)

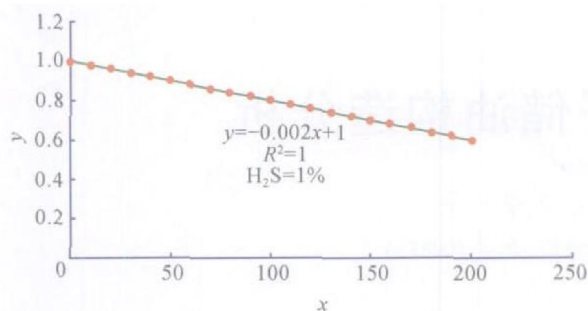
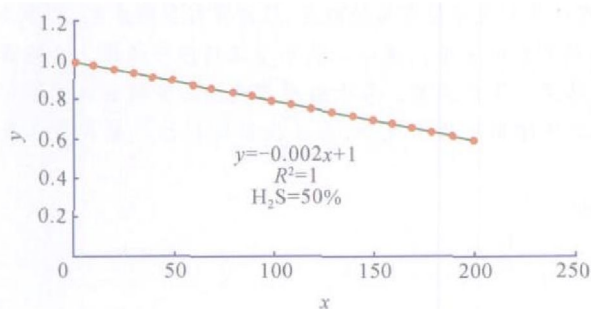
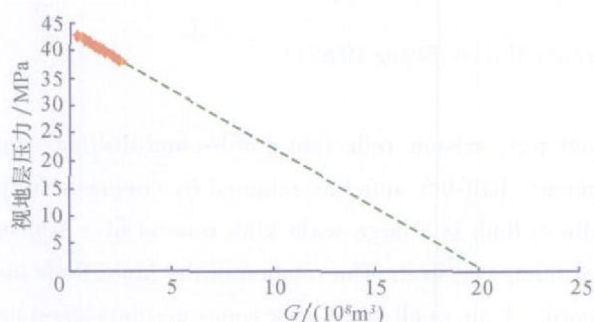
图 4 硫化氢含量为 1% 时的 y 与 x 关系Fig. 4 Relationship of y and x at a H_2S content of 1%图 5 硫化氢含量为 50% 时的 y 与 x 关系Fig. 5 Relationship of y and x at a H_2S content of 50%

图 6 某定容含硫封闭气藏压降

Fig. 6 Drawdown curve of a sealed constant-volume sour gas reservoir

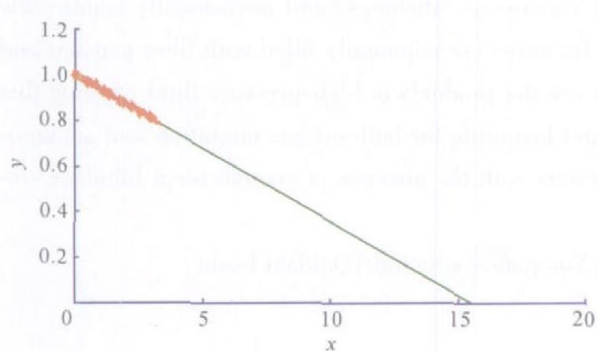


图 7 某定容含硫封闭气藏一元线性回归曲线

Fig. 7 Univariate linear regression of a sealed constant-volume sour gas reservoir

$$a = 1 \quad (10)$$

$$b = -\frac{1}{G} \quad (11)$$

可以得到:

$$y = a + bx \quad (12)$$

由式 (12) 可以看出, 定容含硫气藏的开发动态可以用直线关系式来表示。直线斜率的倒数就等于气藏的原始地质储量。

通过计算结果的对比发现 (图 4 图 5) 一元线性回归法能很好的拟合含硫气藏的地质储量, 计算结果准确度高。

3) 实例

某真实气藏用压降法计算, 得到的视地层压力与累积产气量的关系式为 $p/z = -2.137 4G_p + 43.334$ 相关系数为 0.999 8 得到的储量为 $20.27 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图 6)。使用一元线性回归计算, 得到的公式为 $y = -0.064 3x + 1$, 相关系数为 1, 计算得到的储量为 $15.56 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图 7)。

3 结论

1) 含硫气藏由于存在硫化氢, 易析出单质硫堵塞地层。在储量计算中, 特别是中高压含硫气藏必须考虑硫沉积的影响, 否则会造成计算结果不准确, 因此原定容气藏物质平衡方程不再适用于含硫气藏储量计算。

2) 在考虑含硫气藏硫沉积的基础上, 推导出适合定容含硫气藏的物质平衡新方法, 使得计算过程能考虑到硫沉积析出体积的变化特征, 该方程能准确计算定容含硫气藏的储量, 并进行开发动态预测。

3) 对比发现新定容含硫气藏物质平衡方程理论上计算储量精度更高, 且硫化氢含量很低时其误差也比原定容气藏物质平衡方程计算储量结果更为准确、稳定、可靠、精度高。因此利用该方法计算定容含硫气藏储量是可靠的。

参 考 文 献

- 1 戴金星. 中国含硫化氢的天然气分布特征, 分类及其成因探讨 [J]. 沉积学报, 1985 (4): 109~120
- 2 张子枢. 四川碳酸盐岩气田的硫化氢 [J]. 石油实验地质, 1983 5(4): 304~307
- 3 陈安定. 陕甘宁盆地中部气田奥陶系天然气的成因及运移 [J]. 石油学报, 1994 15(2): 1~10

(下转第 336 页)

5 结论

1) 从实测压力分析, 沾化凹陷正常压力在各深度段均有较大比例的分布, 异常压力主要出现在 2 500 m 深度段以下, 3 000~4 200 m 是异常高压出现的主要层段, 这个层段一般位于凹陷内中-深部的斜坡带和次级洼陷。

2) 通过平衡深度法恢复了单井现今压力剖面。沾化凹陷古近系存在正常压力-过渡压力型次洼、过渡压力-异常高压型次洼两种类型。

3) 沾化凹陷沙四段油层的分布与压力系统的叠置耦合关系可以概括为异常高压型、压力过渡型、正常压力型 3 种模式。具过渡压力-异常高压的次洼, 其中-深部正常压力带和压力过渡带是获得高产油层的有利区带, 而具正常-过渡压力的次洼, 其中-深部正常压力带油气富集程度较高。

4) 临近生油洼陷的缓坡带、陡坡带、洼中凸起带, 沙四段可在上覆岩性和异常高压(或过渡压力)双重封堵下形成过渡压力型或正常压力型高丰度油层, 是油气聚集的最佳构造部位。

参 考 文 献

- 1 Banker C. Aqueothermal pressuring role of temperature in development of abnormal pressure zone [J]. AAPG Bulletin, 1972, 56 (6): 957-973
- 2 Bradley J S Abnormal formation pressure [J]. AAPG Bulletin, 1975, 59(6): 957-973
- 3 Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(1): 1-12
- 4 孙冬胜, 金之钧, 吕修祥, 等. 沉积盆地超压体系划分及其与油气运聚关系 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 14-20
- 5 张启明, 董伟良. 中国含油气盆地的超压体系 [J]. 石油学报, 2000, 26(1): 1-12
- 6 徐国盛, 刘树根, 徐国强, 等. 四川盆地天然气成藏动力学 [M]. 北京: 地质出版社, 2004, 171-232
- 7 苏惠, 曲丽萍, 张金川, 等. 渤海湾盆地东濮凹陷天然气成藏条件与富集规律 [J]. 石油实验地质, 2006, 28(2): 123-129
- 8 赵桂萍. 准噶尔盆地南缘异常高压及其与油气成藏的关系 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 327-332
- 9 李胜利, 于兴河, 陈建阳, 等. 渤海湾盆地济阳凹陷沾化凹陷地层流体压力分布规律及其对油气成藏的影响 [J]. 地质力学学报, 2006, 12(1): 37-42
- 10 刘震, 戴立昌, 赵阳, 等. 济阳凹陷地温-地压系统特征及其对油气藏分布的控制作用 [J]. 地质科学, 2005, 40(1): 1-5
- 11 王效美, 张立强, 罗晓容, 等. 沾化凹陷沙河街组异常高压分布及形成机制探讨 [J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(3): 37-39
- 12 张发强, 王震亮, 吴亚生, 等. 消除影响压实趋势线地质因素的方法——以莺歌海盆地为例 [J]. 沉积学报, 2002, 20(2): 326-331
- 13 苗建宇, 祝总祺, 刘文荣, 等. 济阳凹陷下第三系温度、压力与深部储层次生孔隙的关系 [J]. 石油学报, 2000, 21(3): 36-40
- 14 张善文. 济阳凹陷第三系隐蔽油气藏勘探理论与实践 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 731-740, 761
- 15 马丽娟, 郑和荣, 解习农. 东营凹陷中央隆起带断裂构造及油气运移 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 246-251

(编辑 武新民)

(上接第 323 页)

- 4 朱岳年. 天然气中非烃组分地球化学研究进展 [J]. 天然气地球科学, 1994, 5(1): 1-29
- 5 江兴福, 徐人芬, 黄建章. 川东地区飞仙关组气藏硫化氢分布特征 [J]. 天然气工业, 2002, 22(2): 24-27
- 6 樊广锋, 戴金星, 戚厚发. 中国硫化氢天然气研究 [J]. 天然气地球科学, 1992, 3(3): 1-10
- 7 马永生, 郭旭升, 郭彤楼, 等. 四川盆地普光大型气田的发现与勘探启示 [J]. 地质评论, 2005, 51(4): 477-480
- 8 岑芳, 李治平, 张彩, 等. 含硫气田硫化氢腐蚀 [J]. 资源产业, 2005, 7(4): 79-81
- 9 岑芳, 李治平, 赖枫鹏, 等. 中国含硫天然气资源特点及前景 [J]. 新疆石油天然气, 2006, 2(4): 1-3
- 10 蔡勋育, 朱扬明, 黄仁春. 普光气田沥青地球化学特征及成因 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 340-347
- 11 冉启佑, 赵庆飞, 方开璞, 等. 水驱油田剩余经济可采储量计算方法 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 379-383
- 12 李江龙, 黄孝特, 张丽萍. 塔河油田 4 区奥陶系缝洞型油藏特征及开发对策 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 630-633
- 13 陈元千, 李璽著. 现代油藏工程 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001

(编辑 高 岩)