

文章编号:1001-6112(2012)06-0656-03

异常高压气藏天然气偏差系数的确定

李定军

(中国石油化工股份有限公司 西南油气分公司 勘探开发研究院,成都 610081)

摘要:地层条件下的天然气偏差系数是用来计算气藏储量的关键数据。据文献调研,针对异常高压气藏天然气偏差系数求取问题,目前可通过实验测定法、图版法、解析模型法来确定。对现有的各种方法的适用范围进行研究,通过多种方法的对比,结合新场气田须四下亚段异常高压气藏偏差系数求取的实例分析,得出可以采用实验测定法(PVT法)、高压条件下的图版法、LXF解析模型法求取异常高压气藏的天然气偏差系数。

关键词:偏差系数;异常高压;解析模型;PVT法;图版法

中图分类号:TE133.1

文献标识码:A

Determination of gas deviation factor for abnormal overpressure gas reservoir

Li Dingjun

(Exploration & Production Research Institute of SINOPEC Southwest Branch Company, Chengdu, Sichuan 610081, China)

Abstract: Gas deviation factors in formation conditions are the critical data to calculate gas reserves. As to abnormal overpressure gas reservoirs, several methods such as experimental determination, chart and analytic model can be used to determine gas deviation factors. A case study has been carried out in abnormal overpressure gas reservoir in the lower section of the fourth member of the Xujiahe Formation, the Xinchang Gas Field. It has been concluded that in abnormal overpressure reservoirs, gas deviation factors can be determined by means of experimental determination (PVT), chart under high pressure and LXF analytic model.

Key words: deviation factor; abnormal overpressure; analytic model; PVT method; chart

天然气偏差系数又称压缩因子,是指在相同温度、压力条件下,真实气体所占体积与相同量理想气体所占体积的比值,反映了实际气体偏离理想气体状态的程度。天然气的偏差系数随气体组分的不同及压力和温度的变化而变化。在低压下,天然气也密切遵循理想气体定律。但是,当气体压力上升,尤其当气体接近临界温度时,其真实体积和理想气体之间就产生很大的偏离,称之为偏差系数,用符号 Z 表示。换言之,某压力 P 和温度 T 时, n mol 气体的实际体积除以在相同压力 P 和温度 T 时 n mol 理想气体的体积之商,即为该天然气的偏差系数。

1 偏差系数确定方法

天然气偏差系数的确定方法可分为3大类,即实验室直接测定法、查图版法[斯坦丁—卡兹(Standing-Katz)偏差系数图版]和解析模型法。

1.1 实验测定法^[1-2]

实验室内用天然气样测定偏差系数,一般是先在气藏平均温度下,将取得的天然气样品稳定在地层平均压力下,使其呈单相的气态,测量该样品的体积;然后释放到标准状态(20℃,0.101325 MPa),使所有组分为气相,再测量其体积。在标准状态下,气体的状态可用理想气体定律表示,即忽略偏差系数的影响。由此,根据气体状态方程可推导出求解气体偏差系数的关系式:

$$Z_i = \frac{T_{sc} P_i V_i}{P_{sc} V_{sc} T_i} = 2.893.2 \frac{P_i V_i}{V_{sc} T_i}$$

式中: T_i 、 P_i 、 V_i 分别为待测状态下气藏流体的温度、压力和体积; Z_i 为在 T_i 和 P_i 下气藏流体的偏差系数; T_{sc} 、 P_{sc} 、 V_{sc} 分别为标准状态下气藏流体的温度、压力和体积。

该方法获取凝析气藏(尤其在高压区)气体

收稿日期:2012-05-17;修订日期:2012-09-28。

作者简介:李定军(1976—),男,工程师,从事储量研究和测井评价。E-mail:lidingjun_xnyq@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05002-004)资助。

偏差系数最为可靠的方法。但是目前国内仅有几台实验仪器最高工作压力达到 150 MPa,尚不能广泛进行高压气藏气体偏差系数的测定。实验测定法由于周期长、成本高,不可能随时随地经常做。

1.2 图版法

气体通用偏差系数图版^[3]是在 1941 年由 Standing 和 Katz 基于 5 600 个数据点作出的图版(图 1,2),这些数据点是采用实验测定法求取的。

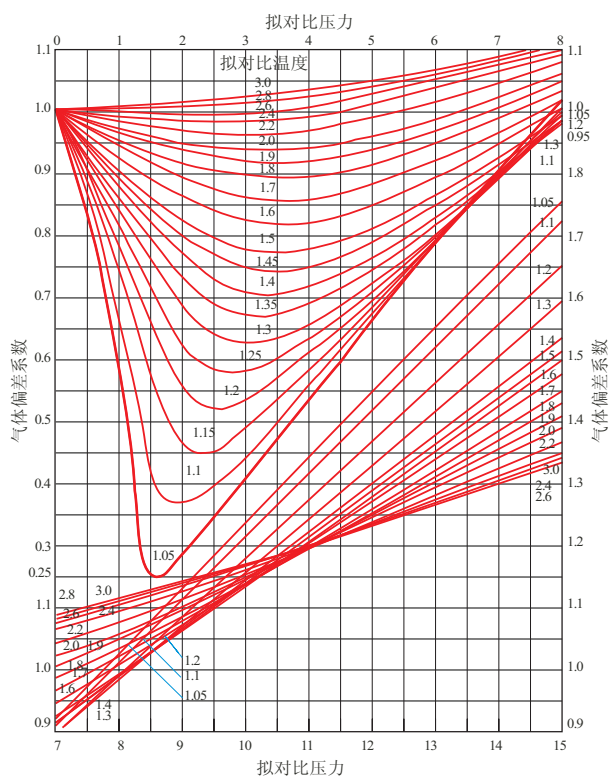


图 1 常用的天然气偏差系数

Fig. 1 Common natural gas deviation factor

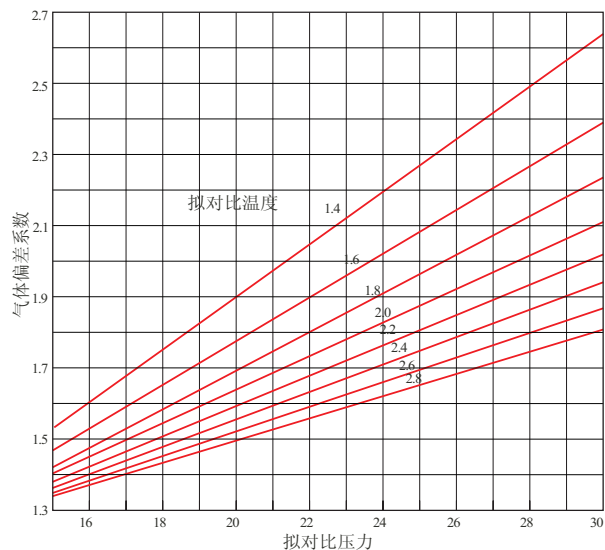


图 2 高压下的天然气偏差系数

Fig. 2 Natural gas deviation factor under overpressure

图版法较简单,且能满足大多数工程要求,目前国内外的天然气工程手册和教材^[4-9]都录用该方法计算天然气偏差系数,可以说是全球通用的方法。但其不足之处是用图版法求取偏差系数,不便于计算机应用,因此在实时性要求较强的领域得不到应用。该方法是根据天然气的组分或相对密度求取临界温度、临界压力,再依据温度和压力,得到拟对比温度 T_{pr} (pseudo-reduced temperature) 和拟对比压力 P_{pr} (pseudo-reduced pressure),最后查图版得出气体偏差系数。

1.3 解析模型法

解析模型法适用于计算机编程计算,简单、易求,因而也得到广泛应用。现有的天然气偏差系数解析模型有很多,但各模型的适用条件与计算精度并不特别明确。现对各计算模型在大气压力与温度范围内的计算精度进行比较,确定其适用条件。目前常用的气体偏差系数解析模型有:

1.3.1 Hall-Yarborough (HY) 解析模型^[10]

1974 年,霍尔—雅布洛 (Hall-Yarborough) 应用斯塔林—卡尔纳汉 (Starling-Carnahan) 状态方程拟合 Standing-Katz 图版得到 HY 解析模型。该模型在求解时需要应用牛顿迭代法,适用于 $1.2 \leq T_{pr} \leq 3.0, 0.1 \leq P_{pr} \leq 24.0$ 。

1.3.2 Dranchuk-Abu-Kassem (DAK) 解析模型^[11]

1975 年由 Dranchuk、Abu 和 Kassem 应用 Starling-Carnahan 状态方程拟合 Standing-Katz 图版得到 DAK 解析模型,适用于 $1.0 \leq T_{pr} \leq 3.0, 0.2 \leq P_{pr} \leq 20.0$ 的情况。该模型在常压条件下的计算结果与实际情况符合较好;在高压条件下,尤其是超高压、中低温条件下 ($P_{pr} \geq 20, T_{pr} \leq 1.4$),计算结果存在较大误差。

1.3.3 Dranchuk-Purvis-Robinson 解析模型^[12]

德兰丘克—布尔维斯—罗宾逊 (Dranchuk-Purvis-Robinson) 方法简称 DPR 方法,是目前使用较普遍的方法。该模型是 1974 年由 Dranchuk、Purvis 和 Robinson 应用 Starling-Han 修正的 BWR 状态方程拟合 Standing-Katz 气体偏差系数图版得到,适用于 $1.05 \leq T_{pr} \leq 3.0, 0.2 \leq P_{pr} \leq 3$ 的情况。

1.3.4 LXF 解析模型^[13-15]

LXF 解析模型是由中国石油大学李相方教授基于 Standing-Katz 气体偏差系数图版拟合的解析模型。适用于 $1.05 \leq T_{pr} \leq 3.0$,且拟对比压力在 $8 \leq P_{pr} \leq 15$ 和 $15 \leq P_{pr} \leq 30$ 分为 2 套模型,由于模型中涉及到的只是多项式计算,不必进行迭代计算,整个偏差系数计算过程简单,使用方便。

在大范围温度压力条件下对上述解析模型进行对比研究得出:在不同压力下偏差系数的计算误差的对比分析, HY 模型在任何压力下误差相对较大,在高压情况下, LXF 模型误差最小,但在中低压下 LXF 的误差最大,而其他模型相对而言误差较小;在不同拟对比压力、拟对比温度下偏差系数的计算误差比较,当拟对比压力 $P_{pr} > 8$ 时,采用 LXF 模型的误差最小,当 $P_{pr} < 8$ 时, DAK 模型的误差最小,但当 $T_{pr} < 1.4$ 时, DAK 模型的计算误差较大,此时在中等压力 ($3 \leq P_{pr} < 8$) 条件下采用 LXF 模型计算精度相对较高,在低压 ($P_{pr} < 3$) 条件下采用 DPR 模型计算精度相对较高。

综合上述分析,异常高压气藏天然气偏差系数可以采用实验测定法、高压下气体偏差系数图版和 LXF 解析模型来求取。

2 实例分析

新场气田须四气藏原始地层压力为 1.7 ~ 2.16 MPa,说明须四气藏也属异常高压气藏,须四下亚段气藏中部压力为 74.971 MPa,气藏中部温度为 109.9 °C。采用实验测定法、高压下气体偏差系数图版和 LXF 解析模型分别求取天然气偏差系数。

实验测定法:新场气田 XC28 井的 PVT 实验数据是采用法国制造的 ST 相态分析仪(额定最高工作压力 150 MPa、温度 250 °C)在高温高压条件下进行的测定。实验室分别测定了温度在 40, 60, 80, 98, 107.3 °C(对应的拟对比温度分别为 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.94)条件下,压力范围在 12.018 ~ 100.43 MPa 之间(对应的拟对比压力在 2.60 ~ 21.75 之间)的一系列实验数据。拟对比压力、拟对比温度及偏差系数之间的关系如图 3 所示,对该数据研究表明,高压条件下,偏差系数与压力(拟对比压力)呈很好的线性关系^[16-17],可采用中高压下的实验结果直线外推求出超高条件下的气体偏差系数。由图 3 求得须四下亚段偏差系数为 1.385。

图版法:新场气田须四下亚段有较多的天然气组分资料,依据天然气组分求得天然气拟对比压力为 16.16,拟对比温度为 1.96。采用图版法(图 2)查得须四下亚段天然气偏差系数为 1.432。

LXF 法:按照天然气拟对比压力为 16.16,拟对比温度为 1.96,采用李相方高压条件下计算偏差系数的计算公式^[13-15]进行计算,须四下亚段的偏差系数为 1.448。

表 1 表明,实验测定法、图版法和 LXF 方法得到须四下亚段气藏天然气偏差系数基本一致,取值

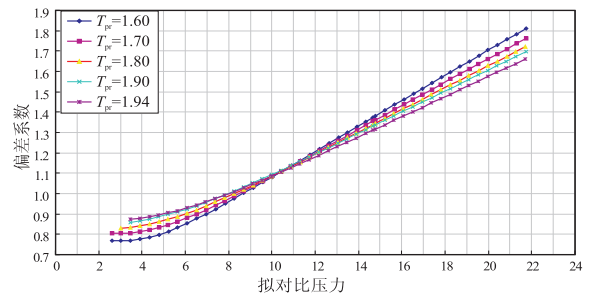


图 3 新场气田须四下亚段气藏 PVT 实验数据拟对比压力、拟对比温度与偏差因子变化曲线

Fig. 3 Pseudo-reduced pressure, pseudo-reduced temperature, deviation factor change curves of PVT experimental data, lower section of 4th member of Xujiahe Formation, Xinchang Gas Field

表 1 新场气田须四下亚段气藏偏差系数取值对比

Table 1 Comparison of deviation factor between different methods, lower section of 4th member of Xujiahe Formation, Xinchang Gas Field

项目	偏差系数	绝对误差	相对误差/%
图版法	1.432		
实验测定法	1.385	-0.047	-3.28
LXF 法	1.448	0.016	1.12

在 1.395 ~ 1.448 之间,绝对误差在 -0.047 ~ 0.016 之间,相对误差在 -3.28% ~ 1.12% 之间,误差相对较小。其中实验室测定法取得的偏差系数相对最小,不排除与所取样品气体组分、临界温度、临界压力、露点压力等因素的随机性有关。图版法与实验室测定法的结果基本一致,说明图版法在异常高压气藏是适用的。LXF 是以图版法为基础的数学方法,其结果和图版法基本一致,间接由实验测定法证实其在异常高压气藏求取天然气偏差系数中是可行的。因该方法适用于计算机编程,建议在油气田开发中广泛推广,实现异常高压气藏天然气偏差系数的实时求取。

3 结论与建议

1) 对于异常高压气藏可以采用实验测试法(PVT)、高压条件下的偏差系数图版法以及 LXF 解析模型法。

2) 在高压条件下,偏差系数与压力呈很好的线性关系,可以采用中高压力的实验数据直线外推求取高压和超高压条件下的天然气偏差系数。

3) 建议 LXF 解析模型法在异常高压气藏中推广应用,特别是在气藏动态分析中的应用。

参考文献:

- [1] 杨通佑,范尚炯,陈元千,等.石油及天然气储量计算方法[M]. 2版.北京:石油工业出版社,1998.

- 业出版社,1999:148-151.
- [8] 姜林,薄冬梅,柳少波,等. 天然气二次运移组分变化机理研究[J]. 石油实验地质,2010,32(6):578-582.
- [9] 闫建钊,罗晓容,张立宽,等. 原油二次运移过程中的逾渗主脊实验研究[J]. 石油实验地质,2012,34(1):99-103.
- [10] 刘洛夫,康永尚. 运用原油吡咯类含氮化合物研究塔里木盆地塔中地区石油的二次运移[J]. 地球化学,1998,27(5):475-482.
- [11] Li M, You H, Fowler M G, et al. Geochemical constraints on models for secondary petroleum migration along the Upper Devonian Rimbey-Meadowbrook reef trend in central Alberta, Canada[J]. *Organic Geochemistry*, 1998, 29:163-182.
- [12] Li Maowen, Larter S R, Stoddart D et al. Fractionation of pyrrolic nitrogen compounds in petroleum during migration: Derivation of migration-related geochemical parameters [C]//Cubitt J M, England W A. *The Geochemistry of Reservoirs*. London: Geological Society, 1995:103-123.
- [13] 王铁冠,何发岐,李美俊,等. 烷基二苯并噻吩类:示踪油藏充注途径的分子标志物[J]. 科学通报,2005,50(2):176-182.
- [14] Wang T G, He F Q, Li M J, et al. Alkyl-dibenzothiophenes: molecular tracers for filling pathway in oil reservoirs[J]. *Chin Sci Bull*, 2004, 49(22):2399-2404.
- [15] 张美珍,曹寅,钱志浩,等. 石油地质样品实验新技术方法及其应用[M]. 北京:石油工业出版社,2007:77-79, 90-96.
- [16] 邵志兵. 塔里木盆地塔河油区奥陶系原油中性含氮化合物特征与运移研究[J]. 石油实验地质,2005,27(5):496-501.
- [17] 李美俊,王铁冠,刘菊,等. 烷基二苯并噻吩总量示踪福山凹陷凝析油藏充注途径[J]. 中国科学:D辑地球科学,2008,38(S1):122-128.
- [18] 蒋兴超,王铁冠,陈践发,等. 松辽盆地王府凹陷扶杨油层原油充注途径示踪[J]. 石油实验地质,2011,33(5):531-535.
- [19] 张美珍,腾格尔,张渠,等. 海相油气生物标志化合物定量技术及应用研究[R]. 北京:中国石化集团公司科技部,2009:164-182.
- [20] 周树青,黄海平,徐旭辉,等. 吡啶、酚类和二苯并噻吩类化合物在油气运移研究中的应用[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):146-150.
- [21] England W, Mackenzie A S, Mann D M, et al. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface[J]. *J Geol Soc*, 1987, 144:327-347.
- [22] 郑朝阳,段毅,吴宝祥,等. 塔里木盆地塔河油田原油中生物标志化合物成熟度指标特征与石油运移[J]. 沉积学报,2007,25(3):482-486.
- [23] 许锦,饶丹,张美珍,等. 塔河油田奥陶系原油极性化合物浓度分布及运移趋势[J]. 地质科技情报,2012,31(2):55-59.

(编辑 叶德燎)

(上接第658页)

- [2] 刘建仪,李士伦,郭平,等. 天然气偏差系数的测定[J]. 天然气工业,2002,22(2):63-65.
- [3] Standing M B, Katz D L. Density of natural gases [J]. *Trans AIME*, 1942, 46:140-149.
- [4] Guo Boyun, Ghalambor A. *Natural gas engineering handbook* [M]. Houston: Gulf Publishing Company, 2005.
- [5] 史密斯 R V. 实用天然气工程[M]. 北京:石油工业出版社, 1989.
- [6] 布雷德利 H B. 油气藏工程手册(下册)[M]. 童宪章,译. 北京:石油工业出版社,1996.
- [7] 杨继盛. 采气适用计算[M]. 北京:石油工业出版社,1994.
- [8] 李士伦. 天然气工程[M]. 北京:石油工业出版社,2000.
- [9] 李相方. 高温高压气井测试技术[M]. 北京:石油工业出版社,2007.
- [10] Hall K R, Yarborough L. How to solve equation of state for Z-factors[J]. *Oil and Gas Journal*, 1974, 72(7):86-88.
- [11] Dranchuk P M, Abu-Kassem J H. Calculation of Z-factors for natural gases using equations of state [J]. *CDN Pet Tech*, 1975, 14(3):34-36.
- [12] Dranchuk P M, Purvis R A, Robinson D B. Computer calculation of natural gas compressibility factors using the Standing and Katz correlation [J]. *Inst of Petr Tech Series*, 1974(1):74-108.
- [13] 李相方,刚涛,庄湘琦,等. 高压天然气偏差系数的高精度解析模型[J]. 石油大学学报:自然科学版,2001,25(6):45-46, 51.
- [14] 李相方,庄湘琦,刚涛,等. 天然气偏差系数模型综合评价与选用[J]. 石油钻采工艺,2001,23(2):42-46.
- [15] 张国东,李敏,柏冬岭. 高压超高压天然气偏差系数实用计算模型: LXF 高压天然气偏差系数的高精度解析模型的修正[J]. 天然气工业,2005,25(8):79-80, 93.
- [16] 江同文,肖香姣,郑希潭,等. 深层超高压气藏气体偏差系数确定方法研究[J]. 天然气地球科学,2006,17(6):743-746.
- [17] 伍勇,杜志敏,郭肖,等. 异常高压气藏偏差因子计算方法[J]. 天然气工业,2008,28(6):105-107.

(编辑 韩 或)