

文章编号:0253-9985(2010)06-0879-04

基于“压力仓模型”外推深部地层层速度的模型

许浚远¹, 占王忠², 刘丽华³

[1. 中国地质大学 石油系, 湖北 武汉 430074; 2. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081;

3. 中海石油(中国)有限公司 深圳分公司 研究院, 广东 广州 510220]

摘要:对于存在压力仓的盆地,如果压力仓内由速度谱获得的层速度值与钻井的实测层速度值(如:据声波测井获得的值)有很大差异,致使无法用读速度谱方法获得比钻井更深地层的实际层速度值,可以基于“压力仓模型”进行外推得到钻井未达深部的层速度值。外推基本公式是压力仓内地层压力与层速度之间的函数关系。具体方法是,根据这种函数关系,先解出紧邻井底的第一层的层速度理论值,然后再解出紧邻第一层的第二层的层速度理论值,以此类推。

关键词:层速度;速度谱;压力仓;地层压力;外推;深部地层

中图分类号:TE132.1

文献标识码:A

A conceptual model for extrapolating interval velocities of deep layers based on the pressure compartment model

Xu Junyuan¹, Zhan Wangzhong² and Liu Lihua²

(1. Department of Petroleum Geology, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Chengdu Geology and Mining Research Institute, Chengdu, Sichuan 610081, China;

3. CNOOC Shenzhen Corporation, Guangzhou, Guangdong 510220, China)

Abstract: In a basin with pressure compartments, true interval velocity of layers beyond the reach of drilling cannot be obtained by using velocity spectrum when the velocities obtained from velocity spectrum in the pressure compartments are very different from the measured velocities during drilling (for example sonic logging). In this case, the interval velocity of deep layers beyond the reach of drilling can be extrapolated based on “pressure compartment model”. The basic formula for extrapolation can be expressed as the functional relation between formation pressure within the pressure compartments and interval velocity. First, the theoretical interval velocity of the first layer beneath the bottom hole is calculated by using the functional relation, and then the theoretical interval velocity of the second layer beneath the first layer is calculated, and the rest can be obtained in the same manner.

Key words: interval velocity, velocity spectrum, pressure compartment, formation pressure, extrapolation, deep layer

根据地层层速度预测地层压力已广泛应用^[1~5],经验表明,只要地层层速度准确,预测的结果通常能达到相当高的精度。但是,众所周知,地下深部地层层速度是很难较准确获得的,从速度谱中读取并计算的层速度与真实的层速度(如:声波测井获得的层速度)常常有很大差别,以至于前者无法用于预测地层压力。那么,在这种情形下,如何提高对钻井之下的深部地层层速度预测精度、进而提高地层压力参数预测精度呢? Hunt^[6]的压力仓模型为我们约束层速度的外推提供了理论依据。

本文提出,基于压力仓模型约束钻井之下地层层速度外推模型。如果研究区的速度谱表达的层速度存在相似的系统误差,那么,该模型可以推广用于校正研究区的层速度和预测研究区的地层压力。

1 压力仓的地层压力和层速度基本特征

图1示意了压力仓模型内地层压力参数和地层层速度理论值和有关实测值。

收稿日期:2010-10-10。

第一作者简介:许浚远(1960—),男,博士、教授,构造地质学和石油地质学。

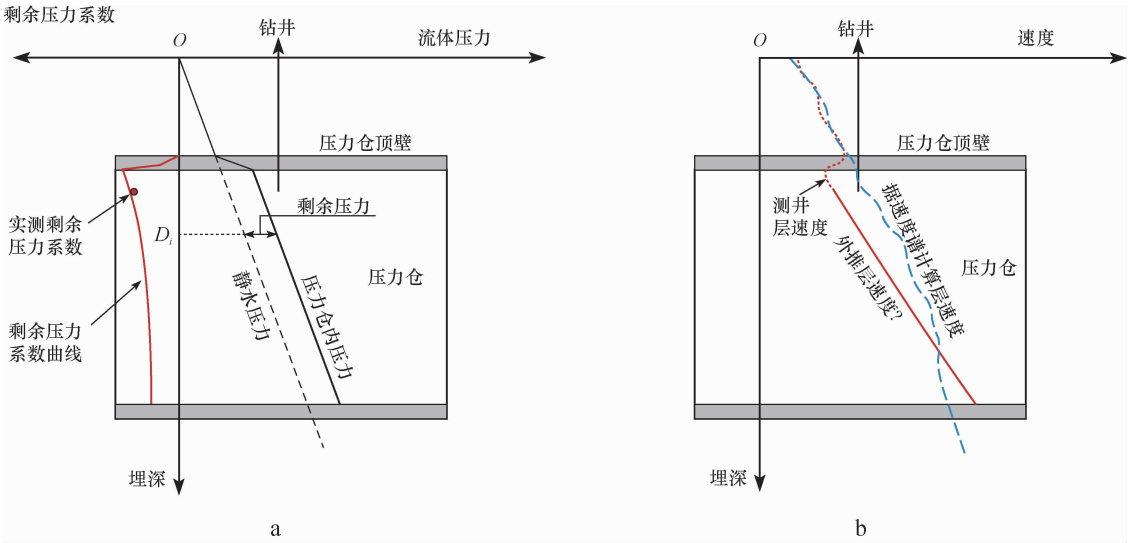


图 1 地层压力仓地层压力基本特征(a)和有关地层层速度可能情况(b)示意图

Fig. 1 Basic characteristics of formation pressure within a pressure compartment (a) and the possible interval velocities of relevant formations (b)

图 1a 表明,压力仓内地层压力具有静水压力梯度^[6],这意味着仓内地层压力与静水压力之差(剩余地层压力)不随深度(D_i)变化,是一个常数。显然,理论上剩余压力系数(剩余压力与静水压力之比)随深度增加按双曲线规律衰减。如果存在压力仓,钻井深部实测地层压力(例如:只测了一个点)落在理论的剩余压力曲线之上,或在其附近。

图 1b 表明,实测地层层速度在浅部可能与根据速度谱计算的层速度大致相近,而到压力仓内两者发生巨大的差异。这是一种实际情况。那么,钻井之下的可靠的层速度是多少呢?换言之,如何校正仓内层速度呢?显然,我们只能依靠的测井层速度向下外推,但是外推没有约束,外推的结果可靠性就没有保障。如何进行有依据的约束外推呢?这就是本文要解决问题。

2 基于“压力仓模型”外推层速度的模型的建立

Hunt^[6]提出的压力仓模型被广泛应用,说明它有一定的可靠性。如果研究区存在着这种压力仓,而 Phillippone^[1]提出了地层压力是可以由层速度预测的,那么,根据压力仓的地层压力理论模型和钻井的实测压力,就为反过来外推或预测压力仓内理论层速度提供了机会。

Phillippone^[1]的预测地层压力公式是:

$$p_f = \frac{V_{\max} - V_i}{V_{\max} - V_{\min}} p_o \quad (1)$$

式中: p_f 是地层压力, MPa; p_o 是上覆岩层压力, MPa; $V_{\max}$ 和 $V_{\min}$ 分别是最大和最小层速度{其表达式参见文献[1]或公式(3)和(4)}, m/s; V_i 是层速度, m/s。

(1) 式中各参数对于深度 D_1 的点(如:钻井最深点)而言都是已知的和可求的(图 2)。 D_1 点地层压力 p_{f1} 可以直接测量或用测井速度预测获得,相应的地层压力系数(C_{p1})和剩余压力 D_p (整个压力仓内是常数)也就已知。特别要说明的是,最大和最小层速度 $V_{\max}$ 和 $V_{\min}$ 的公式中 V_{r0} 和 K 值的计算方法是,先利用各层测井层速度计算出双程声波传播时间 T 和均方根速度 V_r (注:已知层速度就可以用 Dixon 公式反推均方根速度),再用直线方程拟合 V_r 和 T ,直线截距和斜率分别是 V_{r0} 和 K 。

假定 V_{r0} 和 K 值对于预测仓内或整个剖面地层压力不变,那么就可外推比 D_1 点更深的各层层速度。这个假定是近似的,近似程度可以用仓内实测地层压力与根据层速度预测地层压力对比估计。通常这两者差别很小,说明假定的近似程度在仓内最上部基本满足要求。再考虑到一般整个剖面的均方根速度 V_r 随双程时间 T 变化的线性

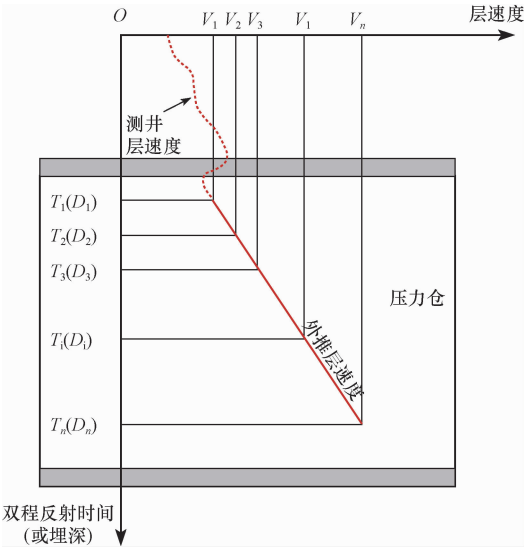


图2 基于“压力仓模型”外推仓内地层层速度步骤示意图

Fig. 2 Steps of extrapolating interval velocities of strata within a pressure compartment based on the pressure compartment model

程度高, V_{r0} 和 K 在整个剖面通常变化小(前人预测地层压力,有时整个凹陷只用相同 V_{r0} 和 K)。因此,这个假定近似程度基本满足要求。

我们先外推出双程反射时间 T_1 点至 T_2 点之间地层的层速度(或者深度为 D_1 点至 D_2 点的层速度。注意:在假定层速度已知时,已知双程反射时间就已知深度)。设该层层速度为 V_2 ,那么在预测该层地层压力的公式中,唯有 V_2 是未知数,该式变成了一元方程,便可解出 V_2 。其具体过程详细说明如下。

根据深度和压力仓模型,等式左边在深度 D_2 点的地层压力 p_{r2} 可以写成:

$$p_{r2} = [D_1 + (T_2 - T_1)V_2]\rho_w g + D_p \quad (2)$$

式中: ρ_w 是水的密度, g/cm^3 ; g 是重力加速度, m/s^2 ;

依据 V_{max} 和 V_{min} 表达式^[1],等式右边在 D_2 点的最大和最小速度可以写成:

$$V_{max2} = 1.4V_{r0} + 3KT_2 \quad (3)$$

$$V_{min2} = 0.4V_{r0} + 0.5KT_2 \quad (4)$$

与等式右边岩层压力有关的 D_2 点之上岩层的平均速度为:

$$V_{a2} = [V_{a1}T_1 + (T_2 - T_1)V_2]/T_2 \quad (5)$$

依据岩层的平均密度表达式^[1], D_2 点之上岩层的平均密度就为(下式常数 3 048 对应的速度单位是 m/s ; 密度单位是 g/cm^3):

$$\rho_2 = 1.73 + 1.64\exp(-3\,084/V_{a2}) \quad (6)$$

因此,将(5)和(6)式代入下式,等式右边岩层压力为:

$$p_{a2} = D_2\rho_2g \quad (7)$$

便可写成含 V_2 的具体表达式。

将(2),(3),(4)式和(7)的具体表达式代入(1)式,(1)式就成了只含一个未知数 V_2 的一元超越方程,应用计算机可简便地求出 V_2 。

同理,可根据压力仓模型和 T_2 点的有关值,求出 T_2 点至 T_3 点之间的层速度 V_3 ,以此类推。

值得注意的是,如果一个盆地的压力仓内由速度谱获得层速度在不同剖面存在相似的系统误差,那么根据上述一口钻井之下外推层速度与其更深的由速度谱获得层速度之间误差随深度变化而变化的关系,可以近似外推压力仓的其他地方的地层层速度。

3 实例

某凹陷 10 口钻井都显示较浅部没有异常地层层压力,仅 1 口钻井钻入较深部(井底深约 4 700 m,双程反射时间约 3.1 s),在井底层段发现异常压力高压,其剩余压力系数达约 0.46。根据实测地层层压力和其他地质证据,认为该盆地深部存在异常压力仓。另一方面,该盆地深部速度谱计算的层速度与钻井最深部的实测层速度有很大差异(图 3)。更深部层速度就成了很大疑问。如果根据钻井实测层速度用某种函数(如:多项式)外推,外推可靠性很值得怀疑(如:外推趋势取决于多项式次数选择,浅部层速度最佳多项式也完全可能使深部外推失信)。如果该盆地的确存在压力仓,那么压力仓模型对层速度外推就可以约束,使外推可信度加大。

图 3a 是根据基于“压力仓模型”外推层速度校正模型外推的层速度和根据速度谱计算的层速度对比,两者差别在压力仓内差别很大,前者普遍小于后者。根据速度谱计算的层速度预测深部地层层压力,剩余压力系数普遍小于 0.2,没有异常高压,这与事实不符。

图 3b 表明根据校正层速度预测的剩余压力系数更符合地质事实,根据地球物理资料外推获得的压力参数证明研究区深部确实存在压力仓。

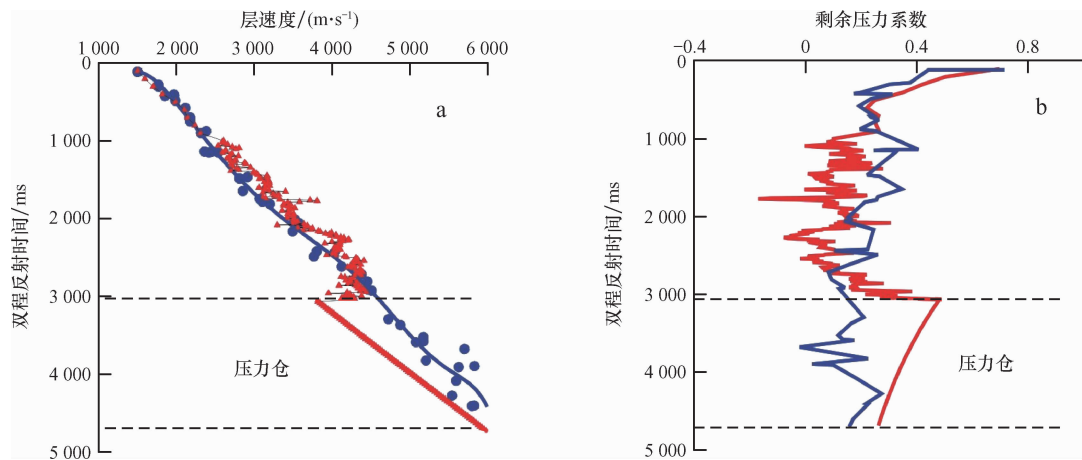


图 3 外推压力仓内地层层速度的实例

Fig. 3 An example of extrapolation of interval velocities in the overpressured fluid compartment

a. 蓝色圆点是根据速度谱计算的层速度,蓝色曲线是其拟合多项式曲线,压力仓外的红色三角是实测钻井层速度,压力仓内密集红色三角形(每 20 ms 一个)连成的线是外推层速度;b. 蓝色线是根据速度谱计算的层速度预测的剩余压力系数,压力仓外的红色线是根据测井层速度预测的剩余压力系数,压力仓内红色线是外推剩余压力系数

4 结论

在盆地深部实测层速度与根据速度谱计算的层速度存在很大差异情况下,如果深部存在压力仓,那么可以基于 Hunt 提出的“压力仓模型”约束钻井深度以下的深部层速度外推,外推的基本公式是 Fillippone 提出的层速度和地层压力之间函数关系式。这种基于“压力仓模型”约束的外推,提高了层速度外推的可靠性。

参 考 文 献

1 Fillippone W R. Estimation of formation parameters and the predic-

tion of overpressure from seismic data [J]. The SEG Research Symp, Geopressure Studies, 1982, 10: 51 ~ 57
2 许浚远,陈荣书. 含油气盆地地层压力仓群模式 [A]. “八五”地质科技重要成果学术会议论文选集 [C]. 北京:冶金工业出版社, 1996. 565 ~ 567
3 余晓宇,吴亚军,罗开平,等. 利用地震层速度和声波时差预测盖层封闭能力 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 155 ~ 159
4 邵新军,许响,吕中锋,等. 地层流体压力预测方法的讨论 [J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(1): 100 ~ 102
5 魏茂安,陈潮,王延江,等. 地层孔隙压力预测新方法 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(3): 396 ~ 400
6 Hunt J M, Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartment [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74: 1 ~ 12

(编辑 高 岩)

(上接第 878 页)

11 姚姚,唐文榜. 深层碳酸盐岩岩溶风化壳洞缝型油气藏可检测性的理论研究 [J]. 石油地球物理勘探, 2003, 38(6): 623 ~ 629
12 Yao Yao, Xi Xian. Reflected wavefield in random media: a review [J]. Journal of Geophysics and Engineering, 2004, 1(2): 147 ~ 152
13 吴俊峰,姚姚,撒利明. 碳酸盐岩特殊孔洞型构造地震响应特征分析 [J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(2): 180 ~ 185
14 吴永国,贺振华,黄德济. 串珠状溶洞模型介质波动方程正演与偏移 [J]. 地球物理学进展, 2008, 23(2): 539 ~ 544
15 陈广坡,潘建国,管文胜,等. 碳酸盐岩岩溶型储层的地球物理响应特征分析 [J]. 天然气勘探与开发, 2005, 28(3): 43 ~ 46
16 何军,王奕. 模型正演技术在碳酸盐岩储层预测中的应用——以川东南地区茅口组为例 [J]. 江汉石油职工大学学报, 2006,

19(2): 3 ~ 5
17 杜正聪,贺振华,黄德济. 缝洞储层地震波场数值模拟 [J]. 勘探地球物理进展, 2003, 26(2): 103 ~ 108
18 杜正聪,贺振华,黄德济,等. 缝洞模型波动方程正演与偏移 [J]. 成都理工大学学报, 2003, 30(4): 386 ~ 389
19 邬长武,龚福华,魏建新,等. 地震物理正演模拟在古岩溶储层研究中的应用 [J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(3): 74 ~ 76
20 孙东,张虎权,潘文庆,等. 塔中地区碳酸盐岩洞穴型储集层波动方程正演模拟 [J]. 新疆石油地质, 2010, 31(1): 44 ~ 46
21 孙东,张虎权,王宏斌,等. 一体化研究方法在塔中地区碳酸盐岩储层预测中的应用 [J]. 海相油气地质, 2010, 15(1): 68 ~ 72

(编辑 张亚雄)