

利用压实模拟计算地层古厚度 及差异压实量的尝试

关振良

(中国地质大学, 武汉 430074)

本文通过实例阐述了利用压实模拟计算地层古厚度和差异压实量的原理和方法, 并对其方法的优缺点进行了讨论。

关键词 压实模拟 古厚度 差异压实量

作者简介 关振良 男 29岁 讲师 石油地质专业

一、前言

关于岩石的压实模拟, 前人做过不少工作, 但大多都是对泥岩进行的, 并主要用于油气运移研究。卢书铨(1987)对含油泥质沉积物进行了压实模拟, 研究其排烃率。张博全等(1990)对中国东部中生代含油(气)盆地的泥岩进行了压实模拟, 用于研究盆地的剥蚀量及油气运移。本文主要是通过对砂泥岩的压实模拟, 实现对某一层段的地层古厚度进行整体恢复, 并计算不同部位的差异压实量。

由于不同类型的沉积物在埋深压实过程中, 在相同的外界条件下, 其压实程度不同, 因此在横向不均一地层中常形成差异压实构造。

在石油勘探中常发现, 在一个砂质扇体或古河道砂岩体上, 其上覆地层中出现一个鼻状构造或背斜构造, 人们很容易得出这是沉积背斜或差异压实背斜的结论。然而这些构造是否是由单一的差异压实因素造成的? 如果还有其他构造成因, 那么它们谁占主要地位? 它们各自能造成多大的构造幅度? 研究清楚这个问题对正确地了解区域构造作用的强弱, 以及寻找油气圈闭的空间展布规律是具有重要意义的。

要想知道差异压实量能产生多大的构造幅度, 就需要恢复地层的古厚度, 并在这个基础上计算地层的压实量及差异压实量。恢复地层的古厚度还可用于研究地层的埋藏史、成岩史及有机质的热演化史等方面。

二、基本原理

压实量是指某地史时期沉积层的古厚度与今厚度之差, 即:

$$H_{\text{压}} = H_{\text{古}} - H_{\text{今}} \quad (1)$$

差异压实量是指两点间压实量之差, 即:

$$\Delta H_{\text{压}} = H_{\text{压}}^1 - H_{\text{压}}^2 \quad (2)$$

图1是说明这两种关系的图示。差异压实量就是两点间因差异压实所形成的构造幅度。

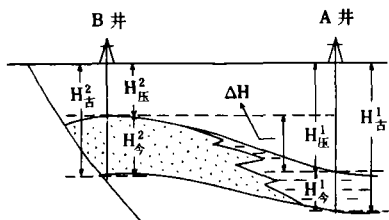


图1 计算差异压实量的图示

其中, x 是指沉积层刚沉积时底面的深度, 即古厚度(m); z_1 、 z_2 为沉积层顶面和底面所到达的最大埋深(m); $\varphi(z)$ 代表地层孔隙度与埋深的函数关系式。从(3)式可知只要找出孔隙度与埋深的函数关系式, 即可通过求解上式中的 x 而求得任一已知顶底面埋深的岩层的古厚度。但因为砂岩和泥岩孔隙度与埋深的函数关系式有所不同, 因此对于一个砂泥岩互层的层段前人曾提出把砂泥岩分开再对其古厚度进行逐层计算的逐层恢复法(袁炳存等, 1986)。但该方法存在两大问题: (1) 对于一个砂泥岩互层频繁的层组或层段, 计算工作量太大; (2) 由于砂岩的成岩后生作用, 其孔隙度与埋深的函数关系式难以确定, 常因成岩作用改造而不能反映其本来面貌。为此笔者采用压实模拟的方法, 对于一个砂泥岩互层频繁的层组, 求出其总体的孔隙度与埋深的函数关系式, 对一个层段的古厚度进行整体恢复。这样就避免了逐层恢复法的两大不足之处。

三、实例

这是我们对中原油田胡状集构造中沙三³段地层所作的一次尝试。

通过地质研究, 发现在 A 井和 B 井之间沙三³段地层的顶面有一鼻状构造。B 井处于鼻状构造的高点处, A 井处于下倾方向的边缘(图1)。通过对沙三³段砂岩百分含量的研究, 发现在平面上砂岩百分含量等值线的形态与鼻状构造的形态相似。砂岩百分含量在 B 井处最高, 为35%左右。从 B 井到 A 井砂岩含量渐渐减小, A 井处仅为20%左右。因此怀疑这个鼻状构造是由差异压实引起的。为了进一步证实, 我们对 A、B 两井沙三³段地层的古厚度进行了恢复, 并计算了其差异压实量。

1. 压实模拟

(1) 模拟方案的设定

影响岩石压实情况的主要因素有: (1) 上覆地层压力, (2) 埋藏时间, (3) 所经历的地温梯度, (4) 岩石孔隙中流体的排出条件。这四种因素直接影响着压实曲线的形态(张博全等, 1990; Rieke H. III et al., 1984)。我们的模拟方案也主要从这几个方面考虑。

模拟压力是根据上覆负荷确定, 可表示为 $p = HdC_1$ 。式中, p 为模拟压力(MPa); H 为上覆地层厚度(m); d 为地层总体密度(kg/dm^3); C_1 为地质漫长时间和实验室的瞬息时间差别的压力时间效应系数。

模拟温度是根据地温梯度确定, 可表示为 $t = HT' \cdot C_2/100$ 。式中, t 为模拟温度($^{\circ}\text{C}$); T' 为地温梯度($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$); C_2 为地质漫长时间与实验室的瞬息时间差别的温度时间效应系数。

模拟时间是根据地层埋藏史决定。图2为 A 井的埋藏史图(B 井与其极为近似)。从图上可以看出, 模拟层沙三³段的底界从开始沉积到达到最大埋深时所经历的时间约为10Ma。由

于岩石的压实是不可逆的,在上升剥蚀后,地层的再埋藏没有达到原来的最大埋深,因而压实情况不会改变,即现在的压实情况还保持着上升剥蚀前的状态。因此起决定性的时间也就是从沉积到达到最大埋深时的10Ma。而各段的相对时间是 $E_s^3; E_s^2; (E_s^1 + E_d) = 2; 2; 6$ (时间单位)。

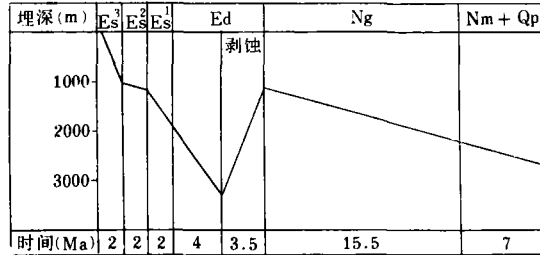


图2 模拟区 A 井埋藏史图

E_s^3 —沙河街组三段, E_s^2 —沙二段, E_s^1 —沙一段, E_d —东营组, N_g —馆陶组, N_m —明化镇组, Q_p —平原组, 作图时假定东营组一半时间用于沉积, 一半时间用于剥蚀。

岩石孔隙中流体的排出条件取决于岩层的垂向和侧向的配置关系,在模拟过程中还受到仪器设备的限制。

通过对模拟井所在区的地层埋藏史、构造发展史及古地温史的研究,我们设计了一套压实模拟方案,如表1。

表1 压实模拟方案及结果表

点号	模拟深度 (m)	模拟压力 (kg/cm ²)	模拟温度(°C)	模拟时间 (min)	孔隙度(%)	
					A 井样品	B 井样品
1	0	0	15	0	62.09	59.51
2	100	22	19	12	38.80	38.77
3	200	43	22	12	35.45	35.97
4	300	66	26	12	32.88	33.58
5	400	88	29	12	30.91	31.09
6	500	110	33	12	29.60	29.91
7	600	133	36	12	28.24	28.98
8	700	156	39	12	26.74	28.11
9	800	179	43	12	25.64	27.37
10	900	202	46	12	24.64	26.31
11	1000	226	49	12	23.62	25.64
12	1100	249	53	20	22.52	24.74
13	1200	273	56	20	22.08	24.37
14	1300	297	59	20	21.14	23.95
15	1400	326	63	20	20.20	23.16
16	1500	345	66	20	19.19	22.85
17	1700	394	73	42	18.75	21.43
18	1900	413	80	42	17.59	20.83
19	2100	494	86	42	16.75	20.10
20	2300	544	93	42	15.84	19.29
21	2500	595	100	42	15.16	18.68
22	2700	646	106	42	14.43	18.21
23	2900	698	113	42	13.93	17.77
24	3100	749	120	42	13.26	17.46
25	3300	801	127	42	12.83	17.00

(2)实验仪器

本次压实模拟是采用我们自行设计的高压控温压实仪(图3)进行的。仪器主要由动力系统、工作缸(釜体)、位移装置、液体收集装置及控温测温仪表组成。其过滤和排液主要是通过

安装在上下活塞中的金属滤片(粉末冶金片)和多孔钢圆板实现,其设计以从工作缸内的泥浆中挤压出澄清的水为标准,达到流体排出畅通而又不让固体颗粒出来的目的。

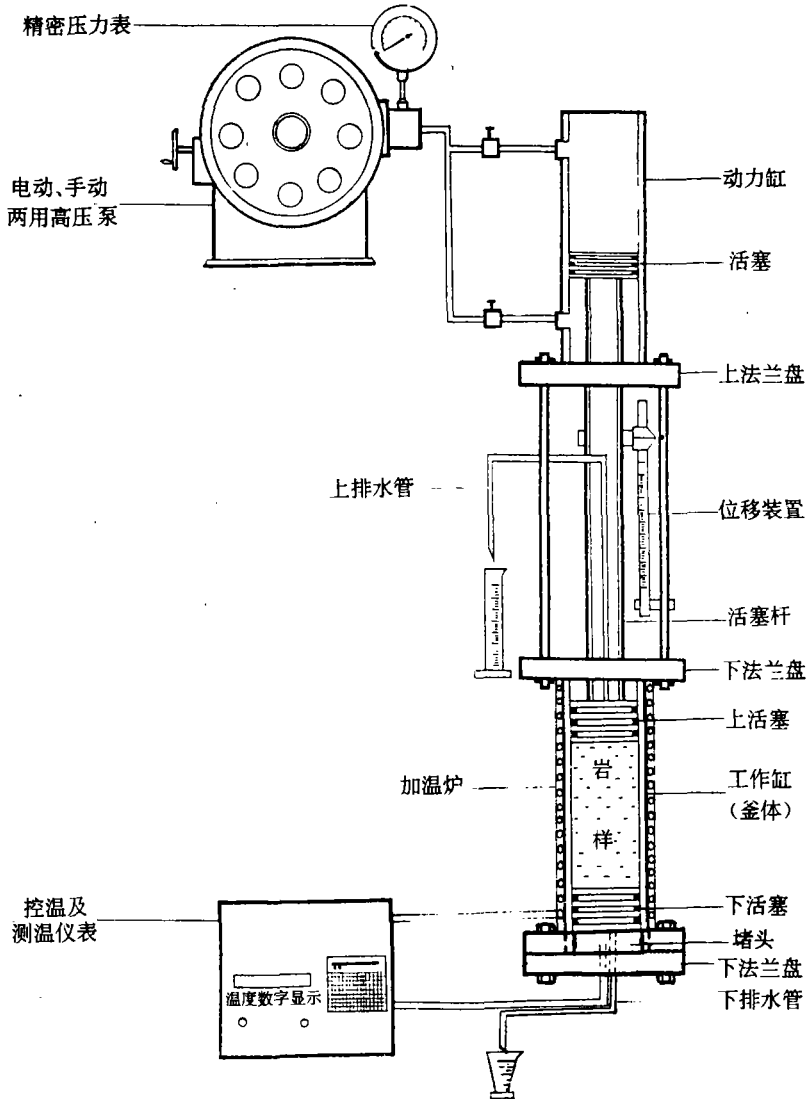


图3 高压控温压实仪示意图

由于仪器设计所限,我们只考虑岩石在压实过程中的垂向排液,对侧向排液未能考虑。

(3) 模拟过程

我们从A井和B井中分别取来沙三³段的砂岩和泥岩岩芯,粉碎过筛后再按比例称好样品(其中A井的样品中砂岩占20%,B井的样品中砂岩占35%),再把样品按砂泥岩互层的模式洒入高压控温压实仪的釜体中,然后按设计方案进行压实模拟。在每个实验点上都按照设定的压力和温度恒压恒温,到了设定的模拟时间时,记录位移装置所记录的位移及液体收集装置中所收集的液量,然后加温加压进入下一个实验点。

通过压实模拟得到结果如表1和图4。图4-A代表A井中沙三³段所经历过的压实过程,

图4-B 则代表 B 井中沙三³段所经历过的压实过程。

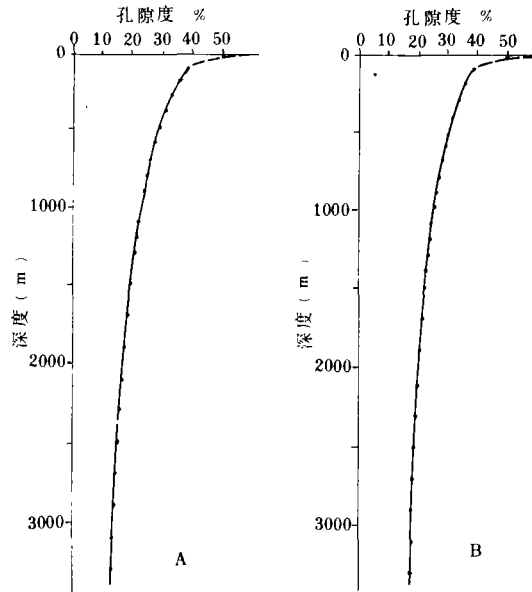


图4 压实模拟曲线图

(4)数据整理

为了求得孔隙度与埋深的函数关系式,我们把压实模拟所得的数据进行回归分析。结果表明,孔隙度与埋深并不服从单一的函数关系式,而是分为两段:0~800m 服从一个关系式,800m 以下又服从另一个关系式。

通过数字处理和计算机绘图,得到如图5的回归曲线,它们的方程分别为:

$$A-1: \quad \varphi = 39.79769 e^{-0.00057z} \quad R = -0.99$$

$$A-2: \quad \varphi = 30.57933 e^{-0.00028z} \quad R = -0.99$$

$$B-1: \quad \varphi = 39.35240 e^{-0.00049z} \quad R = -0.98$$

$$B-2: \quad \varphi = 30.56337 e^{-0.00019z} \quad R = -0.99$$

2. 古厚度及差异压实量的计算

根据分层数据可知,沙三³段在 A 井处底面的现埋深为2726m,顶面的现埋深为2175m,其今厚度为551m;在 B 井处底面的现埋深为2430m,顶面的现埋深为1921m,其今厚度为509m。根据埋藏史的研究,沙三³段的底面曾经达到过3300m 的深度,是因后期地层上升剥蚀才达到现在的深度的,因此沙三³段的顶面和底面曾到达过的最大埋深为:

A 井: 顶面 2749m 底面 3300m

B 井: 顶面 2791m 底面 3300m

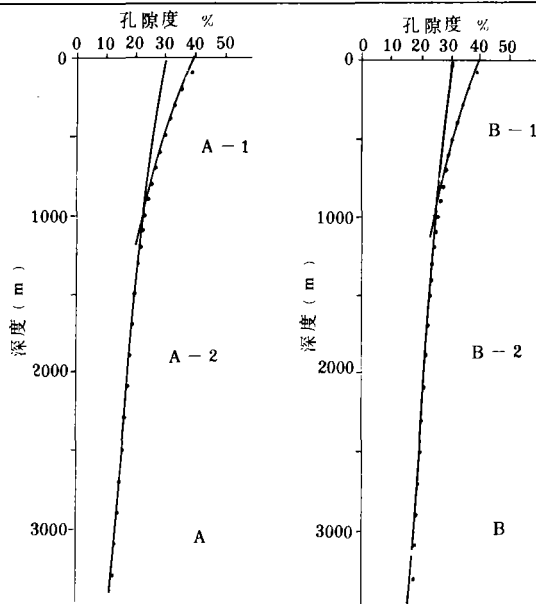


图5 孔隙度与埋深关系曲线图

根据(7)式,对A井应有:

$$\int_0^x (1 - 0.379769 e^{-0.00057z}) dz = \int_{2749}^{3300} (1 - 0.3057933 e^{-0.00028z}) dz$$

解得 $x=711.45m$ 。对B井应有:

$$\int_0^x (1 - 0.393524 e^{-0.00049z}) dz = \int_{2791}^{3300} (1 - 0.3056337 e^{-0.00019z}) dz$$

解得 $x=637.10m$ 。即沙三³段在A井处 $H_{古}$ 为711.45m, $H_{今}$ 为551m, $H_{压}$ 为160.45m(711.45~551);在B井处 $H_{古}$ 为637.10m, $H_{今}$ 为509m, $H_{压}$ 为128.10m(637.10~509)。由此可得A、B两井的差异压实量 $\Delta H_{压}$ 为32.35m(160.45~128.10)。

上述的计算结果表明,沙三³段由差异压实引起的构造幅度仅为32.35m。然而根据现在沙三³段在A、B两井的顶面埋深可知,沙三³段顶面在A、B两井处的高差为254m,除去由断层引起的落差145m,得到由地层上拱所形成的构造幅度为109m(254~145)。由此可见由沙三³段的差异压实所引起的构造幅度仅占总幅度的30%,而其它的70%,可能由构造应力造成。

四、结论及存在问题

计算沉积层的古厚度的关键是要找到准确的孔隙度与埋深的函数关系式,我们采用压实模拟的方法具有很大的优点,一方面我们通过压实模拟求出了砂泥岩互层频繁层段的整体孔隙度与埋深的函数关系式,对地层的古厚度实行整体恢复,这样避免了逐层恢复法所需的大量计算,提高了效率;另一方面也克服了砂岩孔隙度与埋深的函数关系式难以求准的问题,提高了计算精度。但仍存在一些问题:

1. 不论是砂岩还是泥岩,孔隙度的大小不仅取决于它们承受的压力(到达的埋深)、温

度、受压时间(埋藏时间)和排液条件,还受其矿物成份、含矿量、粒度、分选性和堆集方式等的影响。因此在制作压实模拟样品时,应把要模拟的层段的各种不同类型的岩石都取到,然而做到这一点是不可能的,这无疑对求准孔隙度和埋深的关系式带来影响。

2. 在设计仪器及模拟方案时,对侧向排液考虑不周,这也对模拟结果带来影响。这有待于以后的研究工作中不断解决。

本文在实验工作和成文过程中都得到崔武林工程师和张博全副教授的支持和帮助,在此特表谢意!

(收稿日期:1989年11月15日)

参 考 文 献

- [1]卢书鐸. 石油实验地质, 1987, 9(1): 22~33
- [2]张博全等. 地球科学, 1990, 15(1): 37~46
- [3]袁炳存, 钱奕中. 石油实验地质, 1986, 8(3): 253~261
- [4]Ricke H ■, Chilingarian GV, 徐怀大译. 泥质沉积物的压实, 1984

AN ATTEMPT TO CALCULATE THE PRIMARY THICKNESS AND THE AMOUNT OF DIFFERENTIAL COMPACTION IN A FORMATION WITH AN APPLICATION OF COMPACTION SIMULATIONS

Guan Zhengliang
(China Geology University, Wuhan)

Abstract

A new method and its principles are introduced to calculate the primary thickness and amount of differential compaction in a formation, through practical studies of compacting simulations. Furthermore, the advantages and defects of the method are also discussed in this paper.