

沉积盆地碎屑岩原始厚度恢复经验图版

——一种快速实用的方法

魏永佩

(西北大学地质学系, 西安 710069)

陈会鑫

(西安工程学院, 西安 710054)

目前,对沉积盆地地层原始厚度的恢复主要有压实法、压实系数法、脱压实法、镜质体反射率法和地质统计模型法。纵观这些方法,大多数受应用条件、适用范围的限制,难于推广;有的方法虽很精确,但计算过程繁杂,应用起来十分不便;有的方法存在较大的缺陷和较明显的不合理之处。有鉴于此,在系统分析和总结的基础上,以某人工井地层原始厚度恢复结果为蓝本,充分考虑碎屑岩的岩性特征,绘制了地层原始厚度恢复经验图版。运用该图版,只要知道盆地地层现今的观察厚度和岩性,便可直接查到地层的原始厚度。

关键词 沉积盆地 地层原始厚度 恢复 经验图版

第一作者简介 魏永佩 男 35岁 讲师(博士生) 石油地质与勘探

沉积盆地古厚度的恢复是一项研究较薄弱而又极其重要的课题。盆地模拟的基础是地史模拟,古厚度的恢复是地史模拟的核心内容。计算盆地沉积、沉降速率,恢复古构造演化史,进而评价油气藏的形成与破坏,都离不开对地层原始厚度的分析。因此,寻求一种简单、方便而实用的地层原始厚度恢复方法是一项很有意义的工作。

1 恢复方法介绍

1.1 压实率恢复法

随着盆地的沉降和地层压力的增大,沉积物的孔隙度愈来愈小,岩石孔隙中的流体将随之排出,最终造成地层厚度的减小。因此,地层的原始厚度(H_0)为

$$H_0 = H + \Delta H$$

式中 H 为压实后的厚度(现今厚度); ΔH 为由于压实作用引起的厚度变化值。压实率(K)则为

$$K = \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{H_0 - H}{H_0} = 1 - \frac{H}{H_0}$$

于是

$$H_0 = \frac{H}{1 - K} \quad (1)$$

通过岩石模拟实验可知,纯砂岩的最终压实率 $K = 0.2$, 泥岩最终压实率 $K = 0.6 \sim 0.7$ 。对于一口

由 n 个地层组成的钻井地层原始总厚度的计算可采用下列方法^[1]

$$H_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{1 - K_i}$$

式中 $H_{\text{总}}$ 为地层原始总厚度; H_i 为第 i 层地层现今观察厚度; K_i 为第 i 层的岩石压实率,对于砂岩取 0.2 , 对于泥岩取 $0.6 \sim 0.7$ 。

该方法仅适用于连续沉降的和未遭受剥蚀的沉积凹陷原始厚度的恢复。

1.2 压实系数恢复法

设 K 为压实系数, h 为埋藏深度,则

$$K = b - a \ln h$$

式中 a, b 为常数;对于泥页岩 $a = 0.1$, $b = 1.46$; 对于砂岩 $a = 0.08$, $b = 1.37$ 。于是,原始厚度为^[2]。

$$H_0 = \frac{1}{K} H = \frac{H}{b - a \ln h} \quad (2)$$

运用该方法要注意考虑如下几种不同情况:

(1) 对灰岩和膏盐层不进行古厚度恢复; (2) 单层砂岩和泥岩的埋藏深度取对应层位的中心部位; (3) 在砂泥岩互层的剖面中,要将单层岩性区分开,分别按上述公式进行计算恢复。

1.3 地质统计模型预测原始厚度法

该方法是以已恢复的地层原始厚度为基础,建立原始厚度与观察厚度之间的数学模型,预测未知地层的原始厚度。该方法要求模型井和待恢复井所处部位具有相同的地质演化历史。

1.4 镜质体反射率 R_0 估算恢复法

镜质体反射率 R_0 为生油岩的成熟度判别指标, 主要用来分析沉积盆地的热史。在无重大的热事件发生时, 随着沉积物埋藏深度的增大, 镜质体反射率随之加大, 即 R_0 与深度之间存在正相关关系。因此利用 R_0 随深度变化也可估算沉积岩地层的原始厚度和剥蚀厚度。

该方法的具体步骤为: (1) 选择地层发育齐全, 未沉积间断的钻井, 按等间距测定镜质体反射率 R_0 值, 绘制出 R_0 与深度变化曲线, 并模拟计算对应的数学模型; (2) 将这口井的 R_0 -深度曲线作为参考井, 然后将其它井的 R_0 -深度曲线与该参数井相类比, 估算剥蚀厚度及原始厚度。该项研究须测试大量的 R_0 值, 且要同其它方法结合使用。当地层中含有晚期的岩浆活动时, 也可使 R_0 增高, 在这种情况下, 通过该方法恢复的地层原始厚度误差较大。

1.5 脱压实恢复法

利用脱压实法恢复地层原始厚度共有如下几个步骤。

(1) 作出孔隙度随深度变化曲线, 寻找孔隙度随埋深的定量关系。此关系式一般为指数形式^[1,3,4], 即

$$\varphi = \varphi_0 e^{-cy}$$

式中 c 为常数; y 为深度; φ_0 为当 $y = 0$ 时, 岩石的孔隙度。

对于一给定地区, 由于其构造演化历史的不同及沉积、沉降速率的差异, 孔隙度与深度的最佳相关关系并非如此简单的统一模式。对于每一口井, 其孔隙度与深度的相关关系须要重新进行拟合计算, 确定孔隙度随埋深的真实变化规律。

(2) 利用如下的计算公式, 计算地层的原始厚度^[5,6]

$$y'_2 - y'_1 = y_2 - y_1 + \frac{1}{K} \left[\ln \frac{\frac{1}{\varphi_0} + Ky_2}{\frac{1}{\varphi_0} + Ky_1} + \frac{\frac{1}{\varphi_0} + Ky'_2}{\frac{1}{\varphi_0} + Ky'_1} \right] \quad (3)$$

式中 y_2, y_1 为某一地层现今的底面和顶面埋深; y'_2 和 y'_1 分别为地质时期某一时刻该地层的底面和顶面埋深; φ_0 为地表岩石的孔隙度; K 为与岩性有关的系数。

令 $y'_1 = 0$, 上式中的 y'_2 实际为原始地层厚度, 即 $y'_2 = H_0$, 令 $y_2 - y_1 = H$ (现今地层厚度), 于

是上述公式变为

$$H_0 = H + \frac{1}{K} \left[\ln \frac{\frac{1}{\varphi_0} + Ky_2}{\frac{1}{\varphi_0} + Ky_1} \right] + \frac{1}{K} \ln \frac{\frac{1}{\varphi_0} + Ky'_2}{\frac{1}{\varphi_0}} =$$

$$H + \frac{1}{K} \ln \frac{\frac{1}{\varphi_0} + Ky_2}{\frac{1}{\varphi_0} + Ky_1} + \frac{1}{K} \ln (1 + K \varphi_0 H_0)$$

移项得

$$H_0 - \frac{1}{K} \ln (1 + K \varphi_0 H_0) = H + \frac{1}{K} \ln \frac{\frac{1}{\varphi_0} + Ky_2}{\frac{1}{\varphi_0} + Ky_1} \quad (4)$$

该方程为隐式, 利用迭代法在计算机中可求得精确解。

利用该方程进行地层原始厚度恢复时, 须注意: (1) 要做古水深校正; (2) 要进行古海平面升降的校正; (3) 消除沉积物对水的过剩重量的影响。

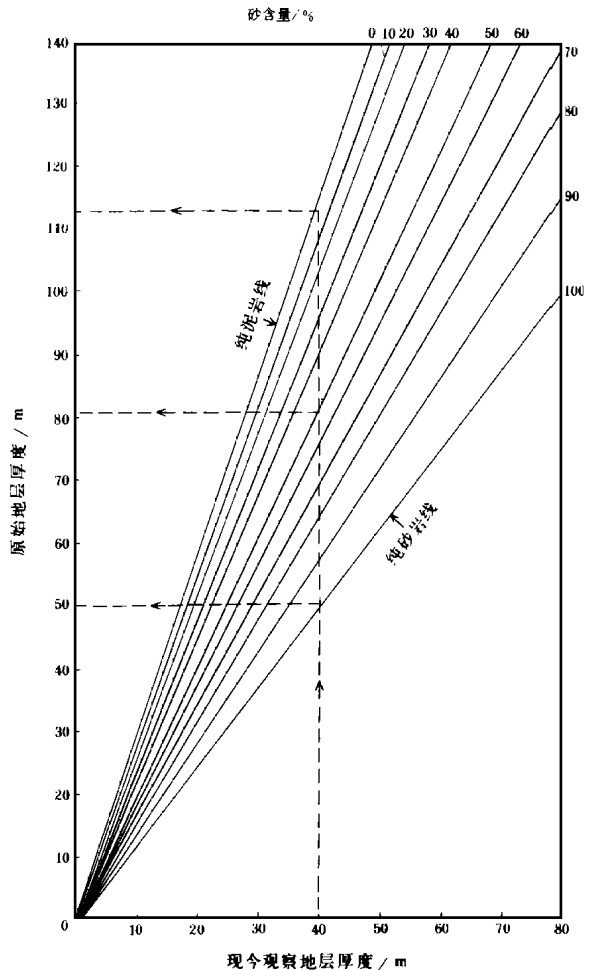


图 1 沉积盆地地层原始厚度恢复图版

Fig. 1 The recovering plate on initial strata thickness of sedimentary basin

2 地层原始厚度恢复图版的建立

盆地现今观察厚度是沉积物经过地质历史时期沉积、埋藏、压实、遭受剥蚀及再沉降的最终残留厚度。若仅用此残留厚度分析盆地演化史是不恰当的。

前面介绍的方法仅适用于纯砂岩和纯泥岩。在自然界中, 纯砂岩和纯泥岩是不多见的, 介于纯砂岩

和纯泥岩之间的过渡岩石类型是最常见的。在上述诸方法中, 缺乏对砂泥岩过渡类型的地层原始厚度的直接恢复。方程(2)计算误差较大, 如当观察厚度小于等于 100 m 时, 计算出的原始地层厚度比观察厚度还要小, 这显然是不合情理的。作者以方程(4)为基础, 计算恢复了人工假设井的地层原始厚度(表 1), 并绘制了地层原始厚度恢复经验图版(图 1)。

表 1 某人工井地层原始厚度恢复结果表

Table 1 The recovering results on initial strata thickness in certain artificial well

单位: m

今厚度	砂 质 含 量/ %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	142.85	134.82	126.79	118.75	110.71	102.68	94.64	86.61	78.57	70.54	62.50
100	285.71	269.64	253.57	237.50	221.43	205.36	189.29	173.21	157.14	141.07	125.00
150	428.57	404.46	380.36	356.25	332.14	308.04	283.93	259.82	235.71	211.61	187.50
200	571.43	539.29	507.14	475.00	442.86	410.71	378.57	346.43	314.29	282.14	250.00
250	714.29	674.11	633.93	593.75	553.57	513.39	473.21	433.04	393.86	353.68	312.50
300	857.14	808.93	760.71	712.50	664.29	616.07	567.86	519.64	471.43	423.21	375.00
350	1000.00	943.75	887.60	831.25	775.00	718.75	662.50	606.25	550.00	493.75	437.50
400	1142.86	1078.57	1014.19	950.00	885.71	821.43	757.14	692.86	628.57	564.29	500.00
450	1285.71	1213.39	1141.07	1068.07	996.43	924.11	851.79	779.46	707.14	634.82	562.50
500	1428.57	1348.21	1267.86	1187.50	1107.14	1026.79	946.43	866.07	785.71	705.36	625.00
550	1571.43	1483.04	1394.64	1306.25	1217.86	1129.46	1041.07	952.67	864.29	775.89	687.50
600	1714.29	1617.86	1521.43	1425.00	1328.57	1232.14	1135.71	1039.29	942.86	846.43	750.00
650	1857.14	1752.68	1648.21	1543.75	1439.29	1334.82	1230.36	1125.89	1021.43	916.96	812.50
700	2000.00	1887.50	1775.00	1662.50	1550.00	1437.50	1325.00	1212.50	1100.00	987.50	889.00
750	2142.86	2022.32	1901.79	1781.25	1660.71	1540.18	1419.64	1299.11	1178.57	1058.04	937.50
800	2285.71	2157.14	2028.57	1900.00	1771.43	1642.86	1514.29	1385.71	1257.14	1128.57	1000.00

3 图版的说明及应用

作者编制的地层原始厚度恢复图版(图 1)充分考虑了砂泥岩组合的岩性特征。该图版的横坐标为现今观察的地层厚度, 纵坐标为恢复的地层原始厚度。图版内分布有以坐标原点为端点向外发散的 11 条直线, 代表岩性的变化。自左向右依次从泥岩向砂岩转变。线段上方的百分数代表碎屑岩的砂岩百分含量。

在实际应用中, 首先将现今地层的观察厚度投影到图版(图 1)的横坐标上, 通过该厚度点作垂直于横坐标的直线。该直线向上与岩性线相交。根据地层的岩性特征(砂岩百分比), 选取砂岩百分含量线, 再通过两线相交的点作平行于横坐标的直线, 该直线与纵坐标相交处的厚度值, 即为恢复的地层原始厚度。

例如, 某井段观察的地层厚度值为 40 m, 地层的砂岩百分含量为 50%, 则通过上述方法恢复的地层

原始厚度为 81 m(图 1); 如果地层为纯砂岩(砂岩的百分含量为 100%), 则通过上述方法恢复的地层原始厚度为 50 m; 若岩性为纯泥岩(砂岩含量为 0%), 则恢复的地层原始厚度为 114.3 m。可见, 观察厚度一致, 但由于地层岩性的变化, 其原始厚度差别是很大的。泥岩的原始厚度较相同观察厚度的砂岩的原始厚度要大得多, 这主要是由于泥岩的可压缩性所致。

利用该图版进行原始地层厚度恢复时, 应注意如下三个应用条件: (1) 该图版仅适用于碎屑岩; (2) 岩石已经强烈压实; (3) 若地层经过剥蚀, 需将剥蚀地层厚度加入到观察厚度中, 再利用图版求取地层原始厚度。对一般陆相沉积盆地, 该方法的应用条件很容易满足。

参 考 文 献

1 Athy L F. Density, porosity and compaction of sedimentary rocks. AAPG

Bull, 1930, 14: 1~ 24

2 刘国臣, 李京昌, 金之钧. 波动地质学研究中资料收集与整理. 石油大学学报, 1994, 18(6): 1~ 7

3 Hedberg H D. Gravitational compaction of clays and shales. Amer J Sci, 1936, 31: 241~ 287

4 Ruby W W, Hubbet M K. Role of fluid pressure in mechanics of overthrust

faulting, II, over thrust belt in geosynclinal area of western wyoming in light of fluid pressure hypothesis. Bull Geol Soc Am, 1960, 60: 167~ 205

5 Lerche I 著. 盆地分析的定量方法(第一卷). 魏增璞, 冷鹏华, 张博文, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1996 7~ 10

6 艾伦 P A, 艾伦 J R 著. 盆地分析: 原理与方法. 陈全茂, 张学预, 李大成, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1995 246~ 248

RECOVERING PLATE ON INITIAL THICKNESS
OF CLASTIC ROCKS IN SEDIMENTARY BASINS:
A quick and practical method

Wei Yongpei
(Northwest University, Xi'an)
Chen Huixin
(Xi'an Engineering College, Xi'an)

Abstract

There are several methods of recovering initial strata thickness such as compaction, coefficient of compaction, dehydration compaction, vitrinite reflectance and geological statistics. Most of these methods have evident shortcomings and are irrational. So the plate of recovering initial strata thickness has established by means of the computation of the initial strata in certain artificial well. The initial strata thickness can be obtained by this method through knowing present strata thickness and lithology in wells. This method is proved to be convenient and practical.

Key Words: sedimentary basin initial strata thickness recovery empirical plate

(上接第 84 页)

Abstract

Geological explanation of logging data is an important link of logging work. When there are scanty core data and more log data, feedforward neural network is a very effective method to recognize the logging lithology. This paper introduces an identifying method of logging lithology by the pattern recognition approach using feedback neural network. The approach firstly regards the relationship between drilling cores and logging parameters as an identifying pattern so as to obtain intelligent knowledge from the identifying pattern, and finally applies the knowledge to identify the logging lithology of well. The method was used in lithologic recognition of the 4th member of Shahejie Formation in Shengli Oilfields, the result is satisfactory and shows good application prospects.

Key Words: neural network B-P algorithm pattern recognition logging lithology