

文章编号: 1000-0550(2010)04-0730-05

对沉积盆地剥蚀地层超补偿沉积的新认识^①

——以东濮凹陷为例

范昌育^{1,2} 王震亮^{1,2} 李萍³

(1. 西北大学 地质学系 西安 710069; 2. 大陆动力学国家重点实验室(西北大学) 西安 710069; 3. 中国海洋石油研究中心 北京 100027)

摘要 在沉积地层剥蚀厚度恢复方法中,被剥蚀地层后期所经历的“超补偿”或“欠补偿”问题,一直是制约这些方法选取和恢复结果正确与否的根本因素。以东濮凹陷为例,分析了利用泥岩压实法恢复东营组剥蚀厚度的合理性,并由此引发了对被剥蚀地层补偿沉积的新认识。研究认为,在利用泥岩压实法等与孔隙度变化趋势有关的剥蚀厚度恢复方法时,被剥蚀地层的补偿沉积应该理解为“重量”的补偿;在利用与温度指标相关的恢复方法时,被剥蚀地层的补偿沉积应该理解为“温度”的补偿,而非简单地理解为“厚度”的补偿。

关键词 超补偿 剥蚀厚度 泥岩压实 沉积速率

第一作者简介 范昌育 男 1982年出生 博士研究生 油气运移成藏 E-mail: fcybestorc@163.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

前人认为,地层在遭受剥蚀后补偿沉积有两种情况:(1)后期补偿沉积厚度大于剥蚀厚度称为超补偿;(2)后期补偿沉积厚度小于剥蚀厚度称为欠补偿。目前剥蚀量的计算方法很多,主要有:砂岩孔隙度法^[1]、泥岩压实法^[2,4,6,7]、镜质体反射率法^[3~7]、磷灰石裂变径迹法^[8]、沉积速率法^[9]、未被剥蚀地层厚度趋势延伸法^[7]及波动分析法^[10]等。对于第二种情况大多数方法均适用,而对于第一种情况,超补偿可能改变剥蚀前沉积地层内的地质条件,比如:孔隙由浅至深的变化,将导致由声波时差所反映的压实趋势的改变;地温变化将导致与热变化有关的参数(如 R_0)趋势的改变等,其结果必然使得应用这些参数进行剥蚀厚度恢复的方法不适用。

东濮凹陷东营组在东营运动抬升剥蚀后再沉积的欠补偿、超补偿问题,一直未有定论。重新审视以上方法,造成这些方法使用局限性的根本原因不是超补偿,而是补偿沉积后被剥蚀地层的地质条件到底有无改变。因此,在利用泥岩压实法前,有必要进行剥蚀面以下地层在补偿沉积后,压实趋势到底有无改变或改变大小的研究。

1 泥岩压实规律

东濮凹陷正常压实趋势以东营组不整合面为界

分为两段:新近系正常压实段和古近系正常压实段(图1)。

1.1 新近系正常压实趋势特征

新近系馆陶组发育大段砂、砾岩,泥岩仅以夹层的形式出现,砂、砾岩有极好的输导性,使得泥岩在压实过程中水分的排出快而彻底,导致泥岩的声波时差值很低,几乎与相邻砂岩的声波时差值接近,进而使大多数井新近系正常压实趋势只延伸到了馆陶组顶。

1.2 古近系正常压实趋势特征

古近系正常压实趋势线大多数井在东营组截止,仅有少数井正常压实趋势延伸到了沙二段,而对于少数由于正断层作用,东营组缺失的井,正常压实趋势甚至延伸到了沙三段。

对比发现,古近系正常压实趋势的斜率明显较新近系大(图1)。实际地质条件下,影响压实斜率的因素很多,其中主要有沉积物的沉积速率、地层的岩性组合及热增温率。

2 影响压实规律的因素

2.1 岩性组合

正常压实段内的岩性组合是影响压实斜率的一个重要因素,一般砂泥岩互层,单层泥岩厚度较小,砂岩含量较高的地层,泥岩在压实的过程中,孔隙水容易被排出到相邻的砂岩层内,在泥岩中不易产生欠压

①中国石油化工集团公司重点科技攻关项目(编号:P02084)和“大型油气田及煤层气开发”国家科技重大专项课题“中西部前陆盆地油气成藏与富集规律”(编号:2008ZX05003-002)资助。

收稿日期:2009-08-01;收修改稿日期:2009-10-10

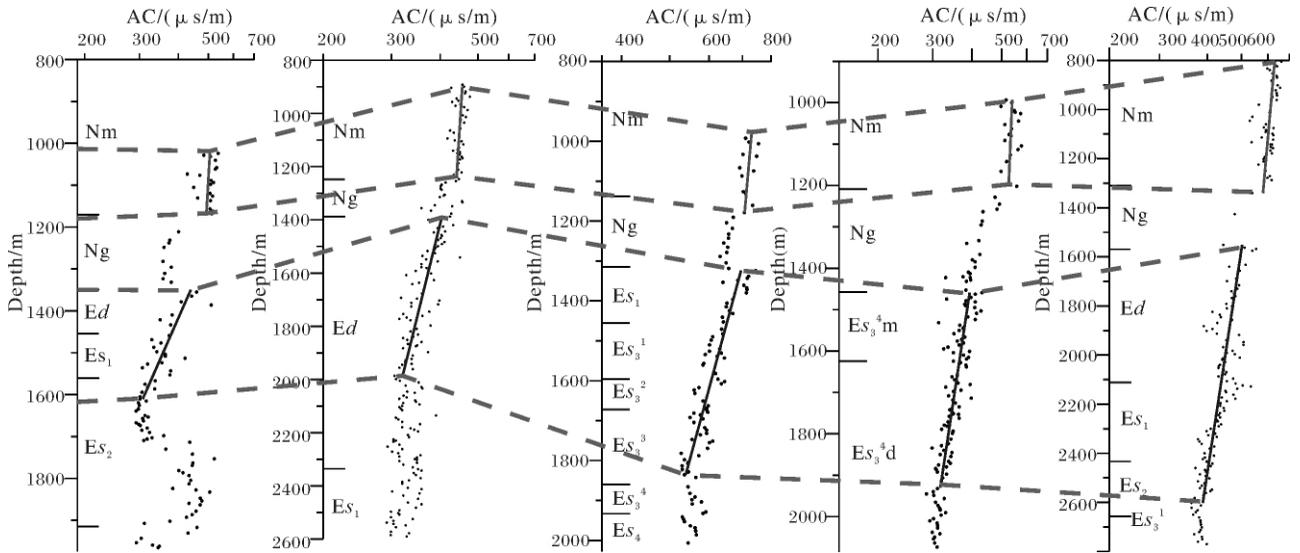


图 1 东濮凹陷部分井泥岩压实曲线图

Fig.1 The mudstone compaction curves of some wells in Dongpu Depression

实状态,会导致压实斜率变大;当单层泥岩厚度较大时,泥岩中的孔隙水不易被排出,容易产生欠压实状态,使压实斜率变小。

从每 50m 统计的泥岩含量结果来看,研究区古、新近系正常压实段内泥岩的排水条件存在三种情况(图 2):

2.1.1 新近系泥岩的排水条件较古近系差

新近系泥岩含量总体在 60% 左右,且每 50 m 泥岩含量的变化幅度较大,泥岩排水条件较好;古近系泥岩含量总体在 20% ~ 40% 之间,每 50 m 泥岩含量的变化幅度不大,泥岩的排水条件较差,如白 1 井。

2.1.2 新近系泥岩的排水条件与古近系相差不大

古、新近系泥岩含量相差不大,皆在 60% 左右摆动,所不同的是新近系的摆动幅度较古近系稍大,古、新近系排水条件比较接近,如胡 47 井。

2.1.3 新近系泥岩的排水条件较古近系好

新近系泥岩的排水条件较古近系好,如胡 24 井,新近系的泥岩含量 40% 左右,古近系的泥岩含量在 60% ~ 80% 之间,新近系泥岩的排水条件明显较古近系好。另外,如庆 61 井,新近系的泥岩含量在 60% ~ 80% 之间,而古近系泥岩含量主要在 80% 左右,新近系泥岩的排水条件也较古近系好。

从三种情况来看,无论那种情况,都没有改变古近系正常压实斜率较新近系大这个事实。可见,岩性组合不是导致本区古近系正常压实斜率较新近系大的原因。

2.2 热增温率

在热胀冷缩的作用下,随地层埋深的增加,泥岩孔隙将发生膨胀作用,导致泥岩压实斜率变小。研究区古、新近系热增温率相差不大(表 1),因此,热增温率也不是影响古、新近系泥岩压实斜率差异的主要因素。

表 1 东濮凹陷不同构造单元地温梯度演化^[11]

Table 1 The temperature gradient of different structural unit in Dongpu Depression

构造单元	E ₂ ~ E ₃ (°C/100m)	N ~ Q (°C/100m)	备注
白庙	3.7	3	白 6 井
中央隆起	3.5	3.4	濮深 14 井 前参 2 井
前梨园洼陷	3.2	3	濮深 10 井 濮深 8 井
西部洼陷	3.2	3.1	濮深 13 井
西部斜坡	3.5	3	庆古 2 井
兰聊断裂带	3.5	3	毛 4 井

2.3 沉积速率

当沉积速度较慢时,有足够的时间使页岩颗粒(扁平的)排列的更好,这样就会随着埋藏而使孔隙度很快地降低,导致压实斜率较大。反之,如果沉积很快,页岩颗粒没有足够的时间去排列,结果在已知深度便产生了较高的孔隙度,导致压实斜率较小^[12](图 3)。

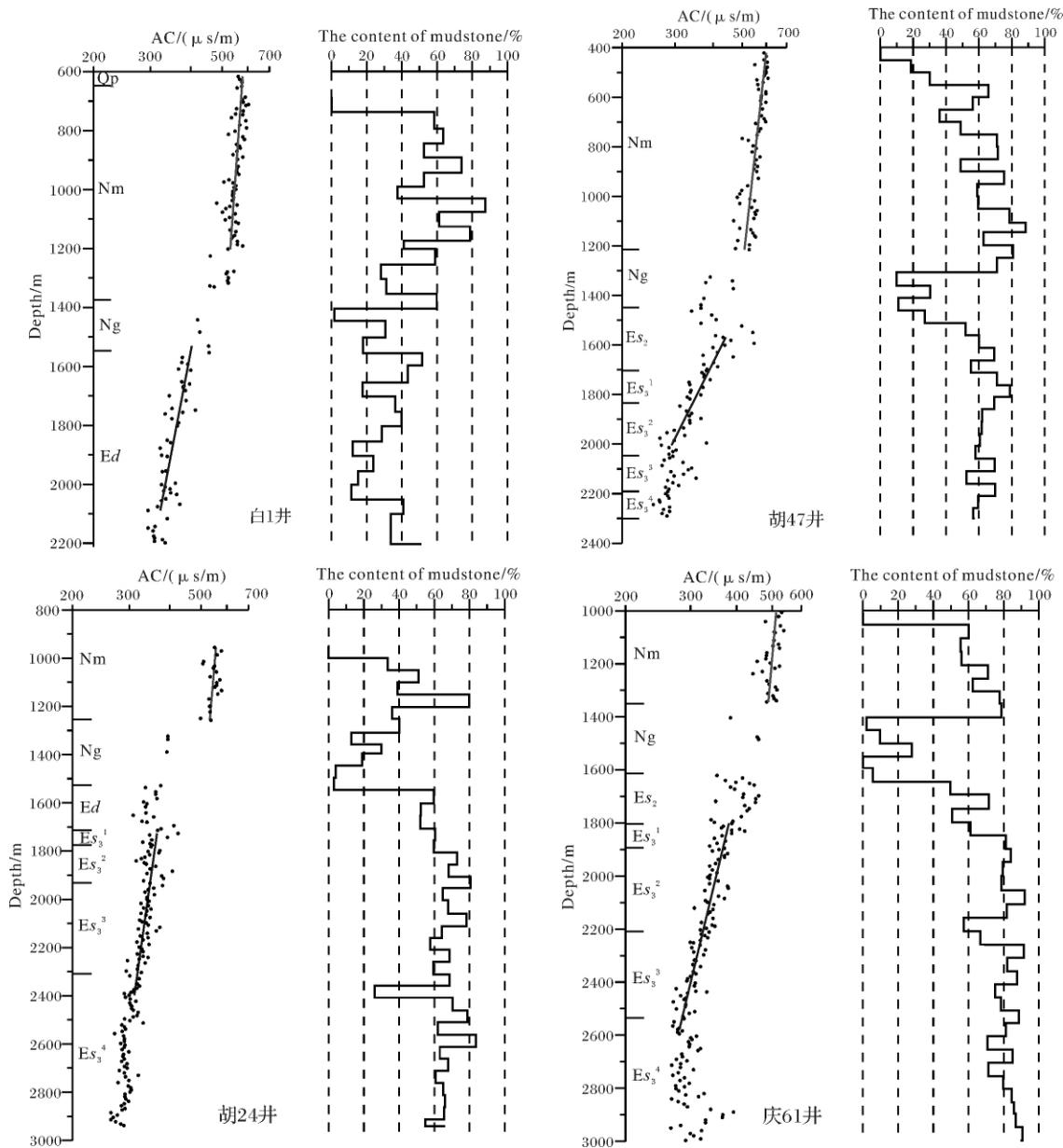


图2 泥岩压实曲线与泥岩含量纵向分布对比图

Fig. 2 The comparison of mudstone compaction to the content of mudstone in the vertical



图3 泥岩颗粒排列示意图

Fig. 3 The sketch showing the arrangement of mudstone grains

系地层的沉积速率明显较古近系大(图4),即在古近系地层沉积时,其沉积模式接近图3A,泥岩颗粒排列紧促,颗粒之间孔隙的可压缩性较差,加之受被剥蚀地层的压实作用,残余地层被压实的更为彻底;新近系地层沉积时,其沉积模式更接近图3B,泥岩颗粒排列的较为疏散,颗粒之间的孔隙较大,泥岩的密度明显较古近系小,加之古近系泥岩的可压实性较差,即

在砂、泥岩压实校正的基础上,恢复了古、新近系正常压实段内未剥蚀地层的原始厚度^①,计算了古、新近系正常压实段地层的沉积速率。对比发现,新近

① 王震亮等. 东濮凹陷浅层流体输导体系与油气成藏研究(内部资料) 2007, 10

使在厚度超补偿的情况下,在快速沉积的新近系地层的压实作用下,古近系泥岩压实斜率被改变的幅度很小,这就如同100 m的铅块被剥了50 m,而后又在其上沉积了100 m的海绵,即使在表面上厚度超补偿的情况下,残余铅块内的压实斜率改变较小。沉积速率是导致古、新近系地层密度与压实趋势差异的主要原因。

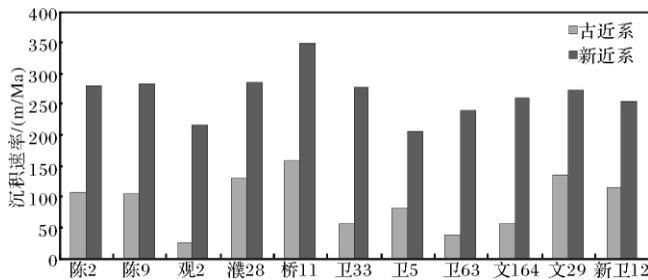


图4 古、新近系正常压实段沉积速率对比图

Fig. 4 The sedimentation rate contrast Paleogene to Neogene in normal compaction section

3 讨论与分析

由前面的分析可知,当地层的沉积速率较小时,形成的地层密度较大,导致泥岩压实斜率较稳定,在后期遭受剥蚀后,再接受一套高速沉积的低密度地层,这套地层厚度即使较被剥蚀地层的厚度大,也对被剥蚀的高密度地层的泥岩压实斜率影响较小,因此,在被剥蚀地层的补偿沉积中,厚度超补偿的地层未必会改变被剥蚀地层的泥岩压实趋势;厚度欠补偿的地层也未必没有改变被剥蚀地层的泥岩压实趋势。改变被剥蚀地层泥岩压实趋势的主要因素是补偿沉积物的“重量”,而非“厚度”。在利用泥岩压实法及与孔隙度变化趋势有关的剥蚀厚度恢复方法时,超补偿应该理解为“重量”的超补偿,而非“厚度”的超补偿。

同理,在利用与温度指标相关的恢复方法时,如果后期补偿沉积时的地温梯度明显较前期剥蚀地层沉积时的地温梯度高时,即使后期发生了厚度超补偿,但由于地温梯度较低,被剥蚀地层的温度,如果没有其沉积时的温度高, R_0 等地温指标就不会发生改变, R_0 等热指标值趋势自然也不会被改变;厚度欠补偿时,如果剥蚀后期地温梯度升高,即使补偿厚度较小,被剥蚀地层的温度也可能超过了其沉积时所经历的温度, R_0 等热指标值趋势也会被改变。此时,被剥蚀地层的补偿沉积应该理解为“温度”的补偿,也非

“厚度”的补偿。

参考文献(References)

- 1 韩用兵,王良书,刘绍文.渤海湾盆地济阳拗陷沙四段和孔店组地层剥蚀厚度恢复[J].高校地质学报,2004,10(3):440-450 [Han Yongbing, Wang Liangshu, Liu Shaowen. The estimation of the erosion thickness of Es₄ and Ek in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2004, 10(3): 440-450]
- 2 Magara K. Thickness of removal sediments, paleopore pressure and paleotemperature, southwestern part of Western Canada Basin [J]. AAPG Bulletin, 1976, 60(4): 554-565
- 3 黄捍东,罗群,王春英,等.柴北缘西部中生界剥蚀厚度恢复及其地质意义[J].石油勘探与开发,2006,33(1):44-47 [Huang Handong, Luo Qun, Wang Chunying, et al. Mesozoic group denudation recovery and its petroleum geologic significance in the west Qaidam Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(1): 44-47]
- 4 Dow W G. Kerogen studies and geological interpretations [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1977, 7: 79-99
- 5 佟彦明,宋立军,曾少军,等.利用镜质体反射率恢复地层剥蚀厚度的新方法[J].古地理学报,2005,7(3):417-424 [Tong Yanming, Song Lijun, Zeng Shaojun, et al. A new method by vitrinite reflectance to estimate thickness of the eroded strata [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(3): 417-424]
- 6 王震,张明利,王子煜,等.东海陆架盆地西湖凹陷不整合面剥蚀厚度恢复[J].石油实验地质,2005,27(1):90-93 [Wang Zhen, Zhang Mingli, Wang Ziyu, et al. Erosion thickness restoration of unconformities in the Xihu Sag [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(1): 90-93]
- 7 王子煜,张明利.东海西湖凹陷新生界主要不整合面地层剥蚀厚度恢复[J].地质论评,2005,51(3):309-318 [Wang Ziyu, Zhang Mingli. Erosion restoration of the major Cenozoic unconformities in the Xihu Depression of the East China Sea [J]. Geological Review, 2005, 51(3): 309-318]
- 8 柳益群,周立发.关于地层剥蚀厚度求取方法的讨论—以吐哈盆地为例[J].西北大学学报:自然科学版,1997,27(4):337-339 [Liu Yiqun, Zhou Lifa. Discussion on a method about eroded strata thickness references with Turpan and Hami Basin [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 1997, 27(4): 337-339]
- 9 Van Hinte. Geohistory analysis: application of micropaleontology in exploration geology [J]. AAPG Bulletin, 1978, 62(2): 201-220
- 10 Г. П. Мясникова И В. Й. Шпильман волновая звошопня осадочных бассейнов [J]. Трупы эапсбингий. Тюмень, 1989
- 11 刘丽,任战利.东濮凹陷热演化史研究[J].石油勘探与开发,2007,34(4):419-423 [Liu Li, Ren Zhanli. Thermal evolution of Dongpu Sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(4): 419-423]
- 12 真柄钦次.压实与流体运移[M].陈荷立,邸世详,汤锡元等译.北京:石油工业出版社,1981:19-23 [Kinji Magara. Compaction and Fluid Migration [M]. Translated by Chen Heli, Di Shixiang, Tang Xiyuan, et al. Beijing: Petroleum Industry Press, 1981: 19-23]

The New Cognition for Compensation Sediment of Eroding Strata in Sedimentary Basin: A case from the Dongpu Depression

FAN Chang-yu^{1 2} WANG Zhen-liang^{1 2} LI Ping³

(1. Department of Geology , Northwest University , Xi'an 710069;

2. State Key Laboratory for Continental Dynamics (Northwest University) , Xi'an 710069;

3. International Research Department of CNOOC Research Center , Beijing 100027)

Abstract In the ways of recovering eroding strata's thickness , the problem of extra-compensation and less-compensation of eroding strata is the essential factor that always restricts the selection of the ways and the result that is whether right or not. Example for Dongpu Depression , the rationality of recovering the Dongying Formation thickness by the method of mudstone compaction is analyzed. By this , the new cognition for compensation sediment of eroding strata is acquired. The study shows that when using the methods of recovering eroding strata's thickness that relates to the tendency of the pore's variation with depth , the compensation sediment of eroding strata should be understood by weight compensation. When using the methods of recovering eroding strata's thickness that relates to the temperature index , the compensation sediment of eroding strata should be understood by temperature compensation. And it shouldn't be understood by thickness compensation simply.

Key words extra-compensation; eroding strata's thickness; mudstone compaction; sedimentation rate