

文章编号 :1001-3873(2010)04-0358-03

济阳拗陷喜马拉雅运动 幕地层剥蚀厚度恢复

刘士林^{1,2,3} 林 舸³ 郑和荣² 王 毅² 云金表² 高山林² 许 雷⁴

(1.中国地质大学 北京 100083 2.中国石化 勘探开发研究院 北京 100083 ;
3.中国科学院 广州地球化学研究所 广州 510640 4.中国京冶工程技术有限公司 北京 100088)

摘 要 采用声波时差、裂变径迹以及地层对比等技术对济阳拗陷喜马拉雅运动 幕的剥蚀厚度进行恢复,并对结果进行对比验证。结果表明,济阳拗陷从隆起到斜坡再到凹陷沉降中心部位,地层剥蚀厚度依次减小。南部的东营凹陷和惠民凹陷相对于北部的车镇、沾化凹陷具有较强烈的地层剥蚀。地层剥蚀厚度的横向差异反映了古近纪末期济阳拗陷内凸凹相间、西南高东北低的构造特征。

关键词 济阳拗陷 喜马拉雅运动 地层剥蚀 不整合 地层对比

中图分类号 :TE111.3

文献标识码 :A

喜马拉雅运动对中国东部新生代含油气盆地的沉降、构造发育、沉积充填以及油气成藏等都有重要的影响^[1]。尤其是处于盆地由断陷向拗陷过渡时期的喜马拉雅运动 幕(在渤海湾地区又称“东营运动”)对诸如渤海湾盆地的幕式生烃、油气藏的形成和保存至关重要,该次运动造成可全区对比追踪的新近系与古近系不整合面、众多次级断层以及局部地区的反转构造^[2-4]。地层剥蚀厚度反映了构造作用的强度,是正确认识 and 恢复盆地埋藏史、研究含油气系统和成烃演化过程的关键^[5],但是目前对喜马拉雅运动 幕剥蚀厚度的研究相对缺乏系统的资料。本文结合前人研究成果,采用井-震结合的原则,以地层对比为主线,辅助以声波时差、磷灰石裂变径迹等方法,对渤海湾盆地济阳拗陷喜马拉雅运动 幕的剥蚀地层进行恢复研究,以期对油气勘探有所裨益。

当前恢复地层剥蚀厚度的方法有很多,如地层对比法、声波时差法、裂变径迹法、沉积速率法、镜质体反射率法、最优化方法等,但它们均受特定的地质条件限制,有其相应的适用条件^[5],因此,必须根据实际资料分析来选取合适的方法。笔者通过对济阳拗陷实际资料的综合分析,以拗陷内丰富的钻井资料为基础,首先以声波时差法、磷灰石裂变径迹法确定基准井的地层剥蚀厚度,然后以地层对比法为主来估算区域性地层剥蚀厚度。

1 基准井剥蚀厚度估算

(1) 声波时差法 该方法应用广泛,一般认为,当

剥蚀面之上新沉积地层厚度大于被剥蚀地层厚度时,该法不适用。但文献^[6]通过对柴达木盆地北缘地层压实规律研究认为,能否根据声波时差来恢复剥蚀厚度,关键是不整合面以上新地层对其以下老地层施加的压力要小于被剥蚀地层在剥蚀前对老地层施加的压力,而非厚度决定^[6]。二者是否相同,可将不整合面上下的声波时差—埋深曲线进行半对数回归,得到2个线性回归方程,其斜率即为新、老地层的压实曲线斜率($C_{新}$ 、 $C_{老}$)。若满足下述情况的任一种,即可用该方法恢复剥蚀厚度:① $C_{新} \geq C_{老}$,且老地层压实曲线位于新地层压实曲线的左侧;② $C_{新} < C_{老}$,反映新地层对老地层施加的压力小于被剥蚀地层对老地层施加的压力。

据此,选取济阳拗陷内过主要地震测线的井进行了剥蚀厚度恢复,首先对新近系与古近系不整合面上、下泥岩层段的声波时差—埋深关系进行线性回归得到2个方程,以此判识声波时差法的适用性;再依据不整合面之上的声波时差—埋深关系,求出地表的声波时差值 Δt_0 ,而后将 Δt_0 值代入不整合面之下的声波时差—埋深方程,得到剥蚀前古地表相对于现今地表的深度,该深度与间断面现今埋深的差值即为剥蚀厚度(图1)。需特别说明的是,由于济阳拗陷古近系沙河街组三段和四段的泥岩层段存在一定程度的欠压实现象,会对声波时差曲线产生影响,因此恢复中需规避该层段泥岩声波时差。

(2) 磷灰石裂变径迹法 该方法主要是建立在“磷灰石自发裂变径迹在地质历史时间内受温度作用而

收稿日期 2009-11-18

修订日期 2010-04-06

基金项目 国家自然科学基金项目(40773004)

作者简介 刘士林(1982-)男,山东聊城人,博士,构造地质与石油地质 (Tel)010-82282422(E-mail)liushilin@petris.com.cn.

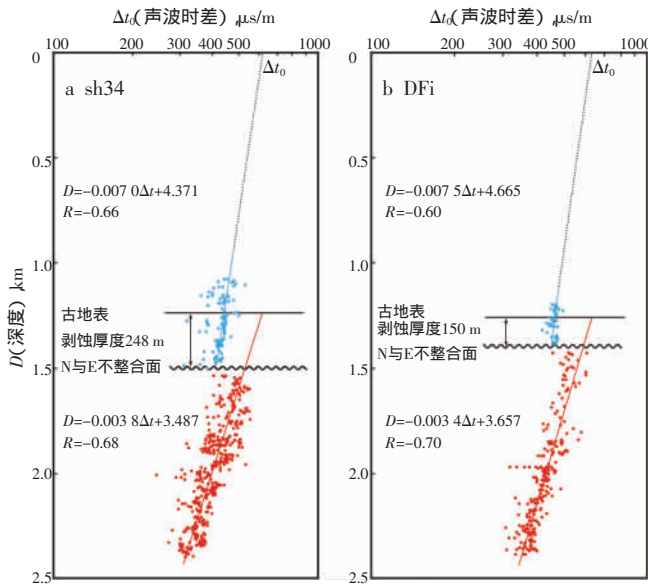


图1 声波时差法求取济阳拗陷N与E不整合面剥蚀厚度

发生退火”这一化学动力学原理基础之上^[7]。依据裂变径迹年龄、长度及其分布特征等参数可以确定样品所在层位经历的热演化过程,从而求出最大埋深与最小埋深的古地温,推算出剥蚀厚度。

本次研究在对单井缺少连续取样的情况下,根据样品的地质背景和实测磷灰石裂变径迹年龄、径迹长度的分布特征,基于扇形阿仑尼乌斯方程的退火模型,应用蒙特卡罗逼近法,运用多元动力学方法模拟样品所经受的热历史过程^[8],计算喜马拉雅运动 幕时期地层抬升剥蚀过程中样品经历的古温度变化量 Δt ,再结合已有的研究区古地温梯度 ΔG 资料^[9],计算地层的抬升剥蚀厚度 $h = \Delta t / \Delta G$ (图 2)。

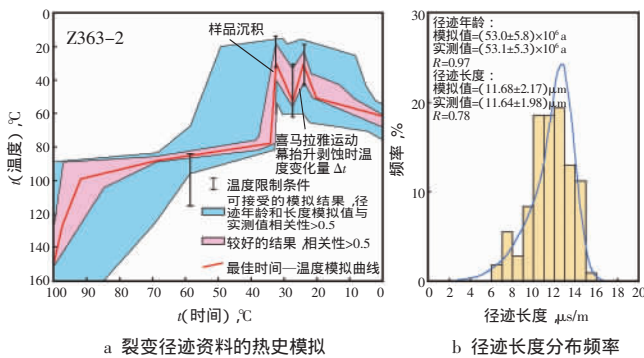


图 2 磷灰石裂变径迹法求取剥蚀厚度

2 地层对比法恢复剥蚀厚度

该方法的基本原理是:未变形之前的岩层厚度在局部构造的范围内是不变或渐变的,当发生褶皱或断裂时,岩层只存在顺层剪切以同心圆状褶皱方式变形,即变形前后岩层厚度不变;喜马拉雅运动 幕形成的新近系与古近系不整合面在 seismic 剖面上反射界面清晰,同相轴连续,并且切穿该不整合面的断层较

少,断距小,活动性弱,因此根据地震剖面显示的地层结构外延可以应用渐变地层剥蚀厚度恢复模式进行半定量的地层剥蚀厚度恢复。

本研究在济阳拗陷范围内选取了 10 条横穿拗陷内主要二级构造单元的地震测线,作为剥蚀厚度估算的框架,在这些测线上以前面声波时差法和磷灰石裂变径迹法恢复的剥蚀厚度为控制点来进行未剥蚀前地层界限的追踪延伸,求取剥蚀厚度(图 3)。在两条剖面的交点处检验各剖面独立估算的地层剥蚀厚度是否相等,若不等,则需要重新追踪剥蚀地层的界限进行校正,直至两独立测线在相交处的地层剥蚀厚度基本相当。

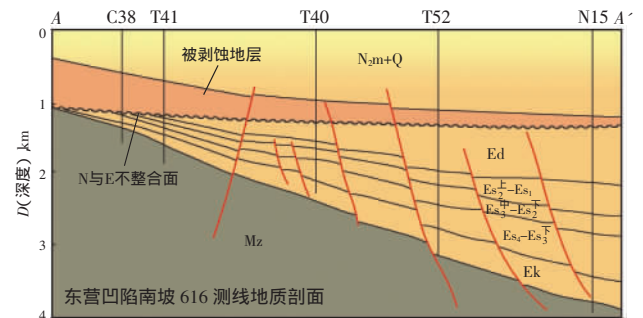


图 3 地层对比法估算喜马拉雅运动 幕地层剥蚀厚度 (剖面位置见图 4)

3 剥蚀厚度估算结果验证

根据上述方法和步骤,得到了研究区 100 余口井和 10 条地震地质剖面的地层剥蚀厚度。由于各种剥蚀厚度恢复方法都有其一定的适用条件,为确保结果的准确性,还对一些井同时采用了两种方法进行计算,相互验证其结果,表 1 表明,只要方法运用得当,对剥蚀厚度的估算基本符合实际。

表 1 2 种方法计算的喜马拉雅运动 幕地层剥蚀厚度对比 m

井号	声波时差法	裂变径迹法	验证结果	井号	声波时差法	裂变径迹法	验证结果
Y559	285	340	基本吻合	Cb352	70	50	基本吻合
Z363	440	450	很吻合	H97	160	195	基本吻合

4 地层剥蚀厚度分布特征

根据上述方法求取的的地层剥蚀厚度,在平面上勾绘了喜马拉雅运动 幕剥蚀厚度等值线图(图 4)。结果显示济阳不同构造位置的剥蚀厚度不同:从凸起→斜坡→凹陷中心,剥蚀厚度顺次减小;区域上南部的惠民凹陷和东营凹陷地层剥蚀厚度大,靠近鲁西隆起和青城凸起的部位,地层剥蚀厚度近达 1 000 m;北部沾化凹陷和车镇凹陷北坡埋宁隆起处,地层剥蚀厚度一般为 600~700 m,拗陷内部的陈家庄、义和庄

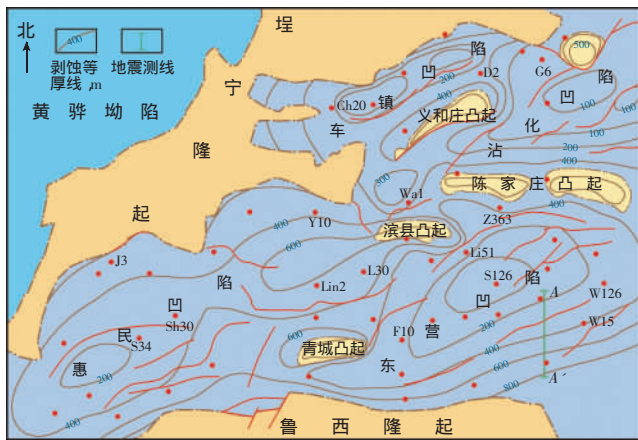


图4 济阳拗陷喜马拉雅运动 幕剥蚀厚度等值线

和滨县凸起处，地层剥蚀厚度则一般为 500~600 m；内部各凹陷(东营、惠民和车镇凹陷)沉降沉积中心处的剥蚀厚度较小，多为 100~200 m；而沾化凹陷沉降中心部位则剥蚀现象微弱，剥蚀厚度小于 100 m，这与该区域在渐新世末期为整个拗陷的沉降沉积中心有关。地层剥蚀厚度的横向差异表明其主要受地形高低的控制，地势高的区域剥蚀速率高，剥蚀厚度也大。喜马拉雅运动 幕地层剥蚀特征反映了古近纪末期济阳拗陷内凸凹相间、西南高东北低的古地貌格局，间接表明了济阳拗陷古近纪断陷盆地发育的特征。这对于进一步了解喜马拉雅运动 幕对中国东部新生代盆地内的油气生成、运移和聚集成藏的影响具有重要意义。

综上所述，不同剥蚀厚度恢复方法具有各自的适用条件，对其应用要结合特定的地质情况，并用多种

方法互相验证，以保证结果的可靠性。通过声波时差、磷灰石裂变径迹及地层对比方法对济阳拗陷古近系与新近系不整合面之下的被剥蚀地层进行了剥蚀厚度恢复，结果表明，不同构造位置的地层剥蚀程度不同，从隆起到斜坡再到凹陷沉降中心，地层剥蚀厚度依次减薄，这种横向差异反映了喜马拉雅运动 幕时期拗陷内凸凹相间、西南高东北低的构造格局。

参考文献：

[1] 贾承造,何登发,陆洁民. 中国喜马拉雅运动的期次及其动力学背景[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 121-125.

[2] 史卜庆,吴智平,王继祥,等. 渤海湾盆地东营运动的特征及成因分析[J]. 石油实验地质, 1999, 21(3): 196-200.

[3] 吴智平,韩文功. 济阳拗陷早晚第三纪沉积间断地层剥蚀量研究[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(5): 320-323.

[4] 田世澄,陈永进,崔刚. 中国东部盆地晚第三纪末抬升剥蚀类型及其石油地质意义[J]. 现代地质, 2003, 17(2): 202.

[5] 王毅,金之钧. 沉积盆地中恢复地层剥蚀量的新方法[J]. 地球科学进展, 1999, 14(5): 474-479.

[6] 牟中海,陈志勇,陆廷清,等. 柴达木盆地北缘中生界剥蚀厚度恢复[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(1): 35-37.

[7] Armstrong P A. Thermochronometers in sedimentary basins [J]. Reviews in Mineralogy & Geochemistry, 2005, 58: 499-525.

[8] Ketcham R A. Forward and inverse modeling of low-temperature thermochronometry data [J]. Reviews in Mineralogy & Geochemistry, 2005, 58: 275-314.

[9] 邱楠生,苏向光,李兆影,等. 济阳拗陷新生代构造-热演化历史研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(4): 127-135.

Stratigraphic Erosion Recovery of the 2nd Episode of Himalayan Movement in Jiyang Depression

LIU Shi-lin^{1,2,3}, LIN Ge³, ZHENG He-rong², WANG Yi², YUN Jin-biao², GAO Shan-lin², XU Lei⁴

(1.China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2.Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Sinopec, Beijing 100083, China; 3.Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou, Guangdong 510640, China; 4.China Jingye Engineering & Technology Co. Ltd., Beijing 100088, China)

Abstract: The eroded strata recovery technologies such as sonic logging, fission track and strata correlation are used to recover the erosion thickness of the 2nd episode of Himalayan movement in Jiyang depression of Bohai Bay basin, and the result reveals that the denudation thickness becomes smaller from uplifts to slopes and to subsidence centers of sags. The erosion phenomena are more serious in Dongying sag and Huimin sag of southern Jiyang depression than in Chezhen sag and Zhanhua sag of northern Jiyang depression. The horizontal differences of denudation thickness suggest that the structural features at the Late Paleogene were characterized by the swell-sag alternating and the high in the southwest and low in the northeast within Jiyang depression.

Key Words: stratigraphic erosion; unconformity; strata correlation; Jiyang depression