



川西坳陷中段关键不整合面剥蚀厚度恢复及其地质意义

李林涛^{1,2}, 陈冬霞¹, 张建华^{1,2}, 邓克^{1,2}, 孟庆洋³

1. 中国石油大学(北京); 石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249
2. 中国石油大学(北京)盆地与油藏研究中心, 北京 102249
3. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要 晚三叠世以来川西地区经历了以挤压作用为主的多期构造运动, 在研究区造成了多个不整合面。本文以这些不整合面为研究对象, 进行了关键不整合面识别和剥蚀厚度恢复, 分析了不同剥蚀厚度代表的地质意义。通过镜质体反射率、地震反射剖面特征等分析, 认为与川西坳陷中段中生界油气成藏关系密切的几期构造运动分别是安县运动、印支晚幕运动和喜山运动。根据具体资料情况分别选取了镜质体反射率-深度法、镜质体反射率-深度与参考层厚度法、声波时差法对相应的不整合面进行剥蚀量恢复。恢复结果表明: 自晚三叠世开始, 研究区构造强度中心经历了由北向南的迁移过程; 研究区主要构造圈闭形成较早, 有利于油气运聚成藏; 喜山运动在研究区作用最强, 并控制现今构造格局的形成; 研究区成藏作用终止于喜山运动。

关键词 川西坳陷中段; 不整合面; 剥蚀量恢复; 地质意义

中图分类号 TE121

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)02-0071-05

Denudation Recovery and Its Geologic Significance of Main Unconformity Surfaces in Middle Section of West Sichuan Depression

LI Lintao^{1,2}, CHEN Dongxia¹, ZHANG Jianhua^{1,2}, DENG Ke^{1,2}, MENG Qingyang³

1. Ministry of Education Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
2. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China

Abstract Tectonic movements have occurred frequently in the middle section of west Sichuan depression since the late Triassic, including the Indosinian movement, the Anxian movement, the Yanshan movement and the Himalaya movement. They are mainly caused by compressive stresses, leading to many unconformity surfaces. In this paper, considering these movements and the unconformity surfaces, the main unconformity surfaces are identified in the region, their denuded amounts are calculated, and the geological significance of the distribution of the denuded amounts is analyzed. Based on Vitrinite reflectance distribution characteristics and seismic reflection profile, it is shown that three of the tectonic movements are closely related with hydrocarbon accumulation of the mesozoic era in the region, that is, the late Indosinian movement, the Anxian movement and the Himalaya movement. According to the data available and due to the restrictions of the denudation recovery methods, the Vitrinite reflectance-depth method, the combined Vitrinite reflectance-depth and reference layer thickness method, and the sonic velocity analysis method are chosen to recover the denuded amount caused by the three movements, respectively. The calculation results of the denuded amounts show that the regional structural strength center has migrated from north to south since the late Triassic era; the Himalaya movement is the strongest of the movements and is mainly responsible to the

收稿日期: 2009-12-07

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2006cb202308)

作者简介: 李林涛, 博士研究生, 研究方向为油气成藏机制与分布模式, 电子信箱: lintaoli@163.com; 陈冬霞(通信作者), 副教授, 研究方向为油气藏形成与分布, 电子信箱: lindachen@cup.edu.cn

current tectonic pattern; the main structural traps have been formed before hydrocarbon migration and accumulation; and the hydrocarbon accumulation action has ceased after the Himalayan movement.

Keywords middle section of west Sichuan depression; unconformity surface; denudation recover; geologic signification

0 引言

川西坳陷中段指位于龙门山推覆构造带以东、川中平缓断褶带以西的四川盆地西部坳陷中部地区。该区可划分为 5 个构造单元：梓潼凹陷、孝泉—丰谷构造带、成都凹陷、安县—鸭子河—大邑断褶带和知新场—龙宝梁构造带。已实施钻探的构造圈闭主要有：位于孝泉—丰谷构造带的孝泉、新场、合兴场、丰谷构造，位于成都凹陷的马井、洛带构造，位于安县—鸭子河—大邑断褶带的鸭子河、大邑构造和位于知新场—龙宝梁构造带的中江构造，圈闭分布情况如图 1 所示。

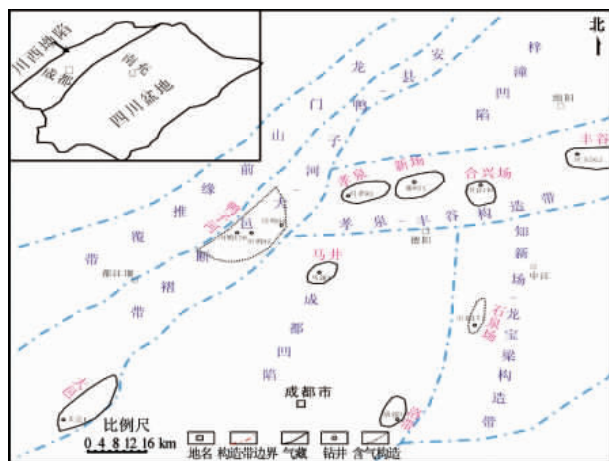


图 1 川西坳陷中段构造分区及主要构造圈闭分布

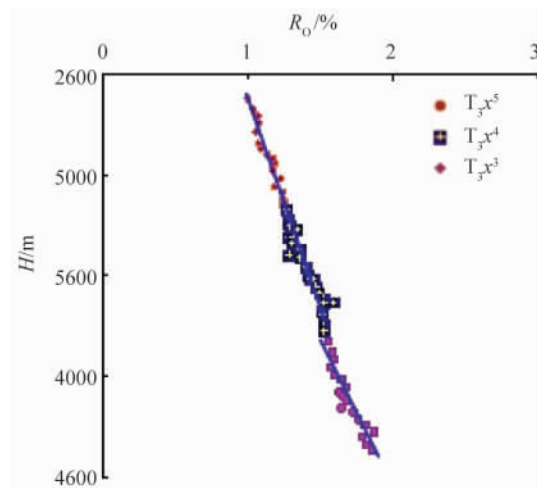
Fig. 1 Distribution of the main structural traps in the middle section of the west Sichuan depression

晚三叠世以后，四川盆地进入挤压环境^[1]，先后经历了安县运动、印支晚幕运动、多期的燕山运动和喜山运动^[2]，在研究区造成多次的抬升剥蚀^[3]，形成多个不整合面。对其中的关键不整合面进行剥蚀量恢复是研究区构造演化史与沉积埋藏史研究的前提，是油气成藏史研究的必由之路。本次研究通过大量钻井、地震和地质地化资料对比发现，发生于 T_3x^3 末的安县运动、 T_3x^5 末的印支晚幕运动和新近纪的喜山运动在研究区造成的不整合面分布范围广、反映的剥蚀厚度大，对它们造成的剥蚀量进行恢复是研究区成藏史研究的关键。

1 川西坳陷关键不整合面

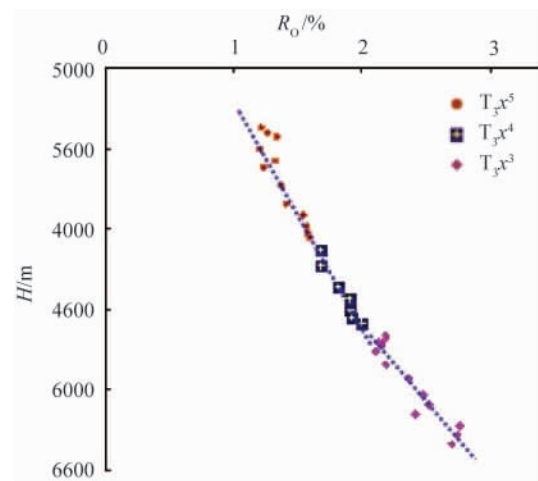
前人研究均表明安县运动造成了研究区 T_3x^4 底部大量砾岩的存在^[4]；地震反射剖面特征同样表明 T_3x^4 与 T_3x^3 间不整合面分布明显，在研究区西部存在明显的由剥蚀带来的地层削截；大量钻井须家河组镜质体反射率分布特征也反映了

T_3x^3 末沉积间断的存在，如图 2 所示。



(a) 川孝 93 井须家河组

(a) Well CX93



(b) 马深 1 井须家河组

(b) Well MSH1

图 2 镜质体反射率分布

Fig. 2 Vitrinite reflectance distribution

钻井镜质体反射率分布、地震反射剖面等资料同样表明印支晚幕运动造成的 T_3x^5 与 J_1 间存在明显不整合面，反映较大的剥蚀量，其地震解释剖面如图 3 所示。

侏罗系沉积后的燕山中、晚幕运动在研究区造成了一定程度的剥蚀，但发生于新生代的喜山运动作用更为强烈，不但导致研究区新生代普遍残存有限，白垩统和晚侏罗统也遭受大量剥蚀^[5]，造成大部分地区 J_3 后普遍的剥蚀，其地震解释剖面如图 4 所示。

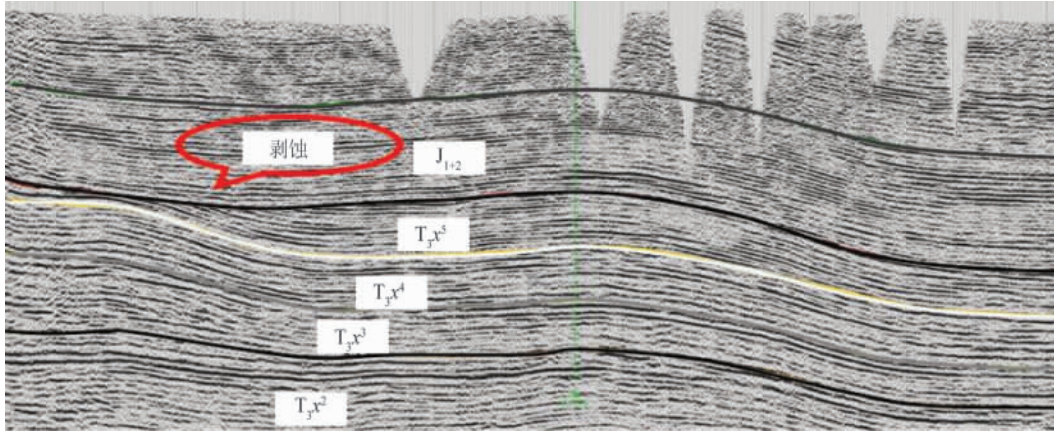


图 3 安县—龙泉山地震解释剖面

Fig. 3 Seismic interpretation of the hill section from Anxian to Longquan

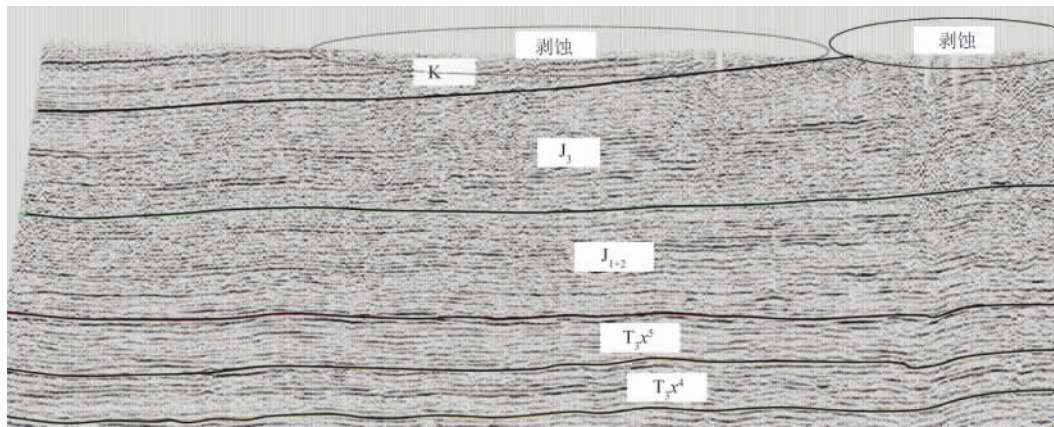


图 4 大邑北部地区 L52 地震解释剖面

Fig. 4 Seismic interpretation of the section of Line 52, northern Dayi region

2 剥蚀量恢复

目前已经发展成熟的剥蚀量恢复方法较多^[6-7],但不同方法都有其特定的适用条件,剥蚀量恢复方法的选取要根据具体情况而定。

2.1 剥蚀量恢复方法与过程

通过具体资料条件分析和剥蚀量恢复方法调研,本次研究对 T_3x^3 末、 T_3x^5 末、 J_3 后剥蚀量分别选取了镜质体反射率-深度法、镜质体反射率-深度与参考层厚度法相结合法、声波时差法进行恢复。

利用镜质体反射率 R_0 估算不整合面地层剥蚀厚度的方法是 Dow^[8]在 1977 年提出的,此后该方法在国内外得到了广泛的推广应用。修彦明等^[9]于 2005 年在此基础上提出了 $\ln R_0-H$ 法,并将构造层的 $\ln R_0-H$ 线性回归关系外推至 $\ln 0.2$ 处,得到近似的古地表位置,将古地表位置和不整合面位置进行差值即求得剥蚀厚度。研究区已取得的镜质体反射率数据主要分布在上三叠统须家河组内,且须家河组须 3、须 4 段镜质体反射率分布突变明显,因此本次研究对须家河组须 3

段采用 $\ln R_0-H$ 法进行剥蚀量恢复;对须五段剥蚀量求取则采取了 $\ln R_0-H$ 法与参考层厚度法结合进行。

参考层厚度对比法原理为:2 个沉积环境相同的层序 a 和 b,层序 a 在沉积末期遭受了部分剥蚀而层序 b 未遭受剥蚀,未剥蚀的层序 a 与层序 b 厚度变化趋势相同,据此可根据层序 a 未遭受剥蚀处与层序 b 厚度之比以及遭受剥蚀处层序 b 厚度,求得层序 a 遭受剥蚀处原始厚度值^[10]。该方法主要以地震和钻井资料为基础,适用性较广,但仅限于在同一大构造层内应用。须家河组须 5 段与须 4 段处于同一大构造层内,适用该方法。由于研究区在须 5 段沉积末期遭受了普遍抬升剥蚀,故在具体操作中先根据地震反射剖面特征和地化分析资料选取剥蚀量最小、镜质体反射率资料较全的地区,运用 $\ln R_0-H$ 法进行剥蚀量恢复,将参考井须 5 段校正到未遭受剥蚀厚度后再运用参考层厚度对比法进行须 5 段剥蚀量恢复。

Magara^[11]于 1976 年提出声波时差剥蚀量恢复法。具体做法为:应用泥岩测井声波时差的自然对数值与埋深建立线性

3) 大邑、孝泉、新场、合兴场构造在安县运动时为局部剥蚀中心,表明当时已具备构造雏形;印支晚幕运动期剥蚀厚度显示鸭子河、马井和洛带构造已经形成。说明研究区主要构造圈闭形成较早,有利于油气运聚成藏。

4) 前人通过对研究区须家河组储层中的包裹体测试分析,划分出 4 期成藏作用^[12];三叠纪末期至中侏罗世、晚侏罗世至早白垩世早期、早白垩世至喜山期前和喜山期后。本次剥蚀量恢复研究表明,三叠纪末期的印支晚幕运动、尤其是晚期的喜山期运动在研究区造成了普遍抬升剥蚀,影响了成藏作用的进行;研究区在喜山期运动后沉积补偿厚度小于剥蚀厚度,埋深难以达到再次排烃要求,不存在喜山期后成藏作用。

4 结论

1) 通过研究,在川西坳陷识别出了 T_{3x^3} 末、 T_{3x^5} 末和 J_3 沉积后 3 个主要不整合面。

2) 分别选取镜质体反射率-深度法、镜质体反射率-深度与参考层厚度法相结合、声波时差法进行剥蚀量恢复。结果显示:安县运动在研究区造成了 90~810m 的剥蚀;晚印支运动在研究区造成了 90~1210m 的剥蚀;喜山运动在研究区造成了 880~2000m 的剥蚀。

3) 剥蚀量恢复结果表明:自晚三叠世开始,研究区构造强度中心经历了由北向南的迁移过程;喜山运动在研究区作用最强,并控制了现今构造格局的形成;研究区主要构造圈闭形成较早,有利于油气运聚成藏;研究区成藏作用终止于喜山运动。

参考文献 (References)

- [1] 童崇光. 四川盆地构造演化与油气聚集 [M]. 北京:地质出版社, 1992: 10-11.
Tong Chongguang. Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation of Sichuan basin[M]. Beijing: Geology Press, 1992: 10-11.

- [2] 王天泽. 龙门山逆冲作用在川西盆地演化及油气勘探中的意义[J]. 现代地质, 1997, 11(4): 496-500.
Wang Tianze. *Geoscience*, 1997, 11(4): 496-500.
- [3] 童崇光. 新构造运动与四川盆地构造演化及气藏形成[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(2): 123-130.
Tong Chongguang. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2000, 27(2): 123-130.
- [4] 王金琪. 安县构造运动[J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(3): 223-234.
Wang Jinqi. *Oil and Gas Geology*, 1990, 11(3): 223-234.
- [5] 刘树根, 孙玮, 李智武, 等. 四川盆地晚白垩世以来的构造隆升作用与天然气成藏[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(3): 293-300.
Liu Shugen, Sun Wei, Li Zhiwu, et al. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(3): 293-300.
- [6] 付晓飞, 李兆影, 卢双舫, 等. 利用声波时差资料恢复剥蚀量方法研究与应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(1): 11-13.
Fu Xiaofei, Li Zhaoying, Lu Shuangfang, et al. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 2004, 23(1): 11-13.
- [7] 袁玉松, 郑和荣, 涂伟. 沉积盆地剥蚀量恢复方法 [J]. 石油实验地质, 2008, 30(6): 104-110.
Yuan Yusong, Zheng Herong, Tu Wei. *Petroleum Geology and Experiment*, 2008, 30(6): 104-110.
- [8] Dow W G. Kerogen studies and geological interpretations [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1977, 7: 79-99.
- [9] 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]. 古地理论, 2005, 7(3): 417-423.
Tong Yanming, Song Lijun, Zeng Shaojun, et al. *Journal of Palaeogeography*, 2005, 7(3): 417-423.
- [10] 牟中海, 唐勇, 崔炳富, 等. 塔西南地区地层剥蚀厚度恢复研究[J]. 石油学报, 2002, 23(1): 51-55.
Mou Zhonghai, Tang Yong, Cui Bingfu, et al. *Acta Petrolei Sinica*, 2002, 23(1): 51-55.
- [11] Magara K. Thickness of removed sediments paleoporepressure and paleotemperature southwestern part of Western Canada Basin[J]. *AAPG Bulletin*, 1976, 60(4): 554-556.
- [12] 许浩, 魏国齐, 汤达祯, 等. 川西地区有机流体包裹体的特征分析及其地质意义[J]. 现代地质, 2004, 18(3): 360-364.
Xu Hao, Wei Guoqi, Tang Dazhen, et al. *Geoscience*, 2004, 18(3): 360-364.

(责任编辑 刘志远)

学术动态



“2010 中国材料研讨会”征文

“2010 中国材料研讨会”将于 2010 年 6 月 18-21 日在湖南长沙市举行,会议由中国材料研究学会主办,中国科学技术协会、国家科技部、国家自然科学基金委员会承办,中南大学、湘潭大学、湖南大学、国防科技大学协办。

会议现面向相关科技工作者征文,征文范围及要求如下:先进钢铁材料;有色金属材料与加工技术;纳米材料和应用技术;先进储能材料;智能材料;超导材料;热电材料;磁性材料;特种粉体材料与技术;多孔材料;杂化功能材料与纳米纤维;生态环境材料与应对气候变化技术;非晶和高熵合金;材料计算与应用;材料表面与界面;先进材料测试及表征;轻合金材料;高性能陶瓷材料;先进复合材料;材料产业论坛;材料教育论坛(教指委);新材料、新工艺、新技术展览会。摘要截稿日期:2010 年 4 月 5 日,全文截稿日期:2010 年 5 月 30 日。

联系方式:北京市海淀区紫竹院路 62 号赛迪大厦 4102 室(100048),陈辉。

电话:010-68710443;传真:010-68722033;电子信箱:c-mrs@163.com。