

川西前陆盆地的“四川运动” 及与油气的关系*

刘树根 罗志立 戴苏兰

(“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 四川成都 610059)

D. Arne

(加拿大 Dalhousie 大学)

川西前陆盆地和龙门山地区磷灰石裂变径迹的测定和计算机模拟, 为“四川运动”提供了新的信息。该区的“四川运动”共有4幕: 第1幕发生在60 Ma, 即早古新世和晚古新世之间; 第2幕发生在35~36 Ma, 即始新世和渐新世之间; 第3幕发生在10 Ma, 即中中新世和晚中新世之间; 第4幕发生在早更新世和中更新世之间。由此可见, 所谓四川运动就是喜马拉雅运动。这次运动为川西前陆盆地油气运移富集创造了条件, 并是川西前陆盆地储层裂缝形成的主要原因。川西前陆盆地大多数气藏是在“四川运动”期间形成的。

关键词 川西 前陆盆地 四川运动 裂变径迹 油气 运移富集

第一作者简介 刘树根 男 31岁 教授(博士) 石油地质与勘探

国内许多学者从地层之间的不整合接触关系对“四川运动”进行过论述^[1~4]。然而, 龙门山中北段及其前缘凹陷缺乏第三纪的地层记录, 龙门山南段零星分布的第三系又多为砾石层, 无标准化石, 其地层的时代较难准确确定, 因此, 无法直接判定川西前陆盆地(四川盆地西部)白垩纪以来的构造运动及其发生的时限。有关“四川运动”发生的时间目前有三种认识: (1) 白垩纪与第三纪之间; (2) 晚始新世前; (3) 早、中更新世之间。我们利用磷灰石裂变径迹技术, 对龙

门山前山带和川西前陆盆地的隆升历史进行了系统研究, 为川西前陆盆地白垩纪以来的构造运动提供了新的信息^[5~8]。

1 “四川运动”的新信息

都江堰附近上三叠统砂岩(CW3)和彭州市隆丰场西北上侏罗统砂岩(CW14)的磷灰石裂变径迹分析和计算机模拟, 结果表明两区在白垩纪以来至少有两处构造运动, 前区分别发生于距今59.5 Ma和35.9 Ma(图1), 后区分别发生在距今

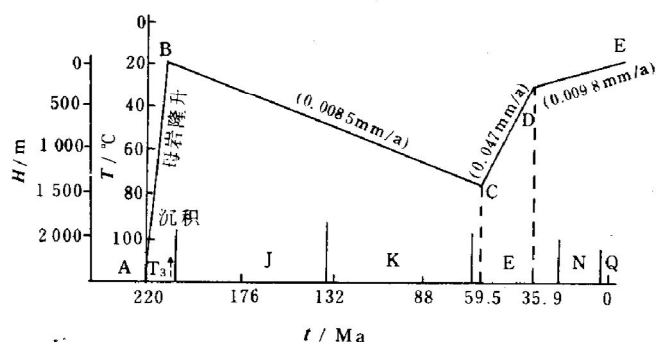


图1 四川盆地西部CW₃(上三叠统)热史和隆升曲线图
(据磷灰石裂变径迹分析)

* 本文系国家自然科学基金会资助项目, 编号 49070140

收稿日期: 1995-03-15 改回日期: 1995-09-02

55.8 Ma 和 35.5 Ma(图 2)。

利用镜质体反射率和磷灰石裂变径迹测试资料,并用商业性的 Basin Mod 软件包,对平落 3 井和油罐顶构造油 1 井的沉积埋藏史进行反演,得出二区在早第三纪以前(即 60 Ma 以前)以持续埋藏为主;早第三纪以来以快速隆升为特征,前区隆升 2.5 km(图 3),后区隆升 3.0 km,距今 60 Ma 时至少发生了一次构造运动。

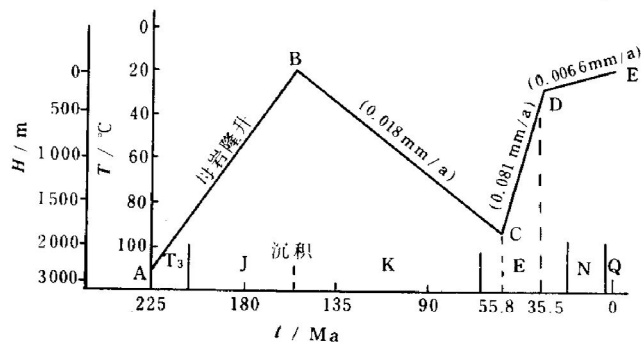


图 2 四川盆地西部 CW₁₄(上侏罗统砂岩)热史和隆升(沉降)曲线图(据磷灰石裂变径迹分析)

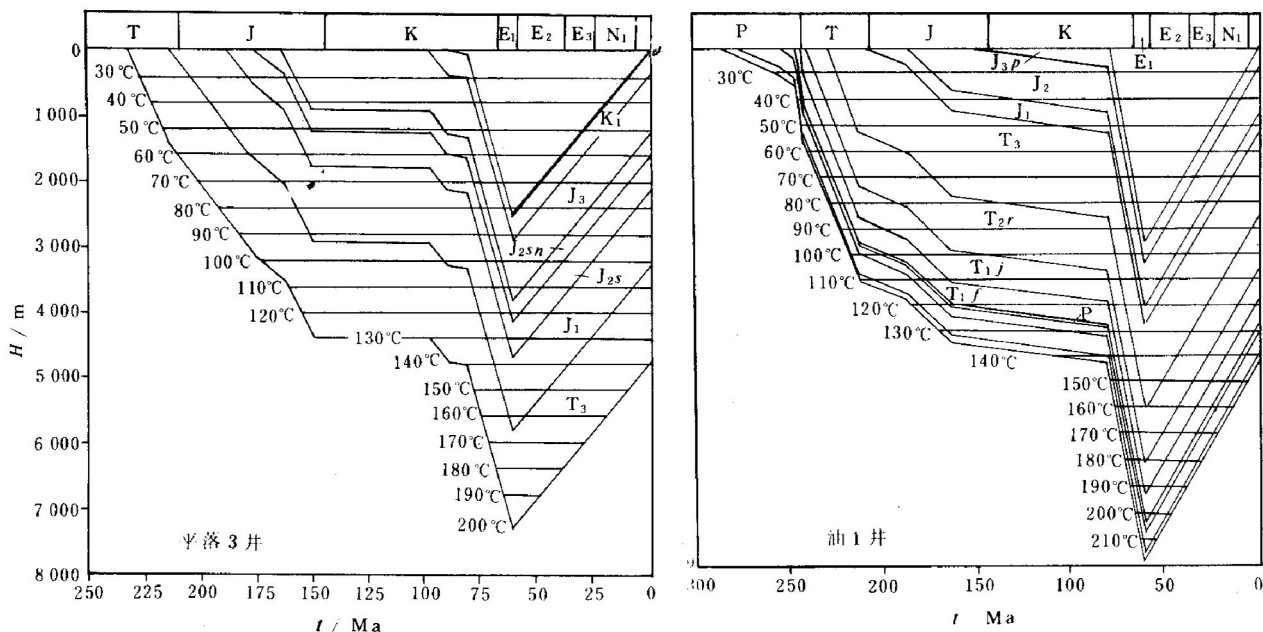


图 3 沉积埋藏史图

龙门山和川西前陆盆地其它样品所测的磷灰石裂变径迹表明,在距今 10 Ma 以来发生了强烈隆升,在川西前陆盆地中的隆升幅度为 2~3 km(图 4)。因此,在 10 Ma 以来也至少发生了一次构造运动。

此外,据灌县地震中心站定点水准测量,在 1974 年前后灌县-江油断裂在灌县二王庙北西盘(上盘),仅两个月的时间上升 0.5 mm,小三角仪测量为向西移动,也就是为反扭^[9]。在 1977 年 8~11 月,位于川西前陆盆地内的蒲江-新津断裂带两盘相对上下位移 0.51 mm,向 NW 方向逆冲挤压现象很明显^[9]。这说明川西前陆盆地至今仍处于较活动地区。

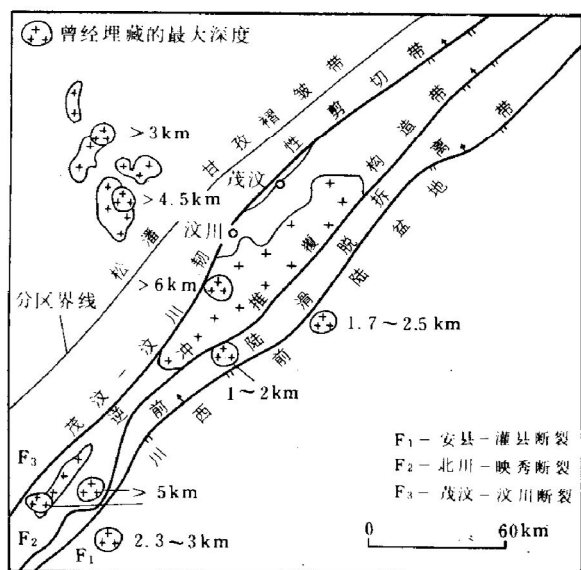


图 4 川西前陆盆地隆升幅度图
(据磷灰石裂变径迹分析)

综上所述,白垩纪以来川西前陆盆地和龙门山地区可能发生过4次较大的构造运动,它们发生的时间分别为:(1)60 Ma,即早古新世与晚古新世之间;(2)35~36 Ma,即始新世和渐新世之间;(3)10 Ma,即中中新世和晚中新世之间;(4)早更新世(Q_1)和中更新世(Q_2)之间^[4]。因此,“四川运动”应包括上述的4次运动,而不是单指某一次构造运动,每次构造运动为“四川运动”的一个构造幕,即可以把“四川运动”理解为“川西前陆盆地和龙门山地区的喜马拉雅运动”,建议不再使用“四川运动”这一地方性的构造运动名词。

2 喜马拉雅运动对油气形成和分布的影响

2.1 对川西前陆盆地异常高压成因的新认识

2.1.1 上三叠统的异常高压

对川西前陆盆地上三叠统的异常高压前人已有见解*,但我们认为,现今川西前陆盆地上三叠统的异常高压,是喜山期前(60 Ma 以前)的残留古压力。60 Ma 前川西前陆盆地以被动沉降为主,沉积了较厚的古新统。在快速沉积(>40 m/Ma)的条件下^[10],泥岩孔隙中的压实水,由于受到阻滞或排流不及时就有可能形成超压;加之在印支晚期发生了较强的构造挤压作用,上三叠统中的有机质已成熟形成油气,导致喜山期前上三叠统内形成异常高压。深埋地下的异常高压,在喜马拉雅运动隆升作用下抬升到地壳较浅部,当上三叠统内部的地层压力是其所处深度静水压力的1.42~2.4倍时,岩石就会发生裂缝^[11],使上三叠统发生泄压,流体重新分配。若以现今地层压力和上三叠统抬升前的深度为准进行计算,则大部分地区均发生了不同程度的泄压作用(表1)。因此,现今见到的川西前陆盆地中的异常高压,实际上是喜山期前上三叠统地层压力在泄压后的残留古压力,不能真正反映川西前陆盆地上三叠统的原始地层压力特征。

表1 川西前陆盆地上三叠统地层压力特征表

井号	H_1 /m	P_1 /MPa	f_1	h /m	H_2 /m	f_2	P_2 /MPa	T /Ma
平落3井	3 350.0~3 569.5	41.86	1.19	2 500	5 850.0~6 069.5	0.70	60.39	18.53
丰谷1井	4 547.0~4 426.0	70.93	1.56	3 000	7 447.0~7 426.0	0.94	75.35	4.42
大13井	3 480.0~3 337.7	36.33	1.10	3 000	6 480.0~6 337.7	0.56	64.94	28.60
苏3井	2 698.5~2 654.0	27.70	1.00	3 000	5 698.5~5 654.0	0.48	57.50	29.88
关8井	4 237.8~4 173.0	91.42	2.14	3 000	7 237.8~7 173.0	1.25	91.42	0
柘3井	4 270.0~4 179.4	79.68	1.86	3 000	7 270.0~7 179.4	1.09	79.68	0
平落2井	3 422.4~3 670.0	42.35	1.18	2 500	5 922.4~6 170.0	0.69	61.26	18.88
汉4井	2 423.5~2 460.5	26.41	1.07	2 500	4 923.5~4 960.5	0.53	50.07	23.66
汉1井	3 120.0~3 142.0	33.27	1.05	2 500	5 620.0~5 642.0	0.58	57.06	23.79

说明: H_1 、 P_1 、 f_1 分别为现今井深、压力和压力系数; H_2 、 P_2 分别为60 Ma前的井深和最小压力; f_2 为现今的地层压力和60 Ma前的深度求得的古压力系数; T 为60 Ma以来泄压的最小值; h 为隆升幅度。

2.1.2 侏罗系的异常高压

川西前陆盆地侏罗系异常高压主要分布于绵阳-德阳地区,其中以孝泉构造最大,压力系数可达2.0,其它广大地区压力系数为1.0~1.4。在川西前陆盆地南部压力系数最低,为1.0

* 冯增模,徐喜芳,周兴毅等.四川盆地西部地区上三叠统及侏罗系高异常压力形成和天然气富集规律.1989

彭大钧,徐国盛,刘中平.四川盆地主要勘探层系原始地层压力的分布、形成、演化及其对天然气的成藏控制作用研究.1994

左右*。

川西前陆盆地侏罗系异常高压是在喜马拉雅运动发生期间,由其下伏的上三叠统泄压而形成。由于侏罗系自身无生油气能力,形成川西前陆盆地侏罗系异常高压须两个必要条件:(1)下伏的上三叠统有泄压产生;(2)侏罗系上覆岩石或本身有较好的封闭作用。在柘坝场构造上没有发生上三叠统的泄压作用,其侏罗系地层压力为正常压力。在孝泉地区不仅有上三叠统的泄压作用,而且上覆在中、下侏罗统的遂宁组具有较强的封闭能力,从而形成侏罗系异常高压,其压力系数可达2.0。川西前陆盆地南部平落坝构造、大兴构造、汉王场构造、三苏场构造,尽管上三叠统有较大的泄压,但由于侏罗系的封闭条件差,也不能形成侏罗系的异常压力,压力系数为1.0~1.3,接近正常压力(表1)。

2.2 异常高压与油气运移富集

在喜马拉雅运动发生期间,地压场重新调整,高异常地层压力则成为油气运移中十分重要的动力来源。随着晚期构造变动中一些泄压区域的形成,地层内的高异常地层压力与泄压区之间的巨大压力差,促使天然气在各类裂隙和低渗透的孔隙内空前活跃。现今川西前陆盆地上三叠统的异常高压是60 Ma前形成的古异常高压的残留压力,是通过裂缝和(或)断裂而发生泄压作用的。因此,可以认为现今上三叠统压力越低,泄压作用越强,形成的裂缝就可能越多;相反,压力系数越大,泄压作用越弱,形成的裂缝可能就越少。在对上三叠统进行油气勘探时,应寻找在喜马拉雅运动引起的变形作用期间有较大隆升幅度(即有一定泄压作用),但压力系数又不是特别低的地区进行钻探。这是因为没有泄压作用发生,就没有裂缝形成,就不能把上三叠统内分散状的气聚集

起来;然而,如果泄压作用太强,上三叠统内部的天然气就会向浅部运移或向地表散失。

川西前陆盆地侏罗系异常高压是因为下伏上三叠统泄压而产生,即由上三叠统的天然气向侏罗系运移和富集引起的。因此,侏罗系异常高压越高,在储集空间保持一定的条件下说明其天然气富集越多。油气勘探实践已证明,侏罗系压力系数与气产能有相关关系(表2)。油气钻探时应选择储集空

表2 川西前陆盆侏罗系天然气产能与压力系数关系表

井号	层位	井段/m	压力系数	产量/ $10^4\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	备注
大15	J _{2sn}	1 010.4~887.8	1.30	0.79	钻杆测试
大2	J _{2s}	1 825.0~1 760.5	1.26	2.52	完钻测试
大浅1	J _{2s}	1 901.0~1 597.9	1.29	1.02	完井测试
大浅5	J _{2s}	1 846.0~1 726.7	1.30	3.75	完井测试
大3	J _{1z}	1 986.0~1 956.2	1.45	1.55	射孔
川孝93井	J _{2s}	2 300.0~2 424.0	1.37	未获产能	中测
川孝109井	J _{3p}	1 290.0~1 298.0	1.32	0.13~0.22	中测
川孝113井	J _{3p}	607.4~634.0	1.45	0.38	中测
川孝37井	J _{2sn}	1 743.0~1 762.0	1.65	0.63	完测
川孝110井	J _{2sn}	1 801.5~1 855.0	1.83	1.15~1.31	完测
川孝106井	J _{2sn}	1 902.5~1 922.5	1.99	4.46~10.33	完测
川孝105井	J _{2sn}	1 833.0~1 853.0	1.99	4.10	试采
川孝109井	J _{2sn}	1 764.0~1 774.5	2.06	5.26~6.16	完测
川孝129井	J _{2s}	2 363.0~2 378.0	2.02	5.20	完测

* 彭大钧,徐国盛,刘中平.四川盆地主要勘探层系原始地层压力的分布、形成、演化及其对天然气的成藏控制作用研究.

间较大压力系数较高的构造带进行钻探。

2.3 川西前陆盆地裂缝形成的原因

我们用电子自旋共振技术测得平西1井上三叠统香溪群裂缝中的方解石年龄为43.7 Ma,关8井上三叠统须家河组二段裂缝中方解石年龄为53 Ma,平落3井上三叠统须二段裂缝中方解石年龄为41.8 Ma,九龙山构造龙12井上三叠统须家河组二段中裂缝充填石英的年龄为63 Ma。裂缝中充填物的形成年龄说明这些裂缝是由喜马拉雅运动形成的。据川西前陆盆地部分裂缝充填物包裹体测温分析,青杠咀地区沙溪庙组内分别有65~75℃和155~165℃两组均一温度数据,据其埋深状况和地温梯度估算,其形成的时期也为燕山期和喜山期*。

尽管川西前陆盆地现今见到的有效裂缝主要是由喜马拉雅运动形成的,但这与通常认为的由构造变形作用直接形成裂缝的观点不同。我们认为川西前陆盆地现今见到的大部分有效裂缝,是由喜马拉雅运动引起的隆升作用产生的异常高压形成的。我们在九龙山构造的龙4井、龙5井和龙7井采集了9个岩石标本,用声发射凯萨尔试验测得的上三叠统须家河组二段曾经所受的最大古应力值为22.66~22.94 MPa/cm²,而实验室测得的须家河组二段抗压强度为65.5~205.0 MPa/cm²。显然,岩石的抗压强度远大于岩石曾经所受的最大古应力值,这说明九龙山构造发生的构造挤压作用不足以形成广泛分布的裂缝。在这一点上,川西前陆盆地其它构造与九龙山构造具有相似的特征。

2.4 喜马拉雅运动期间是川西前陆盆地气藏形成的主要时期

在喜马拉雅运动发生期间,川西前陆盆地从沉降转变为隆升,天然气在地层内的赋存条件将会发生很大变化。随着隆升产生地层泄压,气从地层内的排量将大幅度增大;隆升使温度、压力降低,气将从水溶状态脱附出来;温度、压力降低还将提高天然气的体积系数,从而使在孔隙内的天然气体积增大。所有这些条件都促使川西前陆盆地地层内游离气的数量和体积大幅度增大。但在隆升阶段,地层内水体积不可能增大,却可能略有减小,导致地层内的含气饱和度将大幅度提高。从而,出现了在川西前陆盆地地史发展中最有利于气相渗滤并聚集成藏的优越条件。因此,在其它条件保持不变的情况下,喜马拉雅运动发生前经历的埋深越大,而在运动发生期间又隆升幅度高的地带,游离气的数量越大,聚集成藏的物质基础越充分,如孝泉构造侏罗系次生气藏和合兴场构造须家河组二段气藏等就是这样形成的。

参 考 文 献

- 1 李春昱. 四川运动及其在中国之分布. 地质论评, 1950, 15(4~6): 135~156
- 2 尹赞勋, 黄汲清, 浦庆余. 对于使用已有中国地壳运动名称的意见(草案). 地质论评, 1965, 23(增刊): 5~19
- 3 李玉文. “四川运动”之否定. 地质科学, 1979, (4): 374~377
- 4 吴承业, 甘昭国, 赵宗梅等. 对四川运动的新认识. 见: 构造地质论丛编辑部. 构造地质论丛第4辑. 北京: 科学出版社, 1985. 113~119
- 5 Green P F, Duddy I R, Gleadow A J W, et al. Thermal annealing of fission tracks in apatite, 1: a qualitative description. Chem Geol, 1986, (59): 237~253
- 6 Laslett G M, Green P F, Duddy I R, et al. Thermal annealing of fission tracks in apatite, 2: a qualitative analysis. Chem Geol, 1987, (65): 1~13
- 7 Duddy I R, Green P F, Laslett G M. Thermal annealing of fission tracks in apatite, 3: variable temperature behaviour.

* 王胜, 安凤山, 尹凤岭等. 四川盆地超低孔渗碎屑岩储层天然气富集规律及勘探领域的研究. 1990

Chem Geol, 1988, (73): 25~38

- 8 Green P F, Duddy I R, Laslett G M, et al. Thermal annealing of fission tracks in apatite. 4: quantitative modelling techniques and extension to geological timescales. Chem Geol, 1989, (79): 155~182
- 9 何银武. 试论成都盆地(平原)的形成. 中国区域地质, 1987, (2): 169~175
- 10 刘树根. 龙门山冲断带与川西前陆盆地的形成演化. 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 85~99
- 11 Snarsky A N. Die primäre migration des erdöels. Freiburger Forschung Schrift, C, 1962, 123: 135~136

SICHUAN MOVEMENT IN WEST SICHUAN FORELAND BASIN AND ITS RELATON TO OIL AND GAS

Liu Shugen Luo Zhili Dai Sulan

(*The State Laboratory of Hydrocarbon Reservoir Geology,
Chengdu Institute of Technology, Chengdu, Sichuan*)

Dennis Arne

(*Dalhousie University, Canada*)

Abstract

The measurement and computer modelling of apatite fission tracks in Western Sichuan foreland basin and Longmenshan Region offer new information for the recognition of "Sichuan Movement". The "Sichuan Movement" has four episodes. The first one took place in 60 Ma (Early Paleocene-Late Paleocene), the second one took place in 35~36 Ma (Eocene-Oligocene), the third episode happened in 10 Ma (Middle-Late Miocene), and the fourth one in Early-Late Pleistocene. It could be seen from the above mentioned that the so-called "Sichuan Movement" is actually the Himalayan movement. This movement provided available condition for hydrocarbon migration and accumulation, and it is also the main cause resulting in effective fractures in the basin. Most of the gas pools in the basin were formed during this period.