

# 四川盆地晚白垩世以来的构造隆升作用 与天然气成藏

刘树根, 孙 玮, 李智武, 邓 宾, 刘 顺

(成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 四川成都 610059)

**摘要:** 四川盆地及其周缘地区在喜马拉雅期发生了强烈的隆升运动。除川西拗陷外四川盆地内部自晚白垩世后一直处于隆升阶段, 但各地区有差异, 主要的隆升期是新近纪(隆升速率超过  $100\text{ m/Ma}$ , 隆升幅度超过  $4\ 200\text{ m}$ ), 隆升的阶段性明显, 可分成3个阶段: 第1阶段(晚白垩世—古近纪), 为差异隆升阶段, 大部分地区处于隆升状态, 但隆升的速率有差异; 第2阶段为整体隆升阶段, 全盆地都处于隆升状态, 整体隆升幅度大, 速率一般大于  $40\text{ m/Ma}$ , 隆升幅度超过  $1\ 000\text{ m}$ ; 第3阶段为快速隆升阶段, 全盆地的隆升速率除川西拗陷外均大于  $100\text{ m/Ma}$ , 隆升幅度超过  $1\ 500\text{ m}$ 。四川盆地周缘造山带自晚燕山期以来均是隆升状态, 亦可分为3个阶段: 第1阶段( $120\sim 65\text{ Ma}$ ), 隆升速率  $15\sim 93\text{ m/Ma}$ , 隆升幅度一般在  $1\ 000\text{ m}$  左右; 第2阶段( $65\sim 25\text{ Ma}$ ), 隆升较慢, 速率一般在  $5\sim 47\text{ m/Ma}$ , 隆升幅度为  $250\sim 1\ 800\text{ m}$ ; 第3阶段( $25\text{ Ma}$  至今), 隆升速率高, 为  $60\sim 300\text{ m/Ma}$ , 隆升幅度从  $1\ 300\text{ m}$  到大于  $3\ 000\text{ m}$ 。喜马拉雅期隆升作用一方面控制了现今构造的形成, 另一方面引起能量场调整(压力和温度效应), 促使地层势能的转换和油气的再运聚, 对于油气最终运聚成藏起了重要的作用。四川盆地无论中下组合碳酸盐岩气藏还是上组合碎屑岩气藏的形成都与喜马拉雅期隆升作用息息相关, 大型天然气藏具有晚期定型、快速成藏、大量集中聚集的特征, 即速度快、规模大、分布集中的天然气爆发式成藏。

**关键词:** 隆升; 喜马拉雅运动; 四川盆地; 天然气

**中图分类号:** TE122.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-1926(2008)03-0293-08

## 0 引言

喜马拉雅运动对于四川盆地的形成和定型具有重要作用<sup>[1-7]</sup>, 喜马拉雅期四川盆地周边的强烈隆升作用和自身的整体抬升形成了现今四川盆地的构造格局<sup>[8-16]</sup>。隆升过程中造成地下能量场的变化, 特别是温、压场的改变, 致使油气再运移和重新调整, 这对于现今油气藏的分布有着重要的控制作用<sup>[17]</sup>。

近年来, 裂变径迹技术等作为研究热史(冷却史)和隆升史的重要手段在四川盆地及周边地区得到广泛的应用<sup>[8]</sup>。本文通过笔者近年来在四川盆地及周边所做裂变径迹资料, 结合前人的研究成果, 定量地探讨了四川盆地及周边地区喜马拉雅期的隆

升作用; 在此基础上, 分析了隆升作用对于四川盆地现今油气藏形成和分布的控制作用。这对于揭示四川盆地油气藏的成藏动力学和油气勘探决策具有重要意义。

## 1 四川盆地及其周缘地区晚白垩世以来的隆升作用

### 1.1 四川盆地晚白垩世以来的隆升作用特征

裂变径迹分析的样品主要位于川南威远地区、川东北宣汉地区、川北大巴山前区和川西龙门山地区(图1, 表1)。

威远地区22个地表样品(侏罗系和三叠系砂岩)裂变径迹年龄分布于  $22\sim 47\text{ Ma}$  之间。热史模

拟揭示威远地区晚白垩世—新生代构造隆升主要分为早期沉降—隆升并存阶段、中期差异隆升阶段和晚期快速隆升阶段,且隆升速率有成倍递增的趋势,尤其是喜马拉雅期晚幕隆升强烈,表明喜马拉雅运动对本区的后期改造作用强烈(图2,表1)。距今100~65 Ma,威远地区主要处于中低速差异抬升阶段,隆升速率为41 m/Ma,隆升幅度670 m;距今65~25 Ma为中速隆升阶段,隆升速率为71 m/Ma,隆升幅度1 290 m;距今25 Ma以来为快速抬升时期,隆升速率达到107.2 m/Ma,隆升幅度2 680 m。

川东开县—宣汉地区通过对6个侏罗系磷灰石裂变径迹样品[5个地表样(中上侏罗统)、1个井样(下侏罗统)]测试表明<sup>[18]</sup>,地表样品裂变径迹年龄分布于34~48 Ma之间,井中样品裂变径迹年龄为80.3 Ma。川东地区在早白垩世末地层达到最大埋深之后开始抬升剥蚀,且晚白垩世和新生代构造抬升有如下特征:距今105~80 Ma快速抬升,隆升速率96 m/Ma,隆升幅度2 400 m;距今80~12 Ma为缓慢隆升阶段,隆升速率1.1 m/Ma,隆升幅度74.8 m;距今12 Ma以来快速抬升,隆升速率144 m/Ma,隆升幅度1 728 m(表1)。

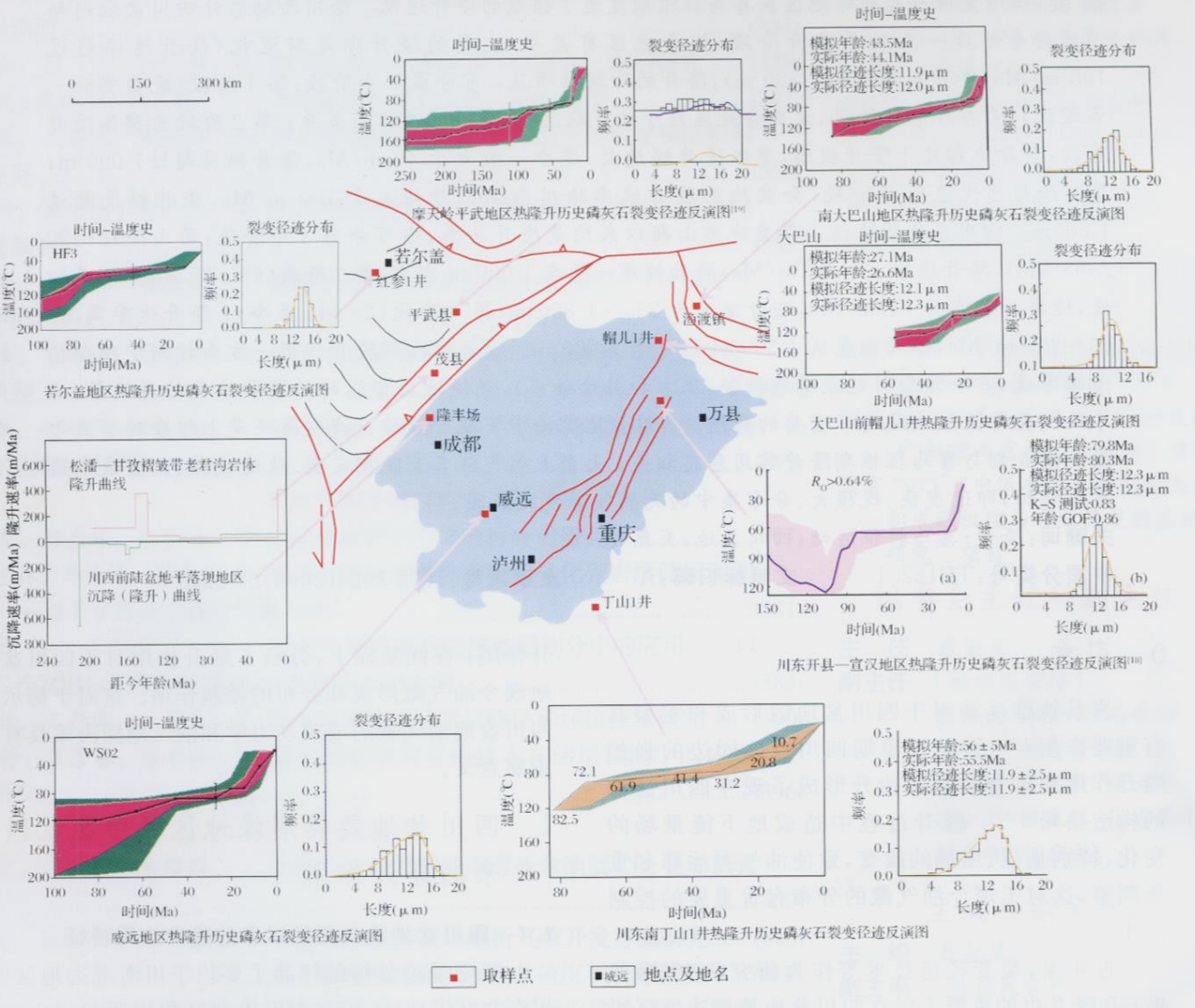


图1 四川盆地及周缘地区晚白垩世以来热隆升史综合对比

川东南大巴山前陆盆地的隆升也可分为3个期次,即早期缓慢隆升,中期速度变大,新近纪快速隆升阶段。帽儿1井中5个砂岩样品(1个三叠系样品、4个侏罗系样品)裂变径迹年龄分布于13.6~

23.7 Ma之间,裂变径迹热史反演表明速率递增变化,从65~40 Ma期间的18 m/Ma隆升速率逐渐增加到40~25 Ma期间的41 m/Ma隆升速率,然后逐渐增加到25~5 Ma期间的86 m/Ma隆升速率,最

后达到 212 m/Ma 的最大隆升速率。

川西前陆盆地喜马拉雅期以前处于缓慢沉降阶段,埋深速率从龙门山前陆滑脱拆离带至前陆盆地具有增大的趋势(表 1)。晚白垩世,川西前陆盆地隆丰场地区(上侏罗统砂岩)位于前陆盆地的拗陷带,埋深速率为-18 m/Ma;古近纪处于中低速抬升阶段,抬升速率为 47 m/Ma;新近纪处于低速缓慢抬升阶段,抬升速率降低为 9.8 m/Ma;速率呈现出两头低、中间高的特征。

综上所述,四川盆地除川西拗陷外自晚白垩世后一直处于隆升阶段,但各地区有差异,主要的隆升

阶段是新近纪,隆升速率超过 100 m/Ma,隆升幅度超过 4 200m。其隆升的阶段可分成 3 个:第 1 阶段(晚白垩世—古近纪)为差异隆升阶段,大部分地区处于隆升状态,但隆升的速率有差异,川西地区的例外与龙门山隆升有关,晚白垩世这一地区为前陆拗陷,处于沉降阶段;第 2 阶段为整体隆升阶段,全盆地都处于隆升状态,整体隆升幅度大,速率一般大于 40 m/Ma,隆升幅度超过 1 000 m;第 3 阶段为快速隆升阶段,全盆地的隆升速率除川西拗陷外均大于 100 m/Ma,隆升幅度超过 1 500 m,川西仍受前陆拗陷的影响,速率较低。

表 1 四川盆地及其周缘地区隆升速率及隆升幅度对比

位置	地区	晚白垩世		古近纪		新近纪		总隆升幅度 (m)
		隆升速率(m/Ma)	隆升高度(m)	隆升速率(m/Ma)	隆升高度(m)	隆升速率(m/Ma)	隆升高度(m)	
四川盆地	龙门山灌县地区	-8.5	-1 470	47	1 117	9.8	353	
	川西隆丰场地区	-18	-1 882	81	1 647	6.6	235	
	帽儿 1 井	18	620	41	1 650	149	2 780	> 5 050
	威远地区	41	670	71	1 290	107.2	2 680	> 4 640
	川东开县地区	96	2 400	1.1	74.8	144	1 728	4 200
周缘造山带	川东南丁山 1 井	93	1 030	14.8	720	59.8	1 360	> 3 110
	南大巴山地区	15	1 000	47.5	1 800	148.5	2 640	> 5 440
	松潘—甘孜褶皱带 (南部地区)					300~400	3 000~4 000	> 3 000
	龙门山地区					> 600	> 6 000	> 6 000
	若尔盖地区	89	1 520	5	250	115	1 940	> 3 700
	摩天岭平武地区	52.9	900	8	500	142.9	3 000	> 4 400

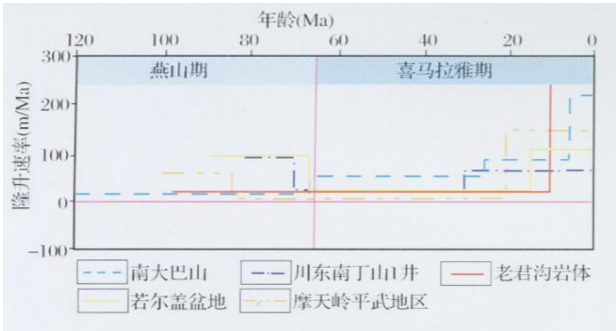


图 2 四川盆地晚白垩世以来隆升速率对比

1.2 四川盆地周缘地区晚白垩世以来隆升特

川东南地区丁山 1 井位于重庆市綦江县打通镇,其样品(二叠系龙潭组煤系地层)裂变径迹年龄为 46~56 Ma 之间,热史模拟反演表明晚白垩世至今其隆升速率显示出具有两头高、中间低的特征,隆升幅度达到 3 110 m。从 82 Ma 到 65 Ma 期间处于中高速隆升阶段,隆升速率最大(93 m/Ma),隆升幅度为 1 030 m;从 65 Ma 到 25 Ma 期间处于低速隆升阶段,隆升速率为 14.8 m/Ma,隆升幅度为 720 m;从 25 Ma 至今处于中速隆升阶段,隆升速率

增加较少,为 59.8 m/Ma,隆升幅度为 1 360 m(图 1,表 1,图 3)。

南大巴山各阶段隆升速率和隆升幅度成高倍递增变化特征(表 1)。南大巴山地区渔渡镇、赤南乡地表三叠系、侏罗系砂岩样品裂变径迹年龄分别为 38 Ma、39 Ma。磷灰石裂变径迹热史模拟表明,自 130 Ma 以来地层剥蚀厚度达 5 440 m。130~65 Ma 为低速抬升阶段,平均隆升速度约 15 m/Ma,抬升幅度为 1 000 m;65~25 Ma 为中低速抬升阶段,隆升速率为 47.5 m/Ma,抬升幅度为 1 800 m;25~5 Ma 为中速抬升阶段,隆升速率为 84 m/Ma,抬升幅度为 1 640 m;5 Ma 至今为高速抬升阶段,隆升速率达到 214 m/Ma,抬升幅度为 1 060 m(图 3)。

松潘—甘孜褶皱带具有阶段性隆升(沉降)特征。在唐克—若尔盖地区,样品(三叠系侏倭组砂岩)裂变径迹年龄分布于 50~68Ma 之间。经热史反演分析研究表明,若尔盖地区自 95Ma 以来平均隆升幅度约为 4 000 m;隆升具有明显的阶段性(表 1),晚白垩世和新近纪速率分别为 89 m/Ma 和



115 m/Ma, 各自产生 1 500 m 和近 2 000 m 的隆升幅度, 且尤其新近纪以来以强烈的隆升速率和隆升幅度特征显著, 呈现出两头高、中间低的特征(图 3)。

摩天岭平武地区花岗岩磷灰石裂变径迹反演研究表明<sup>[19]</sup>: 磷灰石裂变径迹年龄为  $49 \pm 5$  Ma, 原岩为晋宁期岩石(Shirmp 锆石核心年龄为 780 Ma, 锆石边部年代为 230 Ma)。燕山晚期(100~65 Ma), 地温维持相对稳定, 处于中低速隆升阶段, 隆升速率为 52.9 m/Ma, 隆升幅度为 900 m; 喜马拉雅期早期(65~23 Ma)处于缓慢抬升阶段, 抬升速率仅为 8 m/Ma, 抬升幅度为 500 m; 至 23 Ma 开始, 地温快速降低, 本地区处于高速隆升阶段, 隆升速率达到 142.9 m/Ma, 隆升幅度达到 3 000 m, 显示花岗岩体在喜马拉雅运动期间被快速出露地表, 总体隆升也呈现出两头高、中间低的特征。

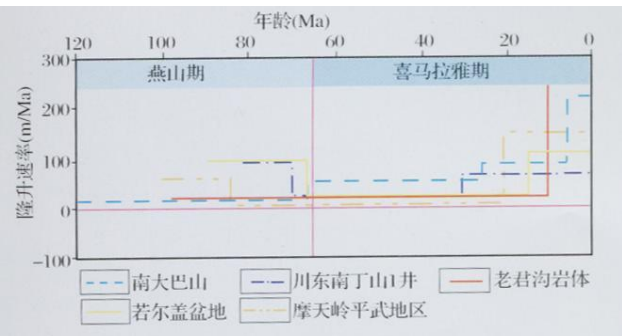


图3 四川盆地周缘地区隆升速率对比

综上所述, 四川盆地周缘地区自晚燕山期以来均是隆升状态, 其隆升可分为 3 个阶段: 第 1 阶段(120~65 Ma), 隆升速率为 15~93 m/Ma, 隆升幅度一般在 1 000 m 左右; 第 2 阶段(65~25 Ma), 隆升较慢, 速率一般在 5~47 m/Ma 之间, 隆升幅度 250~1 800 m; 第 3 阶段(25 Ma 至今), 隆升速率高, 为 60~300 m/Ma, 隆升幅度从 1 300 m 到大于 3 000 m。总体而言, 松潘地区和龙门山地区隆升最快, 隆升幅度大于 3 000 m, 个别地段甚至超过 6 000 m。

### 1.3 四川盆地及其周缘地区隆升史特征对比

四川盆地各构造单元晚白垩世至今具有各自不同的隆升特征(图 2、图 3): 川西具有两头低、中间高的隆升特征, 川西南威远地区具有成梯度递增的变化特征, 川东南、川东地区具有两头高、中间低的隆升特征。

南大巴山地区、南大巴山前陆地区和威远地区晚白垩世以来隆升速率和隆升幅度阶段性特征明显、成递增变化趋势; 川东南地区、川东地区、摩天岭

地区和若尔盖地区古近纪隆升速率和隆升幅度明显小于晚白垩世和新近纪隆升速率和隆升幅度, 呈现出两头高、中间低的特征; 龙门山前陆滑脱拆离带灌县地区和川西前陆盆地隆丰场地区晚白垩世主要为沉降阶段, 古近纪和新近纪则处于构造抬升, 隆升速率和隆升幅度明显呈现出中间高、两头低的变化特征(图 2、图 3)。

总体而言, 区域上晚白垩世以来构造抬升特征分段性明显, 新近纪构造隆升速率高的特征异常突出(图 2); 新近纪隆升速率以龙门山 600 m/Ma 最高, 龙门山造山带西北地区若尔盖和摩天岭等地新近纪隆升速率明显成数十倍的增大趋势, 而四川盆地及其周缘地区(除川东北开县地区外), 普遍以成数倍的隆升速率递增趋势, 显示了龙门山造山带对四川盆地新生代演化的重要作用。

### 1.4 四川盆地隆升作用与青藏高原形成的关系

青藏高原的形成和演化过程分 3 个阶段: 第 1 个阶段是晚三叠世一早中侏罗世时羌塘地体与巴颜喀拉地体的碰撞; 第 2 阶段是中晚白垩世拉萨地体与羌塘地体的碰撞; 第 3 阶段是古近纪至今喜马拉雅地体与拉萨地体碰撞最终形成完整的青藏高原并持续隆升<sup>[20]</sup>。

四川盆地的隆升与青藏高原的形成和发展有着重要的相关性。青藏高原的第一阶段, 促使松潘—甘孜造山带的形成, 对龙门山的崛起起了重要的促进作用; 第 2 阶段直接引发了四川盆地的全面隆升, 第 3 阶段则使得四川盆地快速隆升。

喜马拉雅期以来四川盆地隆升主要分 65~25 Ma 和 25 Ma 至今 2 个阶段, 青藏高原最终形成的过程虽然有众多的观点, 但大体上也可划分成 2 个阶段, 45~20 Ma 和 20 Ma 至今 2 个大的阶段, 前一阶段隆升速率低, 在 25 Ma 间缓慢隆升了约 1 800 m, 速率仅为 72 m/Ma; 后一阶段隆升速率快, 特别是在 3 Ma 后的快速隆升, 这一阶段 20 Ma 间隆升了 3 200 m, 隆升速率平均可达  $160 \text{ m/Ma}^{[20]}$ , 在时间上与四川盆地的隆升相对应, 在隆升速率上也一致, 说明二者之间的相关性。

## 2 四川盆地喜马拉雅期隆升作用引起的效应

喜马拉雅期, 四川盆地隆升作用强烈, 速度快, 时间短, 隆升幅度大。这必然带来一系列的效应, 并影响到油气的成藏和分布。

## 2.1 新圈闭的形成与老圈闭的改造

喜马拉雅运动在四川盆地最明显的效应就是新圈闭的形成,这以威远构造最为明显。威远构造是喜马拉雅期由于差异隆升形成的圈闭,之前,它仅是资阳古圈闭的南斜坡<sup>[21]</sup>。老圈闭的调整(破坏),很明显的实例就是资阳含气区。喜马拉雅期前资阳地区是古圈闭,现今则是威远构造的北斜坡<sup>[21]</sup>。老圈闭的调整在普光气田也较为明显<sup>[22]</sup>。新圈闭的形成与老圈闭的改造是喜马拉雅期隆升带来的最为明显的结果。

## 2.2 能量场的调整

本文指的能量场主要包括温度场和压力场。隆升作用势必引起能量场的变化。对于像四川盆地这样的多旋回叠合盆地,由于烃源岩早已进入成熟—过成熟阶段,原油已裂解为天然气,温度场变化引起的效应不明显,而压力效应非常突出。古压力的计算较为困难,但隆升过程中,由于剥蚀作用和深度减小,上覆压力会变小;若古压力保持不变,地层会产生异常高压。四川盆地喜马拉雅期隆升一般都超过3 000 m。按静水压力计算,隆升3 000 m,地层压力会减小29.5 MPa( $P = \rho gh$ ,地层水密度 $\rho$ 取 $1 \text{ kg/m}^3$ , $g = 9.8 \text{ N/kg}$ , $h = 3 \text{ 000 m}$ )。原本在高压高温下压缩的气体,这时会膨胀,使得地层压力变大,当地层压力达到岩石破裂压力时,产生裂缝,气体常会沿着裂缝逸散,川西浅层气田的形成即与此有关<sup>[17]</sup>。

压力效应的另一个结果是水溶气藏的形成。高温高压下,天然气大量溶于水中,而隆升作用致使压力突然降低,天然气大量脱溶,形成水溶气藏。威远气田的形成即与此有很大的关系<sup>[23]</sup>。

## 2.3 油气的再运聚

四川盆地隆升前主力烃源主要是四川盆地的主要生烃层系,这些生烃层系已成熟或过熟,大量生成的油气进入古圈闭形成古油气藏<sup>[24-25]</sup>。但在隆升过程中,主力烃源实际上已不是这些烃源岩,一方面,隆升前由于埋深作用,大部分烃源都过成熟,生烃能力降低;另一方面,隆升作用抑制了生烃能力,再生烃能力降低。这时的“烃源”实际上是已形成的古气藏。各层系形成的古气藏直接成了本层系的“烃源”(如震旦系),有些成了其它层系的“烃源”(如侏罗系的气源来自下伏三叠系古气藏)<sup>[26]</sup>。

隆升的差异性会使得压力的降低也存在差异性,也会促使地层内的势能转化,使流体发生再运

移,这一方面有利于油气的再运聚,另一方面也会破坏原先的油气藏。

## 3 四川盆地喜马拉雅期隆升与天然气成藏

### 3.1 震旦系威远气田和丁山构造的成藏(破坏)过程

四川盆地震旦系一下古生界(也称下组合)碳酸盐岩仅发现一个气田——威远震旦系气田(藏)。威远气田探明储量 $408.61 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,在四川盆地12个大气田中排第6。威远构造圈闭的形成正是在喜马拉雅期;之前,其仅是资阳古圈闭的南斜坡。隆升过程中,由于威远地区隆升速率快,形成了威远圈闭。在这个过程中,威远构造捕集了来自资阳古气藏的天然气而成藏(图4)。

喜马拉雅期前,资阳—威远地区经历了古油藏和古油藏裂解形成古气藏这2个主要成藏阶段<sup>[23]</sup>,形成古气藏时同时形成异常高压,使得天然气溶于水中形成水溶天然气。在喜马拉雅期隆升过程中,资阳地区主要是在原气顶气的基础上再调整形成现今含气区,威远地区由于隆升造成压力降低,水中溶解的天然气脱溶,最终脱溶成藏(图4)。

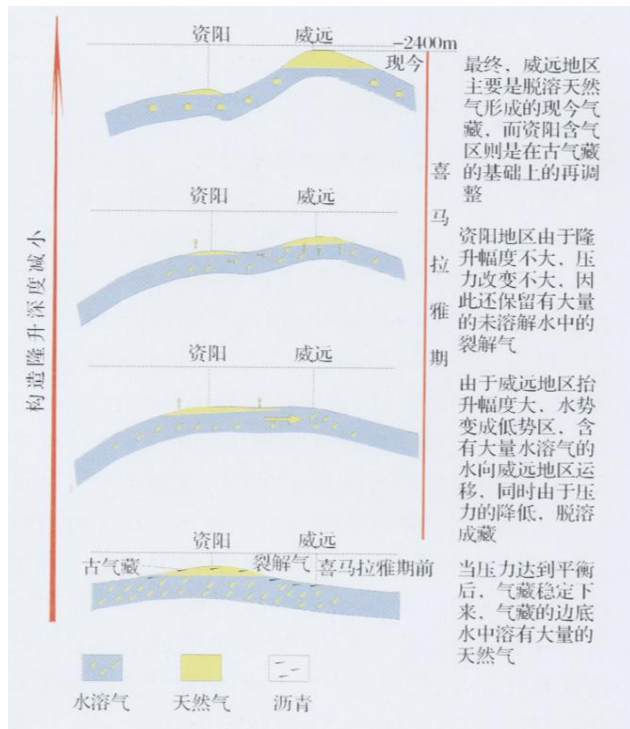


图4 四川盆地资阳—威远地区喜马拉雅期震旦系天然气成藏模式

丁山构造则是喜马拉雅期破坏了的震旦系气藏,其位于川东南地区,属酒垭店背斜北西翼。丁山

1 井震旦系岩芯见大量沥青,说明曾有过油气聚集形成古油藏。晚白垩世前,古油藏由于埋深超过 6 000 m,古油藏裂解形成古气藏。喜马拉雅期由于隆升作用,抬升超过 3 000 m,使得桑木场背斜抬升,震旦系出露地表,丁山构造附近断层发育且断至地表,古气藏的气沿断裂向上运移,由于顶部没有盖层覆盖,天然气逸散,现今未能成藏(图 5)。

由此看来,喜马拉雅运动的隆升作用对于下组合油气成藏有利还是有弊,会因地区不同而异。

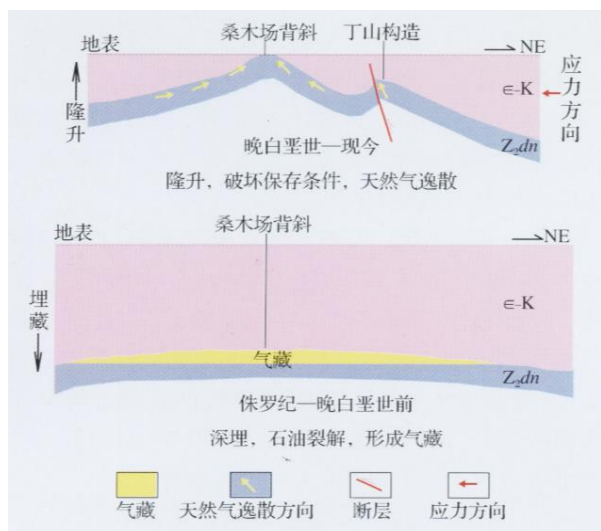


图 5 四川盆地丁山构造震旦系天然气成藏(破坏)模式示意

### 3.2 下三叠统普光气藏的成藏过程

普光气田是四川盆地上古生界—中生界中三叠统(也称中组合)最大的气田,探明储量 $2\,510.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,主要储集层是下三叠统飞仙关组鲕滩白云岩。马永生<sup>[22]</sup>认为,普光气田的形成与喜马拉雅期的再富集一定位有关。喜马拉雅运动中晚期,普光的构造格局逐渐形成,储层原油裂解形成的天然气、不同演化阶段的储层沥青裂解形成的天然气、源岩和异地储层沥青裂解形成并在油气藏调整改造过程中注入储层的天然气在晚喜马拉雅期—现今构造面貌和储层岩性变化的控制下,在现今的构造—岩性复合圈闭富集,形成现今的天然气藏(图 6)。

综上所述,震旦系与三叠系油气成藏的层位虽然有老有新,成藏的条件也不相同,但从成藏过程来看,二者具有相似性:①埋藏过程中,由于主力烃源岩均为油系烃源,生成石油,在成藏区域聚集形成古油藏;②继续埋藏的过程中,高温高压下石油裂解形成天然气,同时也产生异常压力,异常压力使得一部分天然气溶于水,一部分向上逸散到其他层位,一

部分形成古气藏;③喜马拉雅期的隆升作用,改变了四川盆地的构造格局,老圈闭的调整(破坏),新圈闭的形成,古气藏调整,溶解于水的天然气脱溶,最终形成现今的气藏。

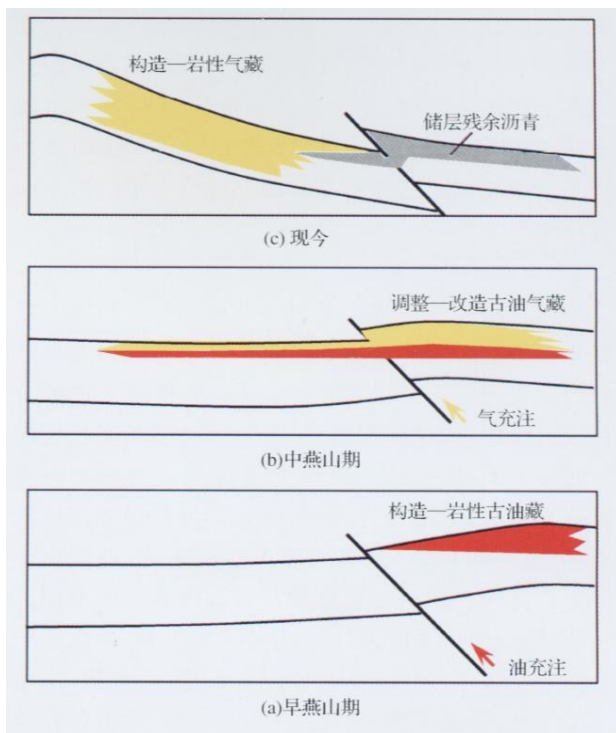


图 6 四川盆地普光—东岳寨构造原油聚集、油气藏调整改造与再聚集模式<sup>[24]</sup>

总体来讲,现今气藏与古气藏的形成区一般相距不远,也是某种意义上的“源控”成藏,但是古气藏的主要烃源来自古油藏,今气藏的烃源主要来自古气藏和溶解气。因此,喜马拉雅期的隆升作用对于现今碳酸盐岩的成藏有着重要的控制作用。

### 3.3 川西侏罗系碎屑岩气藏的成藏过程

刘树根<sup>[17]</sup>指出,四川运动(即喜马拉雅运动)是川西地区最重要的构造运动之一,川西前陆盆地浅层侏罗系天然气藏属于流体跨层流动和天然气爆发式成藏,主要发生在喜马拉雅期。川西前陆盆地侏罗系红层中发现了平落坝、新场、白马—松华、洛带等一系列的气田(藏),其中新场气田探明储量 $652.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,洛带气田探明储量 $323.83 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,分别排四川盆地大气田的第 3 位和第 12 位。川西地区在喜马拉雅期的快速隆升,使得这一地区断层和裂缝系统发育,断至三叠系的断层主要是在这一时期形成。隆升作用使得上覆地层压力降低,并使本具异常高压的深层部位的天然气沿断层与裂缝系统以速度快、规模大和范围窄的形式运移和聚



集,即爆发式成藏(图7)。

### 3.4 四川盆地天然气的成藏特征

(1)晚期性。四川盆地天然气基本都是在晚白垩世—喜马拉雅期最终成藏,之前的古气藏都在这一时期被调整(破坏、脱溶、跨层运移等)。

(2)快速性。最终成藏时间只有从晚白垩世—喜马拉雅期的几十个百万年,最为重要的时间是10 Ma以来。因此,时间短、速度快。

(3)天然气聚集量大。在这么短的时间内,四川盆地聚集的天然气量非常大。以普光气田为例,其隆升主要集中于新近纪12 Ma,聚气速率为 $209 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{Ma}$ (聚气率=探明储量 $[2.510 \times 10^8 \text{ m}^3]$ /主要成藏时间 $[12 \text{ Ma}]$ )。而同时期成藏的克拉2气藏聚气速率为 $568 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{Ma}$ ( $2.840.29 \times 10^8 \text{ m}^3/5 \text{ Ma}^{[27]}$ )。

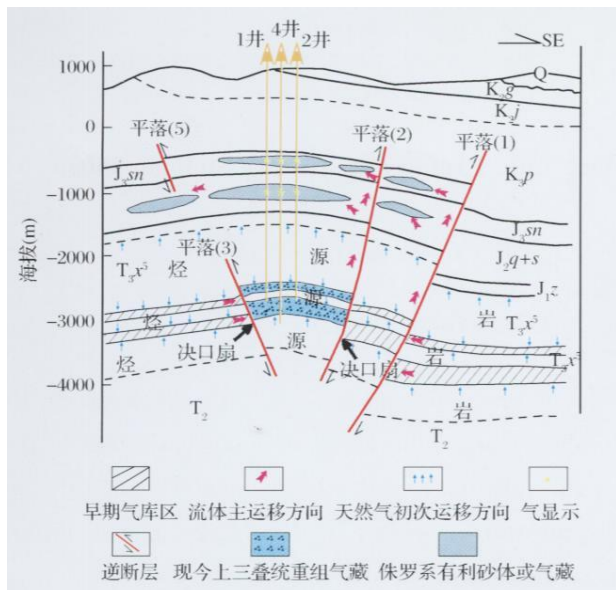


图7 川西前陆盆地流体的跨层流动和天然气爆发式成藏模式(以平落坝气田为例)[17]

因此,四川盆地自下而上的各层系大型天然气藏具有晚期定型、快速成藏、集中聚集的特征,即速度快、规模大、分布集中的天然气爆发式成藏。

## 4 结论

(1)四川盆地及周缘地区在喜马拉雅期发生了强烈的隆升运动。除川西坳陷外四川盆地内部自晚白垩世后一直处于隆升阶段,但各地区有差异,主要的隆升阶段是新近纪,隆升速率超过 $100 \text{ m}/\text{Ma}$ ,隆升幅度超过 $4200 \text{ m}$ 。其隆升的阶段可分成3个:第1阶段(晚白垩世—古近纪)为差异隆升阶段,大部分地区处于隆升状态,但隆升的速率有差异,川西坳

陷的例外与龙门山隆升有关,晚白垩世这一地区为前陆坳陷,处于沉降阶段;第2阶段为整体隆升阶段,全盆地都处于隆升状态,整体隆升幅度大,速率一般大于 $40 \text{ m}/\text{Ma}$ ,隆升幅度超过 $1000 \text{ m}$ ;第3阶段为快速隆升阶段,全盆地的隆升速率除川西坳陷外均大于 $100 \text{ m}/\text{Ma}$ ,隆升幅度超过 $1500 \text{ m}$ ,川西仍受前陆坳陷的影响,速率较低。

(2)四川盆地周缘造山带地区自晚燕山期以来均是隆升状态,可分为3个阶段:第1阶段( $120 \sim 65 \text{ Ma}$ ),隆升速率 $15 \sim 93 \text{ m}/\text{Ma}$ ,隆升幅度一般在 $1000 \text{ m}$ 左右;第2阶段( $65 \sim 25 \text{ Ma}$ ),隆升较慢,速率一般在 $5 \sim 47 \text{ m}/\text{Ma}$ ,隆升幅度为 $250 \sim 1800 \text{ m}$ ;第3阶段( $25 \text{ Ma}$ 至今),隆升速率高,为 $60 \sim 300 \text{ m}/\text{Ma}$ ,隆升幅度从 $1300 \text{ m}$ 到大于 $3000 \text{ m}$ 。

(3)青藏高原喜马拉雅期以来的整体隆升大体可分2个大阶段,即 $45 \sim 20 \text{ Ma}$ 和 $20 \text{ Ma}$ 至今,前一阶段隆升速率低,后一阶段隆升速率快,特别是在 $3 \text{ Ma}$ 后的快速隆升<sup>[20]</sup>,在时间上与四川盆地古近纪以来的两大隆升阶段相对应,在隆升速率上也一致,说明二者之间的相关性。

(4)喜马拉雅隆升作用一方面控制了现今构造的形成,另一方面引起能量场调整(压力和温度效应),促使地层势能的转换,油气的再运聚,对于油气最终运聚成藏起了重要的作用。

(5)四川盆地无论中下组合碳酸盐岩气藏还是上组合碎屑岩气藏的形成都与喜马拉雅期隆升作用息息相关,四川盆地大型天然气藏具有晚期定型、快速成藏、大量集中聚集的特征,即速度快、规模大、分布集中的天然气爆发式成藏。

### 参考文献:

- [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.
- [2] 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.
- [3] 罗志立, 赵锡奎, 刘树根. 龙门山造山带的崛起和四川盆地的形成与演化[M]. 成都:成都科技大学出版社, 1994.
- [4] 罗志立, 李景明, 刘树根, 等. 中国板块构造和含油气盆地分析[M]. 北京:石油工业出版社, 2005.
- [5] 刘树根, 罗志立, 戴苏兰. 川西前陆盆地的“四川运动”及与油气的关系[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(4): 276-281.
- [6] 王庭斌. 新近纪以来中国构造演化特征与天然气田的分布格局[J]. 地学前缘, 2004, 11(4): 403-416.
- [7] 贾承造. 中国喜马拉雅构造运动的陆内变形特征与油气矿藏富集[J]. 地学前缘, 2007, 14(4): 96-104.
- [8] 刘树根, 罗志立, 戴苏兰, 等. 龙门山冲断带的隆升和川西前陆盆地的沉降[J]. 地质学报, 1995, 69(3): 205-214.

- [9] 刘树根, 罗志立, 赵锡奎, 等. 中国西部盆山系统的耦合关系及其动力学模式——以龙门山造山带—川西前陆盆地系统为例[J]. 地质学报, 2003, 77(2): 177-186.
- [10] 李廷栋. 青藏高原隆升的过程和机制[J]. 地球学报, 1995, (1): 1-8.
- [11] 陈国达. 青藏高原隆升的历史背景和成因[J]. 大地构造与成矿学, 1997, 21(2): 95-108.
- [12] 肖序常, 王军. 青藏高原构造演化及隆升的简要评述[J]. 地质论评, 1998, 44(4): 372-380.
- [13] 王成善, 丁学林. 青藏高原隆升研究新进展综述[J]. 地球科学进展, 1998, 13(6): 526-532.
- [14] 李勇, 周荣军, Densmore A L, 等. 青藏高原东缘大陆动力学过程与地质响应[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- [15] 贾秋鹏, 贾东, 朱艾斓, 等. 青藏高原东缘龙门山冲断带与四川盆地的现今构造表现: 数字地形和地震活动证据[J]. 地质科学, 2007, 42(1): 31-44.
- [16] 吴珍汉, 吴中梅, 胡海道, 等. 青藏高原渐新世晚期隆升的地质证据[J]. 地质学报, 2007, 81(5): 577-586.
- [17] 刘树根, 李国蓉, 李巨初, 等. 川西前陆盆地流体的跨层流动和天然气爆发式成藏[J]. 地质学报, 2005, 79(5): 690-699.
- [18] 沈传波, 梅廉夫, 郭彤楼. 川东北地区中、新生代热历史的裂变径迹分析[J]. 天然气工业, 2007, 27(7): 24-26.
- [19] 刘春平. 松潘—阿坝盆地构造演化与石油地质基本条件[D]. 博士论文, 2006, 136-140.
- [20] 孙鸿烈, 郑度. 青藏高原形成演化与发展[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998: 1-61.
- [21] 宋文海. 乐山—龙女寺古隆起大中型气田成藏条件研究[J]. 天然气工业, 1996, 16(增刊): 13-26.
- [22] 马永生, 蔡勋育. 四川盆地川东北二叠系—三叠系天然气勘探成果与前景展望[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 741-750.
- [23] 孙玮, 刘树根, 马永生, 等. 四川盆地威远—资阳地区震旦系油裂解气判定及成藏过程定量模拟[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1153-1159.
- [24] 黄籍中, 陈盛吉, 宋家荣, 等. 四川盆地烃源体系与大中型气田形成[J]. 中国科学: D 辑, 1996, 26(6): 504-510.
- [25] 黄籍中. “源控论”再认识——以四川盆地天然气勘探为例[J]. 海相油气地质, 1998, 3(2): 1-5.
- [26] 王金琪. 早聚晚藏——川西坳陷天然气基本特征[J]. 天然气工业, 2001, 21(1): 5-12.
- [27] 贾承造, 周新源, 王招明, 等. 克拉2气田石油地质特征[J]. 科学通报, 2002, 11(47): 91-96.

## Tectonic Uplifting and Gas Pool Formation since Late Cretaceous Epoch, Sichuan Basin

LIU Shu-gen, SUN Wei, LI Zhi-wu, DENG Bin, LIU Shun

(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation,  
Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** The strong tectonic uplifting took place since late Cretaceous epoch in the Sichuan Basin and its peripheral orogenic zones. Except the west Sichuan foreland basin, the whole Sichuan basin was in the state of uplifting since late Cretaceous epoch. However, the uplifting characteristics are diverse in different parts of the basin. The uplifting process could be divided into three stages. The first stage, namely differential uplifting stage, is from the late Cretaceous epoch to the Eogene period. Most of the basin was raised with differential uplift velocities in this stage. The second stage is called the whole basin uplifting stage, with the uplifting rate of more than 40m/Ma and the uplifting height of more than 1 000m. The third stage is the fast uplifting stage with the uplifting height of more than 1 500m and the velocity of more than 100m/Ma except the west Sichuan basin. The Himalayan uplifting is not only to control the formation of the modern structures, but also to adjust the energy field (temperature and pressure) in the basin. The adjustment of the energy made fluids re-migrate and took an important part in the formation of the natural gas pools in the basin. The hydrocarbon accumulations there from Palaeozoic to Mesozoic, both carbonate and clastic rocks, are also related to the Himalayan uplifting. The big natural gas fields (pools) in the basin have the following characteristics: late finalization, fast formation of hydrocarbon pools, vast quantity accumulation of hydrocarbon, namely fast velocity, large scale and concentrated distribution.

**Key words:** Uplift; Himalayan movement; Sichuan Basin; Gas accumulation.