

四川盆地

Formation Process and Mechanism of
the Sinian-Silurian Natural Gas Reservoirs
in the Sichuan Basin, China

下组合天然气的成藏过程和机理

刘树根 马永生 王国芝 等 著
蔡勋育 徐国盛 孙 玮



科学出版社

四川盆地下组合天然气的 成藏过程和机理

刘树根 马永生 王国芝 蔡勋育 徐国盛 孙 玮 等著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是全面研究四川盆地下组合天然气成藏过程和机理的专著。本书详细分析研究四川叠合盆地的构造格局和盆山结构、下组合碳酸盐岩储层特征及优质储层的形成和保存机制、下组合能量场的演化和烃态变化特征、下组合流体活动与保存条件的动态演化等；在此基础上，系统研究四川盆地震旦系灯影组和下古生界（古）油气藏形成（破坏）过程和机理，并深入探讨四川盆地深层碳酸盐岩气藏的成藏模式。

本书可供地质、石油、天然气领域科研人员和产业部门人员、高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

四川盆地下组合天然气的成藏过程和机理/刘树根等著. —北京：科学出版社，2014.12
(油气藏地质及开发工程丛书)

ISBN 978-7-03-042872-1

I. ①四… II. ①刘… III. ①四川盆地-天然气-油气藏形成-研究 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 308493 号

责任编辑：杨 岭 黄 桥 / 责任校对：李 娟

责任印制：余少力 / 封面设计：墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 12 月第 一 版 开本：889×1194 1/16

2014 年 12 月第一次印刷 印张：27.5

字数：800 000

定价：298.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

本书作者

刘树根 马永生 王国芝 蔡勋育

徐国盛 孙 玮 袁海锋 张长俊

雍自权 李智武 盘昌林

前 言

叠合盆地是我国西部含油气盆地的重要属性,也是油气增储上产的主要领域。我国西部叠合盆地油气勘探潜力巨大,剩余资源占全国总量的45%以上。这些剩余资源的80%又主要分布在埋深超过4500m的深部领域。

四川盆地是我国西部典型的含油富气叠合盆地。我国发现的第一个大气田(1964年发现)——威远气田,也是至今我国油气产层(震旦系灯影组)最老的油气田,就位于四川盆地内。显然,位于该叠合盆地沉积盖层最底层的元古界震旦系灯影组油气藏的形成过程和机理最能揭示叠合盆地油气的成藏特征。四川盆地在区域构造上位于青藏高原东缘,喜马拉雅期构造改造作用强烈。因此,四川盆地是揭示我国叠合盆地基本地质特征和油气多期成藏、调整或破坏过程及机理的最佳地区。我们有幸生活和工作在四川盆地内。出于兴趣、工作和责任,我们把四川盆地作为长期的研究基地。

我们荣幸参加了金之钧院士作为首席科学家的973项目“中国海相碳酸盐岩层系油气富集机理与分布预测”(2005CB422100),并承担了“06”课题“中国海相碳酸盐岩层系深层油气成藏机理”(2005CB422106,负责人:马永生、刘树根)的研究任务。本课题拟解决的关键科学问题是多期构造活动背景下深层碳酸盐岩储层孔洞缝形成过程、圈闭形成(改造)过程和油气运聚散过程在时间上和空间上的动态匹配关系。其主要研究内容有:①典型叠合盆地深层碳酸盐岩层系能量场的特征和演化;②典型叠合盆地深层碳酸盐岩层系优质储层发育特征与形成过程;③典型叠合盆地深层碳酸盐岩层系油气成藏动力学过程。四川盆地地下组合(震旦系-志留系)是其重点研究层位。本专著即是该课题研究的主要成果。

我们对四川盆地地下组合的集中研究开始于2004年,那时四川盆地地下组合的油气勘探处于低潮,可研究的资料少,研究难度大。为此,我们实测了四川盆地周缘所有的出露震旦系灯影组(下组合)的典型剖面,解剖了四川盆地周缘出露的典型的下组合古油藏,详细研究了钻达震旦系灯影组的1字号钻井资料,将构造作用(建造-改造、沉降-隆升、沉积和剥蚀)和油气成藏过程(生烃灶-古油藏-古气藏-今气藏)研究作为主线贯穿研究始终,采用“点”(威远气田、资阳含气区、丁山-林滩场古油藏、米仓山古油藏)、“面”(四川盆地)和国内外对比研究相结合,“事件鉴定”、“过程恢复”和“关系建立”相呼应及地质-地球化学-地球物理的综合研究方法,获得如下具有创新性的认识和成果:

(1)揭示了四川盆地地下组合天然气藏形成经历了古油藏(生气中心)—古气藏(储气中心)—现今气藏(保气中心)的变换过程。古油藏是古气藏的主要“烃源”、古气藏是现今(残留)气藏的主要“烃源”。下组合天然气藏的形成是在多期构造作用控制下由四中心(生烃中心、生气中心、储气中心和保气中心)的耦合关系决定的。油气能否成藏和保存下来的关键取决于烃源是否丰富和保存条件是否较佳,即具有源盖联合控烃控藏的特征。

(2)根据生气中心、储气中心和保气中心是否在同一层位,可将四川盆地海相碳酸盐岩层系深层气藏分为两大类:原生气藏(生气中心、储气中心和保气中心位于同一层位内)和次生气藏(生气中心、储气中心与保气中心位于不同层位)。原生气藏形成(破坏)模式又进一步分为:①“三中心”叠合的成藏模式;②“储气中心”解体的成藏模式;③“三中心”短距离移位的成藏模式;④缺乏保气中心的油气藏破坏模式。“三中心”叠合模式原油裂解气的成藏效率最高,“储气中心”解体模式原油裂解气的成藏效率中等,“三中心”短距离移位模式和次生气藏形成模式原油裂解气的成藏效率较低,保气中心缺乏模式原油裂解气的成藏效率为零。因此,从油气勘探的效益着眼,应以寻找“三中心”叠合模式形成的气藏为主。

(3)提出四川盆地海相油气分布主要受拉张槽、古隆起和盆山结构的联合控制。①四川盆地经历“兴凯”和“峨眉”两期地裂运动,形成绵阳-长宁和开江-梁平两期拉张槽。我们新近发现的绵阳-长宁拉张

槽控制了筇竹寺组优质烃源和灯影组优质储层的发育和分布。拉张槽对这些原生地质条件(厚度、质量和面积)的控制,致使下组合烃类的富集区集中在绵阳-长宁拉张槽及其周缘地区。②四川盆地巨型古隆起为油气区域运移的重要指向区,促使油气在运移过程中向着古隆起高部位运聚,形成古油气藏。③晚燕山-喜马拉雅期四川盆地与周缘造山带形成复合盆山体系,可分为川中原地隆起-盆地区、川北突变型盆山结构区、川西突变型盆山结构区、川东渐变型盆山结构区、川西南渐变型盆山结构区。盆山结构控制了四川盆地海相碳酸盐岩的保存条件,保存条件最佳为川中原地隆起-盆地区和突变型盆山结构区。④拉张槽、古隆起和川中原地隆起-盆地区或突变型盆山结构区三者相叠合的地区是四川盆地海相油气勘探最有利地区。最近下组合油气勘探取得重大突破的高石梯-磨溪地区正位于本研究提出的川中原地隆起-盆地有利区。

目前,下组合的勘探是四川盆地油气勘探的重点和热点领域。随着资料的积累和研究程度的提高,本专著的认识和观点定有不足或不完善之处,敬请各位读者批评指正!

本专著研究过程中,得到金之钧、罗志立、韩克猷、黄籍中、贝丰、王清震、郭旭升、蔡立国、秦建中、潘长春、邱楠生、何治亮、樊太亮、胡文瑄、钱一雄、于炳松、杨长春、魏修成、郝芳、段毅、陈红汉、蔡忠贤、邹华耀、汤良杰、田海芹、郭彤楼、楼章华、胡东风、吕修祥、龙胜祥、孙冬胜、沃玉进等专家学者的指导和支持;中国石油化工股份有限公司勘探南方分公司、中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司、中国石油化工股份有限公司西南油气分公司、成都理工大学等在资料收集、研究场地和人员安排上给予了大力支持。在此一并致谢!

目 录

第1章 四川含油气叠合盆地基本特征	1
1.1 四川盆地的构造格局和盆山结构	1
1.1.1 地貌-地质三分性	1
1.1.2 盆山结构	4
1.2 四川叠合盆地的演化	6
1.2.1 沉积盖层三大演化阶段	6
1.2.2 关键变革期	8
1.3 四川盆地晚白垩世以来隆升(剥蚀)作用	11
第2章 四川盆地下组合碳酸盐岩储层特征	16
2.1 四川盆地重点地区下组合碳酸盐岩储层特征	16
2.1.1 川东南林1井震旦系-下古生界储层特征	16
2.1.2 川东南丁山1井震旦系-下古生界储层特征	27
2.1.3 乐山-龙女寺古隆起震旦系-下古生界储层特征	33
2.1.4 米仓山地区震旦系-下古生界储层特征	37
2.2 四川盆地震旦系-下古生界储层发育段储集空间类型	47
2.3 四川盆地震旦系-下古生界碳酸盐岩储层评价	51
2.4 四川盆地震旦系-下古生界储层特征对比	52
2.4.1 震旦系储层对比	52
2.4.2 寒武系储层对比	54
2.4.3 奥陶系储层对比	55
2.4.4 志留系储层对比	58
第3章 四川盆地下组合碳酸盐岩优质储层的形成和保存机制	59
3.1 四川盆地震旦系-志留系碳酸盐岩储层致密化过程	59
3.1.1 储层致密化过程分类	69
3.1.2 负孔隙度及残余孔隙度	71
3.1.3 中伊朗盆地卡山地区库姆组致密化过程	82
3.2 四川盆地震旦系-下古生界碳酸盐岩优质储层的形成机制	85
3.2.1 原始沉积环境	86
3.2.2 膏溶作用	87
3.2.3 古岩溶作用	87
3.2.4 外源侵蚀型流体溶蚀作用	88
3.2.5 TSR机理	104
3.2.6 适度的白云岩化和重结晶作用	105
3.2.7 构造破裂作用	105
3.3 四川盆地震旦系-下古生界碳酸盐岩优质储层的保存机制	106
3.3.1 烃类流体侵位	106
3.3.2 原油热裂解作用	107

3.3.3 适宜的构造位置 [弱的水(烃)岩反应]	108
3.4 四川盆地地下组合优质储层形成与保存、破坏机制小结	109
3.5 “古今中外”碳酸盐岩储层对比	111
第4章 四川盆地地下组合能量场演化与烃态变化特征	113
4.1 四川盆地地下组合地温场演变	113
4.1.1 川中地区下组合地温场演变	113
4.1.2 川东南地区下组合地温场演变	114
4.2 四川盆地地下组合压力场演变	116
4.2.1 下组合现今压力场的分布特征	116
4.2.2 下组合压力场演变——以安平店-高石梯构造带为例	119
4.3 四川盆地地下组合能量场演化中的烃态变化	124
4.3.1 原油裂解气生成机理与条件	124
4.3.2 下组合的原油裂解气	127
4.3.3 下组合的水溶气	133
第5章 四川盆地地下组合流体活动与保存条件的动态变化	151
5.1 保存条件动态评价的思路和方法	151
5.1.1 概述	151
5.1.2 流体活动事件序列柱的建立	151
5.1.3 流体来源的地球化学示踪	151
5.1.4 内源和外源流体的判识	155
5.2 川中原地隆起-盆地地区深层碳酸盐岩中多期流体充注	155
5.2.1 下组合中多期流体充注	156
5.2.2 下组合古油气藏中油气充注过程恢复	162
5.2.3 中组合中多期流体充注及流体特征	162
5.3 川中原地隆起-盆地地区下组合保存条件的动态变化	164
5.3.1 静态保存条件	164
5.3.2 古流体的同位素地球化学示踪	164
5.3.3 下组合保存条件的动态变化	169
5.4 川东渐变型盆山结构区多期流体充注特征	171
5.4.1 下组合中的多期流体充注特征	172
5.4.2 中-上组合区域性盖层中的多期流体充注	177
5.5 川东渐变型盆山结构区保存条件的动态变化	178
5.5.1 静态保存条件	178
5.5.2 流体的地球化学示踪及保存条件	179
5.6 川北突变型盆山结构区多期流体充注	192
5.7 川西突变型盆山结构区多期流体充注	195
5.7.1 下组合中的多期流体充注	195
5.7.2 中组合中的多期流体充注	196
5.7.3 下组合和中组合中充注流体的比较	197
5.8 川西突变型盆山结构区保存条件的动态变化	197
5.8.1 静态保存条件	197
5.8.2 古流体的同位素地球化学示踪	197
5.8.3 保存条件的动态变化	199

5.9 小结	202
第 6 章 四川盆地震旦系灯影组(古)油气藏形成(破坏)过程和机理	203
6.1 四川盆地震旦系灯影组勘探概况	203
6.2 资阳-威远震旦系灯影组气田的形成过程和机理	206
6.2.1 资阳-威远地区震旦系油气演化模型	206
6.2.2 威远气田和资阳含气区震旦系油气成藏差异性	216
6.3 丁山-林滩场震旦系灯影组古油气藏形成(破坏)过程和机理	221
6.3.1 川东南地区的勘探概况	221
6.3.2 震旦系灯影组古油藏特征	223
6.3.3 震旦系灯影组储层沥青来源分析	230
6.3.4 震旦系灯影组基本油气地质条件	237
6.3.5 震旦系灯影组古油气藏形成和破坏过程	248
6.4 米仓山及周缘地区震旦系灯影组(古)油气藏的形成(破坏)过程	253
6.4.1 米仓山周缘地区震旦系灯影组古油藏的发育特征	254
6.4.2 震旦系灯影组古油藏的破坏过程和机理	263
6.4.3 震旦系灯影组古油气藏的破坏过程和机理	267
6.4.4 米仓山及南缘地区构造特征及演化	269
6.4.5 米仓山及前缘地区震旦系油气成藏分析	276
6.5 四川盆地震旦系灯影组古油藏特征	287
6.5.1 乐山-龙女寺古隆起地区	287
6.5.2 鄂西-渝东地区	292
6.5.3 川北米仓山地区	292
6.5.4 川西南雅安天全地区	295
6.5.5 四川盆地震旦系灯影组古油藏分布特征	297
6.5.6 四川盆地震旦系灯影组储层沥青分布主控因素	301
6.5.7 小结	303
6.6 四川盆地震旦系灯影组油气四中心耦合成藏过程	303
6.6.1 生烃中心	304
6.6.2 生气中心	305
6.6.3 储气中心	306
6.6.4 保气中心	306
第 7 章 四川盆地地下古生界油气藏特征及形成机理	309
7.1 四川盆地地下古生界勘探概况	309
7.2 四川盆地地下古生界古油藏特征	310
7.2.1 川东南林滩场-丁山构造下古生界古油藏特征	310
7.2.2 鄂西-渝东地区下古生界古油藏特征	336
7.2.3 米仓山地区下古生界古油藏特征	336
7.2.4 龙门山地区下古生界古油藏特征	338
7.2.5 四川盆地地下古生界古油藏特征	352
7.3 四川盆地地下古生界气藏特征	354
7.3.1 五科 1 井志留系气藏解剖	354
7.3.2 建深 1 井志留系气藏特征	360
7.3.3 下古生界产气特征及分布	366

7.3.4 下古生界常规油气成藏模式初探	369
第8章 四川盆地海相碳酸盐岩层系深层气藏成藏模式	371
8.1 原生气藏形成模式	371
8.1.1 “三中心”叠合的成藏模式	371
8.1.2 “储气中心”解体的成藏模式	371
8.1.3 “三中心”短距离移位的成藏模式	378
8.1.4 缺乏保气中心的古气藏破坏模式	379
8.2 次生气藏形成模式	381
8.2.1 磨溪嘉陵江组气藏	381
8.2.2 磨溪气田雷口坡组气藏	385
8.3 原生和次生气藏成藏模式特征对比	386
第9章 四川盆地海相油气分布的构造控制理论	388
9.1 地裂运动形成的拉张槽控制原生油气地质条件	388
9.1.1 四川盆地地裂运动研究概况	388
9.1.2 峨眉地裂运动形成的拉张槽对油气地质条件的控制作用	389
9.1.3 兴凯地裂运动形成的拉张槽对油气地质条件的控制作用	391
9.2 盆山结构特征及对油气保存条件的控制作用	400
9.3 四川盆地海相油气分布有利区探讨	401
9.4 小结	404
参考文献	405
索引	425
本专著研究过程中完成的硕士、博士学位论文和发表的学术论文	427

第 1 章 四川含油气叠合盆地基本特征

四川含油气叠合盆地的基本特征，尤其是构造特征对下组合油气藏的形成、演化和保存(或破坏)有较大的控制作用。

1.1 四川盆地的构造格局和盆山结构

1.1.1 地貌-地质三分性

1.1.1.1 地貌特征及其三分性

四川盆地地处青藏高原东侧，为中国地势第二级阶梯上相对低洼的部分。四川盆地是一个具有明显菱形边框的地貌盆地(图 1-1)，盆地四周为高山环绕，西有龙门山、邛崃山，北有米仓山、大巴山，东有齐岳山、大娄山，南有峨眉山、大凉山；盆地内部则主要为平原、丘陵和低山地貌，地势北高南低。以龙泉山、华蓥山为界，盆地内部地形地貌显示出明显的三分特点，即盆西平原地貌、盆中丘陵地貌和盆东山地地貌(图 1-1)。

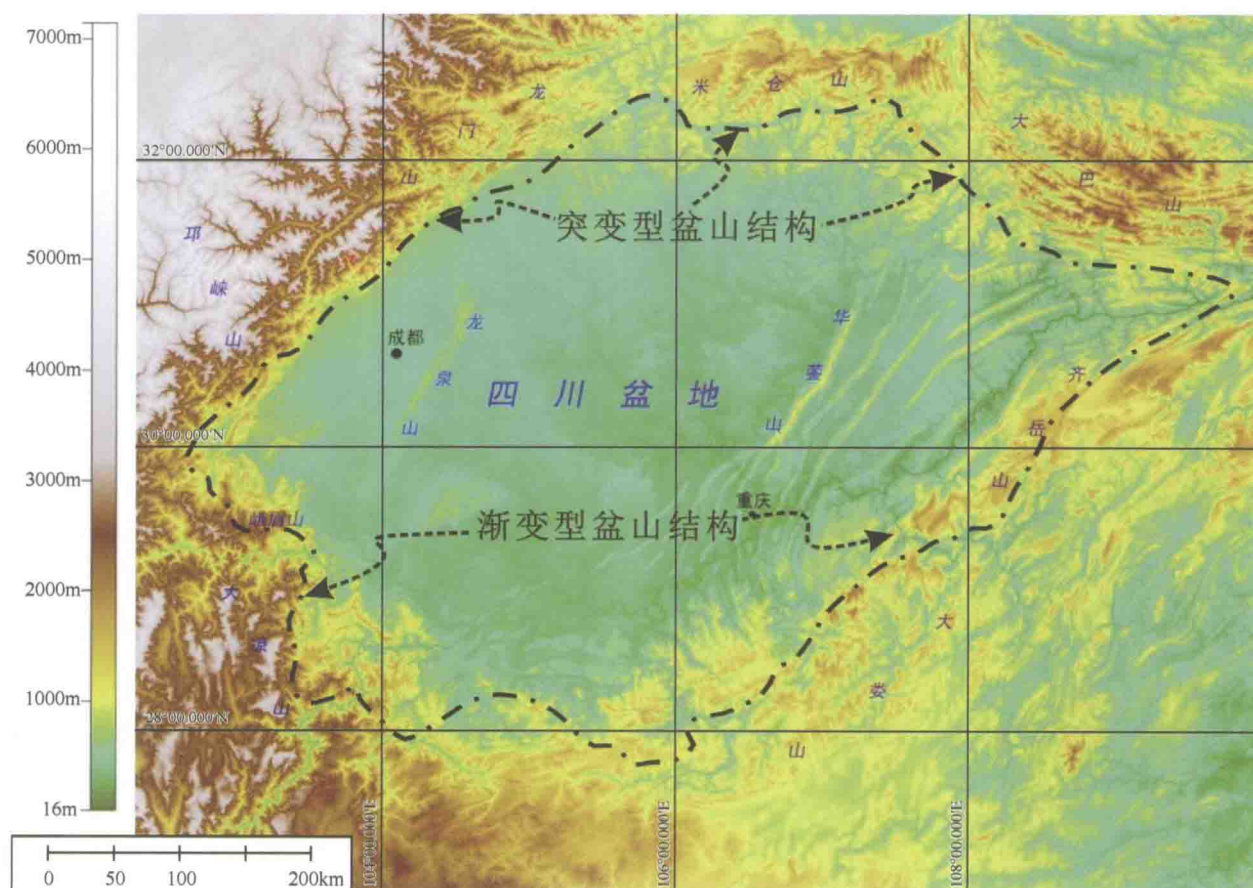


图 1-1 四川盆地及其周边地区数字地貌图

(1) 龙泉山以西为盆西平原区，亦称为成都平原，面积 6000km²，海拔 450~750m，地势由北西向南

东降低,地表平坦,相对高差一般不超过 50m。成都平原是盆地内主要的第四系覆盖区,由断裂下陷和河流冲积而成,最大厚度逾 500m。

(2) 龙泉山和华蓥山之间为盆中丘陵区,地势低矮,海拔多在 300~500m,相对高差 50~150m。川中丘陵区主要出露侏罗系和白垩系红层,岩层近于水平,地势由北向南降低,南部多浅丘,北部切割相对较深,多深丘。

(3) 华蓥山以东为盆东山区,由一系列大致平行、北东-南西走向的条状山脉及其间的宽谷组成。山地为陡而窄的背斜带,海拔一般在 700~1000m,出露二叠系和三叠系,其中华蓥山最高峰海拔 1704m,出露最老地层是寒武系。山地间的谷地为宽而缓的向斜带,出露侏罗系,多低丘与平坝,海拔 300~500m。

1.1.1.2 构造变形特征及其三分性

四川盆地内部的地表构造形迹受周边多个方向构造带多期活动影响,显示出多期多组构造复合-联合的复杂构造格局(图 1-2)。尽管如此,以乐山-龙泉山-阆中-南江一线和宜宾-华蓥山-达州一线为界,仍显示出明显三分的特点。龙泉山-南江一线以西至龙门山前缘的区域为川西区,主体构造为北东向,显示主要受龙门山冲断活动的控制。北段受米仓山构造活动的影响,发育近东西向构造,同时显示有北东向和东西向构造的复合-联合,如绵阳弧形构造和德阳附近的孝新合构造带。南段受康滇南北构造带影响,显示北东向和近南北向构造的叠加。龙泉山-南江一线以东至宜宾-华蓥山-达州一线为川中区,地表构造总体较为平缓,总体显示北东向和北西向构造的复合-联合叠加,局部发育东西向构造。龙门山冲断构造对川中区的影响已明显减弱,而更多地显示出受川东构造带的控制,并叠加大巴山和盆地西南缘断褶带影响下的北西向构造。营山断裂以北至大巴山前缘北东向和北西向构造的横跨叠加良好地展示了这种关系,而所谓的“平昌旋卷构造”也可能是这两组构造相互迁就相互限制的结果(乐光禹, 1998)。营山

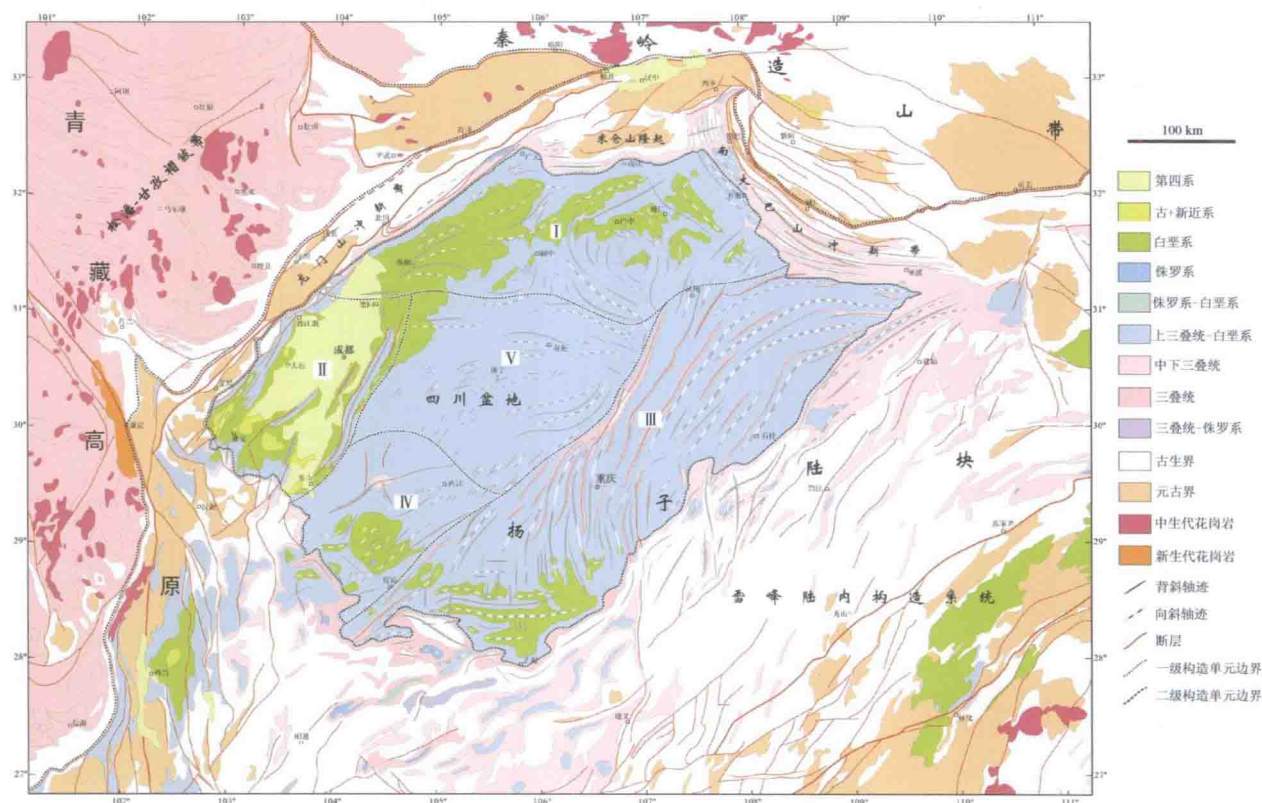


图 1-2 四川盆地地表构造形迹及盆山结构分区图

I. 川北突变型盆山结构区; II. 川西突变型盆山结构区; III. 川东渐变型盆山结构区; IV. 川西南渐变型盆山结构区; V. 川中原地隆起-盆地

背斜以南至威远穹隆北缘,是叠置于川中隆起之上的短轴背斜发育区,通常被描述为近东西向构造,但从南充、武胜等地的弧形构造形迹来看,更可能是北东向、北西向和东西向三组构造的联合所致。川中隆起以南至威远背斜间的安岳一带实为走向北西的宽缓大向斜,只叠加有很少的北东向局部构造。威远背斜总体显示北东东走向,其形成除了与基底隆起有关外,处于北东和北西两方向正性构造的叠加部位也可能是重要因素。威远背斜以南主体为一叠加北东向构造的北西向大型向斜,并发育有近东西向构造。宜宾-华蓥山-达州一线以东至齐岳山断裂之间为川东区,以发育北东至北北东向平行相间排列的狭窄背斜和宽缓向斜为典型特征,构造走向自北向南由近东西向转为北北东向再转为近南北向。北段受大巴山弧和八面山弧联合控制形成向东收敛向西撒开的收敛双弧。中段即通常所称的川东高陡构造带,以北北东向隔挡式平行褶皱为特征;北端受大巴山弧影响向东偏转;南端受大娄山断褶带的影响向南偏转。南段泸州-贵州习水一带总体显示北东、东西和南北三向构造的复合-联合叠加。

1.1.1.3 基底结构及其三分性

据重磁资料解释和盆地周边出露的基底岩石推断,四川盆地的前震旦系基底具有双层结构:下部的结晶基底以太古宇-古元古界康定群为代表;上部的褶皱基底以中元古界黄水河群和新元古界板溪群为代表。平面上,盆地基底由周边深断裂围限显示出明显的菱形轮廓,自西向东由龙门山断裂、龙泉山断裂、华蓥山断裂和齐岳山断裂分割成北东向展布、特征各异的川西、川中、川东三大块体(图1-3),俗称“暗三块”,即本书所称的基底三分性。其中,川中块体可能由康定群及更老基性-超基性岩构成,缺乏上部

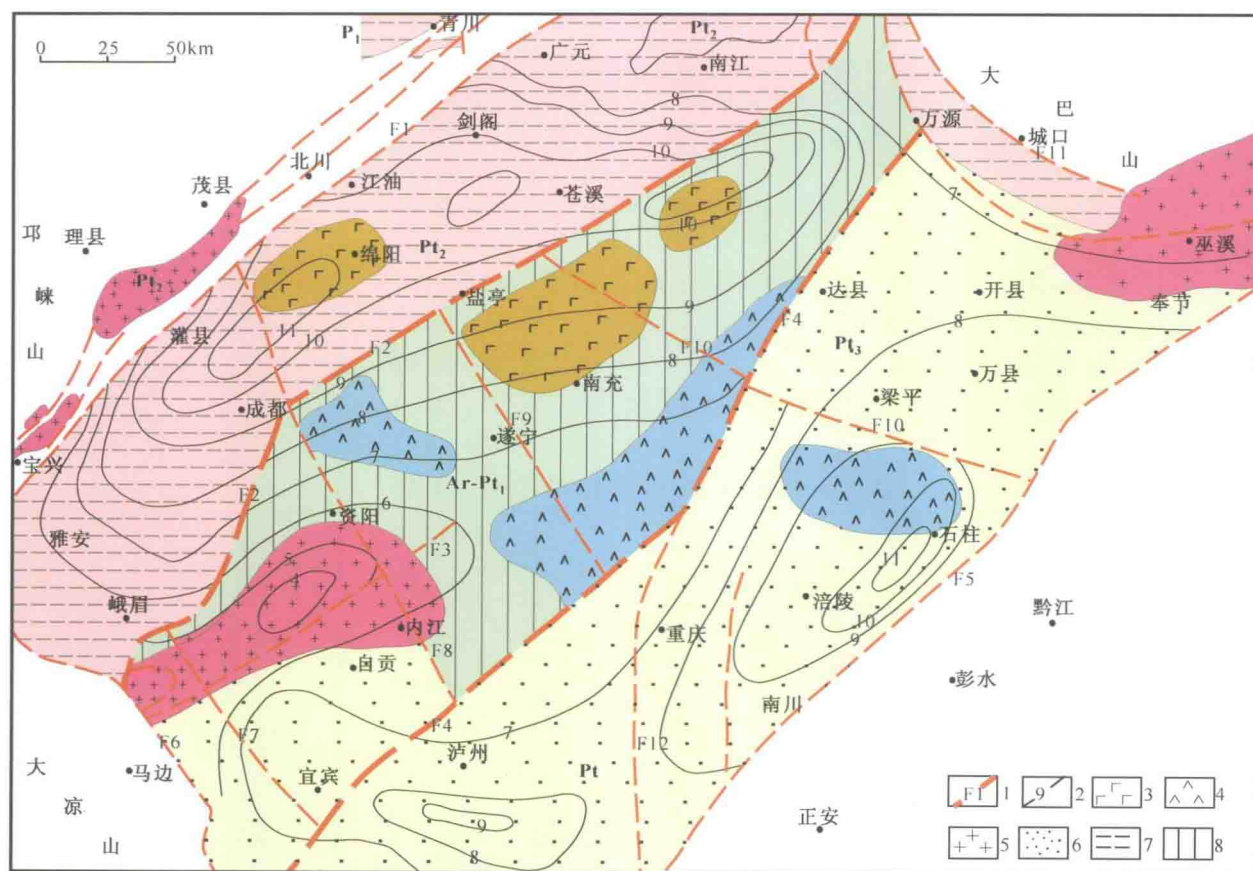


图 1-3 四川盆地前震旦系基底构造图(据罗志立等, 1998)

1. 推测大断裂; 2. 基岩埋深等值线(km); 3. 基性杂岩; 4. 中基性火山岩; 5. 花岗岩; 6. 上元古界板溪群; 7. 中元古界黄水河群; 8. 太古界-下元古界康定群。F1. 龙门山断裂带; F2. 龙泉山-三台-巴中-镇巴断裂带; F3. 犍为-安岳断裂; F4. 华蓥山断裂; F5. 齐岳山断裂; F6. 荣经-沐川断裂带; F7. 乐山-宜宾断裂带; F8. 什邡-简阳-隆昌断裂; F9. 绵阳-山台-潼南断裂带; F10. 南部-大竹-忠县断裂带; F11. 城口断裂带; F12. 纂江断裂带

的褶皱基底，属单层基底结构，在古元古代末就已固化，构成盆地基底的核心，硬化程度较高。川西块体和川东块体均具有双层结构，川西块体褶皱基底可能由中元古界变质火山-沉积岩系构成，川东南块体褶皱基底则大部为新元古界板溪群浅变质沉积岩，两者形成时代相对较新，大致为晋宁期(10~8 亿年)，硬化程度相对较弱。基底轮廓和硬化程度的差异对后期沉积盖层的发育和构造变形具有明显的控制作用，表现在川中块体相对稳定，隆起明显，盖层较薄，变形较弱；而川西块体和川东块体则相对活动，坳陷较深，盖层较厚，变形较强。此外，现今盆地的地表构造形迹也显示出与基底轮廓良好的对应性，可见构造变形的三分性在很大程度上受控于基底结构的三分性，并由此控制了地形地貌的三分性。

1.1.2 盆山结构

1.1.2.1 两类盆山边界

四川盆地与周缘造山带组成挤压型盆山结构，并可分为板缘突变型和板内渐变型两类盆山边界(图 1-1, 图 1-4)。板缘突变型盆山边界受板缘刚性块体边界及深大断裂系控制，盆山界线明确，盆地与造山带为突变关系，现今山盆地貌反差大，地形坡度陡，其盆山耦合关系主要受控于深部结构的差异性和造山带的形成演化过程。其浅部构造为典型的冲断带(山)和前陆盆地(盆)二元结构(图 1-1; 表 1-1)，二者在构造、沉积和深部结构上形成相互联系不可分割的统一体，如：龙门山冲断带-川西前陆盆地(图 1-4)、大巴山冲断带-川东北前陆盆地(图 1-1; 表 1-1, 表 1-2)。

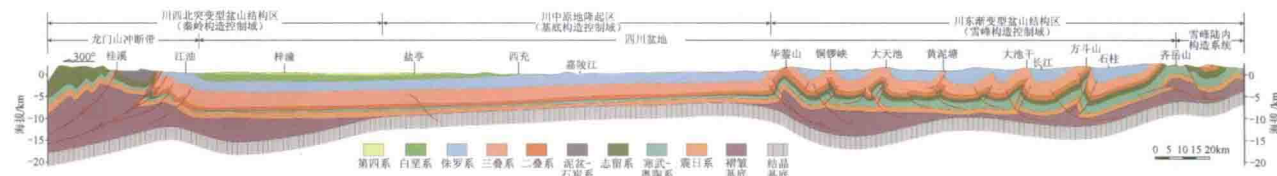


图 1-4 四川盆地东西向(江油-西充-石柱)构造剖面图

板内渐变型盆山边界受板内弥散性构造变形控制，盆山界线不明显，盆地与造山带为渐变过渡关系，现今山盆地貌反差小，地形坡度缓。两者的深部结构构造相似，其盆山耦合关系主要受控于邻区(盆外)的构造变形和盆内沉积盖层中滑脱层的分布特征。其浅部构造主要为大范围的盖层滑脱构造，如：齐岳山与川东高陡构造带(图 1-4)、大娄山与川东南低缓构造带(图 1-1; 表 1-1, 表 1-2)。

表 1-1 四川盆地周缘不同盆山边界特征对比表

类型	典型区域	地貌特征	结构-构造特征	定型时期
突变型	龙门山-川西前陆盆地	山盆地貌反差极大，地形坡度极陡，盆山界线明晰	盆山深部岩石圈结构具差异性，浅部具龙门山冲断带-川西前陆盆地二元结构，构造分带性、分层性明显，造山带隆升剥蚀与盆地沉降充填具有典型耦合效应	喜马拉雅期
	米仓山-川北前陆盆地	山盆地貌反差大，地形坡度陡，盆山界线较明晰	盆山深部岩石圈结构具差异性，浅部具米仓山冲断带-川北前陆盆地二元结构，构造分带性、分层性明显	燕山中晚期
	大巴山-川东北前陆盆地	山盆地貌反差大，地形坡度陡，盆山界线较明晰	盆山深部岩石圈结构具有差异性，浅部具大巴山冲断带-川东北前陆盆地二元结构，构造分带性、分层性明显，造山带隆升剥蚀与盆地沉降充填具有耦合效应	燕山晚期
渐变型	齐岳山-川东高陡构造带	山盆地貌反差较小，盆山界线模糊，缺少山前陡变带	盆山深部岩石圈结构相似，受控于板内雪峰陆内造山过程由东向西穿时扩展多层次滑脱挤压变形，形成“侏罗山式”褶皱，盆山构造变形特征差异较小，具渐变型分带特征	燕山晚期
	大娄山-川东南低缓构造带	山盆地貌反差极小，盆山界线不清，缺少山前陡变带	盆山深部岩石圈结构相似，受控于板内雪峰陆内造山过程由东向西穿时扩展多层次滑脱挤压变形，区域滑脱形成“侏罗山式”褶皱，盆山构造变形特征差异明显	燕山晚期-喜马拉雅早期
	大凉山-川西南低缓褶皱区	山盆地貌反差小，盆山界线不清，缺少山前陡变带	盆山深部岩石圈结构相似，受控于扬子陆块西南缘断裂强烈走滑-挤压构造作用，盆山构造变形特征差异不明显	喜马拉雅期

表 1-2 突变型与渐变型盆山边界典型特征对比表

类型	突变型盆山边界	渐变型盆山边界
地貌特征	山盆地貌反差大、地形坡度陡、盆山界线明晰	山盆地貌反差小、盆山界线不明晰
动力学机制	板缘地壳俯冲碰撞	邻区(盆外)的构造变形和盆内沉积盖层多层次滑脱
结构特征	盆山深部岩石圈结构具差异性,浅部具冲断带-前陆盆地二元结构	盆山深部岩石圈结构相似,不具有邻近冲断造山带的前陆盆地(拗陷)
构造特征	以边界主断裂控制、具典型分带性,岩层缩短以逆冲叠覆为主	具过渡性、分带性,岩层缩短以(滑脱)褶皱缩短为主
隆升与沉降特征	造山带隆升与前陆盆地沉降具有同步性和镜像关系	山脉隆升与盆地隆升呈一致性
油气成藏特征	油气保存条件较好,圈闭油气充满度较高,大中型油气田分布频率较大	油气保存条件较差,圈闭油气充满度较低,大中型油气田分布频率较低

1.1.2.2 盆山结构分区及特征

四川盆地受周边多个方向造山带多期活动影响,呈多期多组构造复合-联合的复杂格局,且由盆地中心向盆缘构造格架趋于明显,显示不同盆山结构对盆内构造格架具有不同的控制作用,据其形成定型的主要控制因素,划分为五大区(图 1-2;表 1-3)。

表 1-3 四川盆地盆山结构分区及其特征

盆山结构分区	主要特征	主控因素
I.川北突变型盆山结构区(秦岭构造控制域)	具典型褶皱冲断带-前陆盆地二元结构,盆缘前陆变形带较窄,构造形迹展布主要平行于相邻构造带。向盆内构造变形迅速减弱,以低平背向斜为主,构造展布为北东向、北西向和东西向,主体为受盆缘三大构造带复合-联合作用影响形成叠加构造和弧形构造	秦岭造山带的形成与演化
II.川西突变型盆山结构区(青藏构造控制域)	由龙门山中南段和川西前陆盆地构成典型的二元结构,盆缘变形带窄,但向盆地内部逐渐扩展,构造变形以中低断褶构造为主,构造方向为北东向和近南北向	青藏高原的形成与演化
III.川东渐变型盆山结构区(雪峰构造控制域)	北端受齐岳山盆山边界控制,构造展布主要以北东向为主,形成系列梳状阻挡式高陡背斜构造,构造变形作用强。向南受大娄山盆山边界的作用增强,形成华蓥山扫帚状背斜群,构造展布以北东向为主。南端出现近东西向构造,并与北东向构造叠加,构造幅度较中北段有所降低	雪峰陆内构造活动和盆地内的主要滑脱层
IV.川西南渐变型盆山结构区(雪峰-青藏-基底构造联合控制域)	构造变形由大凉山向盆地内部逐渐扩展,形成弥散性渐变盆山结构。构造形迹主体为北西向,并与北东向构造叠加。构造幅度较低,以低缓褶皱为主	雪峰陆内构造活动、青藏高原的形成演化以及基底构造
V.川中原地隆起-盆地区(基底构造控制域)	位于川中刚性基底,受盆缘构造变形影响总体微弱;构造展布主要为近东西向,呈低幅度丘状隆起。向东受盆缘渐变型盆山关系作用影响增大,构造展布以北东向为主,形成系列右行斜列低平背向斜构造	基底结构与构造

I 区——川北突变型盆山结构区(秦岭构造控制域):北西以龙门山北段为界,北以米仓山为界,北东以大巴山为界,南界大致在孝泉-新场-合兴场-丰谷背斜带-营山背谷斜-温泉背斜一线。该区盆山深部岩石圈结构具差异性,构造受龙门山、米仓山和大巴山三者联合影响,形成造山带-前陆盆地二元结构,构造分带性、分层性明显,线性盆山关系清晰。其形成和演化主要受控于秦岭造山带,主体定型于燕山晚期。

II 区——川西突变型盆山结构区(青藏构造控制域):该区西边界为龙门山南段,西南界为峨眉山,东边界为龙泉山-天宫堂背斜带。龙门山中南段和川西前陆盆地结构构造分异性强,线性盆山关系非常清晰,为典型线性突变型盆山结构。该区构造主要受控于青藏高原的形成和演化,主体定型于喜马拉雅期。

III 区——川东渐变盆山结构区(雪峰构造控制域):西以华蓥山为界,东以齐岳山为界,由东向西由隔槽式褶皱向隔挡式褶皱变迁,盆地内构造多以高陡构造为主。该区基底为上元古界板溪群,为软性基

底, 盖层滑脱变形较强烈, 呈弥散性渐变盆山结构。其形成和演化主要受控于雪峰陆内构造, 主体定型于燕山晚期。

IV区——川西南渐变型盆山结构区(雪峰-青藏-基底构造联合控制域): 西以龙泉山断裂为界, 东以华蓥山断裂为界, 南以大凉山为界, 北界大致位于威远背斜北翼。该区地质结构与南侧大凉山地区具有较大的相似性, 为弥散性渐变盆山结构。总体构造格架显示受东侧雪峰陆内构造系统和西南侧青藏高原的联合控制, 定型于喜马拉雅期, 形成北东向构造和北西向构造的叠加, 而威远背斜的形成又可能部分受控于基底构造。

V区——川中原地隆起-盆地(基底构造控制域): 该区东西分别以华蓥山和龙泉山为界, 位于四川盆地刚性基底之上。该区总体以近东西-北东东向构造为主, 构造幅度小, 变形相对较弱。

显然, 现今四川盆地的构造特征主要受控于盆地的基底结构和周缘造山带的挤压冲断作用。

1.2 四川叠合盆地的演化

前人对四川盆地的形成与演化已有不少论述(童崇光, 1992b; 罗志立, 1994; 郭正吾, 1997; 汪泽成等, 2002)。本书着重于四川盆地三大构造变革期的论述, 突出四川盆地在形成演化过程中的重大构造事件和沉积转换事件以及喜马拉雅期隆升作用对于四川盆地最终定型所造成的影响。

1.2.1 沉积盖层三大演化阶段

四川盆地沉积盖层经历了震旦纪-晚三叠世卡尼期伸展体制下的差异升降和被动大陆边缘(海相碳酸盐岩台地)、晚三叠世诺利期-始新世挤压体制下的褶皱冲断和复合前陆盆地(陆相碎屑岩盆地)、渐新世以来的褶皱隆升改造(构造盆地)三大演化阶段(图 1-5; 表 1-4)。

1.2.1.1 海相台地发育阶段($Z-T_3^1$ 海相)

四川盆地海相沉积总体上是在拉张环境下形成的地台层序(刘树根等, 1991)。沉积期内, 扬子地台为宽阔的浅水大陆架, 而四川盆地是陆架上的一个相对隆起的台地。因此, 其沉积组合以浅海碳酸盐岩及潮坪碳酸盐岩沉积为主, 时间长、时代老、层系全、厚度大, 是四川盆地油气分布的主要领域。

1.2.1.2 陆相盆地发育阶段($T_3^2-E_2$ 陆相)

四川盆地陆相沉积是在挤压环境下形成的前陆盆地序列, 以河流相、三角洲相和湖泊相砂泥岩为主, 沉积厚度总体上由北、西向南、东方向减薄。分布于盆地西北及东北缘的龙门山、米仓山、大巴山山系, 自印支期以来, 在长期阶段性的挤压作用下, 上地壳内发生多层次滑脱、褶皱、冲断和推覆, 向陆相沉积盆地内递进侵位, 最终形成冲断推覆构造。分布于盆地东南的齐岳山、大娄山盆缘山系, 是由雪峰陆内构造活动向盆地内逐渐扩展形成的。而盆地西南缘峨眉山、大凉山盆缘山系, 则主要受控于青藏高原的区域性隆升。燕山中晚期, 盆地北缘的米仓山-大巴山和盆地东缘的齐岳山近于同时发生褶皱-冲断变形, 并大致在燕山晚期-喜马拉雅早期基本定型。与此同时, 盆地北部和东部也开始隆起, 结束沉积并遭受剥蚀, 而盆地西南部同期继续发育前陆盆地, 直至始新世中晚期才遭受断褶变形和隆升剥蚀。

1.2.1.3 褶皱隆升改造阶段(E_2-Q)

从整体上讲, 晚白垩世以来四川盆地进入隆升改造阶段(刘树根等, 1995; 郭正吾, 1997; 童崇光, 2000; 罗志立等, 2005; 吴珍汉等, 2007), 但强烈的隆升活动发生在喜马拉雅期。四川盆地内部除川西

南地区外自晚白垩世以来一直处于隆升阶段,但各地区有差异,主要的隆升时期是新近纪,隆升速率超过 100m/Ma,隆升幅度超过 4200m。晚白垩世以来的隆升历史大致可分成三个阶段(图 1-6)。第一阶段,晚白垩世-古近纪,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;第二阶段,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 40m/Ma,隆升幅度超过 1000m;第三阶段,快速隆升阶段,全盆地的隆升速率除川西坳陷外均大于 100m/Ma,隆升幅度超过 1500m。

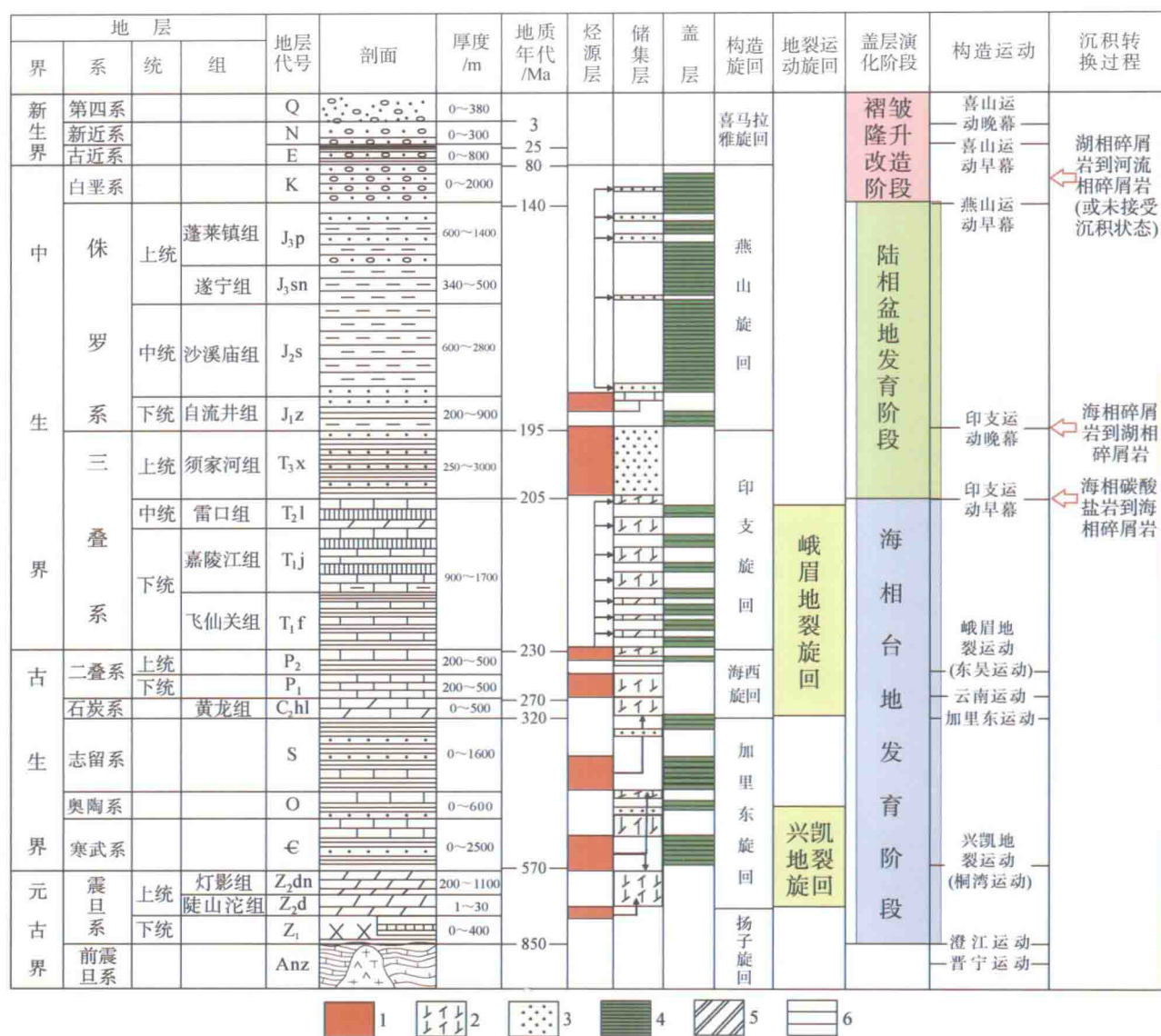


图 1-5 四川盆地沉积盖层纵向演化和主要生储盖层图

1. 烃源岩; 2. 碳酸盐储集层; 3. 碎屑岩储集层; 4. 盖层; 5. 碳酸盐岩; 6. 泥质岩

表 1-4 四川叠合盆地沉积盖层演化特征表

演化阶段	发育时限	岩性特征	主要构造特征	对油气藏形成的作用
褶皱隆升改造阶段	E ₂ -Q	剥蚀作用为主	晚燕山-喜马拉雅期是四川盆地内又一次强烈的构造运动,使盆地内自震旦纪以来巨厚的海相及陆相地层均发育了不同程度的断褶构造,使四川盆地构造面貌和格局定型。由于区域性抬升,造成侏罗系上部及白垩系大幅度地被剥蚀	形成构造圈闭,改造前期岩性(地层)圈闭;破坏了盆地边缘地区和部分高陡构造领域的保存条件;构建了油气重新分配的输导体系和聚集场所;使盆地能量场发生重大调整,流体跨层流动,天然气爆发式成藏