

国家自然科学基金项目 (No.41172119) 资助

四川盆地

致密碎屑岩天然气 成藏地球化学特征与富集规律

刘四兵 沈忠民 吕正祥 著
王 鹏 叶素娟 文华国



科学出版社

国家自然科学基金项目 (No.41172119) 资助

四川盆地致密碎屑岩天然气成藏 地球化学特征与富集规律

刘四兵 沈忠民 吕正祥 著
王 鹏 叶素娟 文华国

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以天然气地球化学和天然气地质学理论为指导,在大量勘探和生产数据的支撑下,对四川盆地陆相烃源岩地球化学特征进行评价与对比,并对四川盆地陆相碎屑岩地层有利烃源岩的分布规律进行预测;在四川盆地陆相致密碎屑岩天然气地球化学特征、天然气成因类型、天然气来源等研究基础上,明确四川盆地各富集带陆相致密碎屑岩天然气地球化学特征差异;分析四川盆地不同地区上三叠统油气成藏年代及差异,总结四川盆地上三叠统气藏成藏年代特征。剖析四川盆地陆相致密碎屑岩油气成藏主控因素,建立四川盆地陆相致密碎屑岩油气成藏模式,探讨四川盆地陆相致密碎屑岩油气成藏机理差异及天然气富集规律。

本书可供国内外油气勘探公司科研工作者、高等院校从事油气地球化学及油气勘探的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

四川盆地致密碎屑岩天然气成藏地球化学特征与富集规律/刘四兵等著. —北京:科学出版社,2015.9

ISBN 978-7-03-045640-3

I. ①四… II. ①刘… III. ①四川盆地-碎屑岩-天然气-油气藏形成-地球化学标志-研究 ②川盆地-碎屑岩-天然气-油气聚集-成矿规律-研究 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第210459号

责任编辑:郑述方/责任校对:鲁素

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>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年9月第 一 版 开本:889×1194 1/16

2015年9月第一次印刷 印张:15

字数:470 000

定价:180.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

致密碎屑岩气是目前非常规天然气的主要类型,也是国际上开发规模最大的天然气类型。目前,全球已有美国、加拿大、中国、澳大利亚、墨西哥、委内瑞拉、阿根廷、印度尼西亚、俄罗斯、埃及、沙特等十多个国家和地区进行了致密碎屑岩气藏的勘探和开发。中国致密碎屑岩气 2013 年产量达到 $3.4 \times 10^{10} \text{m}^3$, 约占全国天然气总产量的 29%, 已成为天然气增储上产的重要领域。致密碎屑岩气的储量也占有重要地位, 据中国工程院评价, 我国致密气技术可采资源量为 $9 \times 10^{12} \sim 13 \times 10^{12} \text{m}^3$, 中值为 $11 \times 10^{12} \text{m}^3$, 约占全国天然气可采资源量的 22%。截至 2013 年年底, 致密碎屑岩气累计探明地质储量为 $3.3 \times 10^{12} \text{m}^3$, 占全国天然气总探明地质储量的 40%, 探明可采储量为 $1.8 \times 10^{12} \text{m}^3$, 约占全国天然气探明可采储量的 32%, 其中 90% 分布在鄂尔多斯盆地和四川盆地。致密碎屑岩气探明未开发可采储量为 $0.9 \times 10^{12} \text{m}^3$, 约占全国天然气探明未开发可采储量的 38%。2030 年前我国致密碎屑岩气储量将保持稳定增长的态势, 2030 年产量预计可达 $8 \times 10^{10} \sim 12 \times 10^{10} \text{m}^3$ 。因此, 致密碎屑岩气的勘探开发对中国天然气工业持续发展有很大的意义。

按照致密气的概念及评价标准, 我国于 1971 年就在四川盆地川西地区发现了中坝致密气田, 之后在其他含油气盆地中也发现了许多小型致密气田或含气显示。但由于工艺技术的局限性, 整体开发规模较小。随着勘探技术和压裂工艺的突破, 相继发现一批大中型致密碎屑岩气田, 特别是以广安、合川、新场等为代表的致密碎屑岩气田先后投入规模开发, 带动了四川盆地致密气领域的快速发展。从目前已发现的致密碎屑岩气田的分布特征来看, 不仅探明了川中地区八角场、广安与合川等大气田, 以及川西地区新场、中坝、平落坝等气田, 而且在川北地区的龙岗、川西北地区的九龙山以及川西南地区的白马庙地区, 也都获得了重要发现, 四川盆地已成为我国目前发现的大气田数目最多、产气层系最多、年产气量第二的盆地。盆地的四个天然气聚集区——川西气区、川中气区、川南气区、川东气区均有致密碎屑岩气田的分布, 具有满盆含气、全层系立体勘探的特点。但各大气区气田分布具有明显的不均一性, 大多数大中型气田分布在川中地区, 其次为川西地区, 而川东地区和川南地区气田数量及规模均较小, 这与四川盆地各地区陆相致密碎屑岩领域的成藏要素差异大、经历的构造运动期次多、具备多期成藏、储层演化复杂等特点有关。因此, 以四川盆地四大天然气聚集区为研究对象, 从不同聚集区成藏基本要素的系统对比入手, 明确不同地区天然气的成藏期次、成藏主控因素、成藏模式等, 对分析四川盆地陆相致密碎屑岩天然气成藏机理和富集规律具有重要的意义。

本书以四川盆地大量致密碎屑岩气勘探、开发和生产数据为支撑, 集中了国家自然科学基金项目“川西坳陷上三叠统须家河组储层水岩相互作用机理研究”(No. 41172119)、国家自然科学基金项目“四川盆地上三叠统致密储层高演化沥青成因及天然气的多源性”(No. 40772084) 以及科学技术部油气藏地质及开发工程国家重点实验室自主课题“四川盆地 T_3-K 碎屑岩油气成藏机理和分布规律研究”等的主要研究成果, 对四川盆地不同天然气聚集区内陆相致密碎屑岩地层的构造演化特征、地层发育特征、烃源岩发育特征与地球化学特征、储层发育特征、天然气地球化学特征等基本成藏条件进行分析与对比, 在此基础上对四川盆地致密碎屑岩气成藏期次、成藏主控因素、成藏模式进行系统分析, 进一步总结四川盆地陆相致密碎屑岩油气成藏机理及不同油气聚集区油气成藏机理的差异。具体内容包括以下几个方面。

(1) 系统介绍川西地区、川中地区、川南地区与川东地区陆相碎屑岩地层中的烃源岩发育特征和地化特征, 预测四川盆地碎屑岩地层中有利烃源岩的分布。

(2) 系统介绍四川盆地陆相天然气的地球化学特征, 区分川西地区、川中地区、川南地区、川东地区陆相碎屑岩地层中天然气的成因类型和气源特征, 并通过地质-地球化学方法追踪天然气来源。

(3)形成一套宏观与微观、定量与定性、动态与静态、地质分析与实验手段、直接与间接“五结合”的成藏定年研究方法，特别是烃类包裹体、同位素测年以及盆地模拟等先进分析技术，确定川西地区、川中地区以及川南地区须家河组气藏的成藏年代，揭示各地区上三叠统成藏时间的差异。

(4)探讨四川盆地不同地区陆相致密碎屑岩油气成藏条件、成藏主控因素，总结四川盆地陆相致密碎屑岩油气成藏模式，分析四川盆地陆相致密碎屑岩油气成藏机理差异。

全书共 6 章，前言部分由沈忠民、刘四兵执笔，第 1 章由吕正祥、王鹏执笔，第 2 章由刘四兵、王鹏执笔，第 3 章由刘四兵、沈忠民、王鹏执笔，第 4 章由吕正祥、叶素娟、文华国执笔，第 5 章由刘四兵、沈忠民、叶素娟执笔，第 6 章由沈忠民、刘四兵、吕正祥执笔。最后由刘四兵、沈忠民统稿。

成书过程中，刘宝珺院士、廖仕孟教授级高级工程师、王兰生教授级高级工程师等给予了建设性意见，成都理工大学和中国石化西南油气分公司勘探开发研究院的多位同仁也给予了大力支持，在此一并表示感谢。还要感谢幕后工作的王乐闻硕士、王君泽硕士、冯杰瑞硕士、陈婷硕士、罗睿硕士、朱童博士、周瑶硕士、李延飞硕士、罗乃菲硕士、谢丹硕士、张文凯硕士、邹黎明硕士等，他们在本书的图件绘制、数据统计以及文献校对等方面做了大量工作。最后感谢书中所有参考文献的作者，没有这些资料的支撑，本书难以完成。

由于本人水平有限，书中难免存在疏漏之处，恳请读者批评指正。

成都理工大学

2015 年 6 月

目 录

1 地质背景	1
1.1 构造背景	2
1.2 地层特征	3
1.2.1 上三叠统地层发育特征	3
1.2.2 侏罗系地层发育特征	5
1.2.3 白垩系地层发育特征	6
1.3 油气聚集区的划分及资源分布	6
2 四川盆地致密碎屑岩气藏烃源岩特征	8
2.1 烃源岩发育特征	8
2.1.1 上三叠统	8
2.1.2 下侏罗统	13
2.2 烃源岩有机质丰度	15
2.2.1 有机碳含量	15
2.2.2 氯仿沥青“A”含量	24
2.2.3 有机质丰度综合评价	28
2.3 烃源岩有机质类型	28
2.3.1 干酪根元素组成	29
2.3.2 干酪根显微组分	30
2.3.3 干酪根碳同位素	32
2.3.4 氯仿沥青“A”族组分	33
2.3.5 岩石热解参数	35
2.3.6 有机质类型综合评价	36
2.4 烃源岩有机质成熟度	37
2.4.1 镜质体反射率	37
2.4.2 岩石热解参数	45
2.4.3 正构烷烃奇偶优势	47
2.4.4 有机质成熟度综合评价	47
2.5 烃源岩综合评价	48
3 四川盆地陆相天然气地球化学特征	54
3.1 川西地区	54
3.1.1 天然气基本特征	54
3.1.2 天然气成因类型	67
3.1.3 天然气气源追踪	75
3.2 川中地区	88
3.2.1 天然气基本特征	89
3.2.2 天然气成因类型	95
3.2.3 天然气气源追踪	100

3.3 川南地区	104
3.3.1 天然气基本特征	105
3.3.2 天然气成因及气源分析	106
3.4 天然气地球化学特征综合分析	109
4 四川盆地致密碎屑岩储层特征	110
4.1 储层基本特征	110
4.1.1 岩石学特征	110
4.1.2 成岩作用	116
4.1.3 储集空间特征	128
4.1.4 储层物性特征	133
4.1.5 储层分类评价	134
4.2 相对优质储层形成机理	140
4.2.1 相对优质储层发育的主要地质因素	140
4.2.2 深埋藏砂岩相对优质储层水岩作用及次生孔隙形成机理	145
5 四川盆地致密碎屑岩气藏成藏年代	159
5.1 须家河组气藏成藏年代	159
5.1.1 主力烃源岩生排烃史	159
5.1.2 包裹体均一温度定年	163
5.1.3 封盖条件及储盖层演化	167
5.1.4 自生伊利石 K-Ar 定年	178
5.1.5 充填矿物 ESR 定年	180
5.1.6 显微荧光分析	181
5.1.7 成藏年代综合分析	181
5.2 侏罗系气藏成藏年代	183
5.2.1 川西地区侏罗系气藏成藏年代	183
5.2.2 川中地区侏罗系油气藏成藏年代	184
6 四川盆地致密碎屑岩成藏主控因素与富集规律	186
6.1 四川盆地陆相致密碎屑岩天然气成藏主控因素	186
6.1.1 须家河组天然气成藏主控因素	186
6.1.2 侏罗系天然气成藏主控因素	198
6.2 成藏模式探讨	207
6.2.1 上三叠统气藏成藏模式	208
6.2.2 侏罗系气藏成藏模式	209
6.3 四川盆地陆相大中型气田富集规律	211
6.3.1 四川陆相盆地大中型油气田分布特征	211
6.3.2 烃源岩与大中型油气田成藏富集的关系	213
6.3.3 沉积相与大中型油气田成藏富集的关系	214
6.3.4 构造及其演化与大中型油气田成藏富集的关系	219
6.3.5 古隆起与大中型油气田成藏富集的关系	221
6.3.6 封盖条件与大中型油气田成藏富集的关系	221
6.3.7 圈闭类型与大中型油气田成藏富集的关系	224
参考文献	226

1 地质背景

四川盆地位于扬子地块西部，属于上扬子地块。上扬子地块是扬子板块的组成部分，具有较为一致的变质基底构造及中生代晚三叠世沉积基底，并在中生代构造演化过程中保持相对独立和稳定的演化过程。本构造单元西以米仓—北川—映秀—木里—虎跳石逆冲断裂带为界，北为大巴山与南秦岭造山带分界的安康断层，东至雪峰构造带西侧(武陵山西)大庸断裂，南为黔中隆起北缘，因此本构造单元是一个四面为逆冲-走滑断层围限的挤压构造单元，并构成了四川盆地的主体。盆地北以勉略缝合带为界与秦岭造山带为邻，西以龙门山为界与松潘—甘孜高原相接。对于盆地东界则有不同的认识，从油气勘探开发的角度，一般以七曜山断裂为界，但从沉积地层与相变分布范围看，至少可以延伸到雪峰山以西，向南则无明确的界线，逐渐过渡到黔中隆起带。盆地面积约 $19.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，为一个轴向呈北东向延展的菱形构造-沉积盆地(图 1-1)。

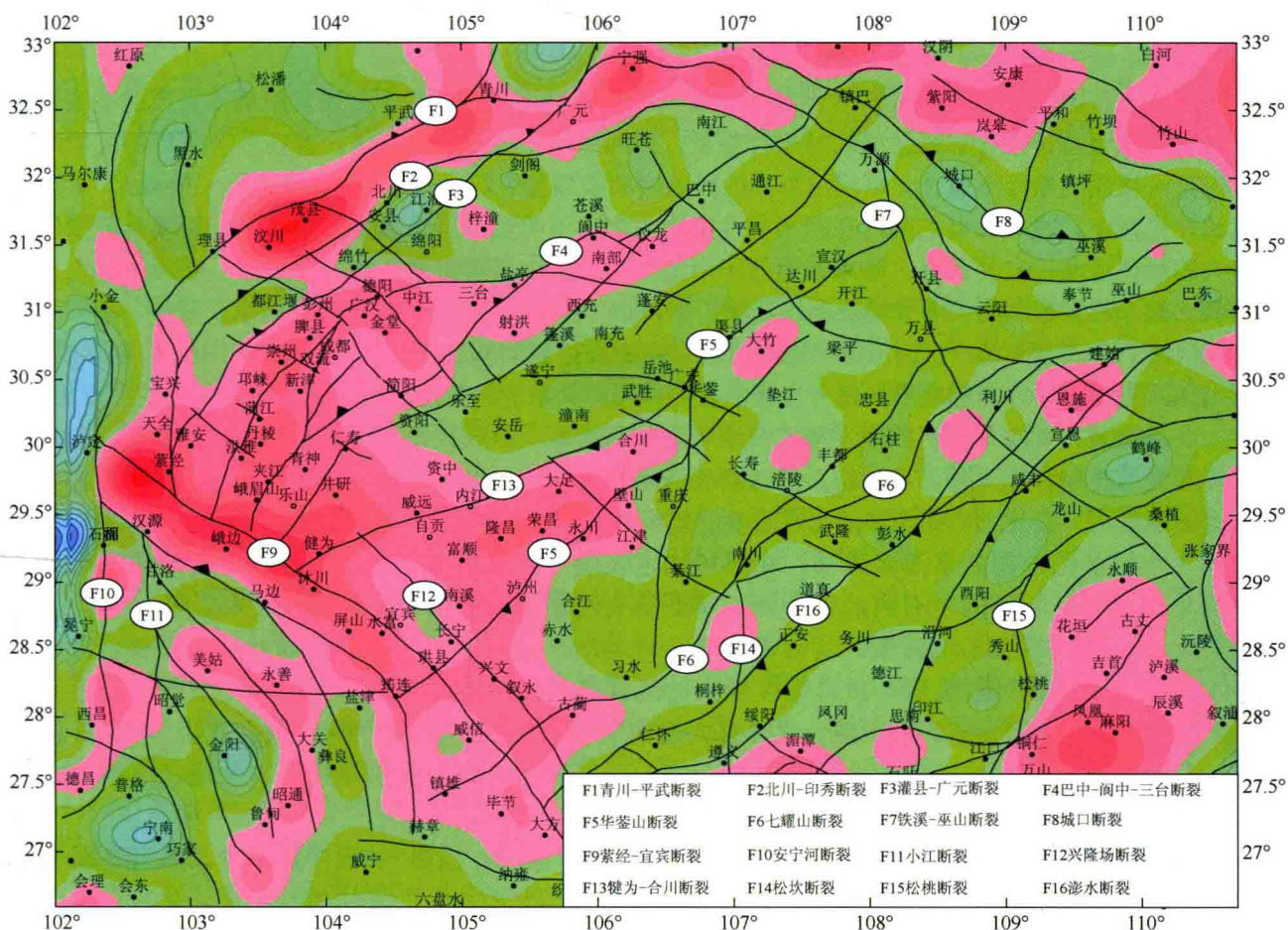


图 1-1 四川盆地及邻区基底断裂分布图(刘家铎和吕正祥, 2010)

四川盆地作为世界上最早发现与开采天然气的盆地，经过最近数十年的攻关研究和勘探实践，目前四川盆地已成为中国最大的含气盆地，据“三次资评”结果，四川盆地天然气总资源量为 $53477.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。同时，四川盆地还是我国目前发现的大气田数目最多、产气层系最多、年产气量第二的盆地(戴金星

等, 2015)。近年来, 在四川盆地新老区、新老层系均取得了新的突破, 显示四川盆地良好的油气勘探前景。

1.1 构造背景

四川盆地大地构造位置属于扬子板块的一部分, 是由盆地周边的褶皱和断裂围限起来的一个大型构造沉积盆地, 现今盆地系指喜马拉雅期形成(或燕山期形成雏形、喜马拉雅期定型)的盆地, 其北缘以秦岭—米仓山—大巴山推覆造山带为界与华北板块相接; 东南面以武陵山—雪峰山推覆造山带为界与“江南古隆起区”为邻; 西侧以龙门山—攀西推覆造山带为界紧邻青藏高原地块, 为中生代红层分布的盆地, 它是在古生代海相沉积盆地的基础上发展起来的一个陆相盆地, 严格来说它是在中三叠世前碳酸盐岩台地的基础上形成、发展而成的。

元古代至古生代以来, 四川盆地及其周缘位于特提斯构造域与滨太平洋构造域之间, 其形成与演化受这两大构造域的控制。因此, 它的形成与演化曾经历了中—晚元古代扬子地台基底形成阶段、震旦纪—中三叠世被动大陆边缘阶段、晚三叠世盆山转换与前陆盆地形成演化阶段以及侏罗纪—第四纪的前陆盆地沉积构造演化阶段等几个大的构造单元阶段。

晋宁期地质事件后, 由原川中地区古陆核与周边海槽褶皱上升拼接增生, 形成统一的基底, 即上扬子板块, 它由太古界及元古界深变质和浅变质岩系组成。

震旦系至石炭系为台地早期沉积—构造期。震旦系以角度不整合沉积于前震旦纪褶皱变质的基底岩系之上。震旦系至志留系各层系之间均呈平行叠置, 期间经历了多次海侵海退, 存在多个平行的沉积间断面, 未见区域性的角度不整合。以滨浅海相的碎屑岩和碳酸盐岩沉积为主, 厚达 3000~5000m。早加里东运动发生在中、晚奥陶世之间, 在四川盆地范围内表现不明显, 但晚加里东运动是一次涉及范围广、影响大的地壳运动, 它使江南古陆东南面的华南槽谷区下古生界褶皱变形并全面返回。在扬子区内则出现由隐伏的深断裂控制的大隆大坳及断块活动, 如乐山—龙女寺隆起, 从盆地西南向东北延伸, 是横亘四川盆地内的一个大型隆起, 它的形成可能与古隐伏深断裂控制的基底隆起有关。在龙门山区有明显表现, 龙门山深断裂对台和谷区的地质演化有直接的控制作用, 其东侧的彭灌深断裂, 表现为强烈的上升运动, 断裂上盘志留系、奥陶系甚至部分下寒武统地层均被剥蚀掉, 形成天井山隆起带。在加里东期, 四川地区除发育大型隆起和坳陷外, 不同组系的深断裂活动导致基底有大幅度的块断活动, 这不仅对下古生界分布有控制作用, 而且对后期构造演化有重要的影响。

发生在泥盆纪末期的早海西运动, 在四川地区表现为上升运动, 包括石炭纪末期的短暂运动。盆地内除川东地区有薄的中石炭统保存外, 广泛缺失泥盆系和石炭系。而发生于早、晚二叠世之间的东吴运动, 其性质属于地壳张裂活动派生的升降运动, 造成上下二叠统之间地层呈假整合接触。从下二叠统所受的剥蚀程度看, 抬升幅度较大的地区是大巴山和龙门山一带。另一个重要的特征是上扬子地区的东吴运动在伴随张裂活动时大量的玄武岩喷发, 称为“峨眉山玄武岩”, 其喷溢中心位于攀西裂谷系, 盆地内川西地区、川西南地区 and 川东地区的较多探井在上二叠统底部相继发现玄武岩和辉绿岩。

印支旋回是四川盆地内重要的地质事件。在印支期, 秦岭、松潘—甘孜洋盆于中三叠世晚期—侏罗纪初期封闭; 班公湖—怒江洋开始扩张; 上扬子板块和华北板块之间发生俯冲碰撞、拼接造山、形成雄伟山系。山前的川北地区发生沉降, 形成巨厚的山前坳陷沉积, 西侧的川西地区受古特提斯海关闭的影响, 龙门山及康滇区褶皱造山形成山系, 而其东侧下降形成山前坳陷和前陆盆地等, 使扬子西缘迅速由海相碳酸盐岩沉积转化为前陆盆地陆相沉积。同时, 在扬子地台被动大陆边缘隆起带形成早期的推覆构造作用, 中三叠统雷口坡组顶部的古岩溶风化剥蚀面既是沉积层序的一个造山升降不整合界面, 又是盆山转换的构造面。该界面标志着扬子西缘开始进入前陆盆地沉积构造演化历史阶段。此时, 太平洋古陆开始裂解, 中国东南部印支褶皱形成, 成为上扬子陆相含煤盆地的边缘, 并为盆地提

供大量陆源碎屑沉积。

燕山早-中期是华南褶皱带的造山时期,发育强烈的构造岩浆作用,并产生逆冲推覆和强烈的褶皱。同时冈瓦纳大陆全面裂解漂移,夹于其上扬子区向北运动,南秦岭向南逆冲、推覆,形成川北坳陷。早白垩世后的燕山晚期,川北地区、川东地区结束了陆相沉积,开始进入风化剥蚀时期,并形成走向北东的构造和四川盆地东南部的边缘雏形。

随着印度板块与欧亚板块的碰撞拼合,上扬子区西部产生广泛的盖层褶皱,形成走向南北的构造,并结束了大范围的陆相沉积,四川盆地基本形成。之后进入陆内盆地强烈挤压褶皱构造变形和风化剥蚀时期改造阶段。

1.2 地层特征

四川盆地是扬子古板块上的一个多旋回沉积盆地,震旦纪—中三叠世处于被动大陆边缘阶段(毛琼等,2006),主要为海相沉积;中三叠世末的印支早期构造运动使得上扬子海盆逐渐抬升成陆,特提斯海逐渐退出四川盆地,从而结束了四川盆地自震旦纪以来的海相沉积历史,川西地区及川东地区中三叠统地层受到不同程度的剥蚀。印支早期挤压构造运动使龙门山岛链开始缓慢上升,导致四川盆地由海盆逐渐转变为陆盆,四川盆地进入陆相沉积盆地发展演化阶段,除中三叠世、晚三叠世早期盆地西部马鞍塘组和小塘子组为海相或海陆过渡相沉积外,整个四川盆地堆积了晚三叠世须家河组至新近系巨厚的陆相地层,总厚逾万米,整体特征是西厚东薄,北厚南薄。并以上三叠统至白垩系为最重要的沉积地层。

1.2.1 上三叠统地层发育特征

上三叠统包括马鞍塘组(T_{3m})、小塘子组(T_{3t})和须家河组(T_{3x})。其中马鞍塘组命名于江油马鞍塘火车站,为一套浅海陆棚相地层;小塘子组为广元剖面须家河组底部煤系地层单独划出建立的地层单元,即相当于原须家河组的须一段(T_{3x}^1)地层,命名地位于广元小塘子;须家河组命名于广元城北工农镇须家村,主要指晚三叠世诺利克中晚期至瑞替克期的岩性为黄灰色含砾砂岩、砂岩、粉砂岩和泥岩夹煤层组合的一套地层,按岩性可划分为六段,沉积巨厚,可达数千米,是四川盆地陆相地层中主要的天然气产层。垂向剖面上,砂岩与泥岩常组成以砂岩为主的不等厚韵律层,上部夹块状砾岩,厚数百米至近千米,富含植物及双壳类化石,野外露头 and 钻井岩心识别标志清晰(王峻,2007)。

从目前的研究情况来看,由于上三叠统须家河组在整个四川盆地的岩性、岩相及古生物等方面都较为复杂,导致当前对四川盆地须家河组地层划分有不同的意见。川中地区上三叠统与川西地区、川西北地区上三叠统的对比,一直存在很大的分歧(邓康龄等,1982;罗启后,1987;何鲤,1989;张健等,2006;高红灿,2007;郑荣才等,2009),未能形成统一的认识(表 1-1)。最新的地层对比研究将须家河组自下而上分为五个岩性段,其中须三段、须五段以泥页岩为主,须二段、须四段、须六段以砂岩为主。小塘子组与川中东部地区须一段或香一段为等时沉积,认为川西地区的须家河组须二段、须三段分别可与川中地区的香二段、香三段对比,须四段+须五段下亚段与香四段对比,香五段相当于须五段上亚段(表 1-2、图 1-2)。四川盆地上三叠统须家河组整体为一套西厚东薄,呈“箕状”分布的以砂岩、泥岩为主的陆源碎屑“煤系地层”。沉积厚度西部较大,北、东、南部地区厚度相对较薄。四川盆地上三叠统小塘子组及须家河组下部地层[小塘子组—须三段(“须下盆”)]自西向东,向南逐层超覆于下伏地层中三叠统地层之上,地层厚度自西向东减薄,沉积中心、沉降中心位于盆地西部。受须三期末以及印支运动晚期的影响,龙门山强烈抬升,须家河组上部地层[须四段—须六段(“须上盆”)]在盆地西北部自东南向西北方向剥蚀程度逐渐加深,沉积中心位于盆地西部地区,但沉降中心向盆地中部迁移(据 2010 年中国石化西南油气分公司内部报告)。

表 1-1 四川盆地上三叠统地层划分对比

高红灿 (2007)		张健等 (2006)		罗启后(1987)	邓康龄等(1982)		何鲤(1989)	
					川西地区	川中地区	川西地区	川中地区
下侏罗统		下侏罗统		中、下侏罗统	白田坝组	自流井群	白田坝组	自流井群
须家河组	须六段	须家河组	须六段	香六段	须五段	香六段	须五段	香五段、香六段
	须五段		须五段	香五段		香五段		
	须四段		须四段	香四段	须四段	香四段	须四段	香四段、香三段
	须三段		须三段	香三段	须三段	香三段	须三上段	香二段
							须三下段	陆相香一段
	须二段		须二段	香二段	须二段	香二段	须二段	无 沉 积
				香一段				
				须二段				
小塘子组	须家河组	须一段	须一段	小塘子组 马鞍塘组		小塘子组 马鞍塘组	海相香一段	
马鞍塘组								
雷口坡组		雷口坡组		雷口坡组	雷口坡组		雷口坡组	

表 1-2 四川盆地上三叠统至白垩系地层划分与对比表

系	统	四川盆地					
		川西地区	川西南地区	川中地区	川南地区	川东北地区	川东地区
上覆地层		新生界地层					
白垩系	上统	缺失	灌口组	缺失	高坎坝组	缺失	高坎坝组
			夹关组		三合组		三合组
					打儿函组		打儿函组
					窝头山组		窝头山组
	下统	剑阁组	缺失	古店组	缺失	缺失	
		汉阳铺组	天马山组	七曲寺组			缺失
		剑门关组		白龙组			
			仓溪组				
侏罗系	上统	莲花口组	蓬莱镇组	蓬莱镇组	蓬莱镇组	蓬莱镇组	蓬莱镇组
		遂宁组	遂宁组	遂宁组	遂宁组	遂宁组	
	中统	沙溪庙组	沙溪庙组	上沙溪庙组	上沙溪庙组	上沙溪庙组	上沙溪庙组
		千佛崖组	缺失	下沙溪庙组	下沙溪庙组	下沙溪庙组	下沙溪庙组
				新田沟组	千佛崖组	千佛崖组	新田沟组
	下统	白田坝组		白田坝组	自流井组	自流井组	自流井组
			大安寨段		大安寨段	大安寨段	大安寨段
			马鞍山段		马鞍山段	马鞍山段	马鞍山段
			东岳庙段		东岳庙段	东岳庙段	东岳庙段
			珍珠冲段		珍珠冲段	珍珠冲段	珍珠冲段
三叠系	上统	须家河组	缺失	香溪群	香六段	须六上段	香溪群
					香五段	须六中段	
					香四段	须六下段	
					香三段	须五段	
					香二段	须四段	
					香一段	须三段	
					须二段	须二段	
					须一段	须二段	
					须一段	须一段	
					须一段	须一段	
					须家河组		
下伏地层		中三叠统地层					

资料来源：刘家铎和吕正祥，2010

总体上, 马鞍塘组、垮洪洞组和小塘子组以海相、海陆交互相泥岩沉积为主; 须二段(T_3x^2)以陆相砂岩为主; 须三段(T_3x^3)、须五段(T_3x^5)以页岩为主, 夹砂岩及煤层; 须四段(T_3x^4)以砂、砾岩夹薄层泥岩为主; 须六段(T_3x^6)以砂岩为主, 在盆地西北部缺失。

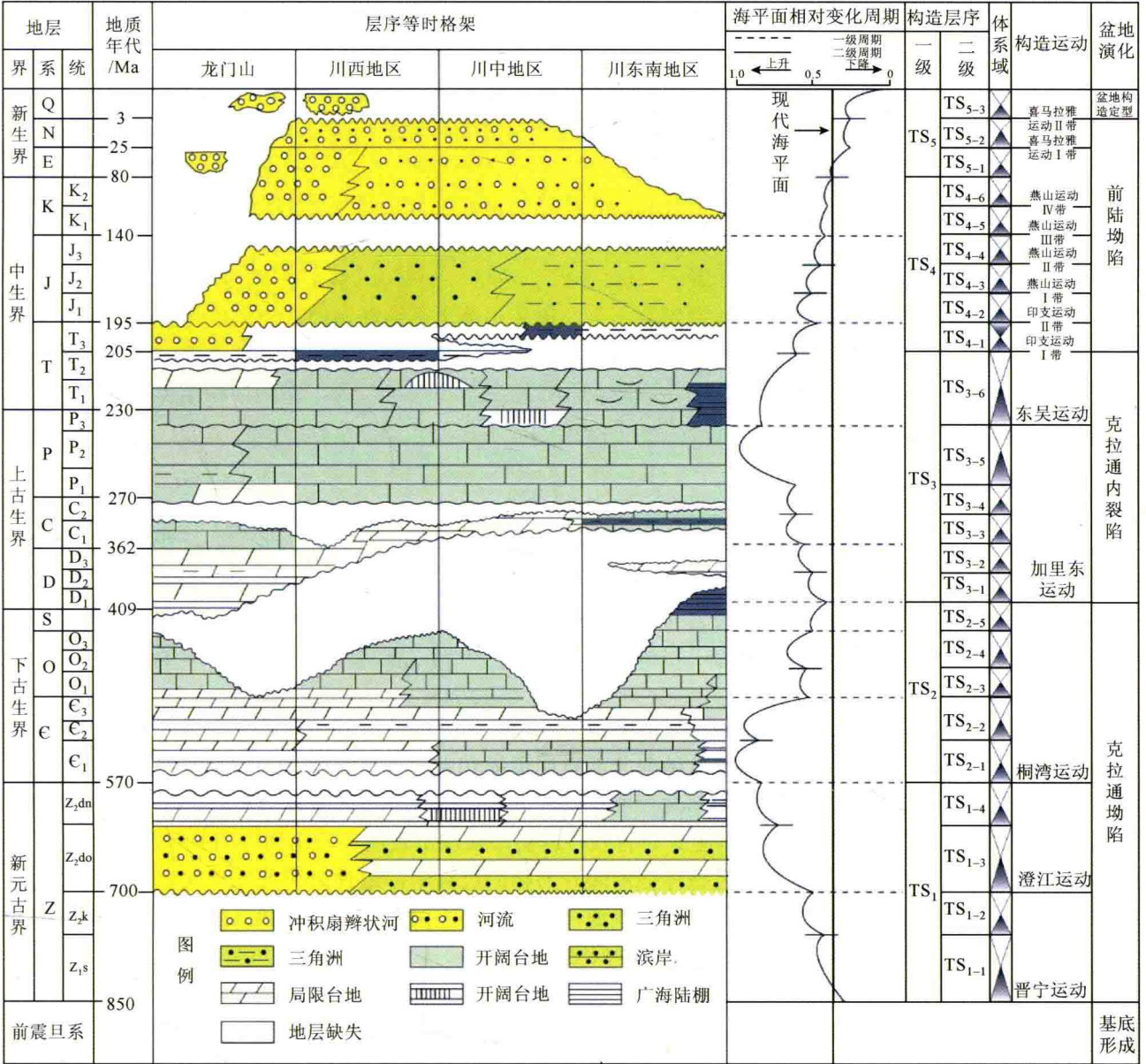


图 1-2 四川盆地层序格架与地层分布特征剖面图(刘家铎和吕正祥, 2010)

1.2.2 侏罗系地层发育特征

侏罗系包括自流井组(J_1z)、千佛崖组(J_2q)、上沙溪庙组(J_2s)、下沙溪庙组(J_2x)、遂宁组(J_3sn)和蓬莱镇组(J_3p)。主体为湖泊、三角洲相碎屑岩地层。

自流井组命名于自贡市自流井, 为一套以浅湖-半深湖相紫红色及黄绿色泥(页)岩夹薄层石英细砂岩、粉砂岩、生物碎屑灰岩或泥灰岩为主的地层。自下而上划分为珍珠冲段、东岳庙段、马鞍山段、大安寨段与凉高山段五个岩性段(翟光明, 1989)。其总体分布特征具有西薄东厚的特点。白田坝组仅分布于龙门山中、北段前缘的江油、广元和米仓山-大巴山前缘的南江、旺苍、万源一带, 底部为冲积扇相的紫红色、杂色粗-巨砾岩, 夹砂岩透镜体, 中下部为厚数十米至 100 余米的含煤泥页岩夹砂岩或砾岩层,

中上部为黄绿色、紫红色砂泥岩层夹砾岩透镜体,局部夹介壳薄层,与自流井组属同时异相关系。

千佛崖组以命名地广元千佛崖剖面具代表性,为河流-滨浅湖相沉积,可划分为三段:上杂色段,中黑色段,下杂色段;主要分布于龙门山前缘的彭州、江油、广元一线及米仓山-大巴山前缘的万源一带。厚度变化较大,为30~350m,且东厚西薄,达川、万县一带最厚。新田沟组命名于重庆北碚区新田沟,该组在盆地内分布广泛,厚130~400m,为一套还原-次氧化环境下的湖相砂泥岩沉积,与千佛崖组属同时异相关系。

沙溪庙组命名于合川县南沙溪庙,以“叶肢介页岩”之顶(或“嘉祥寨砂岩”之底)为分界标志,将沙溪庙组一分为二,其下划分为下沙溪庙组,其上划分为上沙溪庙组(或称沙溪庙组上段、下段)。主要为湖泊-三角洲相灰色和灰紫色厚层至块状粗中粒至细粒长石石英砂岩、长石砂岩-紫红色粉砂岩、泥岩。

遂宁组在区域上分布广泛,以单一岩性和较为鲜艳的紫红色为特征,是侏罗系标志层;主要为一套滨浅湖相鲜紫红色泥岩、粉砂质泥岩与薄层状钙泥质粉砂岩韵律互层组合。龙门山前缘,该组岩石粒度变粗,夹灰质或石英质砾岩、含砾粗砂岩。

蓬莱镇组分布广泛,但因后期剥蚀多保存不全,仅在川西地区前陆盆地的中西部保存较好。与下伏遂宁组整合接触,与上覆下白垩统苍溪组(或剑门关组)呈平行不整合接触关系。主体属滨浅湖和三角洲沉积,局部为河流相或半深湖相沉积。莲花口组仅分布在龙门山前缘,为一系列冲积扇体组成的冲积扇群堆积,与蓬莱镇组的底界一致,二者为同时异相关系。

1.2.3 白垩系地层发育特征

白垩系划分为下白垩统和上白垩统,地层厚度约3500m,全为红色碎屑岩地层。沉积环境主要为河湖环境,局部为山麓冲积扇及风成沙漠环境,岩性变化大,除剑阁、灌县、芦山一线为砂砾粗碎屑岩外,其余地区皆为细碎屑岩、泥质岩及零星分布的钙芒硝和石膏等蒸发岩沉积。除雅安、成都一带地层发育较全外,剑阁、梓潼—巴中—南江只有下白垩统,上白垩统缺失;宜宾—泸州缺失下白垩统,只发育上白垩统。

下白垩统由于受龙门山逆冲推覆和川东南断褶带自南东向北西的强烈挤压双重作用,造成盆地东部大幅度隆升成陆并遭受剥蚀,迫使沉积盆地向北西方向退缩和南北两端收缩。造成沉积盆地面积迅速减少,呈北东向长条状展布,七曲寺组中部发育的厚层泥岩之上的收缩体系域仅分布在芦山—乐山间的狭小范围内,在川南地区宜宾柳嘉一带零星分布有残存地层,表现出较明显的山间坳陷盆地特征。

上白垩统在川北地区和川东北地区整体强烈隆升为陆的过程中,迫使沉积盆地从北东向南西大面积退缩至川西中段和川南地区,同时龙门山中南段逆冲推覆作用增强,作为沉积和沉降中心的前渊坳陷部位也随之迁移到龙门山中南段的都江堰、芦山和天全一带。

1.3 油气聚集区的划分及资源分布

四川盆地油气资源丰富,无论是盆地东部、西部、南部、北部,还是中部均有油气田发育。根据区域位置和油气田地质特征,可以把四川盆地划分为4个油气聚集区或4个构造区块(图1-3):川西气区(川西地区)、川南气区(川南地区)、川中油气区(川中地区)、川东气区(川东地区)(戴金星等,2009)。四川盆地气田分布较分散,其中以川南地区气田最多,已发现气田达50多个;其次是川东地区,已发现气田40多个,而且多为大中型气田,四川盆地年产气量的65%以上来自该区,整个川东地区与川南地区气田、气藏数约占四川盆地的70%;川西地区仅发现7个气田;川中地区区域面积最广,仅发现4个气田,但是发现了14个油田(朱光有等,2006),这使得川中地区成为四川盆地的唯一油气聚集区。

虽然四川盆地川东地区与川南地区气田最多,但是四川盆地陆相致密碎屑岩气田却以川西地区与川中地区最多,其次为川南地区,川东地区最少(图1-3),且川东地区气田(气藏)产层多为某一含气层段,储层厚度和气藏规模均较小。陆相致密碎屑岩油气纵向上分布差异较大:白垩系(K)天然气仅分布在川西

局部地区；侏罗系(J)天然气主要分布在川西地区，川中地区与川东地区也有一定的分布；上三叠统(T₃)天然气在整个四川盆地均有分布，但是主要分布在川西地区、川中地区与川南地区。

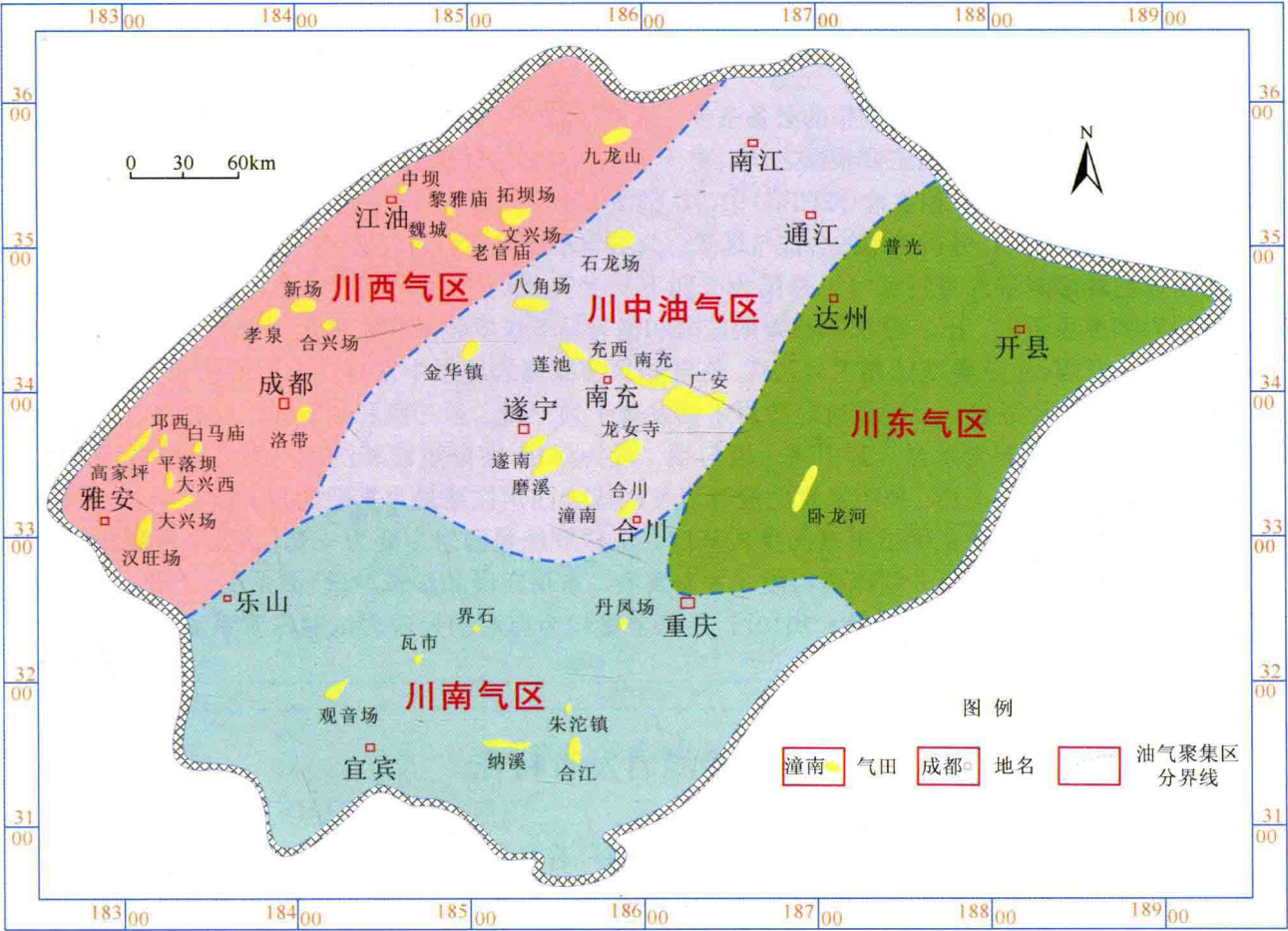


图 1-3 四川盆地油气区划分及上三叠统气田分布图(戴金星等, 2009, 修改)

2 四川盆地致密碎屑岩气藏烃源岩特征

烃源岩是沉积盆地形成油气聚集的必备条件,因此烃源岩层研究既对探讨油气成因具有理论意义,同时也是指导油气勘探实践的主要根据之一。对一个地区烃源岩评价的主要目的就是根据大量地质和地球化学分析结果,在一个沉积盆地(或凹陷)中,从剖面上确定烃源岩层,在空间上划分出有利的生烃区,作出生烃量的定量评价,分析盆地的含油气远景,为油气勘探提供科学依据(蒋有录和查明,2006)。

四川盆地烃源岩层发育特征可以总结为“四下二上”,即下寒武统海相暗色泥岩、下志留统海相深灰色泥岩和黑色页岩、下二叠统海相碳酸盐岩和泥岩、下侏罗统陆相灰黑色泥岩、上二叠统海相泥岩和碳酸盐岩及煤、上三叠统陆相泥岩及煤。在陆相致密碎屑岩地层中发育了上三叠统和下侏罗统“一上一下”两套陆相烃源岩。上三叠统烃源岩主要发育于须一段、须三段和须五段,同时须二段和须四段在川西地区也有烃源岩发育,其中须一段与须二段为海相-海陆过渡相沉积,须三段至须五段为陆相滨浅湖、沼泽相沉积。上三叠统发育的烃源岩使之成为四川盆地最为重要的烃源岩之一,为四川盆地陆相致密油气富集成藏提供了丰富的物质基础。下侏罗统烃源岩主要为一套深湖-半深湖相沉积,主要分布在下侏罗统的自流井组凉高山段、大安寨段、东岳庙段和珍珠冲段(翟光明,1989;杜敏等,2005;杨晓萍等,2005;蒋裕强等,2010),是侏罗系较为有利的烃源岩,对侏罗系油气成藏有一定的贡献。

2.1 烃源岩发育特征

四川盆地陆相烃源岩主要发育在上三叠统徐家河组,其次分布在下侏罗统珍珠冲组和中侏罗统千佛崖组。上三叠统主要为一套陆相含煤建造,暗色泥质岩和所夹煤层是主要的烃源岩。纵向上烃源岩主要分布在须一段、须三段和须五段;须二段中部和须四段中部也发育一定厚度的烃源岩,但厚度相对较小。下侏罗统珍珠冲组和中侏罗统千佛崖组则以泥质烃源岩为主。

2.1.1 上三叠统

四川盆地上三叠统烃源岩厚度变化较大,总体变化趋势为(图 2-1):由川西地区向川中地区、川南地区、川东地区逐渐减薄,在川西地区最厚可达 1500 多米(隆丰 1 井)(黄世伟,2005),在川东涪陵地区厚度仅为 10m 左右。川西地区上三叠统烃源岩厚度最大,烃源岩厚度由川西中段的 1000m 向南减少至 300m 左右,向北减少至 150m 左右,烃源岩厚度以大于 400m 为主;川中地区烃源岩厚度自西向东、向北逐渐降低,烃源岩总体厚度分布范围为 150~400m;川南地区烃源岩厚度自西向东由 200m 左右逐渐减小到 50m。川东地区上三叠统烃源岩厚度最小,自西向东由 150m 降低至 50m 以下,烃源岩厚度主要在 100m 以下。总体上烃源岩厚度:川西地区>川中地区>川南地区和川东地区。四川盆地上三叠统各段烃源岩厚度特征如下。

(1) 须一段:总体来看,须一段沉积时期,四川盆地川西地区和川中大部分地区接受沉积,川南地区仅有靠近川西地区和川中地区的很少一部分地区有沉积作用,更多的地区处于剥蚀区,没有烃源岩及有机质的沉积;川东地区在该时期处于剥蚀状态。须一段沉积期沉积中心位于川西拗陷中段地区,该地区烃源岩厚度最大,最厚可达 100m 以上,向北、向南、向东各个方向烃源岩厚度递减变薄,川南地区和川中地区烃源岩厚度仅 10~20m,最终向南尖灭于威远、荣昌一带,向东尖灭于合川、广安、大竹一带,向北尖灭于渠县一大竹附近(图 2-2)。

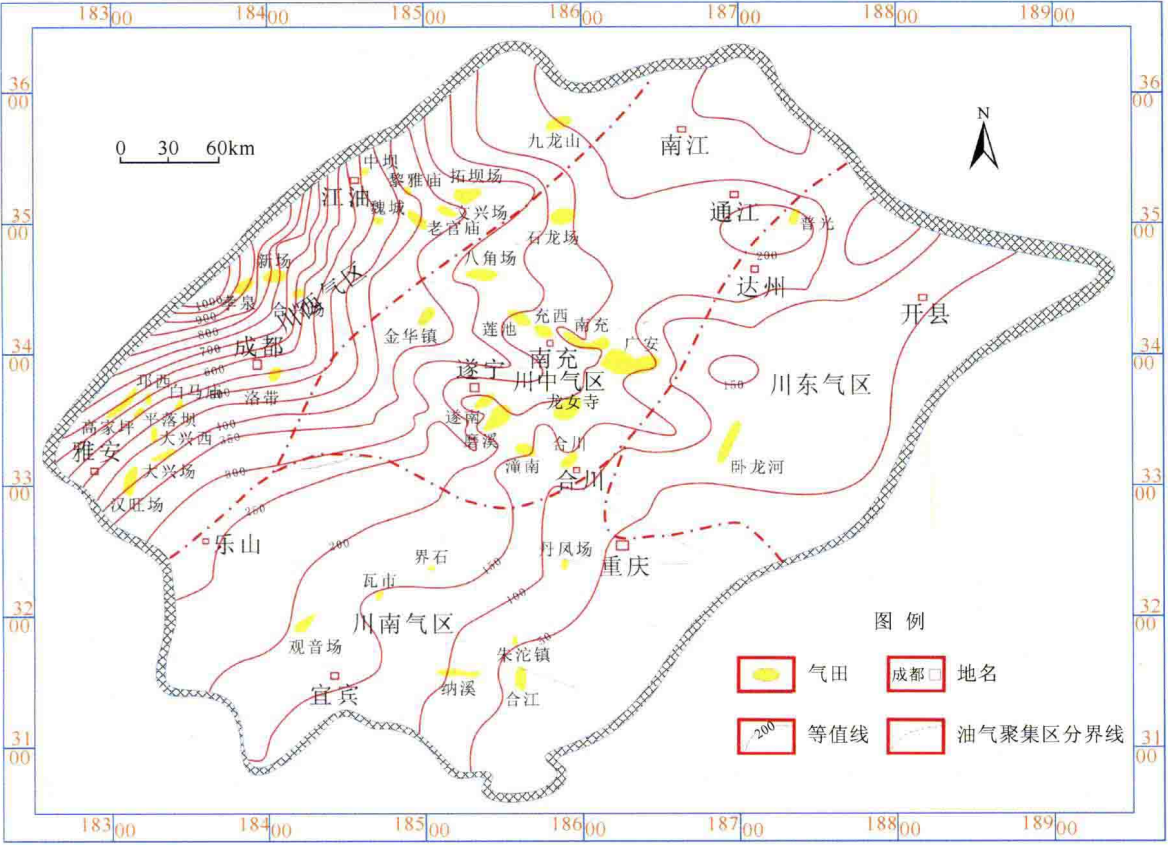


图 2-1 四川盆地上三叠统烃源岩厚度等值线图

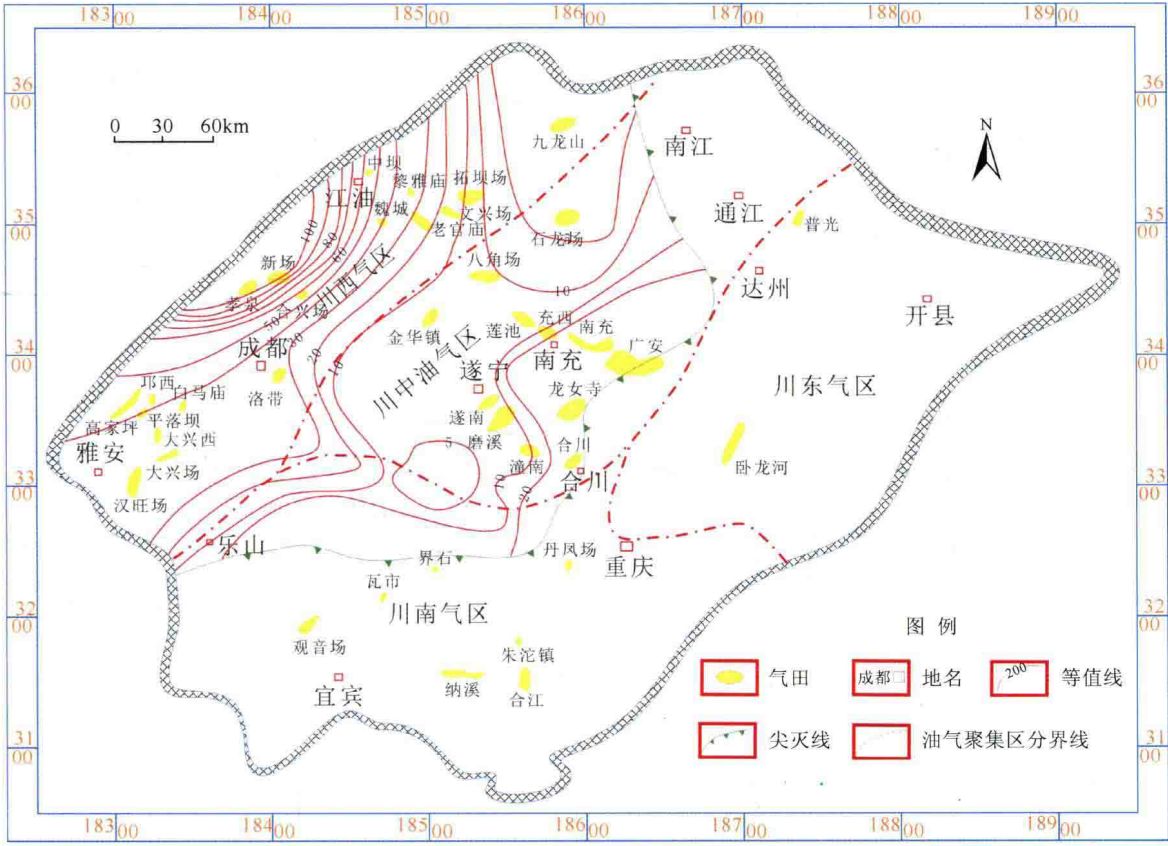


图 2-2 四川盆地上三叠统须一段烃源岩厚度等值线图

(2) 须二段：沉积范围较须一段有所扩大，川东地区与川南地区大部分地区开始接受沉积并在部分地区开始有烃源岩发育。川西地区须二段烃源岩厚度最大，最高达 130m，向西逐渐降低，烃源岩总体厚度大于 30m；川中地区烃源岩厚度总体以 20~30m 为主，中部营山地区烃源岩厚度仅 10m 左右；川南地区烃源岩厚度变化较大，靠近川西地区烃源岩厚度可达 110m，向东迅速变薄，该区烃源岩厚度主体为 20~30m；川东合川、通江附近局部区域有烃源岩发育，烃源岩厚度小于 40m(图 2-3)。

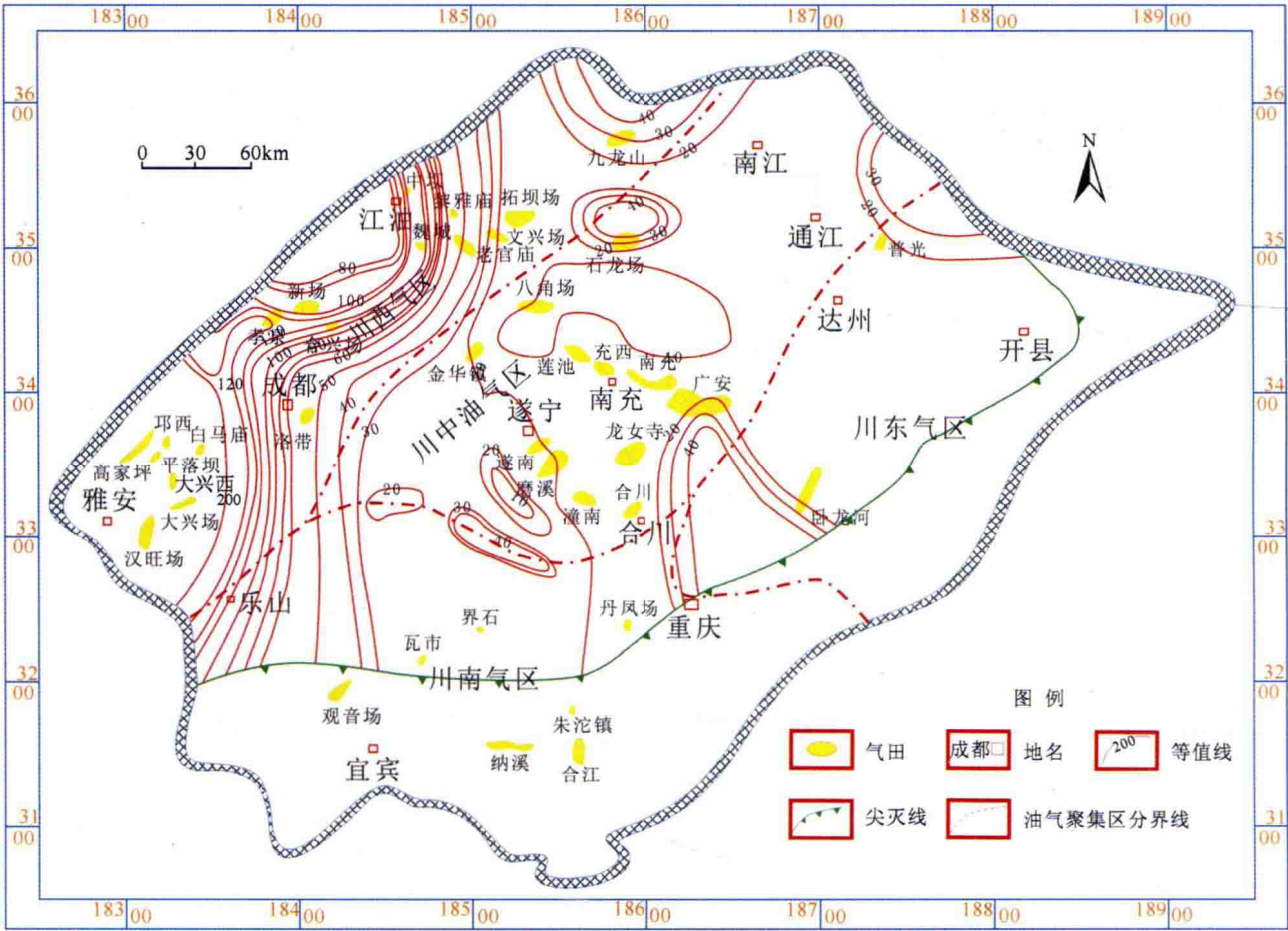


图 2-3 四川盆地上三叠统须二段烃源岩厚度等值线图

(3) 须三段：较须一段与须二段烃源岩，须三段烃源岩分布范围显著增大，几乎分布于整个四川盆地。四川盆地须三段烃源岩厚度大，在川西地区最大厚度可达 600m；川中地区须三段烃源岩厚度较须一段、须二段也有所增加，烃源岩总体厚度为 50~75m；川南地区和川东地区须三段烃源岩厚度小于 50m(图 2-4)。

(4) 须四段：烃源岩厚度较须三段有所变小。川西地区须四段烃源岩厚度为 50~400m，北部剥蚀区不发育烃源岩；川中地区烃源岩整体厚度为 10~20m；川南地区烃源岩厚度从靠近川西地区的 200m 向东迅速降低，至自贡、泸州一带烃源岩厚度仅为 20m 左右；川东地区烃源岩厚度均在 20m 以下(图 2-5)。

(5) 须五段：须五段沉积时期，川西北部地区仍然处于剥蚀区，没有烃源岩发育，川西中部与南部烃源岩较为发育，烃源岩厚度为 150~350m；川中地区须五段烃源岩厚度较须一段至须四段显著增加，靠近川西地区最大厚度可达 200m，向东、向北递减，烃源岩总体厚度为 50~125m；川南地区烃源岩厚度主要为 50m 左右，靠近川西的部分川南地区烃源岩厚度较大，最大可达 120m 以上；川东地区烃源岩厚度总体小于 50m(图 2-6)。