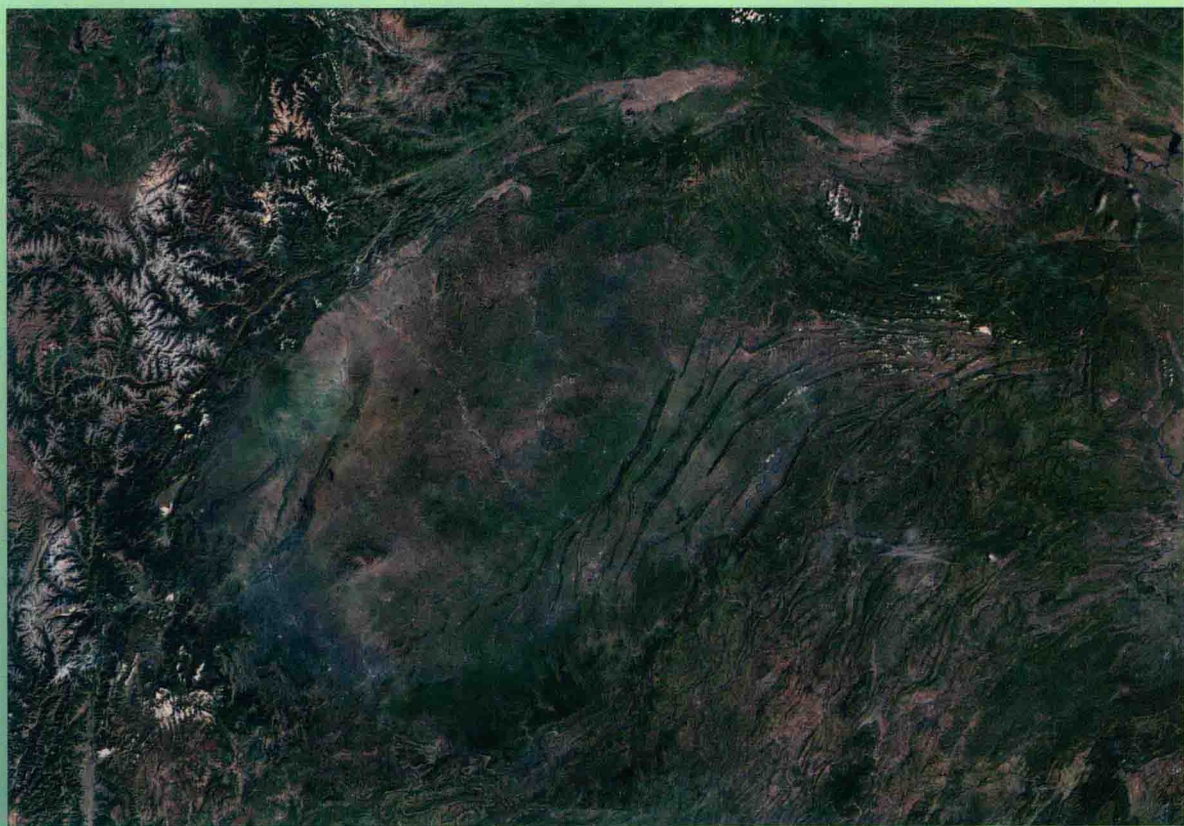


四川盆地构造特征与油气

魏国齐 等 著



科学出版社

四川盆地构造特征与油气

魏国齐等 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是作者近20年来持续开展四川盆地构造特征与油气分布规律研究的系统总结与升华,集中反映了在盆地性质与类型、盆地地球物理场与岩石圈热结构、盆地周缘板块构造、盆地结构与构造单元、盆地构造演化与原型盆地、克拉通内古隆起与裂陷、前陆褶皱冲断带、盆地构造控油气规律、古老碳酸盐岩构造稳定区大气田古油藏“原位”裂解成藏9个方面取得的创新性成果。全书共7章24节,是近年来有关四川盆地构造与控油气作用研究较全面、深入的一部专著,对发展我国复杂含油气盆地构造理论有重要价值,对复杂含油气盆地油气勘探也具有一定的借鉴作用。

本书可供天然气勘探工作者、科研院所从事盆地构造的研究人员和相关高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

四川盆地构造特征与油气/魏国齐等著. —北京:科学出版社,2019.1

ISBN 978-7-03-059295-8

I. ①四… II. ①魏… III. ①四川盆地-石油天然气地质-地质构造 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第249254号

责任编辑:焦健 陈姝姝 韩鹏/责任校对:张小霞

责任印制:肖兴/封面设计:北京图阁盛世

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>

三河市春园印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年1月第一版 开本:787×1092 1/16

2019年1月第一次印刷 印张:18 3/4

字数:420 000

定价:238.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

主要作者名单

魏国齐 贾 东 杨 威
肖安成 王良书 吴 磊

序 一

四川盆地位于环青藏高原盆山体系的东段，是环青藏高原盆地群的重要组成部分，也是我国大型含油气盆地之一。盆地天然气资源丰富，常规天然气资源量达 $16.45 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。截至 2017 年年底，盆地探明常规天然气地质储量达 $3.69 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。盆地的大规模油气勘探始于 1953 年，至 2003 年以中小型气田发现探明为主。2003 年以后，随着地质理论的创新、盆地整体性地质认识的深化和勘探技术的不断进步，在盆地发现了以安岳震旦系 - 寒武系、普光长兴组 - 飞仙关组为代表的一系列大气田或特大型气田，这期间发现的天然气储量占过去 60 多年发现储量的 2/3 以上，使四川盆地天然气储产量快速增长。盆地天然气年产量 2004 年突破 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2010 年超过 $200 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2015 年跨越 $300 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2017 年产量为 $389.8 \times 10^8 \text{m}^3$ ，预计四川盆地未来将成为中国最大的产气区和最大的天然气工业基地。

魏国齐教授及其研究团队自 2000 年至今，长期坚持在四川盆地开展油气地质研究工作，先后对盆地主要勘探领域的构造、烃源岩、沉积储层、成藏等基础地质问题，以及区带目标进行深入研究，取得了丰硕的研究成果和显著的生产实效，为 2003 年以来四川盆地天然气的系列勘探突破和储产量快速增长，特别是为安岳震旦系 - 寒武系特大型气田的发现做出了重大贡献。《四川盆地构造特征与油气》这本专著，是作者近 20 年来持续开展四川盆地构造研究，在不同阶段、不同领域研究成果的系统总结与升华。在盆地性质与类型、盆地形成演化、克拉通内古隆起与裂陷构造、前陆褶皱冲断带构造解析、盆地构造控油气规律等方面取得突破性进展，在指导勘探实践方面取得重大生产实效：

(1) 提出四川盆地为一叠加在前震旦纪双重基底之上，由震旦纪一中三叠世克拉通盆地和晚三叠世—第四纪前陆盆地组成，不同时期不同性质原型盆地在纵向上叠加的，在平面上复合的大型叠合复合盆地。盆地演化主要经历了新元古代晚期陆内裂谷盆地、震旦纪—早寒武世克拉通内裂陷盆地、中寒武世—中奥陶世克拉通内拗陷盆地、晚奥陶世—志留纪前陆盆地、石炭纪—中二叠世克拉通内拗陷盆地、晚二叠世—早三叠世克拉通内裂陷盆地、晚三叠世以来前陆盆地 7 个阶段。全面提升了对四川盆地性质与类型的认识。

(2) 研究发现四川盆地发育震旦纪—早寒武世绵竹—长宁、万源—达州和二叠纪末—三叠纪初开江—梁平两期三个克拉通内裂陷。发现盆地发育震旦纪—早寒武世高石梯—磨溪、中寒武世—早志留世乐山—龙女寺和中三叠世末期—晚三叠世泸州—开江三期三个大型古隆起构造。其中首次发现的高石梯—磨溪古隆起，是在震旦纪碳酸盐岩建隆群的基础上，经早寒武世同沉积隆起发展和早寒武世末期消亡的古隆起，长期独立发展，是四川盆地构造相对最为稳定的地区。突破了前人有关上扬子克拉通构造格局及盆地古隆起发育的认识。

(3) 提出龙门山褶皱冲断带经历了晚三叠世和新生代两期重要的构造变形过程, 晚三叠世构造变形主要影响褶皱冲断带北段和中段, 新生代构造变形影响整个褶皱冲断带, 在南段比中段和北段构造缩短量大。米仓山前褶皱冲断带主体走向近东西向展布, 为一大型的基底卷入式褶皱构造。大巴山弧形构造带的南大巴山变形单元, 受下三叠统嘉陵江组和震旦系两套主滑脱面控制, 表现为以薄皮冲断为主、具深浅层双层结构的变形特征。揭示了环青藏高原盆山体系东段中新生代的变形规律。

(4) 提出震旦纪—早寒武世克拉通内裂陷和古隆起控制盆地震旦—寒武系大气田的形成与分布; 晚二叠世—早三叠世克拉通内裂陷控制长兴组—飞仙关组大气田的形成与分布; 二叠世末期—晚三叠世泸州—开江古隆起控制石炭系—中三叠统气田群的形成与分布。龙门山、米仓山、大巴山前陆褶皱冲断带及斜坡构造控制上三叠统天然气的分布, 对该区海相碳酸盐岩气田的形成具建设性作用; 川东、川南褶皱冲断带主要调整改造了泸州—开江古隆起控制的海相碳酸盐岩气田, 形成成排成带的石炭系—中三叠统气田群。深化了盆地构造控油气规律的认识。

(5) 建立了古老碳酸盐岩构造稳定区古油藏“原位”裂解成藏模式。根据盆地震旦纪寒武纪构造格局与原型盆地、高石梯—磨溪古隆起形成演化, 结合油气成藏研究, 建立了安岳震旦系—寒武系特大型气田成藏模式, 即二叠纪—三叠纪先形成特大型油藏, 晚三叠世—白垩纪再“原位”裂解聚集形成特大型气藏, 发展了古老碳酸盐岩油气成藏理论。自主评价提出并标定的高石 1 风险探井直接引领了安岳震旦系—寒武系特大型气田发现, 并成为目前我国规模最大的海相碳酸盐岩气田。目前该气田已建成年产 $130 \times 10^8 \text{m}^3$ 的天然气生产能力。

该专著反映了四川盆地构造研究的最新进展, 创新观点荟萃, 是目前有关四川盆地构造研究最系统、最全面、最深入的专著, 也是盆地构造研究与油气勘探结合的典范, 是对含油气盆地构造领域研究做出的新贡献。不仅提升了四川盆地构造研究水平, 而且对指导四川及相关盆地油气勘探具有重要意义。愿该书的出版能够成为同行了解四川盆地构造特征与控油气规律的一个窗口, 为我国复杂含油气盆地构造研究领域的深入发展而共勉!

中国科学院院士

2018 年 11 月

序 二

四川盆地是人类历史上最早开采并工业化利用天然气的地方，早在东汉时期，临邛等地就已开发利用天然气，将其作为煮盐的燃料。四川盆地含油气层系多，天然气资源丰富，是我国重要的天然气工业基地。

四川盆地作为我国大型含油气盆地，分布面积约为 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地地层发育齐全，沉积岩总厚 6000 ~ 12000m，其中震旦系到中三叠统是以海相碳酸盐岩沉积为主，厚 4000 ~ 7000m；上三叠统及以上地层是一套以陆相碎屑岩为主的沉积体系。盆地结构复杂，构造沉积演化历史长，纵向上生储盖组合多，发育新元古界—下古生界海相、上古生界海相和中生界陆相三大成藏系统，油气成藏复杂。因此，系统开展盆地构造特征及其控油气作用研究，可发展我国复杂含油气盆地构造地质理论，为有利油气勘探领域与勘探区带优选，特别是大型或特大型油气田勘探目标优选奠定重要理论基础。

《四川盆地构造特征与油气》一书，是魏国齐教授及其研究团队近 20 年来持续开展四川盆地构造研究与油气分布的系统总结与升华。在盆地性质与类型、盆地形成演化与原型盆地、克拉通内古隆起与裂陷构造、前陆褶皱冲断带构造、盆地构造控油气规律，以及勘探实践方面，取得了一系列重大创新性成果和重大生产实效。具体体现在：

(1) 确定了盆地性质与类型。提出盆地属于“冷壳冷幔”型盆地，岩石圈以整体变形为特征，表现为近刚性的地球动力学特点；盆地具前震旦纪双重基底，即晋宁运动形成的褶皱结晶基底、由新元古代南华系裂谷岩浆岩和沉积岩组成的沉积基底；盆地为一叠加在前震旦纪双重基底之上，由震旦纪—中三叠世克拉通盆地和晚三叠世—第四纪前陆盆地组成的大型叠合复合盆地。

(2) 重新厘定了盆地结构，建立了盆地构造演化史。重新将盆地内部划分为川中隆起带等 5 个一级构造单元和高石梯—磨溪凸起（或高石梯—磨溪古隆起）等 10 个二级构造单元。将盆地构造演化史划分为新元古代晚期陆内裂谷盆地、震旦纪—早寒武世克拉通内裂陷盆地、中寒武世—中奥陶世克拉通内拗陷盆地、晚奥陶世—志留纪前陆盆地、石炭纪—中二叠世克拉通内拗陷盆地、晚二叠世—早三叠世克拉通内裂陷盆地、晚三叠世以来前陆盆地 7 个主要演化阶段。认为经历了新元古代罗迪尼亚超大陆裂解及晚期全球冰川事件、中奥陶世到早志留世早期武夷—云开造山作用、晚二叠世晚期峨眉山玄武岩喷发、晚三叠世扬子和华北以及羌塘块体三向汇聚聚合、新生代印藏碰撞 6 个主要构造事件。

(3) 揭示了小克拉通盆地构造分异性和构造活动性。发现灯影组之下发育南华系地堑—地垒构造，刻画了盆地新元古界陆内裂谷原型盆地，以北东—北东东向展布为主。重建了盆地震旦纪—早寒武世南北向展布、晚二叠世—早三叠世北西向展布的构造沉积格局，发现震旦纪—早寒武世绵竹—长宁、震旦纪万源—达州克拉通内裂陷和震旦纪—早寒武世

高石梯—磨溪古隆起。提出高石梯—磨溪古隆起是在震旦纪碳酸盐岩建隆群的基础上，经早寒武世同沉积隆起发展和早寒武世末期消亡的古隆起，为盆地构造长期相对稳定发展的地区。提出盆地基底构造（断裂）后期活化对小型克拉通盆地构造沉积分异具有重要控制作用。叠加形成在克拉通盆地之上的中生代多个复杂逆冲褶皱带强烈改造了盆地周缘，甚至导致内部的强烈变形。

（4）揭示了盆地构造控油气规律。提出震旦纪—早寒武世克拉通内裂陷和古隆起控制盆地震旦—寒武系大气田的形成与分布；晚二叠世—早三叠世克拉通内裂陷控制长兴组—飞仙关组大气田的形成与分布；中三叠世末期—晚三叠世泸州—开江古隆起控制石炭系—中三叠统气田群的形成与分布。龙门山、米仓山、大巴山前陆褶皱冲断带及斜坡构造控制上三叠统天然气的分布，对该区海相碳酸盐岩气田的形成具建设性作用。以此为指导，评价出一批有利勘探区带及目标，直接参与了盆地龙岗长兴组—飞仙关组大气田、川中须家河组大气田的勘探，特别是提出并标定的高石 1 风险探井获日产超百万立方米高产工业气流，引领了安岳震旦系—寒武系特大型气田的发现，成为盆地构造研究直接指导油气勘探大发现的成功典范。

总之，该书是近年来四川盆地构造研究最新进展和创新观点荟萃的一部优秀专著，完整系统地论述了四川盆地构造特征，以及大型天然气田发现与盆地构造演化之间的关系；是以魏国齐教授为首的研究团队近 20 年深入盆地油气勘探现场，持之以恒精心研究的重要成果；是继 1997 年《中国塔里木盆地构造特征与油气》出版之后，系统研究盆地构造与控油气规律领域的又一力作，填补了四川盆地构造研究的空白。这本专著的问世是可喜可贺的，值得大家一读，定会受益匪浅。

中国科学院院士

杨树锋

2018 年 11 月

前 言

四川盆地面积约为 $18 \times 10^4 \text{km}^2$ ，是我国大型含油气盆地之一。盆地演化历史长，沉积盖层厚达 $6000 \sim 12000 \text{m}$ ，其中震旦系—中三叠统为以海相碳酸盐岩为主的沉积层序，厚度为 $4000 \sim 7000 \text{m}$ ，上三叠统及以上为陆相碎屑岩地层，厚度为 $2000 \sim 5000 \text{m}$ 。盆地纵向上主要发育 6 套烃源岩层系，其中 4 套海相烃源岩层系（下寒武统、下志留统、下二叠统、上二叠统）和 2 套陆相烃源岩层系（上三叠统、下侏罗统）。

四川盆地天然气资源丰富，最新油气资源评价结果表明，盆地常规天然气资源量约为 $16.45 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，页岩气资源量约为 $21.66 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。从震旦系至侏罗系已获工业油气层系 27 个，以产天然气为主。截至 2017 年年底，四川盆地探明常规天然气地质储量 $3.69 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，探明页岩气地质储量 $9209 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

四川盆地是世界上最早发现和利用天然气的地区，距今已有两千多年的历史，也是我国近代天然气工业发源地。早在 20 世纪 30 年代，人们在石油沟构造用旋转钻机首次钻探了中国近代油气钻井史上第一口天然气井——巴 1 井，也是新中国第一个天然气工业基地，2009 年以前一直为中国最大的产气区。

四川盆地的大规模油气勘探始于 1953 年，至今可划分为以下 4 个阶段。① 20 世纪 50 年代至 70 年代中期，以地面构造勘探为主，在蜀南地区发现了一大批灰岩缝洞型气藏，以及卧龙河、威远、中坝等一批裂缝—孔隙型气藏，以及川中地区侏罗系油田，较典型的是于 1965 年发现的我国地层最古老、当时储量规模最大的威远震旦系气田；② 20 世纪 70 年代中后期至 2000 年，该阶段以川东高陡构造勘探为主，以 1977 年发现相国寺石炭系孔隙型气藏为标志、以裂缝—孔隙型储层为对象、以大中型气田为目标，主探石炭系，兼探二叠系和三叠系，发现了以五百梯石炭系气田、渡口河飞仙关组气田为代表的一批大中型气田；③ 2001 年至 2010 年，该阶段以构造岩性油气藏勘探为主，以岩性油气藏理论为指导，海相、陆相储层并重，在上三叠统须家河组、二叠系—三叠系礁滩勘探取得丰硕成果，特别是 2003 年普光长兴组—飞仙关组礁滩大型气田的发现，长兴组—飞仙关组礁滩勘探进入高潮，又先后于 2006 年和 2007 年发现龙岗和元坝等大型礁滩气田，在上三叠统须家河组岩性大气田勘探方面，先后发现了广安、合川、安岳等须家河组大气田，获三级储量超过 $1.3 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，其中探明储量近 $9000 \times 10^8 \text{m}^3$ ；④ 2011 年至今，古老碳酸盐岩构造岩性油气藏勘探阶段，2011 年 7 月 12 日高石 1 风险探井，在震旦系获超百万立方米高产气流，在寒武系龙王庙组测井解释出 15m 气层，拉开了安岳震旦系—寒武系特大型气田评价勘探的序幕，随后在高石梯—磨溪地区部署磨溪 8 等 7 口探井，2012 年磨溪 8 井在寒武系龙王庙组获百万立方米高产。截至 2017 年年底，安岳气田探明天然气地质储量达 $8488 \times 10^8 \text{m}^3$ ，三级储量近 $1.5 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，成为目前我国最大的海相碳酸盐岩气田，其

中磨溪区块寒武系龙王庙组探明天然气地质储量为 $4404 \times 10^8 \text{m}^3$ ，高石梯—磨溪地区灯影组四段探明天然气地质储量为 $4084 \times 10^8 \text{m}^3$ 。安岳气田目前已达到年产 $130 \times 10^8 \text{m}^3$ 的天然气生产能力，预计“十三五”末其年生产能力将达到 $150 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

四川盆地天然气产量在 1977 年达到 $50 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2000 年以来天然气产量持续快速增长，2004 年突破 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2010 年超过 $200 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2015 年跨越 $300 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2017 年天然气产量达到 $389.8 \times 10^8 \text{m}^3$ 。未来几年，随着页岩气资源的规模有效开发，天然气产量将快速上升至 $500 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

2000 年以来，本书的主要作者有幸依托负责的中国石油天然气股份有限公司科技信息部、勘探与生产分公司、西南油气田分公司有关四川盆地科研生产攻关项目、前陆盆地构造研究项目和国家“十一五”至“十三五”天然气重大专项，组织原中国石油勘探开发研究院廊坊分院、南京大学、浙江大学、长江大学等单位，围绕四川盆地天然气地质与勘探，持续开展了长达 18 年的攻关研究。研究团队先后对盆地长兴组—飞仙关组礁滩、上三叠统须家河组、震旦系—下古生界等主要勘探领域的构造、烃源岩、沉积储层、成藏等基础地质问题进行了深入研究，对盆地周缘前陆褶皱冲断带构造特征进行了系统剖析，评价出一批有利勘探区带及目标，成为这期间四川盆地天然气勘探研究领域的一支重要研究团队，先后共同亲历并直接参与了四川盆地龙岗长兴组—飞仙关组大气田，川中广安、合川、安岳等须家河组大气田的勘探，特别是提出的高石 1 风险探井取得重大勘探突破，引领了川中高石梯—磨溪地区安岳震旦系—寒武系特大型气田的发现，见证了 2000 年以来四川盆地天然气储量、产量的快速增长的完整历程。为近年来四川盆地天然气勘探的重大突破做出了突出贡献。

与此同时，研究团队在盆地构造与油气、古老烃源岩生烃潜力与成藏、长兴组—飞仙关组富集规律、上三叠统须家河组低生烃强度区致密砂岩成藏机理与富集规律、主要海相地层层序岩相古地理 5 个基础研究方面取得了一系列创新性成果。本书主要集中反映了研究团队近 20 年来有关四川盆地构造特征及对大型天然气田形成的控制作用方面的最新研究成果。在盆地性质与类型、盆地地球物理场与岩石圈热结构、盆地周缘板块构造、盆地结构与构造单元、盆地构造演化与原型盆地、克拉通内古隆起与裂陷、前陆褶皱冲断带、盆地构造控油气规律等方面，都取得了突破性进展，主要体现在以下 10 个方面：

(1) 盆地性质与类型方面。提出盆地具前震旦纪双重基底，即晋宁运动形成的褶皱结晶基底和由新元古代南华系裂谷岩浆岩和沉积岩组成的沉积基底。四川盆地为一叠加在前震旦纪双重基底之上，由震旦纪—中三叠世克拉通盆地和晚三叠世—第四纪前陆盆地组成，经历 7 期不同性质原型盆地在纵向上叠加，在平面上复合的大型叠合复合盆地。以发育不同时期大型克拉通内裂陷、克拉通内古隆起和前陆褶皱冲断带、盆地中央的高石梯—磨溪地区构造长期相对稳定发展为特征。受中新生代周缘盆—山体系多期构造强烈改造作用影响，形成盆地“纵向分层、横向分块”的地质结构。

(2) 盆地地球物理场与岩石圈热结构方面。盆地具有独特的重磁力异常和地温场分布特征，属于“冷壳冷幔”型盆地，岩石圈以整体变形为特征，表现为近刚性的地球动力学特点。

盆地布格重力异常介于 $-325 \sim -59\text{mGal}$ ^①，以北东-北东东走向为主。航磁异常值的范围为 $-1075\text{nT} \sim 996\text{nT}$ ，盆地内部阆中东侧最高值为 433nT 。盆地发育北东向、北西向、近东西向和南北向四组基底断裂，以北东向为主。盆地内莫霍面深度为 $39.5 \sim 47\text{km}$ ，最浅处位于盆地中南部大足一带。盆地现今大地热流为 $35 \sim 69\text{mW/m}^2$ ，平均值为 53mW/m^2 ，川东北大巴山乾元大地热流低至 40mW/m^2 左右，甚至比塔里木盆地还低。盆地地壳热流平均为 29mW/m^2 ，地幔热流平均为 24mW/m^2 ，低于全球地幔热流的均值 28mW/m^2 。盆地具有“热”岩石圈厚度大的热结构特征，“热”岩石圈厚度介于 $110 \sim 180\text{km}$ ，平均为 150km ，小于塔里木盆地，大于华北克拉通。

(3) 盆地周缘板块构造方面。扬子陆块北部大陆边缘是秦岭—大别—苏鲁造山带，以阿尼玛卿—勉略—高丹缝合线为边界，经历了自新元古代至晚三叠世的陆缘板块构造演化历史。扬子陆块东南部大陆边缘主要位于江南造山带，经历了新元古代晚期形成，随后陆内拉张，志留纪发生板内碰撞—拼合，华夏陆块与扬子陆块再次拼合的演化过程。扬子陆块西部大陆边缘是松潘—甘孜造山带和龙门山褶皱冲断带，松潘—甘孜造山带是三叠纪晚期古特提斯洋关闭和随后的陆—陆碰撞的产物，并经历了包括印支期和新生代喜马拉雅期在内的多次强烈构造变形。扬子陆块西南部大陆边缘沿金沙江缝合线主要表现为石炭纪至二叠纪弧后盆地形成、二叠纪—三叠纪之交至中三叠世碰撞闭合、晚三叠世向东、向北俯冲碰撞作用。

(4) 盆地结构与构造单元方面。重新将盆地内部划分为5个一级构造单元和10个二级构造单元。5个一级构造单元分别是川中隆起带、川西拗陷、川北拗陷、川东褶皱带和川南褶皱带。其中川中隆起带现今震旦系顶面表现为呈北东向展布的统一巨型长轴状隆起构造，构造定型于燕山期—喜马拉雅期；可划分为高石梯—磨溪凸起（或高石梯—磨溪古隆起）、蓬莱—内江凹陷（相当于绵竹—长宁克拉通内裂陷中段）和威远—资阳凸起三个次级构造单元，其中高石梯—磨溪凸起自震旦系以来灯影组顶面及相邻层系始终发育具统一圈闭线的巨型中央隆起构造，是四川盆地构造相对最为稳定的地区。

(5) 盆地构造演化与原型盆地方面。盆地主要发育震旦系与前震旦系之间（Z-AnZ）等八期区域性地层不整合界面；首次将四川盆地的构造演化史划分为新元古代晚期陆内裂谷盆地、震旦纪—早寒武世克拉通内裂陷盆地、中寒武世—中奥陶世克拉通内拗陷盆地、晚奥陶世—志留纪前陆盆地、石炭纪—中二叠世克拉通内拗陷盆地、晚二叠世—早三叠世克拉通内裂陷盆地、晚三叠世以来前陆盆地7个主要演化阶段。经历了新元古代罗迪尼亚超大陆裂解、新元古代晚期全球冰川事件、中奥陶世到早志留世早期武夷—云开造山作用、晚二叠世晚期峨眉山玄武岩喷发、晚三叠世扬子和华北以及羌塘块体三向汇聚聚合、新生代印藏碰撞6个主要构造事件。

(6) 克拉通内古隆起方面。发现自震旦纪以来盆地发育震旦纪—早寒武世的高石梯—磨溪古隆起、中寒武世—早志留世的乐山—龙女寺古隆起和中三叠世末期—晚三叠世的泸州—开江古隆起等三期3个大型古隆起构造。其中首次发现的震旦纪—早寒武世的高石梯—磨溪古隆起，震旦纪灯影期属大型川中—川东碳酸盐岩建隆群的一部分，早寒武世麦

① $1\text{Gal}=1\text{cm/s}^2$ 。

地坪期—筇竹寺期同沉积隆起发展，早寒武世龙王庙期消亡；通过系统编制盆地主要地质时期震旦系顶界古构造图，发现该隆起构造长期独立发展，是四川盆地构造最稳定的地区，对震旦系到下寒武统龙王庙组的沉积具有非常重要的控制作用。

(7) 克拉通内裂陷方面。发现盆地发育震旦纪—早寒武世绵竹—长宁、万源—达州和二叠纪末—三叠纪初开江—梁平两期 3 个克拉通内裂陷。其中绵竹—长宁克拉通内裂陷为南北向展布贯穿整个盆地西部，两侧张性正断层控制了裂陷边界，震旦纪灯一期、灯二期具雏形，灯三期—灯四期形成，早寒武世麦地坪期和筇竹寺期发展，早寒武世龙王庙期萎缩消亡；万源—达州克拉通内裂陷，北东向展布，主要形成于震旦纪灯一期—灯二期，灯三期—灯四期快速沉积充填，灯四期末期随着中西部绵竹—长宁克拉通内裂陷的发展而消亡；绵竹—长宁、万源—达州克拉通内裂陷与南华纪裂谷具有一定的继承性。

(8) 前陆褶皱冲断带方面。盆地周缘发育龙门山、米仓山、大巴山、川东、川南等 5 个褶皱冲断带。盆地西缘龙门山褶皱冲断带，构造经历了晚三叠世和新生代两期重要的变形过程；晚三叠世构造变形主要影响褶皱冲断带北段和中段，新生代构造变形影响整个褶皱冲断带，在南段比中段和北段构造缩短量大。米仓山前褶皱冲断带主体走向近东西向展布，为一大型的基底卷入式褶皱构造。大巴山弧形构造带的南大巴山变形单元，受下三叠统嘉陵江组和震旦系两套主滑脱面控制，表现为以薄皮冲断为主、具深浅层双层结构的变形特征。川东褶皱冲断带为一列背斜带和向斜带相间的侏罗山式褶皱及相关逆冲叠瓦推覆构造。川南褶皱冲断带具有多个不同走向的褶皱构造以及它们之间的相互叠加，是变形最为复杂的地区。

(9) 盆地构造控油气规律方面。提出盆地发育的上述三期古隆起和两期裂陷控制了四川盆地震旦系—中三叠统海相大型气田的形成与分布，前陆褶皱冲断带及斜坡构造控制陆相地层油气聚集，中—新生代构造运动、区域性不整合界面、断裂对海相碳酸盐岩气田形成具有建设性与调整改造作用。震旦纪—早寒武世克拉通内裂陷和古隆起控制了盆地震旦系—寒武系大气田的形成与分布，晚二叠世—早三叠世克拉通内裂陷控制了长兴组—飞仙关组大气田的形成与分布，中三叠世末期—晚三叠世泸州—开江古隆起控制了石炭系—中三叠统气田群的形成与分布。龙门山、米仓山、大巴山前陆褶皱冲断带及斜坡构造控制了上三叠统天然气的分布，对该区海相碳酸盐岩气田的形成具建设性作用；川东、川南褶皱冲断带主要调整改造了该区早期古隆起控制的海相碳酸盐岩气田，形成成排成带的石炭系、二叠系、下三叠统气田群。

(10) 建立了古老碳酸盐岩构造稳定区古油藏“原位”裂解成藏及其模式。高石梯—磨溪古隆起长期构造稳定，始终为油气运移聚集的指向区；其上控制震旦系灯影组台缘和台内丘滩体风化壳岩溶，以及下寒武统颗粒滩 3 套大面积优质储层形成与展布；自下而上发育灯三段、筇竹寺组、高台组 3 套区域分布的泥页岩、泥质岩直接盖层。克拉通内裂陷控制了古隆起上灯影组台缘优质储层的形成、下寒武统生烃中心的发育和灯影组四段气藏的侧向封堵作用。这些特点决定了安岳特大型气田独特的成藏过程和成藏模式，即二叠纪—三叠纪先形成特大型油藏，晚三叠世—白垩纪再“原位”裂解聚集形成特大型气藏。

全书共 7 章，由魏国齐教授确定框架与提纲，并组织编写，最后统稿、定稿。主要作者包括魏国齐、贾东、杨威、肖安成、王良书、吴磊。各章编写分工如下：前言，魏国齐、

杨威、贾东；第一章，贾东、魏国齐；第二章，王良书、于大勇；第三章，魏国齐、杨威、贾东、谢武仁、刘满仓、胡晶；第四章，魏国齐、贾东、肖安成、吴磊、谢武仁；第五章，魏国齐、肖安成、吴磊、杨威；第六章，魏国齐、贾东、肖安成、陈汉林、吴磊；第七章，魏国齐、杨威、苏楠、武赛军、马石玉。

感谢国家能源局、中国石油天然气集团有限公司科技管理部、勘探与生产公司、勘探开发研究院、西南油气田分公司等单位给予的大力支持；感谢南京大学、浙江大学、长江大学等单位的积极参与；感谢贾承造院士、杨树锋院士、赵文智院士、戴金星院士、王铁冠院士、邹才能院士、李鹭光教授、马新华教授、高瑞祺教授、傅诚德教授、冉隆辉教授、杜金虎教授、徐春春教授、何海清教授、沈平教授、杨跃明教授、顾家裕教授、黄先平教授、张健教授、杨光教授、杨雨教授、赵路子教授、郭召杰教授、胡明毅教授、何登发教授、李剑教授等专家在研究过程中的悉心指导和帮助；感谢金惠、郝翠果、沈珏红、苟川、龚艳等同志在本书出版过程中所付出的艰辛劳动。

本书反映了研究团队近 20 年来有关四川盆地构造研究的最新研究成果，是近年来有关四川盆地构造研究较全面、系统、深入的一部专著，对发展我国叠合复合盆地构造理论有重要价值，书中主要观点对大型叠合复合油气勘探也具有一定的借鉴作用。可供从事盆地构造研究人员、天然气勘探工作者、科研院所研究人员和相关高校师生参考。由于四川盆地构造极为复杂，加之作者水平有限，书中不妥或错漏之处，敬请批评指正！

作 者

2018 年 11 月

目 录

序一	
序二	
前言	
第一章 上扬子地区大陆动力学背景	1
第一节 上扬子地区大地构造背景	1
第二节 四川盆地周缘小型克拉通聚合过程	8
第三节 青藏高原东缘盆山体系构造	12
第二章 盆地重磁场与地热场	14
第一节 盆地重磁场特征	14
第二节 盆地基底断裂分布和基底构造	21
第三节 盆地现今地温场与岩石圈深部热结构特征	29
第三章 盆地结构及地层系统	38
第一节 盆地构造单元划分与盆地结构	38
第二节 盆地地层系统	51
第三节 盆地主要反射层构造特征	83
第四章 盆地构造演化与盆地原型	87
第一节 盆地内主要不整合界面特征	87
第二节 盆地构造演化与原型	94
第三节 盆地主要构造事件	121
第五章 克拉通内古隆起构造特征	137
第一节 古隆起分布、分期及分类	137
第二节 震旦纪—早寒武世高石梯—磨溪古隆起构造特征	139
第三节 早古生代乐山—龙女寺古隆起构造特征	156
第四节 中—晚三叠世泸州—开江古隆起构造特征	167
第六章 盆地周缘中生代褶皱冲断构造特征	175
第一节 盆地西缘龙门山褶皱冲断构造	175
第二节 盆地北缘米仓山—大巴山褶皱冲断构造	191
第三节 川东褶皱冲断构造	205
第四节 川南褶皱冲断构造	213

第七章 盆地构造对油气成藏的控制作用·····	223
第一节 油气地质条件·····	223
第二节 盆地构造特点及控油气规律·····	233
第三节 盆地构造对安岳特大型气田形成的控制作用·····	250
第四节 主要勘探领域与方向·····	262
参考文献·····	266

第一章 上扬子地区大陆动力学背景

四川盆地及其周边造山带是研究中国大陆构造的关键地区，它被围限在华北、扬子和羌塘三大陆块的拼贴构造之间，经历了十分复杂的构造演化过程。显生宙以来，以四川盆地及周缘地区为主体的上扬子地区经历了多次陆内伸展和挤压的大地构造背景转换，晚三叠世华北陆块、羌塘陆块与扬子陆块的碰撞以及新生代的印藏碰撞作用在上扬子地区造成了强烈的褶皱-逆冲构造作用和地壳缩短变形，产生了多期前陆盆地和前陆褶皱冲断带，最终形成了现今的构造面貌。本章对四川盆地所在的上扬子地区的大地构造背景、中生代陆块聚合拼贴过程以及新生代印藏碰撞对其构造改造作用进行了综述。

第一节 上扬子地区大地构造背景

扬子陆块周缘拥有多个大陆边缘，北部大陆边缘以阿尼玛卿—勉略—商丹缝合线为边界，经历了秦岭—大别—苏鲁造山带自新元古代至晚三叠世的陆缘演化历史（张国伟等，1996，2004）；东南部大陆边缘主要发育在江南造山带，新元古代构造活动强烈（郭令智等，1996；Li et al., 2007, 2008a）；西南部大陆边缘沿金沙江缝合线主要表现为晚古生代至晚三叠世的构造活动（Sengör and Hsü, 1984）。上扬子克拉通基底向西穿过龙门山一直延伸进入松潘—甘孜地区（Yin and Nie, 1993；Roger et al., 2010）（图 1-1）。

一、扬子陆块北部大陆边缘

扬子陆块北部大陆边缘是秦岭—大别—苏鲁造山带。秦岭造山带主要由华北、秦岭、扬子陆块沿两个主缝合带（商丹和勉略缝合带），经早古生代加里东期板块俯冲和晚海西期—印支期碰撞造山而拼合在一起，之后又经历中生代强烈陆内造山作用叠加复合而形成现今构造面貌（张国伟，2001）。其中，商丹断裂带及其蛇绿岩代表了华北陆块与扬子陆块的分界线，勉略缝合带则是南秦岭与扬子克拉通的界线（图 1-1、图 1-2）。秦岭造山带的主要构造事件发生在 240 ~ 200Ma 的印支造山时期，华北陆块与扬子陆块沿着秦岭造山带自东向西逐渐发生聚合碰撞，导致秦岭造山带南侧向南逆冲，形成米仓山—大巴山褶皱冲断构造和松潘—甘孜褶皱带。

秦岭造山带现今基本构造单元划分如图 1-2。主要包括 3 个陆块 8 个主要构造带：
①华北陆块南部（I），包括秦岭造山带后陆逆冲断裂褶皱带（I₁）和北秦岭厚皮叠瓦逆

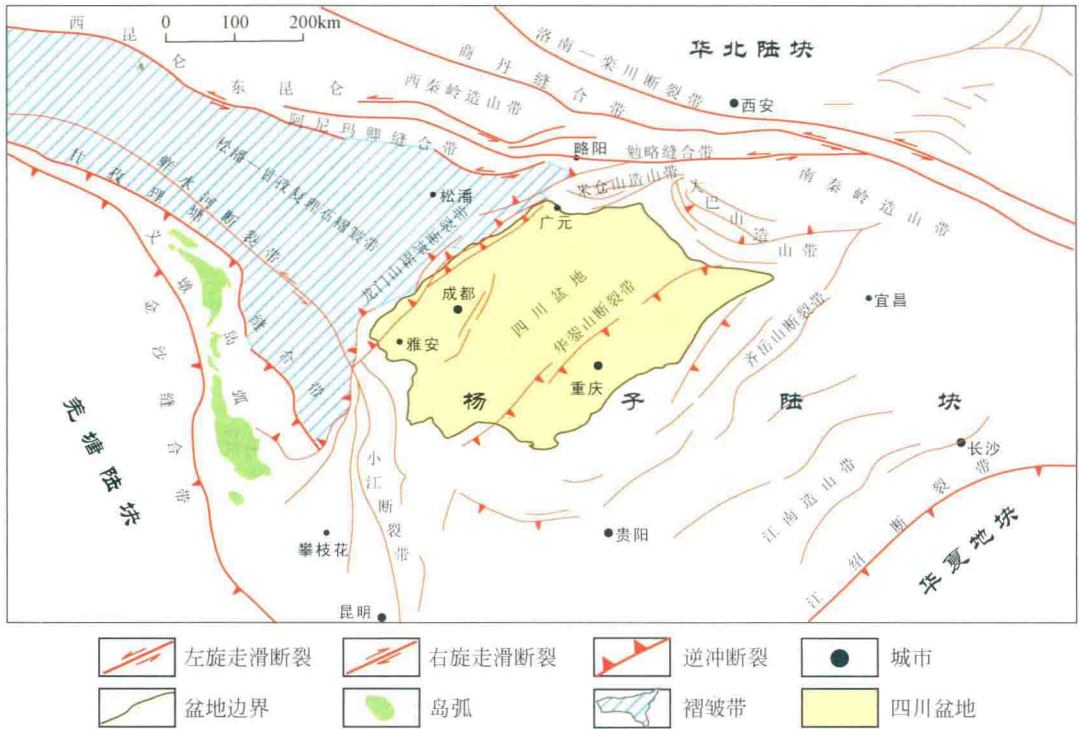


图 1-1 华南上扬子地区大地构造格局

冲构造带 (I_2)；②扬子陆块北缘 (II)，包括秦岭造山带前陆逆冲断裂褶皱带 (II_1) 和大巴山—大别山南缘巨型推覆前锋逆冲带 (II_2)；③秦岭陆块 (III)，包括南秦岭晚古生代隆升带 (III_1) 和南秦岭北部晚古生代断陷带 (III_2)；④商丹断裂系 (原商丹板块主缝合带, SF_1) 和勉略断裂系 (原勉略板块主缝合带, SF_2) (张国伟, 2001)。这些陆块和构造带构成了秦岭“三板块两缝合带”的经典构造模式。现将秦岭造山带的主要部分, 即北部商丹缝合带、中部南秦岭构造带和南部勉略缝合带简要介绍如下。

商丹缝合带呈北西向西纵贯秦岭东西, 东起安徽合肥一带, 向西可延至天水市 (董云鹏等, 2007)。蛇绿岩地球化学和沉积学研究表明, 商丹缝合带是古生代原特提斯洋闭合、中生代秦岭陆块和华北陆块发生碰撞作用的结果 (图 1-3), 是一条包含蛇绿岩残片及其他不同时代、不同性质岩片的构造混杂边界地质体, 是秦岭造山带中分割南、北秦岭的边界断裂 (张国伟, 2001); 其主体为向南的大规模逆冲推覆并复合大规模右行韧性走滑剪切构造 (梁文天, 2009)。

南秦岭构造带位于商丹断裂带和勉略—巴山弧形断裂带之间, 原为早古生代扬子陆块北侧的被动陆缘, 晚古生代至三叠纪时因勉略洋盆打开、分裂而形成了独立的秦岭陆块 (张国伟, 2001), 中生代早期沿商丹带、勉略带分别与华北和扬子陆块碰撞缝合, 成为现今秦岭造山带一部分 (图 1-3)。南秦岭构造带的基底为新太古代和古元古代结晶基底, 盖层为震旦系碎屑岩、寒武系—奥陶系碳酸盐岩和志留系泥页岩, 北部尚有上古生界和少量下三叠统碎屑岩系 (张国伟, 2001), 以大面积发育古生界和不发育花岗岩区别于北秦岭, 发育多个弯窿构造 (如佛坪弯窿、武当弯窿等) 和薄皮逆冲推覆构造。