

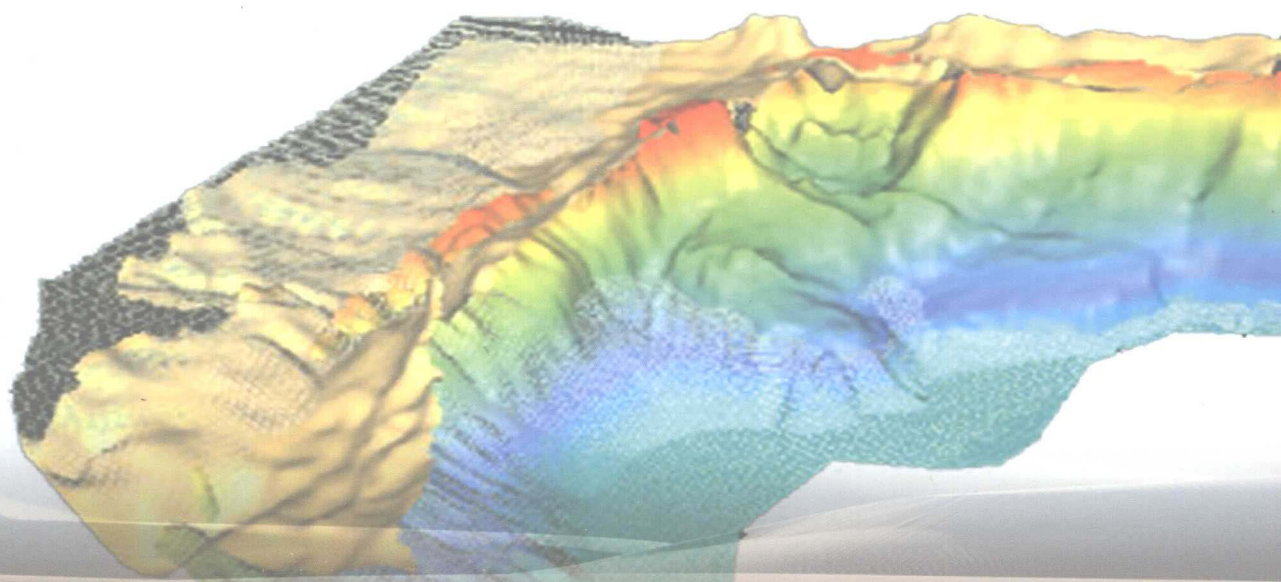
ZHONGGUO ZHONGXIBU QIANLU PENDI SHIYO DIZHI LILUN CONGSU

中国中西部前陆盆地石油地质理论丛书

宋 岩 魏国齐 赵孟军 柳少波 主编

中国中西部前陆盆地 油气分布规律及主控因素

宋 岩 柳少波 赵孟军 洪 峰 方世虎 等著



石油工业出版社

中国中西部前陆盆地石油地质理论丛书
宋 岩 魏国齐 赵孟军 柳少波主编

中国中西部前陆盆地 油气分布规律及主控因素

宋 岩 柳少波 赵孟军 洪 峰 方世虎 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书通过对我国中西部前陆盆地构造特征、大地构造背景、地球物理特征的理论研究和典型前陆盆地的详细解析,系统分析了我国中西部前陆盆地的发育特征和特殊性,强调了不同时期不同类型前陆盆地构造对天然气聚集的控制作用。

本书可供石油勘探科技人员使用,也可作为大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

中国中西部前陆盆地油气分布规律及主控因素 / 宋岩等著.
北京:石油工业出版社,2008.10
ISBN 978-7-5021-6414-0

I. 中…

II. 宋…

III. 含油气盆地 - 油气藏 - 分布规律 - 研究 - 中国

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 200154 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523594 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 11.75

字数: 296 千字 印数: 1—1500 册

定价: 48.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序

前陆盆地是发育于造山带和克拉通之间,由挤压作用形成的楔形构造和沉积体系。世界上典型前陆盆地一般叠置于被动大陆边缘(如扎格罗斯、乌拉尔和磨拉石盆地)或弧后盆地(如落基山、马哥达雷纳和南美南部诸盆地)之上,被动大陆边缘和弧后盆地沉积期间形成了优质的海相烃源岩,而前陆盆地沉积形成了良好的储层和盖层,快速巨厚的前陆层序沉积使烃源岩进入生油窗,油气充注于前陆冲断带的构造圈闭中。这些相互匹配的石油地质条件为前陆盆地大中型油气田的形成创造了良好的条件。

世界上前陆盆地的油气勘探开始于19世纪中晚期,具有较长的历史。1871年在美国的阿巴拉契亚盆地发现了布拉德福(Bradford)油田,1900年在罗马尼亚前喀尔巴阡盆地发现了莫雷尼(Moreni)油田,1914年在委内瑞拉的马拉开波盆地发现了大梅内(Mene Grande)油田,1928年在伊朗扎格罗斯地区发现了加什萨兰(Gach Saran)油田,1937年在俄罗斯的伏尔加—乌拉尔盆地发现了图伊马济(Tuymazy)油田。我国早在1939年在祁连山山前的酒西盆地发现了老君庙油田。前陆盆地一直是世界油气勘探的热点地区,20世纪90年代所发现的76个可采储量超过 $5 \times 10^8 \text{ bbl}$ 油当量的大型油气田约 $980 \times 10^8 \text{ bbl}$ 油当量储量中,58%的油气储量来自于聚敛边缘的构造带中,主要是褶皱带、前陆和前渊中。

与前陆盆地油气勘探历史相比,前陆盆地的研究历程并不长,Price等于1971年首次将术语“前陆褶皱和逆冲带”(foreland fold and thrust belt)应用于加拿大落基山带,1974年Dickinson正式提出了“前陆盆地”(foreland basin)的概念,并阐述了弧后和周缘前陆盆地的分类。我国前陆盆地的研究主要开展于20世纪的90年代,在塔里木盆地库车前陆冲断带克拉2大气田发现中,断层相关褶皱理论对前陆冲断带构造圈闭的识别发挥了重要的作用,在前陆盆地构造演化、冲断带类型和形成机制等方面取得了明显的进展。

《中国前陆盆地石油地质理论丛书》建立在国家“十五”攻关成果的基础之上,该丛书充分总结了我国中西部的油气勘探成果,在重点解剖基础上,对中西部前陆盆地油气地质理论进行了系统总结和提升,总结出我国前陆盆地构造、沉积、成藏、油气分布规律和主控因素的特点,研究过程中与国外典型前陆盆地进行了对比。

丛书提出了中国前陆盆地的主要鉴别标志;建立了晚古生代以来的“两期、三类、四种组合”的中国前陆盆地分类体系;总结了同造山运动作用下的沉积响应模式和前陆盆地储层成岩作用多因素叠加分析法;对比研究了四种组合类型前陆盆地的成藏条件和成藏过程,深化了前陆盆地成藏特征的认识;探讨了中西部前陆盆地油气分布规律的分带性和分段性及油气富集的主控因素;进行了川西、大巴山、柴北缘、淮南、鄂尔多斯西缘等前陆盆地区带和目标评价,指出了有利勘探领域和勘探目标。研究成果既丰富了我国油气地质理论,又指导了油气勘探实践。

中西部前陆盆地的油气勘探和地质研究正进入一个蓬勃发展的阶段,这套丛书的出版

必将会对推动前陆盆地油气勘探，促进地质研究起到有益的作用。衷心祝愿作者们将来在前陆盆地石油地质学领域取得更丰硕的研究成果，我国前陆盆地油气勘探获得更多新的发现。

中国科学院院士



2007 年 6 月

前 言

前陆盆地是指发育在造山带与相邻克拉通之间,平行于造山带呈狭长带状展布的不对称冲断挠曲盆地。中国西部新生代,特别是新生代形成的前陆盆地与世界典型前陆盆地相比有着自身的特点,新生代前陆盆地的形成与印—藏碰撞的远距离构造效应有关,是陆内裂谷、断陷或坳陷基础上叠置的前陆盆地,陆相沉积层序发育,油气分布有着自身的特点和规律。

前陆盆地蕴藏着世界上丰富的油气资源,国外前陆盆地一直是油气勘探的热点地区,我国前陆盆地勘探虽然起步较早(如准噶尔盆地西北缘),但真正应用前陆盆地的理论指导我国中西部前陆盆地复杂前陆冲断带的油气勘探主要是近十年的事,近年来前陆盆地天然气的勘探成为中西部地区的热点,前陆盆地石油地质理论、勘探技术和勘探成果取得了很多重要进展。这些研究成果多以专著和文章的形式公开发表,代表性的著作包括:《前陆盆地分析》(何登发等,1996)、1996年《地学前缘》第6期出版的“造山带和前陆盆地研究”的专辑、《前陆冲断带油气勘探》(贾承造等,2000)、《前陆盆地油气分布规律》(周新源,2002)、《前陆盆地和褶皱带》(译文,Macqueen et al.,原著1992年出版)、《中国中西部前陆盆地冲断带油气勘探文集》(中国石油勘探与生产分公司,2002)、《前陆盆地天然气成藏理论及应用》(赵靖舟,2003)、《中国中西部前陆盆地油气地质与勘探》(薛良清等,2005)。除前陆盆地理论专著的出版外,整个中西部前陆盆地研究文章也如雨后春笋般地涌现出来。

为了促进中西部地区前陆盆地的油气勘探,国家科技部和中国石油天然气股份有限公司在“十五”期间设立了攻关课题“重点前陆盆地大中型气藏形成的控制因素与分布规律”,课题组按照“产、学、研”相结合的研究思路,集中了中国石油勘探开发研究院、中西部油田公司、南京大学、浙江大学、石油大学等多家研究机构,对中西部前陆盆地石油地质特征进行了重点解剖和地区总结。本书是该课题下属专题“前陆盆地油气分布规律及主控因素研究”成果的总结(前三年专题编号:2001BA605A-06-07,后两年专题编号:2004BA616A-04-04),研究是在前几个专题在构造、沉积和成藏以及油田公司对重点前陆盆地分析和评价基础之上,对中西部前陆盆地油气分布规律和主控因素进行了系统的总结。研究过程中既考虑了国外前陆盆地的共性,又充分研究了我国前陆盆地的特点;既分析了“十五”期间前陆盆地的勘探成果,又吸收了这之前的有关前陆盆地理论进展和认识;既对中西部前陆盆地进行了面上的总结,又重点解剖了淮南、川西和柴北缘前陆盆地或前陆冲断带。在此基础上对前陆盆地(冲断带)进行了综合评价,以期为中西部前陆盆地油气勘探服务。

在研究过程中,专题组完成了大量的野外、剖面解释和分析实验工作。“十五”期间,共有16人次10人月对准噶尔南缘、川西、柴北缘、库车、喀什北缘、大巴山前陆盆地或冲断带进行了24条剖面 and 49口井的观察和采样,地球化学分析272样次,薄片鉴定212块,重砂矿物分析67样次,地震剖面解释33条。

专题研究分两个阶段进行，第一个阶段从 2001 年 1 月至 2003 年 9 月，主要针对中西部重点前陆盆地进行解剖和分析；第二个阶段从 2004 年 1 月至 2005 年 9 月，主要是对中西部前陆盆地系统的总结。2006 年 1—6 月对“十五”期间的研究成果进行了提炼和升华，完成了本书的书稿。

本书共分六章，从内容上可以分为三大部分：第一部分是我国前陆盆地形成的构造背景以及石油地质特件，包括第一章和第二章；第二部分是我国前陆盆地油气分布规律和主控因素，即对不同类型前陆盆地以及前陆盆地构造带和构造段的油气分布规律的分析 and 总结，包括第三章、第四章和第五章；第三部分是对中西部前陆冲断带的综合评价和勘探方向分析，即第六章的内容。

本书各章作者如下：前言，宋岩；第一章，方世虎；第二章，宋岩、柳少波、洪峰；第三章，宋岩、洪峰、方世虎；第四章，柳少波、洪峰、傅国友；第五章，宋岩、方世虎；第六章，柳少波、宋岩、洪峰、傅国友、方世虎。全书由宋岩、柳少波统稿。

专题研究工作中得到了中国石油天然气股份公司科技信息部和勘探与生产分公司科技处、中石油天然气集团公司科技发展部、中国石油勘探开发研究院有关领导支持，得到了贾承造院士、戴金星院士、翟光明院士、胡见义院士、顾家裕教授等专家的指导与帮助，得到了西南油田分公司科技处和研究院、新疆油田分公司研究院、青海油田分公司科技处和研究院等油田单位在野外工作和资料收集方面的无私帮助，得到各相关专题研究人员多次有益的学术观点交流和指导，在此一并感谢！

目 录

第一章 中国前陆盆地形成的构造背景及特征	(1)
第一节 前陆盆地的概念和分类.....	(1)
一、前陆盆地的概念.....	(1)
二、前陆盆地结构特征	(2)
第二节 中国前陆盆地形成的构造背景.....	(3)
第三节 中国前陆盆地构造特征及其与世界典型前陆盆地对比.....	(5)
一、前陆盆地构造特征与演化的对比	(5)
二、油气地质特征对比	(7)
三、中国前陆盆地构造特征的特殊性与分类	(7)
第二章 前陆盆地油气生成和聚集的石油地质条件	(9)
第一节 以煤系为主的多套烃源岩特征及其对油气分布的控制.....	(9)
一、烃源岩形成的地质背景与分布	(9)
二、前陆盆地不同类型烃源岩地质地球化学特征	(12)
三、前陆盆地油气地球化学特征及成因类型	(16)
四、烃源岩对油气分布的控制作用	(28)
第二节 沉积层序多阶段演化与多套储盖组合形成.....	(29)
一、区域性盖层的分布	(30)
二、储盖组合的划分及其特征	(31)
第三节 强烈的新构造运动与晚期成藏作用.....	(41)
一、强挤压环境与构造圈闭广泛形成	(41)
二、晚期快速沉降与烃源岩快速生烃演化	(42)
三、前陆盆地天然气晚期成藏	(42)
四、新构造运动冲断作用对油气藏的调整和破坏	(46)
第四节 前陆盆地异常高压的形成与分布.....	(49)
一、异常压力的概念	(49)
二、前陆盆地异常压力分布特征	(49)
三、前陆盆地异常压力的成因分析	(63)
四、异常压力与油气成藏的关系	(69)
第三章 不同类型前陆盆地油气分布规律及主控因素	(75)
第一节 中西部前陆盆地的演化与石油地质特征.....	(75)
一、中西部前陆盆地的演化	(75)

二、中西部前陆盆地的石油地质特征	(77)
第二节 叠加型前陆盆地——以库车为例	(80)
一、盆地演化及前陆发育特征	(80)
二、生储盖发育特征	(81)
三、油气成藏特征	(83)
第三节 改造型前陆盆地——以川西为例	(85)
一、盆地演化及前陆发育特征	(85)
二、生储盖发育特征	(86)
三、油气成藏特征	(90)
第四节 早衰型前陆盆地——以准噶尔西北缘为例	(94)
一、盆地演化及前陆发育特征	(95)
二、生储盖发育特征	(95)
三、油气成藏特征	(98)
第五节 新生型前陆盆地——以柴北缘为例	(99)
一、盆地演化及前陆发育特征	(99)
二、生储盖发育特征	(100)
三、油气成藏特征	(104)
第六节 前陆盆地成藏条件差异性对比	(107)
一、烃源岩发育的差异	(107)
二、主要成藏期的差异	(107)
三、油气聚集层位的差异	(108)
四、前陆冲断带油气勘探潜力的差异	(109)
第四章 前陆盆地不同构造带油气分布规律及主控因素	(111)
第一节 前陆盆地构造分带性	(111)
一、前陆盆地构造分带	(111)
二、我国前陆盆地构造分带的复杂性	(111)
第二节 油气藏类型的分布、控制因素及典型实例分析	(113)
一、油气相态分布特征及控制因素分析	(113)
二、油气相态分布实例分析	(115)
第三节 成藏组合类型的分布及其控制因素分析	(116)
一、成藏组合在不同构造带的分布	(116)
二、成藏组合分布的控制因素	(118)
第四节 油气藏类型的分布特征及控制因素	(121)
一、前陆盆地油气藏类型划分及其特征	(121)
二、不同构造带油气藏分布及其主控因素	(122)
第五节 不同构造带油气成藏的差异性分析	(126)
一、不同构造带烃源岩成熟作用的差异性	(126)

二、不同构造带圈闭形成时间及成藏期的差异性	(127)
第五章 前陆盆地冲断带构造分段特征及其对油气成藏的控制作用	(131)
第一节 前陆盆地冲断带构造分段特征	(131)
一、淮南前陆冲断带	(131)
二、库车前陆冲断带	(133)
三、川西前陆冲断带	(134)
四、准噶尔西北缘冲断带	(136)
第二节 前陆盆地冲断带分段特征的控制因素	(137)
一、区域构造动力学背景	(137)
二、调节构造	(138)
三、构造变形期次与构造叠加差异	(140)
四、滑脱层及构造变形强度的影响	(140)
第三节 前陆盆地构造分段性对油气成藏的控制作用	(141)
一、不同构造段烃源岩发育的差异	(141)
二、不同构造段圈闭类型和成藏模式的差异	(142)
三、不同构造段的油气纵向聚集层位不同	(143)
四、不同构造段的油气藏形成时间不同	(144)
五、不同构造段的油气类型存在差异	(145)
六、不同构造段油气勘探潜力的差异	(146)
第六章 中西部前陆冲断带油气勘探方向	(148)
第一节 前陆盆地勘探现状及资源潜力	(148)
一、世界前陆盆地油气勘探现状	(148)
二、国内前陆盆地油气勘探现状	(150)
三、前陆盆地油气勘探的理论研究和技术重要进展	(153)
四、中西部前陆盆地（冲断带）油气资源潜力	(156)
第二节 前陆盆地（冲断带）地质评价	(157)
一、评价方法	(157)
二、评价标准	(158)
三、前陆盆地（冲断带）石油地质特征	(159)
四、评价结果	(159)
第三节 前陆冲断带油气勘探方向分析及勘探建议	(165)
一、油气勘探方向分析	(165)
二、存在问题与建议	(166)
参考文献	(168)

第一章 中国前陆盆地形成的构造背景及特征

第一节 前陆盆地的概念和分类

一、前陆盆地的概念

前陆盆地与造山带相毗邻,是研究盆山耦合关系的首选盆地。Price (1973) 在分析逆冲岩席位移的均衡反应后,提出了前渊连续形成和推移发展的概念;Gretener (1981) 从造山带逆冲推覆作用提出了前陆盆地连续形成和波浪式发展模式。Dickinson (1974) 将盆地分为裂谷盆地和造山型盆地两大类,其中前陆盆地属于造山型盆地,并定义为与造山带变形翼部毗连的克拉通边缘前陆环境中形成的盆地,一般有如下特点:①位于盆地毗邻的褶皱—冲断层带的构造负荷促使盆地弯曲下沉;②盆地横剖面具有明显不对称性;③演化期间盆地靠造山带一翼遭受变形作用;④盆地靠克拉通一翼逐渐与地台层序相合并。Jordan (1981) 将前陆盆地定义为前陆逆冲带周缘的狭长沉降槽地,是世界范围内造山带的伴生体。Allen (1986) 等将前陆盆地定义为处在造山链和克拉通之间的、并与大陆碰撞带密切相关的高度不对称盆地。前陆盆地的形成是造山带及其逆冲推覆作用的自然结果,为研究前陆盆地与造山带相互关系奠定了基础,同时前陆盆地含有丰富的油气,是目前世界上油气勘探和油气产出的主要盆地类型之一。

Dickinson (1974) 正式引入前陆盆地这一术语,并根据板块构造理论划分为周缘前陆盆地和弧后前陆盆地。前陆盆地的概念在引入中国以后曾造成一定的分歧。如对于塔里木盆地北缘的库车盆地,很多学者认为是前陆盆地,而有些学者却认为其与 Dickinson (1974) 厘定的前陆盆地性质不尽相同,提出“类前陆盆地”(曹守连等,1994)或“前陆类盆地”(孙肇才,2000)的说法。陈发景等(1991)对塔(里木)北(部)地区研究认为盆地发育经历了早期类前陆(S—D)、中期类前陆(C—P)、晚期类前陆(P₂—E)和前陆(N—Q)等阶段。部分前人的研究甚至将大型的塔里木盆地归入前陆盆地之列^①,前陆盆地的概念在空间上有“泛前陆盆地化”的趋势(罗志立等,2002)。

中国西部中—新生代造山带往往缺乏同时代的岩浆弧或蛇绿混杂岩带,或相距甚远,从造山带成因来看主要与印度板块嵌入亚洲大陆、新生代陆内造山作用有关(有的学者称板内造山带,崔盛芹,1999;张长厚,1996),盆地的发育时限一般在碰撞造山期之后间隔较长时间,构造演化、构造成因上都属于一种特殊类型的盆地,这在现有国外的盆地分类方案(周缘前陆盆地和弧后前陆盆地)中难以找到其位置。这类前陆盆地除在沉降特征、构造变形与样式、含油气性等方面与典型前陆盆地基本相似外,一般独具以下特征:①在时间上不与其相邻板块缝合带相关,而与印—藏碰撞的远距离构造效应有关,这种大陆碰

① 张抗,塔里木盆地辨析,南海海相油气勘探会议文件,1999。

撞造成的应力在青藏高原联合地体之间传递，一直传播到很远的大陆内部，从而引起盆地内特有的构造变形，并在盆地的周缘地带形成了典型的大规模冲断带；②空间上不与同时期的碰撞缝合带直接紧靠，而是远离碰撞缝合带；③远距离碰撞作用导致古 A 型俯冲带的复活；④一般不具有从早期被动大陆边缘盆地基础上直接发育前陆盆地的特征，而是陆内裂谷、断陷或坳陷基础上叠置的前陆盆地（Lu Huafu 等，1994）。因此，这类前陆盆地属大陆板块内部构造，形成于已相对统一的大陆内部的古缝合带周缘，在经典前陆盆地类型中并未包含，这类盆地的认识及其在前陆盆地类型中位置的确立在一定程度上弥补了以往盆地分类方案中前陆盆地类型上的缺陷，前陆盆地的内涵得到进一步的补充和发展。于是在板块构造演化的历程中，大洋消减（B 型俯冲）、陆缘碰撞（A 型俯冲）和陆内碰撞（C 型俯冲）3 个不同性质的聚敛阶段，均有相对应的前陆盆地代表（图 1-1）。

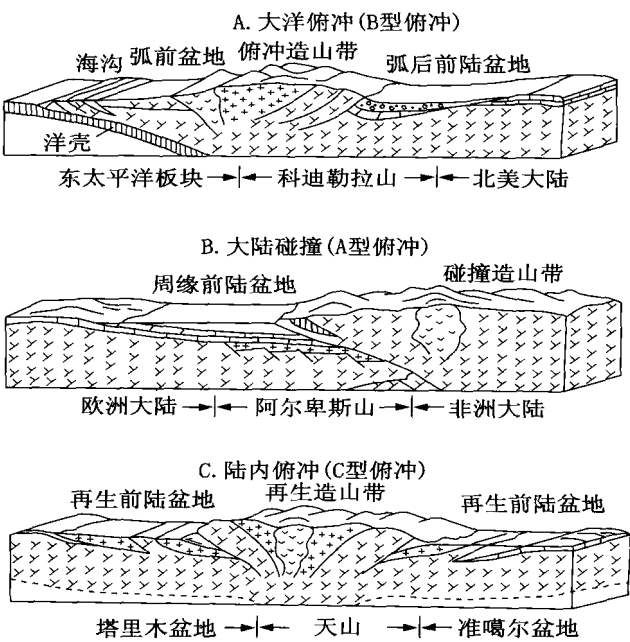


图 1-1 各类前陆盆地发育的大地构造背景

A—弧后前陆盆地；B—周缘前陆盆地；C—再生前陆盆地

对这些在中国中西部普遍存在、具有典型特征的陆内会聚型山前盆地，不同学者也存在不同认识：Bally 和 Snelson (1980) 称之为独特的“中国型”盆地；李德生 (1992) 称之为山前盆地或山前坳陷；朱夏 (1983) 称之为晚古生代陆—陆碰撞形成的造山带和前渊层序；罗志立等 (1993) 称之为（C 型俯冲导致的）陆内前陆盆地；Graham 和 Hendrix 等 (1993) 称之为“碰撞继承性”盆地；陈发景等 (1992)、曹守连等 (1994) 则提出挠曲类前陆盆地或类前陆盆地的概念；Lu Huafu 等 (1994)、刘和甫 (1995) 提出了再生前陆盆地的概念；何登发等 (1996) 又称之为晚期前陆盆地；胡见义、赵文智等 (1996) 认为是多旋回叠合盆地。从盆地发育

的构造背景、盆地充填和构造特征上看，再生前陆盆地、陆内前陆盆地和挠曲类前陆盆地或类前陆盆地都是类似的概念，其中再生前陆盆地相当于“中国型盆地”、“喜马拉雅型”、“碰撞继承性”盆地等概念。本书引用的是再生前陆盆地的概念。

二、前陆盆地结构特征

Decelles 和 Gilest (1996) 提出的前陆盆地系统的定义，内容包括：①前陆盆地系统是在会聚性造山带与克拉通之间的大陆地壳上形成的具大量沉积物的长形地区，是对造山带及其相关俯冲系统的地球动力作用的响应。②前陆盆地系统可分为 4 个沉积带，分别称之为楔顶、前渊、前缘隆起和后缘隆起沉积带，共同构成前陆盆地系统（图 1-2）。沉积带之间的边界在侧向上可能是穿时的。在一些前陆盆地系统中，前缘隆起和后缘隆起带发育较差或缺失。③前陆盆地系统的纵向长度与毗邻褶皱冲断层带的长度近似相等。④前陆盆地系统中岩石圈挠动的主要机制是对造山负载和地表负载响应的挠曲，这一挠曲在不同的沉

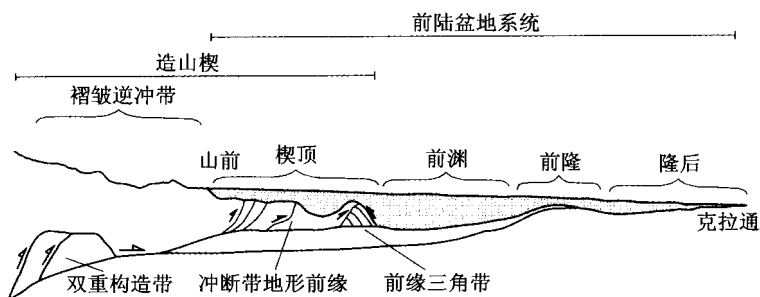


图 1-2 前陆盆地系统 (据 Decelles 和 Gilest, 1996)

积带显示各异。

前陆盆地具有不对称的结构特征, 沉积中心靠近造山带, 由造山带向克拉通方向可划分为 5 个带: 褶皱—冲断带、前渊凹陷带、中央沉降带、枢纽带和克拉通隆起带。前陆盆地自造山带至克拉通发育呈有序性特征, 主要体现在盆地结构、沉积层序和构造样式等方面。前陆盆地前陆冲断带的推覆构造一般可以分为两类: 一类为厚皮构造, 由韧性变形产生的褶皱推覆体, 在造山带核部基岩中由于剪切褶皱作用, 在变薄翼产生韧性剪切, 进一步发育冲断作用和推覆构造; 另一类为薄皮构造, 主要在造山带前缘, 由于脆性冲断作用, 在冲断层断坡带或前锋带产生相关褶皱, 即断层转折褶皱、断层传播褶皱和断层滑脱褶皱等。

对于中国中西部前陆盆地来说, 前陆盆地系统可以发育较全, 也可以只发育其中某些构造带。如中国西部发育两期前陆盆地的库车、淮南前陆盆地, 往往发育较完整的前陆盆地系统, 但由于喜马拉雅晚期强烈的向盆内推覆, 晚期前陆盆地的冲断带位于早期前陆盆地的凹陷之上, 而川西前陆盆地只发育前陆冲断带和前渊凹陷带, 柴北缘则只发育冲断带。

第二节 中国前陆盆地形成的构造背景

我国中西部地区的前陆盆地经历了古亚洲洋阶段、古特提斯洋阶段与新特提斯洋阶段的长期演化。多阶段的构造演化形成了中西部地区不同于 Dickinson (1974, 1976) 定义的典型前陆盆地, 主要表现为: ①这些前陆盆地叠加的下伏层系可以有很大变化, 可以是被动大陆边缘盆地、坳陷盆地或断陷盆地; ②前陆盆地发育的构造环境可以与 B 俯冲、A 俯冲有关, 也可以与岩石圈尺度的陆内俯冲有关。中国前陆盆地的形成主要受控于三大洋盆的演化: ①晚二叠世—三叠纪古亚洲洋关闭, 形成库车、吐哈、淮南、准噶尔西北缘、准噶尔东北缘等前陆盆地 (前陆冲断带) (图 1-3); ②晚三叠世古特提斯洋关闭, 形成塔西南、塔东南、柴北缘、楚雄、川西、川北、鄂尔多斯西缘等前陆盆地 (前陆冲断带) (图 1-3); ③新近纪新特提斯洋关闭, 形成淮南、吐哈、库车、塔西南等再生前陆盆地, 形成博格达北缘、喀什、塔东南、柴北缘、酒泉、潮水、川西、川北、楚雄、鄂尔多斯西缘等前陆冲断带 (图 1-4)。尤其是新近纪以来, 这些前陆盆地经历了复杂的构造演化, 影响范围大, 构造变形强, 形成了众多独特的构造样式。因此, 中西部地区的前陆盆地在形成机制、地质结构、构造样式上都与波斯湾盆地、阿尔伯塔盆地等典型的前陆盆地有明显差异。

自三叠纪开始, 欧亚板块的南缘相继发生几次陆块增生作用 (Zhang 等, 1984; Watson 等, 1987) 和随后的印—藏碰撞作用, 形成现今我国中西部复杂的构造组合 (图 1-5), 基

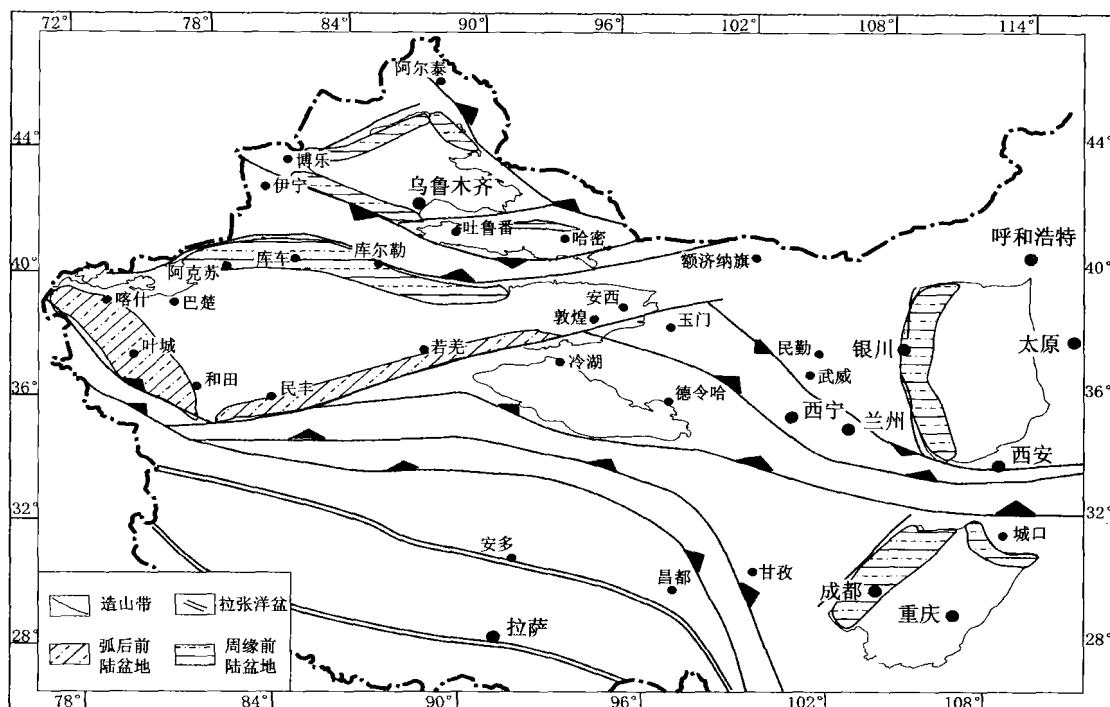


图 1-3 中西部晚二叠世—三叠纪形成的前陆盆地分布图^①

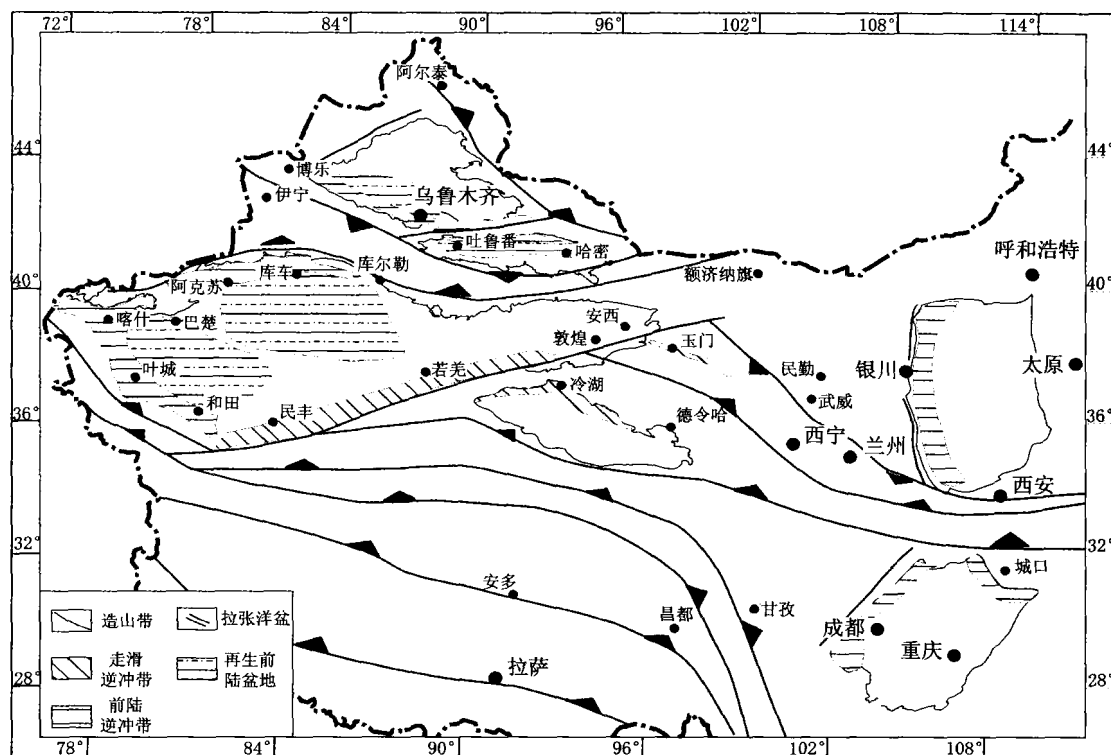


图 1-4 中西部喜马拉雅期形成的前陆盆地（冲断带）分布图^②

① 魏国齐、杨树锋等，中国中西部前陆盆地构造特征研究，中国石油勘探开发研究院，2003。

② 魏国齐、杨树锋等，中国中西部前陆盆地构造特征研究，中国石油勘探开发研究院，2003。

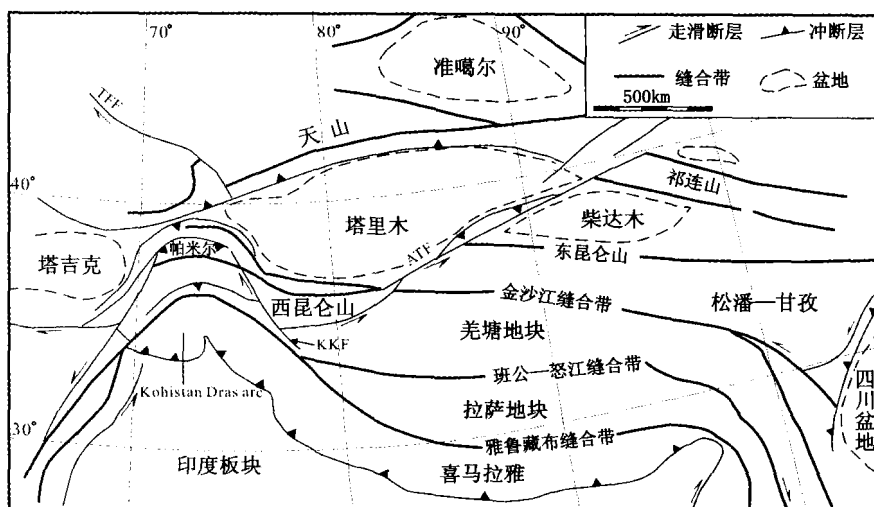


图 1-5 中国中西部区域构造纲要图

(据 Sobel, 1999; Yin 等, 1998; Dumitru 等, 2001 改编)

TFF—塔拉斯—费尔干纳断层; KKF—喀拉昆仑断层; ATF—阿尔金断层

本控制着我国中西部前陆盆地的形成 (郭令智等, 2003; 贾承造等, 2003)。晚三叠世时期, 羌塘地块沿金沙江缝合带增生于欧亚板块南缘 (Sobel, 1999; Jolivet 等, 2001); 晚侏罗世—早白垩世时期, 拉萨地块与欧亚板块沿班公湖—怒江缝合带发生碰撞 (Allen 等, 1994; Jolivet 等, 2001); 晚白垩世时期, 科西斯坦地块与拉萨地块发生碰撞 (Hendrix 等, 1992); 晚新生代印—藏碰撞所引起的构造变形分布于碰撞带以北 2000 ~ 3000km 的广大地区 (Molnar 和 Tapponnier, 1975; Tapponnier 和 Molnar, 1979; Avouac, 1993; Yin 等, 1998; 郭令智等, 2003; 贾承造等, 2003)。

综合起来, 我国中西部前陆盆地形成的大地构造背景主要具有以下特征: ①前陆盆地是在中国大陆中—新生代拼接过程或拼接完成后的特殊地质构造现象, 它的形成与陆内俯冲有密切关系; ②中国大陆是以塔里木、扬子和中朝三个古板块为核心, 与 38 个微陆块拼合, 形成的板块规模小、稳定性差、发生多旋回构造运动; ③盆地演化多期性, 构造变形多样性; ④再生前陆盆地发育, 喜马拉雅运动活动强烈; ⑤与欧亚板块南缘的区域构造事件相关, 受控于三大洋的闭合; ⑥被动陆缘演化阶段相对不发育。

第三节 中国前陆盆地构造特征及其与世界典型前陆盆地对比

一、前陆盆地构造特征与演化的对比

1. 国外前陆盆地的普遍特征

国外经典前陆盆地一般具有以下特点: 在靠近盆地一侧, 沉积载荷及褶皱冲断带引起的构造负荷促使盆地挠曲、沉陷; 盆地横剖面明显不对称; 靠近造山带一侧往往遭受强烈的变形作用; 靠近克拉通一侧与地台层序逐渐合并。从板块构造角度, 国外典型前陆盆地可分为周缘前陆盆地和弧后前陆盆地, 形成于活动造山带与稳定克拉通之间的边缘地区, 紧靠造山带但又属于克拉通边缘部分, 介于稳定带和活动带之间的一个构造单元, 主要特

征包括：①三层构造结构：典型前陆盆地具有从伸展到挤压的演化过程，发育裂谷、被动陆缘和前陆盆地三个阶段；被动陆缘一般发育深水页岩和浅水碳酸盐岩，其中的烃源岩发育是前陆盆地油气的主要来源。②三层沉积结构：早期的深水复理石沉积，发育良好的烃源岩；中期的磨拉石沉积是良好的储层；晚期的非海相磨拉石沉积，主要发育冲积和湖泊沉积。前陆盆地的沉积物主要来自造山带，沉积体系呈楔状体，造山带方向较厚，向克拉通方向变薄。③不对称剖面结构：在剖面上，典型的前陆盆地从造山带到克拉通由前陆冲断带、前渊、前陆斜坡和前隆等部分构成，有的前陆盆地还发育后缘凹陷（隆后沉积带）。④前陆冲断带则是由于造山带水平挤压前陆盆地构造变形压缩的结果，一般平行于造山带成排成带展布。

从前陆盆地基底构造和盆地结构来看，典型前陆盆地结构较为简单，一般叠置于被动大陆边缘（如扎格罗斯、乌拉尔和磨拉石盆地）或弧后盆地（落基山、马哥达雷纳和南美南部诸盆地）之上（Price, 1981; Sengor, 1990），但也有些前陆盆地是叠置于中生代或古生代褶皱基底之上，如苏门答腊盆地、卡拉库姆盆地和阿基坦盆地等。以扎格罗斯前陆盆地为例，盆地构造演化主要包括被动大陆边缘阶段（Pz—E₂¹）和前陆盆地演化阶段。古生代的阿拉伯板块包括现今位于扎格罗斯山东北的中伊朗地区，同为冈瓦纳大陆北缘的一部分，并接受了古生代的海相沉积。二叠纪末，非洲大陆北缘开始分裂，沿托罗斯—扎格罗斯山裂开形成新特提斯洋，使阿拉伯板块东北边缘又沦为面向新特提斯的被动陆缘。三叠纪至中始新世，在扎格罗斯以及阿拉伯地区长期发育了被动陆缘沉积。晚始新世，阿拉伯板块与欧亚板块边缘块体碰撞，新特提斯洋关闭，扎格罗斯山开始隆升，在其西南逐步形成和发育了新近纪前陆盆地。

2. 中国前陆盆地构造特征

中国中西部的陆内前陆盆地基底结构十分复杂，具有多阶段演化、多成因类型特点，部分前陆盆地叠加于不同类型的复合盆地之上，盆地基底分别有古生代克拉通边缘（如川西等）、古生代褶皱基底（如柴北缘）等。前陆盆地形成的大地构造背景与典型前陆盆地存在差异，然而它们在动力学上均经历了从伸展环境向挤压环境的反转，都经历了褶皱冲断带的构造加载和岩石圈的挠曲变形，因此在演化序列上具有相似的构造和沉积特征，并具有多期次发育的特点。中—新生代塔里木、准噶尔、柴达木、四川、鄂尔多斯、吐哈等盆地部分构造单元进入前陆盆地发展阶段，分别发育库车、塔西南、准噶尔南缘、川西、川北、鄂尔多斯盆地西缘以及吐哈盆地北缘等前陆盆地（冲断带）。

中国中西部中—新生代前陆盆地与板块俯冲碰撞作用在成因机制和时间上并无直接联系，一般产生于已拼合的古造山带和古板块（陆块）的接壤部位，由于板内构造运动的重新复活而发生沿其边缘（或在其内部）某一断裂向原始陆块（或新生代陆内盆地）一侧逆冲，在其前缘产生挠曲载荷作用，形成巨厚的沉积，此类盆地一般缺乏下部前陆海相沉积发育阶段。除了大地构造位置和剖面上的沉积、构造特征外，不具备典型前陆盆地的特征。与国外典型的前陆盆地相比，中国的前陆盆地一般有几个构造特征：①在横向上即在远离造山带方向上与同期陆内拗陷盆地相连通，例如川西（北）前陆盆地与川中—川东陆内拗陷盆地沉积边界、沉积相相互过渡，鄂尔多斯西缘晚三叠世前陆盆地与同期华北陆内拗陷盆地也具有类似的特征。②典型的前陆盆地发育较早，经后期改造多已破坏，中国中西部在海西运动之后大洋均已关闭并转入板内构造演化体制，因此，中国典型的前陆盆地只发育于二叠纪或三叠纪之前，其后发育的前陆盆地只能划归类前陆盆地。③前陆盆地发

育之前,多缺乏典型的被动陆缘沉积,或者被动陆缘层序保存不好,在前陆盆地发育之前已遭部分削蚀和破坏。④第四纪新构造运动强烈,山前坳陷堆积巨厚的磨拉石,使前陆盆地深埋。⑤小型克拉通盆地被大型造山带改造,大型冲断构造带发育,中国中西部共发育15个前陆冲断带(准噶尔西北缘、准噶尔南缘、博格达山北缘、库车、喀什、塔西南、塔东南、吐哈、柴西、柴北缘、酒泉、鄂尔多斯西缘、川西、川北、楚雄),分布在巨型盆山体系的盆—山结合部位(主要发育在扎伊尔山前、天山山前、昆仑山前、祁连山前、贺兰山前、龙门山前和哀牢山前);这些前陆逆冲带的形成与改造受控于印—藏碰撞的远程效应,中西部小型克拉通盆地—青藏高原都是被海西—印支褶皱造山带和喜马拉雅期褶皱带所环绕,形成巨型的环青藏高原盆山体系(李本亮等,2007),小型克拉通盆地被大型造山带改造,往往发育大型褶皱冲断带。

中国中西部前陆盆地与典型前陆盆地在演化特征和构造背景等方面也有一定的差异,特别是前陆盆地发育之前的地质历史漫长、盆地类型复杂多样,多经历多个发育阶段,表现为不同构造类型盆地的叠加特征。一般而言,石炭纪以前均为构造性质各异的海相盆地;二叠纪为海相盆地向陆相盆地转换过渡时期;三叠纪以后基本为陆相盆地(仅有塔里木盆地西南缘晚白垩世—古近纪有短暂的海侵)(Sobel, 1999);侏罗纪—古近纪为相对稳定的断陷—坳陷盆地发育期;新近纪以后由于造山带的再次复活,构造活动显著增强,进入再生前陆盆地发育期。此外,某些前陆盆地发育两期前陆盆地的叠加,如准噶尔南缘发育二叠纪及新生代两期前陆盆地,塔里木盆地西南缘发育多期前陆盆地的叠加,包括周缘前陆盆地、弧后前陆盆地和陆内前陆盆地。

二、油气地质特征对比

中国前陆盆地在以下油气地质特征上与国外典型前陆盆地不同:①国外前陆盆地构造期次单一,早期被动陆缘—海盆关闭—造山—成盆;中国中西部则发育两期前陆盆地(贾承造等,2003),即印支期和喜马拉雅期,构造期次多,构造圈闭发育。②国外前陆盆地主要烃源岩是前前陆层序被动大陆边缘环境下的海相地层,为生油母质;中国中西部前陆盆地的烃源岩主要是前前陆拉张背景下的海陆过渡相、陆相层序,为生气母质。③国外前陆盆地发育稳定分布的海相碎屑岩或碳酸盐岩储层;中国中西部前陆盆地储层主要为陆相碎屑岩,由于盆山高差大,源近流短,主要是扇三角洲、辫状三角洲、河流、滨湖砂岩,物性中等—差。④中国克拉通板块规模小,造山带规模大,前陆冲断带成排成带的构造圈闭对天然气成藏有利。

因此,中国前陆盆地是一种有别于国外典型前陆盆地的特殊前陆盆地类型,主要体现在特定的区域构造背景、盆地演化、油气储盖组合特征等方面,已引起广泛关注,特别是塔里木盆地克拉2大气田的发现,使中国前陆盆地综合地质研究和油气勘探掀起了新的高潮。中国前陆盆地具有构造多期叠加、烃源岩多期演化、油气多期成藏的特征,油气富集规律极其复杂(宋岩等,2005)。天然气的富集是中国前陆盆地的特点,煤系烃源岩发育是天然气富集的主控因素(宋岩等,2006)。

三、中国前陆盆地构造特征的特殊性与分类

研究发现,中国中西部从晚古生代以来经历了两期前陆盆地的发育,即晚古生代—中生代早期的前陆盆地和新生代前陆盆地(贾承造等,2003)。晚古生代—中生代早期前陆