

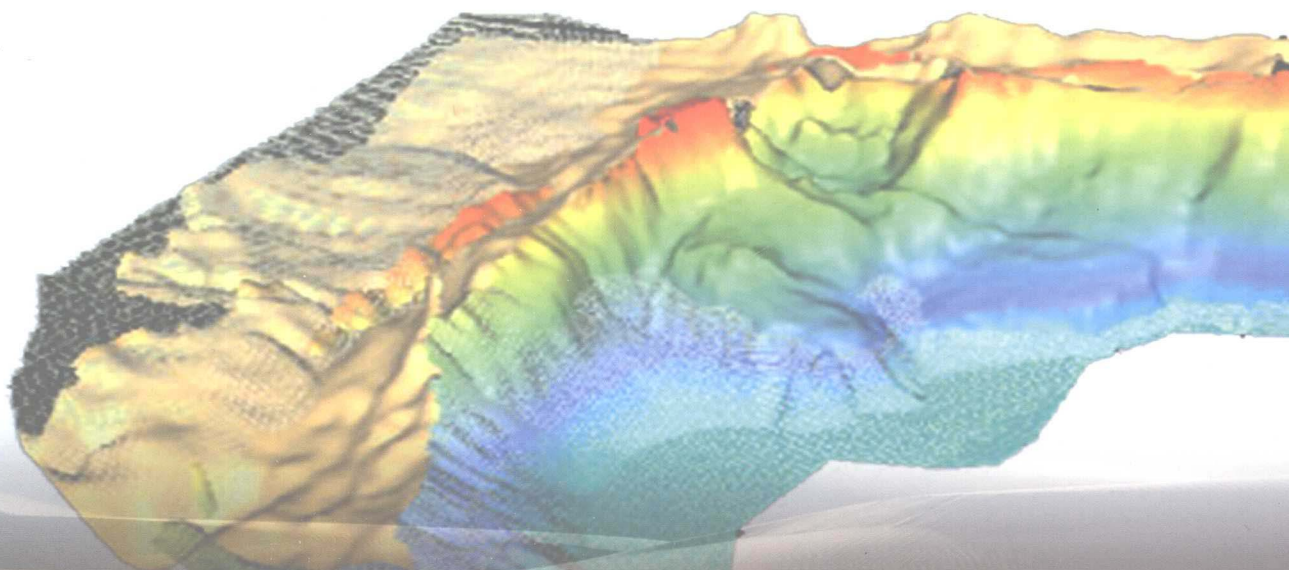
ZHONGGUO ZHONGXIBU QIANLU PENDI SHIYO DIZHI LILUN CONGSU

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 油气储层层序地层学

吴因业 陈丽华 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 油气储层层序地层学

吴因业 陈丽华 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统论述了中国中西部前陆盆地油气储层层序地层学的理论和实践,指出中国中西部前陆盆地是长期演化、多阶段发展的叠合式前陆盆地,其中发育的沉积体系可识别出前陆层序和非前陆层序,前陆层序的储层和非前陆层序的储层发育特征存在差异。在研究解剖库车、川西等典型前陆盆地的基础上,总结了中国中西部陆相前陆层序的边界特征、结构特征、纵向体系域特征以及控制因素,预测前陆盆地优质储层发育区与异常高压带及石膏盐岩发育区的有效配置带,是今后寻找大型油气田的有利地区。在层序地层学的应用方面,主要表现为区带评价和目标评价。油气勘探既可以在前陆层序取得突破,也可以在非前陆层序获得成功,关键在于地质规律的认识和把握。

本书是一部理论与实践相结合的著作,可作为广大地质工作者特别是层序地层学、沉积储层和油气藏勘探研究人员的重要参考书。

图书在版编目(CIP)数据

中国中西部前陆盆地油气储层层序地层学/吴因业等著.

北京:石油工业出版社,2008.10

ISBN 978-7-5021-5905-4

I. 中…

II. 吴…

III. ①含油气盆地-地层油气藏-储集层-中国

②含油气盆地-地层油气藏-地层层序-中国

IV. P 618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 157587 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.cn

发行部:(010) 64210392

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:18.5

字数:472 千字 印数:1—1500 册

定价:75.00 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 5×10^8 bbl 油当量的大型油气田约 980×10^8 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。

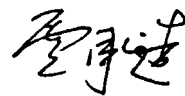
《中国前陆盆地石油地质理论丛书》建立在国家“十五”攻关成果的基础之上,该丛书充分总结了我国中西部的油气勘探成果,在重点解剖基础上,对中西部前陆盆地油气地质理论进行了系统总结和提升,总结出我国前陆盆地构造、沉积、成藏、油气分布规律和主控因素的特点,研究过程中与国外典型前陆盆地进行了对比。

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

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Chen Jian, a Chinese Academy of Sciences Academician.

2007 年 6 月

前 言

前陆盆地与造山带密切相关,是石油天然气聚集的重要场所。为了搞清中国中西部前陆盆地石油地质特征和评价油气潜力,开展了前陆盆地层序地层学研究,其主要目标是重点探索中西部前陆盆地优质天然气储层的赋存与分布规律,以便有效指导下一步勘探目标的选择。本书是在国家级项目“前陆盆地层序地层学与储层特征研究”成果的基础上编写而成的。专题研究的总目标是研究不同类型盆地演化期层序地层格架及其特征,研究前陆期及其前后沉积环境、湖盆发育类型及演变特征,阐明前陆盆地层序地层学和沉积特征的特殊性;研究盆地建造期及改造期储层的演变特征及演变规律,阐明前陆盆地储层发育特征和分布规律。①通过解剖重点前陆盆地层序地层和储层的形成、演变及分布规律,建立沉积体系和沉积模式,提高勘探目标评价中的储层预测精度,有效指导下一步勘探目标的选择。②通过深化总结淮南、川西、柴北缘等不同类型前陆盆地层序地层特点和模式、储层的形成、演变及分布规律,提高勘探目标评价中的储层预测精度,有效指导下一步勘探目标的选择;也为中西部前陆盆地天然气储层特征的深化研究提供良好基础。③通过中国中西部前陆盆地层序地层和沉积储层研究,总结出一套适合前陆盆地勘探开发的盆地层序地层、沉积体系和储集体分布的研究方法和前陆盆地储层评价技术。

通过专题研究,在中国中西部前陆盆地沉积储层的地质理论方面取得如下进展。

(1) 中国中西部前陆盆地是长期演化、多阶段发展的叠合式前陆盆地,其中发育的沉积体系可分为前陆层序和非前陆层序。

前陆层序发育于前陆盆地构造背景,是同造山运动的沉积响应,包括海西晚期—印支期周缘前陆盆地和弧后前陆盆地的上二叠统一三叠系(早期前陆层序);喜马拉雅期再生前陆盆地的上白垩统一新近系和第四系(晚期前陆层序)。早期前陆层序在川西前陆盆地和新疆准噶尔二叠系前陆盆地较发育,晚期前陆层序在中国中西部前陆盆地普遍发育,新疆地区表现为早期前陆层序和晚期前陆层序的叠合。

非前陆层序主要是侏罗系和下白垩统,是发育在陆内伸展盆地的湖泊相或湖沼相沉积。非前陆层序在中国中西部盆地普遍发育。

(2) 在研究解剖库车、川西等典型前陆盆地的基础上,发现和总结了中国中西部陆相前陆层序的边界特征、结构特征、纵向体系域特征以及控制因素,建立了前陆盆地同造山运动沉积响应下的“扇三角洲叠加推进”沉积模式。

前陆盆地层序边界是不整合面及其相应的等时界面。层内同生构造不整合面是前陆盆地层序边界的特殊标志。前陆层序与非前陆层序之间,常为不整合界面。前缘隆起在盆地发育早期的侵蚀不整合与中期应力松弛形成的不整合、挠曲应力形成的张(扭)性断裂形成的不整合可以叠合在一起,形成层内同生构造不整合层序边界。

前陆层序在盆地两侧有不同的层序结构。毗邻造山冲断带的前渊部分沉降速率最大,可容纳空间最大,以巨厚的粗粒冲积扇—扇三角洲—粗粒辫状河三角洲等冲积体系为主,构成进积式层序结构。在远离造山带侧,以细粒河流三角洲和滨浅湖相沉积体系为主,总体构成加积式和进积式叠加的层序结构。

前陆层序发育低位体系域和高位体系域。在层序的下部沉积序列发育同逆冲构造期的冲积扇—扇三角洲沉积体系（低位体系域）；逆冲体的重力加载引起快速挠曲沉降，导致了短期区域性的湖侵体系域。随后由于逆冲造山作用减弱，沉降变缓，以河流和河流三角洲沉积向盆地推进，形成了构造层序上部的水退序列，形成高位体系域。在体系域结构上，表现为低位体系域和高位体系域十分发育，湖侵体系域不发育，特别是深水沉积体系的湖侵体系域不发育。

前陆层序受控于构造、湖平面升降和古气候变化，形成前陆盆地同造山运动沉积响应下的“扇三角洲叠加推进”沉积模式。扇三角洲叠加推进沉积模式表现为冲积扇—扇三角洲从造山带向前陆盆地凹陷带的叠加推进。从前陆盆地山前带到凹陷湖盆，依次发育冲积扇相、扇三角洲相、湖底扇相和湖相沟道浊积砂体沉积。平面上依次分布冲积扇中扇辫状水道砂体微相、辫状河心滩砂体微相、扇三角洲水下分流河道砂体微相、沟道砂体微相、滑塌浊积体和席状远源浊积体等多种微相。随着前陆盆地造山带前缘推覆的向前发展，盆地的沉降中心和前陆隆起逐步向克拉通方向迁移，剖面上形成扇体递进式沉积演化叠加序列。扇三角洲叠加推进沉积模式在柴达木盆地、新疆准噶尔西北缘二叠系前陆盆地和塔里木库车前陆盆地普遍发育。

（3）前陆盆地中前陆层序的储层和非前陆层序的储层发育特征存在差异，前陆层序储层富集于山前带，非前陆层序储层主要沿湖盆周边发育。

前陆层序储层砂体主要在低位体系域和高位体系域发育，储集砂体富集于山前带，其分布受前陆盆地物源、坡地和沉积水系展布的控制；非前陆层序储层主要沿湖盆周边发育，其展布主要受层序演化—沉积相综合控制。受构造、古气候和物源的影响，前陆层序储层砂体展布模式中，砂体的区域分布和规模可以有明显的差异。在干旱气候条件下如柴达木盆地，砂体的供给体系主要是来自冲积扇和扇三角洲相沉积，规模较小，相带较窄，其发育特征与深海的富砾体系十分相近。在潮湿气候条件下如新疆准噶尔西北缘二叠系前陆盆地中，砂体由盆缘向盆内方向推进，扇体面积不断扩大，显示出明显的迁移性，这个过程主要受同造山运动的断裂活动影响。砂体的供给体系主要是来自北部方向的冲积扇和辫状河沉积，砂体规模较大，相带较宽。

前陆盆地储层质量受构造、沉积和成岩演化控制，沉积相带控制着储层物性带的分布，成岩作用调整储集性能。前陆盆地不同构造部位对储层构造控制作用不同，冲断带以横向挤压破碎及剥蚀淋滤为主，储层与构造裂缝紧密相关；前渊带早期充注—异常高压作用导致孔隙保存作用为主；斜坡和隆起带储层以原生孔保存和次生溶蚀作用为主。

（4）前陆盆地优质储层发育区与异常高压带及石膏盐岩发育区的有效配置带，是今后寻找大型油气藏的有利地区。在层序地层学的应用方面，主要表现为区带评价和目标评价。油气勘探即可以在前陆层序取得突破，也可以在前陆层序获得成功，关键在于地质规律的认识和把握。

本书共分七章，第一章由吴因业编写，第二章由纪友亮和吴因业等编写，第三章由吴因业、纪友亮和郭彬程等编写，第四章由季汉成、陈丽华、杜业波和孟培龙编写，第五章由杜业波、季汉成编写，第六章由陈丽华和杜业波编写，第七章由吴因业、郭彬程编写。最后由吴因业完成统稿。

本书是国家“十五”科技攻关期间集体智慧的结晶，在涉及的专题研究期间，得到了中国石油天然气集团公司科技局和中国石油天然气股份有限公司科技信息部领导的大力支持。

持；中国石油天然气股份有限公司副总裁、中国石油勘探开发研究院院长贾承造院士，中国石油天然气股份有限公司科技信息部罗治斌副总经理以及方朝亮副总经理和中国石油勘探开发研究院实验研究中心副主任、国家“十五”科技攻关前陆盆地项目项目长宋岩教授等给予了技术指导，中国石油勘探开发研究院科研处、地质所等单位给予了大力支持，国家“973”项目首席科学家赵文智教授为本书作序，中国石油勘探开发研究院副总地质师邹才能教授对稿件进行了审阅，中国矿业大学（北京）胡社荣教授多次参加讨论、修改并提出许多宝贵意见，在此一并致谢。

目 录

第一章 总论	(1)
第一节 前陆盆地层序地层学研究现状	(1)
第二节 中国前陆盆地基本层序特征	(3)
第三节 前陆盆地层序发育控制因素	(4)
第四节 前陆盆地储层发育特征及控制因素	(4)
小结	(6)
第二章 中国前陆盆地的层序特征	(7)
第一节 重点前陆盆地层序结构特征	(7)
第二节 前陆盆地层序构成及层序发育控制因素分析	(12)
第三节 中国三类前陆盆地层序地层模式	(15)
小结	(33)
第三章 中国前陆湖盆沉积特征	(34)
第一节 干旱气候含盐湖盆类型及其沉积特征	(34)
第二节 潮湿气候含煤湖盆类型及其沉积特征——以吐哈盆地为例	(41)
第三节 半干旱气候辫状河三角洲发育型湖盆类型及其沉积特征——以库车 前陆盆地为例	(44)
第四节 干旱气候冲积扇发育型湖盆类型及其沉积特征——以准噶尔盆地为例	(48)
第五节 潮湿气候河流三角洲发育型湖盆类型及其沉积特征——以四川盆地 为例	(65)
小结	(70)
第四章 前陆盆地层序格架下的储层特征——以川西前陆盆地为例	(71)
第一节 川西前陆盆地基本地质特征	(71)
第二节 前陆储层成岩作用与优质储层的控制因素	(74)
第三节 储层综合评价及储层预测	(99)
小结	(102)
第五章 中国中西部前陆盆地砂体储层特征	(105)
第一节 干旱气候含盐湖盆砂体储层特征——以柴达木盆地古近—新近系为例 ...	(106)
第二节 潮湿气候含煤湖盆砂体储层特征——以吐哈盆地侏罗系为例	(112)
第三节 半干旱气候辫状河三角洲发育型湖盆砂体储层特征——以库车盆地 白垩系为例	(119)
第四节 干旱气候冲积扇发育型湖盆砂体储层特征——以准噶尔西北缘 二叠系为例	(125)
第五节 潮湿气候河流三角洲发育型湖盆砂体储层特征——以川西前陆盆地 三叠系为例	(130)

小结 (135)

第六章 应用层序地层学进行区带评价——以吐哈盆地为例 (136)

第一节 吐哈盆地构造与沉积背景 (136)

第二节 区域层序地层学研究 (152)

第三节 油气储层特征研究 (185)

第四节 储层区带评价 (213)

小结 (233)

第七章 应用层序地层学进行油气勘探目标评价 (234)

第一节 基本研究内容和图件 (234)

第二节 区域层序地层学研究 (236)

第三节 油气储层特征及目标评价 (257)

小结 (268)

参考文献 (269)

图版 (271)

第一章 总 论

第一节 前陆盆地层序地层学研究现状

一、前陆盆地的概念

前陆盆地 (Fore-land basin) 是指介于克拉通与造山带前缘的沉积盆地, 又称山前坳陷、前渊。前陆是指克拉通与冒地斜相邻的部分。

前陆盆地按其形成的构造位置可以分为两类: ①周边前陆盆地, 紧靠在大陆碰撞所产生的造山带外侧, 在向下挠曲的陆壳之上形成沉积盆地, 如中国天山北麓山前坳陷, 喜马拉雅山南麓印度河—恒河盆地和阿尔卑斯山北麓磨拉石盆地。②弧后前陆盆地, 发育在岩浆弧之后, 常与 B 型俯冲有关, 当断层片叠覆于陆壳上形成荷载时, 区域性的均衡沉降产生前渊, 聚集大量来自前陆和后陆方向的沉积物, 如加拿大阿尔伯达盆地。

前陆盆地的发育主要与冲断层带的活动有关, 由于冲断带荷载使岩石圈挠曲, 形成前陆沉降。因此, 前陆盆地演化主要与冲断带向克拉通方向推进有关。当盆地位于活动冲断带前方时, 称为前缘盆地; 随着冲断带的推进, 盆地就位于冲断层的顶部, 称为冲驮盆地。

前陆盆地的早期与晚期沉积作用不同。一般而言, 早期沉积物通常为海相细粒的浊流沉积, 称为复理石盆地; 后期沉积物主要为浅水或陆相冲积扇或扇三角洲粗碎屑沉积, 称为磨拉石盆地; 而中国中西部的前陆盆地又往往具有独特性。

二、前陆盆地的层序地层特征

从岩石学特征来看, 前陆盆地的早期沉积中石英矿物丰富, 而长石矿物较少, 说明物源主要来自克拉通, 后期沉积中含有较丰富的岩屑, 说明物源主要来自造山带, 由于造山带逐步遭受剥蚀, 在沉积的碎屑物中往往出现倒序现象。如年代较老的砾岩层, 其源岩时代较新, 而年代较新的砾岩层, 其源岩时代较老, 因此, 前陆盆地的构造活动与沉积作用具有相关性。

典型前陆盆地的充填沉积演化大致可划分为三个阶段: 第一阶段为逆冲作用早期响应盆地挠曲变形的充填沉积阶段。这一阶段, 由于盆地边缘初始挤压变形, 在山前地带提供的沉积物可容纳空间相对较小; 沉积物源以冲断块一侧单一方向的物源为主; 第二阶段为响应逆冲带负载释放充填沉积阶段。在这一阶段, 由于盆地基底快速下降, 产生较大的可容纳空间, 沉积物在山前快速堆积; 与此同时, 前陆隆起区也上升为陆, 遭受剥蚀, 形成盆地的另一个物源区; 第三阶段为下一次逆冲负载—挠曲变形阶段等。前陆盆地的发生、发育与演化和充填作用就是通过这三个阶段的交替出现而进行的。上述前陆盆地的充填沉积演化特征决定了前陆盆地层序地层的形成、发育与充填的基本模式。

①前陆盆地结构的不对称性决定了盆地两侧层序形成与发育控制因素的差异性, 在邻近造山带的盆地陡侧, 层序受造山带逆冲构造作用控制明显, 而缓坡一侧则受构造沉降、物源供给、湖水面变化的共同影响。

②盆地两侧层序特征明显不一致。由于强烈的构造沉陷造成山前陡坡一侧层序沉积厚度大、沉积物较粗、沉积速率快、成分复杂、变形作用较强的特点; 沉积体的几何形态多

呈楔形, 沉积相侧向变化快, 相带窄, 很快向较深水湖相过渡; 物源来自邻近造山带, 为向上变粗层序, 是同构造沉积作用的产物; 地层的内部结构和准层序堆积样式受造山带构造幕式活动影响明显, 多呈进积或加积叠加特征; 在横向上, 随着远离造山带, 沉积物粒度由粗变细, 古水流从垂直造山带方向到近平行造山带的方向; 前陆隆起区层序厚度薄, 向缓坡方向上超特征明显, 沉积物粒度相对较细, 沉积相带过渡性明显, 湖泊相带宽缓; 地层内部结构受构造、古地形和湖水面变化等多种因素控制。

③在前陆盆地发育的不同时期, 其层序也具明显不同的特征。在前陆盆地形成早期, 受盆缘造山带的挤压作用, 形成一系列向克拉通方向推进的叠置逆冲席, 引起地壳加厚。在地壳均衡作用下, 邻近造山带的克拉通前陆区便下挠沉陷, 而在远离造山带的方向沉陷速度相对缓慢, 形成一个从造山带向克拉通前陆, 由深到浅的不对称盆地, 其充填层序具明显不对称结构。物源补给以逆冲推覆带前陡坡一侧为主, 主要发育粗碎屑冲积扇或扇三角洲体系—较深水湖体系, 沉积中心位于陡坡一侧。在盆地发育的中晚期, 随着造山带挤压运动逐渐减弱, 在地壳均衡作用下引起弹性回跳, 导致前陆盆地整体向上隆起。隆起强度随远离造山带逐渐降低。此时, 造山带隆起区遭受剥蚀, 沉积物被搬运, 再沉积在远离造山带的前陆盆地区。在邻近造山带的前陆盆地区形成明显的侵蚀不整合, 在远离造山带的前陆盆地区为席状展布的粗粒和细粒沉积; 而层序结构呈明显的对称性, 具双向物源体系, 即缓坡一侧由于前陆隆起部位的上升也构成物源, 但两侧沉积体系类型存在差异。沉积中心逐渐向缓坡一侧迁移。

三、中国式前陆盆地沉积特征

中国中西部广泛发育于挤压构造背景上的中生代陆相盆地与上述前陆盆地的形成机制有一定的相似性, 但是, 由于其大地构造背景和沉积特征与 Dickinson 等 (1974) 定义的两类前陆盆地仍有较明显差别, 因而, 一些中国大陆学者分别称其为“类前陆盆地” (陈发景, 1996)、“陆内前陆盆地” (陈发景, 1997)、“再生前陆盆地” (卢华复等, 1994) 及“C 型前陆盆地” (罗志立, 1982) 等。一些国外学者似乎也注意到了中国中西部盆地成因类型的复杂性和特殊性, 将其称为“中国型盆地”或“喜马拉雅型盆地”。研究表明, 中国中西部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, 由于板内应力作用的重新复活, 并沿其边缘 (或其内部) 某一断裂向原始陆块 (或新生陆内盆地) 一侧逆冲, 在其前缘产生挠曲载荷作用, 从而形成巨厚的沉积。一般而言, 这类盆地缺乏下部前陆海相沉积发育阶段。本书将这类在成因机制上与传统前陆盆地有某些相似之处, 但其形成构造背景有所不同的盆地称为“前陆型”盆地。

根据笔者的研究结果, 中国中西部 (陆内) 前陆型盆地的沉积充填具有以下特征:

①沉积盆地一般沿 (复活) 造山带前缘呈长条状分布 (长宽比一般为 3~5:1)。部分前陆盆地在横向上 (平面), 沿远离造山带方向与同期陆内拗陷盆地相连通。

②盆地呈不对称性。在横剖面上呈箕状, 靠近造山带一侧厚度明显增大, 这一特征与中国东部广泛发育的箕状断陷盆地具有一定的相似性, 但两者除在盆地形成力学机制方面不同外, 在沉积特征方面也存有一定的差异性。由于造山带不断向盆地方向冲断推覆, 前陆盆地边界及范围不断向盆地方向迁移, 尤其是冲积扇或扇三角洲的迁移最为明显。这是前陆盆地与中国东部箕状断陷盆地最明显的差异之处。

③中国中西部前陆盆地沉积相表现为陆相沉积占绝对优势, 总体上仍然显示出沉积相

序向上水体变浅、粒度变粗的逆旋回特征，但由于受造山带阶段性（间歇）逆冲作用的影响，冲积扇或扇三角洲粗粒（磨拉石）沉积不连续产于河湖相沉积序列中。前陆盆地冲积扇中砾岩的砾石成分在垂向上呈现出与物源区地层层序相反的逆序列，即逆序蚀顶沉积作用（刘和甫，1994）。

④陆内前陆盆地沉积物物源来源极为复杂，并非一定来源于岛弧型造山带，既可来源于复活的活动大陆边缘造山带（如库车、塔西南新生代前陆盆地），也可来源于后期褶皱造山的被动大陆边缘（如鄂尔多斯盆地西缘前陆盆地），表现出比典型前陆盆地物源更为复杂的特征。

⑤中国中西部某些前陆盆地具有多期叠加的特征，如准噶尔盆地西北缘在晚二叠世—三叠纪为前陆盆地，侏罗—白垩纪为断陷—坳陷盆地，古近—新近纪以后又转变为前陆盆地。

第二节 中国前陆盆地基本层序特征

一、重点前陆盆地层序组合

根据前陆盆地的定义和中国中西部前陆盆地的地质结构特点，中国中西部前陆盆地沉积充填可分为前陆层序和非前陆层序。

1. 川西前陆盆地

这类前陆盆地主要发育在川陕地区，主要为印支期前陆盆地，遭受喜马拉雅期构造活动改造。

2. 柴北缘前陆盆地

这类前陆盆地主要发育在甘青地区，主要表现在早期（印支期）前陆盆地沉积物几乎完全被剥蚀掉；而且，晚期前陆盆地被走滑—逆冲构造改造得支离破碎，现今看到的主要是喜马拉雅期前陆盆地或冲断—走滑带。

3. 淮南前陆盆地

这类盆地主要发育在新疆地区，主要为喜马拉雅期前陆盆地，即叠加在晚古生代—印支期前陆盆地之上，其结构完整。

4. 准噶尔盆地西北缘前陆盆地

这类盆地主要发育在新疆准噶尔盆地西北缘地区，主要为二叠纪前陆盆地，即叠加在海相盆地之上，其结构完整。

二、前陆盆地层序边界特征

①层内同生构造不整合面是前陆盆地层序边界的特殊标志。

②不同构造部位准层序组类型的转化序列不同。

③前陆盆地层序边界具有其他与非前陆盆地层序边界相同的特征。

三、前陆盆地层序结构特征

中国中西部前陆盆地的沉积层序表现为两类：强烈构造活动期层序和非强烈活动期层序。

四、前陆层序纵向体系域发育特征

前陆层序体系域由低位（冲积）体系域、湖侵体系域和高位体系域组成。根据前陆盆地不同发育阶段或不同的成盆期，可以划分出四类层序体系域类型。分别是：①低位体系

域发育型；②高位体系域发育型；③低位体系域和高位体系域共同发育型；④低位体系域和高位体系域共同不发育型。

五、前陆层序体系域结构

前陆盆地的构造层序受控于构造运动的强弱。在盆地两侧有不同的层序体系域结构。毗邻造山带冲断带的前渊（Foredeep）部分沉降速率最大，可容纳空间也最大，来自造山带的大量粗碎屑堆积在山前，以发育巨厚的粗粒冲积扇—扇三角洲—粗粒辫状河三角洲等冲积体系域为主，构成进积式沉积层序；在远离造山带侧，以细粒河流三角洲和滨浅湖相沉积体系为主，沉积物主要来自前缘隆起。在体系域结构上，表现为低位体系域和高位体系域十分发育，并形成大量油气储集体；湖侵体系域不发育，特别是深水沉积体系的湖侵体系域不发育。

第三节 前陆盆地层序发育控制因素

一、前陆层序是同造山运动的沉积响应

前陆盆地构造演化进程控制了前陆盆地储集体的发育。在构造反弹期，形成高位体系域的粗粒三角洲沉积；在构造活动期，形成低位和湖侵体系域的山前同构造冲积扇相砾岩及盆内湖相泥岩。

二、层序分布受控于构造、湖平面升降和古气候等多项因素

前陆盆地强烈活动期，潮湿气候条件下，可容空间的增加主要受构造沉降控制，水深持续增加，山前带沉积物供应迅速，持续形成进积式准层序组，凹陷区形成退积式准层序组，前隆带和凹陷的斜坡带，有物源供应，早期形成退积式准层序组，晚期构造活动减弱时，形成进积式准层序组（高位体系域或湖退体系域），之后形成层序边界。

三、前陆盆地两侧不同层序结构的控制因素

前陆盆地结构的不对称性决定了盆地两侧层序形成与发育控制因素的差异性。在邻近造山带的盆地陡侧，层序受造山带逆冲构造作用控制明显，而缓坡一侧则受构造沉降、物源供应、湖水面变化的共同影响。

第四节 前陆盆地储层发育特征及控制因素

一、前陆盆地层序地层格架下储集砂体展布特征

前陆盆地前陆期层序总体特征体现为随冲断带的前移逐步向前进积的特点，非前陆期层序特征则由盆地地质背景和气候条件共同决定，不同前陆盆地层序格架及其中砂体展布各有其特色。

1. 前陆期层序格架下的储层

前陆冲断带表现为大套厚层的河流—三角洲相砂体，多期砂体叠加，岩屑含量高，分选较好，具有低成分成熟度和高结构成熟度的特点。

2. 非前陆期层序格架下的储层

非前陆期层序包括前前陆层序和后前陆层序，前前陆层序相对前陆层序而言主要起提供物源和决定地下水介质性质的作用；后前陆期层序对前陆层序而言则起上覆盖层和深埋压实作用。

3. 前陆间隔期坳陷湖盆层序格架下的储层

叠加型前陆盆地早期前陆层序与晚期改造前陆层序之间的间隔期沉积层序随具体盆地有所差异, 由于其紧邻下伏烃源岩及受晚期再生前陆盆地的改造作用, 也是盆地内的重要储层发育期。

二、前陆盆地储层构造—成岩演化特征

前陆盆地内前陆冲断构造控制了前陆层序储集砂体的形成与分布, 不同类型的前陆盆地和不同前陆构造带构造应力场特征的差异和成岩环境的差别又为储层成岩演化的差别提供了动力学基础。

1. 前陆层序储层演化模式

前陆期是前陆盆地主要储层发育期。其冲断带、前渊带及部分斜坡带前陆期层序多遭受长期强压实作用, 使其储层致密化, 且成岩程度较深, 多达中成岩 B 期, 故成岩作用对储层物性影响较大。

2. 非前陆期层序格架下的储层

前陆盆地非前陆期为常规断陷—坳陷湖盆沉积, 湖盆砂体演化较为充分, 常是盆地内重要的储层发育期, 其砂体储集性能除与其自身沉积和成岩条件有关外, 还与上覆前陆层序砂体埋藏史关系密切。若为早期快速沉降后期长期深埋类型, 则储层由于强压实作用易致密化, 反之, 为晚期快速深埋或长期剥蚀条件下, 则有部分原生孔隙得以保存。

三、中国中西部前陆盆地储层主控因素

本书将中国中西部前陆盆地储层发育的控制因素概括为构造、层序—沉积、流体运移和成岩四大方面, 并建立对储层的控制因素及其因果序列进行依次分析筛选的顺序, 以便优选出具体盆地的储层主控因素。

1. 构造因素

构造因素控制了盆地的基底和类型, 进而决定了层序格架和沉积砂体的特点, 不同前陆构造带的主要储集砂体类型亦有所差别。由于不同类型前陆盆地构造运动及其冲断形态的差异, 导致盆地内埋藏史的差异, 进而影响盆地演化进程和储层性质。后期前陆冲断构造可形成大量挤压破碎裂缝, 对改善储集性能大有裨益。

2. 层序—沉积因素

层序—沉积因素包括储集砂体发育程度及其在沉积层序内的空间组合, 在相同的构造背景下, 有利储层发育于成熟度更高、储盖组合更完整的砂体中, 前陆盆地构造单元是否发育完整决定了其中的沉积相带分异是否完全, 进而影响储集砂体类型、成分与结构成熟度及其时空展布。

3. 盆内流体运移对储层的影响

对前陆储层起重要影响的盆地内流体主要为有机质热演化过程中产生的酸性地层水和烃类成熟以后的早期充注作用。烃类大量运移之前的酸性地层水以压实离心流的形式向盆地边缘地层中运移, 可促进次生溶蚀作用, 改善储集性能, 前陆盆地冲断带不断向前推进, 形成的进积式砂体插入烃源岩中, 有助于此类溶蚀作用的发育。

4. 成岩对储层的影响

成岩作用伴随着储层发育的每一步, 并最终直接决定储层的储集性能, 是其他因素在储层中的综合表现。研究成岩作用对储层的影响主要通过划分成岩阶段和进行成岩相展布研究来进行, 有利储层主要发育于中成岩 A 期和早成岩 B 期, 也可在中成岩 B 期和早成岩

A 期发育，有利的成岩相带则与弱压实—溶蚀—破碎相的分布有关。

5. 储层控制因素综合分析

如前所述，影响前陆盆地储层的因素很多，在具体盆地的研究中应按各影响因素之间的联系和作用顺序依次分析每种因素的影响，进而确定其主控因素。

多种因素对储层的影响直接体现在储层的成岩作用和成岩相展布上，多种因素在储层内多为协同作用，没有截然的界限，在研究中综合分析各类因素对储层的控制，优选出居主导地位的因素，找出其时间和空间上的分布规律，进而预测优质储层。

小 结

通过上述对中国中西部前陆盆地的沉积层序特征及演变诸方面较系统全面的阐述，得出如下一些结论：

①中西部前陆盆地的多旋回沉积演化分为前陆层序和非前陆层序。前陆层序是同造山沉积响应，储集砂体相对发育。

②前陆盆地两侧有两种层序结构：盆缘冲断带一侧为粗碎屑沉积，前缘斜坡带为细碎屑沉积，发育湖侵和高位体系域，缺少低位体系域。前陆层序低位和高位体系域储集体发育。

③前陆盆地前陆期层序储集砂体主要发育于山前带，其分布受前陆盆地物源、坡地和沉积水系展布的控制；非前陆层序储层主要沿湖盆周边发育，其展布主要受层序—沉积相综合控制；在层序格架上总体为低位和高位体系域砂岩成熟度高、物性较好；随冲断带的推进前陆盆地储层发育带也从盆地边缘向中心推进。

④不同前陆构造带储层主控因素不同，冲断带以横向挤压破碎及剥蚀淋滤为主；前渊带以强压实及早期充注—异常高压导致的孔隙保存作用为主；斜坡和隆起带以原生孔的保存和次生溶蚀等综合作用为主。

⑤前陆盆地优质储层发育区与异常高压带及石膏盐岩发育区的有效配置区，是今后寻找大型油气藏的有利地区。

第二章 中国前陆盆地的层序特征

中国中西部前陆盆地是油气聚集的重要盆地。运用层序地层学方法研究前陆盆地的储层发育特征与规律，对于前陆盆地的油气勘探具有重要意义。本章将重点讨论中国中西部若干前陆盆地的层序结构、构成及其发育控制因素与层序地层模式。

第一节 重点前陆盆地层序结构特征

一、重点前陆盆地类型

根据前陆盆地的定义和中国西部前陆盆地的地质结构特点，可将中国中西部前陆盆地划分为三种类型。

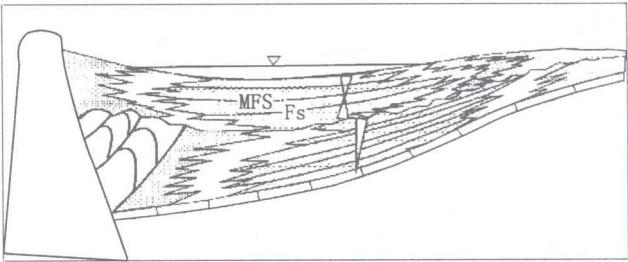
1. 早衰型前陆盆地

早衰型前陆盆地（图 2-1）主要发育在川陕地区、准噶尔盆地的西北缘和东北缘，主要为印支期前陆盆地，经历了喜马拉雅期改造。

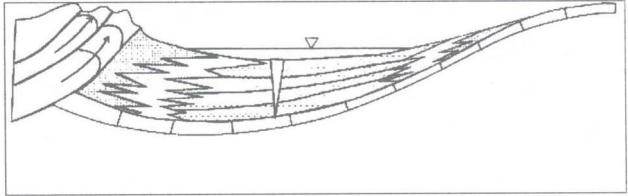
2. 改造型前陆盆地

改造型前陆盆地（图 2-2）主要发育在甘青地区，主要表现在早期（印支期）前陆盆

地层			岩性		
系	统	组			
白垩系	上统	名山组		非前陆层序	
		灌口组			
		夹关组			
		剑阁组			
		汉阳铺组 剑门关组			
侏罗系	上统	蓬萊鎮组		非前陆层序	
		遂宁组			
		上砂溪庙组			
		下砂溪庙组			
		千佛岩组			
三叠系	上统	白田坝组		前陆层序	
		五段			
		须家河组			
		四段			
		三段			
	中统	二段			
		小塘子组			
		马鞍塘组			
	中统	雷口坡组			



J—K非前陆期为坳陷湖盆，发育冲积扇—湖泊体系，主要形成储层和盖层



T₃为前陆盆地，发育了湖沼—河流三角洲沉积体系，生储盖组合发育

图 2-1 早衰型前陆盆地沉积充填特征
川西实例，在早期前陆层序的基础上，发育坳陷湖盆沉积