

# 前陆盆地 油气分布规律

周新源 编著

OCCURRENCE OF OIL AND GAS IN FORELAND BASIN

石油工业出版社

# 前陆盆地油气分布规律

周新源 编著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书是对前陆盆地油气分布规律的全面总结。其主要特点是：从沉积充填的角度分析其对前陆盆地油气成藏要素的控制作用；构造变形作用的角度分析前陆盆地圈闭形成及分布特点；通过分析前陆盆地油气成藏特征，进而探讨前陆盆地油气分布的主控因素。

本书可作为从事前陆盆地方面研究的科技人员以及现场工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

前陆盆地油气分布规律/周新源编著.

北京:石油工业出版社,2002.8

ISBN 7-5021-3911-7

I.前…

II.周…

III.含油气盆地-油气藏-分布规律-研究

IV.P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 064131 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

河北省地勘局测绘院印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 500 千字 印 1—1000

2002 年 8 月北京第 1 版 2002 年 8 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3911-7/TE·2826

定价: 60.00 元

# 前 言

地质学起源于造山带。前陆盆地处在造山带与稳定克拉通之间，其形成与造山带的冲断裂荷及由此引起的挠曲沉降密切相关。前陆盆地中从沉积充填、构造变形等方面都为研究地壳的统一变形留下了丰富的信息，通过露头剖面、钻井揭示、地震解释，能够比较好地获得这些信息。造山带的活动与盆地的发育具有此消彼长的特点，因此盆山耦合的研究成为现代地质学研究的前沿课题。前陆盆地的独特位置显示了对其进行系统研究的重大科学意义。

勘探实践证明，前陆盆地富含油气。从西加拿大盆地到东委内瑞拉盆地、扎格罗斯前陆，均拥有丰富的油气资源。我国西部以库车为代表的一批前陆盆地也显示出广阔的油气勘探前景。按 Price (1986) 的统计，在众多的盆地类型中，前陆盆地所找到的油气储量位居榜首。金之钧等 (2000) 按裂谷、前陆和克拉通三种盆地类型对其油气成藏要素、油气资源、油气田规模及控制因素等方面进行分析、统计，结果显示前陆盆地具有较高的油气资源丰度。在油气资源日趋紧缺的形势下，研究前陆盆地油气地质特征、总结前陆盆地油气分布规律，其实际意义之重大是不言而喻的。

作者自 20 世纪 80 年代初期开始加入我国西部油气勘探的行列，在近 20 年的勘探实践中，与我的领导和同事们在地面环境十分恶劣、地下地质条件十分复杂的天山及昆仑山山前共同发现了一些油气田，并总结出一些行之有效的勘探技术。特别是在贾承造博士领导下在库车前陆盆地成功探明克拉 2 大气田，不仅促进了“西气东输”工程的启动，更是增强了整个中国西部前陆盆地找大油气田的信心。塔里木油田分公司近年来的勘探，不仅在库车前陆盆地连连得手，而且在塔西南前陆盆地自 1977 年发现柯克亚油气田、在经历了 20 多年的沉寂之后又一次获得重大突破，在喀什凹陷发现了阿克莫木气田。由此看来，对前陆盆地油气分布规律认识的局限性制约了油气田发现的进程。

时逢世纪之交，有幸再次进入高等学府学习、攻读博士学位。在学习期间，针对前陆盆地及其含油气性特点，调研和阅读了大量的文献，深感我国库车式的陆内发展起来的类前陆盆地与国外西加拿大式的被动大陆边缘上发展起来的典型前陆盆地存在较大差异。结合自己近些年来在前陆盆地勘探实践中所获得的成果及体会，对前陆盆地含油气性进行比较系统的总结，以期通过公开出版达到丰富前陆盆地油气富集理论、为我国西部诸多前陆盆地油气勘探实践起到借鉴作用的目的。

在本书的编写过程中得到了石油大学（北京）盆地与油藏研究中心、塔里木研究所有关同行的大力支持和热情帮助。孙冬胜博士、杨明慧博士、蔡忠贤博士为本书的付印做了大量的工作，研究生徐士林、张振红协助进行了大量的文献调研，一并表示感谢。限于时间和水平，书中难免有疏漏和不当之处，欢迎批评指正。

作 者

2002 年 7 月

# 目 录

<b>第一章 前陆盆地及含油气性概论</b> .....	( 1 )
<b>第一节 前陆盆地概论</b> .....	( 3 )
一、前陆盆地概念.....	( 4 )
二、前陆盆地分类.....	( 5 )
三、前陆盆地结构.....	( 9 )
四、前陆盆地演化.....	( 10 )
<b>第二节 前陆盆地发育的地球动力学模型</b> .....	( 13 )
一、前陆盆地形成的控制因素.....	( 13 )
二、前陆盆地挠曲力学模型.....	( 16 )
<b>第三节 前陆盆地含油气性</b> .....	( 24 )
一、前陆盆地的油气丰度和油气储量.....	( 24 )
二、前陆盆地的石油地质特征.....	( 26 )
三、前陆盆地与油气田.....	( 29 )
<b>第二章 前陆盆地沉积充填及其对成藏要素的控制作用</b> .....	( 32 )
<b>第一节 前陆盆地充填特征及层序结构</b> .....	( 32 )
一、沉积充填特征.....	( 32 )
二、前陆盆地层序结构.....	( 42 )
<b>第二节 前陆盆地烃源岩的形成与分布</b> .....	( 50 )
一、成盆期前烃源岩的形成与分布.....	( 50 )
二、成盆期的烃源岩形成与分布.....	( 65 )
<b>第三节 前陆盆地储集岩的形成与分布</b> .....	( 66 )
一、成盆期前储集岩的形成与分布.....	( 67 )
二、成盆期储集层的形成与分布.....	( 75 )
<b>第四节 前陆盆地盖层的形成与分布</b> .....	( 80 )
一、膏盐岩盖层的形成与分布.....	( 80 )
二、泥岩盖层的形成与分布.....	( 89 )
<b>第五节 前陆盆地非构造圈闭的形成与分布</b> .....	( 93 )
一、地层圈闭.....	( 93 )
二、岩性圈闭.....	( 103 )
<b>第三章 前陆盆地变形与圈闭形成作用</b> .....	( 110 )
<b>第一节 前陆盆地结构特征</b> .....	( 110 )
一、前陆盆地结构.....	( 110 )
二、前陆盆地系统结构.....	( 118 )
三、双前陆盆地结构.....	( 123 )
<b>第二节 前陆盆地褶皱冲断带构造变形特征</b> .....	( 126 )

一、褶冲带的几何分析·····	(126)
二、构造变形组合样式(1):断层相关褶皱·····	(133)
三、构造变形组合样式(2):三角带和构造楔·····	(147)
第三节 前陆盆地前缘隆起构造变形特征·····	(157)
一、前隆不整合分析·····	(158)
二、前缘隆起构造特征·····	(160)
第四节 前陆盆地构造圈闭样式及分布·····	(164)
一、背斜圈闭及其分布·····	(164)
二、底辟拱升背斜圈闭·····	(171)
三、断层构造圈闭·····	(172)
<b>第四章 前陆盆地油气成藏特征·····</b>	<b>(174)</b>
第一节 前陆盆地烃源岩热演化史·····	(174)
一、热史分析技术及方法·····	(174)
二、现今地温梯度及影响因素·····	(175)
三、古地热史恢复过程·····	(180)
四、不同构造单元的烃源岩热演化·····	(186)
第二节 前陆盆地油气运移网络系统·····	(201)
一、油气初次运移·····	(201)
二、油气二次运移·····	(203)
三、断层与油气运移·····	(206)
四、前陆盆地油气运移的距离·····	(210)
五、前陆盆地油气运移网络·····	(211)
第三节 前陆盆地异常高压与油气聚集·····	(220)
一、异常压力的基本特点·····	(220)
二、异常压力的形成机制·····	(221)
三、盆地深部超压体系·····	(223)
四、盆地上部超压体系·····	(228)
五、克拉2超压气田成因分析·····	(230)
六、异常超压的油气地质意义·····	(234)
第四节 前陆盆地油气藏类型·····	(241)
一、前陆盆地相关油气藏类型·····	(242)
二、褶皱冲断带·····	(243)
二、前渊坳陷·····	(250)
三、斜坡带·····	(252)
四、前缘隆起·····	(255)
<b>第五章 前陆盆地油气分布的主控因素·····</b>	<b>(260)</b>
第一节 烃源岩对油气分布的控制作用·····	(260)
一、烃源岩发育程度决定盆地的含油气潜力·····	(260)
二、生烃中心控制油气藏分布·····	(264)
第二节 前陆盆地储集层对油气分布的控制作用·····	(269)

一、碎屑岩储层是前陆盆地主要含油气层系·····	(269)
二、沉积相带控制碎屑岩储层中的油气分布·····	(270)
三、构造控制碳酸盐岩储层中的油气分布·····	(272)
第三节 前陆盆地膏盐层对油气聚集的封盖作用·····	(274)
一、区域性膏岩层是前陆盆地油气保存的关键·····	(274)
二、膏盐层对油气成藏条件的改善·····	(275)
第四节 前陆盆地油气运移网络系统对油气分布的控制作用·····	(276)
一、油气运移的普遍性·····	(276)
二、油气运移网络决定油气运移方式·····	(277)
三、运移网络影响烃源岩排烃效率·····	(285)
四、油气运移网络控制油气运移距离·····	(286)
第五节 前陆盆地油气聚集模式及分布规律·····	(286)
一、前陆盆地烃类生成与圈闭形成在时间上的配置关系·····	(286)
二、前陆盆地烃类赋存形式·····	(287)
三、前陆盆地油气聚集模式·····	(288)
四、前陆盆地地层和岩相对油气分布的控制·····	(289)
五、前陆盆地油气分布规律·····	(290)
<b>参考文献</b> ·····	(293)

# 第一章 前陆盆地及含油气性概论

目前石油约占世界能源消费的 40%，油气总和约占 63%，剩下 37% 分别是煤、水力、核能、生物能以及太阳能等。以当前的探明石油储量除以石油消费水平计算，世界石油还可开采 40 年。石油产量的最高值将在 2020 年左右出现，如果考虑到亚太地区石油需求的快速增长，这一时间将可能大大提前。据美国《展望》杂志报道，1995 年的研究表明，石油产量最高值将在 2004~2008 年出现。因为石油年产量和石油累积发现量均遵循正态分布曲线，且年产量峰值滞后于累积发现量峰值（哈伯特，1956）。那么，自从公元前 10 世纪开始利用石油沥青至今，人类发现和利用了多少石油资源呢？据挪威第 14 届世界石油大会（1994）的统计资料，全世界常规原油最终可采资源量为  $3113 \times 10^8 \text{t}$ 。这一数字在北京召开的第 15 届世界石油大会（1997）上增至  $3250 \times 10^8 \text{t}$ 。截止 1998 年底全世界已累计产油  $1145 \times 10^8 \text{t}$ ，石油剩余探明储量约  $1411.29 \times 10^8 \text{t}$ ，探明程度近 80%，待发现的常规原油资源量约  $(610 \sim 670) \times 10^8 \text{t}$ 。此外，全世界尚有非常规原油资源  $(4000 \sim 7000) \times 10^8 \text{t}$ ，但需要靠新的科学技术去发现（程希荣，1999）。

世界油气勘探有关数据的统计与分析（周庆凡等，1996）表明：

(1) 油气储量在盆地中的分布是极不均匀的，三角洲盆地和压扭盆地含油气丰度最高，下翘盆地、前陆盆地和裂谷盆地次之，克拉通盆地含油气丰度最低；

(2) 勘探成功率最高的是上覆在早期弧后盆地之上的大西洋型被动边缘盆地（85%），成功率大于 50% 的有中国型（或再生）前陆盆地、A 型前渊、A 型褶皱带（图 1-1）以及

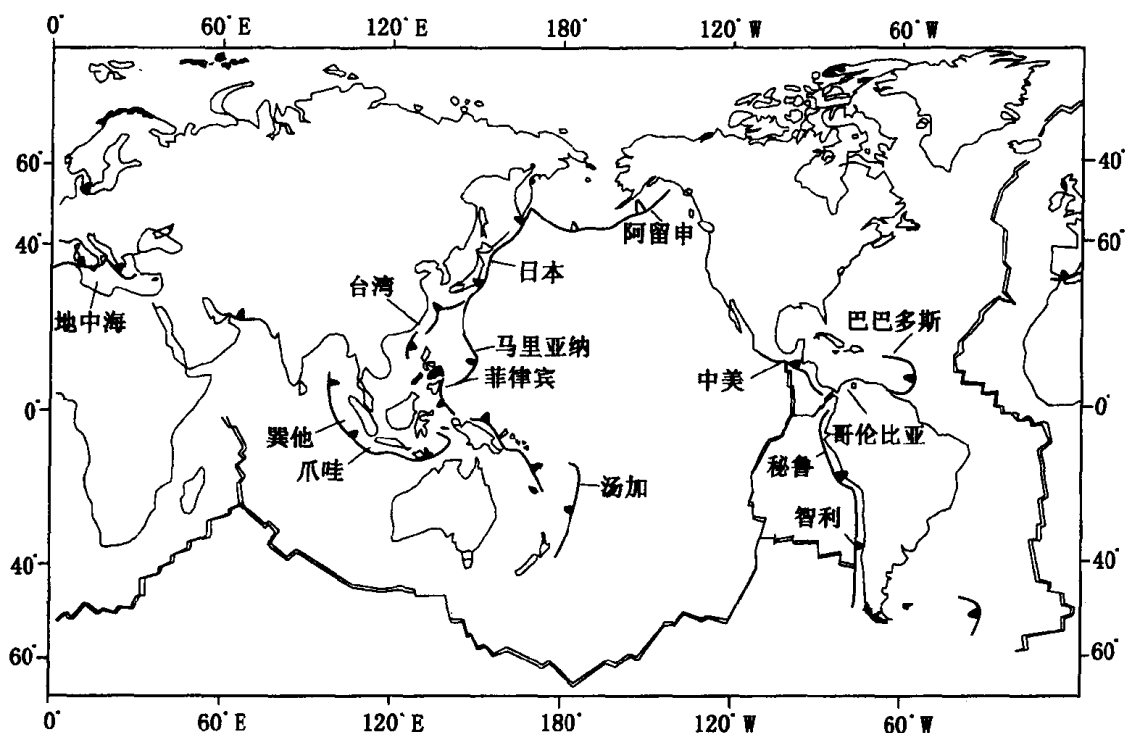


图 1-1 全球活动俯冲带与前陆盆地分布示意图（据 Underwood 等，1995）



位于早期裂陷地堑上的克拉通盆地，其它类型盆地的勘探成功率均小于 20%；

(3) 在四大油气域中，特提斯油气域（大约在北纬 30°与南纬 30°之间）占全球油气总储量的 68%，北方油气域（特提斯油气域以北）占 23%，而南冈瓦纳、太平洋油气域分别为 4%和 5%。

据《油气杂志》1998 年统计世界各国石油剩余探明储量前 10 名的排位为：沙特阿拉伯  $353.276 \times 10^8 \text{t}$ ；伊拉克  $153.45 \times 10^8 \text{t}$ ；科威特  $128.216 \times 10^8 \text{t}$ ；阿布扎比  $125.7608 \times 10^8 \text{t}$ ；伊朗  $122.3508 \times 10^8 \text{t}$ ；委内瑞拉  $99.0264 \times 10^8 \text{t}$ ；俄罗斯  $66.2536 \times 10^8 \text{t}$ ；墨西哥  $65.2292 \times 10^8 \text{t}$ ；利比亚  $40.2380 \times 10^8 \text{t}$ ；中国  $32.7360 \times 10^8 \text{t}$ 。而当年全世界产油  $33.1511 \times 10^8 \text{t}$ ，排位前 10 名的国家是：沙特阿拉伯  $4.0290 \times 10^8 \text{t}$ ；美国  $3.1873 \times 10^8 \text{t}$ ；俄罗斯  $2.945 \times 10^8 \text{t}$ ；伊朗  $1.7985 \times 10^8 \text{t}$ ；中国  $1.5978 \times 10^8 \text{t}$ ；委内瑞拉  $1.554 \times 10^8 \text{t}$ ；挪威  $1.5247 \times 10^8 \text{t}$ ；墨西哥  $1.524 \times 10^8 \text{t}$ ；英国  $1.3299 \times 10^8 \text{t}$ ；伊拉克  $1.057 \times 10^8 \text{t}$ 。

石油主要蕴藏在全世界分布的各类沉积盆地之中，但是这种分布是不均衡的（图 1-2）。因

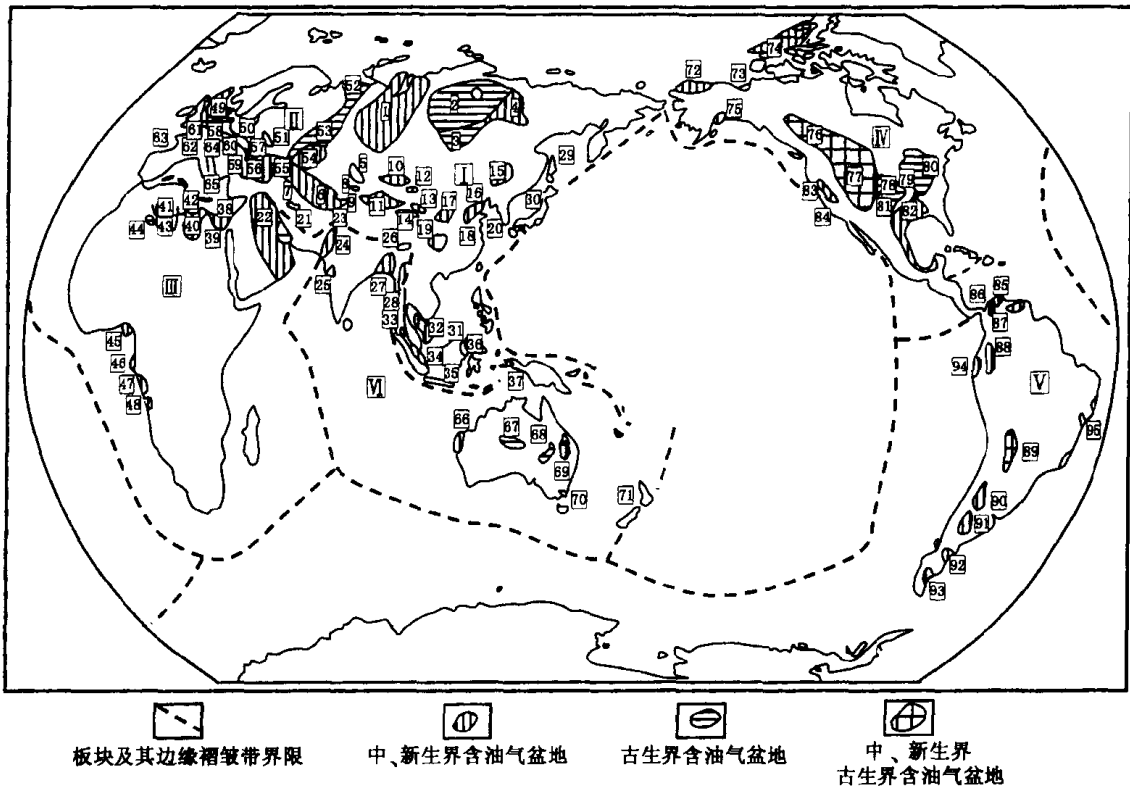


图 1-2 全球板块及边缘褶皱带与含油气沉积盆地分布图（据甘克文等，1979）

I—亚洲诸板块及其边缘褶皱带：1—西西伯利亚；2—通古斯；3—安加拉—勒拿；4—维柳伊；5—楚萨雷苏；6—卡拉库姆；7—南里海；8—费尔干；9—塔吉克；10—准噶尔；11—塔里木；12—吐鲁番；13—酒泉；14—柴达木；15—松辽；16—渤海湾；17—陕甘宁；18—江汉；19—四川；20—苏北；21—伊朗中部；29—萨哈林；30—日本；31—曾姆—沙捞越；32—暹罗湾；33—北苏门答腊；34—中南苏门答腊；35—爪哇；36—库特；37—萨拉瓦提；II—北欧板块及其边缘褶皱带：49—北海；50—中欧；51—德聂伯—顿涅茨；52—伯绍拉；53—伏尔加—乌拉尔；54—滨里海；55—北高加索；56—莫埃西；57—前喀尔巴阡；58—维也纳；59—特兰西瓦尼亚；60—潘农；61—磨拉石；62—巴黎；63—阿奎坦；64—波河；65—亚得里亚海；III—非洲板块及其边缘褶皱带：22—波斯湾；38—苏伊士；39—西沙漠；40—锡尔特；41—三叠；42—吉夫腊；43—伊利兹；44—阿赫内特；45—尼日利亚海岸；46—加蓬；47—下刚果；48—宽扎；IV—北美板块及其边缘褶皱带：72—北极斜坡；73—北极海岸；74—斯维尔德鲁普；75—库克湾；76—阿尔伯特；77—落基山；78—西内部；79—东内部；80—阿巴拉契亚；81—二叠；82—墨西哥湾；83—圣华金—萨克拉门托；84—加利福尼亚沿海；V—南美板块及其边缘褶皱带：85—马拉开波；86—马格达雷那；87—东委内瑞拉；88—普图马约；89—圣克鲁斯；90—库约；91—内乌肯；92—圣豪尔特；93—麦哲伦；94—瓜亚基尔；95—巴西沿岸；VI—印度洋板块及其边缘褶皱带：23—波特瓦尔；24—印度河；25—坎贝；26—阿萨姆；27—孟加拉湾；28—伊洛瓦底；66—卡纳尔文；67—阿马迪厄斯；邱—库珀；69—博思—苏拉特；70—吉普斯兰；71—旺加努伊

此, 致力于发现石油并总结油气的分布规律仍然是今后相当一个时期内石油地质勘探家的首要任务之一。

## 第一节 前陆盆地概论

与其他科学概念一样, 前陆及前陆盆地概念也是一个在不断发生变化的概念, 因此我们在此有必要简略地回顾其发展、沿革、充实、完善的历程。

(1) 槽台模式: 地槽迁移方向由优地槽指向冒地槽, 向地台区称前陆。在槽台模式的发展过程中, 欧洲 (Haug, 1900; Schuchert, 1923; Rutten, 1927; Kuenen, 1937; Stille, 1940; Umbgrove, 1949; Van Bemmelen, 1949; de Sitter, 1956; Kuendig, 1959; Trumpy, 1960; Aubouin, 1965)、北美 (Kay, 1947, 1951; Dietz, 1963; Holden, 1966) 和前苏联 (Belousov, 1962; Smirnov, 1968) 的一大批学者功不可没。

(2) 板块阶段: 前陆盆地的成因机制是由于逆冲推覆的构造负载和沉积物负载导致的岩石圈板块挠曲 (Wilson, 1966; Morgan, 1968; Le Pichon, 1968; Isacks 等, 1968; Mitchell 等, 1969; Dewey 等, 1970; Dickinson, 1971; Bally 等, 1980)。

(3) 盆地模拟阶段: 始自 Price (1973) 将冲断和地层挠曲沉降作用研究的有机结合。他以加拿大西部的前陆盆地和褶皱带为例, 定性地提出前陆盆地的成因源于区域均衡沉降, 这类均衡沉降是褶皱—逆冲带导致的上地壳载荷的产物。这种形式的沉降产生了前渊并成为堆积沉积物的场合。Beaumont (1981) 和其他学者的深入研究使这一理论不断得以发展并趋于完善。前陆盆地在某种程度上与其所处的板块构造背景, 尤其与其下伏的、早期的沉积盆地——通常是地台或大陆边缘有关。这一时期, 人们将前陆盆地视为沉积在与活动造山带相邻的克拉通区的沉积岩序列; 沉积物来源于造山带并向克拉通减薄, 向造山带加厚。沉积物大多卷入沉积期后的褶皱并向克拉通逆冲, 导致构造缩短和在盆地内出现生长地层现象 (Leckie 等, 1992)。

另外, 在几何学和运动学方面, Suppe (1983) 等对断层相关褶皱的几何学与运动学的研究具有原创性, 是现代构造几何学分析的理论基础; 有关断展褶皱 (Mitra, 1998) 和断滑褶皱定量分析 (Josepoblet, 1996) 的研究也具有代表性。在动力学方面, 岩石圈挠曲作用的岩石物理模拟和计算机数值模拟比较突出的如二维非均一弹性板模型 (Stockmal, 1986)、地层扩散模型 (Sinclair 等, 1991)、粘弹性三维挠曲模型 (Beaumont 等, 1988)、板内应力挠曲模型 (Cloetingh 等, 1992)、沉积负载加载的岩石圈挠曲模型 (Watts, 1992)、横向强度变化与非弹性层岩石圈挠曲模型 (Waschbusch 等, 1992) 和三维挠曲模型 (Stern 等, 1992) 等。实际上, 前陆盆地研究逐渐成熟的标志是系统性研究, 是对前陆盆地的构造变形、沉积充填和基底挠曲沉降等诸多因素的综合研究。国外研究较为成熟的地区是环太平洋域的阿尔伯特、落基山、阿巴拉契亚和特提斯域的比利牛斯、阿尔卑斯前陆盆地等。

与之相比, 国内发育许多类似于经典前陆盆地的中、新生代含油气沉积盆地, 研究较多的地区有川西 (刘和甫等, 1994; 罗志立等, 1995; 刘树根等, 1995; 蔡立国等, 1997)、准噶尔 (吴晓智等, 1996)、库车 (汤良杰等, 1991; 1996; 刘和甫等, 1994; 曹守连等, 1994; 田作基等, 1995; 何登发等, 1996; 陈发景等, 1996; 刘志宏等, 1999; 施泽进等, 1999; 贾承造等, 2000; 卢华复等, 2000; 吕修祥等, 2000; 魏国齐等, 2000)、塔西南

(肖安成, 1996; 金之钧等, 2000)、柴达木(翟光明等, 1997; 夏文臣等, 1998; 杨明慧等, 1998, 1999; 胡受权等, 1999)和鄂尔多斯(李思田等, 1995; 刘少峰等, 1996, 1999; 孙肇才, 2000)、楚雄(蒲心纯等, 1996; 朱同兴等, 1997; 谭富文等, 2000)、十万大山(张岳桥, 1999)、羌塘(李勇等, 2002)、河西走廊(毛明陆等, 1996)等。尽管国内盆地具有类似的地球动力学背景、沉积充填序列,但是与国外的典型前陆盆地相比仍然存在显著的差异。实际上,它们可能是两种不同类型的沉积盆地(陈发景等, 1992; 罗志立等, 1995; 刘和甫等, 2000; 卢华复等, 2000; 金之钧等, 2002)。

## 一、前陆盆地概念

前陆盆地通常定义为发育在线性收缩造山带和稳定克拉通之间的狭长槽地。这主要是由造山带中的褶冲带载荷引起的挠曲沉降形成的(图1-3)(Price, 1973; Dickinson, 1974; Beaumont, 1981; Jordan, 1981, 1995; Lyon-Caen等, 1985)。20世纪60年代流行的术语“前渊”(Aubouin, 1965)曾与“前陆盆地”通用。前陆盆地具有极为鲜明的构造-沉积特征(图1-4):①前陆盆地沉积充填在横剖面上呈楔状,它的最厚部分与褶冲带相邻或一部分位于褶冲带之下(Jordan, 1995);②前陆盆地沉积物主要来源于相邻的褶冲带,少数来源于该盆地的克拉通一侧(Dickinson等, 1979; Schwab, 1986; De Celles等, 1989);③挠曲隆起或前隆可能将前陆盆地的主体部分与克拉通分开(Jacobi, 1981; Karner等, 1983; Quinlan等, 1984; Crampton等, 1995)。多数学者认为盆地的一侧被褶冲带限制,而另一侧被未变形的克拉通限制。纵向上,前陆盆地通常消失于边缘洋盆地或残留洋盆地中(Miall, 1981; Covey, 1986; Ingersoll等, 1995)或弧后扩张盆地(Hamilton, 1979)。Dickinson(1974)划分出边缘前陆盆地和弧后前陆盆地。前者形成于冲断方向与俯冲方向相同的冲断带前缘中的俯冲板块上;后者发育在大陆边缘岩浆弧和与之有关的逆俯冲方向冲断带内侧的仰冲板块上。尽管对此差别已进行了20年的研究,直到上世纪末才认识到二者在地球动力学上的差别,从而识别出了两类基本性质不同的前陆盆地(Gurnis, 1992; Royden, 1993)。

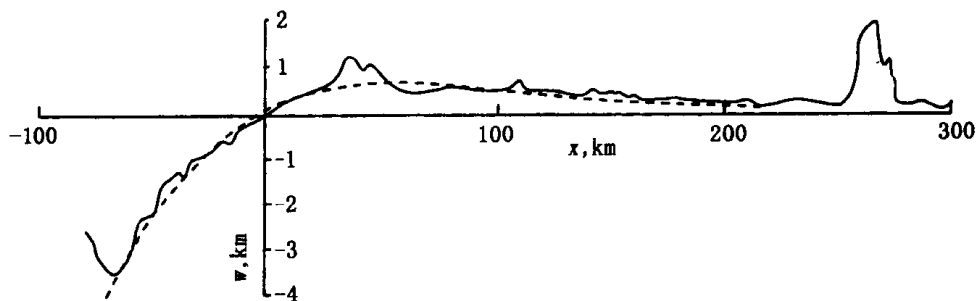


图1-3 前陆盆地地球动力学模式图(据Turcotte等, 1982)

由于前陆盆地油源主要来自下伏地层,所以在研究前陆盆地的石油地质特征时是将前前陆期与前陆期的地层统一考虑,此时的前陆盆地其实是一个空间区域的概念,并非原始定义的前陆盆地。

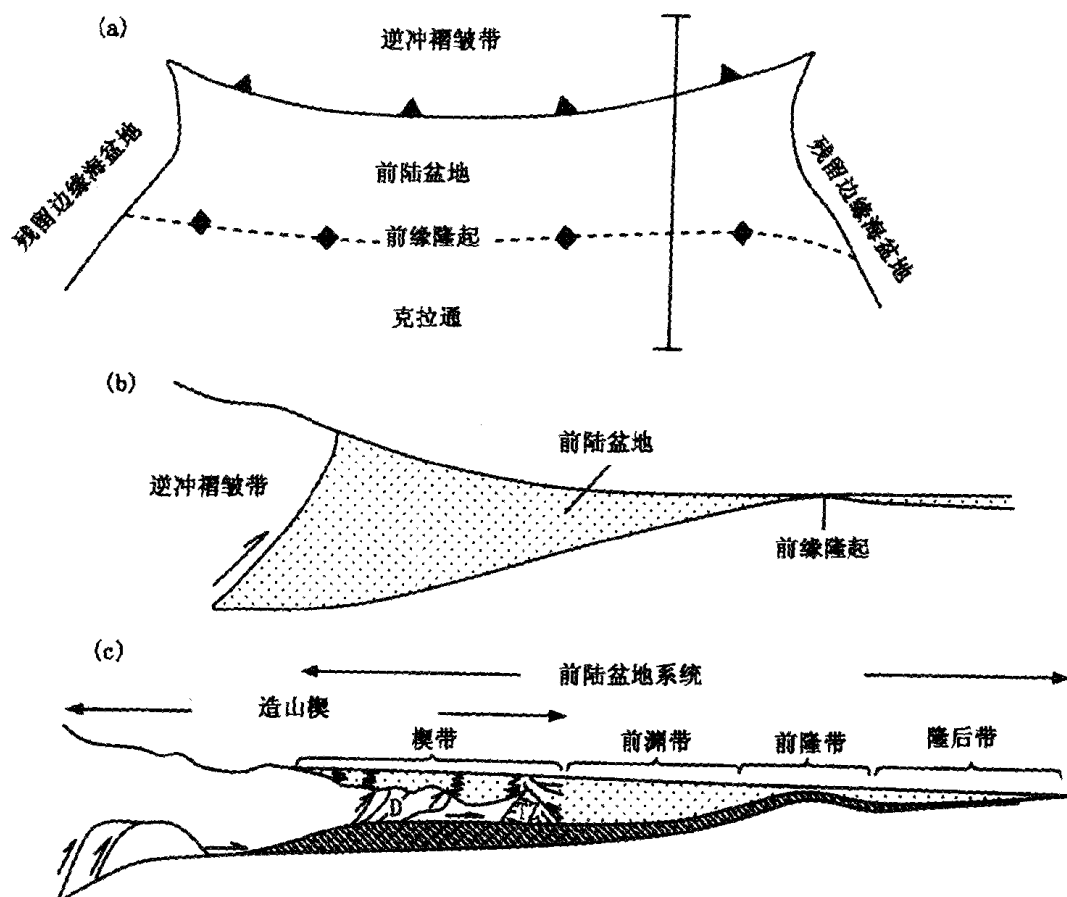


图 1-4 前陆盆地系统构造—沉积要素图 (据 De Celles 等, 1996)

(a) 典型前陆盆地的平面示意图, 两侧边界为残留的边缘海盆地, 比例尺应为  $10^2 \sim 10^3$  km 尺度范围, 右侧的垂线表示图 (b) 的横剖面方位; (b) 前陆盆地的剖面形态模型, 注意逆冲断层和盆地间的几何形态是不真实的, 垂直比例尺放大了约 10 倍; (c) 已修正的前陆盆地剖面形态模型, 具有逆冲楔顶带、前渊带、前隆带和隆后凹陷带等 4 个构造沉积带, 纵横比例基本一致。D 表示位于造山楔中的双重构造, TZ 表示三角带构造, 一般位于逆冲楔的前端部位。注意: 造山楔前缘与前陆盆地系统间有大范围的叠置

## 二、前陆盆地分类

Dickinson (1974) 引入“前陆盆地”这一术语, 并从板块构造角度提出两种成因类型: 周缘前陆盆地和弧后前陆盆地。这两类前陆盆地的差别表现在所处板块构造的位置及形成机制等方面 (图 1-5)。

### 1. 周缘前陆盆地

周缘前陆盆地位于造山带外侧, 与陆—陆碰撞 (A 型俯冲, Bally 等, 1980) 有关。在洋壳消减后, 大陆边缘随之俯冲, 前陆盆地发育在俯冲的大陆壳之上。周缘前陆盆地的板块构造位置近蛇绿岩带而远岩浆弧带。最为著名的例子就是油气储量独步天下的波斯湾周缘前陆盆地, 以及研究程度最高的阿尔卑斯山前磨拉石盆地 (晚白垩世—中新世)。国内可能包括日喀则白垩纪弧前盆地和早第三纪前陆盆地等 (陈发景等, 1996)。从周缘前陆盆地的发展历史和沉积充填序列看, 一般具有双含油气系统。

大陆碰撞造山带不同的构造演化阶段往往形成不同成因类型的周缘前陆盆地系统。李曰

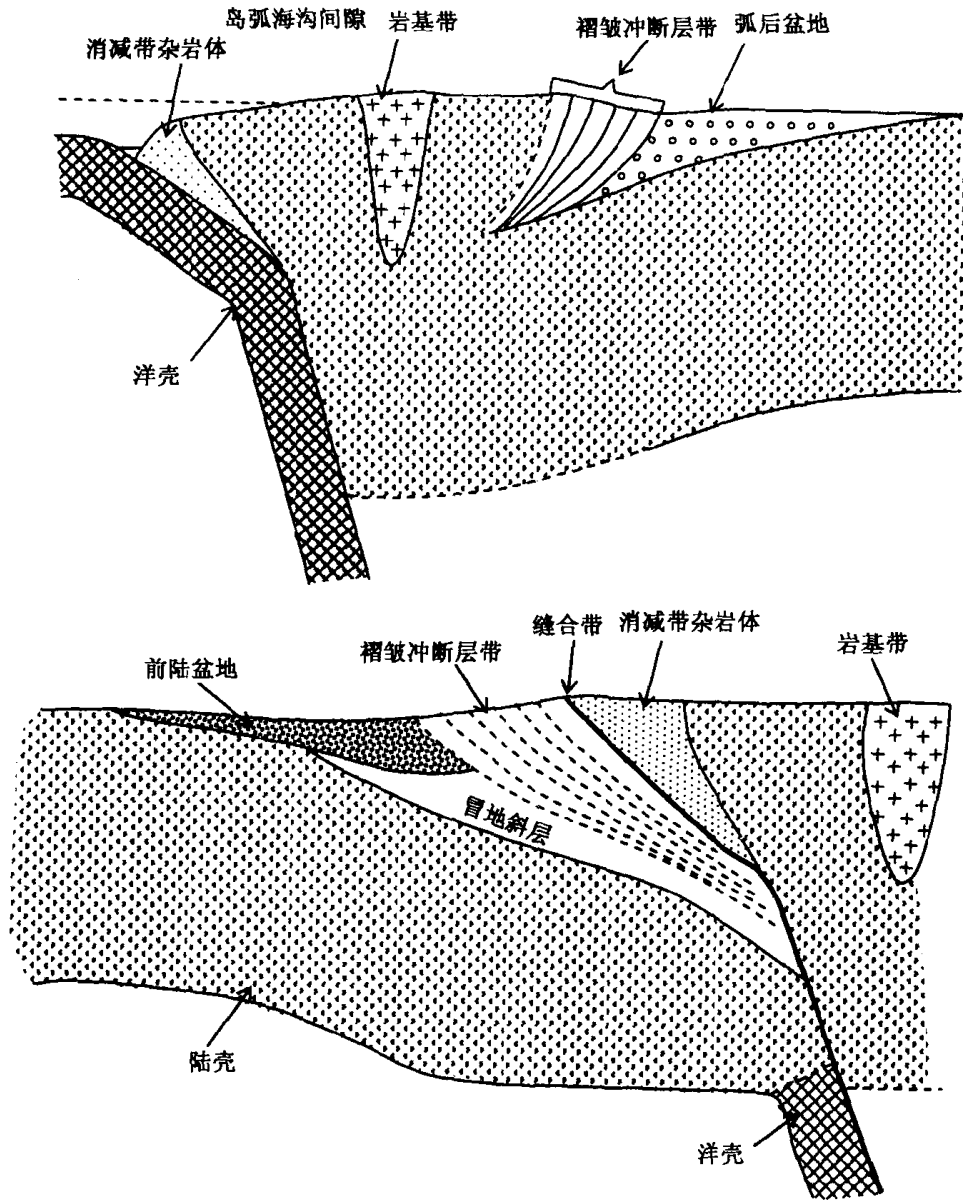


图 1-5 前陆盆地的早期分类方案 (据 Dickinson, 1974)

俊等 (2000) 根据对喜马拉雅、乌拉尔和大别山等几个典型大陆造山带的研究, 把大陆碰撞造山带的构造演化过程分为陆—陆拼接和大规模陆内逆冲推覆 (陆内俯冲) 两个阶段: 早期陆—陆拼接阶段直接在俯冲板块被动大陆边缘基础上形成的前陆盆地称为“原前陆盆地”, 后期大规模陆内逆冲推覆 (或陆内俯冲) 阶段在俯冲板块内部形成的前陆盆地称为“远前陆盆地” (它比原前陆盆地距主缝合带远)。原前陆盆地和远前陆盆地是同一大陆碰撞造山带不同构造演化阶段的产物, 是两种不同成因类型的周缘前陆盆地, 它们构成了同一大陆造山带的双前陆盆地, 而不是传统概念的单一成因类型前陆盆地。刘少峰等 (1995) 根据对秦岭造山带的研究也曾提出陆—陆碰撞的双前陆盆地系统概念, 但与前者之间存在差异。

周缘前陆盆地的挠曲沉降机制主要有两种: 第一是叠瓦冲断带的构造加载使俯冲板块向下挠曲; 第二是板块碰撞引发的驱动力。

## 2. 弧后前陆盆地

弧后前陆盆地位于岩浆弧之后，与大洋岩石圈的俯冲（B型俯冲，Bally等，1980）有关；与沟—弧系保持大致平行的关系，从而构成沟—弧—盆体系。弧后前陆盆地的板块构造位置远蛇绿混杂岩带，而近岩浆弧带。北美落基山弧后前陆盆地是位于太平洋板块向北美大陆板块俯冲所产生的内华达岩浆弧之后（Dickinson，1981），如加拿大的阿尔伯达盆地、安第斯山东侧的新生代盆地和中国台湾西部的上新世—更新世前陆盆地等。

弧后前陆盆地的挠曲沉降机制主要与弧后褶皱冲断带的构造负荷和沿岩浆弧展布的岩石圈热软化有关。变形特征与周缘前陆盆地类似，以压缩变形为主，而区别于以伸展变形为主的弧间盆地和弧后裂谷盆地。因此，弧后前陆盆地的发育与陆—弧碰撞有关，即克拉通与岩浆弧叠接。

## 3. 再生前陆盆地

再生前陆盆地是我国学者依据中国盆地发育特征提出的一种前陆盆地类型（图1-6）。中国西北地区中、新生代的造山作用与同期俯冲作用或碰撞作用缺乏直接联系，也缺乏同期的岩浆弧或蛇绿混杂岩带，因此这些造山带被解释为陆内造山带。与之相邻的盆地则称山前盆地或山间盆地。然而，这类盆地的重要特征是其与古特提斯构造阶段发育的造山带在新特提斯构造阶段的重新活动有关，因此一些研究者将这种类型的造山带称为再生造山带（邓起东等，1999），或陆内造山带、板内造山带（张长厚，1996；崔盛芹等，1999），也称为叠覆造山带（任纪舜等，1999）。它们的含意相似但互相之间也存在一定的差异。一些学者将山前或山间盆地称为再生前陆盆地（刘和甫，1995；陈发景等，1996；卢华复等，2000），或陆内前陆盆地（田作基等，1995；张明山等，1996；金之钧等，2002）或碰撞后继盆地（Graham等，1993；汤良杰，1996）。Bally（1980）称“中国型盆地”，后又改称为“喜马拉雅型盆地”。

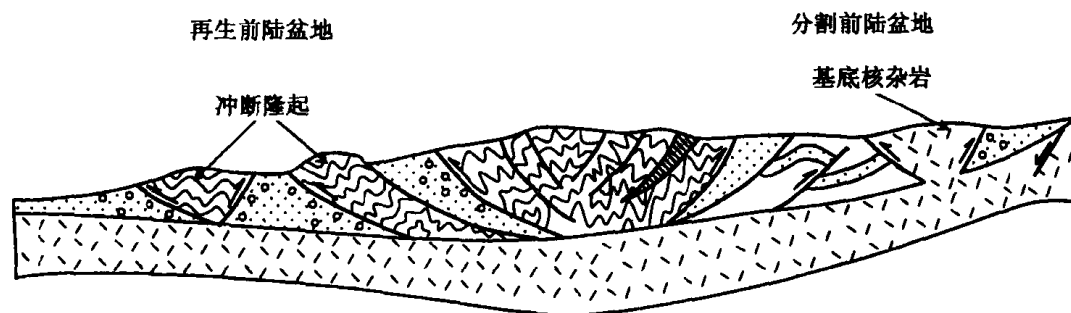


图1-6 再生及分割前陆盆地类型（据刘和甫等，1995）

再生前陆盆地的形成机制主要与古老造山带的复活所产生的地壳缩短和构造加载有关。天山地区中、新生代地壳缩短量可达300~500km，一系列叠瓦冲断层向南北两侧迁移形成构造负荷，使地壳挠曲沉降形成塔里木北缘和准噶尔南缘前陆盆地及吐哈盆地（刘和甫等，1994），祁连山前的酒泉盆地等（陈发景等，1996）。其沉积中心由造山带向克拉通方向迁移，沉降曲线具有明显的上凸特征，构造样式由造山带基底卷入的厚皮构造过渡为褶皱冲断的薄皮构造。

## 4. 分割前陆盆地

典型前陆盆地的基底简单、宽缓而连续，在同期变形中一般未被卷入；但个别前陆盆地的

基底卷入到变形之中，基底隆起使得前陆盆地分割成孤立的小盆地（刘和甫，1995）。据基底隆起与造山带走向呈正交或平行分割关系可分为：①与造山带近正交分割的前陆盆地，是由于造山带的碰撞缩短导致与其正交方向上的伸展，尤其是拗拉槽老断层的复活和新断层伸展使前陆裂解形成分割盆地，构成盆地和隆起相间的格局。贺兰拗拉槽区的巴音浩特盆地、贺兰山隆起、银川地堑和鄂尔多斯西缘拗陷的相间格局，其形成机制可能与碰撞造山带有关。美国南俄克拉何马拗拉槽区的隆起与盆地相间格局也可能具有类似的机制。②与造山带近平行的分割前陆盆地，则主要被基底和杂岩隆起所分割，北美落基山区拉拉米构造带所构成的破裂前陆盆地（Dickinson, 1981）是其典型，河西走廊的前陆盆地基底也有类似情况。

显然，周缘前陆盆地、弧后前陆盆地的确定和划分主要依据与弧—沟系的关系，特别是岩浆弧的时代和性质。大地构造相分析有助于确定板块俯冲极性和演化特点。但是这两类前陆盆地的确定标准是与阿尔卑斯造山带和科迪勒拉造山带有关的前陆盆地（Allen 等，1986），对分析中亚及中国地区的前陆盆地明显存在困难。魏国齐等（2000）将这些再生前陆盆地与弧后前陆盆地及周缘前陆盆地并列为第三类前陆盆地。刘和甫等（2000）也结合中国中、新生代前陆盆地发育状况，从盆山耦合角度做了类似的划分：①楚雄盆地为弧后前陆盆地，与中生代墨江洋向东俯冲有关；②四川盆地与鄂尔多斯盆地为周缘前陆盆地，与中生代南秦岭洋碰撞闭合有关；③天山两侧再生前陆盆地与天山再造山活动有关（图 1-7）。

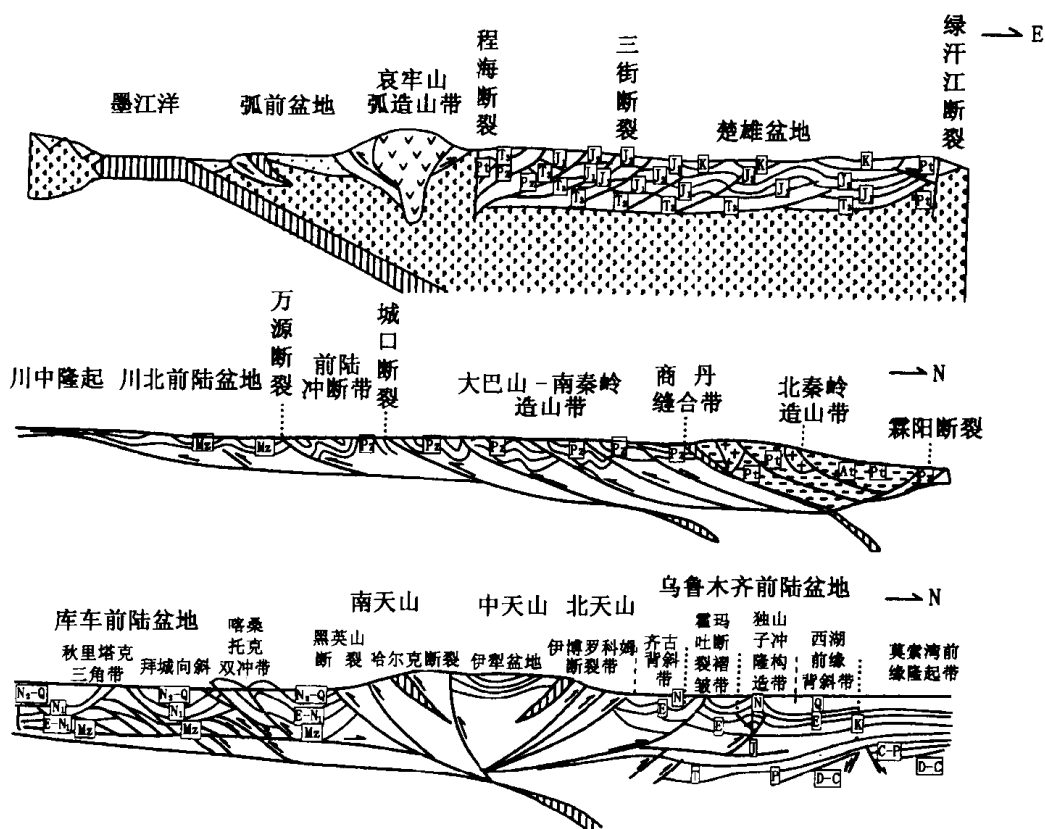


图 1-7 前陆盆地与造山带耦合类型示意图（刘和甫等，2001）

再生前陆盆地在构造样式、沉积样式及沉降曲线等方面都与其他典型前陆盆地有类似之处，但在地球动力学背景和烃源岩发育方面有较大区别。典型前陆盆地是受地幔对流驱动力控制；而再生前陆盆地受板内远程挤压力控制。在再生前陆盆地的成盆期层序中不存在海相

烃源岩，其海相烃源岩来自下伏的成盆期前被动陆缘层序，主要为克拉通海相沉积。

### 三、前陆盆地结构

前陆盆地呈不对称结构，沉积中心靠近造山带（图 1-8）。从沉积学角度主要有以下几种划分方案。第一种方案划分出褶皱冲断带、前渊凹陷带、中央沉降带、枢纽带和克拉通隆起带等 5 个带（刘和甫，1994）：①褶皱冲断带，主要由基底地层组成，也可以卷入早期前陆盆地沉积地层，是盆地沉积的主要物源区；②前渊凹陷带，为前陆盆地的沉积中心，沉积物多粗碎屑，发育冲积扇、河流及海岸平原和浅水相沉积；③中央沉降带，为盆地沉降中心，以深水相细粒沉积为主，是主力烃源岩发育区；④枢纽带，为克拉通与造山带之间的变动带，随造山带推进而向克拉通方向迁移，形成细碎屑沉积构成的相变带，沉积速率、沉降速率较低，常见超覆及不整合现象；该带发育的地层圈闭是前陆盆地油气的有利聚集带；⑤克拉通隆起带，沉积与侵蚀交替发生，沉积速率很低，有时可以成为物源区，但其搬运极性与褶皱冲断带相反。第二种方案划分出造山楔、前渊、稳定前陆斜坡和前缘隆起（何登发等，1996）。第三种方案划分出造山楔（包括冲断褶皱带和楔顶）、前渊、前隆和隆后区等（De Celles 等，1996）。第四种方案则分：①褶皱冲断带构成的活动翼或造山楔状体；②紧邻活动翼或位于冲断带下盘的深拗陷；③向克拉通方向延伸的稳定的前陆斜坡及前缘隆起等。

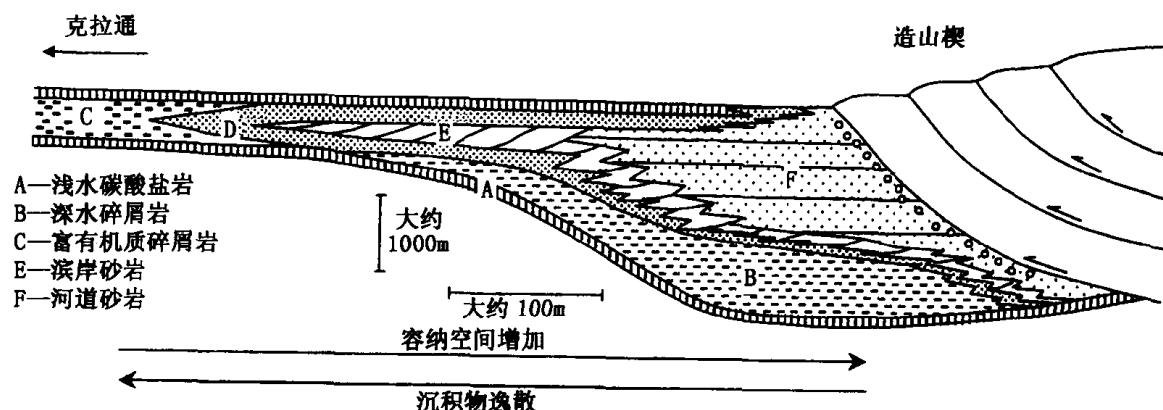


图 1-8 阿巴拉契亚前陆盆地沉积相域几何结构图（据 Castal, 2001）

从构造地质学角度，尽管前陆盆地构造样式变化较大，但也具有明显的分带性。由造山带向克拉通方向构造变动渐趋平缓，总体以薄皮变形为主，可以分为 5 个带：①相似褶皱带：常与韧性剪切带共生，主要由浅变质岩系组成，但有时出现活化基底，深变质岩系卷入其中，并逆冲到浅变质或未变质岩系之上，经典学派中称为根带；②叠瓦冲断带：常形成双重冲断带，主要沿软弱层发育断坪构造，切过强硬层形成断坡构造，从而构成坡坪式或台阶式几何特点，有时形成双重构造或断弯褶皱，经典学派称为中带；③三角带：当冲断带前缘在克拉通附近应力受阻时可以出现反冲断层，这时常构成“三角带”或“冲起构造”；传统上称为锋带，常形成断展褶皱；④平缓断滑褶皱带：主要由断层及滑脱面构成平缓褶皱，随应力降低而渐趋平缓，可以成为良好的构造圈闭；⑤弱变形前隆带：在前陆盆地的前隆带中褶皱构造基本消失，但有时可以构成良好的地层圈闭。因此前陆盆地有序性特征呈现在盆地结构、沉积层序和构造样式等方面，由于前陆盆地类型不同导致烃源岩的差异，盆地变形强度与应变率差异导致储集岩的变化及保存条件的差别等，都影响着前陆盆地内的油气丰度及



评价。此外，在前陆盆地内赋存的油气系统可以包括前陆盆地成盆前的沉积层序中的烃源岩和储层，良好的生储盖配置构成前陆盆地中油气系统的有序性。

#### 四、前陆盆地演化

前陆盆地挠曲沉降的前提是岩石圈的早期伸展变薄和热沉降，而俯冲作用的牵引力和仰冲作用的负荷力促使岩石圈挠曲形成前陆盆地。

##### 1. 从被动大陆边缘至周缘前陆盆地

周缘前陆盆地演化常常与被动大陆发育特征有关。对前造山期构造地层分析有助于了解

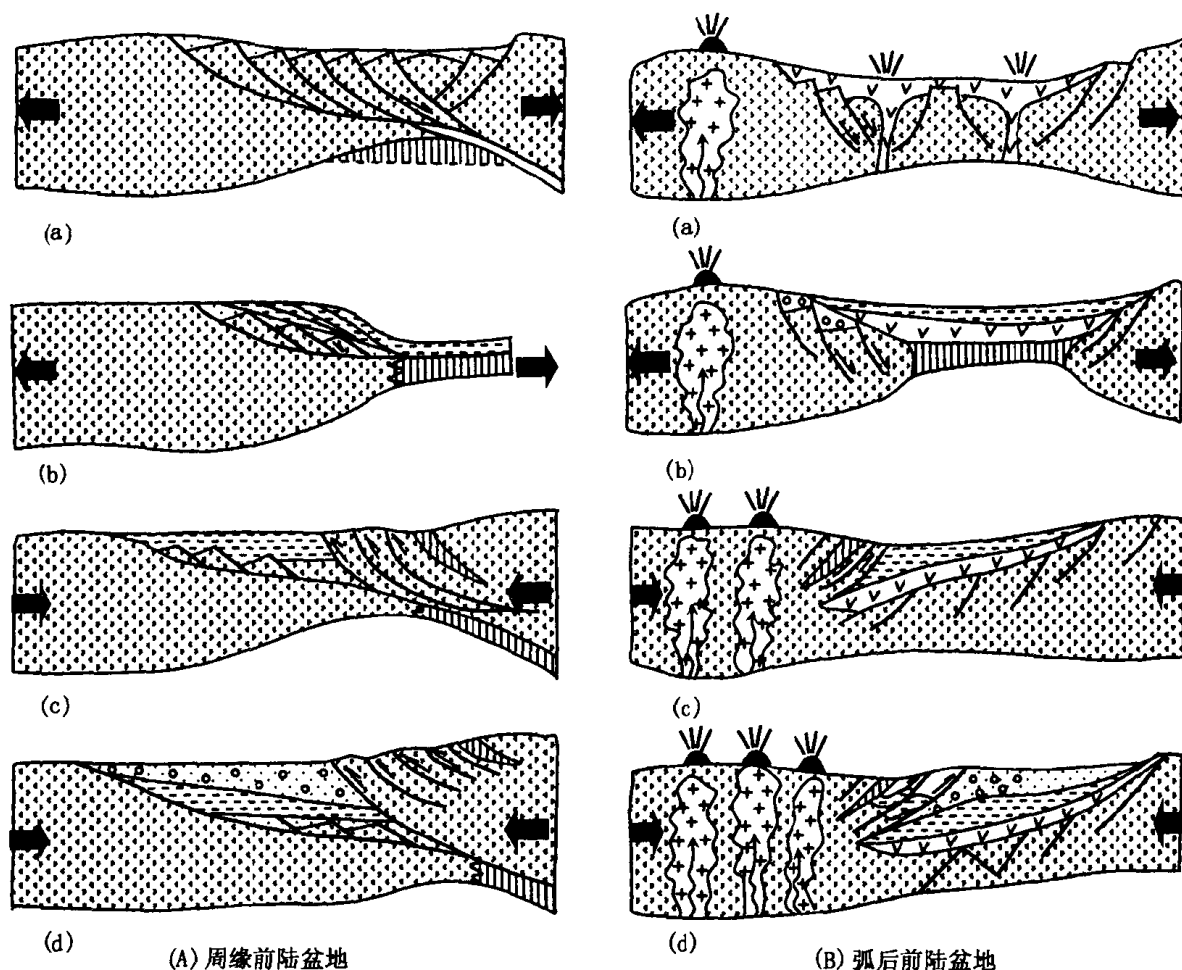


图 1-9 弧后和周缘前陆盆地演化过程 (据刘和甫, 1994)

造山带与前陆盆地发育的共扼关系，主要可以划分为 4 个阶段 (图 1-9)：①大陆裂解：大陆裂解常以三叉裂谷系开始，因此被动大陆边缘常呈锯齿状形态，形成海湾和海岬，如中国秦祁洋的古大陆边缘，对于大陆裂解过去常采用两侧对称的纯剪伸展模式，现在看来大陆裂解常呈不对称的单剪伸展模式；这一阶段以构造沉降为主；②被动大陆边缘与洋盆：随着大陆漂移，洋壳侵位和洋盆形成，这时以热沉降为主，浊流和等深流沉积大量出现；被动大陆边缘沉积相分布主要受控于陆架折点，折点以上主要为浅海碳酸盐台地沉积及硅质碎屑岩沉积，折点以下主要为斜坡—盆地相，以海底浊积扇沉积为主；陆架折点受控于大陆裂解时的断裂带，构成克拉通的不稳定边缘，发育滑塌堆积；③残留洋盆与复理石前陆盆地：随着板