

“八五”国家重点科技攻关项目
《塔里木盆地油气资源》成果报告
编号:85—101—01—01
调研报告

前陆盆地分析

何登发 吕修祥 董大忠 林永汉 编著

北京石油勘探开发科学研究院地质所
石油大学盆地分析中心
北京石油工业出版社

一九九四年九月

前 言

前陆盆地是世界上油气资源最丰富的一种盆地类型,也是世界上最早从事油气勘探与开发的地区之一。其独特的构造发育历史、多旋回的沉积演化史形成了前陆盆地多套储盖组合,也形成了前陆盆地特有的油气聚集条件,形成了很多的大型油气田。因此,分析前陆盆地发生的构造背景、构造演化、形成机制、沉积演化及油气资源特点,是前陆盆地研究的重要任务。

中国中西部前陆盆地作为中国油气工业的摇篮,已经历了半个多世纪的勘探历程,直到现在仍是较重要的石油工业生产基地。在“稳定东部、发展西部”的石油工业战略方针指引下,中西部前陆盆地具有举足轻重的地位。塔里木盆地 1958 年依奇克里克油田的发现是在库车前陆盆地断层相关褶皱中的重要突破,1977 年柯克亚凝析油气田的发现与塔西南前陆盆地山前背斜带有关,1984 年雅克拉凝析油气田的发现与库车前陆盆地塔北前缘隆起有关,近年来,英买力—牙哈—提尔根天然气工业性油气区带的建立主要与塔北前缘隆起有关。由此可见,前陆盆地分析对于塔里木盆地的油气勘探具有重要的指导意义,同时前陆坳陷与前缘斜坡的油气藏(地层型或地层—构造复合型)可能是前陆盆地油气勘探取得突破的关键。

《前陆盆地分析》调研工作是在塔指贾承造总工程师的安排与指导下进行的,没有他的支持与帮助,调研工作是很难完成的。在我们的研究工作中,特别感谢我们的导师中科院院士李德生教授、中国石油天然气总公司童晓光教授的指导与帮助,同时也非常感谢陈发景教授、甘克文教授的指导与在资料调研方面的帮助。对于中国石油天然气总公司信息研究所、北京石油勘探开发科学研究院图书馆、地质图书馆给予我们查阅文献时的帮助也深表谢意。

本报告是集体研究成果的结晶。第一、三、四、七章、第六章第二、三节由何登发执笔,第二章、第六章第四节由董大忠、林永汉执笔,第五章、第六章第一节由吕修祥执笔,最后由何登发负责统稿。

鉴于时间仓促、水平有限,文中不当之处敬请批评指正。

编者

1994 年 9 月

目 录

第一章 前陆盆地的一般概念	1
第一节 前陆盆地研究简述	1
第二节 前陆盆地的基本类型	6
第三节 前陆盆地的基本鉴别标志	13
第二章 前陆盆地的沉积特征	19
第一节 前陆盆地的沉积演化	19
第二节 前陆盆地砂岩碎屑模式	38
第三节 前陆盆地沉积的控制因素	43
第四节 前陆盆地的沉积标志	55
第三章 前陆盆地构造的几何学与运动学	62
第一节 冲断构造的几何学与运动学	62
第二节 反转构造的几何学与运动学	143
第三节 平衡地质剖面	166
第四章 前陆盆地的形成机制	171
第一节 岩石圈挠曲的基本概念	171
第二节 沉积盆地的挠曲沉降	190
第三节 前陆盆地的挠曲模型	200
第四节 前陆盆地的形成机制与构造演化	265
第五章 前陆盆地的油气聚集规律	297
第一节 前陆盆地的油源条件	298
第二节 前陆盆地的储集条件	301
第三节 前陆盆地的圈闭类型	305
第四节 前陆盆地的油气运移分析	311
第五节 前陆盆地油气分布规律	320
第六章 中国典型前陆盆地分析	327
第一节 川西前陆盆地	327
第二节 酒西前陆盆地	350
第三节 库车前陆盆地	359
第四节 塔西南前陆盆地	369
第七章 前陆盆地的油气资源与油气勘探	385
第一节 前陆盆地的油气资源特点	385
第二节 前陆盆地的油气勘探	392

第一章 前陆盆地的一般概念

前陆盆地学或前陆盆地分析是一门最近发展起来的新兴学科,它是研究在前陆构造环境中盆地形成、演化与矿产资源特点的学科。本章回顾了前陆盆地的研究发展历史,总结了前陆盆地的研究内容;从前陆的一般概念出发,论述了这种环境中盆地的基本类型与划分方案;最后根据前陆盆地的构造、沉积特征提出了前陆盆地的判别准则。

第一节 前陆盆地研究简述

前陆盆地学或前陆盆地分析是以研究在前陆构造环境中盆地发生、发展与消亡的作用过程及其矿产资源的一门学科,是盆地学或盆地分析的一个分支。前陆盆地学在最近二十年来在新大地构造学的理论与方法的指导下获得了迅猛的发展。

一、前陆盆地的研究现状

自从 1883 年 Suess 提出前陆的概念以来,许多大地构造学家无论是早期的槽台论者 (Hills, 1940; Horberg, 1949; Still, 1936; Eardley, 1951) 还是近期的板块论者 (Dickinson, 1976; Bally 等, 1980; Clamme, 1980; Hsü, 1993, 1994) 都对前陆的概念有过讨论,大都同意这样一个基本点即前陆是稳定区(克拉通)和活动区(地槽或造山带)之间的过渡带,发育在前陆上的盆地位于陆壳之上。

对于克拉通与活动带之间这一过渡带上的沉积盆地的沉积作用也早已有过研究,如复理石、磨拉石等岩石组合概念的引用,尽管现代沉积学对这两个术语不一定认可,但它们的岩石地层意义无可厚非。

我们可以将前陆盆地研究划分为三个阶段:一是槽台说发展时期;二是板块构造学发展时期;三是盆地模式发展时期。

1、槽台说兴盛期的前陆盆地研究

在槽台说的典型模式中,由优地槽向冒地槽(即优冒地槽偶)方向地槽逐渐迁移,向地台区即出现前陆,前陆受后期地槽回返的影响严重。在一些前苏联学者的地槽演化模式中,前陆区位于地向斜向地台的一翼,由硬砂岩建造、板岩建造、石灰岩建造、上陆屑建造发展成为山前拗陷(Foredeep),或由下陆屑建造、硅质火山岩建造、石灰岩建造、复理石建造发展成为边缘拗陷(Marginal deep)。在这一阶段的研究中,Weeks (1952)、Dallmuss

(1955)、Uspenskaya(1977)、Olinin(1967)等对前陆盆地都有过不同的定义或称谓。

2、板块学说发展期的前陆盆地研究

在大洋海沟的重力测量中首先发现了大洋岩石圈板块的挠曲作用,这一发现推动了对大陆岩石圈尤其是前陆这一过渡区挠曲现象的研究,并探讨前陆区盆地的成因。在对盆地成因进行研究并予以分类的学者中,首推 Dickinson(1977)对前陆盆地的分类(见《板块构造与油气聚集》)。他将前陆盆地划分为周缘、弧后及破裂三类,并提出了前陆盆地沉积物源砂岩骨架组分的三角判别图解(见《板块构造与沉积作用》),至今仍是判断物源的依据之一。

Bally 等(1980)认为前陆盆地与巨型缝合带有关,其发育受 A 型俯冲作用控制; Kingston (1984)、Klemme(1980)、Bois(1980)也提出了与前陆盆地相似的一些术语。

这一阶段前陆盆地研究的热潮是二十世纪八十年代初期美国落基山逆掩带油气田的发现与大规模油气勘探的兴起,在冲断岩片之下大型油气田的发现促使人们重新认识褶皱—冲断带的构造并予以重新评价。高精度地震反射剖面帮助人们取得了地下构造的“图像”,在这一今天被许靖华(1994)称作日尔曼大地构造相的单元内,冲断带的构造样式、构造的几何学与运动学研究、平衡地质剖面的建立与发展都取得了明显的进展,标志着前陆盆地构造研究进入一个新阶段。

以板块构造理论为指导来研究前陆盆地的沉积、沉积相和沉积环境也取得了明显进展,如前陆盆地(如加拿大阿尔伯塔盆地)沉积体系的建立,反映气候作用的旋回地层学的发展等。

3、前陆盆地模式发展时期

自从 1973 年 Price 首次将冲断作用、地层沉积、挠曲沉降有机地结合在一起讨论前陆盆地的演化时,他或许已预示了前陆盆地分析的发展方向即盆地模式阶段。盆地模式概念是系统科学在地球科学中的应用与发展。

首先这一阶段深化了岩石圈挠曲作用的概念。岩石圈的抗挠刚度与岩石圈的有效弹性厚度有关,因之有岩石圈的流变学分层模型,出现了弹性板块与粘弹性板块的概念。

前陆盆地挠曲沉降的动力学研究取得明显进展,盆地模拟技术飞速发展,无论是岩石物理学实验,还是计算机数值模拟都取得了较好的结果。如 Stockmal(1986)二维非均一弹性板块模型、Sinclair(1989、1992)等人的地层模拟的扩散模型、Beaumont 等(1984、1988)的粘弹性三维挠曲模型、Cloetingh 等(1988、1990)的板内应力挠曲模型、Watts(1981、1989、1992)的进积沉积负荷的岩石圈挠曲模型、Waschbusch 等(1992)的横向强度变化与非弹性屈服大陆岩石圈的挠曲模型、Stern 等(1992)的三维挠曲模型等都从不同侧面探讨了前陆盆地沉降及成因的机制。

前陆盆地模式研究中一个明显进展是层序地层学理论的应用。基准面变化、可容空间、构造沉降、沉积物供给等因素的综合作用控制了地层的沉积结构,沉积演化受控于上述四个变量。

将前陆盆地的构造变形作用、沉积作用、沉降作用等因素有机结合起来研究盆地整体

的演化在阿尔伯塔、落基山、阿巴拉契亚、磨拉石等前陆盆地都已取得了明显的进展,表明了前陆盆地模式理论的发展已趋于成熟。

标志这一阶段研究发展的主要成果除一系列的论文之外,较有影响的是 Allen(1986)主编的《前陆盆地》、Macqueen 等(1992)主编的《前陆盆地与褶皱带》(美国石油地质学家协会丛书之五十五)、Allen(1990)编著的《盆地分析原理与应用》等著作。

国内对前陆盆地的研究较晚,但已有一定的成效。八十年代中期在逆冲带的找油热潮如鄂尔多斯盆地西缘、准噶尔盆地西北缘、四川盆地龙门山地区的油气勘探为逆冲带的构造解析提供了思路。在前陆盆地理论研究方面,刘和甫等(1993,1994)对龙门山、天山北缘前陆盆地的研究较突出,本书作者应用前陆盆地理论对塔里木中新世代前陆盆地也做过一定程度的研究。

国内系统论述前陆盆地理论的著作并不多见,其中陈发景教授主编的《前陆(挠曲)盆地分析》(中国地质大学讲义,1992)、甘克文教授主编的《前陆盆地的沉积层序、构造风格与油气聚集》(北京石油勘探开发科学研究院内部报告,1994)是两本重要著作,对国内前陆盆地的研究有理论指导及方法学意义。

二、前陆盆地的研究内容与研究方法

李德生教授从石油地质学的角度出发,指出了盆地分析的研究内容与研究思路;陈发景教授曾指出要研究盆地构造、沉积的十大要素,盆地特征和油气关系的十项内容,这对于我们研究前陆盆地有重要的指导作用,结合我们的研究,前陆盆地分析侧重在以下几个方面:

1、前陆盆地的沉积学

- (1)研究前陆盆地的沉积背景;
- (2)研究前陆盆地的沉积相、沉积体系及沉积演化;
- (3)研究前陆盆地的物源(如砂岩骨架组分研究)、古水流、古生态等;
- (4)前陆盆地的层序地层学研究;
- (5)前陆盆地构造对沉积的控制研究,如古地貌、基准面变化、冲断作用等构造运动的不均一性、沉积物供给等对沉积的影响;
- (6)气候如米兰柯维奇效应对沉积作用的影响。

2、前陆盆地构造的几何学与运动学

前陆盆地的构造主要为冲断构造、反转构造、走滑构造、在前缘隆起的局部地区还发育伸展构造。

(1)构造样式研究

前陆盆地的冲断构造主要为台阶状逆断层及相关褶皱、叠瓦构造、双重构造、三角带、构造楔形体等;在平面上走滑构造可出现走滑双重构造系;反转构造如早期被动大陆边缘中正断层的反转;伸展构造如前缘隆起两翼的正断层及其组合和轴部的张(扭)性断裂等。

(2)构造变形的几何学与运动学分析

- ①计算地层的缩短量与伸展量;
- ②确定走滑构造中的走滑距离;
- ③利用生长地层确定褶皱作用与断裂作用的速率;
- ④确定断裂作用序列;
- ⑤利用断层转折褶皱法恢复冲断层的演化;
- ⑥前陆冲断体系的几何学演化;
- ⑦平衡地质剖面制作;
- ⑧研究伸展构造及反转构造类型,计算伸展率和反转率;
- ⑨冲断作用、伸展作用、反转作用的时期、期次、性质、运动幅度、方向等的确定。

(3)不整合分析

- ①不整合的类型、成因及展布范围;
- ②隆起成因及迁移形式;
- ③剥蚀史分析及剥蚀量的计算;

(4)构造沉降分析

(5)构造迁移分析:如沉降中心、沉积中心的迁移、运动(如冲断、伸展、反转、隆起)形式、方向的迁移

(6)构造变形的实验模拟与数值模拟。

3、前陆盆地构造的动力学研究

(1)前陆盆地岩石圈物理性质研究

- ①有效弹性厚度、视弹性厚度、热厚度及抗挠刚度;
- ②流变学特征;
- ③地温场特点;

(2)前陆盆地的构造背景与构造应力场

(3)前陆盆地的挠曲模型

- ①前陆盆地的边界条件;
- ②前陆盆地挠曲的实验模型;
- ③前陆盆地挠曲的数值模型;

(4)前陆盆地的构造演化

- ①库仑楔形体的动力学增生变化;
 - ②前陆冲断带的演化发育;
 - ③前陆盆地的构造演化;
- (5)前陆盆地类型及成因机制。

4、前陆盆地的油气聚集特点研究

(1)前陆盆地的构造特征研究

- ①构造样式与圈闭类型;

②圈闭发育特点;

(2)前陆盆地生油岩研究

①生油气坳陷分布;

②热演化与成熟度;

③初次运移与排烃期;

(3)前陆盆地储盖组合分析;

①储、盖组合发育特点如平面、剖面分布特征;

②储层的储集性能、影响因素;

③储集相带的展布与评价;

④盖层的封闭性能;

⑤储盖组合配置关系分析;

(4)前陆盆地油气的运移与聚集分析

①运移时期的确定;

②运移通道研究,逆冲断裂中裂缝网络的通道作用;同构造不整合的运移作用;

③流体势分析;

④成藏时期与成藏模式研究;

⑤成藏演化研究;

⑥油气系统研究;

(5)前陆盆地的油气资源

①油气田的分布特征:层位分布、平面展布;

②前陆盆地的油气勘探:油气远景区带、勘探程序及经验教训。

前陆盆地分析是一项综合性研究工程,盆地分析的一般理论、方法完全适用于它,但在研究时,须注意以下几个方面:

1)层序地层学的应用

前陆盆地近物源,受物源区古地貌、气候、隆升程度、搬运通道与方式、基准面等的控制,在研究层序特征时,要注意这种特殊环境的制约特性;

2)冲断构造学的研究

基于大量的野外露头资料、物探(重力、磁法、大地电流测深、地震反射剖面)资料与钻井地质资料才能开展这方面的研究,实验模拟与计算机模拟是两大重要手段,平衡地质剖面技术是检查构造学解释正确与否的一重要方法;

3)挠曲模型研究

针对前陆岩石圈的特点,建立三维挠曲模型,再现前陆盆地的挠曲演化是前陆盆地成因分析的一个关键;

4)前陆盆地油气资源研究

前陆盆地的油源层、储盖层分布纵向上有一定的侧列性,这种性质制约了油气的分布,但储盖组合的配置与展布分析较为关键,它是建立成藏模式、分析成藏演化的基础;油气系统概念的正确应用也是判断油气聚集区的重要一环。

第二节 前陆盆地的基本类型

一种盆地类型有其独特的构造背景、沉积发育与构造演化,这些特征也就成为地质学家判断这类盆地的准则;然而由于各人的学术观点、水平和对地质情况的了解程度的不同和地质现象的多解性又往往使地质学家对同一盆地得出大相径庭的结论。对同一现象的认识,由感性认识上升到理性认识,再由归纳与推理上升到概念或定义,这是一种逻辑思维过程,概念是对同一现象本质规定性的认识与确定,但往往舍去现象间的差异;据基本概念对未知现象进行认识、判断与推理时,这种概念框架又常常约束人们的思维,不能更进一步地去把握现象的本质,而停留于概念与现象的表面。盆地模式概念的提出与应用是地球科学发展至今的主要成就,它把沉积体系、构造地质、岩石学和大地构造背景描述系统化为一系列的盆地模式^[1],应该说是系统科学在地质学中的应用;而在具体运用盆地模式时,又往往违背盆地模式论者的初衷,未完全掌握一个盆地的构造沉积演化、结构及大地构造背景时就套用某一类型的盆地模式,企图运用这一类型的盆地的模式概念与方法去印证所研究的盆地。姑且不论每个盆地的特殊性,就这种研究的思维方式而言,也有本末倒置的趋向,造成概念上的混乱。前陆盆地的理论在最近二十年取得了迅猛的发展,但这类盆地理论与模式有它的适用范围;必须研究实际的盆地才能在借鉴盆地模式时有依据,同时,也必须领会这类盆地的理论与方法才能使对这类盆地的分析更进一步。

一、前陆的概念

前陆(Foreland)一词在海洋学、地质学、冰川地质学、构造地质学中有不同的意义^[2]。如在海洋学中前陆指(1)或高或低从海岸向水体(海洋)突出的大片陆地,即岬角(Headland Promontory)或三角形前陆(Cuspate Foreland);(2)在悬崖底部波浪和潮流形成延伸的低平地,即滨海平原发育的初始阶段;(3)堤坝向海一侧天然海滨部分,接受波浪冲击抵消其能量。在冰川学中前陆指现今或过去为山岳冰川覆盖的低地;在一般地质学中前陆指在其它陆地前缘或与其毗邻的陆地,它们之间存在自然地理关系。本文主要讨论的是构造地质学中的前陆概念,这是 Suess(1883)提出的一个概念,为后来的地质学家所引用、发展。Hills(1940)将其定义为“地槽沉积物变形时,向着它运动的稳定地块”;Horberg(1949)等定义的前陆是“……在一系列逆冲带前面的地区”;Stille(1936)的前陆概念是指“不再受阿尔卑斯式褶皱作用的大地构造单元,至多不过发生日尔曼型的变形”;Eardley(1951)的定义是“在阿尔卑斯大量复杂的地槽沉积物,加上侵入岩,被向北推动了许多英里,运动所向的北面的稳定的陆地即前陆”^[3]。Eardley(1951)的定义已很接近于现今的前陆概念^[1],前陆(也称前陆地),是地壳的大陆部分,并且是克拉通或地台的边缘;确切地讲,前陆是指与造山带或活动带毗邻的、稳定的大陆部分,造山带的岩石向着前陆逆冲或掩覆^{[4][5][6]}。孙肇才(1984)曾把前陆的这种特殊构造背景形象化地称为:“面朝活动带背

依稳定区”^[3]。

与前陆相似的一个概念是前渊(Foredeep),也称外地槽(Exogeosyncline)。指毗邻岛弧凸侧或其它造山带的狭长凹陷,邻近克拉通,由造山带向前陆逆掩的结果而形成的凹陷,其中被来自隆起着的山脉上剥蚀的大量碎屑物质所充填^{[2][4]}。前渊与边缘拗陷(Marginal Deep)也有一定差别。边缘拗陷或前缘拗陷是地槽褶皱隆起的过程中,在其与地台交界的地区,同时形成了大型带状拗陷,它记载着地槽的封闭时刻,其结构往往不对称,与地槽毗邻的一边具有地槽的特征,而与地台毗邻的一边又具有地台的特征,即是一个过渡性质的大地构造单元;它与前渊在大地构造性质上很相似,所不同的是形成的时间,前渊是在地槽褶皱隆起之后的一段较长时间后才形成的大型带状拗陷,由于褶皱带的再度活动,在山前拗陷中堆积了大量的磨拉石建造,磨拉石建造往往多次出现,且逐渐向地台迁移。上述源于槽台说的概念,强调了造山期前或同时,造山期后发育不同的盆地,如“复理石是同造山期的、磨拉石是后造山期的。”

用板块构造的原理来研究前陆的构造背景,认为前陆是毗邻活动带的稳定的克拉通部分;造山作用理论认为:“造山作用是持续不断的(从全球构造出发),但运动方式是有变化的,这种变化不是均变而是有阶段性的;当把每个阶段的运动方式联系起来,就可见造山活动是连续的过程”(许靖华,1993,1994;朱夏,1991),这就是构造运动的活动论与阶段论思想,运用这种观点看待前渊或边缘拗陷时,它们都形成于一种聚敛挤压环境,为构造不同演化阶段前陆的表现,这也就是国内外一些学者将前渊看成前陆盆地的原因,本书也采取这种观点;实际上,在讨论前陆盆地的演化时,可以更加深刻地体会这一点。前陆盆地是全球构造发展史中一特定单位的表现形式,在它的发生、发展或消亡的过程中,有其不同的盆地充填或构造模式。

二、前陆盆地的概念

前陆盆地(Foreland Basin)即在上述前陆构造背景中发育的盆地,具体地讲,是沿造山带大陆外侧分布的沉积盆地,有四个基本特点:靠近盆地的褶皱—冲断带的构造负荷促使盆地弯曲沉降;盆地横剖面明显不对称;盆地靠近造山带一侧,在其演化过程中遭受变形作用;盆地的克拉通一侧与地台层序逐渐地合并。

前陆盆地的发生奠基在某一时期的克拉通或陆壳向活动带或洋壳的过渡带上,即被动大陆边缘之上,被动大陆边缘层序构成前陆盆地的基底,前陆盆地的演化记载着由伸展边缘到聚敛、碰撞(陆—陆,弧—陆碰撞)的过程。

褶皱—冲断带的构造负荷是盆地挠曲沉降的基本诱因。这种冲断作用称之为“A”型俯冲(据 Amperfer)。根据许靖华(1994)的观点,这些褶皱—冲断层带位于他所划分的造山带大地构造相中的日耳曼大地构造相(Alemanide Facies)^[7],其中的地层主要是大陆边缘或残余岛弧上的浅海沉积,也可有少量深海沉积的复理石相,还常有磨拉石建造;构造相内的地层不发生变质。“盆地近造山带一侧的变形作用”,常为冲断推覆构造,以台阶状逆断层及相关褶皱的发育为特征。

盆地结构的不对称性表现在近造山带一侧较陡、近克拉通一侧宽缓。由造山带向克拉通方向,前陆盆地可划分为三部分^[3]:

(1)褶皱—冲断带(常为薄皮构造)构成的活动翼(Thrust belt)或造山楔形体;

(2)紧邻活动翼或位于冲断带下盘的深拗(凹)陷;

(3)连接深拗陷进一步向克拉通方向延伸的稳定前陆斜坡(Stable foreland slope)及前缘隆起(Forebulge)。

前陆盆地经前缘隆起常与克拉通内盆地(Intracratonic basin)相连。McCrossan(1973)将上述前陆盆地的三部分结构分别称之为变形的克拉通边缘(Deformed Cratonic Margin)、克拉通边缘(Cratonic Margin)及克拉通中央(Central Craton),二十世纪七十年代在美国落基山地区逆掩带内油气田的发现掀起了对逆掩带结构研究的热潮。

需要说明的是,在前文以及以后的章节中我们自觉或不自觉地涉及复理石(Flysch)和磨拉石(Molasse)的概念。这类早期的地层沉积组合概念,当初仅有岩石地层组合的意义,如瑞士 B. 施图德(1827)在研究阿尔卑斯第三纪地层时,把坚硬的黑灰色页岩、砂岩韵律性组合称为复理石(瑞士方言,页岩状岩石之意),把松散的长石砂岩组合称为磨拉石(法语方言,松软之意)。仅在后期才和一定的大地构造环境相联系,如法国的 M. A. 贝特朗(1897)首先提到岩石地层组合与地槽发展的关系,认为复理石和磨拉石是地槽旋回中一种周期性出现的相;英国 O. T. 琼斯(1938)根据早古生代壳灰岩相和笔石页岩相的分异,已经注意到沉积作用与大地构造背景的关系;美国 W. C 克伦宾等(1951)提出控制沉积岩形成的构造环境的构造境(Tectoscope)概念,并指出杂砂岩相与优地槽有关,纯净的石英砂岩与稳定陆架有关;F. J. 裴蒂庄(1957)结合地槽旋回提出不同阶段的沉积作用的特点,认为复理石属杂砂岩套,磨拉石为次杂砂岩套;法国 J. 奥布万在总结地槽发展史时,提出了前造山期—前复理石—磨拉石 4 个阶段的沉积组合特征,基本上成为这种概念应用的基础。板块构造学说产生以来,不同学者对这种概念提出了质疑(Reading, 1972; Miall, 1981, 1990; Bally 和 Snelson, 1980),他们认为,组成复理石的沉积相可以出现在许多大地构造背景中,其中有些是在原始意义为非造山的环境中;与原来瑞士磨拉石相似的冲积沉积物至少可以在十二种不同的板块构造背景中出现。由此可见,将复理石与磨拉石作为大地构造背景的反映是不妥当的,从其普遍意义上讲,复理石指的是造山前或早期造山条件下的深水碎屑沉积物;复理石在地层顺序上向上常变为磨拉石,磨拉石是一种浅海到非海相的沉积,它们是在晚期造山条件到造山期后条件下形成的(许, 1970; Van Houten, 1973)。我们在前陆盆地的研究中,舍去了复理石和磨拉石与大地构造背景的联系,取其作为沉积环境或演化的某些标志,在这种意义上我们仍然引用复理石与磨拉石的概念。

三、前陆盆地的基本类型

不同的大地构造学家根据他的盆地分类准则对前陆盆地有不同的划分与理解。根据板块构造学说,对前陆盆地的经典分类如 W. R. Dickinson(1976)的分类(图 1—1):

(1)周缘前陆盆地(Peripheral foreland basin):形成于大陆壳表面向下拖 与碰撞造山

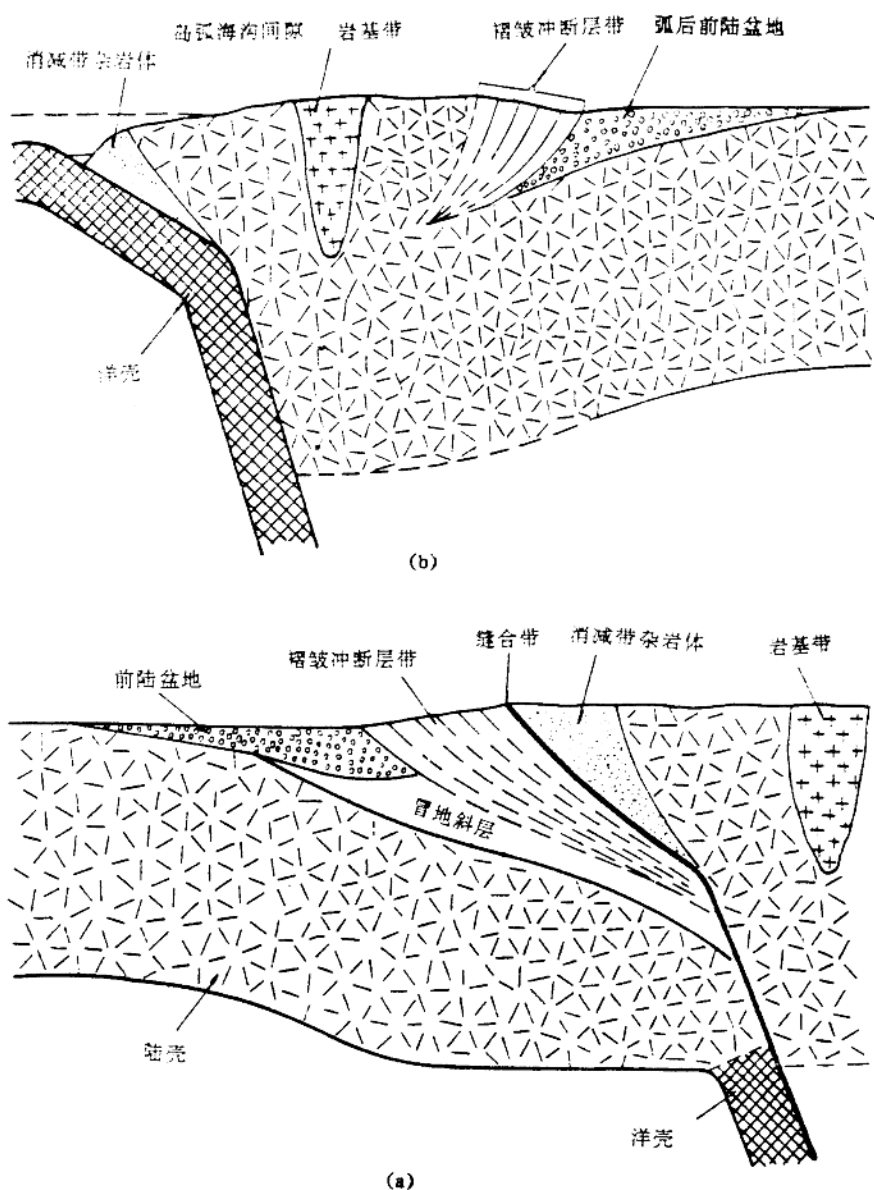


图 1—1 前陆盆地两种基本类型。

(a) 周缘前陆盆地；(b) 弧后前陆盆地。

(据 Dickinson, 1977)

缝合线带相接之处,相邻造山带倒向盆地,蛇绿岩缝合线带比岩基岩浆带和火山岩带更靠近盆地;

(2)弧后前陆盆地(Retroarc foreland basin):形成于大陆壳表面向岛弧造山带的后侧方向向下拖,相邻造山带是遥远地倒向这类前陆盆地,蛇绿岩消减杂岩体比岩基岩浆带和火山岩带更远离这类盆地。

(3)破裂前陆盆地(Broken foreland basin):盆地的形成是因基底卷入前陆变形作用,造成了块状隆起和基底一核部褶皱所分隔的孤立盆地,这种变形样式可以发生在周缘环境或弧后环境中。

周缘前陆盆地如北阿尔卑斯山山前磨拉石盆地、波斯湾第三纪盆地等,弧后前陆盆地如北美中生代岩浆弧以东落基山山前的海相白垩系、加拿大阿尔伯达盆地和安第斯山东面的新生代盆地。我们应注意弧后盆地与弧后前陆盆地之间的区别,前者形成于岛弧后的裂谷作用和海底扩张,与岛弧—海沟系板块俯冲作用下岛弧后的次级对流环有关;后者形成于聚敛环境,与前陆盆地毗邻的山区中的构造单元是前陆褶皱冲断带,而并非一个古岛弧。后者的形成是由前者的前缘弧与大陆碰撞的作用结果,当弧—陆、弧—弧碰撞不完全时,就会形成残余弧后盆地,残余弧后盆地与前陆盆地的区别在于两者的基底构造以及沉积历史不相同,残余弧后盆地基底为海底扩张形成的洋壳(若弧后断裂作用在海底扩张期之前就已停止,这些盆地的下面可能是薄陆壳),深海沉积物构成其底部层序。根据许清华教授(1993,1994)弧后碰撞造山作用的理论,绝大多数造山带构造为弧后盆地消减、碰撞形成,造山带有一个指向克拉通的构造方向。这样,世界上的大多数前陆盆地均为弧后前陆盆地。

Bally 和 Snelson(1980)对前陆盆地采用了不同的术语,称之为与挤压型大缝合线的形成相伴生的刚性岩石圈上的缝合带周缘盆地(Perisutural basin),其形成与A型俯冲有关,认为A型消减边缘附近的大陆壳上的前渊和伏于地台之下的沉积物或环形海沟有两种类型:(1)具有埋藏地堑但没有或很少有块断的对冲断层;(2)以块断为主的。

在国外的早期盆地分类方案中,将这类盆地 Weeks(1952)称为活动带盆地,相应地有边缘盆地或陆外盆地、陆内盆地、山间盆地等类型;布罗德称为山前拗陷含油气盆地(如古生代褶皱山脉山前带、中生代褶皱山脉山前带);Bois(1982)认为它们是与活动带有关的或聚敛带上的盆地,如为褶皱前陆盆地所覆的边缘盆地、被未褶皱前陆盆地所覆的边缘盆地、克拉通边缘上未褶皱前陆盆地、褶皱的前陆盆地等。这些盆地分类大都依据盆地所处的大地构造背景、盆地所在构造单元进行命名。

在前陆盆地的最近研究中,据前陆盆地发育在弹性板块或粘弹性块之上有一种流变学的分类,即弹性与粘弹性板块上的前陆盆地(A. B. Watts, 1992; Beaumont 等, 1988),二者在盆地演化上有一定的差异性,在后继章节中将讨论这个问题。在研究挤压环境中的冲断作用时, P. M. Shannon 和 D. Naylor(1989)提出了前陆盆地发育的一种模式,提出了大前陆盆地(Major foreland basin)和小前陆盆地(Minor foreland basin)的概念,认为前陆盆地的实际位置取决于拆离面的位置和仰冲板片的厚度(图1—2)。

国内学者对前陆盆地的分类研究也取得了一定进展。如甘克文(1994)根据盆地沉积时的大地构造背景和成因机制将前陆盆地划分为边缘弯曲、边缘块断、碰撞前渊和弧后前

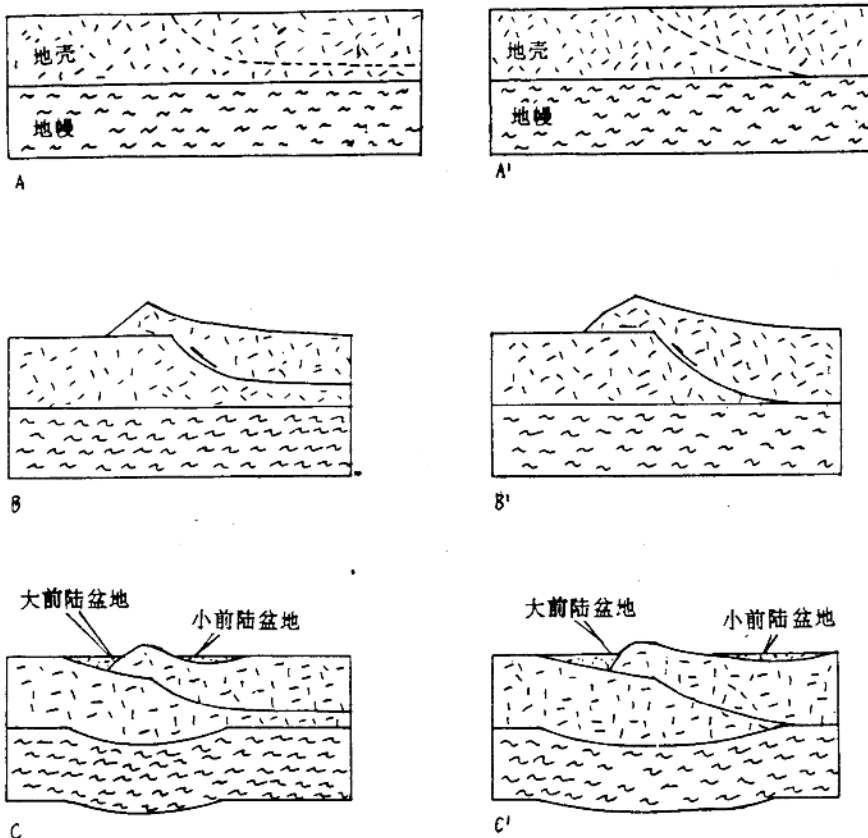


图 1—2 冲断与地壳挠曲响应形成的前陆盆地

拆离面可位于地壳内部(A,B,C)也可处于壳/幔边界(A',B',C'),

前陆盆地的确切位置(尤其是小前陆盆地)受控于拆离面的位置和冲断片的厚度

陆四种基本类型。边缘弯曲盆地是大陆克拉通分裂时边缘整体弯曲沉降形成的周边沉积盆地,属前陆盆地的早期阶段,由于古生代为泛海相沉积,多具宽阔大陆架浅陆表海的沉积特征,外侧则向陆缘海或冒地斜沉积过渡;边缘块断盆地,是大陆克拉通分裂时,边缘基底块断沉降形成的盆地;碰撞前渊盆地,沉积物赖以堆积的沉降作用是由于不同陆块的碰撞,不但封闭了边缘海,还使盆地的周边地貌和沉积物源发生逆转,这类盆地常是前陆盆地后期发育阶段,当然并非所有的前陆盆地都发育前渊期堆积;弧后前陆盆地,位于克拉通基底之上,邻近或与现存B式俯冲相关的火山弧带(据甘克文等,1994)^[10]。

我们业已知道前陆盆地奠基在被动大陆边缘之上,被动大陆边缘是岩石圈作用发展而成,属于一种伸展构造环境,以碳酸盐岩、页岩等浅水大陆架沉积为主,向外过渡至陆坡陆隆沉积;前陆盆地是一种压性构造,在由被动大陆边缘转化成聚敛型大陆边缘即有冲断作用等发生时,真正的前陆盆地层序才开始发育。在这个意义上,甘克文教授划分的第一、

二种前陆盆地类型应为被动大陆边缘盆地,非严格意义的前陆盆地。

陈发景教授(1992)曾提出挠曲类前陆盆地的概念^[1]。他认为有一些盆地的挠曲沉降作用类似前陆盆地,但并不毗邻造山带,可称之为挠曲类前陆盆地,主要有:

(1)在前陆地区由于基底拆离作用以及伴生的为逆冲断层上升块体产生的构造负荷作用,在叠置的隆起块前缘分布挠曲类前陆盆地,如落基山地区的风河盆地等(图 1—3);

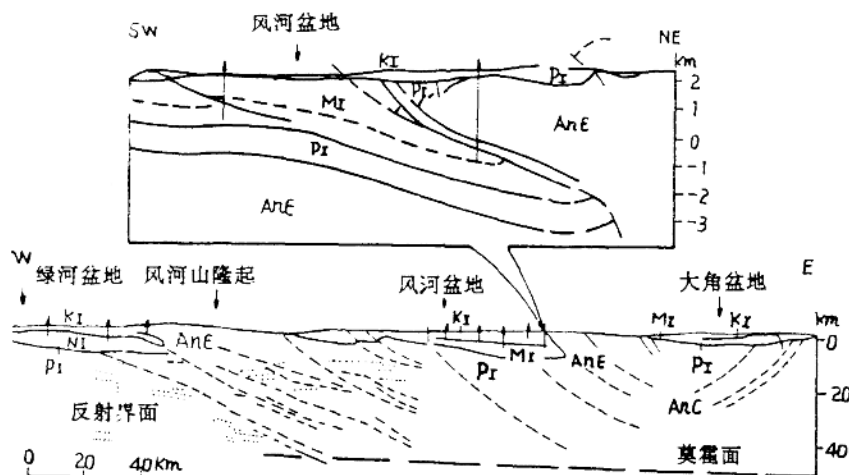


图 1—3 落基山前陆内基底拆离和风河盆地逆冲断层
(据 Bally, 1986)。

(2)在前陆盆地往克拉通方向,在前缘隆起靠近克拉通一侧,由于挤压作用在隆起(常伴生逆冲断层)一侧常形成一种挠曲类前陆盆地,与前陆盆地成对分布,它可能相当于叶连俊和孙枢(1979)所称做的褶陷型盆地(图 1—4);

(3)早期为拗拉槽,后期由于大洋闭合,拗拉槽反转形成褶皱—冲断层带,在其前缘形成的盆地也是一类挠曲类前陆盆地(图 1—5)。

首先,挠曲类前陆盆地形成于挤压构造背景,盆地的沉降是某种原因的构造负荷引起的挠曲沉降;其次,盆地的沉积层序的时代与前陆盆地的地层时代相当,所不同的是物源可能是多源的。由于这一类盆地发育在远离造山带向克拉通方向的地区,可以引用挠曲类前陆盆地的概念,但对其成因判别应深入研究,避免概念外延的扩大或名词使用的混乱。

本书采用的是 Dickinson(1976)的基本分类方案,即周缘前陆盆地、弧后前陆盆地与破裂前陆盆地,这种分类体系简明适用,周缘前陆盆地与 A 型俯冲有关,弧后前陆盆地与 B 型俯冲有关,破裂前陆盆地与岩石圈的横向不均一性有关。据这种分类方案可以应用现代造山作用理论及大地构造相等分析方法来研究前陆盆地的成因与演化。

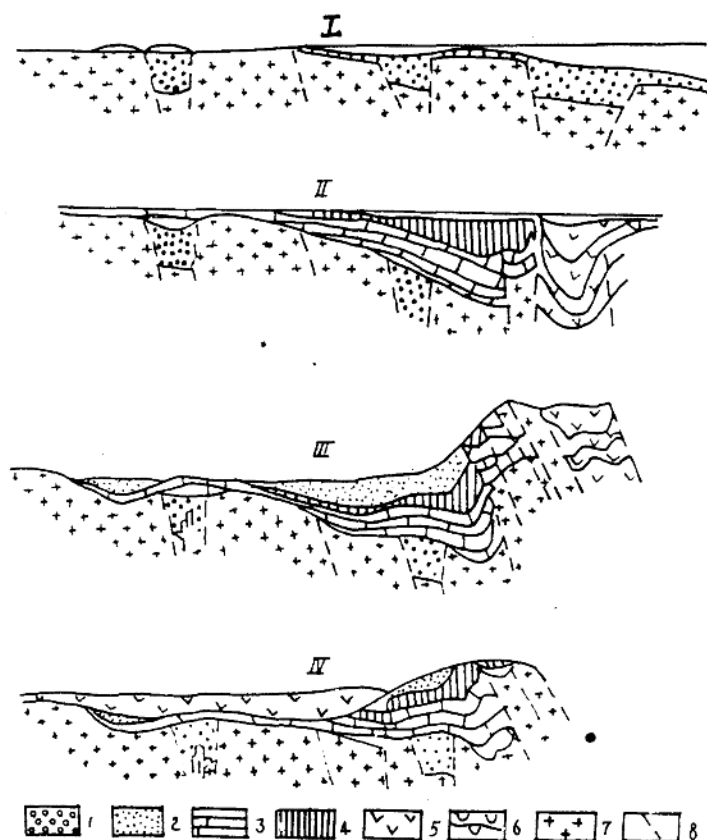


图 1—4 前陆盆地与类前陆盆地成对分布与发育示意图

(据陈发景, 1992)

盆地发育阶段: I—裂谷—被动大陆边缘阶段; II—早、中期前陆盆地阶段;

III—晚期前陆盆地和类前陆盆地阶段; 叠加的挠曲类前陆盆地。

沉积物: 1—沉积—火山的, 2—磨拉石, 3—碳酸盐岩, 4—碳酸盐岩—陆源的,

5—蒸发岩—陆源的, 6—深水—火山沉积的, 7—基底, 8—断裂。

第三节 前陆盆地的基本鉴别标志

前陆盆地为一盆地系列, 有其特征的构造背景、沉积体系、构造样式、沉降机制、成因机理与油气聚集特点, 即有其典型的盆地模式。Miall (1990) 曾建议从以下几方面来讨论盆地模式:

1) 生成盆地的板块构造作用过程;

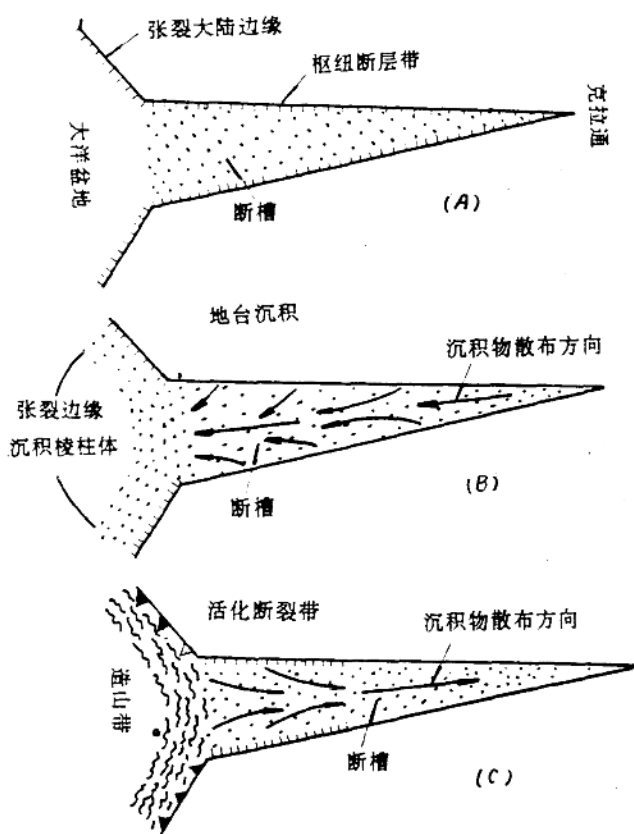


图 1—5 坳拉槽演化的平面示意图
(据 Dickinson, 1977)

- 2) 地壳沉降的机制;
- 3) 盆地的构造地质;
- 4) 沉积体系的典型演化发展。

在上述几方面的研究基础上我们提出了以下一些鉴别标志。

一、前陆盆地的构造标志

1、前陆盆地发育在被动边缘(也可以发育在克拉通周边盆地、坳陷槽、甚或大陆内裂谷—热沉降坳陷等构造背景)之上,是在由伸展环境向聚敛环境的过渡转变及发展的过程中形成的,位于过渡壳之上,对周缘造山带的解析有助于判别它所发育的构造背景;

2、巨型缝合带周缘前陆盆地与 A 型俯冲作用有关, A 俯冲带的发育部位大致决定了前陆盆地的赋存环境;弧后前陆盆地与 B 型俯冲作用有关,与 B 型俯冲有关的岩浆作用、