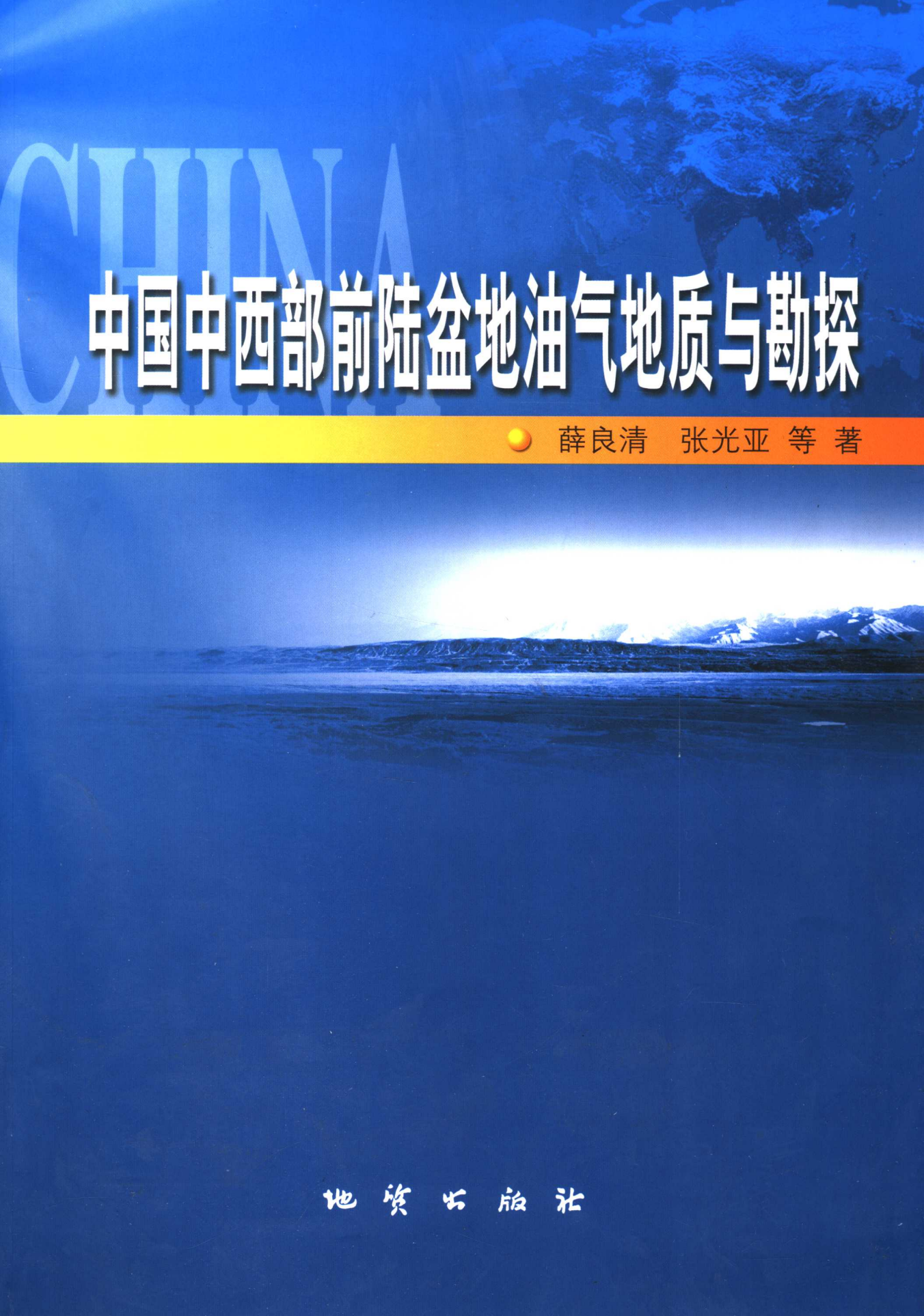




中国中西部前陆盆地油气地质与勘探

● 薛良清 张光亚 等 著

地质出版社

中国中西部前陆盆地 油气地质与勘探

薛良清 张光亚 赵孟军 王红军 著
贾进华 雷振宇 胡云杨

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

前陆盆地是世界上众多含油气盆地类型中重要的盆地类型之一，蕴藏着丰富的油气资源。中国中西部前陆盆地的油气资源十分丰富，是中国陆上油气勘探最重要的战略接替区之一。本书介绍了世界上典型前陆盆地的基本情况；论述了中国中西部前陆盆地的构造演化、烃源岩、沉积储层，以及油气藏的形成与分布规律；对库车、准噶尔西北缘、准噶尔南缘、四川西部等前陆盆地的油气地质与勘探进行了较为详细的论述；提出了中国中西部前陆盆地的勘探前景与勘探对策。

本书可供从事石油天然气地质工作的科研、生产人员，以及有关专业的大专院校师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国中西部前陆盆地油气地质与勘探/薛良清，张光亚等著.

北京：地质出版社，2005.1

ISBN 7-116-04654-2

I. 中... II. ①薛... ②张... III. ①含油气盆地-油气勘探-研究-中国②含油气盆地-石油天然气地质-研究-中国 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 110366 号

ZHONGGUO ZHONGXIBU QIANLUPENDI YOUQIDIZHI YU KANTAN

责任编辑：刘凤仁 郁秀荣

责任校对：郑淑艳

出版发行：地质出版社

社址邮编：北京市海淀区学院路 31 号，100083

电 话：(010) 82324508 (邮购部)；(010) 82324557 (编辑室)

网 址：<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱：zbs@ gph.com.cn

传 真：(010) 82310759

印 刷：北京印刷学院实习工厂

开 本：787 mm × 1092 mm ¹/₁₆

印 张：20

字 数：485 千字

印 数：1—650 册

版 次：2005 年 1 月北京第一版·第一次印刷

定 价：55.00 元

ISBN 7-116-04654-2/P · 2615

(凡购买地质出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社出版处负责调换)

前 言

中国大陆处于古亚洲、特提斯与亚洲构造域交会地带，是由多个不同时期形成的陆块拼贴而成的复合大陆。在多期构造演化中，在中国中西部地区于陆块与造山带的接合部位形成了一系列前陆盆地，这些前陆盆地是我国石油工业的“摇篮”。酒泉、准噶尔、塔里木、柴达木、四川等盆地的勘探都是首先从前陆盆地山前褶皱-冲断带开始的。近年来，又相继在塔里木库车、塔西南喀什北缘、准噶尔南缘、祁连山北缘、川西等前陆盆地获得了一系列重要发现，山前冲断带的勘探又焕发了青春，进一步证明中国中西部前陆盆地蕴藏着丰富的油气资源，是我国陆上油气勘探的重大接替领域之一。中国中西部前陆盆地与世界上典型前陆盆地有较大的差别，具有其独特的构造演化、生储盖组合、油气藏形成与分布特征，故有些学者称之为类前陆盆地或再生前陆盆地或山前坳陷盆地等，以示与典型前陆盆地相区别。鉴于此，中国石油天然气股份有限公司于2000~2002年设立了《中西部盆地石油地质综合研究与目标评价》科技项目，主要研究中西部6个主要含油气盆地，特别是中西部前陆盆地油气地质特征，指出重点勘探领域。本书即是在上述成果的基础上完成的。

本书第一章简要对比了中国中西部前陆盆地与世界上典型前陆盆地的差异性，由此决定中国中西部前陆盆地生储盖、油气藏形成与典型前陆盆地之不同。

第二章在分析中国中西部前陆盆地形成的大地构造背景的基础上，指出中西部前陆盆地总体规模较小，形成于相对较小的陆块与大型、多期活动的较大规模的造山带之间，缺乏被动陆缘及前陆盆地发育早期阶段的海相沉积，以湖沼相及磨拉石充填为主；经历多旋回演化，具有多期叠加改造性，新近纪末—第四纪新构造活动强烈，形成再生前陆盆地且构造变形强烈；褶皱-冲断带具有横向分带性、垂向分层性和纵向分段性，并具有多种组合样式，控制着圈闭类型及展布；前陆盆地及褶皱-冲断带演化与结构决定了石油地质特征和勘探潜力。

第三、四、五章系统总结了我国中西部前陆盆地烃源岩、储盖组合与油气藏特征：①烃源岩主要是中生代—晚古生代晚期前陆盆地阶段发育的湖沼相烃源岩，其次是前前陆盆地阶段的被动陆缘海相或断陷湖泊相烃源岩，烃源岩类型及演化程度决定了由南向北、由西向东从以气为主变为以油为主；②中西部地区在中、新生代处在盆山对立、地形高差大的背景下，因而储层发育时的水系是近源短流，主要为扇三角洲、辫状河三角洲、滨湖相砂岩等，特性总体为中等—差；碰撞后的松弛伸展阶段干旱气候下形成的红色含蒸发岩的细粒沉积建造构成区域性盖层。③中西部前陆盆地烃源岩多处在偏下部的层位，因此既发育自生自储式、也发育近源他储和远源他储式油气藏，均可形成大油气田；受前陆褶皱—冲断带结构、沉积储层、多层系烃源岩演化史及其匹配关系变化的影响，前陆盆地油气藏形成与分布具有复杂性和时空分布的多变性，受喜马拉雅强烈构造运动的影响，前陆冲断带普遍具有晚期成藏的特点。

第六、七、八、九章分别以库车、准噶尔西北缘、准噶尔南缘、川西前陆盆地为例，对中西部前陆盆地油气地质特征进行了进一步分析，以利其他前陆盆地研究时参考。

最后，在第十章简要分析了中西部前陆盆地油气资源潜力，指出了进一步勘探的重点领域，并针对前陆盆地的勘探特点提出了相应的勘探对策。

本书编写分工如下：第一章由薛良清执笔，第二章由张光亚执笔，第三章由赵孟军执笔，第四章由贾进华执笔，第五章由王红军执笔，第六章由张光亚、胡云杨执笔，第七、八章由雷振宇执笔，第九章由王红军执笔，第十章由胡云杨执笔。全书由薛良清、张光亚、胡云杨统稿。

参加本项研究工作的还有：李洪辉、柳少波、张宝民、洪峰、罗群、周凤英、付建奎、杨晓萍、何登发、石昕、张立平、贾进斗、宋岩、赵长毅、周永胜、李伟、陶士振等。研究工作得到中国石油天然气股份有限公司贾承造总地质师，勘探与生产分公司赵政璋副总经理、吴国干总地质师、刘德来处长、赵贤正处长和中国石油勘探开发研究院赵文智副院长、顾家裕副总地质师的关心和指导，宋建国教授、譙汉生教授、李晋超教授、刘雯林教授、吴震权教授、沈成喜教授等提出了许多宝贵的建议。在此一并表示衷心感谢。

目 录

1 绪 论

- 1.1 世界上典型前陆盆地的基本情况 (1)
 - 1.1.1 周缘前陆盆地与弧后前陆盆地 (1)
 - 1.1.2 世界上前陆盆地的主要石油地质条件 (2)
 - 1.1.3 世界上前陆盆地的油气资源与勘探 (5)
- 1.2 中国中西部前陆盆地的基本特征 (6)
 - 1.2.1 中西部前陆盆地与世界上前陆盆地的共性和差异 (7)
 - 1.2.2 中西部前陆盆地的石油地质条件 (10)
- 1.3 中国中西部前陆盆地的勘探概况 (13)
 - 1.3.1 早期勘探阶段 (13)
 - 1.3.2 初步突破阶段 (13)
 - 1.3.3 全面勘探阶段 (13)
 - 1.3.4 近期勘探进展 (13)

2 中国中西部前陆盆地构造演化 (17)

- 2.1 中国中西部前陆盆地形成背景 (17)
 - 2.1.1 板块构造运动对中西部前陆盆地的影响 (17)
 - 2.1.2 区域构造演化对中西部前陆盆地的控制作用 (19)
- 2.2 典型前陆盆地与中国中西部前陆盆地的演化 (22)
 - 2.2.1 典型前陆盆地的演化特征 (22)
 - 2.2.2 中西部前陆盆地的演化特征 (25)
- 2.3 中国中西部前陆盆地冲断带 (29)
 - 2.3.1 中西部前陆盆地冲断带的形成 (29)
 - 2.3.2 中西部褶皱-冲断带构造组合样式 (32)
 - 2.3.3 中西部前陆盆地冲断带的展布特点 (35)
- 2.4 中国中西部前陆盆地构造演化对油气地质条件的控制作用 (37)

2.4.1	中西部前陆盆地演化对油气地质条件的控制作用	(37)
2.4.2	中西部前陆盆地演化与油气勘探前景	(37)
2.4.3	中西部前陆盆地冲断带的特征与油气勘探前景	(38)
3	中国中西部前陆盆地的烃源岩	(41)
3.1	中国中西部前陆盆地烃源岩发育特征	(42)
3.1.1	中西部前陆盆地烃源岩发育特征	(42)
3.1.2	中生界烃源岩受古气候、岩相古地理和原型盆地的控制	(46)
3.2	中国中西部主要前陆盆地烃源岩特征	(50)
3.2.1	鄂尔多斯盆地西缘	(51)
3.2.2	四川盆地西缘	(51)
3.2.3	柴达木盆地北缘	(54)
3.2.4	塔里木盆地库车、塔西南坳陷	(55)
3.2.5	准噶尔盆地南缘、西北缘	(58)
3.2.6	吐哈盆地	(64)
3.3	中国中西部前陆盆地烃源岩演化	(67)
3.3.1	中西部前陆盆地烃源岩生烃演化的基础	(67)
3.3.2	中西部前陆盆地多期生烃的热演化过程	(68)
3.3.3	中西部前陆盆地发育过程对烃源岩热演化的控制作用	(71)
3.3.4	中西部前陆盆地的多期生烃与多期成藏	(72)
3.4	中国中西部前陆盆地油气成因类型	(75)
3.4.1	中西部前陆盆地油气成因类型划分	(75)
3.4.2	中生界煤系烃源岩是中西部前陆盆地的主要气源岩	(78)
3.4.3	上古生界烃源岩是中西部前陆盆地的主要油源岩	(82)
3.5	中国中西部前陆盆地烃源岩评价	(84)
3.5.1	中西部主要前陆盆地中生界烃源岩评价	(87)
3.5.2	中西部前陆盆地中生界烃源岩的发育特征决定了油气的丰度	(88)
3.5.3	中西部主要前陆盆地中生界烃源岩的生气强度	(89)
4	中国中西部前陆盆地沉积储层	(93)
4.1	中国中西部前陆盆地沉积演化	(93)
4.1.1	早期前陆盆地时期——早、中三叠世磨拉石为主的沉积期	(94)
4.1.2	碰撞后伸展时期——晚三叠世—早、中侏罗世河湖、	

沼泽相含煤烃源岩沉积期	(95)
4.1.3 储层发育期——晚侏罗世—早白垩世氧化宽浅湖与红色磨拉石沉积期	(98)
4.1.4 碰撞后伸展时期(盖层发育期)——晚白垩世—古近纪红色含膏盐砂泥岩沉积期	(100)
4.1.5 再生前陆盆地时期——新近纪—第四纪磨拉石沉积期	(101)
4.2 中国中西部前陆盆地沉积层序	(103)
4.2.1 早—中三叠世沉积层序	(103)
4.2.2 晚三叠世—早、中侏罗世沉积层序	(105)
4.2.3 晚侏罗世—早白垩世沉积层序	(106)
4.2.4 晚白垩世—古近纪沉积层序	(107)
4.2.5 新近纪—第四纪沉积层序	(108)
4.3 中国中西部前陆盆地沉积体系与沉积充填模式	(109)
4.3.1 前陆盆地冲断—拗陷期扇三角洲—辫状河三角洲沉积体系	(110)
4.3.2 前陆盆地剥蚀反弹期辫状河三角洲—滨浅湖沉积体系	(110)
4.3.3 中西部前陆盆地沉积充填模式	(112)
4.4 中国中西部前陆盆地储盖组合与储层特征	(116)
4.4.1 中西部前陆盆地储盖组合	(116)
4.4.2 中西部前陆盆地储层特征与分布	(116)
4.4.3 中西部前陆盆地储层发育控制因素	(132)
5 中国中西部前陆盆地油气藏	(141)
5.1 中国中西部前陆盆地油气藏的基本类型	(141)
5.2 中国中西部前陆盆地油气藏的形成	(144)
5.2.1 中西部前陆盆地油气藏形成的基本地质条件	(144)
5.2.2 中西部前陆盆地油气藏的形成期次	(150)
5.3 中国中西部前陆盆地油气藏的分布规律	(155)
5.3.1 中西部前陆盆地油气藏的分布规律	(155)
5.3.2 中西部前陆盆地油气藏的富集规律	(155)
6 库车前陆盆地油气地质与勘探	(162)
6.1 库车前陆盆地概述	(162)
6.1.1 库车前陆盆地的勘探现状	(162)
6.1.2 库车前陆盆地的地层层序	(163)

6.1.3	库车前陆盆地的勘探成果	(164)
6.1.4	库车前陆盆地的勘探实践	(165)
6.2	库车前陆盆地的演化	(168)
6.2.1	库车前陆盆地的形成	(168)
6.2.2	库车前陆盆地的沉积	(169)
6.2.3	库车前陆盆地的演化	(174)
6.3	库车前陆盆地的构造	(175)
6.3.1	北部山前逆冲断裂区带	(175)
6.3.2	中部前陆拗陷区带	(175)
6.3.3	南部前缘隆起区带	(179)
6.4	库车前陆盆地的烃源岩	(181)
6.4.1	库车前陆盆地烃源岩的展布	(181)
6.4.2	库车前陆盆地烃源岩的评价	(183)
6.4.3	库车前陆盆地油气成因类型	(189)
6.5	库车前陆盆地的储盖组合	(198)
6.5.1	中、新生界储盖组合	(198)
6.5.2	中、新生界储层评价	(199)
6.5.3	中、新生界盖层评价	(205)
6.6	库车前陆盆地的油气分布与勘探前景	(211)
6.6.1	主要油气藏类型	(211)
6.6.2	油气藏形成条件	(220)
6.6.3	油气藏控制因素	(228)
6.6.4	资源潜力与勘探前景	(229)
7	准噶尔西北缘前陆盆地油气地质与勘探	(234)
7.1	准噶尔西北缘前陆盆地演化	(234)
7.2	准噶尔西北缘前陆盆地构造	(236)
7.2.1	准噶尔西北缘前陆盆地的构造区划	(236)
7.2.2	准噶尔西北缘前陆盆地的圈闭类型	(241)
7.3	准噶尔西北缘前陆盆地的主要烃源岩	(242)
7.3.1	原油物性对比	(243)
7.3.2	族组成对比	(243)
7.3.3	C 同位素对比	(243)

7.3.4	典型的生标特征与生源	(244)
7.4	准噶尔盆地西北缘前陆盆地储盖组合	(245)
7.4.1	储层特征	(245)
7.4.2	盖层特征	(247)
7.4.3	储盖组合特征	(249)
7.5	准噶尔西北缘前陆盆地的油气分布规律与勘探前景	(249)
7.5.1	油气分布规律	(249)
7.5.2	油气成藏特征	(252)
7.5.3	勘探前景	(255)
8	准噶尔南缘前陆盆地油气地质与勘探	(257)
8.1	准噶尔南缘前陆盆地演化	(257)
8.2	准噶尔南缘前陆盆地构造	(258)
8.2.1	准噶尔南缘前陆盆地构造区划	(258)
8.2.2	准噶尔南缘前陆盆地主要构造样式与圈闭类型	(261)
8.3	准噶尔南缘前陆盆地主要烃源岩	(264)
8.3.1	烃源层	(264)
8.3.2	油源对比	(265)
8.4	准噶尔南缘前陆盆地储盖组合	(267)
8.4.1	储层特征	(267)
8.4.2	盖层特征及异常高压	(268)
8.4.3	储盖组合	(269)
8.5	准噶尔南缘前陆盆地油气分布与勘探前景	(269)
8.5.1	油气分布规律	(269)
8.5.2	油气成藏特征	(270)
8.5.3	勘探前景	(270)
9	川西前陆盆地油气地质与勘探	(273)
9.1	川西前陆盆地演化	(273)
9.1.1	早期前陆盆地	(273)
9.1.2	晚期前陆盆地	(273)
9.2	川西前陆盆地的构造	(273)
9.2.1	构造单元划分	(274)
9.2.2	构造单元特征描述	(274)

9.2.3	圈闭类型	(278)
9.3	川西前陆盆地的烃源岩	(279)
9.3.1	上三叠统烃源岩特征	(280)
9.3.2	侏罗系烃源岩特征	(281)
9.4	川西前陆盆地的储盖组合	(282)
9.4.1	储层	(282)
9.4.2	盖层	(282)
9.4.3	储盖组合特征	(283)
9.5	川西前陆盆地油气分布	(285)
9.5.1	主要气藏解剖	(285)
9.5.2	天然气富集主控因素与有利区带	(288)
9.6	川西前陆盆地油气勘探前景	(294)
9.6.1	灌口-平落坝构造带	(295)
9.6.2	大兴鼻状隆起带	(296)
9.6.3	孝泉-丰谷构造带	(296)
10	中国中西部前陆盆地的勘探前景	(298)
10.1	中国中西部前陆盆地的勘探潜力	(298)
10.2	中国中西部前陆盆地的勘探重点	(301)
10.2.1	中西部前陆盆地的油气富集程度	(301)
10.2.2	中西部前陆盆地的勘探重点	(302)
10.3	中国中西部前陆盆地的勘探策略	(306)
10.3.1	中西部前陆盆地的勘探特点	(306)
10.3.2	中西部前陆盆地的勘探对策	(307)

1 绪 论

前陆盆地是世界上众多含油气盆地类型中重要的一种盆地类型,蕴藏着丰富的油气资源。中国中西部前陆盆地的油气资源也十分丰富,是中国陆上油气勘探最重要的战略接替区之一。据塔里木盆地西南部和库车坳陷、准噶尔盆地西北部和南部、吐哈盆地、柴达木盆地、鄂尔多斯盆地西部、四川盆地西部、祁连山北缘酒泉盆地初步统计,中西部主要前陆盆地石油资源量达 $115 \times 10^8 \text{ t}$ 以上,天然气资源量为 $9 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 以上。经过几十年的努力,在中西部前陆盆地中已发现了大量油、气,仅据柴达木盆地、准噶尔西北缘、准噶尔南缘、吐哈、库车、塔西南等几个前陆盆地初步统计,探明油、气储量分别约为 $20 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $6000 \times 10^8 \text{ m}^3$,但探明程度分别只有 17% 和 6.7%^①,勘探潜力很大,是我国油气勘探的重要领域之一。

由于前陆盆地具有独特的地质特点与丰富的油气资源,因而一直受到地质学家和油气勘探家的关注与重视,取得了许多引人瞩目的研究成果与勘探成果 (Macqueen 等, 1992; 贾承造等, 2000), 也为进一步深化我国中西部前陆盆地研究、发现更多的前陆盆地油气田奠定了坚实的基础。

1.1 世界上典型前陆盆地的基本情况

1.1.1 周缘前陆盆地与弧后前陆盆地

前陆盆地的研究历史不长, 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,是前陆盆地研究的先驱。1974 年, Dickinson 正式提出了“前陆盆地 (foreland basin)”的概念,用于描述弧后和周缘盆地,这类盆地中的充填物沉积在陆壳或较老的裂谷型边缘沉积体之上 (图 1.1.1)。

周缘前陆盆地 (peripheral foreland basin) 是由于陆-陆碰撞、在俯冲板块上产生的挠曲盆地,常由被动陆缘盆地转化而成。盆地充填具有双层结构,早期发育深海一半深海沉积,后期发育海相磨拉石和陆相磨拉石沉积。典型的周缘前陆盆地有阿尔卑斯北部的前陆盆地等。

弧后前陆盆地 (retroarc foreland basin) 分布于大陆边缘岩浆弧后,为大陆-岛弧碰撞作用形成的,可以由弧后裂谷盆地转化而成。盆地充填可具双层结构或仅有单层结构。早期发育复理石沉积,堆积厚度大,后期发育磨拉石沉积,如南美安第斯山弧后前陆盆地等。

① 薛良清、张光亚等, 2002, 中西部油区油气富集规律与战略方向研究 (中国石油勘探开发研究院内部研究报告)。

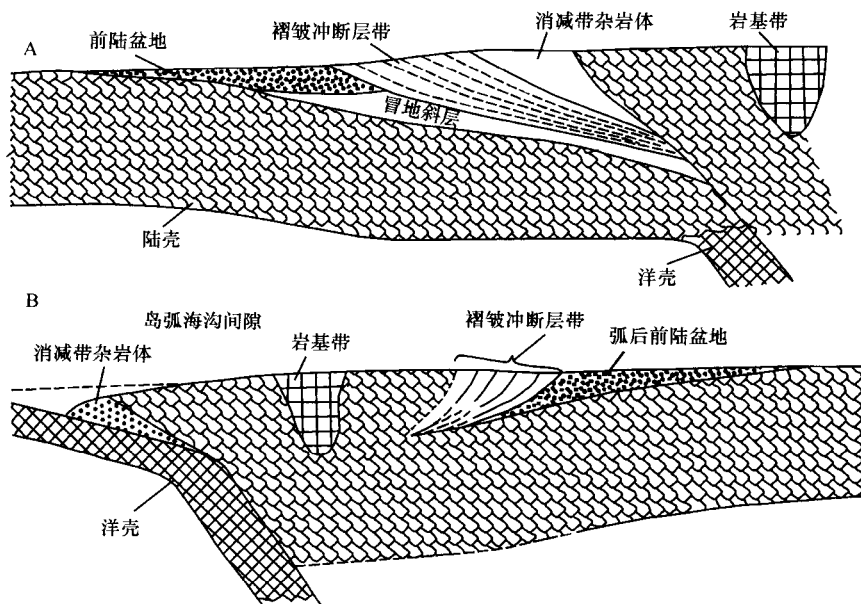


图 1.1.1 前陆盆地类型示意图

(据 Dickinson, 1974)

A—周缘前陆盆地；B—弧后前陆盆地

在这两类前陆盆地中，发现了众多的大油气田，并具有良好的油气勘探前景。现主要描述这两类前陆盆地的石油地质特征。

1.1.2 世界上前陆盆地的主要石油地质条件

前陆盆地是一种重要的含油气盆地，油气储量丰富，仅在 AAPG 论文集第 55 卷《前陆盆地和褶皱带》(Macqueen 等, 1992) 中描述的 6 个前陆盆地中就拥有巨大的油气资源。前陆盆地中储量丰富的石油、凝析油、天然气、煤层甲烷气和重质原油 (表 1.1.1) 为 21 世纪的石油工业准备了充足的储量基础。本节主要根据 Macqueen 等 (1992) 对这 6 个前陆盆地的描述，简要归纳前陆盆地的石油地质特征。

1.1.2.1 烃源岩

前陆盆地的油气一般来自于两套烃源岩，一套是前前陆盆地的被动陆缘沉积物或弧后盆地沉积物，通常为古生代和中生代的海相泥页岩和碳酸盐岩；另一套烃源岩为前陆盆地成盆期自身沉积的泥页岩和碳酸盐岩。前前陆盆地的被动陆缘沉积的烃源岩或弧后盆地沉积的烃源岩往往是盆地的主要烃源岩，如西加拿大盆地和扎格罗斯盆地 (Macqueen 等, 1992)，哥伦比亚的 Llanos 盆地 (Cooper 等, 1995)。因此研究前陆盆地油气系统要重视研究前前陆盆地形成的烃源岩的特征。

1.1.2.2 储层与圈闭

前陆盆地的储层类型比较复杂，主要为各种沉积环境中形成的砂岩与碳酸盐岩。以西加拿大盆地为例，有三套主要储层 (图 1.1.2)。第一套储层以前前陆盆地沉积的泥盆纪

表 1.1.1 前陆盆地区域背景与油气储量

盆 地	时 代	位 置	规 模	储 量
西加拿大盆地	中侏罗世 至白垩纪	加拿大马尼托巴、 萨斯喀彻温、艾伯 塔、不列颠哥伦比 亚和西北地区	· 东西方向约 1600 km，南 北方向约 1200 km · 延伸到墨西哥湾的总长度 大于 6000 km · 约 $190 \times 10^4 \text{ km}^2$	· $56 \times 10^8 \text{ bbl}$ 油 · $15 \times 10^8 \text{ bbl}$ 天然气液 · $67 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ 气 · $17000 \times 10^8 \text{ bbl}$ 重油 · $17 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ 煤层气
扎格斯盆地	晚始新世 至今	中东：伊拉克的东 北和海湾海域的东 部	· 长 1800 km，宽 250 ~ 300 km · 约 $(45 \sim 54) \times 10^4 \text{ km}^2$ · $21 \times 10^4 \text{ km}^2$	· $1500 \times 10^8 \text{ bbl}$ 油 · $(600 \sim 650) \times 10^{12} \text{ ft}^3$ 气
东委内瑞拉盆地： · 瓜里科次盆地 · 马图林次盆地	早始新世 至今	委内瑞拉东部	· 瓜里科次盆地 480 km × 260 km · 马图林次盆地 520 km × 170 km	· $200 \times 10^8 \text{ bbl}$ 油 · $66 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ 气 · $12000 \times 10^8 \text{ bbl}$ 重油
阿拉斯加北坡	中侏罗世 (?) 至新 近纪	阿拉斯加北坡	· $24 \times 10^4 \text{ km}^2$ · 1000 km × (50 ~ 350) km	· $1 \times 10^8 \text{ bbl}$ 油 · $0.4 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ 气 · 数十亿桶重油
美国落基山盆地	中侏罗世 至新近纪	美国西部	· 1000 km × 1400 km · 约 $140 \times 10^4 \text{ km}^2$	· $159 \times 10^8 \text{ bbl}$ (油)
沃希托	早宾夕法 尼亚亚纪 至早二叠 世	北美东部的亚拉巴 马至墨西哥	· 长 2250 km	· $5 \times 10^8 \text{ bbl}$ 油 · $10 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ 气

(Macqueen 等, 1992)

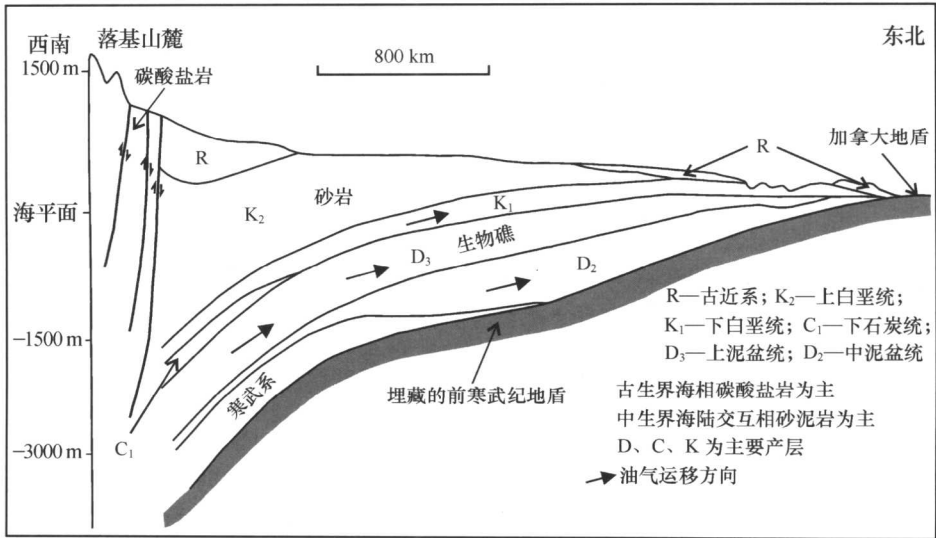


图 1.1.2 西加拿大盆地倾向剖面图
(据 National Energy Board, 2000, 简化)

海相生物礁体为主，地层约厚 1000 m，生物礁体厚达 150 ~ 250 m，产层厚 12 ~ 200 m，孔隙度变化区间为 3% ~ 4%，渗透率变化也比较大，为 $5 \times 10^{-3} \sim 500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。在泥盆系的生物礁里，于 2000 年获得了西加拿大盆地十余年来最大的天然气发现——规模为一万立方英尺的 Ladyfern 气田。第二套主要储层为前前陆盆地沉积的石炭（密西西比）纪海相碳酸盐岩，地层厚度为 200 ~ 1000 m，产层厚度常为 12 ~ 15 m，孔隙度为 5% ~ 10%，渗透率变化大，发育裂缝。第三套储层为前陆盆地成盆期形成的白垩纪海陆交互相砂岩，地层厚度变化大，一般为 1500 ~ 3500 m，但产层相对较薄，一般为 10 m 左右，孔隙度大致为 15% 左右，渗透率为 $20 \times 10^{-3} \sim 300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 不等。

前陆盆地的圈闭类型分布有其规律性。在靠近冲断带一侧或冲断带内，发育挤压背斜圈闭，经前渊和斜坡带发育背斜、岩性、生物礁圈闭和上倾方向的地层圈闭、披覆背斜圈闭，至克拉通内古隆起或前缘隆起发育与正断层相关的断块构造、断垒潜山（下部）和披覆背斜圈闭（上部）（图 1.1.3）。

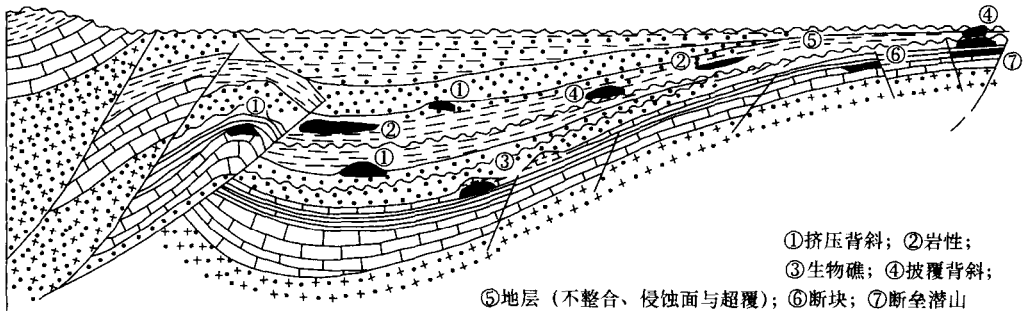


图 1.1.3 前陆盆地油气藏分布模式图
(翟光明等, 2000)

1.1.2.3 油气运移与聚集

前陆盆地成盆前与成盆期形成的两套烃源岩与圈闭类型分布决定着油气运移方向与聚集部位。前陆盆地的盆地结构与演化历史的差异，造成了油气分布的复杂性，如西加拿大盆地、东委内瑞拉盆地、阿拉斯加北坡盆地具有油、气和重油，而扎格罗斯盆地、美国落基山盆地、沃希托（Ouachita）盆地则主要为常规油气（表 1.1.1）。

前陆盆地的油气运移方式和路径有其特点，一般来说，早期以侧向运移为主，晚期以垂向运移为主；靠近克拉通一侧以侧向运移为主，通过砂岩、碳酸盐岩输导层和不整合面运移，靠近活动构造带以垂向运移为主，大都以逆冲断层为运移通道。图 1.1.4 简要地描述了西加拿大盆地石油和天然气从前前陆盆地烃源岩和前陆盆地烃源岩中运移出来的主要路径。西加拿大盆地的油气运移大约于中一晚白垩世开始，从上泥盆统、下密西西比统、中—上三叠统和下侏罗统的烃源岩中运移出来，这些石油最终聚集在艾伯塔省和萨斯喀彻温省交界地区的起伏低缓的大型背斜前中侏罗世地层中。中—上侏罗统和白垩系的烃源岩生成的油气通过砂岩输导层和逆冲断裂向 Viking 组及其以上地层中运移，并同时向上倾方向运移进入地层圈闭（图 1.1.4）。晚期从早白垩世 Mannville 煤层生成的天然气在深盆区形成了大型的天然气聚集区。由于盆地东翼遭受了第三纪强烈的侵蚀，淡水的侵入和生物降解作用形成了 Mannville 群砂岩重油带，向下倾方向降解程度逐渐降低（图 1.1.4）。

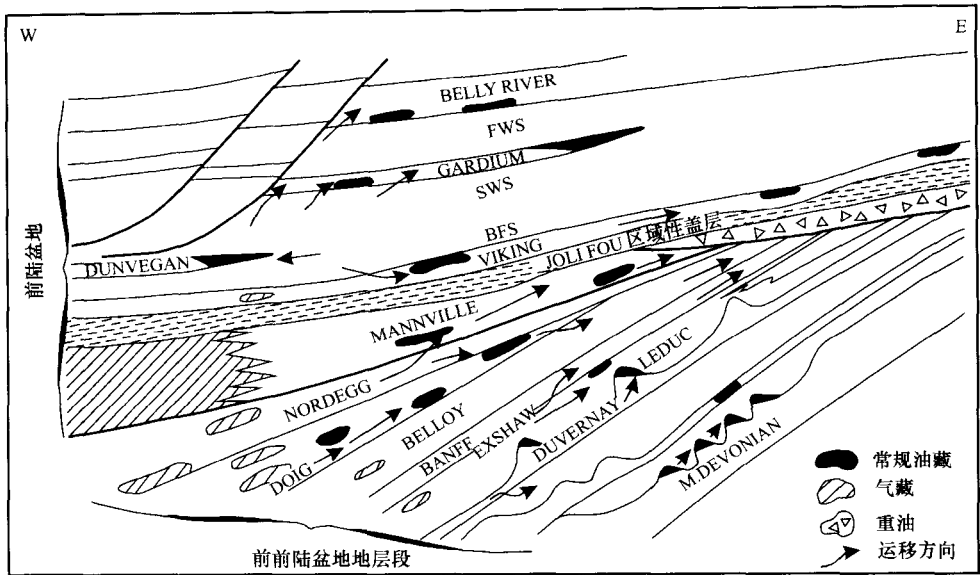


图 1.1.4 西加拿大盆地油气运移示意图
(据 Creaney 等, 1992)

西加拿大盆地的油气聚集有如下特点：山前带逆冲断层发育，主要由泥盆系和下石炭统的碳酸盐岩组成（图 1.1.2），以常规油气特别是以天然气为主。盆地前渊部位沉积岩厚 3000 ~ 6000 m，古生界以海相碳酸盐岩为主，中生界以海陆交互相砂泥岩沉积为主，新生界以陆相沉积为主，为常规油气分布区，其深层以天然气为主。盆地东北部斜坡带下白垩统 Manville 群砂岩中，蕴藏着丰富的重油资源，斜坡带的上倾方向，还分布有世界著名的资源量巨大的油砂资源（图 1.1.2）。

1.1.3 世界上前陆盆地的油气资源与勘探

前陆盆地油气资源丰富，油气丰度比较高（表 1.1.2），具有巨大的勘探潜力。虽然前陆盆地的概念于 20 世纪 70 年代才提出来，但前陆盆地区的勘探很早就开始了，如美国阿巴拉契亚盆地布拉德福（Bradford）油田（1871）、伊朗扎格罗斯地区加什萨兰（Gach Saran）油田（1928）、委内瑞拉马拉开波盆地大梅内（Mene Grande）油田（1914）、罗马尼亚前喀尔巴阡盆地莫雷尼（Moreni）油田（1900）、俄罗斯伏尔加-乌拉尔盆地图伊马济（Tuymazy）油田（1937）等。

近 10 年来，前陆盆地一直是油气勘探的重要地区。世界上于 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总共 980 亿桶油当量储量中，有 58% 的油气储量都是在聚敛边缘的环境中发现的，主要在褶皱带、前陆和前渊中。褶皱带发现的油气可采储量超过 100 亿油当量桶，前陆和前渊发现的油气可采储量超过 400 亿油当量桶（Pettingill, 2001）。前陆盆地勘探已成为当前世界油气勘探的主要热点之一。

综上所述，前陆盆地既具有丰富的油气资源，又探明了巨大的油气储量，一直是油气勘探的重点领域。但另一方面，前陆盆地的油气勘探仍然面临着巨大的挑战，从前陆盆地

表 1.1.2 前陆盆地的油气丰度

盆地名 (国别)	最终可采储量 10 ⁹ 桶	面积 10 ³ 平方英里	丰度 千桶/平方英里
阿基坦 (法)	2.6	39	66.7
奥连特 (南美)	4.7	80	30.0
阿纳达科 (美)	50.0	135	370.0
艾伯塔 (加)	46.0	348	132.0
伏尔加—乌拉尔 (俄)	77.0	220	350.0
大阿尔及利亚	33.0	260	127.0
东委内瑞拉	37.0	56	661.0
波斯湾	730.0	867	842.0
北加里曼丹 (印尼)	7.5	80	93.8
阿巴拉契亚 (美)	10.0	132	75.8
	997.8* (合计)		250 (平均)

注：原文合计为 990.5。

(据 Price, 1994)

形成与演化到油气生成与分布都存在着需要进一步解决的难题，归纳起来有 3 个方面。

(1) 板块构造和区域构造活动是如何控制前陆盆地发育的，并使盆地的沉积中心在发育过程中不断迁移？在前陆盆地充填的层序地层框架的形成过程中，全球海平面变化与区域或局部构造事件之间是何关系 (Macqueen 等, 1992)？

(2) 在褶皱冲断带的研究中，由于源岩成熟度与构造演化之间的复杂关系，石油生成、运移和圈闭形成之间狭窄的时间窗口；以及圈闭的形成与保存，特别是预测断层封堵是否存在或其有效性，使得对油气的存在与分布的预测上存在着许多不确定性 (Meneses-Rocha 等, 1999)。

(3) 前陆盆地与褶皱冲断带油气勘探面临的挑战还包括复杂的地表条件、复杂的圈闭形态、质量低的地震资料 (由地表起伏、垂直和水平速度变化，较陡的复杂构造、低速带和喀斯特地形的近地表效应造成)。要落实复杂的圈闭，高质量的地震资料与合理的地质解释模型尤为重要。因为前陆盆地与褶皱冲断带的地面和地下的复杂性，所以更需要反复实践、反复认识，如我国库车前陆盆地克拉 2 地震资料采集处理、解释成功，就是在库车前陆盆地大宛齐地震工作和克拉苏地震工作积累的基础上，取得的重要突破 (邱中建, 2002)。前陆盆地的勘探是一项高风险的事业，需要提倡坚持不懈的努力和锲而不舍的精神。

1.2 中国中西部前陆盆地的基本特征

中国的前陆盆地主要分布于中西部地区，是中西部含油气盆地极为重要的组成部分。这些前陆盆地主要有：川西龙门山前、大巴山前、鄂尔多斯西缘、柴达木北缘、柴达木西南缘、祁连山北缘、吐哈盆地北缘 (博格达山前)、准噶尔南缘、准噶尔西北缘、库车、喀什凹陷北缘、塔西南西昆仑北缘 (图 1.2.1)。本节将简要讨论中国前陆盆地的内涵、石油地质特征及其油气勘探成果。