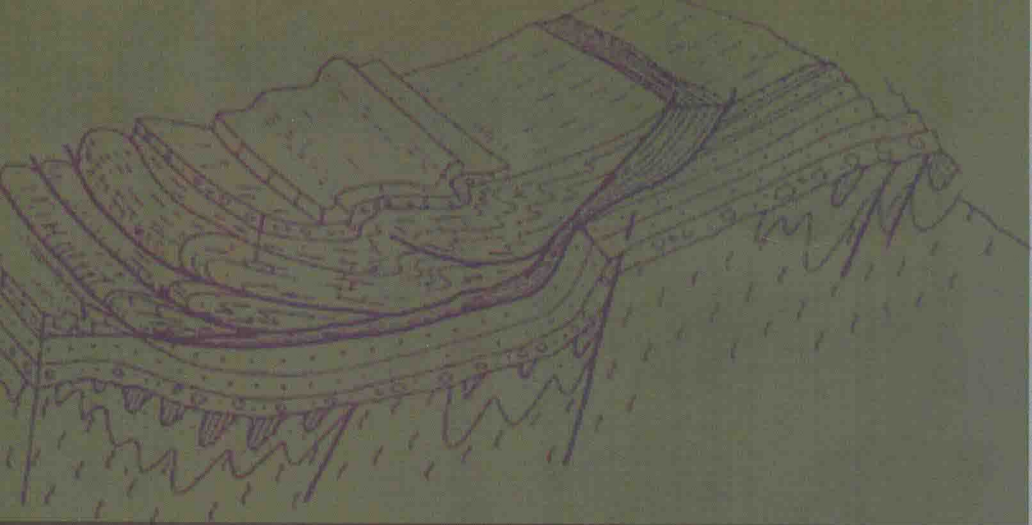




压扭性盆地山前带构造 建模与勘探实践

YANIUXING PENDI SHANQIANDAI
GOUZAO JIANMO
YU KANTAN SHIJIAN

路顺行 于洪洲 相 鹏 等 编著



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

压扭性盆地山前带构造 建模与勘探实践

YANIUXING PENDI SHANQIANDAI
GOUZAO JIANMO
YU KANTAN SHIJIAN

路顺行 于洪洲 相 鹏 等 编著

图书在版编目(CIP)数据

压扭性盆地山前带构造建模与勘探实践/路顺行等
编著. —东营: 中国石油大学出版社, 2014.6

ISBN 978-7-5636-4235-9

I. ①压… II. ①路… III. ①含油气盆地—石油天然
气地质—研究②含油气盆地—油气勘探—研究 IV.

①P618.130.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第112310号

书 名: 压扭性盆地山前带构造建模与勘探实践

作 者: 路顺行 于洪洲 相 鹏 等

责任编辑: 方 娜 (电话 0532—86983560)

出 版 者: 中国石油大学出版社 (山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: fangna8933@126.com

印 刷 者: 山东省东营市新华印刷厂

发 行 者: 中国石油大学出版社 (电话 0532—86983584, 86983437)

开 本: 185 mm × 260 mm 印张: 20.75 字数: 526千字

版 次: 2014年12月第1版第1次印刷

定 价: 88.00元

前 言

PREFACE

中国西部挤压盆地分布范围广,山前复杂构造带具有巨大的勘探潜力。但是,山前带的勘探受“地层产状高陡,地震成像困难;地层多次推覆,下伏地层识别难;多期多样式叠合,构造解析难;难以建立精确速度场,圈闭落实难”的制约一直难以有效展开。

笔者通过长期大量研究工作,包括野外地质调查、取样,重磁电震资料目标处理、解释,样品分析测试,构造演化的计算机数值模拟,重磁电震综合建模方法研究,重磁电震联合反演系统的开发,圈闭识别、描述、评价,物探、探井的部署以及储量的申报等一系列综合地质研究,为解决压扭性盆地山前构造带的油气勘探与开发进行了有益的探索,发展了理论认识、创新了技术方法。为了全面提高我国油气勘探开发水平,笔者特将多年来的研究成果系统梳理,精心组织,编写了《压扭性盆地山前带构造建模与勘探实践》一书。

本书在压扭性盆地山前构造带构造特征与演化、重磁电震联合正反演以及综合建模方法等方面,提出了许多新认识,并形成了配套的新方法,对于指导今后的油气勘探与开发具有重要的意义。

(1) 针对压扭性盆地山前构造带的前缘超剥带:一是形成了“几何特征定结构、相位属性定形态、正演模拟定边界”的地层不整合圈闭识别描述技术;二是形成了地层油藏高精度层序建格架、构造分析划区带、不整合形态定靶区、沉积相带找储层、“三线”组合描圈闭、综合分析选目标的“六步法”评价技术。

(2) 针对压扭性盆地山前构造带中深层复杂带:一是形成了“区域分析明确宏观构造背景、多元综合标定确定地质结构、复杂断裂识别确定构造框架、多手段模拟验证模型合理性、断层相关褶皱理论指导建模”的复杂构造建模技术流程;二是形成了包括相干分析技术、分频识别技术、多属性综合识别技术、倾角识别技术、速度谱点识别技术、非震识别技术等在内的复杂断裂识别技术。

(3) 提出了一种基于贝叶斯理论的重磁电震联合反演的目标函数,引入了随机近似最大期望(SAEM)算法,形成了一套独创的山前带复杂构造综合建模技术,

开发了重磁地震联合反演系统。

(4) 建立了哈拉阿拉特山(简称哈山)地区的构造解释模型,明确了哈山的地质结构特征及构造演化历程。哈山地区为早期逆冲推覆晚期走滑的构造模型,划分为前缘超剥带、前缘冲断带、外来推覆系统和准原地叠加系统四个系统,具有“上下分层、南北分带、东强西弱”的特点。

本书共分为三部分。

第一部分,包括第一至三章,由路顺行执笔,刘德智编写了部分内容。该部分概述了压扭性盆地特别是山前构造带的基本特征,展示了油气勘探的巨大潜力,指出了勘探研究的难点——构造建模。

第二部分,包括第四至六章,由相鹏执笔。该部分围绕复杂山前带构造建模方法,从山前带构造建模基础、综合地球物理建模基础和重磁地震多参数综合建模平台三个层次,介绍了复杂山前带构造建模的理论基础和常用方法,总结了重磁地震综合建模的基本原理、主要流程和关键环节,论述了如何将随机反演算法应用于重磁地震联合反演中,从而搭建重磁地震多参数综合建模平台。

第三部分,包括第七至九章,其中第七章由于洪洲、程世伟、吕铁良执笔,于洪洲统稿;第八章由庄新明执笔,路顺行编写了部分内容;第九章由李军亮执笔,路顺行编写了部分内容。该部分讲述了复杂山前带构造建模方法的具体应用——勘探实践,选择准噶尔盆地的西北缘、南缘山前构造带以及柴达木盆地的东北缘山前构造带为代表,以准噶尔盆地西北缘山前构造带——哈山地区为重点,介绍了地层发育特征,分析了构造变形特征以及主要地层层系和代表岩石类型的重磁地震地球物理特征,并建立了相应的密度、磁化率、电阻率和速度的相关关系,描述了多参数综合建模的过程和结果。

全书由路顺行统稿。

本书在编写过程中,得到了安徽理工大学郑建斌副教授的帮助,特别是得到了张善文、隋风贵、王金铎等领导的大力支持,在此谨表谢意。本书可供从事地质构造、地球物理勘探、油气勘探研究的科技人员以及相关专业的高等院校师生参考学习之用。

由于笔者水平有限,书中不当之处在所难免,敬请专家和读者批评指正。

作者

2014年5月

目 录

CONTENTS

第一部分 概 述

第一章 压扭性盆地概况	2
第一节 压扭性盆地的概念	2
第二节 压扭性盆地的基本类型	2
第二章 山前构造带特征	4
第一节 山前构造带研究现状	4
第二节 山前构造带的分类	6
第三节 中西部山前构造带的构造特征	7
第三章 油气资源潜力与勘探难点	9
第一节 资源潜力与构造控油特征	9
第二节 油气资源勘探难点	10

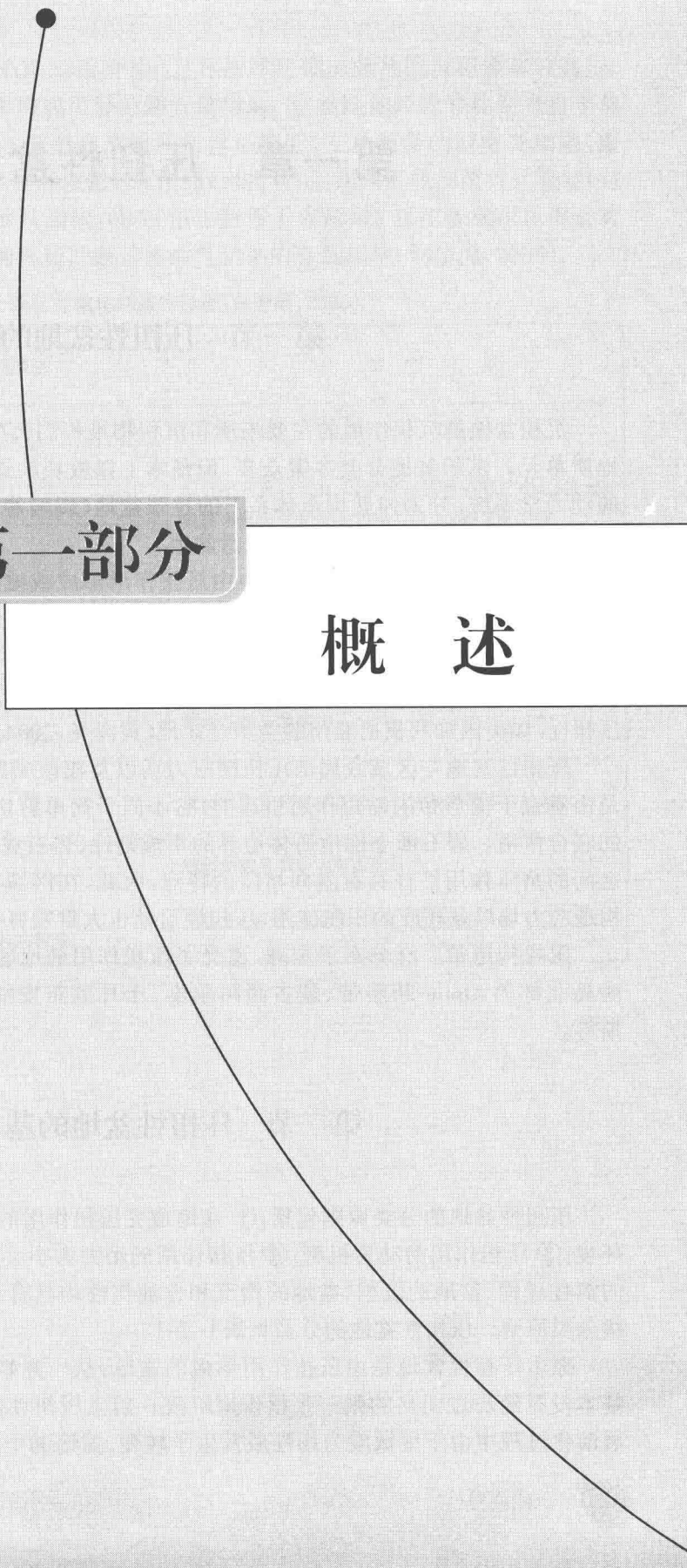
第二部分 方 法

第四章 山前带构造建模基础	14
第一节 地质理论基础	14
第二节 常用建模手段	19
第三节 构造建模方法	26
第五章 综合地球物理建模基础	27
第一节 重磁电震综合建模方法	27
第二节 岩石与地层的地球物理性质	34
第三节 地球物理性质的相关关系	40

第六章 重磁电震多参数综合建模平台	44
第一节 随机反演算法	44
第二节 随机反演算法在重磁电震联合反演中的应用	47
第三节 综合建模平台的模型试验	55
第四节 重磁电震联合正反演系统	63

第三部分 实 践

第七章 准噶尔盆地西北缘山前构造带	68
第一节 研究区位置与构造背景	68
第二节 地层发育特征	78
第三节 构造变形特征	85
第四节 岩石与地层物性特征	119
第五节 重磁电震交互建模	128
第六节 多参数综合建模	135
第七节 成藏条件与勘探认识	160
第八章 准噶尔盆地南缘山前构造带	201
第一节 研究区位置与构造背景	201
第二节 地层发育特征	203
第三节 构造变形特征	212
第四节 岩石与地层物性特征	224
第五节 构造建模	236
第六节 成藏条件与勘探认识	241
第九章 柴达木盆地东北缘山前构造带	259
第一节 研究区位置与构造背景	259
第二节 地层发育特征	262
第三节 构造变形特征	264
第四节 构造建模	276
第五节 成藏条件与勘探认识	290
参考文献	319



第一部分

概 述

第一章 压扭性盆地概况

第一节 压扭性盆地的概念

沉积盆地是沉积作用的主要场所和沉积物堆积的大型空间,是油气生成和聚集的基本地质单元。沉积盆地分类方案众多,但基本上以板块构造学说为基础,根据古陆开合演变的动力学系统,分为伸展构造体系下的拉张盆地(裂陷盆地)、压缩构造体系下的压陷盆地(挤压盆地)和走滑构造体系下的走滑盆地。

压扭性盆地是在压扭应力场中由压扭作用形成或被压扭作用改造的盆地,它的发生、发展和演化过程与压扭作用密切相关(向奎等,2006)。它包含两个方面:①走滑断层系中由挤压作用形成的盆地,这种盆地从一开始就具有压扭性的特点,它们往往发育在走滑断层受束缚的断面弯曲处;②盆地形成之初并不具有压扭性的特点,但在后期演化中转变为压扭性,如美国加利福尼亚州的圣华金盆地(黄泽光,2004)。

压扭性盆地与区域或局部压扭性应力场以及在该应力场作用下的变形密切相关,压扭是由垂直于变形带的缩短作用引起的,它不同于简单剪切的走滑变形,即简单剪切与挤压的联合作用。岩石圈上部地质体边界的不规则性、岩石成分和结构的非均一性使得地质体之间的挤压作用往往具有斜向挤压的特点,因此,在区域挤压构造背景下广泛存在压扭性构造应力场以及相应的压扭作用,压扭性盆地也大量发育于这种构造背景(向奎等,2006)。

压扭构造带广泛分布于全球,遭受了压扭作用的地区主要有东南亚的一些岛、新西兰南岛北部的 Alpine 断层带、蒙古西阿尔泰、土耳其东安纳托利亚断层带和委内瑞拉安第斯等。

第二节 压扭性盆地的基本类型

压扭性盆地的分类原则包括:①盆地遭受压扭作用的时间早晚;②压扭作用的动力学环境;③压扭作用的动力机制;④压扭作用的动力大小。由于压扭作用发生的时间对盆地的演化进程、盆地的沉积、盆地的构造和含油气性均具有决定性的制约作用,因此,这是一级分类原则。压扭性盆地的分类见表1-2-1。

原生压扭性盆地是由压扭作用形成的盆地,从一开始就是在压扭性应力场中发育的,基本没有经历过明显的张—压作用阶段。后生压扭性盆地是先前已经形成的盆地在发展演化过程中由于区域应力场性质发生了转变,盆地的一部分或全部受到压扭作用改造转



变而成的。

压扭性盆地具有6个方面的石油地质特征：①压扭作用期间盆地的沉积速率较高，一般形成较厚的粗碎屑沉积，它们常构成很好的油气储集层；②盆地的烃源岩往往来自于前压扭期形成的富含有机质的岩石，但在强烈的压扭作用期间，在冲断带的前缘深拗陷（前渊）中有可能发育深水—半深水相的烃源岩；③压扭（张扭）作用期间形成的雁行式褶皱（包括背斜和断鼻等）往往是很好的油气圈闭；④压扭作用易于成藏；⑤压扭作用可以促进有机质的成熟生烃；⑥压扭性盆地的周边冲断带是油气赋存的有利部位（刘传虎，2006）。

表 1-2-1 压扭性盆地的基本分类（向奎等，2006）

盆地形成与压扭作用的时间关系	盆地类型	实 例
原生压扭性盆地	槽状向斜	西班牙东贝蒂克地区、美国南加利福尼亚 Ridge 盆地、美国怀俄明州东 Pryor 山脉 Dryhead 断层南终端
	某些弧前盆地	
	某些弧后前陆盆地	
	断层楔盆地	
	走滑断层挤压端上的倾伏向斜	
后生压扭性盆地	海沟	东南亚的诸多盆地
	某些弧前盆地	
	某些弧后前陆盆地 （俯冲带上微地块的加入）	新西兰北岛盆地
	压扭反转盆地	美国加利福尼亚州圣安德烈斯断裂带旁侧的盆地
	周缘前陆盆地	特提斯构造带西—中段的盆地
	压扭性前陆盆地 （与走滑断层有关的盆地）	柴达木、酒泉、准噶尔、塔里木等盆地

第二章 山前构造带特征

第一节 山前构造带研究现状

挤压盆地山前构造带属于前陆冲断带,地处盆—山结合部位,是开展盆地成盆动力学、盆山耦合关系及其演变研究的关键地段,一直是地质学界的研究热点。前陆冲断带(或称前陆褶皱冲断带)是指处于造山带和盆地之间的过渡部位,是造山带向盆地方向大规模掩冲推覆所形成的冲断系统(Peter, 1996)(见图2-1-1)。

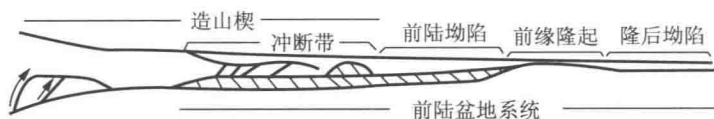


图2-1-1 前陆盆地系统横剖面图

(DeCelles 和 Giles, 1996)

国外山前构造带的研究经历了以下3个发展阶段:

(1) 初步认识阶段。20世纪70年代以前,由于仅有光点地震模拟技术,对于山前带的揭示并不完善,对于该构造带的成因机制探讨的很少。

(2) 认识迅猛发展阶段。20世纪70年代至80年代初,北美落基山山前逆掩带油气田的发现,掀起了对前陆冲断带勘探与研究的热潮。W. R. Dickinson(1976)界定了周缘、弧后与破裂3种构造环境下的前陆冲断带。A. W. Bally 和 S. Snelson(1980)首次将前陆冲断带的形成与缝合作用或造山作用相关联,认为其发育受A型俯冲作用控制。这一阶段对冲断带的认识成果主要集中在构造环境对砂岩成分的控制与构造格局对沉积相演化的影响两个方面。随着数字地震技术的进一步发展,新技术提供了较高分辨率的地震反射剖面,冲断带冲断推覆构造的研究发展到了一个新的阶段。

(3) 认识日渐成熟阶段。20世纪90年代至今,随着山地高分辨率地震与三维地震勘探技术的发展和提高,国外山前构造带的研究在实践、理论与研究方法上日渐成熟,国外开始将冲断带作为前陆盆地的一个构造单元,开展了构造地层分析及应用研究,前陆冲断带的构造—沉积响应研究取得进一步发展。W. R. Dickinson(1993)提出了盆地动力学,使盆地由静态的类型研究转变为动态的过程研究。C. Arenas(2001)在研究古西班牙东北地区与比利牛斯山脉晚期压性构造相关的Ebro盆地沉积作用时讨论了压性构造对盆地边缘扇体及冲积体系的控制作用。

近年来,除了应用重磁电震等地球物理手段综合分析(如联合反演)以外,逐渐成熟的

断层相关褶皱理论与方法成为前陆冲断带勘探研究的利器。其中,平衡地质剖面的概念为构造解释提供了基本的思路与方法,断层相关褶皱理论将平衡的观念定量化,在构造建模与构造解析中,给出一种合理、可行的方案。由于地质构造存在于三维空间,构造的形变在三度空间内,因此,二维剖面法还难以完全反映其全貌。对此,J. H. Shaw等(1994)提出了轴面制图法,反映褶皱沿走向的变化细节,进而得到平面上的面积平衡,从而对构造在三维空间中进行约束。在断层相关褶皱理论与方法的指导下,Alonso等通过分析欧洲西南部比利牛斯山脉的生长构造,详细讨论了褶皱作用对角度不整合的影响。Potter等指出美国阿拉斯加北坡布鲁克山脉变形前缘为滑脱褶皱和断层转折褶皱两者的叠合。N. Bellahsen等(2006)探讨了美国怀俄明州绵羊山背斜的基底卷入褶皱作用和裂缝空间展布。Schiffman研究了阿根廷西部逆冲带的地表构造和地震关系。

国内对前陆冲断带的研究始于20世纪50年代准噶尔盆地西北缘前陆冲断带上克拉玛依大油田的发现,总体起步较晚。

尹安等(2007)使用三角剪切和犁式逆冲断层模式对昆仑山北缘—柴达木盆地南缘构造进行了初步分析,提出柴达木盆地南缘为向南逆冲的构造模式。陈杰等(2001)讨论了塔里木盆地喀什地区冲断带第四纪滑脱褶皱,根据磁性地层学及生长地层计算西南天山造山带的缩短率为 $4.1\sim 5.8$ mm/年。何登发等(2005)研究了西昆仑北缘的大规模逆冲作用,给出了和田南生长断层转折褶皱的实例,认为有21 km的逆冲位移向北传递到220 km以外的玛扎塔格断裂带。

前人关于准噶尔盆地南缘构造特征的研究多侧重于构造变形样式(邓起东等,1999;吴建华等,2002)、构造发育时间(B. H. Fu等2003;方世虎等,2005、2007;郭召杰等,2006)、构造形成的动力学环境等方面的定性分析和少量的实验模拟工作及定量分析研究,但缺乏系统的野外地质调研、平衡剖面复原和构造物理模拟相互补充的复杂构造成因机理研究,致使关于褶皱—冲断带的变形过程及变形差异机制还不是十分清晰,导致对盆地南缘同一地区构造发育模式认识不一,圈闭构造落实不准确,探井失利原因分析不透彻,直接影响油气勘探重大方针的部署和实施,而将准噶尔盆地北缘哈山构造作为山前带的研究,还少有涉及。

近年来的研究表明,构造滑脱层的存在不仅是制约准噶尔盆地南缘构造样式形成演化的主控因素,也是造成深、浅层构造不协调的主要原因(邓起东等,1999;汪新伟等,2005;陈书平等,2007;董臣强等,2007)。但是,关于滑脱层的空间展布特征及其褶皱—冲断带的控制作用的认识存在严重的分歧,主要原因是上述研究工作虽然强调了滑脱层在构造演化过程中的作用,但对滑脱层的详细分布范围、厚度变化规律,上覆和下伏岩层的厚度及其深、浅滑脱层对褶皱—冲断带演化过程的控制作用缺乏定量化研究,也没有采用构造物理模拟方法进行模拟和验证。因此,前人建立的构造变形模型只具有定性意义,不可能合理、定量化地解释多滑脱层褶皱—冲断带的演化过程。从而导致对褶皱—冲断带演化过程的主控因素认识不清,在地震剖面解释模型的构建、构造变形时间的确定、变形量和变形速率的估算等方面存在诸多差异。

近年来,用构造物理模拟实验研究构造的形成机制和演化过程是构造定量解析的关键方法,该方法已被广泛应用于造山带和盆地构造的演化及转换断层的研究中,并对挤压、拉

伸、走滑等膏盐类滑脱层(盐构造)的变形过程进行系统模拟研究。但建立的主要是二维几何学和运动学模型,定量化模型都是建立在单层滑脱实验模拟的结果之上,而忽视了多层次滑脱层在挤压逆冲演化过程中对褶皱和断裂的控制作用。

随着造山带前缘构造变形特征的深入研究,人们发现,通过实际构造与相似实验模拟对比较验平衡剖面复原结果,可进一步提高平衡剖面分析结果的精度。

第二节 山前构造带的分类

根据前陆盆地的构造背景和相应类型,前陆盆地冲断带可划分为周缘前陆盆地冲断带、弧后前陆盆地冲断带、破裂前陆盆地冲断带、陆内前陆盆地或再生前陆盆地冲断带、走滑前陆盆地冲断带5种。弧后前陆冲断带的形成与A型俯冲关系密切,但B型俯冲对其形成也有制约作用。周缘前陆冲断带的形成主要与A型俯冲有关,该冲断带内侧常常有蛇绿岩、蛇绿混杂岩等卷入其中,基底卷入型构造、强烈叠瓦冲断构造为其主要变形样式,周缘前陆冲断带和弧后前陆冲断带有较大区别。贾承造等(2000)总结并详细讨论了依据不同原则划分的前陆冲断带地质结构类型;王平在等(2002)提出了相似的冲断带地质结构类型。山前构造带的划分原则如下。

(1) 根据断层是否切入基底。基底卷入型(厚皮构造):主要发育在造山带内部,前陆区基底断裂继承性活动或断层反转等;盖层滑脱型(薄皮构造):主要发育在前陆地区,受控于滑脱面、地层厚度及组成等因素。

(2) 根据冲断推覆体与下伏原地系统(如被动大陆边缘、断陷盆地等)厚度的相对变化。厚—厚叠加型:厚推覆体叠置在厚层被动陆缘层序之上,常形成多套有利的生储盖组合;厚—薄叠加型:推覆体巨厚,原地系统薄或直接为基底,油气来自推覆体自身;薄—厚叠加型:推覆体较薄,下伏原地系统巨厚,变形常为叠瓦冲断构造,原地系统生成的烃类可以充注一些冲断相关构造;薄—薄叠加型:薄推覆体叠加在基底或薄层原地系统之上,破裂变形占主导,成藏条件差。

(3) 根据前陆冲断带对前陆盆地的改造程度。强改造型:多层次或多期次冲断推覆将前陆盆地强烈切割、改造而形成的盆地类型(如背驮盆地);中等改造型:多期冲断活动在前陆盆地内部形成多排断褶带,但仍保留原始盆地面貌;弱改造型:冲断活动局限在盆缘且活动较弱,对盆地内部的改造不强烈。

(4) 根据典型构造变形样式(以盆—山结合部的典型样式为代表)。叠瓦断层式:老山向盆地呈叠瓦式冲断,在冲断前缘形成一系列构造;构造楔(或三角带)式:自构造楔向前陆为单斜或其他样式;反转式:控盆地边界断裂反转并向前陆逆掩;底辟式:某些前陆地区蒸发岩巨厚,受挤压而形成底辟瓦扇等样式。

管树巍等(2013)认为多层次拆离滑脱和水平缩短是中国中西部前陆冲断带最重要的运动学机制,从运动学的角度将中国中西部前陆冲断带划分为4种类型:I型前陆冲断带、II型前陆冲断带、III型前陆冲断带和复杂边界制约下的前陆冲断带(见表2-2-1)。

表 2-2-1 中国中西部前陆冲断带的运动学分类(管树巍等,2013)

类 型		运动学机制	基本特征	典型冲断带
I 型前陆冲断带	I ₁ 型(库车型)	冲断带内的断层位移沿滑脱面全部传递至盆地内部,断层位移在断坡位置引发褶皱变形	断层带宽度适中(>50 km),构造变形在位移传递方向具有明显的层次,成排成带特征明显	库车、帕米尔北缘乌泊尔和鄂尔多斯盆地西缘冲断带
	I ₂ 型(川西南型)		断层位移超远距离传递(>200 km),构造变形成排成带特征明显	四川盆地西南缘、塔里木盆地西南缘和田冲断带
	I ₃ 型(酒泉型)		古生界内部大规模水平逆掩推覆,地表构造窗和飞来峰发育,构造变形成排成带特征不明显	准噶尔盆地西北缘和酒泉盆地南缘冲断带
II 型前陆冲断带(淮南型)		冲断带内的断层位移既向盆地传递,也向造山带方向消减,断层位移在断坡位置引发褶皱变形	冲断带宽度较 I 型窄(<50 km),构造楔作用控制了地表背斜带排列方式,构造变形成排成带特征明显	准噶尔盆地南缘冲断带
III 型前陆冲断带(甫沙型)		冲断带内的断层位移全部沿着反冲断层向造山带方向消减	冲断带宽度适中(约 50 km),表现为典型的构造楔作用,地表构造变形微弱,成排成带特征不明显	塔里木盆地西南缘甫沙冲断带
复杂边界制约下的前陆冲断带(柴达木型)		冲断带内的断层位移传递受盆地形态和周缘边界限制,盆地同时发生侧向滑动	无稳定的前陆区和楔状沉积结构,主滑脱面位于上地壳 12~13 km 深度,构造变形成排成带特征明显	柴达木盆地西南缘和北缘冲断带

第三节 中西部山前构造带的构造特征

由于受冲断带构造形成时间、变形程度、调节构造和构造应力等因素的影响,前陆冲断带往往呈现构造分段特征,不同构造带和构造段在构造样式、构造变形机制及成藏特征上均表现出明显的差异性(宋岩等,2005)。前陆盆地冲断带构造的分段性、差异性决定了前陆盆地不同构造段油气成藏特征、油气分布规律及油气丰度的差异,如扎格罗斯前陆盆地以近平行于扎格罗斯山的背斜构造为主,油气保存相对较好、油气丰度高;西加拿大前陆盆地及褶皱带也基本未被后期构造叠覆、分割和复杂化;而美国落基山盆地、东委内瑞拉盆地、沃希托盆地及其褶皱带由于被改造和分割成不同的构造单元,油气分布也变得复杂化。

中国中西部山前构造带的形成及演化经历了 3 个伸展聚敛旋回(何登发等,1999)。聚敛期主要形成挤压构造(如褶皱冲断带);伸展期形成被动大陆边缘或断陷盆地,展布范围较广,从而构成聚敛期盆地的叠加基础。中西部前陆冲断带一般经历了 2~3 个形成时期,前陆冲断活动主要有 S-D、C₂-P、P₂-T、E₃-Q 这 4 个时期,主要与古亚洲洋和特提斯洋的闭合有关。除准噶尔盆地西北缘冲断带在中侏罗世以来埋藏成为古冲断带外,其余冲断带自渐新世以来都强烈活动,它们叠加的基础是中生代的断陷或坳陷盆地。中西部山前构造带的构造特征如下:

(1) 滑脱层位。

中国中西部前陆盆地中侏罗系煤系、下第三系膏盐岩、膏泥岩或泥岩厚度较大,为区域性滑脱层,它们是中西部前陆冲断带多层次滑脱得以实现的重要基础。此外,石炭系煤系、寒武系底部膏盐岩、泥岩也是两个极为重要的地区性滑脱层。

(2) 构造变形特征。

造山带向盆地冲断掩覆的后缘多是深度变质岩系,它们构成厚皮冲断构造,造山带向前陆方向可发育叠瓦式推覆体(如鄂尔多斯西缘、川西前龙门山)。现今盆—山边界多为三角带构造或构造楔,如台北缘、库车、喀什北缘、塔西南山前等,该部位是“吸收”造山带大规模冲断位移的主要地带,被动顶板双重构造、背形叠加等样式比较常见,前方常是发育在反冲断层之上的前缘单斜带。

(3) 构造分带与构造分段特征。

由于构造变形的差异性 or 传替性,前陆地区常形成多排构造带,它们多是断层相关褶皱背斜带或其他叠加构造。例如在库车坳陷,由北部单斜带向南,自北而南有克拉苏—依奇克里克叠加背斜构造带(为浅层破裂的断层传播褶皱与下伏的三角带构造或断层转折褶皱背斜的叠加)、秋立塔格背斜带、亚肯生长背斜带等近东西向三排构造带。塔西南、淮南、准西北缘、台北缘、柴北缘等地区都存在这种现象(王平在等,2002)。

第三章 油气资源潜力与勘探难点

第一节 资源潜力与构造控油特征

从著名的特提斯构造带到环太平洋构造带,全球发育了众多的前陆盆地,而处于前陆盆地活动翼的山前构造带是油气聚集的重要场所。例如特提斯构造带前扎格罗斯盆地,探明油气当量 $360 \times 10^8 \text{ t}$; 苏门答腊盆地,探明油气当量 $39.3 \times 10^8 \text{ t}$; 卡拉库姆盆地,探明油气当量 $42.57 \times 10^8 \text{ t}$; 北美阿拉达科盆地发育了美国最大的气田——潘汉德-胡果顿气田,含油气面积 $20\,235 \text{ km}^2$,原始可采储量 $31\,442 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

现有油气勘探和地质研究成果都显示中国西部山前复杂构造带同样具有巨大的油气勘探潜力,是西部新区勘探的重要领域之一。中国石油化工集团公司(下简称中国石化)在西部 11 个盆地登记了 38 个区块,探区总面积约 $13.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中山前带累计面积约 $1.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。中国石油天然气集团公司(下简称中国石油)在山前带相邻地区已发现淮南,库车克拉 2、迪那 2,酒西窟窿山等一批探明油气当量 $5\,000 \times 10^4 \text{ t}$ 以上的大型油气田。其中,在准噶尔盆地西北缘哈拉阿拉特山前缘构造带已经发现百口泉、乌尔禾、风城、夏子街 4 个油田,截至 2008 年底累计探明储量 $32\,154.73 \times 10^4 \text{ t}$; 近几年,不断在淮南山前带取得勘探大突破,先后发现独山子、奇古、吐谷鲁等 8 个油田,呼图壁、玛河两大气田,其中霍尔果斯背斜钻探的霍 10 井试油获油 56 t/d 、气 $4.4 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$,安集海河背斜安 5 井获油 $85 \text{ m}^3/\text{d}$,玛纳斯背斜玛纳 1 井获气 $51 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。而据中国石油“十一五”评价,柴北缘油气资源量约为 $19.11 \times 10^8 \text{ t}$ 。

受控于前陆冲断带的叠加基础、构造变形组合方式或地质结构类型、改造程度与保存条件等因素,不同前陆冲断带或同一前陆冲断带的不同构造分段的油气资源与含油丰度存在明显差异。总体看来,前陆冲断带的控油性与油气分布具有以下特点(王平在等 2002)。

(1) 两套油源层系供油,油源基础良好。一般的前陆冲断带(如厚—厚叠加型、薄—厚叠加型)常有两套生烃层系(何登发等,1996):一是前一前陆盆地的层系,如断陷—坳陷或被动大陆边缘层系,由于构造活动相对宁静,往往发育了优质烃源岩;二是前陆盆地演化早期,发育一套半深湖—深湖相沉积,如准噶尔盆地西北缘及南缘的二叠系,往往发育优质烃源岩(如 P_1f 、 P_2l 、 P_2w 地层)。中西部地区上石炭统—二叠统、上三叠统以及侏罗系的含煤岩系是前陆冲断带叠加的直接基础,如鄂尔多斯西缘、库车、淮南、台北缘等地区。

(2) 多套断裂系统发育,油气排运充分,油气充注效率高。由于断裂系统多期活动,烃源岩内微裂隙异常发育,大大提高了烃源岩的排烃效率(Price, 1994)。前陆冲断带部位烃源岩主要是在冲断负荷作用之后进入生烃高峰,与区域内构造强烈活动时期相匹配,从而

能使大多数油气排运出来,有效地充注该期形成的圈闭。

(3) 同构造沉积的出现使前陆冲断带多形成一套成藏组合。前陆冲断带主要有3种成藏组合:前陆盆地冲断层—褶皱组合、同构造期砂砾岩(扇体)组合、构造期后沉积地层成藏组合。第一种成藏组合最常见,第三种为次生成藏组合,第二种的意义较大。如准噶尔盆地西北缘二叠系、三叠系冲积扇油藏,具有“一扇一藏”的特点,在其扇顶、扇中亚相含油较丰富。由于扇体的侧向摆动或加积,砂砾岩储集体厚度增大,侧向上可叠合连片,形成大油气田(如克拉玛依油田)。

(4) 前陆盆地演化过程中往往经历了受限水体由深变浅的过程,沉积了1~2套膏泥岩、膏盐岩,它们的存在使浅层变形、中深层烃类封闭成为可能。如塔西南、库车、河西走廊带等部位下第三系的膏泥岩、膏盐岩发育,它们作为滑脱层不但使浅部变形成为可能,而且可以很好地封盖下伏构造,从而保存大量烃类,如克拉2号气田。

(5) 前陆冲断带多层次、多期次构造活动形成了局部良好封闭的圈闭,为油气储集提供了大量空间。中国中西部前陆冲断带已发现的油气藏类型有7种:①背斜油气藏,包括柯克亚型(上下高点基本一致)、依奇克里克型(高点略有偏离)、中坝型(潜伏背斜型);②断背斜油气藏,包括老君庙型(破裂的断层传播褶皱背斜)、呼图壁型(断层下盘的背斜);③残余背斜油气藏(如齐古油田);④盐拱背斜油气藏(如大宛齐油气藏);⑤断块油气藏,有冷湖5号、夏子街、车排子等类型;⑥叠加构造型,有克拉苏型(浅层破裂构造之下的三角带构造)、依南型(低位凸起型)、南八仙型(基底断层传播褶皱之上叠加了反向断层)等;⑦复合油气藏,如克拉玛依油田,多种油气藏组合成复式油气聚集带。中深层构造的聚油条件较为优越。

(6) 前陆冲断带构造的形成期与生排烃期的有效匹配是前陆冲断带富集油气的关键条件。

(7) 从烃源岩母质类型与热演化程度来看,前陆冲断带以聚气为主,而前陆斜坡与前缘隆起部位以聚油为主;从构造形成期来看,“古”构造聚油,“今”构造聚气,冲断序列也可能影响油气分布。

(8) 构造分段性是不同构造区段含油气存在差异的根本原因。这可能是由于:①不同构造区段所叠加的“基础”(可能是烃源岩系)不同;②不同构造区段与毗邻的生烃坳陷远近不一,生烃坳陷的烃类母质热成熟演化存在较大差异;③不同构造区段的构造样式差异明显;④不同构造区段的形成时间不一样,因而与生排烃期的匹配不完全一致。

第二节 油气资源勘探难点

归纳起来,制约山前构造带油气勘探的主要问题有以下几点:

(1) 地层产状高陡,地震成像困难。

山前构造带地层的挤压、推覆构造十分发育,地层产状高陡,如准噶尔盆地南缘,地表产状一般达到 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$,米泉地区甚至达到 $58^{\circ}\sim 87^{\circ}$,准北缘哈山地表地层倾角一般为 $50^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。地震工作条件相当困难,且表层多为不含水的干燥地层,多为砾石堆积区,表