

中国前陆盆地 构造—沉积充填响应与深层储层特征

高志勇 朱如凯 冯佳睿 郑荣才 纪友亮 著
曾联波 林畅松 周川闽 崔京钢 刘景彦



地质出版社

中国前陆盆地构造－沉积 充填响应与深层储层特征

高志勇 朱如凯 冯佳睿 郑荣才 纪友亮 著
曾联波 林畅松 周川闽 崔京钢 刘景彦

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书详细介绍了中国中西部天山南北库车坳陷、准噶尔盆地南缘、昆仑山前塔西南坳陷与龙门山前川西坳陷等重点前陆盆地的层序地层与构造—沉积充填响应、构造运动与沉积响应动力学,以及前陆系统(前前陆层序—前陆层序)的砾石演化特征与岩相古地理。对前陆盆地构造—成岩系统与储层关系、深层裂缝性储层成因机制与改造等方面进行了系统总结。利用地质研究与成岩物理模拟实验相结合的方法,对前陆盆地深层储层孔隙定量演化与有利储层平面展布进行了评价与分析。

本书可供从事石油与天然气地质勘探与开发的科研与管理人员以及相关院校师生参考与阅读。

图书在版编目(CIP)数据

中国前陆盆地构造—沉积充填响应与深层储层特征 /
高志勇等著. —北京:地质出版社, 2016. 3

ISBN 978-7-116-08251-9

I. ①中… II. ①高… III. ①前陆盆地—沉积构造—
响应—中国②前陆盆地—储集层特征—中国 IV.
①P512.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 059580 号

责任编辑:孙亚芸 李 军

责任校对:王 瑛

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话:(010)66554528(邮购部);(010)66554633(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010)66554686

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:16.75

字 数:400 千字

版 次:2016 年 3 月北京第 1 版

印 次:2016 年 3 月北京第 1 次印刷

定 价:78.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-08251-9

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前言

在世界范围内,近10年所发现的19个超巨型油气田中,有14个是在前陆冲断带以及与前陆和地台有关的地区发现的。在我国中西部,有多个前陆盆地或前陆冲断带蕴藏着巨大的油气资源,勘探潜力巨大。经过多年的油气资源勘探,相继在塔里木盆地库车坳陷、塔西南坳陷,准噶尔盆地西北缘、南缘,四川盆地川西坳陷等处获得重大油气发现。中国前陆盆地受喜马拉雅运动影响强烈,盆地内多期构造叠加,尤其是晚期前陆盆地覆盖在早期盆地之上,造成前陆盆地结构复杂,由于沉积相多变且相变快致使储层分布预测难。因此,作者通过对以四川盆地龙门山前上三叠统须家河组为代表的类前陆盆地,南北天山前库车前陆盆地、淮南前陆盆地、昆仑山前塔西南前陆盆地的古近系-新近系陆内前陆盆地,以及侏罗系-白垩系前前陆层序的构造-沉积充填与深层储层特征研究,以期在前陆盆地不同构造部位的构造演化、构造作用对沉积充填的影响、构造对储层的改造、储层成岩与孔隙演化以及储层评价等方面有所突破,为油气勘探奠定地质基础。

本书是作者自2008年以来,在中国中西部前陆盆地构造演化与沉积充填响应、沉积砂体展布、深层储层成岩与孔隙演化、深层有利储层分布等方面,多年潜心研究所取得的重要进展的总结,研究成果包括以下5个方面:

1) 中国的前陆盆地按照形成时间和属性特征可划分为两类,其一为晚三叠世形成的以川西前陆盆地为代表的类前陆盆地,其二为古近纪以来形成的以天山南北库车与准噶尔盆地南缘为代表的陆内前陆盆地。库车、淮南与塔西南等前陆盆地现今油气勘探的重要层系如侏罗系、白垩系属前前陆层序。前陆盆地构造-沉积充填响应划分为构造活动初始期、构造高峰早期、构造高峰晚期和构造活动宁静期4个阶段,并建立了我国前陆盆地构造-沉积充填演化模式。

2) 前陆盆地“两类相组合”控制了前陆层序的沉积砂体平面展布,即粗粒的冲积扇-扇三角洲-水下扇的相组合控制前陆冲断带的砂体分布,而位于前陆斜坡-隆起带的砂体受较细粒的河流-三角洲相组合控制。

3) 前陆盆地储层质量受沉积(岩)相、构造裂缝、流体及埋藏方式4种因素控制。前前陆层序-前陆层序的沉积相对储层具有明显的控制作用。砂岩中原始物质的组成是决定剩余原生孔隙保存的基本条件,在较高的岩石成熟度、粒度粗

的砂岩塑性岩屑含量低的储层中,有利于剩余原生孔的保存。如库车与准噶尔盆地南缘深层储层在早期长期浅埋、后期快速深埋的埋藏方式下,储集体中剩余原生粒间孔才得以保存。构造裂缝改善了储层的渗透性,进而可形成高产储层。溶蚀作用提高了深层储层的孔隙度,溶蚀作用决定于被溶的物质组分、原生粒间孔的分布、溶蚀流体的性质与分布等。

4) 侧向构造挤压、垂向快速压实是晚期前陆演化对深层储层的两种改造机制。侧向构造挤压产生的构造缝对深层储层具重要改造作用。

5) 在前陆盆地早期长期浅埋、后期快速深埋的特有埋藏方式下,开展地质过程约束下的成岩模拟实验,模拟了垂向埋藏压实作用对库车前陆盆地冲断带深层与淮南斜坡带深层储层的作用过程与改造效果,明确指出垂向快速压实作用是晚期前陆演化对深层储层改造的另一重要机制。颗粒破裂造缝、次生溶蚀控制了深部储层孔隙度,颗粒定向排列支撑、孔隙均一性控制了储层基质孔的渗透性。

在多种方法地质研究与模拟实验分析的基础上,认为前陆冲断带—前渊带发育孔隙—裂缝型、裂缝型有利储层,前陆斜坡带发育溶蚀孔,隆起带主要为剩余原生粒间孔型储层。

本书由高志勇、朱如凯、冯佳睿、郑荣才、纪友亮、曾联波、林畅松、周川闽、崔京钢、刘景彦等合著完成。第一章由高志勇、朱如凯、郑荣才、纪友亮、林畅松、刘景彦执笔;第二章由高志勇、纪友亮、朱如凯执笔;第三章由高志勇、纪友亮、林畅松、刘景彦、周川闽执笔;第四章由郑荣才、朱如凯、冯佳睿执笔;第五章由曾联波、周川闽执笔;第六章由高志勇、冯佳睿、崔京钢执笔;第七章由朱如凯、郑荣才、高志勇、冯佳睿、周川闽执笔。李凤杰、巩磊、祖克威、潘春孚、黄贤营、徐奉学、李小陪、赵雪松、郭美丽、吴昊、李雯、张丽媛、周冬林、朱利峰、李晓英等同志参与了野外露头测量、部分章节的图件编制与写作工作。前言和全书统稿工作由高志勇完成。

本书是作者多年来针对中国中西部前陆盆地开展沉积、储层研究的总结与提升,也是研究团队多年辛苦工作的结晶。各项工作的完成与中国石油勘探开发研究院、成都理工大学、中国石油大学(北京)、中国地质大学(北京)的各级领导及相关研究人员的关心、支持与帮助紧密相连,顾家裕、宋岩、赵孟军、袁选俊、郭宏莉、罗忠、卓勤功、李本亮、张朝军、陈竹新、刘银河等同志给予了很多关心与帮助,在此对所有给予我们关心和帮助的同志致以最衷心的感谢!

鉴于作者水平有限,书中不当之处敬请批评指正!

作者

目 录

前言

第一章 前陆盆地层序地层与构造 – 沉积充填	(1)
第一节 前陆盆地层序界面与格架	(1)
一、国外重点前陆盆地层序与沉积学新进展	(1)
二、中国前陆盆地层序地层界面与格架	(3)
三、前陆盆地层序内部结构特征	(10)
第二节 前陆盆地构造 – 沉积充填演化	(12)
一、川西前陆盆地构造 – 沉积充填	(13)
二、淮南前陆盆地构造 – 沉积充填	(22)
三、库车前陆盆地构造 – 沉积充填	(23)
四、塔西南前陆盆地构造 – 沉积充填	(27)
五、前陆盆地构造 – 沉积充填演化模式	(28)
第二章 前陆层序构造运动与沉积响应动力学	(31)
第一节 前陆层序沉积砂体对构造作用响应动力学	(31)
一、构造逆冲作用力学性质	(31)
二、构造逆冲作用力控制沉积充填方式	(34)
三、多幕构造运动控制砂体展布	(36)
四、构造调节带控制物源方向与砂体迁移	(39)
第二节 前陆层序有利砂砾岩体平面展布	(42)
一、重点前陆盆地重矿物特征及其对构造运动响应	(42)
二、前陆盆地砂体平面展布控制因素与模式	(59)
第三章 前陆盆地砾石演化特征与岩相古地理	(68)
第一节 北天山前准噶尔南缘砾石特征与岩相古地理	(68)
一、准噶尔盆地南缘砾石特征与盆 – 山响应	(68)
二、准噶尔盆地南缘岩相古地理特征	(74)
第二节 南天山前库车坳陷砾石特征与岩相古地理	(85)
一、库车坳陷砾石特征与盆 – 山响应	(86)
二、库车坳陷岩相古地理特征	(95)
第三节 昆仑山前塔西南坳陷砾石特征与岩相古地理	(107)
一、塔西南坳陷砾石特征与盆 – 山响应	(107)
二、塔西南坳陷岩相古地理特征	(116)

第四章 前陆盆地构造 - 成岩系统与储层关系	(128)
第一节 前陆盆地储层构造 - 成岩作用	(128)
一、各构造单元储层成岩流体演化特征	(128)
二、各构造单元构造 - 成岩演化与储层关系	(134)
第二节 前陆盆地有利储层质量控制因素	(140)
一、沉积 (岩) 相控制原生孔隙发育程度	(140)
二、地层流体溶蚀作用形成次生孔隙	(146)
三、构造裂缝对储层具重要改善作用	(150)
四、埋藏方式对储层质量有重要影响	(155)
第五章 前陆盆地深层裂缝性储层成因机制与改造	(158)
第一节 深层储层裂缝特征	(158)
一、裂缝产状与规模	(158)
二、裂缝有效性	(160)
三、裂缝密度特征	(163)
四、裂缝物性特征	(168)
第二节 库车前陆盆地深层储层裂缝成因机理	(169)
一、裂缝成因类型	(169)
二、裂缝形成期次及时间	(172)
三、裂缝形成机理	(177)
第三节 储层裂缝发育控制因素	(178)
一、裂缝与岩性的关系	(178)
二、裂缝与层厚的关系	(179)
三、裂缝与成岩相的关系	(180)
四、裂缝与构造的关系	(181)
五、裂缝与异常高压的关系	(183)
第四节 储层裂缝分布与预测	(185)
一、数值模拟模型的建立	(185)
二、构造应力场的数值模拟	(186)
三、储层裂缝渗流单元的划分	(190)
第六章 前陆盆地深层储层孔隙定量演化	(195)
第一节 地质过程约束下深层储层成岩物理模拟	(195)
一、储层成岩模拟系统	(196)
二、库车前陆冲断带深层储层成岩模拟	(197)
三、淮南前陆斜坡带深层储层成岩模拟	(199)
第二节 深层储层孔隙演化定量分析	(201)
一、前陆冲断带深层储层孔隙演化定量分析	(201)
二、前陆斜坡带深层储层孔隙演化定量分析	(211)

第七章 前陆盆地深层有利储层分布	(222)
第一节 前陆盆地不同构造单元有利储层特征	(222)
一、各构造单元储层岩石学特征	(222)
二、各构造单元储层物性特征	(233)
第二节 重点前陆盆地有利储层分布	(236)
一、环青藏高原西段前陆盆地	(236)
二、环青藏高原中段前陆盆地	(243)
三、环青藏高原东段前陆盆地	(245)
参考文献	(252)

第一章 前陆盆地层序地层与构造-沉积充填

在过去的几十年里,前陆盆地的研究经历了一个从最初的宏观模型到现在的精细地层分析的发展过程。Beaumont (1981) 和 Jordan (1981) 的研究让我们从宏观上认识到造山带负载是前陆盆地沉降的决定性因素。Flemings 和 Jordan (1989) 及 Sinclair 等 (1991) 通过模拟使我们看到剥蚀和沉积作用及造山带逆冲速率对前陆盆地的地层充填有重要影响。Heller 等 (1988) 及 Jordan 和 Flemings (1991) 认识到造山带的幕式逆冲可以造成前陆盆地发育两种完全不同的地层。DeCelles 和 Giles (1996) 进一步地细化了弧后前陆盆地的沉积单元,提出了前陆盆地体系的概念。Yang (2011) 根据造山带的幕式逆冲特点,建立了在几百万年规模内弧后前陆盆地可能发育的地层充填样式和沉积体系。这种从宏观模型到精细研究的发展使我们能够更深入地了解前陆盆地的演化历史,对在前陆盆地内的油气勘探更有实际的指导意义(杨永泰,2011)。

第一节 前陆盆地层序界面与格架

一、国外重点前陆盆地层序与沉积学新进展

目前,国外重点前陆盆地层序与沉积学研究取得了重要进展,主要表现在6个方面。

(1) 全球前陆盆地主要冲断带

全球从前寒武纪至古生代广为发育的盆地类型为克拉通,中、新生代则为裂谷、被动大陆边缘盆地和前陆盆地。前陆盆地油气藏是聚集在构造或非构造圈闭上的重要油气藏。美国地质调查局2007年公布的数据显示,前陆盆地的油气资源巨大,石油资源量约占46%,天然气占29%。全球重要的冲断带有 Alpine-Himalayan 冲断带、环太平洋造山冲断带和北美 Cordillera-南美 Andes 冲断带。从动力学机制上讲,前陆盆地冲断带与俯冲作用及次级转换断层密切相关,表现为造山作用楔状体的隆起与负荷驱动的沉降作用之间的动力平衡,其沉积演化也与普通盆地有较大差异。

(2) 沉积水系特点

汇聚板块边缘的前陆冲断带常形成一系列平行于造山带的逆冲断裂和褶皱。逆冲断裂经历了成核、生长及横向传播等过程。褶皱的演化与隐伏逆冲断裂的生长有着密切的关系,隐伏逆冲断裂作用形成了地表显著的褶皱样式。水系形态能够非常敏感地记录活动构造的演化过程,尤其对于褶皱横向生长的地区,常形成特征的水系形态。在伊朗东南部,前陆冲断带发育平行于 Zagros 造山带走向的褶皱带,并形成特征的水系形态。这些水系形态标志包括:不对称的水域形态,水系受到阻挡发生弯曲、捕获和并流现象,背斜脊部

风口的形成以及高度依次降低排列,不对称的冲积扇体及被纵向河流分隔的两侧背斜的水系形态差异等。

(3) 前陆盆地裂缝性储集层

中伊朗盆地的形成和发展受特提斯洋张力以及阿拉伯板块和伊朗板块边缘聚力的复合控制,其演化经历了基底裂谷(Z_1)、被动边缘(Z_2-T_2)、裂谷盆地(T_3)、弧后前陆盆地($J-N_1^1$)、陆内拗陷-挤压改造(N_1^2-Q)等不同阶段。Zagros 冲断带在平面上表现为不同区带裂缝性储集层分布的差异性,在纵向上表现为地表以下 3000m 内裂缝性储层质量变好,而较强的石英胶结作用使裂缝性储集层渗透性变差。

(4) 构造作用同期的沉积楔状体

前陆盆地沉积层序关键界面主要有 3 种表现形式:最大洪泛面,区域性侵蚀间断面或侵蚀不整合面,区域性平行不整合面。沉积充填特征在进积期构造带的构造推覆作用不发育,山前地区和盆地边缘地区转变为沉积物剥蚀区,盆地内发育三角洲-湖泊沉积体系;退积期造山带构造推覆作用增强,山前地区和盆地边缘地区受此作用相对下沉并接受沉积,此时冲积扇-湖泊沉积体系发育,三角洲沉积环境不发育。在西班牙东北 Ebro 盆地边缘古近纪发育构造作用同期的沉积楔状体,在冲积扇砾岩层内发育一种层内、复合的递进型同构造不整合。构造作用同期的沉积楔状体具有软弱的底层,沉积厚度变化大,剪切力大,可以产生褶皱和底辟作用。

(5) 欧洲 Spitsbergen 前陆盆地的体系域和沉积砂体

在 Spitsbergen 前陆盆地体系中,斜积层进积到前渊沉积区,沉积砂体出现有规律的展布特征。细分每套沉积层序可以发现,最大洪泛面和低位体系域、海侵体系域及高位体系域的发育与海平面变化密切相关。沉积砂体的分布主要在低位体系域和高位体系域,尤其是低位体系域的砂体,被海侵体系域的泥岩所覆盖,易于形成岩性-地层圈闭油气藏。Spitsbergen 大陆边缘西南海域的地质特征显示,巴伦支海大陆边缘和邻近的挪威深水海域、格陵兰盆地及 Atka and Pomorsky 海槽的沉积盖层,包括下部同裂陷沉积和使陆架外延的上部后裂陷进积斜坡沉积等,都属于新生代陆相沉积。新生代最厚的沉积位于 Atka 海槽的沉降中心和 Pomorsky 海槽陆坡区,厚度达 1000m;在 Homsund 断层地带和斯瓦尔巴特板块西部边缘沉积厚度达 7000m。

(6) 南美 Andes 前陆盆地的南北差异及其含油气系统

厄瓜多尔 Oriente 盆地是南美安第斯山前的一个前陆盆地,是厄瓜多尔的主要产油区。通过对 Oriente 盆地油气地质条件的系统分析,认为该区块烃源条件较好、储集条件优越、生储盖组合有利,具有较大的勘探潜力。晚白垩世末至古近纪时期形成的低幅(断)背斜、岩性-背斜构造是区内有利的勘探目标。南美 Andes 前陆盆地中南部,烃源岩的地质时代较广泛,从志留纪一直到白垩纪,尤其是志留系和泥盆系成为主要的烃源岩,如 Bolivia 和 South Peru 盆地的烃源岩,与南美 Andes 前陆盆地的古生代古地理特征有关,从而形成了南美 Andes 前陆盆地从古生代到中生代的多套含油气系统。

综上所述,南美和欧洲、中东等地区的前陆盆地沉积演化特征和石油地质特征表明,前陆盆地山前冲断带残余油藏发育,成因是油气的调整和破坏;紧邻前渊拗陷内冲断带天然气藏发育,成因是晚期高一过成熟天然气的充注;前陆斜坡和前缘隆起凝析油藏或油藏发育,成因是早期形成原油的充注。因此,前陆盆地不同区带的石油地质意义不同,对油气勘探的认识也有差异(吴因业等,2011)。

二、中国前陆盆地层序地层界面与格架

早期类前陆盆地以川西上三叠统较为典型,底部为雷口坡组海相灰岩、小塘子组海相泥岩,中上部主体为河湖相浅水砂、泥岩含煤建造,局部地区顶部有少量磨拉石建造,厚度达600~4000m,呈长条形楔状体。侏罗纪时,川西前陆盆地停止发展。喜马拉雅期,龙门山前的冲断复活,在山前形成了白垩纪—古近纪的磨拉石盆地。晚期再生(陆内)前陆盆地以南天山前库车坳陷为代表(彭希龄等,2006)。三叠纪—侏罗纪广泛发育煤系地层沉积,白垩纪发育大面积分布的砂、泥互层,古近纪为含膏盐建造。新近纪以来,随着天山快速隆升,磨拉石建造更大规模地充填在山前地区。再生前陆由古近纪—新近纪早期的稳定前陆层序系统和新近纪—第四纪的活动前陆层序系统组成。前陆层序系统内构造—沉积层序格架的建立,对研究前陆盆地内构造—沉积响应特征和充填演化相当重要。因此,下面以川西前陆盆地、库车前陆盆地和准噶尔南缘前陆盆地为例,阐述前陆层序系统内构造—沉积层序地层格架。

1. 前陆盆地层序界面

(1) 一级层序界面特征

一级层序界面为构造运动界面,具有如下特征:

1) 野外地质剖面存在高角度同生构造不整合现象。不整合面在冲断带和前缘隆起上较发育,常为高角度不整合面;向盆地内部逐渐过渡为大规模区域性低角度不整合面、平行不整合面、沉积间断面和整合面。冲断带发育的构造活动阶段的侵蚀不整合和构造活动宁静阶段应力松弛回弹隆升所造成的不整合叠合在一起,形成同生构造不整合。前缘隆起在逆冲带引起的岩石圈弹性或黏弹性流变变形下形成的侵蚀不整合与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叠合在一起,形成同生构造不整合。如在准噶尔盆地南缘,托托剖面古近系紫泥泉子组与下伏二叠系呈高角度不整合接触,南安集海剖面古近系紫泥泉子组与下伏白垩系呈平行不整合接触(图1-1);库车前陆盆地野外剖面中,古近系库姆格列木群与下伏白垩系巴什基奇克组呈角度不整合接触;川西前陆盆地,金河剖面见须家河组与雷口坡组呈角度不整合接触,合川炭坝剖面见须家河组六段与上覆自流井组呈角度不整合接触(图1-2)。

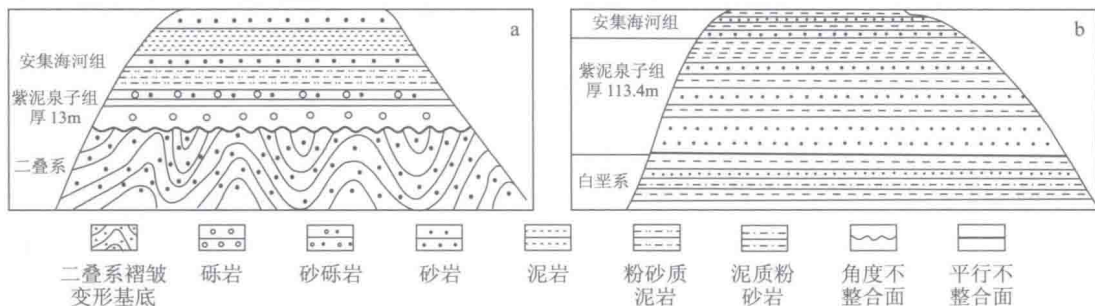


图1-1 高角度不整合与平行不整合构成的一级层序界面特征

a—准噶尔南缘托托剖面; b—准噶尔南缘南安集海剖面

2) 地震剖面存在大规模削截不整合现象。如在川西前陆盆地地震剖面上, T_6 和 T_4



图 1-2 野外剖面中的角度不整合反映的一级层序界面特征

a—川西前陆盆地金河剖面，FSB 为一级层序界面（据李士祥等，2006）；b—川西前陆盆地合川炭坝剖面

地震反射界面之下可见到明显的削截不整合面现象（图 1-3）。从这些地震剖面上还见削截不整合面下伏反射层与不整合面的接触角度从新地层到老地层逐渐增大。

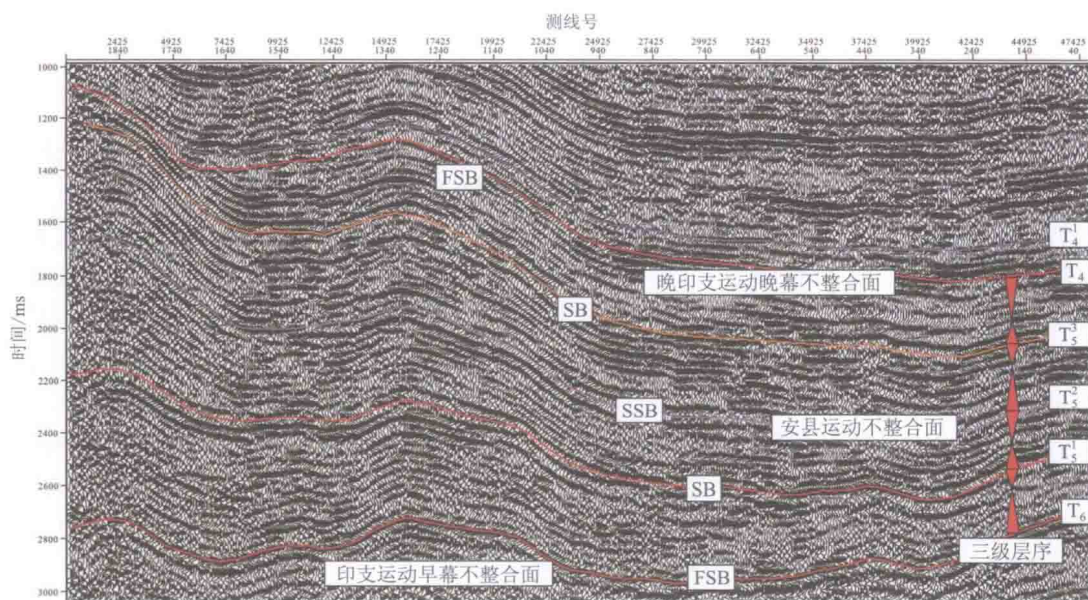


图 1-3 川西前陆盆地一、二、三级层序界面地震反射特征

（据郑荣才，2010）

FSB——一级层序界面；SSB——二级层序界面；SB——三级层序界面

3) 存在岩性—岩相突变面、测井响应值突变面或测井相转换面。淮南前陆盆地川玛 1 井 1868m 井段见到一级层序界面，界面之上的古近系以砂岩、砂砾岩夹泥岩为主，界面之下为白垩系泥岩；测井响应特征表现为界面之下的自然伽马曲线高值突变为界面之上的低值，界面之下的电阻率曲线中低值突变为界面之上的高值；自然伽马和电阻率曲线的包络线形态表现为由界面之下的漏斗型转换为界面之上的箱型（图 1-4）。

4) 存在重矿物种类及含量突变面。淮南前陆盆地头屯河剖面一级层序界面之下的上白垩统稳定重矿物钛铁矿、“ZTR”组合重矿物相对含量较高，磁铁矿、磷灰石相对含量较低，不稳定重矿物角闪石相对含量较高，辉石相对含量较低；一级层序界面之上的古近



地层			厚度 m	岩性剖面	沉积 微相	重矿物组合特征/%														ZTR 特征	湖平面相对变化曲线 升 降					
界	系	统				稳定重矿物特征							不稳定重矿物特征													
						磷石	金红石	石榴子石	尖晶石/磷灰石	电气石	绿帘角闪	白钛石	锆英石	独居石	绿帘石	绿帘角闪	角闪石	辉石								
新 生 界	第四系	新近系	N _{4d}	6000	[岩性剖面]	熊状河河道															c	[湖平面变化曲线]				
						熊三角洲平原 分流河道间																			b	
						熊三角洲平原 分流河道																				a
						熊三角洲平原 分流河道																				
古近系	E _{2-3a} E _{1-2z}	5000	[岩性剖面]	熊三角洲平原 熊状河河道															c							
				熊三角洲平原 熊状河河道																	b					
				熊三角洲平原 熊状河河道																		b				
				熊三角洲平原 熊状河河道																			a			
中 白 生 界	上白垩统	K _{2d}	4000	[岩性剖面]	熊状河河道														[ZTR特征]							
					熊状河河道																					
					熊状河河道																					
					熊状河河道																					
下白垩统	K _{1fg}	3000	[岩性剖面]	熊状河河道															[ZTR特征]							
				熊状河河道																						
				熊状河河道																						
				熊状河河道																						

.....

砾岩

.....

砂砾岩

..

粗砂岩

....

细砂岩

.....

粉砂岩

.....

泥质粉砂岩

.....

粉砂质泥岩

—

泥岩

—

一级层序界面

.....

二级层序界面

• 5 •

5) 存在古生物种类突变面或转换面。在准噶尔南缘一级层序界面之下的上白垩统东沟组含有恐龙蛋化石, 且介形类属种较少, 以 *Talicypridea* 占统治地位, 并有 *Ziziphocypris*; 脊椎动物群有 *Oolithes elongotud*, *O. spherides*, *Shanshanosaurus hoyanshansis*, *Nemegtosaurus pachi*, *Tyrannosaurus turpanensis*, *Tarbosaurus* sp., *Ankylosaurus*, *Prohadrsauriane*, *Carnosaurus*, *Hadrosauridae*, *Euoplocephalus*, *Mongolemys turfanensis* 等。一级层序界面之上的紫泥泉子组含介形类 *Limnocythere fragilis*, *Eucypris inclinsis*, *Darwinula oblica* 等以及脊椎动物群 *Eudinoceras* sp.、植物和轮藻 (纪友亮等, 2008; 邓胜徽等, 2003, 2010)。

(2) 二级层序界面特征

二级层序界面多为构造应力转换界面, 二级层序也由区域性的中、低角度同生构造不整合面或沉积间断面、沉积环境突变面所分隔, 具有如下特征:

1) 野外地质剖面上表现为角度不整合或强烈冲刷间断面。喜马拉雅运动各构造幕之间的构造应力转换造成天山北部准噶尔盆地南缘和天山南部库车坳陷古近系、新近系之间存在区域不整合。在准噶尔南缘和库车前陆盆地的冲断带和前隆带发育角度不整合, 向盆地内部逐步过渡为沉积间断面、沉积环境转换面。在四川宣汉樊哙镇野外地质剖面中可见须家河组三段和四段呈角度不整合面接触 (图 1-6)。

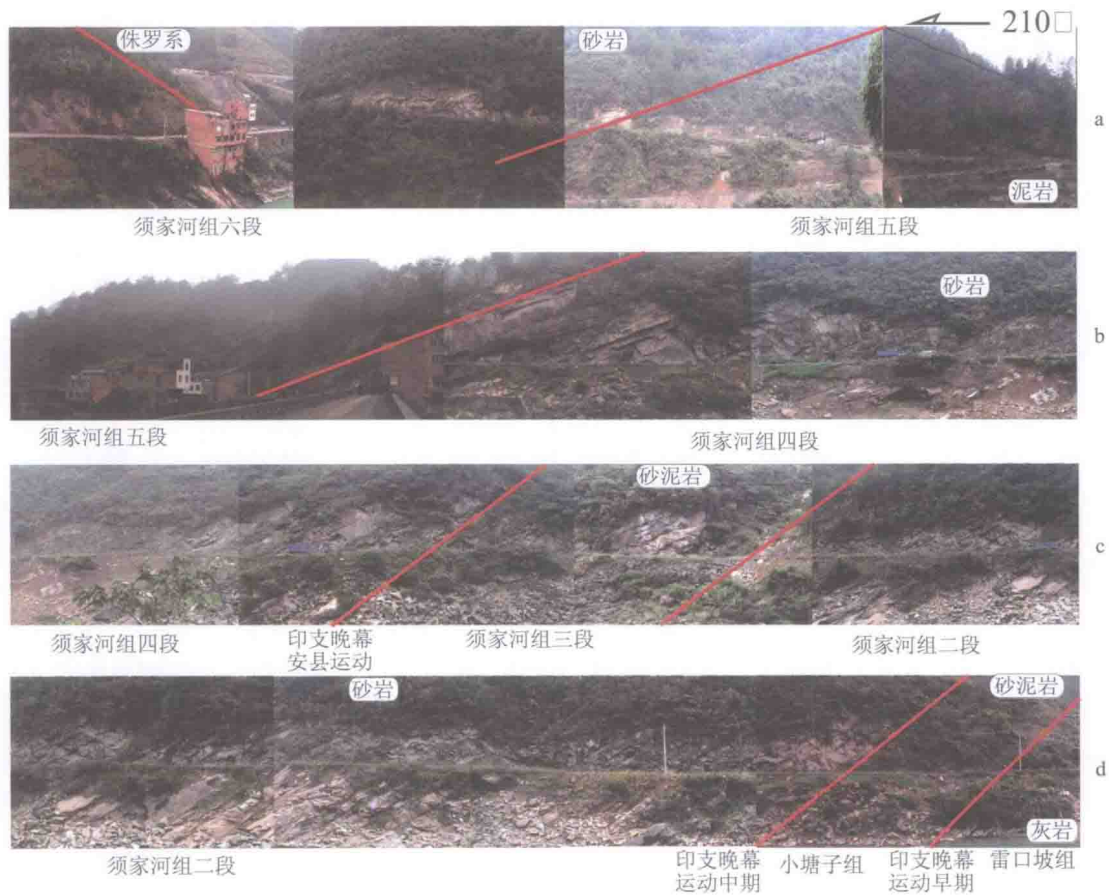


图 1-6 川东北大巴山前宣汉樊哙上三叠统野外露头剖面
(据高志勇等, 2012)

2) 地震剖面上存在削截或下切现象。在准噶尔南缘 99SN5 地震剖面上, 在古近系与新近系的界面处及新近系沙湾组 - 塔西河组与独山子组的界面处存在一定规模的削截不整合。在川西前陆盆地江 - S-2 (1) 地震剖面上, 在 T_5^2 地震反射界面之下可见到削截不整合现象。

3) 存在岩性 - 岩相突变面、测井响应值突变面或测井相转换面。在准噶尔南缘东湾 1 井井深 3675m 处存在二级层序界面, 二级层序界面之下为灰色泥岩, 界面之上突变为灰色细砂岩。自然伽马和电阻率测井曲线幅值在界面上、下明显突变 (图 1-7)。

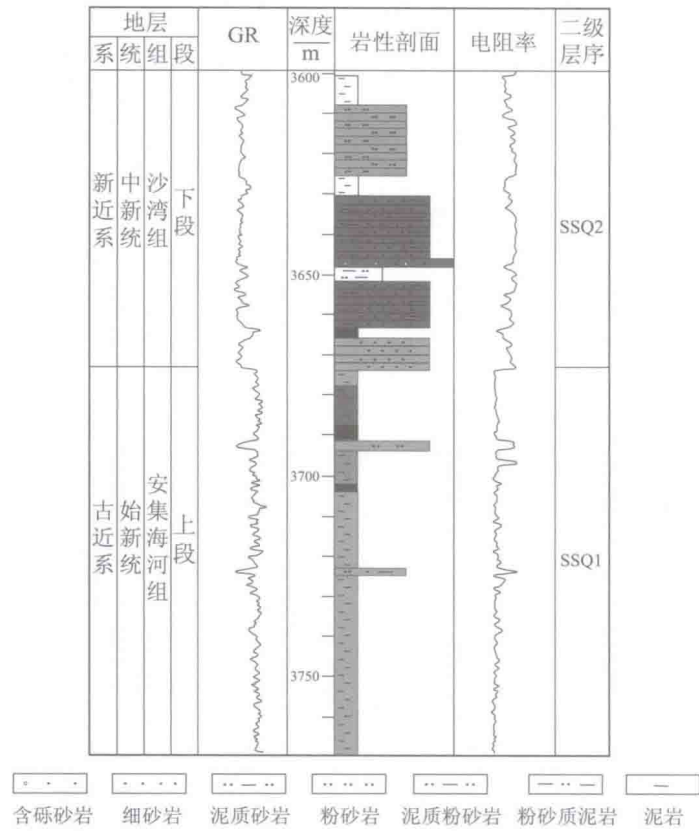


图 1-7 准噶尔盆地南缘东湾 1 井二级层序界面岩石 - 电性特征

4) 存在重矿物含量突变面。准噶尔南缘二级层序界面之下“ZTR”等稳定重矿物相对含量较高, 不稳定重矿物相对含量较低; 在二级层序界面之上“ZTR”等稳定重矿物相对含量较低, 不稳定重矿物相对含量较高。

5) 存在古生物种类突变面或转换面。准噶尔南缘第一个二级层序界面新近系沙湾组底部之下的安集海河组含双壳类的“UASPCE”组合、鱼化石碎片、介形类、腹足类等; 第一个二级层序界面之上的沙湾组产介形类和脊椎动物化石 *Dzungariotherium orgosensis* 等。在准噶尔南缘第二个二级层序界面之下的塔西河组含双壳类“UCCAHL”组合, 富产介形类化石 *Hyocypris sapientia*, *Cyclocypris cavernosa* 等; 第二个二级层序界面之上的独山子组产三趾马化石、介形类 *Candoniella albicans*、腹足类、双壳类及植物 (纪友亮等, 2008; 邓胜徽等, 2003, 2010)。

(3) 三级层序界面特征

区域构造活动和古气候变化共同控制着三级层序的形成。三级层序主要由微角度不整合面、沉积间断面、古土壤面、大型下切水道侵蚀面、沉积环境突变面所分隔,其特征如下:

1) 野外剖面中为局部不整合面、沉积间断面、下切水道侵蚀面、沉积转换面。天山北部准噶尔盆地南缘和天山南部库车前陆盆地古近系、新近系沉积时期气候干旱,区域构造活动、气候变化共同控制湖平面和可容空间的变化,使得其山前带、前隆带地层内部存在局部不整合,向盆地内部前渊带、前隆斜坡带逐步过渡为沉积间断面、下切水道侵蚀面、沉积环境转换面等。在四川盆地宜汉樊哙镇须家河野外地质剖面中,须家河组二段与三段之间、四段与五段之间存在三级层序界面,该界面表现为沉积环境突变面(图1-6)。

2) 地震剖面上多表现为地震相转换面。三级层序边界在盆地内部的地震剖面上很少表现为削截现象,多为整合面,多数情况下表现为地震相转换面。如在准噶尔南缘QS9909地震剖面的SB2-SB6和SB8-SB11界面上、下地震相截然不同(图1-8)。川西前陆盆地江-S-2(1)地震剖面(图1-3)上层序界面 T_5^1 和 T_5^3 很少见到削截面,多为整合面,表现为地震相的转换面。

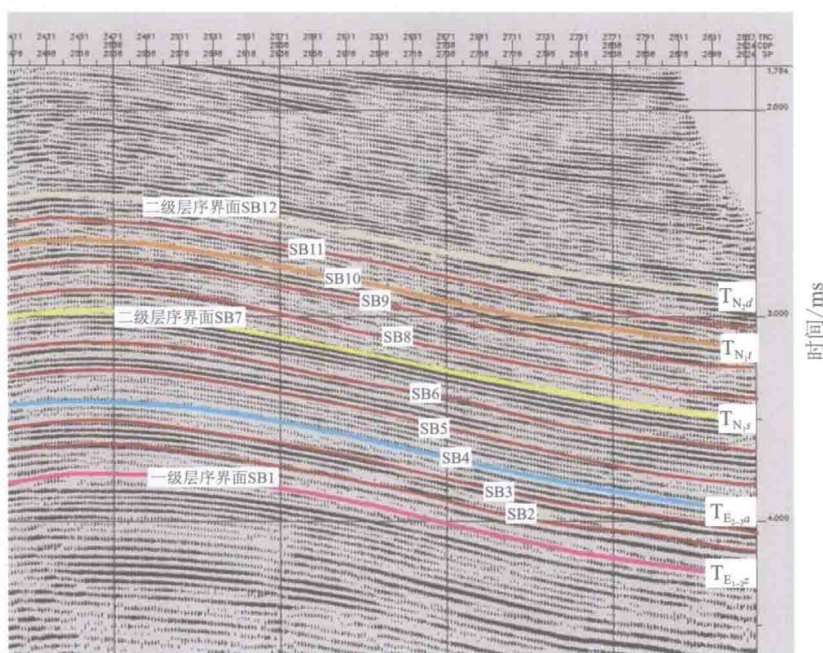


图1-8 准噶尔盆地南缘QS9909地震剖面地震相转换面三级层序界面特征
SB—三级层序界面

3) 在岩性剖面上表现为砂、泥岩突变面,测井响应特征表现为测井曲线幅值突变面或测井相转换面。如在准噶尔南缘呼2井2109m深处为三级层序界面,三级层序界面主要表现为砂、泥岩突变面,测井响应特征表现为自然电位和电阻率测井曲线幅值突变。川西盆地川合100井3390m和3675m井段为三级层序界面,三级层序界面主要表现为砂、泥岩突变面,测井响应特征表现为自然电位曲线幅值明显突变。

2. 前陆盆地层序地层格架

依据上述各级层序界面特征, 对准南前陆盆地古近系-新近系、库车前陆盆地古近系-新近系与川西前陆盆地上三叠统须家河组进行了层序地层划分。通过准噶尔盆地南缘东湾1井-川玛1井南北向联井剖面、南安集海河剖面-霍10井-安6井南北向剖面、四参1井-卡6井-西4井-霍10井-川玛1井-吐谷1井东西向剖面等的对比, 以及对该区地震资料的追踪对比解释, 认为淮南前陆盆地古近系-新近系构成了一个完整的一级层序, 古近系、新近系沙湾组和塔西河组、独山子组分别构成了3个二级层序、14个三级层序(纪友亮等, 2008), 并建立了准噶尔南缘古近系-新近系层序地层格架(图1-9)。

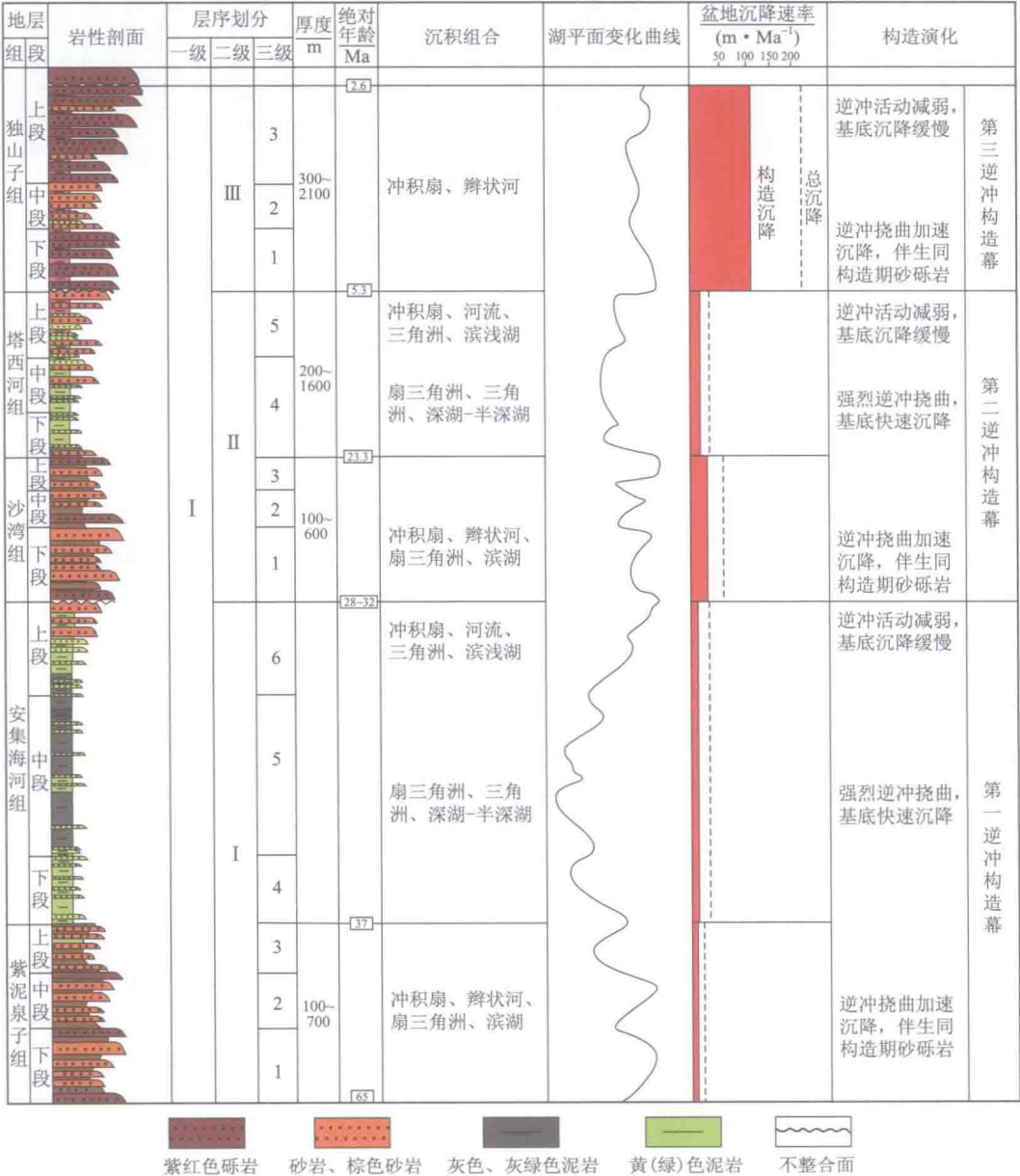


图 1-9 准噶尔南缘前陆盆地层序地层格架