

塔里木盆地库车坳陷 盐相关构造特征及变形机理

雷刚林 汪新 吴超 李青 徐振平 著



石油工业出版社

塔里木盆地库车坳陷 盐相关构造特征及变形机理

雷刚林 汪 新 吴 超 李 青 徐振平 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书围绕库车坳陷盐构造研究现状及难点,研究巨厚膏岩盐层对构造变形起到的重要作用。主要从库车坳陷地表盐构造描述和解析、物理模拟研究、数值模拟研究、分层构造建模、变形样式与机理解析6个方面对盐相关构造理论在库车坳陷的应用进行了系统总结。其研究成果为克深区带的落实及油气发现奠定了基础,形成了前陆区“三位一体”分层建模研究思路以及针对性的物理模拟、数值模拟古地磁定年等特色技术。

本书可供国内外从事含盐前陆盆地油气勘探的构造研究人员、石油高等院校勘探相关专业教学人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

塔里木盆地库车坳陷盐相关构造特征及变形机理/雷刚林等著.

北京:石油工业出版社,2014.12

ISBN 978-7-5183-0539-1

I. 塔…

II. 雷…

III. 塔里木盆地-盐类矿床-含油气盆地-石油天然气地质-地质构造

IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第290343号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址: www.petropub.com

发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:12

字数:300千字 印数:1—1000册

定价:65.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

1997年,塔里木油田引入断层相关褶皱理论指导库车坳陷构造建模和地震资料的构造解释,推动克拉2、大北1、迪那2等大气田的发现,促使国家启动西气东输工程。

随后,在对克拉苏构造带盐下深层的勘探中,克拉4、西秋2井的钻探发现仅仅通过断层相关褶皱理论,在盐层发育区已不能解疑盐下构造建模难题,这就对厚层盐岩参与变形的构造地质建模研究提出新的挑战!为此,引入、应用并发展了盐相关构造理论,以地震资料为基础,地表建模及物理模拟、数值模拟为手段,明确了库车坳陷“整体挤压、分层收缩、垂向叠置、联动递进”的变形特征,实现基于前陆盆地背景下以盐岩层塑性流动为核心的“盐上、盐岩、盐下三位一体”分层建模。在盐相关构造理论指导下,发现了克深区带及以克深2气田为代表的一大批油气田(藏),落实了克拉苏深层万亿立方米资源规模。

为此,从库车坳陷地表盐构造描述和解析、物理模拟研究、数值模拟研究、分层构造建模、变形样式与机理解析6个方面对盐相关构造理论在库车坳陷的应用进行了系统总结。本书内容共分为5个部分:第一部分简单介绍了库车坳陷大地构造背景、构造单元划分以及地层概要等石油地质概况;第二部分在文献调研基础上,明确了盐构造基本概念、研究现状与进展,并结合库车坳陷构造研究现状,明确研究区构造特征与面临的问题;第三部分从地面和地下两个角度分析了库车坳陷盐相关构造样式,通过研究区典型露头盐构造分析,延伸到地下“盐上、盐岩及盐下”三位一体的构造解析,建立了东、中、西3段构造变形几何学特征,并进行了平衡剖面恢复;第四部分通过构造缩短量计算、同构造沉积地层指示分析,确定了库车坳陷各段构造演化特征和变形机理,同时通过对研究区重点区块古地磁研究,厘定了各段地层的磁极性年代和构造演化时间;第五部分用较大篇幅从多个方面对库车坳陷盐相关构造物理模拟实验及数值模拟进行了探讨,明确了影响盐相关构造变形的因素,包括盐岩沉积范围、区域构造应力及强度、上覆层沉积差异负载、盐底辟构造。

参加本书编写工作的有:黄少英、能源、许安明、张敬州、玛丽克、李世琴、唐鹏程、陈元勇、尚江伟、黎立、王腾宇、顾成龙、李梦媛、李向云等。田军、杨海军、肖又军等勘探界专家对本书提出了宝贵意见,感谢他们对本书做出的无私奉献。感谢长期关心、支持库车坳陷构造建模研究的老领导、老专家以及为库车油气勘探做出了贡献的默默无闻的所有勘探工作者!

目 录

第一章 库车坳陷地质概况	(1)
第一节 库车坳陷大地构造背景	(1)
第二节 库车坳陷与周缘构造单元关系	(3)
第三节 库车坳陷地层概要	(8)
第二章 盐构造研究现状与进展	(11)
第一节 盐构造基本概念	(11)
第二节 盐构造研究现状与进展	(14)
第三节 库车坳陷盐构造特征与面临的问题	(35)
第三章 库车坳陷盐相关构造样式	(40)
第一节 库车坳陷盐构造典型露头	(40)
第二节 库车坳陷盐相关构造特征	(47)
第四章 库车坳陷盐构造演化	(72)
第一节 库车坳陷盐构造沉积地层记录	(72)
第二节 库车坳陷新生界磁性地层	(94)
第五章 物理模拟实验及数值模拟	(116)
第一节 基本原理及方法	(116)
第二节 滑脱层对褶皱—冲断带变形的影响	(124)
第三节 挤压速率对厚皮压缩盐盆地变形的影响	(127)
第四节 典型厚皮压缩盐盆地的几何学和运动学	(132)
第五节 盐底辟构造对褶皱—冲断带变形的影响	(135)
第六节 同构造沉积对库车坳陷西段盐构造变形的影响	(141)
第七节 盐层内部机械硬层变形特征	(144)
第八节 盐下基底先存构造对褶皱—冲断带变形的影响	(150)
第九节 离散元数值模拟 (DEM)	(154)
第十节 库车前陆盆地盐构造变形控制因素探讨	(164)
第十一节 小结	(167)
参考文献	(169)

第一章 库车坳陷地质概况

塔里木盆地是在前震旦系结晶基底基础上发育的一个多旋回叠合盆地,库车坳陷作为塔里木陆块(或克拉通)的一部分,是塔里木盆地北部边缘、南天山南侧的一个中、新生代沉积坳陷。在前中生代时期塔里木陆块是天山洋盆南侧、昆仑洋盆北侧的一个多旋回克拉通盆地,盆地的演化受天山洋盆和昆仑洋盆的“开合”旋回影响。中、新生代时期,塔里木陆块被中国西部及中亚地区的巨型造山带包裹,陆块周边的盆地演化与周边造山带的演化紧密联系在一起。库车坳陷在晚新生代经历了强烈的挤压构造变形,加之古近系塑性盐层卷入构造变形,形成了构造变形复杂的地质背景。

第一节 库车坳陷大地构造背景

塔里木盆地是在前震旦系结晶基底基础上发育的一个多旋回叠合盆地,周围被天山、西昆仑山和阿尔金山环绕。周边山脉是在古生代时期塔里木克拉通周边古洋盆消减及洋盆关闭后陆块—陆块或陆块—岛弧碰撞过程中形成的造山带基础上经过中、新生代陆内再造山作用最终形成的。塔里木陆块周边古洋盆的开合历史不尽相同。北部的天山洋盆在二叠纪关闭后结束了洋盆演化历史,造山带将塔里木陆块与吐鲁番—哈密陆块、准噶尔陆块焊接在一起;南部的西昆仑洋盆在志留纪—泥盆纪关闭,在发生中昆仑岛弧与塔里木克拉通陆块碰撞后又受中昆仑岛弧南侧新特提斯洋盆开合的影响,东侧的阿尔金山及东昆仑山在晚古生代也属于特提斯洋的一部分,最终在中、新生代随着新特提斯洋盆的消减和关闭后陆块—陆块或陆块—岛弧碰撞造山过程将塔里木陆块与柴达木陆块、松潘—甘孜陆块、羌塘陆块、拉萨陆块等焊接在一起。图 1-1 简要描绘了中国中西部的大地构造轮廓,塔里木盆地周边山脉中一系列近 EW 向的缝合带是不同地质时期古洋盆消减关闭的依据,但是山脉隆升最终是在晚新生代时期印度板块向北运动与欧亚板块碰撞导致板内造山作用过程中完成的。

在小比例尺的地形图或卫星影像中可以看到南天山与塔里木盆地的地形边界呈弧形展布,野外地质资料表明在南天山中央出露有榴辉岩、蓝片岩、多硅白云母片岩构成的高压变质带,向西可延入哈萨克斯坦,与含柯石英假象的 Atbasy 榴辉岩—蓝片岩带相连接(高俊,1997;张立飞等,2005),被认为是南天山古洋盆在向北俯冲过程中所形成一条地缝合带(高俊等,1994;高俊,1997;Gao 等,1995、1998、1999;Gao 和 Klemm,2001、2003;Klemm 等,2005;张立飞等,2005),该缝合带将塔里木盆地和南天山与伊犁陆块、中天山地体、吐鲁番—哈密陆块连接在一起(图 1-2)。按照肖文交等(2004)的研究结论,天山是整个中亚增生造山带的一部分,在晚古生代时期西天山—伊犁—中天山在石炭纪—二叠纪属于岛弧环境,现代的南天山是南天山洋盆及南侧的塔里木陆块向北俯冲形成的南天山—库米什增生楔,现代的北天山是北天山洋盆及北侧的准噶尔陆块、吐鲁番—哈密陆块等向南俯冲形成的北天山增生楔。岩石学、地球化学和年代学分析研究表明,南天山洋盆的俯冲作用可能在早二叠世末(290—280Ma)结束,随之发生了塔里木陆块与西天山—伊犁—中天山岛弧之间的碰撞造山事件(张立飞等,2005;李强和张立飞,2004;艾永亮等,2005)。

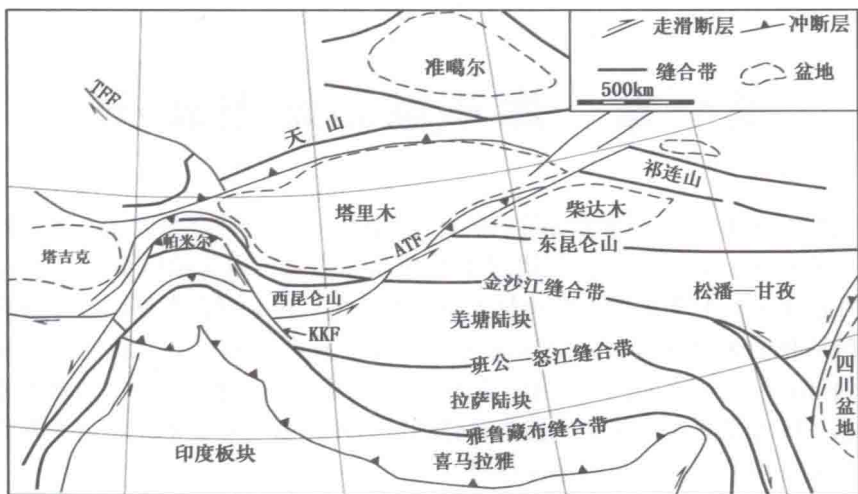


图 1-1 中国中西部区域构造纲要图 [据 Sobel (1999)、Yin (1998)、Dumitru 等 (2001), 修改、简化]
TFF—塔拉斯—费尔干纳断层; KKF—喀拉昆仑断层; ATF—阿尔金断层

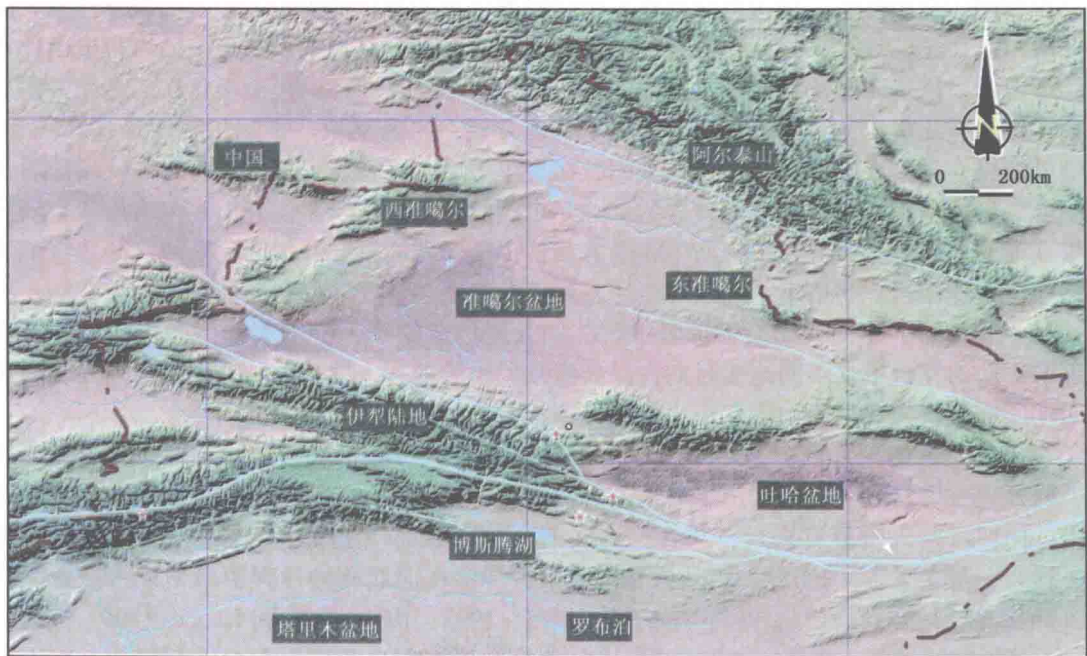


图 1-2 天山及邻区地貌特征与主要区域断裂带分布图 (据肖文交等, 2004)
图中粗蓝线表示区域断裂带分布

图 1-3 是肖文交等 (2004) 编制的天山及邻区区域大地构造单元分布图。其中, 伊犁是由陆壳组成的岩浆弧, 中天山在古生代是一个岛弧, 南天山则是南天山洋盆向北俯冲消减和伊犁—中天山岩浆弧与塔里木陆块发生弧—陆碰撞造山过程中形成的增生楔, 在晚古生代发生了复杂的挤压变形—变质作用。在中生代以前, 库车坳陷与南天山的**关系是克拉通陆块

边缘与洋盆的关系，至晚古生代末期的海西运动使天山与塔里木陆块、准噶尔陆块、吐鲁番—哈密陆块等连成统一的大陆，而中、新生代库车坳陷与南天山的构造关系是陆内不同构造单元的关系，其区域大地构造演化主要是受塔里木陆块南侧的板块边缘构造活动及新生统一的大陆岩石圈板块内部和底部热作用、重力均衡作用的影响而发生的陆内构造演化过程。因此，中、新生代的库车坳陷是南天山—库米什增生楔隆升成为南天山的陆内构造过程中形成和演化的。

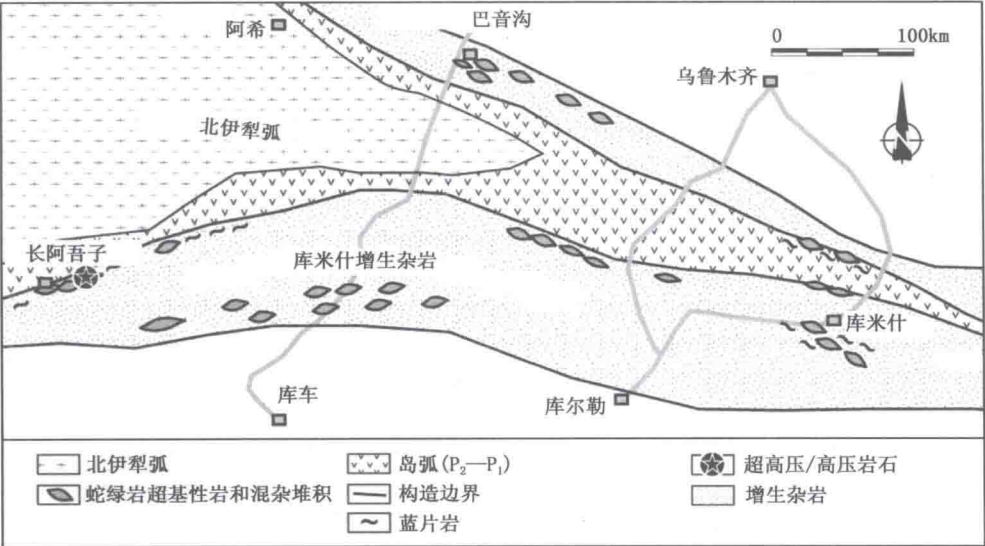


图 1-3 天山及邻区区域大地构造单元分布图（据肖文交等，2004）

第二节 库车坳陷与周缘构造单元关系

库车坳陷与南天山的盆山过渡带总体上表现为强烈挤压的构造变形特征，库车坳陷北部边缘及坳陷内部发育有一系列的逆冲断层和褶皱构造。根据库车坳陷中部断裂分布特征、构造样式特点与油气藏聚集与分布规律，将库车坳陷进一步划分为 7 个次级构造单元，即克拉苏冲断带、依奇克里克冲断带、秋里塔格冲断带、乌什—拜城—阳霞凹陷带、南部斜坡带等（表 1-1、图 1-4 至图 1-6）。这些构造单元均呈 NEE 向的条带状展布，整体上呈向南凸出的弧形，宏观上构成“两隆夹一坳”的构造格局。

表 1-1 库车坳陷构造单元划分表

一级构造单元	二级构造单元	三级构造单元	四级构造单元
库车坳陷	克拉苏冲断带	克拉苏构造带	克拉区带
			克深区带
		北部单斜带	艾东区带
			黑英山区带
			比尤勒包谷孜区带

一级构造单元	二级构造单元	三级构造单元	四级构造单元
库车坳陷	依奇克里克冲断带	依奇克里克构造带	依南区带
			依奇克里克区带
		吐格爾明构造带	明北区带
			阳南侏罗系底砂岩超覆区带
	秋里塔格冲断带	东秋里塔格构造带	东秋区带
			迪那区带
			康村区带
		西秋里塔格构造带	西秋北区带
			西秋南区带
		却勒构造带	却勒区带
	拜城凹陷		
	阳霞凹陷	阳北构造带	阳北背斜区带
		阳南构造带	阳南地层圈闭区带
	乌什凹陷	乌什凹陷	神木园构造区带
			乌什西构造区带
			古木别兹构造区带
	南部斜坡带		

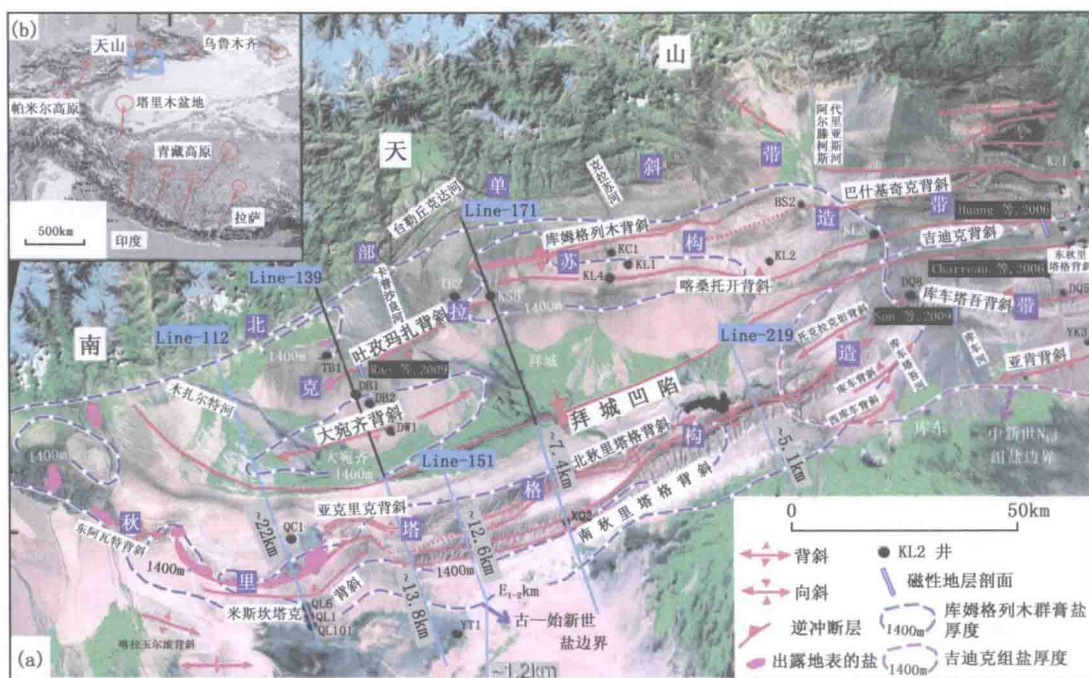


图 1-4 库车坳陷中部构造单元、地面构造与卫片叠合图



图 1-5 库车坳陷与周缘构造单元划分

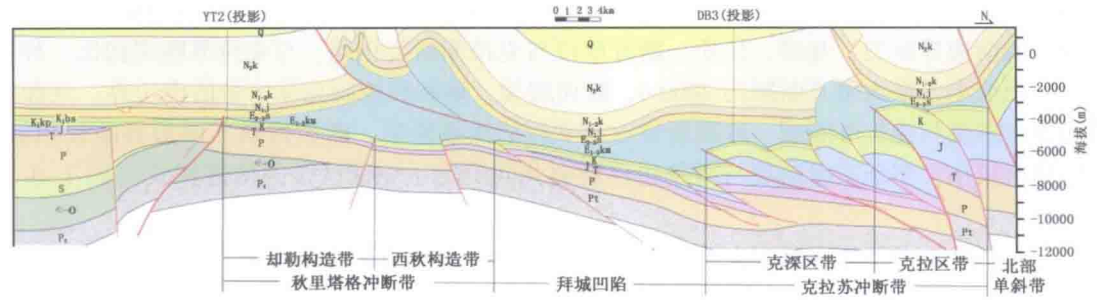


图 1-6 库车坳陷中部地质结构剖面图

一、克拉苏冲断带

克拉苏冲断带又可划分为北部单斜带和克拉苏构造带两个三级构造单元，其南部为拜城凹陷，克拉苏构造带又可划分为克拉区带和克深区带两个四级构造单元。

(一) 北部单斜带

北部单斜带位于南天山山前、库车坳陷的北缘，呈西窄东宽不规则的条带状，为一向南倾斜的单斜构造。由南天山向盆地内部地表出露的地层依次为二叠系、中生界和新生界，并以中生界为主，地层下陡上缓，中等倾斜至陡倾。这一单斜带为南天山向盆地的过渡带，其形成主要是南天山隆升的背景下基底抬升所致。单斜带内的断层运动学指示地层向盆地方向滑落，表明该带可能具有伸展性质。

(二) 克拉苏构造带

克拉苏构造带位于北部单斜带南侧、拜城凹陷北缘，是目前库车坳陷勘探程度最高、油气最富集的构造带，其主要勘探目的层为白垩系。克拉苏构造带由若干 NEE 向延伸的地面背斜构造组成，其西部为吐孜玛扎背斜；东部为南北两个背斜带；北带有坎亚背斜、巴什基奇克背斜、库姆格列木背斜；南带有吉迪克背斜和喀桑托开背斜。克拉苏构造带地下构造具有分层变形特征，上、下构造层相互关联而不一致，根据盐下构造发育特征，将克拉苏构造带划分为克拉区带和克深区带两个四级构造单元。

1. 克拉区带

克拉区带呈 NEE 向条带状展布，东西长约 230km，南北最宽约 9km，北侧与北部单斜

带相接,部分区域以断层相隔,南侧位于克深区带的上盘,以克拉苏断裂为南边界,克拉苏断裂是克拉苏构造规模最大的区域大断裂之一,平面上呈北东—近东西向展布,贯穿整个克拉苏构造带,区域延伸长度约 230km,纵向上断面上陡下缓,断开层位包括中生界及古近系库姆格列木群膏盐岩段,向上消失于库姆格列木群膏盐层内,向下断至基底,最大垂直断距约为 3500m。该断裂控制了克拉区带的平面展布,剖面上断裂上、下盘构造样式存在明显不同(图 1-4 至图 1-6)。

克拉区带古近系膏盐岩盐下构造样式以完整背斜为主,克拉 2 构造位于克拉区带东段,是该区带典型的完整背斜构造,背斜带南翼以克拉苏断裂为边界,构造界线明确,北翼与北部单斜带以断裂相隔,构造界线明显,两个区带的构造样式明显不同。

2. 克深区带

克深区带呈 NEE 向条带状展布,东西长约 190km,南北最宽约 17km,北侧以克拉苏断裂为边界,位于克拉区带的下盘,南侧以拜城断裂为界与拜城凹陷相接。拜城断裂是克拉苏构造带的南边界断裂,规模、性质、断开层位与克拉苏断裂相同,与克拉苏断裂相比,拜城断裂断距变小,最大垂直断距约 2000m,断面较缓,该断裂控制克深区带的南边界。克深区带还发育多条与克拉苏断裂、拜城断裂近于平行的次级断裂,断裂性质与两边界断裂相似,规模相对较小,多条次级断裂与两条边界断裂共同决定了克深区带的构造样式(图 1-4 至图 1-6)。

克深区带由两条边界断裂夹持的多个纵向叠置的逆冲叠瓦断块组成,与克拉区带相比,该区带基本不发育完整背斜,逆冲叠瓦断块南北主要受两边界断裂控制,中间被多条次级断裂切割,横向上,由断裂的发育程度与延伸范围决定断块的多少与叠置关系,纵向上,各逆冲断块相互依存、不可分割,共同组成了克深区带的逆冲叠瓦构造样式。大北构造位于克深区带的西段,断裂极为发育,逆冲叠瓦断块叠置关系相当复杂,代表了克深区带的典型构造样式。

二、依奇克里克冲断带

依奇克里克冲断带位于克拉苏冲断带东部,与克拉苏冲断带以走滑断层相隔,其南部自西向东分别与拜城凹陷的东延部分、秋里塔格冲断带东部、阳霞凹陷相接。依奇克里克冲断带地面构造自西向东由依奇克里克背斜、吐孜洛克背斜和吐格尔明背斜组成,三者总体走向为近东西向。背斜主体部分主要出露新生界,局部有白垩系出露。依奇克里克冲断带主要勘探目的层为侏罗系,其地下构造可进一步划分为两个三级构造单元:西部为依奇克里克构造带;东部为吐格尔明构造带。依奇克里克构造带南部为斜坡,北部为复杂的逆冲推覆叠瓦构造;吐格尔明构造带叠掩在北部由泥盆系—石炭系组成的推覆体之下,总体表现为西高东低斜坡,有规模较小的局部构造发育。

三、秋里塔格冲断带

秋里塔格冲断带地面构造是由 1~2 排断层冲破滑脱层背斜构成,可分西、中、东 3 段即 3 个三级构造单元,西段为却勒构造带、中段为西秋里塔格构造带、东段为东秋里塔格构造带。

(一) 却勒构造带

却勒构造带北部为拜城凹陷,南部为南缘斜坡带的塔北隆起,与塔北隆起没有明显的界线。地面构造由 NWW 向延伸的亚克里克背斜和密斯坎塔克背斜组成;却勒构造带古近系盐

下地层向南部斜坡带方向减薄,地腹不发育明显背斜圈闭,主要发育由秋里塔格古隆起西段控制的地层、岩性圈闭。

(二) 西秋里塔格构造带

西秋里塔格构造带呈 NEE 向条带状展布,东西长约 170km,南北最宽约 15km,地面构造由 NEE 向延伸的南秋里塔格背斜和北秋里塔格背斜组成;地下构造北侧与拜城凹陷以西秋断裂相隔,南侧为南缘斜坡带的塔北隆起。西秋断裂是划分拜城凹陷与秋里塔格构造带两个三级构造单元的边界断裂,平面上呈北东—近东西向展布,该断裂分为东西两部分,西段由北向南逆冲,断面较陡,兼有逆冲和走滑性质,东段由南向北逆冲,断面较陡,与西南部却勒断裂组成背冲构造,控制西秋构造带的范围。

西秋里塔格构造带古近系膏盐岩盐下构造样式以秋里塔格古隆起控制的披覆构造、低幅度背斜或断背斜为主(陈杰等,2007),主体构造存在南北两个高点,部分区域被断层分割成若干个断背斜,向东西两端延伸逐渐变为一个背斜,西段为由北向南逆冲的两条边界断层控制,东段由两条背冲的边界断层控制。该区带勘探程度低,钻井少,目前尚未获得重大油气突破,是库车坳陷未来油气勘探的重要区域。

(三) 东秋里塔格构造带

东秋里塔格构造带位于拜城凹陷和阳霞凹陷连接部位,地表为库车塔吾背斜和东秋里塔格背斜,背斜出露的主要是新生界苏维依组、吉迪克组、康村组和库车组,没有白垩系出露。地下构造又可分为东秋区带、迪那区带、康村区带 3 个四级构造单元。东秋区带位于东秋构造带西部,构造变形复杂,盐上、盐下以同心构造变形为主,主要目的层为白垩系;迪那区带位于东秋构造带东南部,构造变形相对简单,表现为盐层滑脱变形,地下构造位于地表构造北部,主要目的层为古近系苏维依组和库姆格列木群;康村区带位于东秋构造带东北部,迪那区带以北,表现为北高南低的斜坡。

四、乌什—拜城—阳霞凹陷带

库车坳陷自西向东分布有乌什凹陷、拜城凹陷、阳霞凹陷 3 个凹陷,它们呈雁列式展布,沉积的中、新生界厚度巨大,是由于天山隆升、挤压而引起塑性地层流动和重力均衡作用形成的向斜凹陷带。

乌什凹陷经历了前中生代基底断块发展阶段、中生代断块隆升发展阶段和古近纪—新近纪断块、推覆构造发展阶段 3 个时期,受边界断裂发育和基底构造控制形成独立的山间凹陷。发育 3 个有利构造区带:神木园构造区带、古木别兹构造区带、乌什西构造区带,该凹陷主要勘探目的层为白垩系舒善河组,全区发育在构造背景下受砂体控制的地层岩性油气藏。

拜城凹陷是分割克拉苏冲断带与秋里塔格冲断带的凹陷,地层沉积厚度大,埋藏深,其比克拉苏构造带克拉区带北侧的向斜规模更大,使克拉苏构造带在地震剖面上具有明显的南北不对称性。

阳霞凹陷以南为南部斜坡带,西北与秋里塔格冲断带的东秋构造带相接,东北与依奇克里克冲断带的明北区带相连,其北部发育阳北背斜区带,南部发育阳南地层圈闭区带。

五、南部斜坡带

南部斜坡带位于库车坳陷南部,地层平缓,构造幅度不大,包括亚肯、库车等背斜,向南过渡到塔北隆起。南界为轮台断裂带—英买断裂带,可进一步划分为羊塔克、英买、红

旗、牙哈等构造带。

第三节 库车坳陷地层概要

地面露头 and 油气勘探资料表明库车坳陷主要充填的是中、新生代陆相地层,受中、新生代区域构造演化和不同时期构造古地理影响,其岩性在纵向上和横向上均有明显变化,记录了库车坳陷及周边地区的区域构造演化历史及中、新生代沉积盆地的基本特征。

根据地面地质资料和油气探井揭示的地层岩性资料库车坳陷充填的中、新生代地层可以划分为如图 1-7 所示的地层层系。塔里木油田曾多次组织科研项目对库车坳陷的中、新生代地层进行岩石学、古生物学、层序地层学、岩相古地理学等方面进行专门研究,相关研究报告对区域地层特征有详尽的描述和系统的分析。以下自下而上简述库车坳陷的中、新生代地层特征。

前中生界:受资料所限,库车坳陷前中生界特征尚不明确,钻井资料和重磁资料表明局部有前中生代岩浆岩和可能发生了强烈变形—变质作用的古生代地层。坳陷北部单斜带发育有二叠系比尤勒包谷孜群 (P_{2by}) 和小铁干里克群 (P_{1x}),角度不整合于下伏古生界之上。比尤勒包谷孜群由紫红色泥岩、浅绿灰—灰色粉砂岩和灰—深灰色泥岩、碳质泥岩组成;小铁干里克群由岩浆岩、砂岩及石灰岩组成。盆地边缘南天山出露的石炭系多是经过强烈变形和动力变质作用的碎屑岩、火山碎屑岩,但是西部柯坪地区地面露头可见大量未变质的古生代地层,主要为海相碎屑岩、碳酸盐岩。

三叠系:自下而上划分为俄霍布拉克组 (T_{1eh})、克拉玛依组 (T_{2-3k})、黄山街组 (T_{3h}) 和塔里奇克组 (T_{3t})。俄霍布拉克组为灰绿色泥岩、砂岩和紫红色的砂、砾岩夹泥岩间互层,底部为一套灰色的底砾岩。克拉玛依组为灰绿色的砂砾岩与泥岩不等厚互层,上部为碳质泥岩夹粉砂岩。黄山街组为灰绿色砂岩与黑色碳质泥岩互层。塔里奇克组为灰白色砂岩、黑色碳质页岩夹煤线。三叠系主要为一套滨浅湖、三角洲相沉积,在北部单斜带出露良好,与下伏的上二叠统呈整合或平行不整合接触,在库车坳陷南部与下伏前中生界呈角度不整合。地层厚度自北而南逐渐减薄,尖灭于塔北隆起,总体厚度为 160~1600m。

侏罗系:自下而上划分为阿合组 (J_{1a})、阳霞组 (J_{1y})、克孜勒努尔组 (J_{2k})、恰克马克组 (J_{2q})、齐古组 (J_{3q}) 和喀拉扎组 (J_{3k}) 6 个岩石地层单位。阿合组为灰白色砂砾岩、砂岩。阳霞组为灰白色砂岩、灰黑色碳质泥岩及煤线。克孜勒努尔组为灰绿色砂岩、粉砂岩、黑色碳质泥岩及煤层。恰克马克组为灰绿色砂质泥岩、粉砂岩及灰黑色油页岩。齐古组为棕红色砂质泥岩夹粉砂岩。喀拉扎组为紫红色含砾砂岩。侏罗系主要为一套河流、沼泽—湖泊相沉积,发育含煤碎屑岩地层,总体为北厚南薄的楔状体,与下伏三叠系平行不整合接触,总体厚度达到 1400~2000m。

白垩系:库车坳陷大部分区域缺失晚白垩世沉积。下白垩统可分为亚格列木组 (K_{1y})、舒善河组 (K_{1s})、巴西盖组 (K_{1bx}) 和巴什基奇克组 (K_{1bs})。巴什基奇克组上部为粉红色厚层砂岩夹泥岩,下部为紫红色块状砾岩。亚格列木组为紫色、浅紫色砂岩、砾岩。舒善河组为紫红、灰绿色泥岩夹砂岩。巴西盖组为黄色、红色砂质泥岩夹砂岩。下白垩统主要为陆相扇三角洲、滨浅湖相沉积,砂泥岩互层的碎屑岩地层与下侏罗统呈平行不整合接触,总体上呈北厚南薄的楔状体,厚度为 200~1600m。

古近系:在库车坳陷西部的阿瓦特地区古近系划分为塔拉克组 (E_{1-2t})、小库孜拜组

地 层 系 统				岩性剖面	地层厚度(m)	地震波组	年龄(Ma)	构造运动	主滑脱层位置	次滑脱层位置
界	系	统	组(群)							
新生界	第四系	更新统	西域组(Q _{1x})					喜马拉雅		
	新近系	上新统	库车组(N _{2k})		450~3600	T ₂	1.64	喜马拉雅晚期运动		
		中新统	康村组(N _{1k})		650~1600	T ₃	5.2	喜马拉雅中期运动		
			吉迪克组(N _{1j})		200~1300	T ₅				
	古近系	渐新统 古新统	苏维依组(E _{2-3s})		150~600	T ₆	23.3	喜马拉雅早期运动(II)		
			库姆格列木群(E _{1-2km})		110~3000	T ₇		喜马拉雅早期运动(I)	上滑脱层	
中生界	白垩系	下白垩统	巴什基奇克组(K _{1bs})		100~360	T ₈	65 (97)	燕山晚期运动		
			巴西盖组(K _{1bx})		60~490					
			舒善河组(K _{1s})		140~1100					
			亚格列木组(K _{1y})		60~250					
	侏罗系	上侏罗统	喀拉扎组(J _{3k})		12~60	T ₃₋₂	135	燕山中期运动		
			齐古组(J _{3q})		100~350					
		中侏罗统	恰克马克组(J _{2q})		60~150					
			克孜勒努尔组(J _{2k})		400~800				下滑脱层	
		下侏罗统	阳霞组(J _{1y})		450~600					
			阿合组(J _{1a})		90~100					
	三叠系	上三叠统	塔里奇克组(T _{3t})		200	T ₃₋₃	208	印支运动	下滑脱层	
			黄山街组(T _{3h})		80~850					
		中三叠统	克拉玛依组(T _{2-3k})		400~550					
		下三叠统	俄霍布拉克组(T _{1eh})		200~300					
古生界		上二叠统	比尤勒包孜群(P _{2by})			T ₃	250	海西末期运动		
		AnP ₂					260	海西晚期运动	底滑脱层	

图 1-7 库车坳陷地层层系

(E_{2x}) 和阿瓦特组 (E_{3a})；在库车坳陷中、东部地区古近系划分为库姆格列木群 (E_{1-2km}) 和苏维依组 (E_{2-3s})。塔拉克组下部为红色粉砂岩、泥岩，上部为石膏层、白云岩；小库孜拜组为褐红色、灰绿色泥岩、页岩和石膏岩；阿瓦特组为褐红色砂质泥岩夹砂岩。库姆格列木群下部为灰褐色粉砂岩、砂砾岩，中部为膏盐岩，上部为灰白色盐岩夹灰褐色泥岩；苏维依组岩性主要为褐色泥岩、粉砂质泥岩、砂岩。古近系主要为封闭湖盆、扇三角洲、潮坪相沉积，发育碎屑岩层和膏盐岩层，与下伏白垩系呈平行不整合接触或低角度不整合接触。

新近系：自下而上划分为吉迪克组 (N_{1j})、康村组 (N_{1k}) 和库车组 (N_{2k})。吉迪克组为红色泥岩、粉砂岩、泥质粉砂岩，在东部依奇克里克则含有厚层膏盐岩。康村组为黄红色砂岩、泥岩互层。库车组为灰黄色砂岩、粉砂岩、砾岩互层，灰黄色砂岩厚度变化大，最大地层厚度位于拜城凹陷轴线，可达到 5000m 以上。吉迪克组、康村组和库车组一般为整合接触。新近系主要为河流—冲积平原相、滨浅湖相沉积，发育的碎屑岩地层与下伏古近系总体上为平行不整合接触。

第四系：包括基本成岩的更新统西域组 (Q_{1x}) 和尚未成岩的全新统，岩性横向变化急剧。西域组为灰色、褐色砾岩、砂岩及粉砂岩，广泛分布于背斜两翼和向斜处。西域组主要为河流、冲积—洪积扇相沉积，地面露头 and 地震资料均可见西域组与下伏库车组普遍为超覆角度不整合接触。

第二章 盐构造研究现状与进展

盐构造 (salt structure) 是指由于盐岩或其他蒸发岩的流动变形所形成的地质变形体, 包括盐变形体本身及其周围的其他变形岩层 (戈红星和 Jackson, 1996)。油气资源与盐构造紧密相关, 因为盐岩既是优良的盖层, 其异常导热率又会影响油气的生成 (Hudec 和 Jackson, 2007)。统计资料表明, 含盐油气盆地控制着已探明石油储量的 89% 和天然气储量的 80% (唐祥华, 1990), 因此, 盐构造研究对油气勘探具有重要的指导意义 (Pilcher 等, 2011), 也是地质研究的热点问题之一。

盐构造主要发育于 4 种类型盆地中 (Hudec 和 Jackson, 2007), 不同类型的盐盆地均开展了大量的研究: (1) 克拉通盆地 (cratonic basins), 如西班牙 Ebro 盆地 (Sans 和 Vergés, 1995); (2) 裂谷盆地 (synrift basins), 如死海盆地 (Frumkin, 1996; Larsen 等, 2002; Alsop 和 Marco, 2011); (3) 被动大陆边缘 (postrift passive margins), 如墨西哥湾 (Jackson 和 Seni, 1983; Trudgill 和 Rowan, 2004; Pilcher 和 Blumstein, 2007; Gradmann 等, 2009; Stern 等, 2011), 西非被动大陆边缘 (Cramez 和 Jackson, 2000; Hudec 和 Jackson, 2002; Brun 和 Fort, 2004; Jackson 和 Hudec, 2005; Guiraud 等, 2010), 巴西 Campos、Santos 盐盆地 (Cobbold 等, 2001; Davison, 2007; Fetter, 2009); (4) 陆内碰撞造山带和前陆盆地 (continental collision zones and foreland basins), 如扎格罗斯褶皱—冲断带 (Bahroudi 和 Koyi, 2003; Blanc 等, 2003; Sherkati 和 Letouzey, 2004; Molinaro 等, 2005; Sherkati 等, 2005; Alavi, 2007; Jahani 等, 2007; Bruthans 等, 2009; Farzipour-Saein 等, 2009; Jahani 等, 2009; Saura 等, 2011)。依据挤压变形过程中盐下基底是否卷入变形, 第 (4) 类盐盆地可以分为薄皮压缩盐盆地 (盐下基底未卷入变形) 和厚皮压缩盐盆地 (盐下基底卷入变形) (戈红星等, 2004)。

近年来, 得益于工业油气勘探的需求与资金支持, 地质基础资料 (野外地质调查结果、钻测井数据、地球物理资料等) 越来越丰富, 地质学家们利用丰富的地质数据研究盐构造, 盐构造基础理论在近 30 年发生根本性的改变 (Jackson, 1996、1997a、1997b; 戈红星和 Jackson MPA, 1996; Hudec 和 Jackson, 2007; Jackson 等, 2010)。本章基于前人研究成果, 介绍盐构造基本概念、盐构造研究现状与进展。并在此基础上, 确定盐岩对库车前陆盆地勘探的影响及盐构造理论在库车油气勘探的引入和发展。

第一节 盐构造基本概念

盐构造由 3 个相同的基本部分组成, 从下往上分别为: 基底 (层)、盐层和上覆层 (图 2-1)。基底 (层) (basement 或 subsalt strata) 包括盐层之下所有的岩石, 反映了盐层沉积前或外来盐体 (allochthonous salt) 侵位前的沉积构造形变现象。盐层 (substratum 或 salt layer) 是指基底 (层) 之上、上覆层之下的塑性盐体, 是形成盐构造的主要组成部分。如果盐层对盐构造的生长提供物源, 则称之为盐源层或母盐层 (source layer)。上覆层 (over-

burden) 是盐层之上的沉积岩层, 记录了盐层沉积后的各种地质事件, 它对识别盐构造运动的时间和方式起着关键性的作用 (戈红星和 Jackson, 1996)。

一、盐构造样式

盐构造发育过程中, 盐岩与盐上覆层相互作用, 形成各种形态的盐构造。根据盐岩与上覆层之间的接触关系, 盐构造分为整合型和刺穿型两种类型 (图 2-2) (Jackson 和 Talbot, 1991; 戈红星和 Jackson, 1996)。

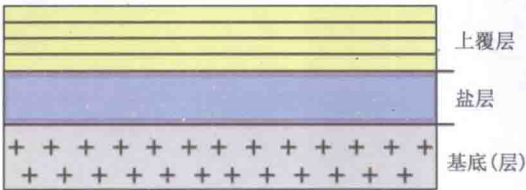


图 2-1 盐构造基本组成部分

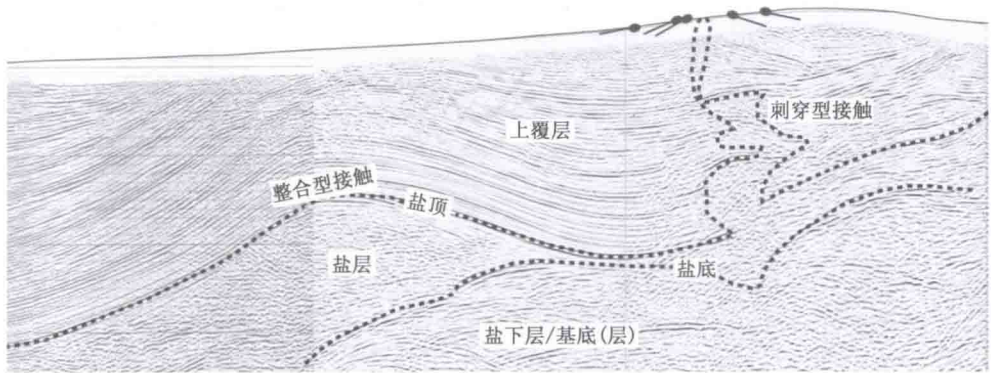


图 2-2 盐层和上覆层的整合型接触和刺穿型接触 (库车坳陷大北地区地震反射剖面)

常见的盐构造样式类型如下 (图 2-3) (Jackson 和 Talbot, 1991; 戈红星和 Jackson, 1996)：

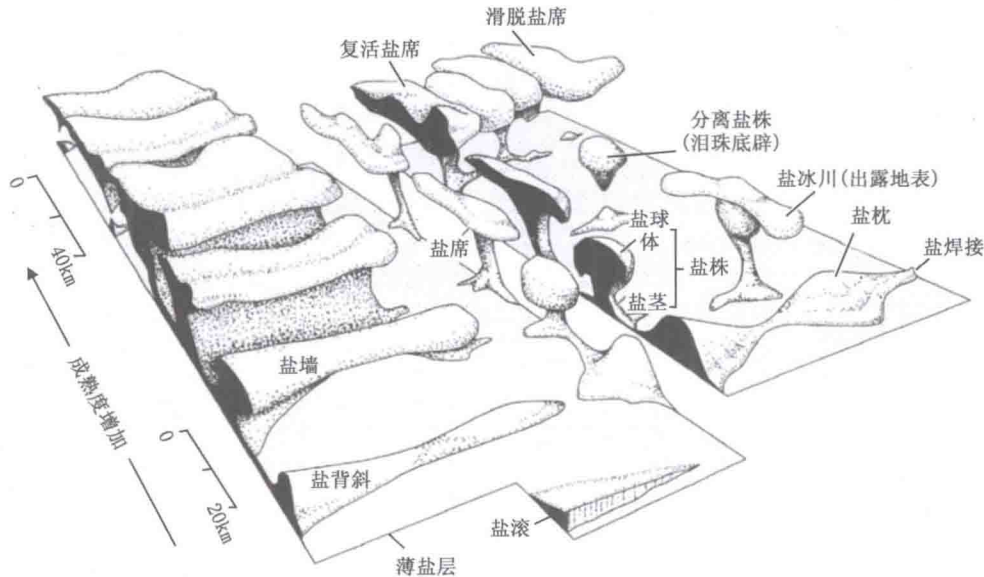


图 2-3 主要盐构造样式 (据 Hudec 和 Jackson, 2007; 余一欣等, 2011)