



库车拗陷白垩系砂岩储层 成岩动力学分析

韩登林 李忠 著



科学出版社

库车拗陷白垩系砂岩储层 成岩动力学分析

韩登林 李 忠 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

油气田勘探开发的突飞猛进对于储层成岩非均质特征的预测有着较高的精度要求。成岩作用尽管复杂和活跃,但其复杂性和活跃性与其所处盆地的类型及动力学环境有着密切的联系。因此,将储层成岩作用置于盆地动力学环境中,梳理成岩非均质性的主控动力学机制,就能够更为有效地解析并预测储层内成岩改造时空分布规律,并将储层研究推向一个更为精细的层次。本书引入成岩动力学思想,辨析不同成岩改造的动力学机制,对比不同机制在制约储层储集物性上的效应强弱,从中甄别出不同成岩改造的主控动力学因素,并对储层成因类型进行更为精细的分类与评价。

本书可供地质、石油院校师生及从事沉积学、储层地质学和油气勘探与开发工作的研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

库车拗陷白垩系砂岩储层成岩动力学分析 / 韩登林, 李忠著. —北京: 科学出版社, 2016. 10

ISBN 978-7-03-050079-3

I. ①库… II. ①韩…②李… III. ①塔里木盆地-白垩纪-砂岩储集层-成岩作用-动力学分析 IV. ①P588. 21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 233791 号

责任编辑: 王 运 韩 鹏 陈姣姣 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 10 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2016 年 10 月第一次印刷 印张: 8 3/4 插页: 6

字数: 200 000

定价: 78.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

库车拗陷位于塔里木盆地的北侧，拗陷内蕴藏着丰富的煤炭和油气资源，是目前天然气“西气东输”工程的主要资源基地。库车拗陷目前所发现的油气主要集中于克-依构造带、秋里塔格构造带及前缘隆起带，克拉苏构造带内白垩系巴什基奇克组是库车拗陷最为重要的产层，著名的克拉2气田就产自该层位。由于优良的储集性能和高效的产出性能，巴什基奇克组受到诸多沉积学家、构造地质学家和石油地质学家的关注。众多学者对该套层系进行了详细的储层沉积学研究，在构造演化、层序演变、沉积环境、成藏机制等诸多方面获得了一系列创新性认识和显著的成果。

勘探实践表明，储层是影响油气聚集和分布的决定性因素之一。克拉苏构造带内巴什基奇克组储层整体上表现为两大特点：一是储集物性相对较好，原生粒间孔隙较为发育，这对于普遍深埋4000m之下的碎屑岩地层而言格外特殊；二是储集物性平面和垂向非均质性均较强，沉积环境因素并不能解释现今储层非均质性的成因。因此，对研究层段进行详细的控储成岩作用的研究，解析不同成岩改造在时空上的非均质特征与山前盆地动力学机制之间的关联，并梳理不同成岩改造非均质性的动力学主控机制，势必会成为众多储层地质学家“认识储层—理解储层—预测储层”过程中所必不可少的“工序”。

本书引入成岩动力学思想，辨析不同成岩改造的动力学机制，对比不同机制在制约储层储集物性上的效应强弱，从中甄别出不同成岩改造效应非均质性的主控动力学因素，建立储层后期成岩改造模式，并结合初始沉积模式，针对储层成因类型进行更为精细的分类与评价。

在本书相关研究过程中，得到了中国科学院地质与地球物理研究所王清晨研究员、林伟研究员、罗晓容研究员、庞忠和研究员、杨建军研究员、陈代昭研究员、蔡春芳研究员、钟嘉猷副研究员等给予的悉心指导和耐心指点。同时得到了中国石油勘探开发研究院杭州地质研究院的朱国华教授级高工、寿建峰教授级高工、张惠良高工、沈杨高工、陈戈高工以及张荣虎高工的关心、指导及大力支持，在此表示诚挚的谢意。最后感谢国家自然科学基金（基金号：41302094）、长江大学青年人才基金（基金号：2015cqr08）和中国石油科技创新基金（基金号：2016D-5007-0104）的资助。

鉴于作者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

目 录

前言

第一章 碎屑岩成岩作用研究现状	1
第一节 研究背景	1
第二节 研究历程及现状	2
一、成岩作用研究历程	2
二、成岩动力学的研究现状	3
第三节 库车拗陷储层沉积学研究现状	4
第二章 库车拗陷地质概况	5
第一节 库车拗陷构造属性及特征	5
一、库车拗陷构造位置及属性	5
二、库车拗陷构造特征	8
第二节 库车拗陷白垩系地层发育	9
第三节 研究层段层序及沉积展布	11
一、研究层段层序演化	12
二、研究层段沉积展布	14
第三章 库车拗陷研究层段储层特征	19
第一节 储层砂体沉积特征	19
第二节 储层岩石学特征	19
一、分析测试方法	19
二、储层岩石类型	21
三、碎屑组分特征	21
四、结构成熟度	22
第三节 储层非均质性特征	22
一、平面非均质性	22
二、垂向非均质性	23
三、非均质性控制因素探讨	26
第四节 成岩阶段划分方案	26

第四章 压实作用时空分异及主控因素	28
第一节 储层压实作用时空分异特征	30
一、压实时空分异的定性表征	30
二、压实时空分异的定量表征	31
第二节 早期胶结作用对压实作用时空分异的控制效应	33
第三节 抗压实颗粒对压实作用时空分异的控制效应	34
第四节 埋藏演化方式对压实作用时空分异的控制效应	35
一、埋藏演化轨迹的模拟及其控制效应	35
二、时深指数 (TDI) 及其控制效应	40
第五节 侧向构造应力对压实作用时空分异的控制效应	41
一、构造应力大小的确定	42
二、构造应力的分布规律	44
三、对压实作用时空分异的控制效应	46
第六节 构造部位差异对压实作用时空分异的控制效应	47
第七节 压实作用时空分异的主控因素探讨	52
第五章 胶结作用时空分异及主控因素	55
第一节 分析测试方法	55
一、流体包裹体显微测温	55
二、碳酸盐胶结物探针分析	57
第二节 胶结作用时空分异特征	57
一、胶结矿物特征分述	57
二、碳酸盐胶结作用时空分异特征	67
第三节 碎屑组分对碳酸盐胶结作用时空分异的控制效应	71
第四节 孔隙流体特征对碳酸盐胶结时空分异的控制效应	72
一、同沉积期水体盐度	72
二、埋藏成岩期孔隙流体盐度	81
三、讨论	81
第五节 碳酸盐胶结作用时空分异的主控因素探讨	84
第六章 溶蚀作用时空分异及主控因素	86
第一节 溶蚀矿物特征	86
一、酸性溶蚀特征	86
二、碱性溶蚀特征	89

第二节 相对封闭性埋藏成岩环境	93
一、溶蚀作用总体特征	93
二、相对封闭性埋藏成岩环境	95
第三节 溶蚀作用时空分异特征	108
一、平面分异特征	108
二、垂向分异特征	110
第四节 溶蚀作用时空分异控制因素探讨	110
一、地层压力封闭效应的差异	110
二、流体地球化学特征封闭效应的差异	110
三、成岩副产物封闭效应的差异	111
四、讨论	111
第七章 储层非均质性的主控因素及储层评价	113
第一节 储层非均质性的主控因素	113
一、平面非均质性	113
二、垂向非均质性	113
第二节 储层成因类型的分布及评价	114
一、储层成因类型的划分标准	114
二、储层成因类型的分布及评价	115
参考文献	119
后记	131
彩图	

第一章 碎屑岩成岩作用研究现状

第一节 研究背景

随着油气资源战略地位的提高及其对国家安全影响的日益突出,我国油气勘探的脚步变得越来越“匆忙”。一个油气田是否具有勘探前景,其储层储集性能是一个非常重要的决定性因素,对于储层性能的探究能够帮助我们更为准确地评价油气田经济性储量及产能。一旦油气田进入实质性勘探阶段,就更加有必要对其储层性能进行更为全面和深入的研究 (Giles *et al.*, 1992; Selley, 1997)。

对于碎屑沉积物,储层性能的首要控制因素是沉积物中砂泥质含量间的比例,而这种砂泥比主要受控于沉积相类型。因此,长久以来,储层地质学家普遍认为储层储集性能的好坏主要取决于沉积环境。然而单纯利用沉积类型来断定储层储集性能优劣的方法是静态且古板的。因为沉积储层在后期埋藏热演化过程中,经历了种类繁多且周而复始的成岩改造,正是这种成岩改造使得储层并没有保持其原始储集性能,甚至储层内部结构及其矿物学特性都会发生改变 (Worden and Burley, 2003)。因此,沉积类型并不能完全“包办”储层储集性能的优劣。随着油气勘探对于储层精细化研究的要求日益加深,远程遥感及探地雷达等各类先进分析手段层出不穷,这些手段虽然可以识别出分布于地下深处的沉积砂体,却无法获知这些沉积砂体在埋藏过程中经历了诸多复杂成岩改造之后是否还具有较好的孔渗特性。所以,对于勘探层系储集砂体样品的分析,了解其经历哪些成岩改造以及这些成岩改造的控制因素,始终是储层地质学家“认识储层—理解储层—预测储层”研究过程中一个不可或缺的“工序”。

施加于沉积砂体的成岩改造之所以复杂,是因为成岩作用所涵盖的范畴十分广泛,涉及诸如构造地质、岩石力学、地球化学、生物化学等过程的交融。在这些过程中,原始的沉积物质和粒间孔隙试图与周边环境达到一个物理和化学上的平衡 (Worden and Burley, 2003)。沉积盆地在无休止的埋藏、抬升、变形等过程中,沉积物周围环境(主要为温度、压力及地化条件)不断地将这些成岩反应“激活”。因此,成岩作用的平衡实质上是一种动态平衡,而将这种平衡不断激活

的动力学机制是复杂多样的。

如果不能跳出这些复杂多样的动力学驱动机制,那么储层成岩作用的研究会在泛泛的讨论中“陷入泥潭”。因此,成岩作用的研究必须立足于这些动力学机制对比之上,甄别出成岩改造的主控动力学机制,从而建立储层成岩改造模式。只有将储层初始沉积模式和后期成岩改造模式相结合,储层评价和预测的精度才能进入一个新的层次。

第二节 研究历程及现状

一、成岩作用研究历程

虽然成岩作用是当今沉积学及盆地研究比较活跃的前沿研究领域之一,但其却是一门相对较为年轻的学科,纵观成岩作用的研究历史(图 1.1),可以将其归结为三个阶段,分别为:19 世纪 90 年代至 20 世纪 40 年代的“一般成岩现象的观察描述阶段”;20 世纪 50~70 年代早期的“成岩作用独立研究及奠基阶段”;20 世纪 70 年代中期至 80 年代的“成岩作用定量和多学科研究发展阶段”;20 世纪 90 年代末期至今的“成岩过程及动力机制研究阶段”(李忠等,2006a,2006b)。

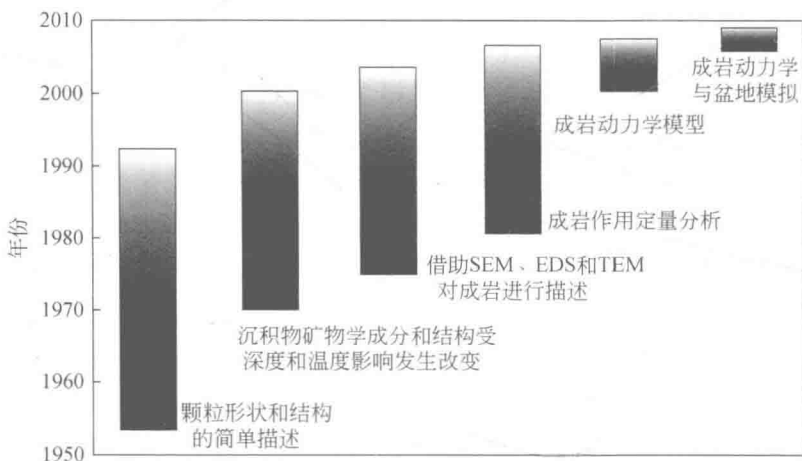


图 1.1 储层成岩作用研究历史示意图 (Worden and Burley, 2003)

20 世纪 70 年代前,由于大多数沉积地质学家认为沉积矿床在沉积期或最多至同生沉积期就已形成,因此储层成岩作用未受到广泛的重视。从严格意义上说,直到 20 世纪 70 年代,即进入“成岩作用独立研究及奠基阶段”后,成岩作用作

为一门学科的价值才得以体现出来。70年代中期至80年代期间,成岩作用无论是纯理论还是纯应用研究都得到了飞速的发展,而这很大程度上得益于石油工业的突飞猛进。基于油气勘探开发的需要,国际上掀起了研究早期埋藏成岩作用的热潮,并涌现出了大量有关储层成岩作用和有机成岩作用的学术专著或论文集(Scholle and Schluger, 1979; Pittman, 1979; Gautier, 1986; Machel, 1987)。进入90年代,国际上又掀起了水-岩相互作用及其过程模拟研究的热潮,随之对含油气盆地流体的研究蓬勃兴起,一时间水-岩相互作用成为成岩作用研究的支柱科目,并一直延续至今(Powley, 1990)。这一研究思路的核心旨在从更高的层次上认识成岩反应、物质输运与配置特征及其驱动机理,因此已具有明显的动力学研究的色彩。成岩作用的研究逐步完成了从“定量化和多学科研究”向“成岩过程及动力机制研究”的转变,并且在深埋次生孔隙形成机理、成烃-成岩相互作用等理论方面取得了具有代表性的重要成果(李忠等, 2006a, 2006b)。目前结合盆地模拟的成岩动力学研究已经成为成岩作用新的发展趋势与方向(Worden and Burley, 2003),盆地的沉积与构造演化在储层成岩作用的主导地位日益显现出来。

二、成岩动力学的研究现状

从成岩作用的概念可以看出,成岩动力学机制可以简单地分为三类,即温度、压力及孔隙流体地球化学特征。但实际研究中却远不是这么简单,一系列复杂的参数(或者机制)控制着成岩作用的时空分布。这些参数包括:①盆地的构造背景及埋藏(热)演化史;②碎屑组分的物理和化学稳定性特性;③沉积环境及气候条件;④海(湖)平面的相对变化;⑤孔隙流体地球化学特征的演变;⑥油气侵位及油气的饱和程度。

上述动力学机制中,碎屑组分的物理和化学稳定性特性、沉积环境及气候条件以及海(湖)平面的相对变化这三者对于成岩作用的制约机制较易构建,众多学者在一些方面取得了卓有建树的成果(Mou and Brenner, 1982; Chan, 1985; Ramm, 2000; Rossi *et al.*, 2002; Weber and Ricken, 2005; Kim *et al.*, 2007)。以Morad为代表的乌普萨拉大学(Uppsala University)研究小组对层序格架内探讨储层成岩反应分布规律方面做出了一系列出彩的尝试工作(Morad *et al.*, 2000; El-ghali *et al.*, 2006a, 2006b; Mansurbeg *et al.*, 2008),这些成果最为核心理论支持在于孔隙流体特征在层序格架内规律性的变化造就了储层内规律性的成岩反应。将成岩作用置于层序地层格架来探讨储层储集质量的分布和预测已经成为成岩作用研究的热点。

但遗憾的是,这种制约机制仅限于早期成岩作用,后期即埋藏期水-岩反应对

早成岩效应的改造往往非常剧烈,有时甚至是面目全非的。或许,正是对上述成岩动力学机制认识不清,使得迄今为止沉积学家还很难像认识沉积过程那样认识盆地尺度或宏观尺度上成岩作用的时空分布规律 (Worden and Burley, 2003)。

第三节 库车拗陷储层沉积学研究现状

库车拗陷位于塔里木盆地的北侧,拗陷内蕴藏着丰富的煤炭和油气资源,是目前天然气“西气东输”工程的主要资源基地。库车拗陷目前所发现的油气主要集中于克-依(克拉苏-依奇克里克)构造带、秋里塔格构造带及前缘隆起带,且分别以不同层系作为储集层。克拉苏构造带内白垩系巴什基奇克组是库车拗陷最为重要的产层,著名的克拉2气田就产自该层位。由于优良的储集性能和高效的产出性能,巴什基奇克组受到诸多沉积学家和储层地质学家的关注。历经多年的科技攻关,众多学者对于该套层系进行了详细的储层沉积学研究,在构造演化、层序演变、沉积环境等方面获得了一系列证据并取得了较为一致的认识(卢华复等, 1999, 2000; 李维锋等, 1999; 顾家裕等, 2001; 李忠等, 2003; 赖兴运等, 2004; 林畅松等, 2004)。

虽然这些工作最终均落脚于储层研究,但对于储层研究非常重要的成岩动力学研究却较为薄弱。特别是目前沉积相研究的结论普遍认为,克拉苏构造带内研究层段沉积相类型的平面差异较小(各井区储层沉积相类型均以水下分流河道为主),但孔隙度和渗透率所表征的储层储集物性在平面上的差异异常明显,沉积相类型的差异并不能解释现今储层非均质性的成因。虽然部分学者从构造应力的角度来解释这种非均质性成因(寿建峰等, 2001, 2003, 2006, 2007),但这种解释不仅是局部的,而且是定性的,即侧向构造应力对于储层储集物性的制约效应究竟如何,以及其在整个克拉苏构造带内如何分布的问题仍不明朗。

另外,山前带储层内水-岩相互作用是异常丰富的,前人通过研究认识到这一现象。但这些研究过多地停留在对水-岩反应产物的定性描述上,对于这种水-岩作用的动力学机制并未深究,前已述及,这种动力学机制的探究对于储层非均质性研究是至关重要的。

总之,虽然前人对于该套储层的初始沉积模式进行了大量的研究,但后期成岩改造模式的研究并未跟进,以至于目前对于研究层段强烈的储层非均质性特征仍然缺乏可行和可信的解释,从而严重制约了储层评价和预测的精度。

第二章 库车拗陷地质概况

第一节 库车拗陷构造属性及特征

一、库车拗陷构造位置及属性

库车拗陷位于塔里木叠合盆地北缘。西起温宿，东至库尔勒，东西方向上延伸长达 450km；北界为天山山前逆冲断裂，南界位于库尔勒—阿克苏公路一线，与塔北隆起呈过渡关系，南北宽 20 ~ 60km，拗陷内地势总体呈北高南低展布，总面积约为 16000km²（贾承造，1997）（图 2.1）。库车拗陷是塔里木盆地北部重要的构造单元，拗陷内蕴藏了丰富的煤炭和油气资源，著名的克拉 2 气田就位于此，2004 年在此建成了国家“西气东输”能源基地，开始向我国东部人口密集型城市输送天然气。

对库车拗陷的构造研究始于 1935 年的地面地质调查，但长期以来研究程度一直很低。国家“八五”重点科技攻关项目的研究对库车拗陷的构造特征有了新的认识，但这些工作主要着重于地表重点构造调查以及少量地震剖面的解释工作。“九五”攻关期间，当时的塔里木石油勘探开发指挥部深入开展了进一步的库车拗陷油气勘探工作，所获得的地震剖面越来越多，这为正确、全面认识库车拗陷构造特征提供了有利条件。

库车拗陷夹持在南天山造山带和塔北隆起之间，即位于天山活动带和稳定的塔里木克拉通之间，构造属性上具有明显的前陆盆地性质。从盆-山耦合角度分析，库车拗陷与其两侧的天山造山带和塔北隆起密切相关，但其形成演化却与后两者有着明显的差异（汤良杰、贾承造，2007）。

库车拗陷雏形的形成起始于晚二叠世海西晚期构造运动，并于随后开始发育。时至今日，各家各派对于库车拗陷构造演化背景的认识仍存有争议，其中对中生代库车拗陷盆地性质争议最为激烈（表 2.1）。第一种意见认为中生代属于前陆盆地（Hendrix，2000）；第二种意见认为侏罗纪—古近纪属于断陷-拗陷盆地（贾承造，1997）；第三种意见认为白垩纪处于前陆盆地挠曲沉积（林畅松等，2004），为

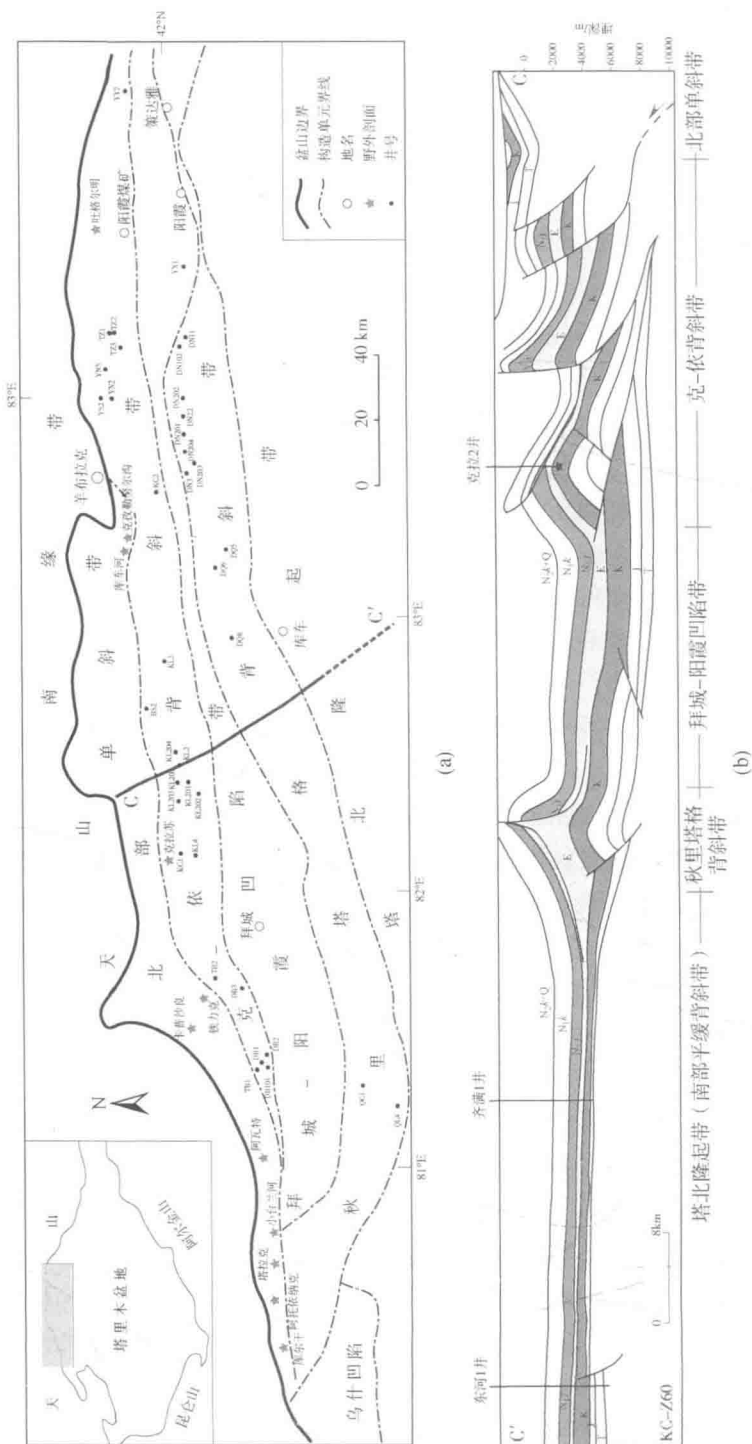


图2.1 库车拗陷构造格局及剖面结构图

拗陷盆地。尽管众说纷纭，但众多学者对库车拗陷总体具有前陆盆地或再生前陆盆地的特征似乎已取得了共识（田作基，1995；陈发景等，1996；何登发等，1996；刘志宏等，1999，2000；卢华复等，1999，2000，2004；田作基等，2002；汤良杰、贾承造，2007）。

表 2.1 对库车拗陷盆地构造演化阶段的主要认识简表

地质时代	何登发 (1994)	陈发景等 (1994)①	卢华复等 (1999)	贾承造 (1997)	Hendrix (2000)				
新近纪—第四纪	晚期前陆 盆地	再生前陆盆地	再生前陆盆地	复合前陆盆地	碰撞继后盆地				
古近纪		类前陆盆地	断陷盆地	陆内拗陷					
白垩纪			前陆盆地	前陆盆地					
侏罗纪	早期前陆 盆地								
三叠纪									
晚二叠世									

事实上，库车拗陷与经典前陆盆地的特征之间存在明显的差异，主要表现在以下几个方面（DeCelles and Giles，1996；彭守涛，2007）：①现今库车拗陷缺乏楔顶沉积带；②拗陷发育于古老增生基底之上，并长期存在后碰撞活动的叠加和改造；③拗陷缺乏典型前陆盆地发育之前的被动大陆边缘，另外地层中缺乏早中期的海相沉积。从动力学机制上来看，库车拗陷与经典前陆盆地最大的差异在于库车拗陷的形成与构造负载无关，而是由壳下负载引起的（王清晨、李忠，2007）。因此，简单地将库车拗陷称为前陆盆地并不合适（彭守涛，2007）。

发育于海西晚期的库车拗陷经历了多期构造运动，并在盆山演化过程中呈现出三个关键构造转折界面（分别为 T_1/T_{2-3} ， J_3/K_1 ， E_3/N_1 ）。在经历了早三叠世近海山地阶段、中三叠世—中侏罗世准平原化阶段，库车拗陷在晚侏罗世—早白垩世进入古构造和古气候的重大变革期和转折期。白垩系地层总体上平行不整合、局部角度不整合于侏罗系之上，反映了天山在早白垩世所发生的强烈构造活动。库车拗陷沉积环境从晚侏罗世的氧化和氧化咸化宽浅型湖泊到早白垩世的河湖沉积频繁交替，表明自早白垩世开始，库车拗陷进入一个新的阶段，盆地性质表现为弱挤压背景下的拗陷盆地（彭守涛，2007）。进入古近纪，库车拗陷的物源背景相对早白垩世并无明显改变，这反映了盆地发展的稳定性和继承性。尽管这一阶段天山发生多次隆升，拗陷整体处于挤压应力状态，但物源区未明显发生迁移。自新近纪以来，

① 陈发景等，1994. 国家“八五”科技攻关项目研究成果报告：《新疆塔里木盆地北部构造演化与油气关系研究》。

天山进入新一轮构造活动,此阶段库车拗陷强烈沉降,并由此进入再生前陆盆地的演化,沉积地层呈现楔状充填的特征(李忠等,2003;彭守涛,2007)。

二、库车拗陷构造特征

由于受到来自天山南缘的挤压逆冲推覆作用,库车拗陷内形成极具特色的构造格局。根据前人的研究和总结,库车拗陷构造格局的基本特征表现为“南北分带”(卢华复等,1999)、“东西分段”(王清晨、李忠,2007)和“上下分层”(汤良杰、贾承造,2007)的特征。

(一) 南北分带

库车拗陷现今构造的南北分带,即“四带三凹”,自北向南可分为北部单斜带、克-依构造带、秋里塔格背斜带、南部平缓背斜带及拜城凹陷、阳霞凹陷、乌什凹陷,构造带成排成带分布(图2.1)。

北部单斜带位于天山造山带山前,总体呈东西向展布,包括北部边缘冲断层和斯的克背斜带,主要由中生代地层组成,由于南天山构造楔的冲断和隆升作用导致山前三叠系—侏罗系地层掀斜,形成往南倾斜的单斜构造,局部有背斜构造形成,在单斜带的南翼有大型逆冲断层形成,中生界逆冲推覆在新生代地层之上。此带北部是库车前陆盆地的北部边界。

克拉苏构造带位于北部单斜带之南,拜城凹陷、阳霞凹陷北缘,呈北东—东西向展布,东西长约200km,东段地表由南北两排背斜组成,北带自东而西为坎亚肯背斜、巴什基奇克背斜、库姆格列木背斜和喀拉巴赫背斜,南带自东而西为吉迪克背斜、喀桑托开背斜和吐孜玛扎背斜,背斜核部由白垩系及古近系地层构成。闻名于世的克拉2气田即发现于此。

依奇克里克构造带东西向长120km,主要包括依奇克里克背斜和依南构造,依奇克里克背斜为一断展背斜,依南构造位于前者南翼深层,构造性质属于断弯背斜。依南2气田即位于该带。

拜城-阳霞凹陷带主要边线为中新世断陷-拗陷带,其中拜城凹陷位于克拉苏构造带之南,沉积厚度大,中新世地层厚度达7~9km;阳霞凹陷位于东秋里塔格构造带的南侧,凹陷内断裂不甚发育,中新世厚度为4~7km。

秋里塔格构造带位于拜城凹陷南缘,长320km,呈由南凸起的弧形展布,东西方向上分为两段,发育一系列线状、长轴状背斜构造及断背斜、断鼻构造。该带研究程度相对较低,目前库车拗陷高产的迪那2气田即发现于该带的东部。

南部平缓背斜带位于东秋里塔格背斜构造带南部、前缘隆起带的最北部,大

致和前陆斜坡带相对应,地表形成幅度极小的背斜,两翼倾角 $3^{\circ}\sim 6^{\circ}$,构造形成于喜马拉雅晚期运动,可能与断滑作用有关,具有生长背斜特点。

乌什凹陷位于库车拗陷西部,呈北东向展布,中新生界厚度大,新生代沉积厚达 $3\sim 4\text{km}$ 。乌什凹陷勘探程度较低,在凹陷东南侧发育一系列背斜、断背斜和断鼻圈闭。

(二) 东西分段

库车拗陷在东西向上具有分段性,大致以库车河及卡普沙良河为界,可分为东、中、西三段。

东段依奇克里克构造带走向为东西向,滑脱层主要是中下侏罗统煤层。

中段克拉苏构造带走向主要为北东向,巴什基奇克背斜表现为断背斜构造,向西转为单斜,向东与依奇克里克背斜相连,中段滑脱层主要是古近系膏盐层,变形强度大于东段。

由于西段乌什凹陷内温宿凸起的存在,使得凹陷内构造变化相对频繁,而相应的沉积展布范围也表现得较为狭小。

(三) 上下分层

库车拗陷中新生界自下而上发育中生界底部与古生界和前古生界之间的不整合面、三叠系泥页岩层、侏罗系煤系地层、古近系膏泥岩层和新近系吉迪克组膏泥岩层。在这些滑脱层的影响下,每套滑脱层的上、下构造变形特征均有较大的差异,表现出构造样式的上下分层性。

根据库车拗陷岩石力学性质和地层结构特征可以分为三套各具特点的层系,即盐上层系、含盐层系和盐下层系。盐上层系包括苏维依组($E_{2-3}s$)、吉迪克组(N_j)、康村组($N_{1-2}k$)和库车组 [$(N_2-Q)k$],主要为一套辫状河道-洪泛平原沉积,岩性变化较大,底部夹膏泥岩层;含盐层系在东西两段(大致以库车河剖面为界)分布不一,西段克拉苏构造带以古近系库姆格列木组($E_{1-2}km$)为主,东段东秋里塔格构造带以新近系吉迪克组(N_j)为主,岩性上均为泥灰岩、膏泥岩与盐岩、石膏层不等厚互层;盐下层系主要由下白垩统厚层砂岩组成。这三套层系岩石力学性质差异较大,盐下层在侏罗系含煤岩系以上以刚性的冲断变形为特征;含盐层系以塑性流动为特征;盐上层系介于两者之间,以褶皱变形为特点。

第二节 库车拗陷白垩系地层发育

库车拗陷是一个以中新生界沉积为主的陆源碎屑沉积盆地,沉积物厚度达

8000m 以上，分布较完整。自下而上发育二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系、第四系。中新生界地层内发育数个不整合面，分别位于三叠系底界、白垩系底界、古近系底界、新近系吉迪克组底界和第四系西域组底界（王清晨、李忠，2007）。

白垩系地层是库车拗陷目前最为重要的勘探层位，上白垩统基本被剥蚀，仅存留下白垩统，主要发育于库车拗陷中西部（库车河剖面以西）地区，库车河剖面以东地区由于构造剥蚀使得巴什基奇克组和巴西盖组全部缺失，甚至舒善河组也部分缺失。下白垩统地层总体上呈平行不整合（局部角度不整合）于侏罗系喀拉扎组之上，自下而上分为亚格列木组、舒善河组、巴西盖组、巴什基奇克组，其中前三组地层统称为卡普沙良群（表 2.2）。

表 2.2 库车拗陷白垩系岩石地层发育概要表（贾承造等，2004）

地层				岩性特征
系	统	组	段	
白垩系	下统	巴什基奇克组 (K _{1bs})	第 1 段	薄-中厚层状灰褐色、褐灰色中砂岩、细砂岩为主夹薄层褐色-紫褐色泥岩、泥质粉砂岩，底部发育含砾砂岩、砂砾岩
			第 2 段	
			第 3 段	
		卡普沙良群	巴西盖组 (K _{1b})	顶部为一套区域性中厚-巨厚层状褐色泥岩夹泥质粉砂岩，中-下部以灰褐色粉砂岩、细砂岩为主，夹砾岩及薄层泥质粉砂岩、泥岩
			舒善河组 (K _{1s})	中厚-巨厚层状褐色泥岩、粉砂质泥岩夹薄层褐色、褐灰色、绿灰色泥质粉砂岩、粉砂岩
			亚格列木组 (K _{1y})	下部为浅紫灰色厚层状砾岩，上部为砂岩、砾状砂岩夹泥岩

1. 亚格列木组 (K_{1y})

亚格列木组大量出露于库车拗陷北部单斜带，拗陷覆盖区内仅依奇克里克凹陷、吐格尔明凹陷、库南凹陷及乌什凹陷部分钻井遇该层。

亚格列木组下部为浅紫灰色厚层状砾岩，上部为灰紫色、灰色钙质细砂岩、砾状砂岩、粉砂岩夹泥岩。该组在库车拗陷地面露头区表现为砾岩坚硬、地貌陡峭，似城墙状，故有“城墙砾岩”之称。含孢粉 *Classopollis-Cicatricosisporites-Schizaeoisporites* 组合。该组底界为灰紫色块状砾岩，与下伏侏罗系喀拉扎组褐红色砂砾岩呈假整合或不整合接触。