



# 库车前陆

## 盆地天然气生烃动力学

王招明 王国林 肖中尧  
李贤庆 卢玉红 张秋茶 等著



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 库车前陆盆地天然气 生烃动力学

王招明 王国林 肖中尧  
李贤庆 卢玉红 张秋茶 等 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书介绍了作者通过与美国加州理工学院合作、自行设计的生烃热模拟实验装置;叙述了采用黄金管-高压釜热模拟实验体系,获取的库车拗陷5块典型烃源岩样品甲烷生成动力学参数及3块样品的碳同位素动力学参数,并应用动力学软件计算了三叠系和侏罗系源岩的生烃史,建立了地质条件下源岩的生烃模式,结合埋藏史,解释了克拉2大气田的运聚模式,认为:①克拉2大气田主要源自中下侏罗统煤系源岩;②气藏主要充注时间为 $-5.3\sim-1\text{Ma}$ ;③气藏主要聚集了侏罗系煤系源岩 $-5\sim-1\text{Ma}$ 阶段生成的天然气,对应成熟度为 $1.3\%\sim2.5\%$ ,天然气散失了38%。

本书可供有机地球化学工作者、石油地质研究人员,以及相关专业的学生和老师阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

库车前陆盆地天然气生烃动力学/王招明等著. —北京:科学出版社, 2005

ISBN 7-03-014477-5

I. 库… II. 王… III. 含油气盆地-石油生成-研究-库车县  
IV. P618.130.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第115995号

责任编辑:谢洪源 贾海新/责任校对:鲁 素

责任印制:钱玉芬/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>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2005年2月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2005年2月第一次印刷 印张:11 3/4

印数:1—1 200 字数:256 000

定价:42.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

# 《库车前陆盆地天然气生烃动力学》

## 作者名单

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 王招明 | 王国林 | 肖中尧 |
| 李贤庆 | 卢玉红 | 张秋茶 |
| 胡国艺 | 黄光辉 | 张水昌 |
| 包建平 | 肖贤明 | 呈修祥 |
| 刘文汇 | 王飞宇 | 徐志明 |
| 张师本 | 吴 懿 | 杨文静 |
| 郑建京 | 李宇平 | 李 剑 |
| 唐友军 | 程 华 | 钱 玲 |
| 李 梅 |     |     |

## 序

库车前陆盆地是西气东输的圣地和摇篮，由于怀孕西气东输主力气田克拉2气田扬名全国，它从东至西分布着阳霞凹陷、拜城凹陷和乌什凹陷，各自发现了迪那2大气田、克拉2大气田和依拉克大气田，成为我国天然气丰度最大的宝地。该区丰富的油气资源而显露的油气苗，早被古人记载：欧阳修《新唐书》中“伊罗卢城（今库车县治），北倚阿羯田山，亦曰白山，常有火”。李延寿《北史》中“龟兹”（今库车县一带）“西北大山（今哈尔克山）中有如膏者（像油脂）流出成川，行数里入地”。

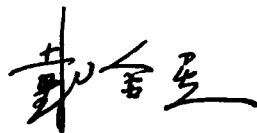
库车前陆盆地北枕横亘中亚的巍巍天山，南临浩瀚无垠我国最干燥的塔克拉玛干沙漠，其内地形崎岖，地质调查困难，物探工作艰辛，钻井工程复杂，气候环境恶劣。1998年4月中旬我随塔里木油田的同志曾在此地质考察几天。一天上午还阳光灿烂，但下午骤然彤云密布，急风疾驰，沙尘扑面。当时我们正在一陡崖下观察剖面。此时油田的一位同事要大家赶快撤离陡崖下，因风太大时时可能把陡崖上石头吹落伤人。此话令我即刻萌生对在此从事争气的勘探者的敬意。

《库车前陆盆地天然气生烃动力学》是研究我国含气丰度最高、天然气地质和地球化学素材极富的地域，故给成书提供了得天独厚的优越性和扎实的基础；是由塔里木油田分公司、中国科学院广州地球化学研究所、中国石油勘探开发研究院三个单位的作者，经收集翔实的丰富的第一性资料和周密的实验分析、精心的综合研究结出的硕果，是我国首部有关天然气生烃动力学的专著。故无论从该专著所研究地域的重要性、内容的新颖性、学科的前沿性，都是吸引读者先读为快的。因此，她的出版是可喜可贺的。

天然气生烃动力学是20世纪末才发展起来的前沿学科。最新发展起来的前沿学科可予以研究者更多创新的机遇，《库车前陆盆地天然气生烃动力学》力作就是极好的例证。该专著从库车前陆盆地成气基础、煤系烃源岩生气动力学特征、聚集效率、生烃与圈闭形成的匹配关系等角度，论述了大气田形成条件，指出库车前陆盆地还有发现大型、特大型气田的潜力。同时根据对克拉2大气田和依南2气藏天然气的运聚特征和成藏特点的典型解剖分析，为有利勘探地区的预测提供了理论依据。本书的一大特色是融天然气理论与勘探于一体，并为之提供了一种新的研究思路和技术方法。书中一些成果被塔里木盆地，特别在库车地区油气勘探所采用而有成效。故该专著在理论和实践上均有重要意义，将对我国天然气生烃动力学理论和学科的发展起推进作用，丰富和发展我国天然气地球化学研究。

近年来，我国天然气工业发展迅速，天然气储量不断增长，大气田发现数不断增加，天然气年产量不断增多。我国从贫气国正迈向年产 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 产气大国。在天然气生产大好形势的同时，可喜地出现从事天然气勘探与研究的一批年富力强的年轻人，本专著的主要作者王招明博士等人就是其中的佼佼者，本书的主要作者，一出校门就长期在塔里木盆地艰苦环境中从事现场勘探至今，更可贵的是他们实践与研究结合好，在

奉献出克拉 2 大气田、迪那 2 大气田……，同时奉献给读者《库车前陆盆地天然气生烃动力学》力著，这是值得衷心庆嘉的，祝愿作者们今后取得更多的成果。

A handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '戴', '金', and '星'. The style is cursive and fluid.

2005 年元月 3 日

## 前 言

塔里木盆地是我国陆上四大含气盆地之一。其中,库车前陆区是塔里木盆地天然气勘探的主战场,目前已发现克拉2、迪那2等大型气田,为“西气东输”宏伟工程的实施奠定了资源基础。但是,随着天然气勘探和研究工作的不断深入,人们越来越清楚地发现,塔里木盆地天然气勘探中的一些关键性的地质地球化学问题尚未完全解决,如:①克拉2气田的天然气源自库车拗陷三叠系—侏罗系煤系地层,但是,为什么同是这套煤系地层,在相邻的吐哈、焉耆盆地主要形成油藏,而不是气藏?②库车前陆区天然气分布及成因较为复杂,对形成这些气藏的烃源岩的生烃演化属性的研究、主力气源岩的确定、天然气成熟度的判识、天然气的运移和聚集模式的描述等,目前仍停留在定性描述的基础上;③沉降速度和升温速率对天然气生成有什么影响?前陆区在新生代晚期快速沉降和快速升温条件下,天然气生烃演化模式如何确定?④库车前陆区已发现的大气田是瞬时充注成藏,还是累积充注成藏或多次充注成藏?主要成藏期在什么时候?上述诸多疑问的存在也一直困扰着库车前陆区天然气成藏理论的研究和天然气的勘探实践。

天然气生烃动力学和成藏地球化学为这些问题的解决提供了一种新的研究思路和技术方法。

天然气生烃动力学是干酪根生烃动力学的理论分支。大量研究及油气勘探已经证明,将干酪根生烃热模拟实验结果直接应用于含油气盆地烃源岩评价存在很大风险,同时也存在较大误差。在实验室短时间、高温得到的干酪根成烃规律与地质条件下干酪根在低温、极其缓慢条件下的生烃作用存在一些明显的差别,热模拟实验结果在一般情况下不能直接应用于地质条件下烃源岩评价与预测,这种差别主要体现在生烃量、油气比、产率组成及生油、生气门限等方面。而烃源岩生烃动力学就是根据化学反应动力学原理模拟地质条件下的生烃过程,以及这一过程中生烃母质及生成产物的动态变化,因而可有效地用来解决油气评价及成因问题,为合理解释天然气成分和同位素特征与天然气生成和成藏过程的关系,定量描绘天然气形成、运移和聚集历史提供了一种新的思路和方法。鉴此,中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司与中国石油勘探开发研究院、中国科学院广州地球化学研究所等单位联合承担了国家“十五”重点科技攻关课题《塔里木盆地大型气田勘探开发关键技术研究》下属的一级专题《塔里木盆地大型气田天然气生烃动力学及主控因素研究》的研究工作,专题编号为2001BA605A02-03。三年的攻关研究始终得到孙龙德课题长的指导,并取得了丰硕的成果。本书就是在上述研究成果的基础上编写完成的。

作为天然气生烃动力学研究与应用的一个成功实例,本书在总结国内外研究现状的基础上,系统介绍了生烃动力学的理论基础、实验方法和动力学参数计算方法,并以库车前陆区为典型研究实例,以气源灶为研究单元,在含油气系统理论基础上,应用生烃动力学的理论、方法和技术手段,通过黄金管高压热模拟实验和Kinetics软件模拟计



算, 获得了前陆区煤系源岩和湖相泥岩的生烃动力学和碳同位素动力学参数, 总结了克拉 2、依南 2、阿克 1 气藏的动态运聚模式, 认为克拉 2 大气田是中下侏罗统煤系烃源岩在距今 5Ma 以来阶段聚气的结果, 天然气成熟度  $R^o$  值为 1.3%~2.5%, 天然气散失率为 38%; 依南 2 气藏天然气基本上属长期累积聚集气, 主要散失的是甲烷转化率低于 0.1 时早期生成的天然气, 天然气散失率为 25%~30% 左右。

上述研究中主要涉及以下三大方面的内容:

#### (1) 库车前陆盆地气源灶及天然气地球化学特征

1) 厘定了库车拗陷中生界主要烃源岩的空间展布形态, 应用气源灶特征技术描述了侏罗系—三叠系气源灶特征。

2) 建立侏罗系煤系烃源岩倾油倾气性的半定量分析方法, 进一步明确煤系烃源岩倾油倾气性的主控因素。

3) 从天然气组分、碳、氢稳定同位素, 轻烃组成及其碳同位素, 稀有气体同位素等方面详细地分析了库车前陆盆地天然气的地球化学特征, 确定了天然气的成因类型。

#### (2) 天然气生烃动力学研究

通过对塔里木盆地库车拗陷中生界烃源岩生烃动力学和碳同位素动力学攻关研究, 获得天然气生成的动力学参数, 并结合地质地球化学资料, 对该地区进行逼近地质条件下的动力学模拟, 研究天然气成因、运聚效率及运聚模式, 具体研究内容如下:

1) 对塔里木盆地库车拗陷中生界不同类型烃源岩进行干酪根生气热模拟。

2) 利用相配套的动力学模拟软件, 获得天然气生成的有关动力学参数。

3) 采用动力学方法将热模拟实验结果进行分析, 研究库车前陆盆地天然气成因、成熟度。

4) 重点对克拉 2 气田、依南 2 气藏进行逼近地质条件下的生烃动力学模拟, 研究天然气的运聚模式。

#### (3) 天然气生成与大气田形成的关系

从库车前陆盆地成气物质基础、煤系烃源岩生气动力学特征、聚集效率和生烃与圈闭形成的匹配关系等角度探讨库车前陆盆地大气田形成的必要条件, 并指出库车前陆盆地具有再次发现大型、特大型气田的潜力。

运用新的研究思路和方法对克拉 2、依南 2 气田天然气的运聚特征和成藏特点进行重点解剖和分析, 并系统总结天然气分布和气源灶的关系、天然气成熟度特点与碳同位素分布的关系, 为有利勘探地区的预测提供理论依据。

本书是集体劳动的结晶, 旨在通过库车前陆盆地天然气生烃动力学的研究实例, 提出我们在相关研究中的一些拙见和体会, 以期为广大同行在相关领域的研究中提供一些参考和借鉴。在编写过程中各章主要编写人: 第一章: 程华、张秋茶; 第二章: 黄光辉、王飞宇、肖中尧、张水昌、包建平; 第三章: 肖中尧、胡国艺、刘文汇; 第四章: 李贤庆、肖中尧、肖贤明; 第五章: 李贤庆、王招明、王国林; 第六章: 王招明、王国林、胡国艺。最后由王招明、肖中尧和张师本统稿。图件清绘: 卢玉红。由于水平有限, 恳请读者对书中存在的不足和错误予以批评和指正。

在相关研究工作的开展过程和本书的编写期间得到了中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司孙龙德总经理、周新源副总经理、宋文杰副总经理、技术发展处相建



民处长等领导和专家的关怀与指导；梁狄刚教授对本书的编写进行了精心指导；中国科学院广州地球化学研究所彭平安、肖贤明研究员对书中的相关研究内容进行了悉心指教；“十五”项目办公室工作人员和研究院勘探所的研究人员也给予了大力支持。在此一并表示衷心感谢。

编 者

2004年4月10日

# 目 录

## 序

## 前言

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| <b>第一章 库车前陆盆地石油地质概况</b> .....                | 1  |
| 第一节 勘探历程 .....                               | 1  |
| 第二节 构造演化及地层系统简述 .....                        | 2  |
| 一、晚二叠世 .....                                 | 2  |
| 二、三叠纪—古近纪 .....                              | 2  |
| 三、新近纪—第四纪 .....                              | 6  |
| 第三节 生储盖组合 .....                              | 7  |
| 一、古近系膏盐岩、膏泥岩与古近系底砂岩—白垩系巴什基奇克组砂岩组成的储盖组合 ..... | 7  |
| 二、吉迪克组膏泥岩段与砂泥岩段组成的储盖组合 .....                 | 7  |
| 三、侏罗系克孜勒努尔组、阳霞组组成的储盖组合 .....                 | 7  |
| 四、舒善河组储盖组合 .....                             | 8  |
| 第四节 构造单元划分 .....                             | 8  |
| 一、北部单斜带 .....                                | 8  |
| 二、克拉苏构造带 .....                               | 9  |
| 三、依奇克里克构造带 .....                             | 9  |
| 四、秋里塔格构造带 .....                              | 9  |
| 五、前缘斜坡带 .....                                | 10 |
| 六、阳霞凹陷 .....                                 | 10 |
| 七、拜城凹陷 .....                                 | 11 |
| 八、乌什凹陷 .....                                 | 11 |
| <b>第二章 库车拗陷气源灶特征</b> .....                   | 12 |
| 第一节 烃源岩分布特征 .....                            | 12 |
| 一、烃源岩纵向分布特征 .....                            | 12 |
| 二、烃源岩平面展布特征 .....                            | 15 |
| 第二节 烃源岩有机质丰度 .....                           | 17 |
| 一、烃源岩有机质丰度评价标准 .....                         | 17 |
| 二、烃源岩有机质丰度评价 .....                           | 19 |
| 三、烃源岩残余有机碳的空间分布 .....                        | 27 |
| 第三节 烃源岩的有机质类型 .....                          | 29 |
| 一、烃源岩有机显微组分组成特征 .....                        | 30 |
| 二、干酪根元素组成特征 .....                            | 32 |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| 三、干酪根碳稳定同位素组成 .....                   | 33        |
| 第四节 烃源岩倾油倾气性分析 .....                  | 35        |
| 一、烃源岩倾油倾气性研究思路 .....                  | 35        |
| 二、可溶有机质组成与烃源岩倾油倾气性 .....              | 35        |
| 三、烃源岩热解色谱特征与倾油倾气性分析 .....             | 38        |
| 四、烃源岩倾油倾气性评价 .....                    | 41        |
| 第五节 有机质成熟度和烃源灶演化 .....                | 42        |
| 一、烃源灶表征技术 .....                       | 42        |
| 二、烃源岩有机质成熟度和热演化史 .....                | 42        |
| 三、不同地质时期烃源岩生气强度和气源灶分布 .....           | 45        |
| <b>第三章 库车前陆盆地天然气地球化学特征及成因分类 .....</b> | <b>50</b> |
| 第一节 天然气组分组成特征 .....                   | 50        |
| 一、烃类组分组成 .....                        | 50        |
| 二、非烃组成 .....                          | 51        |
| 第二节 天然气轻烃组成及其碳同位素分布特征 .....           | 53        |
| 一、天然气轻烃组成分布特征 .....                   | 53        |
| 二、天然气轻烃碳同位素分布特征 .....                 | 57        |
| 第三节 同位素地球化学特征 .....                   | 59        |
| 一、甲烷碳同位素特征 .....                      | 59        |
| 二、烷烃气系列碳同位素特征 .....                   | 65        |
| 三、稳定氢同位素组成特征 .....                    | 68        |
| 四、稀有气体同位素组成 .....                     | 71        |
| 第四节 天然气成因类型 .....                     | 74        |
| 一、天然气组分碳、氢同位素判识成因类型 .....             | 75        |
| 二、天然气轻烃组成判识成因类型 .....                 | 76        |
| <b>第四章 生烃动力学实验方法及参数 .....</b>         | <b>79</b> |
| 第一节 国内外研究现状 .....                     | 79        |
| 一、烃源岩生烃动力学研究现状 .....                  | 80        |
| 二、天然气碳同位素动力学研究现状 .....                | 81        |
| 第二节 生烃动力学的理论基础 .....                  | 87        |
| 一、干酪根生烃动力学研究的基本原理 .....               | 87        |
| 二、天然气碳同位素分馏的理论基础 .....                | 88        |
| 第三节 生烃动力学实验方法 .....                   | 89        |
| 一、实验装置 .....                          | 89        |
| 二、样品与实验方法 .....                       | 91        |
| 第四节 生烃模拟实验结果 .....                    | 93        |
| 一、烃产率特征 .....                         | 93        |
| 二、碳同位素特征 .....                        | 97        |
| 第五节 生烃动力学参数计算 .....                   | 100       |

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| 一、生烃动力学参数计算方法 .....                          | 100 |
| 二、气态烃生成的动力学参数 .....                          | 101 |
| 三、镜质组 $R^o$ 演化的动力学参数 .....                   | 105 |
| 四、碳同位素动力学参数 .....                            | 107 |
| <b>第五章 库车前陆盆地天然气生烃动力学与运聚模式</b> .....         | 111 |
| 第一节 拜城凹陷和阳霞凹陷三叠系—侏罗系烃源岩生气史 .....             | 111 |
| 一、中下侏罗统烃源岩的生气史模拟 .....                       | 112 |
| 二、中上三叠统烃源岩的生气史模拟 .....                       | 116 |
| 第二节 三叠系—侏罗系烃源岩生气模式与评价 .....                  | 118 |
| 一、烃源岩产气率 .....                               | 118 |
| 二、烃源岩生气模式 .....                              | 120 |
| 三、三叠系—侏罗系烃源岩生气潜力综合评价 .....                   | 122 |
| 第三节 天然气成熟度分析 .....                           | 124 |
| 一、常规方法评价天然气成熟度 .....                         | 125 |
| 二、碳同位素动力学方法评价天然气成熟度 .....                    | 128 |
| 第四节 克拉 2 气田天然气运聚模式 .....                     | 131 |
| 一、克拉 2 气田地质地球化学特征 .....                      | 131 |
| 二、克拉 2 气田异常高压形成的原因 .....                     | 132 |
| 三、克拉 2 气田天然气成藏过程分析 .....                     | 133 |
| 四、克拉 2 气田天然气运聚模式 .....                       | 144 |
| 第五节 依南 2 气藏天然气运聚模式 .....                     | 148 |
| 一、依南 2 气藏地质地球化学特征 .....                      | 148 |
| 二、依南 2 气藏成藏特征 .....                          | 148 |
| 三、依南 2 气藏天然气来源及聚集特征 .....                    | 149 |
| 四、依南 2 气藏的成藏运聚模式 .....                       | 156 |
| <b>第六章 库车前陆盆地天然气生成与大中型气田形成关系</b> .....       | 158 |
| 第一节 强充注的气源灶决定了库车前陆盆地具备形成大中型气田的物质基础 .....     | 158 |
| 一、广泛发育的高丰度、高一过成熟的煤系烃源岩为大气田形成提供了丰富的物质来源 ..... | 158 |
| 二、生气中心控制了气藏的分布特征 .....                       | 160 |
| 第二节 快速生气超晚期成藏提高了大气田聚集的效率 .....               | 162 |
| 一、烃源岩具有快速生气的显著特点 .....                       | 162 |
| 二、天然气成藏具有超晚期的特点 .....                        | 163 |
| 第三节 库车前陆盆地天然气勘探前景 .....                      | 166 |
| <b>主要参考文献</b> .....                          | 168 |

# 第一章 库车前陆盆地石油地质概况

## 第一节 勘探历程

塔里木盆地位于新疆维吾尔自治区南部，介于天山、昆仑山与阿尔金山之间，面积达 56 万 km<sup>2</sup>，盆地腹部是被称为“死亡之海”的塔克拉玛干沙漠，是一个大型叠合复合盆地，依据盆地基底顶面起伏将盆地划分为“三隆四拗”，即：塔北隆起、中央隆起、塔南隆起、库车拗陷（库车前陆逆冲带）、北部拗陷、西南拗陷和东南拗陷（图 1.1）。

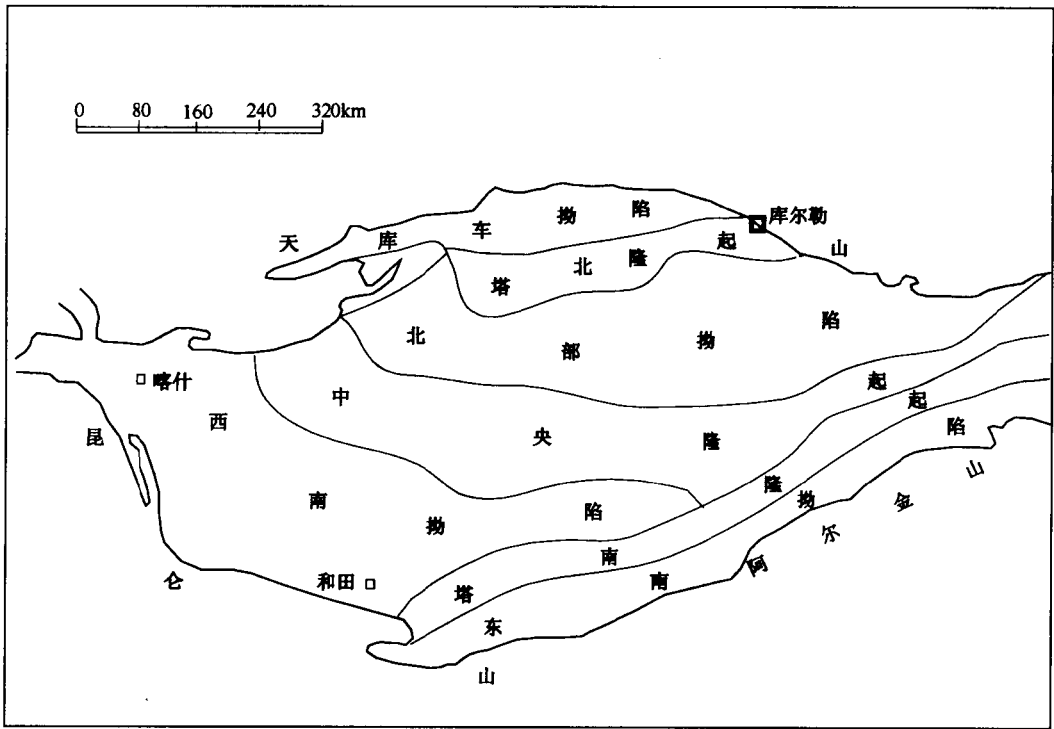


图 1.1 塔里木盆地构造单元划分图

库车前陆盆地位于塔里木盆地北部，包括库车拗陷和塔北隆起北部，毗邻天山褶皱系，北缘是南天山山前断裂带，前陆盆地走向呈北东东向展布。受多期构造运动的影响，库车前陆盆地形成了五带三凹的现今构造格局，即：北部单斜带、克拉苏构造带、依奇克里克构造带、秋里塔格构造带、前缘斜坡带及拜城凹陷、阳霞凹陷、乌什凹陷。库车拗陷内地势高差大，其北部为近东西向的高山深谷，地面海拔一般为 1500～3000m，拜城一带为山间盆地，以戈壁为主，分布少量绿洲，阳霞一带为较平坦的戈壁，南部为高陡直立的秋里塔格山，海拔一般为 1300～2000m。其地表条件十分复杂，

有山地、戈壁、砾石层和松软第四系快速堆积物。

库车前陆盆地勘探历史悠久，早在 1935 年就开始路线普查，50 年代开始投入大规模勘探，并于 1958 年发现了塔里木盆地第一个油田——依奇克里克油田。由于库车拗陷构造变形复杂、地层高陡、地层异常高压、深浅层构造不一致，再加上早先的钻井、地震技术水平限制，油气勘探仅限于浅层，始终未能取得大的进展，且于 1984 年暂停钻探。随着对前陆盆地油气成藏认识的不断深入以及钻井、地震技术的大幅度提高，1992 年重上库车拗陷勘探项目，先于 1995 年发现了大宛齐油田，其后又相继发现了克拉 2 大气田、克拉 3 气藏、依南 2 气藏、大北 1 气藏、迪那 2 凝析气田、迪那 1 凝析气藏、却勒 1 油藏和依拉克凝析气藏等。

## 第二节 构造演化及地层系统简述

库车拗陷新生代构造运动强烈，改造了其早期的构造形迹。根据拗陷周缘南天山和柯坪地区及吐格尔明构造东高点之元古宇变质岩露头资料和航磁、地震以及钻井资料等，发现库车拗陷之下发育古生代的沉积岩层，并推测有中—新元古界的中、浅变质岩系的存在。

库车拗陷所在的塔里木古板块的北部与伊犁—中天山地块在晚泥盆世—早石炭世经过聚合碰撞，再经晚石炭世—早二叠世焊接拼合阶段，即通过进一步的逆掩—叠加以及与其相关的构造—岩浆作用后，库车拗陷及邻区进入了陆内构造演化阶段。

此后经历了三叠纪周缘前陆盆地、侏罗纪断陷盆地、白垩纪—古近纪弱伸展拗陷盆地和新近纪—第四纪再生前陆盆地演化阶段。中—新生界基本上全为陆相沉积（图 1.2）。

### 一、晚二叠世

泥盆纪—早二叠世塔里木板块与伊犁—中天山地体碰撞后，一方面使南天山迅速褶皱隆起，并向塔里木盆地发生强烈冲断，另一方面使塔里木板块向南天山发生 A 式俯冲，在塔里木板块北部形成了库车前陆盆地。由于该前陆盆地的形成是在南天山洋向伊犁—中天山地体俯冲之后塔里木陆壳向南天山造山带发生 A 式俯冲的结果，且晚二叠世的沉降沉积中心均靠近南天山造山带一侧，故晚二叠世库车拗陷属周缘前陆盆地。其中，上二叠统为一套冲积扇沉积的磨拉石建造，岩性以厚层砾岩为主，代表造山后的再旋回沉积。

### 二、三叠纪—古近纪

三叠纪是塔里木盆地沉积相对广泛的时期，三叠纪沉积厚度大，沉积速率高，三叠纪库车地区由晚二叠世的前陆磨拉石盆地开始沉降进入拗陷型盆地发育阶段，地层向塔北隆起超覆，向南厚度减薄，并在库车南斜坡超覆尖灭。沉降中心和沉积中心位于拗陷北部的克拉苏河与库车河之间的北单斜带与直线背斜带地区，向东向西三叠系厚度减

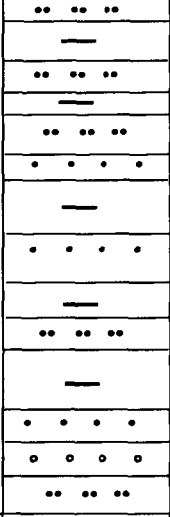
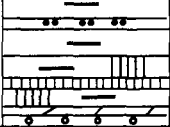
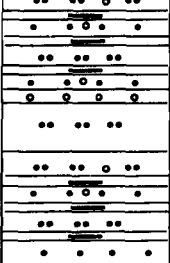
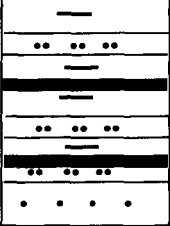
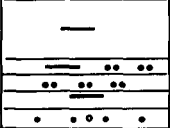
| 地层          |     | 岩性剖面                                                                                | 岩 性 特 征                                                          |
|-------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 界           | 系   |                                                                                     |                                                                  |
| 新<br>生<br>界 | 第四系 |    | 下部西域组为河流相砾岩、砂岩及粉砂岩,厚度一般在50~600m之间                                |
|             |     |    | 河流相夹湖相红色碎屑岩,沉积厚度巨大,最大厚度大于5000m                                   |
|             |     |   | 河、湖相红色碎屑岩夹石膏层,底部受海泛影响,为白云岩、灰岩、高钙砾岩夹砂泥岩                           |
|             | 白垩系 |  | 仅存在下白垩统,厚度一般在1000m以上,为陆相红色碎屑沉积,底部为杂色砾岩,下部为褐色泥岩夹粉砂岩,上部为棕褐色砂岩夹薄层泥岩 |
|             |     |  | 厚度一般在1500~2000m之间,上部为棕、棕褐色泥岩夹褐灰、灰色砂岩,下部为暗棕、灰绿色泥岩、黑色碳质泥岩及煤层       |
|             |     |  | 厚度一般在165~1500m之间,灰、灰黑、褐色泥岩、砂岩、含砾砂岩不等厚互层夹碳质泥岩及煤层                  |
|             |     |                                                                                     |                                                                  |
|             |     |                                                                                     |                                                                  |
|             |     |                                                                                     |                                                                  |
|             |     |                                                                                     |                                                                  |
|             |     |                                                                                     |                                                                  |
|             |     |                                                                                     |                                                                  |
|             |     |                                                                                     |                                                                  |

图 1.2 库车前陆盆地中—新生界地层柱状图



薄。沉积中心为半深湖—深湖环境。由此向北依次主要发育滨浅湖相与冲积扇相—辫状河流相沉积，向南主要为滨浅湖相沉积。三叠系自下而上分为俄霍布拉克组、克拉玛依组、黄山街组和塔里奇克组，它一般不整合于晚二叠世沉积地层或早二叠世喷发岩之上，与上覆侏罗系整合接触，厚度一般 165~1500m。其中冲积扇相—辫状河流相沉积主要见于下三叠统俄霍布拉克组，该组底部普遍发育一套紫色、灰褐色和黄灰绿色的砾岩和砂砾岩沉积，物源属再旋回造山带。中上三叠统克拉玛依组和上统黄山街组则是半深湖—深湖相沉积发育的主要层位，以发育较厚的灰色泥岩为特征。上三叠统塔里奇克组主要为—套河流相—沼泽相沉积，其中含有几套薄煤层和碳质泥岩。可见，三叠纪库车湖盆经历了一个由浅到深再到浅的变迁过程，沉积速率也呈现出下降趋势。

塔里奇克组 ( $T_{3t}$ )：由三个正沉积旋回组成，岩性为灰白色砾岩、中—粗粒长石英砂岩，灰色、灰黑色泥岩及碳质页岩夹煤层，底界为灰白色石英砂岩、砾岩。该组地层在库车河最厚，向东向西逐渐减薄。

黄山街组 ( $T_{3h}$ )：主要由两套由粗变细的沉积旋回组成，每个旋回底部为块状砂砾岩，中上部为灰绿色、灰黑色泥岩、碳质泥岩夹灰岩或灰岩透镜体。

克拉玛依组 ( $T_{2-3k}$ )：全区仅依南 2 井钻遇，西部乌参 1 井缺失了该组及上部地层。上部岩性为灰色泥岩、碳质泥岩夹砂岩，中部为灰色粗砂岩、褐色泥岩，下部为灰色含砾砂岩夹褐色粉砂质泥岩、泥岩。顶部泥岩、碳质泥岩厚 40~90m，为区域性标志层。

俄霍布拉克组 ( $T_{1eh}$ )：主要见于山前露头区，全区井下仅在东部依南 2 井和西部乌参 1 井钻遇，向东至吐格尔明缺失。地层岩性主要为两组灰绿色泥岩、砂岩与两组紫红色砂砾岩加泥岩互层，底部为灰褐色底砾岩。向西岩性以紫、灰、灰褐、紫褐、褐色泥岩为主夹绿灰色灰质泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩和小砾岩。

侏罗系为—套含煤层系，地层发育良好，层序清楚，化石丰富。库车拗陷的北部单斜带中西部、依奇克里克构造带的吐格尔明背斜及乌什凹陷北部均有出露，钻井与地表露头对比性好。底部与三叠系整合接触，顶部与白垩系假整合接触，厚度一般在 1450~2100m 之间。侏罗系自下而上分为阿合组、阳霞组、克孜勒努尔组、恰克马克组、齐古组和喀拉扎组。阳霞组和克孜勒努尔组均有煤系地层存在。侏罗纪后期，由于库车拗陷南部的抬升，其沉降沉积中心逐渐向北迁移，克拉苏和依奇克里克分别为拗陷的沉降沉积中心，由北向南地层逐渐减薄。

喀拉扎组 ( $J_{3k}$ )：在区内分布局限，主要见于北部露头卡普沙良河与吐格尔明之间，在拗陷内大部分地区缺失，岩性为棕褐色含钙砂岩、细砾岩夹黄红色、紫红色中、厚层状泥质粉砂岩、粉砂质泥岩。

齐古组 ( $J_{3q}$ )：到了晚侏罗世，全区气候由温暖潮湿变为干旱炎热，湖盆进入氧化宽浅咸化型演化阶段，平面上除西部卡普沙良河和东部库车河地区分别为孤立的三角洲和扇三角洲外，其余地区为氧化宽浅型湖泊的滨浅湖相带，因此齐古组以紫红、棕红色泥岩沉积为主，夹薄层灰白、黄灰、绿灰色泥灰岩及钙质粉砂岩，烃源岩和储集岩均不发育。

恰克马克组 ( $J_{2q}$ )：总体为半深湖—浅湖相，具有西厚东薄的趋势，自西向东岩性特征也发生变化，东部以绿色、灰绿色及紫红色泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、砂岩互层沉

积为特征,向西岩性逐渐变细,还原程度增加,主要以深灰色泥岩沉积为主,夹钙质岩屑砂岩、泥晶灰岩、粉砂岩和少量含砾粗砂岩,是库车西部地区的主力油源岩。

克孜勒努尔组 ( $J_2k$ ): 为正常三角洲相夹湖泊相,沉积厚度 400~800m,具有东厚西薄趋势,岩性主要为灰色、绿灰色细砂岩与绿灰、灰黑色粉砂岩、泥页岩及煤线组成多个正韵律层。

阳霞组 ( $J_{1y}$ ): 阳霞组为湖泊-沼泽相夹辫状三角洲前缘相,岩性主要为灰色、浅灰色细—粗砂岩、砾岩、细砂岩、泥质粉砂岩,厚层灰色、深灰色泥岩与灰黑色碳质泥岩及煤组成多个韵律层,顶部 30~50m 的黑灰色泥岩、碳质泥岩是库车拗陷分布广泛而稳定的区域性标志层。阳霞组是库车地区最重要的烃源岩层之一。

阿合组 ( $J_{1a}$ ): 阿合组为辫状三角洲沉积相,岩性主要为灰色、灰白色厚层、块状粗砂岩、含砾砂岩、砾岩,局部夹灰黑色泥岩及煤线,是重要的储集层。分布于中、西部和北、东部地区。中部厚度较大、岩性粗,向东厚度变薄,向西岩性变细。

白垩纪的沉积基本继承了侏罗系的沉积格局。白垩系沉积时期库车地区进一步沉降,接受并保存了较齐全白垩系。白垩系主要分布于拗陷中、西部的北部单斜带及直线褶皱带部分地区,并由西向东逐渐减薄,西部地层保存较全,东部地层保存较少。白垩系主要为一套陆相紫红色碎屑岩沉积,层序清楚,化石较为丰富,与下伏侏罗系喀拉扎组假整合接触。白垩系沉积末期,古天山及塔里木盆地普遍抬升致使白垩系遭受剥蚀,造成白垩系与上覆古近系假整合或不整合接触。一般厚 236~1678m,自下而上可分为亚格列木组、舒善河组、巴西盖组和巴什基奇克组。

巴什基奇克组 ( $K_1bs$ ): 为辫状三角洲和扇三角洲沉积相,根据岩性组合分为三个岩性段,下段为中—厚层状褐灰、杂色砂砾岩、含砾细砂岩,向西厚度减薄;中段为浅褐色粉砂岩、细砂岩与褐色泥岩互层,向东泥岩薄层增多,砂岩单层厚度变小;上段为褐色、褐灰色细砂岩、粉砂岩夹薄层褐色泥质粉砂岩,地层厚度呈东厚西薄的趋势。

巴西盖组 ( $K_1b$ ): 岩性主要为黄灰色、桔红色厚层块状粉—细砂岩、粗砂岩夹同色泥岩、粉砂质泥岩,厚度变化大致呈西厚东薄的趋势。

舒善河组 ( $K_1s$ ): 厚度 140~1100m,岩性以泥岩为主,为紫红、灰紫色粉砂质泥岩、泥岩、粉砂岩夹灰绿、黄绿色粉砂岩、细砂岩、粉砂质泥岩、泥岩,底部为灰色泥岩、页岩,普遍含钙。

亚格列木组 ( $K_{1y}$ ): 厚度 50~250m,上部为砂岩、砾状砂岩,下部为浅紫色块状砾岩,俗称城墙砾岩。向西到乌什凹陷岩性变细,上部岩性以褐色、深褐色泥岩为主,夹褐色粉砂质泥岩、绿灰色泥质粉砂岩、粉砂岩;下部主要为含砾中砂岩、细砾岩、含砾砂岩为主,夹薄层泥岩。

古近纪早期,海侵导致拗陷内绝大部分地区沉积了一套巨厚的潟湖相的膏盐岩沉积,构成该地区很重要的一套区域性盖层,各地岩性和厚度变化很大,厚度为 200~3000m。古近系在库车拗陷变化较大,可分为东、西两种类型:东部为海侵短期波及的砂砾岩、泥岩夹膏盐岩层透镜体及少量灰岩;西部为盐湖、盐洼膏盐岩发育区或海侵短期波及的砂砾岩、泥岩夹膏盐层及生物灰岩。古近系可分为库姆格列木群和苏维依组。

苏维依组 ( $E_3s$ ): 厚度一般在 150~600m 之间,地层呈明显褐红色,顶部钙质含