

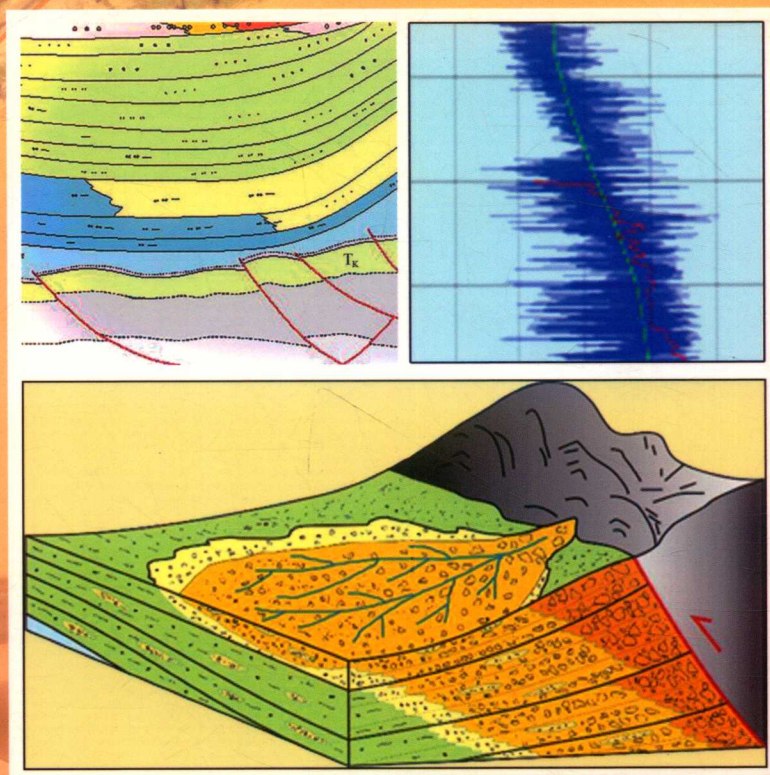


库车前陆盆地油气勘探系列丛书

KUCHE QIANLU CHONGDUANDAI XINSHENGJIE LIYANCENG FENBU YU SHIBIE JISHU

库车前陆冲断带新生界砾岩层 分布与识别技术

杨宪彰 许安明 孙海涛 吴超 师骏 等著



石油工业出版社

库车前陆盆地油气勘探系列丛书

库车前陆冲断带新生界砾岩层 分布与识别技术

杨宪彰 许安明 孙海涛 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统总结了库车前陆盆地在浅层砾岩体识别与预测技术攻关中形成的关键技术措施。首次实现了该区浅层砾石层的识别与精细预测,成果被广泛应用在地震速度建场、圈闭落实与井位优选、地震处理和工程决策四大领域,有力推动了该区天然气勘探开发进程。

本书可供地质勘探一线的科研技术人员、高等院校石油勘探专业教学以及地质学爱好者参考和学习。

图书在版编目(CIP)数据

库车前陆冲断带新生界砾岩层分布与识别技术/杨宪彰等著. —北京:石油工业出版社,2018. 1

(库车前陆盆地油气勘探系列丛书)

ISBN 978 - 7 - 5183 - 2418 - 7

I. ①库… II. ①杨… III. ①塔里木盆地 - 前陆盆地 - 冲断层 - 砾岩 - 研究 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 322968 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

编辑部:(010)64523543 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:12.25

字数:310 千字

定价:120.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《库车前陆冲断带新生界砾岩层 分布与识别技术》

编写人员

杨宪彰 许安明 孙海涛 吴超 师骏

陈元勇 潘杨勇 王斌 章学岐 史玲玲

前 言

库车前陆冲断带克拉苏构造带盐下深层是塔里木油田近几年来最为重要的勘探领域,先后发现了克深2、克深8、克深9、克深5、大北3等一批大中型气藏,基本落实了 $1 \times 10^{12} \text{m}^3$ 天然气资源规模,成为塔里木油田实现油气当量 $0.3 \times 10^8 \text{t}$ 油气规划目标的主阵地,同时奠定了库车前陆盆地作为我国天然气生产主力区的地位。克拉苏构造带盐下天然气赋存在白垩系巴什基奇克组砂岩储层中,上覆古近系巨厚膏盐岩层,由于构造运动及不平衡载荷引起盐层塑性流动,厚度变化剧烈,从200~4000m不等。新近纪在天山强烈抬升与干旱气候条件下,沉积了巨厚的砾石层,这套砾石层厚度、岩性岩相横向变化剧烈,砾石成分复杂、胶结程度不一,给深层油气勘探带来巨大困扰。其主要体现在三个方面:一是厚度变化区间大,导致关键地质层位预测不准,设计与实钻误差大;二是砾石层纵横向岩性岩相变化大,速度变化剧烈,难以准确把握,圈闭落实程度低,造成部分钻井失利;三是砾石成分变化快,可钻性差,钻井工程遭遇战时有发生,钻井周期长,成本居高不下,甚至工程报废。长期以来,一直缺乏有效技术手段进行砾石层精细刻画。砾石层成为探索盐下深层丰富油气的“拦路虎”。

为解决这一制约油气勘探的瓶颈问题,2007年以来,塔里木油田公司勘探开发研究院以地质服务于工程的理念,把“非目的层”当作“目的层”研究,汇集各领域专家开展联合攻关,组成库车浅层巨厚砾石层识别与刻画技术团队,基于现代冲积扇沉积与年代地层学理论,利用三维重磁电、地震资料进行联合反演,有效识别和预测巨厚砾石层岩性、岩相及空间展布,从而为复杂区地震速度建场、地震处理、圈闭落实与井位优选、工程决策提供依据。主要对库车中部浅层砾石层进行进攻性措施,采取浅层地震地质统层、冲积扇物源追踪与厘定、大面积部署三维重磁电、井约束下地震反演、砾石层年代地层分析五大技术措施;创新了包括冲积扇物源追踪与厘定、非地震与地震融合、年代地层学雕刻、砾石层地震属性反演四大核心技术;编制了克拉苏构造带浅层砾石层岩性岩相预测剖面、砾石层厚度图、井约束地震反演平面图、浅层砾石层沉积古地理图四大图件。首次实现了该区浅层砾石层的识别与精细预测,成果被广泛应用在地震速度建场、圈闭落实与井位优选、地震处理、工程决策四大领域,有力推动了该区天然气勘探开发进程。

库车前陆盆地浅层砾岩体识别与预测技术的创建和应用有力推动了克拉苏深层天然气勘探,得到了前陆区油气勘探同行的高度评价,被中国石油推广至我国中西部五大前陆盆地油气勘探中。系统总结前期攻关成果,凝练技术,推动这一技术不断完善与发展,是本书编写的主要目的。同时,也希望本书阐述的砾石体识别技术与想法能对地质综合研究工作者提供有益的启发和借鉴。

本书的内容共五章,第一章简单探讨了库车前陆盆地区域地质背景,并系统总结了油气勘探过程中浅层砾石层对深层圈闭落实、钻井工程和地震处理三个方面的影响,由杨宪彰执笔,李勇审定;第二章着重阐述了库车前陆冲断带新生界分布规律及巨厚砾石层发育特征,由孙海涛执笔,雷刚林审定;第三章重点讲述了适用于库车前陆冲断带巨厚砾岩体的识别与刻画技

术,是全书的重点所在,由杨宪彰执笔,李勇审定;第四章系统总结了库车前陆冲断带新生界砾岩层沉积模式与控制因素,由徐振平执笔,李勇审定;第五章系统分析了砾岩层预测技术在油气勘探中的应用,由吴超执笔,李勇审定。

参加本书编写工作的还有:吴超、李青、陈元勇、钟大康、孙海涛、罗海宁、谷永兴、许安明、周露、莫涛、吴庆宽、杨树江、张文、王媛、邸宏利、史玲玲、谢彬等。特别感谢陈常超硕士为本书最后统稿与校验付出的努力。田军、王清华、杨海军、谢会文等勘探研究专家对本书提出了宝贵建议,感谢他们对本书做出的无私奉献。由于本书笔者主要为一线生产技术人员,加之水平有限,书中观点难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 库车前陆冲断带构造—沉积演化	(3)
第二节 砾岩层与油气勘探	(25)
第三节 研究难点与技术对策	(30)
第二章 新生界分布与砾岩层发育特征	(35)
第一节 新生界地层划分与对比	(35)
第二节 各层系砾岩层岩石学特征	(53)
第三章 砾石层识别与刻画	(59)
第一节 砾岩识别关键技术	(59)
第二节 砾岩岩性精细解释	(61)
第三节 三维电法资料处理技术	(71)
第四节 砾岩层的地震属性反演	(86)
第五节 砾岩体年代地层学雕刻技术	(98)
第四章 新生界砾岩层沉积模式与分布特征	(116)
第一节 砾岩层物源体系	(116)
第二节 砾岩层的沉积模式	(123)
第三节 砾岩层的分布与控制因素	(141)
第五章 砾岩层预测在油气勘探中的应用	(157)
第一节 砾石发育区多信息融合速度建场技术	(157)
第二节 砾岩发育区地震处理技术	(163)
第三节 砾石发育区构造圈闭落实技术	(171)
第四节 砾石发育区钻井工程对策	(177)
参考文献	(183)

第一章 概述

库车前陆冲断带位于塔里木盆地北缘,北与南天山断裂褶皱带以逆冲断层或不整合相接,南为塔北隆起,东起阳霞凹陷,西至乌什凹陷,是一个以中、新生代沉积为主的叠加型前陆冲断带,整体呈 NEE 向展布,东西长约 350km,南北宽 30 ~ 80km,面积约 $2.8 \times 10^4 \text{km}^2$ 。库车前陆冲断带涵盖三个次级冲断带与三个凹陷(图 1-1),三个次级冲断带由北至南分别为克拉苏冲断带、依奇克里克冲断带、秋里塔格冲断带;三个凹陷从西向东分别为乌什凹陷、拜城凹陷和阳霞凹陷。

库车前陆冲断带油气地质条件优越,油气资源丰富,通过 60 多年的勘探开发,取得了举世瞩目的成就,发现并高效开发了诸如克拉 2、迪那 2、克深等一个又一个大中型油气田,为推动我国西气东输,优化能源结构,及新疆跨越式发展发挥了至关重要的作用,成为我国前陆盆地油气勘探的典范。但由于地表、地下条件极其复杂,其勘探难度之大,世所罕见。具体体现在以下四个方面:(1)陆上超深层,目的层主体埋深在 6500 ~ 8000m。(2)复杂山地、前陆冲断带,地表、地下地质条件复杂。工区处于高山区,地表海拔从 1400m 至 3500m,山体林立、沟壑纵横、人迹罕至,给现场施工带来极大挑战;盐上中浅层刚性地层冲断强烈、地层高陡,伴生快速相变的冲积扇砾岩,最大厚度超过 5400m;中深层复合盐层塑性流动,厚度变化大,最厚超过 4000m,盐、膏、泥互层,欠压实泥岩与超高压盐水层共存,压力系数高达 2.64;盐下深层为高陡断背斜构造,地应力场复杂,工区北部 2 ~ 3 组断片垂向逆掩,叠置率最高达 80%。(3)目的层为陆相低孔低渗砂岩储层,孔隙度一般在 3% ~ 7%,平均基质渗透率低于 0.1mD。(4)气藏高温高压,地层温度一般 130 ~ 170℃,最高达到 192℃;地层压力一般 90 ~ 120MPa,最高达到 127MPa。总之,前陆冲断带、超深层、巨厚复合盐层、低孔低渗砂岩储层、高温高压气藏等复杂地质条件交织,导致库车前陆冲断带油气勘探是始终面临的世界级难题。

纵观库车前陆冲断带油气勘探史,就是一部科技攻关史,技术瓶颈攻克成功一块,油气勘探就突破一个区带。库车勘探人信奉“油气勘探不息,技术攻关不止”的信条,只要坚持攻关,就一定能够带来山地勘探技术的飞速发展和油气勘探的新突破。譬如库车山地地震勘探始终坚持“勇闯禁区、攻坚啃硬、挑战极限、精益求精”的山地精神,持续改善山地地震成像质量,大幅提高地震成图精度;针对以往单线地震剖面信噪比低、以二级和三级品质为主、盐下深层基本为空白反射的问题,以宽线+大组合采集取代单线采集。通过宽线横向面元组合叠加、检波器大组合压制侧面干扰,采用宽线大组合拟三维地震处理方法,使有效覆盖次数较单线提高 4 ~ 6 倍,首次获得盐下深层目的层清晰反射,原始资料一级品率从单线的 25% 提高到 60% 以上。地震采集针对窄方位三维的复杂区成像仍然不理想,基于叠前偏移处理对三维地震数据体的要求,三维观测系统以宽方位角代替窄方位角(方位横纵比由 0.2 提高到 0.8 左右),获得更完整的波场信息;以高炮道密度代替低炮道密度(炮道密度由 25 提高到 50 左右),对波场进行充分采样;覆盖次数由 90 次提高到 300 次左右,提高了地震资料的信噪比、速度建场和偏移的精度、复杂构造成像质量。地震处理采用近地表小圆滑面取代大圆滑面解决偏移基准面引起的波场畸变,阵列式微测井约束下的层析反演技术替代传统小折射解决复杂表层静校正问

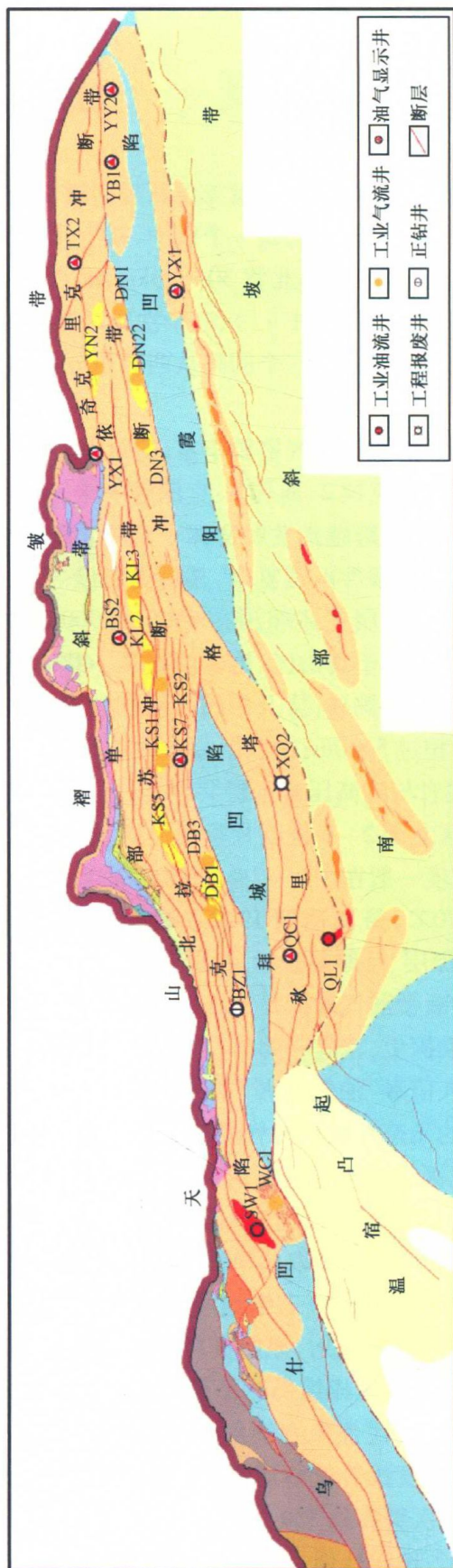


图1-1 库车前陆冲断带构造单元区划图

题,井控三维地震—非地震联合反演辅助速度建模,倾斜介质(TTI)取代水平介质(VTI)、各向异性取代各向同性建立地质体横向突变下的精细速度模型。库车山前大面积叠前深度偏移地震资料品质全面优于时间域,解决了盐下深层成像质量差、偏移归位不准的构造假象问题。

山地超深钻井也是如此,十年前库车山地 6000m 深度钻探技术刚刚起步,7000m 深度钻探尚无先例,探索深层的西秋 2、克拉 4 井经历多次加深钻至 6400m 左右,以及井身结构、钻井装备等条件制约,已接近目的层但均因设备及技术限制提前工程完钻。基于常规($20\text{in} + 13\frac{3}{8}\text{in} + 9\frac{5}{8}\text{in} + 7\text{in} + 5\text{in}$)井身结构难以实现复合盐层、多压力系统、超深井钻探目的,以“盐层专打、提高钻探成功率”的设计理念,提出了多压力体系超深井井身结构设计原则,研发了塔标Ⅱ($20\text{in} + 14\frac{3}{8}\text{in} + 10\frac{3}{4}\text{in} + 7\frac{3}{4}\text{in} + 5\frac{1}{2}\text{in}$)、塔标ⅡB($24\text{in} + 18\frac{5}{8}\text{in} + 14\frac{3}{8}\text{in} + 9\frac{5}{8}\text{in} + 7\text{in} + 5\text{in}$)井身结构及配套塔标系列钻具、非 API 标准的高钢级高强度套管系列,批量引进 80D、90D 新型钻机,满足了高效勘探开发需求。针对盐上巨厚高陡砾石层,发展了垂直钻井、高效 PDC 钻头等提速技术,创新了空气钻井工艺;针对中部复合盐膏层,发明了深井井壁围岩稳定钻前预测方法,研制了强化井壁围岩稳定的 UDM-1 饱和盐水磺化耐高温钻井液(耐温 180°C 、密度 $2.55\text{g}/\text{cm}^3$)、UDM-3 抗高温高密度有机盐钻井液体系(耐温 220°C 、密度 $2.50\text{g}/\text{cm}^3$),创新了高温高密度油基钻井液技术;针对盐下高研磨性储层,精细描述地层岩石强度,建立钻头破岩能力评估模型,形成小井眼高效 PDC 钻头提速技术。解决了高陡构造防斜打快、巨厚砾石层提速、复合盐层井壁稳定性、目的层可钻性等难题,实现了高陡构造区域钻井提速重大突破。

同样,本书所阐述的前陆盆地巨厚砾岩体识别与预测技术何尝不是一部科技攻关史,随着库车油气勘探向深层迈进,新生界巨厚砾石层给深层油气勘探开发造成巨大的困扰,体现在三个方面。一是厚度分布广,导致关键地质层位预测不准,设计与实钻误差大;二是砾石层纵横向岩性岩相变化大,速度变化剧烈,难以准确把握,导致圈闭落实程度低,部分钻井失利;三是砾石成分变化快,可钻性差,钻井工程遭遇战时有发生,钻井周期长,成本居高不下,甚至工程报废。长期以来,一直缺乏有效技术手段进行砾石层精细刻画。2007 年以来,以地质服务于工程的理念,把“非目的层”当作“目的层”研究,汇集各领域专家开展联合攻关,组成库车浅层巨厚砾石识别与刻画技术团队,对库车中部浅层砾石层进行进攻性措施。采取包括浅层地震地质统层、冲积扇物源追踪与厘定、大面积部署三维重磁电、井约束下地震反演、砾石层年代地层分析五大技术措施;创新了包括冲积扇物源追踪与厘定、非地震与地震融合、年代地层学雕刻、砾石层地震属性反演四大核心技术;编制了库车前陆冲断带浅层砾石层岩性岩相预测剖面、砾石层厚度图、井约束地震反演平面图、浅层砾石层沉积古地理图四大图件。实现了该区浅层砾石层的识别与精细预测,成果被广泛应用在前陆冲断带地震速度建场、圈闭落实与井位优选、地震处理、工程决策四大领域,有力推动了该区天然气勘探开发进程。

第一节 库车前陆冲断带构造—沉积演化

一、库车前陆冲断带形成演化

库车前陆盆地位于塔里木盆地的北缘、天山之南,属中、新生代盆地。在中生代,盆地范围在牙哈—库车—温宿一线以北;至新生代晚期,盆地范围扩展至今塔里木河流域。早在 20 世纪 30 年代,就已开始了该盆地的地质研究(丁道衡,1931;袁复礼和杨钟健,1934),但由于该区构造复杂,对盆地性质和盆地构造的认识并不深入。概括起来,对库车盆地的性质主要有以下一些观点:

- (1)周朝济等(1980)认为库车盆地在中生代为断陷型盆地,在新生代为挤压山前盆地;
- (2)李德生(1982)认为库车盆地为中、新生代山前拗陷;
- (3)贾承造等(1990)认为库车盆地在三叠纪为前陆盆地,在侏罗纪为陆内拗陷盆地,在白垩纪—第四纪为复合前陆盆地;
- (4)卢华复等(1994)认为库车盆地为再生前陆盆地;
- (5)钱祥麟、杨庚等(1994)认为库车盆地为陆内挠曲盆地。

笔者认为,库车盆地是叠合于古生代塔里木北部大陆边缘之上的中、新生代前陆盆地,南天山向南的冲断负荷引起的构造沉降是其发生的基本诱因,山体的隆升、冲断推覆、剥蚀的连续作用过程,控制了库车前陆盆地的发生与发展。

库车前陆盆地基底由前震旦系浅变质石英片岩、花岗岩组成。库车盆地(中、新生界)下伏古生界为被动大陆边缘沉积,经历了7个构造演化阶段(图1-2)。

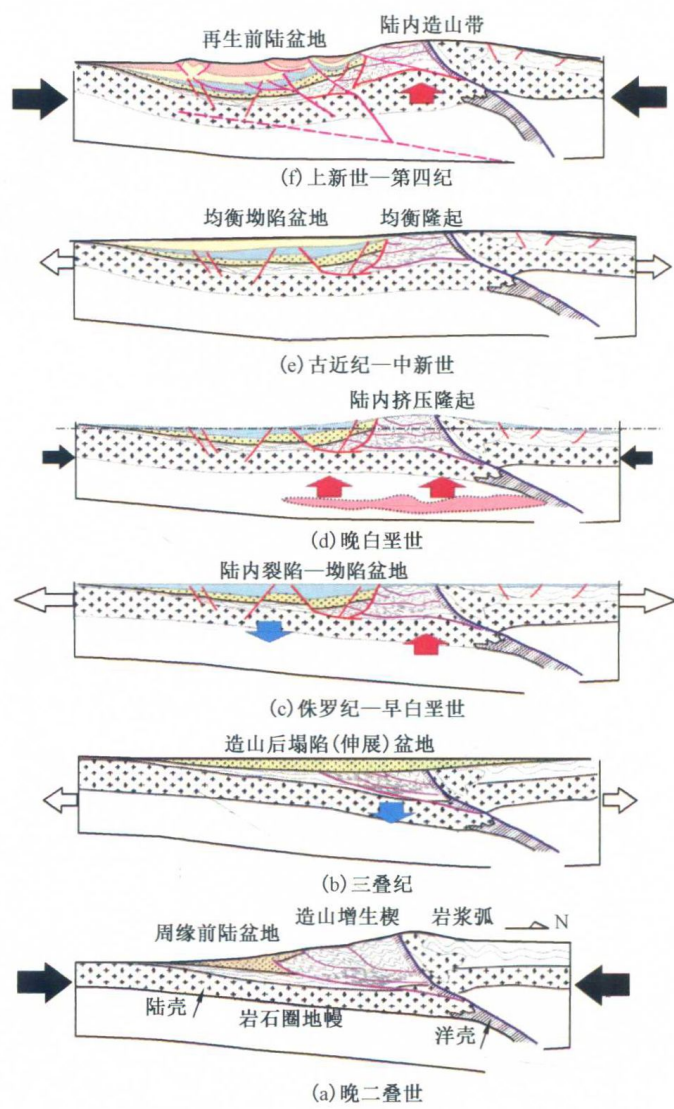


图 1-2 塔里木盆地北部—南天山中、新生代区域构造演化示意图

- (1)震旦纪的伸展分裂阶段。
- 塔里木板块在震旦纪经历了伸展裂陷阶段,如辉长岩、玄武岩等基性岩的侵入或喷发,下震旦统内的正断层及其组合可能为这期构造事件的响应。

(2) 寒武—奥陶纪被动大陆边缘阶段。

伊犁地块在震旦纪(一中寒武世)从塔里木板块分离,其间发育形成南天山洋(南天山洋时代有争议),库车区处于被动大陆边缘,发育碳酸盐岩、砂岩、泥岩。库车坳陷之下古生界的赋存一直存在争议,但从基底及中生界埋深分析,古生界的厚度大致在 500 ~ 2000m。

(3) 志留—泥盆纪南天山洋俯冲阶段。

南天山洋在志留—泥盆纪俯冲于伊犁—中天山板块或哈萨克斯坦板块之下。据古板块构造分析(孟自芳,1993;方大钧,1994),这一视俯冲方向当时为西北,现今为向北;这期俯冲事件于泥盆纪末结束,但受海西早期运动的影响,南天山洋盆闭合,后来发展到碰撞阶段即告结束,这类板块作用带是俯冲型板块会聚带(高长林等,1993)。

(4) 石炭纪—早二叠世弧后盆地阶段。

海西早期运动使南天山洋闭合以后,受北天山洋形成及其后期向南的俯冲影响,在南天山地区于石炭纪形成弧后裂陷盆地,早二叠世逐渐闭合。昆仑洋的拉开及其后期闭合作用,对该区可能也产生一定影响。石炭纪—早二叠世塔北、南天山、柯坪、塔中地区广大范围内强烈的岩浆活动,发生于石炭纪和早二叠世中晚期及末期,以后者更为广泛。在南天山石炭系中发育了多套中—基性、酸性火山岩和浅成侵入岩。经分析表明,它们形成于岛弧向大陆一侧的过渡地带,即处于弧后环境;南天山早二叠世地层发育中—酸性火山岩及浅成侵入岩,为钙碱性系列火山岩,轻稀土富集、具明显的铕负异常,与石炭纪火山岩相比,下二叠统火山岩碱性程度增高,轻稀土丰度增高,配分曲线斜率更陡,铕负异常更明显。这些特征表明南天山弧后盆地于早二叠世开始转入闭合。关于石炭纪—早二叠世弧后盆地的俯冲极性问题,有两种截然相反的观点:① 南天山洋盆向伊犁—中天山板块之下俯冲消减(王作勋等,1990;Allen,1992);② 郭召杰等(1993,1994)认为南天山洋盆向塔里木板块之下俯冲,南天山洋盆消亡闭合时中天山岛弧是俯冲楔,塔里木是仰冲楔,两者间为南天山洋盆残骸的蛇绿混杂带。实际上,这一时期,南天山岩浆岩带主要为“S”形花岗岩,中天山岛弧与塔里木板块碰撞于石炭纪(早二叠世已经结束)。

(5) 晚二叠世—三叠纪前陆盆地阶段。

南天山弧后盆地关闭的巨大挤压力及昆仑洋俯冲作用力使塔里木板块向南天山发生 A 型俯冲,南天山褶皱冲断带作用于塔里木板块使之挠曲下沉,形成弧后前陆盆地。上二叠统在盆地北缘分布零星,主要为近源冲积扇沉积。三叠系沿盆地北缘发育大量的扇三角洲,向盆地内依次为辫状河三角洲—浅湖—半深湖相—深湖相沉积,在塔北前缘隆起缺乏三叠系沉积。库车前陆盆地在晚二叠世—三叠纪湖盆变浅、范围较窄,这可能与塔里木北部岩石圈受前期构造作用软化、抗挠强度低有关,有可能与塔北前缘隆起软弱带有关(如岩石圈有效弹性厚度可能较低)。

(6) 侏罗纪陆内坳陷盆地阶段。

侏罗纪的盆地明显不同,湖盆变浅变宽,沉积物较细,反映为一构造宁静期,晚侏罗世盆地逐渐萎缩,水体变浅,发育干旱湖泊相紫红色泥质岩类。塔北前缘隆起向南迁移,岩石圈的有效弹性厚度即抗挠刚度增大可能是盆地变浅拓宽的原因之一。

(7) 白垩纪—第四纪前陆盆地阶段。

据沉积速率和剥蚀速率分析,白垩纪南天山在该期隆升速率有所增加。古近纪构造发展进入相对宁静期,相应发生应力松弛。新近纪南天山向前陆大幅度冲断,巨厚的冲断负荷作用使塔北岩石圈迅速下弯;柯坪断隆走滑作用发生,使阿瓦提前陆坳陷与库车前陆坳陷合并,两者的前缘隆起向南南东方向迁移。

二、库车前陆盆地中、新生代沉积特征

(1) 中、新生代沉积单元。

库车盆地中、新生代地层发育较为齐全,在盆地北缘露头和盆内钻井都有揭示,在前陆盆地不同构造部位,由于沉积物物源区、沉积动力等不同导致地层发育特征的不同(图 1-3)。

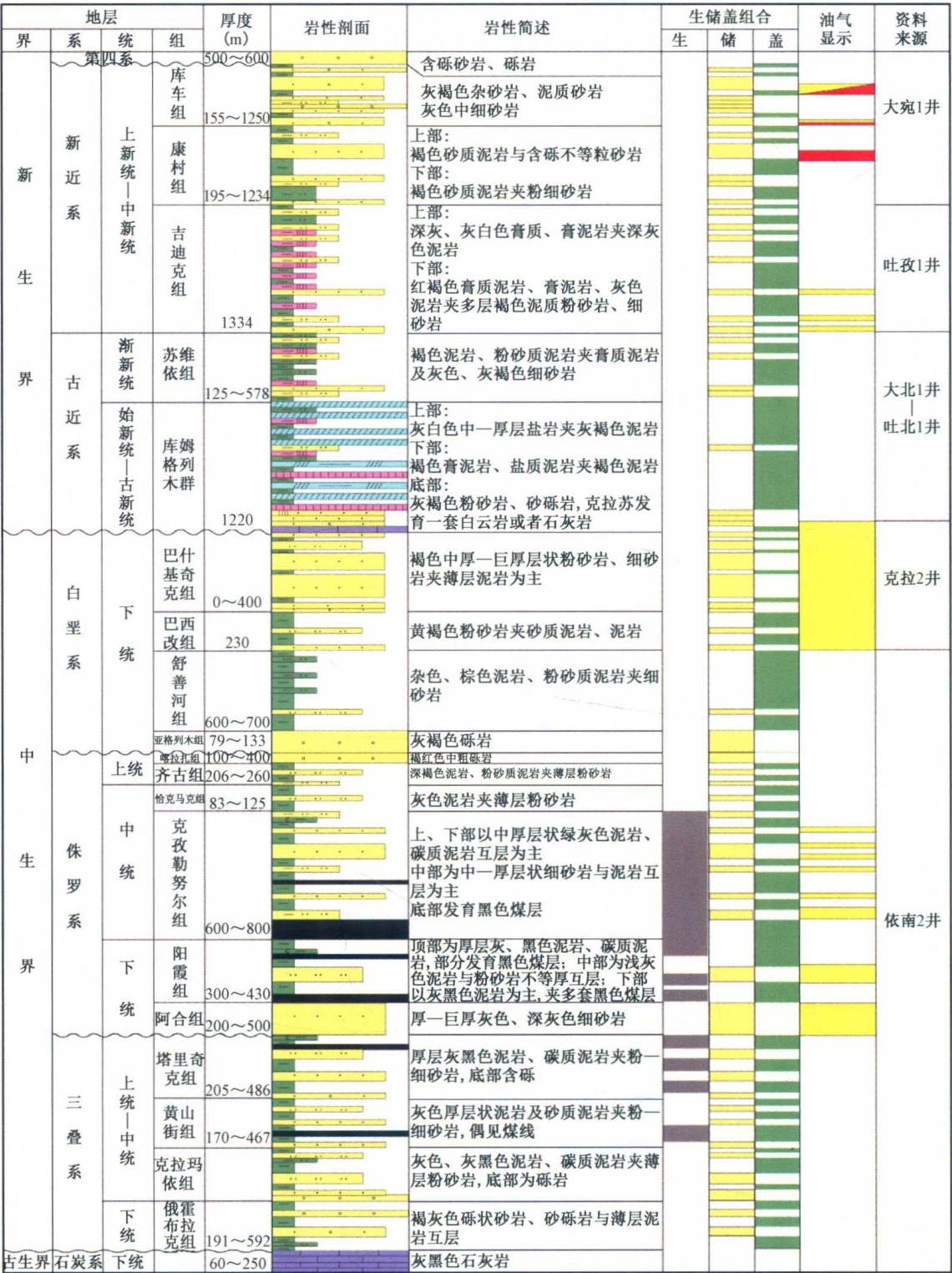


图 1-3 库车前陆盆地中、新生代地层柱状剖面图

三叠系:主要为一套陆相碎屑岩沉积。形成于冲积扇—河流—滨浅湖、三角洲环境,夹有煤系地层。不整合于下伏二叠系或更老地层之上,与上覆侏罗系呈不整合接触。三叠系厚度自南向北加厚,分布范围较侏罗系小。

侏罗系:为一套含煤地层,属三角洲平原—湖泊—沼泽相,与下伏三叠系为整合或平行不整合接触,或角度不整合于前中生界之上。沉积厚度北厚南薄,呈现向南部前缘斜坡的超覆特征。

白垩系:下白垩统发育,上白垩统缺失。为一套砂、泥岩互层沉积,属扇三角洲—辫状河三角洲—滨浅湖相。与下伏侏罗系主要为不整合接触。沉积厚度总体北厚南薄、西厚东薄。

古近系库姆格列木群:大致以库车河为界分为东西两大相区。西部为膏盐岩夹泥岩相区,为浅湖—潟湖—干盐湖沉积。东部为一套砂、泥岩沉积,属河流—滨浅湖相,与下伏白垩系普遍呈不整合接触。古近系膏盐岩明显受后期构造变形控制,厚度变化大。

新近系吉迪克组:为一套泥岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和膏盐岩。膏盐岩主要分布在盆地东部,属滨浅湖—潟湖相沉积,沉积厚度向北加厚,最厚达 3000m。

新近系库车组、康村组—第四系:岩性主要为砂泥岩、砾岩,属河流—泛滥平原相沉积。沉积厚度向北部库车坳陷增厚,在拜城凹陷厚达 5000 余米。

(2)库车前陆盆地中、新生代沉积演化特征(表 1-1)。

表 1-1 库车前陆盆地沉积特征及周缘构造活动对比表(据杨庚,1994)

地层				岩性描述	岩相特征	天山构造活动	青藏高原地体增生事件
界	系	统	组				
新生界	第四系	更新统	西域组 (Q _{1x})	灰棕、灰色砾岩、砂砾岩夹砂质泥岩,厚 1300 ~ 2000m	冲积扇相	构造活动强烈,形成库车盆地冲断构造	4—2Ma,喜马拉雅前陆盆地发育冲断构造; 17Ma,山体快速隆升,强烈剥蚀,构造活动强烈 20Ma,主中央逆断层(MCT)活动
		新近系	上新统	库车组 (N _{2k})	盆地边缘棕褐色砾岩,向盆地中心渐变为砾状砂岩、粉砂岩、泥岩,厚 1247 ~ 1678m		
	中新统		康村组 (N _{1-2k})	橙黄色钙质砂岩、泥岩夹砾岩、石灰岩,厚 660m,盆地边缘缺失	河流相		
			吉迪克组 (N _{1j})	盆地边缘红色砂岩、泥岩夹砾岩向盆地中心渐变为泥岩夹砂岩,厚 195 ~ 1234m	盆地边缘冲积扇相,盆内大部分湖相	构造活动强烈时期(40Ma—现今)	50—40Ma,印度板块与欧亚板块开始碰撞(E ₃ —N ₁)
	古近系	渐新统	苏维依组 (E _{2-3s})	盆地边缘褐红色砾岩,盆地内棕红色泥岩,砂岩夹砾岩,厚 125 ~ 518m	盆地边缘冲积扇相,盆内大部分湖相		
		始新统一古新统	库姆格列木群 (E _{1-2km})	盆地边缘为红褐色砾岩、砂岩,盆地内棕红色、灰绿色、咖啡色泥岩、砂岩夹石灰岩,底部为砾岩,厚 177 ~ 592m	盆地边缘冲积扇相,盆内大部分湖相,底部为河流相		

续表

地层				岩性描述	岩相特征	天山构造活动	青藏高原地体增生事件
界	系	统	组				
中生界	白垩系	下统	巴什基奇克组 (K ₁ bs)	上部粉红、咖啡色泥岩、砂质泥岩,下部浅棕、浅紫、紫红色砾岩,厚 65m	湖相	构造活动强烈时期 (130—80Ma)	
			巴西改组 (K ₁ b)	粉红色、棕红色及褐红色泥岩及砂岩组成,下部为泥岩夹砂岩,上部为砂岩夹泥岩,厚 217m	氧化宽浅湖		
			舒善河组 (K ₁ s)	棕红色、褐棕色泥岩、粉砂岩夹细砂岩,厚度大,最厚 1048m,平均厚 440m	氧化宽浅湖		
			亚格列木组 (K ₁ y)	灰紫色、棕褐色砾岩、砂砾岩及砂岩,局部夹泥岩,厚 79 ~ 133m	河流相		
	侏罗系	上统	喀拉扎组 (J ₃ k)	灰棕、红棕、紫红色砾岩及砂岩为主,局部夹泥岩,岩石中泥质含量高,该组分布局限,厚度变化大,厚 74 ~ 30m	河流相	构造活动强烈时期 (165—160Ma)	冈底斯地体与羌塘地体碰撞(J ₂ —J ₃)
			齐古组 (J ₃ q)	棕红色、紫红色泥岩夹粉砂岩,厚 208 ~ 260m	浅湖相		
		中统	恰克马克组 (J ₂ q)	杂色泥岩、页岩、粉砂岩夹砂岩,厚 82 ~ 125m	深湖相		
			克孜勒努尔组 (J ₂ k)	灰绿、深灰色砂岩与泥岩,页岩及碳质页岩互层,厚 805 ~ 840m	扇三角洲相 河流沼泽相		
		下统	阳霞组 (J ₁ y)	灰绿、深灰色及灰黄色细砾岩、砂砾岩为主,夹泥岩、页岩,厚 332m	河流相		
			阿合组 (J ₁ a)	浅灰—灰色细砾岩,含砾砂岩及砂岩,厚 450m	河流相		
	三叠系	上统	塔里奇克组 (T ₃ t)	灰黄、灰黑色、深灰色泥岩、粉砂岩、页岩,厚 205 ~ 486m	三角洲相		羌塘地体与巴颜喀拉地体碰撞(T ₃)
			黄山街组 (T ₃ h)	灰黄、灰绿色、深灰色砂岩、粉砂岩、泥岩,厚 170 ~ 467m	深湖相		
		中统	克拉玛依组 (T ₂₋₃ k)	灰黄色、灰色砾岩、砂岩夹绿色粉砂岩及泥岩,顶部深灰色、灰色泥岩,厚 283 ~ 772m	湖相	构造活动强烈时期 (225—200Ma)	巴颜喀拉地体与南昆仑地体碰撞拼合(T ₂)
		下统	俄霍布拉克组 (T ₁ eh)	紫红色、灰棕、灰褐色、灰黄色及黄绿色砂砾岩及砂岩,厚 345 ~ 519m	冲积扇相		

库车前陆盆地下三叠统俄霍布拉克组由两个冲积扇旋回组成,在横向上若干个相邻的冲积扇构成冲积扇群。两个冲积扇总厚度达 556m,单个扇体厚度约 225m,扇体下部为砾岩(砾石成分主要为石英、硅质岩,约占砾石总量的 85%)和砂岩。砾石分选差,呈次圆一次棱角状。

中三叠统克拉玛依组属扇三角洲沉积,岩性为砂岩、砾岩夹粉砂岩及泥岩。中三叠世盆地范围扩大,向东越过库车河以东,在包孜东发育具不完整鲍马序列的浊流沉积。下三叠统黄山街组为深湖相泥页岩;塔里奇克组发育河流相沉积,往南局部见三角洲沉积。该时期沉积范围较大。

早侏罗世库车盆地大部及塔北隆起上均发育一套河流相或河漫沼泽相细砾岩、砂砾岩、砂岩等。古水流方向垂直于造山带,由北向南流动。侏罗系底界地震反射资料反映与下伏地层呈明显的截切关系。早侏罗世盆地构造背景相对较稳定,并出现广泛的成煤沼泽环境。中晚侏罗世是天山构造带重新活动的时期,此时沉积速率明显增大。包孜东的克孜勒努尔组为水下冲积扇,而库车河地区为网状河流相沉积,从北向南水体逐渐加深为河流—滨浅湖—半深湖沉积。包孜东地区中侏罗统自下而上分别为扇端—扇中—扇根沉积,反映造山带隆升加快的过程(杨庚,1994)。

白垩纪构造活动相对稳定,属氧化条件下的滨浅湖沉积,卡普沙良河的下白垩统舒善河组厚 1048m,由棕红色泥岩、粉砂岩夹细砂岩组成,巴西改组下部为泥岩夹砂岩;上部为砂岩夹泥岩。到晚白垩世巴什基奇克期,库车盆地已明显收缩,水体向北移动,湖盆面积缩小,盆地大部为冲积—河流平原及滨浅湖所占据。

古近纪早期库车盆地水体面积进一步缩小,主要发育一套河流冲积相砾岩、砂岩,塔北隆起底部古近系为白色细砂岩。总的来看,库车盆地古近系和新近系发育较好,平面上可划分出南、北、中三个沉积类型:北部为盆地边缘,主要由滨湖相、河流冲积扇的粗碎屑沉积,以砾岩、粗砂岩及少量粉砂岩为主;中部沉积类型分布于库姆格列木—依奇克里克一带,为一套湖相膏岩、砂泥岩等细碎屑岩沉积;冲积扇和河流相仅分布于盆地边缘。古近纪沉积厚度明显呈北厚南薄的楔形体。

三、库车前陆冲断带油气地质条件

1. 烃源岩的特征

1) 烃源岩分布

库车前陆冲断带烃源岩集中在三叠系、侏罗系。三叠系分为下三叠统俄霍布拉克组(T_{1eh})、中—上三叠统克拉玛依组(T_{2-3k})、上三叠统黄山街组(T_{3h})和塔里奇克组(T_{3t})四个组。侏罗系分为下侏罗统阿合组(J_{1a})和阳霞组(J_{1y})、中侏罗统克孜勒努尔组(J_{2k})和恰克马克组(J_{2q})以及上侏罗统齐古组(J_{3q})和喀拉扎组(J_{3k})6个组(图 1-3)。

三叠—侏罗系地表露头分布在北部沿天山一带,地层总体是中段最厚,东西两端相对较薄(表 1-2)。库车河剖面地层厚度最大,总厚达 3981m(叶留生等,1997);其次为卡普沙良河剖面,地层总厚也达 2968m;阿瓦特河剖面和依南 2 井总厚度也在 2000m 以上;其他剖面地层厚度均小于 2000m。就侏罗系而言,其总厚度与各组厚度具有相同的分布规律。中段库车河剖面厚度最大,厚逾 2000m;依南 2 井、卡普沙良河、阿瓦特河和吐格尔明剖面也分别在 1400 ~ 1700m 之间;其他剖面基本上小于 500m。在各组地层中,中侏罗统恰克马克组厚度较薄,最大厚度在坳陷西段阿瓦特河剖面,其次是卡普沙良河剖面;从其厚度分布看,其沉积中心应该在

阿瓦特河与卡普沙良河剖面之间。克孜勒努尔组和阳霞组厚度变化较大。阿合组厚度较薄，卡普沙良河剖面至依南 2 井之间最厚。

表 1-2 库车前陆盆地主要剖面地层厚度 (单位:m)

地层	层位	库尔干	塔拉克	小台兰河	阿瓦特河	卡普沙良河	库车河	依南 2 井	吐格尔明	阳 1 井
侏罗系	J ₃ q	210			220	349	273	239	246	
	J ₂ q	110		98	279	202	168	174	124	
	J ₂ k	76		113	433	442	726	668	387	368
	J ₁ y	79	118	228	461	468	531	349	570	129
	J ₁ a	30	20	50	97	200	359	263	111	
	合计	505	138	489	1490	1661	2057	1693	1438	497
三叠系	T ₃ t	45	263	274	134	105	256	98	87	
	T ₃ h	196	355	83	261	556	838	278	78	
	T ₂ k	226	335	287	412	135	534	146		
	T ₁ eh		110		117	211	296			
	合计	467	1063	644	924	1307	1924	522	165	
总计		972	1201	1133	2414	2968	3981	2215	1603	497

在三叠系和侏罗系两套地层中,自下而上有 5 个地层组暗色地层比较发育,为主要烃源岩发育层(表 1-3),即上三叠统黄山街组(T₃h)和塔里奇克组(T₃t)、下侏罗统阳霞组(J₁y)、中侏罗统克孜勒努尔组(J₂k)和恰克马克组(J₂q)下部。其中,黄山街组和恰克马克组以湖相泥岩为主,其余 3 套都是含煤沉积地层。与三叠系相比,侏罗系的沼泽相更发育,三叠系则湖相更发育。

表 1-3 库车前陆盆地主要剖面暗色泥岩厚度 (单位:m)

层位	库尔干	塔拉克	小台兰河	阿瓦特河	卡普沙良河	库车河	依南 2 井	吐格尔明	阳 1 井
J ₂ q			37	155	78	22	5		
J ₂ k			83	32	200	305	320	57	
J ₁ y	42	37	128	230	189	210	238	145	81
合计	42	37	248	417	467	537	563	202	81
T ₃ t	6	160	210	68	55	72	44	13	
T ₃ h	84	262	38	180	405	420	217	55	
T ₂ k				23	29	81	41		
T ₁ eh						9			
合计	90	422	248	271	489	582	302	68	0
总计	132	459	496	688	956	1119	865	270	81

三叠系克拉玛依组岩性主要为灰绿色砂砾岩与泥岩的不等厚互层。其顶部标志层段主要为含叠锥构造的泥岩,一般厚 30~60m,为一区域性对比标志层。黄山街组由两个正旋回沉积组成,每个旋回底部为块状砂砾岩,中上部为灰绿色、灰黑色泥岩及碳质泥岩夹石灰岩组成。塔里奇克组由三个正旋回沉积组成,每一旋回下部为灰白色砾岩、中—粗粒长石石英砂岩,上部为黑灰色泥岩及黑色碳质泥岩、页岩夹薄煤层。