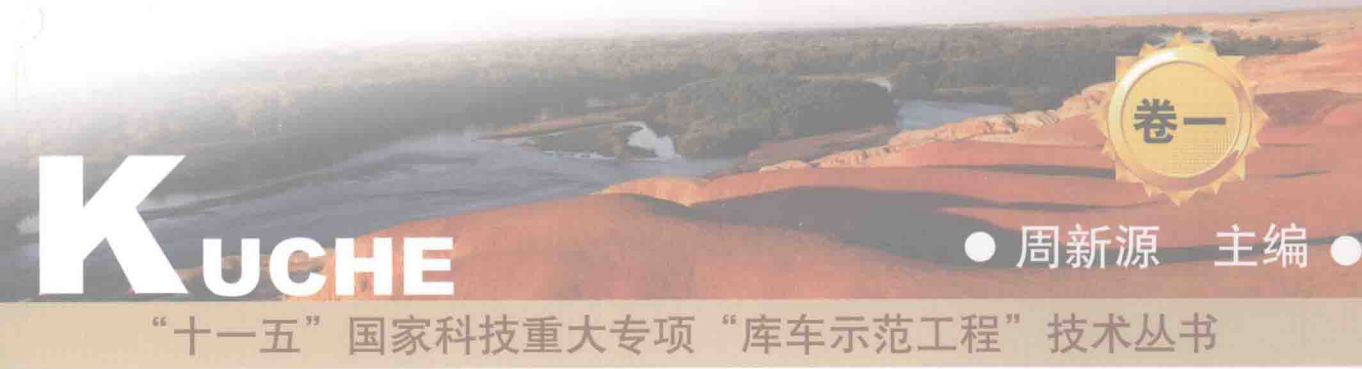




KUCHE

卷一

● 周新源 主编 ●

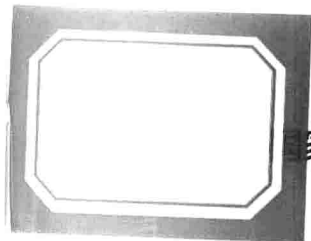
“十一五”国家科技重大专项“库车示范工程”技术丛书

库车前陆冲断带 复杂山地地震勘探技术

王招明 夏义平 梁向豪 严 峰 等著



石油工业出版社



家科技重大专项“库车示范工程”技术丛书（卷一）

周新源 主编

库车前陆冲断带 复杂山地地震勘探技术

王招明 夏义平 梁向豪 严 峰 等著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统阐述了“十一五”以来塔里木盆地前陆冲断带复杂山地震勘探攻关两大技术系列宽线大组合观测技术、山地三维勘探技术及其勘探成果,内容丰富,既包括采集环节的观测系统设计、激发、接收及表层建模等主要技术,又包括处理环节的静校正、信噪分离、速度建模及偏移成像等关键技术。同时,书中还较系统地介绍了与两大技术系列相应的配套技术。

本书深入浅出,涵盖理论推导、模型演算、野外试验、技术推广各环节,实例丰富,可作为广大油气勘探人员地震技术攻关的参考材料。

图书在版编目(CIP)数据

库车前陆冲断带复杂山地震勘探技术/王招明等著.
北京:石油工业出版社,2012.12
(“十一五”国家科技重大专项“库车示范工程”技术丛书)
ISBN 978-7-5021-9287-7

- I. 库…
- II. 王…
- III. 塔里木盆地-山地-地震勘探-研究
- IV. P631.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 223316 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.cn
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

2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷
787×1092 毫米 开本:1/16 印张:13.25
字数:338 千字 印数:1—1000 册

定价:80.00 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

《“十一五”国家科技重大专项 “库车示范工程”技术丛书》 编委会

主 编：周新源

副主编：安文华 王招明 何 君 夏义平

编 委：刘依谋 周 旭 梁红军 卢 虎 刘洪涛
乔 雨 常志强 王洪峰 周黎霞

卷一作者：

王招明 夏义平 梁向豪 严 峰 刘新文
周 翼 彭更新 李道善 王勤耕 王乃建
吴 超 李大军 申尽志 唐 怡 张新东

序

前陆冲断带是塔里木盆地一个非常重要的油气勘探领域，但由于前陆区地形起伏剧烈、地表岩性多变，地下逆掩推覆剧烈、地质条件复杂，要想获得可用的地震资料十分困难，要想得到高品质的资料更是难上加难，严重制约了前陆区的油气勘探开发。库车前陆冲断带地震勘探是塔里木复杂山地地震勘探的一个典型代表，其勘探难度巨大，地震攻关力度最大、成效最好。

库车坳陷地球物理勘探工作始于 20 世纪 50 年代，70 年代进行了模拟地震勘探，80 年代前期沿沟开始少量数字地震勘探，这批资料品质普遍不高，但对了解盆山关系和总体构造格架发挥了一定作用。随着物探技术和装备的进步，1994 年开始在库车山地采用直测线进行地震勘探。经过 10 年不懈努力和艰辛探索，复杂山地地震勘探技术迅猛发展，一些关键物探技术难题得到突破，形成了具有塔里木特色的复杂山地地震勘探技术系列。利用这批地震资料基本搞清了前陆盆地的整体构造格局，落实了一批有利勘探目标，发现了以克拉 2 为代表的一批大气田，奠定了塔里木盆地作为西气东输工程主要气源地的资源基础。

然而勘察克拉 2 气田所形成的地震技术系列并不能适应整个前陆冲断带，具体表现是深部盐下资料品质普遍很差，不能满足落实钻探目标的要求。2000 年之后圈闭准备不足、质量不高、“等米下锅”的状况一直持续了六七年；这期间圈闭钻探成功率也很低，严重制约了库车油气勘探的持续突破。2001—2006 年库车坳陷上钻预探井 20 口，仅 5 口井获工业油气流，其中 11 口井失利原因为圈闭不落实，圈闭落实程度低成为制约油气勘探的“瓶颈”问题。另一方面，随着“西气东输”管线全线贯通，为了保障长期稳定供气，急需发现新的大气田，夯实资源基础。

目标在哪里？这是物探工作者迫切需要解答的问题。

面对新形势、高要求，解放思想，创新思维，采取革命性措施是塔里木物探工作者的唯一选择。从 2005 年起，针对库车山地地震地质特点（干扰发育、构造复杂、信噪比低），打破常规，突破极限，创新性地开展了宽线观测和大组

合接收攻关试验，资料品质显著提高。经过几年的发展完善，创新形成了宽线大组合技术系列，基本解决了复杂山地克拉苏构造带深部盐下目的层地震成像问题，使勘探深度向下拓展了 3000 多米，开拓了库车地区广大的盐下勘探领域，带来了克深 2、克深 5、博孜 1 等一批大气藏的持续突破。

为了更好地评价、开发这些气藏，塔里木油田公司同时积极开展库车山地三维地震技术的攻关，逐步形成了以面向叠前偏移成像的三维观测技术为代表的采集技术系列和以叠前深度偏移处理技术为代表的成像处理技术系列，有效解决了高陡盐下复杂断块的成像问题，大幅提高了库车地区的钻井成功率，取得了一系列地质新认识，为库车天然气储量的快速增长提供了可靠保障。

面对库车山地世界级的物探难题，塔里木物探人敢为人先，开创性发展形成了山地宽线大组合技术和精细山地三维地震勘探技术，有力地推动了克拉苏构造带盐下深层复杂构造天然气勘探的进程。库车克深构造带油气勘探的重大突破、持续突破，物探功不可没！



2012 年 12 月

前 言

塔里木盆地油气资源丰富，勘探潜力巨大，是国家重要的能源战略接替区。库车前陆盆地位于塔里木盆地的北缘，呈北东东向展布，勘探面积 2.8 万平方千米，是塔里木盆地天然气勘探潜力最大的地区。20 世纪末至 21 世纪初，库车前陆盆地先后发现了克拉 2、迪那、大北 1 等一批大型天然气田，促成了“西气东输”工程的启动并成为主要气源地，为改变我国能源结构和新疆经济发展做出了巨大贡献。然而受前陆盆地剧烈起伏地表及复杂构造模式的影响，地震资料品质不过关，严重制约了库车油气勘探的持续突破。“十五”期间库车天然气勘探举步维艰，上钻了多口探井，钻探成功率仅为 30% 左右。

影响库车前陆盆地地震资料品质的原因主要有两个方面：一是山地地形起伏剧烈，表层结构复杂多变，激发接收条件差，造成地震资料信噪比低；二是地下地质条件复杂，多重逆冲推覆、盐下高陡构造，导致地震波下传能量弱、波场复杂，地震成像难。“十五”期间，塔里木油田在库车开展了大规模的山地地震攻关，地震资料品质逐年得到改善，但地震剖面仍以二、三级为主，不能满足构造解释的需要。进入“十一五”，中国石油加大了库车前陆盆地物探攻关力度，特别是后三年，塔里木油田分公司以“库车示范工程”为契机，会同东方地球物理公司、川庆钻探工程公司等多家单位组成了多层次、全方位的攻关队伍，针对复杂的地表、地下难题，大力度实施了系统的一体化地震攻关，地震资料品质得到了质的提升，基本理清了克拉苏构造带整体构造模式，落实了一批深层盐下构造，大北 3、克深 2、克深 5 等一批探井相继取得突破。克拉苏构造带超两万亿立方米天然气资源规模基本明朗，进一步夯实了西气东输工程的资源基础。同时攻关也带来了复杂山地地震勘探技术的重大突破，这期间在地震勘探的采集、处理、解释各环节形成了许多“亮点”技术，包括宽线大组合观测技术、复杂山地大规模连片三维采集技术、复杂地表高陡构造叠前偏移成像处理技术、盐构造建模解释技术等，形成了完整的复杂山地地震勘探技术系列。该技术系列有效解决了复杂山地克拉苏构造带盐下构造信噪比低、成像

质量差、成图解释精度低等关键问题，使近年库车钻井成功率达 90% 以上，开创了库车天然气勘探的新局面。

近年来，塔里木盆地复杂山地地震勘探技术的快速发展得到了物探界的高度评价。系统总结前期的攻关成果，凝练技术，推动前陆盆地地震勘探技术不断走向成熟，是本书编写的主要目的。同时，也希望本书的一些技术和想法能对从事山地地震勘探的物探工作者提供有益的启发和借鉴。

本书共分五章，主要由塔里木油田分公司、东方地球物理公司、川庆钻探工程公司相关人员编写；中国石油勘探开发研究院、中油监理公司、北京锐浪石油技术有限公司、吉斯克能源技术（北京）有限公司、潜能恒信能源技术股份有限公司等多家单位参与了库车地震攻关；中国石油大学、西南石油大学、中国科学院地球物理研究所、上海同济大学等多家学院和科研机构也广泛参与到物探方法的理论支撑研究、模型正演、资料处理等疑难环节。库车物探攻关取得的丰硕成果是广大物探人共同努力的结晶，在此一并致以崇高的敬意和衷心的感谢。

由于本书笔者主要为生产一线技术人员，加之水平有限，书中观点难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2012 年 12 月 17 日

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 区域地质背景	(2)
一、区域构造特征	(2)
二、地层特征	(2)
三、石油地质条件	(5)
第二节 地震地质条件及勘探难点	(6)
一、地形地貌特征	(6)
二、表层结构特征	(6)
三、地下地质结构特征	(7)
四、主要勘探难题	(10)
第三节 地震勘探历程与成果	(11)
一、二维地震攻关历程	(11)
二、三维地震攻关历程	(14)
三、地震攻关成果	(15)
第二章 宽线大组合采集处理技术	(17)
第一节 宽线大组合观测技术背景	(17)
一、针对的主要问题	(17)
二、宽线大组合观测技术理论基础	(19)
三、宽线大组合技术的形成历程	(25)
第二节 宽线大组合观测采集关键技术	(35)
一、组合检波方式设计	(35)
二、宽线观测系统设计	(39)
三、宽线大组合联合观测系统优化设计	(42)
第三节 宽线大组合处理关键技术	(42)
一、宽线处理关键技术	(43)
二、宽线处理流程	(52)
第四节 宽线大组合观测技术适用性	(53)
一、低信噪比勘探	(54)
二、锁定有利目标勘探	(54)
三、大组合观测需满足特定地表条件	(54)
四、宽线观测具有更广的适用范围	(54)
五、宽线大组合联合观测技术对表层调查以及测量工作提出非常高的要求	(54)
第三章 山地三维地震采集处理技术	(55)
第一节 山地三维地震采集技术	(55)

一、面向叠前偏移成像的三维观测系统设计技术	(55)
二、面向大深度低信噪比勘探目标的激发接收技术	(66)
三、山地三维表层调查及建模技术	(82)
第二节 山地三维地震处理技术	(91)
一、山地三维静校正技术	(92)
二、多域分步迭代系列去噪技术	(105)
三、叠前深度偏移成像处理技术	(109)
第四章 山地地震采集处理关键配套技术	(122)
第一节 山地地震采集配套技术	(122)
一、智能化选线选点技术	(122)
二、检波器布设质量控制方法	(128)
三、可控震源 DGPS 源驱动技术	(133)
四、配套的质量监控技术	(135)
五、“3S”辅助地震采集技术	(140)
第二节 山地地震资料处理配套技术	(147)
一、三维数据规则化技术	(148)
二、三维连片处理技术	(150)
三、资料处理工程化质量控制技术	(155)
第五章 典型实例	(158)
第一节 宽线大组合观测实例	(158)
一、库车山地宽线大组合观测实例	(158)
二、库车山地宽线大组合攻关勘探成果	(177)
三、山地宽线大组合观测技术在其他区域推广应用情况	(178)
第二节 复杂山地三维勘探实例	(182)
一、库车山地三维勘探典型实例	(182)
二、塔西南巨厚黄土区推广实例	(198)
参考文献	(201)

第一章 概述

塔里木盆地位于我国西北边陲新疆维吾尔自治区境内，四周被天山、昆仑山和阿尔金山等山脉环抱，盆地面积约为 $56 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1-1)。塔里木盆地是古生代海相克拉通与中、新生代陆相前陆盆地组成的叠合复合盆地，油气资源极其丰富，是我国陆上最大的含油气盆地，为历代地质家所看好，是公认的油气勘探的热土和勘探家的乐园。经过几代石油人不懈的努力，塔里木的油气勘探事业取得了举世瞩目的成就，特别是近年来得到了跨越式发展，成功地从国家油气资源接替区转变为主力生产区，在我国能源战略中占有重要地位。

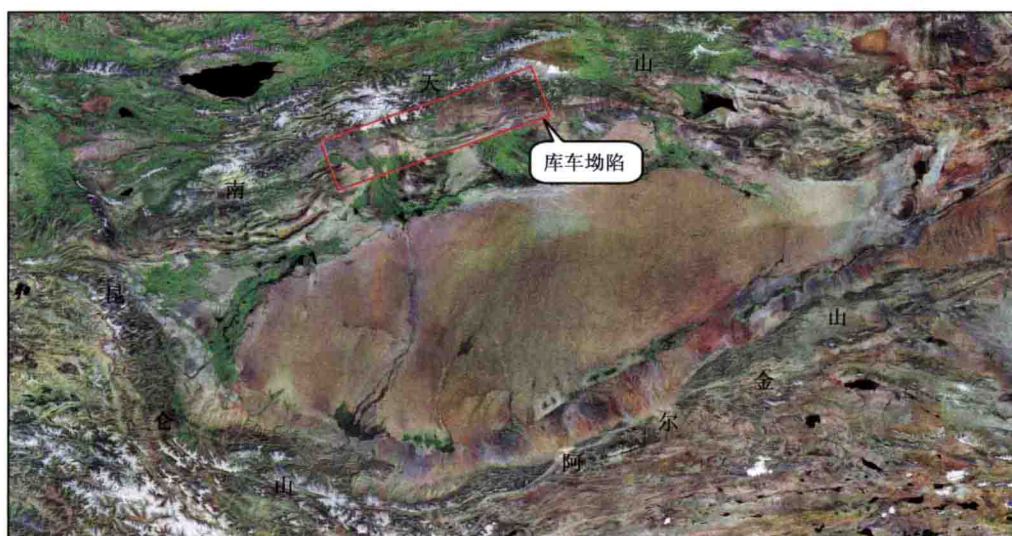


图 1-1 塔里木盆地高精度卫星遥感照片及库车坳陷位置示意图

在整个塔里木盆地油气勘探领域中，前陆盆地复杂山地高陡构造地震勘探占有重要的地位。前陆盆地是世界上众多含油气盆地中一种重要的盆地类型，蕴藏着丰富的油气资源。这些前陆盆地地表为复杂的山地及山前带，地下为高陡构造，油气勘探难度大。

塔里木盆地的前陆盆地分布广泛，山地与山前带面积约占整个盆地面积的 26%，主要包括天山南缘库车前陆盆地、西昆仑山北缘塔西南前陆盆地、喀什凹陷北缘前陆盆地。塔里木盆地复杂山地地震勘探工作主要集中在库车坳陷、塔西南坳陷，同时在阿尔金山前带东南坳陷也进行了少量的勘探工作。其中库车坳陷复杂山地高陡构造地震勘探工作最为突出、最为典型，经过多年持续不断的攻关，取得了丰硕的勘探成果，同时也形成了复杂山地高陡构造勘探技术系列。库车前陆盆地油气勘探技术及所取得的成果在全球范围内都有其深远的影响。

第一节 区域地质背景

一、区域构造特征

库车坳陷复杂山地地震勘探区带在行政区域上包括阿克苏地区的库车、沙雅、新和县和巴音郭楞蒙古自治州轮台县的部分地区，在区域地质上位于塔里木盆地北缘，是南天山造山带和塔里木板块的过渡部位，西起乌什凹陷，东至阳霞凹陷，北以天山为界，南到塔北隆起，地表以山地和戈壁为主，东西长 500km，南北宽约 30 ~ 70km，勘探面积约为 $2.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。库车坳陷复杂山地是塔里木天然气勘探的主战场，是西气东输工程的主力气源区，是复杂山地地震勘探技术攻关试验区。

库车坳陷是一个发育在中生代周缘前陆盆地基础上的新生代褶皱冲断带，出露的地层以中、新生界为主。地层剖面结构从老到新可以划分出 3 个构造层，下部是基底构造层，由前震旦纪结晶岩系组成；中构造层是被动大陆边缘构造层，由古生界碳酸盐岩和碎屑岩组成；上构造层是前陆盆地构造层，由中、新生界陆积碎屑岩组成。整个库车坳陷现今为一完整的山前逆冲推覆构造体系，且冲断构造成排成带分布，形成了逆冲带与背驮盆地相间的空间分布格局。中外地质家公认库车坳陷千山万壑之下埋藏着丰富的油气资源，正逐步被勘探实践所证实。

库车坳陷经历了多期构造运动，尤其是喜马拉雅运动对其影响最为强烈，使得南天山山前发育大型逆冲推覆构造，形成了三大断裂系统和“五带三凹”的构造格局。

库车坳陷挤压变形十分剧烈，构造的形成与断裂的形成和演化密切相关，浅部与深部的构造样式、变形程度不一致。从北向南由基底卷入型冲断构造逐渐演变为薄皮冲断构造，发育断层传播褶皱、断层转折褶皱、滑脱褶皱及其叠加复合形成的各种复杂的冲断构造。库车总体上分为 5 个构造带和 3 个凹陷，5 个构造带是北部斜坡带、克拉苏构造带、依奇克里克构造带、秋里塔格冲断带及南部斜坡带，3 个凹陷是乌什凹陷、拜城凹陷、阳霞凹陷(图 1-2)。

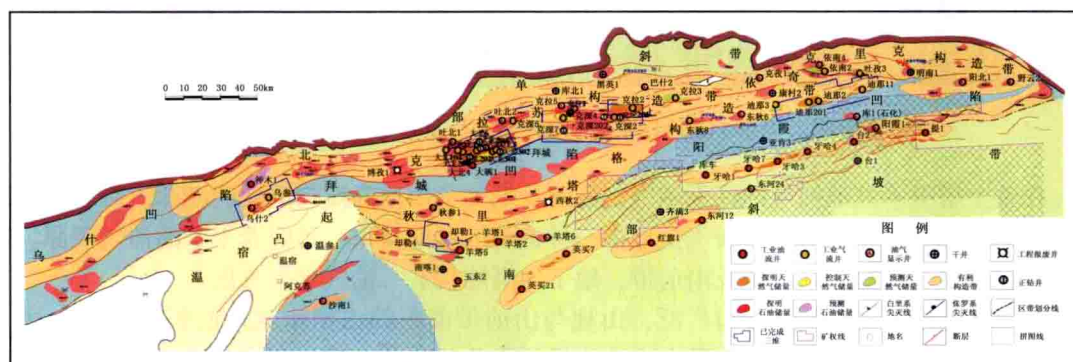


图 1-2 库车前陆冲断带区带划分图

二、地层特征

根据地面地质资料和油气探井揭示的地层岩性资料，库车前陆冲断带从晚二叠世开始发育，地层系统包括前中生界、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系和第四系(表 1-1)。

表 1-1 库车坳陷中、新生代地层系统划分及基本特征

地层系统				年龄 (Ma)	岩性 剖面	地层 厚度 (m)	反射 界面	构造 运动
界	系	统	组(群)					
新 生 界	第四系	全新统	Q ₂₋₄	0.01				新构造运动
		更新统	西域组 (Q _{1x})	1.64			T _{Q_{1x}}	
	新近系	上新统	库车组 (N _{2k})	5.2		150~1250	T _{N_{2k}}	喜马拉雅 中期运动
		中新统	康村组 (N _{1k})	16.3		650~1600	T _{N_{1k}}	
			吉迪克组 (N _{1j})	23.3		200~1300	T _{N_{1j}}	喜马拉雅 早期运动(II)
		古近系	渐新统	苏维依组 (E _{2-3s})	35.4		150~600	T _{E_{2-3s}}
	始新统		库姆格列木群 (E _{1-2km})					
	古新统							
				65		110~3000	T _{E_{1-2km}}	燕山晚期运动
	中 生 界	白垩系	下白垩统	巴什基奇克组 (K _{1bs})			100~360	
巴西盖组 (K _{1b})				95		60~490		
舒善河组 (K _{1sh})						140~1100		
亚格列木组 (K _{1y})				135		60~250	T _K	燕山中期运动
侏罗系		上侏罗统	喀拉扎组 (J _{3k})			12~60		
			齐古组(J _{3q})	152		100~350		
		中侏罗统	恰克马克组 (J _{2q})			60~150		
			克孜勒努尔组 (J _{2k})	180		400~800		
		下侏罗统	阳霞组 (J _{1y})			450~600		
			阿合组 (J _{1a})	205		90~400	T _I	印支运动
三叠系		上三叠统	塔里奇克组 (T _{3t})	230		200		
			黄山街组 (T _{3h})	240		80~850		
		下三叠统	克拉玛依组 (T _{2-3k})			400~550		
			俄霍布拉克组 (T _{1eh})	250		200~300	T _T	海西末期运动
前中生界	岩浆岩及古生界海相碎屑岩、碳酸盐岩							

库车山地出露地层和钻探地层表明中、新生界地层发育且厚度巨大，一般在 4000 ~ 12000m 之间，最大可达 12km，总体表现为北厚南薄楔形沉积的特点。楔形沉积向南一直延伸到了塔北隆起的北缘。古近系均发育膏泥岩，白垩系砂岩为区域性良好储层，山前均有侏罗系煤系地层。中、新生界地层变形明显受滑脱层影响和制约，广泛发育 3 套主要的滑脱层，分别为三叠系—侏罗系煤系和泥系地层、古近系膏盐层、新近系吉迪克组膏泥盐层。以盐岩层为界，可将库车前陆冲断带地层层序划分为盐下层序、盐层层序、盐上层序。

1. 盐下层序

盐下层序主要包括前中生界、三叠系、侏罗系和白垩系。

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、浅绿灰色—灰色粉砂岩和灰色—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。

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_{1sh})、巴西盖组 (K_{1b}) 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。巴西盖组为黄色、红色砂质泥岩夹砂岩。舒善河组为紫红色、灰绿色泥岩夹砂岩。亚格列木组为紫色、浅紫色砂岩、砾岩。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伏侏罗系呈平行不整合接触，总体上呈北厚南薄的楔状体，厚度为 200 ~ 1600m。

2. 盐层层序

盐层层序是库车前陆冲断带变形过程中起主导作用的一套层序，岩性以膏盐岩为主，塑性流动特征明显。盐层层序主要为古近系库姆格列木群，广泛出露于卡普沙良河—克孜勒努尔河之间的北部单斜带和克拉苏、依奇克里克构造带，在却勒构造带附近沿大型逆冲推覆构造前缘冲到地表。主要岩性为灰白色、浅灰色泥灰岩、盐岩、膏盐、泥岩和砂岩、砂砾岩，与下伏白垩系呈平行不整合接触或低角度不整合接触。厚约 0 ~ 4800m，近克拉苏大断裂或

近却勒—西秋走滑断裂聚集增厚现象明显。根据岩性和电性特征自下而上可将其分为底砂岩段、下膏泥岩段、白云岩段、上膏盐层段和顶泥岩段5个岩性段。

3. 盐上层序

库车前陆冲断带盐上层序主要包括苏维依组 ($E_{2-3}s$)、吉迪克组 (N_{1j})、康村组 (N_{1k})、库车组 (N_{2k}) 和第四系。

苏维依组为一套红色碎屑岩沉积, 分上、下两个岩性段, 下段以紫红色、褐红色中—厚层粉砂岩为主, 夹砾岩、砂岩和泥岩; 上段为紫红色、褐红色含砂泥岩、灰质结核泥岩夹褐色厚层砾岩。在克拉苏河、卡普沙良河一线夹盐(膏)层, 构成次滑脱层, 厚度为150~600m。

吉迪克组大致以库车河为界, 分为东、西部分, 东部岩性主要为褐红色泥岩和厚层盐(膏)岩互层夹多层灰绿色泥岩条带, 西部岩性主要为紫红色砂泥岩夹灰绿色泥岩条带。

康村组在横向上岩性变化较大, 总体上由北向南逐渐变细。在北部单斜带为红色砂砾岩; 向南在克拉苏、依奇克里克构造带相变为褐红色砂岩和泥岩互层, 下部夹少量灰绿色粉砂岩、砂质泥岩条带; 在秋里塔格构造带为棕褐色—红色泥岩、砂岩互层, 下部夹灰绿色砂泥岩条带, 厚650~1500m。与下伏吉迪克组呈整合接触关系。

库车组总体具有由北往南岩性逐渐变细的趋势。在北部单斜带、克拉苏、依奇克里克构造带的北部以黄灰色砾岩为主; 往南至克拉苏、依奇克里克构造带南部则变为灰黄色砂岩、粉砂质泥岩与砾岩互层; 再向南秋里塔格构造带相变为灰绿色砂岩、砾岩与褐灰色泥岩不等厚互层。该组与下伏康村组为渐变关系, 与上覆西域组灰褐色砾岩为角度不整合接触, 厚度变化大, 为450~4000m。

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。

三、石油地质条件

库车含油气系统具有丰富的油气资源和优越的成藏条件: 三叠系、侏罗系烃源岩分布范围和厚度都很大, 有机质丰度较高, 目前正处于生排烃高峰期, 提供了丰富的油气源; 强烈的构造运动创造了良好的排烃动力机制, 并为油气运移提供了动力环境; 广泛分布的古近系、新近系巨厚膏盐岩、膏泥岩层作为区域盖层, 为系统整体油气富集提供了优良的保护条件; 不整合面、输导(岩体)层、断裂的有机连接构成畅通的油气侧向和垂向运移通道; 喜马拉雅期强烈的构造变形形成了多类型的构造圈闭。库车坳陷自下而上发育有3套储盖组合, 即侏罗系煤系泥岩和砂岩组成的储盖组合、古近系膏盐岩层和古近系底砂岩—白垩系砂岩组成的储盖组合、新近系吉迪克组膏泥岩和下伏砂泥岩段组成的储盖组合, 这3套组合均具有盖层封盖能力强、储层横向分布稳定的特点, 是库车前陆区最重要的勘探目的层系, 为油气聚集提供了充足的时空场所。

第二节 地震地质条件及勘探难点

一、地形地貌特征

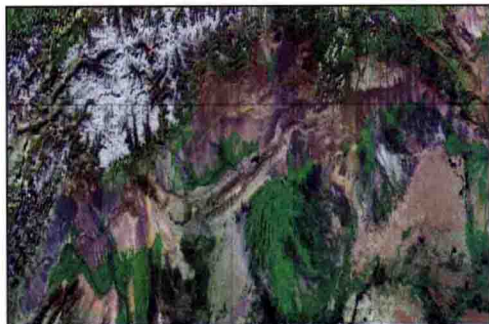


图 1-3 库车山地典型地貌图

库车前陆盆地对应地表具有中国西部典型的山地山前带特征,包括山体、山前冲积扇、戈壁砾石区、水网河道、农田村庄等几种主要地表类型,各种地表类型依次或交替出现(图 1-3)。山体区山高坡陡,沟壑纵横,断崖林立,相对高差大,部分工区在 2~5km 的范围内相对高差可达 1000 多米,最大可达 4000m 以上,地表坡度大,有些地区可达 70°~90°,出露的地层倾角最大也可达 90°甚至反转。山前冲积扇、戈壁、农田村庄等地表

虽然相对平坦,但被巨厚第四系沉积物所覆盖。对地震勘探而言,复杂多变的地表不但造成激发和接收条件差,对采集装备提出非常高的要求,同时野外采集质量控制面临很大难度,安全生产也存在严重挑战。

二、表层结构特征

在库车山地山前带,表层结构特征主要取决于两方面因素:地表类型和出露岩性。山前冲积扇、戈壁区一般覆盖了巨厚的第四系沉积,表层结构表现出多层、巨厚的特征,一般划分为 3 层结构:低速层、降速层和高速层,地震波传播速度在 2000m/s 以上为高速层,冲积扇和戈壁区低降速带厚度最大可达 200m 以上,最薄处有时只有几米;农田村庄区多存在潜水面,潜水面以上风化层厚度相对较薄,一般在 20m 以内;山体区表层结构特征主要与出露岩性有关(图 1-4),不同岩性风化程度差别较大,造成低降速带特征差别较大。在致密岩性风化程度低时,低降速带厚度较薄,往往只有几米,如较为普遍的康村组、吉迪克组砂

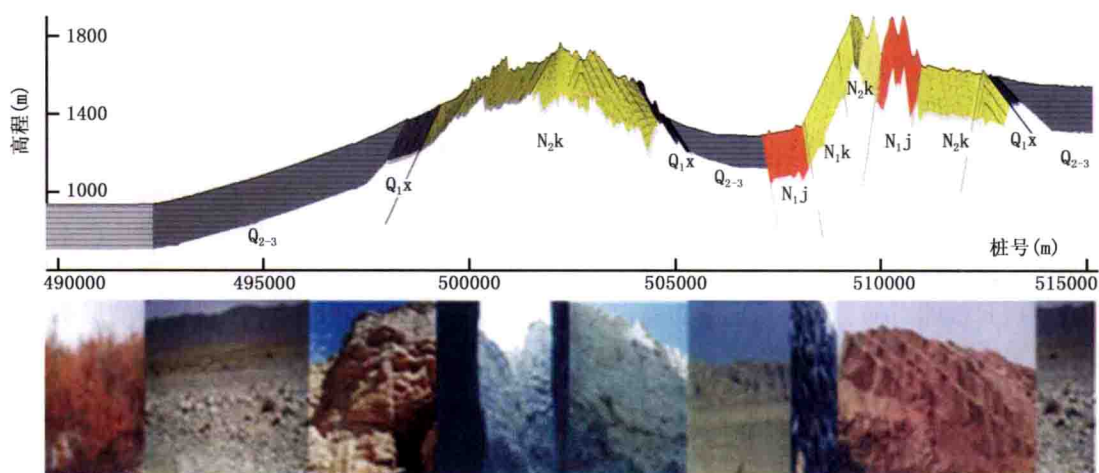


图 1-4 库车坳陷典型地质露头剖面

泥岩山体,低降速带厚度一般不超过 10m;在疏松岩性风化程度高时,低降速带厚度较大,如西域组砾石山低降速带厚度可达 50m 以上,位于却勒地区的库车组砂泥岩山体由于严重风化,低降速带厚度可达 150m 以上。

不仅低降速带厚度变化大,高速层速度也变化较大,其中农田、戈壁、冲积扇区相对稳定,高速层速度基本在 1700 ~ 2300m/s 之间,而山体区速度横向变化则差异较大,由一种岩性过渡至另一种岩性,高速层速度就有可能从 2000m/s 跳跃至 3200m/s 甚至更高。

复杂多变的表层结构,给地震勘探带来多方面的问题,如表层建模问题、激发方式及激发因素选择问题、静校正方法及精度问题、信噪分离问题、地表一致性问题、速度建模问题等。可以说,在当代乃至近代库车地震攻关中,物探人都把大量的精力关注在表层攻关上,这也是库车地震攻关的固有特色。

三、地下地质结构特征

1. 构造模式

库车前陆逆冲带东段和西段盐岩发育的层位不同,盐构造变形样式有很大差别,具有分段性的特点。以盐层为界,由浅部和深部两个构造层组成,其构造特征变形具有不一致性(图 1-5)。

西段逆冲断层前锋带,以发育盐推覆构造为特征,西秋里塔格构造带和克拉苏构造带的盐枕构造规模巨大,山前逆冲断层根带则以盐下叠瓦冲断带和双重构造为特征。主要的盐构造及盐相关构造还包括盐焊接构造、盐层内部复杂的断褶构造、三角带构造、强制褶皱和背冲断块或断褶构造等。

东段主要发育中新统吉迪克组盐、膏岩层,与碎屑岩间互成层,流动性明显减弱,盐枕构造规模减小,不再出现盐推覆构造,在东秋里塔格山系根带也不发育盐下叠瓦冲断带和双重构造。盐岩层系之上的康村组、库车组和第四系形成宽缓的向斜和背斜,南天山山前地区发育向山前逐级抬升的叠瓦冲断带,盐岩层系本身和盐下层系则形成复杂的逆冲断层、断块和褶皱构造。

浅部层次的构造主要为断层传播褶皱、断层转折褶皱和滑脱褶皱。由南向北,不同构造带内的构造样式差异较大。北部边缘逆冲带主要表现为叠瓦状分布的北倾逆断层组合;北部背斜带以断层传播褶皱为主,少数地段发育断层传播褶皱和滑脱褶皱;南部背斜带的秋里塔格构造带的西段、中段为滑脱褶皱,东段为断层传播褶皱,东段南部的亚肯背斜为断层转折褶皱。构造样式的变化在北部和南部背斜带表现得最为显著。北部背斜带的库姆格列木背斜、巴什基奇克背斜和喀桑托开背斜在变形较强烈的地段表现为断层传播褶皱,并常见沿断层传播褶皱的前翼或后翼发育突破断层。上述构造样式在走向上可以互相转化,同一背斜的不同地段具有不同的构造特征。

深部层次的构造主要为双滑脱层构造和断层转折褶皱,与浅部构造相似,构造样式在横向上和纵向上也存在较大的差异。克深区带表现为双滑脱层构造,其次东秋一迪那等地表现为断层转折褶皱;南部背斜带的秋里塔格深背斜为断层转折褶皱。纵向上构造样式的变化主要表现在同一地下构造在轴向上的变化,这一特征在北部背斜带表现得最为显著。

库车前陆冲断带整体表现为自东向西,山前冲断带盐下断层倾角逐渐变缓,自北向南,断层数量、规模逐渐减弱,克拉苏构造带与秋里塔格构造带盐岩层明显加厚,且受基底先存断裂控制明显,库车坳陷中部盐构造与盐上构造变形最为强烈(图 1-5)。