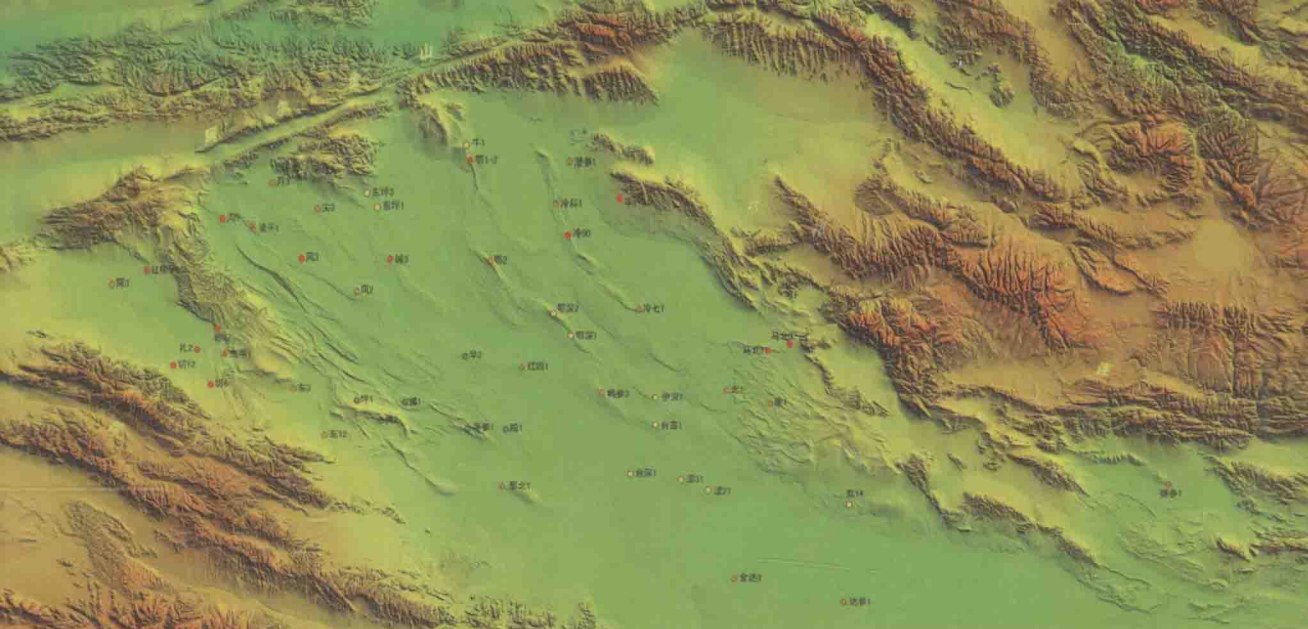
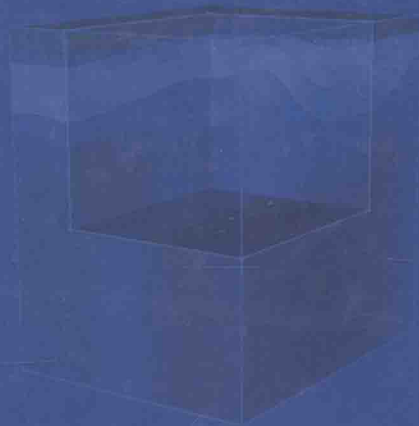




柴达木盆地地球物理勘探 技术方法及应用

付锁堂 马达德 冯云发 马建海 等◎著



科学出版社

柴达木盆地地球物理勘探 技术方法及应用

付锁堂 马达德 冯云发 马建海 等 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

全书共分为上、下两篇,分别介绍了对油气田勘探最为重要的两种地球物理学方法。

上篇针对柴达木高原含油气盆地的实际地质情况,应用现代地球物理理论与思路,从实际地震资料出发,应用复杂地表综合静校正技术、高保真连片叠前偏移成像技术、地震资料综合解释技术等对柴达木盆地的高陡构造、复杂低渗透岩性油气藏进行了精细分析,提出了有效的解决方法,为柴达木盆地大中型油气田的发现提供了有利的技术支撑。

下篇针对柴达木高原含油气盆地岩性复杂、储层多样的特点,应用现代测试技术与理论,从岩电关系入手,分别建立了低孔低渗储层测井评价技术、复杂岩性储层测井评价技术、低阻储层测井评价技术研究、裂缝性储层测井评价技术研究、薄层与薄互层测井评价技术研究等,有利于准确精细开展储层评价与描述,有助于柴达木盆地新层系、新油田的发现。

上述这些技术与方法也有助于其他盆地或地区开展相关问题的研究。本书供油气地质与勘探的相关人员及研究生使用。

图书在版编目(CIP)数据

柴达木盆地地球物理勘探技术方法及应用/付锁堂等著. —北京:科学出版社, 2014.1

ISBN 978-7-03-039354-8

I. ①柴… II. ①付… III. ①柴达木盆地-油气勘探-地球物理勘探
IV. ①P618.130.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第304004号

责任编辑:张井飞 韩 鹏/责任校对:郭瑞芝

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年1月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年1月第一次印刷 印张:21

字数:497 000

定价:168.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书主要作者

付锁堂	马达德	冯云发	马建海
雍学善	王敬农	王传武	王九栓
杨洪明	王宇超	李 斐	令狐松

前 言

柴达木盆地位于青藏高原北麓，为祁连山、昆仑山和阿尔金山三山环抱的菱形山间高原盆地，海拔 2600~3000m，东西长 850km，南北宽 150~300km，面积 $12.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，其中沉积岩面积 $9.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地西高东低，西宽东窄，自边缘至中心依次为戈壁、丘陵、平原、咸化湖泊或盐壳，属大陆干旱性气候，风蚀地貌广泛分布，植被稀疏，水系短小，以高山冰雪融水补给为主。

柴达木盆地是在前侏罗纪地块基础上发育起来的中、新生代陆内沉积盆地，南界为东昆仑中央断裂，北界为祁连山宗务隆山断裂，西界为阿尔金断裂。盆地基底具有古生代褶皱基底和元古代结晶基底的双重基底结构，基底顶面分布有古生代末浅变质岩、古生代变质岩、元古代深变质岩和海西期花岗岩体，最浅埋深区铁木里克小于 500m，最深为茫崖拗陷和一里坪拗陷，分别达 14000m 和 17000m。盆地内发育古生界、中生界和新生界三套地层，沉积岩最大连续厚度为 17200m。发育柴西古近系和新近系、三湖第四系、柴北缘侏罗系三大含油气系统。

盆地油气勘探始于 1954 年，迄今已有 50 多年，经历了艰苦曲折的历程，有着明显的阶段性和复杂性。①普查发现阶段（20 世纪 50~60 年代），基本以地面地质调查和重磁电物理勘探为主，并对评价较好的地面构造实施钻探，1955 年 11 月 24 日第一口探井泉 1 井在油泉子开钻获得工业油流，1958 年冷湖油田地中 4 井在 650m 获得日产 800 多吨高产工业油流，发现了冷湖油田，在此期间发现地面构造 140 个，对其中近 30 个构造进行了钻探，发现油田 12 个，探明石油地质储量 $6455 \times 10^4 \text{ t}$ 。②规模探明阶段（20 世纪 70 年代），开展模拟地震勘探，在地面条件较好和地质评价较高的区块进行地震普查，落实了一批潜伏构造并择优钻探，1976 年在盆地东部进行了天然气勘探，揭开了寻找大气田的序幕，发现并初步落实涩北一号、涩北二号含气构造，探明天然气地质储量 $89.17 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。1978 年 2 月，在柴西南区发现的跃进一号构造上的跃进 1 井喷出高产工业油流，发现亿吨级尕斯库勒油田。③持续勘探阶段（20 世纪 70 年代末到 90 年代初），随着尕斯库勒油田的发现，石油部组织开展甘青藏石油会战，在盆地开展了大规模数字地震，落实了大量构造圈闭，期间发现了跃进二号、乌南、砂西等油田和台南气田。④滚动发展阶段（1995~2006 年），依靠技术进步落实三千亿方的涩北气田，发现了南八仙、马北油气田，同时在老区开展滚动勘探，增加了一批储量，保障了油田的稳产。⑤多种类型圈闭勘探阶段（2006 年以后），基于岩性圈闭、地层不整合圈闭与构造圈闭相结合，以三维地震和精细解释为手段，对盆地山前带进行了精细勘探，在柴北缘发现了一批深层油气藏，在昆北和阿尔金山前带获得了重大油气勘探突破，储量规模上了一个新台阶，展示了柴达木盆地广阔的油气勘探远景。

截至 2006 年年底，油田共钻各类探井 2045 口，总进尺 $280.58 \times 10^4 \text{ m}$ ；获工业油气流井 491 口，探井的平均井深为 1372m，井深超过 4500m 的井只有 64 口。共完成三

维地震 3461km²，二维数字地震 73166km，其中二维地震一级品为 41184km。

截至 2006 年，在柴达木盆地找到不同圈闭类型、多种储集类型的油田 16 个，气田 6 个，探明石油地质储量 $33493 \times 10^4 \text{t}$ ，其中凝析油地质储量 $7.8 \times 10^4 \text{t}$ ，技术可采储量 $7781.4 \times 10^4 \text{t}$ ，探明率为 15.6%；天然气地质储量 $3056 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中探明气层气地质储量 $2900.35 \times 10^8 \text{m}^3$ ，探明溶解气地质储量 $156.04 \times 10^8 \text{m}^3$ ，探明天然气可采储量 $1625.59 \times 10^8 \text{m}^3$ ，探明率 12.2%，总体探明率较低。

青海油田开发从 1956 年开始，大致可以划分为四个阶段。①早期起步阶段（1954～1976 年）：先后对油泉子、尖顶山、开特米里克、油砂山、南翼山浅层、花土沟、七个泉、狮子沟浅层、鱼卡、冷湖三号、冷湖四号、冷湖五号等一批埋藏较浅的油田进行试采，年产原油在 $10 \times 10^4 \text{t}$ 左右。②稳步发展阶段（1977～1984 年）：相继发现并开发了尕斯库勒、砂西、乌南和红柳泉等油田，探明含油面积 73.8km^2 ，新增探明石油地质储量 $9725 \times 10^4 \text{t}$ 。到 1985 年底，原油年产量达到了 $19.9 \times 10^4 \text{t}$ 。③快速建设阶段（1985～1999 年）：在此阶段发现了狮子沟深层油气藏、南翼山中深层凝析气藏、跃进二号油田和台南气田、南八仙中型油气田。1991 年原油产量达到 $102 \times 10^4 \text{t}$ ，首次突破百万吨大关。完成了尕斯库勒油田 $120 \times 10^4 \text{t}$ 产能建设、花土沟—格尔木 436km 输油管道、格尔木 $100 \times 10^4 \text{t}$ 炼油厂等三项重点工程，标志着青海油田勘探开发并举，上下游一体化经营的格局已基本形成。到 1999 年年底，已实际建成 $195 \times 10^4 \text{t}$ 原油生产能力，年产原油 $190 \times 10^4 \text{t}$ ，建成天然气生产能力 $8 \times 10^8 \text{m}^3$ ，年产天然气 $3 \times 10^8 \text{m}^3$ 以上。④高效开发阶段（2000 年以后）：以老油田“稳油控水”为中心，加大了科技增油和滚动勘探开发力度。坚持效益开发原则，努力做到储量、产量、效益协调增长，上下游一体化、供产销一体化，有重点地搞好效益开发系统工程建设，基本上实现了“三平衡”、“五配套”，使油气产量增幅达 10% 以上，到 2006 年年底已形成 $556.5 \times 10^4 \text{t}$ 的油气生产能力。

总体来看，柴达木盆地油气勘探程度低，盆地认识研究程度低，勘探还存在许多空白区带和未知领域，油田发展尚有十分巨大的勘探空间和开发潜力。实践证明，柴达木盆地具有特殊的地表勘探条件和复杂的地下地质背景，油气条件的特殊性、复杂性、多变性给研究认识盆地以及勘探开发油气田带来了极大的难度，也给常规勘探开发技术的使用带来了重大挑战。

在勘探方面，由于盆地构造运动强烈、断裂发育、差异隆升明显，并且物源多、相带窄、储层薄、岩性杂、物性差，给认识油气规律、寻找整装油气田带来了诸多问题。主要是基础地质认识，特别是在生烃、沉积、储层等重要专业领域的基础地质研究还不够深入，整装油气田的勘探方向不明确，严重制约了油气勘探方向和甩开勘探的力度。主要体现在如下几个方面。

（1）烃源岩方面：柴北缘侏罗系源岩分布范围及生烃潜力，三湖第四系生物气生烃下限深度和温度等要素及资源潜力，古近系和新近系烃源岩的生烃期次和强度以及富烃凹陷的展布范围。

（2）储层方面：古近纪和新近纪陆相河流湖泊三角洲沉积对储层的宏观控制作用，快速沉积背景下的储层自生成岩作用，多类型裂缝对油气储层的影响，湖泊相碳酸岩储

层的成因机理及有利储层分布规律。

(3) 构造方面: 古构造(古隆起、古断裂)对油气成藏的作用及影响, 断裂演化中开启与封堵作用对油气成藏的作用和意义, 不同期次构造的定量解释及构造圈闭有效性分析。

(4) 源储组合方面: 盆地不同类型油气藏源储组合的划分标准及依据, 源内组合、近源组合及远源组合在盆地的分布范围及层系, 不同含油气层系的资源量评价。

(5) 运聚成藏方面: 油气运聚时间、通道、动力、方向距离及规模对成藏的控制作用, 断层、不整合面、沉积砂岩、古构造对油气运聚的作用, 次生油气藏的成因及分布, 晚期构造运动对油气成藏的影响因素。

(6) 岩性油气藏方面: 岩性油气藏的主控因素和形成背景, 碳酸盐岩等复杂岩性油气藏的富集规律和勘探思路。

其次是勘探主体技术不配套, 勘探技术瓶颈有待突破。储层预测、油气检测、地质建模和油藏描述等方面基础技术手段比较落后, 不能完全满足需求。

(1) 地震勘探在高陡构造和断裂下盘成像的技术问题, 尽管有所进步, 仍需要结合发展需求持续开展攻关。

(2) 岩性油藏预测和判识问题, 需要对高品质地震资料深化研究和分析, 通过地质、地震、测井一体化联合攻关。

(3) 烃类检测技术, 目前已应用于天然气勘探, 但对低丰度和岩性气藏的检测水平还较低, 急需理论深化和实践突破。

(4) 随着数字测井、成像测井技术的大规模推广应用, 低孔、低渗、低阻、薄层岩性和裂缝型油气层的定性评估和定量解释要作为攻关重点。

(5) 低渗薄层压裂改造技术是解放油气层的关键技术, 对提高单井产量、快速动用难采储量、提高勘探开发效益具有重要意义, 是攻关的技术重点。

另外, 油田处于边陲高原, 信息闭塞, 人才匮乏, 自研能力和水平较低, 技术创新能力有待增强。

(1) 科技资源整合力度不够, 现有科研力量没有得到充分发挥, 急需打造科研大平台, 营造科技创新的氛围, 整合科研资源。譬如集中中国石油内部研究力量、大学院校研究力量和青海油田研究力量为一体, 按研究内容和项目需求做好项目立项及分工, 减少低水平的重复项目和工作量, 提高科研效率。

(2) 勘探开发难点技术攻关的速度较慢, 进展不均衡。仅依靠油田自身的力量和现有的研究水平和技术能力还不能有效破解技术难题, 特别是引进的新技术、新方法解决柴达木盆地地质和技术问题的针对性不强, 应用效益及效果不明显。

(3) 勘探开发人员解决复杂问题的能力有限, 创新意识薄弱, 科研水平有待进一步提高。研究课题既需要联合攻关, 也需要专项重点突破, 需要发挥科研单位各自的优势, 有针对性地进行科研工作, 确保研究质量和水平。

最后, 受盆地特殊性和复杂性的影响, 五十多年已形成了围绕构造寻找油气的传统模式, 随着油气勘探理论的发展, 勘探思路亟待调整完善。

(1) 需要进一步解放思想, 坚定科学找油的理念。树立开拓意识和创新理念, 要借

鉴国内外先进的勘探理论和经验,科学分析柴达木盆地的油气资源,科学判断大中型油气田可能的数量与位置。立足盆地实际,精细分析油气成藏的有利条件和勘探风险,大胆探索,力争区域甩开勘探有新的突破。

(2) 勘探思路不够明确,勘探层次不够清晰。注重构造找油,对岩性油气藏有所忽视;立志新区、新领域突破,对老区深化勘探有所懈怠;侧重深层高效油气藏,对浅层低渗、低产油气藏有所轻视。

(3) 勘探开发一体化管理亟待加强。勘探开发一体化是缩短勘探和开发周期,实现快速发展的有效做法,也是勘探与开发各路工作观念的一个大转变。要树立“勘探为开发领路,开发为勘探护航”的一体化思想,真正达到“预探甩开发现、评价落实储量、开发贡献产能”的目的。

在油气开发方面,由于储量接替严重不足,加之注水水质不达标、油井套损、气井出砂等诸多因素影响,油气田稳产和上产中遇到了八个方面的问题。

(1) 油田开发对象变差、上产难度加大。随着油田注水开发的进一步深入,主力油田主力小层水淹严重,含水上升速度加快,产量递减幅度加大,新钻开发井效果有逐年变差的趋势,开发对象逐步向主力油田的次主力、非主力小层转移,向难采储量转移。面临开发调整挖潜难度急剧加大,难采油田储量动用程度低,单井产量低,开发成本高,油田上产难度大,总体效益有所下滑。

(2) 主力油田(油藏)进入中高含水期,各类矛盾日益突出。随着主力油田、油藏含水上升,吨油采出的液量大幅上升,造成地层压力下降快,单井日产下降快。“二升二快”给老油田稳产带来巨大的难度,急需加大对剩余油分布规律、油气富集区、高含水后期水驱改善、三次采油技术等方面组织攻关。

(3) 主力油田自然递减率逐年加大,稳产难度越来越大。随着主力油田进入中高含水期,含水上升较快,老井产量逐年递减,如尕斯库勒油田 E₃¹ 油藏、跃进二号等油田自然递减达到 20% 以上,其他油田自然递减也逐年上升,虽然通过近几年的“稳油控水”综合治理工作,逐步调整完善注采井网,取得一定的成效,但由于措施及调整难度越来越大,递减逐年上升,稳产难度加大。

(4) 部分主力油田注水水质超标严重。围绕注水开发油田注入水水质达标,近几年来开展了一系列的改善注入水水质系列技术攻关,见到了一定的效果。但是,主力油田如尕斯库勒油藏注入水水质超标,以机械杂质超标现象最为严重,其中机械杂质超标 20 倍左右,总铁超标 3 倍左右,注入水呈偏酸性,造成注水井维护周期缩短,注水设备、设施、管材腐蚀,结垢严重,减短了使用寿命。同时给注水井投捞测试工作带来了一定的难度。

(5) 投入措施工作量逐年增多,效果变差。表现在措施井次上升,年措施增油量上升,但平均单井措施增油量下降,效果变差。从 1996 年以来,措施由 139 井次上升到 2006 年的 685 井次。而平均每井次年增油由 1996 年的 754.1t 降低到 2006 年的 310.6t。实施增产措施的储层物性越来越差,多数油田增产措施的层位由主力产层逐步向次主力层或非主力层过渡,油藏条件增产措施工艺技术的要求越来越高。

(6) 气井出砂严重影响生产。涩北气田岩性疏松,岩石力学强度低,储层极易出

砂, 开采过程中水参与流动使储层结构可能会遭到不同程度的破坏, 致使出砂加剧。随着开采时间延长和生产压差的增大, 气田出砂会更加严重, 必将影响气井正常生产和气井产量, 增加防砂难度和防砂、冲砂的工作量, 同时也会增大采气成本、降低经济效益。目前的高压充填防砂和纤维复合防砂技术对防砂层位及选井条件要求高, 选井比较困难, 需要对防砂技术进行改进, 以满足涩北气田生产的需要。

(7) 气田出水类型复杂, 防水、治水面临新挑战。涩北气田为多层边水气田, 气水关系复杂, 气田开发过程中存在边水推进、层间水窜、气层内的束缚水变可动水产出等现象, 影响气井生产, 气田开发面临防水、治水难题。目前在现场对气井出水治理除了优化气井生产管柱和生产管理的手段外, 没有进行其他治水试验, 缺乏治水经验, 需要加大找、堵水试验力度。

(8) 气井产量递减明显, 实现气田稳产有一定难度。随着气田的开发, 地层压力下降、出水加剧、出砂砂埋产层, 导致气井产量递减明显。近年来, 涩北一号、涩北二号气田老井产能递减率接近 10%, 气田稳产面临严峻形势。

柴达木盆地是一个油气资源比较丰富的盆地, 全国第三次油气资源评价表明仅中新世石油资源量为 $21.5 \times 10^8 \text{ t}$, 天然气资源量为 2.5×10^{12} , 同时也是一个极为复杂的含油气盆地, 已发现的油气田以中小型为主, 规模大、丰度高的油气田较少, 仅尕斯库勒油田储量在亿吨级以上, 跃进二号油田储量丰度接近每平方千米近 $1000 \times 10^4 \text{ t}$ 。目前发现的油气储量与油气资源量极不相称, 已探明的石油资源地域和层位分布很不均匀。为了尽快提升青海油田油气生产的地位和作用, 提高柴达木盆地油气资源向储量的转化率, 快速高效发现和探明整装规模储量, 彻底改变油气开发后备资源不足的状况, 增强油田稳产能力, 加快天然气上产速度, 青海油田急需集中人力、财力、物力, 整合中国石油内部一流的科研力量, 引入国内外先进的技术, 针对柴达木盆地的地质难点和瓶颈技术进行攻关研究, 以期真正满足建设千万吨级高原油气田对科技的需求。

目 录

前言

上篇：柴达木盆地地震勘探技术方法及应用

第一章 柴达木盆地地球物理勘探概况	3
第一节 地震地质条件与地震勘探现状	3
第二节 地震资料主要特征分析	12
第三节 地震勘探技术难点与技术需求	24
第二章 柴达木盆地地震资料处理技术	27
第一节 复杂地表综合静校正技术	27
第二节 分级多域高精度叠前去噪技术	45
第三节 复杂地表区三维连片一致性处理技术	51
第四节 高保真连片叠前偏移成像技术	65
第三章 地震资料解释关键技术	91
第一节 精细构造解释技术	91
第二节 精细储层预测与油气检测技术	102
第四章 处理解释实例分析	120
第一节 柴西南三维连片处理解释	120
第二节 三湖二维连片处理解释	129
第三节 复杂构造叠前偏移成像配套技术应用	138
参考文献	143

下篇：柴达木盆地测井处理技术方法及应用

第五章 低孔低渗储层测井评价技术	147
第一节 岩石物理研究与四性关系	147
第二节 低孔低渗储层定性评价解释	166
第三节 低孔低渗储层定量评价方法	171
第四节 低孔低渗储层评价测井系列优化	187
第六章 复杂岩性储层测井评价技术	190
第一节 复杂岩性识别常用方法及技术	190
第二节 岩石物理特性与四性关系	197
第三节 复杂岩性储层的岩性识别技术	209

第四节	复杂岩性储层定性评价解释·····	218
第五节	复杂岩性储层定量评价·····	220
第六节	资料处理及综合应用效果评价·····	226
第七节	测井新技术在复杂岩性储层评价中的应用·····	228
第七章	低阻储层测井评价技术研究·····	231
第一节	低阻油层成因机理分析·····	231
第二节	四性关系研究·····	238
第三节	低阻油层定性识别技术·····	244
第四节	低阻油层定量评价方法·····	247
第五节	测井新技术在低阻油层评价中的应用·····	251
第六节	阵列感应时间推移数值模拟探索·····	255
第七节	资料处理及应用效果评价·····	260
第八章	裂缝性储层测井评价技术研究·····	265
第一节	裂缝性储层地质概况·····	265
第二节	四性关系研究·····	268
第三节	裂缝性储层测井特征分析及评价方法·····	273
第四节	裂缝性储层参数评价方法研究·····	282
第五节	裂缝性储层识别与分类·····	293
第六节	裂缝性储层流体性质识别方法研究·····	295
第九章	薄层与薄互层测井评价技术研究·····	304
第一节	薄层测井响应数值模拟·····	304
第二节	岩性、流体对薄层测井响应的影响分析·····	315
第三节	测井资料处理解释·····	316
第四节	测井新技术的应用·····	322
参考文献 ·····		323
主要符号表 ·····		324

上篇：柴达木盆地地震勘探 技术方法及应用

第一章 柴达木盆地地球物理勘探概况

第一节 地震地质条件与地震勘探现状

一、地震地质与地表条件

柴达木盆地的地形地貌条件与地震地质条件有着较密切的对应关系，根据地震测线地表地貌的地形特征，大体可分为复杂山地、半山地、风蚀残丘、山前戈壁、沙漠沙丘、河网湖泊、沼泽草地等多种类型（图 1.1）。

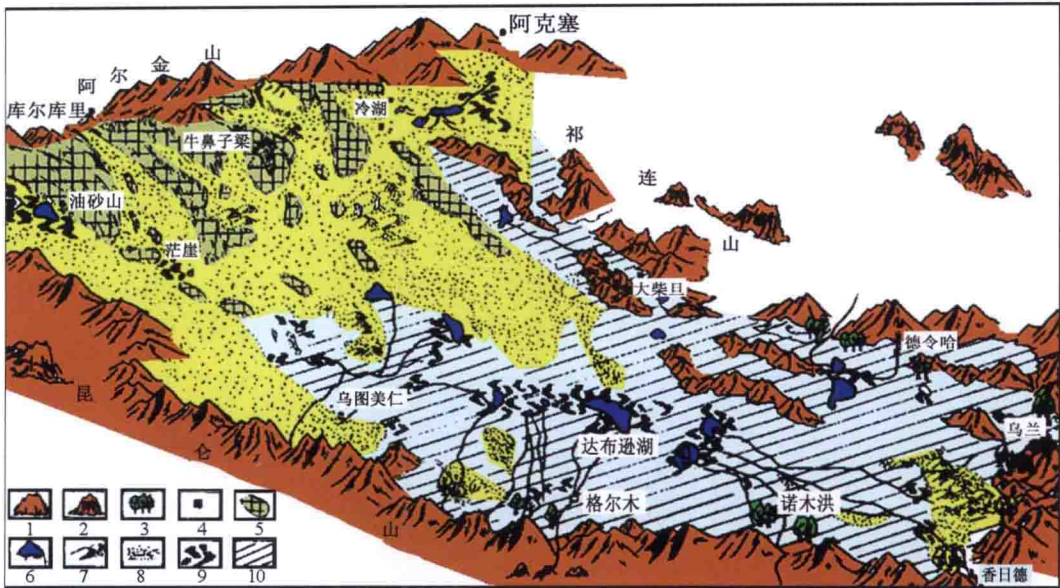


图 1.1 柴达木盆地地形地貌图

1. 高山；2. 丘陵；3. 森林；4. 地名；5. 地面构造；6. 盐湖；7. 水系；8. 风蚀地貌；9. 盐沼；10. 第四系

柴达木盆地复杂山地主要集中在英雄岭周缘及盆地边缘地区，如狮子沟、油泉子—油南、红山等地区。复杂山地的地表与地下条件都十分复杂，低降速带巨厚，山体表层干燥，溶洞和裂缝发育。狮子沟工区地表以山地为主，出露地层为新近纪狮子沟组的泥岩、砂岩、砾岩及砂砾岩，表层岩性变化剧烈。其地下构造受断裂控制，在南北向的两条深大断裂的近似垂直方向发育了一系列二级断裂，构造的完整性受到破坏。地震记录上各种干扰严重，有效反射信息微弱，信噪比极低。油泉子—油南地区属于英雄岭北缘山区，地表基本为山地，覆盖着松散胶质砂泥岩层，潜水面深达 600 多米，地下孔洞和裂缝发育，地层切割严重。地震资料信噪比极低，规则干扰和随机干扰相互交织，侧面

次生干扰严重, 激发的地震波在下传上返的过程中能量损失巨大, 最后到达地表的有效反射信息与表层产生的各种干扰相比显得十分微弱, 在单炮记录中无法识别有效反射信息。地震资料处理面临两大难题: 首先要解决巨厚低降速带、折射界面多变下的静校正问题, 其次是如何去除各种干扰, 增强有效信号, 解决低信噪比问题。

柴达木盆地的复杂山地有别于塔里木盆地和四川盆地, 以柴达木盆地英雄岭山地、塔里木盆地库车山地、四川盆地龙门山山地为例进行对比。

从野外施工环境分析, 三大盆地的野外施工条件基本相当, 面临的是山大沟深、地形复杂、野外施工条件差、排列布置困难、野外组合困难、山地打井困难等不利因素。

从地震地质条件分析, 柴达木盆地的情况最复杂, 也是最不利于开展地震勘探的。柴达木盆地英雄岭地区的山地土层松软, 低降速带巨厚, 表层速度低, 山体表层干燥, 空洞和裂缝发育, 潜水面深达数百米, 山体多为风化严重的泥砂岩组成; 塔里木盆地库车地区山地表层岩石坚硬, 比较干燥, 潜水面低-中, 一般在数十米左右, 表层速度中-高, 山体多为砂岩、砾岩及泥岩; 四川盆地龙门山地区山地表层大部分覆盖有植被, 潜水面高, 为几米到十几米, 表层速度一般较高, 山体多为古生界和中生界的砂泥岩和灰岩 (图 1.2)。

柴达木盆地的复杂山地地震资料的主要特点是规则干扰和随机干扰相互交织, 侧面次生干扰严重, 激发的地震波在下传上返的过程中能量损失巨大, 最后到达地表的有效反射信息与表层产生的各种干扰相比显得十分微弱, 在单炮记录中无法识别有效反射信息。经过室内处理, 构造主体部位难以成像。而塔里木盆地、四川盆地的复杂山地地震资料尽管也存在着静校正、干扰波发育、构造复杂等问题, 但由于地震波在下传上返的过程中能量耗散要比柴达木盆地少许多, 在原始记录上还是可以清楚地识别有效反射信息的。

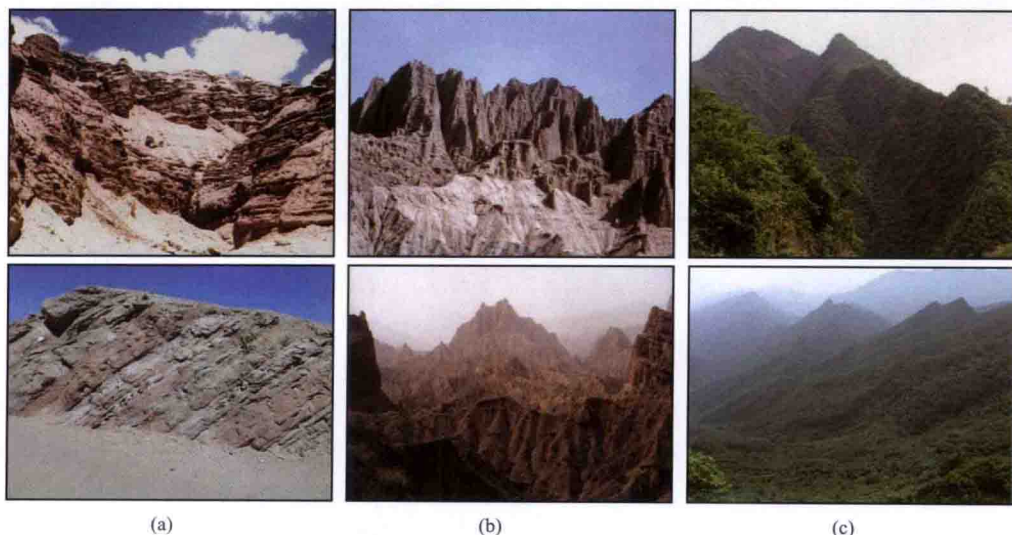


图 1.2 柴达木盆地与塔里木盆地、四川盆地复杂山地地貌对比

(a) 柴达木盆地英雄岭; (b) 塔里木盆地库车; (c) 四川盆地龙门山

经过室内处理后，柴达木盆地英雄岭油泉子构造顶部基本上无法成像，而塔里木库车和四川龙门山的高陡构造还是能够得到较好的成像效果。柴达木盆地山地地震地质条件比塔里木盆地库车山地及四川盆地龙门山山地都要复杂，决定了柴达木盆地山地地震勘探难度更大（图 1.3、图 1.4）。

柴达木盆地地表为半山地类型的区块有以下几个地区：柴西地区的土林沟-茫崖、开特米里克、黄石等地区，柴北缘的鄂博梁-葫芦山、冷湖构造带等地区。从地表看该类地区山多坡陡，相对高差较大，潜水面较深，低降速带纵横向变化都很大，工区内表层岩性一般以风积沙梁和盐碱地为主，山地山体出露部分老地层，结构疏松，风化严重，在地表下部分地区存在膏岩和泥岩的互层，打井难度大，膏岩还形成对能量的屏蔽作用。

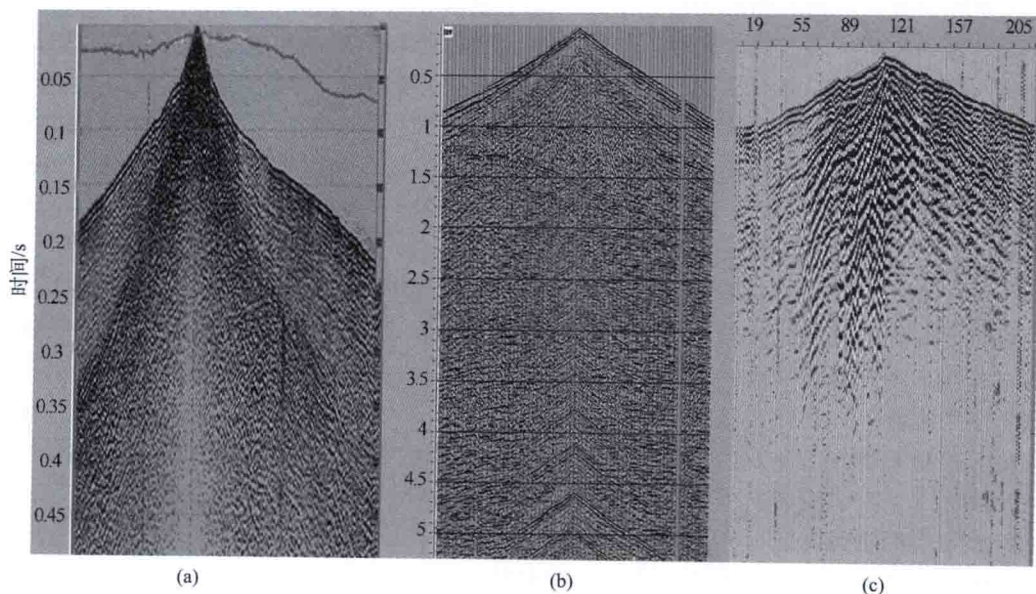


图 1.3 柴达木盆地与塔里木盆地、四川盆地复杂山地典型单炮记录对比

(a) 柴达木盆地英雄岭；(b) 塔里木盆地库车；(c) 四川盆地龙门山

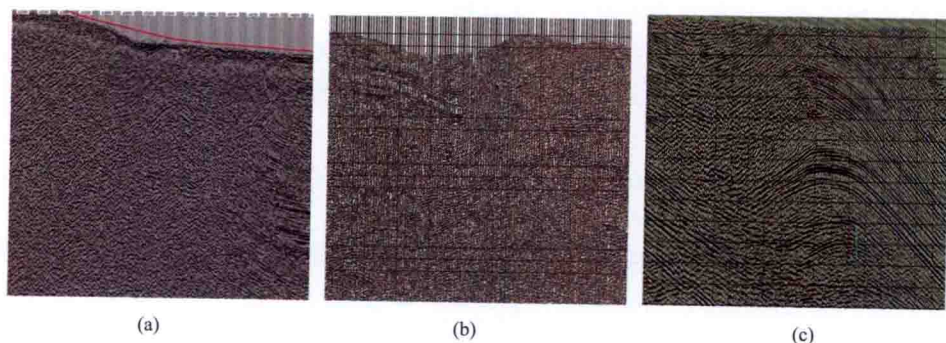


图 1.4 柴达木盆地与塔里木盆地、四川盆地复杂山地剖面对比

(a) 柴达木盆地英雄岭；(b) 塔里木盆地库车；(c) 四川盆地龙门山

戈壁区沙丘、砾石分布,堆积较厚,表层断层发育,地表岩性不均。该类地区深层地质条件也十分复杂,由于受不同时期构造运动的影响,褶皱、断裂发育,地层倾角变化较大,而造成地震波反射路径复杂,难以形成共反射点的同相叠加。同时表层膏岩屏蔽作用和断层所产生的破碎带的散射作用,进一步削弱了地震波的下传能量。其地震野外原始记录信噪比低,干扰相当严重。鄂博梁 I 号地区中北部为山地,出露新近系和古近系老地层,以砂岩、砾岩为主,表层为风化薄层,潜水面深约 100m,两翼为风蚀残丘,表层为碱土,下面有较厚盐层,地层坚硬,对能量传播有屏蔽作用。该区干扰波主要以面波、多次折射为主,表现为中速、中频、强能量,发散严重,干扰范围大;多次折射能量强、速度高。黄石地区属于昆北断阶黄石隆起带,地表以山地、戈壁、风蚀残丘等地貌为主,地表相对平坦,山地出露老地层。该区断裂极为发育,构造主体处于东西、南北向断层组成的“断裂网”中,地表岩性分布不均,并夹有石膏分布。原始记录中各种次生干扰、侧面干扰严重,信噪比极低。冷湖地区以风蚀残丘、残山、盐碱滩和戈壁地貌为主,地表起伏变化剧烈,地面海拔在 2700m 以上,构造主体部位褶皱强烈,新近系和古近系出露,岩性为泥岩、粉砂岩、砂岩夹薄层砾岩,出露地层最大倾角达 70° ,地下构造发育,浅层断裂复杂,深层构造相对完整基底埋深大。工区内干扰波发育,主要有面波、折射波和次生干扰,以面波干扰为主。一般面波优势频带为 10~20Hz,速度为 600~1300m/s 不等。半山地地表与地下条件尽管也很复杂,但由于其潜水面相对较浅,低降速带较复杂山地地区厚度较小,地震波传播过程中能量吸收衰减小,资料品质比复杂山地好。地震资料的主要特点是信噪比低,干扰波(面波、多次折射波、侧面波等)发育,静校正问题普遍存在,构造主体部位深层反射效果欠佳。通过野外合理的采集方法及室内精细的处理技术,可以解决好其中大部分问题。地震资料处理以解决三个主要问题入手,即复杂地表的静校正问题、叠前有效的信噪分离方法和高陡构造的偏移成像问题。

地表为风蚀残丘、丘陵的典型地区有南翼山、碱石山、南八仙、北陵丘、东陵丘等地面构造。这些地区的地表大部分地段为西北-东南走向的交错条带状风蚀残丘、丘陵、碱包、山包等,丘陵间大多覆盖很厚的虚土,大部分地区为盐碱地,交通条件较好,地震施工相对简单,激发、接收条件好,地震资料品质普遍较好,成果剖面信噪比高,部分地区受断层影响,反射波连续性差,能量弱,资料品质变差。如南翼山构造,地震剖面为“两断夹一隆”的构造模式,构造顶部反射清晰、可靠,翼部由于断裂发育,地层破碎,信噪比降低。地震资料处理中需要解决叠前有效的信噪分离方法和高陡构造部位的偏移成像问题。

以山前砾石堆积为主要特征的勘探区域主要是阿尔金山前斜坡带、赛什腾山前带和昆仑山北斜坡带,有代表性的是柴北缘鱼卡、潜伏四号、六号及阿尔金山斜坡的采东和昆仑山前的切克里克等地区。这些地区的地震地质条件与地形地貌条件基本一致,岩性主要为砂砾岩,潜水面较深,山前堆积戈壁,地表砾石较大,交通不便。钻井过程中易卡钻,成井困难,钻具磨损大,钻井效率低。同时,激发条件差,地震波的传播受砾石层的影响,记录上面波、折射波和随机干扰严重,资料品质较差。山前带一般深层地震地质条件也很复杂,具有断裂发育、岩性较粗、地震反射界面不明显等特征。鱼卡地区位