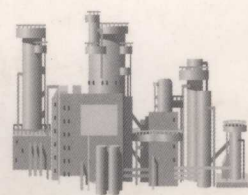


“八五”新技术推广成果丛书（三）

NEW

钻井综合配套技术及 新型钻井液应用范例

中国石油天然气总公司新技术推广中心编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了吐哈油田和四川油田综合运用钻井配套技术的成功范例和以两性离子、阳离子、正电胶为主的聚合物钻井液体系的研究和现场应用情况。

本书具有较高的实用性和借鉴性，适合从事石油钻井工作的科研人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

钻井综合配套技术及新型钻井液应用范例/中国石油天然气总公司新技术推广中心编. -北京:石油工业出版社, 1998. 7

(“八五”新技术推广成果丛书; 3)

ISBN 7-5021-2229-X

I. 钻…

II. 中…

III. ①油气钻井-技术②钻井液-应用

IV. TE242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 01418 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京密云华都印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 8 $\frac{1}{4}$ 印张 209 千字印 1—1000

1998 年 7 月北京第 1 版 1998 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2229-X/TE · 1869

定价: 15.00 元

《钻井综合配套技术及新型钻井液 应用范例》

编 委 会

主 任：石宝珩

副主任：张福祥 孙振纯 孙 宁

委 员：(按姓氏笔画排列)

丁丰虎 王奎才 刘雨晴 孙洪滨

张春光

李小泉 李昌全 李章亚 杨昌龙

陈元顿

陈生瑄 周煜辉 林建浩 洪培云

赵凯民

徐同台 高立根 曾时田 谢荣院

潘世奎

主 编：高立根

副主编：陈生瑄 李章亚

序 言

一般来讲,科学技术成果并不就等于第一生产力,只有将科技成果变为生产应用技术,成为生产活动的组成部分时,才能真正体现“科学技术是第一生产力”的作用。

在科技成果转化成为生产力之前,它仅是一种以知识形式存在的、潜在的生产力。“转化”就是把它变为现实的、直接的、物质的生产力。这是一个需要时间,更需要解决一系列问题的物化过程。特别是在建立社会主义市场经济体制进程中,更要加速科技成果工程化、商品化、产业化。在这个转化过程中,就科技自身来讲,要解决后续实验、二次开发、工艺、安全、成本等问题。就企业应用部门来讲,要解决资金、厂房、人员培训等问题。抓好这个转化过程是科技工作的重要任务。

先进、成熟、实用的单项技术固然重要,但它只能解决生产过程中一个环节上的问题。如果针对某一工程,将单项技术配起套来,形成综合配套技术的应用,就能发挥总体优势,产生十倍、百倍的效果,获得巨大的经济效益和社会效益。

“八五”期间,针对油田勘探、开发、生产建设面临的困难,提出了向科技要储量、要产量、要效益。为此,中国石油天然气总公司制定了加速科技成果转化的规划和计划,确定了新技术推广“1115工程”,并专门组建了新技术推广中心,要求充分利用计划和市场两种机制,加速科技成果向现实生产力的转化。

针对生产的难题,并与勘探、开发、生产建设的部署密切配合,从实际出发,按照“实际、实用、实效”的原则,组织了油气勘探、油田开发、钻井工艺、地面建设四方面共10项综合配套技术的推广应用。通过几年的推广实践、示范应用,10项综合配套技术都取得了显著成果,形成了技术系列,取得了直接的经济效益和社会效益。通过推广应用也培养了一批人才。

科技成果只有在经过实践,总结形成“模式”,并上升成理论时,才具普遍应用价值。为此,我们将10项综合配套技术按专业划分为四类,编辑出版《“八五”新技术推广成果丛书》,包括《油气勘探综合配套技术应用范例》、《油田开发控水稳油技术的推广应用》、《钻井综合配套技术及新型钻井液应用范例》及《石油新技术荟萃》。

《“八五”新技术推广成果丛书》是实用技术及其应用效果的总结,是众多科技人员和参与实践的广大职工的共同成果。出版这些“八五”实践的成果,对今后石油新技术推广工作是很有意义的。

石宝珩

一九九六年八月三十日

前 言

为了贯彻石油工业“稳定东部发展西部”的战略方针，按照中国石油天然气总公司领导“将多项技术配套，在一个地区实施，形成规模效益”的指示精神，“八五”期间，中国石油天然气总公司将配套技术的推广应用作为新技术推广工作的重要内容，以期获得良好的效益。为此，在油气钻探工程方面，确定了新区吐哈丘陵油田开发钻井、四川川东大天池高陡构造带气田钻探综合配套项目及优质钻井液技术，作为中国石油天然气总公司“八五”重点钻井新技术推广项目。

各承担单位针对各自的特点和实施的目标，投入大量的资金，组织了相当规模的各类技术人才和一批专业队伍。在项目实施过程中，发展、完善了钻井综合配套技术和优质钻井液技术，为增储上产任务的顺利完成奠定了工程基础，同时，也培养了一批综合油气钻井工程技术人才。

针对丘陵油田地层复杂、东西迥异、坍塌并存、油气活跃、钻井难度大的特点，选择了国内外八项钻井先进技术进行配套推广，解决了以往常规技术难以解决的井眼稳定及复杂井段钻井技术问题，提高了钻速，降低了成本，钻井周期由原来的 81.49 天/口下降到 34.17 d/口，经济效益总计达 3.32 亿元。

川东大天池构造带隆起幅度高、断层发育、岩石硬、产层多、压力高、裂缝与溶洞发育，钻井过程中喷、漏、卡、塌、斜等诸多难题并存，在这里，综合运用“六五”以来取得的勘探地质、钻井工艺、钻井装备、气层保护和钻前工程等六个方面二十一项技术，突出提高探井成功率和钻井速度。项目实施后，气井成功率达 63.6%，比“七五”提高 8 个百分点，机械钻速比同期同构造非配套技术井提高 33.77%，10 口井获经济效益 9454 万元。

近几年我国钻井液技术水平取得了长足的进步，以两性离子、阳离子、正电胶等为主的聚合物钻井液体系不断完善、发展，在确保提高钻速、实现有效携屑、井眼净化和钻井水力能量的最优分配的同时，又促进了井壁泥页岩的稳定和防止钻屑的分散。该项技术的实施，为提高钻井速度和减少复杂情况创造了良好的条件。

本书以实际应用技术为主，也介绍了相关理论，书中特别注重理论与实际应用技术的结合、综合配套技术的应用，强调解决钻井工程中的实际问题，具有强烈的目的性、针对性和实用性。本书的目的在于促进类似地质条件、相似工程条件下的综合配套技术的应用和推广，也希望此书能起到抛砖引玉的作用。

本书篇幅虽然不长，但它是从事项目技术推广应用的广大科技人员和施工作业队伍辛勤劳动的成果，是集体智慧的结晶。其中一部分人直接参与了本书的编写。全书共分三篇，第一篇由吐哈石油勘探开发指挥部张彦平、周强、齐振红、贾彪、钱峰、余丽彬、蒋玉琴等编写；第二篇由四川石油管理局陈心胜、晏凌、周晨表、王德成、谭先福、唐思敏等编写；第三篇由西南石油学院、石油勘探开发科学研究院、山东大学李建、刘雨晴、侯万国等编写。

张福祥、陈元顿、周煜辉、谢荣院、潘世奎、洪培云、刘玉玲、石毓昆等参加了本书的审校定稿工作，对本书的出版提出了宝贵的意见，在此表示衷心的感谢！并借本书出版之际，对上述项目承担单位的科技管理者及项目实施单位表示衷心的感谢！

由于本书涉及领域较广，加之我们水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

目 录

第一篇 钻井综合配套技术在丘陵油田开发钻井中的应用

第一章 地质概况	(1)
一、构造.....	(1)
二、地层.....	(3)
第二章 技术准备及实施概况	(5)
一、泥页岩矿物组分及理化性能分析.....	(5)
二、钻井岩石力学特性分析与钻头选型.....	(7)
三、“三压力”剖面的建立.....	(9)
四、储层物性及孔喉特征分析.....	(12)
五、油藏温度与压力系统.....	(14)
六、地层自然造斜特性分析.....	(17)
第三章 配套技术的推广应用	(20)
一、技术配套概况与应用特点.....	(20)
二、配套技术的实施.....	(20)
三、实施措施.....	(39)
四、实施配套技术经济效果分析.....	(40)

第二篇 钻井综合配套技术在川东大天池构造带的应用

第一章 概述	(43)
第二章 高陡构造井位精选技术	(44)
一、井位精选的原则.....	(44)
二、井位精选技术方法.....	(44)
三、井位精选技术应用的效果.....	(47)
第三章 高陡构造定向钻井工艺技术	(48)
一、利用地层自然造斜规律的钻井中靶技术.....	(48)
二、定向侧钻技术.....	(55)
第四章 综合治漏工艺技术	(58)
一、井漏的类型及特点.....	(58)
二、处理井漏的原则和方法.....	(58)
三、川东地区综合治漏工艺技术.....	(60)
第五章 钾钙沥青质聚合物钻井液技术	(67)
一、钾钙沥青聚合物低密度钻井液技术.....	(67)
二、聚合物高密度钻井液技术.....	(69)
第六章 高压气井固井完井技术	(73)
一、大天池构造带井身结构设计.....	(73)
二、高压气井固井工艺技术.....	(73)
三、完井压井液技术.....	(76)

四、油管传输射孔技术	(79)
五、酸化解堵技术	(80)

第三篇 钻井液的研究与应用

第一章 两性离子聚合物钻井液	(81)
一、聚合物钻井液应用中存在的主要问题及原因分析	(81)
二、两性离子聚合物及其作用机理研究	(84)
三、两性离子聚合物钻井液体系的研究	(90)
四、两性离子聚合物钻井液的现场应用效果	(95)
五、小结	(97)
第二章 阳离子聚合物钻井液	(98)
一、阳离子聚合物钻井液的组成	(98)
二、阳离子聚合物钻井液的性能	(101)
三、阳离子聚合物钻井液的现场应用	(107)
第四章 MMH 正电胶钻井液	(111)
一、概况	(111)
二、MMH 正电胶	(112)
三、MMH 正电胶钻井液基础研究及性能评价	(114)
四、MMH 正电胶钻井液的现场应用	(119)

第一篇 钻井综合配套技术在丘陵 油田开发钻井中的应用

第一章 地质概况

一、构造

丘陵构造是台北凹陷鄯善弧形构造带西端的一个局部构造，是个被断层复杂化了的不对称东西向长轴背斜。背斜两翼向凹陷逐渐倾没，北翼缓，倾角 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ ，西部陡处可达 39° ；南翼陡，倾角 $15^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 。构造高点在陵4井附近，闭合高度 $700\sim 950\text{m}$ ，闭合面积 54.2km^2 。（图1-1-1）。

丘陵构造上发育数十条逆断层。背斜顶部近南北向的I号断层规模最大，将背斜构造分割成东西两大部分。东块根据断层发育情况及构造形态，又可分为三个井区，即陵3井区、陵2井区和陵12~14井区（表1-1-1）

丘陵油田具有东西分异，南北分块的特点，它由三个独立的油气藏组成。1993年在陵12~14井区新钻井提示，该区含油气性很差，基本为水层。

由于南北向古地应力的作用及由此而产生的褶皱作用，丘陵油田东西向的裂缝发育。裂缝系统主要是潜在裂缝和微裂缝，在降压开采过程中，构造主体部位的上部层系主要为单一孔隙型的储层介质。

表 1-1-1 丘陵油田分区构造要素及油气藏类型

内 容	陵 4 井 区	陵 2—陵 3 井 区	陵 12 井 区
构造部位	陵 4 井南北向大断层以西的丘陵背斜部分	陵 4 井南北向断层以东的丘陵背斜主体部分（轴部区）	陵 7 井近东西向断层以北的丘陵背斜北翼部分
地层产状	主要 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$	$5^{\circ}\sim 20^{\circ}$ ，主体产状平缓	$5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ，产状平缓
断 层	断层发育，有多条北西向逆冲断层，断距多大于 200m	陵 3 井区断层发育，有十几条近东西向逆断层，断距 $50\sim 300\text{m}$ 不等，而陵 2 井断层极少，构造完整	目前没有发现太多的断层，是一个比较简单的单斜
裂 缝	裂缝强烈发育区，密度大于 2 条/米，主裂缝方向为北西向	裂缝中等发育区，尤其陵 3 井所在区，密度大于 1.5 条/米，主裂缝方向近东西向	裂缝弱发育区，密度小于 1 条/米，主裂缝方向为北西和近东西向
现地应力方向	复杂，有北西和东西向	156° （平均值）	近南北向
油气藏类型	断块型	断背斜型	单斜型
含油面积， km^2	2.7	31.5	6.4
油气界面	-1530m		
油水界面	-1580m	-2440m	-2980m（油干）
储 量	气 $23.97\times 10^3\text{m}^3$ 油 $177\times 10^4\text{t}$	油 $7832\times 10^4\text{t}$	油 $526\times 10^4\text{t}$

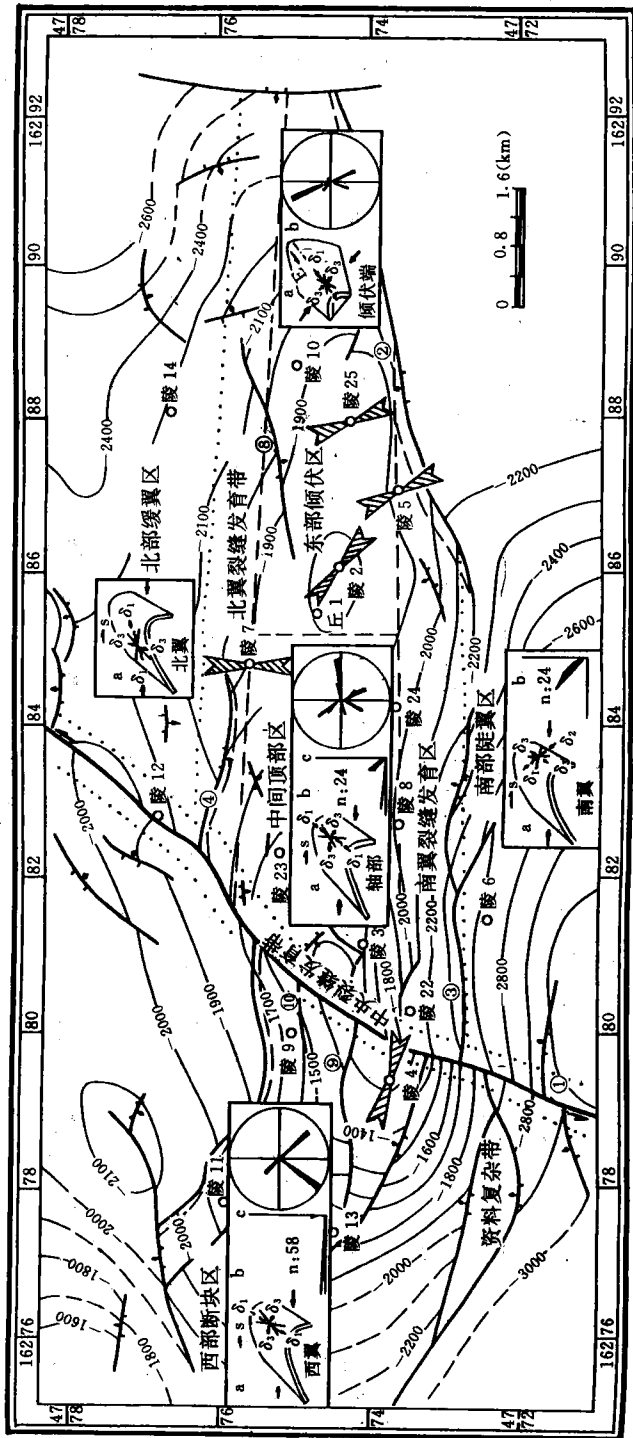


图 1-1-1 丘陵油田井位分布及构造分区图 (含裂缝发育区)

二、地层

丘陵油田已钻井最深者为位于陵3井附近的陵深1井，完钻井深4300m，未完全钻穿八道湾组。钻遇地层有新生界第四系、第三系；中生界侏罗系，白垩系缺失（表1-1-2）。

表 1-1-2 丘陵油田揭露地层简表

地 层		厚度 m	岩 性	故障揭示
名 称	符号			
第四系西域组	Q	0~360	冲积砾岩	漏
上第三系上新统葡萄沟组	N _{2p}	0~460	灰黄色、杂色砾岩、砾状砂岩	漏
上第三系中新统桃树园组	N _{1t}	195~600	两套砂泥岩每套中、上部土黄色砂质泥岩，下部杂色砾岩	漏
下第三系都善群	Esh	300~400	棕红色砂质泥岩，杂色及淡黄色砾岩	坍塌、漏
上侏罗统卡拉扎组	J _{3k}	0~420	浅棕、桔红色砾岩夹泥岩	
上侏罗统齐古组	J _{3q}	675~1376	棕红色—紫红色泥岩，夹粉砂岩、细砂岩	坍塌、漏、划眼
中侏罗统七克台组	J _{2q}	300~420	中上部灰绿—灰黑色泥岩，下部灰色粉细砂岩与灰黑色泥岩互层，夹薄煤层	塌、漏、划眼
中侏罗统三间房组	J _{2s}	230~460	杂色泥岩与灰、灰白色砂岩、砂砾岩互层	缩径、坍塌、卡钻
中侏罗统西山窑组	J _{2x}	490~1310	上部灰绿—棕红色泥岩，下部灰绿—灰色砂砾岩与灰绿色泥	漏
下侏罗统三工河组	J _{1s}	20~130	灰绿—灰黑色泥岩与薄层砂岩互层，夹煤层	
下侏罗统八道湾组	J _{1b}	179 (未完)	灰白、浅灰色砂岩、砾状砂岩粉砂岩及黑色泥岩，夹厚煤层	

①第四系西域组，层厚0~360m，冲积砾石层，分布广，成岩性差，以变质岩、火山岩屑砾石为主，属山麓冲积相沉积。它与下伏地层呈区域性不整合接触。平面上陵3—陵4—陵26—陵23井一带为剥蚀区，向四周厚度逐渐变厚，陵13井达358m。

②上第三系上新统葡萄沟组（N_{2p}），主要岩性为灰黄色、杂色砾岩和砾状砂岩，少量土黄色砂岩、泥岩，为山麓冲积相沉积。构造顶部陵3—陵26—陵23井一带仍为剥蚀区，地层缺失，向四周加厚达200~400m。它与下伏地层呈平行不整合接触。

③上第三系中新统桃树园组（N_{1t}），厚195~600m，岩性中上部为厚层土黄色砂质泥岩夹钙质粉砂岩及杂色砾岩层；下部为杂色砂砾岩夹薄层土黄色泥岩。构造顶部薄，仅200m左右，翼部及东西两端厚达400~600m，为洪积与河流泛滥平原亚相沉积。它与下伏地层呈整合接触。

④下第三系都善群（Esh）厚300~400m，岩性为棕红色砂质泥岩、杂色及淡黄色砾岩，为近源洪积—河流相沉积，与下伏上侏罗统卡拉扎组呈角度不整合接触，缺失白垩系。

⑤上侏罗统卡拉扎组（J_{3k}），厚0~420m，岩性为浅棕、桔红色砾岩夹棕红色砂质泥岩，为洪积相沉积，平面上南北厚，中间薄。陵4井区及陵25井区缺失。它与下伏地层呈不整合接触。

⑥上侏罗统齐古组（J_{3q}），厚675~1376m，岩性以棕红色、紫色泥岩为主，夹有薄层泥

质粉砂岩、细砂岩，为三角洲前缘亚相和滨浅湖亚相沉积；在平面上陵4井—陵13井区及陵25井区最薄675~853m，陵3井区厚达1180m（陵深1井）。它与下伏地层呈整合接触。

⑦中侏罗统七克台组（ J_2q ），厚300~420m，上部岩性为棕红、灰、深灰—灰黑色泥岩夹薄层状灰绿、灰色砂岩，底部夹煤层；下部为中—薄层状灰、深灰色细砂岩与深灰、灰黑色泥岩互层，夹薄煤层；从下至上为三角洲前缘亚相—滨湖亚相—半深湖亚相沉积，其中底部的粉、细砂岩层为较差的储层。它与下伏地层三间房组呈整合接触。

⑧中侏罗统三间房组（ J_2s ），厚230~460m，岩性为杂色、灰绿色泥岩与灰、灰绿色砾状砂岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩以及粉砂岩不等厚互层。平面上沿轴线方向厚度薄，为230~300m，两翼增厚至360m。沉积环境为扇三角洲相及辫状河相。分层以灰色砂砾岩结束，大套灰绿色和棕色泥岩作为西山窑组分界，与下伏西山窑组呈整合接触。本组砂岩为主力油层。

⑨中侏罗统西山窑（ J_2x ），厚490~1310m，上部为暗棕红色和灰绿色泥岩，下部为灰、灰绿色砂砾岩与灰绿、深灰色岩呈不等厚互层，并夹黑色碳质泥岩和煤线、薄煤层。平面上南薄北厚呈楔型，属三角洲前缘亚相和扇三角洲相，其暗色泥岩与砂岩构成第二套储盖组合，与下伏地层呈整合接触。

⑩下侏罗统三工河组（ J_1s ），厚20~130m，灰绿—灰黑色泥岩与薄砂岩互层夹薄煤层，与下伏八道湾整合接触。

⑪下侏罗统八道湾组（ J_1b ），钻厚179m，岩性为灰白色、浅灰色砂岩、砾状砂岩、粉砂岩及灰黑色泥岩夹厚煤层。区域上一般厚度300~600m，为河流、湖沼相沉积，下伏地层呈不整合接触。

第二章 技术准备及实施概况

丘陵油田钻井有四个难题需要解决：一是大段泥页岩井壁不稳定问题，二是低压易漏长封固段提高固井质量问题，三是大井眼机械钻速低问题，四是多套储层的系统保护问题。

为了解决上述问题，进行了如下技术准备：一是先行基础研究，包括泥页岩组分及理化性能分析、钻井岩石力学特性分析、“三压力”剖面的建立、储层物性及孔喉特征分析和泥饼质量定量评价物理模型的建立等；二是制订现场试验技术规程，选井做验证试验；三是制定综合配套技术大面积推广的技术方案，并组织实施。

一、泥页岩矿物组分及理化性能分析

泥页岩矿物组分与理化性能分析，系采用红外光谱、X射线衍射、分光光度计、原子吸收光谱等仪器、用CST试验法和容量、差减等测试方法进行测定的。

泥页岩粘土矿物组分及理化特性分析见表1-2-1和表1-2-2。

表 1-2-1 丘陵构造泥页岩矿物组分及理化性能

井号	井深 m	层位	密度 g/cm ³	CEC meq/100g±	R ₄₀ %	膨胀率,%					I/S 含量 %	I的 含量 %	K的 含量 %	C的 含量 %	I/S 中S的 含量 %
						2h	4h	8h	16h	24h					
陵 7	2688	J ₂ q	2.64	24	43	16.4	/	30	/	33	/	/	/	/	/
陵 7	3004	J ₂ s	2.66	16	64	13	/	26	/	31	20	61	10	8	65
陵 7	3455	J ₂ x	2.73	14	84	9	/	22	/	25	16	36	25	23	65
陵 8	2700	J ₂ s	2.71	5.3	84	6.18	6.45	6.64	6.82	/	38	/	18	4	60
陵 23	2500	J ₂ s	2.67	10.1	87	10.23	12.41	13.9	14.86	/	37	/	18	4	59
陵 23	2992	J ₂ x	2.66	5.6	90	7.62	7.97	8.05	8.15	/	37	/	18	4	60
陵 24	3052	J ₂ s	2.70	7.6	72	5.81	7.53	8.17	8.71	/	36	/	10	4	50
陵 24	3258	J ₂ x	2.68	6.0	94	7.34	7.54	7.64	7.74	/	37	/	9	4	50
陵 22	3385	J ₂ x	2.66	5.3	33	8.96	9.56	9.77	9.92	/	44	/	19	3	66
陵 21	3699	J ₂ x	2.70	3.7	95	5.97	6.34	6.55	6.70	/	23	/	10	3	36

注：CEC代表阳离子交换容量；R₄₀代表40目回收率；I/S表示伊蒙混层；S表示蒙脱石，I表示伊利石；K表示高岭石；C表示绿泥石。

表 1-2-2 丘陵构造泥页岩中粘土矿物含量

编号	井深 m	地层	粘土矿物含量, %					I/S 中 S 的含量, %
			I	S	I/S	K	C	
1	75~90	N ₂ p	19	72	0	9	3	91
2	260~280	N ₁ t	25	65	0	5	7	71
3	345~360	Esh	1	92	0	4	3	81
4	400~510		0	95	0	5	0	75
5	490~510		0	84	0	0	4	73
6	725	J ₃ k	1	85	0	5	8	91
7	800~820	J ₃ q	6	76	0	10	8	92
8	870~890		4	85	0	8	5	83
9	934~940		6	84	0	8	5	72
10	992.90~996.70		2	85	0	8	5	82
11	1110.13~1111.13		4	87	0	5	4	80
12	1135.51~1142.93		22	0	51	12	8	63
13	1193.66~1201.30		10	73	0	11	6	77
14	1190.14~1200.42		11	78	0	7	6	85
15	1255~1260		7	0	76	10	7	74
16	1398~1400		27	0	51	13	9	82
17	1480~1490		20	0	50	14	10	80
18	1592~1600		28	59	0	12	7	74
19	1652~1700		30	0	51	11	8	63
20	1742~1750		26	0	82	11	7	80
21	1830~1840		24	0	57	11	8	85
22	1880~1890		37	0	42	9	11	87
23	2000~2040		12	0	35	11	8	42
24	2100~2110	J ₂ q	31	0	54	7	8	40
25	2150~2160		24	0	55	12	10	45

由表可以看出：

①地表到第三系层组的泥岩中粘土矿物主要为蒙脱石，其含量 65%~92%，部分层位含有伊蒙混层，混层中蒙脱石含量 72%~91%。

②上侏罗系 J₃q 层组泥岩中几乎不含蒙脱石，而伊利石含量为 2%~37%，伊蒙混层占多数，相对含量在 66%~88%之间，伊蒙混层中蒙脱石含量为 44%~90%之间，高岭石相对含量为 8%~13%，绿泥石相对含量约 6%。该层泥岩膨胀率较大，约为 33%左右，40 目回收率为 43%，CEC 值为 24meq/100g_±。

③中侏罗系 J₂q~J₂s 泥岩中伊利石占大多数，其相对含量为 7%~61%，伊蒙混层相对含量为 16%~45%，高岭石相对含量为 10%~27%，绿泥石相对含量为 8%~9%。J₂s 地层泥岩中，晶态粘土矿物绝对含量为 60%~65%。该段 J₂q 层组泥岩膨胀率在 33%左右，40 目滚动回收率为 43%，CEC 值为 24meq/100g_±；J₂s 地层膨胀率为 25%~30%，40 目滚动回收为 60%~80%，CEC 值为 5~16meq/100g_±。

④中侏罗系 J₂x 泥岩中伊利石和伊蒙混层的绝对含量为 23%~44%，高岭石的绝对含量为 9%~19%，绿泥石的绝对含量为 3%~4%。该段泥岩中晶态粘土矿物绝对含量一般在 50%~60%左右，泥岩膨胀率为 6%~10%，40 目滚动回收率为 72%~95%，CEC 值为 3.7

~14meq/100g±。

⑤中侏罗系 J₂q~J₂x 地层阳离子交换容量低,造浆能力弱,而且该段地层裂隙发育,易使泥岩水化膨胀,加之应力释放,易造成解离坍塌。

二、钻井岩石力学特性分析与钻头选型

为了全面掌握丘陵油田纵向及横向上钻井岩石力学特性变化规律,共分析了十口完钻井的岩石力学特性。

钻井岩石力学特性预测原理基于岩石力学特性与测井纵横波速的固有关系,数学模型为:

$$k_i = \alpha_i \frac{E^{\alpha_i} \times e^{(b_i \cdot V_{sh})}}{(1 + \mu)^{\beta_i} \times (1 - 2\mu)^{\gamma_i}}$$

式中 k_i ——岩石机械强度, MPa;

α_i ——方程系数;

E ——岩石弹性模量, MPa;

b_i ——泥质含量对岩石特性的影响系数;

μ ——岩石泊松比;

V_{sh} ——泥质含量, %;

α_i 、 β_i 、 γ_i ——分别代表岩石抗张、抗剪和抗压指数。

根据钻井岩石力学特性,运用灰色聚类法优选钻头类型。此种优选法的优点在于综合考虑了岩石的可钻性、塑性系数、硬度、抗剪和抗张强度。灰色聚类优选钻头类型的基本原理基于灰色系统理论——聚类分析原理:以灰数的白化函数生成为基础,将聚类对象对不同聚类对象指标所拥有的白化数,按 N 个灰类进行归纳,以判断聚类对象所属灰类。经过构造样本矩阵、确定灰类白化函数、求取聚类权和聚类系数、构造聚类向量和进行聚类求取聚类值等步骤,根据聚类值和相关分类标准,即可进行优选钻头类型。

利用“钻井岩石力学特性预测系统”,可以建立典型井钻井岩石力学剖面(见图 1-2-1)并优选出相应钻头类型。

①西域组(Q):地层厚度约 60~300m,岩性主要是砾石、砂、砂质粘土。从岩石可钻性看,其级值范围为 1.77±0.15,硬度值为 136±21MPa。地层属于极软—软地层,塑性系数为 2.6,属中塑地层。岩石抗剪强度为 1.95MPa,按可钻性级值与钻头对应关系,选择 X3A、X22、ATJ11 钻头。

②葡萄沟组(N₂p):地层厚度约为 10~360m,岩性为砂岩、砂质泥岩与砾岩互层。岩石可钻性级值为 2.27±0.82,硬度值为 662±213,按岩石分类属软地层,塑性系数 1.53,地层属低塑性,岩石抗剪强度为 6.68±1.66MPa,推荐钻头型号 ATJ11、ATM11、J11。

③桃树园组(N₁t):地层厚度约为 130~360m,岩性为泥岩、砂岩夹砾岩、岩石可钻性级值为 3.13±0.98,硬度值 432±125,地层分类属软地层,岩石塑性系数为 1.50,抗剪强度 4.85,推荐钻头型号 ATM11、J11、J22。

④齐古组(J₃q):该组厚度约为 1000~1300m,主要岩性为砂质泥岩、泥岩夹砂岩、粉砂岩、可钻性级值为 4.60±0.87,硬度为 761±317MPa,地层属软—中等硬度;塑性系数为 1.55,属低塑性地层,抗剪强度为 7.36MPa。由于地层不含砾石,可钻性和硬度值分级均为软—中等,推荐钻头为 QP19H、J22、J11C。

⑤七克台(J₂q):地层厚度约为 130~310m,岩性主要为泥岩夹细砂岩、石英长石砂岩,可钻性级值 4.79±0.9,岩石硬度为 1061±300MPa,地层岩石属中等硬度,塑性系数为 1.59,

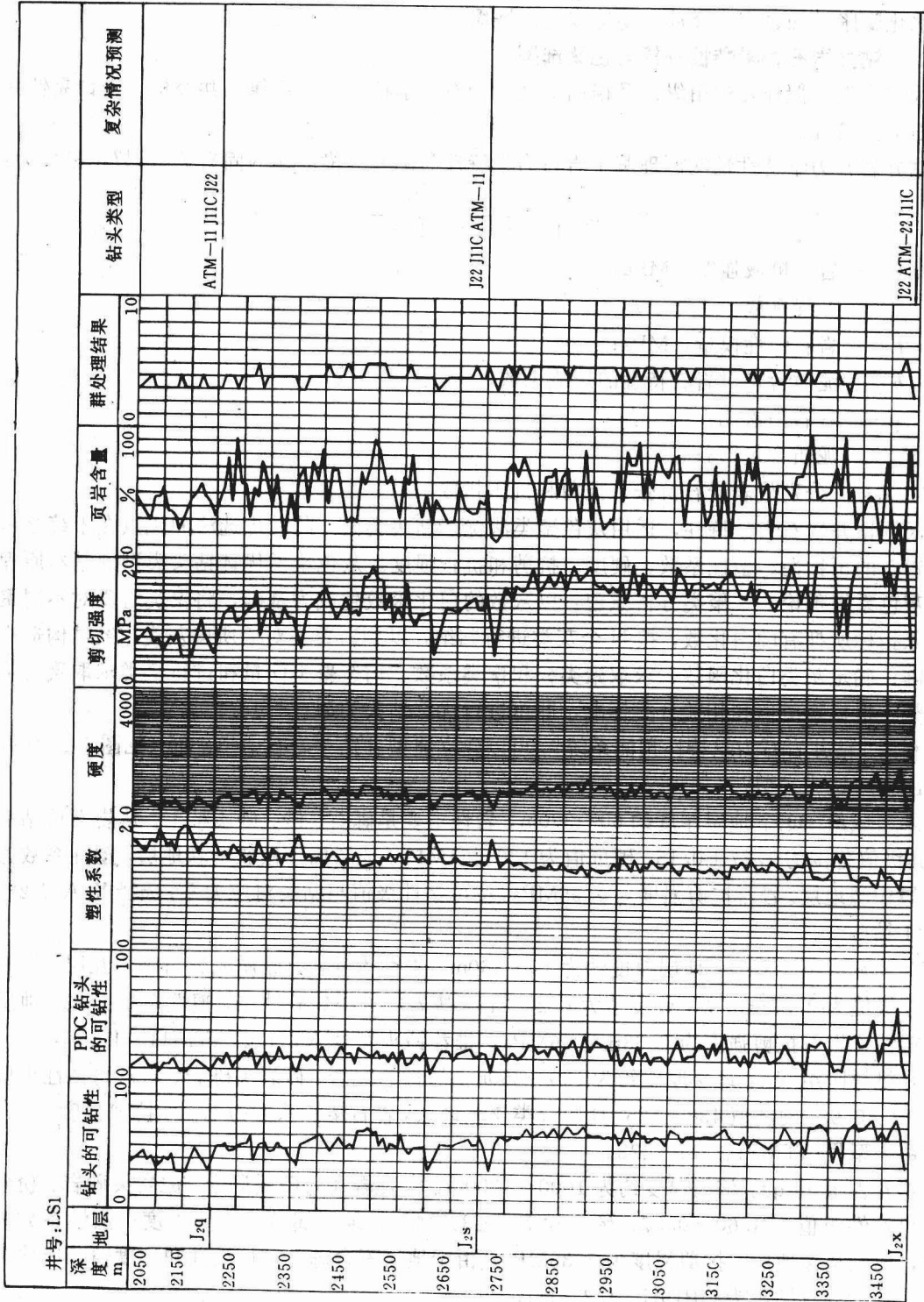


图 1-2-1 钻井岩石力学特性剖面

抗剪强度为 7.39 ± 2.1 MPa。由于该地层较齐古组地层硬，推荐钻头类型为：QP19H、J22。

③三间房 (J_2s)：地层厚度约 180~330m，主要岩性为砂质泥岩夹砂岩、砂砾岩、地层岩石可钻性为 4.44 ± 0.48 ，岩石硬度为 1412 ± 100 MPa，地层属中等硬度，塑性系数为 1.61，抗剪强度为 7.76 MPa，推荐钻头类型为 QP19H。

⑦西山窑组 (J_2x)：地层厚度为 400~730m，主要岩性为粗砂岩与砂质泥岩互层，夹煤层及菱铁矿，地层岩石可钻性 4.4 ± 0.48 ，硬度 1085 ± 120 MPa，地层岩石属中硬，抗剪强度 6.45 ± 3.13 MPa，塑性系数为 1.62，属低塑性地层，推荐钻头类型 QP19H、J22。

三、“三压力”剖面的建立

“三压力”即地层孔隙压力、破裂压力和坍塌压力。建立“三压力”剖面是确定合理井身结构、合理钻井液密度、预防复杂和实施油层保护措施的地质力学基础。

地层孔隙压力剖面的建立，经过声波时差、dc 指数和密度测井三种方法精度对比，以声波时差法误差最小，相对误差仅为 4.8%，换算式采用伊顿式。

地层破裂压力采用了声波法、地应力法和黄荣樽法，对比结果表明选用声波（地应力）法效果好，相对误差为 -5.3%。

声波（地应力）法预测地层破裂压力的模式为：

$$p_f = \frac{2\mu_d}{1-\mu_d} \times \sigma_o + \frac{1-3\mu_d}{1-2\mu_d} \times a \times p_p - K(\sigma_o - a p_p) + S_i$$

式中 p_f ——地层破裂压力，MPa；
 p_p ——地层孔隙压力，MPa；
 σ_o ——上覆岩层压力，MPa
 S_i ——岩石抗拉强度，MPa；
 a ——地层孔隙压力对各应力的贡献系数；
 μ_d ——岩石动泊松比；
 K ——广义构造应力系数。

坍塌压力的计算的主要特点是，考虑实际影响因素多，对两破坏准则进行了修正，破坏准则主要模式有二。

①Mohr—coluomb 修正准则：

$$0.5\sigma_m(1 - \sin\phi) - 0.5\sigma_m(1 + \sin\phi) + \alpha p_p \sin\phi - \tau_{oy} \cos\phi = 0$$

式中 σ_m ——井壁最大主应力，MPa；
 ϕ ——岩石内摩擦角，度；
 α ——孔隙压力贡献系数，即修正系数；
 p_p ——地层孔隙压力，MPa。

②П—Prager 修正准则：

$$\tau_{oct} = \tau + m(\sigma_{oct} - \alpha p_p)$$

$$\tau = \frac{2\sqrt{2}\tau_{oy}\cos\phi}{3 + \sin\phi}$$

$$m = \frac{2\sqrt{2}\sin\phi}{3 + \sin\phi}$$

式中 τ_{oct} ——八面体剪应力，MPa；

τ_{ov} ——原地岩石固有的抗剪强度。

利用对应井深的测井资料（纵横波时差、自然 γ 、岩石体积密度、中子测井值、井斜方位）及有关的实钻参数（钻井液密度、API失水、地应力测量数据），将其代入“摩尔—库仑准则”和“德鲁克—普拉格准则”，用迭代的方式得出地层孔隙压力、漏失压力、坍塌压力的纵向剖面，然后利用计算机井眼稳定评估WBSEP系统，得出丘陵三压力梯度的等值图和立体图，其纵横向上的变化规律如图1-2-2至图1-2-5所示。

1. 地层孔隙压力

该地区具有三个独立的压力系统。丘陵东块地层孔隙压力主要受岩石圈闭作用，地层压实性好，不存在高压；丘陵东块（陵7井以东的区域）地层孔隙压力当量密度在 $0.97\sim 1.02\text{g/cm}^3$ 之间变化；丘陵中央（陵32井以东，陵7井以西区域）地层孔隙压力当量密度在 $0.97\sim 1.02\text{g/cm}^3$ 之间变化，大体上讲，构造北翼比南翼稍高；丘陵西块（陵32井以西区域）地层孔隙压力主要受①号断层的控制，且向①号断层方向压力逐渐增大，最大孔隙压力当量密度可达 1.11g/cm^3 ，从纵向上看，微高压出现的井深约2200m左右，其孔隙压力当量密度随井深的增加而渐增，该块既有正常压力区，又有微高压区，正常压力区是以陵9井为界向北东方向至①号断层，其孔隙压力当量密度变化范围在 $1.03\sim 1.06\text{g/cm}^3$ 之间，微高压区是以陵9井和①号断层为界，其压力变化规律是由北东—南西逐渐增大，其孔隙压力当量密度值由 1.06g/cm^3 增加至 1.16g/cm^3 ，其微高压出现深度约在2300m左右，其压力变化随井深增大而逐渐增大。

2. 地层漏失压力

通过研究得知，漏失压力不仅和原地压力场有关，而且与构造位置有关。从宏观上看，西区漏失压力变化幅度小，三间房砂层的漏失压力当量密度大，其变化范围为 $1.42\sim 1.81\text{g/cm}^3$ ，在陵32井和陵6井一线形成漏失压力低点区，其漏失压力在 $1.42\sim 1.60\text{g/cm}^3$ 之间，主要受①、③、⑤、⑥、⑦号断层的控制，在陵8井附近，地层强度高，漏失压力相对高，最高可达 1.81g/cm^3 ，在该处向四周扩展，地层漏失压力逐渐降低，该小区主要受岩性圈闭的作用；就东区看，以陵37井为漏失压力较高点，该区最高值达 1.72g/cm^3 ，向四周延展，漏失压力相对降低，最小值为 1.45g/cm^3 ，从纵向上看，地层漏失压力整体变化趋势与地层、岩性、构造位置有关，其规律性是：在七克台和三间房的不整合界面处漏失压力较低，其值低达 1.45g/cm^3 ，在三间房与西山窑界面处，漏失压力亦较低，最小值到 1.42g/cm^3 ；在三间房组的地层漏失压力变化范围是 $1.42\sim 1.81\text{g/cm}^3$ （图1-2-1）。因此从防漏的角度来看，钻井实际钻井液密度小于 1.40g/cm^3 较为合理，钻井实践也证实了这一点。

3. 地层坍塌压力

地层坍塌压力即井眼压性失稳临界应力。丘陵中西块，从纵向看（见图1-2-2），上侏罗系的齐古组地层坍塌压力当量密度在 $1.15\sim 1.22\text{g/cm}^3$ 之间变化；中侏罗系七克台组地层坍塌压力当量密度在 $1.23\sim 1.28\text{g/cm}^3$ 之间；中侏罗系三间房地层坍塌压力当量密度基本上在 $1.24\sim 1.28\text{g/cm}^3$ 之间变化，但在陵22井与陵13井一线坍塌压力当量密度值较高，最高值达 1.33g/cm^3 。从横向上看，中侏罗系三间房组以上地层最大坍塌应力的分布规律为：在陵32、陵12、陵7、陵24、陵6井所包围的区间内，坍塌压力当量密度基本上在 $1.2\sim 1.28\text{g/cm}^3$ 之间变化，主要受构造和断层的控制。在陵7、陵36以东即丘陵东块，从纵向上看，中侏罗系七克台组地层坍塌压力当量密度为 $1.18\sim 1.23\text{g/cm}^3$ ，中侏罗系的三间房组地层坍塌压力当量密度基本上在 $1.20\sim 1.28\text{g/cm}^3$ 之间变化，仅有陵38井的坍塌压力稍高，主要是受⑧号断