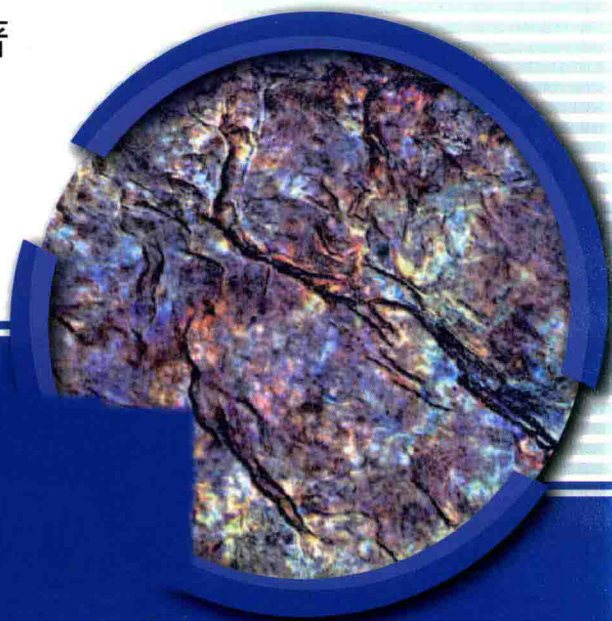


石油地质勘探类系列书

TIGHT SANDSTONE RESERVOIR
PREDICTION AND EXPLORATION

致密砂岩储层 预测与勘探

胡伟光 肖伟 王涛◎编著



中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

致密砂岩储层预测与勘探

胡伟光 肖伟 王涛 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书以四川盆地陆相致密砂岩储层预测的勘探实例为基础,系统阐述了致密砂岩储层预测的原理及详细的技术方法、应用实例。针对四川盆地陆相须二、须四段致密砂岩储层的预测,基于叠前或叠后地震资料、建模技术使用相关的技术方法分别进行计算,得到致密砂岩储层预测成果并进行分析、研究,探索及讨论其实用性、适用性;本书还总结了储层预测的关键点——对致密砂岩储层的空间分布信息、裂缝发育情况、构造应力场分析及含气性检测分步骤实施计算,并对所得到的预测结果进行综合分析研究,从而可以确定致密砂岩储层的分布区域及对勘探井或预探井的储层段进行评价。

本书可供全球各大石油公司从事致密砂岩储层或其他类型储层的勘探、开发、研究的人员参考,也可供高等院校石油地质、地球物理、石油工程等相关专业的师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

致密砂岩储层预测与勘探 / 胡伟光,肖伟,王涛编著.
—北京:中国石化出版社,2016.7
ISBN 978-7-5114-4138-6

I. ①致… II. ①胡… ②肖… ③王… III. ①致密砂岩-砂岩储集层-研究 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 146763 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

700×1000 毫米 16 开本 10.25 印张 175 千字

2016 年 7 月第 1 版 2016 年 7 月第 1 次印刷

定价:42.00 元

前 言

我国致密砂岩气资源量巨大，仅深盆气资源量就已超过 $100 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，可采资源量超过 $13.81 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，具有广阔的勘探前景。目前已发现的致密砂岩气储量主要分布在中部的四川盆地和鄂尔多斯盆地，以及东部的松辽盆地和西部的吐哈盆地。随着勘探程度的增加和勘探技术的提高，致密砂岩气将在天然气探明储量中所占的比例越来越高。

探讨致密砂岩储层的成因，其中成岩作用对储层的致密化起决定性作用，而沉积环境依然是控制致密砂岩储层形成的基本因素。总的来说，致密砂岩储层通常具有“多期河道、相带控砂、甜点富气、物性控产”的特点。此外，在研究致密砂岩储层“有效储渗体”的地震预测技术方面，现阶段的常规技术可分为两个步骤：一是砂岩储层精细地质建模，精细刻画出有利储层的发育相带；二是以综合地质模型为基础，以多尺度正演模拟为桥梁，研究及探索深层致密砂岩气藏的地震采集新技术和深层裂缝检测新技术以及含气性检测技术。

为了更好地指导及研究致密砂岩储层预测，应业内同行要求，我们组织了针对元坝、ybd地区的须二段及须四段的致密砂岩储层预测成果并进行分析研究，集成编著成书，探索、研究中国石化勘探分公司在这些地区油气勘探中的成功经验，期待对中国的油气储层预测、勘探实践具有指导和借鉴作用。

本书共分为6章,第一章为四川盆地陆相致密砂岩储层的分析,有助于读者了解相关致密砂岩储层的孔隙、裂缝发育特点。第二至第五章重点阐述致密砂岩储层预测的原理及实践操作、应用实例,利用成熟的商业软件分别对有关地区的致密砂岩储层段进行预测及成果展示。第六章是对致密砂岩储层预测的集成总结,结论可以给读者一些启示及思考。主要的认识和成果简述如下。

(1)致密砂岩储层的沉积相分析相当关键,可为后续的储层预测提供大致的勘探区域。

(2)沉积相分析可采用地震属性或波形进行地震相分类,并对这些地震相利用井上的沉积相进行标定分析,从而对地震相实施解释并转换到相关的沉积相上。

(3)针对裂缝方向的预测,以构造应力场分析技术所计算的裂缝方向与井上的实测裂缝方向误差较小,其他裂缝预测技术所得的预测结果则与实测结果误差相对较大。

(4)综合使用地震相分类、地震属性及叠后波阻抗反演技术、多参数降维技术及分频孔隙度反演技术的结果可得到致密砂岩储层的空间位置信息。

(5)叠后高精度曲率、相干检测、叠前P波各向异性检测及基于模型的裂缝预测等裂缝预测技术各有优缺点,预测的裂缝规模及精确度各不相同。针对储层裂缝预测的数据输入,叠前地震资料要优于叠后地震资料,因为叠前地震资料包含更多的信息,如方位角、振幅、频率等信息,并且对于微型规模的裂缝探测使用叠前资料也要优于使用叠后地震资料所得到的结果。

(6)从裂缝建模技术预测结果来看,在有成像测井资料约束的井上吻合结果较好,而无井约束的井点位置预测存在不确定性。因此,工区成像测井资料井的数量及分布、地震属性的准确度及约束条件等情况决定了裂缝建模技术的裂缝预测精度。

(7)通过对钻井产能与构造、沉积、岩性、物性、裂缝发育程度等的综合分析,认为致密砂岩储层预测需要对储层空间分布信息、裂缝预测、构造应力场分析、含气性检测4种技术所得的成果进行综合研究分析,从而确定致密砂岩储层的发育区域。

(8)针对提高地震资料的信噪比及分辨率可以对采集及处理进行技术攻关,使其得到的地震数据更好地为属性提取、反演、裂缝预测服务。

(9)针对致密砂岩储层的预测难点,可根据砂岩储层的岩石物理响应特征及相关数据体,按照去泥、岩屑砂中找钙屑砂、灰质砾岩储层,储层中找高孔隙好储层、高孔隙好储层评价其裂缝发育、含气性的思路实施储层预测评价。

本书是中国石化参与四川盆地内致密砂岩气勘探决策、评价研究和物探技术攻关的全体管理及技术人员智慧的结晶,从多年的储层预测研究成果中进行总结,在这项集体劳动成果集结出版的时候,笔者对上述参加人员表示衷心的感谢!也感谢为本书编撰辛勤付出的绘图人员。

由于现阶段的油气勘探进程较快,对相关的致密砂岩储层预测成果的分析、认识可能不足,并且本书成果集成总结的时间相对紧张,再加上作者水平有限,书中错误和分析不妥之处望读者不吝赐教。

目 录

1 概 论	(1)
1.1 砂岩储层特征	(3)
1.2 砂岩裂缝特征	(13)
1.2.1 裂缝发育特征	(15)
1.2.2 裂缝充填特征	(17)
2 砂岩储层空间分布信息预测	(20)
2.1 沉积相、地震相预测技术	(20)
2.1.1 沉积相标志和单井相划分	(21)
2.1.2 地震相划分	(25)
2.1.3 波形地震相分析原理	(25)
2.1.4 地震相分析实践	(26)
2.2 地震属性分析法	(28)
2.3 叠后波阻抗反演技术	(37)
2.3.1 相控下拟声波反演	(38)
2.3.2 反演实践分析	(41)
2.4 多参数降维技术	(43)
2.5 分频孔隙度反演技术	(46)
3 砂岩储层裂缝预测	(49)
3.1 相干体技术	(50)
3.1.1 相干数据体计算实现方法	(53)

3.1.2	相干技术参数的选择	(53)
3.1.3	应用实践	(54)
3.2	曲率技术	(58)
3.2.1	曲率技术简介	(58)
3.2.2	曲率技术计算原理	(59)
3.2.3	应用实践	(63)
3.3	方位地震 P 波属性裂缝预测	(63)
3.3.1	AVA(方位 AVO)分析法	(65)
3.3.2	VVA 分析法	(67)
3.3.3	IPVA 分析法	(68)
3.3.4	FVA 分析法	(68)
3.3.5	AVAZ 分析法	(68)
3.3.6	应用实践	(69)
3.4	基于模型的裂缝预测	(77)
3.4.1	裂缝密度曲线建立	(79)
3.4.2	构造模型建立	(79)
3.4.3	表征裂缝的地震属性分析	(82)
3.4.4	裂缝连续性建模	(84)
3.4.5	预测效果分析	(84)
3.5	基于模型的多尺度裂缝综合预测	(89)
3.5.1	离散裂缝模型	(89)
3.5.2	实践预测分析	(93)
4	构造应力场模拟	(97)
4.1	构造部位和构造应力	(98)
4.2	应力场分析技术	(99)
4.3	裂缝有效性分析	(102)
4.3.1	现今最大主应力特征	(102)
4.3.2	裂缝有效性分析	(104)
4.4	应用实践分析	(106)

5 含气性检测	(109)
5.1 吸收衰减分析法	(111)
5.1.1 吸收衰减的应用原理	(113)
5.1.2 应用实践	(116)
5.2 AVO/FVO 技术	(117)
5.2.1 基本弹性参数	(118)
5.2.2 纵波与横波	(119)
5.2.3 速度、密度与波阻抗、孔隙度和弹性系数的关系	(120)
5.2.4 AVO 反演属性成果及油气物性含义	(121)
5.2.5 CMP 道集处理及叠前弹性波阻抗计算	(125)
5.2.6 AVO 反演实践分析	(127)
5.3 属性交会技术	(129)
5.3.1 梯度与截距交会	(129)
5.3.2 泊松比与纵波阻抗交会	(139)
6 结束语	(142)
参考文献	(144)

1 概 论

随着油气勘探开发的不断深入和发展,常规的孔隙型油气田进入后期开发阶段,老油气田的勘探开发难度与日俱增,常规的剩余油气资源储量日益减少。油气资源的勘探方向由浅部转向深部、由常规转向非常规,致密气、煤层气、页岩气和致密油等非常规油气资源都显示出良好的勘探前景。比如致密气和页岩气的发展使美国天然气探明储量从2002年的 $4.96 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 增加到2008年的 $6.86 \times 10^{12} \text{ m}^3$,增幅超过38%。中国在非常规油气资源的勘探开发取得了许多显著成绩,相继获得一系列重大发现(如四川盆地的焦石坝页岩气田),在我国油气勘探开发中扮演着越来越重要的角色。

在国外油气勘探方面,非常重视对低渗透致密砂岩裂缝性储层的研究。根据美联邦能源部的推测:在2010年之前,产自于裂缝性储层的天然气不到美国天然气总产量的20%,但预测到了21世纪30年代,产自低渗透裂缝性储层的天然气将会占到美国天然气总产量的50%。

国外对致密储层裂缝的研究从20世纪中叶开始,至今形成了丰富的理论知识和研究方法。如国外知名学者Nelson等对裂缝性储层的表征以及裂缝的形成机理等做了大量研究;90年代,Price提出裂缝的发育程度与岩石中的弹性应变能成正比;Murray等以构造的结构特征为出发点,探讨了构造形变主曲率与裂缝发育的关系,并建立了裂缝性岩体的力学模型;1982年,Masanobu Oda将裂隙张量运用于各向异性裂隙岩体的孔隙性指数的研究中;1984年,Narr等提出在一定岩层厚度范围内,单组裂缝的平均间距与裂缝的岩层厚度比值呈线性关系。

在地球物理方面,根据地震波在介质中传播具有明显的方位各向异性理论,利用地震资料研究致密储层裂缝来预测致密储层中的裂缝发育带,并获得巨大的成功。另外,多波多分量地震被许多国内外石油公司和地球物理公司列为技术跟踪对象,并有相当多的成果见诸报道及相关学术论文、专利。例如Perez、Lynn、Shbhashis、Malliek等利用P波AVO梯度检测油藏中与裂缝有关的方位各向异性,

并利用三维 P 波资料直接检测裂缝密度和定向预测裂缝分布带；1995 年，Bahorich 和 Farmer 首次提出地震相干技术，通过计算相邻地震道的相似性来检测地质目标体边缘；近年来，英国爱丁堡 EAP 研究室运用多分量地震资料来研究地层各向异性，在理论和实际应用方面对多分量地震勘探技术进行了深入研究。

在我国国内致密砂岩储层勘探成果方面，现阶段致密砂岩气年产量约占全国天然气总年产量的 20%，成为油气资源储量和产量增长的亮点。随着油气勘探开发技术的不断进步，我国陆续发现了苏里格、广安、元坝等大型致密气田，油气产量和储量显著增长。其中，苏里格气田探明天然气地质储量约为 $2.85 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，四川盆地中部地区须家河组探明天然气地质储量约为 $0.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，天然气勘探开发潜力巨大。



图 1-1 川东北旺苍县鼓城乡某景区内砂岩中沿层理裂缝面渗出的原油油渍

大量的勘探资料表明，四川盆地东北部元坝及 ybd 地区的陆相储集层段均表现出低孔、低渗的特征，储集空间以裂缝和溶蚀孔隙为主，裂缝对有效储集层的形成具有关键作用——裂缝在致密砂岩储层中既是储集空间（图 1-1），也是流体的渗流通道，对裂缝的研究是裂缝性油气藏勘探开发的重中之重。

通过已有研究工作和勘探实践表明，元坝地区上三叠统须家河组—下侏罗统发育多套层系的储层，须家河组二段、三段、四段和自流井组珍珠冲段发育多套砂层组。受物源的控制，主力储层在元坝、ybd 地区的分布略有差异，元坝地区西部以须二段、须三段储层为主，如 yb22 井在须二段致密砂岩储层的油气测试结果

为 $20.56 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ；而元坝中部和东部则以须四段和珍珠冲段储层为主，如 yb3 井在须四段致密砂岩储层的油气测试结果为 $22.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。大量的生产实践证明，元坝地区主力陆相砂岩储层为低孔、低渗的致密储集层，基质孔隙度不高，裂缝相对发育，为典型的“孔隙+裂缝”型双重介质储层。勘探实践表明，如果储层孔隙不发育但裂缝发育，油气井的初期产量则较高，但是产能衰减很快。因此，天然气井的高产和稳产需

要储集层裂缝、孔隙的匹配,叠合了“裂缝+孔隙”系统的有效储层的分布区才是油气富集高产的有利区域。因此,对致密砂岩储层裂缝和孔隙分布区域的研究成为现今陆相油气勘探工作的重中之重。

元坝气田陆相须家河组二段埋深一般约在4000~5500m范围(属于深层致密砂岩范畴),该段有利储层岩性主要为岩屑砂岩、岩屑石英砂岩、长石岩屑(或岩屑长石)石英砂岩、钙屑砂岩和砾岩等。一些钻井岩心铸体薄片反映须二段储层的孔隙空间中原生孔隙遭受破坏,剩下的孔隙类型主要为次生孔隙。储层基质物性较差,一般孔隙度小于8%,平均为5.8%;基质渗透率很低,多数低于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.2299 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于低孔、低渗的孔隙型储层,储层局部发育裂缝。当储层中发育裂缝时,渗透率则急剧增加。

元坝气田北部的九龙山构造(中石油)针对须二段砂岩储层取心共计7口井,进尺约为584.63m,岩心收获率为99.62%。钻井资料表明该层段的裂缝类型较全,有张性缝、剪切缝、溶蚀缝及微裂缝等,其中张性缝占33%、半充填缝占61.8%。裂缝分布具有“占高点、沿长轴、沿高曲率、沿断层”的特点,其中龙4井、龙12井、龙13井处于裂缝发育带,发育多种类型裂缝,这些裂缝对于改善超致密储层的储集性能起到重要的作用,因此获得高产工业气流;同样位于构造部位的龙5井、龙7井、龙8井及龙10井由于裂缝不发育,未获工业气流。可见在须二段致密砂岩中寻找裂缝发育带是寻找该储层段油气聚集带的一个关键因素。

1.1 砂岩储层特征

四川盆内地层发育相对较全,沉积了自元古界至新生界共计10个层系的地层。自下而上分别为上震旦统、寒武系、奥陶系、志留系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、第四系,进一步详细划分为30个组级地层单元。其中,上三叠统一第四系为陆相沉积,沉积岩岩性以砂岩、泥质岩为主(第四系未成岩);中三叠统一上震旦统为海相沉积,沉积岩性以碳酸盐岩、泥页岩及砂岩为主。

元坝气田陆相须家河组地层厚度约为397.5~731m,按岩性可分为5段,自上而下为须五段、须四段、须三段、须二段和须一段(表1-1)。川东北地区须家河组顶部因“印支晚幕运动”影响,侵蚀明显,元坝气田缺失须六段及部分须五段地层,其中一、三、五段以泥岩为主,二、四段以砂岩为主。元坝气田须家河组整体上由东向西、从南向北呈增厚的趋势,其中在西北部须家河组地层厚度最大。现在对须家河组地层自上而下详细描述如下。

表 1-1 川东北元坝陆相气田地层简表

系	统	组	段	厚度/ m	层位 代号	岩性概述	岩相特征
白垩系	下统	剑门关组		0~680	K _{1j}	棕红色、灰色泥岩与黄灰、棕、灰色细砂岩、粉砂岩不等厚互层	冲积扇 - 湖泊 - 三角洲相
侏罗系	上统	蓬莱镇组		1000~1400	J _{3p}	棕灰、棕红色泥岩与棕灰、紫灰色长石岩屑砂岩	浅湖与河流相
		遂宁组		300~350	J _{3s}	棕、紫棕、棕红色泥岩和粉砂质泥岩为主, 夹棕灰色粉砂岩、泥质粉砂岩	三角洲 - 湖泊相
	中统	上沙溪庙组		800~1680	J _{2s}	棕紫色泥岩与灰、灰绿色岩屑长石石英砂岩	河流 - 三角洲 - 湖泊相
		下沙溪庙组		100~650	J _{2x}	紫红、暗紫红、棕紫色泥岩、粉砂质泥岩与浅灰、灰绿色细砂岩不等厚互层	
		千佛崖组		200~500	J _{2q}	绿灰色泥岩与浅灰色细 - 中粒岩屑砂岩夹黑色页岩	河流与湖泊相
	下统	自流井组		340~610	J _{1z}	灰色灰绿色泥岩、岩屑砂岩及黑色页岩、顶有介壳灰岩	三角洲 - 湖泊 - 冲积扇相
三叠系	上统	须家河组	五段	0~140	T _{3x} ⁵	为灰色细砂岩、粉砂岩、中砂岩与灰 - 深灰色泥岩不等厚互层	湖泊沼泽
			四段	0~145	T _{3x} ⁴	灰色块状中粒富岩屑砂岩、灰白色、深灰色砾岩为主, 夹灰色泥质粉砂岩、灰黑色页岩及煤线	三角洲
			三段	27.5~285	T _{3x} ³	深灰色、灰色泥岩、粉砂质泥岩为主, 夹灰色细砂岩、砾岩、砂砾岩、粉砂岩、黑色碳质泥岩及煤层	三角洲与湖泊

续表

系	统	组	段	厚度/ m	层位 代号	岩性概述	岩相特征
三 叠 系	上 统	须家河组	二段	132~335	T ₃ x ²	上部和下部为浅灰色厚层中、细砂岩夹薄层深灰色泥岩,中部为灰-深灰色泥岩夹细砂岩	三角洲与湖泊
			一段	24~138	T ₃ x ¹	灰色粉砂岩、泥质粉砂岩、浅灰色细砂岩与深灰色粉砂质泥岩、泥岩互层,底为灰色厚层细砂岩	潮控三角洲
	中统	雷口坡组	四段	113~336	T ₂ l ⁴	上部灰-深灰色灰质云岩、白云岩、灰岩,局部含砂屑白云岩;下部为膏岩与白云岩的互层,夹含泥灰岩,底部主要为泥晶灰岩夹白云岩和石膏岩	局限-蒸发台地

(1) 须五段: 岩性主要为深灰色泥岩、灰黑色碳质泥页岩、煤层夹岩屑砂岩, 主要为滨浅湖相沉积, 厚度为 0~140m, 是川东北地区重要的煤系地层和烃源岩系地层之一。须五段上覆地层为下侏罗统自流井组珍珠冲段厚层砾岩, 二者为不整合接触。

(2) 须四段: 岩性以灰色块状中粒富岩屑砂岩为主, 灰白色、深灰色砾岩夹灰色泥质粉砂岩、灰黑色页岩及煤线, 厚度为 0~145m, 主要为辫状河三角洲沉积。

(3) 须三段: 按岩性组合可细分为上、中、下 3 个亚段, 厚度为 27.5~285m, 总体表现为砂岩和泥岩互层的特征。须三上亚段岩石类型主要为深灰色泥岩、泥质粉砂岩夹厚层钙屑砂砾岩、钙屑砂岩、岩屑砂岩, 厚度为 12~89m, 自西北向南东方向, 地层厚度变薄, 岩性变细, 主要为辫状河三角洲平原沉积; 须三中亚段为深灰色泥岩、泥质粉砂岩夹厚层钙屑砂岩、岩屑砂岩, 少量钙屑砂砾岩, 厚度为 34~148m, 自西北向南东地层厚度变薄, 为辫状河三角洲前缘沉积; 下亚段岩性相对较细, 主要为深灰色、灰色厚层泥岩和泥质粉砂岩, 部分地区发育薄层钙屑砂岩及岩屑砂岩, 厚度为 6~118m, 为辫状河三角洲前缘沉积。元坝气田须三段地层自西向东、自北向南呈变薄的趋势。

(4) 须二段：按岩性分为上、中、下 3 个亚段，厚度为 132 ~ 335m，为砂 - 泥 - 砂地层组合模式。上亚段和中亚段发育厚层 - 块状中粒、细粒岩屑砂岩、岩屑石英砂岩、石英岩屑砂岩，为辫状河三角洲前缘沉积，中亚段发育深灰色泥岩、粉砂质泥岩夹薄层细砂岩及少量煤线，为滨浅湖相沉积。

(5) 须一段：厚度为 24 ~ 138m，岩性主要为深灰色、灰黑色泥岩和碳质泥岩夹粉砂岩、细砂岩，主要为潮控三角洲前缘沉积。须一段下部地层与中三叠统雷口坡组海相碳酸盐岩地层为不整合接触。

对元坝地区的岩屑薄片鉴定结果表明，须二段除顶部发育一套约 20m 厚的中 - 细粒石英砂岩外，岩性主要为中 - 粗粒岩屑砂岩。其中，石英砂岩中的石英含量约占 80% ~ 85%，阴极发光数据表明其母源都来自变质岩，其余成分为变质岩石岩屑和填隙物。其磨圆度较好，分选极好，岩石的结构成熟度和成分成熟度均较高，表明沉积颗粒经过稳定能量的反复筛选、淘洗。而岩屑砂岩(图 1-2)中石英含量约为 30% ~ 40%，长石含量约为 10%，主要为钾长石，极少量斜长石；岩屑以变质岩为主，含量约为 13% ~ 15%，多为变质石英岩；沉积岩岩屑含量约为 10%，但由于取样深度不同局部可高达 38%，主要为白云岩或灰岩；岩浆岩岩屑含量不超过 5%。总体粒度较粗，分选中等 - 较好，磨圆大多较差，以次棱角为主。胶结类型主要为孔隙式胶结，填隙物是以绿泥石、黏土或高岭土的杂基和白云石或硅质为主的胶结物。岩石的结构成熟度和成分成熟度均较低，表明颗粒具有快速沉积的特点。

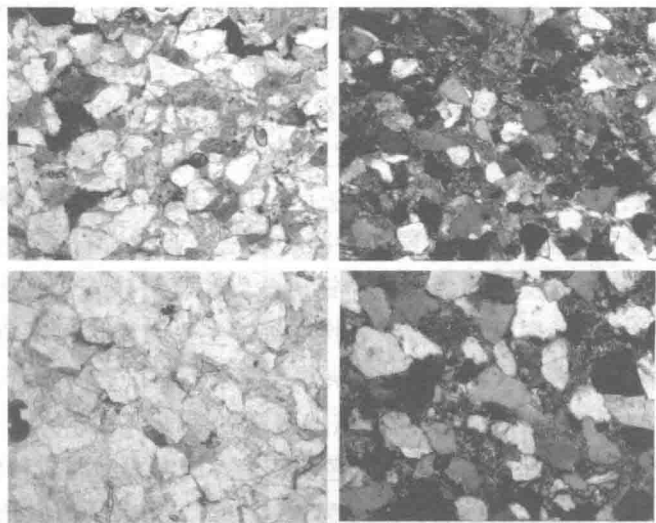


图 1-2 yb3 井、yb4 井中须二段部分岩屑砂岩薄片(×50)

1) 须二段砂岩特征

元坝地区须二段砂岩储层主要发育于下砂体顶部、底部及上砂体顶部,厚度差异较大,为5~15m不等,沉积相为三角洲前缘水下分支河道。

(1)岩性特征。以中粒岩屑砂岩为主,其次为岩屑石英砂岩。岩屑砂岩主要分布于上砂体,岩屑石英砂岩主要分布于下砂体。砂岩成分以石英为主(含量为60%~75%),岩屑约占25%~30%,长石约占1%~5%,偶见水云母、锆石等,中粒为主,粗粒、细粒少量,分选好-中等,次棱角状,钙质孔隙式胶结。岩屑成分以沉积岩为主,变质岩和火成岩少量。岩石中长石含量偏低,往往低于5%。

(2)电性及物性特征。须家河组砂岩储层电性特征主要表现为:无明显的扩缩径;自然电位略具负异常特征;自然伽马值较低,多呈箱状,一般为40~70API,说明该储层段岩性相对不纯,含一定量泥质;3条孔隙度曲线(AC、DEN、CNL)略具“挖掘效应”,声波时差主要在60.0~70.0 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 之间,密度值在2.40~2.65 g/cm^3 之间,补偿中子值在4%~12%;电阻率曲线为中低值齿化箱状,一般为40~300 $\Omega\cdot\text{m}$,深浅侧向之间有弱正幅度差(图1-3)。

2) 须四段砂岩特征

须四段砂岩储层主要分布于须四段下部,有利沉积相带为三角洲前缘水下分支河道。

(1)岩性特征。元坝研究区东部主要为中粒富岩屑砂岩,西部主要为砂砾岩,在岩石中不同程度地分布少量砾石。详细分述如下。

①岩屑砂岩:成分中石英约占45%,岩屑约占50%,长石约为5%,偶见云母、锆石等,细粒为主,粉粒少量,分选中等,次棱角状,钙质孔隙式胶结,偶见少量溶孔。

②砂砾岩:砾石约占10%~50%,砂岩约占20%~70%,以燧石砾为主,石英砾次之,细砾为主;砂岩成分主要为中粒岩屑砂岩。含砾少者为含砾中砂岩。

(2)电性及物性特征。须四段电性特征与须二段基本相似(图1-4),含气响应特征表现为“较高声波时差、低密度”。

3) 致密砂岩储层特征

根据yb1井与川西须家河组储层段电性及含气响应特征对比,yb1井须四段、须二段储层电性特征与川西基本雷同,均具有较高声波时差、低密度的特点,略具“挖掘效应”,差异较大的地方为元坝地区声波时差相对较低。

根据yb1井、yb2井、yb3井的镜下薄片观察,结合测井资料分析,须家河组

储层主要发育残余粒间孔、粒间-粒内溶孔及裂缝等储集空间类型。其中, yb1 井、yb3 井镜下面孔率达 1% ~5%, yb2 井岩屑孔隙度分析结果显示须家河组孔隙度位于 2.69% ~13.65% 之间, 平均孔隙度约为 5.63%, 其中孔隙度在 4% ~6% 的样品约占 50%, 测井解释孔隙度约为 5% ~7%, 含水饱和度约为 44%。

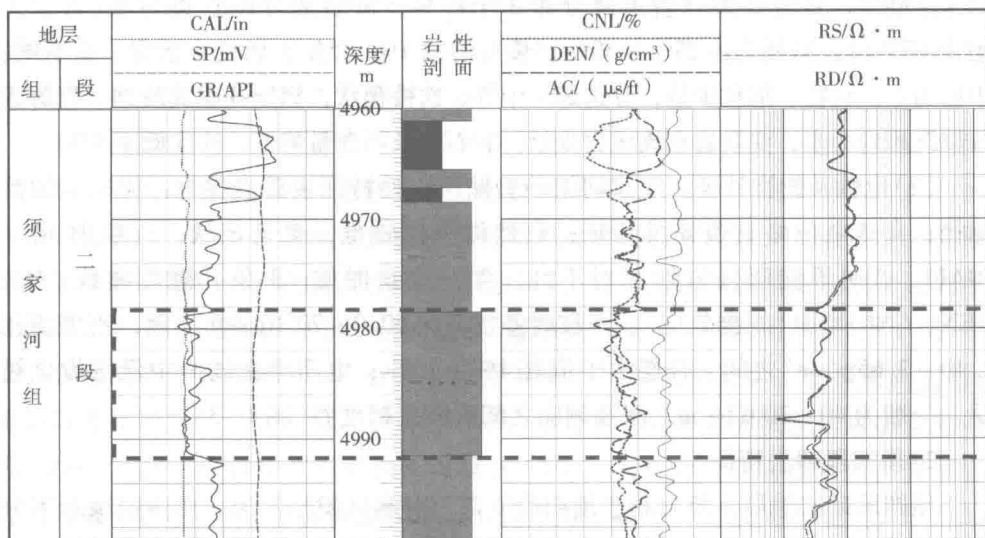


图 1-3 yb1 井须家河组二段储层测井特征示意图(虚线框内为储层位置)

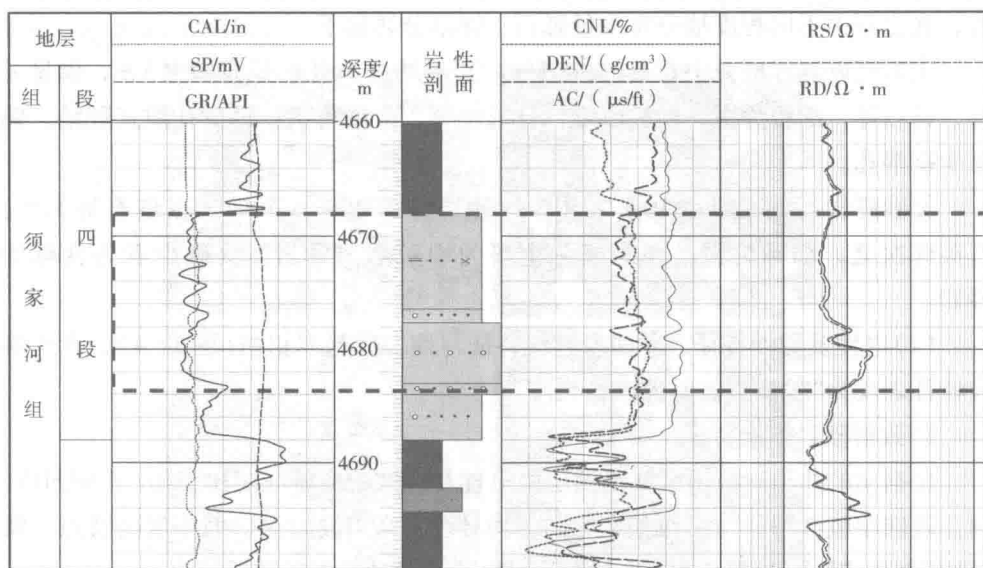


图 1-4 yb1 井须家河组四段储层测井特征示意图(虚线框内为储层位置)