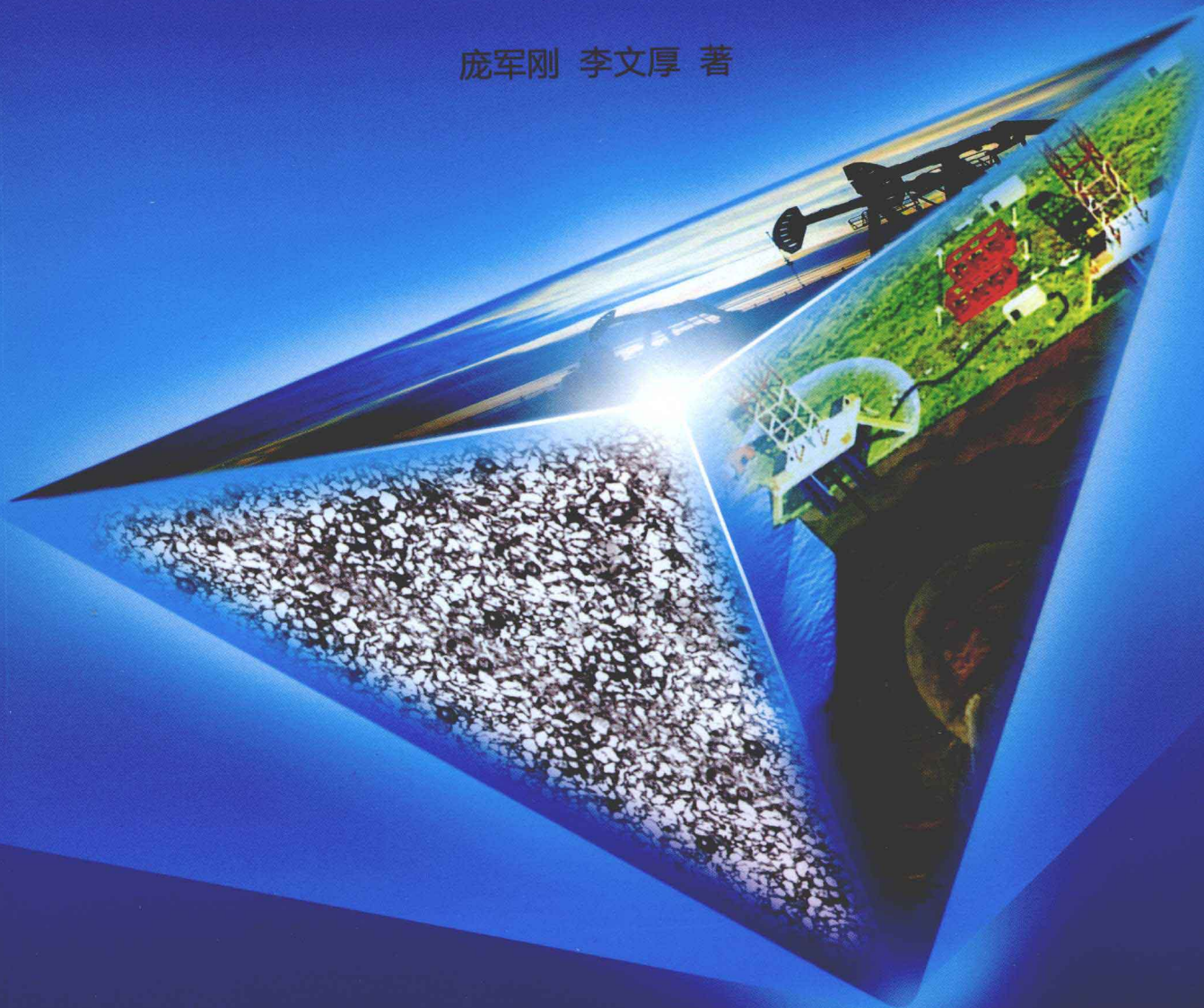


三角洲相储层精细描述

——以鄂尔多斯史家畔地区延长组为例

庞军刚 李文厚 著



石油工业出版社

三角洲相储层精细描述

——以鄂尔多斯史家畔地区延长组为例

庞军刚 李文厚 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以鄂尔多斯盆地子北油田史家畔区块为例,综合运用沉积储层的理论,结合大量钻测井及现代分析测试资料,从沉积微相、岩相古地理演化、成岩作用、孔隙结构、非均质性分析等方面对延长组三角洲相砂岩储层进行了详细的描述,可为其他区块及类似的陆相三角洲沉积描述提供借鉴。

本书是作者近年参加鄂尔多斯盆地东部地区多个沉积储层描述科研项目成果的总结,可供从事与沉积储层描述有关的生产、科研及高校相关专业教师和高年级学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

三角洲相储层精细描述:以鄂尔多斯史家畔地区延长组为例/庞军刚,李文厚著. —北京:石油工业出版社,2012.6

ISBN 978-7-5021-9091-0

I. 三…

II. ①庞…②李…

III. 鄂尔多斯盆地-三角洲相-储集层-油藏描述

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 109153 号

出版发行:石油工业出版社

(北京朝阳区安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: pip.cnpc.com.cn

编辑部:(010) 64523579 发行部:(010) 64523620

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

2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:11.25

字数:280 千字

定价:42.00 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

前 言

鄂尔多斯盆地为中国第二大沉积盆地,面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。石油、天然气、煤、铀、水等多种能源同盆共生。20 世纪相继发现了马岭、华池和吴旗等大型侏罗系古地貌式油藏及子长、青化砭、安塞、靖安、华池、志丹和川口等三角洲岩性油藏。近年来西峰等地区石油勘探也取得了较大的突破,西南部深水区重力流沉积区也见到工业油流。因此,鄂尔多斯盆地延长组石油勘探显示出良好的勘探前景。

鄂尔多斯盆地延长组储层属典型的超低渗透率储层,平均渗透率仅为 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。随着石油勘探开发的需要,多家科研院所、高校、生产单位对其进行了系统研究。本书来源于国家重点基础研究发展计划(973 计划)“多种能源矿产共存成藏(矿)机理与富集分布规律”(2003CB214602)之二级子课题“多种能源矿产成矿(藏)物质聚积、分布与成藏(矿)效应”,及“史家畔—清涧地区延长组勘探潜力研究”油田合作研究项目的研究成果。

子长史家畔地区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡,是延长油矿子北采油厂的勘探新区,三叠系延长组是其主要的含油层系,油藏类型主要为岩性油藏或构造—岩性油藏。目前,探井油气显示较好,部分井已见工业油流,尤其是长 4+5、长 6 油层组。但总体上研究程度较低,对研究区的沉积微相及砂体展布认识不清;对储层成岩作用、次生孔隙的成因及分布、物性特征、孔隙结构、有利储层在纵横向上的分布、形成机制等问题缺乏认识,这些均制约了研究区进一步的石油勘探开发。截至目前,人们对鄂尔多斯盆地延长组上部的成藏组合研究较多,取得了较深入的认识。由于受钻井深度的影响,对长 7 以下油层组认识薄弱。而近年随着石油勘探开发的深入,极力寻求下部成藏组合,以扩展勘探层系,增加累计石油储量。且研究区近一两年已有部分钻至长 7 以下的探井,且部分井含油较好,并进行了试油,这为长 8、长 9、长 10 成藏组合提供了宝贵的原始资料。

本书应用沉积学、储层地质学、层序地层学等多学科理论,从沉积相和沉积环境入手,充分利用周缘野外露头资料,在与邻区对比的基础上,结合现代测试技术方法,摸清了该区延长组各油层组分布的范围,沉积相、沉积微相类型及展布、砂体的展布方向,有利储层的控制因素及其在纵横向上的分布等,不仅可以丰富陆相地层优质储层的形成机制理论,而且对油田石油勘探部署和有利勘探目标的选择也具有一定的指导意义。

本书第五章由李文厚执笔，其余章节由庞军刚执笔。全书由庞军刚统稿。参加本书编写工作的人员还有：国吉安、何元方、张茹、王若谷、陈全红、赵虹、屈红军、张道锋、王起琮、郭艳琴、袁珍、刘昊伟、王岚、曹红霞、马遥，子北采油厂的姜兴、罗然昊、于建青、张建国、张浪及资料室的同志等。

在本书的出版过程中，西安石油大学科技处及地球科学与工程学院的领导也给予了一定的关照与帮助，在此表示衷心的感谢！本书的出版得到西安石油大学优秀学术著作出版基金及西安石油大学博士科研启动基金（编号：YS29031212）资助。

由于笔者水平有限，不当之处在所难免，敬请读者批评指正！

著 者
2012年3月

目 录

第 1 章 区域地质概况	1
1.1 盆地沉积构造演化阶段	1
1.2 地层划分与对比	3
1.3 研究区勘探开发概况	18
第 2 章 岩相古地理演化及沉积模式	20
2.1 沉积学的研究进展	20
2.2 沉积相的识别及其特征	22
2.3 岩相古地理演化	46
第 3 章 地质特征	80
3.1 岩石特征	80
3.2 成岩作用	86
第 4 章 孔隙结构分析	111
4.1 孔隙类型及特征	111
4.2 孔隙组合类型	114
4.3 孔隙、喉道类型及分布	115
4.4 孔隙结构类型及特征	117
第 5 章 储层岩性、物性、电性及含油性特征	123
5.1 储层物性特征	123
5.2 储层岩性、物性、电性及含油性关系	127
第 6 章 非均质性分析	133
6.1 层内非均质性	134
6.2 层间非均质性	139
6.3 平面非均质性	142
6.4 储层综合评价	143
第 7 章 成藏地质条件及油藏特征	151
7.1 岩性油气藏研究现状	151
7.2 成藏地质条件	152
7.3 石油富集规律	161
7.4 主要油层的分布特征	165
参考文献	170

第 1 章 区域地质概况

鄂尔多斯盆地是我国大型沉积盆地之一，面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。因含有丰富的石油、天然气、煤、放射性铀等矿产资源，目前已成为国内研究的热点盆地。现今的鄂尔多斯盆地构造形态总体为一东翼宽缓、西翼陡窄的大型不对称南北向矩形向斜盆地。可进一步划分为：伊盟隆起、渭北隆起、西缘逆冲带、晋西挠褶带、天环坳陷、陕北斜坡等六个一级构造单元。研究区位于东北部的子长北部（图 1.1），地处鄂尔多斯盆地陕北斜坡的中部偏南处，该斜坡为微向西倾斜的单斜构造。其雏形出现于侏罗纪晚期，形成于早白垩世。

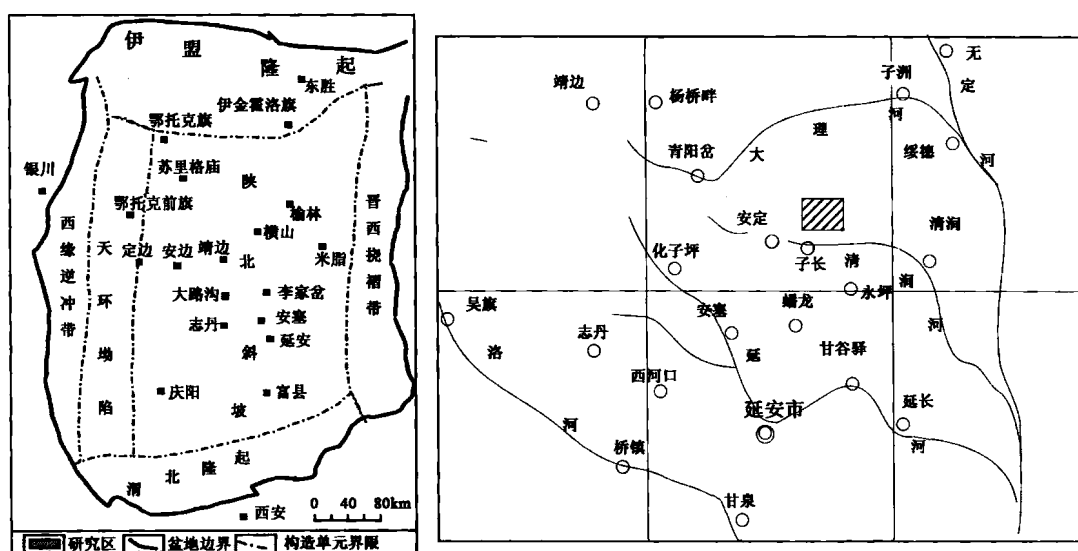


图 1.1 鄂尔多斯盆地构造单元及研究区位置图

1.1 盆地沉积构造演化阶段

不同学者从不同的角度对鄂尔多斯盆地沉积、构造演化阶段进行了分析，所得结论差异较大，认为其属于坳陷盆地、前陆盆地、叠和盆地等（杨俊杰，2002）。从本质上看，鄂尔多斯盆地是华北板块的一部分，其形成演化与华北板块关系密切。盆地是由吕梁期形成的统一固化结晶基底——太古宇和古元古宇变质岩与中、新元古代以后形成的盖层沉积构成，具有二元结构的特征。因此，它属于克拉通边缘坳陷盆地。因为中生代后期，西部边缘相邻褶皱带一侧广泛发育逆冲断层并伴有褶皱，形成西翼陡窄而东翼宽缓的不对称特征，可认为鄂尔多斯盆地为前陆盆地。中生代盆地叠加在古生代盆地之上形成了叠和盆地。结合不同时期的地层构造变形、沉积特征，将盆地的构造及沉积演化划分为 6 个阶段（图 1.2）。

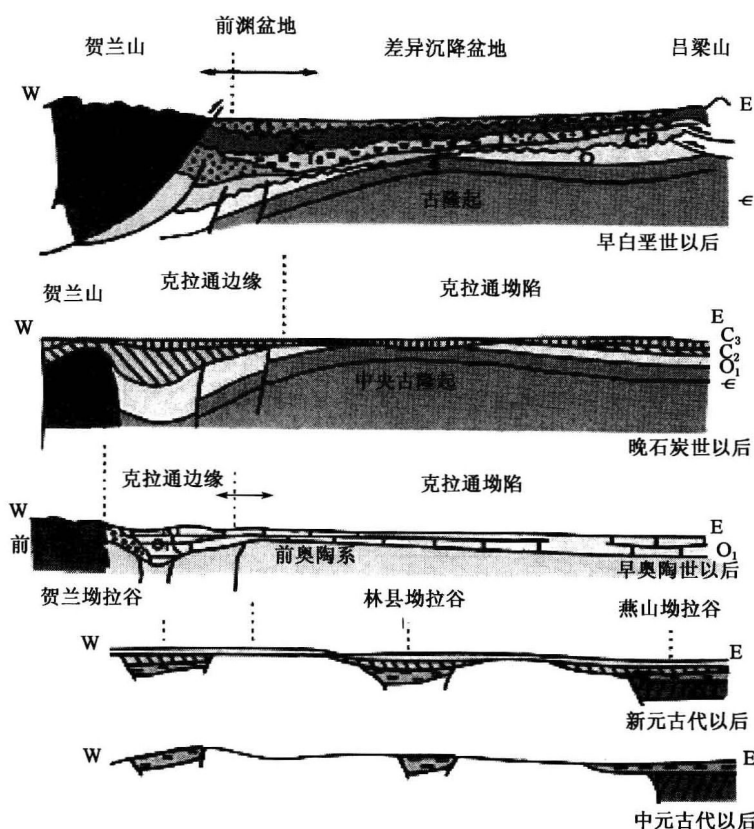


图 1.2 鄂尔多斯盆地构造演化剖面图 (据长庆油田, 2006)

1.1.1 太古宙—古元古代结晶基底形成演化阶段

基底形成于太古宙—元古宙, 其间经历了迁西、阜平、五台及吕梁—中条四次主要的构造运动, 发生了复杂的变质、变形及混合岩化作用。分别经历了原始硅铝壳古陆核雏形形成(古太古代)、硅铝壳加厚及陆地面积增加时期(新太古代), 之后吕梁运动结束了华北地台基底的演化历史。

1.1.2 中—新元古代“拗拉槽”形成演化阶段

中—新元古代, 即吕梁—中条运动之后, 鄂尔多斯地区进入大陆裂谷发育阶段, 主要表现为古陆内部及其边缘大规模的裂陷解体, 中国大陆发生裂解, 华北陆台南缘、西缘分别形成秦祁和兴蒙两个大洋裂谷。受其控制, 相继在华北陆台南缘产生了贺兰、晋陕、晋豫拗等一系列拗拉槽, 它们呈北东、北北东向展布, 向东北方向收敛, 向西南方向敞开并与秦祁海槽相连, 共同组成三叉裂谷系, 开始了盖层的形成时期。鄂尔多斯盆地从西向东依次为贺兰拗拉谷、中央古隆起、晋陕拗拉谷, 沉积了长城系和蓟县系。中元古代末蓟县运动, 抬升作用造成青白口系局部分布。

1.1.3 早古生代浅海台地形成演化阶段

晋宁运动(早古生代)后, 区内裂陷作用基本结束, 盆地进入克拉通拗陷与边缘沉降阶段, 以整体升降运动为主, 在陆块内部形成典型的克拉通拗陷。沉积了一套碳酸盐岩及少量

碎屑岩的浅海台地相沉积。不同地区沉积厚度变化较大。在盆地内部、西缘及南缘的沉积厚度依次为 350~850 m, 5100m 和 1900~4100m。

早奥陶世由于海水退缩及再次海侵, 经历了早期古陆四周局限沉积和陆表海沉积阶段; 中一晚奥陶世沉积局限在南缘和西缘, 且厚度变化大, 加里东运动使其结束了沉积, 并经长期风化剥蚀, 造成多套地层缺失。

1.1.4 晚古生代海陆分布形成阶段

晚古生代一早、中三叠世, 盆地进入克拉通内坳阶段, 区内南北边缘表现为进一步俯冲, 并产生了弧—陆、陆—弧、陆—陆碰撞和碰撞造山, 后期(二叠纪及其以后)由于南、北边缘的俯冲和碰撞造山以及南北方向的挤压作用, 导致自二叠纪以来形成统一的克拉通坳陷, 同时强化了克拉通内东西向的次级隆起和凹陷以及定边—吴堡区域东西向构造带的形成和发展。晚石炭世, 华北海及祁连海分别从东、西方向向中部古隆起超覆, 地层厚度西厚东薄; 中二叠世东西海水贯通, 晚期又转为陆相环境。中二叠世, 为北部抬升较强的河流—三角洲—湖泊沉积。晚二叠世, 海水退出, 从此转为陆相沉积。

1.1.5 中生代内陆湖盆形成阶段

晚三叠世以来, 盆地进入了大型内陆差异沉降盆地的发展阶段。受燕山运动影响, 盆地周缘强烈的褶皱冲断和逆冲推覆, 并伴随掀斜抬升及剥蚀。造成了周缘微角度、角度不整合, 和盆地内区域平行不整合(三叠系或侏罗系)。晚三叠世末形成了北缓南陡的陆相沉积盆地, 沉积及坳陷中心位于南部、西南部, 沉积的延长组(或延长组和铜川组)南厚北薄。

早一中侏罗世沁水盆地还没有从鄂尔多斯盆地分离出去, 中侏罗世后, 由于吕梁山隆起, 鄂尔多斯盆地退至其以西, 沉积了晚侏罗世—白垩纪河湖相地层。

1.1.6 新生代周边断陷盆地发育阶段

燕山运动晚期, 鄂尔多斯地区由长期的沉降转为逐渐抬升, 强烈断陷开始, 北部形成汾渭、河套等断陷盆地, 沉积了数千米的新生代地层。

1.2 地层划分与对比

据钻井资料, 史家畔地区从上到下, 钻遇的地层有第四系及三叠系。侏罗系及白垩系在本区缺失, 地层层序正常。岩性由砂岩、粉砂岩和泥岩、粉砂质泥岩互层组成, 夹页岩、油页岩, 部分层段含煤层或煤线。第四系与三叠系之间为假整合接触, 本次研究的目的层为延长组。大部分油井完钻层位为长 7 段上部, 个别油井完钻层位为长 10 段, 邻区单位钻井大多钻遇长 6 油层组(未钻穿)。

1.2.1 地层划分思路及方法

地层的正确划分与对比是沉积相识别、储层分布、有利区预测的研究基础。对于地质条件复杂的地区, 正确划分地层可以综合运用标志层法、厚度法、层序地层学、密井网解剖等多种方法(罗东明等, 2008)。在区域地质背景分析的基础上, 根据前人研究成果及生产需要, 选定了本次研究采用的地层划分方案(庞军刚等, 2010), 并将主力油层组长 4+5、长

6 进行了小层划分（表 1.1）。

表 1.1 史家畔地区延长组地层划分标志层及厚度统计

组	段	油层组	砂层组		标志层	
富县组				平均厚度 (m)	名称	位置
延长组	第五段	长 1		133.6	K ₉	底
	第四段 (T ₃ y ₄)	长 2	长 2 ¹	123.0	K ₈	底
			长 2 ²			
			长 2 ³			
		长 3		116.8	K ₇ K ₆	上 底
	第三段 (T ₃ y ₃)	长 4+5	长 4+5 ¹	48.2	K ₅	中
			长 4+5 ²	46.8		
		长 6	长 6 ¹	39.7	S ₄	底
			长 6 ²	32.4	S ₃	底
			长 6 ³	26.7	S ₂	底
			长 6 ⁴	19.8	S ₁ (K ₂)	底
		长 7	长 7 ¹	95.3		
			长 7 ²			
			长 7 ³		K ₁	中下
	第二段 (T ₃ y ₂)	长 8		99.7		
		长 9		95.5	K ₀	顶
	第一段 (T ₃ y ₁)	长 10				
纸坊组				300~360		

在地层划分过程中，具体采用了以下方法：

(1) 选用延长组的 K₀ 至 K₉ 标志层，并结合斑状砂岩（长 10）、进积式反旋回（长 6）、细脖子段（长 4+5）及块状砂岩段（长 2）等辅助标志层，进行油层组的划分。根据地区性分布的 S₁、S₂、S₃、S₄ 标志层对长 6 与长 4+5 及长 7 的界限和长 6 小层的划分，把区域标志层的广泛性和地区性标志层在小层划分中的优势结合起来综合进行。

(2) 考虑受同期异相规律的支配，不同区域相同层位沉积的岩性可能会发生一定的变化，厚度也会有一定的差异。因此，划分中根据相邻区域地层特征相近的原理，由近及远，向外对比追踪。

(3) 研究区处于陕北斜坡构造带，地层平缓西倾，且总体发育三角洲—湖泊沉积体系，无大的构造带及沉积坡折带。因此，同时期地层厚度变化不大，标志层不明显的井，可根据厚度原则进行研究。这种方法在研究这种湖盆边部沉积区应用效果较好。

1.2.2 地层划分对比标志及划分依据

前人的研究及长庆、延长等油田公司在鄂尔多斯的勘探开发实践总结出延长组自下而上区域性分布的有 K₀ 至 K₉ 标志层，及“块状砂岩段”、“细脖子段”、“进积式反旋回”等区域性标志层和一些地区性的标志层。对研究程度低的地区，在划分延长组上下界面及油层组时可以参考富县组发育的“金盆湾砾岩”或“杂色泥岩”、延安组底部的“宝塔山砂岩”、直罗

组底部的“七里镇砂岩”、安定组“三延”地区广泛发育的“泥灰岩段”等这些区域分布稳定的标志层。

1.2.2.1 K₀ 标志层（长9 李家畔页岩）

K₀ 标志层位于长9 油层组顶部，由黑色油页岩、页岩、黑色泥岩，夹泥质粉砂岩组成，由于横向相变局部变为深灰色、黑色粉砂质泥岩或泥岩。在自然伽马、电阻率、井径、声波时差等测井曲线上特征明显。在盆地内广泛发育，以李家畔地区最早发现和较为典型，俗称“李家畔页岩”，又称为“高阻页岩”，是延长组地层划分与对比的一个重要标志层，代表了长9 最大湖泛期的沉积产物。该标志层在红3 井发育较好，表现为高电阻、高伽马、高电位、低浅侧向、低八侧向及大井径的特点，岩性为黑色油页岩、深灰色泥岩，厚 7.0m，且该油页岩被取心资料所确认（图 1.3）。理 983 井为页岩夹泥质粉砂岩薄层，厚 31m。红2 井岩性为灰色泥岩、油页岩。

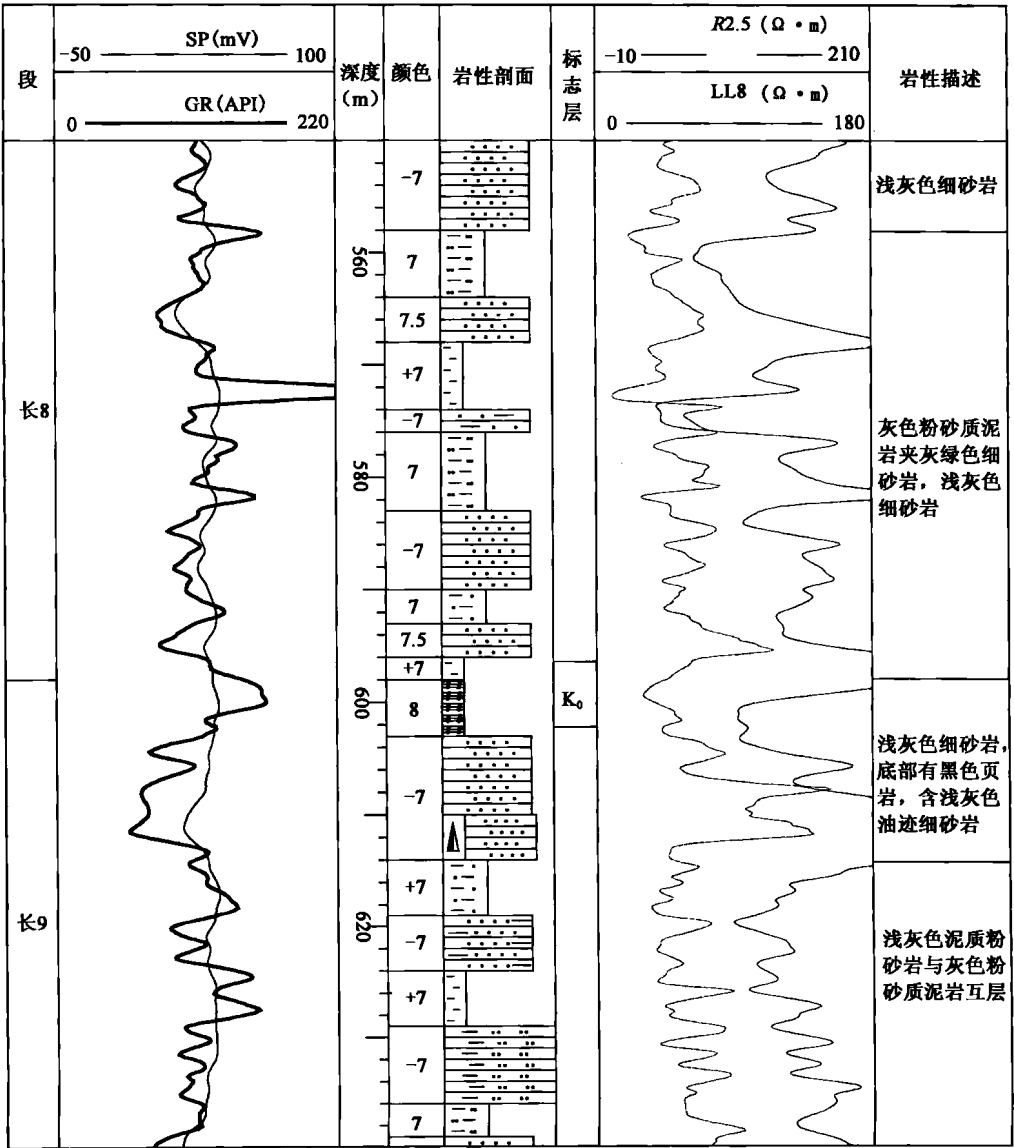


图 1.3 K₀ 标志层岩电特征图（红3 井）

1.2.2.2 K₁ 标志层 (长7 张家滩页岩)

K₁ 标志层在研究区分布稳定, 是鄂尔多斯盆地延长组地层划分对比的传统标志层, 以张家滩地区最为典型。以前对于其在长7 中的分布位置还有争议, 目前一致认为其分布于长7 中下部, 表现为高自然伽马、高电阻、高声波时差和低自然电位的“三高一低”测井特征(图 1.4)。张家滩页岩是延长组湖泛最大时期形成的生油岩, 以深湖区最为发育, 其次为浅湖区, 局部三角洲区也有小面积薄层分布, 且深湖区形成的油页岩品质好, 烃源岩为偏腐泥型的混合型, 而浅湖区及三角洲形成的油页岩往往为含油率低的薄层。该标志层在长7³ 油层段分布面积最广, 油页岩含量也高。在研究区总体发育不是很好, 一般为30~50m, 在平面上的分布受沉积亚相影响较大, 在南部浅湖亚相发育的井中厚度较大。

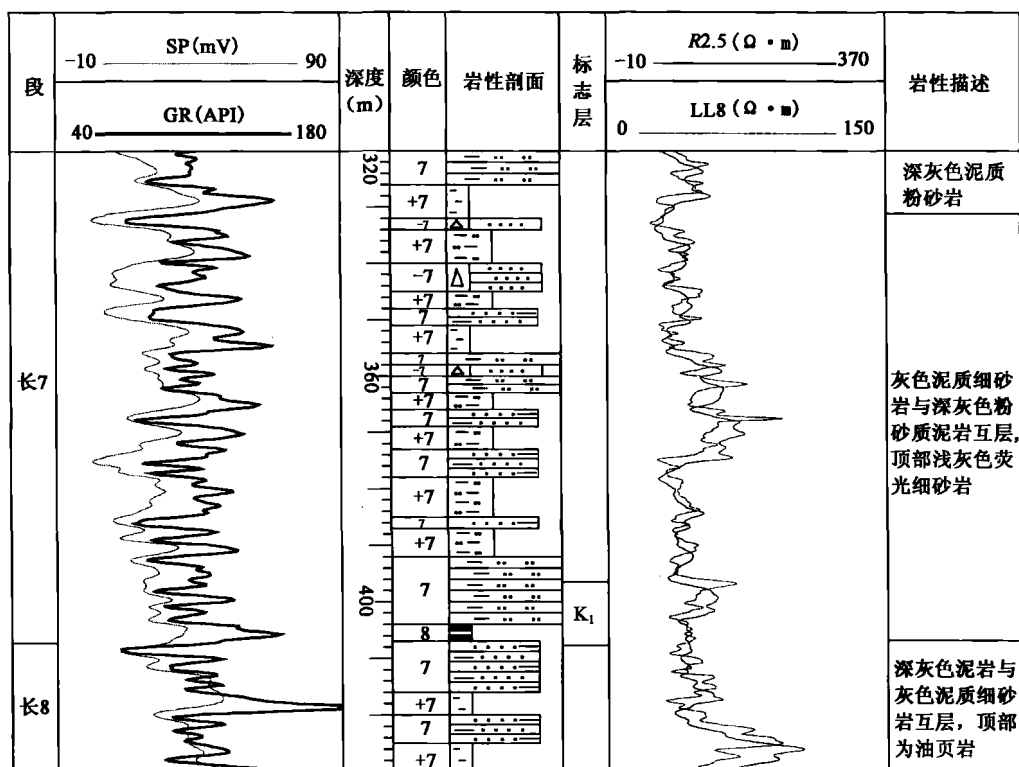


图 1.4 K₁ 标志层岩电特征图 (红2长7)

1.2.2.3 K₂、K₃、K₄ 标志层 (及 S₁、S₂、S₃、S₄)

根据 K₂、K₃、K₄ 标志层进行长6 油层组划分, 并进一步自上而下分为长6²、长6³、长6⁴。K₂ 位于长6 底部, 距张家滩页岩50m 左右, 厚约1m, 距长6³ 底界2~5m 处; K₃ 位于长6² 底界处; K₄ 为长6 和长4+5 的分层标志, 位于距长6¹ 顶3~10m 处。岩性主要为灰黑色泥岩、碳质泥岩、粉砂质泥岩, 或为同期火山喷发物形成的凝灰岩(图 1.5)。

延长油矿根据长6 内部的凝灰岩标志层 S₁、S₂、S₃、S₄, 把长6 自上而下划分为长6¹、长6²、长6³、长6⁴ 四个亚组, 本次采用此划分方案将长6 油层组四分。

S₁ 标志层: 为长6⁴ 油层亚组与长7 油层组的分界线。位于张家滩黑色页岩(B₁) 之上约46m, 具有高自然伽马、高自然电位(或接近泥岩基线)、中—低电阻的特征, 厚约0.2~0.5m, 且长6⁴ 内存在3 层稳定的斑脱岩。

率中—低值，自然电位接近泥岩基线。

S₃ 标志层：为长 6³ 顶部一套薄的斑脱岩（一般为—层），该套斑脱岩横向上有时过渡为泥岩与粉砂质泥岩，厚度约 1~2m，分布稳定。测井曲线上显示为明显的高自然伽马值，自然电位为泥岩基线，电阻率中—低值，长 6² 与长 6³ 的分界放在其顶部。

S₄ 标志层：为长 6² 顶部一层不太稳定的斑脱岩组成，岩性为泥岩。对应的电性特征为高自然伽马，低自然电位，低电阻率。组界放在其顶部。

1.2.2.4 K₅ 标志层

K₅ 位于长 4+5 中部，岩性为黑色泥页岩、碳质泥岩，部分井夹薄煤层或煤线。测井上表现为声波时差、自然伽马、自然电位均低，密度及电阻率低，尖刀状扩径。且声波时差、自然伽马及密度曲线之间对应性较好。研究区大多数井钻遇此标志层。根据 K₅ 标志层将长 4+5 地层自上而下划分为长 4+5¹ 和长 4+5²，长 4+5¹ 没有长 4+5² 的砂体发育，长 4+5² 一般含油性也较好。红 2 井该标志层为深灰色泥岩，电性特征明显，厚约 2m（图 1.6）。

1.2.2.5 K₉ 标志层

K₉ 标志层位于长 1 底部，岩性为灰色、深灰色泥岩、砂质泥岩，延河剖面中夹多层凝灰岩、含凝灰质泥岩薄层。测井曲线也具有高声速、高伽马、自然电位偏正等特点，特别是电阻一般很高。当凝灰质含量较高时，电阻率值可较低或变得很低，如理 963 井。

1.2.3 地层对比及地层特征

1.2.3.1 史家畔地区地层对比

本次研究首先选取资料详细、测井特征明显，且在研究区平面上具有一定点位控制的红 2、理 202、红 3、理 965、理 980、理 981、理 982、理 983、理 984、理 986 等 10 口井作为标准对比井，进行地层划分，并选取了 6 条骨干剖面。这 6 条剖面如下：

剖面 I：探 3-8—探 3-11—理 984—理 956（东西向）；

剖面 II：3012—3016—3018—探 3-12—探 3-17—理 965—理 634（东西向）；

剖面 III：理 980—探 3-13—理 961—理 962—理 202—红 3—红 2（东西向）；

剖面 IV：Z12039—Z12201—Z12302—探 3-8—Z12392—理 980—3008（南北向）；

剖面 V：峪 10—Z14001—探 3-11—探 3-16—探 3-17—理 982（南北向）；

剖面 VI：理 986—理 984—理 965—理 202（南北向）。

在地层划分与对比过程中，以典型单井及骨干剖面由近及远进行了地层的反复对比，并及时完成了各油层组（段）顶面构造图。结果显示，所编制的构造图均以西倾单斜为背景，仅有起伏较小的鼻状构造。没有出现因地层划分的“错层”而使顶面构造图出现较大幅度的“隆起”或“凹陷”。符合研究区所处的大地质背景构造特征。研究区中部发育的几个鼻隆在各个油层组具有一定的继承性，对研究区油气的聚集有一定的控制作用。由于差异压实作用等原因，斜坡上发育大致由东向西倾没的低幅鼻隆（状）构造，研究区发育 2~3 条近东西向或北东—南西向的鼻状隆起，如长 6³ 发育比较明显的鼻隆，分别是西南部的王家坪—史家畔—理 966 鼻状隆起，北东向展布，北部 12302—12308—峪 5—理 983—理 986 一线近东西向鼻状隆起；长 4+5² 在蜜蜂峪—3024—金盆湾—3128 一带也存在明显的鼻状隆起，且在长 4+5¹ 等油层（组）具有一定的继承性。除此之外，还有几个幅度小的鼻状隆起，在各层继承性相对较差。总体上，这几个鼻状隆起继承性较好，只是幅度变化或延伸方向略有偏

移。延长组沉积后，由于构造运动的影响，延长组顶部地层不同程度地被剥蚀，后期构造运动对研究区延长组影响不大，延长组顶部地层保存较好，且由于差异沉降，长1期在子长一带形成沉积、沉降中心，沉积厚度较大。

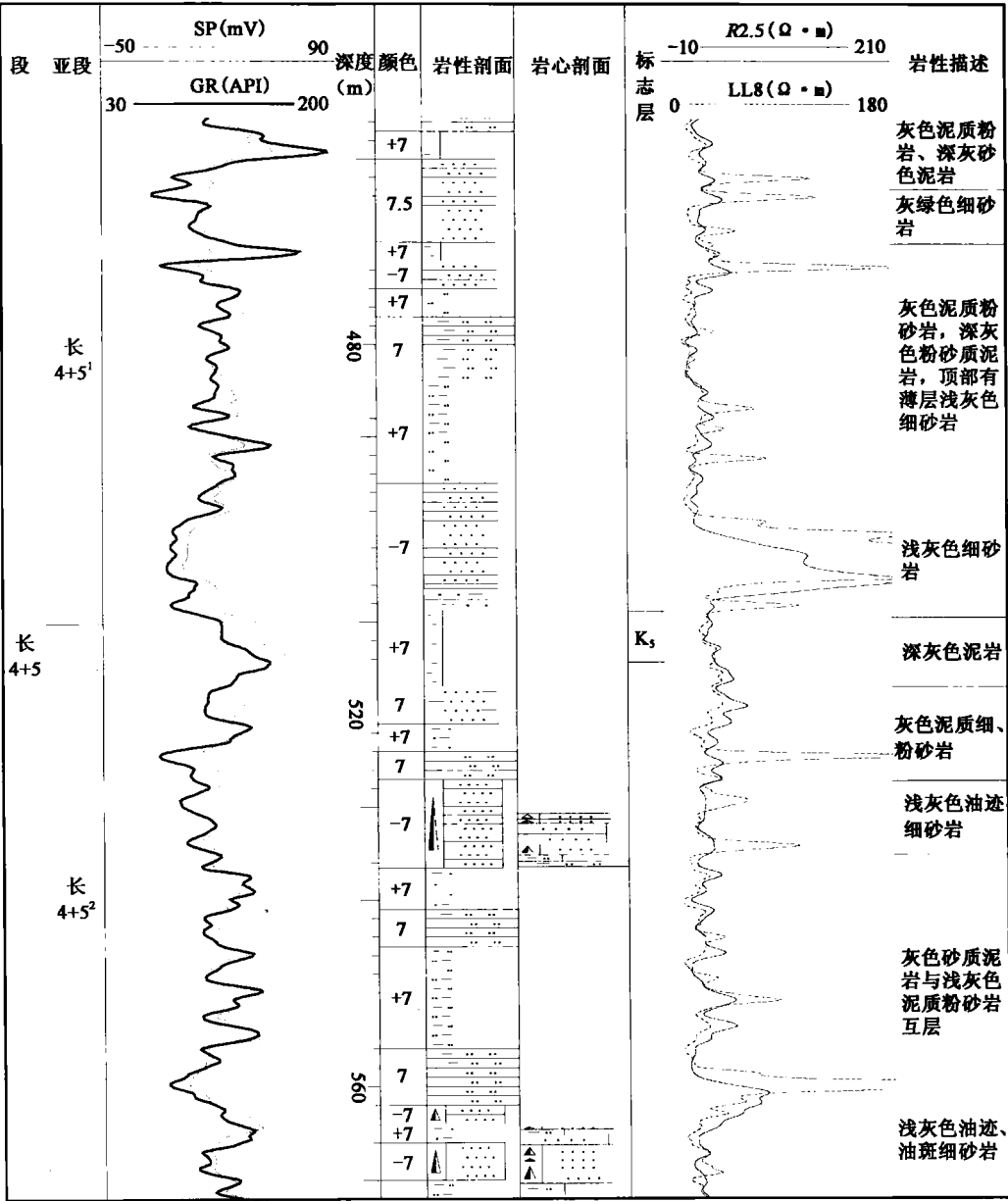


图 1.6 K₅ 标志层岩电特征图 (理 965 井)

1.2.3.2 延长组各段地层特征

总体上，研究区各油层组分布稳定。现对各油层组地层的特征分述如下。

1. 长 10 段

研究区只有部分探井钻遇本段地层，如红 2、红 3、理 966 井（均未钻穿）。鄂尔多斯盆地长 10 底部广泛发育的块状砂岩在本区钻孔中都未揭露。但根据区域资料，研究区地层厚度为 200~300m，从研究区东部向西部地层厚度逐渐增大。自然电位、自然伽马为钟形、箱

形高幅负值，为指状高视电阻率。整体上砂岩发育，厚度稳定，岩性为中—粗粒长石砂岩，下部为含砾粗砂岩或砾状粗砂岩。且岩性中出现紫红色，反映了湖平面以上形成的氧化色（图 1.7）。野外剖面上，河道砂岩砂体形态多呈透镜状，大型槽状、板状交错层理、平行层理发育，底部发育大型的冲刷面。因含肉红色钾长石和浊沸石，表面呈肉红色斑点，显麻斑状结构。形成延长组底部的“块状砂岩”，与长 9 以细粒沉积为主的地层形成鲜明的对比，为地层划分的辅助标志层之一。

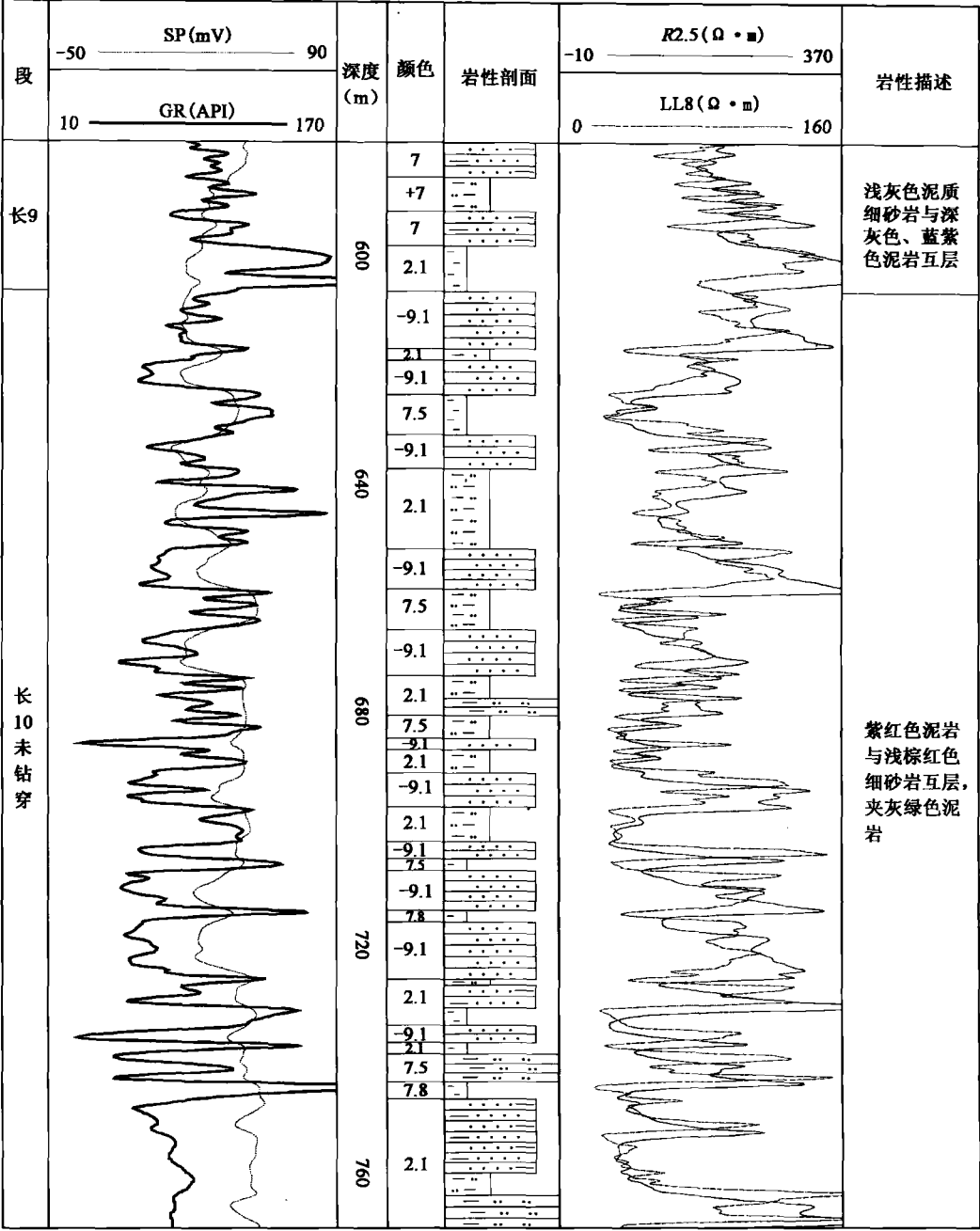


图 1.7 长 10 地层岩电特征（红 2 井）

2. 长 9 段

长 9 段地层厚度为 82~109m, 顶部岩性主要为深灰色、黑色泥岩, 黑色油页岩, 中下部主要为细砂岩、泥岩、泥质粉砂岩不等厚互层, 以灰色为主, 可见绿色, 局部见紫色, 总体泥质含量较长 8 及长 10 均高。研究区钻穿长 9 的井较少。总体上, 从研究区东部向西部, 地层厚度逐渐增大, 在理 966—杨家园子附近形成高值区。

3. 长 8 段

长 8 段厚度为 78~120m, 研究区东南部较西北部地层厚度大。岩性为灰色细砂岩夹灰色、深灰色粉砂岩、泥岩, 或细砂岩与泥岩互层。整体为湖退背景下的三角洲沉积, 单层及累计砂体厚度较大, 底部砂体对长 9 顶部泥岩、碳质泥岩冲刷强烈, 在砂体发育的灵武、盐池及陇东地区可作为主力产层。

4. 长 7 段

长 7 段厚度为 78~120m, 岩性为灰色泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩夹灰色细砂岩, 或不等厚互层。底部油页岩、泥岩发育。由于侧向上相变的原因, 研究区长 7 底部的张家滩页岩不是很发育, 一般厚度小于 10m。仅有的资料显示沿北东—南西向, 其中部较两边地层厚度大, 可能为长 7 期古湖盆的低洼地带。鄂尔多斯盆地中张家滩页岩厚度为 10~60m, 含大量湖相动物化石。自然电位、自然伽马高幅箱状, 视电阻率显示尖峰状中—高阻幅度。

5. 长 6 段

长 6 段厚度为 107~145m, 岩性为浅灰色中—厚层块状中—细粒长石砂岩与灰绿色、深灰色、黑色砂质泥岩、粉砂岩、碳质页岩、凝灰岩的不等厚互层。在盆地东部砂体发育的地区作为主力含油层段, 如志丹、子长等地区。在三角洲理论的指导下, 对广泛发育进积型三角洲的长 6 研究程度较高。由于强烈的进积作用, 长 6 反旋回式沉积层序明显, 且分布面积广, 从下向上由下部的泥岩夹粉、细砂岩—中部为砂泥岩互层—上部的厚层中—细砂岩夹泥岩, 含砂率逐渐增大, 反映碎屑供应逐渐充分, 三角洲向湖盆内充填的沉积过程。自然伽马、自然电位曲线由底部的接近泥岩基线向上明显偏负, 具有“倒三角”的特征, 其沉积是一套完整的进积序列, 反映长 6 时期高建设性的三角洲广泛发育, 在三角洲前缘发育的志丹等地区表现得尤为明显, 是延长组辅助标志层之一。由下向上沉积相序列为浅湖(深湖)泥—席状砂—远沙坝—河口坝—水下分流河道—河漫滩—分流河道。而研究区长 6 以三角洲平原为主, 虽然单个旋回以下粗上细的正旋回为主(部分旋回也为反旋回), 但整体具有进积的特征, 如 3-16 井特征较为明显, 从下向上砂厚逐渐增大, 含砂率增大, 且含油性也逐渐变好。长 6 为研究区延长组的主要储油层段。

由于长 6 的广泛含油性, 地质工作者及研究人员一直关心长 6 小层的划分。长庆油田将其划分为长 6¹、长 6²、长 6³, 本次参考延长油田地层划分标准, 根据凝灰岩标志层及测井特征、参考厚度及沉积岩的多期旋回性等方法, 把长 6 从上至下划分为 4 个层段: 即长 6¹、长 6²、长 6³ 和长 6⁴。从下向上泥质含量逐渐减少, 砂质含量逐渐增加, 油层显示主要集中在中上部。长 6 地层厚度以 125~130m 为主。长 6¹ 地层厚度以 38~42m 为主, 西部分流河道区地层厚度较大; 长 6² 地层厚度为 30~40m, 分流河道区地层厚度较大; 长 6³ 地层厚度为 24~32m, 地层厚度大的地区和分流河道有一定的吻合; 长 6⁴ 地层厚度主要为 18~22m, 最大为 27.4m (理 634 井)。

6. 长 4+5 段

长 4+5 段厚度为 85~125m, 岩性为灰色、深灰色细粉砂岩与泥岩、粉砂质泥岩互层,