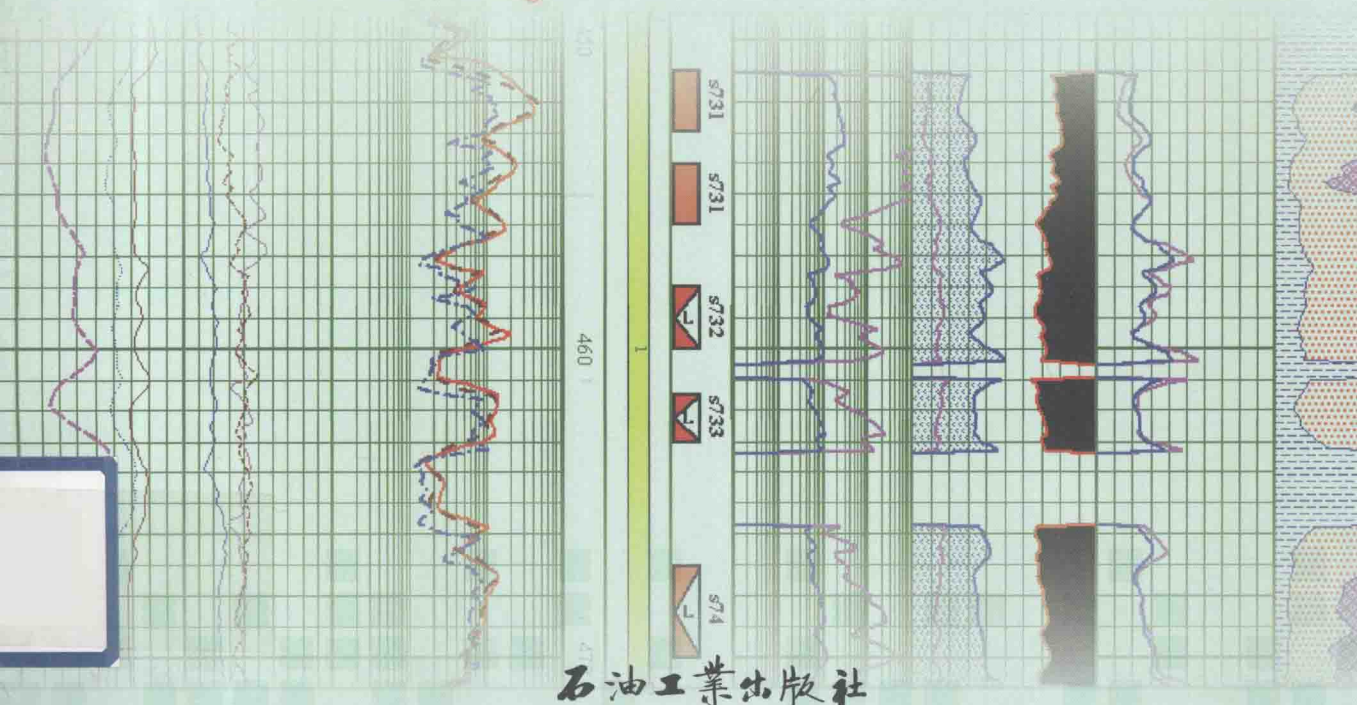


新疆砾岩油藏水淹层评价技术

EVALUATION TECHNOLOGY OF CONGLOMERATE RESERVOIR WATERFLOOD LAYERS IN XINJIANG OILFIELD

王延杰 许长福 谭锋奇 王晓光 彭寿昌 著



石油工业出版社

新疆砾岩油藏水淹层评价技术

王延杰 许长福 谭锋奇 王晓光 彭寿昌 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以新疆克拉玛依典型砾岩油藏为研究对象,针对性地提出了目前砾岩油藏水淹层评价中遇到的主要问题,分别对砾岩储层的综合特征、水淹机理、水淹层测井响应特征、水淹层测井资料处理与解释、水淹层程序开发等方面进行了系统研究,最终形成了一套完整的砾岩油藏水淹层综合评价方法和实用技术。

本书可供从事油田开发工作的科研人员以及高等院校机关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

新疆砾岩油藏水淹层评价技术/王延杰等著.
北京:石油工业出版社,2013.7
(准噶尔盆地油气勘探开发系列丛书)
ISBN 978-7-5021-9608-0
I. 新…
II. 王…
III. 砾岩-岩性油气藏-油田开发-水淹-评价-新疆
IV. TE38
中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第120963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

编辑部:(010)64523543 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

2013年7月第1版 2013年7月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:9.25

字数:236千字

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

序

准噶尔盆地位于中国西部,行政区划属新疆维吾尔自治区。盆地西北为准噶尔界山,东北为阿尔泰山,南部为北天山,是一个略呈三角形的封闭式内陆盆地,东西长 700 千米,南北宽 370 千米,面积 13 万平方千米。盆地腹部为古尔班通古特沙漠,面积占盆地总面积的 36.9%。

1955 年 10 月 29 日,克拉玛依黑油山 1 号井喷出高产油气流,宣告了克拉玛依油田的诞生,从此揭开了新疆石油工业发展的序幕。1958 年 7 月 25 日,世界上唯一一座以石油命名的城市——克拉玛依市诞生。1960 年,克拉玛依油田原油产量达到 166 万吨,占当年全国原油产量的 40%,成为新中国成立后发现的第一个大油田。2002 年原油年产量突破 1000 万吨,成为中国西部第一个千万吨级大油田。

准噶尔盆地蕴藏着丰富的油气资源。油气总资源量 107 亿吨,是我国陆上油气资源当量超过 100 亿吨的四大含油气盆地之一。虽然经过半个多世纪的勘探开发,但截至 2012 年底石油探明程度仅为 26.26%,天然气探明程度仅为 8.51%,均处于含油气盆地油气勘探阶段的早中期,预示着巨大的油气资源和勘探开发潜力。

准噶尔盆地是一个具有复合叠加特征的大型含油气盆地。盆地自晚古生代至第四纪经历了海西、印支、燕山、喜马拉雅等构造运动。其中,晚海西期是盆地坳陷构造格局形成、演化的时期,印支—燕山运动进一步叠加和改造,喜马拉雅运动重点作用于盆地南缘。多旋回的构造发展在盆地中造成多期活动、类型多样的构造组合。

准噶尔盆地沉积总厚度可达 15000 米。石炭系—二叠系被认为是由海相到陆相的过渡地层,中、新生界则属于纯陆相沉积。盆地发育了石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系六套烃源岩,分布于盆地不同的凹陷,它们为准噶尔盆地奠定了丰富的油气源物质基础。

纵观准噶尔盆地整个勘探历程,储量增长的高峰大致可分为西北缘深化勘探阶段(20 世纪 70—80 年代)、准东快速发现阶段(20 世纪 80—90 年代)、腹部高效勘探阶段(20 世纪 90 年代—21 世纪初期)、西北缘滚动勘探阶段(21 世纪初期至今)。不难看出,勘探方向 and 目标的转移反映了地质认识的不断深化和勘探技术的日臻成熟。

正是由于几代石油地质工作者的不懈努力和执著追求,使准噶尔盆地在经历了半个多世纪的勘探开发后,仍显示出勃勃生机,油气储量和产量连续 29 年稳中有升,为我国石油工业发展做出了积极贡献。

在充分肯定和乐观评价准噶尔盆地油气资源和勘探开发前景的同时,必须清醒地看到,由

于准噶尔盆地石油地质条件的复杂性和特殊性,随着勘探程度的不断提高,勘探目标多呈“低、深、隐、难”特点,勘探难度不断加大,勘探效益逐年下降。巨大的剩余油气资源分布和赋存于何处,是目前盆地油气勘探研究的热点和焦点。

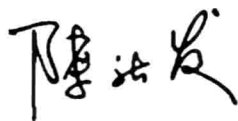
由新疆油田公司组织编写的《准噶尔盆地油气勘探开发系列丛书》在历经近两年时间的努力,今天终于面世了。这是第一部由油田自己的科技人员编写出版的专著丛书,这充分表明我们不仅在半个多世纪的勘探开发实践中取得了一系列重大的成果、积累了丰富的经验,而且在准噶尔盆地油气勘探开发理论和技术总结方面有了长足的进步,理论和实践的结合必将更好地推动准噶尔盆地勘探开发事业的进步。

系列专著的出版汇集了几代石油勘探开发科技工作者的成果和智慧,也彰显了当代年轻地质工作者的厚积薄发和聪明才智。希望今后能有更多高水平的、反映准噶尔盆地特色地质理论的专著出版。

“路漫漫其修远兮,吾将上下而求索”。希望从事准噶尔盆地油气勘探开发的科技工作者勤于耕耘,勇于创新,精于钻研,甘于奉献,为“十二五”新疆油田的加快发展和“新疆大庆”的战略实施做出新的更大的贡献。

新疆油田公司总经理

2012.11.8



前言

中国绝大多数油田形成于陆相沉积环境,油藏非均质性严重,天然能量不足,主要采用注水方式开采,注水开发油田的储量占总储量的 85% 以上。因此,开发中后期各油田面临的主要问题之一就是水淹层评价。无论是砂岩储层,还是砾岩储层,其水淹层评价都是十分困难的。储层的非均质性越强,评价越困难;注入水的矿化度差异越大,电学性质响应越复杂;注水时间越长,油层水洗越严重等,所有这些因素都会使水淹层的岩石物理响应规律更加复杂。研究水淹层岩石物理响应机理,理解水淹层的岩石物理响应特征以及响应规律,是准确评价水淹级别的基础和前提。

目前,从中国陆上油田的水淹情况分析,无论是从采油井见水构成情况,还是从原油产量构成角度来看,绝大多数油田都已经进入高含水、高采出程度阶段。地下油水分布的特点是剩余油高度分散,高含水区域与低含水区域分布无序,经典意义上的油水界面或油水驱替前缘已不存在,导致目前油田的开发特点为:调整挖潜和控水稳油的难度增大,各项措施的效果不够理想;高含水层段不能准确判断,调整井位难以确定;单井含水率上升过快,剩余油富集区不好控制等。针对以上油田勘探开发中遇到的实际问题,国内外相关专家和学者在水淹层的岩石物理机理分析、测井系列优选、解释模型建立、综合评价方法研究等方面都进行了大量研究,并取得了很大的成果,为高含水期油田的增储挖潜和控水稳油提供了技术支撑。但是,以上各种模型和方法基本上都是在砂泥岩地层中总结和归纳的,对于储层非均质性严重、岩性物性复杂和孔隙结构差异比较大的砾岩油藏,模型的适用性和方法的解释精度很难达到实际水淹层评价的要求。

本书以新疆克拉玛依典型砾岩油藏为研究对象,在国内外发表的论文、文献资料以及相关论著的基础上,总结已有的研究成果和目前的研究进展,针对性地提出了目前砾岩油藏水淹层评价中遇到的主要问题,包括砾岩油藏特殊的沉积环境导致储层岩性复杂多变,岩性的准确识别比较困难;复杂的孔隙结构和严重的非均质性,岩电参数的变化范围比较大,饱和度计算模型难以确定;砾岩油藏的水淹特征参数敏感性不是太高,需要构造一个能够消除储层骨架因素影响并且只反映孔隙流体性质变化的参数;砾岩油藏水淹层综合识别方法和评价标准不够系统,需要在岩石物理研究的基础上,确定水淹层定量评价的标准,制定水淹层合理的识别方法。针对克拉玛依油田砾岩油藏的地质特点和目前水淹层评价面临的问题,本书分为六章,分别对砾岩储层的综合特征、砾岩储层的水淹机理、水淹层测井响应特征、数据挖掘识别岩性与储层

类型、水淹层测井资料处理与解释、水淹层程序开发与现场应用等方面进行系统的研究,最终形成了一套完整的砾岩油藏水淹层综合评价方法和实用技术,为油田二次开发调整和增储挖潜提供了有力的技术支撑。

本书是在中国石油新疆油田公司勘探开发研究院和中国石油大学(北京)地球物理与信息工程学院测井研究中心的合作下完成的,在这里向参与编写的所有人员和为此书提供资料的科研工作者致以衷心的感谢。此外,在本书中还引用了相关人员的论文、文献、论著以及某些科研成果,在此一并表示感谢。

由于编者的技术经历、专业水平以及编写时间的限制,书中肯定有一些错漏之处和不完善的地方,敬请各位读者和专家批评指正!

CONTENTS 目录

绪论	(1)
第一章 砾岩储层的综合特征	(4)
第一节 砾岩储层沉积特征	(4)
第二节 砾岩储层孔隙结构特征	(10)
第三节 砾岩储层的渗流特征	(12)
第四节 砾岩储层的岩性特征	(15)
第五节 不同岩性的孔渗特征	(18)
第六节 克拉玛依油藏特征	(24)
小结	(28)
第二章 砾岩储层的水淹机理	(29)
第一节 砾岩油藏水淹层分级	(29)
第二节 水淹层岩石电学性质响应机理	(30)
第三节 岩石润湿机理研究	(34)
第四节 不同水淹条件下岩电参数变化规律	(37)
第五节 地层水矿化度对电阻率影响机理研究	(38)
第六节 水淹层岩石组分及孔隙结构变化研究	(40)
小结	(40)
第三章 水淹层测井响应特征	(43)
第一节 水淹层常规测井响应特征	(43)
第二节 水淹层特殊测井响应特征	(48)
小结	(55)
第四章 数据挖掘识别岩性与储层类型	(57)
第一节 数据挖掘预测方法	(57)
第二节 基于数据挖掘决策树方法识别砾岩岩性	(60)
第三节 基于数据挖掘知识的砾岩岩性图版	(65)
第四节 基于数据挖掘知识的参数组合识别法	(71)
第五节 岩性识别方法的对比分析	(71)
第六节 数据挖掘描述方法	(73)
第七节 基于聚类的储层类型划分方法	(76)
第五章 水淹层测井资料处理与解释	(81)
第一节 常规测井定性识别水淹层	(81)

第二节	特殊测井定性识别水淹层	(91)
第三节	新疆砾岩油藏水淹层解释模型	(97)
第四节	砾岩油藏水淹特征参数提取	(113)
第五节	水淹层定量评价方法	(120)
第六节	砾岩油藏水淹级别评价规则	(128)
第七节	水淹层的综合评价	(128)
第六章	水淹层程序开发与现场应用	(133)
第一节	水淹层测井解释程序的开发	(133)
第二节	水淹层测井解释应用效果分析	(133)
参考文献		(139)

绪 论

一、国内油田注水开发的特点和现状

自 1859 年算起,现代石油工业已经走过了 150 多年的历史。注水开发从 20 世纪 40 年代兴起,50 年代迅速成为油田的一种主导开发方式。注水开发的普遍使用,使油田开发方式发生了历史性变革,也使世界石油工业迅速走入成熟的高峰时期。世界上各个国家的老油田经过了十几年到几十年的注水开发,总体多已进入高含水、高采出程度阶段。我国大庆、胜利、新疆、大港等地区的油田大多数已进入了高含水后期或特高含水期阶段,综合含水达 80% 以上,有的甚至达到 90%,大部分油田相继进入二次或三次采油期,水淹日益严重,油田后期开采的难度也越来越大。因此,提高水淹层测井质量及解释符合率是研究剩余油分布情况、提高采收率的重要任务。

二、国内油田水淹层测井的形成与发展

从利用测井曲线定性判断水淹层,到定量求取剩余油饱和度、含水率,判断水淹级别;从单井水淹层解释到多井剩余油分布,中国水淹层测井经过 50 余年的发展,已经形成了独具特色的水驱油田测井系列,测井作业每年达到 4000 余井次,用产层含水率确定水淹级别的方法已经取得显著效果:

(1)20 世纪 50 年代,玉门油田在油田开发分析工作中开始应用简单的水淹层测井资料。

(2)60 年代,大庆油田将水淹层测井资料作为判断水淹区域的辅助资料,用于确定钻检查井的井位。

(3)70 年代,大庆油田研制出了点测的碳氧比能谱测井仪;同期,胜利等油田对水淹层的解释问题也进行了研究,总结出自然电位偏移、三侧向、声波和感应等测井资料定性划分水淹层的方法。

(4)80 年代,大庆油田开始使用碳氧比能谱测井仪解释水淹层,用人工电位测井方法、介电和逐步判别多元回归分析的解释方法定量求取孔隙度、渗透率、饱和度等参数,对水淹层划分出强、中、弱三个水淹等级;胜利油田运用共渗体系中相对渗透率的概念分析地层的产液性质,用测井资料确定三饱和度(地层水饱和度、束缚水饱和度和残余油饱和度),按多相流体在微观孔隙内的渗流特性和规律,应用油水共渗分流量方程求出剩余油饱和度、含水率,划分水淹等级。大庆油田和胜利油田的这两种解释水淹层的方法在油田均见到了好的地质效果,并在许多油田推广应用。在现场,各油田还根据各自的地质特征,选用了不同的测井系列来求取剩余油饱和度,取得了不同程度的效果。如碳氧比能谱测井在大庆、大港、胜利、吉林等油田取得了较好的成果,中子寿命测井和氯能谱测井在江汉油田应用效果比较好,PND 测井在胜利油田取得了良好效果,RMT 在大庆、大港和南阳取得了明显效果,氧活化测井在大庆油田得到了较好的应用,自然电位激发极化组合测井在内蒙古二连盆地的应用也取得成功。

(5)90 年代,通过对测井系列的改善和新解释方法的研究,取得了新的研究成果。如在厚

层内划分水淹部位和判断薄层(0.5m)水淹的难题已经得到初步解决,建立了注水过程中淡化系数方程以及回注油井产出水或注入水电阻率与原始地层水相比变化不大的情况下的水淹层解释模型。为了避免在淡水水驱后期因地层电阻率升高而将强水淹层判断为“好油层”,还使用钻井液滤液电阻率、自然电位、人工电位和俘获截面等测井资料来求准水淹层混合液电阻率,用电阻增大率来计算含水饱和度,使解释符合率有了明显的提高。基于不同区块、不同油层的油水相对渗透率曲线,考虑各种影响因素建立产水率与含水饱和度关系,利用生产测井资料得到的产水率来计算剩余油饱和度的方法是利用油水井注、采剖面测井资料来求油层剩余油饱和度。

三、国际油田水淹层解释研究

国外为了探明油层的剩余油饱和度,广泛采用给地层注入同位素活化液或盐水,随时间推移进行两次或多次测井的“测—注—测”技术,从而由多次测得的结果求出剩余油饱和度,同时可用此技术监视油层的枯竭状态及驱油效率。俄罗斯在水淹物理模拟实验中同样得出了油层注入淡水后电阻率增大的结论。俄罗斯秋明油田使用深感应测井与深侧向测井组合探测油层剩余油饱和度,使解释精度得到了改善。利用宽频带声波测井可以探测地层的纵波和横波速度,与密度测井组合,能够确定地层动弹性压缩系数,这对解释淡水水驱油田油层剩余油饱和度具有重要意义。利用电磁波深探测电阻率测井的径向探测深度深、能探测到水淹油层原状地层电阻率的优势,用它确定水驱油田油层剩余油饱和度的效果好。美国应用声波全波列测井资料来估算储层渗透率已有突破:储层的声波性质与孔隙充填物类型有关,通过它可划分水淹层和油水层界面。

四、砾岩油藏水淹层测井评价

目前,水淹层测井评价研究仍是一项十分复杂和困难的课题,特别是砾岩油藏水淹层的研究难度更大。砾岩油藏水淹层的复杂性大致可以归纳为如下几个方面:

- (1) 储层岩性背景复杂,油层电阻率变化幅度大,不易区分水淹层;
- (2) 注入水的矿化度变化非常大,导致水淹层的电阻率响应特征变化复杂;
- (3) 油水界面跨度大,加大了水淹层解释的难度;
- (4) 储层非均质性极强,且油藏局部发育小的断层。

上述因素造成不同油田或区块的水淹层呈现出的特点差别较大,反映在测井响应信息上也千差万别,因此各种评价方法都具有区域局限性,不能照搬使用。为此,有必要针对具体区块做进一步的研究,根据油田自身的地质和开发特点,找出适合本油田的水淹层测井解释方法。

五、新疆克拉玛依油田砾岩水淹层研究的难点

新疆克拉玛依油田砾岩油藏经过40年的注水开发,目前已进入高含水开发阶段,特别是老区的重点调整区块。高含水期的水淹层准确评价已经成为二次开发中控水稳油和增储挖潜的技术关键。但是,由于砾岩油藏非均质性严重、岩性变化剧烈、储层微观孔隙结构呈复模态分布以及测井响应无规律性等特点,目前水淹层的评价还没有形成有效的识别方法,主要的问题有以下几个方面:

(1) 岩性的准确识别比较困难。由于砾岩油藏特殊的沉积环境导致储层岩性复杂多变,常规的地球物理统计方法很难综合各种测井信息来提取岩性敏感参数并建立识别模型,而不同岩性的测井响应差异比较大,特别是电阻率曲线,因此,砾岩油藏岩性的准确识别是含油饱和度准确求取和水淹层定量评价的基础。

(2) 饱和度计算模型难以确定。砾岩油藏由于复杂的孔隙结构和严重的非均质性,岩电参数的变化范围比较大,基于 Archie 公式以及相应变形公式的饱和度模型很难达到砾岩油藏含油性的计算精度,建立一种没有固定参数并且能连续反映地层信息变化的模型是解决饱和度能否准确计算的前提。

(3) 砾岩油藏的水淹敏感参数需要重新构造。含油饱和度 S_o 和产水率 F_w 两个水淹特征参数在岩性单一、物性均匀的砂层骨架因素影响并且只反映孔隙流体性质变化的参数是水淹层评价的关键。在砂岩储层中适用性比较好,但是在砾岩油藏水淹层的评价中敏感性较差,构造一个能够消除储层骨架因素影响并且只反映孔隙流体性质变化的参数是水淹层评价的关键。

(4) 砾岩油藏水淹层综合识别方法和评价标准不够系统,需要在岩石物理研究的基础上,确定水淹层定量评价的标准,制定水淹层合理的识别方法。

六、新疆克拉玛依油田砾岩油藏水淹层研究的方向

新疆克拉玛依油田六中区克下组油藏是重点研究和调整的区块,含油面积 10.3km^2 ,地质储量 $2084 \times 10^4\text{t}$ 。油田经历了 40 多年的开发,目前暴露出许多问题,特别是随着注水开发的进一步增强,油层水淹问题成为调整开发、增产增效的最主要矛盾。通过对克拉玛依油田水淹层的研究揭示砾岩油藏岩石物理响应机理及响应特征,建立其解释模型和方法,优选测井系列并在上述研究工作的基础上开发水淹层处理算法程序,并在以下三个方向实现了技术突破:

- (1) 砾岩油藏水淹层定性识别技术;
- (2) 砾岩油藏水淹层定量解释技术;
- (3) 砾岩油藏水淹数值模拟和数据挖掘技术。

第一章 砾岩储层的综合特征

新疆克拉玛依油田为山麓洪积扇沉积,是一套以砾岩为主的碎屑岩沉积,属于多旋回的山前陆相盆地边缘沉积。由于多物源、多水系、多变的古山麓地理条件、水动力条件的不稳定,形成了多类型、窄带相的复杂碎屑岩体系。复杂的沉积条件决定了储层严重的非均质性,主要表现在岩矿组分差异,颗粒大小不一,纵横向上相带变化急剧;层内、层间渗透率非均质性高;储层孔隙类型复杂,原生孔隙、次生孔隙并存,孔隙和裂缝并存,粗细微孔隙并存,孔喉严重非均质,分选性差,孔喉配位数低;地质因素与油层水淹的关系复杂。这些因素为开发带来了一系列的不利影响。由于砂砾岩储层的这些特点,使测井响应与地层的岩性、物性、电性等属性间的关系由简单的线性关系变为复杂的非线性关系,传统的体积响应模型不适应砾岩水淹层的解释,储层参数精确计算的难度增大。水淹后的储层将加剧这种非线性关系,使得直接利用常规测井曲线对砂砾岩储层进行评价变得困难。针对砂砾岩储层的物性、电性、含油性、润湿性等参数的特殊性,有必要从水淹机理入手研究该类型储层的水淹特征以及影响储层参数变化的因素,以便指导储层解释评价。

本章就砾岩储层的沉积特征、孔隙特征及渗流特征进行深入的描述,研究不同特征的岩石对应的测井响应特征,找出不同岩性测井相特征,探讨储层的沉积、孔隙及渗流特征对注水开发的影响。

第一节 砾岩储层沉积特征

新疆克拉玛依油田位于准噶尔盆地西北缘克乌逆掩断裂的断阶上,区域构造基本为一向东南倾的单斜,并被东西和东北向的两组断裂割成若干断块,自西北向东南呈阶梯状下降;沉积相为山麓洪积相沉积,属于多旋回的山前陆相盆地边缘沉积。

一、山麓洪积相的微相划分

根据洪积扇沉积特征,将其划分为四个部分:扇体最上部以片状漫流垂向加积为主的沉积区,称为扇顶;中部为辫状分支水流活动的沉积区,称为扇中;下部为交叉点以下地区,称为扇缘;两个扇体之间的沉积区,称为扇间。

扇顶、扇中、扇缘和扇间是山麓洪积相体系中具有不同特征的亚相带。在同一亚相带内,不同部位的沉积特征仍有差别。这些差别直接影响到储层的物性、流体运动的变化乃至整个油藏的开发效果,因此必须将亚相再细分为更低一级的环境单元——微相带。

李庆昌等(1997)在研究现代山麓洪积扇及准噶尔盆地三叠系山麓洪积扇的基础上,制定了粗碎屑洪积扇的相带划分系统,如表 1-1 所示。

表 1-1 粗碎屑洪积扇相带划分系统表

沉 积 相	亚 相	微 相
复合洪积扇	扇顶	主槽、侧缘槽 槽滩、漫洪带
	扇中	辫流线、辫流沙岛 漫流带
	扇缘	
	扇间	扇间滩地、扇间凹地

二、山麓洪积相的微相特征

虽然不同地区的洪积扇因受气候、构造、地形和源区母岩岩性等因素的影响使沉积物的特征各不相同,但在同一洪积扇内,各微相带的沉积物及其各项参数的变化依然存在规律。

1. 扇顶亚相的微相

(1)主槽微相:位于扇顶中间部位,顶端正对山口,呈喇叭形向下展宽,槽内布满流沟,流沟宽数米,深不到 1m,随机分布于主槽沉积之上,其间为相对较高的砾石滩——沟间滩。沉积物为一套很厚的砂砾岩,砾岩可达 90% 以上;普遍发育洪积层理。中上部剖面出现支撑砾岩;沉积物分选性差。流沟是主槽洪水活动的主要场所,洪峰过后的洪水多在流沟活动,支撑砾岩即形成于流沟中。沟间滩接受悬移质最多的漫洪期物质,多属于泥质砾石层,粒径大而分选差。流沟和沟间滩不断更替迁移,造成两种渗透性差别很大的沉积物在主槽剖面上反复交替。主槽沉积剖面上泥质含量以底部最高,向上减小。电阻率值由下向上增高,自然电位的偏移幅度也向上变大,两条线呈一漏斗形状。

(2)侧缘槽微相:位于扇顶一侧或两侧,其上游端在山口附近与主槽交叉,形态狭长,下游端消失于扇间地带。沉积物与主槽无明显差别,主要层理类型仍然为洪积层理;砾岩仍在 90% 以上;含泥量与主槽微相的中上部相近或更低,纵向以底部最低;支撑砾岩见于中下部;电阻率和自然电位曲线呈正旋回形态。

(3)漫洪带微相:在扇顶亚相带内地形最高的部位,仅在特大洪水期间才接受沉积。岩性为含砂砾泥岩或泥质砂砾岩,单层厚度仅数十厘米至数米,有成层性,见不规则洪积层理,砾岩占 0 ~ 20%。电阻率曲线为平直的中低阻形态,自然电位平直无幅度显示。漫洪带沉积中很少有粒径大于 100mm 的砾石,其下伏砾岩顶部的砾石表面有铁质薄膜,裂解明显。

(4)槽滩微相:它是主槽、侧缘槽、漫洪带之间的过渡带。岩性以巨粗砂岩、砾岩为主夹薄层泥岩;砾岩占 70% ~ 90%,分选性较主槽及侧缘槽有所改善;泥质含量稍高,支撑砾岩少见,洪积层理发育;电阻率中高值,自然电位幅度中等,曲线均呈锯齿状,旋回性不明显。

2. 扇中亚相的微相

(1) 辫流线微相:它是主槽在扇中部位的分支,也是流沟在扇中的归并,呈放射状散布,一般宽 10~50m,深 3~5m,最深处在中上部位,向扇缘变浅。沉积物为槽洪携带的砂砾,层厚一般为数米,砾岩占 70%~90%,粒度中值较扇顶小,分选略好,含泥量有所增加;洪积层理和多层系大型交错层理为主要层理类型;扁平砾石排列显著,细层内部粒度有韵律性变化;电性曲线由多个小韵律构成锯齿形正旋回形态,中高阻,自然电位幅度中等。

(2) 辫流沙岛微相:它是辫流线中间或边上的砾石滩,面积不大,顺辫流线走向延伸,沉积物比辫流线沉积细,砾岩占 50%~70%;含泥量比辫流线更高,普遍发育大型交错层理;电性曲线特征与槽滩近似,但电阻率值和自然电位幅度变小。

(3) 漫流带微相:它是辫流线间的高部位,只接受漫洪期细粒悬浮负载沉积,边部往往有沙岛镶边。沉积物为泥质细粉砂岩和细粉砂质泥岩,常混有少量粗粒砂和小砾石;有块状层理及不规则洪积层理,有时见根系印痕和植物残屑;电性曲线与漫洪带相似。

扇中亚相的 3 个微相带由于辫流线在扇体建设过程中不断迁移游荡而交互出现于沉积剖面中,使电性曲线总的特征是呈高低阻指状互层。

3. 扇缘亚相的微相

扇缘亚相带为细粒沉积物,层理有块状、波状等,常见草/木本植物根系和枝叶印痕。虽偶有次生扇和小股水流的粗碎屑沉积,但所占比例甚小,无条件储集油气。

4. 扇间亚相的微相

扇间亚相分扇间滩地微相和扇间凹地微相。扇间滩地是相邻两扇侧缘槽交会点的上部,面积有限,沉积特征与槽滩类似,砾岩可高达 70%~90%,并见洪积层理;扇间凹地微相则是相邻两扇侧缘槽交会点以下部分,是扇面水流主要汇集处,流入盆地的间歇性或暂时性水流均由此流出。扇间凹地的地貌呈槽形,由上向下稍变宽,然后过渡为扇缘,岩性为砂砾岩和泥岩不规则互层,砾岩占 50%左右,含泥量较高;层理类型多,洪积扇所见层理均有出现,但以交错层理为主要类型。两个物源的沉积物在横剖面上犬牙交错,故扇间沉积岩性非均质程度高;电性曲线呈中低阻薄互层,自然电位幅度小,无旋回性。

三、不同沉积微相水淹特征响应

1. 扇顶水淹特征

图 1-1 为新疆克拉玛依油田 16-3A 井解释成果图,电阻率曲线形态呈现漏斗状。电阻率的异常是扇顶快速沉积大的砾石造成的。由于水体能量比较大,冲刷强烈,地层胶结差,容易形成大的孔隙,导致水窜和层间水的舌进。

16-3A 井初期日产液 22.9t,产油 0.5t,含水 98%,属于强水淹井。综合判断各个射孔层段的测井曲线,划分水淹级别,扇顶曲线由于沉积韵律和沉积构造的影响呈现标准的漏斗形状,下部容易水淹,对比成果图 and 解释的结果吻合。在强水淹层出现 $RI > RT > RXO$,射孔层段电阻率非常高,冲洗带、过渡带、原状地层电阻都很高,分析可能是大的砾岩块造成的;强水淹段 SP 曲线没有明显的变化,不能反映水淹情况。16-3A 井水淹层解释成果如表 1-2 所示。

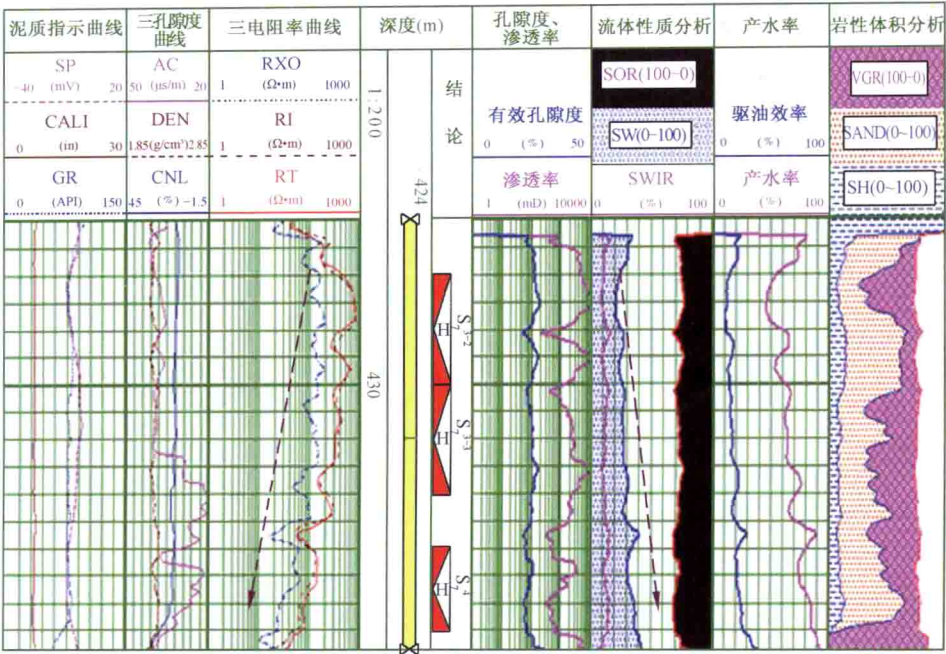


图 1-1 16-3A 井扇顶曲线水淹特征

表 1-2 16-3A 井水淹层解释结果表

层位	解释结果	RXO(Ω·m)	RI(Ω·m)	RT(Ω·m)	SP(mV)	GR(API)
S_7^{3-1}	强水淹	50	160	160	-4.48	81.72
S_7^{3-2}	中水淹	160	700	650	-9.22	74.55
S_7^{3-3}	强水淹	140	380	330	-3.09	77.01
S_7^4	强水淹	55	110	135	-9.65	78.87

图 1-2 为 6140 井解释成果图。由图中可以看出,扇顶亚相在电阻率曲线上整体上呈漏斗形,单个砂体在电阻率曲线上出现漏斗形、钟形和箱形。根据这些测井曲线形态,就可以判断砂体的水淹部位,对比其他砂体,准确地判断水淹级别。

6140 井初期日产液 10.5t,产油 9.6t,含水 9%,属于油井。综合判断各个射孔井段曲线,划分水淹级别。其中, S_7^{3-1} 和 S_7^{3-3} 属于油层,RT>RI>RXO,RT 都在 140Ω·m 以上; S_7^{3-2} 上部弱水淹,RT 降到 90Ω·m,而且 SP 上部曲线基线发生偏移; S_7^4 下部发生水淹,RT 降到 60Ω·m,个别小段还出现 RXO>RT。油层 S_7^{3-1} 出现的 RI>RT,可能是过渡带上有大块砾石造成的,而且三电阻曲线比另一个油层更大,判断是砾岩岩性的影响。6140 井水淹层解释成果如表 1-3 所示。

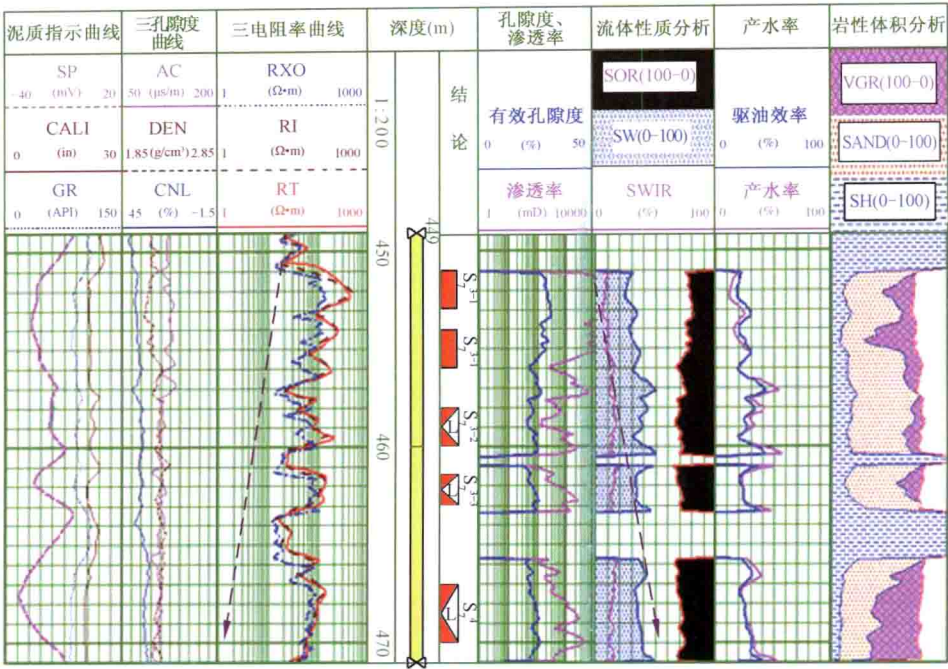


图 1-2 6140 井扇顶曲线水淹特征

表 1-3 6140 井水淹层解释结果表

层位	解释结果	RXO(Ω·m)	RI(Ω·m)	RT(Ω·m)	SP(mV)	GR(API)
S_7^{3-1}	油层	130	380	400	-24.06	86.52
S_7^{3-1}	油层	100	200	220	-26.77	84.59
S_7^{3-2}	上部弱水淹	60	80	90	-16.61	94.05
	下部油层	50	150	180	-12.17	89.43
S_7^{3-3}	油层	75	115	130	-25.34	86.5
S_7^4	上部油层	75	100	120	-28.49	87.7
	下部中水淹	60	65	70	-27.17	84.62

对六中区 2006 年新打的 6 口井和 20 世纪 90 年代以后开发的 14 口井测井曲线进行分析,扇顶沉积韵律曲线大部分为漏斗状,符合率达到 90%。特别是六中东区 2008 年打的几口检查井和开发井,曲线形状更明显,符合率更高。

扇顶和扇中没有明显的分界线,有些井打在漫洪带上,它的岩性和物性都比较差,测井曲线杂乱没有规律,所以曲线特征不明显,没有很好的规律性。

2. 扇中水淹特征

扇中与扇顶通常不具备明显的界限,沉积物相对细一些,砾石含量减少,具显著半旋回特征的辫状水道是其骨架砂体。其岩性较扇顶细,以细砾岩、粗砂岩和含砾砂岩为主,可见粉砂