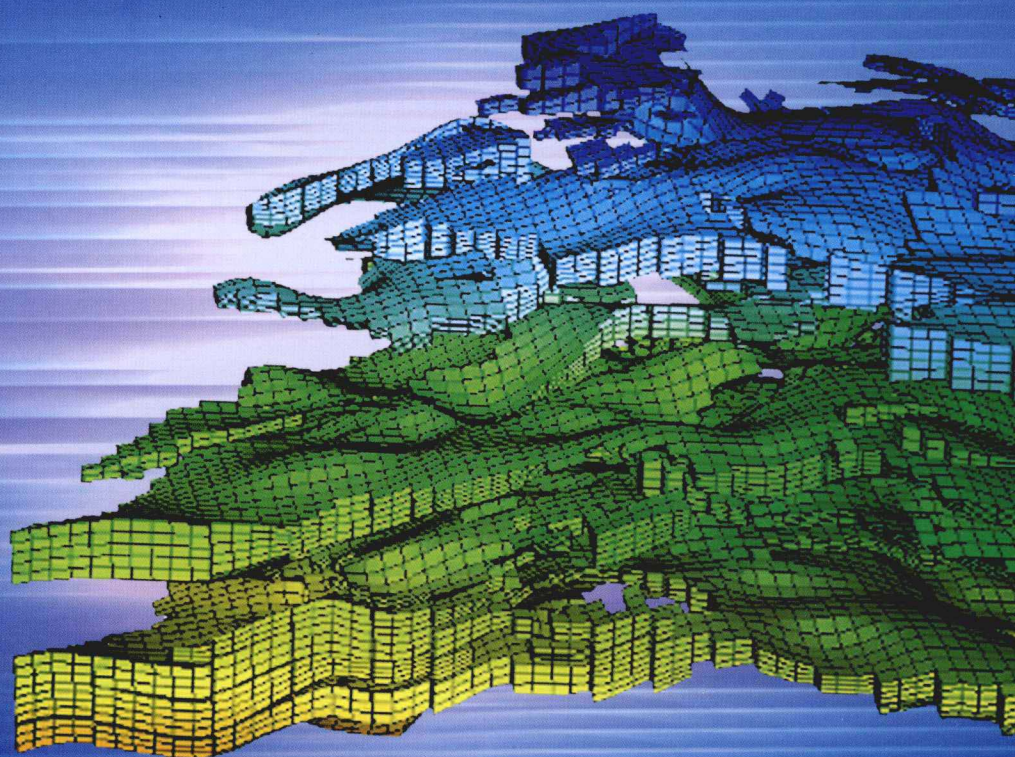


水驱砂岩油藏特高含水期 剩余油精细表征技术

王延忠 著



石油工业出版社

水驱砂岩油藏特高含水期 剩余油精细表征技术

王延忠 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统总结了水驱砂岩油藏在剩余油精细表征方面的研究成果,联系矿场实际,介绍了精细油藏地质建模和精细油藏数值模拟以及剩余油三维定量表征技术,对特高含水期整装油田剩余油开发具有很强的针对性。

本书可供开发人员、油藏工程人员及相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水驱砂岩油藏特高含水期剩余油精细表征技术 / 王延忠著.

北京:石油工业出版社,2011.4

ISBN 978-7-5021-8345-5

I. 水…

II. 王…

III. 水驱油田:砂岩油气田-高含水期-剩余油-研究

IV. TE 327

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 044155 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) 64523544

发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京睿特印刷厂

2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:11.75

字数:216 千字

定价:68.00 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

注水开发是中国油田的主要开发方式，在石油开发中一直占主导地位。中国东部老油田经过几十年的开发，总体上都已进入特高含水期。胜利油田是中国第二大油田，以典型的陆相非均质水驱砂岩油藏为主，其中整装油田无论从储量规模还是产量贡献率来看，在胜利油田均占有举足轻重的地位，目前整体上已进入特高含水开发阶段，地下油、气、水分布十分复杂。传统观念认为特高含水期油藏剩余油分布十分零散；精细研究和实践证明对胜利油区陆相水驱油藏，特高含水期剩余油分布特征是总体分散、局部集中，仍存在较多的剩余油富集区。因此，针对整装油田特高含水期的特点，加强剩余油精细表征研究并提出高效的挖潜措施，减缓老油田产量递减成为胜利油区最紧迫的任务之一。本书对特高含水期整装油田剩余油的表征技术进行了研究和应用。

精细储层地质研究是剩余油研究的基础，本书第一章和第二章介绍了储层精细描述技术。第一章对储层描述中的关键技术——储层精细对比与划分、沉积微相研究、夹层描述与预测、储层参数测井精细解释等进行了研究；第二章介绍了精细刻画储层及层内夹层三维空间分布的确定性建模技术，从而为剩余油的定量表征提供了一个更为精确、合理、可靠的储层三维地质模型。剩余油的形成受多种因素的影响，第三章通过物理模拟、数值模拟、微观水驱油试验等方法从宏观和微观的角度介绍了储层中的油水运动规律和剩余油的形成机理及控制因素。剩余油的预测方法和技术较多，第四章对目前剩余油的预测方法进行了总结和分析，并着重介绍了基于精细油藏地质模型的精细油藏数值模拟技术，以及研制开发的基于精细油藏数值模拟结果的剩余油三维定量表征软件系统。第五章介绍了剩余油富集区筛选标准的建立方法，并以油藏数值模拟结果为主，结合油水井动态资料、测井资料、检查井资料，开展了油藏层间、层内、平面剩余油定量描述及潜力分析。第六章介绍了基于特高含水期剩余油精细描述的层系细分重组及井网优化调控等高效开发技术。

本书紧密联系油田生产实际，在各章节均有实例分析，具有较强的实用性和可操作性，希望对广大读者具有参考和借鉴意义。

在本书的编写过程中，得到了中国石化胜利油田地质科学研究院、河口采

油厂、孤岛采油厂、孤东采油厂以及中国石油大学（华东）等单位领导和专家的关心和支持，在此深表谢意。同时感谢石油工业出版社为本书出版所付出的辛勤劳动。

由于笔者水平有限，书中难免存在错误和不足，恳请读者批评指正。

目 录

第一章 储层精细描述技术	1
第一节 储层精细对比划分	1
一、对比划分级别	1
二、对比划分模式	2
三、对比划分方法	10
四、对比划分成果	11
第二节 沉积微相研究	15
一、沉积微相研究方法	15
二、河流沉积微相特征	17
三、三角洲沉积微相特征	20
第三节 夹层描述与预测技术	23
一、夹层分类及其特征	24
二、井点夹层识别及发育特征	26
三、井间夹层预测	27
第四节 储层参数测井精细解释技术	31
一、测井资料标准化	32
二、测井精细解释模型的建立	33
第二章 储层精细三维地质建模	39
第一节 概述	39
一、国内外发展概况	39
二、油藏三维地质建模技术介绍	40
第二节 建模数据准备及模型网格设置	44
一、数据准备	44
二、模型网格设置	47
第三节 精细三维地质模型的建立	48
一、构造模型	48
二、高精度储层格架模型	51

三、储层属性模型	56
第三章 剩余油形成机理与控制因素	60
第一节 微观剩余油形成机理及控制因素	60
一、微观剩余油驱替过程	60
二、微观剩余油分布规律	61
三、微观剩余油形成机理	63
四、微观剩余油控制因素	64
第二节 宏观剩余油分布规律及控制因素	66
一、层间地层系数对层间剩余油的控制作用	66
二、夹层对层内剩余油控制作用	69
三、韵律性对层内剩余油的控制作用	78
四、储层平面非均质对平面剩余油的控制作用	80
五、井网对剩余油的控制作用	82
第四章 剩余油定量表征技术	86
第一节 剩余油定量研究方法	86
一、剩余油描述技术的发展及现状	86
二、剩余油的研究方法	87
三、剩余油研究方法分析	92
第二节 精细油藏数值模拟技术	92
一、油藏数值模拟模型建立技术	93
二、历史拟合技术	103
三、剩余油定量表征指标	109
第三节 剩余油三维定量表征系统	115
一、软件开发方法	115
二、软件系统主要功能	117
第五章 剩余油潜力分析	125
第一节 剩余油富集区筛选标准	125
一、剩余油饱和度标准确定	125
二、剩余可采储量标准确定	126
三、剩余油潜力区级别划分	126
第二节 剩余油潜力分析	127
一、典型单元概况	127
二、剩余油潜力分析	128

第六章 特高含水期剩余油开发对策 140

第一节 层系重组开发技术 140

一、层系井网重组的原则 140

二、层系重组技术经济政策界限 141

三、层系重组方案及优化 149

第二节 特高含水期井网加密调整技术 157

一、典型单元概况 157

二、正对行列井网调整技术 165

三、交错行列井网加密调整技术 170

结束语 175

参考文献 177

第一章 储层精细描述技术

在全世界范围内，大约有 20% 的可动石油储量，因储层在垂向上和平面上的各种非均质性隔挡和界面条件，被滞于地下而无法采出。到 2010 年，我国 70% 以上的油田与世界上许多油气田一样，都已进入了高含水期开采阶段，而胜利油区中高渗整装砂岩油藏综合含水已高达 94.6%，可采储量的采出程度达 90%，地下油气水的分布极为复杂。为进一步挖潜特高含水期整装油藏剩余油，增加可采储量，大幅度提高采收率，开展精细储层描述研究是基础。

第一节 储层精细对比划分

储层精细对比与划分是油藏地质研究的基础，也是精细油藏描述非常重要且关键的环节。

一、对比划分级别

根据陆相沉积旋回性及岩性、电性、含油性的组合，地层划分可分为六个级别。

含油层系（一级）：相当于一级沉积旋回，由沉积条件、岩石类型、流体性质等基本相似并相邻的若干油层组组成的一套含油（气）层系，各个一级旋回之间以不整合或沉积间断的方式相接触，如胜利油区主要一级旋回含油层系包括馆陶组（Ng）、东营组（Ed）及沙河街组（Es）。

油层组（二级）：相当于二级旋回，由分布状态、岩石性质、流体性质相似，并相互靠近的一套油（气）层组组成，二级旋回间沉积相类型有明显变化或不整合，是形成该层系生储组合的基础。在上述一级旋回中可分别划分为出几个二级旋回，胜利油区馆陶组可划分为馆上段、馆下段，东营组可分为东一段、东二段、东三段，沙河街组可划分为沙一段、沙二段、沙三段、沙四段。

砂层组（三级）：上下被稳定的低渗透层或不渗透层分隔，由连续沉积

的若干砂层按一定规律组合的一个较小的沉积旋回（相当于三级旋回），代表湖盆水域的扩张与收缩，不同三级旋回之间地层是连续的，是形成砂层组的基础。从开发实际出发，三级旋回（砂层组）厚度一般不易过大（小于200m），它是油田范围内油层对比的出发点，旋回界线必须是明确的沉积事件界线，或必须有标准层控制，以利于砂层组进一步细分的等时性。如孤东油田的馆上段划分为6个砂层组，胜坨油田二区的沙二段划分为15个砂层组。

小层（四级）：同一时期沉积的厚度较小的岩层，相当于四级旋回，对于河流相沉积来说，一般以一次河泛事件作为小层划分的界线，即划在河道砂或河漫砂的底部，能量减弱沉积泥岩的顶部。四级旋回作为划分小层的依据，厚度以小于30m为宜，以适应油田开发的实际应用，因为它是油田投入开发的最基本单元。根据小层所含的砂层数、砂层厚度及层间差异性，确定开发层系的组合方式。如孤东油田馆上段的4—6砂层组划分出18个小层，分为5套开发层系（ $4^1—5^1$ 、 5^{2+3} 、 $5^4—6^1$ 、 6^{3+4} 、 6^2+6^{5-8} ）。胜坨油田二区主力含油层系沙二段15个砂层组划分出70个小层，共组合成八套开发层系1—2、3、4—6、 $7^1—7^3$ 、 $7^4—8^1$ 、 $8^3—8^5$ 、9—10、11—15。

单砂层（五级）：上下被泥岩或不渗透层分隔的单一砂层，相当于五级旋回。河流相沉积中的每一次侧积、加积、废弃、改道等形成的上下以泥岩分割的砂体可作为单砂层划分的界线。单砂层是油田开发后期层系细分重组、层间剩余油挖潜的基本储层单元。

韵律段（六级）：被层内夹层分隔的、或渗透性具明显分段的储层段，相当于六级旋回。河流相砂体下切、叠加、短暂间歇形成的层内不稳定薄夹层或单一正韵律可作为韵律段划分的界线。韵律段是油田特高含水期层内剩余油挖潜的储层单元。

油藏在特高含水期已划分到小层，为满足层间、层内剩余油挖潜的需要，储层应划分到单砂层和韵律段，这也是中高渗砂岩油藏特高含水期储层精细刻画的重要内容之一。

二、对比划分模式

对于陆相河流、三角洲沉积，以标准层控制层位，用沉积旋回和岩相厚度法结合标志层划分砂层组，采用等高程、等厚砂体、叠加砂体、下切砂体和平面相变等5种砂体对比模式对比划分单砂层或韵律段。

（一）等高程对比模式

对于河流相沉积，河道内的沉积厚度反映古河流的满岸深度，其顶界反映

满岸泛滥时的泛滥面，同一河流内的河道沉积物其顶面应是等时面，而等时面应与标准层大体平行，即同一河道沉积，其顶面距标准层（或某一等时面）应有基本相等的“高程”（图1-1）；反之，不同时期沉积的河道砂体，其顶面高程应不相同。对于三角洲沉积，因其为湖盆斜坡上的水下沉积，所以平行湖岸线方向同时期砂体顶面高程基本相同（图1-2）。

（二）等厚砂体对比模式

主要针对砂体分布相对稳定的三角洲相沉积，根据旋回厚度对比法，把电测曲线形态相似、地层厚度相近的砂层划分为同一单砂体或韵律段，划分时需要考虑沉积砂体在近距离范围内的稳定性、连续性（图1-3）。

（三）叠加砂体对比模式

河流相沉积叠加砂体是河床侧向迁移的结果，如图1-4所示，在垂向上表现为多个间断性正韵律，即复合正韵律。在测井曲线上有两种反映：一是表现在自然电位、电阻率和微电极等曲线上有小幅度的回返；二是电性不回返，自然电位呈箱形，表示下部沉积的细粒被侵蚀。三角洲沉积叠加砂体由于水流的进退作用，前期沉积物顶部受到冲刷，随后又沉积新的砂体，形成了砂体叠置现象（图1-5），若冲刷不彻底，上部沉积单元仍存在粗粒沉积物，从电测曲线上可以见到夹层存在；若冲刷强烈，下部单元砂体被部分冲刷，两期砂体叠置，电测曲线显示呈箱形。

叠加砂体在劈层上要结合周围邻井的情况合理分配。在划分叠加砂体时要注意油水界面、与邻井砂体对应关系的合理性等问题。

（四）下切砂体对比模式

下切砂体就是后一个时间单元的砂体占据了前一个时间单元砂体的一部分或全部空间的砂体（图1-6），该模式是河道沉积中常用的对比模式。下切砂体与叠加砂体形成的水动力原理应是一样的，只是前者的水动力能量更大，把原先的砂体冲刷掉。下切砂体在垂向上岩性、电性大，都显示为复合韵律的特点，对河流相来说其底部为突变接触，岩心常见泥砾。

（五）相变砂体对比模式

河道边缘由于水流变化形成的薄互层不能视为多个时间单元，而应与河道中心砂体划为同一砂体。在河道泛滥期，河水冲开或溢出河堤形成决口扇或天然堤，其厚度和延伸范围均较同期的河道砂小很多，在砂体对比划分时它们为同一砂体（图1-7、图1-8）。

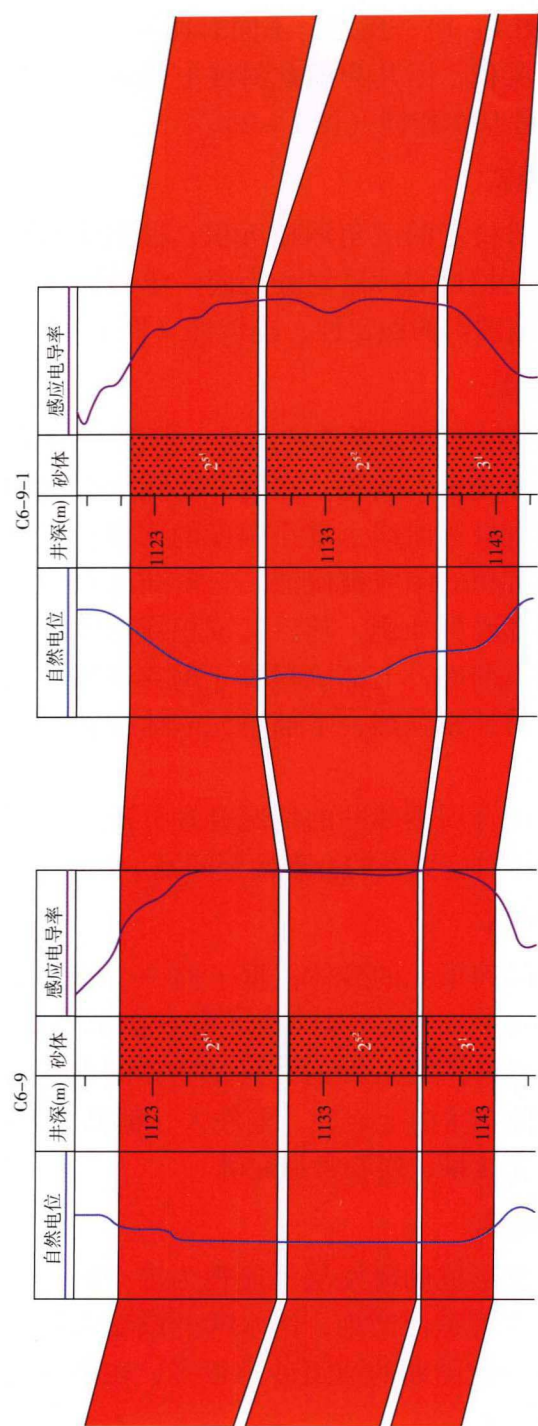


图1-1 埕东馆陶组2⁵+3¹河流相砂体等高程对比划分模式

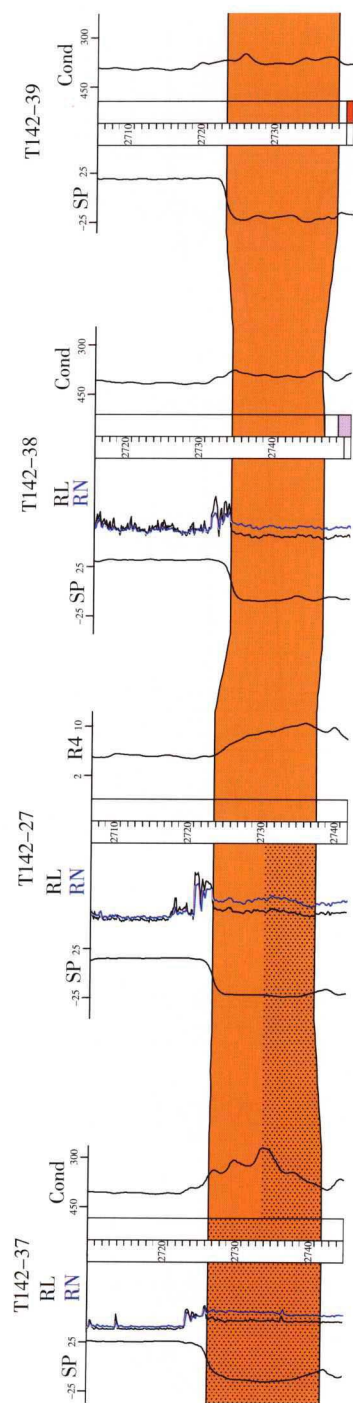


图1-2 坨142块二段15'层三角洲相砂体等高程对比划分模式

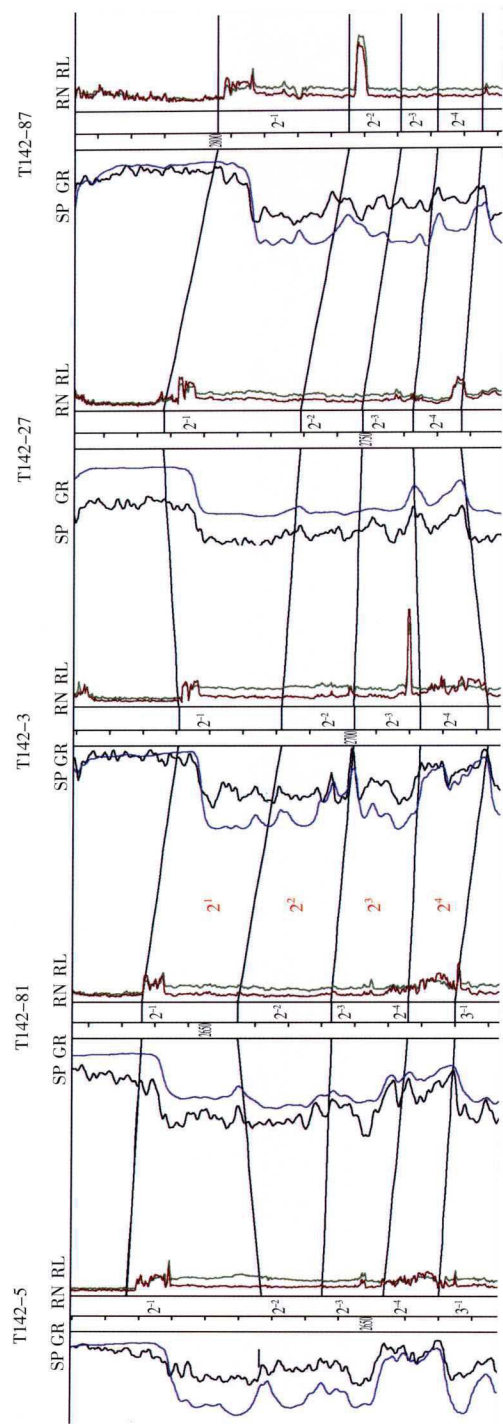


图1-3 坨142块沙二段15²层三角洲相等厚砂体对比划分模式

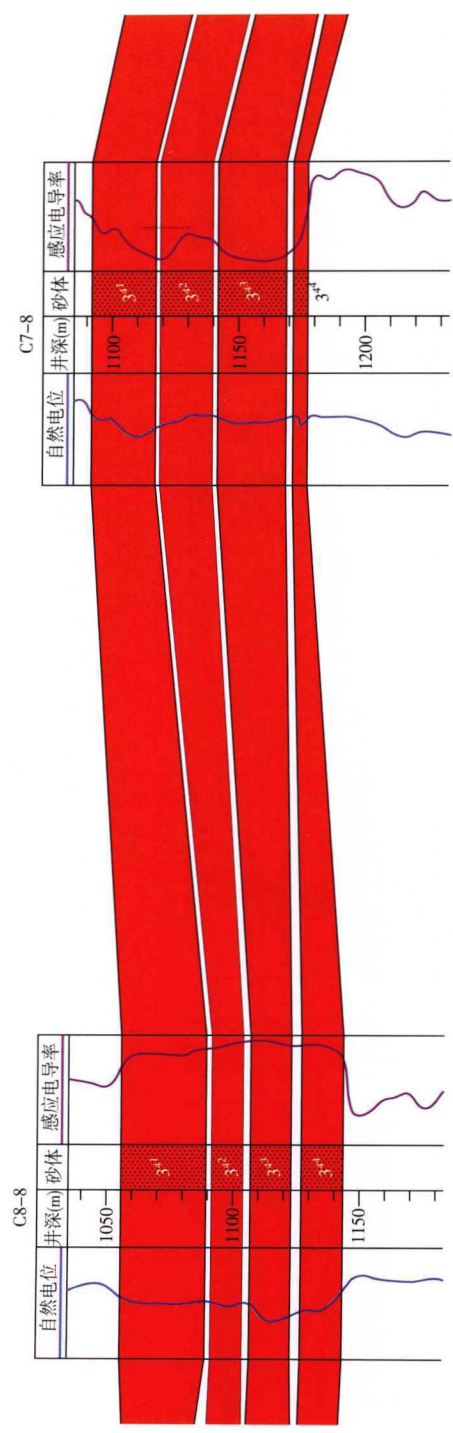


图1-4 埕东馆陶组3⁴河流相叠置砂体对比划分模式

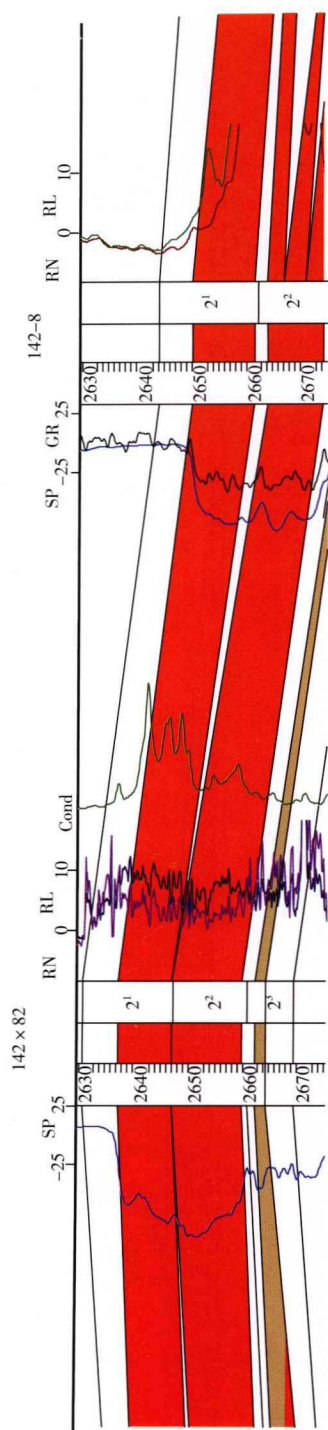


图1-5 坨142块沙二段15²层三角洲叠置砂体对比划分模式

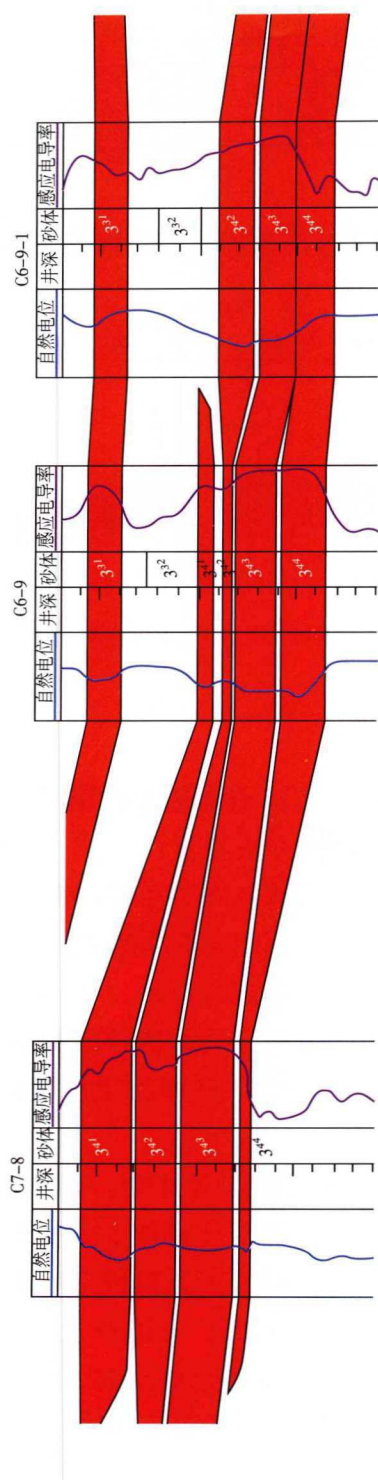


图1-6 埕东馆陶组3⁴层河流相下切砂体对比划分模式