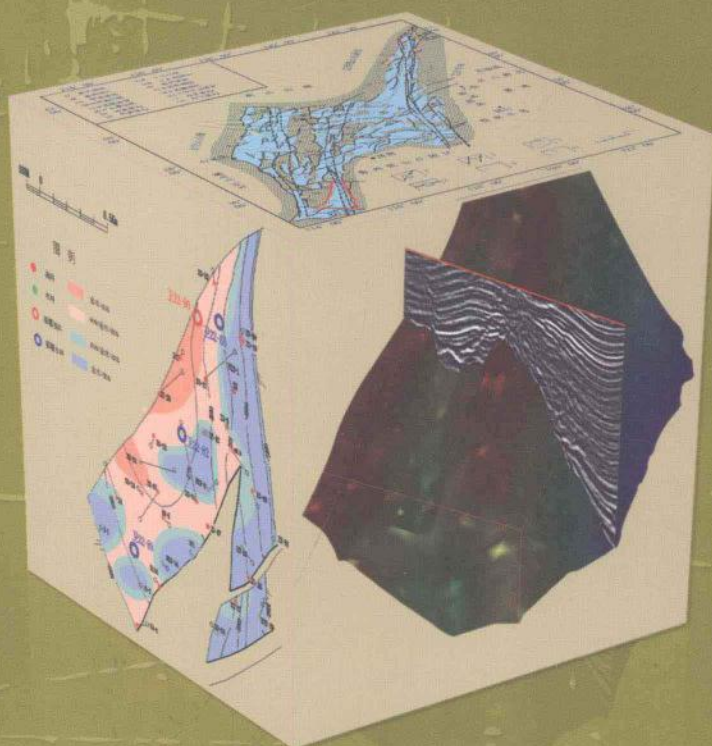


# 低渗透复杂油藏剩余油 形成机理和预测

——以卫城油田为例

刘伟 著



石油工业出版社

# 低渗透复杂油藏剩余油形成机理和预测

——以卫城油田为例

刘 伟 著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书利用多学科原理和方法技术,应用地质、测井、地震、计算机理论和手段,综合研究了低渗透复杂油藏地质特征,揭示了储层演化规律,建立了低渗透复杂油藏地质模型和剩余油预测模型,并预测了高含水期剩余油分布规律,可指导油田改善开发效果,提高油气采收率。

本书可供油田开发工作者和大专院校相关专业师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

低渗透复杂油藏剩余油形成机理和预测:以卫城油田为例/刘伟著.  
北京:石油工业出版社,2011.1

ISBN 978-7-5021-7877-2

I. 低…

II. 刘…

III. 低渗透油层:复杂油层-油气藏-残余油饱和度-研究-濮阳市

IV. TE 327

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 151085 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)64523539 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

---

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:9

字数:230 千字

---

定价:54.00 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

《低渗透复杂油藏剩余油形成机理和预测》一书是作者多年来科研与生产实践相结合的重要成果,具有较大的创新性。作者刘伟从事油田开发工作十余年,担任中原油田一厂厂长兼总地质师,在油田开发方面有较高的造诣,为中原油田的发展做出了突出贡献。该书是他多年科研和生产相结合的结晶,主要阐述了我国东部低渗透复杂断块油田进入高一特高含水期所面临的问题,并针对这些问题,提出了研究表征储层及其中剩余油的方法技术。作者应用国内外现代油藏描述、表征和预测的原理和方法技术,重点解剖了东濮凹陷卫城油田卫22断块,深入研究了深埋地下2700~3500m的低渗透储层特征及其成因类型,揭示了被不同级序断层切割的低渗透复杂油层宏观、微观和渗流等特征,预测了高一特高含水期剩余油形成与分布规律,有效指导油田改善开发效果。同时,开展了外围滚动勘探开发地区的储层研究,预测油气的聚集规律,指明了有利油气富集区域。

该书的主要特色是建立了低渗透复杂断块油藏高一特高含水期剩余油预测模型,解释和预测了研究区剩余油形成分布规律,改善了开发效果,有效地指导了卫城低渗透复杂油藏剩余油的挖潜,创造了显著的经济效益。该书是陆相断陷湖盆开发地质学在复杂断块油藏剩余油挖潜实施中取得的成果,可作为开发地质学领域的重要参考书。

刘伟

# 前 言

能源是社会发展的基础,油气是工业的“血液”,是国民经济发展的重要支撑。高效快速的发现和探明油气田,并实施合理的开发措施,有效提高油气采收率,对经济效益和社会效益的提高具有重要意义。

我国东部的油气田广泛分布在陆相断陷湖盆,不同级序的控油断层极为发育,油层埋藏深,储层非均质性很强,成藏条件复杂,给油田的勘探开发带来了很大的困难。而目前已开发的油田又相继进入了勘探开发的高成熟期,如东濮凹陷卫城油田已经历了近30年的注水开发,进入高含水开发阶段,但油气平均采收率仅35%左右,如何高效率地采出地下剩余油资源是目前高含水油田必需攻关的难题。因此,研究长期动态演化的地下复杂油藏环境,建立高或特高含水期的油藏地质模型,揭示剩余油形成机理及其平面或纵向剩余油分布规律,准确预测剩余油的富集区,对有效指导高一特高含水期剩余油采收率的提高具有重要意义。

该书是笔者承担“973”科技攻关和中国石油化工集团公司科技攻关的部分成果,主要研究区为卫城油田的沙三中、下亚段的36个层位。储层是水进式三角洲的分流河道和河道侧翼微相砂体,孔隙度均值为13%~20%,渗透率均值为1~30mD,埋深为2700~3500m。该油田不同级序的控油断层多,属于低渗透复杂断块油藏,目前综合含水达85%。笔者借助地质、测井、地震等静态资料和各类动态资料,综合应用多学科的理论和方法技术,研究了高含水期油藏地质特征及存在的问题,建立了油藏地质模型,揭示了剩余油的分布规律,提出了有效的老油田改善勘探开发效果的措施。

本书共七章,第一章论述卫城低渗透复杂油田地层格架、构造特征、油气藏类型及其在勘探开发中存在的主要问题。第二章阐述了低渗透复杂油藏储层研究原理、方法和技术,研究了沉积相、微相和储层物性特征及其分布规律,综合评价了储层。第三章论述了储层非均质性的内涵、研究原理和方法技术,揭示了研究区储层宏观非均质性和微观非均质性。第四章主要阐述了低渗透复杂油藏成藏机理和成藏模式。第五章论述了低渗透复杂油藏开发历程、开发特征,指出开发中的主要问题,进行了开发效果评价。第六章阐述了剩余油的内涵,剩余油定性、定量研究的方法,揭示了剩余油的分布规律。第七章论述了低渗透复杂油藏高含水期提高剩余油采收率的措施。

该书综合应用了多学科的原理、方法和技术,建立了低渗透复杂断块油藏高含水期剩余油预测模型,解释和预测了研究区剩余油形成分布规律,提出了剩余油挖潜方案,有效的指导了低渗透复杂油藏提高采收率措施。该书介绍了低渗透复杂油藏剩余油研究的思路和方法,希望能对油田开发地质、油藏工程和剩余油研究认识起到抛砖引玉的作用,深化和推动我国油藏工程学和油藏开发地质学的发展。

本书编写过程中中原油田地质科学院、采油一厂、三厂的各位领导、专家给予了很多指导和帮助,借此机会表示由衷的感谢。

因笔者水平有限,书中不当之处,欢迎专家和同行批评指正。

# 目 录

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 绪论 .....                      | (1)   |
| 第一章 卫 22 断块石油地质概述 .....       | (6)   |
| 第一节 地层格架的精细对比与划分 .....        | (6)   |
| 第二节 构造格架 .....                | (11)  |
| 第三节 油气藏类型 .....               | (24)  |
| 第四节 勘探开发中的主要问题 .....          | (26)  |
| 第二章 储层成因类型及空间分布 .....         | (28)  |
| 第一节 储层研究原理和方法技术 .....         | (28)  |
| 第二节 储层成因类型 .....              | (32)  |
| 第三节 储层空间分布 .....              | (36)  |
| 第四节 储层物性研究 .....              | (42)  |
| 第五节 储层评价 .....                | (49)  |
| 第六节 储层润湿性及渗流特征研究 .....        | (63)  |
| 第三章 储层非均质性研究 .....            | (64)  |
| 第一节 储层非均质性研究的原理和方法技术 .....    | (64)  |
| 第二节 宏观非均质性研究 .....            | (66)  |
| 第三节 微观非均质性研究 .....            | (76)  |
| 第四章 成藏机理和成藏模式研究 .....         | (79)  |
| 第一节 烃源岩地质特征 .....             | (79)  |
| 第二节 油气运聚史分析 .....             | (81)  |
| 第三节 成藏机理 .....                | (87)  |
| 第四节 成藏模式 .....                | (88)  |
| 第五节 油气富集规律 .....              | (93)  |
| 第六节 油藏预测 .....                | (95)  |
| 第五章 开发效果和存在的主要问题 .....        | (99)  |
| 第一节 油田开发历程 .....              | (99)  |
| 第二节 油藏开发特征 .....              | (101) |
| 第三节 卫 22 断块油藏开发中存在的主要问题 ..... | (101) |
| 第四节 开发效果评价 .....              | (103) |
| 第六章 剩余油研究 .....               | (108) |
| 第一节 剩余油的内涵 .....              | (108) |
| 第二节 剩余油定性研究 .....             | (108) |
| 第三节 应用监测资料研究油藏剩余油 .....       | (111) |
| 第四节 应用动态分析法半定量研究油藏剩余油 .....   | (112) |
| 第五节 应用油藏数值模拟法定量研究油藏剩余油 .....  | (114) |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 第六节 剩余油富集规律 .....        | (125) |
| 第七章 高含水期提高采收率措施 .....    | (130) |
| 第一节 提高剩余油采收率的思路和对策 ..... | (130) |
| 第二节 提高剩余油采收率的主要措施 .....  | (130) |
| 第三节 提高采收率措施实施的要求 .....   | (138) |

# 绪 论

东濮凹陷是中国东部渤海湾盆地的一个新生代断陷沉积凹陷,古生代时期,属中朝地台的一部分,中三叠世印支运动之前为以海相沉积为主的海陆交互沉积,之后为陆相沉积,喜马拉雅运动早期兰聊断裂发育,凹陷开始形成,古近系沙河街组沉积期是最发育的时期,沉积厚度达 7000 余米,目前尚存范围  $5300\text{km}^2$ ,经历了上隆阶段(古近纪以前)、初期裂陷阶段( $\text{Ek}-\text{Es}_4^{\text{F}}$ )、强烈裂陷阶段( $\text{Es}_4^{\text{F}}-\text{Es}_3$ )、萎缩阶段( $\text{Es}_2$ )、稳定下沉阶段( $\text{Es}_1$ )、收缩阶段( $\text{Ed}$ )和消亡—拗陷阶段( $\text{N}$ )。其间华北运动 II 幕使古近系与新近系之间为不整合接触。凹陷内断裂发育,构成了东西分带、南北分块的构造格局(图 1 至图 3)。

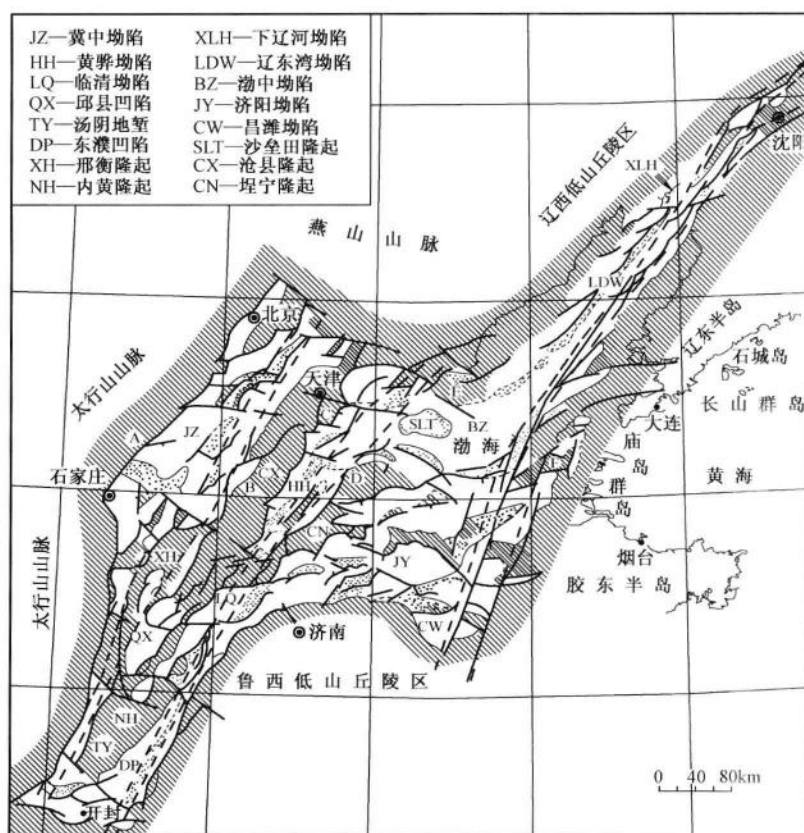


图 1 东濮凹陷区域构造位置图

卫城油田位于东濮凹陷中央隆起带北端,北与文明寨、古云集油田相接,南与文留油田相连,东临濮、卫生油次洼,南北长约 15km,宽 2~3km,面积约  $40\text{km}^2$ ,被断层进一步分隔为多个断块,分 19 个开发单元。本书研究的主要对象是卫 22 块开发单元(图 4)。

卫 22 块为卫 21 断层和卫 34 断层所夹持的断块构造,主要特征是:该块是卫城油田的主要含油断块之一,含油层位为沙三中、下亚段,含油面积  $3.6\text{km}^2$ ,石油地质储量  $468 \times 10^4\text{t}$ ,标定

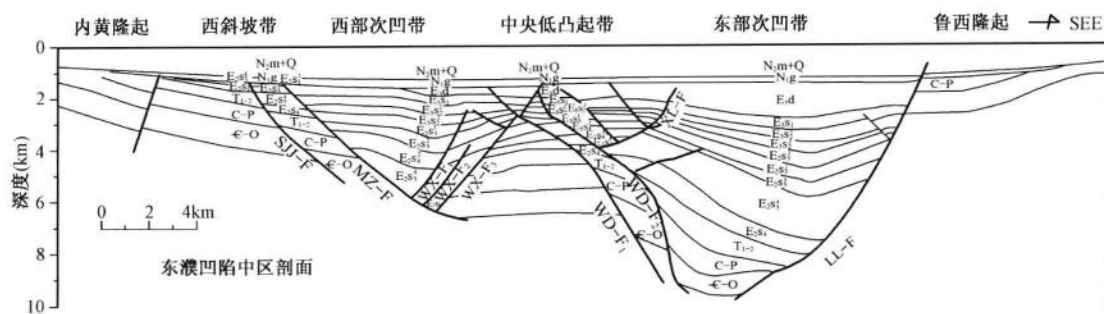


图2 东濮凹陷基底结构示意图

采收率 44.87%,可采储量  $210 \times 10^4 \text{t}$ 。油层原始地层压力 28.0MPa,油层原始压力系数 1.0 ~ 1.02,地面原油密度  $0.88 \sim 0.89 \text{g/cm}^3$ ,黏度  $30 \sim 43 \text{mPa} \cdot \text{s}$ ,凝固点  $28 \sim 32^\circ\text{C}$ ,含硫 0.88% ~ 1.05%,地层原油密度  $0.7615 \text{g/cm}^3$ ,地层原油黏度  $3.46 \text{mPa} \cdot \text{s}$ ,油层温度  $103.8^\circ\text{C}$ ,原始饱和压力 19.17MPa,地饱压差 8.83MPa(表 1)。卫 22 块为低渗透复杂油藏,原油物性较好,储层发育相对稳定,常温常压。

表 1 卫 22 块流体性质平均参数表

| 地层水  |    | 水型    | CaCl <sub>2</sub>                           |
|------|----|-------|---------------------------------------------|
|      |    | 总矿化度  | $(27.88 \sim 28.4) \times 10^4 \text{mg/L}$ |
|      |    | 黏度    | $0.5 \text{mPa} \cdot \text{s}$             |
| 原油物性 | 地下 | 密度    | $0.7744 \text{g/cm}^3$                      |
|      |    | 黏度    | $4.4 \text{mPa} \cdot \text{s}$             |
|      |    | 原始气油比 | $80.7 \text{m}^3/\text{t}$                  |
|      |    | 体积系数  | 1.236                                       |
|      | 地面 | 密度    | $0.8892 \text{g/cm}^3$                      |
|      |    | 黏度    | $42.24 \text{mPa} \cdot \text{s}$           |
|      |    | 凝固点   | $30^\circ\text{C}$                          |

卫 22 低渗透断块油藏是 1979 年发现的,1982 年投入开发,1983 年实施注水,目前,已有油水井 99 口,其中,油井 61 口,水井 38 口,日产油 256t,累计产油  $188.49 \times 10^4 \text{t}$ 。开发中存在的主要问题是卫 22 块低渗透断块油藏已经历了二十几年的高速开采,地质采出程度高达 40.27%,地下的油水分布已发生了复杂的演化,加之卫 22 低渗透断块构造复杂,储层的非均质性较严重,对卫 22 块低级序构造和储层复杂性尚未认识清楚,导致油藏开发在纵向上注入水单层突进,层间动用不均衡,在平面上,局部注采井网不完善,水驱动用程度低,开发效果变差,2002 年油藏自然递减 22.43%。因此本书综合应用多学科的原理为指导,运用地质、地震、测井、油藏工程等资料信息及计算机技术,研究描述卫 22 低渗透断块油藏特征,建立卫 22 低渗透断块油藏不同开发期的油藏动态演化模型,研究地下油水运动规律,揭示油藏动用状况,预测剩余油的分布规律,指导卫 22 低渗透断块油藏调整和挖潜,缓解层间和平面矛盾,改善水驱效果,对提高卫 22 块开发水平和提高油田采收率均有重要的理论意义和实用价值。

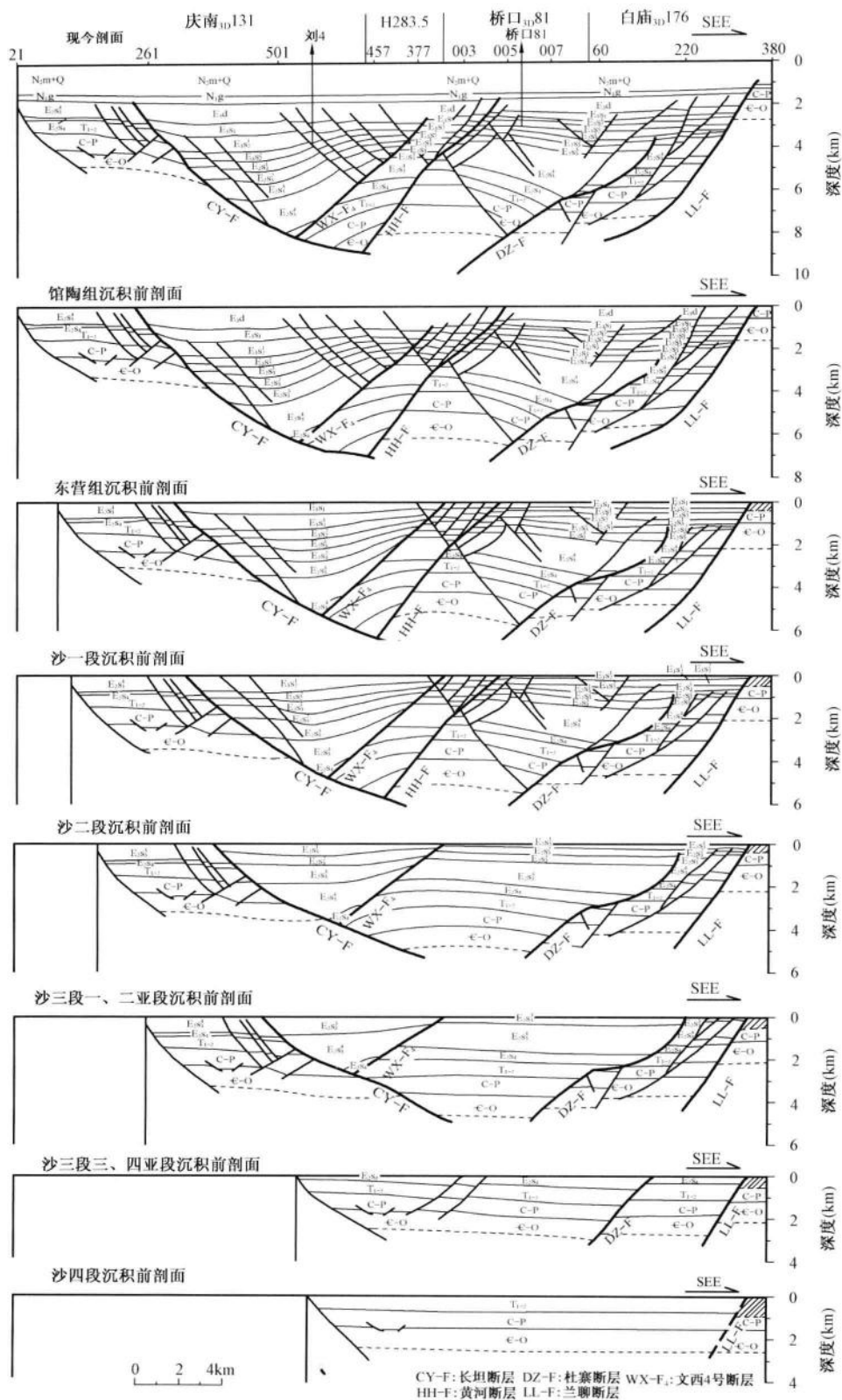


图3 东濮凹陷演化阶段示意图

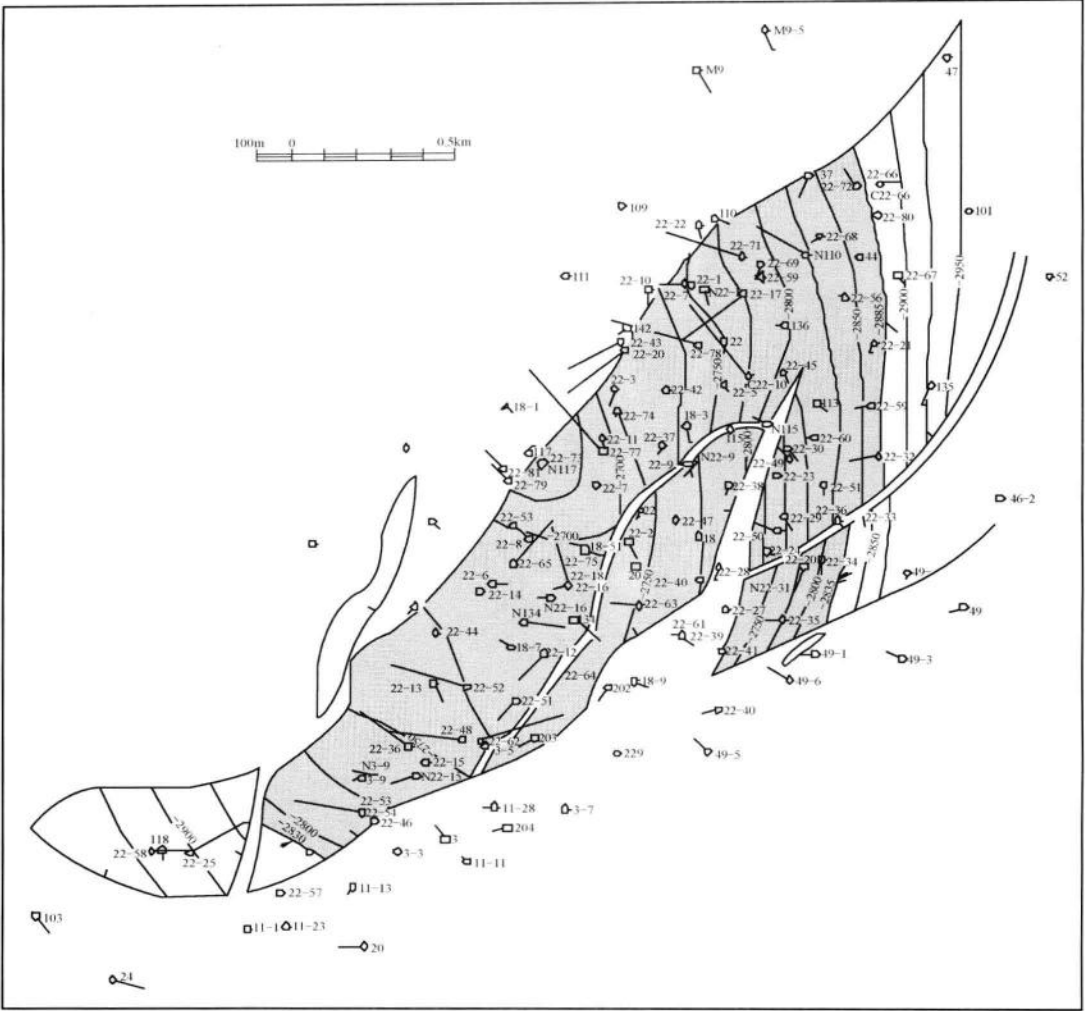


图4 卫城油田卫22块( $E_{s3}^F$ )含油面积图

本书的特点是,综合应用石油地质学、构造地质学、沉积学、储层地质学、地震地层学、测井地质学和油藏工程等多学科理论和方法技术,以卫22低渗透复杂断块油藏为例,应用地质、地震、测井、测试等相关资料信息参数,以数据库为支柱,利用计算机手段,开展精细构造和低级序构造研究、沉积相和微相研究、成藏机理和富集规律研究,建立精细的油藏地质模型,揭示储层非均质性,计算各研究层的地质储量,为油藏剩余油研究和预测提供了可靠的地质依据。在剩余油形成机理和分布规律方面,以油藏静态研究和预测为基础,数值模拟为主要手段,对油藏注水开发全过程历史拟合,定量研究描述高含水期油藏地下油水运动规律和剩余油形成及分布规律,为低渗透复杂断块油藏改善开发效果、提高采收率提供科学依据。低渗透复杂油藏多参数演化地质模型和剩余油预测流程如图5所示。

本书提出卫22块构造主要受早期发育的卫21、卫34、卫32等控油断层和伴生派生的低级序小断层的控制,并使构造面貌极为复杂化。提出卫22块储层为水进式三角洲沉积,储层主要为三角洲分流河道微相及河道侧翼微相砂体,物源主要来自西北部,孔隙度13%~20%,渗透率20~50mD。阐明了该低渗透复杂油藏动用储量达 $497 \times 10^4$  t,目前水驱控制储量

409.38 × 10<sup>4</sup>t, 为总储量的 82.37%, 而动用采出程度高的层 10 个(即 1<sup>1</sup>、3<sup>1</sup>、3<sup>2</sup>、3<sup>3</sup>、4<sup>1</sup>、4<sup>2</sup>、4<sup>3</sup>、5<sup>1</sup>、5<sup>2</sup>、6<sup>1</sup>)是强水淹层。采出程度低的沙三中亚段 6~7、沙三下亚段 6<sup>2-3</sup>、7<sup>1-2</sup>、8<sup>1-4</sup>、9<sup>1-3</sup>、10<sup>1-4</sup> 17 个小层是增储上产、提高采收率的主要层系。

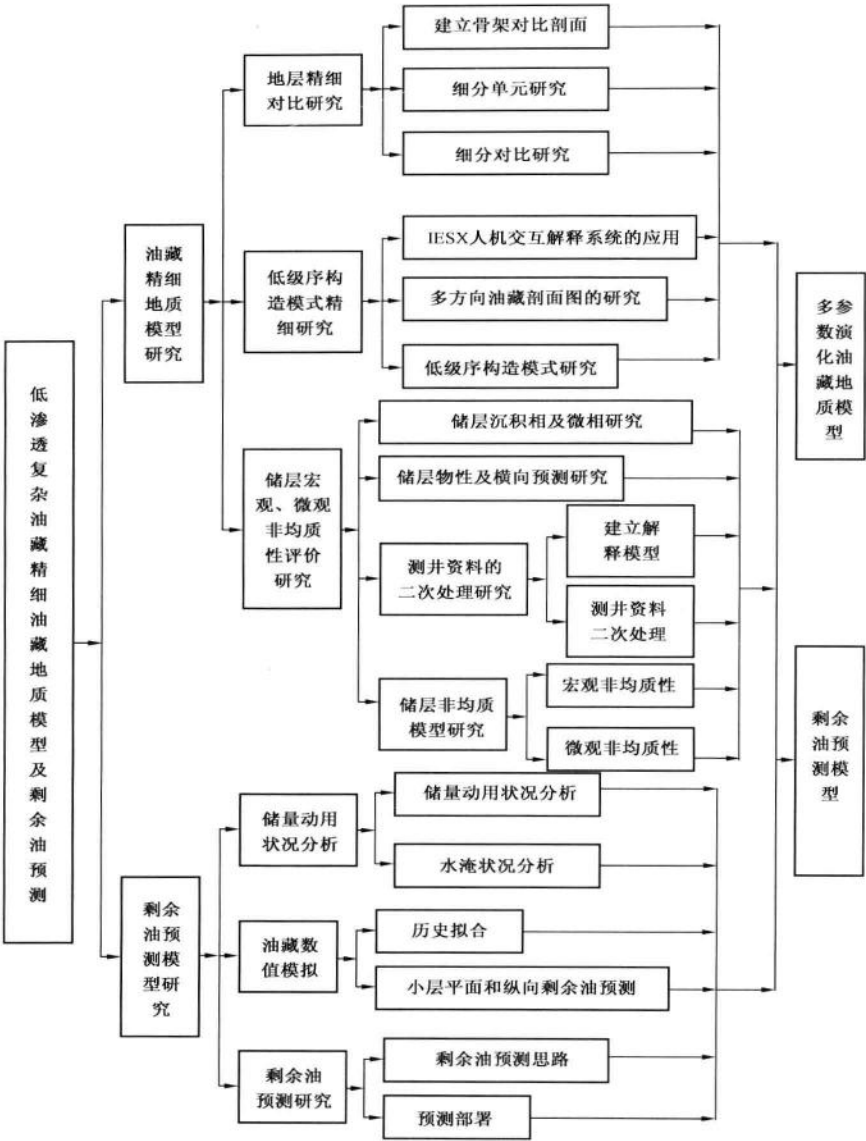


图5 低渗透复杂油藏多参数演化地质模型和剩余油预测模型流程图

# 第一章 卫 22 断块石油地质概述

## 第一节 地层格架的精细对比与划分

### 一、地层格架

卫 22 块低渗透复杂油藏发育的地层层序与卫城地区基本相似,自上而下钻遇的地层有第四系平原组,新近系明化镇组和馆陶组,古近系东营组、沙河街组沙一段、沙二段、沙三段、沙四段,中生界高阻红层。其中沙三下亚段为卫 22 块的主要含油层系。

沙一段:主要为灰色泥岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩等组成的不等厚互层,厚约 300m 左右。可分为上、中、下三个亚段。其中沙一下亚段底部一组油页岩电性特征明显,为顶底两个电阻高峰,中间三个低峰。

沙二段:主要为浅紫红色、浅棕红色泥岩与粗粉砂岩等的不等厚互层,地层厚度约 600m 左右。分为上、下两个亚段;沙二上亚段砂岩比较发育,地层电性特征明显;沙二下亚段上部是泥质岩为主,夹薄层砂岩,下部砂岩发育,沙二下亚段内部地层对比标志的稳定性差,但顶底电性特征明显。

沙三段:为一套灰色砂泥岩、页岩和油页岩等的地层组合,中部夹一套膏、盐与砂泥岩地层。该段地层油页岩发育,电性标志层明显,可划分为上、中、下三个亚段。沙三上亚段为灰、深灰色粉砂岩、泥岩和页岩为主,发育了大量的页岩、油页岩,电性上为高视电阻率的单独尖峰,构成多个组合特征的电性标志层。沙三中亚段以顶、底部沉积了两套灰白色盐膏岩层为特征,间夹油页岩、泥(页)岩和灰白色粉砂岩沉积。沙三下亚段地层厚约 350m 左右,为一套灰色、深灰色泥(页)岩、褐色油页岩与浅灰、灰白色粗—细粉砂岩或不等厚间互沉积为特征。该段地层划分了 10 个砂层组。

沙四段:上部为一套灰色砂泥岩沉积地层,间夹油页岩沉积,向下为一套低阻红色砂泥岩地层沉积,厚度较小,常在 100~280m,与下伏中生界地层成角度不整合接触。

卫 22 块的主要含油层系为卫城油田盐下的沙三中亚段及沙三下亚段,为一套灰色、深灰色泥岩、褐色油页岩、膏泥岩与浅灰色粉砂岩等组成的不等厚互层,砂泥岩成组性强(图 1-1)。

### 二、地层精细对比标志层的优选

卫 22 块低渗透复杂油藏的沙三中、沙三下亚段中,常发育的油页岩、膏泥岩在区内分布较稳定,电性特征明显极易研究识别和对比,优选这些层为该区地层对比的主要标志层。按本区目的层沉积的韵律性,将沙三下亚段划分为 10 个砂层组 32 个小层,沙三中亚段 6~7 砂层组划分为 4 个小层,划分对比情况如表 1-1。

### 三、地层精细对比研究

#### 1. 建立地层骨架对比剖面

地层划分对比的方案建立之后,为了确保卫 22 块地层对比的可靠性和精确性,优选地层发育相对较全、测井曲线相对较清晰的井来建立地层划分对比的主要骨架剖面,研究中共建立了两条纵剖面 and 一条横剖面为研究对比的骨架剖面(图 1-2 至图 1-4)。

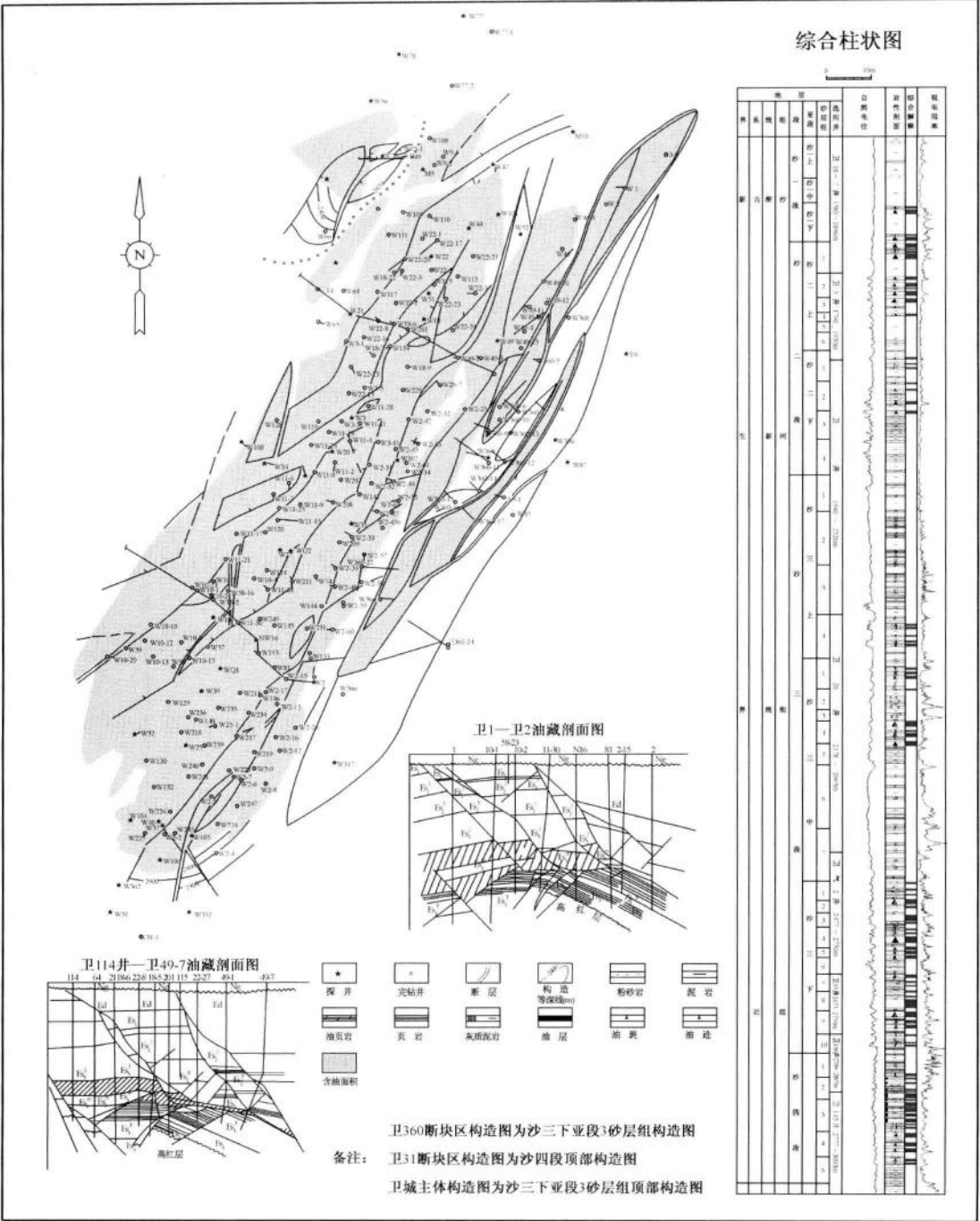


图 1-1 卫城低渗复杂油田综合地质图

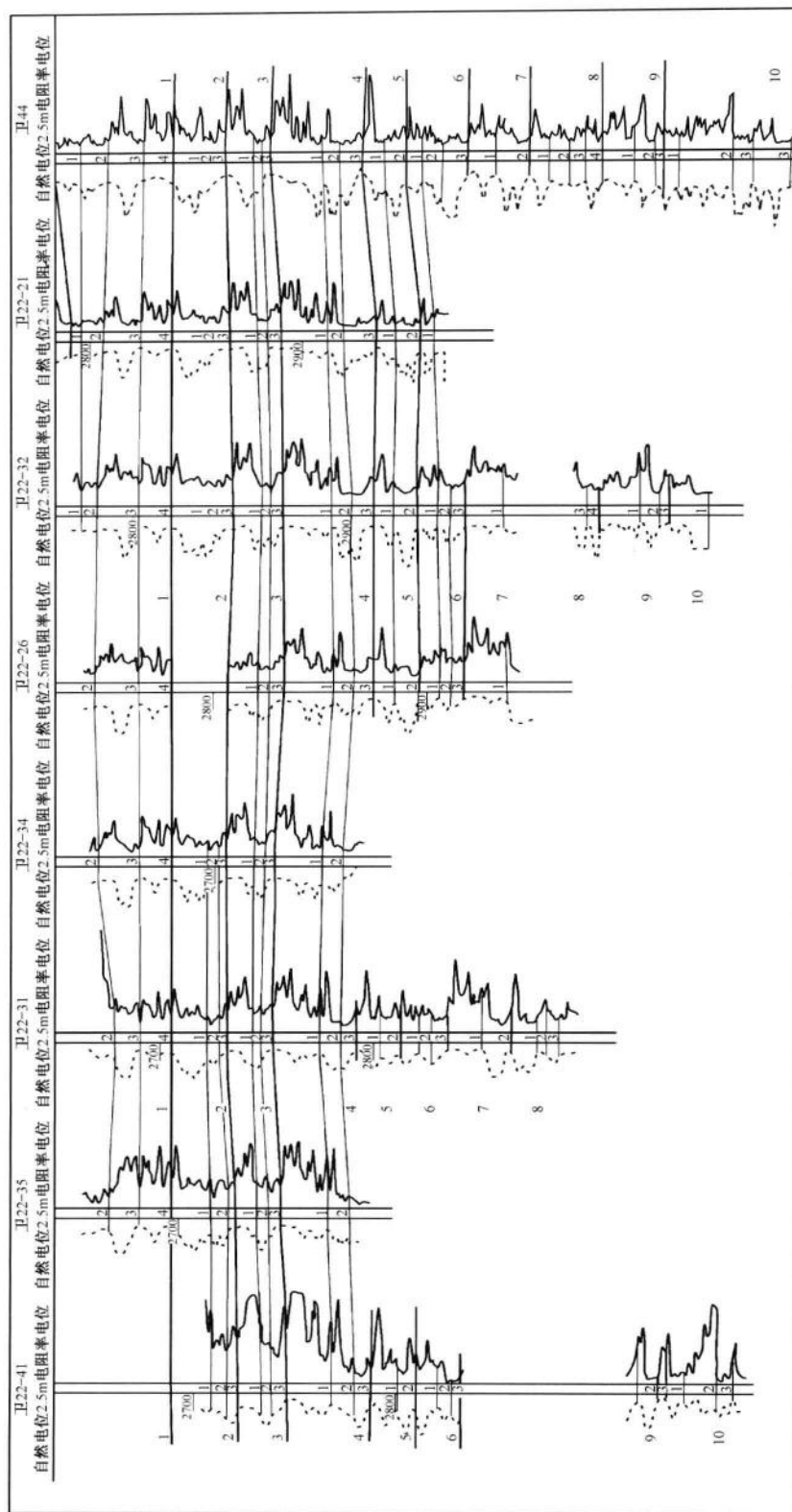


图1-2 沙三下亚段沉积时间单元对比剖面图(J22-41—J22-44)

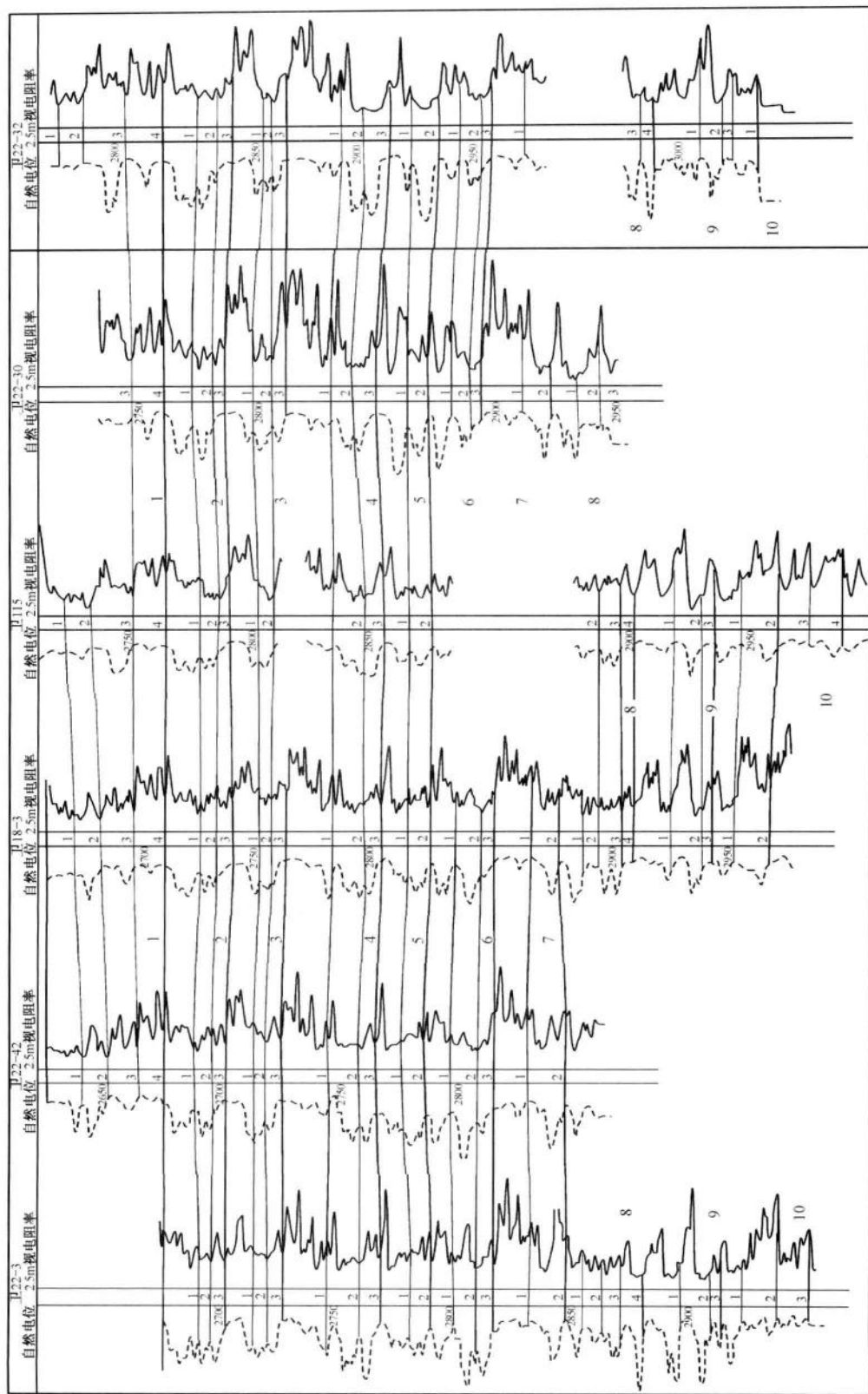


图1-3 沙三下亚段沉积时间单元对比剖面图(W22-3—W22-32)

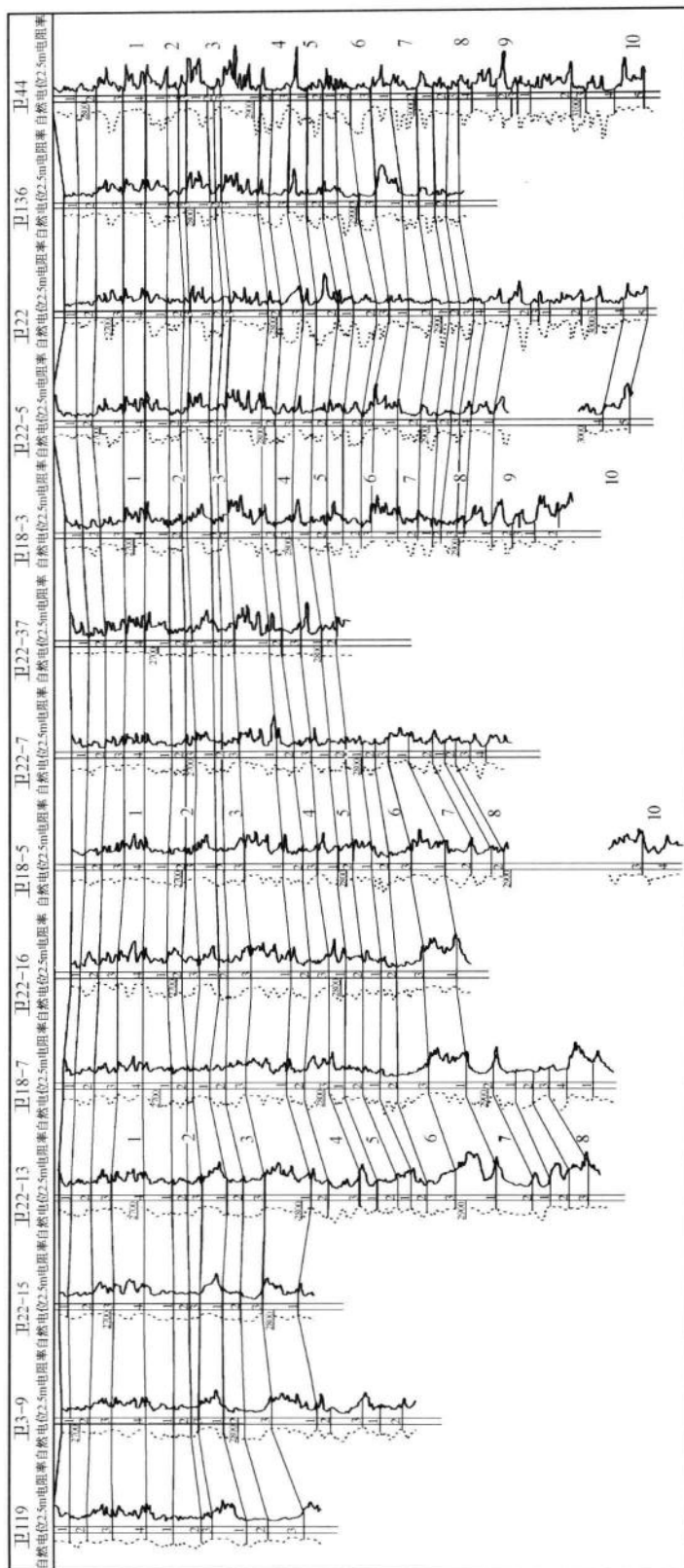


图1-4 沙三下亚段沉积时间单元对比剖面图(卫119—卫44)