

ZHONGGUO SHIYOU XUEHUI
DI ERJIE YOUQITIAN
KAIFA JISHU DAHUI LUNWENJI

中国石油学会 第二届油气田开发技术大会 论文集



——高含水、高采出程度油田挖潜增效开发技术研讨会

何庆华 张占峰 编



石油工业出版社

中国石油学会第二届油气田 开发技术大会论文集

——高含水、高采出程度油田挖潜增效开发技术研讨会

何庆华 张占峰 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书收集了“中国石油学会第二届油气田开发技术大会——高含水、高采出程度油田挖潜增效开发技术研讨会”代表性论文 50 篇,内容涵盖油藏地质与描述、剩余油分布研究、提高注水效果技术方法、水平井开发技术、调剖堵水工艺与技术、压裂和酸化增产技术、地面采油工艺新技术、海上油田增产增效开发技术等,基本上反映了我国在高含水、高采出程度老油田挖潜增效的各种技术在油田的应用情况及发展趋势。

本书可供从事油气田开发技术研究的技术人员使用,也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国石油学会第二届油气田开发技术大会论文集:高含水、高采出程度油田挖潜增效开发技术研讨会/何庆华,张占峰编.

北京:石油工业出版社,2009. 1

ISBN 978 - 7 - 5021 - 6942 - 8

I. 中…

II. ①何…②张…

III. 采收率(油气开采) - 文集

IV. TE 357 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 200147 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)64523536 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技有限公司

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:25

字数:635 千字 印数:1—1000 册

定价:88.00 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

《中国石油学会第二届油气田开发 技术大会论文集》

编 委 会

主 任：韩大匡

副主任：苏义脑 何庆华

委 员：张凤久 李 阳 潘兴国 蒋 阒 计秉玉

孙福街 李海平 周嘉玺 王增林 张占峰

邹 刚 梁 瑛 裴新芳

前 言

“全国油气田开发技术大会”是中国石油学会新创立的一个品牌学术会议,每两年举办一届,2005 年举办的第一届得到了全国各油气田及研究院所和高校等单位的大力支持,受到了油气田开发界广大科技工作者的欢迎和好评。

“第二届全国油气田开发技术大会”于 2007 年 11 月 7—9 日在广西北海成功召开,本届大会的主题是:“技术创新促进双高油田持续有效开发”。本届大会集中了全国油田开发方面的专家和科技工作者,深入研讨了高含水、高采出程度老油田开发中挖潜增效的关键技术与瓶颈问题,对双高老油田“二次深度开发”,以技术创新推动全国油田开发生产有很大的促进作用。中国工程院韩大匡院士、苏义脑院士,以及全国各大油田、石油院校、科研院所等单位的近 200 名代表参加了本次大会。

本次大会共收到全国各单位科技工作者投递论文 135 篇,内容涵盖了油藏地质与描述、剩余油分布研究、提高注水效果技术方法、水平井开发技术、调剖堵水工艺与技术、压裂和酸化增产技术、地面采油工艺新技术、海上油田增产增效开发技术等。大会学术委员会的专家们认为,本届大会所收到的论文水平普遍较高,不少论文有特色,并有一定创新性。

大会学术委员会专门召开会议,对收到的全部论文进行了认真筛选,推荐出 51 篇论文在两个分会场进行了报告交流。大会主会场特别邀请到了韩大匡院士和苏义脑院士等 7 位专家作了主题报告。韩大匡院士作了“关于高含水油田提高水驱采收率的思考与实践”的大会报告;苏义脑院士作了“地质导向系统与井下随钻测控技术开发进展”的报告;中海石油(中国)有限公司总裁周守为的报告为“中国海上油田高速高效开发技术创新与实践”,中国石油化工集团公司油田部主任李阳的报告为“陆上水驱油藏提高水驱采收率的实践与展望”,大庆油田有限责任公司副总工程师计秉玉的报告为“大庆油田多学科集成化油藏研究方法与应用”,中国石化胜利油田有限公司副总工程师王增林报告了“胜利高含水油田采油工程技术”,中国石油勘探开发研究院专家蒋阆作了“对当前压裂增产技术发展的认识与研讨”的报告。这些报告介绍了我国双高油田提高水驱采收率的最新技术研究成果和进展,代表了目前我国油田开发技术水平。与会代表对这些报告反响十分热烈,普遍反映收获很大。

本次大会具有以下几个特点:

(1)大会研讨主题具有很强的现实性和重要性。目前我国各大主力油田均进入高含水、高采出阶段,而 70% 以上的原油产量是在“双高”期采出的,进一步提高“双高”老油藏水驱采收率,努力实现这些老油田二次深度开发,不断增产增效,是保证我国原油稳产增产的重大课题,专题研讨这一生产中的重大问题,具有十分重要的实际意义。

(2)参与交流的代表具有较高的规格和广泛性。有两位油气田开发领域知名院士和十多名专家出席会议并参与研讨,来自全国各个油气田公司和相关单位的代表都参加了会议。大会发挥了“搭建平台、促进交流、共享资源、共同发展”的社会化学术团体的基本工作职能和“大团结、大联合、大协作”的工作方式,受到了全国油田开发界的普遍欢迎和热烈响应与支持。

(3)报告论文的内容与水平具有代表性和权威性。本届大会的两位院士报告、5 位专家报

告和 51 篇分会场报告,基本上代表了研讨的主题内容范围和学术水平,在全国油田开发界已初步形成了一定的学术影响力。

(4)大会学术讨论具有的热烈和谐气氛,充分体现出了学术交流的本质特性,也体现了中国石油学会作为学术社团为广大科技工作者创造良好学术交流渠道和氛围的积极作用。

为表彰和鼓励论文作者,学术委员会二次召开会议,评出优秀论文一等奖 13 篇,二等奖 18 篇,并由中国石油学会统一颁发获奖证书。

本论文集收录本次开发大会代表性论文 50 篇,经编辑后正式出版,目的是更广泛地促进学术信息交流,让更多的科技工作者共享大会成果。

在此,中国石油学会对给予全国油气田开发技术大会大力支持的中国石油、中国石化、中海石油等单位,向出席会议的专家和提交论文报告的作者,向编辑出版本论文集的石油工业出版社的编辑同志,一并表示衷心的感谢!

全国油气田开发技术大会,是我国油气田开发界的学术盛会,希望继续得到各方的大力支持和热情关心。主办方和承办单位将不断改进工作,把大会办得更好。

中国石油学会
2008 年 9 月

目 录

第一部分

3.5 维地震勘探解释方法研究	凌 云 孙德胜 黄旭日等(3)
低渗透储层裂缝多目标优化方法分析研究	闫相祯 刘钦节 杨秀娟等(11)
复杂正韵律储层构型研究	程会明 隋淑玲 辛治国(21)
砾岩油藏水淹层测井解释研究——以克拉玛依油田六中区克下组 为例	范小秦 朱亚婷 许长福等(28)
鱼骨刺井产能评价新方法及应用	朱国金 周守信(40)
微构造研究在双高油田挖潜增效的应用	马金华 张方礼 龚姚进等(47)
特低渗油藏裂缝描述与井网优化技术研究	高春宁 陈建文 朱圣举等(54)
流线数值试井方法确定高含水期油藏剩余油饱和度技术	吴明录 姚 军(59)
特高含水期水驱提高采收率技术研究与实践	孙品月(69)
“双高”复杂断块油田增加可采储量技术	孟立新 任宝生 王大兴等(79)
对喇萨杏油田特高含水期厚油层剩余油分布及挖潜方法的探讨	王凤兰 杜庆龙 朱丽红(84)
喇萨杏油田特高含水期强化注采系统技术研究	杜庆龙 齐春艳(92)
胜利油田特高含水期改善水驱开发技术	酆绍献 吴作舟 侯春华等(98)
高含水整装油田正韵律厚油层水平井挖潜技术研究	刘志宏(105)
轮南油田以水平井挖潜为主的调整研究与应用	练章贵 朱卫红 昌伦杰等(110)
水平井技术在高含水油藏中的应用	龚姚进 姜来泽 张宝龙(116)
海上稠油底水油藏调整实践——以秦皇岛 32-6 油田 E 平台 为例	葛丽珍 杨庆红 李 波等(124)
海上疏松砂岩稠油油田开发技术研究及应用	曾祥林 房茂军 孙福街(128)
基于 ICA 海上油田挖潜增效技术	王任一 易 平 马勇新等(135)
中渗多层非均质油藏高含水期注水开发提高采收率技术	李中超 赵良金 毛立华等(144)
扩大注水波及体积的柔性转向技术	罗健辉 王平美 刘 强等(153)
相渗透率改善剂在高含水油井提高采收率应用中的探讨 ...	王贤君 李庆松 韩 松(161)
双河油田 VII 油组特高含水期井网重组优化研究	刘丽娜 赵庆 姜建伟等(166)
高含水期特低渗油藏水气交替注入提高采收率可行性分析	任晓娟 雷晓岚 叶正钦等(171)
低渗透油田提高采收率的潜力及方向	李忠兴 慕国权 袁 林等(175)

中国海上海相砂岩油藏增产挖潜技术	潘彩霞 田 冀(187)
高含水油田挖潜研究	管纪昂 李海平(192)

第 二 部 分

井下油水分离及同井回注技术的研究与应用	魏淋生(197)
泡沫转向酸化增产技术研究与应用	孙建华 吴信荣 党丽旻等(207)
缝内转向压裂技术在河南油田老区的应用	冯彩琴 陶良军 王孟江等(216)
人工暂堵转向压裂技术提高重复压裂效果	王 亮 刘 杨 石善志等(220)
塔河油田缝洞型碳酸盐岩储层超深井深度改造技术	窦之林(231)
压裂改造技术在低渗透中高含水油田的研究与应用	周俊杰 宋友贵 段 理等(241)
海上油田电潜泵生产井控制方式选择方法研究	管虹翔 李成见 齐 桃等(247)
胜利油田有杆泵抽油系统能耗分析及技术对策	徐文庆 邹光皓(253)
浅析机采系统效率技术在锦州油田的推广与应用	米 慧(259)
凝胶类选择性堵水技术的研究及应用	王 斌 王龙飞 杜永慧等(266)
注氮气泡沫调剖技术研究与应用	王 冰 王 鑫 班 辉(275)
深部调驱技术改善水驱开发效果的实践与认识	李之燕 陈美华 吴国会等(281)
河南油田聚合物驱后利用地层残留聚合物的深部调剖技术	苗建生 张文玉(292)
新疆砾岩油藏深部调驱技术研究	徐国勇 汪玉琴 王双德(301)
河南油田特高含水期区块整体深部调剖技术探索	张文玉 毛为成 赵长喜等(312)
弱凝胶深部调剖调驱配套工艺技术研究与应用	龙 华 白云度(322)
胜利油田堵水调剖工艺技术现状及发展方向	张 煜 汪庐山 靳彦欣(329)
预交联颗粒和二次交联凝胶复合调剖技术研究	薛 芸 袁玉峰 朱 霞等(339)
江苏油田水平井采油工艺及配套技术应用研究	陈 岩 李汉周(345)
强化技术集成与工艺配套,提高水井专项治理实施效果	崔玉海 辛林涛 孙鑫宁等(354)
大港油田地面系统优化简化技术研究与应用	项 勇 赵昕铭 严国民等(364)
华北油田地面自控工艺技术优化及应用	肖 兵 李 鑫 陈加平等(379)
浅谈大港滩海油田海工及地面工艺配套技术应用现状及发展趋势	蔡维国(387)

第 一 部 分

3.5 维地震勘探解释方法研究

凌 云¹ 孙德胜¹ 黄旭日² 高 军¹ 林吉祥¹

[¹ 中国石油东方地球物理公司凌云研究组;² 北京旭日奥油能源技术有限公司]

摘 要 三维和四维(随时间推移)地震是油田评价与开发阶段重要的地震勘探方法。特别是近年来,随时间推移(TL)地震正逐步成为油藏开发和管理中的重要手段之一。但它仍受到来自储层条件、开采方式、TL地震勘探过程中非重复性噪声以及一些油田在开发早期并未开展基础三维地震观测等诸多因素的影响,因而制约了这一技术在陆上油田开发中的广泛应用。为此,本文提出了3.5维地震勘探的方法,这一方法是将油田开发中、晚期的高精度三维地震数据和油田开发动态信息进行综合来解决油田开发中的问题、寻找剩余油气分布的地震方法。通过对中国西部某油田的开发实例研究认为:3.5维地震可以较有效地解决油田开发中的问题和发现剩余油气的分布,并克服一些油田早期没有三维地震或早期三维地震数据质量存在严重非重复性噪声影响的问题,同时可减少TL地震勘探的风险,提高油田开发的经济效益。

关键词 三维地震 四维地震 3.5维地震 开发动态信息 剩余油

引 言

三维地震观测开始于20世纪30年代末,基于两个不同方向二维测线和几何地震学理论发现和认识了三维波场的传播机理^[1]。此后,50年代开始了关于向斜、背斜和断层的三维物理模型观测和基于射线理论的波场讨论,进一步认识了三维地震反射波场的传播规律与偏移成像研究^[2,3]。在同一时期,人们也展开了野外三维地震观测的研究^[4]。而实际最早的野外三维观测开始于70年代中期的墨西哥湾,采集参数为24次覆盖和67m×100m的面元的观测^[5]。

当三维地震勘探技术基本成熟以后,从20世纪80年代初斯坦福大学通过加热前、后的重油岩心发现明显的岩石速度变化之后^[6],人们开始关注TL地震在油藏开发过程中的应用潜力,并于20世纪80年代末期开始了实际TL地震在油田监测中的研究^[7]。其中,印度尼西亚Duri油田(重油注气热采油田)从1992年至今,已在其8mile×16mile油田40%的面积上进行了TL地震,并总结出一套成功地采集、处理和解释的工业化生产流程,缩短了TL地震的监测周期,使油田的开发过程完全进入TL地震控制下的工业化阶段^[8]。到2001年,已累计有100多个TL地震项目在世界不同地区运作^[9]。但实际TL地震的成功应用实例在海上和陆上分布并不均匀,海上TL地震勘探实例主要分布在北海和墨西哥湾注水开采油田中。而陆上TL地震勘探实例主要分布在加拿大和印度尼西亚埋深较浅的重油注气热采油田中。其主要的影响因素源于TL地震勘探过程中的非重复性噪声影响。其中采集主要影响有:观测系统不同,激发震源不同,观测方向不同,不同检波器类型、激发点和接收点位移,不同采集队伍和设备,近地表条件变化等因素;处理主要影响因素有:不同处理流程,不同处理参数,不同处理算法,

不同处理精度和不同处理商等^[10]。这些采集和处理过程引起的非重复性噪声严重制约了 TL 地震勘探的广泛应用,特别对于陆上薄互储层注水开采的油田更是如此。为此,本文针对西部某油田开发后期(2006 年)采集的高精度评价三维展开了 3.5 维地震的探索性研究。

1 研究油田的地质和地震背景

1.1 地质背景

研究油田是位于单斜构造部位的岩性圈闭油气藏,储层埋深 3230 ~ 3480m,油层厚度 3 ~ 5m。油田 1991 年正式投入开发,累计产油 $121.06 \times 10^4 \text{t}$,产水 $51.51 \times 10^4 \text{t}$ 。

1.2 地震采集和处理背景

三维区位于准噶尔盆地西北缘,地势南高北低,地表主要覆盖 3 ~ 20m 小沙丘,东部有少量农田区。采集观测系统为 12 线 $\times$ 10 炮,滚动 1 线,60 次覆盖(10 纵 $\times$ 6 横),面元 $12.5\text{m} \times 12.5\text{m}$ 。

3.5 维地震数据的处理与常规处理没有大的差别,但其更强调“在消除非储层因素引起的空间振幅、频率、相位和波形变化影响条件下,能获得直接反映储层特征的空间地震属性信息变化”。在此基础上才有可能开展地震、地质和开发信息间的综合解释,从而有效解决油田开发中的问题以及发现剩余油气的分布。处理流程主要技术包括:时频空间域振幅补偿^[11];炮点和检波点统计反褶积,高精度速度场拾取和静校正处理;NMO + DMO + 叠后陡倾角偏移成像处理,以及严格的三维处理数据质量监控^[12]等。对比以上的处理流程与国际上 TL 地震处理流程,显然前者不需要考虑采集和处理过程中的非重复性噪声的影响问题。这表明 3.5 维地震在采集和处理较 TL 地震要相对简单,同时 3.5 地震的勘探风险更低。

2 3.5 维地震勘探解释方法研究

2.1 储层构造演化与沉积相解释研究

由于研究油田是位于单斜部位上的岩性圈闭油气藏。因此,要想研究该岩性油气藏的圈闭条件就必须获得储层沉积相解释结果,要想获得储层沉积相的解释结果就必须知道侏罗纪地层的构造演化信息。为此,本次解释研究从侏罗系沉积构造演化解解释入手,通过侏罗系内部沉积相的解释来最终揭示岩性圈闭类型和圈闭范围。

图 1(a)为穿越油田主体部位沿侏罗系底界拉平的地震剖面。从图 1(a)可以看出,在侏罗系沉积以前,研究区处于出露剥蚀时期,并伴有深层火成岩的活动,侏罗系和下覆地层间呈角度不整合接触。此后,侏罗系在研究区东南部开始下沉,形成西北高东南低的古地貌格局[如图 1(b)所示]。首先开始接受侏罗纪早期(J_1b)的沉积,这一时期内 3 个次一级沉积旋回的作用,形成如图 1(b)中箭头所指处表示的 3 个叠置沉积体,主要物源来自西北方向。此后,东南部地区继续下沉,开始了侏罗纪中期(J_2x)的沉积,这一时期经历了两个次一级的沉积旋回,形成了两个叠置沉积体,主要物源仍是来自西北方向。侏罗纪晚期(J_3q)也经历了两个次一级沉积旋回的沉积[如图 1(b)中箭头标示所示],其沉积为东南厚西北薄,在西北部地震剖面明显具有前积反射的特征,表明主要沉积物源仍为西北方向。图 1(c)给出现今地震剖面的

构造形态,从图 1(c)和以上构造及沉积演化的解释可以预测:在具有较好盖层条件下,在研究区内可形成两种主要的圈闭类型,即超覆岩性型圈闭和地层不整合圈闭类型。

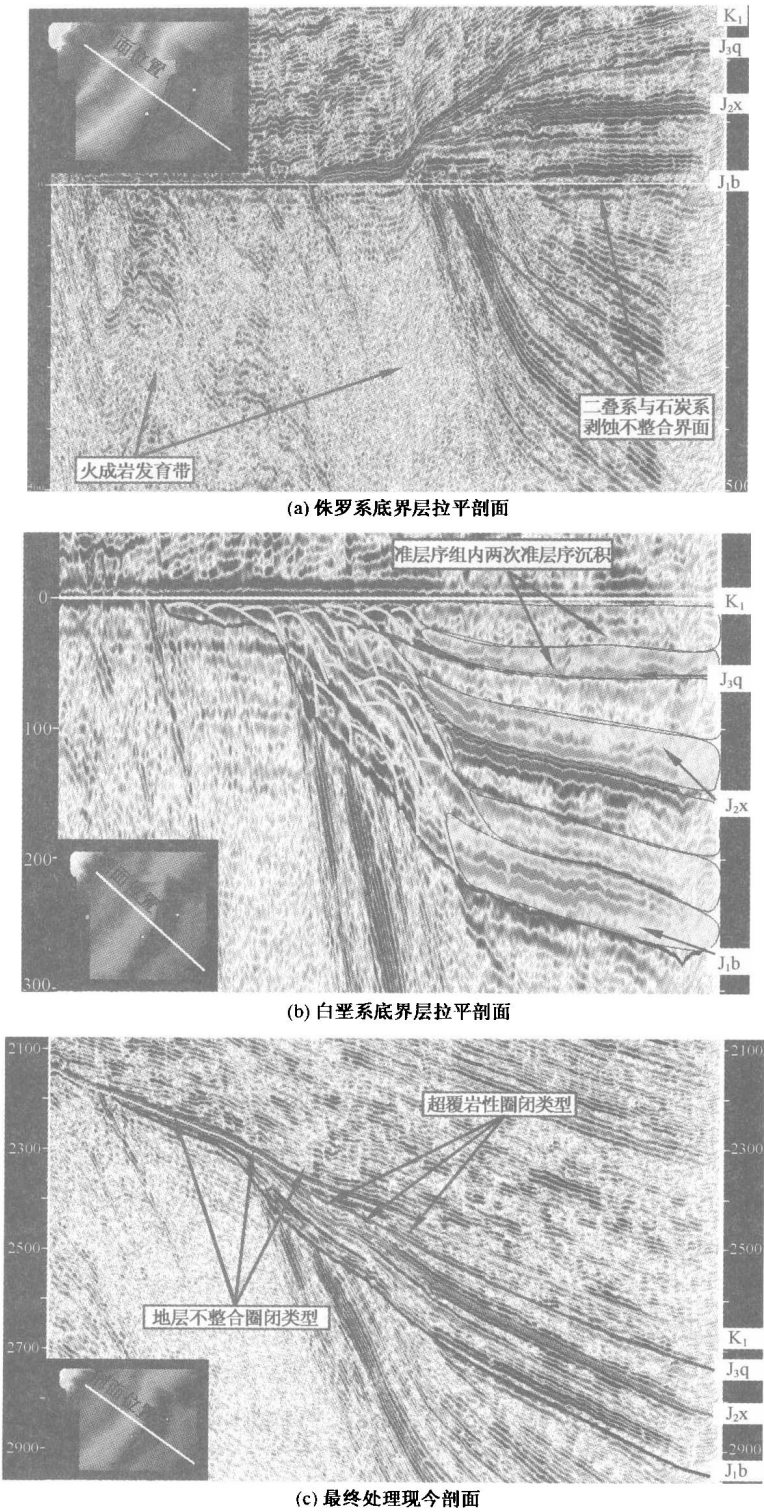


图 1 侏罗纪地层构造演化信息

基于构造演化和沉积解释,图2给出沿白垩系底提取的波形聚类属性解释结果。图2中淡蓝色区域为山间扇体沉积的主要范围。它与相邻沉积带间以一条古凸起(如图2中的白线所示)分隔,形成两个主要的沉积相带。从沉积相带分析,在 J_3q 地层内可形成较好的超覆岩性圈闭,而在 J_1b 和 J_2x 地层内可形成地层不整合圈闭。

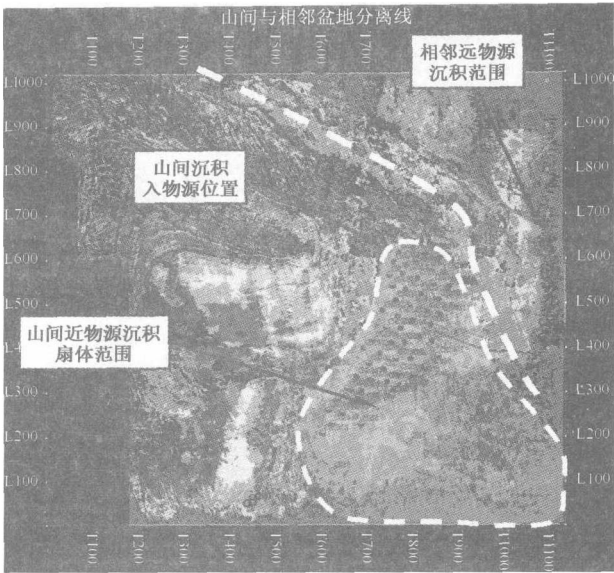


图2 沿白垩系底提取的波形聚类属性

2.2 储层开发动态信息解释研究

显然,仅从高精度三维地震数据的静态构造演化和沉积相解释是难以分离储层沉积信息与储层动态信息间的关系。为此,3.5地震解释方法需要油田开发的动态信息的研究。

图3给出了历史上油田动态累计产油的空间变化图。从图3油田早期(1990年)的开发井位和其累计油产量看,油田开发早期始于现今油田的南部,此后随时间逐步向北部发展,直到1994年才基本完成整个油田的大部分开发井的钻井工作,当时累计产油量高的井主要来自油田的南部(图3中箭头所指部位)。从1996年开始油田北部的累计油产量逐年增加,而原产油较高的南部油井产量相对减少,这表明在1996年后南部油区开始出水。到2006年,整个油田区累计产油量仍是南部略高于北部,西部高于东部。另外,从图3还可以看出油田边部的井累计产油量都较低,表明这些井钻遇了油水边界。从油田动态信息解释结合油田的构造关系看,油田是相对比较复杂的岩性圈闭油藏。

图4给出了油田中各井累计产水的空间变化图。从1994年以前油田累计产水的空间分布看,产水较高的井主要位于油田南部和东南部(图4中空心箭头所指区域),表明水侵的方向来自东南方向,1996年到2004年累计产水井的空间变化关系进一步证实了这点,此外油田北部也存在南北向的水侵条带。到2006年,油田主要被分隔为3个含水量较低的产油区(图4中实心箭头所指部位)和较大的含水区(图4中空心箭头所指区域)。对比累计产油变化(图3)和累计产水(图4)的空间分布可以看出,油田开发早期累计产油较高的区域位于油田东南部,而现今除图4中红色区域外基本都转为高含水区。

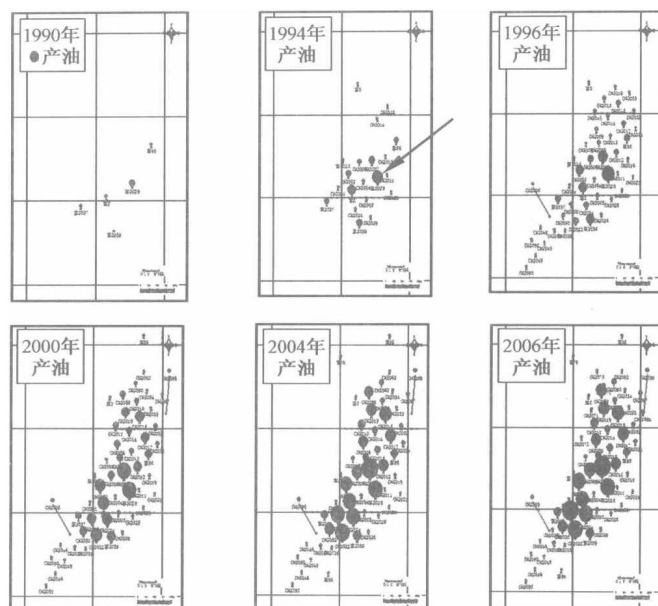


图3 油田开发动态累计产油空间演化图

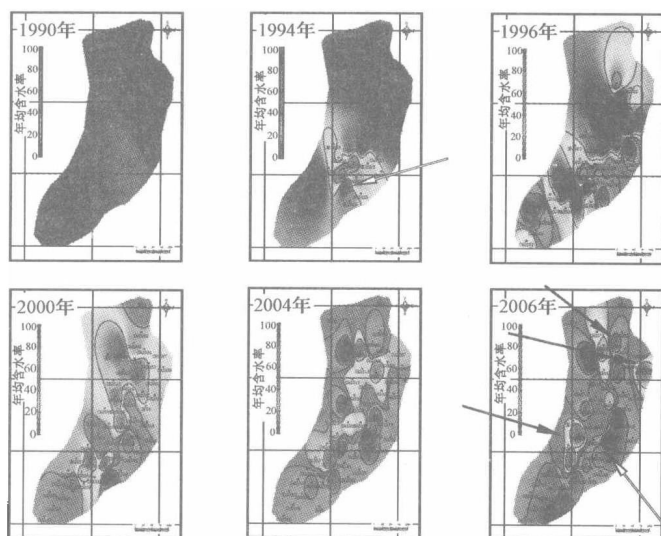


图4 油田开发累计动态产水空间分布演化图

2.3 静态三维地震信息与开发动态信息的综合解释研究

在三维静态地震数据解释和开发动态信息空间解释的基础上,图5给出了油田区三维地震震储层振幅信息与开发动态信息的叠合平面关系图。从图5(a)可以看出,油田现今含水量较低的产油井位于三维地震的强振幅区,而含水较高的井则位于振幅相对较弱的区域。显然,现今油田的含油和含水井与高精度三维地震振幅强弱十分吻合。但从图5(b)(地震振幅和累计产油关系图)看,累计产油高的井并非位于现今三维地震振幅强的部位上,相应累计产油低的

井也不一定位于地震振幅低部位。这表明现今采集的高精度三维地震信息包含了油水置换后的储层变化信息。

图 6 给出开发难以解释的井 A 和主力油田区井 A1 间沿白垩系底(K_1)拉平的地震剖面。结合以上构造演化解释、沉积相解释和开发动态信息的空间解释,可以看出井 A 与油田开发

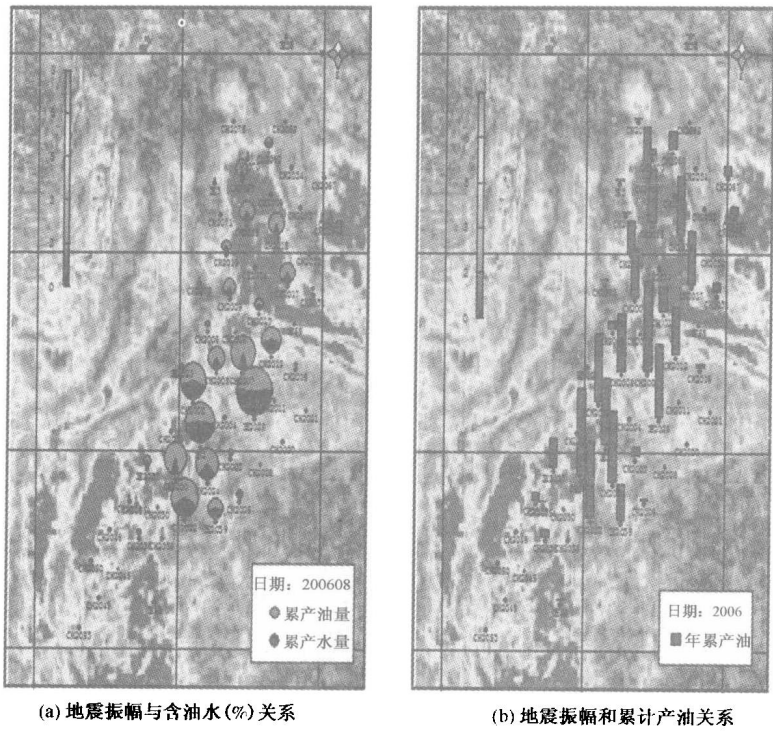


图 5 油田区三维地震储层振幅信息与开发动态信息叠合的平面关系图

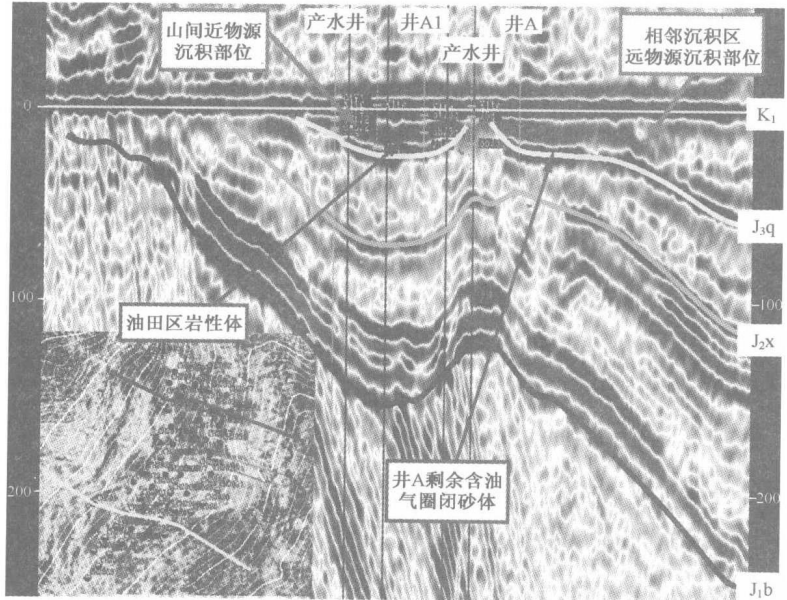


图 6 连井 A1 和井 A 沿白垩系底拉平的地震剖面解释

区位于不同的沉积相带上。开发油田是位于山间沉积相带上,井 A 位于山间凹陷东部的沉积相带,两个沉积相带间存在一个古凸起,它导致了 J_3q 时期低水位域沉积薄砂体间的岩性分隔。

根据以上高精度三维地震数据的构造演化解释、沉积相解释和动态开发信息的空间解释,以及综合信息解释,图 7 最终给出了油田开发的水侵方向和预测剩余油气的分布图。油田开发的水侵方向是源于现今油田的东南方向,同时在油田北部也存在两个沿油田下伏 J_2x 地层的水侵条带;疑问井 A 和已开发油田位于不同沉积相带上,其剩余含油面积达到 1.5km^2 ;疑问井 B 和已开发油田分别位于相同沉积相带的不同砂体上,其剩余含油面积为 1.1km^2 。

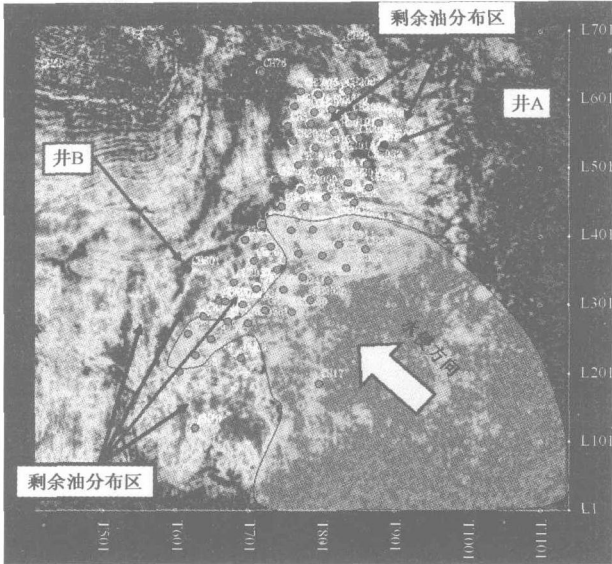


图 7 最终 3.5 维 TL 地震水侵方向和剩余油分布

3 结论

TL 地震勘探的成功主要受到储层条件、开采方式、TL 地震勘探过程中的非重复性噪声影响等因素的制约,特别是对于陆相薄互储层的注水开采的油田更是如此。针对这些问题,本文提出了 3.5 维地震勘探的方法。通过研究认为:在油田开发的中、晚期采集的静态高精度三维地震数据,在经严格保持相对振幅、频率、相位和波形的提高分辨率与高精度成像处理条件下,经过精细三维构造演化解释和沉积相解释,并结合油田开发动态信息的综合解释,可以比较有效地解决油田开发中的问题,发现剩余油气的分布范围。同时,3.5 维地震较好地回避了 TL 地震中的非重复性噪声影响,并解决了一些油田没有早期三维地震或早期三维地震数据质量十分差的问题,因此可减少油田开发阶段的地震勘探投入。但 3.5 维地震方法要求地震、地质、测井和油藏开发间高度一体化的紧密结合,在此基础上才能有效地解决油田开发阶段的问题和发现剩余油气的分布。

参考文献

[1] Rock S M. Three Dimensional Reflection Control, Nur, A, Tosaya. Geophysics, 1938, 3(4): 340 - 348.