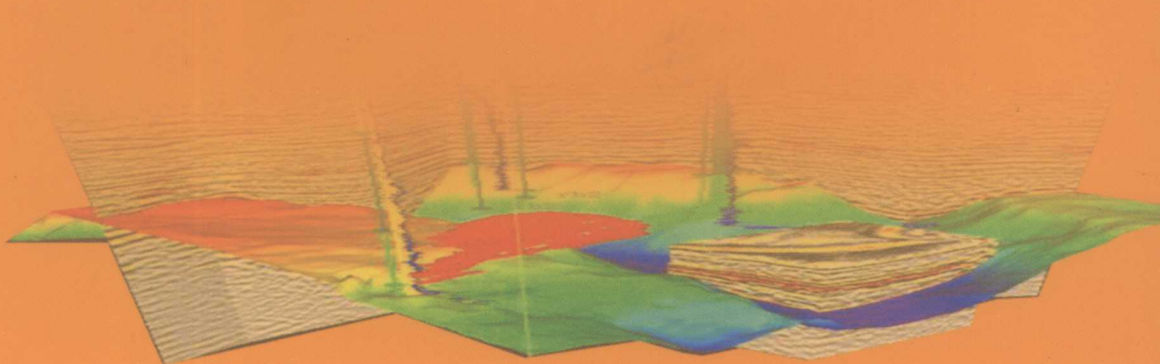
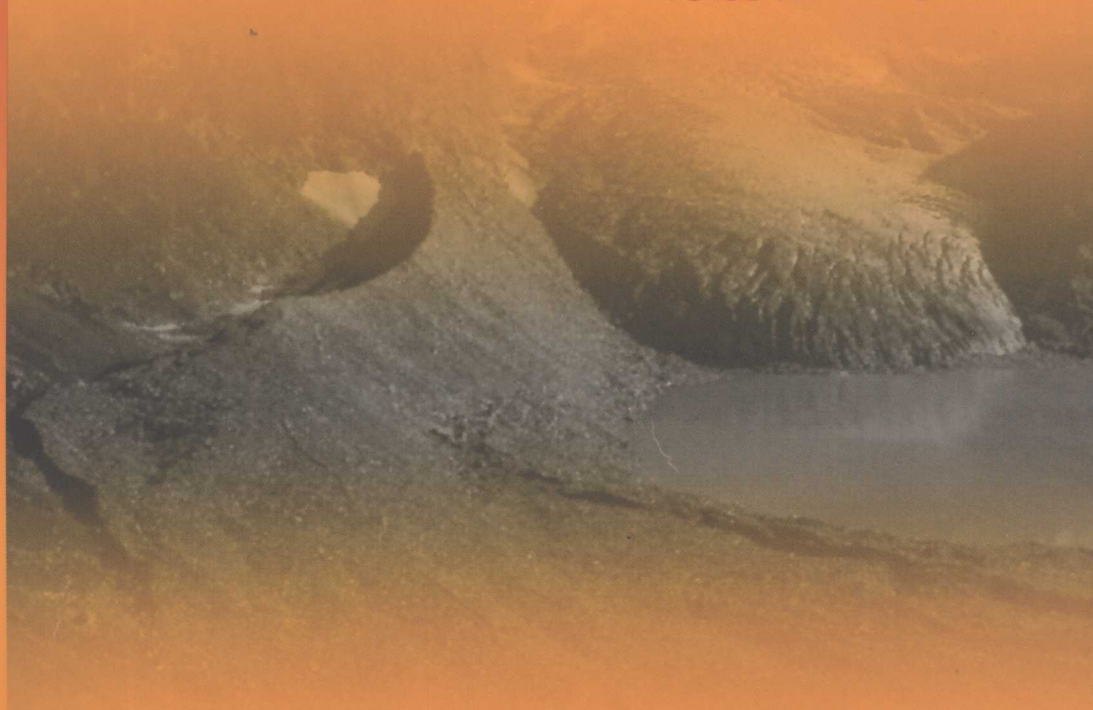


SECOND OILFIELD

鄂尔多斯盆地 储层横向预测技术

蒋加钰 等著



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

要 参 考 文 献

本书在编写过程中,参考了国内外有关文献,特别是近十年来,随着计算机技术的发展,储层预测技术有了长足的进步,本书在编写过程中,参考了国内外有关文献,特别是近十年来,随着计算机技术的发展,储层预测技术有了长足的进步。

鄂尔多斯盆地储层横向预测技术

蒋加钰 等著

图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯盆地储层横向预测技术 / 蒋加钰等著.

北京:石油工业出版社,2005.6

ISBN 7-202-25253-0

I. 鄂…

II. 蒋…

III. 鄂尔多斯盆地-储层-预测-技术

IV. P618.130.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第118239号

鄂尔多斯盆地储层横向预测技术

蒋加钰等著

出版发行:石油工业出版社

(北京海淀区外大街2号 100011)

网 址: www.petroleum.cn

邮 箱: (010) 64525233 发 行 部: (010) 64510302

经 销: 全国新华书店

排 版: 北京新欣伟业科技发展有限公司

印 刷: 北京华正印刷厂

2005年6月第1版 2005年6月第1次印刷

787×1092毫米 1/16 印张: 13.25

字数: 350千字 印数: 1—1000册

定价: 28.00元

石油工业出版社

(地址: 北京海淀区外大街2号)

内 容 提 要

本书汇集了19篇论文,较系统地阐述了鄂尔多斯盆地岩性油气藏储层的地震预测技术系列及工作流程,同时也较全面地反映了近20年来储层预测在鄂尔多斯盆地岩性油气藏勘探开发中的作用与技术进步。

论文主要源于生产实践,具有较高的实用性和借鉴性,可供从事岩性油气藏储层预测的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯盆地储层横向预测技术/蒋加钰等著.
北京:石油工业出版社,2005.6

ISBN 7-5021-5253-9

I. 鄂…

II. 蒋…

III. 鄂尔多斯盆地-储集层-油气勘探

IV. P618.130.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第118879号

鄂尔多斯盆地储层横向预测技术
蒋加钰等著

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.cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:北京华正印刷厂

2005年6月第1版 2005年6月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:13.75

字数:350千字 印数:1—1000册

定价:58.00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

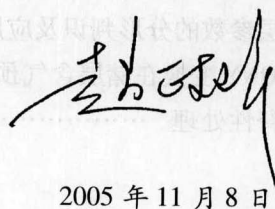
序

鄂尔多斯盆地是一个稳定沉积的多旋回克拉通含油气盆地。长庆油田广大物探科技工作者在长期的生产实践中,面对复杂的表层地震地质条件,针对隐蔽油气藏勘探进行了艰苦的努力和不懈的探索。特别是近 20 年,为适应低渗透油气田快速勘探开发的需要,按照“科研与生产相结合、地震与地质相结合、勘探与开发相结合”的研究思路,不断深化对鄂尔多斯盆地地质特征、储层特征和含油气规律的认识,积极跟踪物探学科前沿技术,加强储层预测的科技攻关力度,逐步形成了以两个侵蚀面解释技术为龙头的储层岩性、物性、含油气性预测技术系列与工作流程。

《鄂尔多斯盆地储层横向预测技术》一书较为系统、全面地反映了鄂尔多斯盆地岩性油气藏储层预测的技术发展与进步;汇集了长庆物探科技工作者多年的研究成果;展示了储层预测技术在鄂尔多斯盆地岩性油气藏勘探开发中的重要作用和应用前景。

本书汇集的 19 篇论文,反映了近 20 年来储层预测技术发展进步的历程。既涉及古生界的气,也涉及中生界的油;既涉及古地貌控制的岩性油气藏,也涉及沉积环境控制的岩性油气藏。特别是针对不同层系、不同类型储层采用不同预测方法、紧跟钻探结果实行滚动式预测的做法,为充分发挥地震资料的作用,及时指导勘探部署,提高钻探成功率,发挥了重要作用。相信本书对从事地震资料解释,特别是从事油气藏储层预测的技术人员具有重要的借鉴和参考价值。

鄂尔多斯盆地是近年来我国油气勘探开发的主战场。油气产量连续多年持续大幅度上升,为国民经济的发展做出了重要贡献。随着物探技术的进步,储层预测技术在油气勘探开发中的作用将越来越重要。祝长庆油田的物探工作者持续创新、不断进取,为油气勘探开发的持续稳定发展做出新的更大的贡献。



2005 年 11 月 8 日

目 录

地震成果在鄂尔多斯盆地油气勘探开发中的应用	蒋加钰 陈军强 李宝泉 姚宗惠(1)
奥陶系顶部侵蚀面解释技术	蒋加钰 李振亚 杨智(17)
W1 井区马五 ₃ 白云岩展布预测	蒋加钰 侯丽萍 薛凤琴(26)
天环北地区储层横向预测及其效果	曾令邦 蒋加钰(35)
陕甘宁盆地中东部奥陶系马家沟组盐岩分布与油气富集关系的探讨	王海峰 蒋加钰 李鑫(43)
榆林气田南区山 ₂ 亚段储层岩性、物性、含气性预测方法及效果	蒋加钰 薛凤琴 李芳 杨志军 李培华 段玉顺(50)
盒 _{8下} 亚段主河道地震解释技术	蒋加钰 冯宝周 阮正中 王玉军(73)
Su 6 井区三维地震储层物性及含气性预测研究	蒋加钰 肖文霞 李金付 商昌亮(80)
苏里格气田二维三分量地震资料解释技术及应用效果	郭亚斌 蒋加钰 何福文 肖文霞 阮正中(100)
多波资料解释的一点体会	蒋加钰 肖文霞 李金付 何福文 阮正中(110)
横波地震资料处理基础静校正	付守献(121)
利用地震属性对太原组桥头砂岩的预测	蒋加钰 冯保周 杨彩娥 张贞兰(124)
中生界储层地震预测技术及应用效果	蒋加钰 方成水(132)
西峰地区长 ₈ 储层地震剖面特征及砂体厚度展布研究	蒋加钰 方成水 李芳 杨俊琴(159)
鄂尔多斯盆地复杂地表条件下的基础静校正技术	付守献(176)
人工神经网络含气综合判识技术	蒋加钰 熊玉萍 杨儒亮(183)
储层参数的分形判识及应用	段玉顺 蒋加钰(195)
PRONY 变换在储层含气预测中的应用	蒋加钰 李来运 杨宝泉(202)
解释性处理	田子奇 蒋加钰(211)

地震成果

在鄂尔多斯盆地油气勘探开发中的应用

蒋加钰 陈军强 李宝泉 姚宗惠

一、引言

鄂尔多斯盆地油气藏无论是古生界的气,还是中生界的油,其类型基本以岩性为主,构造为辅(幅度仅有 10~50m 左右);储层亦多属低孔、低渗、低丰度;而地表条件则南部是举世闻名的黄土高原,北部为浩瀚的毛乌素沙漠。面对如此复杂的表层地震地质条件,为适应盆地油气勘探开发形势的不断深入发展,遵循科技与生产相结合、地震与地质相结合、勘探与开发相结合的研究思路进行攻关,不断探索和改进资料采集、处理、解释方法,历经数十年的不懈努力,特别是近 10 年针对隐蔽岩性油气藏形成了独具长庆特色的地震勘探三大技术系列及十项优势技术,从而使地震成果在鄂尔多斯盆地油气勘探开发中发挥着越来越重要的作用。

二、三大技术系列、十项优势技术

1. 三大技术系列

- (1) 沙漠区高分辨率地震勘探技术系列;
- (2) 黄土塬区高分辨率地震勘探技术系列;
- (3) 三维地震勘探技术系列。

2. 十项优势技术

1) 黄土塬区沟中弯线地震资料采集技术

鄂尔多斯盆地本部平缓的构造(倾角不足 1° , 平均坡降 5~10m/km), 为黄土塬区地震沿沟布设弯曲测线进行勘探创造了条件。自 1970 年会战以来, 沟中弯线地震资料在长庆油气勘探中发挥了极其重要的作用, 迄今仍是黄土塬区地震工作的主要方法之一。该技术的核心是: 野外一次测量→室内设计炮点、模拟放炮得到共中心点分布图→依据共中心点的分布绘制共反射点覆盖次数图→调整炮点, 使覆盖次数尽可能均匀→对调整后的炮点二次测量→施工。这是一项人无我有的独特技术。

由于沟中激发与接收基本均在老地层中进行, 因此所获原始记录视主频达到了 60~80Hz 以上, 频宽 10~160Hz(图 1), 水平叠加剖面浅中深反射齐全, 主次分明, 地质现象清楚, 达到了国内高分辨率勘探的先进水平(图 2)。

2) 黄土塬区直测线(一线及多线)地震资料采集技术

黄土塬区穿沟过梁的直测线地震勘探攻关始于 20 世纪 70 年代, 经 30 年艰苦探索, 于 90 年代末终于取得重大突破, 1999 年利用黄土塬区直测线 L99-1099(一炮一线)优选的第一口

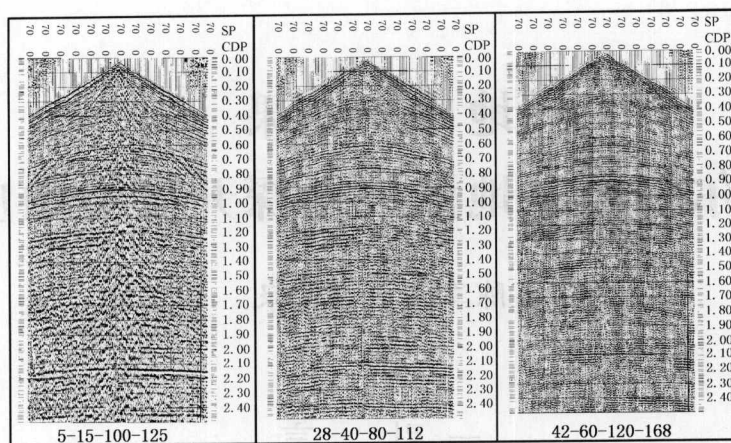


图1 沟中弯线单炮记录分频扫描分析图

视主频 60 ~ 80Hz, 频宽 10 ~ 160Hz

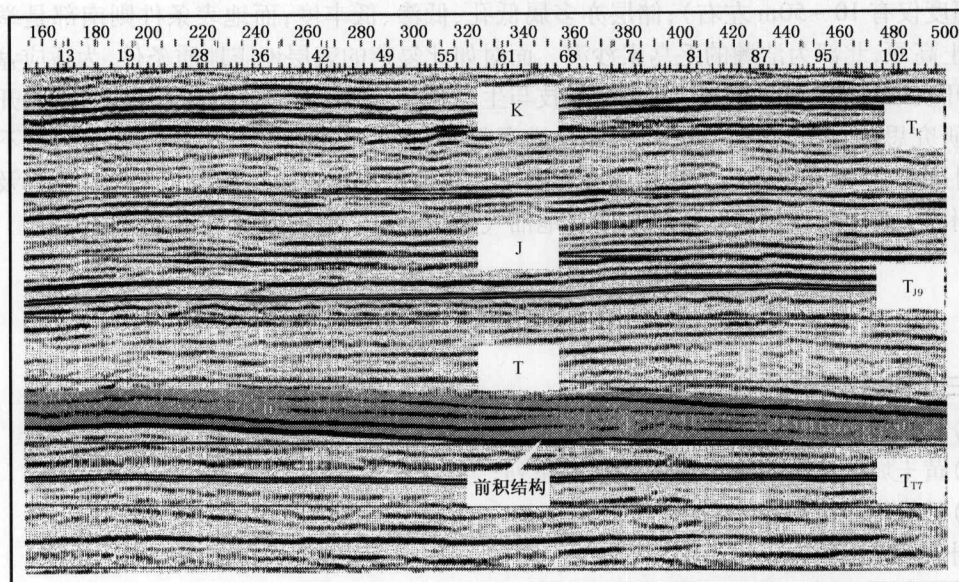


图2 许家河地震剖面

井位(G40-9井)在下古生界获 39.9 万 m^3/d 工业气流后,黄土塬区直测线立即在下古生界天然气开发中形成工业化生产,1999—2002 年已提供建议井位 79 口,完钻 46 口,其中 41 口钻遇马五₁³ 储层,预测符合率达 89.1%。

一炮一线剖面反映出强反射的 T_{C3} 波组较为清晰,也就是说,对于紧紧依附于 T_{C3} 强反射下的马五₁³ 储层预测是可行的。而其上覆的中、浅层内幕则较差。在此基础上,2000—2002 年又进一步实施多线激发、多线接收技术,其施工方式如图 3 所示。

激发可在 1 条线上,也可在多条线上进行(前提是优化激发点位置);接收则一定是多线。目的是提高覆盖次数,压制各种干扰,增强有效反射波的能量。鉴于最终输出的是 1 条二维剖面,因此,线数以及线间距必须服从叠加面元的大小。目前线数一般采用 2~4 条,线间距为 1~2 个道距。多线激发、多线接收获得了可用于上古生界天然气勘探、开发井位优选的地震资料(图 4),并在榆林气田南区提供山₂³ 目标层开发井位 51 口,已采纳 39 口,完钻 23 口,砂

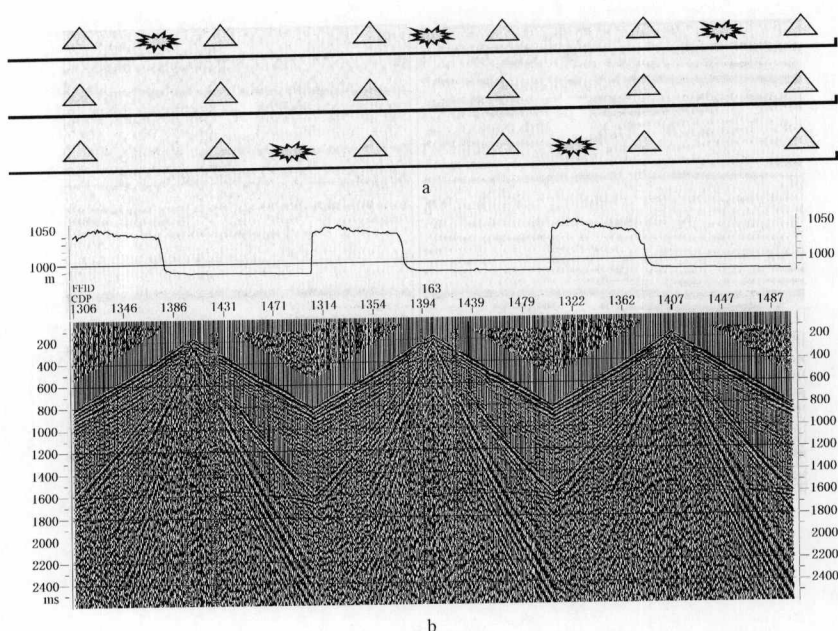


图3 多线激发接收方式及一炮记录
a—多线激发接收方式示意图;b—一炮(三线)记录

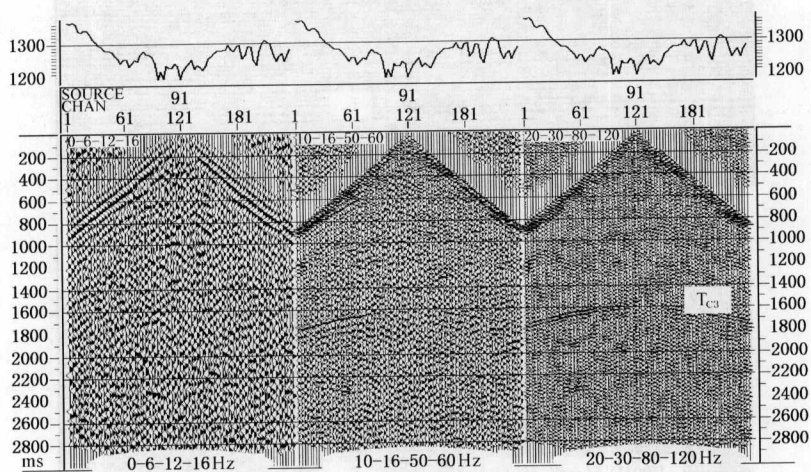


图4 黄土塬区直测线单炮记录分频扫描分析图

岩厚度预测符合率达90%以上,其中22口井获工业气流。同时也可清晰见到中生界目的层反射(图5)。从而使黄土塬区直测线资料应用范围由深层扩大至中、浅层,形成了为油气勘探开发服务较为完整的黄土塬区直测线技术。

3) 黄土塬区网状三维勘探技术

网状三维,顾名思义即施工排列不是规则的线束状,而是网状(图6)。该方法的指导思想是以树枝状水系为依托,将激发与接收尽可能地布设在沟中老地层,进而获得沟系间黄土塬下方的地震信息。

1999年与俄罗斯合作,在南庄地区利用刘八沟水系97条冲沟,开展了国内首例网状三维地震勘探。摸索出了一套网状三维地震设计、采集、处理技术和工作流程,并成功地获得了60km²的三维地震资料,图7是第3015炮记录中的一部分。它不仅填补了国内黄土塬地区三

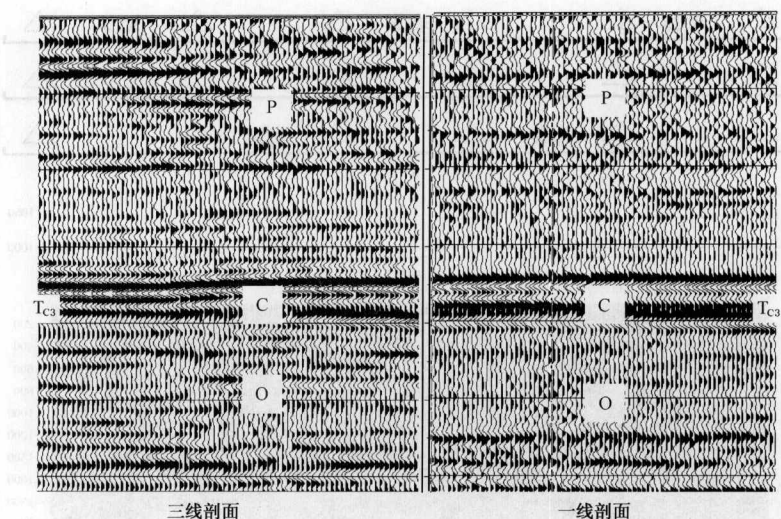


图 5a 榆林南一线与三线剖面对比(上古生界)

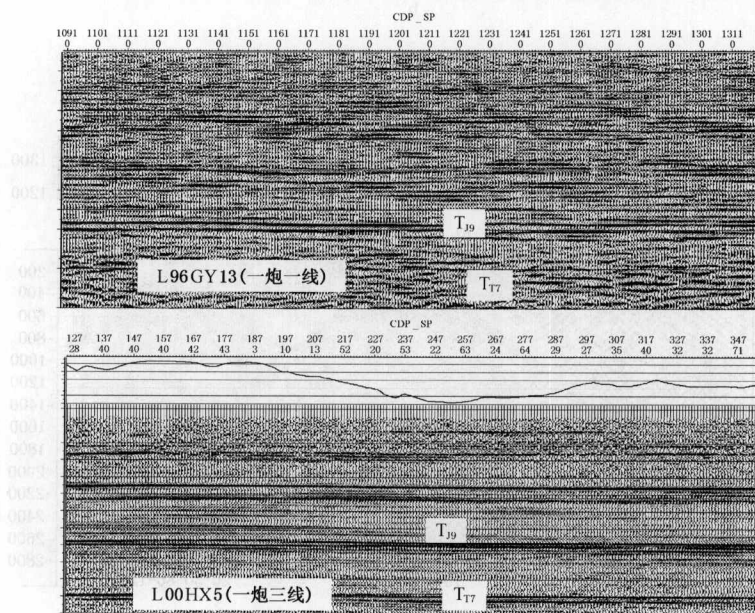


图 5b 一线剖面与三线剖面对比(中生界)

维地震方法的空白,更主要的是寻找到了黄土塬区开展地震勘探的一种新途径。该方法尤其适用于勘探开发侏罗系小而肥的油藏。

总之,黄土塬区地震信息的获取已开创了 4 条途径:

- (1) 沟中弯线;
- (2) 黄土塬直测线;
- (3) 黄土塬多线;
- (4) 黄土塬网状三维。

也就是说,黄土塬区地震勘探已由单一的沟中弯线走向了系列化生产之路。

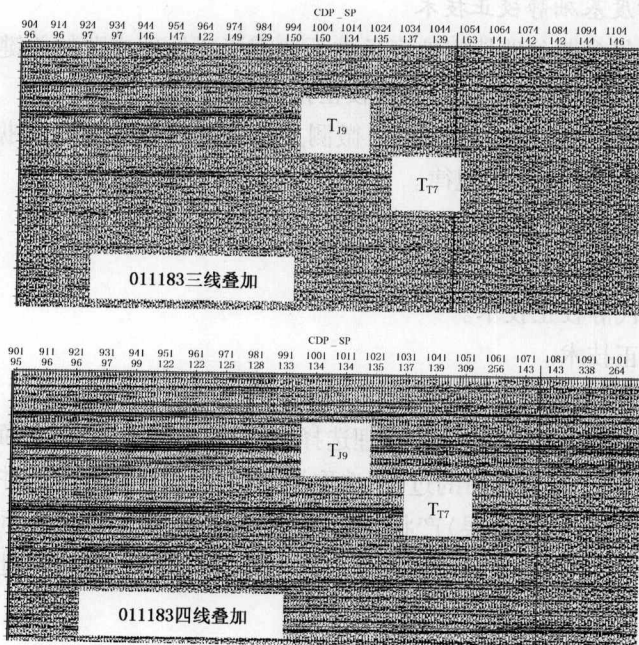


图 5c 三线剖面与四线剖面对比(中生界)

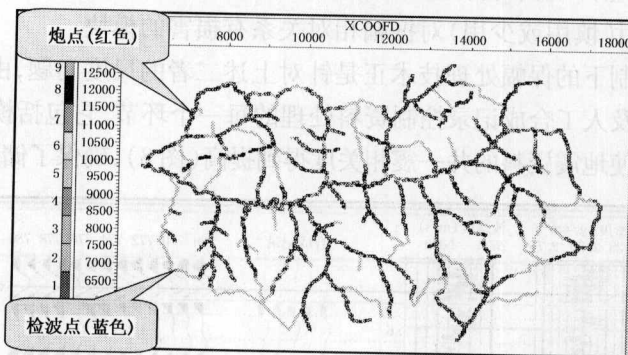


图 6 庄八井区网状三维炮检点分布图(原图为彩色)

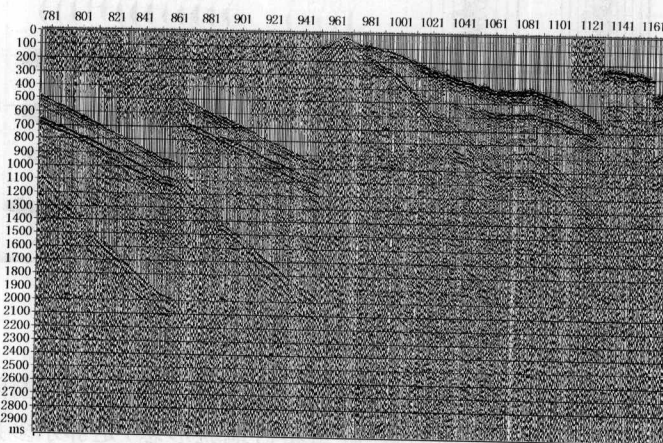


图 7 第 3015 炮记录的一部分

4)复杂地表高精度基础静校正技术

静校正技术是鄂尔多斯盆地特定地表条件下地震资料处理成败的关键。经过长期持续的探索、研究、积累,形成了国际领先水平的静校正技术系列。

(1)微测井静校正技术。建立了近万口微测井资料的近地表结构数据库,基本控制了盆地低速层速度、厚度的平面变化规律。

(2)交互初至折射静校正技术。

(3)地震层析静校正技术。

(4)多域多次迭代静校正技术。

(5)矢量法静校正技术。

5)共反射面元优化叠加技术

共反射面元优化叠加技术的关键是合理选择解释线和合理确定反射面元。对于弯曲测线合理选择解释线则是一个以直代曲的过程,选取原则应尽可能靠近炮点并穿过反射点的密集带;共反射面元大小因视地层(储层)产状而定,面元形状尽可能规则,其间的共反射点信息要尽可能均匀。该技术不仅在二维资料处理中广泛应用,目前在三维资料处理中也见到了良好效果。

6)反射系数序列控制下的保幅处理技术

相对振幅保持处理,一般来说,主要强调了如下两个方面:一是补偿好各种非一致性造成的影响;二是适度应用(慎用或少用)对振幅相对关系有损害的模块。

反射系数序列控制下的保幅处理技术正是针对上述二者的尺度问题,由已知井出发,用稀疏后的反射系数序列及人工合成记录控制资料处理的每一个环节,它包括模块的合理搭配及各种参数的优化。从而使地震资料的井—震相关度得到提高(图8),确保了储层预测的精度。

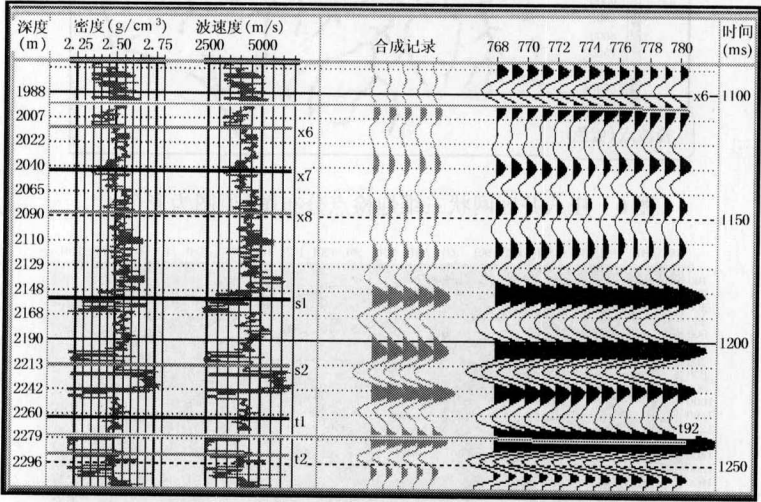


图8 井旁地震道波形与人工合成记录对比

7)两个侵蚀面的解释技术

奥陶系顶部及三叠系顶部侵蚀面对盆地油气运移、聚集、储层分布、圈闭及油气藏类型起着至关重要的作用。因此,两个侵蚀面的解释(重塑古地貌形态)是鄂尔多斯盆地储层预测中的关键技术,尤其是奥陶系风化壳储层的存在与否完全取决于侵蚀面解释的精度。

该技术的要点为:

- (1)对已知井地质规律进行分析归纳;
- (2)由已知井人工合成记录确立地震响应;
- (3)通过已知井地质规律与地震响应间的关系建立侵蚀面解释模式;
- (4)依据解释模式进行侵蚀面追踪;
- (5)采用地层厚度法及残余厚度法恢复古地貌

(图9)。

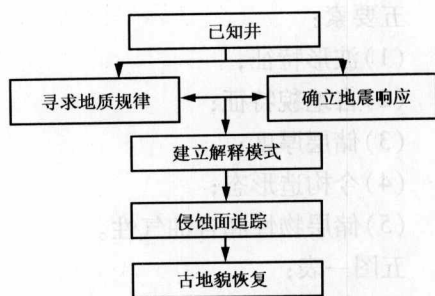


图9 侵蚀面研究思路

前石炭纪古地貌与前侏罗纪古地貌两者间规模差异较大,形成的机理有别,解释技术各有其侧重点:

前石炭纪古地貌是在准平原化背景上形成的以潜台为主、侵蚀沟多向切割的古岩溶丘丛地貌。奥陶系顶部侵蚀面起伏幅度仅30~50m,相对规模较小。因此,对其侵蚀面的识别及解释的着眼点要“小”,即研究范围较为微观,仅限定在侵蚀面附近的2~3个相位之间。

前侏罗纪古地貌山峦叠置、沟谷纵横,气势远较前石炭纪古地貌恢弘壮观,三叠系顶部侵蚀面起伏最大幅度达300m以上。因此,对其侵蚀面识别及解释的着眼点则要放到宏观的地震反射相差异上。

8) 波形特征与地震反演相结合的储层厚度预测技术

鄂尔多斯盆地储集体具有厚度小、横向变化大的特点,可使用二维资料在已知井分布极不均匀的条件下进行储层厚度预测。

预测思路:定性→半定量→定量。

方法:由粗→细(波形特征、道积分→人工合成声波测井→测井约束反演)。

步骤:

第一步:由波形特征、道积分剖面对砂岩厚度展布作宏观定性预测;

第二步:用人工合成声波测井剖面进行半定量解释;

第三步:通过已知井及道积分、人工合成声波测井的解释结果建模,进行测井约束反演,进而对砂体作出定量的预测。

这套由粗到细、层层深入、步步依托的储层厚度预测技术,将先进技术与鄂尔多斯盆地实际紧密结合,具有较强的适用性和有效性,是一项有生命力的长庆特色技术。

9) 储层物性、含油气性预测技术

储层物性、含油气性预测,一直是物探界奋斗的目标(尤其是低孔、低渗、低丰度的储层)。从长庆气田发现的1989年起,采用多参数反演、人工神经网络含油气检测、吸收系数分析、AVO分析(远、近道叠加分析,包络差分析,P波、S波联合反演,泊松比求取)等方法对储层物性、含油气性进行了持续不断地摸索,目前在榆林气田基本形成了一套适用于山₂³气藏低孔、低渗、低丰度储层物性、含气性预测的技术系列,并在开发井位的优选中得到应用。该技术系列正在向苏里格气田盒气藏进行推广,期望能获得进一步的成功。

10) 井位优选技术

为提高鄂尔多斯盆地岩性油气藏的钻探成功率,实现稀井广探、增储上产、低成本、高效益的目标,在总结以往经验教训的基础上,形成了“五要素”井位优选技术,规范了“五图一表”定井制度,开创了物探行业为油气田勘探开发服务的先河。

五要素：

- (1) 波形特征；
- (2) 古地貌特征；
- (3) 储层厚度；
- (4) 今构造形态；
- (5) 储层物性和含油气性。

五图一表：

- (1) 古地貌图；
- (2) 储层厚度图(物性、含油气性图)；
- (3) 今构造图；
- (4) 剖面图(常规、反演)；
- (5) 建议井位要素表。

以上三大技术系列、十项优势技术构成了用于鄂尔多斯盆地油气储层预测的工作流程(图10)。

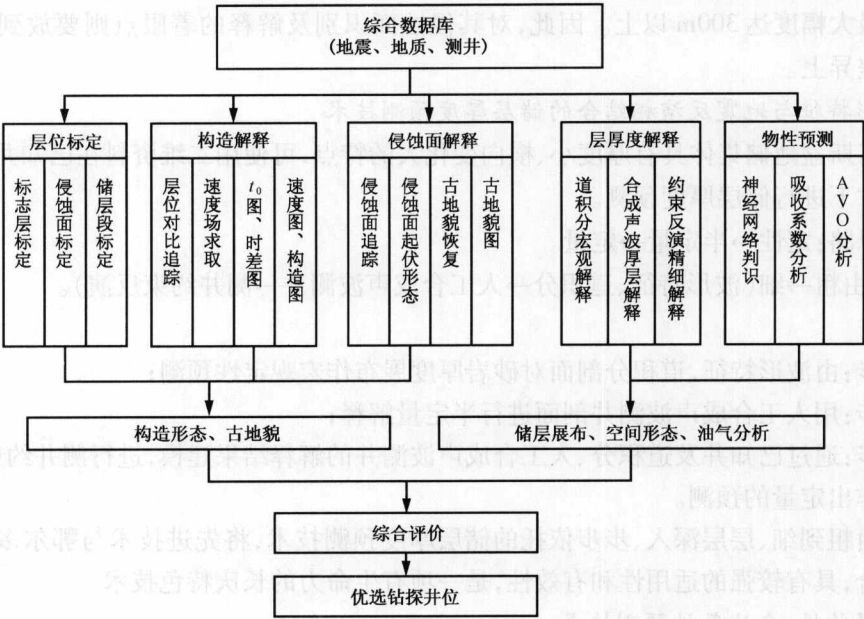


图10 储层横向预测流程

三、主要地质成果及应用效果

1. 中生界石油勘探

1) 主要地质成果

(1) 重塑了前侏罗纪古地貌。

用地震资料编绘前侏罗纪古地貌图始于1997年，到目前为止已有6个版本。随着地震资料的增加，版本逐渐升级，古地貌特征刻画也逐步细化。2003年3月的6.0版本确定出古河

100 余条(其中Ⅰ级古河 1 条,Ⅱ级古河 5 条,Ⅲ级古河 100 余条);斜坡 8 个;高地 6 个;河间丘 8 个;残丘 1 个。与钻井编绘的古地貌相比,Ⅰ级古河——甘陕古河的规模及展布方向基本一致,但河的宽窄、河间丘的个数却有明显变化。Ⅱ级古河不仅条数增加,规模也有所扩大。Ⅲ级古河增加了数十条之多。这些变化无疑为寻找侏罗系古地貌油藏提供了依据。通过钻探证实新发现元 49、环 50、樊 5、元 57 等多个油藏。

(2)进一步落实了中生界主要目的层区域构造,在其背景上发现复式鼻状隆起 101 个,圈闭构造 85 个,断层 22 条。它们既是下一步石油勘探有利区的指向,也是井位部署的依据之一。

(3)对侏罗系延安组、三叠系延长组两大油层系,12 个油层组段的砂体厚度、物性进行了预测及综合评价,指出了有利区块 226 个,面积 13202km²,其中侏罗系 106 个区块,4920km²,三叠系 120 个区块,8282km²。

2)应用效果
(1)钻探效果。7 年来共提供建议井位 390 口,目前已采纳 212 口,采纳率为 54.4%;砂岩厚度预测符合率为 76.9%;获工业油流井 126 口,钻探成功率大于 60%。详见表 1。

表 1 中生界石油勘探建议井位符合率统计表

时间 (年份)	建议 井数 (口)	采纳井		预测结果			钻探结果	
		口数	采纳率 (%)	总层数	符合数	符合率 (%)	工业油流井 (口)	成功率
1996	44	8	18.2	9	6	66.7	5	62.5
1997								
1998	46	27	58.7	29	21	72.4	18	66.7
1999	67	45	67.2	95	72	75.5	29	64.4
2000	117	58	53	243	186	76.5	38	65.5
2001	73	36	49.3	103	83	80.6	22	61.1
2002	43	38	88.4	88	68	77.3	14/20	70
合计	390	212	51.8	567	436	76.9	126	65.6

由此可见,随着时间的推移,无论是井位采纳率、砂岩厚度预测符合率,以及钻探成功率,均呈上升趋势,也就是说,地震的作用在逐步提高。

(2)新发现侏罗系油藏 30 多个,三叠系出油井点 11 个。

(3)7 年来,共为马岭等 19 个油田 85 个区块上交储量提供了今构造、古地貌、储层厚度展布规律,以及油藏边界等基础资料,并通过了储量评审。

2. 上古生界天然气勘探

1) 苏里格庙地

1999 年利用地震资料确定的区域甩开勘探井——Su2、Su1 井发现下石盒子组盒₈砂岩具有石英含量高、结构成熟度高、物性好的特点。Su2 井盒₈日产气 4.1795 万 m³,日产水 19.2m³。根据这一重要苗头,在 Su2 井的上倾方向部署了 tao5 井。tao5 井钻遇盒₈砂岩厚 14.7m(2 层),测井解释气层厚 7.0m,平均孔隙度 13.5%,渗透率 13.069 × 10⁻³ μm²,试气获无阻流量 26.1726 万 m³/d 工业气流。

2000 年参照 tao5 井模式及地震反演成果建议的 Su6 井,在盒₈ 获得 120.16 万 m³/d 高产气流,这是继陕参 1 井之后长庆气田勘探的又一重大突破,它打破了长庆气田被“低渗透”长期束缚的局面。于是,地震对该区盒₈、山₁ 主力储层进行了预测,其方法主要是:首先依据已知出气井储层段(包括围岩)岩性、电性特征产生的地震响应(井旁地震道)作为模板,在地震剖面上类比分析,利用波形特征分布对储层厚度作出宏观预测;然后,在此基础上,通过反演进行量化预测。

主要地质成果

(1) 盒₈ 砂岩厚度展布。

盒₈ 砂体主要分布在三角洲平原分流河道中,单砂体多期叠置成明显的带状分布,区内有以下 4 条砂带:

① Su10—Su6 主砂带。北东向,长 130 ~ 150km,宽 10 ~ 20km,最大砂岩厚度大于 40m,此带上已钻井 6 口。

② Su11—Su14 砂带。北东向,长 130 ~ 150km,宽 10 ~ 15km,最大砂岩厚度大于 25m, Su14 井为两河交汇处,已钻井 3 口。

③ Su17—Su3 砂带。北北西向,长 120 ~ 140km,宽 5 ~ 10km,最大砂岩厚度大于 20m。仅有 1 口钻井。

④ Su18—Su1 砂带。北北西向,长 80 ~ 100km,宽 5 ~ 10km,最大砂岩厚度大于 20m。此带已钻井 2 口。

(2) 山₁ 砂岩厚度展布。

区内分布有 5 条砂带,即 Su10 井东—tao4 东砂带, Su11 井—tao2 井砂带, Su9 井—tao6 井砂带, Su17 井—Su3 井东砂带, Su18 井—Su1 井砂带。5 条砂带均呈北北西向展布,长 90 ~ 160km,宽度 5 ~ 20km,砂岩最大厚度 15m。

(3) 盒₈ 储层物性、含气性预测。

采用人工神经网络、吸收系数分析(PRONY 滤波)、AVO 分析、P 波与 S 波联合反演以及泊松比求取综合预测后划分出物性、含气性好(I 类)、较好(II 类)、较差(III 类)三种类型。其中物性、含气性好的 I 类区主要分布在 Su10—Su6 井主砂带及 Su11—Su9 砂带上,而且连片性好。III 类区基本集中在南部,即 Su8 井东、tao1—tao3 井、陕 233 井一带,北部仅有零星分布。II 类区则是前两者的过渡,面积较大。

(4) 综合评价。

依据:波形特征、砂岩厚度、物性、含气性综合判识、已知井油气显示。

评价结果:含气有利区面积 1000km²;含气较有利区 3500km²;含气远景区 2400km²。

应用效果

(1) 钻探效果。

1999 年提供建议井位 8 口,采纳 5 口,砂岩厚度符合井 4 口,预测符合率为 80%,获工业气流井 4 口,钻探成功率为 80%。

2000 年提供建议井位 10 口,采纳 9 口,砂岩厚度符合井 8 口,预测符合率为 88.9%,获工业气流井 8 口,钻探成功率为 80%。

2001 年提供建议井位 30 口,采纳 23 口,砂岩厚度符合井 20 口,预测符合率为 86.9%,获工业气流井 19 口,钻探成功率为 82.6%。

(2)为该区 6025.27 亿 m^3 探明储量提供了砂岩厚度及气藏边界等基础资料,并通过了储量评审。

(3)为 2002—2003 年优选开发建议井位 24 口。

2) 神木—佳县地区

依据长庆油田分公司扩大气田范围,寻找新含气层系的勘探方针,1998 年地震勘探重上盆地东部的神木—佳县地区,并针对其石炭—二叠纪三角洲分流河道、滨浅海潮道砂体发育、含气层系多、埋藏浅等特点,对区内 20 世纪 80 年代采集的老资料和 1998 年、2000 年的新资料进行了统一的精细目标处理。通过运用多种新技术、新方法,预测了石千峰组 k_5 , 石盒子组 $盒_2$ 、 $盒_6$ 、 $盒_7$ 、 $盒_8$, 山西组 $山_1$ 、 $山_2$ 、太原组 $太_1$ 、 $太_2$ 等 10 余套储层厚度及空间展布形态,提供 40 余口建议井位。完钻的 11 口井实钻结果与地震预测结果吻合,已试气 10 口,其中 7 口井获工业气流。更令人振奋的是在榆 17 井、神 3 井分别发现上古生界新含气层系—— k_5 、 $盒_2$ 段,这标志着长庆气田的勘探领域更加广阔。

地质成果

(1) 砂岩厚度展布。

① $太_2$ 砂岩厚度展布。

$太_2$ 期总体处于陆表海潮坪环境中,砂体主要分布于潮下一潮间的潮汐沟道中,呈条带状或树枝状由南部潮下带延伸至中北部的潮间带上部。方向以北北西—南南东为主。区内主要分布有田家岔—刘家山、白家峁东—杨家沟、田庄—镇川堡 3 条规模较大的主潮道及草滩沟、砖庙 2 条分支潮道。砂体分布宽 5~10km,砂岩厚度 10~15m。此外,北部有 4 条由北向南展布的河道砂体,但分布范围及厚度均较小。

1999 年利用地震资料在该区钻探的第一口井(榆 14 井)便钻遇 $太_2$ 砂体,并获 $1.4\text{m}^3/\text{d}$ 气流。

尤其是东南部绥德—佳县一带,类似榆 15 井($太_2$ 晋祠砂岩产气 $11.61\text{万 m}^3/\text{d}$)波形特征的 3 个条带,虽然规模均较小,但 $太_2$ 晋祠砂岩具有厚度大、物性好、埋藏浅(1000~1500m)的特点。因此,该区将 $太_2$ 作为进一步勘探及开发的目标是现实的。

② $山_2$ 砂岩厚度展布。

该期沉积环境由太原期的海陆交互相转变为陆相,沉积格局为近北东向,在区内形成了以湖成三角洲平原为主的沉积体系,其上又以发育河道和河道间含煤沼泽为主要特征。

区内有规模较大的两条主河道,即庙梁东—武镇—麒麟沟河道及大佛寺—子洲—草滩沟河道,砂体最大厚度达 35m,两条河道在米脂东交会合并,致使该处砂体变宽(25~35km)。另外在北部及东部还发育了 7 条规模较小的支河道,宽度 5~15km 不等,砂体最大厚度 15~25m,长度 20~40km。西部沙家湾—高镇—麒麟沟一带应是第三条主河道。

利用地震资料在该区西部砂带上钻探的陕 215, 陕 217 井均获大于 $10\text{万 m}^3/\text{d}$ 以上工业气流,从而揭示了陕 141 井区 $山_2$ 气藏的南延趋势。

③ $盒_8$ 砂岩厚度展布。

该期三角洲平原构成区内湖成三角洲主体,分布在中北部,其上发育了 8 条北北东向的大小河道,三角洲前缘分布在南部,范围较窄,水下分支河道分叉明显,呈鸟足状或指状分布。

砂体主要分布在三角洲平原的河道和三角洲前缘的水下分支河道中。由西至东发育了 8 条大小不等的河道,其中 5 条较大(榆 2 井—麒 2 井—高家坪河道;榆 16 井—镇川堡—三川口—草滩沟河道;榆 12 井—铺 2 井—绥 2 井河道;后曲裕—韭园沟东—白家峁河道;

榆11—榆5井河道),延伸入湖,延伸最长达100余公里,砂厚5~35m。西部的沙家湾—高镇—麒麟沟一线待测网加密后有望形成一条规模较大的河道。

利用该成果钻探的第一口探井(榆14)在盒₈砂岩中获2.0867万m³/d工业气流。

在以下石盒子、山西组为主要目标的钻探过程中,榆17井、神3井分别于石千峰千₅段,上石盒子组盒₂段获得工业气流。地震紧跟钻探结果,从上述两口井出发,对千₅、盒₂两个新的含气层进行了砂体厚度预测。

④ 盒₂砂岩厚度展布。

盒₂期以滨浅湖沉积为主,砂体主要分布于水下分支河道中。河道规模及砂体厚度较小。区内主要分布有神木—佳县,神3井—榆17井,神5井—榆2井西3条河道,均呈北北东向展布,长60~80km,宽5~20km,中北部砂岩相对较发育,最大厚度可达15m。因此,以盒₂为主要钻探目标的井应选在中北部为宜。

⑤ 千₅砂岩厚度展布。

该区千₅期以冲积平原沉积为主,其上发育有北北东向的3条河流(神3井东—佳县;神木—榆17井;神5井东—榆2井西)长60~100km,宽5~10km,砂岩厚度一般为5~10m,东北部的神木—高家堡一带砂岩厚度最大达15m。从储层的结构成熟度及组分成熟度的角度考虑,千₅为目标的钻探井位需靠南,也就是说,应以榆17井一带为中心,落实千₅储层的含气面积。

应用效果

(1) 钻探效果。

1999—2002年共提供建议井位28口,采纳21口,砂岩厚度符合井17口,预测符合率81%,获工业气流井15口,钻探成功率71.4%。从已完钻的17口井可清楚地看到:该区储集层段多(上古生界二叠系石千峰组一下古生界奥陶系马五₄段)、目的层埋藏深度浅(1000~2000m左右),距输气管线近,其经济效益是可观的。

(2)为陕215井区(山₂³)、镇川1井区(盒₈)、神木地区(千₅)上交探明及控制储量提供了砂岩厚度及气藏边界等基础资料,并通过了储量评审。

(3)上述成果为鄂尔多斯盆地进一步增储上产的目标(神木地区千₅、榆林地区山₂)指出了有利区带。

四、下古生界天然气开发

长庆气田开发地震工作经历了勘探、开发评价、开发3个阶段,资料采样间隔由2ms改为1ms,道距由40~50m缩小到25~30m,覆盖次数由30次提高至60次。在地表一致性保真处理前提下,通过适度的去噪和提高分辨率,不断优化处理流程,确保了目的层段波形特征真实,地质现象清晰,为古地貌气藏研究及井位优选提供了可靠的基础资料。同时,开展了开发井位优选模式的深入研究,补充和完善了侵蚀潜沟解释模式,确立了以侵蚀潜沟解释为龙头的五要素井位优选技术,规范了“五图一表”定井制度。通过近3年的研究,前石炭纪古地貌形态及马五₁₊₂厚度展布均得到逐步细化,从而有力地配合了天然气开发井位的确定及产建任务的完成。