

四川油气地震勘探典型范例

主 编 范明祥

副主编 戴 勇 肖富森 李志荣 李亚林

THE TIPYCAL
EXAMPLES
OF THE SEISMIC
EXPLORATION
OF OIL / GAS
IN SICHUAN BASIN

石 油 工 业 出 版 社

四川油气地震勘探典型范例

主编 范明祥

副主编 戴 勇 肖富森 李志荣 李亚林

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以范例的形式展现了四川石油管理局地质调查处在四川盆地地震资料采集、处理、解释方面的技术进步和发展,以及为四川油气勘探所创建的丰功伟绩。每个范例主要从地质概况、勘探历程、勘探方法技术、勘探成果等方面进行了详尽的阐述。这些范例表明,地震勘探在油气勘探开发中具有先导作用,其中的方法、技术对今后的地震勘探有重要指导意义。

本书可供从事地震勘探和相关领域的专业技术人员、管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

四川油气地震勘探典型范例/范明祥主编.

北京:石油工业出版社,2003.12

ISBN 7-5021-4473-0

I. 四…

II. 范…

III. 四川盆地-地震勘探-概况

IV. P631.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 104888 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

四川翰博印务有限责任公司印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 4.75 印张 100 千字 印 1-1000

2003 年 12 月北京第 1 版 2003 年 12 月成都第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4473-0/TE·3140

定价:50.00 元

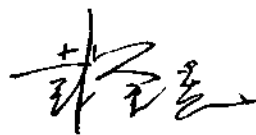
序

在四川盆地的石油、天然气勘探中,地震勘探经历了由简单到复杂、由粗糙到精细的过程,所起的作用则由少到多,由小到大,直至现今成为油气勘探的先行或关键。

四川盆地几十年的地震勘探遍及盆地内无数个构造和地区,在许多含油气构造上都进行过地震普查、概查、详查、精查,有的重复两轮、三轮,获得了约 $22 \times 10^4 \text{ km}^2$ 二维地震剖面 and 3847 km^2 三维地震数据,为四川盆地几十年获得近 $2000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气产量和 $3.312 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 天然气资源量做出了巨大贡献,勘探成效十分显著。

本书从四川盆地大量的地震勘探成功实例中遴选出 5 个典型的范例,分别代表了四川高陡复杂构造、川东石炭系重点气藏、川东新开发的三叠系飞仙关组鲕滩气藏、川西浅层砂岩气藏及川南嘉陵江组气藏,这些气藏既是地震勘探的重点,又是其难点,分布于川东、川西、川中、川南,在地域和油气藏类型方面均具有很强的代表性,因此,撰写本书是很有意义的。

本书重点讲述了地震勘探历程,随之突出反映了地震勘探方法技术的曲折发展过程,对研究人员具有很好的提示作用和教育意义。四川盆地天然气地震勘探的历史实际上是地震勘探方法、技术的发展史。全书涵盖了大多数地震勘探重点、难点技术的发展概况。在野外勘探方面,记录了从模拟地震仪到数字地震仪,从单次覆盖到多次覆盖,从直测线到弯曲测线,从二维到三维采集的历史;在室内地震资料处理方面,记录了从几何学到波动学,从单一高程静校正到复杂多样的静校正,从简单的时间偏移到复杂的叠前叠后深度偏移;在地震资料解释中,记录了从低级的手工操作到人机联作直至全智能化的发展,从单一的构造解释到全方位综合解释的发展过程。总之,本书在地震勘探范例中记载的四川地震勘探科技进步的历史,是值得研究学习的。



2005. 9. 20.

5759

目 录

引 言	(1)
第一章 石炭系气藏勘探开发第一功(范例之一)	(3)
一、地理位置	(3)
二、区域构造位置	(4)
三、地表及人文环境	(5)
四、勘探历程回顾	(5)
五、以往地震资料品质分析及要解决的地质问题	(8)
六、主要技术措施及效果	(9)
七、主要地质成果、认识及评价	(15)
第二章 高效探明鲕滩储层整装气田(范例之二)	(19)
一、地理位置	(19)
二、区域构造位置	(19)
三、地表及人文环境	(21)
四、勘探历程回顾	(21)
五、以往地震资料品质分析及要解决的地质问题	(23)
六、主要技术措施及效果	(24)
七、主要地质成果、认识及评价	(31)
第三章 陆相碎屑岩储层预测的重大突破(范例之三)	(33)
一、地理位置	(33)
二、区域构造位置	(33)
三、地表及人文环境	(34)
四、勘探历程回顾	(35)
五、以往地震资料品质分析及要解决的地质问题	(35)
六、主要技术措施及效果	(37)
七、主要地质成果、认识及评价	(42)
第四章 浅层气藏砂岩储层预测成功率的新水平(范例之四)	(44)
一、地理位置	(44)
二、区域构造位置	(44)
三、地表及人文环境	(45)
四、勘探历程回顾	(46)
五、以往地震资料品质分析及要解决的地质问题	(49)
六、主要技术措施及效果	(49)

七、主要地质成果、认识及评价	(55)
第五章 碳酸盐岩薄储层跟踪研究新进展(范例之五)	(57)
一、地理位置	(57)
二、区域构造位置	(57)
三、地表及人文环境	(58)
四、勘探历程回顾	(60)
五、以往地震资料品质分析及要解决的地质问题	(61)
六、主要技术措施及效果	(61)
七、主要地质成果、认识及评价	(65)
编后语	(70)

引 言

广袤的四川盆地,总面积逾 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$,是四川石油管理局地质调查处(以下简称地调处)广大物探员工长期从事石油天然气勘探的主要场所。

历年来,地调处在面积约 $14 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的区域内进行过一轮或多轮地震勘探,完成了约 $22 \times 10^4 \text{ km}$ 的二维地震和约 3847 km^2 的三维地震资料采集工作量。经过对大量资料的处理和解释,获得了十分丰硕的成果:共查明地面构造 248 个,发现并查明各类潜伏圈闭 993 个,向国家提交各类生产成果报告约 1360 份,提交各类科研成果报告 406 份。

同时,这些成果为四川盆地油气勘探和开发做出了十分突出的贡献:获油气田 99 个,获含油气构造 69 个;估算天然气资源量约 $3.312 \times 10^{12} \text{ m}^3$,天然气探明储量 $5610 \times 10^8 \text{ m}^3$,天然气控制储量约 $1980 \times 10^8 \text{ m}^3$,预测储量约 $1486 \times 10^8 \text{ m}^3$,石油探明储量 $6796 \times 10^4 \text{ t}$,已实现了年产天然气 $80 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和石油 $20 \times 10^4 \text{ t}$ 的目标。

近十年来的地震成果与钻井成果比较,目的层钻探深度相对误差小于 3% 的符合率达 85%,储层发育程度预测符合率达 79%,钻探获气成功率在 70% 以上。

随着油气勘探事业和物探装备、技术的迅猛发展,地调处广大员工在长期的生产和科研活动中,顽强拼搏,不懈努力,已形成了集地震资料采集、处理和解释于一体的西南地区最大的油气勘探服务体系,拥有了适应各种复杂山地条件和各种复杂构造条件、储层条件的地震资料采集、处理、构造解释、储层横向预测的特色配套技术。

本书以川东大天池—明月峡构造二维地震勘探,川东罗家寨潜伏构造二维、三维地震勘探,川中公山庙构造三维地震勘探,川西白马庙潜伏构造二维、三维地震勘探和川南麻柳场构造二维地震勘探为例(图 1 中 A、B、C、D、E 框所示),展示了地调处在山地地表恶劣和地腹构造高陡复杂条件下,川东石炭系和下三叠统飞仙关组碳酸盐岩储层地震勘探的成功范例、川中和川西侏罗系碎屑岩储层地震勘探的成功范例和川南下三叠统嘉陵江组碳酸盐岩薄储层地震滚动勘探的成功范例。尽管上述范例仅是地调处大量生产成果、科研成果和大量成功例子的一斑,但却从不同的角度反映了四川地震勘探技术的进步和发展,反映了地震勘探在四川油气勘探、开发中的重要地位和作用。成功范例雄辩地证明了地震勘探技术的进步和发展是提高油气勘探效率和加快油气勘探步伐的必由之路,四川的油气勘探事业之所以得以迅猛发展,作为先行的地震勘探在其中建立了不朽功勋。

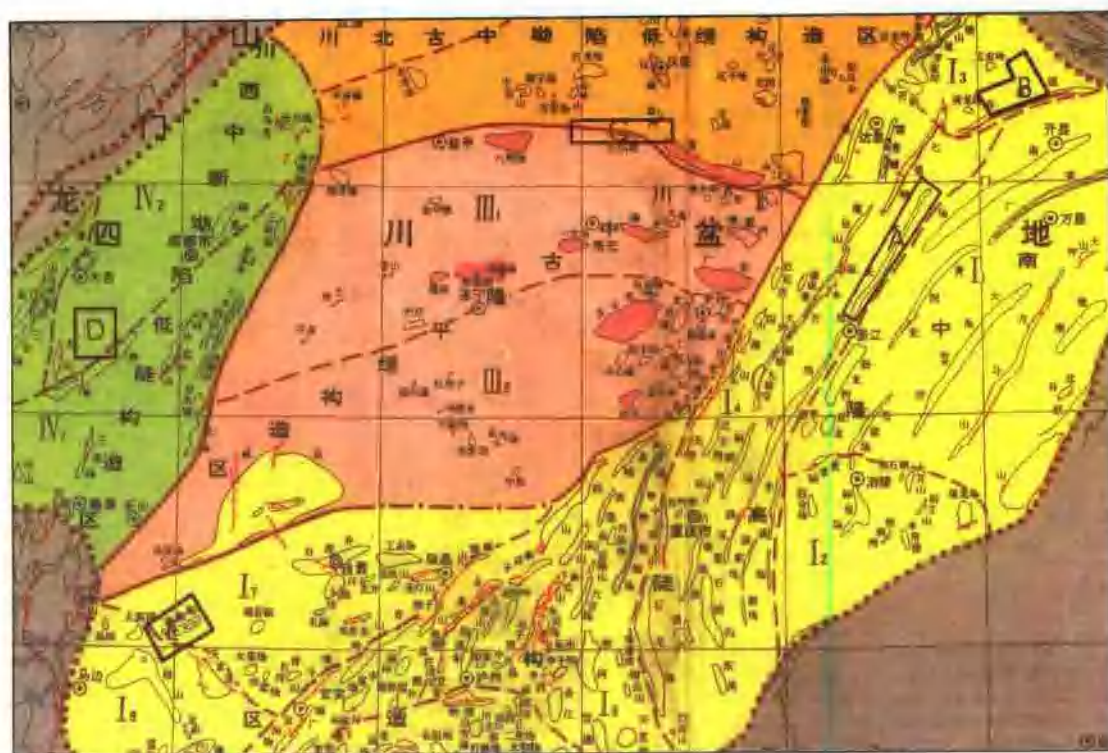


图1 四川油气地震勘探典型范例区位置示意图

第一章 石炭系气藏勘探开发第一功(范例之一)

——川东大天池—明月峡构造石炭系碳酸盐岩气藏二维地震勘探

1977年,在四川盆地川东地区相国寺构造完钻的相18井于石炭系钻获无阻流量达 $386.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的高产天然气流,拉开了石炭系储层勘探的序幕。此后几年中,在川东大池干井等9个高陡构造部署了10口石炭系区域探井,均因钻遇陡带而失利,石炭系勘探进程受阻。20世纪80年代后期,在充分论证的基础上,确立了大天池—明月峡构造为石炭系储层勘探的突破口。经过长达10年的地震、钻井滚动勘探,大天池—明月峡构造的石炭系储层勘探得以突破,地震工作为川东石炭系气藏勘探开发建立了第一功。

一、地理位置

大天池—明月峡构造行政区域属四川省开江、大竹县和重庆市梁平、垫江县境。地理坐标为北纬 $30^\circ 10' \sim 31^\circ 17'$,东经 $107^\circ 6' \sim 108^\circ 14'$,面积约 3630 km^2 。该区西距川东重镇达州市约 60 km ,南距重庆市约 120 km (图1-1)。

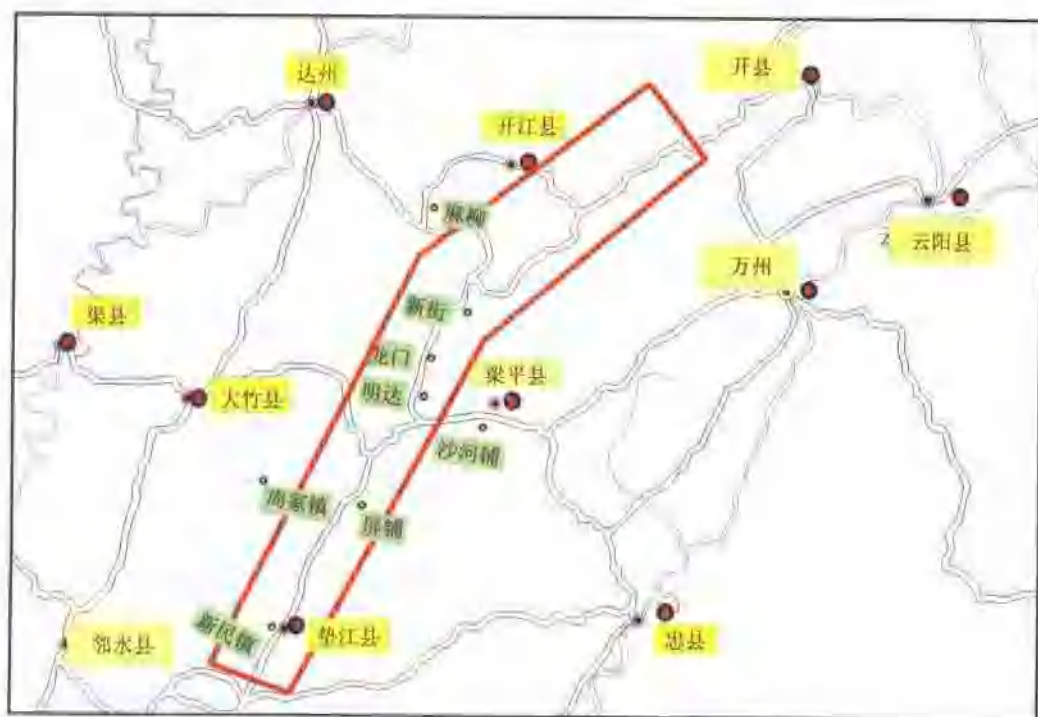


图1-1 大天池—明月峡构造地理位置示意图

二、区域构造位置

大天池—明月峡构造属川东南中隆高陡构造区明月峡构造带。地面为高梳状线型背斜,构造走向北东。构造两翼不对称,东南翼陡,倾角为 $55^{\circ}\sim 80^{\circ}$,并有局部倒转;西北翼较缓,倾角为 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。地面构造完整,由天池铺高点和文家坝高点组成。构造东北端在开县兴隆场附近倾没,消失于罗顶寨向斜,西南端与佛耳崖构造正鞍相接;构造西北翼隔罗成寨向斜,大方寺向斜与七里峡、蒲包山、凉水井构造相望,东南翼隔南雅向斜,梁平向斜与南门场、黄泥堂构造遥相对应(图1-2)。

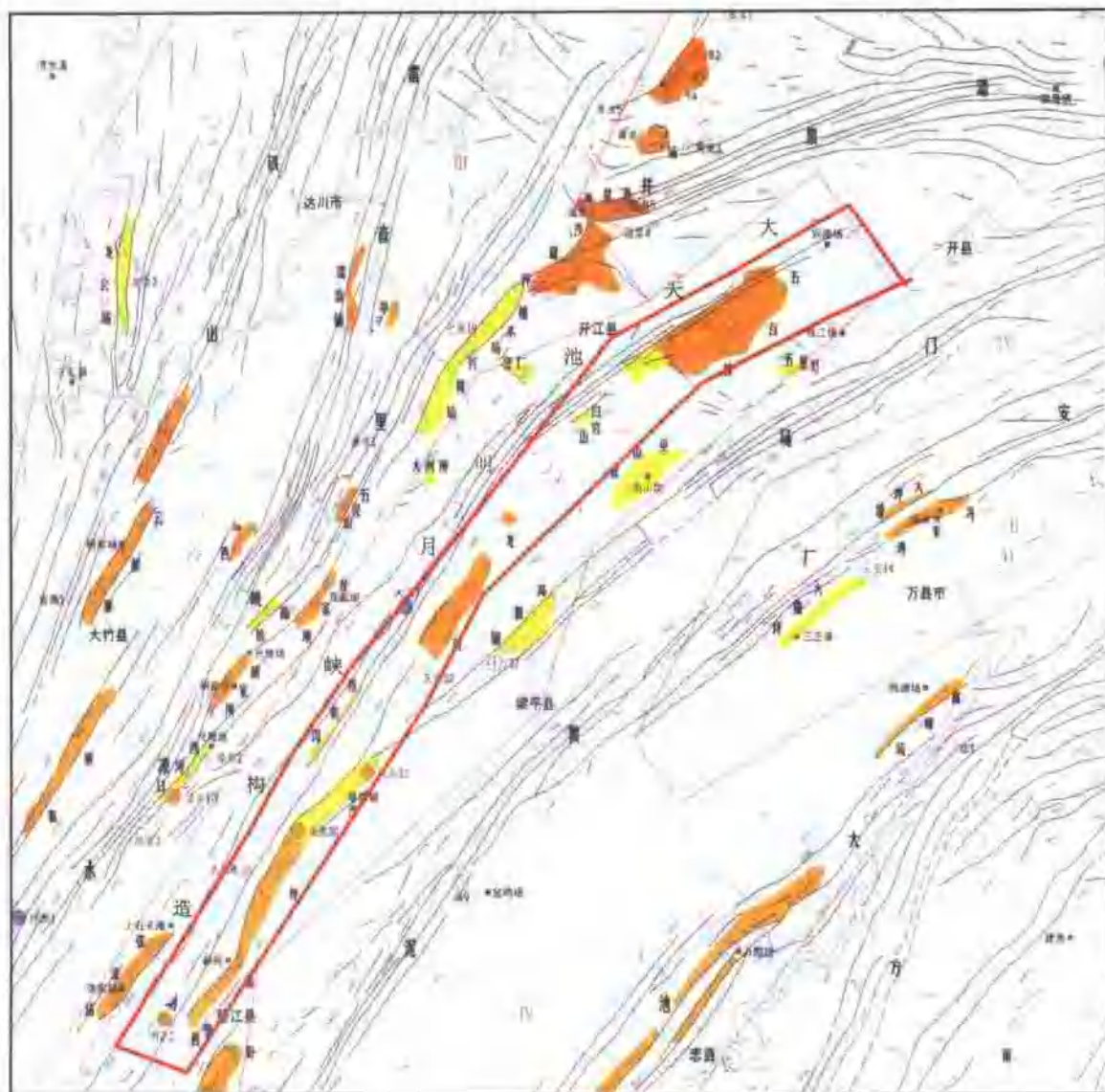


图 1-2 太天池—明月峡构造区域构造位置示意图

三、地表及人文环境

该区除东北端的临江镇附近为地势较平坦的丘陵区外,其余区域均系中、高山区,地形起伏大,沟谷纵横,切割厉害,竹林遍布,荆棘丛生。地表高度一般为海拔 500 ~ 600m,但最高处在海拔 1200m 左右,低洼沟谷处仅为海拔 200m 左右,高差很大(图 1-3)。



图 1-3 大天池—明月峡构造地貌掠影

该区交通较便利,东部有梁平—开县、梁平—垫江的公路贯穿南北,还有开江—梁平、开江—开县、梁平—达州等多条公路横穿构造东西;此外,各区、乡之间简易公路也较发达。

大天池—明月峡地面构造为正地形,构造轴部为高山区,出露地层为中、下三叠统石灰岩,对地震波的激发接收十分不利,且施工难度大;构造两翼及倾没端出露上三叠统太套砂岩和下侏罗统自流井群砂、泥岩,也增加了地震资料采集的难度。构造两侧的向斜区,广泛出露中、上侏罗统砂泥岩,为地震资料采集创造了良好的地震地质条件(图 1-4)。

四、勘探历程回顾

20 世纪 40 年代,仅对大天池—明月峡构造进行过地质调查;1956 年,四川石油管理局对该区进行了重磁力普查,取得了本区基岩起伏及基底断裂的相关地球物理资料;1957 年和 1974 ~ 1979 年,原地质矿产部在该区分别进行过石油地质普查和 1 ~ 6 次覆盖的地震勘探工作,提交了四川盆地邓家坝构造地震普查成果报告。

地调处对大天池—明月峡构造的地震详查工作始于 1987 年。1987 ~ 1992 年间,

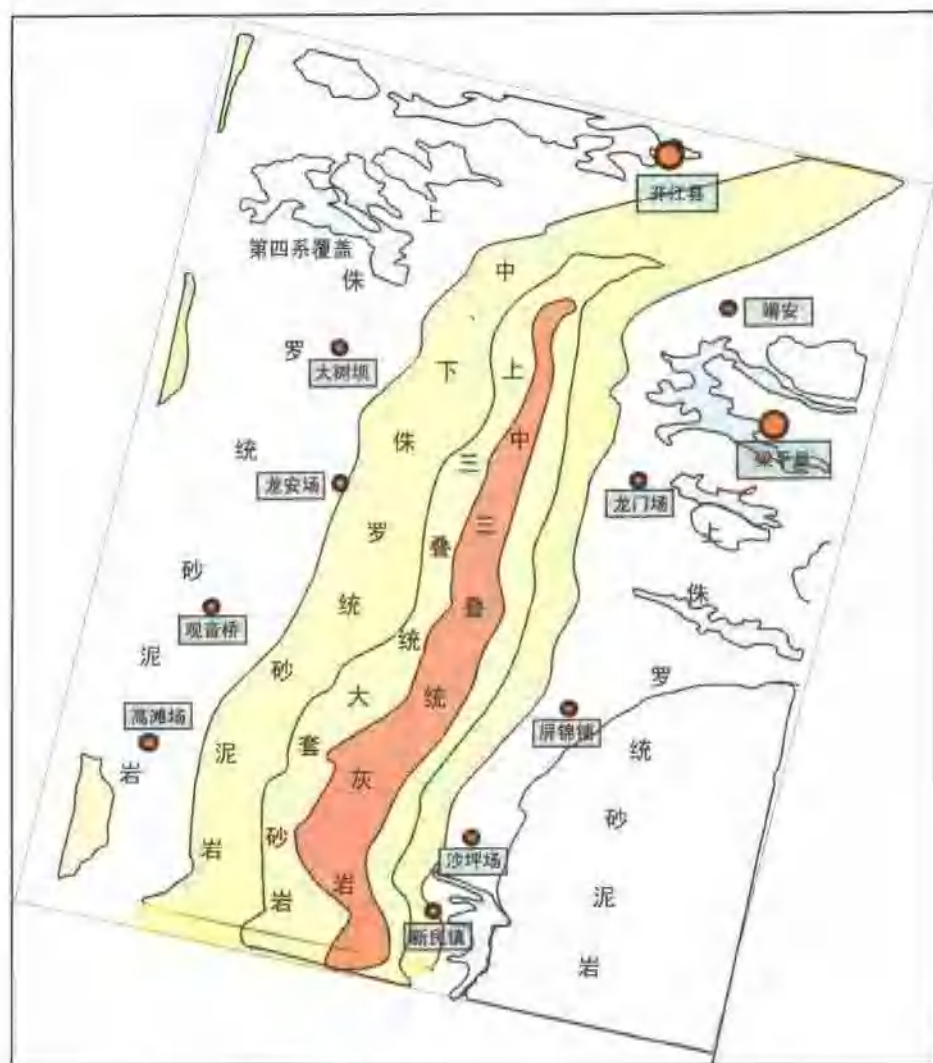


图 1-4 大天池—明月峡构造地面地质图

分别对大天池构造北段、大天池构造东翼、大天池—明月峡构造主体进行了分阶段的数字地震详查,提交了3个成果报告。通过地震详查,基本查明了中、下三叠统至奥陶系主要目的层构造形态和断层展布情况。

为进一步落实大天池—明月峡构造石炭系构造及储层展布特征,1993~1996年,又对该构造带进行了二维数字地震加密详查或精查。至此,大天池—明月峡构造共有1987年之后采集的多次覆盖地震测线178条,剖面总长约3370km,覆盖次数为10~15次,测线间距为0.5~1.5km(图1-5)。这些资料构成了突破大天池—明月峡构造石炭系勘探的全部基础。

在此期间,为配合该构造石炭系储层勘探,还先后开展了以“四川盆地川东地区大天池构造带整体评价研究”、“川东高陡复杂构造带勘探技术深化研究”为主的多项研究工作,有关构造和储层研究成果促进了大天池—明月峡构造石炭系勘探的突破。

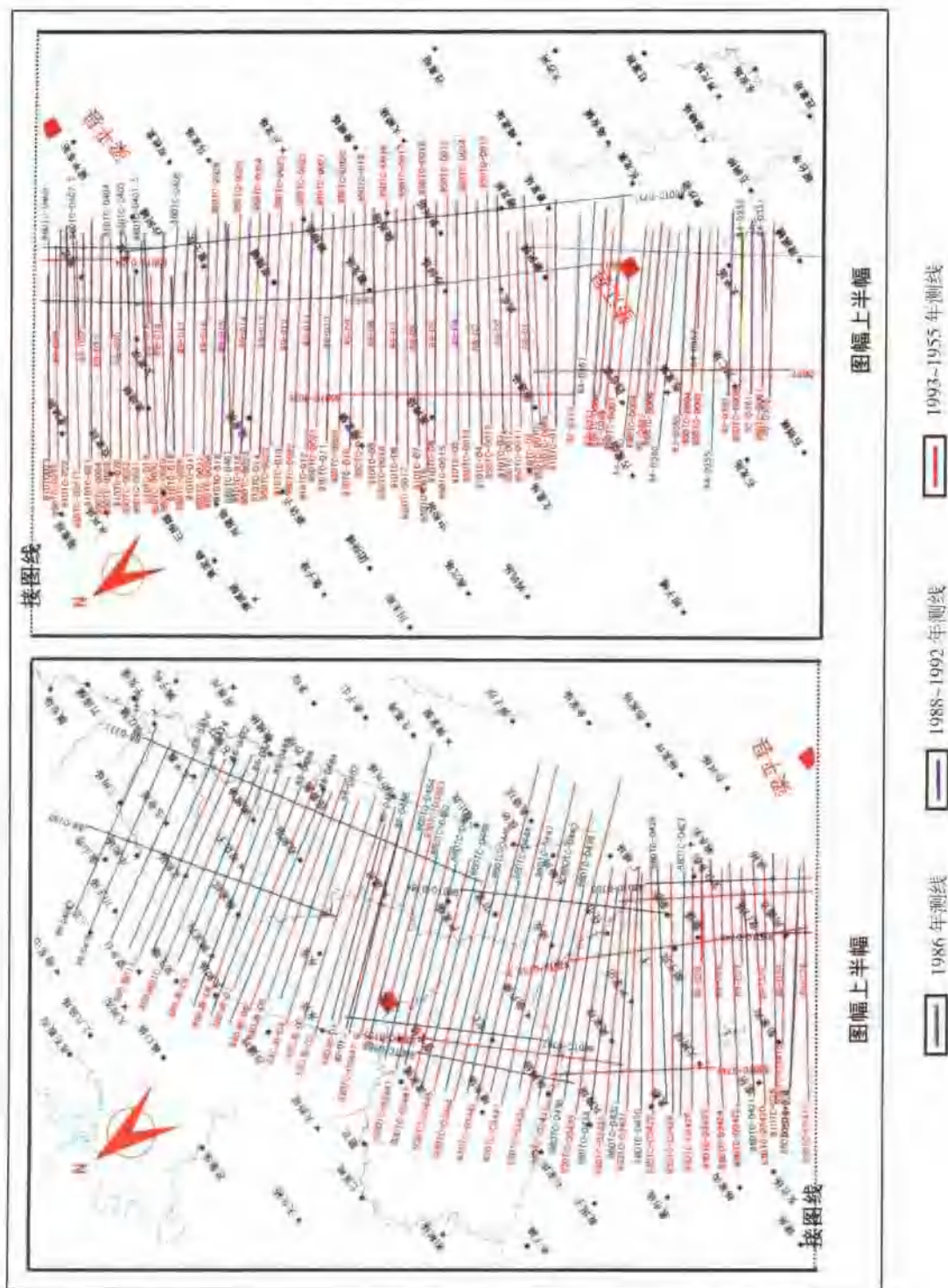


图 1-5 大天池—明月峡构造测线布置图

该区钻探工作从1978年原地质矿产部部署的川61井和四川石油管理局部署的邓1井开始,2口井均因构造或储层问题而失利。1987~1992年,根据这期间的各轮地震成果在大天池—明月峡构造的不同部位完钻了天东1等22口石炭系探井,其中获 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 以上天然气产能的井有8口,获 $20 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ 以下天然气产能的井有4口,钻探成功率仅为54%。

1993年以后,根据此阶段不断深入的多轮地震勘探成果部署并完钻了天东19等40口探井、开发井,其中获工业气井32口,钻探成功率提高到80%。

五、以往地震资料品质分析及要解决的地质问题

1986年以前,由于受到地震勘探装备、技术和测线间距大、覆盖次数低的局限,所获的模拟多次覆盖地震资料频带窄、信噪比低,构造顶部地震资料空白区宽,不能解决构造问题。

1987~1996年的10年间,随着地震资料采集、处理设备不断更新,技术不断发展,因此所获地震资料质量普遍较高,除构造主体部位局部段资料信噪比较低外,其余地区的资料均能满足构造和储层解释的需要。由于该区具有较高覆盖次数的地震资料和较密集的测网的控制,有利于精细描述大天池—明月峡构造的构造细节和石炭系储层分布特征(图1-6)。

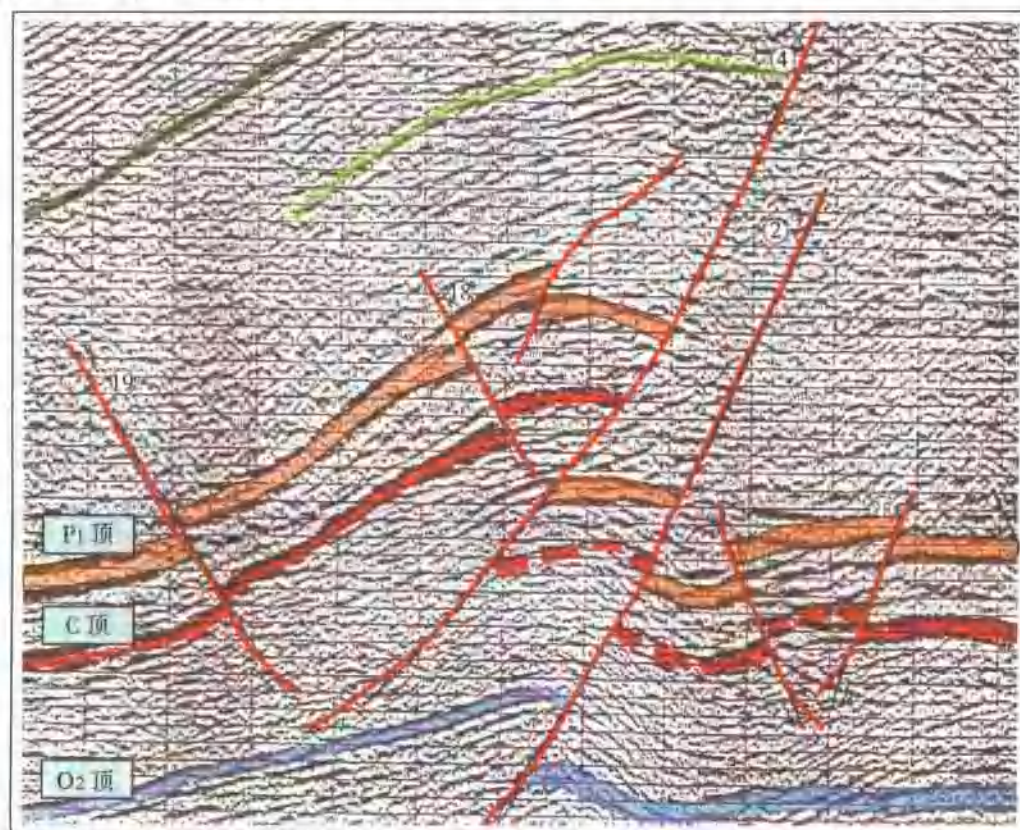


图1-6 大天池构造93-3426深度剖面图

同时,在大天池—明月峡构造地震勘探阶段,钻探程度也不断提高,众多的高质量钻探和测井、试油成果为地震解释提供了更充分的储层标定、储层模式建立和储层识别依据。

综合分析以往的地震资料、地震成果质量和钻探效果认为,大天池—明月峡构造的石炭系储层地震勘探应主要解决以下5个方面问题:

(1)进一步提高部分地震基础资料的质量。大天池—明月峡构造主体、陡前带和缓前带的部分地震资料分辨率和信噪比不够高,偏移效果较差,应进一步改善其质量,以满足构造、储层解释的需要。

(2)构造解释未能充分、客观描述地腹构造形态、构造细节变化和断层展布特征。特别是构造主体两侧大断层下盘的隐伏构造,是寻找石炭系气藏的有利区带,以往的成果未能充分反映其圈闭规模和高点位置。

(3)川东地区的钻探揭示,石炭系厚度变化为0~80m,存在随机的石炭系缺失窗,且厚度变化剧烈。要寻找出一套识别石炭系有无、厚薄变化的方法技术,对石炭系厚度进行预测。

(4)寻找石炭系储层优劣变化的预测方法,预测石炭系储层发育程度的分布特征。

(5)石炭系为裂缝—孔隙型储层,裂缝的发育程度是影响气井产能的主要因素。因此,对石炭系裂缝发育程度的预测也是十分重要的。

六、主要技术措施及效果

针对所要解决的问题,该区的地震勘探采取了以下主要技术措施并且取得了良好的效果。

(一)改善地震资料质量

以提高信噪比和分辨率为目的,在较先进的 PE3280 机上对地震资料进行反复精细处理,进一步改善了叠加和偏移成像质量(图1-7)。同时,对部分地震资料进行高分辨率处理,增强了对半个相位以下小断层的识别能力(图1-8)。

(二)通过建立构造模式、速度结构分析、构造综合解释、变层速度时深转换成图四个方面相结合,提高构造解释的可信度和精度

1. 以构造模式指导解释

以往对高陡构造钻探的失利,多因对高陡构造模式认识不清而导致构造解释失误。伴随着“川东高陡复杂构造带勘探技术深化研究”等项目的实施,地质、钻井、地震相结合,总结出了包括大天池—明月峡构造在内的不同构造带、不同构造部位的16种构造模式(图1-9),对合理解释大天池—明月峡构造形态起到了重要指导作用。

2. 充分认识中三叠统雷口坡组中、下部和下三叠统嘉陵江组中、上部特殊地层对下伏石炭系构造形态的影响

川东地区的大量钻探成果表明,中三叠统雷口坡组中、下部和下三叠统嘉陵江组中、上部为一套膏盐岩、石灰岩、白云岩互层结构,横向上厚度可以达到3~4倍的变化,这种变化在地震剖面上表现为喇叭状反射结构(图1-9中的基本模式)。分析认

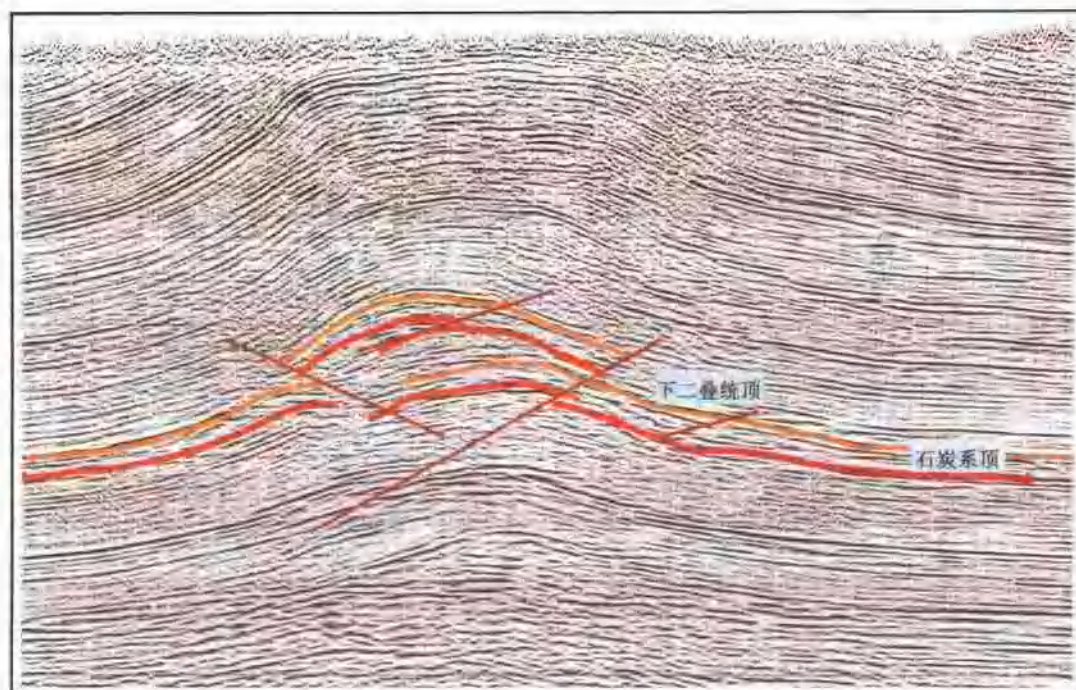


图 1-7 大天池构造北段 91-D1 偏移剖面图

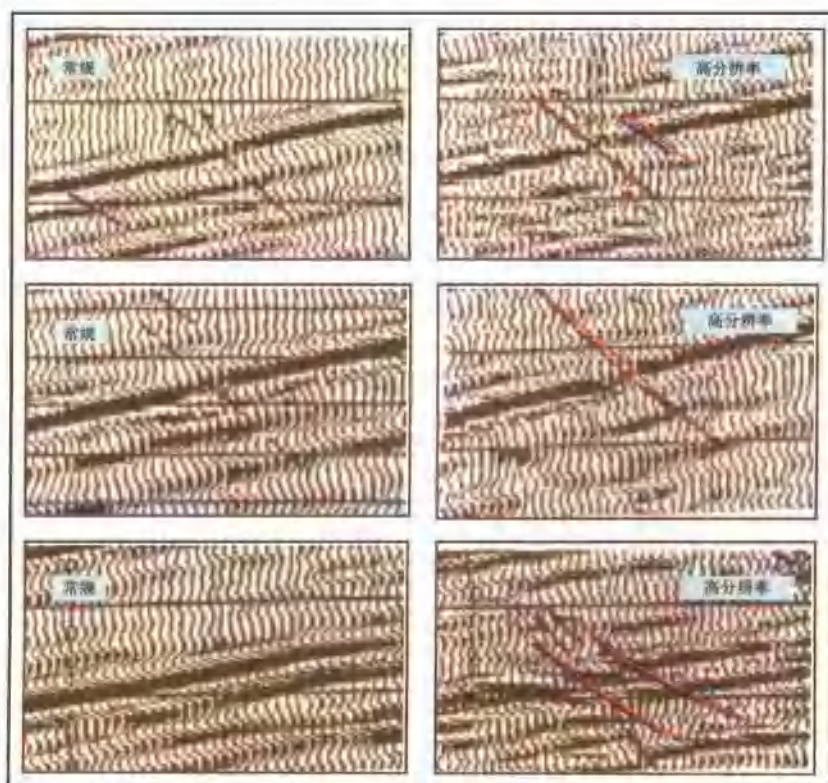


图 1-8 常规偏移剖面与高分辨率剖面对比图
提高分辨率的剖面上,小断层表现更多、更清楚

为,导致这种变化的原因主要是这套可塑性强的地层在高温高压和构造应力作用下产生“柔流”而次生增厚、减薄或断层重复的结果。这一结论对解释断层穿层和断层消失层位具有指导意义;同时由于这是一套高速地层,其厚度的急剧变化,又会直接影响到下伏石炭系构造形态、高点位置、埋藏深度和圈闭规模。

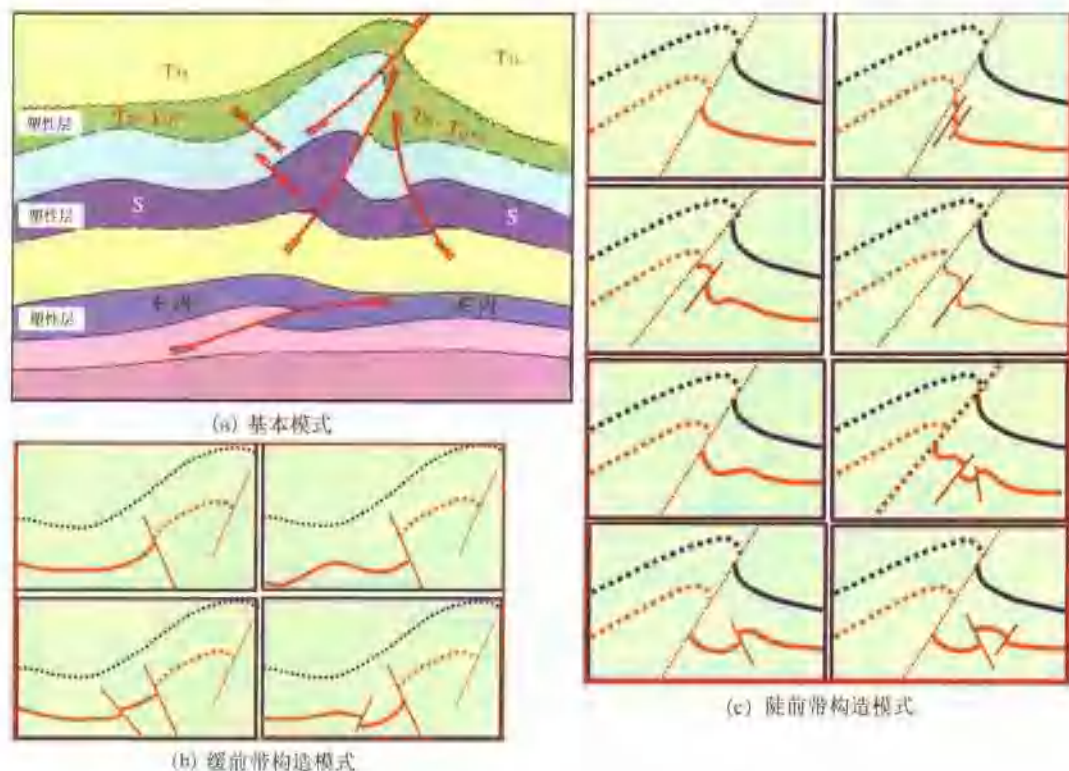


图 1-9 川东高陡复杂构造模式(部分)图

3. “穿鞋戴帽系领带”综合解释

在充分解释地震剖面的基础上,将地面构造成果与钻探成果有机地结合起来进行剖面综合解释,这种综合解释方法对地面出露地层老、地质结构复杂的构造主体的构造解释起到了十分重要的作用(图 1-10)。

4. 纵、横向变层速度时深转换成图

分析川东大量声波测井、地震测井和地震剖面资料后认为,影响石炭系构造形态和埋藏深度有两方面的速度因素。一是地腹各层的层速度在纵向上都存在着不同程度的变化,同时,同一层的层速度也存在着随埋深增大而增加的规律;二是高速膏盐岩的厚薄突变。针对这种速度结构特点的对策是:在偏移剖面基础上合理选择速度控制层,尽可能充分考虑柔性高速层次生厚度变化所引起的反射时差变化,综合建立空间速度场,实现偏移剖面的时深转换,其结果较客观地反映了下伏层的构造形态(图 1-11)。