

二次创业与南方海相碳酸盐岩 油气勘探的发现与展望

朱 铨, 杨贵祥, 敬朋贵

(中石化勘探分公司, 昆明 650200)

摘 要 本文概述了中国南方碳酸盐岩地区的油气勘探经历和认识过程. 在刘光鼎院士提出的"油气资源二次创业"理论方法指导下, 我国在海相碳酸盐岩地区开展的地球物理勘探工作取得了重要成果. 海相碳酸盐岩地区具有更复杂的地质构造和演化过程, 该类地区寻找油气是世界性难题, 传统勘探手段已不适用. 本文给出了该类地区进行地球物理勘探的新思路、新方法、新技术, 并以举世瞩目的普光大气田的发现说明了新方法的合理性和优势. 文章最后给出在南方海相碳酸盐岩地区进行油气地球物理勘探的发展远景.

关键词 二次创业, 海相碳酸盐岩, 油气勘探, 普光气田

中图分类号 P631

文献标识码 A

文章编号 1004-2903(2007)04-1255-14

The theory of "second round of oil and gas exploration of China" and the course of the seismic exploration in the bare carbonate rock area of south China

ZHU Xuan, YANG Gui-xiang, JING Peng-gui

(South Company of Prospecting, SINOPEC, Kunming 650200, China)

Abstract This paper give us a summarize of the course of the seismic exploration in the bare carbonate rock area of south China by the South Company of Prospecting, SINOPEC. The theory of "second round of oil and gas exploration of China" given by famous academician Liu guang-ding is accurate and can play import part in the exploration of oil and gas in South China and the finding of "Puguang gas field". Paper also gives us a series of new methods and technology and describes the future of the exploration of oil and gas in south China.

Keywords second round of oil and gas exploration of China, marine facies carbonate rock, oil and gas exploration, Puguang gas field

0 引 言

2002 年刘光鼎院士向国务院提出建议, 以中国南方广大碳酸盐岩海相储层为主要目标, 开展油气勘探, 实现“二次创业”, 建议受到国家领导人的高度重视, 温家宝同志作了重要批示, 从此, 南方海相碳酸盐岩领域的油气勘探翻开了崭新的一页, 通过五年的奋斗, 在前人艰苦工作的基础上, 在四川东北部率先取得突破, 发现了举世瞩目的普光大气田, 在通南巴等区块也取得了重大成果, 为川气东送奠定了

资源保证, 几代石油人梦寐以求的大场面已初步形成, 在南方更大范围的油气勘探工作也正在展开.

根据全球油气资源的赋存与分布, 老一辈石油工作者始终对中国南方碳酸盐岩油气资源十分重视, 并开展了长期的研究, 刘光鼎、欧庆贤、陈沪生、郭正吾、孙肇才等从“六·五”开始就开展了科技攻关, 马力、石宝珩等也做了大量工作, 历年来各南方新区项目部、南京石油物探研究所和杭州石油地质研究所等单位持之以恒, 长期对南方探区进行深入研究, 他们都为南方的油气勘探作出重要贡献, 特别

收稿日期 2007-03-10; **修回日期** 2007-06-20.

作者简介 朱铨, 男, 1947 年生, 教授级高工, 1969 年南京大学物理系毕业, 现为中石化南方勘探开发分公司总工程师. (E-mail: xuanzhu@vip. km169. net)

是改组以后的中国石化,领导高度重视南方的油气勘探,组建的南方海相项目经理部认真总结前人的研究成果和工作经验,为南方海相取得突破打下了坚实基础。

由于南方地区经历了多期构造运动,强烈的改造作用使得地下构造变得十分复杂,恶劣的地表条件对地震勘探带来很大的困难,高演化程度和盖层问题对天然气的生气和保存问题提出了新的挑战,储层超深钻井工程无论从质量、速度、安全和效率都遇到一系列的难题,可以说南方海相中生界碳酸盐岩油气勘探面临的是许多世界上都难以解决的问题,这些都制约了这一领域的突破。

困难是客观存在的,但科学技术在不断的进步,在国家石油天然气资源十分紧缺的时候,充分了解科学进步的脉搏,正视困难,直面挑战,正确把握时机,二次创业为南方油气勘探带来了前所未有的机遇。把握机遇寻求突破,需要在地质观念上创新,充分发挥地球物理勘探的作用,大胆采用钻井及其它井筒作业的新技术,才能获得新的重大油气发现。普光气田的发现就是一个很好的例子。

据统计,南方油气勘探的面积广达数十万平方公里,地质条件复杂多变,二次创业任重道远,本文将就南方海相碳酸盐岩地球物理勘探问题进行回顾与探讨。

1 普光气田发现过程中的地震勘探

在广大南方地区四川盆地的地震资料相对较好,地质评价也高,因此被选作突破区域。前人在普光地区先后在各高点上钻了二十一口井,均未获突破,在新的地质思路指导下,以发现构造岩性复合圈闭,寻找礁滩相储层为突破口,对地震勘探提出了新的要求。

普光地区同时具备复杂山地、深层勘探、碳酸盐岩层系的地质特征,油气勘探技术属世界性难题。普光地区地表高山褶皱强烈,地下地质构造复杂,导致地震波场错综复杂。上二叠纪长兴期~下三叠纪飞仙关期持续处于台地边缘相带沉积环境,现今埋藏深,是碳酸盐岩油气勘探有利的地区。研究认为,如何获得高品质的地震资料,如何识别与预测优质储层是制约该区深层碳酸盐岩油气勘探的关键与难点。

为此,开展了面向上二叠统长兴组~下三叠统飞仙关组礁滩储层的山地高精度地震采集、高保真地震储层成像与深层碳酸盐岩优质储层预测的一体化地震攻关研究,形成了复杂山地高精度地震采集

工艺技术、高分辨率储层成像技术系列与礁滩储层地震综合预测技术系列,提高了地震资料的信噪比与分辨率,有效地支撑了普光大型气田的发现与高效探明,取得了显著的勘探效果。

2 地震采集

工区地震地质条件复杂,给实施山地高精度地震带来了极大的困难,首先是复杂山地问题:地表类型复杂多样、切割剧烈(相对高差达1200米),难以进行炮、检点精确定位,施工难度大;表层结构复杂多变,激发、接收条件差异大,造成严重的地表非一致性,表层低速带吸收强烈,造成海相碳酸盐岩地层段反射波能量和频率降低;起伏地表不均匀性造成的近地表散射效应使得地震资料干扰严重、信噪比低。

其次是深层勘探问题。为保障目的层信号有足够的能量,通常不得不采用较大的激发药量,大药量会产生较大的低频效应,使高频成分能量较小,影响地震分辨率的提高;由于介质对地震信号有明显的选频衰减效应,地震信号中的高频成分比低频成分损失更大,也影响了分辨率。地下构造复杂,断裂发育,地层倾角大,地震波场复杂。勘探地质目标埋藏深,受上覆高陡构造、嘉陵江组膏岩柔皱地层和反射界面严重褶皱的影响,造成地震反射能量屏蔽,使得信噪比降低。这些现象在深层勘探将会变得尤为严重,如何补偿地震信息中损失的高频成分、拓宽优势频带,是深层碳酸盐岩油气地震勘探的关键。

再就是碳酸盐岩层系问题。碳酸盐岩储层非均质性强,且与围岩的波阻抗差异小,使得地震反射信号弱,高频信号更弱。

为满足深层碳酸盐岩储层预测的需求,主要围绕提高激发高频率信号能量,接收时尽可能保护与提高高频成分和信噪比,在表层结构精细调查、噪音压制、改善激发接收条件、观测系统设计等方面,开展方法理论、试验量化分析和野外施工采集工艺优化,形成了复杂山地高精度地震采集工艺技术。其中面向储层的采集设计技术、高精度定位、高密度采样和饱和激发为关键。

2.1 面向储层的采集设计技术

在构造、沉积相和储层发育模式指导下,建立储层的地质-地球物理模型。采用面向储层的设计理念,借助复杂地表条件下的地震波场正演模拟,实现面向碳酸盐岩复杂储层的地震采集优化设计。

具体方法包括:大炮检距观测方式、小道距高覆盖观测方式、变观加密方式、增加构造顶部的覆盖次

数等。

2.2 山地高精度定位技术

针对山高森林茂密,植被多的实际,以卫星定位系统(GPS)实时动态差分模式(RTK)与全站仪结合实现山区高精度定位和全天候、全方位观测。定位精度达到 $M_x=0.29\text{ m}$, $M_y=0.28\text{ m}$, $M_n=0.26\text{ m}$ 。

2.3 精细表层结构调查技术

在对表层地质调查、小折射、微测井(单、双井)调查、超深微测井、浅层地震反射、露头微测井、露头高程调查、山体速度调查、非地震表层调查、地质雷达表层调查、微电法、微 VSP 等各种表层结构调查方法对比试验和研究的基础上,结合川东复杂山地的特点,形成了以双井微测井为主、微 VSP 与微电法为辅的表层地质模型精细调查技术,为建立精细的近地表模型和静校正打下良好的基础(图 1)。

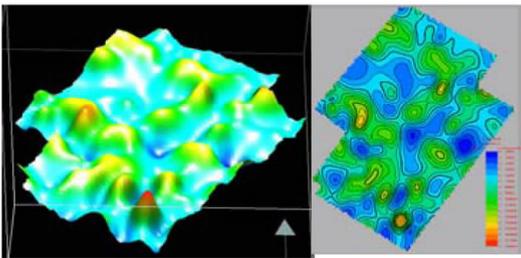


图 1 低速层速度 V_0 立体和平面示意图

2.4 饱和激发与高频能量激发技术

饱和激发理论^[4,5]认为,地震波的振幅表征着介质的应变特征,药量表征着介质的应力特征;饱和激发时能满足线性叠加特性;在饱和激发状态下,可保证激发高频能量,提高高频信号的信噪比。

饱和激发对提高地震采集精度的意义在于:在饱和状态下激发,可以实现信噪比和分辨率的有机统一,同时在理论上回答了多年来高分辨率地震采集的是大药量好,还是小药量激发好的争论;饱和激发理论可以指导激发井深、激发岩性与激发方式的优选与最佳匹配组合。按照饱和激发理论,本区砂岩出露地层选择 19m 井深、11kg 高爆速炸药激发,实现三者的最佳匹配组合。

2.5 根据卫星图片布设测线,采用宽方位、小面元、高迭次的观测系统

采用高密度采样技术,提高储层描述的时间—空间采样率,时间采样率为 1 ms,三维空间采样率为 $25\text{ m}\times 25\text{ m}$ 。

采用多检波器串联小面积组合方式,压制环境

噪音和大线感应干扰,采用高覆盖次数观测系统,提高深层有效地震反射的信噪比。

3 高精度地震成像技术

在攻关中,综合应用野外近地表精细调查、初至波层析成像、迭代剩余静校正解决复杂山地的静校正难题;以区域地质构造和速度分布规律为基础,利用叠前偏移共反射点道集的速度分析建立高精度速度模型;给出地震走时算式系数优化方法,提高了大炮检距时走时计算精度,基于波场费涅尔相干理论发展了叠前偏移保幅技术,形成了拟起伏地表曲射线叠前时间偏移成像技术,保证了复杂构造和储层的成像精度;基于调谐频率与分频处理的高分辨率储层成像技术,进一步提高储层地震识别与地震预测的分辨能力^[7]。

3.1 初至波层析成像静校正技术

初至波层析成像技术采用射线跟踪技术计算地震初至波走时,反演求取近地表速度精细结构,与现行折射波静校正技术相比,具有明显优势,其一是利用全部初至波走时信息,避免了仅使用折射波信息不足的缺陷和识别折射波震相的困难,其二是可适合于地层层速度横向变化情况下静校正处理,突破了现行折射波静校正仅适于地层为常速假设的范畴。此外,初至波层析成像技术利用近地表精细调查结构作为其初始模型和约束条件,可大幅度提高近地表速度分析的精度。在层析成像静校正基础上进行迭代剩余静校正处理,利用交互速度分析、剩余静校正的多次迭代解决复杂山地地震静校正处理难题。

从地震同相轴连续性、绕射波特征、信噪比等对比,综合应用初至波层析静校正与迭代剩余静校正较好地解决了复杂山地的静校正难题。

3.2 拟起伏地表曲射线叠前时间偏移技术

所谓弯曲射线是指和常规射线偏移相比较,是把地下速度模型考虑成拟层状介质,而不再是均匀介质,考虑到斯奈尔折射效应,射线在层状介质中传播,其射线是“弯曲”的,而不是“直线”,更符合地震波在地层中传播的实际路径。

根据已知井的钻井分层,在区域构造规律的指导下,结合对应地震剖面的波组特征进行精细解释,利用已知速度分布规律,填充层速度,形成初始速度模型。在区域地质构造和速度分布规律指导下,应用沿层速度分析、垂向速度分析、速度百分比扫描等技术,建立了适于山地高精度成像处理的速度分析方法和流程。

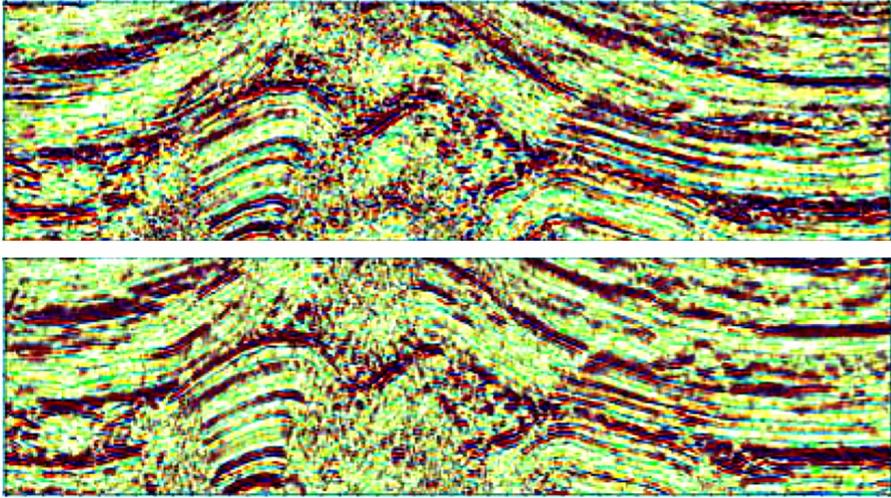


图2 三维地震资料叠前偏移成像效果对比
上:叠后偏移;下:拟起伏地表叠前时间偏移

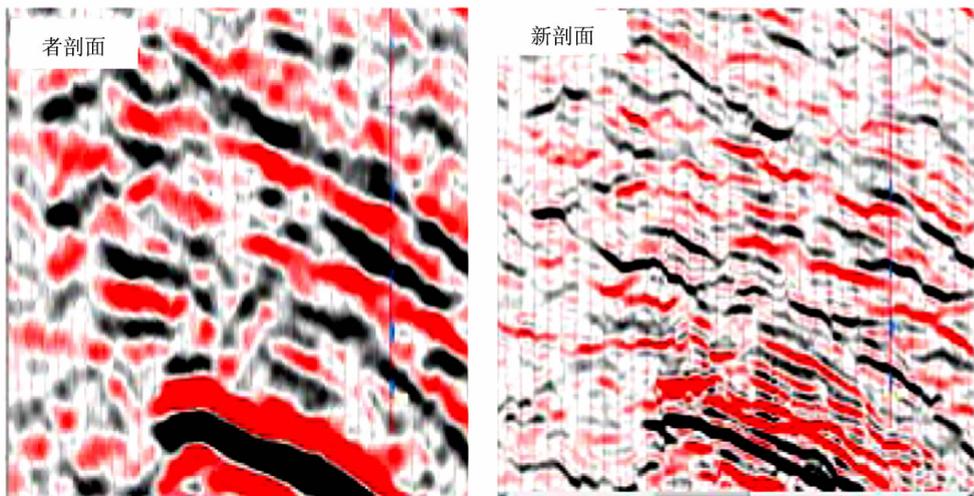


图3 叠前储层高分辨率成像效果
高分辨率储层成像前(左),高分辨率储层成像后(右)

3.3 基于调谐频率与分频处理的高分辨率反演技术^[7]

在高精度叠前偏移成像的基础上,为提高碳酸盐岩储层预测的精度,需进一步提高地震分辨能力,即可靠地提高地震数据的高频成分.地震数据的频率成分主要取决于地震子波和储层厚度与物性.地震子波不仅具有频率限带性质,且与储层性质无直接关系.高分辨率成像处理是利用反演技术消除地震子波影响,来提高和拓展地震资料的频带范围.地震反演作为非线性反问题存在解的不适定性,为缓解和消除地震反演的不适定性,需加入地质知识作为反演的约束条件,反演的关键在于约束条件的选

择.现行的地震反演技术是将多口井的测井资料线性内插作为其约束条件,因此仅适于储层横向缓慢变化时的储层预测,如砂体储层预测.对于强非均质性的碳酸盐岩储层而言,其储层变化显然无法使用线性内插加以描述,故现行反演技术用于碳酸盐岩储层预测是存在严重的不适应性.为此,研究开发了基于调谐频率与分频处理的高分辨率反演技术,其原理是利用地震资料的调谐频率和分频分析,半定量地确定储层厚度,并将其作为地震反演的约束条件.实现过程如下:

(1)通过层状地质模型地震正演模拟,建立不同主频子波时地层厚度与调谐频率的关系;

(2)利用地震资料时-频分析技术,实现地震资料分频处理;

(3)利用合成地震记录标定地震子波主频;

(4)综合应用分频结果^[8],给出地震反演约束条件;

(5)利用反演算法实现储层高分辨率成像处理.

其优点是:无需对储层的空间变化规律进行假设,能适应强非均质碳酸盐岩储层.经高分辨率成像处理后频谱得到提高和拓宽,储层成像更加精确,储层反射特征细节显得更加清楚(图 3).这有助于储层的精细描述.

4 礁滩储层综合预测技术

碳酸盐岩油气勘探的主要问题是储层预测,碳酸盐岩储层预测理论与技术是当前国内外油气勘探的热点和难点领域.现行的储层预测技术主要是针对盆地中、浅层的砂体储层勘探而发展建立的,国外碳酸盐岩储层预测的研究虽已开展多年,但其勘探对象多为中、新代单旋回盆地,地质构造简单,且储层埋藏浅.我国南方海相碳酸盐岩地质年代老,已经历多期构造改造,且叠合在陆相地层之下,储层埋藏深度大.在这种特定的地质条件下,如何识别与预测储层是制约深层碳酸盐岩油气勘探的关键技术难点.为此,开展了储层地震响应特征、储层识别模式、有效储层预测和含气性判识等面的方法技术的攻关研究,形成了礁滩储层综合预测技术,为普光大气田的发现提供了技术保障.

依据对岩石物性参数实验测定建立储层地球物理响应模式、以地震反射特征建立储层的地震识别模式、以波阻抗反演及频谱分解^[9]为手段研究储层发育与分布、用多种地震属性分析及层拉平技术恢复古沉积地貌研究有利地质沉积相带,有力地促进了礁滩发育区识别和刻划.

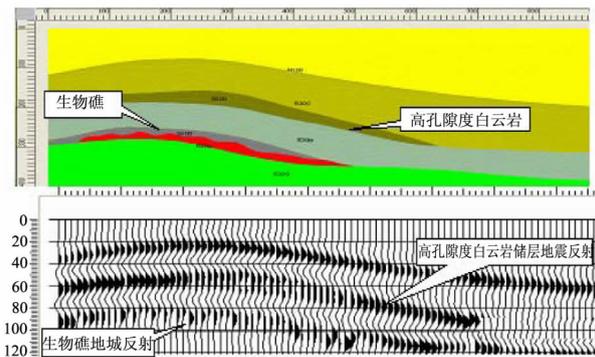


图 4 生物礁模型正演模拟

4.1 建立储层地球物理响应模式

据已钻井储层内部与围岩岩石组合关系建立相应地质模型,通过地震正演建立地震响应模式.

从图 4 可看出生物礁的反射特征表现为高孔隙度的白云岩表现为中-强振幅“亮点”反射特征,其下伏生物礁灰岩由于与围岩的阻抗差异较小,且生物礁底面不平坦,表现为断续中-弱振幅反射.

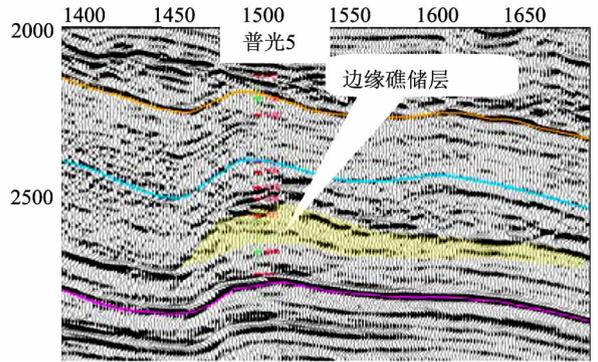


图 5 普光构造边缘礁典型剖面 (纵坐标单位为毫秒)

4.2 储层地震识别模式

综合储层发育模式、地震响应特征、已知探井储层段的地震反射特征,归纳建立了普光地区长兴-飞仙关组礁滩储层的几种地震识别模式.如普光型飞仙关组鲕滩的“多轴、低频、中强变振幅、断续、杂乱或透镜状反射结构”;大湾型飞仙关组鲕滩的“双轴、低频、强振幅、亚平行反射结构”;长兴组礁滩的“顶底为强反射,中断,礁内部低频、弱反射,杂乱、凸透镜状”.

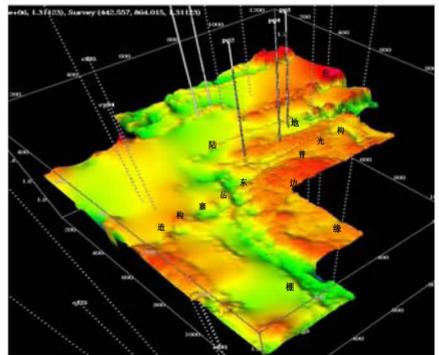


图 6 长兴-飞仙关组沉积时期古地貌图

4.3 有利沉积相研究

在高精度地震成像资料的精细构造解释的基础

上,利用层拉平、平衡剖面和三维可视化等技术恢复古地貌(图6),研究原始沉积格局,结合地震多属性分析确定储集体有利相带分布规律。

4.4 礁滩发育区地震识别

在高分辨率层序地层、沉积相、储层发育模式指导下,利用地震相分析和地震属性分析等技术识别礁滩发育区(图7),其中地震属性主要包括振幅、频率等信息。

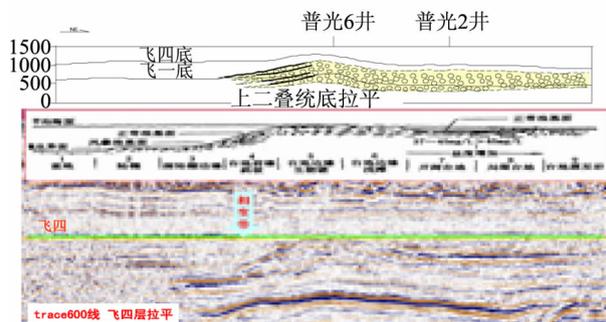


图7 礁滩相解释剖面

匹配跟踪小波变换方法引入地震资料的时-频分析. 匹配跟踪小波变换(match pursuit)的基本原理是构造一类特定频率性质的小波类,通过该小波类中的小波与地震数据的最佳匹配,将地震数据变换为多个小波的合成,借助于小波频率分析实现地震数据谱分解的时-频分析. 其优点是利用反演技术实现谱分解,无需选定的时窗,大幅度提高了地震数据的时-频分析精度。

图8给出地震数据的频谱分解结果,从中可看出,储层在不同频率的单频数据中存在明显的差异性,利用储层在频率域的响应特征,借助可视化技术,实现储层厚度与物性的精细分析。

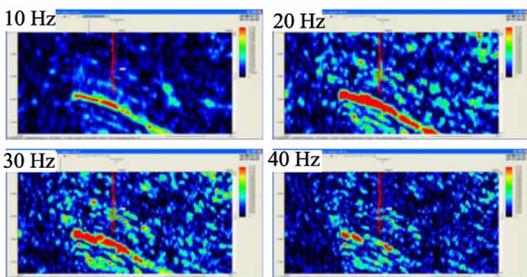


图8 普光地区地震数据频谱分解
单频剖面分别为 10, 20, 30, 40 Hz

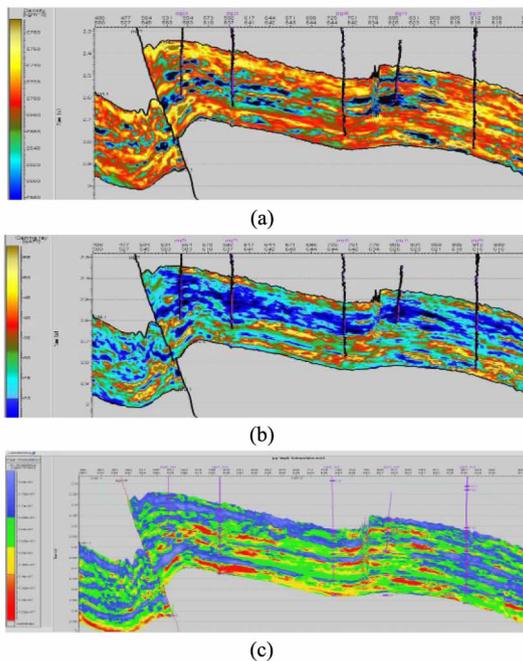


图9 密度(a)、随机伽马(b)和伽玛约束去泥值后波阻抗(c)反演联井剖面

4.5 有效储层量化分析技术

4.5.1 谱分解技术

谱分解技术是利用信号处理的时-频分析将地震数据由时间域转变为时间-频率域,时间-频率域地震数据可更直观地反映储层的空间展布. 其原理在于储层的厚度变化会在频率域引起调谐频率的变化,储层地震信号的频率成分变化常指示着储层物性的变化. 借助于时间-空间域单频地震资料的可视化显示可直观地追踪储层的变化分布规律. 现行谱分解技术是利用短时窗付氏变换而实现的,因其时窗效应使得时-频分析结果存在较大偏差,谱分解的结果取决于人为选定的时窗大小,造成储层预测具有不确定性而影响储层预测的精度. 针对现行技术存在的不足,将在信号分析领域近年来发展起来的

波阻抗技术是预测储层空间展布的常用技术,因储层发育情况与泥质含量的增多均会导致波阻抗的降低,使得波阻抗的变化并不能直接反映孔隙度的变化. 礁、滩储层中的泥质会直接影响白云岩储层预测的精度,针对这一不足,通过岩石物性参数测定,结合测井资料,建立了储层孔隙度与地震波阻抗之间的统计规律,开发了用于消除白云岩储层中泥质含量影响的伽玛随机反演技术,与波阻抗反演结合,实现了有效储层的空间分布与孔隙度预测。

“声阻抗重构技术”是利用孔隙度曲线重构声阻抗,通过反演得到重构的声阻抗反演结果,再建立重

构后的波阻抗与孔隙度的关系式,将反演结果转换为孔隙度体,得到孔隙度的反演结果,进而按有效储层孔隙度门槛值求取其厚度。

图 9(a)为过普光 6—普光 2—普光 4—普光 1—普光 3 联井密度反演剖面,图 9(b)为随机伽马反演剖面,普光 6、2、4、1 四口井飞仙关组发育巨厚溶孔白云岩储层,表现为明显的低伽马和低密度特征.普光 3 井飞一段储层不发育,表现为相对高伽马和高密度特征.普光 6、普光 2 井长兴组发育厚层生物礁盖白云岩储层,也表现为明显的低伽马和低密度特征,而普光 4 以北到普光 3 井一带长兴组为开阔台地沉积,孔隙性储层不发育,伽马值和密度值明显比南部的普光 6 井高.因此,利用伽马和密度反演资料可以较好地区分储层与非储层.图 9(c)为利用伽玛数据和密度数据进行约束,去除泥值和膏岩后的波阻抗联井剖面,反映储层的低阻抗异常更为清楚,储层的横向非均质变化特征较明显。

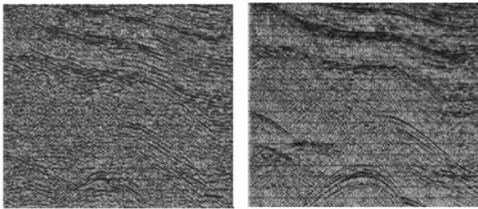


图 10 山地高精度地震勘探效果图
(左图为新技术应用前,右为新技术应用后)

5 勘探效果

首块大面积复杂山地深层碳酸盐岩高精度地震勘探工程的实施,表明所得的高精度地震资料与原有老资料相比,信噪比和分辨率有了很大的提高,老资料原始单炮记录有效频带 8~70 Hz,视主频 30 Hz;新技术应用后原始单炮记录有效频带范围 8~125 Hz,视主频为 50 Hz,因此,原始资料主频提高 20 Hz,为储层精细描述提供了可靠的基础资料.图 10 给出了高精度地震采集技术应用前后的初查剖面。

随着山地高精度地震勘探技术的成功应用,极大地促进了本地区海相碳酸盐岩油气勘探的重大发现.从 2002 年年底毛坝 1 井,2003 年年初普光 1 井的重大发现,到 2005 年年底普光 2、4、6 等评价井的证实,用三年时间探明一个迄今为止中国规模最大、丰度最高的普光特大型整装海相气田.普光气田探明天然气地质储量已达 3560 亿方。

普光地区 1、2、3、4、5、6 井实钻证实,预测深度误差小于 1.5%,储层预测的精度由原有技术的解释分辨能力由 37 m 提高到可分辨 12 m 厚的礁滩储层,预测孔隙度与测井解释孔隙度的绝对误差小于 0.32%、相对误差小于 5%。

6 南方海相区域地球物理勘探的难题与对策

6.1 地表地震地质条件复杂

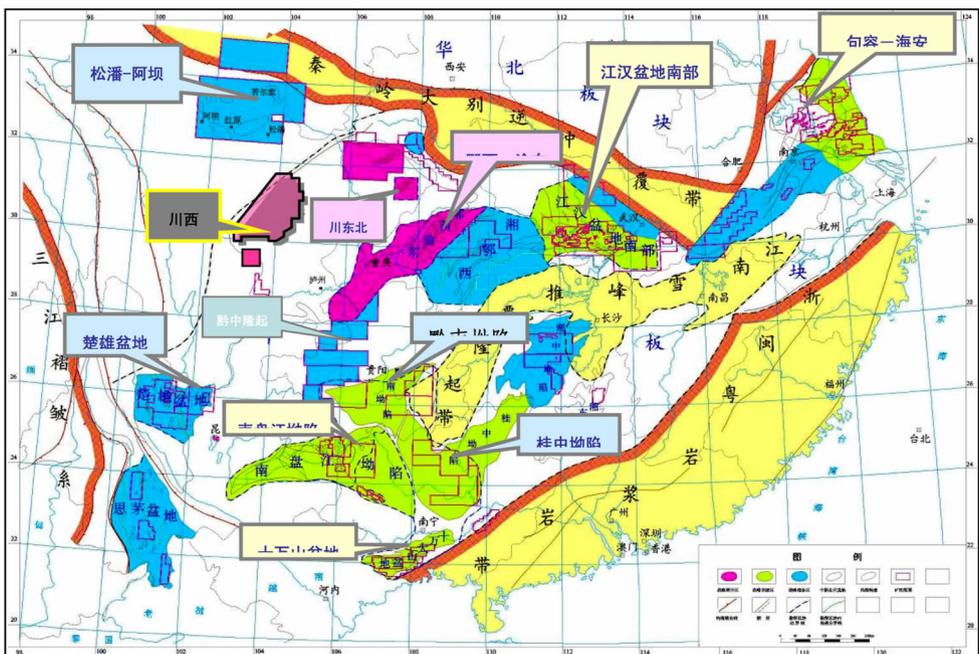


图 11 南方工作区示意图

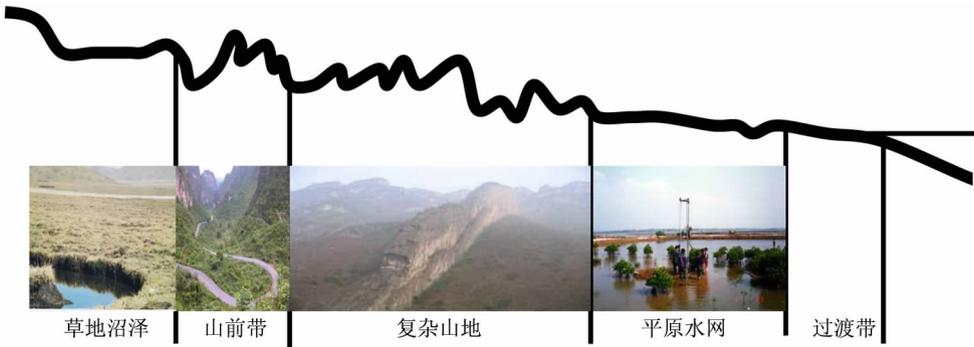


图 12 南方工作图不同地貌特征

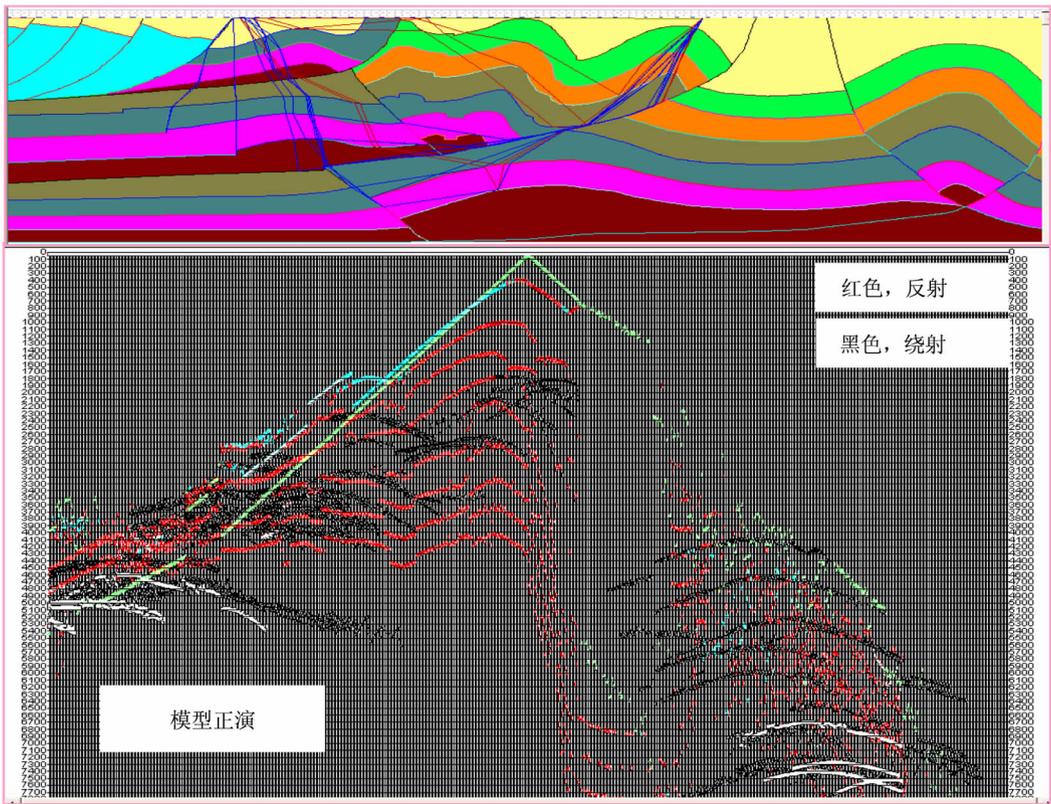


图 13 模型正演

除了川东北和鄂西渝东地区地震资料较好外, 其它南方地区的地震采集仍面临多钟难题, 图 11 和图 12 展示了南方工区的概貌和不同的地表条件. 不同地表条件都给地震采集带来困难, 尤其是碳酸盐岩裸露区, 资料品质很差, 至今尚未得到有效解决.

由上图可见, 南方地区表层地震地质条件极其复杂:

(1) 地形高差变化大. 相对高差最大 2000 余米, 悬崖峭壁比比皆是.

(2) 出露地层变化大. 地表出露多为坚硬的砂

岩、灰岩, 地震测线要穿过不同时代的地层, 其钻井难度大, 激发接收条件差异大.

(3) 表层植被和风化程度差异大.

(4) 低速带厚度变化大. 一般山坡有垮岩、堆积物, 山谷有第四系河流沉积、冲积, 都随地形的变化而频繁变化, 造成低速带速度难以确定.

(5) 潜水面深度变化大. 南方山区低洼处潜水面浅, 高山上潜水面深, 有些地区甚至无潜水面.

(6) 表层构造和地层速度横向变化大. 南方山区表层褶皱强烈, 有的地层直立甚至倒转, 同一高度

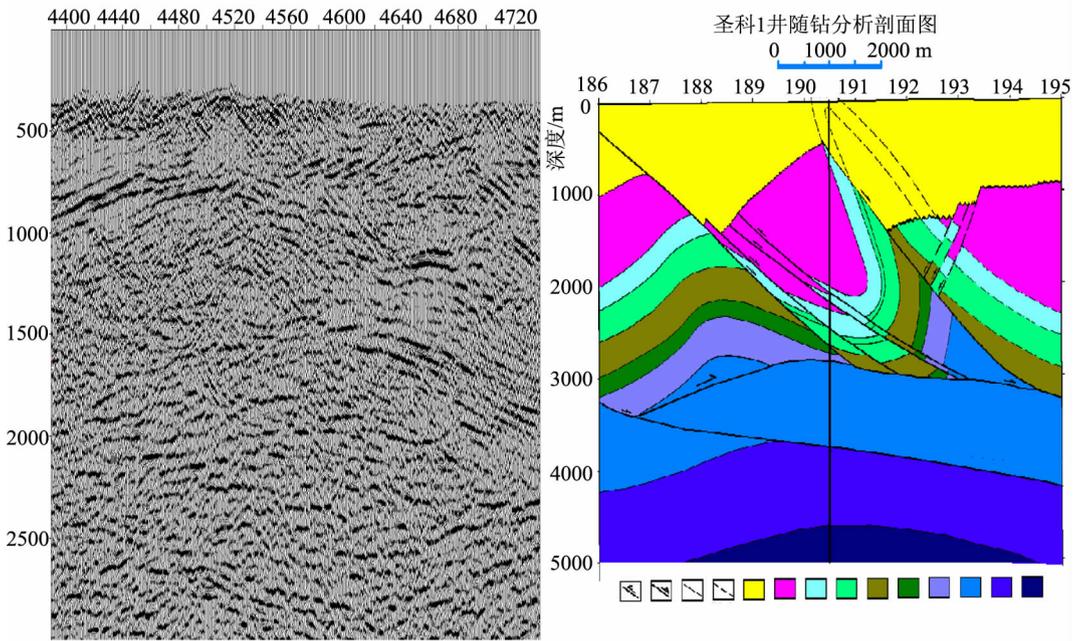


图 14 模型与地震剖面资料对比

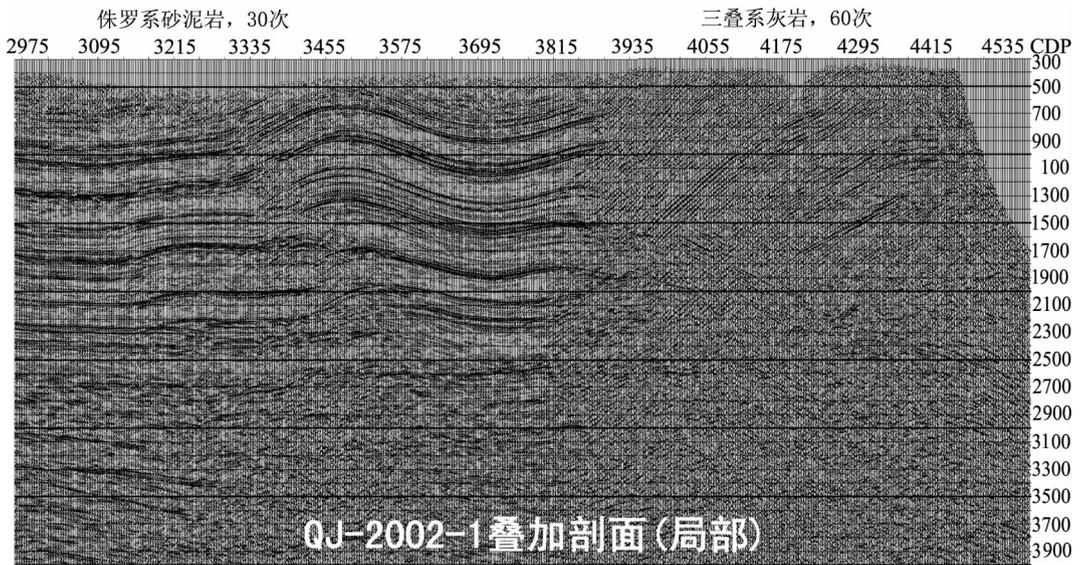


图 15 不同岩性叠加特征

上,地层速度变化大,静校正困难.

(7)地震激发接收条件差异大.坚硬地层和松散地层其激发接收效果差异很大.

(8)地表非一致性严重.南方山区地表非一致性使得常规静校正方法难以获得理想的效果,最终造成地震资料成像效果差,尤其是影响储层预测的效果.

6.2 地下地质条件复杂

南方地区地下地质条件同样十分复杂:

- (1)多层次、多期次的推覆和滑覆;
- (2)多方向、多阶段断裂的交叉;
- (3)多期次、多机制的岩浆活动等.

造成了地球物理条件的复杂性和多样性,使地球物理勘探的难度增加.

地下:断裂发育、构造复杂

构造运动带来褶皱强烈、断裂发育,构造复杂以

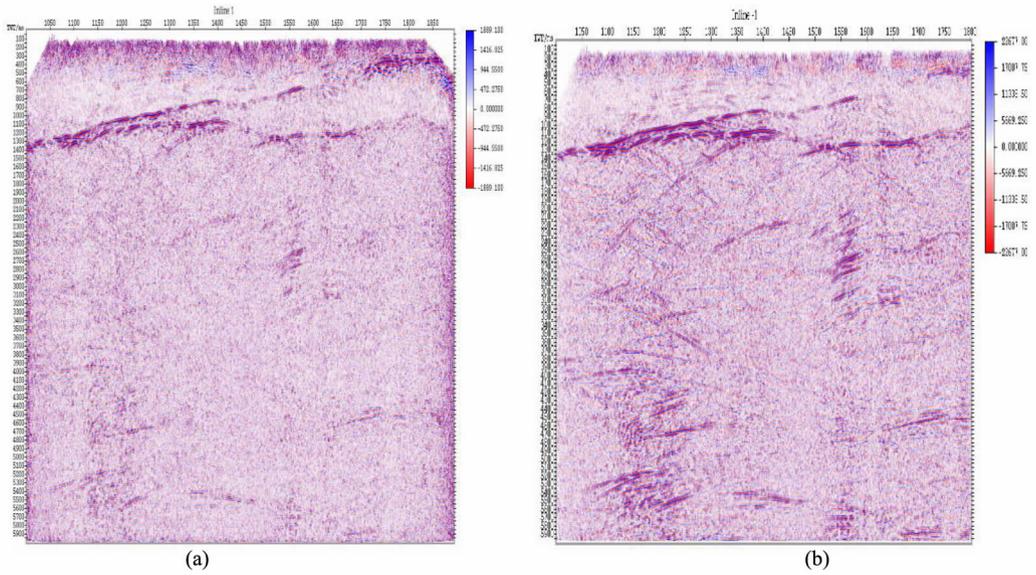


图 16 不同采集结果

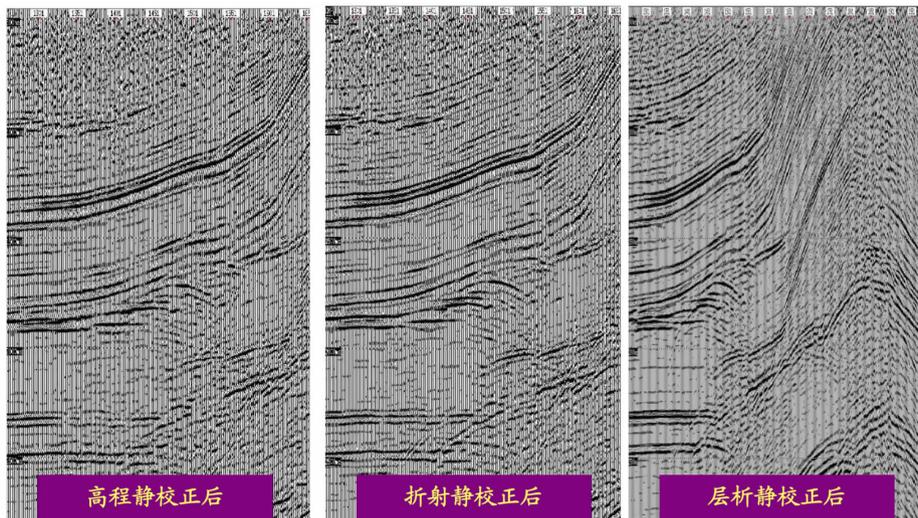


图 17 不同静校正结果对比

及深浅层构造不协调和速度纵横向的差异造成了地震波场复杂,成像困难。沉积地层巨厚、地层之间的物性差异较大,产生较强的地震反射,致使地震波能量下传困难,深层反射能量较弱。

复杂构造带波场复杂,还存在反射的盲区,图 13 是根据南方地质模型作的正演,显示出十分复杂的波场和部分反射的缺失,图 14 是根据实钻资料建立的模型与过井二维地震剖面的比较。

6.3 碳酸盐岩出露区地震勘探难点

钻井效率低,激发能量弱、激发频率高,由于高频衰减严重反射信号更弱,加上高频干扰大,因此信

噪比更低,接收条件差:检波器耦合难,溶洞发育,散射干扰严重,部分地区地表垮塌严重,不允许片面增加药量、采用组合井激发和炮点太密。

地震散射严重,地震激发接收条件差,图 15 是砂泥岩与灰岩交界处的地震剖面,灰岩出露区信噪比明显变差。

6.4 对策

为此我们曾采取一系列对策:

对策 1: 强化激发和接收

基于饱和激发概念的激发方法,加强近地表调查,优选激发岩性,改进激发工艺,优选炸药类型等。

强化接收技术研究,从检波器类型对比,盒子波调查,组合图形分析和试验,耦合强化等进行分析.

对策 2:采用小道距、高覆盖次数变观观测

在新一轮勘探中,采用小道距、高覆盖次数采集获得了高品质的地震资料.设计叠加次数比以往有较大幅度提高,最低叠加次数不低于 80 次,在构造顶部达到 120 次覆盖.

碳酸盐岩裸露区、高陡背斜核部采用 60 次覆盖、20 米道距;高陡构造带翼部采用覆盖次数 60 次、接收道数大于 450 道、上倾接收道距 20 米、下倾

接收道距 20 或 40 米;构造平缓区采用 30 次覆盖、40 米道距(图 16).

对策 3:应用新的处理技术

针对低信噪比和复杂地区成象技术,进行了多方法的试验,有一定的改进(图 17).

对策 4:加强综合地球物理应用

采用综合地球物理方法,补充地震的不足,有明显的效果(图 18,图 19).

对策 5:其他配套的采集技术与措施
复杂山地测量技术

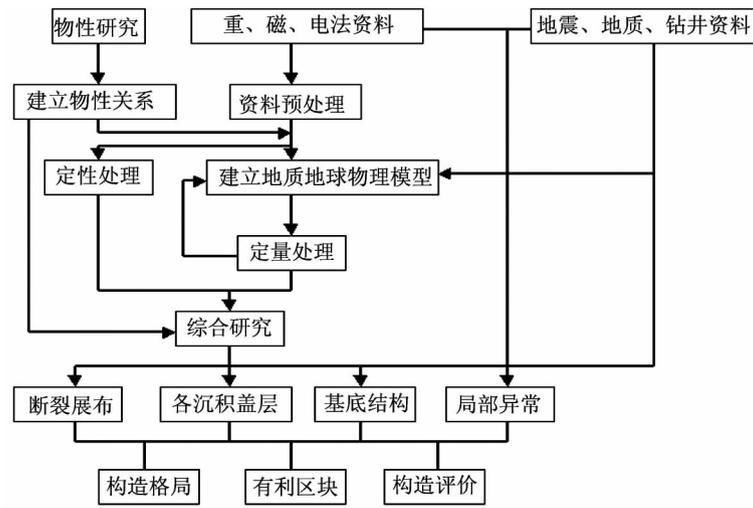


图 18 综合地球物理方法流程

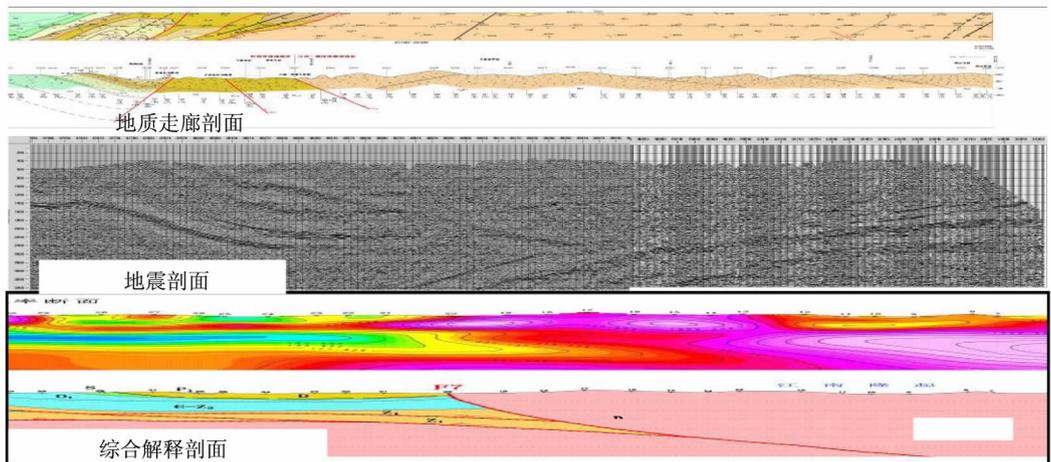


图 19 穿越江南雪峰的剖面

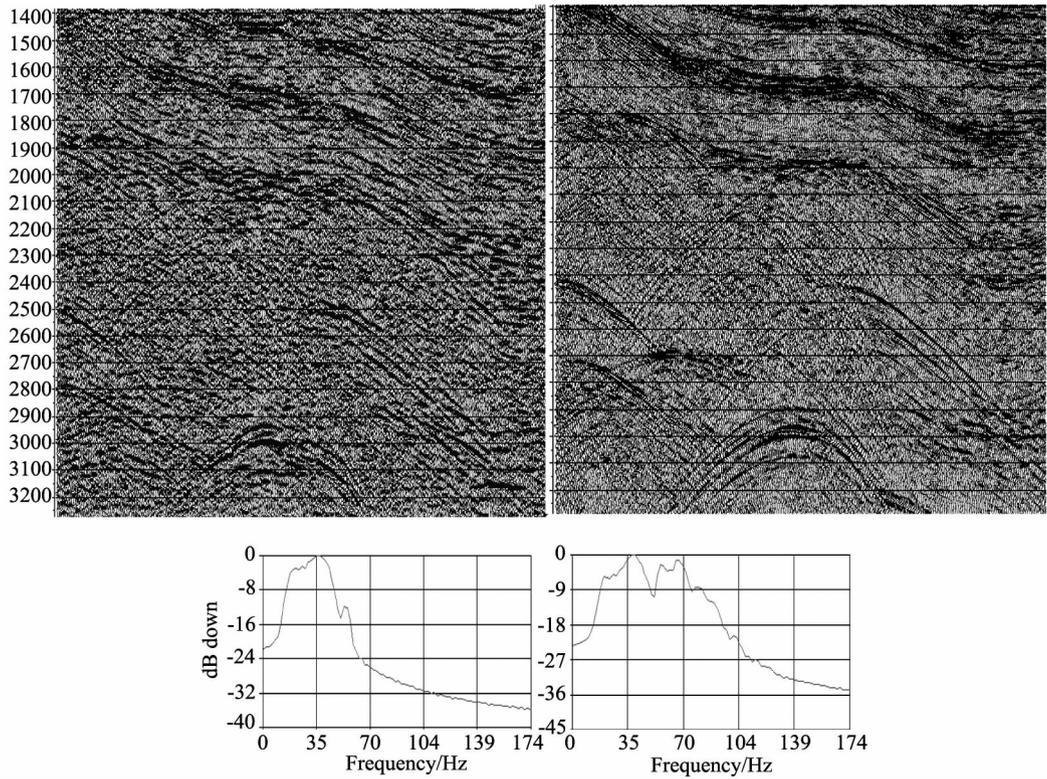


图 20 不同地区剖面

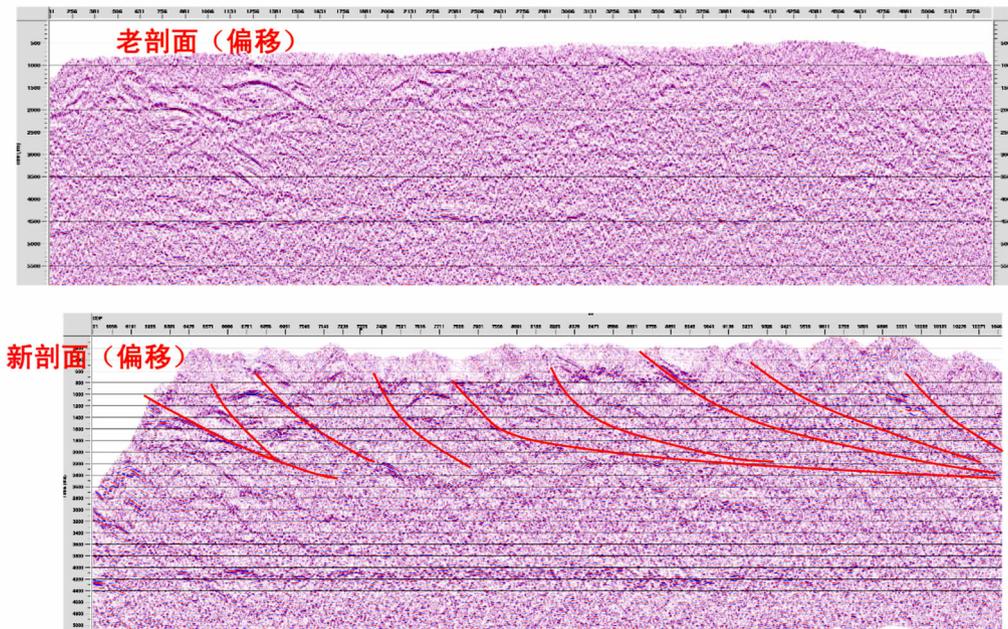


图 21 不同剖面偏移

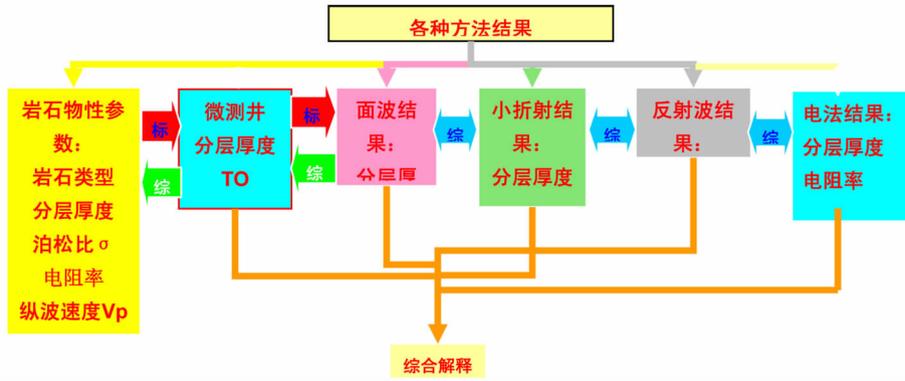


图 22 综合解释流程

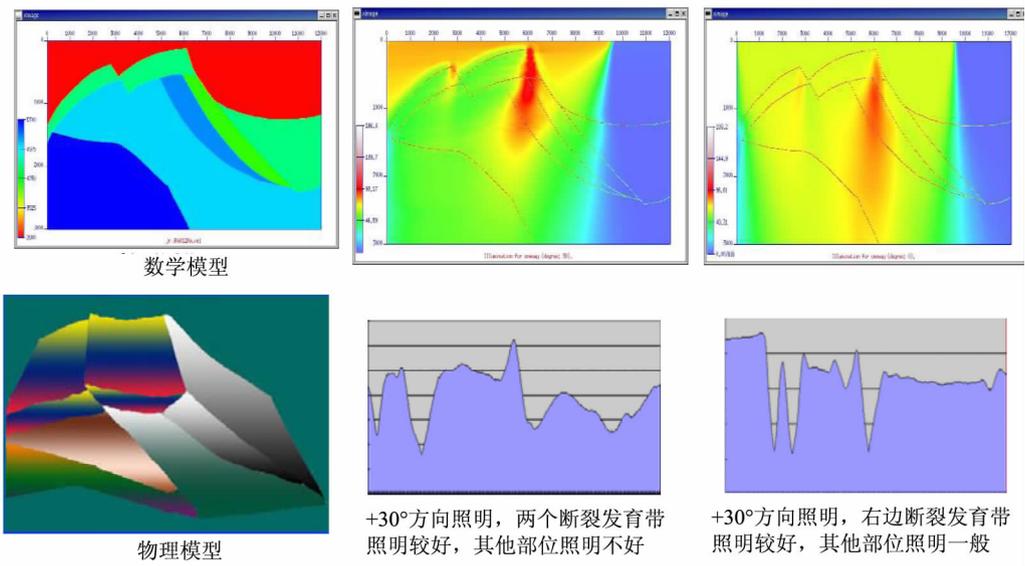


图 23 模型

- (1) 针对目标的观测系统设计技术
- (2) 适应不同地表的钻井成井技术、闷井方法
- (3) 精细表层结构调查方法(如浅层反射法)
- (4) 干扰波调查方法(如盒子波技术)
- (5) 试验方法研究与试验资料量化分析技术
- (6) 针对目标的观测系统设计
- (7) 综合静校正手段

6.5 初步效果

(1) 地震和大地电磁相结合,在江南雪峰首次获得了变质岩下的有效地震反射。

图 19 是穿过江南雪峰的剖面,其上部为地质走廊剖面,中间为地震剖面,首次在该地区获得变质岩以下的反射,其下分别为 MT 剖面及综合解释剖面。

(2) 综合地球物理勘探技术攻关取得明显进步,地震-MT 联合反演技术取得良好效果,为南方下组合油气勘探提供了有力的技术支撑。

(3) 地震资料品质得到进一步改善,图 20 和 21 分别为资料较好及很差地区的剖面,通过上述努力,都得到较明显的改进(图 22,图 23)。

7 下一步攻关建议

主要围绕提高反射能量、信噪比、成像质量开展地球物理勘探攻关,组织攻关队伍,加大力度,开展配套采集处理解释方法联合研究;按照“一、二、三、多”的基本原则,深化南方综合地球物理勘探技术攻关。

7.1 表层结构攻关

- (1) 加强近地表调查,探索高效、精确的表层结构调查方法。
- (2) 加快照明技术应用,取全取准地震采集数据。
- (3) 开展复杂山地宽线和稀疏三准地震攻关试验。

(4)开展配套处理解释方法研究,开展构造样式研究,提高地震勘探的最终质量.

(5)深化 MT-地震联合反演,加深综合地球物理技术应用.

(6)建立精细的近地表模型.

(7)加强表层结构调查方法研究,探索高效、精确的方法.

(8)加快照明技术的实际应用.

(9)配套的处理解释方法攻关.

7.2 地下复杂结构攻关

针对地下复杂结构的攻关采用针对地质目标的采集、处理、解释一体化的攻关策略.

(1)进一步研究复杂山地静校正方法.

(2)在噪音形成机制研究和各种去噪方法适应性研究的基础上,开发有效的去噪软件.

(3)开展基于真实地表、近地表模型和地下构造模型的叠前成像方法.

总之,在普光气田发现的基础上,新一轮南方地震攻关正在展开,我们有信心在努力解决上述问题的同时,将南方碳酸盐岩的勘探推向新的阶段.

参 考 文 献 (References):

- [1] 戴少武,贺自爱,王津义.中国南方中、古生界油气勘探的思路[J].石油与天然气地质,2001,22(3):195~202.
Dai S W, He Z A, Wang J Y. Thinking of Meso-Paleozoic hydrocarbon exploration in South China[J]. Oil&Gas Geology, 2001,22(3):195~202.
- [2] 沃玉进,肖开华,周雁,杨志强.中国南方海相层系油气成藏组合类型与勘探前景[J].石油与天然气地质,2006,27(1):11~16.

Wo Y J, Xiao K H, Zhou Y, Yang Z Q. Types of marine plays in southern China and exploration prospects[J]. Oil&Gas Geology, 2006,27(1):11~16.

- [3] 熊翥.复杂地区油气地球物理勘探技术(数据采集)[M].北京:石油工业出版社,1999.
Xiong Z. Oil&gas geophysical(acquisition) in complex condition[M]. Beijing:Petroleum Industry Press. 1999.
- [4] 杨贵祥.碳酸盐岩裸露区地震采集方法[J].地球物理学进展,2005,20(4):1108~1128.
Yang G X, The method of seismic exploration in the bare carbonate rock area[J]. Prospecting in Geophysics, 2005,20(4):1108~1128.
- [5] 杨贵祥,贺振华,朱铤.中国南方海相地层下组合地震采集方法研究与实践[J].石油物探,2006,45(2):157~168.
Yang G X, He Z H, Zhu X. Research on seismic acquisition methods for lower assemblage of marine strata in south China [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006,45(2):157~168.
- [6] 马在田.地震成像技术—有限差分法偏移[M].北京:石油工业出版社,1989.1~213.
Ma Z T. Seismic imaging technique-finite difference migration [M]. Beijing:Petroleum Industry Press. 1998.1~213.
- [7] 杨贵祥.基于调谐频率与分频处理的高分辨率反演技术[J].石油物探,2006,45(3):242~244.
Yang G X. High resolution inversion based on tuning frequency and frequency decomposition[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006,45(3):242~244.
- [8] Portniaguine O, Castagna J P. Inverse spectral decomposition, 74th Ann. Internat[J]. Mtg.: Soc. of Expl. Geophys, 2004, 1786~1789.
- [9] Castagna J P, Sun S. Instantaneous spectral analysis: Detection of low frequency shadows associated with hydrocarbons [J]. The Leading Edge, 2003,22: 120~127.