

西部山前带观测系统设计方法

卢 湘 鹏

(中国石化集团胜利石油管理局 地球物理勘探开发公司, 山东 东营 257086)

摘 要: 山前复杂构造带是西部新区油气勘探的主攻领域之一,西部山前带由于其特殊的表层地震地质条件和深层复杂地质结构,造成静校正问题突出、地震波场复杂、地震资料信噪比低。针对这些难点提出了西部山前带观测系统设计方法,即基于真实地表的综合模型和叠前成像效果、结合 CRP 分析技术的观测系统设计技术,利用该技术在哈山西三维区块进行了观测系统优化设计,获得了较好的资料效果。

关键词: 山前带;观测系统设计;叠前偏移;地震波照明

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2013)04-0675-06

山前复杂构造带是西部新区油气勘探的主攻领域之一。近几年来,中国石化在准噶尔盆地和塔里木盆地的柴窝堡、米泉、桑株等区块,做了大量的地震勘探技术攻关工作^[1-2],所获得的资料品质较老资料有较大改善,基本能够反映山前带的构造特征,但要准确落实和评价有利构造还有相当大的困难。其主要原因是由于西部山前带特殊的表层地震地质条件和深层复杂地质结构,造成地震波场复杂、地震资料信噪比低。

山前带地震资料信噪比普遍低的原因除了地震数据处理因素外,野外观测系统设计是一个关键因素。复杂山前带不同地区构造样式千差万别,因此观测系统设计必须针对地下地质构造模型变化进行合理设计。为获得高质量的地震资料,针对山前带的复杂性,笔者提出了一套西部山前带观测系统设计方法。

1 存在问题及设计思路

西部山前带地表条件复杂,风化切割严重、沟谷众多、悬崖密布、出露岩性多变,地形高差和岩性变化剧烈,导致近地表结构严重的不均一性,地层速度在纵向和横向上变化强烈,静校正问题尤其突出;另外复杂山前带地震资料中面波、多次折射波、侧面波及散射干扰异常发育,资料信噪比极低;同时剧烈造山运动、应力挤压,导致山前逆冲褶皱带地下构造复杂形成高陡逆冲或逆掩推覆构造,且压扭断裂发育,地层重叠、破碎,导致地震反射杂乱、地震成像非常

困难。

受地表和地下条件的影响,西部山前带地区观测系统设计难点众多:一是地形起伏剧烈,地层倾角高陡,相对高差大,激发点和接收点很难准确到位,要求设计的观测系统具有很强的穿越山地环境的能力;二是出露地层复杂,表层不规则性明显,静校正问题尤为突出;三是由于推覆作用导致构造复杂,且速度反转,带来反射信息正确归位困难。因此在观测系统设计中我们加强了针对这三个方面的分析,提出了西部山前带观测系统设计思路(图 1)。

2 山前带观测系统设计方法

2.1 基于叠前成像效果的观测系统参数分析

叠前偏移对观测系统有着较强的依赖性,属性好的观测系统可以有效提高叠前偏移成像效果^[3-4]。笔者针对西部山前带地震采集的特点及地质目标,提出了一套基于叠前成像效果的观测系统论证方法。

2.1.1 基于静校正的观测系统参数论证

地震勘探静校正工作的好坏,直接影响地震剖面的成像。如果静校正效果差,资料无法同相叠加,振幅产生随静校正效果变化的情况,信噪比降低,采集痕迹加重。

静校正量求取的精度不仅与野外的表层结构调查精度有关,还与采集时使用的观测系统的属性有关,这就是隐藏在观测系统中的静校正耦合问题。

在地层倾斜和炮检点没有偏离原设计位置的

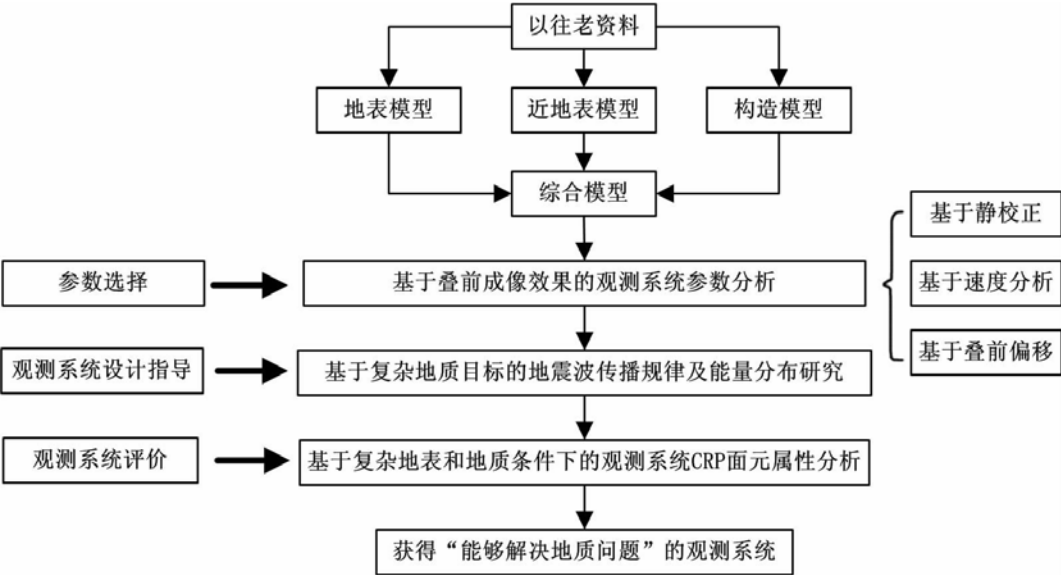


图 1 观测系统设计思路

情况下,静校正量表达式^[5]为

$$T_{ij} = S_i + R_j + G_k + M_k r_s^2, \tag{1}$$

式中: S_i 为第*i*个炮点位置到某个基准面的地震波旅行时差; R_j 为第*j*个接收点到基准面的旅行时差; G_k 为第*k*个CDP点上从基准面到反射面的双倍旅行时差; M_k 为第*k*个CDP点上沿走向方向上的时间平均的剩余动校正系数; $r_s = r \sin \beta$, β 为炮检距的方位角, r 为炮检距。

从上式中可以看出,炮点或检波点静校正量的求取不仅与炮点(或检波点)所在的共反射面元有关,而且还和该炮点(或检波点)的所有接收点(或炮点)有关,这就是静校正耦合问题。

要提高静校正量的计算精度,必须提高观测系统的静校正耦合性,就是处理好检波点和炮点的耦合关系,避免出现空洞。衡量求解炮、检点静校正耦合的尺度,就是分析设计的观测系统,在炮线和接收线滚动时,炮点(或检波点)之间的连接次数。连接次数越高,说明耦合强度越高,越有利于对静校正的求解。

解决静校正耦合要考虑三维炮检点的平衡。在三维观测系统设计中,可以通过在接收线方向上增加震源线,以及在震源线方向增加接收线或者采用多重接收排列的方法,来解决静校正耦合问题。

观测系统静校正耦合性的好坏,可以使用“表面覆盖次数”来衡量。“表面覆盖次数”是指以某一炮点或检波点为中心,以排列片偏移距为半径画圆,在同一圆上的接收点或炮点数,称为该炮点或检波点的地面覆盖次数(图2)。

在哈山西三维设计中,应用表面覆盖次数对比了三种不同方案的观测系统。三种观测系统分别

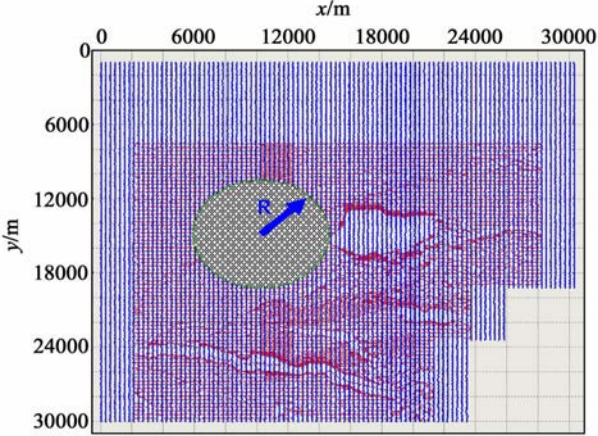


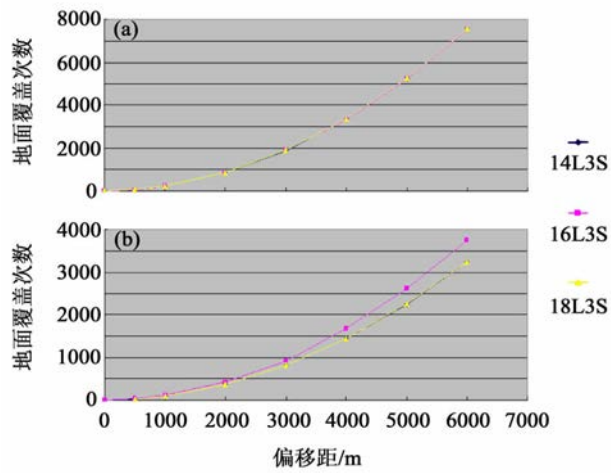
图 2 表面覆盖次数

为:14L3S、16L3S、18L3S(图3)。从图3a中可以看出,由于都重复了较多的排列,三种观测系统检波点地面覆盖次数差别不大;从图3b炮点地面覆盖次数来看,16L3S的观测系统略好。

2.1.2 基于速度分析的观测系统参数论证

速度分析在处理过程中至关重要,速度选取的精确度直接影响动静校正,继而影响叠加成像以及偏移归位。由于观测系统炮检点的分布关系,面元内的炮检距属性是不均匀分布的,导致面元与面元之间速度分析精度的不一致,均匀性好的面元有利于提高速度分析精度,炮检距均匀性不好的面元不利于速度分析。通过建立简单的地质模型,给定的速度和深度,通过速度扫描求取每一个面元速度分析精度,得到速度分析精度的平面图。它可以用来分析全区速度分析精度的差异,用以确定观测系统对于建立速度模型的影响程度。

观测系统中部分面元由于各自炮检距属性的不

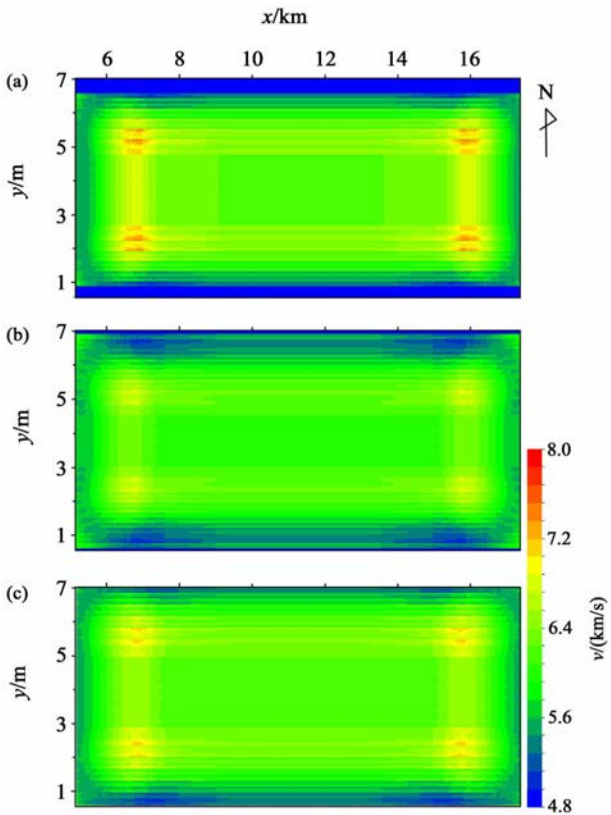


a—偏移距与检波点地面覆盖次数;b—偏移距与炮点地面覆盖次数

图 3 三种观测系统的地面覆盖次数

同,导致各个面元针对同一个地质目标所分析出来的速度谱是不一样的。利用这样的方法,通过分析各个观测系统对目标层的速度分析痕迹,对比优选出最适合于速度分析观测系统。

在哈山西三维设计中应用上述方法对比了三种方案的观测系统,从图 4 分析认为,16L3S 观测系统面元属性较好,速度分析痕迹较小,有利于速度分析及速度模型的建立。



a—14L3S(25 × 50); b—16L3S(25 × 50); c—18L3S(25 × 50)

图 4 三种不同观测系统的速度分析痕迹

2.1.3 基于叠前偏移成像的观测系统参数分析

双聚焦方法是一种面向特定勘探目标的三维观测系统优化设计方法,它可以定量预测地震成像的空间分辨率、振幅精度和 AVP 特性,所使用的是叠前偏移处理理论,将检波点记录和炮点记录分别向目标成像点聚焦,分析聚焦成像效果^[6]。

通过分析哈山西三种方案的观测系统(图 5),认为 16L3S 观测系统主瓣能量聚焦性较好,旁瓣较另外两种观测系统小,因此这种观测系统对目标层的断点成像更加有利,对叠前偏移成像效果更好。

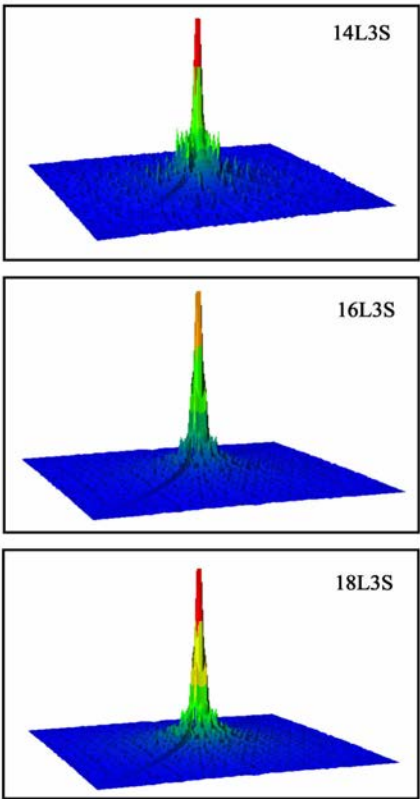


图 5 三种不同观测系统的叠前偏移响应分析

2.2 复杂地质目标的地震波传播规律及能量分布

根据惠更斯原理,地震波传播到地层界面时,界面的每个点都会发生绕射,将一部分地震波反射回地面。如果要得到比较强的地层反射波,需要找到最佳的炮点和接收点位置。炮点最佳位置是在地面激发、目标层段接收能量最强的激发位置,接收点最佳位置为目标层段反射回地震波在地面接收能量最强的接收位置。由此将地震照明度分解为炮点对目标地层的照明度和目标地层对检波器的照明度。数值模拟与照明分析能对逆掩推覆构造中地震波传播提供认识,从宏观上给观测系统设计提供指导。

地质构造模式不清楚,逆掩推覆构造式样复杂,需要使用波动理论来描述波的传播,以及弹性波模型来刻画复杂介质中地震波的一些复杂传播现象。

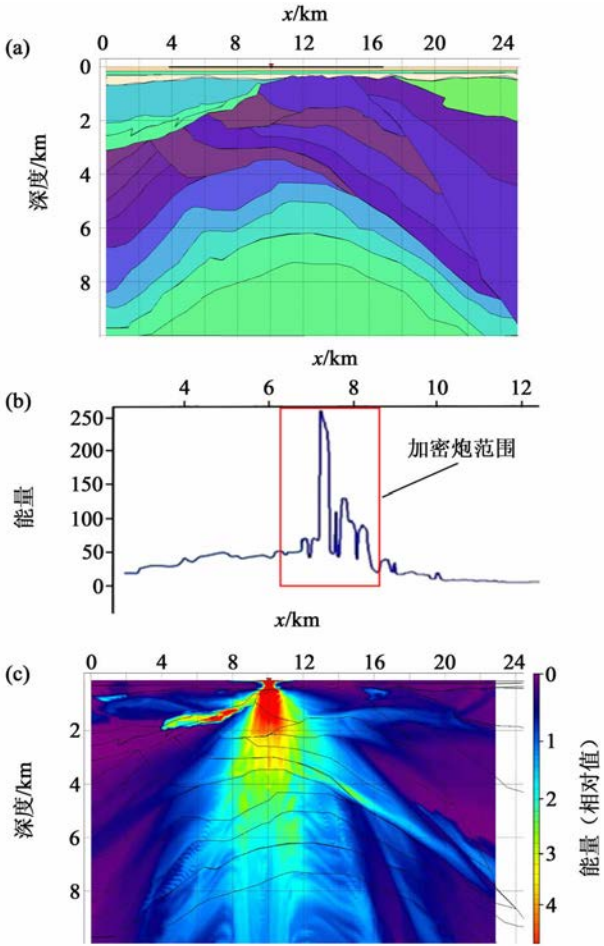
运用波场照明正演技术进行观测系统设计,可以基于地质模型,运用不同地段激发的模拟单炮记录或多炮模拟合成炮集记录比较不同地段所获取目标体波场的强弱,进而确定不同地段的炮点分布,指导野外炮点设计,优化观测系统设计^[7-10]。

图 6a 为充分利用以往地震、地质等资料建立的哈山西地质模型,对哈山西模型进行照明度分析,计算出地面能量分布(图 6b),从而确定最佳的加密炮范围(图 6c)。

应用上述方法确定了在哈山南北两翼进行炮点加密,取得了较好的资料效果,有效地改善了哈山构造南斜坡带的成像。从图 7 中可以看出,CRP 覆盖次数得到了很好的补偿,剖面信噪比也得到了提高。

2.3 复杂地表和地质条件下的观测系统 CRP 面元属性分析

通过射线追踪模拟可以分析目标层位的 CRP 属性,用以评价三维观测系统。以往采用的射线追踪是基于水平地表的,这在地表高程变化不太大的地方比较适用,而在西部山前带地区地表高程变化大的地方,这种情况下是否适用? 如图 8 所示,在水平地表时,反射点是 A 点,而炮点与检波点不在同一水平面时,即高差较大时,反射点移动到了 B 点,所以在西部山前带地区以往采用的基于水平地表的 CRP 分析已经不再合适,必须按照实际地表情况建立地质模型才能正确地分析 CRP 属性。



a—哈山西地质模型;b—地面能量分布曲线;c—加密后的地下照明强度

图 6 利用照明度分析确定最佳加密炮范围

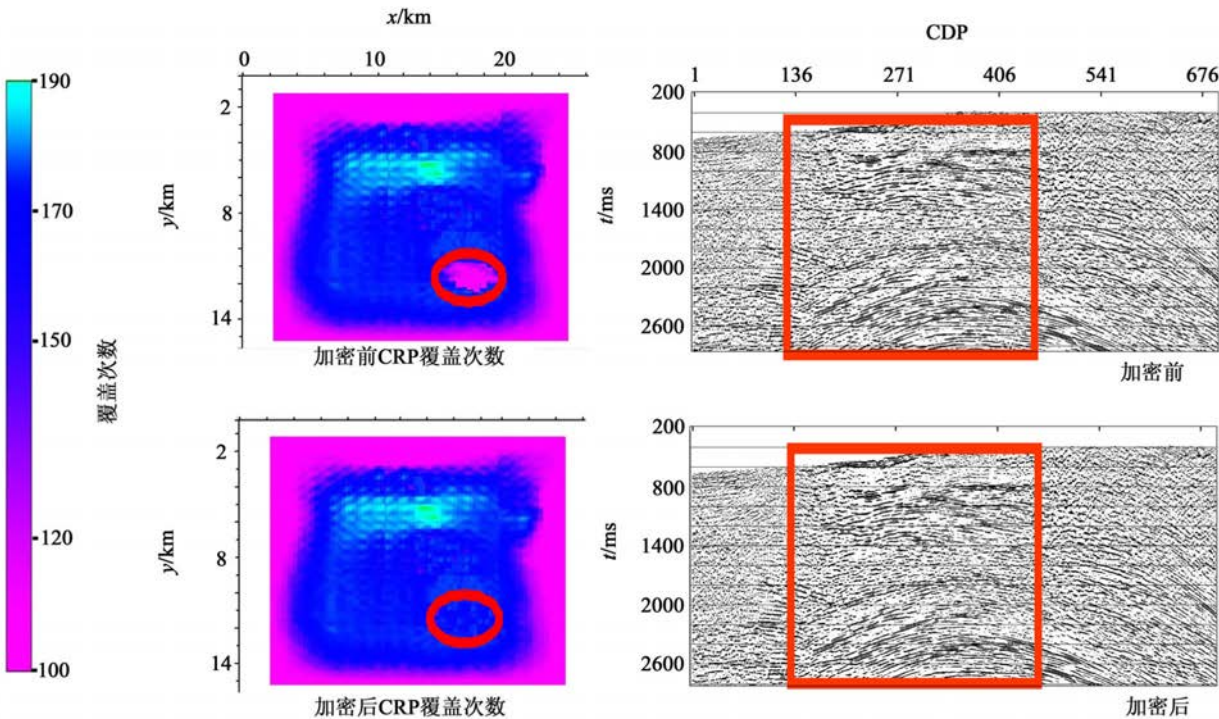


图 7 哈山构造南斜坡带加密前后的 CRP 覆盖次数和剖面对比

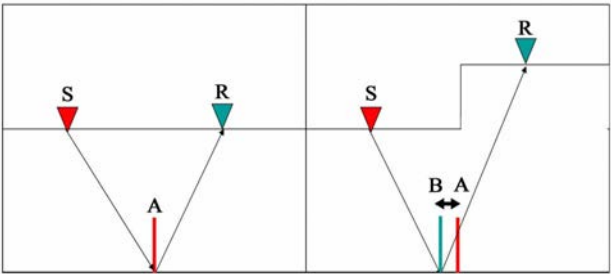
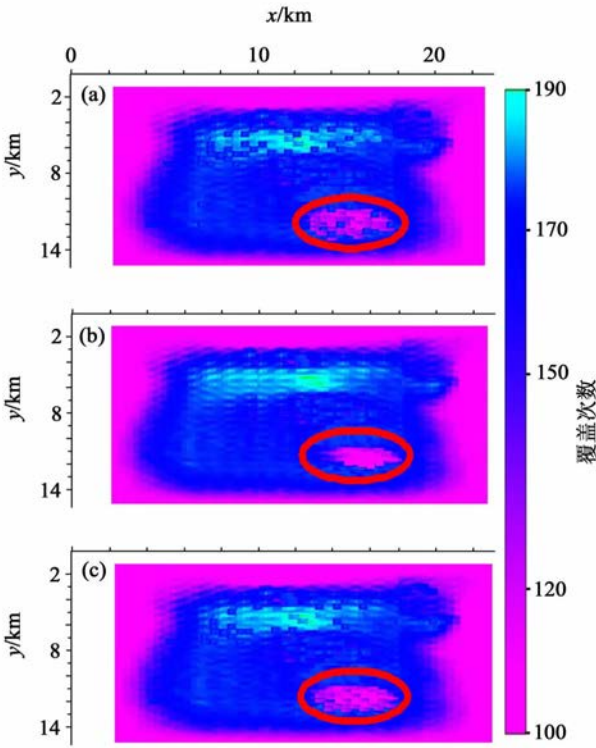


图 8 反射点受不同地表影响情况分析

图 9 对比了哈山西三种不同方案的观测系统 CRP 面元属性,从图中可以看出 16L3S 的 CRP 面元属性要优于其他两种观测系统,低覆盖次数范围最小。

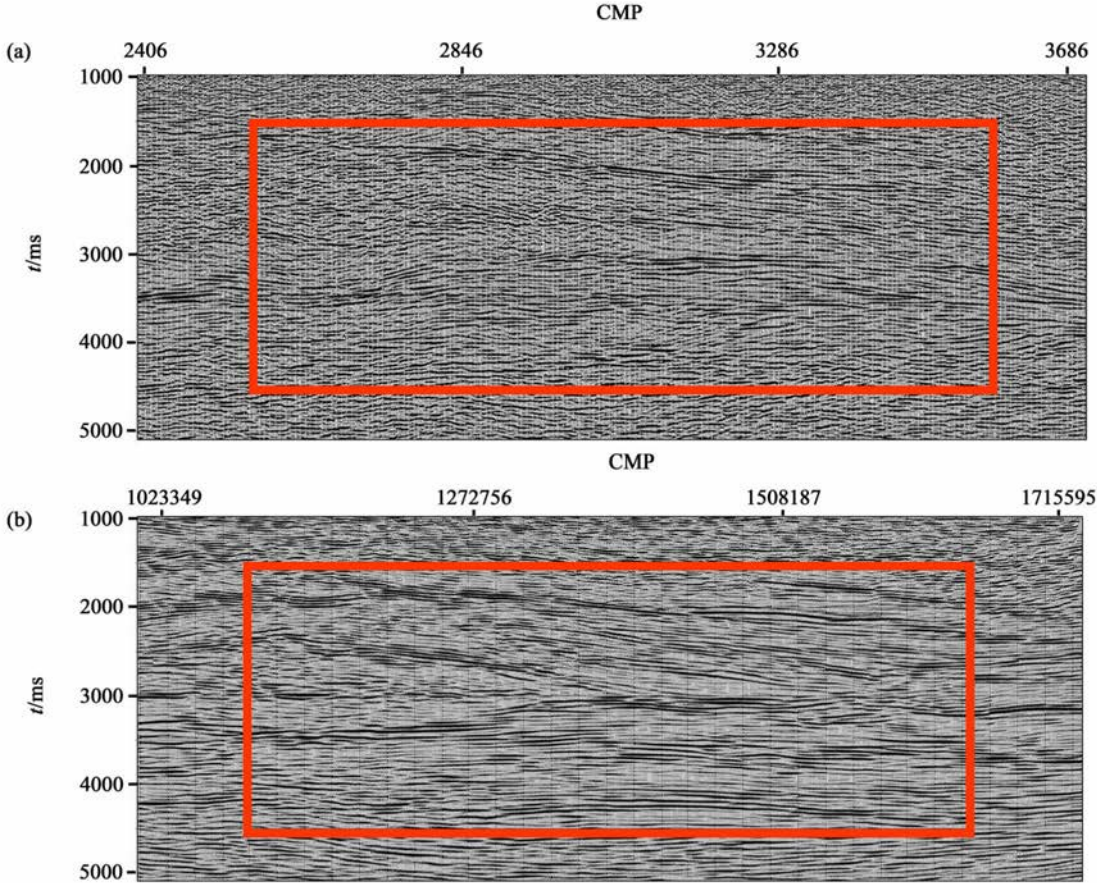
3 应用效果

在 2010 年哈山西工区设计中应用了上述西部山前带观测系统设计方法,最终确定了采用 16L3S 的观测系统,取得了良好的资料效果。图 10 为哈山西区块新老剖面的对比,可以看出,新采集资料较老资料整体信噪比有提高,反射信息丰富,波组特征清晰,推覆面下面隐伏构造形态完整,成像效果好。



a—14L3S(25×50);b—16L3S(25×50);c—18L3S(25×50)

图 9 三种不同观测系统的 CRP 面元属性对比



a—二维老剖面;b—对应的三维新剖面

图 10 哈山西新老剖面对比

4 结 论

西部复杂山前带由于受本身的地震地质条件的影响,使得地震资料信噪比低,静校正问题突出,成像非常困难。对于野外采集工作,选择合理的观测系统是获得高质量地震数据体的前提。我们认为观测系统不仅要有较强的穿越山前大起伏地表的能力,而且还应在考虑处理能力的前提下改善资料信噪比,即采集到的地震数据必须能被后续处理所能有效利用并满足处理需要。笔者提出的基于真实地表的综合模型和叠前成像效果及结合 CRP 分析技术的观测系统设计方法,对于提高西部山前带构造复杂区成像精度具有重要意义。从应用效果来看,整个地震剖面成像质量有比较大的提高,推覆面下隐伏构造形态完整,成像效果好。

参考文献:

[1] 赵军国,宋玉龙,魏福吉,等. 山前带地震采集技术研究—新疆

和田桑株地区采集实例[J]. 石油物探,2003,42(2):224-228,236

[2] 王威彬. 西部复杂山地震勘探关键技术应用研究[D]. 成都:成都理工大学,2011

[3] 姚江,徐雷良. 基于叠前偏移的观测系统优化设计及应用效果[J]. 石油物探,2011,50(6):589-594

[4] 秦广胜,蔡其新,汪功怀,等. 基于叠前成像的三维地震观测系统设计[J]. 地球物理学进展,2010,25(1):238-248

[5] 阎世信,谢文导. 三维地震观测方式应用的几点认识[J]. 石油地球物理勘探,1998,33(6):787-795

[6] 狄帮让,王长春,顾培成,等. 三维观测系统优化设计的双聚焦方法[J]. 石油地球物理勘探,2003,38(5):463-469

[7] 赵殿栋,郭建,王威彬,等. 基于模型面向目标的观测系统优化设计技术[J]. 中国西部油气地质,2006,2(2):119-122

[8] 董良国,吴晓丰,唐海忠,等. 逆掩推覆构造的地震波照明与观测系统优化[J]. 石油物探,2006,45(1):40-47

[9] 李万万. 基于波动方程正演的地震观测系统设计[J]. 石油地球物理勘探,2008,43(2):134-141

[10] 朱金平,董国良,程玖兵. 基于地震照明、面向勘探目标的三维观测系统优化设计[J]. 石油地球物理勘探,2011,46(3):339-348

THE DESIGN METHODS FOR SEISMIC GEOMETRY
IN THE PIEDMONT BELT OF WESTERN CHINA

LU Xiang-peng

(Geophysical Exploration and Development Company, Shengli Petroleum Administration, SINOPEC, Dongying 257086, China)

Abstract: The complicated piedmont belt is the main field for oil and gas exploration in new exploration regions of West China. The particular surface geological conditions and complicated deep geological structures of these regions cause outstanding problems such as static correction, complex seismic wave field and low SNR seismic data. Aimed at solving these difficulties, this paper puts forward the design of seismic geometry in western piedmont belt, which is based on the comprehensive real surface model with pre-stack imaging effect in combination with the design technology for the observation system of CRP analysis technology. This technology was used in Hashan 3D block for optimization design of the observation system, with fairly good results obtained.

Key words: piedmont belt; design of seismic geometry; prestack migration; illumination of seismic waves

作者简介: 卢湘鹏(1979-),女,工程师,1999年毕业于广东石油学校,现在胜利油田物探公司地震勘探研究所从事物探方法研究工作。