

文章编号: 1000-1441(2008)05-0498-07

南阳凹陷高精度三维地震采集观测系统设计

马义忠^{1,2}, 魏伟³, 孙伟佳³, 蒋涛³, 符力耘³

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 河南油田分公司勘探事业部, 河南南阳 473132; 3. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要: 南阳凹陷主要勘探目的层埋藏较深, 断裂发育、构造破碎, 现有地震资料的信噪比和分辨率不能满足油气勘探需求。为此, 针对南阳凹陷的地震地质条件, 结合地震波动方程模拟、照明分析以及观测系统采集脚印分析等技术, 在兼顾各项采集设计要求与工作效率的条件下, 重新设计了三维地震观测系统。实际应用结果表明, 采用上述观测方法获得的地震资料质量较原资料有明显的改善。新采集的资料剖面断裂系统成像清晰, 目的层及其以上各反射层特征清楚, 分辨率和信噪比均有较大的提高。

关键词: 三维地震采集; 观测系统设计; 速度模型; 采集脚印; 南阳凹陷

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

南阳凹陷的主要勘探目的层为古近系核桃园组(Eh), 核二段(Eh₂)至核三段(Eh₃)为主要生油层。工区地表基本为平原地带, 大部分为耕地, 表层为黄胶泥, 激发和接收条件较好。本次勘探区北马庄地区主要目的层断裂发育、构造破碎, 深部反射层次较为丰富。区块的主要构造特征为北西向背斜构造被北东向的断裂成排切割, 将整个区块分割破碎成众多大小不等形状不一的断块。

本次勘探目标为: 利用高精度三维地震采集技术, 在保证地震资料信噪比的前提下, 提高该区地震资料的分辨率; 为查明断超带小型砂岩体的空间展布以及魏岗鼻状构造带南部的构造特征、断裂展布、断层的交切关系提供高保真度的基础资料; 进一步落实南部砂体的展布, 寻找岩性上倾尖灭油藏; 进一步落实南部断超带上的小型构造和构造-岩性油藏; 落实边界断裂下盘基岩的发育和分布范围, 寻找可能存在的基岩油藏。

以往的三维地震资料是 1985 年采集的, 覆盖次数低(20 次), 受当时采集和处理技术的限制, 偏移炮多, 且偏移量大, 导致炮点分布不均匀, 采集观测系统和施工方案也较为落后。剖面整体的信噪比与分辨率均较低, 主频只有 23 Hz 左右, 部分地区浅层资料缺失, 部分断层、断点不清楚, 使得勘探区的砂体难以预测, 更难以满足现阶段岩性油气藏勘探的需要。因此需要重新设计南阳凹陷三维地震观测系统。

1 采集设计思路

以常规采集参数论证为基础^[1,2], 借助地震波

动方程照明^[3]以及模拟技术^[4]进行采集参数论证, 比起直接利用简单的基于信号理论的采集论证方法更为优越^[5~9]; 然后利用采集脚印定量分析技术, 对多种待选模板及其滚动方案的采集脚印进行定量评估。比起以往的经验法^[10~14], 该方法更有利于确定合适的采集参数, 消除观测系统的采集脚印, 提高地震采集的精度。

2 速度模型建立

表 1 为主要目的层的地球物理参数。

表 1 工区地球物理模型的主要参数

参数	地震层位				
	T ₂	T _{Eh₂¹}	T _{Eh₂²}	T _{Eh₂³}	T _{Eh₃¹}
双程旅行时/s	0.5	0.8	1.2	2.0	2.6
层速度/(m·s ⁻¹)	2 000	2 175	2 433	2 900	3 439
地层倾角/(°)	4	8	8	10	15
主频/Hz	60	55	45	35	30
最高无混叠频率/Hz	67.62	89.96	81.32	126.50	109.70
横向分辨率	16.67	22.17	32.01	49.79	80.30

根据地震地质解释成果, 结合工区地球物理模型的主要参数与周边井的速度资料, 提取地震正演模拟或照明分析所需的速度模型资料, 建立速度模型。图 1 为一个典型的速度模型。

收稿日期: 2008-01-01; 改回日期: 2008-03-14。

作者简介: 马义忠(1963—), 男, 高级工程师, 博士在读, 主要研究方向为地震采集观测系统设计。

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA06Z240)资助。

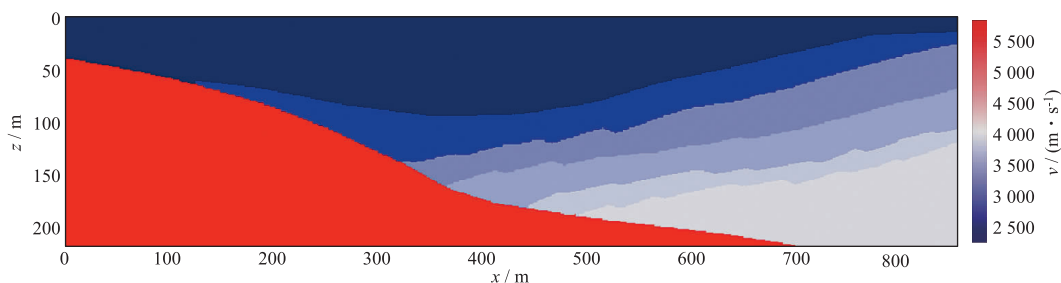


图 1 速度模型

3 基于模型的采集参数论证

3.1 面元大小

综合考虑目标尺度、纵向分辨率及横向分辨率等因素,理论上面元边长应小于 25 m(具体的计算过程参见文献[1,2])。为此,我们分别采用 40 m

与 20 m 的面元边长,对本区速度模型进行全炮地震照明度分析^[3],结果如图 2 所示(照明分析结果无量纲,取值范围为 0~1)。分析图 2 可知,面元边长为 40 m 时,地震波能量不能到达所有的目的层;面元边长为 20 m 时,目的层地震波能量明显增强,照明度分布均匀。因此,面元边长确定为 20 m。

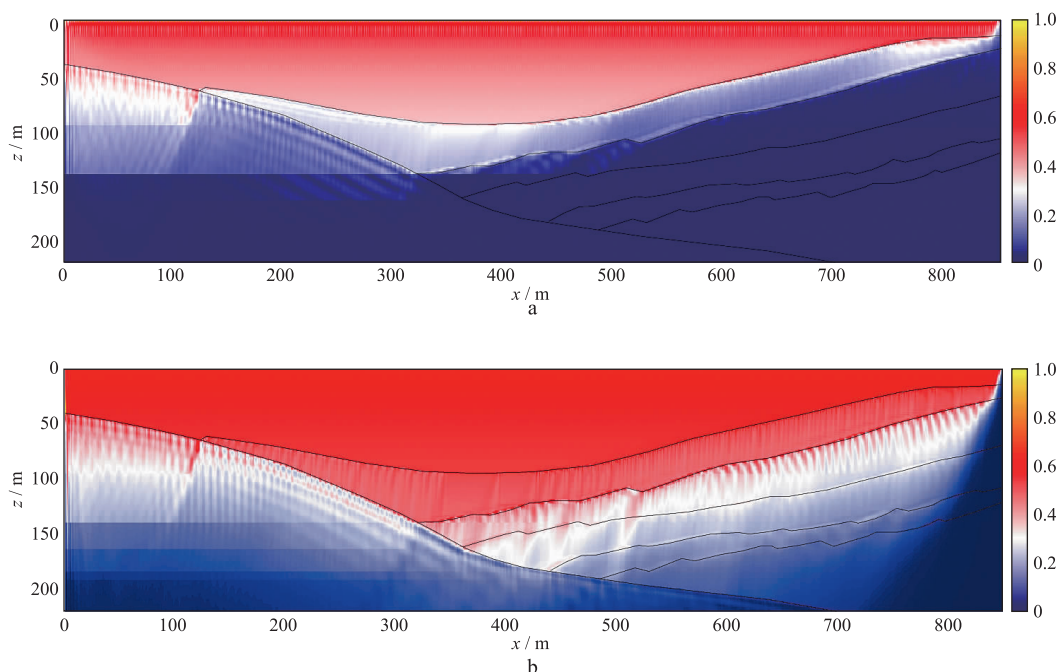


图 2 面元边长为 40 m(a)和 20 m(b)时的全炮照明分析结果

3.2 覆盖次数

确定覆盖次数时主要考虑以下 3 个方面:①为了充分压制干扰,突出层间弱反射能量,增加深层反射能量,提高资料的信噪比,应取较高的覆盖次数;②为了保证不同方位角道集的叠加效果,需要增加横向覆盖次数;③根据 Inline 方向速度分析精度及 Crossline 方向自动剩余静校正的要求,必须保证纵、横向覆盖次数分布比较合理。

1985 年采集的三维地震资料为 20 次覆盖,剖面的信噪比较低,局部地区的波组特征非常零乱。2005 年位于本次勘探区块附近的白秋地区三维地

震采集采用了 $9 \times 6 = 54$ 次覆盖,2007 年东庄三维地震采集采用了 $7 \times 8 = 56$ 次的高覆盖次数,均得到了品质较好的地震资料。本次数据采集的目的层较深,借鉴东庄地区和白秋地区三维地震采集的经验,另外考虑纵、横向覆盖次数的均衡性,全工区拟采用 $7 \times 8 = 56$ 次覆盖。

3.3 最大炮检距

最大炮检距的选择应综合考虑以下因素:①动校拉伸率不宜超过 10%;②速度分析的精度误差不高于 6%;③反射系数稳定;④避开直达波和初至折射波的干涉。

由于目的层较深,构造复杂,导致地震波传播路径比较复杂,仅仅利用常规的点论证手段不能获取复杂构造地区最佳的炮检距,因此采用波动方程进行了地震记录模拟^[4]。图 3 为模拟的一个单炮记录。由于初至波和强反射界面反射波的振幅强度相对较大,显示时提高了增益,以观察较弱的反射波和绕射波。

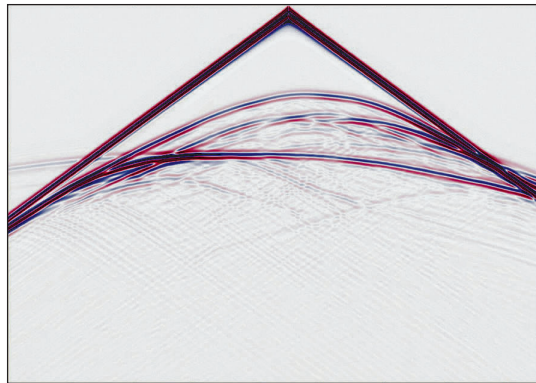


图 3 提高增益后的单炮地震记录

在各个单炮记录上,考虑各个目的层的反射波同相轴与初至波、折射波等干扰场混叠效应来划定有效地震窗(图 4)。地质模型比较准确时,可以利用模拟记录来划定有效地震窗,并以此作为确定最大炮检距的一个条件。

与模拟单炮记录相比,波场快照可以动态地显示地震波场向下延拓过程的所有细节特征,在地下介质较为复杂时更有效。因此我们还通过波场快照跟踪波的传播路径(图 5),更好地划定反射波前到达的地面范围,辅助确定地震窗。

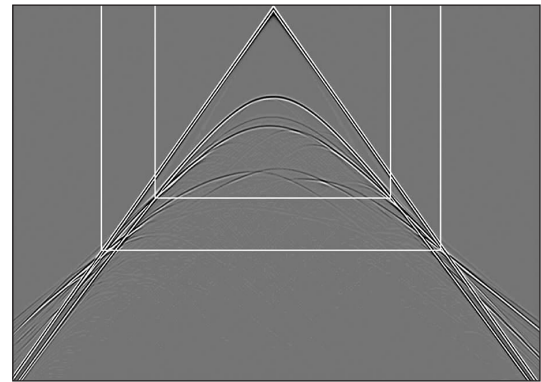


图 4 单炮记录的有效地震窗

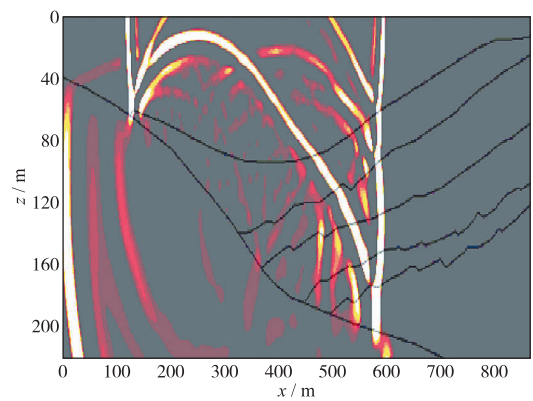


图 5 地震模拟波场快照

最后,基于模型分析结果,结合常规参数论证结果,确定最大炮检距不大于 4 000 m。

4 基于采集脚印分析的观测系统设计

依据论证结果,初步设计了 4 种观测系统(表 2)。

表 2 4 种观测系统设计方案

	方案一	方案二	方案三	方案四
模板	14S×8L×144T	14S×8L×144T	14S×14L×144T	2S×14L×144T
接收点距	40 m	40 m	40 m	40 m
炮点距	80 m	80 m	80 m	80 m
接收线距	160 m	160 m	160 m	160 m
炮线距	360 m	360 m	360 m	360 m
面元	20 m×40 m	20 m×40 m	20 m×40 m	20 m×40 m
满覆盖次数	7×8=56	7×8=56	7×8=56	7×8=56
纵向滚动距	360 m	360 m	360 m	360 m
横向滚动距	640 m	640 m	1 120 m	160 m
滚动方式	滚动半个排列	滚动半个排列	滚动一条测线	滚动一条测线
其它	相邻束沿着测线方向错动 200 m			

注:模板项中的 S 为炮数;L 为接收线数;T 为每条接收线检波点个数。

4 种观测系统的接收点距、接收线距、炮点距、炮线距、面元大小及纵向滚动距都相同,但采用了不同的接收线数与排列滚动方式,模板如图 6 所示。前两种方案每次滚动半个排列,而后两种方案每次只滚动一条测线。

图 7 为 4 种观测系统的炮点和检波点分布图,可以看到方案一的炮点重复严重,方案二由于采用错开的滚动方式,炮点分布较方案一稍均匀一些,方案三

与方案四的炮点分布则十分均匀。从观测系统的测线数与滚动方式能够明显看出,方案一施工最省时省力,方案二其次,方案三与方案四相对复杂。

图 8 为 4 种观测系统的覆盖次数分布图,满覆盖次数都为 56 次,纵、横向覆盖次数分别为 8 次与 7 次。由图 8 可知,炮检覆盖面积相同的条件下,方案一的满次覆盖面积最大,方案二其次,方案三与方案四较小。

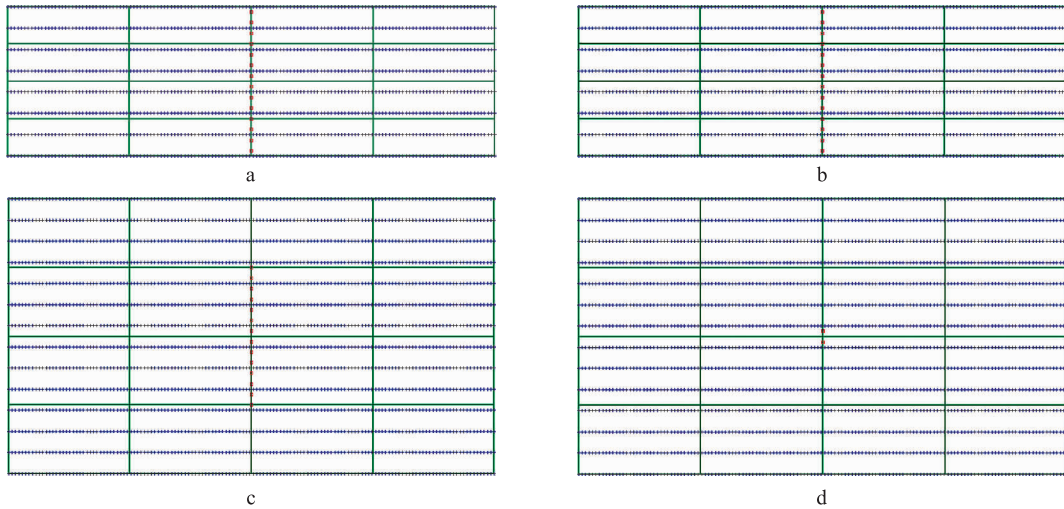


图 6 观测系统模板(蓝点表示检波点,红点表示炮点)
a 方案一; b 方案二; c 方案三; d 方案四

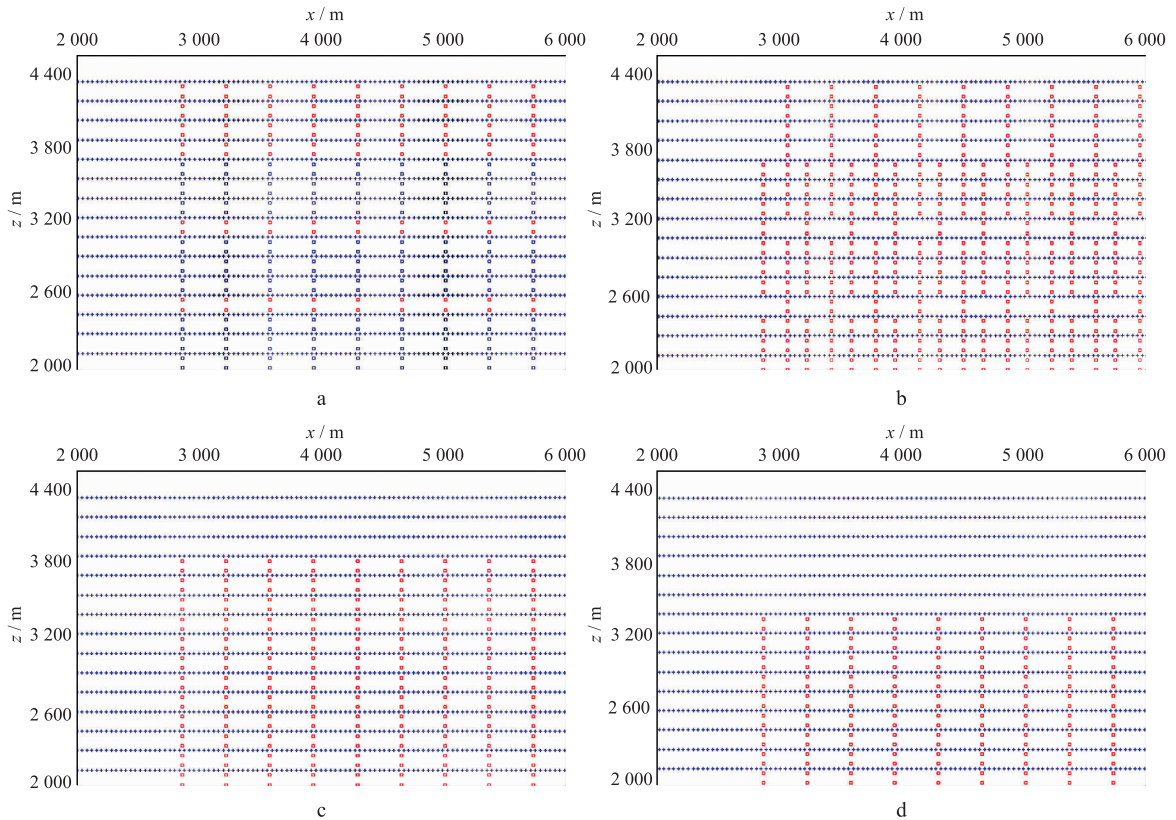


图 7 炮点和检波点分布(横向蓝点表示检波点;纵向红点表示无重复炮点,蓝点表示重复炮点)
a 方案一; b 方案二; c 方案三; d 方案四

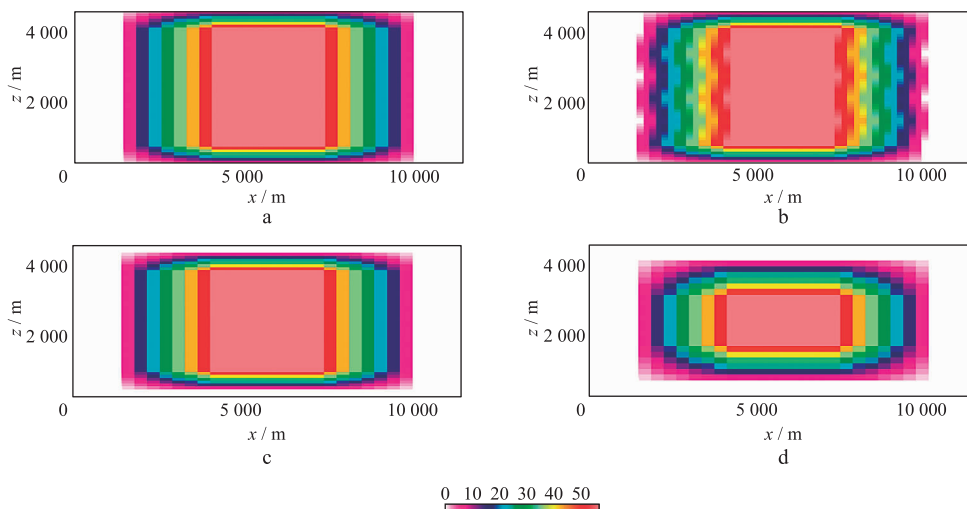


图 8 覆盖次数分布

a 方案一; b 方案二; c 方案三; d 方案四

采集脚印是指在地震资料采集与处理过程中留下的人为痕迹,一般情况下,不合理的观测系统设计会带来严重的采集脚印,从而掩盖或削弱真正的反射信号,影响地震解释工作的准确性。如果在处理中压制采集脚印,就可能同时削弱了部分真正的反射信号。因此消除采集脚印只能从观测系统设计的源头入手,尽量使采集脚印在观测系统设计的阶段就达到最小化。

分别计算出 4 种观测系统的采集脚印^[5],如图 9 所示(采集脚印无量纲,取值范围为 0~100)。对比满覆盖次数区域的采集脚印值,可以明显看到,方案一、方案二与方案三都有与排列片的横向滚动对应的水平条带状采集脚印,方案一与方案二的采集脚印最大,方案三其次,方案四的采集脚印最小。方案三与方案四的采集脚印都能够设计得满足要求。

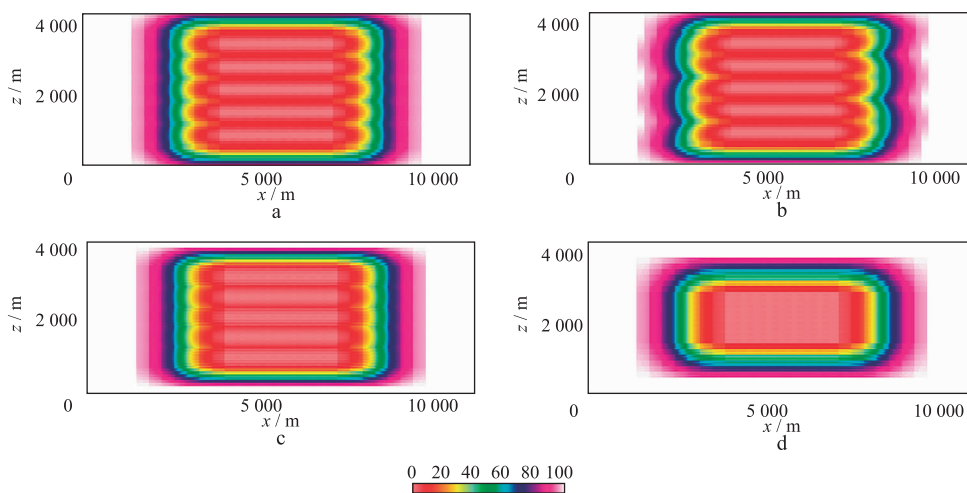


图 9 采集脚印

a 方案一; b 方案二; c 方案三; d 方案四

图 10 为唯一采集脚印图(唯一采集脚印无量纲,取值范围为 0~100)。对比满覆盖次数区域的唯一采集脚印值,也可以得到与采集脚印值相似的结论。另外需要说明的是,在图 10 中,可以看到由于排列片的纵向滚动引起的较为明显的竖直条纹,而由于沿着纵向的采集脚印效应对勘探效果的影响通常并不严重,因此最终仍采用这种并不十分均

匀的纵向滚动方式。

当然采集观测系统的设计不可能仅仅考虑采集脚印的大小,还需要考虑采集经费、排列片能达到的最大长度、可用的检波器最大个数、以及该地区的地震资料品质等因素。综合考虑所有相关因素,我们选择方案三作为最终的观测系统设计方案。

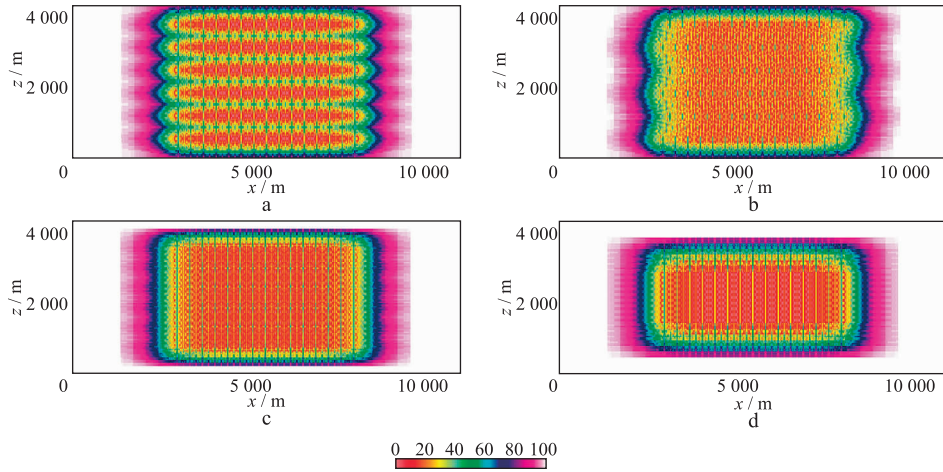


图 10 唯一采集脚印

a 方案一；b 方案二；c 方案三；d 方案四

5 采集效果

新采集的三维地震成果剖面如图 11 所示。整个剖面自然清晰，断面波丰富，目的层信噪比高，断

面与地层接触关系清楚，分辨率较高，背斜特征明显，小断层空间展布特征清楚。与 1985 年采集的三维地震剖面相比(图 12)，新采集资料的信噪比和纵向分辨率以及横向分辨率都得到了明显的提高。

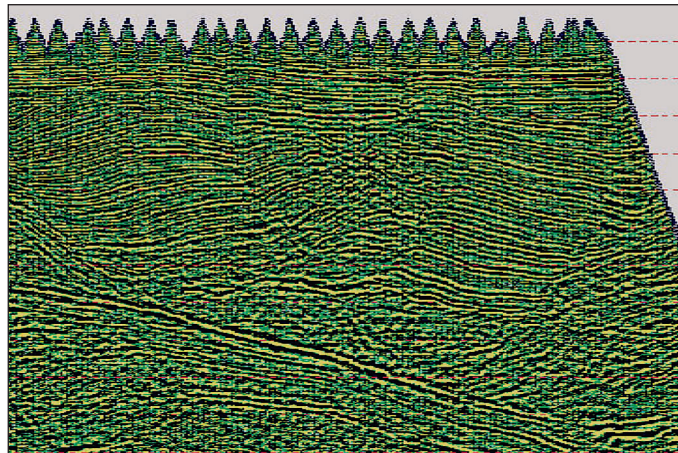


图 11 2007 年采集的三维地震成果剖面

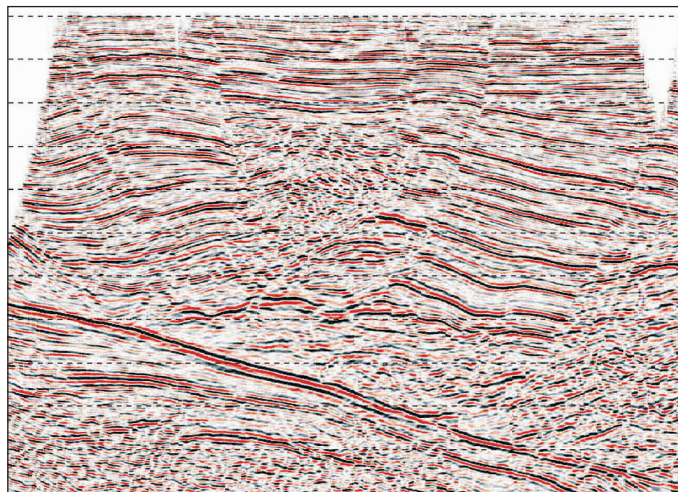


图 12 1985 年采集的三维地震成果剖面

6 结束语

1) 在常规点论证技术的基础上,采用基于模型的采集参数论证技术,可以提高采集论证的精度。在具体的论证过程中,可以利用基于相位编码的地震照明度分析方法辅助确定面元大小,并利用波动方程有限差分模拟来选择合适的最大炮检距。因为这些基于模型的观测系统辅助设计方法对于特定的地质目标有着更好的针对性,从而能够达到高精度采集设计的目的。

2) 在观测系统的设计过程中引入了采集脚印分析方法,直观地对比了各种待选观测系统设计方案的采集脚印,尽可能地选择采集脚印符合成像要求的设计方案。这种方法提高了地震采集的精度,为后续的地震处理与成像奠定了基础。

参 考 文 献

- 1 Cordsen A, Peirce J W. 陆上三维地震勘探的设计与施工[M]. 俞寿朋,译. 北京:石油工业出版社,1996. 16~46
- 2 Vermeer G J O. 3-D seismic survey design[J]. Expanded Abstracts of 72nd Annual Internat SEG Mtg, 2002, 19~32
- 3 孙伟家,符力耘,碗学俭. 基于相位编码的地震照明度分析[J]. 石油地球物理勘探,2007,42(5):539~543
- 4 蒋韬,符力耘,碗学俭. 基于波动方程的目标导向观测系统设计方法研究[J]. 地球物理学进展,2008,23(2):359~367
- 5 谭胜章,杜惠平,宋国良,等. 高精度三维地震资料采集技术——以官渡地区山地地震勘探为例[J]. 石油物探,2007,46(1):74~80
- 6 王德志,贾烈明. 三江盆地地震地质条件及采集技术研究[J]. 石油物探,2006,45(4):423~426
- 7 邱志欣,谭绍泉,姜维才,等. 川东北地区山地三维高分辨率地震采集技术[J]. 石油物探,2005,44(5):517~524
- 8 李林新. 南方海相碳酸盐岩油气区地震采集面临的问题和对策[J]. 石油物探,2005,44(5):529~537
- 9 薛友兵,尹兵祥,冷桂林,等. 准噶尔盆地沙窝地高精度三维地震采集参数设计与论证[J]. 石油物探,2005,44(4):393~398
- 10 魏继东,张旭,曹国滨,等. 四川松潘—阿坝低信噪比地区采集方法研究[J]. 石油物探,2005,44(2):167~169
- 11 钱光萍,康家光,丁成明. 川西地区宽方位三维地震勘探采集技术研究[J]. 石油物探,2005,44(2):170~173
- 12 郑国庆,吴树奎,何新平. 川东北通南巴灰岩地区地震勘探采集技术探讨[J]. 石油物探,2005,44(2):174~178
- 13 吴长祥,李忠平,丁士平. 塔里木盆地卡3区块二维地震采集技术研究[J]. 石油物探,2005,44(2):179~182
- 14 范哲清,卢刚臣,李玉海,等. 大港油田油气开发区三维地震二次采集部署方法探讨[J]. 石油物探,2005,44(1):51~57