

文章编号: 1671-8585(2009)05-0363 编辑: 顾石庆)

# 多重约束下异常地震道自动剔除与质量监控

苏世龙, 蔡希玲, 曾庆芹, 刘玉莲

(中国石油集团东方地球物理勘探公司研究院, 河北涿州 072750)

**摘要:** 针对城区勘探中异常道发育的特点, 采用分时间段的数据分析, 提取不同时间段内地震数据的特征参数(能量、频率等), 综合互相关参数、分频扫描、视衰减因子等检测不正常道, 在多重约束下确定不正常道的位置, 并自动剔除。在质量监控方面, 对自动剔除的不正常道进行点一线一面的分析, 确保自动剔除的效果, 多重约束的处理方法既保证了坏道检测的准确性, 又提高了工作效率。量化的质量监控方式使得处理人员了解已剔除的不正常道在空间的分布位置, 便于检查与核实, 文中图件展示了处理结果的有效性。

**关键词:** 城区勘探; 多重约束; 地震属性; 异常道剔除; 质量监控

**中图分类号:** P631.4

**文献标识码:** A

## 1 问题的提出

在现代城区地震勘探中, 由于建筑物密集、道路纵横, 地下光缆、管线交错, 表层地震地质条件极其复杂, 野外施工方法受到较大的限制<sup>[1]</sup>; 在激发方面, 除了某些炮点无法规则布设外, 激发介质还存在着一定的差异, 激发子波在空间上存在着严重的不均一性; 在接收方面, 检波器的布设方式及其与地面的耦合情况随地面安置条件的变化而变化, 面积组合无法按设计实施。近地表条件的变化及采集因素的较大差异导致数据中反射波能量、频率分布极不均匀, 干扰波类型多且分布广, 严重影响着原始地震数据的品质。

不正常道的检测与剔除是数据处理中非常重要且烦琐的工作。即使对于高覆盖采集的地震数据, 大量的异常道对后续处理效果的影响仍不容忽视<sup>[2]</sup>。特别是能量较强的异常道, 对地表一致性处理振幅补偿、叠前随机噪声衰减(RNA)等多道处理有极其不良的影响, 影响振幅的衰减规律, 导致补偿系数难以准确求取; 使得地震反射信号在  $F$ - $XY$  域的可预测性减弱, 限制了叠前 RNA 作用的有效发挥。因此, 准确检测并压制异常道, 是运用好叠前多道处理技术的保障。

通常, 处理人员显示  $t-x$  域的原始地震数据, 只能通过振幅值的大小、视频率的高低等特征来识别异常道, 人工判断和手工剔除存在着效率低、不够准确等问题, 已难以适应高密度勘探中海量地震数据处理进度的要求, 需要有相应的分析方法, 快

速准确地识别和剔除异常道。

本文针对我国东部 CY 城区高密度采集的地震数据, 调查了不同时间段的数据特征(初至之前、标志层段等), 通过分频、相关和属性提取方式等统计了不正常道的出现规律, 实现了在多重约束下自动检测并剔除异常道, 提高了检测的准确性和工作效率, 并且通过多种方式的质量监控, 表明坏道自动剔除的效果。

## 2 多重约束下异常道检测与剔除

地震数据中出现异常道, 原因较多, 仅靠某一种方法判定其为坏道必然存在着风险。为了较准确地识别和检测异常道, 需要进行多方面的分析, 在多重条件的约束下确定坏道的位置, 并自动剔除。

### 2.1 初至前数据的分析与检测

初至前的地震数据可用于环境噪声的分析和不正常道的识别。在通常情况下, 假设环境噪声分布为平稳随机过程, 可通过对初至前的数据进行统计分析来研究环境噪声的规律<sup>[3]</sup>, 但在城区勘探中的某些特殊位置, 检波器埋置困难, 耦合性不好、漏电和公路干扰等导致原始数据中出现不正常道, 其在初至前具有明显的特征。图 1a 为 CY 城区的原始单炮记录及该单炮记录的地表高程线, 图 1b 为初至部分的放大显示, 结合地表信息, 确定不正常道出现的原因。

收稿日期: 2009-04-21; 改回日期: 2009-05-06。

第一作者简介: 苏世龙(1975—), 男, 工程师, 2003 年获石油地质油气藏形成与分布专业硕士学位, 长期从事地震数据处理工作。

对初至前的数据,可计算其特征参数,如统计其振幅和主频等,便于对其中异常道进行量化分析。图 2a 为图 1b 中数据的能量曲线,图 2b 为主频曲线。从能量和频率曲线中可以看出:道号 957~959 处存在极强能量噪声,主频为 24 Hz;道号 1004~1010 范围内存在较强能量的噪声,主频为 50 Hz,是交流电干扰;而道号 1085 和 1098 附

近则存在高、低频干扰道。这些在初至前的背景区出现的异常道,其统计特性不同于随机噪声,因此在根据初至前数据的特征参数自动识别异常道时,可参考以下准则:若初至前的数据为平稳分布的随机噪声,则属正常情况;若上述计算的统计量为非均匀分布,某些道的统计值严重偏离均值,则可能与异常道的分布有关。

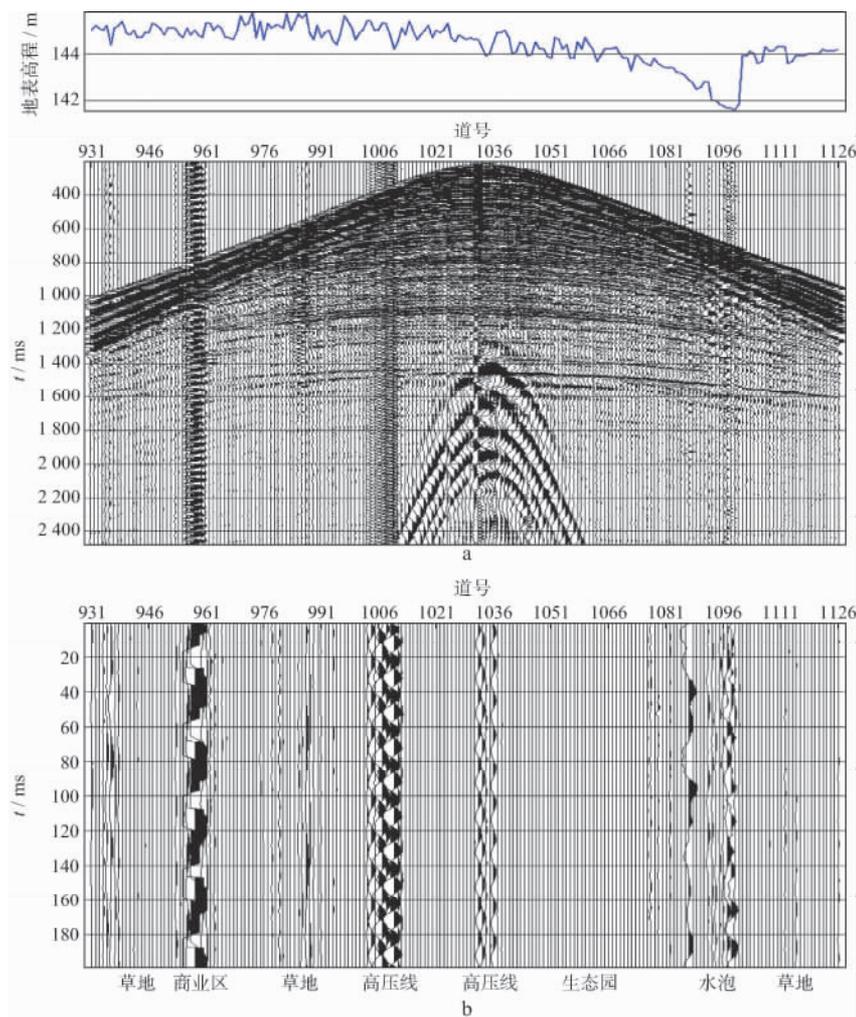


图 1 原始单炮记录(a)和初至前的放大显示(b)

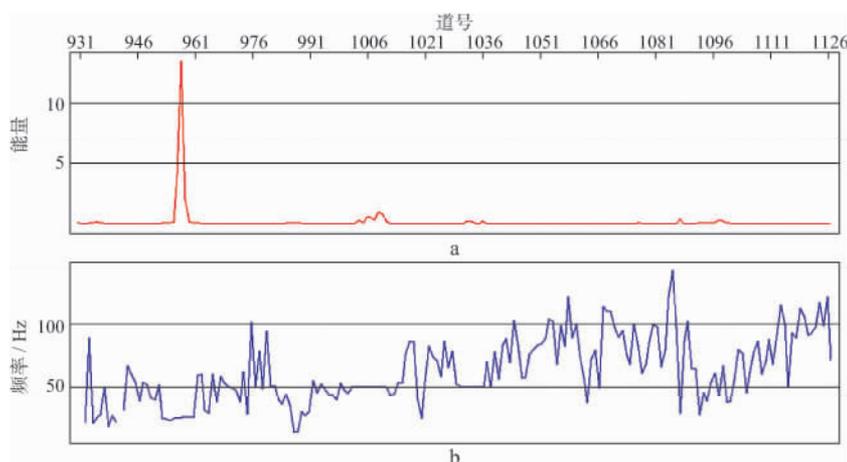


图 2 数据的能量曲线(a)和主频曲线(b)

## 2.2 标志反射层段数据的分析与检测

在资料品质较好的地区,标志层的反射波能量强、信噪比高、连续性好,可作为地震数据分析的参考层。在我国东部 CY 地区,  $T_1$ 、 $T_2$  反射层即该区的标志层,即使是在叠前数据中,来自  $T_1$ 、 $T_2$  层的反射波也有一定的信噪比,这为基于标志层的数据分析提供了条件。

在地面观测到的地震记录应是有规律的,相邻道上信号的波形、振幅和到达时间差别不大,在多道记录上构成同相轴,同相轴的时间与距离的关系是光滑的曲线<sup>[4]</sup>。也就是说,来自标志层界面的反射波的特征参数在空间分布上具有一定的规律。因此,除了计算标志层反射波的属性外,还可以计算叠前数据的相关函数,如果属于正常的反射波,在标志层的范围内,数据具有良好的相关性;反之,

数据中有异常道时,其共炮集数据的相关性会发生变化,如异常道和正常道互相关后,其相关最大值及最大值对应的时移量都会出现相应的异常,这样,便可以根据相关后数据的特征参数识别异常道。

图 3a 为原始单炮记录在标志层段的数据显示,图 3b 为相邻两记录道互相关后提取的特征参数  $C_{MAX\_T}$ ,即互相关极值对应的时移量曲线,由于来自同一标志层的反射波同相轴是渐变的,互相关的极值对应的时移量  $C_{MAX\_T}$  变化不大;如果存在异常干扰道,则  $C_{MAX\_T}$  会出现较大的偏离。图 3b 中在记录道号为 957~959,985~986,1004~1010,1032 及 1098 处的  $C_{MAX\_T}$  值偏离较大,可初步确定其为异常道,这样可以确定异常道的位置,并根据特征参数的大小,给出阈值,自动检测异常道。

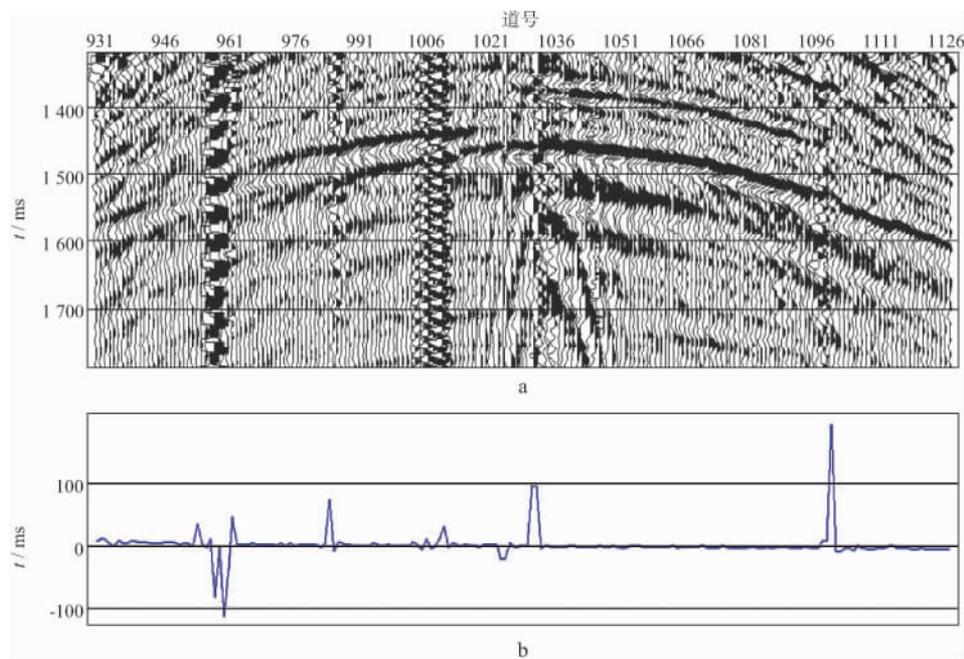


图 3 原始单炮记录在标志层段的放大显示(a)和互相关函数的特征参数最大值极值对应的相对时移量(b)

## 2.3 地震数据的分频分析与检测

由于地震数据在各个频带和各个时段内的信噪比不同,时频分析及分频处理则可以提高数据处理的精度<sup>[5]</sup>。分析地震数据的频率特征,分频扫描是最直观的方法。通过分频分析,若在优势频带内某些记录道仍然存在能量和分布特征上异常,则判定其为坏道;反之,某些道仅在部分频带内(如 50 Hz、高频噪声等)分布异常,在其他频带内是正常分布,则不能判定其为坏道,而应当采用分频的方式衰减不同频带的噪声,提高去噪的保真度。

图 4a 为原始单炮数据的全频显示,图 4b~图

4e 分别为 10~20 Hz、20~40 Hz、40~80 Hz 及 60~120 Hz 频带内的数据显示,在全频带内出现的某些异常道(单频干扰和高频噪声道等)(图 4a),在优势频带内(20~40 Hz)是有效信号。可见,地震数据的分频分析是噪声检测的有效手段。对于图 4 的地震数据,通过分频可以更加准确地识别出不正常道,如图中的道号为 957~959 的数据,在多个频带内均表现为异常,说明这些道为不正常道。而图中 1004~1010,1032 道仅在局部频带内表现出异常特征,其他频带内包含着有效反射信号,不能作为坏道剔除,可通过分频叠前去噪来改善数据的质量,尽可能地保留有效信息。

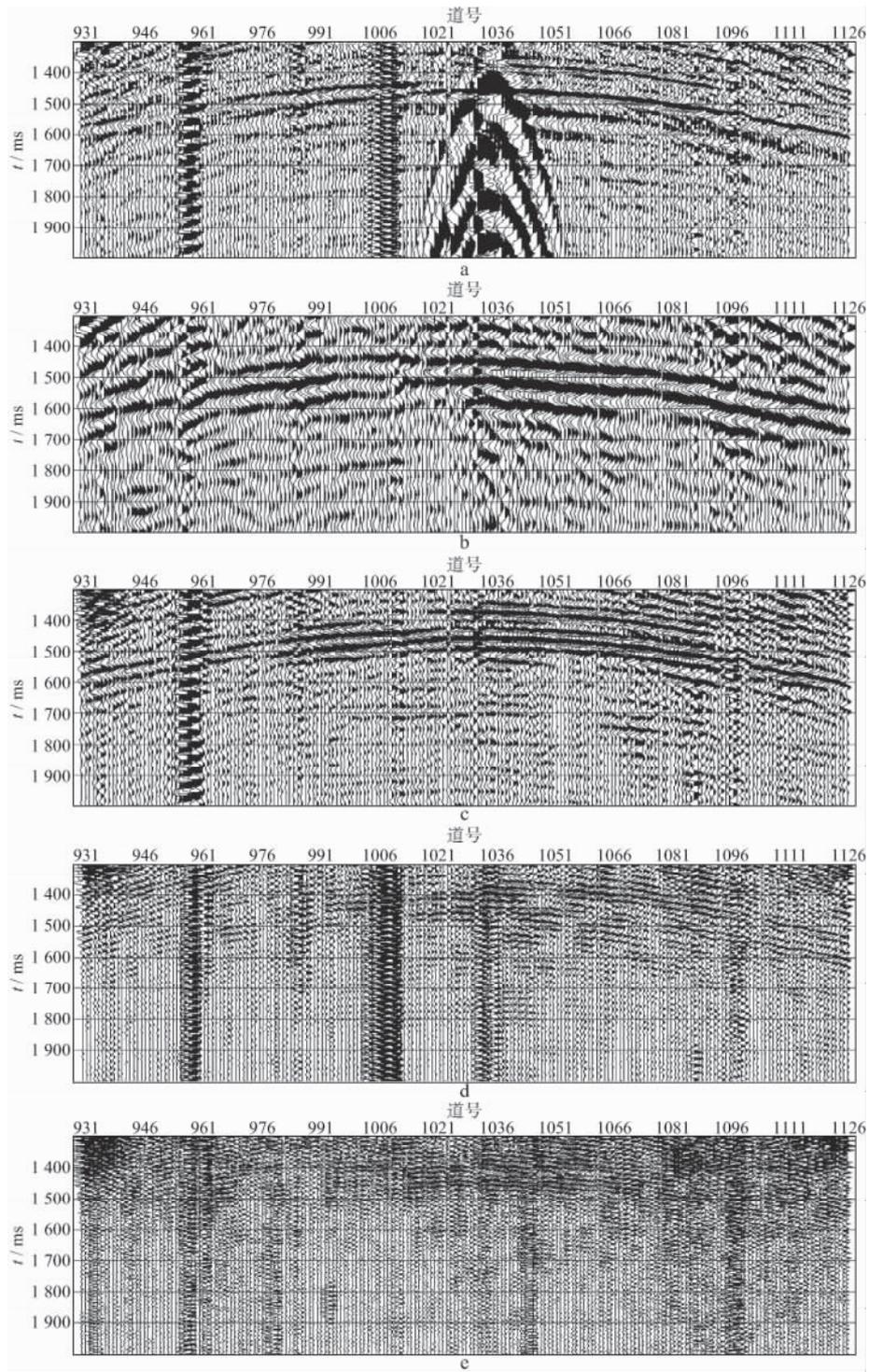


图 4 原始单炮记录及不同频带内的数据显示  
 a 原始单炮记录(局部); b 10~20 Hz; c 20~40 Hz; d 40~80 Hz; e 60~120 Hz

### 2.4 地震数据衰减特性的分析与检测

地震波在传播过程中,大地对信号有吸收作用,可视为滤波系统<sup>[6]</sup>,描述为

$$A(t) = A_0 e^{-\alpha t} = A_0 e^{-\frac{\pi f}{Q} t} \quad (1)$$

式中: $A_0$  为原始振幅; $A(t)$  为传播  $t$  时间后的振幅; $\alpha$  为吸收系数; $f$  为频率; $v$  为波的传播速度。

品质因子  $Q$  是岩石对弹性波吸收的特性参

数<sup>[7]</sup>,精细地求出每一层的  $Q$  值往往很困难,这里为了简化,避开了  $Q$  值的求取,令  $\beta = \alpha v$ ,式(1)可进一步简化为:

$$A(t) = A_0 e^{-\beta t} \quad (2)$$

式中: $\beta$  为衰减因子。

对于某一地震道,可以计算在时间  $t_1$  与  $t_2$  之间的视衰减因子  $\beta'$ , $\beta'$  为一可统计的量,即

$$\beta' = 20 \lg \frac{A(t_1)}{A(t_2)} \quad (3)$$

如果地震道记录了正常的反射波,在振幅补偿之前,衰减因子 $\beta'$ 为正实数;对于不正常道,则不符合式(2)的衰减规律,计算出的 $\beta'$ 值接近于零或出现负值。这样,就可以利用地震波的衰减特性检测

数据中的不正常道。

图 5 为去除高低频干扰后的单炮数据的局部显示,上部曲线为以分贝表示的各个记录道对应的衰减因子值。衰减因子较好地反映了正常地震数据的衰减规律,数值在 20 dB 左右,横向比较稳定;同时也清楚地指示了不正常道的位置,如图上箭头所示。

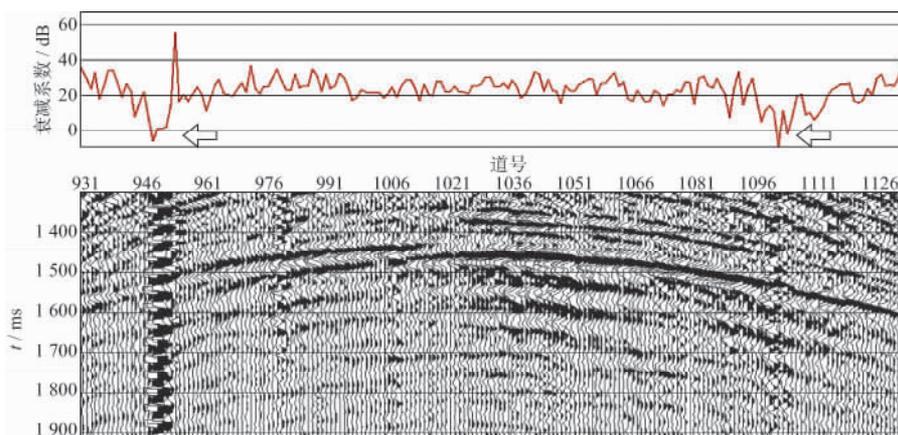


图 5 炮集数据及对应的衰减系数(图上曲线)

运用上述几种不同的数据分析方法识别异常道,检测出的异常道的位置可能有差别,在实际数据处理中,可将各种方法自动检测出的不正常道进行对比,再与地表接收条件相结合,确定坏道的位置,将其置零,并在道头中置上标志,标明该道已做了相应的处理。对于图 1 的原始单炮记录,在多重

约束下自动剔除的坏道道号为 956~959,962,1098 和 1100。图 6 为经过面波压制、50 Hz 单频波衰减、高频噪声衰减、坏道剔除后的单炮记录。与图 1 对比可知,在多重因素约束下分析和检测异常道,确定坏道的条件更加合理,即尽可能地保留了数据中的有效信息。

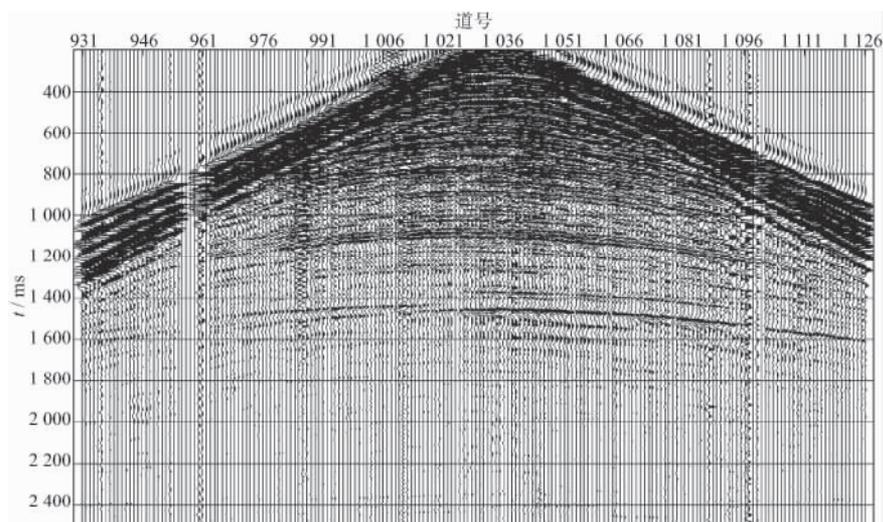


图 6 噪声衰减及坏道剔除后的炮集记录

### 3 异常道出现规律分析及质量监控

在城区采集的地震数据中,异常道分布广泛,在多重条件约束下识别异常道,进行合理的数据分

析和有效的质量监控可以提高处理工作的准确性和效率。针对自动剔除的坏道,由点-线-面分析坏道的分布规律。

1) 点分析。对于工区内任意一点的原始单炮记录,自动剔除的数据已在道头中置上了标志,从

道头中提取该标志,按照该道的 X、Y 坐标将道位置标注在空间坐标系中,图 7 为某一炮数据的检波点分布图,图中红点为异常道的分布,对比地表草图可知,检波点在商业区内接收的数据坏道较多。

2) 束线分析。一束线中包含若干个炮点,检波器在地面覆盖一个区域。将一束线上的所有检

测出坏道的位置展布在相应的位置上,可以看出该束线上坏道的出现规律(图 8)。

3) 面分析。图 9 为全区的异常道分布图,与实际地面位置相对应分析可以看出,异常道主要出现在公路、楼群密集的居民区和商业区等检波器耦合条件较差的区域。

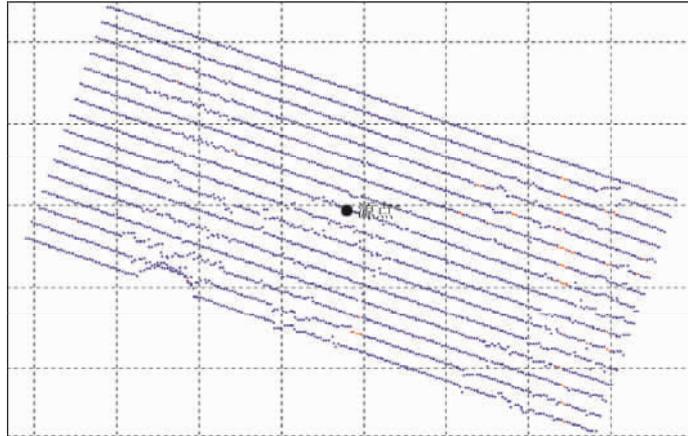


图 7 某一炮对应的检波点及异常道分布(红点所示)

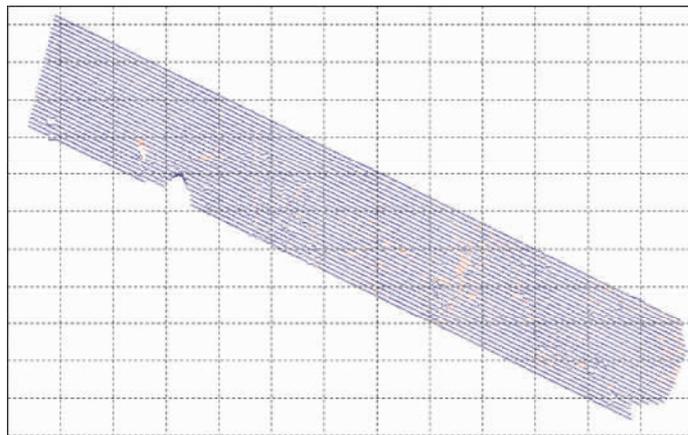


图 8 某一束线中异常道的分布(红点所示)

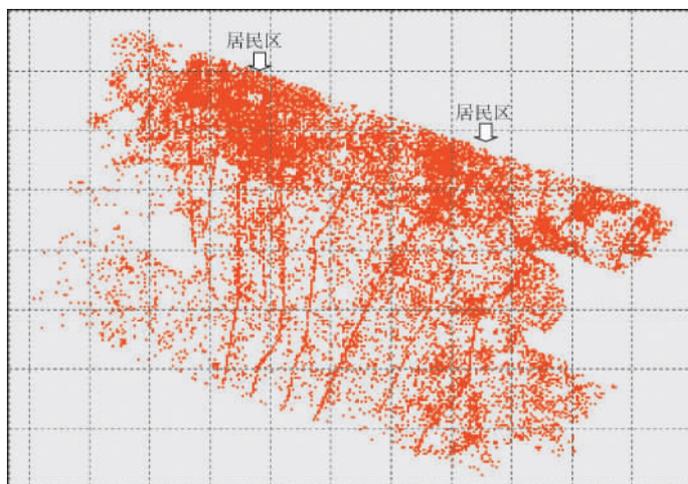


图 9 全区数据中异常道的分布(红点所示)

#### 4 效果分析

叠加可作为数据质量分析与监控手段应用于处理中的各个环节。为了对自动剔除的坏道做效果分析,将已剔除的道也按照处理正常记录的相同

处理流程和参数,进行动校正、叠加可以检测剔除处理的合理性。图 10a 为原始叠加剖面,图 10b 为坏道剔除后的叠加剖面,图 10c 为剔除道的叠加剖面。从叠加结果上分析,自动剔除的道叠加后均为噪声,没有反射信息,进一步印证了多重约束方法的有效性。

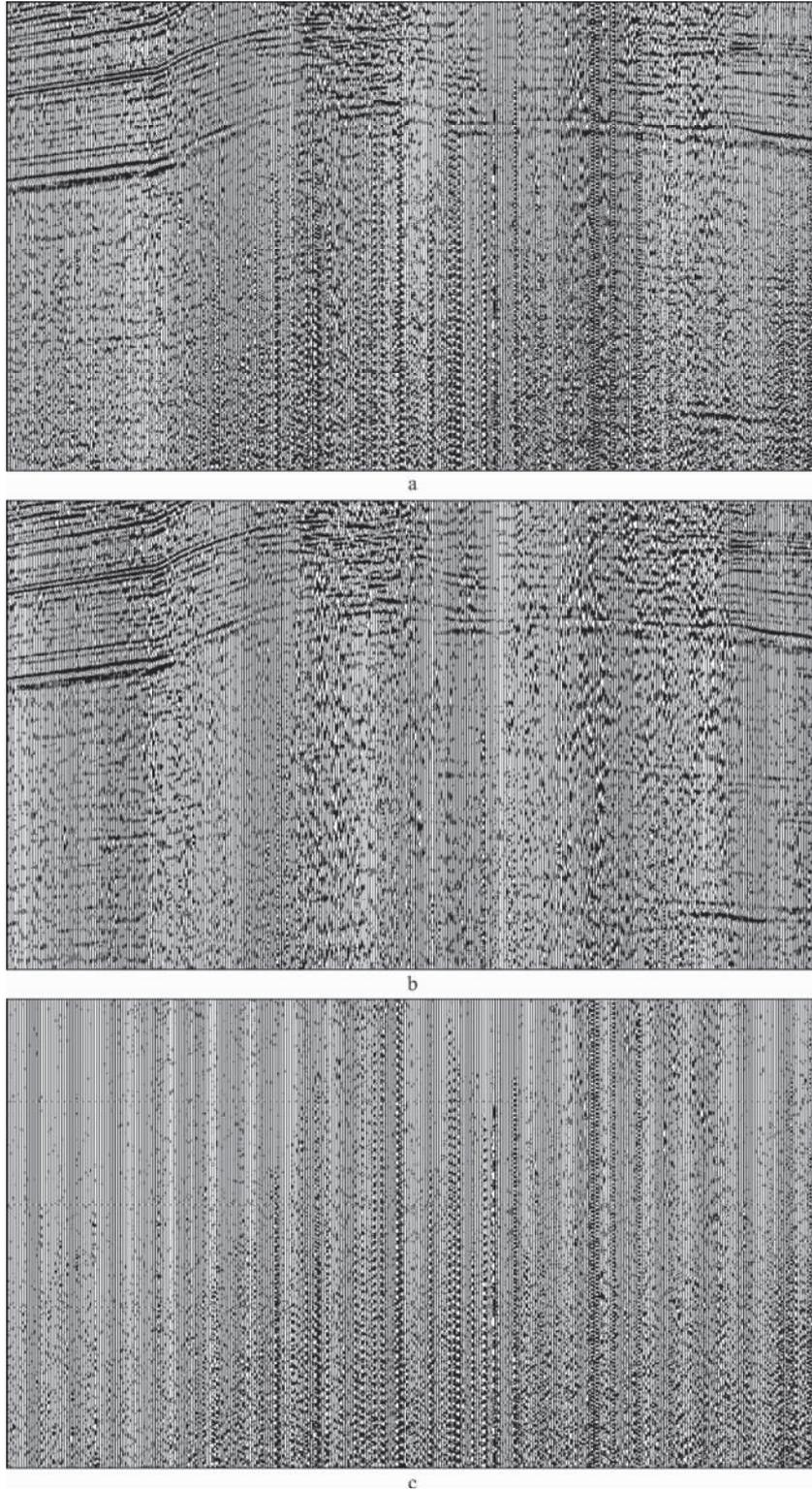


图 10 原叠加剖面(a)异常道自动剔除后的叠加剖面(b)和剔除道的叠加剖面(c)

### 5 结束语

对于城区勘探的地震数据,多种方式的量化分析、异常道检测与剔除是数据处理中一项系统性的工作。通过对东部 CY 城区地震数据的研究,提出了 4 种异常道检测方法,即:初至前数据的能量分析、标志层数据的相关分析、分频分析和衰减特性分析,采用特征参数比较,综合确定坏道的位置,并自动剔除。在应用中也可以根据不同地区实际数据的特点,选择其中的一种或两种方法检测并剔除异常道。在质量监控方面,运用了点-线-面系统的监控方法,总结出异常道的出现规律,保证了坏道自动剔除的效果。

多重约束下的异常道检测、多种方式的数据分析和多环节处理效果的量化监控是提高处理人员认识问题、判断问题能力的有效措施。

感谢东方地球物理公司研究院处理中心梁桂

美主任、贾福宗主任、黄志总工程师、王永明副总工程师及质控组专家对本项工作的指导,感谢项目组成员张凤艳、齐月红及吕英梅给予的帮助。

### 参 考 文 献

- 1 崔兴宝. 复杂地质条件下的地震采集质量监控[J]. 石油地球物理勘探, 2003, 38(1): 11~16
- 2 蔡希玲, 赵波, 贺振华, 等. 异常噪声对叠前多道处理效果的影响[J]. 石油物探, 2002, 41(1): 84~87
- 3 张翎孟, 刘秋林, 张永科. 地震资料品质定量分析和采集参数优选[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(增刊 2): 1~5
- 4 俞寿朋. 高分辨率地震勘探[M]. 石油工业出版社, 1993. 142~145
- 5 蔡希玲, 吕英梅. 地震数据的时频分析与分频处理[J]. 勘探地球物理进展, 2005, 28(4): 265~270
- 6 Hilterman F J. Amplitudes of seismic waves—a quick look[J]. Geophysics, 1975, 40(5): 745 ~ 762
- 7 Sheriff R E. Encyclopedic dictionary of applied geophysics[M]. 4<sup>th</sup> ed. Society of Exploration Geophysicists, 2002. 1~429

(编辑:任 鹏)

\*\*\*\*\*

## 《石油物探》《勘探地球物理进展》2010 年联合征订启事

《石油物探》创刊于 1962 年,面向国内外公开发行人。其办刊宗旨为:介绍科研成果,推广先进技术,开展学术讨论,交流工作经验,直接为发展我国油气地球物理勘探事业服务。开设的栏目有:基础理论,方法技术,经验交流,学术论坛,问题讨论等。

《勘探地球物理进展》为国内外公开发行人刊物,着重介绍国内外勘探地球物理方面的新技术和新方法,以开展学术评论,探讨技术发展趋势、实用方法技术和勘探思路为主;目前设有专家论坛、综合评述、理论研究、方法技术、计算机理论与应用和国外油气勘探等主要栏目,并适时推出各类技术专辑,以充分反映国内外地球物理技术发展的新动态和新趋势。

两刊全彩色印刷,装帧精美。《石油物探》每册定价为 40 元,全年定价为 240 元。《勘探地球物理进展》每册定价为 30 元,全年定价为 180 元。热忱欢迎广大读者订阅。

发行地址:南京市卫岗 21 号石油物探研究所信息中心发行组

邮 编:210014

帐 户:中国石油化工股份有限公司南京石油物探研究所

银行帐号:4301010609100157066 开 户 行:南京市工商银行孝陵卫支行

电 话:(025)84287600 (025)84287718