



重力剖面 and 激电测深联合勘测在涡河断裂研究中的应用^①

王立会¹, 童远林¹, 黎哲君¹, 何永波², 林承灏¹, 袁 泉¹

(1. 安徽省地震局, 安徽 合肥 230031; 2. 中国地震局地球物理勘探中心, 河南 郑州 450002)

摘要: 为查明涡河断裂的位置、性质等参数, 选择重力剖面 and 激电测深联合勘测方法, 对指定区域进行物探勘测工作。结果表明: 由密度差异引起的重力异常位置和岩石电阻率、极化率异常位置基本吻合, 说明以重力剖面 and 激电测深为手段的联合勘测是查找断裂的有效方法。

关键词: 重力异常; 激电测深; 电阻率; 极化率; 涡河断裂

中图分类号: P631

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)02-0634-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2015.02.0634

Application of Joint Exploration of Gravity Profile and IP Sounding Method to the Study of Guohe River Fault

WANG Li-hui¹, TONG Yuan-lin¹, LI Zhe-jun¹, HE Yong-bo², LIN Cheng-hao¹, YUAN Quan¹

(1. Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei, Anhui 230031, China;

2. Geophysical Exploration Center, China Earthquake Administration, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: The Guohe River fault originates from Bozhou, Anhui Province, passing through Guoyang to Mengcheng. According to regional geological inspection, this fault has an exclusive anomaly in gravity and magnetic aspect. In the light of being a hidden fault and thick upper crust, there are few investigations about it, and they tend to be more concerned about gravity and magnetic observations, remote sensing, and historical documents. Therefore, deep geophysical inspection is increasingly important to figure out its characteristics. In order to determine the horizontal location and feature of the Guohe River fault, both the gravity profile and IP sounding method are implemented in the research area's geophysical prospecting. The gravity profile is mainly based on the gravity anomaly, generally caused by density differences, which often indicates the existence of faults. It is easily operated, highly efficient, and low cost. In this paper, 57 gravity points have been observed to detect the potential gravity anomaly in a relatively bigger area to narrow down the inspected region for the IP sounding method. During research, the gravity profile had a length of 4 500 m, in a northeast direction, crossing over Guohe River to the north, about 13 km away from Mengcheng county. Results show that gravity profile value has a very obvious decline between the 54th and 55th observing points with an amplitude of $1.0 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^2$, which could be possibly due to the surface elevation difference of 3 m. In any case, the values of the gravity profile increase from southwest to northeast, in the same direction of the Guohe River fault. Aside from the non-background gravity anomaly, there possibly exists a geological anomaly 500 m underground which has density differences that result in the gravity anomaly, located between the 49th and 53rd observing points, which could be the result of Guohe River fault. on the basis of this conclusion, the IP sounding method, which is based on the resistivity and polarizability change of the rock underground, is applied in this gravity-anomaly area.

① 收稿日期: 2014-08-14

基金项目: 安徽省地震科研基金重点项目(20120601)

作者简介: 王立会(1982—), 男, 江苏盐城人, 工程师, 硕士, 主要从事地球物理勘探、地震安全性评价等方面的工作。

E-mail: 42208581@qq.com

During the research, the symmetry quadrupole vertical sounding method is utilized, beginning at the 42nd gravity observing point and continuing for 1 600 m and 14 acquisition points. When it comes to data processing, the apparent resistivity and apparent polarizability are considered to be the main parameters for this method. As for the apparent resistivity profile, there lies a tiny contour lift, about 300~500 m deep. This potentially indicates that the Guohe River fault lies at this location. Similarly, at about the same position underground, the contour shows a relatively high anomaly with apparent polarizability over 1.5%, which normally is the effect of a fault or faults or geological structures that contain water. Furthermore, it appears that the potential hidden fault is a normal fault, which lies almost vertically underground. Overall, both the gravity profile and the induced polarized method clearly detect the geophysical anomaly very close to where the fault lies. These two methods verify each other, both having anomalies that agree with the geophysical characteristics of the Guohe River fault. As a conclusion, joint exploration using both the gravity profile and IP sounding method is an effective approach for inspecting faults to detect the plane position and approximate cover depth underground.

Key words: gravity anomaly; IP sounding; electrical resistivity; polarizability; the Guohe River fault

0 引言

涡河断裂北西起自安徽亳州,经涡阳至蒙城并可能继续向怀远方向延伸,总体走向 330°,向南西陡倾,顺 NW 向涡河呈直线状延伸。断裂在卫星遥感影像图上表现为延伸极好的线性色带,在重、磁异常图上均有明显显示,航磁向上延拓 10 km 仍然清晰,表明断裂切割深度较大。该断裂形成于中生代末,第四纪早期曾有强烈活动,对第四系沉积有一定的控制。由于该断裂为隐伏断裂,其上覆盖层较厚,前人对该断裂进行研究时多从区域重磁、遥感及历史文献资料入手,因此研究不够深入,断裂地表投影的具体位置不甚清楚。

本文联合重力剖面和激电测深法对研究区域进行勘探,分析重力场异常、电阻率和激化率分布情况,综合查明涡河断裂的位置、性质等参数,为研究涡河断裂活动性提供物探方面资料,也为下一步开展浅层地震勘探、钻探等研究断裂活动时代提供参考依据。

1 地质概况

测区位于蒙城县城西北约 13 km 处,岳坊镇东侧胡寨附近。测区处于淮北平原,地表为第四纪冲积层所覆盖,以棕红色黏土、亚黏土、黄色粉土为主。由于地质构造运动的差异,地壳沉降幅度不同,形成第四系堆积地层厚度不均,涡河以南平均约 600 m,沿涡河约 200 m,涡河以北小于 200 m。东侧小涧镇附近零星分布有低山丘陵。基岩为古近纪砂岩、砾岩等。

2 重力剖面测量

地表的重力场随着地点和时间不同而变化,影响重力场变化的因素主要有测点的纬度、高度、地形、地球潮汐和地球内各种岩石密度差异等。由地下岩石密度变化造成的重力场异常是重力勘探的目的。这些异常通常和地质构造或矿产分布有关,所以地下岩石密度不均匀引起的重力加速度的变化,可以作为研究地下地质构造的重要地球物理信息。这也是本文将重力剖面作为查找涡河断裂手段的物理依据。

2.1 数据采集

重力剖面位于蒙城县岳坊镇东侧,沿 072 乡道呈 NE 向

展布,向北跨越涡河。剖面总长约 4 500 m,有流动重力测点 57 个。将测点按经纬度自西南向东北顺序编号,测点详细分布见图 1。按测点间距可将剖面分为 3 段:(1)Z01~Z46,测点数 46 个,测点间距为 40 m;(2)Z47~Z54,测点数 8 个,测点间距为 80 m;(3)Z55~Z57,测点数 3 个,测点间距约为 600 m。

野外数据观测采用两台 LCR-G 型相对重力仪同步进行,该型号仪器读数分辨率为 $5 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,测量精度为 $10 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。为保证观测数据的精度,在剖面中挑选 Z01、Z17、Z34 和 Z54 四个测点进行返程观测,形成剖面往返闭合观测。

2.2 重力剖面测量成果

2.2.1 数据处理步骤

(1) 观测数据录入:将野外观测数据按一定格式进行整理汇总,包括测点编号、测点经纬度、重力观测值、气温和气压等信息;

(2) 观测数据预处理:对观测数据进行各项改正,包括潮汐改正、仪器高度改正、仪器零漂改正和气压改正,得到观测数据改正后值;

(3) 数据平差计算:设定第 1 个测点(测点 Z01)的重力值为 $0 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,以该点为平差控制点,对两台仪器的改正后观测数据进行联合经典平差计算,得到各测点的相对重力平差值。平差结果表明,重力点值平均平差精度为 $13.5 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,最大点值误差为 $17.1 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;

(4) 重力值纬度校正:受地球自转的影响,地面重力值自低纬度向高纬度地区逐渐增加,根据测点纬度坐标可计算出不同纬度地区地球重力场的理论值,通过对该项进行改正,得到纬度校正后的重力异常结果。

2.2.2 数据处理结果

测区地势平坦,前 54 个测点位于平整的水泥路面,几乎没有高程差异,最后 3 个测点相距稍远,有微小高程差,通过现场勘察认为测点高程变化不超过 3 m。通常情况下,1 m 高程差大约能造成重力值 $0.3 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的差异。由于手持 GPS 的测量精度不足以分辨 10 m 以内微小的地形高程变化,因而将所有测点看作在同一个平面上,未对重力值

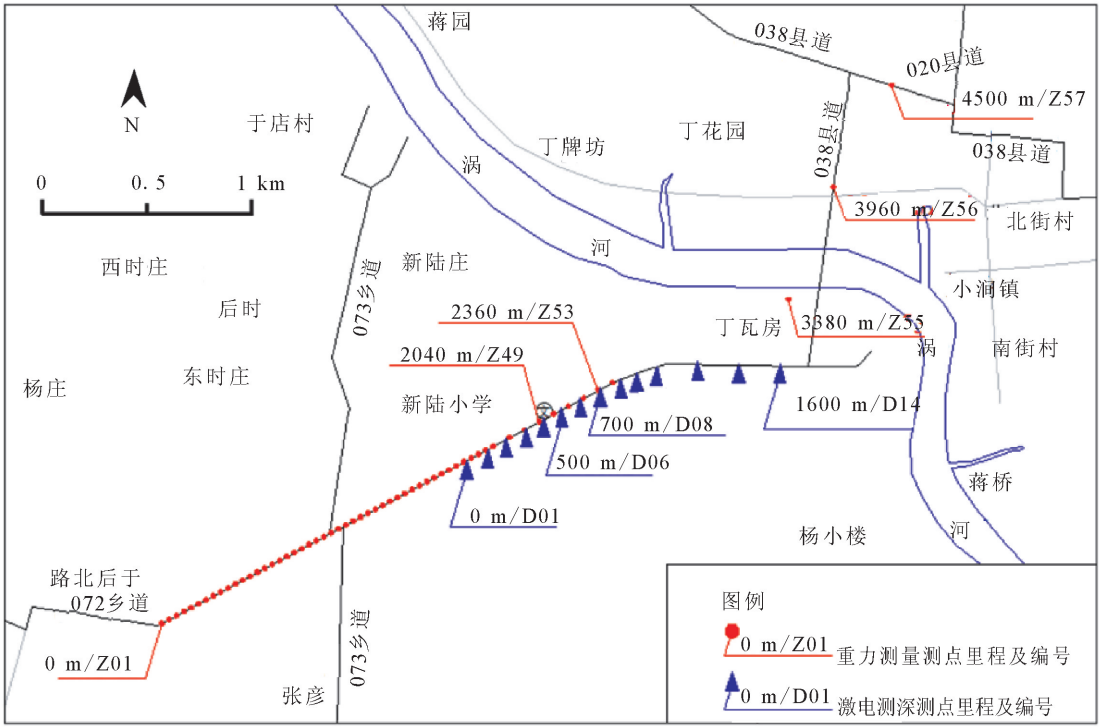


图 1 重力测量和激电测深测点位置示意图

Fig.1 Observation points for gravity measurement and IP sounding

进行高程校正。另外,因测区附近没有绝对重力点可供联测,因而所给出的重力值和重力异常值均为相对值。

以各测点沿剖面方向至第 1 个测点(测点 Z01)的距离为横坐标轴,测点平差重力值和重力异常值为纵坐标轴,绘制剖面重力值和重力异常值变化曲线图(图 2)。

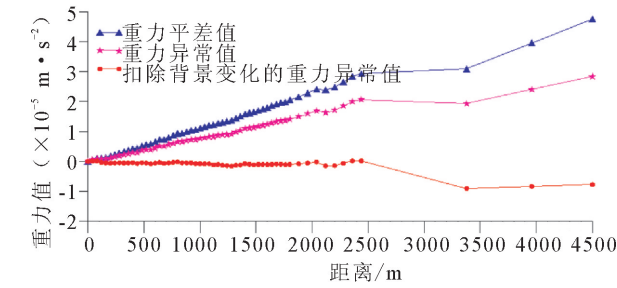


图 2 剖面重力值和重力异常值(相对值)变化曲线图

Fig.2 Changing curves of profile gravity value and gravity anomaly value (relative value)

剖面相对重力值总体变化趋势为自西南向东北逐渐增大,总变化量接近 $4.8 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。具体特征为:从第 1 个测点(点号 Z01)至第 54 个测点(点号 Z54)重力值以稳定的速率($1.2 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{km}$)均匀增加,其中第 50 个测点(点号 Z50)的重力值轻微下降;第 54 个测点(点号 Z54)至第 55 个测点(点号 Z55)重力增加速率缓慢($0.17 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{km}$),随后又恢复较快的增长速率($1.8 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{km}$)。

剖面重力异常(相对值)变化特征和重力值变化特征基本相同,经过纬度校正后,重力异常总变化量为 2.8×10^{-5}

$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。除测点 Z50 和 Z55 重力异常轻微下降外,重力异常值随距离缓慢增大(约 $0.84 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{km}$)。重力异常值是剖面重力测量所要利用的主要成果数据,在假设测点都位于同一水平面的前提下,可以认为重力异常的变化是由地下物质密度差异所引起。从重力异常变化特征来看,剖面自西南向东北存在背景性的重力异常增加,推测是由于较深部(数公里以下)物质密度增加所引起,对该背景性重力异常变化进行扣除后得到的重力异常变化(图 2)可以认为是浅表物质密度变化所致。从图 2 可以看出,在距离大约 2 500~3 500 m 之间(即测点 Z54 至 Z55 之间)存在一个较明显的台阶重力异常变化,幅度达到 $1.0 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,但该段测点可能存在 3 m 以内的高程差异,不能断定该处异常是否由地表高程差异引起。除此之外,在距离约 2 100~2 400 m(即测点 Z49 至 Z53 之间)附近有一个局部重力异常轻微下降区域,幅度约为 $0.2 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,考虑到附近测点所在位置为平整的水泥路面,几乎没有高程差异,再结合重力异常变化的波长,推测该局部重力异常变化可能是地下 500 m 深度范围之内密度异常的反映。

3 激电测深法

在进行电阻率法测量时常发现:在向地下输入稳定电流情况下,仍可观测到测量电极间的电位差随时间而变化(一般是变大),并经相当长时间(一般约几分钟)后趋于某一稳定的饱和值;在断开供电电流后,测量电极间的电位差在最初一瞬间很快下降,而后随时间相对缓慢地下降,并在相当长时间后(通常约几分钟)衰减接近于零。这种在充电和放

电过程中随时间缓慢变化的附加电场现象称为激发极化效应(简称激电效应),是岩、矿石及其所含水溶液在电流作用下所发生的复杂电化学过程的结果。激发极化法(简称激电法)是以不同岩、矿石激电效应之差异为物质基础,通过观测和研究大地激电效应探查地下地质情况的一种分支支电法。该方法同常规电法较为相似,不同之处在于可以取得极化率等参数,已广泛应用于找矿、找水、断层勘探等地球物理勘探领域。

3.1 数据采集

结合前期重力剖面测量情况,依据重合重力剖面的原

则,激电测深测线在重力异常范围内布置,起点大致位于重力测量第 42 个测点处,测线总长 1 600 m(图 1),基本沿现场公路两侧布置测线。共测量 14 个激电测深点,前 11 个测点间距为 100 m,后 3 个测点间距为 200 m。

激电测深采用对称四极垂向测深法,测量装置形式为 $AB:MN=3:1$,具体极距分布情况见表 1。野外测量仪器采用重庆地质仪器厂生产的 DUK-2B 型多功能数字直流激电仪。供电电极 A、B 使用多根铜电极并联,测量电极 M、N 使用不极化罐。现场采用电池箱串联供电,最大直流供电电压为 460 V。

表 1 激电测深极距表
Table 1 Polar distance in IP sounding

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(MN/2)/m	1.8	4.5	11	14	19	25	33	45	60	80	105	140	167
(AB/2)/m	5.4	13.5	33	42	57	75	100	135	180	240	315	420	500

3.2 激电测深测量

采用 WinSurfer 软件对视电阻率、视极化率进行处理、制图,得出激电测深剖面视电阻率和视极化率成果图(图 3)。图中,横坐标为剖面的 X 方向里程,单位:m;纵坐标为剖面的 Y 方向深度(AB/2),单位:m。两张图中的数据分别表示:视电阻率 R_0 ,单位: $\Omega \cdot m$;视极化率 M_1 ,单位:%。

(1) 激电测深剖面视电阻率
从图 3(a)看,整体电性剖面地层连续性较好,第四系覆盖土层电阻率值范围大约在 $10 \sim 35 \Omega \cdot m$,古近系地层完整电性界面在 $60 \sim 100 \Omega \cdot m$,该界面埋深沿测量方向呈逐渐变浅的趋势。在里程桩号 600 m(位于重力测量测点 Z52、重力测量里程桩号 2 300 m 附近)左右,剖面下部视电阻率等值线有明显扭曲,呈剧烈抬升状。推测涡河断裂分布在里程桩号 600 m 左右,正断层性质。

(2) 激电测深剖面视极化率成果
从图 3(b)看,整体极化率剖面分布均匀,区内视极化率正常背景值在 1.5% 以内,大于 1.5% 判定为断裂带、破碎带含水较高所致。局部过大过小数值均为外界环境等干扰引起,作为假异常给予排除。在里程桩号 500~700 m 左右,深度约 150 m 以下存在一处高激化率区域。推测涡河断裂分布在里程桩号 500~700 m(约位于重力测量测点 Z51~Z53、重力测量里程桩号 2 200~2 400 m)左右,断层的倾角较陡,近直立。该位置与视电阻率成果推测的位置较为吻合,同时也与重力测量的异常位置(位于重力测量里程桩号 2 100~2 400 m)大致吻合。

4 结论

涡河断裂是一条沿涡河呈直线状延伸的隐伏断裂,其在地表投影的具体位置不甚清楚。因此,本次中利用重力测量操作简便、高效、成本较低等优点,首先在较大范围内探测重力异常,为开展激电测深勘探工作缩小探测范围;然后重合重力异常范围布置激电测深测点,获取视电阻率剖面和视极化率剖面;最后综合分析两种物探方法的探测成果,从而查

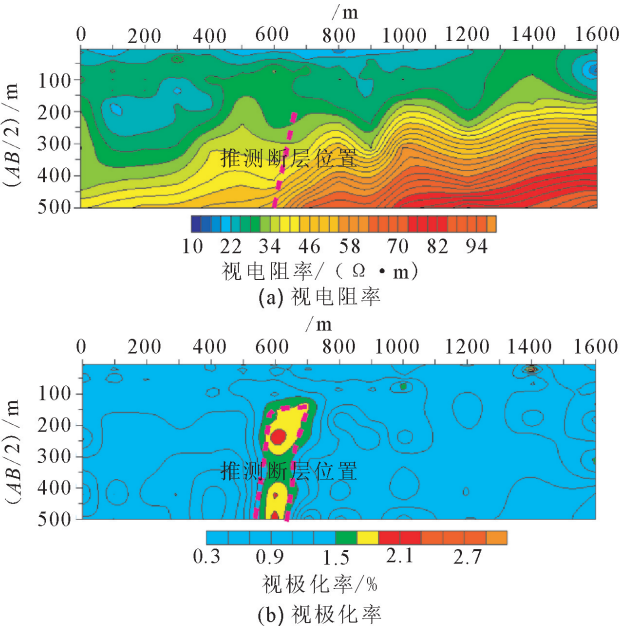


图 3 激电测深剖面视电阻率和视极化率成果图
Fig.3 Apparent resistivity and apparent polarizability of IP sounding profile

明涡河断裂的位置、性质等参数,得出以下结论:
(1) 涡河断裂引起的密度异常、电阻率异常、极化异常均有明显反映,且在空间位置分布上也有较好的对应关系,说明以重力剖面和激电测深为手段的联合勘测是查找涡河断裂的有效方法。
(2) 根据本次重力剖面和激电测深联合勘测成果,可以推测出涡河断裂所通过的物探区域内第四系覆盖层较厚,且沿测量方向呈逐渐变薄的趋势;涡河断裂分布在激电测深测线里程桩号 500~700 m,埋深约在 150 m 以下,性质为正断层,倾角较陡,近直立。

参考文献 (References)

[1] 陆镜元,曹光喧,刘庆忠,等.安徽省地震构造与环境分析[M].合肥:安徽技术出版社,2004.
LU Jin-yuan,CAO Guang-xuan,LIU Qing-zhong,et al.Seismic Structure and Environment Analysis of Anhui Province[M].Hefei:Anhui Technology Publishing House,2004.(in Chinese)

[2] 钟文胜,韦彬,陈贻祥,等.地面高精度重力测量技术在岩溶地区应用效果的探讨[J].中国科技信息,2006(8):117-119.
ZHONG Wen-sheng,WEI Bin,CHEN Yi-xiang,et al.The Discussion for Effect of Application of Ground Microgravity Survey in Karst Region[J].China Science and Technology Information,2006(8):117-119.(in Chinese)

[3] 李术才,刘斌,李树忱,等.基于激发极化法的隧道含水地质构造超前探测研究[J].岩石力学与工程学报,2011,30(7):1297-1309.
LI Shu-cai,LIU Bin,LI Shu-chen,et al.Study of Advanced Detection for Tunnel Water-bearing Geological Structures with Induced Polarization Method[J].Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2011,30(7):1297-1309.(in Chinese)

[4] 杨荣丰,张可能,徐卓荣,等.多种物探方法在湘潭城区活断层勘探中的应用[J].工程地质学报,2006,14(6):847-851.
YANG Rong-feng,ZHANG Ke-neng,XU Zhuo-rong,et al.Exploration of Fault Zone in Urban Xiangtan with Selfpotential Frequency, High Density Resistivity and Geological Radar Methods[J].Journal of Engineering Geology,2006,14(6):847-851.(in Chinese)

[5] 杜良,葛宝,朱丽丽,等.综合物探技术在隐伏断层探测中的研究与应用[J].工程勘察,2012(1):81-85.

DU Liang,GE Bao,ZHU Li-li,et al.The Research and Application of Comprehensive Geophysical Exploration Technique to Buried Fault Detection[J].Geotechnical Investigation and Surveying,2012(1):81-85.(in Chinese)

[6] 金东淳,崔天日.物探方法在探测隐伏断层中的应用[J].世界地质,2003,22(1):82-85.
JIN Dong-chun,CUI Tian-ri.Applying Geophysical Methods for Detecting Buried Faults[J].Global Geology,2003,22(1):82-85.(in Chinese)

[7] 方盛明,张先康,刘保金,等.探测大城市活断层的地球物理方法[J].地震地质,2002,24(4):606-613.
FANG Sheng-ming,ZHANG Xian-kang,LIU Bao-jin,et al.Geophysical Methods for the Exporation of Urban Active Faults[J].Seismology and Geology,2002,24(4):606-613.(in Chinese)

[8] 冉志杰,李皓,吕国军,等.夏垫断裂下垫段浅部构造特征地震探测[J].地震工程学报,2013,35(3):656-663.
RAN Zhi-jie,LI Hao,LV Guo-jun,et al.Seismic Detecting for the Shallow Tectonic Features of the Xiadian Fault[J].China Earthquake Engineering Journal,2013,35(3):656-663.(in Chinese)

[9] 雷启云,柴炽章,王银,等.银川盆地西大滩隐伏断层晚第四纪活动特征[J].西北地震学报,2012,34(2):186-191.
LEI Qi-yun,CHAI Chi-zhang,WANG Yin,et al.Activity Characteristics of Xidatan Buried Fault in Yinchuan Basin in Late Quaternary[J].Northwestern Seismological Journal,2012,34(2):186-191.(in Chinese)

(上接 633 页)

[9] 许建明,都小芳,徐海.三维过渡带地震资料处理难点与对策[J].石油天然气学报,2010,32(2):245-248.
XU Jian-ming,DOU Xiao-fang,XU Hai.Difficulties and Strategies for Seismic Data Processing in 3D Transitional Zone[J].Journal of Oil and Gas Technology,2010,32(2):245-248.(in Chinese)

[10] 赵学武,罗新勇,罗敏学.复杂过渡带三维项目 SPS 文件数据的简化处理[J].石油地球物理勘探,2008,43(增刊 2):108-111.
ZHAO Xue-wu,LUO Xin-yong,LUO min-xue. Simply Processing of SPS Data in Complex 3D TZ project[J].OGP,2008,43(Supp2):108-111.(in Chinese)

[11] Andreas C,Mike G,John P.Planning land 3D Seismic Surveys[J].Society of Exploration Geophysicists Geophysical Devel-

opments Series,2000(9):125-120.

[12] 强正阳,卢育霞,陈永明,等.浅层弯线地震勘探采集与处理技术[J].地震工程学报,2013,35(1):139-144.
QIANG Zheng-yang,LU Yu-xia,CHENG Yong-ming,et al. Shallow Seismic Prospecting Data Acquisition and Processing Technology of Crooked-line Measurement[J].China Earthquake Engineering Journal,2013,35(1):139-144.(in Chinese)

[13] 蒋连斌,侯成福,刘仁武,等.沙特复杂过渡带地震资料采集中的难点及对策[J].石油物探,2009,48(2):157-167.
JIANG Lian-bin,HOU Chen-fu,LIU Ren-wu,et al.Difficulties and Strategies for Seismic Data Acquisition in Complex Transitional zone, Saudi Arabia[J].Geophysical Prospecting for Petroleum,2009,48(2):157-167.(in Chinese)