



自动优化设计在过渡带三维地震勘探中的应用^①

石双虎¹, 李培明¹, 白光宇¹, 贺涌¹, 李红星²

(1.中国石油东方地球物理勘探有限责任公司,河北涿州 072751; 2.东华理工大学核工程与物理学院,福建福州 330013)

摘要:在复杂过渡带三维地震勘探项目中,施工设计包括海陆观测系统设计、从属线束设计、偏点设计等,其优化对于提高地震数据采集效率,保证资料品质,减少空炮、废炮和重炮,实现资料无缝连接至关重要。这就要求技术人员针对工区特点提前合理设计特殊观测系统,优化炮点布设,从而最大限度地满足覆盖次数均匀的需要。通过自动优化设计施工方式,可以减少人工误差,使采集结果最大限度地实现设计要求,从而提高效率、节约成本。

关键词:过渡带;自动优化;微观设计;障碍物

中图分类号: P631.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)02-0629-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2015.02.0629

Application of Auto-optimization Design to Three-dimensional Seismic Exploration in Transitional Zone

SHI Shuang-hu¹, LI Pei-ming¹, BAI Guang-yu¹, HE Yong¹, LI Hong-xing²

(1.Bureau of Geophysical Prospecting INC., CNPC, Zhuozhou, Hebei 072751, China;

2.Department of Nuclear Engineering and Geophy, East China Institute of Technology, Fuzhou, Fujian 330013, China)

Abstract: The conventional transition zone in three-dimensional (3D) operational design is made by splitting the operational area into two parts (land and ocean) in accordance with the basic parameters of the contract after scouting the practical water depth, obstacles, and terrain. Then the acquisition can be made according to two kinds of geometry. Of course, the kinds of sources are different due to water depth and land terrains; there are different guns, explosives, and vibroseis. During the period of design, the design of offset points is finished by using professional software, such as green mountain or KLseis. When acquisition is completed, the offset point's optimization is made. There are three problems in the actual operation. Firstly, the progress of the project is limited to permit progress, and permits are very difficult to get in some places, which affect the production schedule. Secondly, the design period is longer due to the conventional design methods. Thirdly, for the complex region, the late offset point optimization makes it very difficult to meet the requirements of the original design, which results in void or invalid shots and affects the economic benefits. Because of these problems, it is urgent to find a method to make design flexible and fast. This design can reduce the design period, improve the design efficiency, and meet the requirement of uniform fold to the maximum extent in the process of optimization design. It is even more important in complex transition zone 3D seismic exploration projects. Our operational designs include ocean geometry, land geometry, sub-swath, and offset point designs. It is vital for the optimization of the operation design method to improve the seismic data acquisition efficiency, ensure the data quality, reduce duplication of shooting, and realize a seamless connection of the data. This requires that the technician designs special micro-geometry and optimizes shot layout in view of project characteristics to meet the needs of maximum uniform fold. This paper presents an automatic optimization design method, that is to say, using a program to optimize reduces the manual errors, makes the acquisition results realize design requirements, and then improves the efficiency.

① 收稿日期: 2014-07-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41364004)

作者简介: 石双虎(1980—), 高级工程师, 博士, 主要从事地震勘探数据采集和非常规油气勘探与开发方面的研究。

E-mail: dgtgha@126.com

This paper provides a detailed example and gives the detailed flows of design and offset point optimization. Application of automatic optimization design in complex 3D transition zone projects has the following advantages: (1) Flexible application of micro-design or sub-swath design can deal with the relationship between the production schedules and operational efficiency very well. (2) Application of offset point optimization design can effectively reduce void shots, invalid shots, and duplicated shots, which will effectively decrease production costs, shorten the design period, and improve production efficiency. (3) According to the principle of the offset point optimization design, combined with information about the water depth and other obstacles, land and ocean acquisition geometries can be divided, the excitation region can also be easily achieved, and the excitation sources include vibroseis, explosives, and different kinds of air guns. (4) The coordinates of obstacles which the survey department provides can be directly used to offset optimization design, which significantly simplifies the computation steps and saves design time. (5) Automatic optimization design and its flow that the paper gives provide a basis for complex transition zone operations.

Key words: transitional zone; automatic optimization; micro-design; obstacle

0 引言

常规的过渡带三维施工设计是按照合同确定的基本参数,在实际踏勘了解水深、障碍物、地形情况的基础上将工区分成海上部分和陆上部分,然后利用两种观测系统进行数据采集。期间借助专业软件,比如绿山或者 KLseis 进行偏点设计^[1-2],当野外采集完成后,再进行偏点优化。在实际操作中存在问题:(1)工程进度受限于许可进度,有些地方的许可很难办理,影响生产进度;(2)受常规设计方式的影响,设计周期较长;(3)对于复杂区,后期偏点优化难以满足设计初衷的要求,从而产生废炮和空炮,影响经济效益。

鉴于上述问题,迫切需要一种方法进行灵活、快速的设计,从而减少设计周期、提高设计效率,并在优化设计的过程中最大限度地满足覆盖次数均匀的需求^[1,3-5]。

1 常规的过渡带施工设计

常规的过渡带野外设计是基于水深对海陆过渡带边界区的炮点,在测得水深的基础上划分海、陆观测系统边界,再根据设备条件及海陆施工难易程度设计两套观测系统^[6]。根据地表条件和水域施工条件,陆上部分采取可控振源与井炮激发,海上根据水深情况分别采用深水气枪、浅水气枪或小气枪进行激发。观测系统和激发方式一旦决定,设计人员就需要利用绿山、KLseis 等软件,在野外踏勘的基础上,在底图上加载障碍物及理论炮点,并进行“开-关”炮点编辑。

这种施工设计方式存在以下缺点:

(1) 观测系统变通性较差。

在复杂三维过渡带施工区域中常常有许多大型的企业,有些区域因为重复放炮需办理多次许可。如果一味地按照海陆两套观测系统设计,则工程进度势必受到许可的影响,因此必须考虑在原来海陆观测系统设计的基础上再行细化,从而提高施工效率^[7]。

(2) “开-关”炮点编辑法受如下因素制约:

① 耗时长。一束线的偏点有时能达到两千炮,对炮点进行编辑设计需要几天时间。如果地形复杂,障碍物较多,则需要更长时间,偏点设计的滞后很容易造成生产的停滞^[8-9]。

② 容易出错。由于人工操作,很容易因疲劳造成偏差误差,产生废炮、影响覆盖次数及造成产量损失^[10-13]。

③ 没有后台痕迹。这种设计方式不能在后台产生文本形式的痕迹,即设计的痕迹存在图片与文本的断层,或者图片与文本的失真,这将影响后期的偏点归位。偏点应该是与无法按照理论位置放炮的正点一一对应,否则要么产生空炮,要么产生废炮,势必影响生产效率。

2 优化施工方案

针对常规设计方式的缺陷,本文尝试了多种优化方案。

2.1 微观设计法

表 1 是东方公司某海外三维项目的海陆两套观测系统参数。其中陆地与过渡带采用重复排列的放炮模式,浅水和深水采用重复炮点的模式。

表 1 某过渡带施工参数

Table 1 Construction parameters in certain transitional zone

采集区域	陆地/过渡带	浅水/深水
测线方向	西南-东北 (方位角 51°)	西南-东北 (方位角 51°)
观测系统	16 线×240 道×48 炮×正交×中间放炮	8 线×240 道×96 炮×正交×中间放炮
接收间距	300 m(线距)×50 m(点距)	300 m(线距)×50 m(点距)
激发间距	100 m(线距)×50 m(点距)	100 m(线距)×50 m(点距)
最大偏移	5 975 m(沿线)×3 425 m(垂直)	5 975 m(沿线)×3 425 m(垂直)
面元尺寸	25 m×25 m	25 m×25 m
覆盖次数	8×60=480	8×60=480

所谓微观设计法即在受限制的海上部分采用气枪激发、陆地排列接收的基础上,综合考虑生产效益,兼顾生产进度与产量,选择适当的微观系统进行生产。实际生产中,通常只有在受限制的水域采取从属线束(SubSWATH)进行放炮,所谓从属线束指的是在整条线束里“抠出”一些区域,兼顾覆盖次数均匀的基础上采用不同于当前线束的激发源和观测系统放炮。比如在受限制水域采用小气枪激发陆地排列接收(图 1)。但在一些地区,由于许可难以办理,为提高效率,采用大气枪激发、陆地排列接收的从属线束放炮的模式,即重复排列不重复炮点。这种方式既满足了覆盖次数,又减少了风险。虽然因炮数减少一半,影响了经济效益,但节省了时间,推动了整体项目的进程。

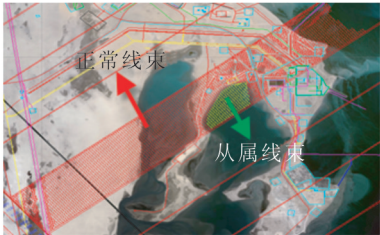


图 1 从属线束示意图
Fig.1 Sketch map of the subswath

2.2 “移动”炮点进行偏点设计

“开-关”编辑炮点法是在绿山软件中简单的“开-关”炮点,要求关掉无法激发的理论炮点,打开偏移后的新点,两者一一对应(图 2)。只开不关造成废炮,只关不开造成空炮,这种方法进行炮点偏移时没有痕迹,后期难以归位。

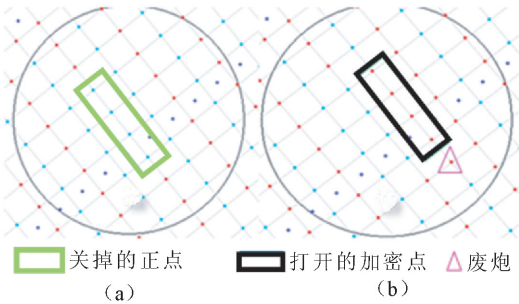


图 2 “开-关”炮点偏移法示意图

Fig.2 Diagram of the “on-off” shot-points offset method

为了产生与过程相匹配数据,利用绿山“移动”炮点时只改变桩号而坐标不变(在一个网格内的差别)的原理,偏移完炮点后输出炮点文件,利用程序通过坐标寻找匹配的炮点,从而解决了“开关”编辑有时不能归位的弊端。图 3(a)是移动前的炮点显示;图 3(b)是移动进行中;图 3(c)是移动后的炮点显示。这种方法对于少量相对复杂的炮点偏移可收到预期效果,但对于大批量的炮点偏移,由于采用手工操作,效率很低,相较于“开-关”编辑炮点法,更耗时且更易造成空炮和废炮,因此适用范围较小。

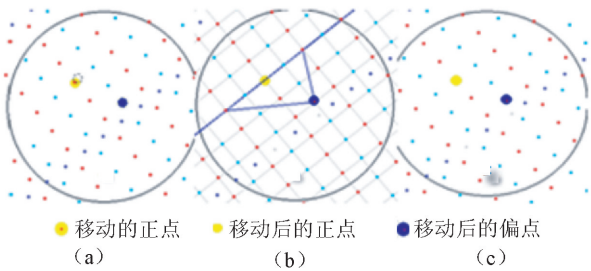


图 3 移动炮点偏移法示意图

Fig.3 Diagram of the moving shot-points offset method

2.3 加密多放炮后期匹配法

加密多放炮后期匹配法即在复杂施工区域或许可较难办理的区域,为防止空点的产生,采用加密多放炮的方法,放炮完成后进行偏点归位。

这种方法可解决覆盖次数均匀,但由于甲方要求偏点和正点是一一对应的,因此不可避免会产生废炮。如图 4(a)是未加密的炮点,即 3 个蓝点黑心处及原点都未放炮,也就是造成了空炮;图 4(b)为针对原点有 3 个蓝点红心的加密点,实际生产中只能用到其中的一个点作为原点的偏点,另外两个点则只能作为废炮进行处理。既浪费了资源,又造成了生产冗余。

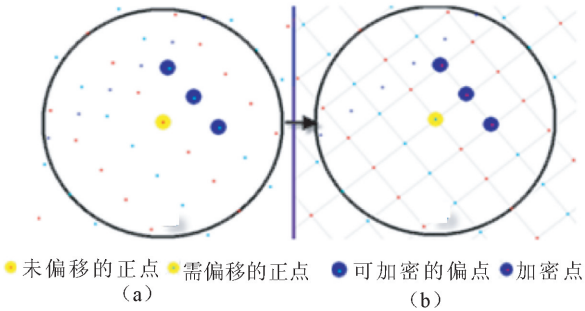


图 4 加密放炮法

Fig.4 Shooting encryption method

2.4 自动优化设计法(包括炮点偏移)

针对以上情况,我们须找到一种平衡的施工优化设计方案,从而使得野外设计省时,且准确率较高。在完成了相当量的线束后,发现造成空炮、废炮的原因相当一部分在于手工操作。这就要求我们通过自动优化的方式完成设计。

野外施工设计方案确定以后,主要工作就是偏点设计。

对于过渡带三维项目而言,自动优化设计主要体现在两个方面:第一,观测系统优化设计;第二,偏点优化设计。

自动优化设计的原理如下:通过输入水深、潮差文件划分海陆边界,进而通过船体尺寸、设备、许可情况等文件确定微观系统和激发源类型。一旦观测系统和边界确定,输入线束边界、障碍物边界、炮点偏移规则及安全距离,障碍物边界经过安全距离约束后,利用障碍物边界剔除理论边界中需要偏移的炮点和加密点。此时将产生剔除障碍物后的炮点(包括加密点)和被剔除的炮点(不包括加密点)。根据合同中确定的偏移规则,建立偏点的一一对应关系。详细流程见图 5。

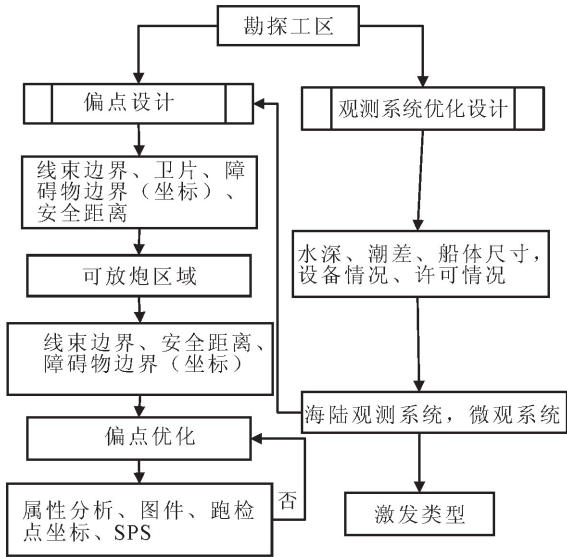


图 5 过渡带自动优化设计流程图

Fig.5 Flow chart of auto-optimization design in transitional zone

这种方法不需要通过绿山将障碍物或水深的边界转化成炮点的边界,可以直接输入障碍物或水深的坐标进行优化设计。实现坐标与炮点、水深与炮点的互通,从而简化了过程,加快了设计速度。

偏点的具体步骤如图 6,将去除障碍物等文件的炮点文件中的加密点分离出来,产生加密点文件,再将障碍物范围内的炮点分离出来,形成暂时的空点文件。计算在加密点文件中符合偏移规则的偏点个数,然后按照最少匹配原则进行匹配。不符合匹配规则的或符合匹配规则却无点匹配(被其他点占用)就是最终的空点,而加密点中参与匹配的点就是最终的偏移炮点。

在一些较为复杂的工区,利用常规的炮点偏移方法很难,即使可行也耗时较大,且容易出现废炮、空炮。利用自动优化设计方案可避免这些情况的发生。

3 效果分析

众所周知,对于过渡带项目施工,由于船只的租赁费极高,缩短工期意味着提升效率、节约成本。

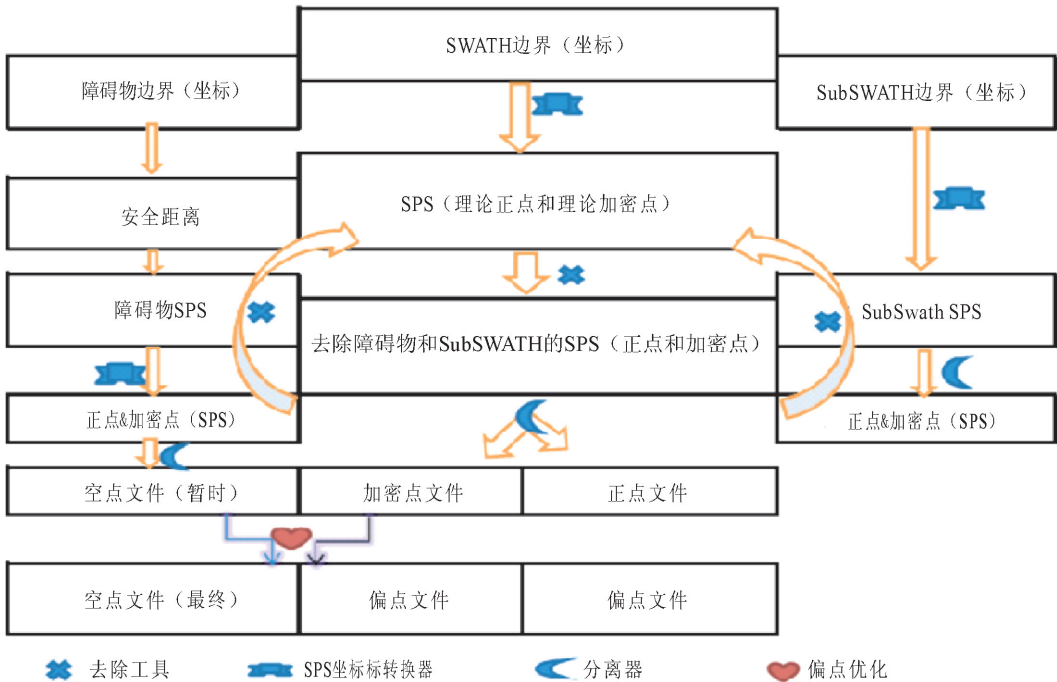


图 6 偏点优化流程图

Fig.6 Flow chart of offset point optimization

东方公司承担的海外某过渡带三维项目,工区内陆地部分分布着沙漠、机场、生活居住区、钻井平台、管线、油区管线设施等;过渡带地区,分布着航道、海上油田及区域频繁活动的船只。障碍物种类繁多,勘探难度相当大。

项目采用海、陆两套仪器,四种震源(可控震源、炸药、大气枪和小气枪)激发和三种检波器(陆检、沼泽以及双检)接收的方式进行施工,要求实现从陆地跨越过渡带至近岸浅海区的地震资料无缝采集,且工期限制在 3 年内。

在项目实施过程中,由于施工设计过程的优化,节省了

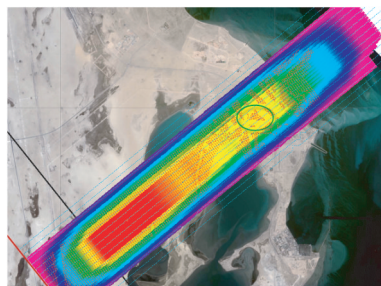
时间,提高了效率,效果明显。

3.1 微观系统的灵活应用

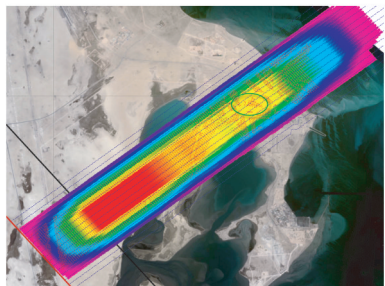
此过渡带三维项目陆上因较易放线,采取重复排列放炮,而海上因为生产进度较快,使用重复炮点放炮。但在水深受限制区域,浅水气枪与钻井船无法使用,采用小气枪放炮、重复排列或重复炮点接收的原则。而对于一些许可难办理的区域区域和船驶入驶出有危险的区域,采用浅水气枪激发、重复排列接收的原则。这在一定程度上减少炮点,使生产进度和安全得到保障,从而提高了效益。

3.2 偏点优化设计方案

利用自动优化程序,摒弃手工偏点易造成空炮或废炮的弊端,在最大程度满足覆盖次数均匀的基础上最大化地减少空点和因偏移造成的废炮。



(a) 常规偏点



(b) 自动优化偏点

图 7 覆盖次数图

Fig.7 Coverage plot

图 7 是某线束常规设计和自动优化设计的覆盖次数图。从图上圈出的部分可以看到,应用自动优化法其炮点(图中红点部分)部署更为合理,覆盖次数也较为均匀。另外常规设计耗时 1.4 天,产生偏点 1 178 炮,空点 345 个;通过自动优化设计,实现程序化的偏点,耗时 0.5 小时(包括数据准备),偏点个数为 1 149 炮,比常规设计少 29 炮,空点为 326 个,减少 19 个。由于产生过程是一一对应的关系,且最大限度地减少了人为误差的影响,因此不存在后期因找不到对应关系而产生废炮、空炮,造成质量、资源双重损失的情况。

通过偏点优化和微观系统等的应用,野外解释组较快地提供了设计方案,保证项目的高速运行和资料的完整性,项目得以提前 183 天完成施工。

4 结论和问题

自动优化设计在复杂三维过渡带项目中的应用,有着如下的优点:

(1) 灵活的应用微观设计可因地制宜地处理生产进度与效益的关系;

(2) 应用偏点优化设计可有效地减少空炮、废炮、重炮的产生,从而有效地降低生产成本,提高生产效率;

(3) 根据偏点优化设计原理,结合水深和其他障碍物的信息可以划分海陆采集线束,也可以细分震源、井炮和不同类型气枪的激发区域;

(4) 可直接利用测量获得的障碍物坐标进行偏点优化

设计,明显简化运算步骤,节省设计时间;

(5) 制定的过渡带自动优化设计为复杂过渡带施工设计提供了依据。

参考文献(References)

- [1] 伊万顺,徐海,都小芳.复杂地区炮点偏点优化设计方法讨论及应用[J].成都理工大学学报:自然科学版,2012,39(4):403-407.
YI Wan-shun, XU Hai, DOU Xiao-fang, et al. Discussion and Use of Shot Point Offset Optimization Method in Complex Areas[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2012, 39(4): 403-407. (in Chinese)
- [2] 冯凯,和冠慧.一种优化的过渡带三维观测系统[J].石油物探,2008,47(5):511-518.
FENG Kai, HE Guan-hui. An Optimized 3D Geometry for Transitional Zone Seismic Survey[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2008, 47(5): 511-518. (in Chinese)
- [3] 岳英,薛广建.渤海过渡带地震采集处理技术及应用[J].天然气工业,2007,27(增刊 A):209-212.
YUE Ying, XUE Guang-jian. Seismic Acquisition, Processing Technologies and Theirs Application in Offshore Transitional Zone[J]. Seismic Natural Gas Industry, 2007, 27(Suppl A): 209-212. (in Chinese)
- [4] 印峰.水陆过渡带改进地震施工方法初探[J].上海地质,2008,107:8-10.
YIN Feng. The Discusses About the Improvement of the Quality of Seismic Exploration in the Transition's Zone of Water and Ground[J]. Shanghai Geology, 2008, 107: 8-10. (in Chinese)
- [5] 全海燕,刘仁武,何文华,等.浅海过渡带地区气枪阵列的设计与优化[J].石油地球物理勘探,2008,43(4):371-374.
QUAN Hai-yan, LIU Ren-wu, HE Wen-hua, et al. Design and Optimization of Airgun Array in Transient Zone of Shallow Sea [J]. OGP, 2008, 43(4): 371-374. (in Chinese)
- [6] 杨善钦,徐锦玺,任福新,等.垦东地区海陆过渡带地震采集技术应用[J].物探与化探,2005,29(2):163-166.
YANG Shan-qin, XU Jin-xi, REN Fu-xin, et al. Seismic Exploration Technology and Its Application to the Transitional Zone of Kendong Area [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2005, 29(2): 163-166. (in Chinese)
- [7] 石双虎,邓志文,等.高效地震勘探数据采集智能化质控技术[J].石油地球物理勘探,2013,48(增刊 1):7-11,46.
SHI Shuang-hu, DENG Zhi-wen, DUAN Ying-jie, et al. Intelligent Quality Control in High Efficiency Seismic Data Acquisition [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2013, 48 (Suppl 1): 7-11, 46. (in Chinese)
- [8] 许建明,丁冠东,徐海.三维过渡带地震勘探采集设计难点与对策[J].地质科技情报,2010,29(3):119-123.
XU Jian-min, DING Guan-dong, XU Hai. Difficulty of 3D Seismic Acquisition and the Design Proposal in the Intermediate Zone [J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(3): 119-123. (in Chinese)

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)

[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 Developments 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)

(上接 633 页)