

文章编号: 1001-1749(2023)05-0585-07

复杂障碍物区三维地震观测系统多方位角 变观设计技术及应用

田锦瑞, 亚东菊, 张 昭, 曹秀森, 张晓盼, 牛清华, 邱兆泰

(河北省煤田地质局 物测地质队, 邢台 054000)

摘要: 村庄作为大型障碍区在地震数据采集施工过程中往往会成为整个工区的施工难点。为解决这些难点问题,对地震采集观测系统进行特殊观测系统设计是唯一有效的技术途径。项目的地震数据采集质量和采集成本与特殊观测系统的设计的优劣息息相关。这里使用基于贪心算法的特殊观测系统优化设计程序,在测试工区对大型村庄障碍区和浅层地震地质条件运用了不同测线方位角的交叠观测系统设计。在村庄等具备不同测线方位角的观测系统布设条件的大型障碍区,使用优化合理、经济适用的特观设计做出了初步尝试,为野外地震数据采集工作的降本增效提供了有利的技术支持。

关键词: 方位角; 多观测系统交叠; 特殊观测系统设计

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.05.04

0 引言

三维地震勘探项目的地震数据采集难度,通常与区内的地表复杂程度存在较大关系。当施工区域内存在湖泊、村庄、工厂等大型障碍区时,障碍区下一定深度的地震数据将会丢失。这致使区域中浅层地质任务无法完成,并且地震数据采集的施工成本控制将变得极其困难。

目前解决这些问题的主要技术手段为,增加布置与原有观测系统同测线方位角的特殊观测系统。特殊观测系统设计通常首先要依据障碍区复杂程度进行分级,在此基础上将局部的激发点和接收点的物理位置及组合方式进行合理、可行的修改,以弥补因障碍区造成的目的层地震数据缺失。优秀的特殊观测系统设计需在覆盖次数、炮检距分布及方位角分布上具备良好的均匀性。

近些年,诸多学者在特殊观测系统方面做了许多研究,徐忠华^[1]设计了 Design 地震软件,该软件具有人工特殊观测系统设计功能,可对实际覆盖情况进行模拟演示,并及时指导野外生产;李飞等^[2]提出树枝型特殊观测系统,在野外现场进行实施中取得了较好的应用效果;孙希杰^[3]针对大村庄、铁路及公路等多种障碍物,使用 Goody GIS 结合克浪软件,采用人机交互方式反复论证,取得高质量的地震原始数据;刘军胜^[4]利用加减法设计思路,通过 Omni 软件的观测系统设计模块,在激发点障碍区的特殊观测系统设计应用中获取了高品质的地震资料;王树威^[5]应用克浪地震采集设计系统进行特殊观测系统设计,在我国东部某复杂区的实际应用中取得了良好的野外数据资料。

基于此,笔者使用了基于贪心算法的地震数据,采集特殊观测系统设计优化程序^[6],结合在山东省西南部地表复杂区的三维地震数据采集工作,针对

收稿日期: 2022-06-09

基金项目: 河北省科学技术厅院士合作重点单位和院士工作站项目(V1647998930230)

第一作者: 田锦瑞(1982-),男,学士,高级工程师,主要研究方向为地震数据采集处理解释, E-mail: b00076@qq.com。

通信作者: 张昭(1983-),男,学士,高级工程师,主要研究方向为煤田地震勘探工作, E-mail: 41563199@qq.com。

该区中应用不同测线方位角的观测系统叠加,实现特殊观测系统设计进行了探讨,为不同测线方位角的观测系统叠加,在大型障碍区的特殊观测系统设计做出了尝试。

1 系统设计优化程序简介

地震数据采集特殊观测系统设计优化程序是基于贪心算法开展的程序设计。

贪心算法是一种以局部最优解叠加来近似达到整体最优解的算法。在程序的设计过程中,结合当前 CMP 面元中叠加次数的缺失情况,选取修补效果最佳的炮检组合,在不断修改缺失情况的同时,不断累加这种最佳组合以达到最为经济的变观方案。

算法的实现如图 1 所示,由 CMP 面元中缺失的叠加次数建立模型,并评价所有可用炮检组合的对于缺失模型的修补程度,选取修补效果最佳的一个组合,将该组合修补后的模型替代原模型,并将该组合添加至最终输出的方案中,继续以上循环。在该循环过程中,若选取的最佳组合满足跳出条件,即选取的组合数达到设定的上限,则修补效果满足需求,则输出最终方案,并终止程序。图 1 中虚框内的流程即为贪心算法在本程序设计中的应用过程。

2 方位角观测系统叠加的理论支撑

当前主流的地震数据采集设计中,整个地震数据采集过程通常使用单一测线方位角的观测系统。单一测线方位角的三维地震数据采集系统,可以将地震波反射点集中于设计的面元中心,对于后期数据的准确性有着重要意义。单一测线方位角的地震数据采集系统可以更加高效地施工,使施工成本得到良好控制。

然而,在某些工区施工过程中,因地震数据采集区域内地表条件极为复杂,大型障碍物(如村庄、河湖)的存在,致使设计的接收点与激发点无法布设,影响障碍物下方的地震数据采集,且在原设计的测线方位角下进行特殊观测系统设计已无法达成项目任务。

因此,在实际工作中我们需要结合村庄内内部建筑、道路的实际特点,考虑布设不同与原设计测线方位角的观测系统,沿村庄道路进行布设接收点,并在村庄内主要道路进行采集作业,完成障碍物下方的地震数据采集任务。

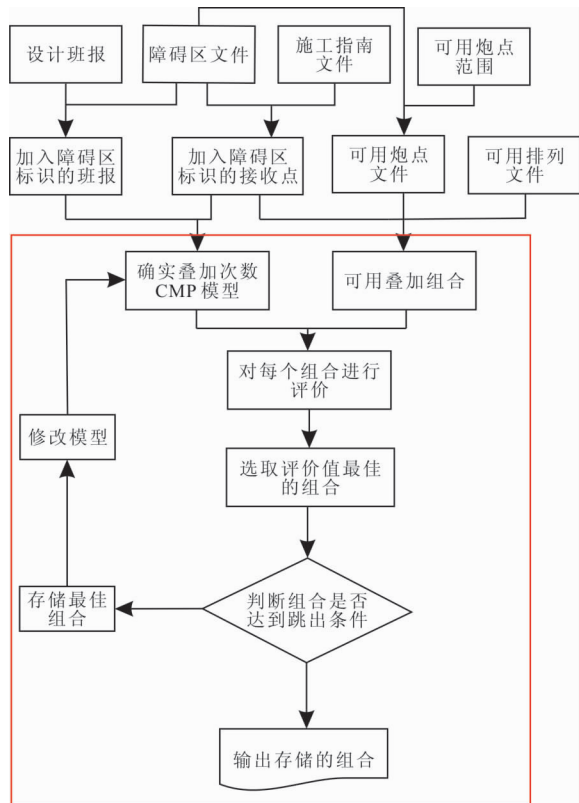


图 1 地震数据采集变观设计优化程序流程图
Fig. 1 Flow chart of the variable-view design optimization program for seismic data acquisition

实际施工过程中,由于观测系统间的测线方位角的不同、激发点和接收点不符合理论点位,会造成观测系统面元中的 CMP(共中心点)位置分散,对于这种情况,数据采集质量将与面元设计大小具有直接关系。

在地震数据采集观测系统的设计过程中,面元的大小是非常重要的^[7-10]。面元的大小将直接影响地震数据资料的横向分辨率精度,更对构造及断裂细节特征的解释产生重要的影响,对于各面元叠加时的反射信息的真实性具有根本性作用^[11]。因此,特观设计必须满足面元大小的要求。鉴于对以上因素的考虑,面元大小必须满足以下三个方面的要求:

1) 满足横向分辨率的要求。考虑分辨主要目的层的最小地质体的横向尺度,则需要在地震信号优势频率的波长内要有不少于 3 个采样点,对应的面元就能保证有良好的分辨率,具体公式为式(1)。

$$b = V_{in} / (2 \times f_p) \quad (1)$$

式中: b 为面元尺寸(m); V_{in} 为目的层上覆地层层速

度(m/s); f_p 为目的层主频(Hz)。

2)满足最高无混叠频率的要求。考虑偏移前最高无混叠频率的要求,每个倾斜同相轴都有一个偏移前可能的最高无混叠频率 f_{\max} ,它依赖于此同相轴的上一层的速度 V_{int} 、倾角 θ 和CMP面元的大小,计算公式为式(2)。

$$b = V_{\text{int}} / (4 \times f_{\max} \times \sin \theta) \quad (2)$$

式中: b 为面元尺寸(m); V_{int} 为目的层上覆地层层速度(m/s); f_{\max} 为最高无混叠频率(Hz), θ 为地层最大倾角($^{\circ}$)。

3)满足 30° 绕射收敛要求。

$$b = V_{\text{rms}} / (4 \times f_{\max} \times \sin 30^{\circ}) \quad (3)$$

式中: b 为面元尺寸(m); V_{rms} 为均方根速度(m/s); f_{\max} 为最高无混叠频率(Hz)。

鉴于以上参数,结合目标区域的相关参数得出数据如表1所示。

该区实际使用的面元采集参数为 $5\text{ m} \times 10\text{ m}$,依据论证结果,在目标区中,当选择面元最小尺寸不大于 15.4 m 时,则面元内数据可满足反射信息正确成像;当选择面元最小尺寸不大于 10.26 m 时,则可满足对断点绕射的充分收敛;当选择面元最小尺寸的不大于 60.4 m 时,则可满足最高无混叠频率的要求^[12-13]。

由此可知,在工区的实际采集过程中,虽然测线间方向存在夹角且激发、接收点布设不符合理论点位,导致面元中CMP位置分散,但其仍在设计面元大小范围内,对于采集数据应无显著影响,即采用不同测线方位角观测系统叠加采集,不会显著影响数据采集的质量。

3 设计应用范例

为检验不同测线方位角观测系统叠加设计方案,选择鲍店煤矿八采区作为本次应用的研究靶区。

鲍店煤矿行政区划归上隶属邹城市管辖,八采区位于井田西南部,区内有北林厂村、鲍厂村两个村庄,还分布有在建工地、选煤厂、饲料工厂及废弃工厂等零星建筑物。

本目标区三维地震勘探观测系统设计为 $14\text{L} \times 4\text{S} \times 48\text{T} \times 7\text{R} \times 24$ 次线束状,线距为 20 m ,道距为 10 m ,纵向最大炮检距为 240 m ,横向最大炮检距为 190 m ,最大非纵炮检距为 306.1 m 。

北林厂村对于原设计施工的影响最为严重,该村建筑房屋间距较小,村内道路呈“井”字形,道路方

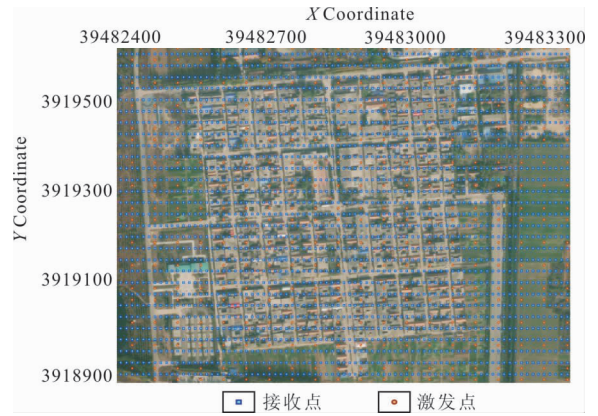


图2 北林厂村设计分布情况图

Fig. 2 Design distribution of Beilinchang Village

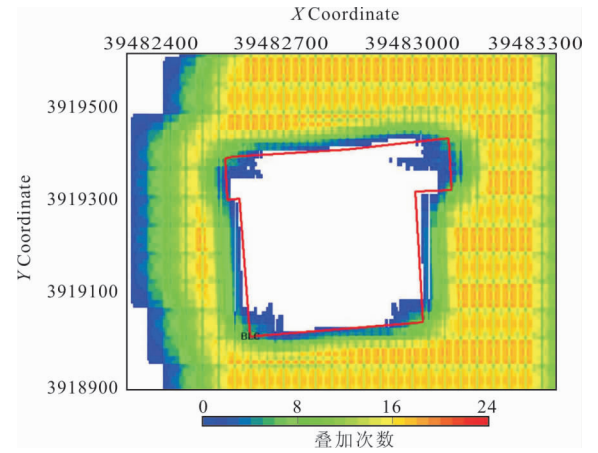


图3 北林厂村叠加情况图

Fig. 3 Superposition of Beilinchang Village

向与设计测线方向夹角 5° 。村庄内设计接收点、激发点均无法正常布设(图2)。

对北林厂村整个障碍区使用最大炮检距为 250 m 。将村内不能布设的接收点、激发点去除后,叠加情况如图3所示。按照原设计的测线方位角建立特殊接收排列并布设激发点的传统特殊观测系统设计方式,经过多次尝试,无法满足叠加次数需求。

在实际采集过程中结合实际情况,沿村庄内道路布设接收点,依据村庄内道路特点建立不同于原观测系统测线方位角的观测系统,弥补原设计中因激发点和接收点缺失所造成的叠加次数减少情况。

将沿村庄道路布设的接收点定义为一个完整接收排列,应用地震数据采集特殊观测系统设计优化程序进行特殊观测系统设计。将程序生成的接收组合与实际情况相结合进行地震数据采集工作,实际施工中激发点位、接收点位与实际叠加覆盖次数如图4、图5所示。

表 1 目标区域的面元尺寸分析计算表

Tab. 1 Analysis and calculation of bin size in target area

地震层位	双程时 /s	叠加速度 /m·s ⁻¹	层速度 /m·s ⁻¹	深度 /m	地层倾角 /°	最高频率 /Hz	主频 /Hz	最高无混叠频率 /m	横向分辨率 /m	满足 30° 绕射收敛 /m
Q	0.144	1950	2000	140	5	95	65	60.4	15.4	10.26
T _{3下}	0.194	3340	3350	223	5	95	60	101.1	27.9	17.58

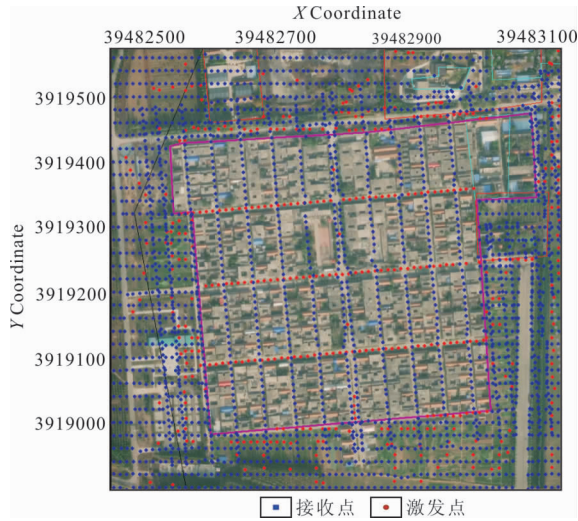


图 4 北林厂村实际布设情况图

Fig. 4 Actual layout of Beilinchang Village

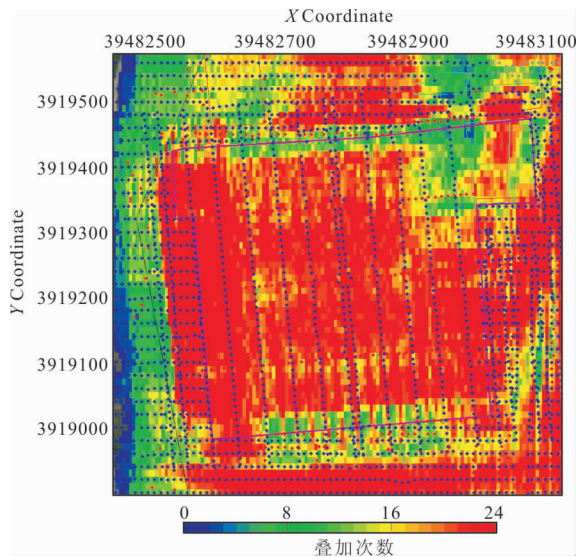


图 5 北林厂村实际叠加情况图

Fig. 5 Actual superposition of Beilinchang Village

图 4 为该区域地震数据采集所采用的激发点、接收点的布设情况。该区域的特殊观测系统设计所选用的最大炮检距为 250 m, 相较于原设计增加激发点 140 个。

实际施工中村(障碍物)内采用了上面的特殊观测系统, 村(障碍物)外采用了原来的观测系统。图 5 为村内村外两种观测系统叠加后的实际施工图, 从图 5 可以看出, 村庄障碍区域内叠加次数较为均匀, 且在北林厂村为主体的障碍区域内面元叠加次数均已达到 10 次左右, 无零次叠加区域, 保证了数据采集质量, 达到了地震数据采集的要求。

该项目采集完成后, 在地震数据处理软件中重建观测系统, CMP(共中心点)与面元的相对关系见图 6。

图 6(a)面元位置位于北林厂村中, 该面元内仅有沿村庄内道路布设的特殊方位角观测系统所产生的 CMP 点。由于村内激发点与接收点位无法规则布置, 致使 CMP 位置较为分散。图 6(b)的面元位置位于北林厂村边, 该处面元中同时存在原观测系统设计与特殊方位角观测系统设计的 CMP。由于村内接收点位无法规则布置, 致使特殊方位角观测系统产生的 CMP 位置较为分散。村庄外布设的原观测系统由于接收点的布设相对规律, 所产生的 CMP 位置较为集中。图 6(c)的面元位置位于北林厂村外, 该处面元中的 CMP 仅为原观测系统设计产生的 CMP, 由于接收点位布置较规则, 面元中 CMP 位置较为集中。

对该区域的地震数据进行完整处理后, 在北林厂村区域中, 分别在村庄中部沿东西、南北两个方向选取剖面见图 7。

图 7 中 3 号煤层目的层在地震时间剖面上的反映较为清晰连续, 基本完成了该项目的地质任务。其次, 特观前在村庄范围内浅层地震数据连续性较差存在开天窗问题, 经方位角不同个观测系统叠加后, 村庄内外虽有差距, 但反射波连续性较好。

总体来看, 不同于原设计测线方位角的特观设计与原设计的观测系统交叠应用, 解决了实际地震数据采集中因障碍区过大而无法采集的问题, 虽然由于障碍区域内接收点与激发点无法规则布设, 导致特殊方位角观测系统的 CMP 位置无法集中于设

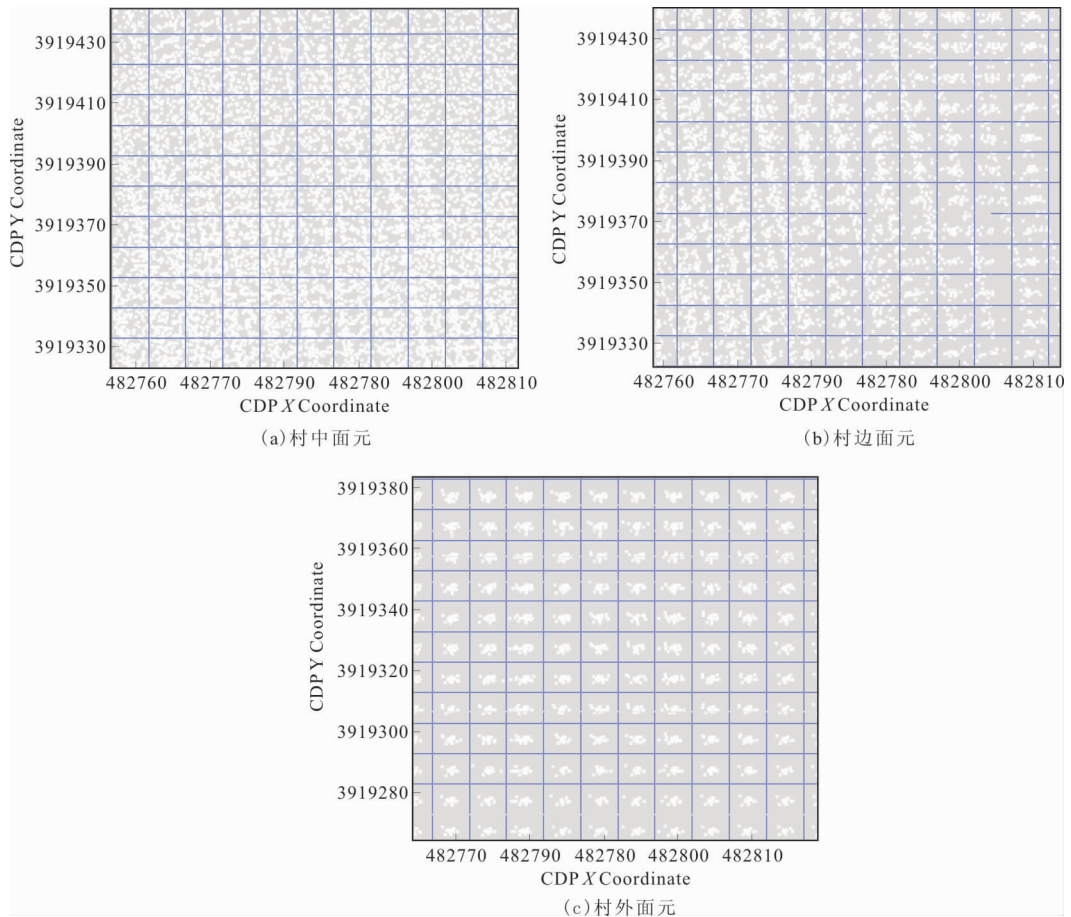


图 6 北林厂村区域内 CMP 与面元的相对关系图

Fig. 6 Actual superposition of Beilinchang Village

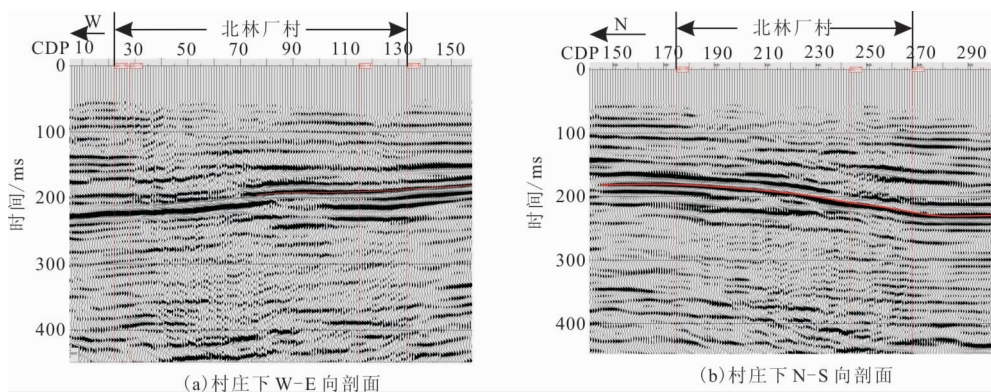


图 7 北林厂村区域地震剖面图

Fig. 7 Regional seismic profile of Beilinchang Village

计面元的中心,但面元大小的设计有效控制了该情况对于数据的影响程度,对于采集数据无显著影响。就应用效果而言,虽然在最终处理的时间剖面中特殊方位角观测系统所参与的剖面质量,较原观测系统设计下的剖面仍具有一定差距,但基本可以解决障碍区域内的地质任务,尤其在浅层地震剖面的质

量上,影响较为显著。

4 结论

基于贪心算法设计的特殊观测系统设计,应用于不同测线方位角观测系统叠加得出:

1) 三维地震勘探区内大型障碍物影响观测系统中接收点和激发点的布设, 采用不同测线方位角观测系统叠加的施工方案, 在实际施工中存在观测系统面元中 CMP 位置分散的情况, 但面元大小的设计可以有效控制该情况对于数据的影响程度, 对于最终的采集数据质量无显著影响。

2) 基于贪心算法编写的特殊观测系统设计优化程序, 对于不同测线方位角的观测系统交叠下特殊观测系统设计优化计算合理, 设计经济适用, 提高了施工效率。经实际应用, 获得了大型障碍物下地震反射数据, 保障了采集质量。

参考文献:

- [1] 徐忠华. 特殊观测系统软件 Design 的开发[J]. 河北煤炭, 2009, 23(03): 18-20+24.
XU Z H. Development of the special observation system software design[J]. Hebei Coal, 2009, 23(03): 18-20+24. (In Chinese)
- [2] 李飞, 王晶, 鲍怀伟, 等. 煤矿三维地震勘探树枝型特殊观测系统研究[J]. 煤炭工程, 2014, 46(02): 92-94.
LI F, WANG J, BAO H W, et al. Study on tree branch type special observation system of mine 3D seismic exploration[J]. Coal Engineering, 2014, 46(02): 92-94. (In Chinese)
- [3] 孙希杰. Goody GIS 在复杂地表区三维地震特殊观测系统设计中的应用[J]. 煤矿开采, 2018, 23(03): 18-20+24.
SUN X J. Application of goody GIS in the design of 3D special seismic observation system in complex surface area[J]. Coal Mining, 2018, 23(03): 18-20+24. (In Chinese)
- [4] 刘军胜. Omni 3D 中的加减法实现复杂观测系统的设计与分析[J]. 江汉石油职工大学学报, 2018, 31(01): 35-37.
LIU J S. Design and analysis of achieving complex recording geometry based on plus and minus in Omni 3D software[J]. Journal of Jiangnan Petroleum University of Staff and Workers, 2018, 31(01): 35-37. (In Chinese)
- [5] 王树威. 特殊观测系统在东部地表复杂区三维地震勘探中的应用研究[J]. 煤炭技术, 2019, 38(05): 69-71.
WANG S W. Applied study on special observation system of 3D seismic exploration in east complex surface area[J]. Coal Technology, 2019, 38(05): 69-71. (In Chinese)
- [6] 田锦瑞. 贪心算法在三维地震勘探特观设计中的应用[J]. 科学与财富, 2015(23): 231-233.
TIAN J R. Application of greedy algorithm in special view design of 3D seismic exploration[J]. Sciences & Wealth, 2015(23): 231-233. (In Chinese)
- [7] 熊永杰, 王小豪. 皖北大倾角地区三维地震观测系统的设计与研究[J]. 西部探矿工程, 2017, 29(06): 133-134+136.
XIONG Y J, WANG X H. Design and research of three-dimensional seismic observation system in dip area of North Anhui[J]. West-China Exploration Engineering, 2017, 29(06): 133-134+136. (In Chinese)
- [8] 亢永敢, 任亚平, 陈焯. 三维地震勘探高精度采集方法研究与应用[J]. 煤矿开采, 2009(02): 44-45+82.
KANG Y G, REN Y P, CHEN X. Collection method and application of 3D seismic exploration with high precision[J]. Coal Mining Technology, 2009(02): 44-45+82. (In Chinese)
- [9] 武喜尊. 关于煤炭三维地震勘探发展的几点思考[J]. 中国煤田地质, 2007(02): 66-69.
WU X Z. Some pondering on coal 3D seismic prospecting development[J]. Coal Geology of China, 2007(02): 66-69. (In Chinese)
- [10] 周咸玉, 任军战, 朱艳保, 等. 盆地边缘带优化观测系统采集技术探讨——泌阳凹陷唐河—井楼三维采集实例[J]. 勘探地球物理进展, 2005(05): 63-66+10.
ZHOU X Y, REN J Z, ZHU Y B, et al. Data acquisition in the basin margin with optimal layout: a case study in Tanghe—Jinglou area in Biyang sag[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2005(05): 63-66+10. (In Chinese)
- [11] 李莲英. 大倾角地区三维地震勘探观测系统设计[J]. 山西煤炭, 2011(04): 68-69.
LI L Y. Observation system design of 3D seismic exploitation in high dip angle districts[J]. Shanxi Coal, 2011(04): 68-69. (In Chinese)
- [12] 谢占安, 邢文军, 赵会欣. 高密度三维地震采集技术在高尚堡油田的应用[J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(S1): 33-38.
XIE Z AN, XING W J, ZHAO H X. Application of high density three-dimensional seismic acquisition in Gaoshangpu Oilfield and effect analysis[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(S1): 33-38. (In Chinese)
- [13] 刘元珍, 刘渊, 李小航. 自相似网络的自适应系统双抽

样方法研究[J]. 计算机工程与设计, 2007(22): 5409—5410.

LIU Y Z, LIU Y, LI X H. Study on self-adaptive sys-

tematic double sampling method for self-similar network traffic[J]. Computer Engineering and Design, 2007(22): 5409—5410. (In Chinese)

Multi azimuth variable view design technology and application of 3D seismic observation system in complex obstacle area

TIAN Jinrui, YA Dongju, ZHANG Zhao, CAO Xiusen,
ZHANG Xiaopan, NIU Qinghua, QIU Zhaotai

(Hebei Province Bureau of Coal Geology Geological Team, Xingtai 054000, China)

Abstract: As a large obstacle area, villages often become the construction difficulty of the whole working area in seismic data collection. The only effective technical way to solve these complex problems is to design a unique observation system for the seismic acquisition and observation system. The quality and cost of the seismic data collection of the project are closely related to the design of the particular observation system. This paper uses the particular observation system based on the greedy algorithm to optimize the overlapping observation system design for the large village obstacle area and the shallow seismic geological conditions. Setting the conditions of observation systems with different azimuth angles of measurement lines in villages. In large obstacle areas, a preliminary attempt is made to use the optimized, reasonable, and economical special view design, which provides favorable technical support for the cost reduction and efficiency increase of field seismic data collection.

Keywords: azimuth; overlapping of multiple observation systems; special observation system design