第47卷 第4期

2024年12月

华	北地	质
ORTH	CHINA	GEOLOGY

Ν

#### DOI:10.19948/j.12-1471/P.2024.04.09

胡天义,刘欢,何威荣,康泉全,唐晓东,徐清磊.2024.内蒙古达茂旗北部包尔汉图群时代及中早一中三叠世变质锆石年龄的启示[J].华北地质,47(4):80-90.

Hu Tianyi, Liu Huan, He Weirong, Kang Quanquan, Tang Xiaodong, Xu Qinglei. 2024. Application of microtremor exploration in surface matrix survey of black land: a case study of Moqi[J]. North China Geology, 47(4):80-90.

# 微动勘探在黑土地地表基质调查中的应用 ——以莫旗为例

胡天义,刘 欢,何威荣,康泉全,唐晓东,徐清磊

(中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心,廊坊河北065000)

**摘 要:【研究目的】**当前黑土地地表基质调查工作在东北地区广泛开展,其中物探方法是调查黑土地地表基质层垂向 结构特征的重要手段。本文选取了松嫩平原莫力达瓦达斡尔族自治旗(简称莫旗)中的典型地表基质区域进行了微 动勘探剖面测量和阵列测量等工作,通过这些工作来验证微动勘探方法在黑土地地表基质垂向结构调查中的应用 效果。【研究方法】本文利用人工源与天然源面波相结合的微动勘探技术,通过提取各测点的面波频散曲线进行反演 分析,利用视横波速度变化推测不同基质的波速和垂向空间结构特征,并结合钻探验证得到地表基质层(0~40 m) 的垂向结构特征。【研究结果】通过对莫旗典型区域的微动剖面调查,结合钻孔校正和区域物性参数,绘制出了研究 区二维视横波速度剖面和三维阵列模型,探明了这些地区0~40 m的地表基质层空间结构、土质类型、土质基质厚 度和分布特征等信息,得出了研究区地表基质层的地质特征和视横波速度范围。【结论】通过本次研究,发现人工源 与天然源面波联合勘探效果显著,有效结合两者的优势,可以提高勘探深度和浅表分辨率,增强单一方法的勘探能 力,是适用于地表基质层调查的有效地球物理手段,能够为地表基质调查垂向结构调查提供科学有效的数据支持。

关键 词:地表基质;微动勘探;视横波速度结构;垂向结构;莫旗

创新点:(1)本文利用一种结合人工源与天然源双源微动勘探方法,通过互相验证提高了面波频散曲线的频带范围,从而提升了浅层横波速度结构的精度。(2)基于该方法,完成了莫旗典型区域的地表基质调查,明确了基质层的空间结构和土质类型,并构建了二维剖面和三维模型,为地表基质调查和黑土资源保护提供了科学的数据支持。

**中图分类号:**P631;S519 **文献标志码:**A **文章编号:**2097-0188(2024)04-0080-11

# Application of microtremor exploration in surface matrix survey of black land : a case study of Moqi

HU Tianyi, LIU Huan, HE Weirong, KANG Quanquan, TANG Xiaodong, XU Qinglei

(China Geological Survey Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, Langfang Hebei 065000, China)

收稿日期:2024-07-03

http://hbdz.org.cn 华北地质, 2024, 47(4)

基金项目:中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心地质调查项目(ZD20220109)

作者简介:胡天义(1996一),男,助理工程师,毕业于中国地质大学(北京),主要从事地球物理、地震、地表基质调查研究, E-mail: 1255439080 @qq.com。

<sup>\*</sup>通讯作者:刘欢(1991一),男,工程师,本科,毕业于中国地质大学(北京)地球物理学,从事地球物理电法、地震方面研究,E-mail: 843408634@qq.com。

#### Abstract: This paper is the result of ground matrix survey.

[Objective] At present, the investigation of black land surface matrix is widely carried out in Northeast China, and various geophysical methods are important means to investigate the vertical structure characteristics of black soil surface matrix. In this paper, the typical surface matrix area in the Molidawa Daur Autonomous Banner ( Moqi for short ) of the Songnen Plain was selected to carry out micro-tremor exploration profile measurement and array measurement, so as to verify, the application effect of micro-tremor exploration method in the vertical structure investigation of black land surface matrix. [Methods] In this paper, the microtremor exploration technology combining artificial source and natural source surface wave is used. By extracting the surface wave dispersion curve of each measuring point for inversion analysis, the wave velocity and vertical spatial structure characteristics of different matrices are inferred by using the apparent shear wave velocity change, and the vertical structure characteristics of the surface matrix layer ( $0 \sim 40$  m) are obtained in combination with drilling verification. [Results] Based on the investigation of the micro-motion profile in the typical area of Moqi Banner, combined with borehole correction and regional physical parameters, the two-dimensional apparent shear wave velocity profile and three-dimensional array model of the study area were drawn. The spatial structure, soil type, soil matrix thickness and distribution characteristics of the surface matrix layer of 0 ~ 40m in these areas were explored, and the geological characteristics and apparent shear wave velocity range of the surface matrix layer in the study area were obtained. [Conclusions] Through this study, it is found that the combined exploration effect of artificial source and natural source surface wave is remarkable. Effectively combining the advantages of both can improve the exploration depth and shallow resolution, enhance the exploration ability of a single method, and is an effective geophysical method suitable for surface matrix layer investigation. It can provide scientific and effective data support for the vertical structure survey of surface matrix survey.

Key words : ground matrix ; microtremor exploration ; apparent shear wave velocity structure .

**Highlights:** (1) In this paper, a dual-source microtremor exploration method combining artificial source and natural source is used to improve the frequency band range of surface wave dispersion curve by mutual verification, thus improving the accuracy of shallow shear wave velocity structure. (2) Based on this method, the surface matrix investigation in the typical area of Moqi was completed, the spatial structure and soil type of the matrix layer were clarified, and the two-dimensional profile and three-dimensional model were constructed, which can provid scientific data support for surface matrix investigation and black land resource protection. **About the first author:** Hu Tianyi, born in 1996, male, assistant engineer, undergraduate, China University of Geosciences (Beijing), mainly engaged in geophysical, seismic, surface matrix research, E-mail:1255439080@qq.com.

About the corresponding author: Liu Huan (1991-), male, engineer, undergraduate, Geophysics, China University of Geosciences (Beijing), engaged in geophysical electrical method, earthquake research. E-mail:843408634@qq.com.

Fund support: Geological Survey Project of Natural Resources Comprehensive Survey Command Center of China Geological Survey (ZD20220109).

地表基质指的是当前出露于地球陆域地表浅 部或水域水体底部的物质,通常形成不超过50米 厚的自然层状体,其空间分布、垂向结构及变异性 是地表基质调查研究的核心内容(葛良胜,2020;侯 红星,2022a)。松嫩平原莫力达瓦达斡尔族自治旗 是我国黑土地资源的重要区域,土质类型多样且丰 富,成为黑土地保护的重点地区。精准的地表基质 调查有助于全面掌握黑土地的数量、质量与结构, 为耕地保护与粮食安全提供科学支持(宋昌海, 2022;赵凯明,2024)。 然而,现有的地表基质探测方法,如传统钻探、 遥感影像等,面临着局部性、深度有限以及环境友 好性差等局限。尤其在像松嫩平原这样的农耕密 集区,传统方法难以满足大范围、高精度、低环境扰 动的勘探需求。为此,本文提出利用微动双源勘探 方法进行地表基质调查,以弥补现有技术的不足。 微动勘探法通过布设微动测点、分析频散特性并进 行速度结构反演,能够构建精细的三维地表基质模 型,模拟"虚拟钻孔"来获取更加准确的空间分布特 征(乔衍溢,2022)。结合已有钻孔数据进行验证,

进一步提高了地表基质结构推断的可靠性(葛良胜,2020b;侯红星,2021)。

本研究采用人工源与天然源相结合的微动勘探 方式,其中人工源面波主要提供高分辨率的浅层地 层探测(王振东,1986;刘云祯,1996;李凯,2011),天 然源面波则收集探测深层的地质信息(贾辉,2018; 盛勇,2019;张伟,2018)。通过频率一波数法(F-K)、空间自相关法(SPAC)及扩展空间自相关法 (ESPAC)提取面波频散曲线并进行反演,有效提升 了探测精度并扩展了探测深度(李传金,2017;贾慧 涛,2021;鲁杏,2023)。双源面波勘探优化了地表 基质的微动面波处理流程,包括数据采集、频散曲 线提取、模型划分及反演方法。结合地质信息约束 后,速度结构的反演有效减少了反演的多解性,与 钻孔数据结合后,能够更精确地划定地表基质的空 间分布。 微动勘探法为地表基质调查提供了一种有效 且具有较高空间分辨率的手段,能够弥补传统方法 在大范围、精确性以及对环境友好方面的优势 (SuqunLing, 2004;刘庆华, 2015;丰赟, 2018;王继 鑫2021;赵萧萧, 2022)。本文利用双源面波技术与 反演分析,在莫旗开展相关剖面测量以及阵列测 量,从而研究探讨该技术在地表基质垂向结构调查 中的有效性和适用范围。

## 1 研究区概况

## 1.1 莫旗地质概况

莫力达瓦达斡尔族自治旗位于呼伦贝尔市最 东部、大兴安岭东麓中段、嫩江西岸。研究区主要 发育古生代火山—沉积建造和中生代火山岩建造 (图1)。古生界地层主要有上志留统—中泥盆统泥 鳅河组(S<sub>3</sub>D<sub>2</sub>n),上二叠统林西组(P<sub>3</sub>ln),岩性主要



#### 图1 研究区地质简图及钻孔位置

Fig.1 Geological sketch and borehole position of the study area

1-微动点位;2-钻孔点位;3-全新统冲积;4-上更新统顾乡屯组;5-下寒武统倭勒根岩群;6-新开岭岩群;
7-早白垩世甘河组;8-晚白垩纪孤山镇组;9-早白垩世光华组;10-晚侏罗世满克头鄂博组;11-中二叠世二长花岗岩;12-中二叠世碱长花岗岩

http://hbdz.org.cn 华北地质, 2024, 47(4)

为凝灰质板岩、变流纹岩、变流纹质角砾晶屑凝灰 岩、变玄武粗安岩、(粉砂质)泥质板岩、斑点板岩、 粉砂质千棱状板岩、变质粉砂岩等。中生界地层主 要有上侏罗统满克头鄂博组(J\_mk),上侏罗统玛尼 吐组(J<sub>3</sub>mn),下白垩统光华组(K<sub>1</sub>gn),下白垩统甘河 组(K<sub>g</sub>),上白垩统孤山镇组(K<sub>g</sub>),上白垩统嫩江 组(K,n),岩性主要为流纹岩、英安岩、流纹质凝灰 岩、沉凝灰岩、凝灰砂岩、安山岩、流纹质角砾岩等。 第四系沉积发育较为齐全,涵盖早更新世至全新世 的沉积物包括腐殖土、现代河流冲积层的松散堆积 物、黑色和灰黑色亚粘土、粘土、细砂以及砂砾等。 根据已有的研究基础和工作成果(表1),莫旗地表 基质构型组合:岩石、岩石+砾质、岩石+砾质+土质、 砾质+土质、以及土质:地表基质主要土质为暗棕壤 型壤土,此外还有黑土型壤土、草甸土型壤土和沼 泽土型壤黏土等。

#### 1.2 区域地球物理特征

本次地球物理探测的主要目的是确定研究区 内土质基质的垂向结构特征,为地表基质调查和黑 土地保护提供地球物理技术支持。根据研究区的 地形条件和探测目的,本文选择了莫旗人口密集的 农耕区乡镇周围作为研究区域。由于研究区内地 表基质层主体为第四系沉积物和基岩风化壳,其电 性参数主要由电测井资料统计获得。地表基质速 度参数由钻孔约束孔旁微动点垂向反演数据统计 获得,结合研究区实际,统计钻孔地表基质层类型

#### 表1 莫旗土壤面积统计(数据来源于第二次普查结果) Table 1 Moqi soil area statistics (data from the second census)

土属代码	土属名称	面积/km <sup>2</sup>	比例/%		
211	结晶岩暗棕壤	3 399.41	32.83		
212	砂砾岩暗棕壤	196.02	1.89		
213	泥页岩暗棕壤	1349.4	13.03		
221	冲积物草甸暗棕壤	8.49	0.08		
222	结晶岩草甸暗棕壤	1.99	0.02		
411	坡积物黑土	2 019.22	19.5		
413	洪冲积物黑土	442.04	4.27		
423	洪冲积物草甸黑土	704.03	6.8		
431	黄土状物白浆化黑土	31.83	0.31		
712	壤质暗色草甸土	1 221.39	11.79		
713	粘质暗色草甸土	34.53	0.33		
911	沼泽土	125.51	1.21		
921	草甸沼泽土	460.5	4.45		
9999	9999 水域		3.49		
	合计	10 356.13	100		

结构,将区域地表基质层类型及其物性参数划分 (表2)。

表2 研究区地表基质层物性参数统计表 Table 2 Statistical table of physical parameters of common surface matrix layer in the study area

地层名称 -	视横波速 / m/s		自然伽马 / API	
	变化范围	常见值	变化范围	常见值
壤土	$100 \sim 200$	130	87 ~ 223	123
黏质壤土	$100 \sim 200$	150	84 ~ 142	114
壤质黏土	$100 \sim 200$	160	$100 \sim 136$	115
黏土	100 ~ 200	180	95 ~ 168	132
砂质黏土	$100 \sim 200$	190	$80 \sim 147$	123
黏质砂土	$100 \sim 200$	230	80 ~ 144	108
砂土	$200 \sim 300$	260	60 ~ 130	84
含砂砾	300 ~ 550	400	76 ~ 131	107
砾	350 ~ 600	450	35 ~ 136	71
泥岩	340 ~ 500	420	100 ~ 158	131

# 2 工作方法

## 2.1 数据采集

此次野外施工使用了北京桔灯地球物理勘探 股份有限公司自主研发的Node-X系列高精度地震 勘探系统。主要仪器设备参数如下:仪器动态范围 140dB@250 Hz,前置放大1,2,4,6,8,32,64,外置 连接Geophone4.5Hz三分量地震检波器。为了进行 联合勘探,主动源和被动源数据均使用相同排列参 数进行采集,排列为12个4.5 Hz 主频的检波器,直 线线性排列,道间距为 3m,采样率为250 Hz,增益 设置为8。经试验确定每点观测时间为20分钟。 人工震源采用大锤加金属垫板激振,记录长度为3 s,最小偏移距为15 m。天然源记录长度为1 380 s。

## 2.2 数据处理

微动数据处理采用了骄佳技术公司 Geogiga Seismic Pro 浅层地震数据处理软件包中的面波法 模块。首先,对野外采集的地震数据进行预处理, 包括数据格式转换。然后,根据数据采集记录时间 对数据进行截切,以区分人工源和天然源。预处理 后,需将地震数据添加偏移距和道间距等采集参 数,以建立观测系统,并检查该系统是否符合现场 采集情况。接下来,检查地震信号中是否存在坏 道,并予以剔除。同时,通过干扰波与面波的视速 度差异,选择适当的视窗切除噪音信号,以完成频 散谱分析前的数据准备。

在进行地震信号的频散分析时,首先通过傅里 叶变换获取频率与波数域上的频散谱。然后,在频 散谱图中,沿频率方向选择能量的唯一最大值来拾 取频散曲线。在存在多阶面波的情况下,需谨慎处 理频散曲线中的"之"字形拐点。拾取完所有单炮 数据的频散曲线后,默认将单炮频散曲线作为该测 点整体排列的中心点下方数据。随后,将所有频散 曲线根据移动步距拼接,得到速度与深度剖面图。

通过对实测频散曲线进行反演计算,得到反演 频散曲线及其对应的地表基质层剪切波模型,进而 获取横波速度和层厚。最后,将反演结果导出以供 进一步分析(图2)。

在实际联合勘探处理中,主、被动源信号通常 依据各自优势进行处理。主动源面波多道分析法 (MASW法)采用f-k法提取面波频散曲线,而天然 源则使用扩展空间自相关法(ESPAC法)分析频散 信息。具体操作中,取主动源的高频区段和被动源 的低频区段,合并相同排列信号的频散谱,生成一 组平均频散谱,进而提取频散曲线(张维,2012;李 文灵,2015;李建宁2019)(图3)。从图3中的频散 谱可见,强能量团主要集中在10~40 Hz之间,能量 脊线较为清晰。这种方法拓宽了有效频带宽度,显 著提高了频散曲线的提取质量(李欣欣,2017)。最 终,对合成后的频散谱进行频散点拾取,并设置反 演的初始模型,所有微动反演曲线的拟合误差应小于5%。对于有钻孔控制的微动点,初始模型按照钻孔层位设置,整合速度相似的层位,结合相邻钻孔的物性参数及编录结果,完成地表基质空间结构划分。最终,整合微动面波的解译结果,构建三维速度结构模型及地表基质分布模型。

## 3 应用与成果解释

质

本文面波勘探的解释参数主要是频散曲线反 演的横波速度,依据已知的钻孔资料,并遵循从已 知到未知的原则,笔者在莫旗的10条微动测线和一 组网格测点附近设置了12个钻孔点,以辅助校正微 动测区的横波速度(图1),本文重点介绍了莫旗红 彦镇、西瓦尔图镇和尼尔基镇的勘探结果(图1-ABC)。

## 3.1 钻孔 MLZK08 解释与微动 MLWD07 剖面解释

钻孔 MLZK08位于红彦镇西东向3km处巴彦 鄂温克民族乡附近微动 MLWD07线3号测点(图 4)。钻孔深度为29m。根据图4中微动 MLWD07-3频散曲线反演结果,地表基质层大致可分为三层: 第一层视横波速度为低速,范围为100~230m/s;第 二层视横波速度为中速,范围为230~480m/s;第三 层视横波速度为高速,速度值大于480m/s。结合研 究区常见物性参数(表2),推测表层(视横波速度



图2 数据处理流程图 Fig.2 Data processing flow chart

http://hbdz.org.cn 华北地质, 2024, 47(4)



图3 Geogiga软件人工源与天然数据合并界面 Fig.3 Geogiga software artificial source and natural data merging interface A—天然源频散谱;B—人工源源频散谱;C—频散谱合并;D—提取的频散曲线





100~230 m/s)对应钻孔0~9 m的土质为壤土和砂 土;第二层(视横波速度230~480 m/s)对应钻孔9 ~15 m的土质为砂土和砂质粗骨土;第三层(视横 波速度大于480 m/s)对应钻孔15~29 m的土质为 角砾状细砾。误差约为1~2 m,与钻孔编录结果基 本一致。 MLWD07 微动剖面位于红彦镇巴彦鄂温克民族乡附近(图4), 剖面长度为5.0 km, 共设置10个测点, 点距500 m。其中, MLZK08 钻孔位于微动 MLWD07 测线的3号测点附近。基于 MLWD07-3 频散曲线的反演结果和 MLZK08 钻孔的编录数据, 并结合 MLWD07 整条微动测线的反演结果, 推

断出三层地质剖面:第一层的视横波速度为低速,范 围为100~230 m/s,底界面深度为4~7 m,推测为黏 质壤土或壤土层;第二层的视横波速度为中速,范围 为230~500 m/s,底界面深度为7~13 m,推测为砂 土或砂质粗骨土层;第三层的视横波速度为高速,速 度值大于500 m/s,推测为角砾状细砾或砂岩等。最 终构建了二维速度剖面结构及地表基质分布模型 (图5)。

#### 3.2 钻孔 MLZK03 解释与微动 MLWD10 剖面解释

钻孔 MLZK03位于西瓦尔图镇南东向1km新 肯屯村附近微动 MLWD10测线3号测点(图6)。钻 孔深度为30m。根据图6中微动 MLWD10线3号测 点的频散曲线反演结果,地表基质层大致可分为四 层:第一层视横波速度为低速,范围为100~230m/s; 第二层视横波速度为中速,范围为230~450m/s;第 三层视横波速度表现为中高速,范围为450~600m/s; 第四层视横波速度为高速,速度值大于600m/s。结 合研究区常见物性参数(表2),推测表层(视横波速 度100~230m/s)对应钻孔0~6m的土质为黏质壤 土和壤土;第二层(视横波速度230~450m/s)对应 钻孔6~12m的土质为黏质粗骨土和角砾状细砾; 第三层(视横波速度450~600 m/s)对应钻孔12~ 24 m的土质为细砾、黏质粗骨土和壤质粗骨土;第 四层(视横波速度大于600 m/s)对应钻孔24~30 m 的土质为壤质粗骨土、砂岩等。误差约为1~2 m, 与钻孔编录结果基本吻合。

MLWD10 微动剖面位于西瓦尔图镇新肯屯村 附近附近(图6),剖面长度为2.0公里,共设置5个 测点,点距500m。其中,MLZK03钻孔位于微动 MLWD10测线的3号测点附近。基于MLWD10-3 频散曲线的反演结果和MLZK03钻孔的编录数据, 并结合MLWD10整条微动测线的反演结果,推断出 四层地质剖面:第一层的视横波速度为低速,范围 为100~230 m/s,底界面深度为0~8 m,推测为黏 质壤土或壤土层;第二层的视横波速度为中速,范 围为230~450 m/s,底界面深度为7~15 m,推测为 细砾、粗砾层;第三层的视横波速度为中高速,范围 为450~600 m/s,底界面深度为15~29 m, 推测为 黏质粗骨土和壤质粗骨土层;第四层的视横波速度 为高速,速度值大于600 m/s,推测为砂岩等。最终 构建了二维速度剖面结构及地表基质分布模 型(图7)。



图5 微动MLWD07剖面反演结果图 Fig.5 Microtremor MLWD07 profile inversion results

http://hbdz.org.cn 华兆地质, 2024, 47(4)



图6 研究区B-MLWD10-3钻孔MLZK03钻孔编录(中)与频散曲线反演结果与(右) Fig.6 B-MLWD10-3 borehole MLZK03 borehole logging (middle) and dispersion curve inversion results and (right)



图7 微动MLWD10剖面反演结果图 Fig.7 Micro-tremor MLWD10 profile inversion results

## 3.3 微动三维模型解释

钻孔 MLZK05 位于尼尔基镇兴仁乡附近微动 MLZL 测线 37 号测点(图 8)。钻孔深度为 40 m。 根据图 8 中微动 MLZL线 37 号测点的频散曲线反 演结果,地表基质层大致可分为四层:第一层视横 波速度为低速,范围为100~230 m/s;第二层视横波 速度为中速,范围为230~350 m/s;第三层视横波速 度表现为中高速,范围为350~450 m/s;第四层视横 波速度为高速,速度值大于450 m/s。结合研究区常 见物性参数(表2)和图8中MLZK05钻孔的编录结

#### 华 北 地 质



图 8 研究区 C-MLZL-37 钻孔 MLZK03 钻孔编录(中)与频散曲线反演结果 (右) Fig.8 C-MLZL-37 drilling in the study area MLZK03 drilling logging (middle) and dispersion curve inversion results (right)

果,推测表层(视横波速度100~230 m/s)对应钻孔 0~9 m的土质为黏质壤土和壤土;第二层(视横波 速度230~350 m/s)对应钻孔9~16 m的土质为黏 质砂土和砂土;第三层(视横波速度350~450 m/s) 对应钻孔16~37 m的土质为砂质粗骨土和砂土;第 四层(视横波速度大于450 m/s)对应钻孔37~40 m 的土质为闪长岩和砂岩等。误差约为1~2 m,与钻 孔编录结果基本吻合。

莫旗地区的10×8 km阵列测网布设在尼尔基镇 附近(图8),点距为1 km,东西方向长度为10 km, 南北方向长度为8 km,共设置了80个微动测点。 通过微动MLWD07、MLWD10剖面,基于MLZL-37 测点的频散曲线反演结果和MLZK05钻孔的数据 的辅助校正,利用Geogiga Seismic Pro面波三维速 度图示软件Surface3D,对微动网格10×8 km测点进 行整合。通过集合频散曲线、添加点剖面图、合并 频散曲线、定义坐标和高程及速度参数,得到尼尔 基镇地下0~40 m的三维反演模型图(图9)。40 m 大致可以划分为四层。表层(图中深蓝色部分)的 视横波速度为100~200 m/s,底界面深度在0~7 m 之间,推测为黏质壤土、壤土或砂质壤土;第二层 (图中浅蓝色部分)的视横波速度为200~300 m/s, 底界面深度在0~14 m之间,推测为砂土或壤质砂 土;第三层(图中绿色部分)的视横波速度为300~ 450 m/s,底界面深度约为10~40 m,推测为砂质粗 骨土或含砂砾层;第四层(图中红色部分)的视横波 速度大于450 m/s,底界面深度在20~40 m之间,推 测为砾层或岩层。

## 4 结论

(1)本文在黑土地地表基质垂向结构调查中利 用双源面波勘探技术,充分发挥了人工源在高频段 的精确性和天然源在低频段的优势,拓展了频散曲 线的频带范围。结果表明人工源与天然源面波联 合勘探技术效果显著,提高了勘探深度和浅表分辨 率,是适用于地表基质层垂向结构调查的有效地球 物理手段。

(2)通过对采集面波的时域信息进行数据预处 理和傅里叶变换,获得频率与波数域上的频散谱, 并通过合并频散谱提取了频散曲线,反演得到各测 点的视横波速度。结合10条微动测线和网格测点 数据,通过钻探校正了微动测区的横波速度。研究

88

超星·期刊

2024年



图9 莫旗 MLZL 地下0~40 m 反演模型图 Fig.9 Moqi MLZL underground 0~40 m inversion model diagram a---莫旗三维;b---莫旗深度切片;c---莫旗纵向切片;d---莫旗横向切片

表明,莫旗研究区的地表基质层在0~40m深度范 围内可划分为四个垂向层位:上层为黏质壤土、壤 土、砂质壤土(视横波速度100~200m/s);中层为壤 质砂土、砂土(视横波速度200~300m/s);下层为砂 质粗骨土、含砾砂(视横波速度300~450m/s);底层 为砾层和岩层(视横波速度大于450m/s)。视横波 速度范围为100m/s至800m/s,调查深度普遍超过 40m,达到了预期目标。

(3) 双源面波勘探在该区域的应用实践表明, 该方法具有较高的空间结构刻画能力,施工效率较 高且环境友好,证明其作为地表基质调查的有效地 球物理手段,能为黑土地资源保护提供科学有效的 数据支持。

### 中文参考文献

- 葛良胜,夏锐.2020a.自然资源综合调查业务体系框架[J].自然资源 学报,(9):2254-2269.
- 侯红星,葛良胜,孙肖,等.2022.地表基质在中国黑土地资源调查评价 中的应用探讨:基于黑龙江宝清地区地表基质调查[J].自然资源 学报,37(09):2264-2276.
- 乔衍溢,鲁敏,马永君,等.2022.基于微动面波方法的地表基质层垂

向空间结构调查[C]//中国地球物理学会.2022年中国地球科学 联合学术年会论文集:专题二十五:浅地表地球物理进展、专题 二十六:应用地球物理前沿.

- 宋昌海,王璐,王娜,等.2022.莫力达瓦达斡尔族自治旗黑土地项目 区耕地质量监测变化研究[J].现代农业科技,(22):155-158+162.
- 赵凯明,李瑞红,刘航,等.2024. 地表基质土质类型对表层土壤有机 碳空间分布的影响:以阿荣旗、莫旗地区为例[J]. 地质论评,70 (S1):309-310.
- 葛良胜,杨贵才.2020b.自然资源调查监测工作新领域:地表基质调查[J].中国国土资源经济,33(09):4-11+67.
- 侯红星,张蜀冀,鲁敏,等.2021.自然资源地表基质层调查技术方法 新经验:以保定地区地表基质层调查为例[J].西北地质,54(3): 277-288
- 王振东.1986.微动的空间自相关法及其实用技术[J].物探与化探,10 (2):123-133.
- 刘云祯,王振东.1996.瞬态面波法的数据采集处理系统及其应用实 例[J].物探与化探,(01):28-34.
- 李凯.2011.面波勘探技术在工程勘察中的应用进展[J].工程地球物 理学报,8(01):97-104.
- 贾辉,陈义军,王铁领,等.2018.浅部地层微动勘探关键影响因素探 讨[J].工程勘察,46(09):68-73.
- 盛勇,贾慧涛,刘杨.2019.微动勘探方法技术研究及其应用[J].安徽 地质,29(01):34-39.
- 张伟,甘伏平,梁东辉,等.2018.多道瞬态面波法与微动法联合推断岩

溶塌陷区覆盖层的结构和厚度分布[J].中国岩溶,37(02):272-279.

- 李传金,刘建欢,杜亚楠,等.2017.扩展空间自相关法用于线性阵列 时加权拟合问题研究[J].科学技术与工程,17(08):111-114.
- 贾慧涛,王子豪,蔡向阳,等.2021.微动技术在中深部地质勘探中的应用研究[J].安徽地质,31(04):327-330.
- 鲁杏,崔先文,汤正江,等.2023.天然源面波勘探方法在安徽小包庄 铁矿区的应用研究[J].中国地质调查,10(03):54-59.
- 刘庆华,鲁来玉,王凯明.2015.主动源和被动源面波浅勘方法综述[J].地球物理学进展,30(6):2906-2922.
- 丰赟,沙椿.2018. 面波联合勘探在深厚覆盖层地区应用实例分析[J]. 物探与化探,42(02):392-397.
- 王继鑫.2021.基于微动勘探方法的浅层波速结构反演研究[D].中国地震局地壳应力研究所.
- 赵萧萧. 2022. 微动勘查技术在中深层地热勘探中的应用研究[D].

华北水利水电大学.

质

- 张维,何正勤,胡刚,等.2012.用人工源和天然源面波联合探测浅层 速度结构[J].震灾防御技术,7(01):26-36.
- 李文灵,黄真萍,王福喜,等.2015.瞬态面波与微震波波动勘测法的 分析与对比[J].工程地球物理学报,12(01):96-100.
- 李建宁.2019.主被动源面波联合勘探应用研究[D].安徽理工大学.
- 李欣欣,李庆春.2017.利用改进的F-K变换法提取瑞雷波的频散曲 线[J].地球物理学进展,32(01):191-197.

#### References

Ling Suqun, Jun Horita, Shizuo Noguchi.2004.Estimation of shallowswave velocity structure by using high precision surface wave prospecting and microtremor survey method[C].13th World Conference on Earth quake Engineering Vancouver, B.C., 1445.

(上接本期第63页)

演化趋势研究[J]. 世界核地质科学,41(03):623-632.

- 王颖,李新森,付钰涵,等.2021.北京山区泥石流灾害预警模型及应 用效果[J].国土资源信息化,(05):58-62+42.
- 魏星宇,沈军辉,吴俊杰,等.2022. 泸一石高速甘草沟泥石流发育特征及危险性分析[J].自然灾害学报,31(06):229-238.
- 袁菲菲.2014.北京房山区秋林铺村泥石流风险评价[D].中国地质 大学(北京).
- 张伟. 2023. 某电站白石头沟泥石流特性及运动过程数值模拟研 究[D]. 西安理工大学.
- 章新益,孙永彬,王诜,等.2021.北京市延庆地区水泉沟村车道沟泥 石流发育特征及动力学研究[J].矿产勘查,12(2):461-469.
- 赵蔓,孙俊,朱恺悦.2024.云南兰坪县啦井村泥石流模拟预测及风 险评价[J].中国地质灾害与防治学报,35(05):110-119.

#### References

Cao C, Wang Y H, Chen J P, et al. 2015. Debris flow risk assessment based on cloud in Miyun Beijing[J]. Journal of Engineering Geolo-

gy, 23(s1):624-630.

- Chen M, Luo Y, Tang C, et al. 2024. Quantitative assessment of expected direct economic losses of buildings for debris flows in multiple rainfall intensity scenarios in Yangling Gully, Southwest China[J]. Natural Hazards, (3): 120.
- Cordoba F E, Groch D, Cogliati M G, Jaboyedoff M Gil V. 2023. A semi-quantitative risk assessment of debris flow in northernmost Patagonia, Argentina[J]. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 80(1): 1-20.
- Hirschberg J, Badoux A, McArdell B W, et al. 2021. Evaluating methods for debris-flow prediction based on rainfall in an Alpine catchment[J].NaturalHazardsandEarthSystemSciences,21(9):2773-2789.
- Liu B, Hu X W, Ma G T, et al. 2021. Back calculation and hazard prediction of a debris flow in Wenchuan meizoseismal area, China[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 80: 3457-3474.
- Wang N, Cheng W M, Zhao M, et al. 2019. Identification of the debris flow process types within catchments of Beijing mountainous area[J]. Water, 11(4):638.