



ISSN 0001-5733
CN 11-2074/P
<http://www.geophy.cn>

CHINESE JOURNAL OF GEOPHYSICS

(*Acta Geophysica Sinica*)

地球物理学报



地
球
物
理
学
报

第六十四卷

第十一期

二〇二一年十一月

科学出版社



科学出版社

中国科学院地质与地球物理研究所
中国地球物理学会
科学出版社
主办
出版

万方数据

2021
第64卷
Vol.64 No.11
第11期



地球物理学报(月刊)

(DIQIU WULI XUEBAO)

2021年11月 第64卷 第11期

目 次



综述

- 3817 全球干热岩资源开发诱发地震活动和灾害风险管控 尹欣欣, 蒋长胜, 翟鸿宇, 张延保, 姜丛, 来贵娟, 祝爱玉, 尹凤玲

空间物理学、大地测量学

- 3837 慢太阳风中的小冕洞风和阿尔芬波 齐兆辉, 刘勇, 刘若炎

- 3846 磁暴期离子上行与太阳风及地磁活动水平的统计关系 ... 熊雅婷, 王婧怡, 冯玲, 赵凯, 王如坤, 冯丹丹, 王子珲, 汤慕贤

- 3860 基于范阿伦双星 EMFISIS 观测数据的 NWC 和 NAA 人工甚低频台站信号的内磁层全球统计分布 项正, 林显浩, 陈薇, 王勇, 陆鹏, 龚文颖, 马文琛, 花漫, 刘阳希子

- 3870 极光电激流的地方时和季节变化特性研究: CHAMP 卫星观测 ... 仲云芳, 王慧, 郑志超, 何杨帆, 张科灯, 孙璐媛, 高洁

- 3882 平流层爆发性增温期间赤道电集流中太阴潮汐的经度变化统计学研究 ... 郑志超, 王慧, 张科灯, 何杨帆, 高洁, 孙璐媛, 仲云芳

- 3893 ZH-1 卫星 LAP 数据校正及与 Swarm B 数据差异分析 周子涵, 王秀英, 杨德贺, 成万里, 颜蕊, 何宏玮, 郭峰

- 3905 张衡一号感应磁力仪数据闪电哨声波自动识别 袁静, 王桥, 杨德贺, 刘芹芹, 泽仁志玛, 申旭辉

- 3925 利用中国 GPS 站网对地震波引发的大尺度电离层扰动的观测 ... 郝永强, 李泉翰, 郭建广, 张效信, 杨光林, 张东和, 肖佐

- 3933 球谐旋转变换结合非全次 Legendre 方法的局

- 部六边形网格重力场球谐综合 李新星, 李建成, 刘晓刚, 范昊鹏, 靳超

地球动力学、地震学、地电学
海洋地球物理学

- 3948 青藏高原东南缘深部多参数属性变化与中强震孕育响应关系 刘冠男, 柳存喜, 王志

- 3970 喜马拉雅东构造结及周边地区地壳各向异性特征 黄臣宇, 常利军, 丁志峰

- 3983 四川威远及邻区中小地震活动特征及地壳精细结构研究 杜广宝, 吴庆举, 张雪梅, 张瑞青

- 3997 基于密集台阵地震背景噪声成像预测煤矿瓦斯分布 ... 黄宇奇, 查华胜, 高级, 令狐建设, 宣全国, 周建斌, 董润平, 霍晶晶, 张海江

- 4012 多尺度阵列嵌套组合反演宾川气枪源区横波速度结构 孙楠, 潘磊, 王伟涛, 叶泵, 王彬, 陈晓非

- 4022 基于辛-谱元方法的地球自由振荡保弥散衰减数值模拟 李冰非, 李小凡, 李峰, 龚飞

- 4031 石墨-石英模型电导率的数值模拟研究及地球物理应用 郭颖星, 朱涛, 郑军

- 4043 江南造山带南段电性结构特征及地学意义研究 毛星, 叶高峰, 张雨轩, 金胜, 魏文博

- 4060 松辽盆地北部地热场深部控制因素研究: 基于大地电磁探测的结果 牛璞, 韩江涛, 曾昭发, 侯贺晨, 刘立家, 马国庆, 管彦武

- 4075 新疆准噶尔北缘覆盖区深部地质结构及其地质意义——来自综合地球物理探测的证据 刘尧, 孟贵祥, 吕庆田, 张贵宾, 邓震, 祁光, 薛融晖

- 4090 西沙地块海底地震仪转换横波的数据处理与

- 震相识别 张浩宇, 丘学林, 王强,
黄海波, 赵明辉
- 4105 南海三维热岩石圈结构及地表构造响应
王晓芳, 王恺祺, 赵中贤, 许鹤华,
赵俊峰, 任自强, 张佳政
-  应用地球物理学
- 4117 综合地球物理在荒漠覆盖区隐伏矿床预测与
定位中的应用:以新疆拉伊克勒克铜多金属
矿床为例 严加永, 孟贵祥, 吕庆田,
邓震, 祁光, 汤贺军, 赵金花, 薛融晖, 王栩
- 4134 慢度平方三角网格模型 VTI 介质二维 QP 波
各向异性立体层析反演 周嘉欣, 杨锴,
邵炜栋
- 4150 三维弹性波方程的修正时空优化保辛数值求
解方法 ... 王健, 贺茜君, 董兴朋, 杨顶辉,
李静爽, 黄雪源, 周艳杰
- 4166 有限差分的时间和空间频散及其对逆时偏移
和全波形反演的影响 任志明, 戴雪,
包乾宗, 蔡晓慧, 刘洋
- 4181 三维最小二乘弹性高斯束叠前深度偏移
孙昌潇, 毛伟建, 张庆臣, 石星辰
- 4196 基于数据增广训练的深度神经网络方法压制
地震多次波 王坤喜, 胡天跃, 刘小舟,
王尚旭, 魏建新
- 4215 大闭环伺服控制随钻智能导向钻井方法 ...
吴思源, 李守定, 陈冬, 李晓, 杜爱民, 张莹



CHINESE JOURNAL OF GEOPHYSICS
(Monthly) Vol. 64 No. 11 Nov., 2021



Contents

Review

- 3817 Review of induced seismicity and disaster risk control in dry hot rock resource development worldwide
..... YIN XinXin, JIANG ChangSheng, ZHAI HongYu, ZHANG YanBao, JIANG Cong, LAI GuiJuan, ZHU AiYu, YIN FengLing

Space Physics - Geodesy

- 3837 The small coronal hole solar wind and Alfvén wave within the slow solar wind QI ZhaoHui, LIU Yong, LIU RuoYan
3846 Statistical relationships between ionospheric ion outflows and solar wind and geomagnetic activity parameters during geomagnetic storms ... XIONG YaTing, WANG JingYi, FENG Ling, ZHAO Kai, WANG RuKun, FENG DanDan, WANG ZiHui, TANG MuXian

- 3860 Global morphology of NWC and NAA very-low-frequency transmitter signals in the inner magnetosphere: A survey using Van Allen Probes EMFISIS measurements
..... XIANG Zheng, LIN XianHao, CHEN Wei, WANG Yong, LU Peng, GONG WenYing, MA WenChen, HUA Man, LIU YangXiZi

- 3870 Seasonal and local time variations of auroral electrojet: CHAMP observation ZHONG YunFang, WANG Hui, ZHENG ZhiChao, HE YangFan, ZHANG KeDeng, SUN LuYuan, GAO Jie

- 3882 Statistical study of the longitudinal variation of the lunar tide in the equatorial electrojet during the sudden stratospheric warming ZHENG ZhiChao, WANG Hui, ZHANG KeDeng, HE YangFan, GAO Jie, SUN LuYuan, ZHONG YunFang

- 3893 Calibration of the LAP measurements obtained by ZH-1 satellite and analysis of the bias with that from Swarm B satellite ZHOU ZiHan, WANG XiuYing, YANG DeHe, CHENG WanLi, YAN Rui, HE HongWei, GUO Feng

- 3905 Automatic recognition algorithm of lightning whistlers observed by the Search Coil Magnetometer onboard the Zhangheng-1 Satellite ... YUAN Jing, WANG Qiao, YANG DeHe, LIU QinQin, ZHIMA ZeRen, SHEN XuHui

- 3925 Imaging of the large-scale ionospheric disturbances induced by seismic waves using GPS network in China
HAO YongQiang, LI QuanHan, GUO JianGuang, ZHANG XiaoXin, YANG GuangLin, ZHANG DongHe, XIAO Zuo

- 3933 Spherical harmonic synthesis of local hexagonal grid point gravity anomalies with non-full-order Legendre method combined with spherical harmonic rotation transformation LI XinXing, LI JianCheng, LIU XiaoGang, FAN HaoPeng, JIN Chao

Geodynamics - Seismology - Geoelectricity - Marine Geophysics

- 3948 The response of moderate-large earthquake initiations to multi-parameter variations of deep structures in southeastern Tibetan plateau LIU GuanNan, LIU CunXi, WANG Zhi

- 3970 Crustal anisotropy in the eastern Himalayan syntaxis and adjacent areas ... HUANG ChenYu, CHANG LiJun, DING ZhiFeng

- 3983 Activity characteristics of moderate and small earthquakes and fine crustal feature beneath Weiyuan, Sichuan and adjacent areas DU GuangBao, WU QingJu, ZHANG XueMei, ZHANG RuiQing

- 3997 Predicting the distribution of coalbed methane by ambient noise tomography with a dense seismic array**
..... HUANG YuQi, ZHA HuaSheng, GAO Ji, LINGHU JianShe, XUAN JinGuo, ZHOU JianBin, DONG RunPing, HUO JingJing, ZHANG HaiJiang
- 4012 Inversion of shear wave velocity structure beneath the Binchuan airgun source area using a nested combination of multi-scale arrays** SUN Nan, PAN Lei, WANG WeiTao, YE Beng, WANG Bin, CHEN XiaoFei
- 4022 Dissipation-preserving simulation for Earth's free oscillations based on symplectic spectral-element method** LI BingFei, LI XiaoFan, LI Feng, GONG Fei
- 4031 Numerical simulation of electrical conductivity on the graphite-quartz model and its geophysical application** GUO YingXing, ZHU Tao, ZHENG Jun
- 4043 Electric structure of the southern section of the Jiangnan orogenic belt and its tectonic implications** MAO Xing, YE GaoFeng, ZHANG YuXuan, JIN Sheng, WEI WenBo
- 4060 Deep controlling factors of the geothermal field in the northern Songliao basin derived from magnetotelluric survey** ... NIU Pu, HAN JiangTao, ZENG ZhaoFa, HOU HeSheng, LIU LiJia, MA GuoQing, GUAN YanWu
- 4075 Deep structure beneath the overburdened area of the northern margin of Junggar Basin and its geologic implications: Evidence from 3D inversion of integrated geophysical data** LIU Yao, MENG GuiXiang, LÜ QingTian, ZHANG GuiBin, DENG Zhen, QI Guang, XUE RongHui
- 4090 Data processing and seismic phase identification of OBS converted shear wave in the Xisha Block** ZHANG HaoYu, QIU XueLin, WANG Qiang, HUANG HaiBo, ZHAO MingHui
- 4105 Three-dimensional thermal structure of the lithosphere and its relationship to surface structure in the South China Sea** WANG XiaoFang, WANG KaiQi, ZHAO ZhongXian, XU HeHua, ZHAO JunFeng, REN ZiQiang, ZHANG JiaZheng



- 4117 Prediction and location of concealed deposits in desertgobi coverage areas using integrated geophysics: An example of the Layikeleke copper polymetallic deposit in Xinjiang, Northwest China** YAN JiaYong, MENG GuiXiang, LÜ QingTian, DENG Zhen, QI Guang, TANG HeJun, ZHAO JinHua, XUE RongHui, WANG Xu
- 4134 2D QP anisotropic stereo-tomography for VTI media in triangulated model** ZHOU JiaXin, YANG Kai, SHAO WeiDong
- 4150 A modified time-space optimized symplectic method for solving 3D elastic wave equations** WANG Jian, HE XiJun, DONG XingPeng, YANG DingHui, LI JingShuang, HUANG XueYuan, ZHOU YanJie
- 4166 Time and space dispersion in finite difference and its influence on reverse time migration and full-waveform inversion** ... REN ZhiMing, DAI Xue, BAO QianZong, CAI XiaoHui, LIU Yang
- 4181 3D least-squares elastic Gaussian beam prestack depth migration** SUN ChangXiao, MAO WeiJian, ZHANG QingChen, SHI XingChen
- 4196 Suppressing seismic multiples based on the deep neural network method with data augmentation training** WANG KunXi, HU TianYue, LIU XiaoZhou, WANG ShangXu, WEI JianXin
- 4215 An intelligent-while-drilling steering method of global closed-loop servo control** WU SiYuan, LI ShouDing, CHEN Dong, LI Xiao, DU AiMin, ZHANG Ying

《地球物理学报》编辑委员会
Editorial Committee of Chinese Journal of Geophysics

主 编 (Editor-in-Chief) 潘永信 PAN YongXin

副主编 (Deputy Editors-in-Chief)

陈凌 CHEN Ling 黄清华 HUANG QingHua 丘学林 QIU XueLin 王一博 WANG YiBo

汪毓明 WANG YuMing 徐天河 XU TianHe

编 委 (Editorial Board Members)

曹晋滨 CAO JinBin 戴磊 DAI Lei

冯伟 FENG Wei 符力耘 FU LiYun

郝天珧 HAO TianYao 何丽娟 HE LiJuan

孔大力 KONG DaLi 乐新安 YUE XinAn

李斐 LI Fei 李杨 LI Yang

李志伟 LI ZhiWei 李忠海 LI ZhongHai

刘代志 LIU DaiZhi 刘立波 LIU LiBo

史全岐 SHI QuanQi 宋海斌 SONG HaiBin

孙建国 SUN JianGuo 孙建奇 SUN JianQi

王勤 WANG Qin 王伟涛 WANG WeiTao

吴玉新 WU YuXin 吴忠良 WU ZhongLiang

徐培亮 XU PeiLiang 徐昇 XU Sheng

姚刚 YAO Gang 袁怀玉 YUAN HuaiYu

张伟 ZHANG Wei 张小红 ZHANG XiaoHong

邹长春 ZOU ChangChun 左志燕 ZUO ZhiYan

邓成龙 DENG ChengLong 底青云 DI QingYun

高静怀 GAO JingHuai 高翔 GAO Xiang

胡祥云 HU XiangYun 黄宝春 HUANG BaoChun

冷伟 LENG Wei 李春峰 LI ChunFeng

李泽峰 LI ZeFeng 李正祥 LI ZhengXiang

林间 LIN Jian 林玉峰 LIN YuFeng

倪彬彬 NI BinBin 倪四道 NI SiDao

苏振鹏 SU ZhenPeng 孙道远 SUN DaoYuan

田晖 TIAN Hui 王克林 WANG KeLin

王新 WANG Xin 王绪本 WANG XuBen

吴忠庆 WU ZhongQing 徐敏 XU Min

薛国强 XUE GuoQiang 杨顶辉 YANG DingHui

张怀 ZHANG Huai 张剑锋 ZHANG JianFeng

张可可 ZHANG KeKe 钟时杰 ZHONG ShiJie

地球物理学报

DIQIU WULI XUEBAO(月刊 1948年创刊)

第 64 卷 第 11 期 2021 年 11 月 10 日

CHINESE JOURNAL OF GEOPHYSICS

(Monthly, Started in 1948)

Vol. 64 No. 11 November 10, 2021

主管单位 中国科学院

主办 中国科学院地质与地球物理研究所

中国地球物理学会

编 辑 地球物理学报编辑委员会

地址:北京 9825 信箱 邮政编码:100029

电话:010—82998105

网址:<http://www.geophy.cn>

E-mail:actageop@mail.igcas.ac.cn

主 编 潘永信

出 版 科学出版社

印 刷 装 订 北京科信印刷有限公司

总 发 行 科学出版社

地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

电话:010—64017032

E-mail:journal@mail.sciencep.com

国 外 发 行 中国国际图书贸易总公司

地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Geology and Geophysics, CAS

Chinese Geophysical Society

Edited by Editorial Board of Chinese

Journal of Geophysics

Add: P. O. Box 9825, Beijing 100029, China

Tel: 010—82998105

Web:<http://www.geophy.cn>

E-mail:actageop@mail.igcas.ac.cn

Editor-in-Chief PAN YongXin

Published by Science Press

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd

Distributed by Science Press

Add: 16 Donghuangchenggen North Street,

Beijing 100717, China

Tel: 010—64017032

E-mail:journal@mail.sciencep.com

China International Book Trading Corporation

Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号:CN 11-2074/P 国内邮发代号:2-571 国外发行代号:BM 76 定价:120.00 元

国内外公开发行

ISSN 0001-5733



11>

9 770001 573216