

齐鲁地震科学专辑

QILU EARTHQUAKE SCIENCES

(第三辑·2016)

山东省地震局 编

地震出版社

齐鲁地震科学专辑

QILU EARTHQUAKE SCIENCES

(第三辑 · 2016)

山东省地震局 编

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

齐鲁地震科学专辑. 第三辑, 2016/ 山东省地震局编. —北京:
地震出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-5028-4823-1

I. ①齐… II. ①山… III. ①地震学—文集 IV. ①P315-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 319835 号

地震版 XM3938

齐鲁地震科学专辑 (第三辑·2016)

山东省地震局 编

责任编辑: 刘 丽

责任校对: 孔景宽

出版发行: 地震出版社

北京市海淀区民族大学南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68455221

<http://www.dzpress.com.cn>

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印有限公司

版 (印) 次: 2017 年 1 月第一版 2017 年 1 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 444 千字

印张: 18.25

书号: ISBN 978-7-5028-4823-1/P (5522)

定价: 60.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

编辑委员会

主 编：晁洪太

副主编：姜金卫 姜久坤 李远志 刘希强 程晓俊

编 委：（以姓氏笔画为序）

王立军	王华林	王志才	王希波	王增远	刘 敏
孙昭民	苏培雨	李 杰	肖兰喜	吴子泉	张继红
陈传华	陈传国	陈时军	苗同信	郑 芳	郑建常
都吉夔	耿 杰	徐陆军	殷海涛	崔昭文	程庆龙
薛 革	魏汝庆				

执行编辑：

冯恩国	温丽媛	王 伟	陈其峰	连凯旋	孙海龙
赵杰锋	孙丕锋	李月强	颜丙圉	赵 冰	郝军丽

前 言

地震科学涉及众多学科，有许多重大的理论和技术问题需要我们去解决，尤其是地震预报这一世界科学难题，目前正处于探索攻关的阶段。因此，必须依靠科技创新，不断推动地震科学技术的进步，这是保证防震减灾事业持续发展的源泉和动力。这就需要我们正确处理基础理论与应用研究的关系，做到基础理论创新与应用研究开发有机结合，坚持用科学的理论来指导实践，才能不断加快地震科学技术的进步，从而为防震减灾事业的可持续发展提供理论支持与技术支撑。《齐鲁地震科学》的创办就为我省广大地震科技工作者提供了一个很好的基础理论研究与实践应用相结合的交流与学习平台。

《齐鲁地震科学》自 2006 年创办以来，对促进基层地震台站监测人员与省、市地震局青年科技人员的业务交流、科研成果转化和提高论文写作水平等方面发挥了重要作用，弥补了我省没有地震类专业期刊的不足。随着刊登论文质量水平不断提高和编辑出版经验的不断积累，《齐鲁地震科学》在实际监测预报工作中发挥了重要的作用。为使其更好地服务于我省防震减灾事业，经山东省地震局党组研究决定，将《齐鲁地震科学》由每年 2 期的内部出版物升级改版为每年 1 辑的正式出版物，以专辑的形式对外公开出版发行。

希望借助《齐鲁地震科学》这一交流平台，更好地推动地震科技进步，促进我省防震减灾事业又好又快的发展。

晁洪太

2014 年 10 月

目 录

监测预报

山东地区 Q 值特征及场地响应研究

.....李 铂 崔 鑫 钟普浴 (3)

郯庐断裂带下辽河至嘉山各活动段未来地震危险性概率预测研究

.....许洪泰 王华林 王冬雷 杨传成 葛孚刚 (10)

胶辽断块隆起区地震活动特征分析

.....王庆民 沈得秀 (20)

基于数值拟合和设定地震对乳山地区地震危险性分析

.....王杰民 索 锐 曲 利 苗庆杰 胡旭辉 韩邦杰 马丕峰 李小晗 (28)

垂直摆和水平摆倾斜仪观测资料对比分析

.....赵小贺 袁 斌 公续升 (34)

形变学科数据跟踪分析中的地球物理事件判定与识别

.....李栋梁 张 辉 翟正宏 孟晓花 魏秀才 熊 玮 (43)

马陵山台体应变仪干扰因素分析研究

.....公续升 赵小贺 李 琦 闫万晓 胡尊迎 杜德凯 王仲康 宁 斌 (49)

泰安地震台倾斜仪对比分析研究

.....李惠玲 张 明 孟建国 卢双苓 李 峰 范晓易 (56)

山东聊城 GPS 垂直变化与气象三要素及水位相关性分析

.....林 眉 卢忠斌 (66)

聊城台 SP-3400 与 GC-2400 型气相色谱仪观测数据相关性研究

.....冯恩国 连凯旋 陈其峰 李月强 温丽媛 颜丙国 (72)

ATG-6118H 痕量测氢仪校准方法的研究

.....温丽媛 陈其峰 冯恩国 连凯旋 李月强 赵杰锋 孙丕锋 刘保华 (78)

鲁 04 井水位气压和固体潮效应分析

.....刘 凯 管长春 张 辉 张 军 宋 磊 陈燕娥 夏 岩 海长洪 (88)

鲁 07 井水位与水温同震响应特征浅析

.....苏淑娟 孙 豪 邹春红 刘志刚 (97)

鲁 02 井水位破年变异异常原因分析

.....张 辉 董 敏 缪 杰 马 娟 刘 凯 程树岐 (106)

安丘台 FHD 数字化地磁观测系统运行维护经验探讨

.....池国民 赵银刚 孙启凯 刘海林 郑家军 闫德桥 韩 博 杨立涛 (112)

马陵山台地电阻率年变分析与计算模型的建立
.....胡尊迎 闫万晓 杜德凯 王仲康 公续升 李 琦 池国民 (122)

马陵山地震台地电阻率仪改造前后观测质量对比分析
.....闫万晓 胡尊迎 池国民 杜德凯 公续升 马佰顺 (128)

宁东高压直流输电影响山东地磁台网情况分析研究
.....林秀娜 贾立国 邢伟伟 袁 倩 池国民 李志强 (134)

新型 GEO-DI01 磁通门经纬仪与 CTM-DI 磁通门经纬仪的对比分析
.....邢伟伟 陈传华 王 强 林秀娜 贾立国 (140)

科技创新

地震观测井下水样采样器设计与应用
.....程树岐 王西宝 刘海刚 王帅合 徐 磊 董 敏 张 辉 (149)

聊古一井气体取样装置改进研究
.....冯恩国 李月强 连凯旋 温丽媛 陈其峰
王 伟 魏汝庆 赵杰锋 孙丕锋 刘保华 (153)

玻璃纤维增强塑料在地磁观测室建设中的应用推广
.....宋银锋 吕春帅 鲁成义 (160)

信息网络

移动智能终端在应急指挥中的应用
.....杨王永 刘瑞峰 徐秀杰 姜世平 (169)

威海市地震信息系统平台的建设和完善
.....杜桂林 王国龙 董 翔 崔居全 宋 真 (177)

基于 ArcGIS 的青岛市地震专题图绘制研究
.....李 炜 马俊飞 (183)

基于虚拟化及 SDN 的网络设计
.....金 鹏 孙庆文 李永红 房晓亮 尹玉振 (189)

浅析 GPON 组网方式在地震数据传输中的优势
.....房晓亮 吴 晨 孙铭萱 李永红 尹玉振 (193)

基于 Nutch 搜索引擎的网络地震信息采集系统建立
.....张 明 李 红 蔡 寅 曲保安 李惠玲 王杰民 (198)

社会服务

如何实现群测群防工作的融合式发展研究——以山东为例
.....王 伟 冯恩国 李 波 李月强 赵杰锋 刘保华 (207)

防震减灾科普基层宣讲技巧和新思路探索
.....王 铮 卢维棠 熊 玮 马 娟 李安宁 (220)

效能评估

山东省 GNSS (GPS) 学科效能评估结果总结与分析
.....孟建国 马振波 冯志军 张 辉 王洪波 (227)

山东省地震观测资料质量检评工作体系成效分析
.....李小晗 刘 敏 李旭红 蔡伟光 蔺晓晖 (235)

项目建设

泰安台跨断层水准测量场地建设及初步分析
.....王 强 孟建国 李 峰 贾立国 邢伟伟 林秀娜
.....卢双苓 李惠玲 张 明 李志强 孙忠礼 (249)

山东省磁通门台阵的建设及初步应用研究
.....韩海华 赵银刚 张 刚 佟瑞清 殷海涛
.....唐廷梅 董晓娜 陈传华 林秀娜 (259)

山东地震背景场探测项目成果简介
.....张 芹 董晓娜 张 玲 曲 利 (270)

CONTENTS

Monitoring and Prediction

Characteristics of the Q Value and Site Response Research in Shandong Area	LI Bo, CUI Xin, ZHONG Pu-Yu	(3)
The Future Seismic Risk Prediction on Liaodongwan-Jiashan Section of Tancheng-Lujiang Fault Belt	XU Hong-Tai, WANG Hua-Lin, WANG Dong-Lei, et al.	(10)
Analysis of Active Characteristics of Earthquakes in Jiao-Liao Fault Block Upwarping Region	WANG Qing-Min, SHEN De-Xiu	(20)
Seismic Risk Analysis of Rushan Area Based on Numerical Fitting and Scenario Earthquake	WANG Jie-Min, SUO Rui, QU, Li, et al.	(28)
Comparative Analysis of Data from Vertical Pendulum and Horizontal Pendulum Tiltmeter	ZHAO Xiao-He, YUAN Bin, GONG Xu-Sheng	(34)
Judgement and Recognition of Geophysical Events in Deformation Data Tracking Analysis	LI Dong-Liang, ZHANG Hui, ZHAI Zheng-Hong, et al.	(43)
Research on Interference Factors of Volume Strain at Malingshan Station	GONG Xu-Sheng, ZHAO Xiao-He, LI Qi, et al.	(49)
Comparative Analysis of Data from Tiltmeter at Taian Station	LI Hui-Ling, ZHANG Ming, MENG Jian-Guo, et al.	(56)
The Relationship Between GPS Vertical Component and Three Meteorological Elements and Ground Water Level at Liaocheng Station	LIN Mei, LU Zhong-Bin	(66)
Studies on Relationship Between Gas Chromatograph SP-3400 and GC-2400 at Liaocheng Station	FENG En-Guo, LIAN Kai-Xuan, CHEN Qi-Feng, et al.	(72)
Research on Testing and Catibration Method of ATG-6118H Hydrogen Measuring Meter	WEN Li-Yuan, CHEN Qi-Feng, FENG En-Guo et al.	(78)
Analysis of Solidtidal Effect of Water Level and atmospheric Pressure in Lu-04 Well	LIU Kai, ZAN Chang-Chun, Zhang Hui, et al.	(88)
Coseismic Groundwater-Level and Temperature Changes Analysis From Well Lu-07	SU Shu-Juan, SUN Hao, ZOU Chun-Hong	(97)
Analysis of Anomalous Annual Variation of Water Level in Lu-02 Well	ZHANG Hui, DONG MIN, MIAO Jie, et al.	(106)

Running and Maintenance Experiences for the Digital Geomagnetism Observation System of FHD in Anqiu Seismic Station	CHI Guo-Min, ZHAO Yin-Gang, SUN Qi-Kai, et al. (112)
Annual Variation Analysis of Earth Resistivity and Establishment of Calculation Model at Malingshan Seismic Station	HU Zun-Ying, YAN Wan-Xiao, DU De-Kai, et al. (122)
Comparative Analysis of Observation Quality Before and After Modification of the Earth Resistivity Meter at Malingshan Station	YAN Wan-Xiao, HU Zun-Ying, CHI Guo-Min, et al. (128)
Analysis of Interference in Shandong Geomagnetic Observation Produced by Ningdong HVDC Transmission System	LIN Xiu-Na, Jia Li-Guo, XING Wei-Wei, et al. (134)
Comparative Analysis of Magnetic Fluxgate Theodolite GEO-DI01 and CTM-DI	XING Wei-Wei, CHEN Chuan-Hua, WANG Qiang, et al. (140)

Scientific and Technological Innovation

Design and Application of Well Water Sampler in Seismological Observation Well	CHEN Shu-Qi, WANG Xi-Bao, Liu Hai-gang, et al. (149)
Research on Improvement of Gas-Sampling Device in Liaogu-1 Well	FENG En-Guo, LI Yue-Qiang, LIAN Kai-Xuan, et al. (153)
Application of Glass Fiber Reinforced Plastics in the Construction of Geomagnetic Observation Room	SONG Yin-Feng, LÜ Chun-Shuai, LU Cheng-Yi (160)

Information Network

The Role of Mobile Smart Terminal in Emergency Command	YANG Yu-Yong, LIU Rui-Feng, Xu Xiu-Jie, et al. (169)
Establishment and Perfection of Earthquake Information Platform in Weihai	DU Gui-Lin, WANG Guo-Long, DONG Xiang (177)
Creating Seismic Thematic Map of Qingdao Based on ArcGIS	LI Wei, MA Jun-Fei (183)
Network Design Based on Virtualization and SDN	JIN Peng, SUN Qing-Wen, LI Yong-Hong, et al. (189)
Advantage of Gpon Network in Seismic Data Transmission	FANG Xiao-Liang, WU Chen, SUN Ming-Xuan, et al. (193)
Establishment of the Seismic Information Acquisition System Based on Nutch	ZHANG Ming, LI Hong, CAI Yin, et al. (198)

Social Service

Research on Integrated Development in Mass Observation and Prevention
.....WANG Wei, FENG En-Guo, Li Bo, et al. (207)

Popular Science Propaganda Techniques and New Ideas Concerning Earthquake Prevention
and Disaster Reduction at the Primary Level
.....WANG Zheng, LU Wei-Tang, XIONG Wei, et al. (220)

Effectiveness Evaluation

Summary and Analysis of the Result of Shandong GNSS (GPS) Effectiveness Evaluation
.....MENG Jian-Guo, MA Zhen-Bo, FENG Zhi-Jun, et al. (227)

Effectiveness of Shandong Seismic Observation Data Quality Evaluation System
.....LI Xiao-Han, LIU Min, LI Xu-Hong, et al. (235)

Project Construction

Analysis of Construction of Leveling Across Faut Field at Taian Station
.....WANG Qiang, MENG Jian-Guo, LI Feng, et al. (249)

Construction and Application of Fluxgate Magnetometer Array in Shandong
.....HAN Hai-Hua, ZHAO Yin-Gang, ZHANG Gang, et al. (259)

Brief Introduction of The Results of Detection Project of Shandong Sismic Background Fied
.....ZHANG Qin, DONG Xiao-Na, ZHANG Ling, et al. (270)

监测预报

Monitoring and Prediction

山东地区 Q 值特征及场地响应研究

李 铂 崔 鑫 钟普浴

山东省地震局, 山东济南 250014

摘要: 文章从 Q 值的含义和其研究意义出发, 采用山东 2008—2016 年的地震数字波形数据资料, 利用 Aki 方法对山东的 Q 值进行计算研究, 得出山东地区非弹性衰减 Q 值与频率 f 的关系为: $Q(f)=392.1f^{0.5026}$; 利用 Moya 方法计算部分台站的场地响应, SHH、TCH、WED、CSH、ANQ 等台站在一定程度上表现出了高频衰减特性。

关键词: 品质因子; 场地响应; 衰减

引 言

地震波衰减品质因子 (Q 值) 是对地震波传播过程中能量衰减情况的一个表征参数。 Q 值也是描述地球介质特性的主要参数, 由于应力变化造成的岩石性质的变化, 如裂隙状态、流体迁移、热物质上涌等, 都可造成品质因子 Q 值的变化^[1]。由于地震波在介质中的衰减与 Q 值直接相关, 因此通过天然地震研究地球介质的 Q 值, 可以进一步了解地球内部介质的特性、推断其热力学状态、了解地球内部结构组成及其变化等, 是地震学的主要研究方向之一。如尾波 Q 值被用于探测在地壳和上地幔^[2]中是否存在类似部分熔融的异常带, 是研究火山构成和火山活动的重要工具。

地震波衰减特征的研究是地震学研究的重要课题^[3], 地震波的衰减系数是通过远距离观测资料对地震进行定量和研究震源性质所必需的重要参数。同时, 地震波的衰减特征对于地震危险性分析也具有十分重要的意义, 是地震工程最关心的基础资料之一^[4]。由于剪切波的振幅通常比波振幅大, 一般可达 5 倍左右, 因此对于地震工程来说, 剪切波衰减的特征将具有更重要的意义。本文将采用多台多震源联合反演^[5]的方法也称 (Atkinson 方法) 进行地震波衰减特征的研究。

本文选用山东数字地震台网数字台站记录到的中小地震的波形资料, 采用 Atkinson 等

作者简介: 李 铂 (1983—), 男, 工程师, 主要从事地震监测预报工作。

基金项目: 山东省地震局合同制 (项目编号: 16Y85) 资助。

的多台、多地震联合反演的方法^[6]计算了该研究区非弹性衰减 Q 值,并在此基础上利用 Moya^[7]等提出的方法计算了部分台站的场地响应,对其进行了分析研究,为今后数字地震资料在山东地区地震学、地震工程学和测定新地震参数方面奠定了基础。

1 分析原理

文章基于 Aki 模型,利用单一散射模式描述地震尾波的衰减,第 i 个地震在第 j 个台站观测到的地面运动剪切波傅里叶谱 SH 分量式(1)所示:

$$A(f)=A_{i0}(f) \cdot G(R_{ij}) \cdot S_j(f) \cdot e^{-\frac{\pi f R_{ij}}{Q(f)v}} \quad (1)$$

式中, $A_{i0}(f)$ 为第 i 个地震的震源谱振幅, R_{ij} 为震源距, $G(R_{ij})$ 为几何衰减函数, $S_j(f)$ 为第 j 个台站的场地响应项, $Q(f)$ 为品质因子, v 为波速。

将式(1)两边取对数,得到如下关系式:

$$\lg A_{ij}(f)=\lg A_{i0}(f)+\lg G(R_{ij})-c(f) \cdot R_{ij}+\lg S_j(f) \quad (2)$$

其中,非弹性衰减系数 $c(f)$ 与介质品质因子 $Q(f)$ 的关系如式(3)所示:

$$Q(f)=\frac{\lg(e)\pi f}{c(f)v} \quad (3)$$

Atkinson 等(1992)^[8]提出的计算 S 波衰减系数 $c(f)$ 值的原理为:首先假定所有台站的场地响应均为1(即不考虑场地响应),在非弹性衰减系数 $c(f)$ 值给定的情况下,对各台站记录进行几何扩散和衰减校正;其次设定某次地震的震源谱是不同台站记录获得的震源谱振幅的平均,而各个台站的场地响应的对数就是该台站得到的震源谱振幅对数与该地震的震源谱振幅对数之差的平均值;最后,再将各台站得到的场地响应考虑进去,重新计算各台站经过校正后的震源谱振幅,通过调整 c 值,使对同一地震得到的震源谱振幅的残差最小。通过反复迭代反演,可得到该区域的非弹性衰减系数 $c(f)$,进而得到区域介质的品质因子 $Q(f)$ 。

采用 Moya 等(2000)的方法,计算每个台站的场地响应。首先选择 Brune(1970)^[9]的 ω^2 震源谱模型,假设每个台站的场地响应对不同地震事件都是相同的,运用遗传算法,通过调整震源谱参数,使得不同地震事件得到的同一个台站场地响应的标准差最小。在获得震源谱参数后,利用经过几何扩散和非弹性衰减校正后的位移振幅谱与震源谱对比就可以得到每个台站的场地响应。

首先对第 i 个地震在第 j 个台站观测到的 S 波傅里叶振幅谱进行几何扩散与衰减的校正:

$$O_{ij}^{\text{corr}}(f)=O_{ij}(f)R_{ij}\exp\left(\frac{\pi R_{ij}f}{Q(f)v}\right)/2\pi f \quad (4)$$

通过设定每个地震震源的震源谱参数(震源谱的低频水平 Ω_0 和拐角频率 f_c),从而可以得到每次地震的理论位移震源谱。在第 k 个频率点,由第 i 次地震事件对第 j 个台站的场地响应为:

$$G_{ij}(f_k) = \frac{O_{ij}^{\text{corr}}(f_k)}{S_i(f_k)} \quad (5)$$

式中, $O_{ij}^{\text{corr}}(f_k)$ 为经过校正后的振幅谱; $S_i(f_k) = \frac{\Omega_{0i}}{1+(f_k/f_c)^2}$ 为震源谱; Ω_{0i} 和 f_c 分别为频谱的低频水平和拐角频率。

计算在第 k 个频率点上第 j 个台站由不同地震得到的场地响应的平均值和标准偏差, 采用遗传算法, 调整每次地震的震源谱参数, 使式 (6) 的值最小。

$$\text{sum} = \sum_j \sum_k \frac{\text{std}[G_{ij}(f_k)]}{\text{mean}[G_{ij}(f_k)]} \quad (6)$$

2 数据资料的选取

山东地震台网自从“十五”数字化台网建设以来, 至今已经建立了 117 个数字地震台站 (包括 3 个海岛台), 由于山东东部地震多于山东西部, 所以东部台站也略多于西部, 为了提高对网缘地震的监测能力, 山东台网还通过 SDH 行业网专线对河南、江苏、安徽、河北、辽宁 5 个省 10 个台站的实时波形数据进行接收。对于 S 波窗资料的截取是从 S 震相开始到包含 90% 的 S 波总能量的时间段, 选取的基本原则是近距离的直达波, 或者在较远距离上包括内部地壳界面和 Moho 面上的反射 (包括 Sn 和 Lg 波), 采用平移窗谱方法 (Chael, 1987)^[10], 获得稳定的观测信号的傅里叶谱。

计算过程中, 首先选取合适尾波窗的截断时间, 根据最新山东省地震台网监测能力, 本文利用计算机进行了多次反演测算, 确定信噪比取至 $\sqrt{2}$ 为本地区截断尾波数据段作为最大可用数据段, 尾波段起算时间从 2 倍的 S 波走时开始。本文研究所采用的震中距为 5~250km, 即只包括直达波及地壳内间断面、莫霍面和反射波。本文采用的平移窗谱方法, 使得不同震中距地震的 S 窗谱率间隔一致。

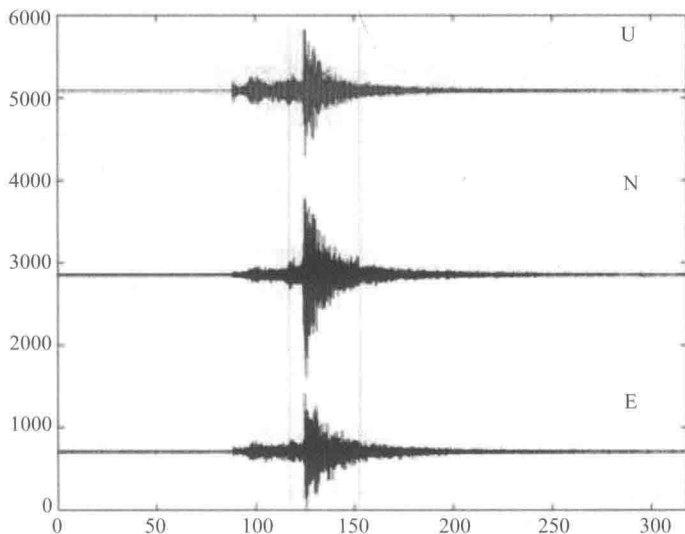


图 1 标准计算用图

