

邵媛媛,王岩,郑勇,等. 2022. 辽宁地区 Lg 波衰减与场地响应的分区特征[J]. 地震研究, 45(4): 552-559, doi: 10. 20015/j. cnki. ISSN1000-0666. 2022. 0061.

Shao Y Y, Wang Y, Zheng Y, et al. 2022. Distribution characteristics of Lg - wave attenuation and site response in Liaoning area[J]. Journal of Seismological Research, 45(4): 552-559, doi: 10. 20015/j. cnki. ISSN1000-0666. 2022. 0061.

辽宁地区 Lg 波衰减与场地响应的分区特征*

邵媛媛¹, 王岩¹, 郑勇^{2,3}, 杨士超¹, 钱蕊¹, 贾丽华¹

(1. 辽宁省地震局, 辽宁 沈阳 110034; 2. 中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院, 湖北 武汉 430074;
3. 中国地质大学(武汉)地球内部多尺度成像湖北重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要:为探讨辽宁地区地质结构差异对 Lg 波衰减的影响, 将辽宁地区分区为辽西隆起区、下辽河拗陷区、辽东隆起区 3 个构造单元, 基于 Lg 波谱比法, 利用 2008—2017 年辽宁数字地震台网记录到的 308 次 $M_L \geq 2.8 \sim 5.6$ 地震的波形资料, 在 1~7 Hz 频率范围内进行联合反演求解 Lg 波衰减参数与台站场地响应。结果表明: Lg 波介质衰减特征分区差异明显, 频率依赖指数 η 差异不大, 东西、南北及垂直三分量的品质因子 $Q(f)$ 在辽西隆起区为 176.29~210.55、在下辽河拗陷区为 75.18~141.81、在辽东隆起区为 161.95~206.10, 对应的 η 分别为 0.39~0.9、0.55~0.73 和 0.50~0.69; 各分区均为低 Q_0 、高 η 值, 地震波衰减程度差异与区域地质构造特征一致; 反演获得的台站场地响应幅值曲线较为平滑, 下辽河拗陷地区的台站场地响应幅值大于辽西隆起区和辽东隆起区的场地响应幅值, 说明辽宁地区 Lg 波介质衰减特征与区域浅层沉积层结构有关。

关键词: Lg 波; 衰减参数; 场地响应; 联合反演; 辽宁地区

中图分类号: P315.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2022)04-0552-08

doi: 10. 20015/j. cnki. ISSN1000-0666. 2022. 0061

0 引言

地震波衰减研究是地震学研究的重要课题。地震波衰减参数反映了区域地质构造及地震活动性 (Aki, 1996; Sato, Fehler, 1998; 陈运泰等, 2000)。它是对地震波路径衰减的描述, 仅与距离有关。场地响应反映了近地表地层介质对地震地面运动能量的放大或吸收效应, 其大小与近地表地层介质的密度和地震波速度有关, 与地震波的传播距离无关。基于这一原理, 朱新运和陈运泰 (2007) 提出基于 Lg 波谱比与台站场地响应的联合反演方法, 避免了震源模型的假设 (Moya et al, 2000), 并且考虑了台站场地响应与频率的依赖关系, 实现了衰减参数与场地响应分离, 在中国东部、浙江、华北等地区有较好地应用 (Zhu, Chen, 2012; Zhu, 2014; 朱新运, 2016)。邵媛媛等

(2020) 采用该方法计算了辽宁地区全区的 Lg 波衰减参数 Q 和频率依赖指数 η , 结果显示辽宁地区整体上为低 Q_0 和低频率依赖的构造活跃区, 场地响应特征与浅层结构及地质构造有密切联系。

在大地构造分区上, 辽宁地区属于华北断块区北部, 喜马拉雅运动形成了辽宁境内东西部大型隆起和中部拗陷的格局 (雷清清等, 2008), 且区域地质构造复杂。按区域地层、岩石、构造及地球物理特点, 辽宁地区可分为 3 个基本构造单元, 即辽东断块隆起带、下辽河—辽东湾断块拗陷带和辽西断块隆起带 (卢造勋, 1983; 万波, 钟以章, 1997; 曹凤娟等, 2021)。在以断块差异升降为主要运动形式的新构造运动中, 各区域在沉积层发育厚度不一, 在下辽河拗陷区的沉降区第三系、第四系厚度可达数千米 (万波, 钟以章, 1997), 沉积层引起的地震波衰减或者放大效应对记录到的地震波形具有重要影响 (Tao et al, 2014)。

* 收稿日期: 2021-12-31.

基金项目: 中国地震局地震科技星火计划青年项目 (XH18014Y)、中国地震局地球物理研究所基本科研业务费专项资助 (DQJB21B34) 和自然科学基金 (41874053) 联合资助。

第一作者简介: 邵媛媛 (1987-), 工程师, 主要从事数字地震学及地震预报研究. E-mail: chdshyy@163.com.

为进一步研究区域地质结构的差异性对 Lg 波衰减的影响, 本文将辽宁地区分为 3 个构造单元进行分区联合反演, 计算得到 Lg 波衰减参数与场地响应, 从而为辽宁地区现今的地震活动危险性 & 区域地壳构造特征研究等提供准确的基础信息。

1 资料的选取与处理

1.1 资料的选取

本文研究区域为辽宁及邻区 (以下简称辽宁

地区) ($38.5^{\circ} \sim 44^{\circ} \text{N}$, $119^{\circ} \sim 126^{\circ} \text{E}$), 收集 2008—2017 年辽宁数字地震台网 32 个地震台记录到的 308 次浅源地震, 震级 $M_L 2.8 \sim 5.6$, 震源深度 $5 \sim 15 \text{ km}$, 台站震中距 $90 \sim 500 \text{ km}$ 。各台站布设仪器包括宽频带和短周期地震仪, 采样率为 100 Hz , 台站场地类型包括地表、井下和山洞, 台基均为基岩。本文依据辽宁地区的 3 个构造单元的分区 (万波, 钟以章, 1997; 曹凤娟等, 2021), 分别联合反演各分区的 Lg 波衰减参数及台站场地响应。图 1 为辽宁地区的分区图。

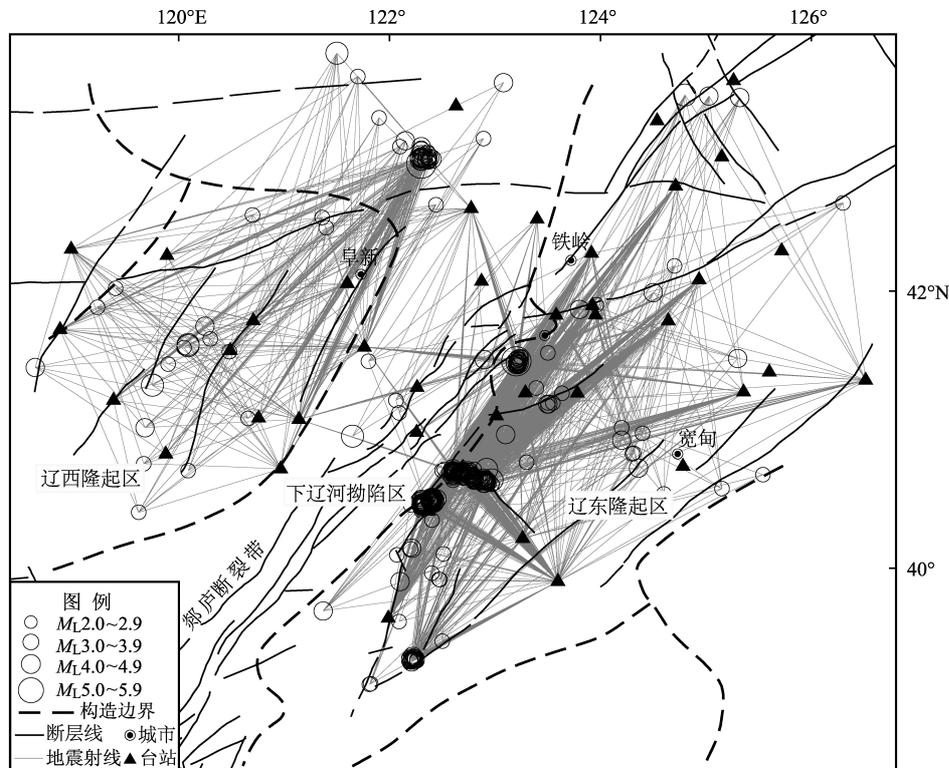


图 1 辽宁地区构造分区 (据万波, 钟以章, 1997) 及 Lg 波反演分区射线路径示意图

Fig. 1 Structural division and seismic ray used for Lg inversion in Liaoning region

1.2 资料处理

Lg 波普遍被认为是短周期高阶面波 (Knopoff *et al*, 1973; Mitchell, 1975) 或地壳内多次反射叠加的浅层导波 (Campillo *et al*, 1985), 其传播速度约为 3.5 km/s 。在大陆范围内, 一般在区域性短周期和宽频带地震图上, Lg 波震相清晰、能量最大且稳定、持续时间长, 对地壳介质物理参数的变化更为敏感 (刘建华等, 1999, 2004)。在分区筛选地震射线的过程中, 对所选的地震波形逐条筛查, 删除存在畸形、断记、漏记等问题的波形, 尽量保证地震射线路径能均匀覆盖研究区域。

Lg 波能量的选取通常选用一定速度窗长进行截取, Murphy 和 Bennett (1982) 以及 Campillo 等 (1985) 采用不同的速度窗长 ($2.3 \sim 3.6 \text{ km/s}$ 、 $2.6 \sim 3.1 \text{ km/s}$ 和 $3.1 \sim 3.6 \text{ km/s}$) 截取 Lg 波段, 对衰减参数计算的影响可以忽略。由于辽宁地区地震活动分部比较不均匀, 地震活动与构造的相关性比较明显并受震中距方位的限制, 最终获得辽西隆起区参与反演的地震记录 339 条、下辽河拗陷地区 157 条、辽东隆起区 1777 条 (图 1), 3 个分区选择的 Lg 波速度窗略有差异 (表 1)。为防止谱泄露, 对截取的 Lg 波段进行补零为 2 的整数倍

长度, 在两端加上 2% 的余弦旁瓣, 通过傅立叶变换、仪器矫正和几何衰减矫正, 并以 3 个单位频率步长采样进行平滑处理, 计算 Lg 波谱。图 2 是截取的辽西隆起区内 2013 年 7 月 7 日 $M_L 3.4$ 地震的 Lg 波和波谱计算实例。

2 计算结果及分析

2.1 构造分区的 Lg 波衰减参数和 η

本文在频率域 1 ~ 7 Hz 内, 以 0.2 Hz 间隔进行采样来构造矩阵方程求解 Lg 波衰减参数与台站场地响应, 并对衰减参数进行 $Q(f) = Q_0 f^\eta$ 形式的拟合, 其中 f 为频率, η 是频率依赖指数, Q_0 是 $Q(f)$ 在 1 Hz 时的值。分别对辽西隆起区、下辽河拗陷区和辽东隆起区 3 个构造分区进行联合反演, 最终获取 3 个构造分区的 Lg 波衰减参数与频率关系 (表 1)。图 3 为联合反演获得的辽西隆起区介质衰减参数 $Q(f)$ 与频率的拟合图。

综合 3 个构造分区的 Lg 波衰减参数与频率的关系 (图 4), 可以发现辽宁地区 3 个构造分区 Lg 波的 Q_0 值都为低值, 频率依赖指数的差异不大; 下辽河拗陷区的 Q_0 均值 (107.65) 低于辽西隆起区均值 (174.41) 和辽东隆起区均值 (177.01), 且下辽河拗陷区的 Q_0 三分量值要低于辽宁全区反演的结果 171.45 ~ 223.39 (邵媛媛等, 2020)。

Nutli (1973) 研究得出 η 与 Q_0 一般呈反向变化的规律, 即高 Q_0 低 η , 低 Q_0 高 η , 但 Q_0 和 η 的关系在某些地区并不符合, 如北美和西伯利亚地区。从连理等 (2002) 对中国大陆及邻近地区 Lg 尾波 Q_0 值分析发现, 我国及周边大部分地区 η 值与 Q_0 呈现反向变化关系; 从本文的反演结果 (表 1) 看, 辽宁地区 3 个构造分区的 η 与 Q_0 也符合这一规律。

表 1 辽宁地区分区 Lg 波衰减参数 $Q_0 (f = 1 \text{ Hz})$ 和 η
Tab. 1 The Lg wave attenuation parameters $Q_0 (f = 1 \text{ Hz})$ and η for three tectonic regions in Liaoning

构造分区	分向	Lg 波速度窗/ ($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$)	f/Hz	Q_0	Q_0 均值	η
辽西隆起区	UD			176.29		0.69
	EW	2.2 ~ 3.6	1 ~ 7	136.40	174.41	0.90
	NS			210.55		0.39
下辽河拗陷区	UD			105.97		0.55
	EW	1.9 ~ 3.6	1 ~ 7	75.18	107.65	0.73
	NS			141.81		0.39
辽东隆起区	UD			163.00		0.69
	EW	2.2 ~ 3.6	1 ~ 7	206.10	177.01	0.50
	NS			161.95		0.69

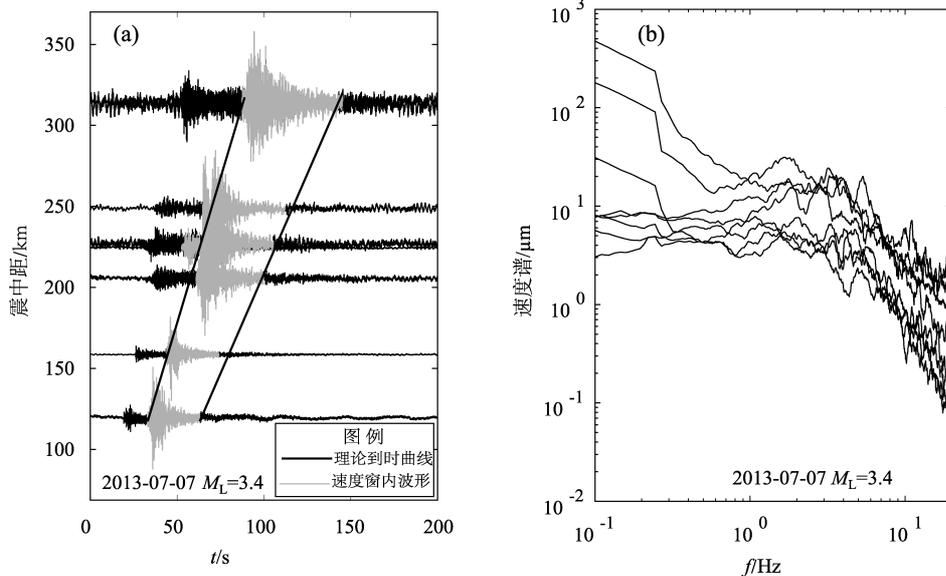


图 2 辽西隆起区内使用 2.2 ~ 3.6 km/s 速度窗长截取的 $M_L 3.4$ 地震的 Lg 波 (a) 及相应波谱 (b)
Fig. 2 The seismic waveforms (a) and spectra (b) of the Lg waves of $M_L 3.4$ earthquake cut in the window between of 2.2 - 3.6 km/s in the Western Liaoning Uplift region

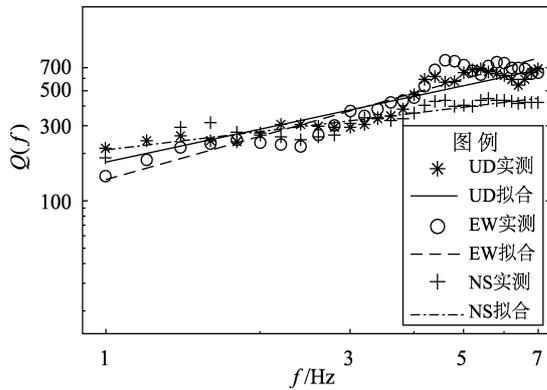


图 3 辽西隆起区介质衰减参数 $Q(f)$ 与频率 f 的拟合图

Fig. 3 Relationship between $Q(f)$ and f in the Western Liaoning Uplift region

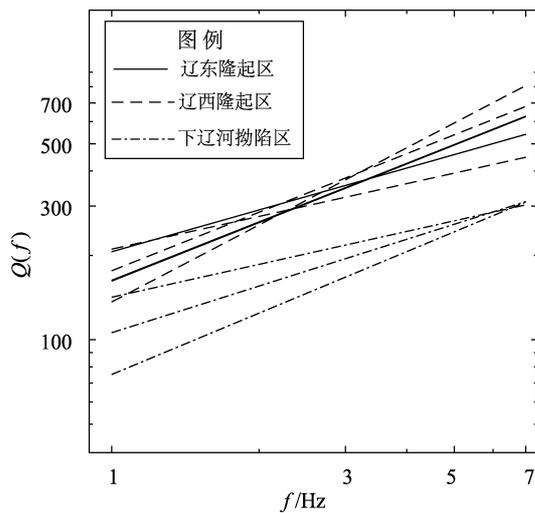


图 4 辽东隆起区、辽西隆起地区和下辽河拗陷区的 Lg 波衰减参数 $Q(f)$ 与频率的关系

Fig. 4 Relationship between $Q(f)$ and f in the Western Liaoning Uplift region, Eastern Liaoning Uplift region and Xialiaohu Downwarping region

2.2 场地响应

本文联合反演的同时还获得了各构造分区内的台站的场地响应 (图 5)。各台站场地响应幅值曲线在研究频段内比较平滑稳定, 幅值大部分为 1~8, 下辽河拗陷区的场地响应幅值 (1~8) 相对辽西隆起区场地响应幅值 (1~5) 和辽东隆起区台站的场地响应幅值 (1~6) 略大。三分量的幅值差异也相对大一些, 如后新秋台、沈阳台、盖

县台、法库台、新民台, 其 NS 向和 EW 向的场地响应幅值略大于 UD 分量, 且低频段的放大效应大于高频段。对比邵媛媛 (2020) 获得的台站场地响应结果可以看出, 大部分台站场地响应的三分量幅值和曲线变化趋势大致相同。但某些台站有明显的差异, 如岫岩台 EW 分量的场地响应幅值的两次反演结果相差 3~4, 这可能与两次反演中参考台选取的不同有关。在辽宁全区反演研究中, 锦州台在大多数频率下响应幅值都很小, 所以大多数频率下, 这个台站都是作为参考台, 而在本研究中, 锦州台与岫岩台参与不同台站组别的反演, 台站组发生了变化, 所以相对结果也出现一定的变化。从位于构造分区边界附近台站 (盖县台、后新秋台、沈阳台、北镇台) 场地响应幅值看, 由于参与了下辽河拗陷区和辽东隆起区不同台站组的联合反演, 所获的场地响应的幅值形态特征也出现了一定变化。

3 结果稳定性分析

为了检验样本量与解的稳定性, 本文沿用了 Erickson 等 (2004) 所使用的样本重构的方法对解的稳定性进行了检验, 该方法在多个研究中被使用 (Zhu, 2014; 朱新运, 2016; 邵媛媛等, 2020)。以辽西隆起区为例, 从 60 个地震总样本中, 随机删除 12 个地震, 重新构建观测矩阵进行 1 500 次求解, 最终获得 1 500 组解, 并计算其平均值和标准差值 (图 6)。从图 6 可以看出, 重构矩阵方程计算获得的 NS 分量的衰减参数 Q_0 值为 177.24, 相对误差为 0.54%, 频率依赖指数 η 为 0.68, η 的相对误差为 1.4%, 反演结果是稳定可靠的。

4 讨论

Q_{Lg} 值反映了地壳中形状、厚度变化、非均匀散射与介质衰减。在构造活动强烈的区域, 发育的裂隙、破碎的介质、巨厚的沉积层和上涌的地幔物质均会造成 Q_{Lg} 值的明显降低 (胡家富等, 2003; 苏伟等, 2006; 汪素云等, 2007; 罗毅, 盖增喜, 2019; 何静等, 2017)。本文反演计算获得

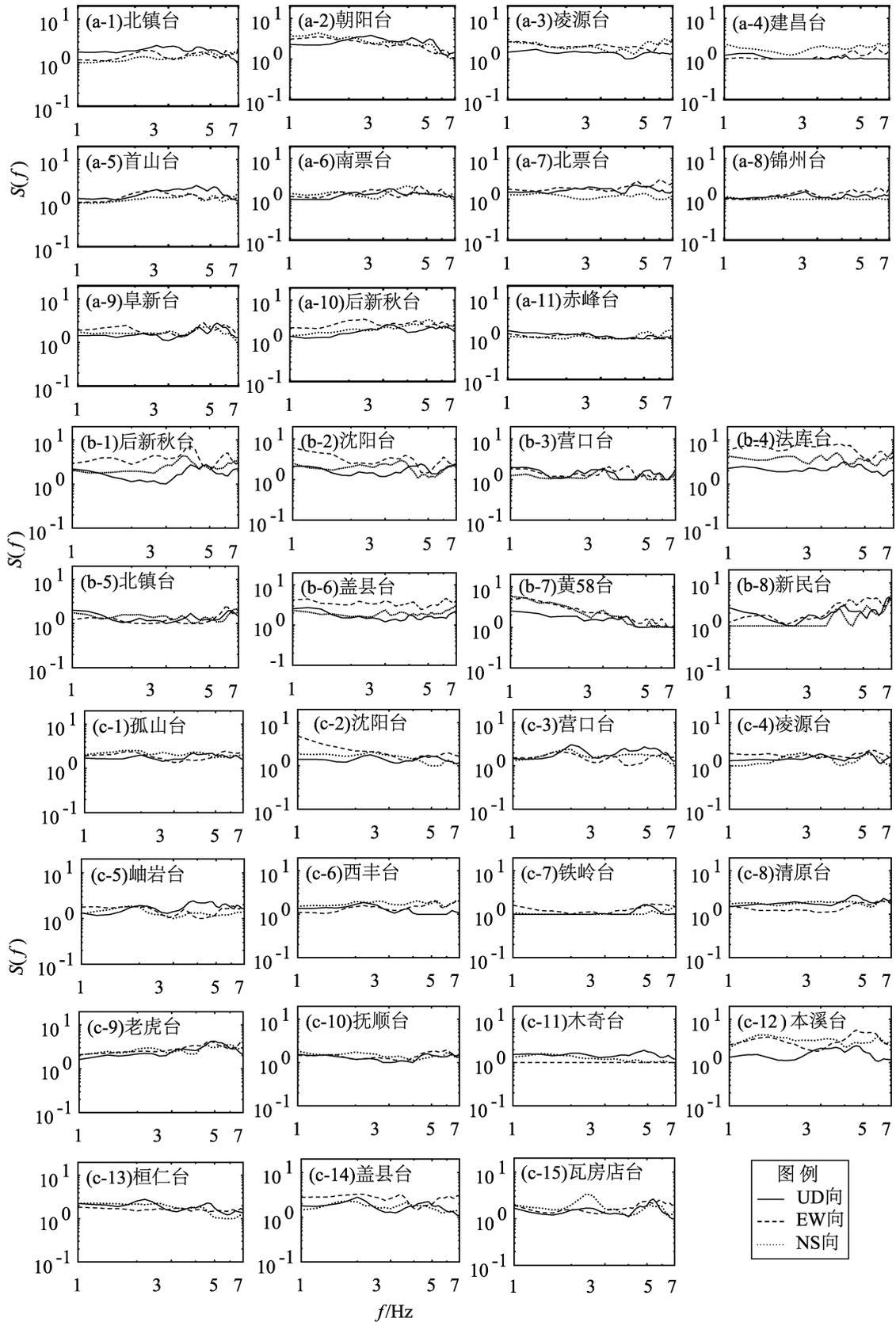


图5 辽西隆起区 (a)、下辽河拗陷区 (b)、辽东隆起区 (c) 内参与评估台站的场地响应特征
 Fig. 5 The site of station in the Western Liaoning Uplift region (a), the Xiaoliaohe Downwarping region (b) and the Eastern Liaoning Uplift region (c)

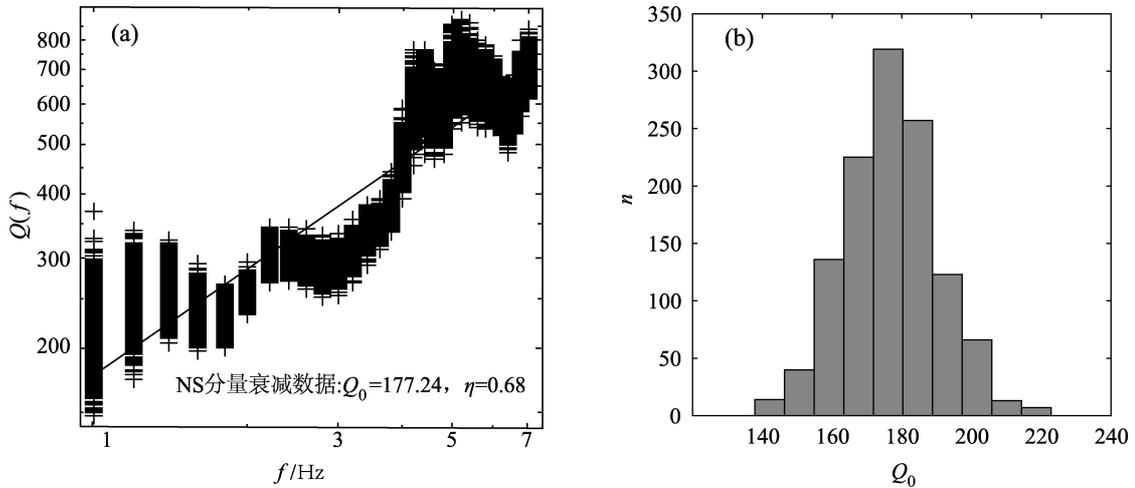


图6 辽西地区删除20%地震样本后31个频率对应的 Q 值拟合图(a)和 Q_0 数据直方图(b)

Fig. 6 The frequency - dependent Q values at 31 frequencies (a) and normal distribution of Q_0 value (b) when remove 20% of the total data in the Western Liaoning Uplift region

辽宁地区3个构造分区的Lg波衰减参数具有明显的构造分区差异：下辽河拗陷地区 Q_{Lg} 值比辽西隆起区和辽东隆起区低，说明下辽河拗陷地区的介质衰减性更强。在地质结构和地貌上，华北新构造地区表现为NE向的山系与谷地相间排列的格局，区内不平衡升降运动现象显著，辽东、辽西隆起区山地上升而下辽河、辽东湾地区下降（万波，钟以章，1997）。下辽河拗陷地区是一个新生代沉降区，盆地发育，区内地壳较薄，全新世时期的沉积分布比较均匀，第四系覆盖度和深度较厚，达100~450 m（雷清清等，2008），介质疏松，对地震波能量的吸收更大，符合该区地震波衰减程度强于辽东、辽西隆起区这一特征。与朱新运（2016）得出的华北地区 Q_{Lg} 值在山地为高值、盆地为低值的结论一致。此外，下辽河拗陷地区的 Q_{Lg} 的最大值接近另外两区的最小值，说明3个构造分区的地壳介质衰减的连续性较好。辽东隆起区属于胶辽地盾，地貌上为中低山、丘陵区，从晚古生代时期以来长期缓慢抬升，呈基岩断块隆起区，山地构造多。而辽西隆起区多为丘陵，这也符合辽东隆起区的 Q_{Lg} 值略高于辽西隆起区的特征。综合以上分析，各构造分区的衰减特征与区域的地貌、浅层地壳结构是密切相关的。

对比本文分区反演的台站场地响应与辽宁全区反演的场地响应（邵媛媛等，2020），可以看到有些台站场地响应幅值发生了一定变化，这和参

与反演的台站组发生变化有关。尽管计算时通过自动查找各频率响应最低的台站作为该频率的参考台，但当台站组出现变化时，相对结果也会出现一定变化，如果数据足够充分，每组有尽可能多的台站参与计算，那么相对结果就会更稳定。另外，从各分区台站场地响应幅值对比分析可发现，对于衰减性强的下辽河拗陷区，台站场地响应的幅值整体幅值（1~8）较辽西、辽东隆起区（1~6）大，且低频段的放大效应大于高频段，部分台站有小幅波动，如后新秋台和新民台；三分量的差异特征也更为明显，如法库台、盖县台、沈阳台、后新秋台，这可能与下辽河拗陷区厚的沉积层及土层覆盖的影响有关，说明场地响应幅值的分区构造差异与地质构造特征密切相关。一般在 Q 值低的地区，地震更活跃。从地震活动性看，下辽河拗陷区及其与辽东隆起交界区为盖州海城小震活动密集区，震群频繁，而辽西隆起区的地震与震群活动都相对较少的。本文对辽宁构造分区地震波衰减结构差异的认识和台站场地响应结果对区域地震危险性研判有一定的指导意义。

5 结论

本文基于Lg波谱的地震波衰减参数与台站场地响应的联合反演，获得了辽宁辽西隆起区、下辽河拗陷区和辽东隆起区3个构造分区在频率1~

7 Hz 范围的 Q_{Lg} 和 η 值, 同时给出了 3 个构造分区的台站场地响应幅值图, 得到了以下结论:

(1) 辽宁地区 3 个构造分区 Lg 波的 Q_0 值都为低值, η 值呈现与 Q_0 反向变化关系; Q_0 值分区差异明显, 而 η 值分区差异的不明显。

(2) 下辽河拗陷区的 Q_{Lg} 值明显低于辽西和辽东隆起区, 也低于辽宁全区反演 Q_0 的平均值, Q_{Lg} 的最小值接近于辽西、辽东隆起区的最大值。此外, 辽东隆起区相比辽东隆起区的 Q_0 值略大。

(3) 台站场地幅值变化也存在分区构造差异。对于 Q_0 值低、衰减性强的下辽河拗陷区, 台站场地响应的幅值在低频段的放大效应大于高频段, 部分台站有小幅波动, 三分量的差异特征也较辽西、辽东隆起区明显, 可能与下辽河拗陷区厚的沉积层及土层覆盖对地震波能量吸收影响有关。

参考文献:

- 曹凤娟, 郭晓燕, 李梦莹, 等. 2021. 辽宁地区波速比分布特征及构造意义[J]. 地震工程学报, 43(2): 264-271.
- 陈运泰, 吴忠良, 王培德, 等. 2000. 数字地震学[M]. 北京: 北京地质出版社.
- 丛连理, 胡家富, 傅竹武, 等. 2002. 中国大陆及邻近地区 Lg 尾波 Q 值的分布[J]. 中国科学: 地球科学, 32(8): 617-624, 705.
- 何静, 吴庆举, 李永华, 等. 2017. 天然地震 Lg 波衰减研究进展及其在中国大陆地区的应用[J]. 地球物理学进展, 32(2): 466-475.
- 胡家富, 丛连理, 苏有锦, 等. 2003. 云南及周边地区 Lg 尾波 Q 值的分布特征[J]. 地球物理学报, 46(6): 809-813.
- 雷清清, 廖旭, 董晓燕. 2008. 辽宁省地震构造研究[J]. 东北地震研究, 24(4): 1-10.
- 刘建华, 刘福田, 王凤霞, 等. 1999. 单台 Lg 尾波 Q_{Lg}^c 的测量研究[J]. 地球物理学报, 42(3): 371-382.
- 刘建华, 刘福田, 阎晓蔚, 等. 2004. 华北地区 Lg 尾波衰减研究—— Lg 尾波 Q 的测量[J]. 地球物理学报, 47(5): 822-831.
- 卢造勋. 1983. 东北地区的深部构造和地震[J]. 长江地质学院报, 31(1): 113-121.
- 罗毅, 盖增喜. 2019. Lg 波 Q 值随震源深度的变化作为地壳本征衰减深度的判据[J]. 地球物理学报, 63(3): 898-911.
- 邵媛媛, 郑勇, 王亮, 等. 2020. 辽宁地区 Lg 波衰减参数及台站场地响应研究[J]. 地震研究, 43(1): 19-27.
- 苏伟, 吴建平, 明跃红, 等. 2006. Lg 尾波 Q_0 值与中国大陆及邻区的地质构造关系[J]. 地震学报, 28(2): 132-140.
- 万波, 钟以章. 1997. 东北地区的新构造运动特征分析及新构造运动分区[J]. 东北地震研究, 113(4): 64-75.
- 汪素云, 裴顺平, 许忠淮, 等. 2007. 利用 M_L 振幅研究地壳横波 Q 值 I: 不同构造区的衰减特征[J]. 地球物理学报, 50(6): 1740-1747.
- 朱新运, 陈运泰. 2007. 用 Lg 波资料反演场地响应与地震波衰减参数[J]. 地震学报, 29(6): 569-580.
- 朱新运. 2016. 华北盆地 Lg 波衰减及台站场地响应特征[J]. 地球科学, 41(12): 2109-2117.
- Aki K. 1996. Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves[J]. J Geophys Res, 74(2): 615-631.
- Campillo M, Plantet J L, Bouchon M. 1985. Frequency - dependent attenuation in the crust beneath central France from Lg waves: data analysis and numerical modeling[J]. Bulletin Seismological Society of America, 75(5): 1395-1411.
- Erickson D, McNamara D E, Benz H. 2004. Frequency dependent Lg Q within the continental United States[J]. Bull Seismol Soc Am, 94(5): 1630-1643.
- Knopoff L, Schwab F, Kausel E. 1973. Interpretation of Lg [J]. Geophys J R Astr Soc, 33: 389-404.
- Mitchell B. 1975. Regional Rayleigh wave attenuation in North America [J]. J Geophys Res, 80: 4904-4916.
- Moya C A, Aguirre J, Irikura K. 2000. Inversion of source parameters and site effects from strong ground motion records using genetic algorithms[J]. Bull Seismic Soc Am, 90(4): 977-992.
- Murphy J R, Bennett T J. 1982. A discrimination analysis of short - period regional seismic data recorded at tonto forest observatory[J]. Bull Seismol Soc Am, 72(4): 1351-1366.
- Nuttli O W. 1973. Seismic wave attenuation and magnitude relations for eastern north America[J]. J Geophys Res, 78(5): 876-885.
- Sato H, Fehler M C. 1998. Seismic wave propagation and scattering in the heterogeneous earth[M]. New York: Springer Verlag, 308.
- Tao K, Liu T Z, Ning J Y, et al. 2014. Estimating sedimentary and crustal structure using wavefield continuation: theory, techniques and applications[J]. Geophys J Int, 197(1): 443-457.
- Zhu X Y, Chen Y T. 2012. An inversion of Lg - wave attenuation and site response in the North China region[J]. Bull Seismol Soc Am, 102(6): 2600-2610.
- Zhu X Y. 2014. An inversion of Lg - wave attenuation and site response from seismic spectral ratios in the eastern China region[J]. Bull Seismol Soc Am, 104(3): 1389-1399.

Distribution Characteristics of Lg – wave Attenuation and Site Response in Liaoning Area

SHAO Yuanyuan¹, WANG Yan¹, ZHENG Yong^{2,3}, YANG Shichao¹, QIAN Rui¹, JIA Lihua¹

(1. *Liaoning Earthquake Agency, Shenyang 110034, Liaoning, China*)

(2. *Institute of Geophysics & Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China*)

(3. *Hubei Key Laboratory of Subsurface Multi – scale Imaging, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China*)

Abstract

In order to study the effect of the difference of geological structures on Lg – wave attenuation in Liaoning area, we divide the area into three tectonic zones: the Western Liaoning Uplift Region, the Eastern Liaoning Uplift Region, and the Xialiaohe Downwarping Region. Then, we select the waveform data of 308 earthquakes ($M_L 2.0 - 5.3$) during 2007 – 2018 recorded by the Liaoning Digital Seismic Network, and use the Spectral Ratio method to conduct a joint inversion in the range of 1 – 7 Hz to calculate the parameters of Lg – wave attenuation and site response. The results show that the attenuation characteristics of Lg – wave are obviously different in these three tectonic regions, while the frequency – dependent indexes (η) have little difference. The $Q(f)$ of the three components (UD, EW, NS) ranges in 176.29 – 210.55 in the Western Liaoning Uplift Region, in 75.18 – 141.81 in the Xialiaohe Downwarping Region, and in 161.95 – 206.10 in the Eastern Liaoning Uplift Region. Respectively, the frequency – dependent index η ranges from 0.39 to 0.90 in the Western Liaoning Uplift Region, from 0.55 to 0.73 in the Xialiaohe Downwarping Region, and 0.50 to 0.69 in the Eastern Liaoning Uplift Region. In the three regions the seismic – wave attenuation is consistent with the regional geological structure. The amplitude curves of the site response at stations are relatively smooth. The site – response amplitude in the Xialiaohe Downwarping Region is larger than that in the Western Liaoning Uplift Region and that in the Eastern Liaoning Uplift Region. This suggests that in Liaoning area the attenuation characteristics of Lg – wave is closely related to the structure of the shallow sedimentary layers.

Keywords: Lg – wave; attenuation parameter; site response; joint inversion; Liaoning area