

重庆荣昌地区尾波 Q_c 值特征

魏红梅, 贺曼秋, 黄世源, 王同军

(重庆市地震局, 重庆 401147)

摘要:基于 Sato 单次散射模型, 利用 2004 年 1 月—2007 年 9 月重庆市台网记录的荣昌县及其附近地区 48 个 $M_L \geq 2.0$ 地震波形资料, 计算了该区域尾波 Q_c 值, 并对 Q_c 值与频率之间的依赖关系进行了拟合。结果表明该区为 Q_c 值低值、对频率强依赖性区域。另对 Q_c 值分三个时间段进行研究, 显示 Q_c 值变化量不大, 结果较稳定, 说明在研究时段内该区域地下介质结构无明显变化。

关键词: 尾波 Q_c 值; 流逝时间; 依赖关系; 重庆荣昌

中图分类号: P315.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2009)01-0097-05

Characters of Coda Wave Q_c Value in Rongchang Region, Chongqing

WEI Hong-mei, HE Mam-qiu, HUANG Shi-yuan, WANG Tong-jun

(Earthquake Administration of Chongqing, Chongqing 401147, China)

Abstract: Based on the single scatter model (Sato), using 48 earthquake wave form data with $M_L \geq 2.0$ from January in 2004 to September in 2007 recorded by the Chongqing earthquake net, the Q_c values of coda in Rongchang region is calculated, and relationship between Q_c value and frequency is polyfitted. The result indicates that this region is low Q_c value but dependence on frequency strongly. In addition, studied on Q_c value in three segments of time, the result display that coda wave Q_c value are steady in each segment, and the configuration of medium underground is steady in the region and each segment of time too.

Key words: Coda wave Q_c value; Lapse time; Dependent relation; Rongchang region in Chongqing

0 引言

Jeffreys(1929)最早将尾波研究用于地震学。Aki(1969)用散射模型解释了尾波的形成, 即由于地球介质的不均匀性, 弹性波在传播过程中如遇到这些不均匀体就会发生散射, 地震尾波就是台站记录到的这些延迟了的散射波^[1]。尾波 Q_c 值就是描述地球介质非均匀程度的确定性指标, 其大小及对频率的依赖程度反映了介质的非均匀性和非弹性特征^[2]。目前对尾波 Q_c 值衰减特征的研究已获得一些重要的结果^[1-8]。单台 Q_c 值主要反映了以震源和记录台站为两个焦点的椭圆范围内介质的品质因子特性。同一个地震台记录到的同一地区的地震, 其尾波变化具有相同的衰减形态, 而与地震大小、台站、震中距无关。本文主要研究荣昌台记录到附近

地区地震的尾波 Q_c 值特征。

1 构造背景及人为活动分析

荣昌地区位于重庆市西南, 地质构造上处于川东南拗褶带内的泸州凸起与川中隆起的结合部, 即地跨川中隆起褶带与川东南拗褶带两个构造单元。其东部处于川东褶带的永川帚状构造带内(又称永川弧), 由螺灌山背斜等一系列北东向的梳状长轴背斜组成, 区内较大的断层有燕子岩断层、黄泥崖断层、螺灌山断层等。华蓥山基底断裂呈 NE-SW 向穿过本区, 是一条延伸长、切割深、规模大, 倾向 SE 的区域性深大断裂, 从晋宁运动期形成以来具有长期继承性活动。它的西南端部分于 1974 年发生过

收稿日期: 2008-03-25

基金项目: 重庆市科技攻关计划项目(CSTC, 2008AB0095)

作者简介: 魏红梅(1980—), 女(汉族), 重庆合川人, 研究实习员, 现从事地震预报工作。

云南大关 7.1 级地震,在宜宾—泸州段亦有 5~6 级地震发生;荣昌东北在 1989 年发生过统景 5.2、5.4 级地震,而荣昌也发生过 1997 年 M_L 5.2 地震^[9]。

除构造背景外,荣昌地区地震活动还受到人为活动的显著影响。该区地下矿产资源丰富,已发现的矿产有煤炭、天然气、石英砂矿等十几种,1988 年后形成规模性开采。同时该区又是川东主要的采气区,采气产生的废水分别注入附近 4 个深井中^[10]。

图(1)是 1980 年以来荣昌地区 $M_L \geq 2.0$ 地震的 $M-t$ 图,文献[10]对注水与地震活动的关系做了深入研究,表明 1993—1999 年 4 口井月注水量总和在 11 800 m^3 左右时,地震活动最为活跃;2000—2003 年月注水量总和在 7 595 m^3 左右时,地震活动性次之;而本文研究时段(2004—2007 年)内,月注水量总和均值在 3 390 m^3 左右,地震活动性较弱,小震主要集中在 2 级档。

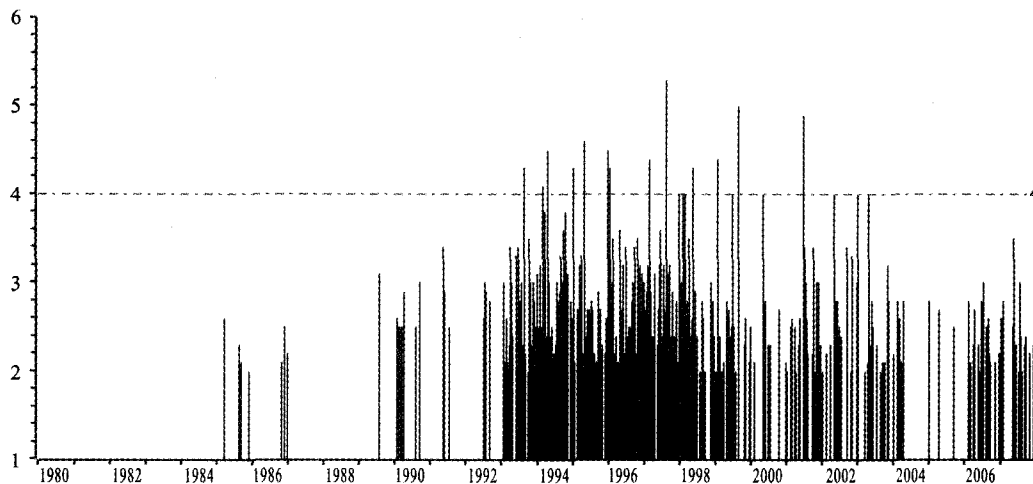


图 1 荣昌地区地震 $M-t$ 图 ($M_L \geq 2.0$)

Fig. 1 $M-t$ plot of $M_L \geq 2.0$ earthquakes in Rongchang region.

2 数据分析原理及资料处理

2.1 数据分析原理^[11]

依据 Sato 模型(Sato H, 1997; Dominguez T, 1997; Victor Wong, 2001),在一定频率下尾波振幅与时间的函数关系可表示为

$$F(t) = \lg[(A_c(t)/A_s)^2 K^{-1}(a)] = C(f) - b(t - t_s) \quad (1)$$

其中 A_s 是 S 波的最大振幅; $A_c(t)$ 是流逝时间 t 附近的尾波均方根振幅; $a = t/t_s$, t_s 为 S 波的流逝时间; K 是依赖于时间的传播因子, K 及 A_c 分别由式(2)、(3)给出:

$$K(a) = 1/a \ln[(a+1)/(a-1)] \quad (2)$$

$$A_c(t) = (A_T^2 - A_n^2)^{1/2} \quad (3)$$

式中 A_T 为所取时间窗内地震波均方根; A_n 为 P 波到达前适当时间段记录的均方根,用于进行地震波的噪声校正(Pulli, 1984; 李白基等, 2004)。

式(1)中 $C(f)$ 是与频率有关的影响因子,对相同地震的同一频率, $C(f)$ 为常数,可见 $F(t)$ 和 $t - t_s$ 之间存在线性关系,因此可根据式(1)拟合得到 b , b 与 Q_c 的关系式为

$$Q_c(f) = (2\pi f \lg e)/b \quad (4)$$

2.2 资料选取及处理

本文获得 2004 年 1 月—2007 年 9 月共计 48 个地震作为研究对象。选取的原则是:以荣昌台为中心,周围 40 km 范围内记录到 $M_L \geq 2.0$ (震级参数取自重庆台网目录)的地震,其震中分布情况见图 2,波形资料取自荣昌单台记录。所选地震年分布情况如表 1 所示。

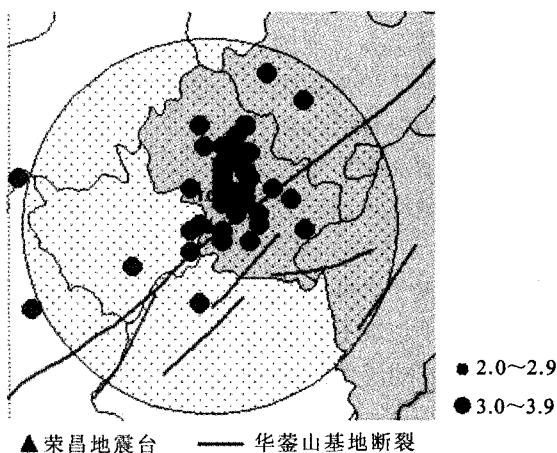


图 2 荣昌地区震中分布图

Fig. 2 Distribution of earthquake epicenters in Rongchang region.

表 1 地震年分布情况

年份	2004	2005	2006	2007
地震数/个	7	1	19	21
时间段	第一时段	第二时段	第三时段	

资料处理过程中,采用朱新运等研制的基于 Sato 模型和 Matlab 语言的近震 S 波尾波 Q_c 值求解及分析软件,对每一条地震记录的三分向数字波

形进行频谱分析。拟合起算时间从 S 波到达后 10 s 开始;采用固定时间窗长;流逝时间分别取了 50 s 和 60 s;进行全数据段拟合;采样窗长取 2 s,步长为 0.5 s;计算频段从 4 Hz 到 18 Hz(地震仪采样频率为 50 Hz);选用 6 级巴特沃斯滤波器进行滤波处理。

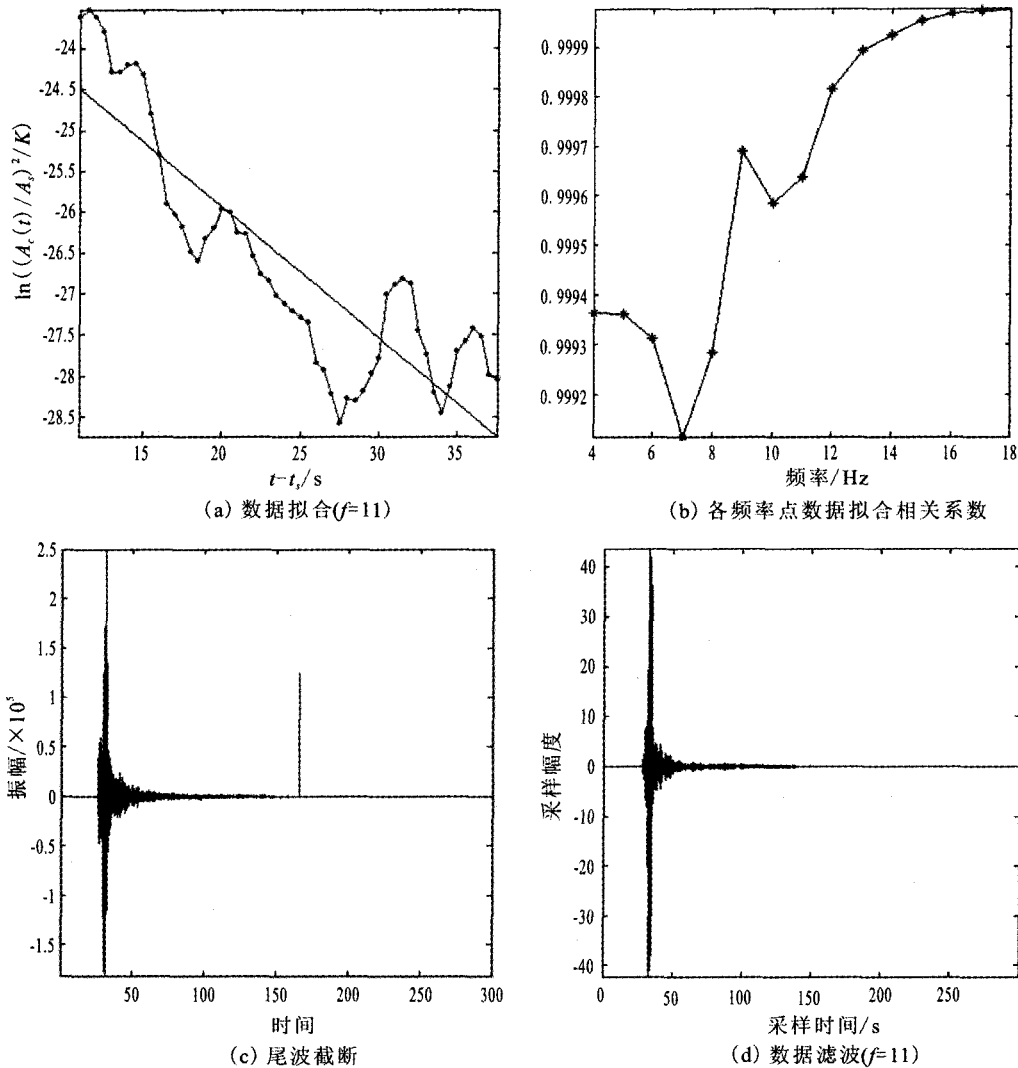


图 3 尾波 Q_c 值计算实例

Fig. 3 Counted examples of coda wave Q_c value.

3 计算结果及分析

利用我们所选取的 48 个地震数据进行拟合,获得尾波 Q_c 值的综合结果为

$$Q_c(f) = 36.24 \pm 8.56 \cdot f^{1.0007 \pm 0.0893},$$

(流逝时间取 50 s) (5)

$$Q_c(f) = 42.24 \pm 11.39 \cdot f^{1.0118 \pm 0.0956},$$

(流逝时间取 60 s) (6)

由上两式可以看出:取不同的流逝时间拟合得到的尾波 Q_c 值结果有差别,且流逝时间取 50 s 时 Q_c 值相对较小。一般来说流逝时间越大 Q_c 值越大,文献[11]对这一点做了相关的讨论和验证。另外流逝时间取 50 s 时, $Q_0 = 36.24 \pm 8.56$, $\eta = 1.0007 \pm 0.0893$;流逝时间取 60 s 时, $Q_0 = 42.24 \pm 11.39$, $\eta = 1.0118 \pm 0.0956$ 。其中 Q_0 是 $f=1$ 时尾波 Q_c 值,表明该区为 Q_c 值低值、对频率强依

赖性区域。

为研究荣昌及附近 Q_c 值的变换特征,分三个时段对数据计算的结果做综合分析,分段情况见表 1,鉴于 2004 年和 2005 年地震样本较少,故将其合并在一起,计算结果见图 5 及表 2。

由表 2 可以看出,取相同流逝时间不同时段尾波 Q_c 值变化量不大,结果较稳定,表明荣昌地区从

2004—2007 年区域地下介质结构无明显变化。选用不同流逝时间计算结果显示, Q_0 随流逝时间增大而增大,对频率的依赖性指数 η 值却没有发生显著变化。在相同震中距条件下流逝时间大小反映采样椭球体深度关系,这意味着在该研究区采样深度越大 Q_0 值越大,而采样深度对频率的依赖性指数 η 值基本上没有影响。

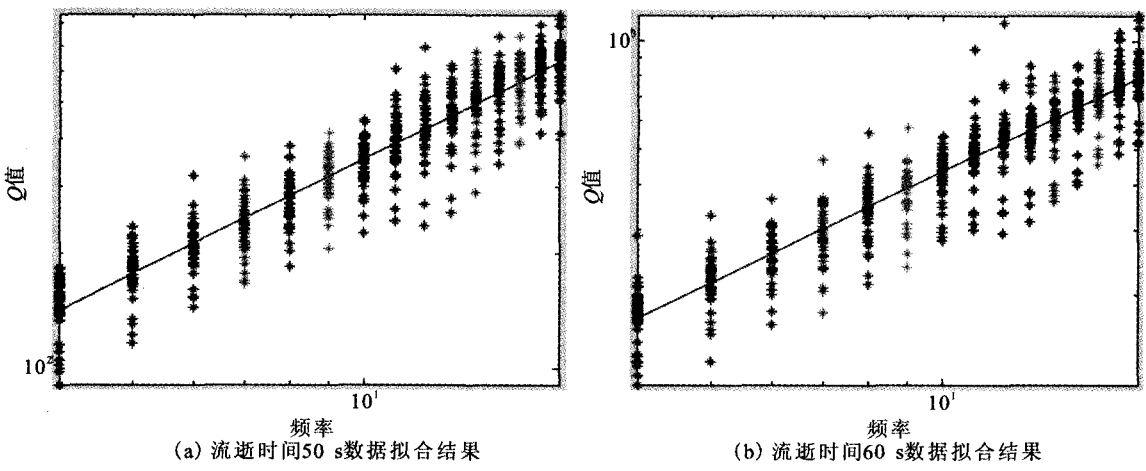


图 4 尾波 Q_c 值综合结果
Fig. 4 Integrated results of coda wave Q_c value.

表 2 不同时段综合分析结果比较

时段	流逝时间 50 s		流逝时间 60 s	
	Q_0	η	Q_0	η
2004—2005	36.01 ± 9.75	1.0110 ± 0.0953	43.12 ± 11.36	1.0213 ± 0.0985
2006	35.82 ± 9.85	0.9826 ± 0.0950	44.38 ± 14.63	0.9764 ± 0.1116
2007	34.43 ± 7.03	1.0132 ± 0.0832	40.08 ± 7.03	1.0402 ± 0.0691

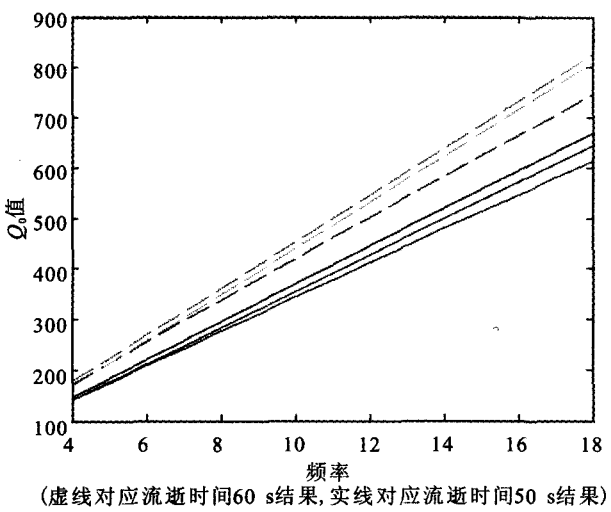


图 5 不同流逝时间对三组地震进行 Q_0 值计算的结果

Fig. 5 Coda wave Q_0 values in different lapse time and three groups of seismicity.

4 结论与讨论

尾波 Q_c 值是通过尾波衰减特性的研究求取区域介质因子的一种方法, Q_0 值的大小反映了地震波衰减程度; Q_c 值对频率的依赖程度与地壳介质均匀程度有关。依赖性越强,地壳介质均匀程度越低,地震活动水平越高。本文研究区 $Q_c(f) = 36.24 \pm 8.56 \cdot f^{1.0007 \pm 0.0893}$ (流逝时间取 50 s), $Q_c(f) = 42.24 \pm 11.39 \cdot f^{1.0118 \pm 0.0956}$ (流逝时间取 60 s),与国内不同地区 Q_c 值及其对频率的依赖性程度相比属于低 Q_c 值、对频率强依赖性区域。

鉴于重庆地区地震台站数量有限,台站间距较大,十五规划前仅五个台站,除荣昌台外,其他台站对荣昌及附近地区地震波形记录一是不全,二是记录噪声大,导致资料不好用,故文中选用荣昌台波形为原始资料。然而从地震震中分布图(图 1)可以看出,所选地震主要集中分布在荣昌台的东北方向,震中距多在 23 km 以内,最小的还不到 3 km,因此尾

波衰减速度较快,流逝时间不能取得太长。研究过程中,在保证截断信噪比大于 $\sqrt{2}$ 的前提下,流逝时间分别取了 50 s 和 60 s。流逝时间的选取对计算结果的影响很大,文献[11]对其做了相关的分析和验证。而在相关文献中,不同的研究人员在各自的研究过程中选取的流逝时间长度有差别,故前面提到与国内不同地区计算结果比较得出的结论只能作为参考。另外,因为所选地震震中距较小,计算结果对区域介质特性面积和深度的反映有限。随着十五项目的推进,重庆地区测震台站逐步增加,今后可选取其他相邻台站记录的波形资料对荣昌地区介质特性做进一步研究。最后值得一提的是,人为活动对该区地震活动存在一定的影响,可能引起地下介质性质的变化,但文中研究时段内人为活动较弱,故分时段对尾波 Q_c 值做分析认为该区地下介质结构随时间无明显变化是合理的。

本文研究过程中得到浙江省地震局朱新运老师的悉心指导,在此表示衷心的感谢!

[参考文献]

- [1] 刘芳,苗春兰,高艳玲. 内蒙古中西部地区尾波 Q 值研究[J]. 地震,2007,27(2):72-80.
- [2] 朱新运,张帆. 浙江及邻区尾波 Q 值研究[J]. 西北地震学报,2006,28(2):108-113.
- [3] 马宏生,刘杰,张国民,等. 云南地区尾波 Q_c 值的分布特征及其初步解释[J]. 地震,2006,26(3):37-43.
- [4] 陈俊华,甘家思. 九江—瑞昌 5.7 级地震余震尾波 Q_c 值分析[J]. 大地测量与地球动力学,2006,26(3):65-68.
- [5] 孟智民,谢家荣,张宪. 关中、陕南及周边地区尾波衰减特性(Q_c)研究[J]. 西北地震学报,2005,27(1):75-79.
- [6] 噶永清,张淑亮,苏燕,等. 大同地震序列的尾波 Q 值变化特征研究[J]. 地震,2004,24(2):66-72.
- [7] 钱晓东,秦嘉政,李白基. 澜沧江流域水电工程地区的尾波衰减[J]. 地震研究,2006,29(3):215-220.
- [8] 赵卫明,刘秀景,马禾青. 宁夏及邻区尾波 Q 值分布特征[J]. 华南地震,2002,22(1):23-27.
- [9] 丁仁杰,李克昌,等. 重庆地震研究[M]. 北京:地震出版社,2004.
- [10] 朱丽霞,黄世源,魏红梅. 荣昌地区注水地震研究[J]. 大地测量与地球动力学,2007,27(6):86-90.
- [11] 朱新运,杨钢宇,张震峰. 基于 Sato 模型的近震 S 波尾波 Q 值求解及分析软件研制[J]. 地震地磁观测与研究,2005,26(3):64-70.