

利用 Sato 模型研究民乐—山丹地震 Q_c 值特征

李兴坚¹, 许玉红¹, 陈建军², 李东生¹, 刘小明¹, 武 银³, 尹 亮¹

1. 甘肃省地震局高台地震台, 甘肃 高台 734300;
2. 甘肃省地震局嘉峪关中心地震台, 甘肃 嘉峪关 735100;
3. 甘肃省地震局天水中心地震台, 甘肃 天水 741020)

摘要:利用 Sato 单次散射模型, 使用甘肃遥测台网山丹台的近场数字地震记录, 在 60 s 流失时间下研究了 2003 年甘肃民乐—山丹地震序列尾波 Q_c 值的变化特征, 得到 Q_c 值随频率的变化关系。对于不同中心频率点 Q_c 值变化形态不一致; 在序列的发展阶段变化起伏较大, 在序列初期和末期变化起伏较弱。

关键词: Sato 模型; 民乐—山丹地震; Q_c 值特征

中图分类号: P315.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2009)02-0191-05

Using Sato Model to Study Q_c Value Features in Minle—Shandan Earthquake

LI Xing-jian¹, XU Yu-hong¹, CHEN Jian-jun², LI Dong-sheng¹,

LIU Xiao-ming¹, WU Yin³, YIN Liang¹

1. Gaotai Seismic Station, Earthquake Administration of Gansu Province, Gansu Gaotai 734300, China;
2. Jiayuguan Central Seismic Station, Earthquake Administration of Gansu Province, Gansu Jiayuguan 735100, China;
3. Tianshui Central Seismic Station, Earthquake Administration of Gansu Province, Gansu Tianshui 741020, China)

Abstract: Using the Sato single scattering model, based on the near-field digital seismic records from Shandan seismic station of telemetry network of Gansu province, the change characteristics of coda Q_c values of Minle—Shandan earthquake sequence, Gansu province, in 2003, are studied with loss time of 60 s. The relationship between the Q_c values and frequency is obtained. For different center frequency points, the change from of Q_c values are different. In develop stage of the frequency, Q_c values changed with great fluctuations, and in early and late stages, the changes were weak.

Key words: Sato model; Minle—Shandan earthquake; Characteristic of Q_c value

0 引言

尾波的存在可以认为是介质不均匀性的最明显证据之一。20 世纪 60—70 年代 Aki^[1]发表了尾波散射理论, Aki 和 Chouet^[2]用简单的单次散射模型解释了 S 波尾波的振幅衰减现象。随后 Herrmann^[3]研究发现, 尾波衰减系数和 S 波衰减系数一致, 尾波从此成为研究地震波衰减的一种简便有效方法。近年来国内外地震学家广泛开展了这方面的研究工作, 取得了许多有意义的研究成果。尾波

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的品质因子特性, 是衡量某个地区构造活动的一个指标。一般认为 Q_c 值的变化反映了构造应力变化。诸多研究^[4-18]发现, Q_c 值在地震活动频繁的地区低, 在地震活动相对平静的地区高; 在古老的地质单元或构造运动稳定地区高, 而在近代地质单元或构造活跃地区低。对于同一个地区, 较大地震前后 Q_c 值在时间上存在一些前兆性变化, 为中

收稿日期: 2008-05-27

基金项目: 中国地震局三结合项目(676)

作者简介: 李兴坚(1980—), 男(汉族), 甘肃张掖人, 助理工程师, 主要从事地震监测工作。

强地震和地震序列中显著地震的预测提供了一个新的途径。一些震例研究还表明主震前 Q_c 值变小,主要表现在 12 Hz 以下的频率范围^[19-24]。本文利用 Sato 单次散射模型和山丹遥测地震台的近场数字地震记录,研究 2003 年 10 月 25 日民乐—山丹 $M_s 6.1, 5.8$ 地震的尾波 Q_c 值的变化特征。

1 方法与原理

依据 Sato 单次散射模型^[23-24],在一定频率下尾波振幅与时间的函数关系可表示为

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

式中, A_s 是 S 波的最大振幅; $A_c(t)$ 是流逝时间 t 附近的尾波平均振幅; $K(a)$ 是依赖于时间的传播因子。 $A_c(t)$ 及 $K(a)$ 分别由式(2)、(3)给出:

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

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

$$a = t/t_s; \quad (3)$$

式中: A_T 为所取时间窗内地震波平均振幅; A_n 为 P 波到达前适当时段的地震波平均振幅,用以进行地震波的噪声校正^[25-26]; t_s 为 S 波到时; t 为从地震发震时刻起计算的尾波流逝时间; $C(f)$ 是与频率 f 有关的因子,对于特定的频率可视为常数。式(1)中的 $b = (\pi f \lg e)/Q$,对于不同的频率点拟合 $F(t)$ 和 $(t - t_s)$ 线性关系求出斜率 b ,即可得到该频率点的 Q_c 值。最后由各个频率点的 Q_c 值,拟合出 $Q_c(f) = Q_0 f^a$ 。

2 资料处理及结果

2003 年 10 月 25 日 20 时 41 分,甘肃省民乐县与山丹县间(38.4°N, 101.2°E)发生 $M_s 6.1$ 和 5.8 地震,距离震中 50 km 范围内只有山丹数字遥测地震台有近场观测记录,因此利用该台 2003 年 10 月 25 日至 2005 年 12 月 31 日期间记录到的三分量数字地震记录,分析研究该地震的尾波 Q_c 值的变化特征。山丹台海拔 1 770 m,台基为砂砾岩,地震计为 JC-V100-3D,观测频带为 20 s~40 Hz,采样率为 50,数据采集器为 EDAS-3,动态观测范围为 140 dB。

本研究采用在时间域中求取尾波 Q_c 值的方法^[27]。分析频率段为 2~18 Hz,间隔 1 Hz,对原始波形进行带宽[0.7f, 1.3f]的六阶 Butterworth 滤波器滤波。对滤波后的数据,从 S 波到时开始,取窗长 2 s,步长 0.5 s 滑动计算求出各时间点的平均振

幅。因为不同的流逝时间反映了不同深度的 Q_c 值,计算时同一台站记录到不同地震所取的尾波流逝时间应尽量一致。同时,为保持线性拟合的稳定性,所截取的尾波窗长不能太短。根据山丹台对地震序列的实际记录情况,我们选取的尾波最大流逝时间为 60 s,尾波起算时间以 S 波到时后 15 s 开始计算,背景噪声取 P 波初动以前 10 s 左右的平均信号。这样共挑选出符合条件的地震 109 次,可以得到各频率点 Q_c 值随时间的演化过程;在此基础上再用关系式来拟合 Q_c 值随频率的变化关系。 Q_0 为频率 1 Hz 时的 Q_c 值。图 1 为 2003 年 10 月 25 日 23 时 33 分 $M_L 3.6$ 地震 $f=10$ Hz 的计算结果。

这样得到了民乐—山丹地震序列尾波 Q_c 值的变化特征。60 s 流失时间下 Q_c 值随频率的变化关系为 $Q_c(f) = (28.38 \pm 4.49) f^{0.9732 \pm 0.05035}$ (图 2)。

通过形态对比发现,不同中心频率点 Q_c 值变化形态不一致,随着频率的增大 Q_c 值的变化形态也发生着明显的变化。分析发现在序列的发展阶段 Q_c 值的变化起伏较大, Q_c 值在高值变化。图 3 给出 3 Hz、8 Hz 和 18 Hz 3 个具有代表性的频率点 Q_c 值随时间的变化。

从 Q_c 值演变过程看(图 3(d)),以 2003 年 10 月 26 日 23 时 52 分 $M_L 3.3$ 地震和 2003 年 11 月 05 日 17 时 06 分 $M_L 3.1$ 地震为分隔点,将 Q_c 值变化形态分为 3 段:第一段, Q_c 值随时间的变化起伏较大, Q_c 值相对较高,地震活动水平也较高,此时应为整个民乐地震的主震序列;第二段, Q_c 值变化较弱, Q_c 值相对较低,此时段应为余震活动序列,余震活动水平也相对较低,在该时段内发生的最大强余震为 2003 年 10 月 30 日 06 时 09 分 $M_L 4.3$ 地震,在该次地震前我们发现在震前 Q_c 值变化形态具有“低值—高值(增大)—低值(降小)—发震”的变化形态;第三段, Q_c 值也随之较大变化,平均值相对增大,但余震水平的相对较弱。

3 结论与讨论

利用 Sato 单次散射模型,使用甘肃遥测台网山丹台的近场数字地震记录,在 60 s 流失时间下研究了民乐—山丹地震序列尾波 Q_c 值的变化特征,得到 Q_c 值随频率的变化关系为 $Q_c(f) = (28.38 \pm 4.49) f^{(0.9732 \pm 0.05035)}$ 。对于不同中心频率点 Q_c 值变化形态不一致,随着频率的增大 Q_c 值的变化形态也发生着明显的变化,在序列的发展阶段 Q_c 值的变化起伏较大,在序列初期和末期

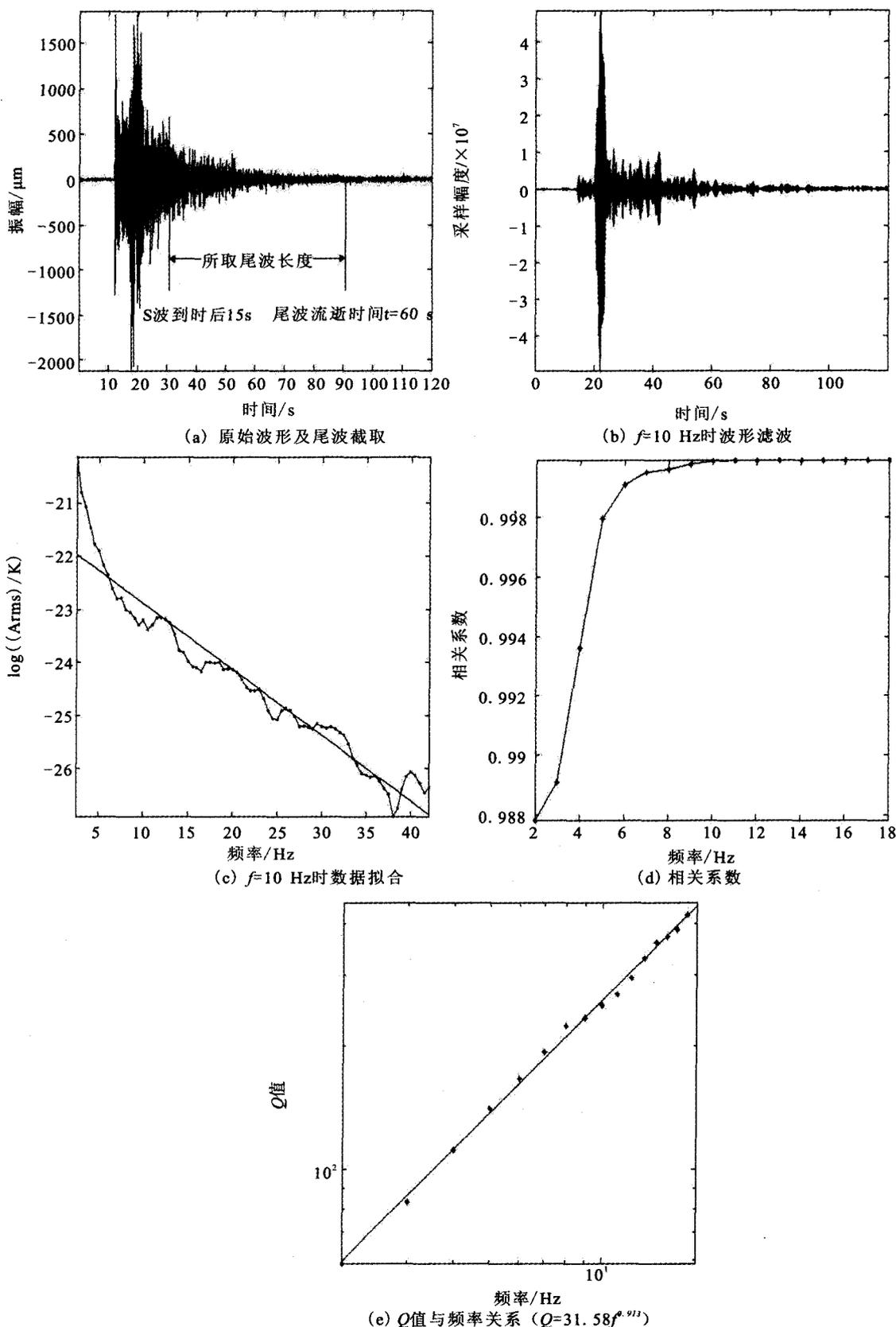


图 1 2003 年 10 月 25 日 23 时 33 分 $M_L=3.6$ 地震计算结果

Fig. 1 The calculating result of $M_L=3.6$ earthquake occurred at 23:33 on October 25, 2003.

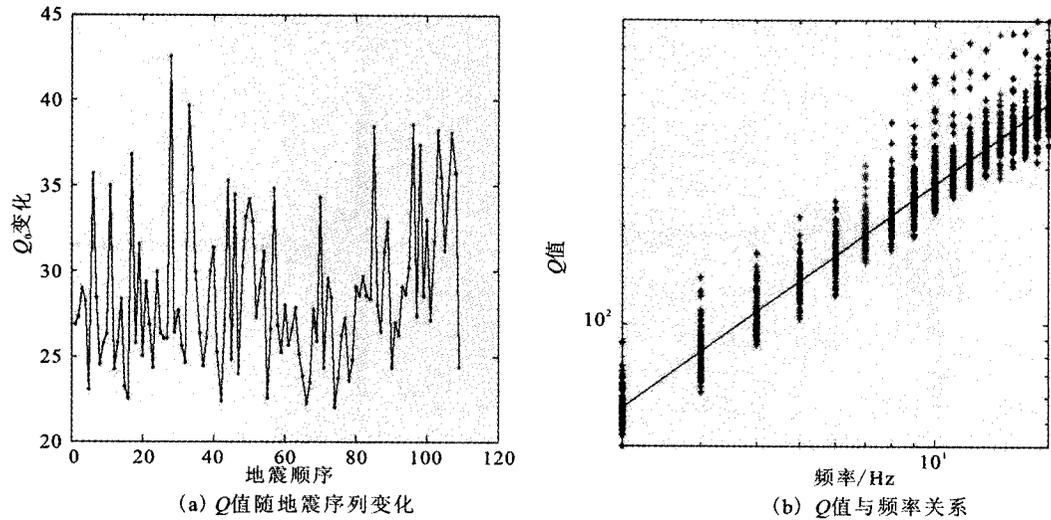


图2 民乐—山丹地震序列 Q 值变化及 Q 值与频率关系

Fig. 2 The Q value sequence and the relation between Q values and frequency Minle—Shandan earthquake.

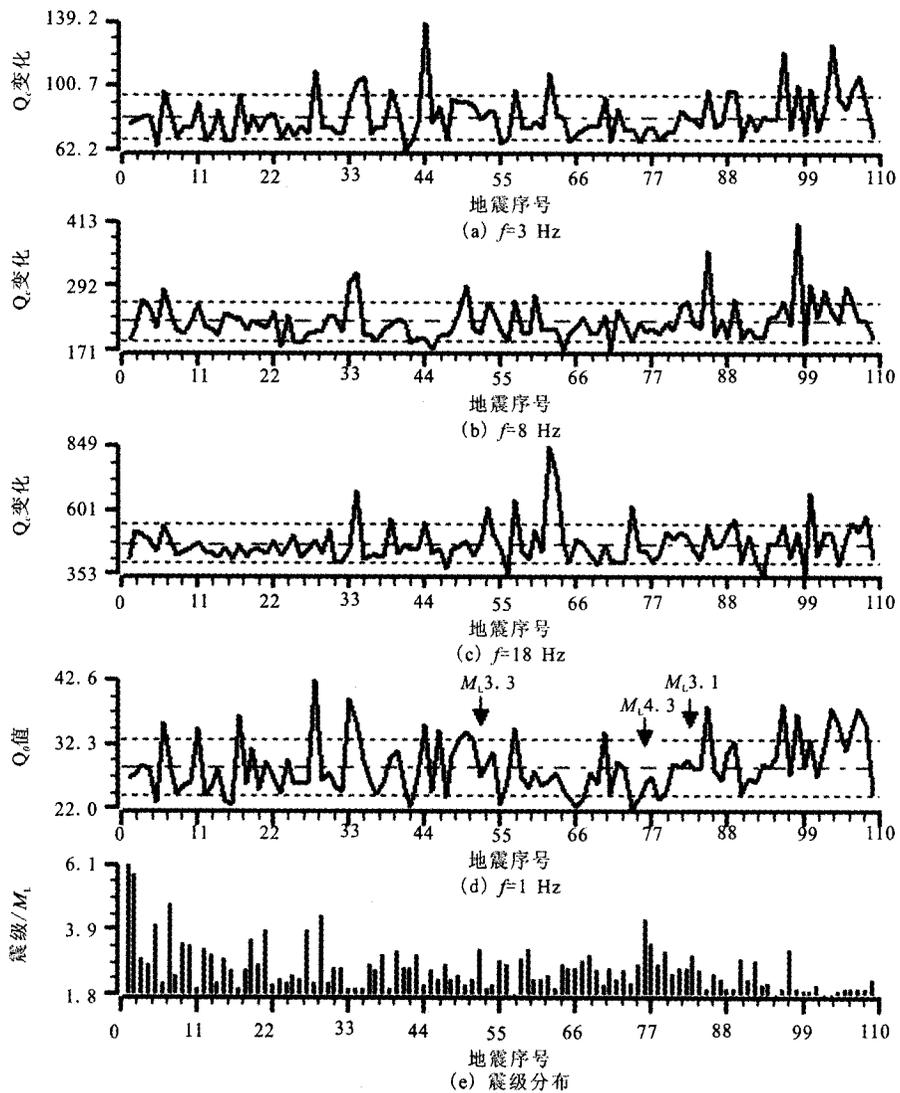


图3 不同中心频率点的尾波 Q_c 值随时间变化过程

Fig. 3 Q_c values changing with time at different centre frequency pots.

Q_c 值变化起伏较弱。

从本次地震的 Q_c 值演变过程看,以 2003 年 10 月 26 日 23 时 52 分 $M_L 3.3$ 地震和 2003 年 11 月 05 日 17 时 06 分 $M_L 3.1$ 地震为分隔点,可将 Q 值变化形态分为 3 段:第一段 Q_c 值随时间的变化起伏较大, Q 值相对较高,地震活动水平也较高;第二段 Q 值变化较弱, Q 值相对较低;第三段 Q_c 值起伏变化较大,平均值相对增大,但余震水平的相对较弱。产生这种原因,分析认为是该次地震后使得该地区应力状态进行了重新调整。

在 2003 年 10 月 30 日 06 时 09 分 $M_L 4.3$ 强余震前 Q_c 值变化形态具有“低值—高值(增大)—低值(降小)—发震”的变化形态。

本研究采用浙江省地震局朱新运、中国地震台网中心刘杰研制的尾波分析软件进行计算。甘肃省地震局监测中心尹志文高级工程师、张幼敏高级工程师,地震预测研究所兰州科技创新基地张元生研究员给予了悉心指导和帮助。在此表示衷心感谢!

[参考文献]

- [1] Aki K. Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves [J]. *J. Geophys. Res.*, 1969,74, 651-681.
- [2] Aki K, Chouet B. Origin of coda waves; source, attenuation and scattering effects[J]. *J. Geophys. Res.*, 1975,80:3322-3342.
- [3] Herrmann R B. Estimates using the coda of local earthquakes [J]. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 1980,70:447-468.
- [4] Chouet B. Temporal variation in the attenuation of earthquake coda near Stone Canyon, California[J]. *Geophys. Res. Lett.*, 1979,6:143-146.
- [5] Jin A, Aki K. Temporal changes in coda Q before the Tangshan earthquake of 1976 and the Haicheng earthquake of 1975 [J]. *J. Geophys. Res.*, 1986,91:665-673.
- [6] 秦嘉政. 云南地区短周期波区域 Q 值与地震烈度衰减[C]// 云贵地区地震危险性研究文集[G]. 昆明: 云南科技出版社, 1989:253-260.
- [7] 陈学庭. 澜沧和耿马大地震 Q 值随时间的变化[C]// 中国地球物理学会年刊[A]. 北京: 地震出版社, 1992:53.
- [8] 秦嘉政,刘祖荫,龙晓帆. 滇西实验场两次中强地震前后尾波衰减的区域特征分析[J]. *中国地震*, 1995,11(3):212-221.
- [9] 李白基,秦嘉政,谢庆茵,等. 云南武定 1995 年地震余震尾波 Q_c 值[J]. *地震地磁观测与研究*, 2000,21(2):1-6.
- [10] 秦嘉政,李白基,钱晓东,等. 云南武定地震余震近场尾波衰减的区域特征[J]. *地震学报*, 2001,23(1):87-97.
- [11] 啜永清,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.
- [12] 钱晓东,李白基,秦嘉政. 2001 年云南施甸 $M_S 5.9$ 地震余震序列尾波 Q_c 值研究[J]. *地震地磁观测与研究*, 2004,25(1):9-17.
- [13] 王彩勤,郑斯华,刁桂苓,等. 张北地震序列的尾波 Q 值研究[J]. *防震减灾工程学报*, 2004,24(1):37-40.
- [14] 王伟君,刘杰. 1999 年岫岩地震序列尾波 Q_c 的变化过程[J]. *地震*, 2004,24(4):38-44.
- [15] 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.
- [16] 王伟君,刘杰. 云南 4 个地震序列 Q_c^{-1} 值变化特征对比研究[J]. *地震*, 2006, 26(1):19-25.
- [17] 吕坚,朱新运,高建华,等. 利用 Sato 模型研究九江—瑞昌地震序列的 Q_c 值特征[J]. *大地测量与地球动力学*, 2007, 27(2):33-36.
- [18] 张小涛,韩利萍,吕凤章,等. 利用 Sato 模型研究邢台震区尾波 Q_c 值特征[J]. *西北地震学报*, 2007, 29(3):218-223.
- [19] Sato H. Temporal changes in scattering and attenuation associated with the earthquake occurrence—a review of recent studies on coda waves[J]. *Pure App. Geophys.*, 1988, 126:465-497.
- [20] Beroza G C, Cole A T, Ellsworth W L. Stability of coda wave-attenuation during the Lorna Prieta, California earthquake sequence[J]. *J. Geophys. Res.*, 1995,100(B3):3977-3987.
- [21] Yoshihiro H, Nobuhiko H, Muneyoshi F, et al. Temporal changes in coda Q and b value due to the static stress changes associated with the 1995 Hyogoken Nanbu earthquake[J]. *J. Geophys. Res.*, 2000,105(B3):6141-6151.
- [22] 马宏生,刘杰,张国民,等. 尾波 Q_c 值随时间变化在地震预测中应用的研究[J]. *地震*, 2005,25(4):39-48.
- [23] Sato H. Energy propagation including scattering effect: Single isotropic scattering, approximation[J]. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 1977, 68:923-948.
- [24] Dominguez T, Rebollar C J. Attenuation of coda waves at the Cerro Prieto Geothermal Field, Baja California, Mexico [J]. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 1997,87:1368-1374.
- [25] Pulli J. Attenuation of coda wave in New England[J]. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 1984,74:1149-1166.
- [26] 李白基,秦嘉政,钱晓东,等. 云南姚安地区的尾波衰减[J]. *地震学报*, 2004,24(1):47-52.
- [27] 朱新运,杨钢宇,张震峰,等. 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):63-70.