利用 Aki 模型对宁夏及邻区尾波 Q 值的研究

师海阔1,朱新运2.3,贺永忠1,张立恒1

(1. 宁夏地震局中卫地震台,宁夏中卫 755000; 2. 中国地震局地球物理研究所,北京 100081;
 3. 浙江省地震局,浙江杭州 310013)

摘 要:利用单次散射的 Aki 模型,选取 2008 年 1 月-2009 年 12 月宁夏地震台网记录的 82 次 M_L ≥2.0 地震的数字地震波资料,计算宁夏及邻区尾波 Q值,拟合 Q值对频率的依赖关系。全区域 数据结果为 Q(f)=(212±87.62) • f^{0.7584±0.19}。与国内其它区域相比,本区域 Q值较低、对频率依 赖性较高。结合区域地震地质构造特征及同期地震活动性将研究区划分为四个小震密集区:吉兰 泰地震区、银川地震区、卫宁同地震区和固海地震区,分区对 Q值进行数据统计,对比表明,尾波 Q 值较好地反映了小区地震活动特征。

关键词: Aki 模型; 尾波 Q 值; 频率依赖性; 宁夏及邻区; 小震密集区 中图分类号: P315.31 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2011)04-0370-06

Research on Q Value of Seismic Coda in Ningxia and Adjacent Region Based on Aki Model

SHI Hai-kuo¹, ZHU Xin-yun^{2,3}, HE Yong-zhong¹, ZHANG Li-heng¹

Zhongwei Seismic Station of Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Ningxia Zhongwei 755000, China;
 Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China;
 Earthquake Administration of Zhejiang Province, Hangzhou 310013, China;

Abstract: Based on the Aki model, adopting 82 digital wave datas of earthquake with $M_{\rm L} \ge 2.0$ from January, 2008 to December, 2009, which were recorded by Ningxia earthquake network, the average Q values of seismic coda in Ningxia and adjacent region are calculated, and the relationship between Q value and frequency is polyfited. The whole region's result is $Q(f) = (212 \pm$ 87.62) $\cdot f^{0.7584\pm0.19}$. Compared with other domestic regions, the Q value of seismic coda is relatively lower, but the dependence on frequency is higher. According to the regional seismic geology, tectonic characteristics and the homochronous seismic activity, the research region is divided into four concentrated minor-earthquake areas: Ji Lantai, Yin Chuan, Wei Ningtong and Gu Hai, and the Q values of four regions are counted. Comparison shows that Q values of seismic coda reflects the characteristics of seismicity in each area.

Key words: Aki model; Q value of seismic coda; Dependence on frequency; Ningxia and adjacent regions; Concentrated minor-earthquake areas

0 引言

地球介质中随机分布的各种非均匀体对原生波 的散射形成了地震波记录中的尾波,尾波衰减研究 是地震地质构造及地震预测研究的重要内容。Aki (1969)用单次散射模型解释尾波的形成^[1],并在此 模型的基础上提出了通过尾波振幅随时间衰减确定 尾波Q值的方法,后来又得到不断的修正^[2]。这种 方法原理简单、易于数据运算,在Q值计算中被广 泛使用。尾波Q值主要反映以震源和记录台站为 两个焦点的椭球范围内的品质因子特性,其结果作

收稿日期:2010-07-06 作者简介:师海阔(1985一),男(汉族),甘肃临洮人,助理工程师,主要从事地震监测工作.

为衡量地区构造活动的重要指标,用于刻画构造应 力场变化。诸多研究表明,Q值在地震活动水平高 的地区低,尾波衰减快;在地震活动相对平静的地区 高,相应尾波衰减慢;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。

本研究利用宁夏及邻近区域数字地震波资料, 依据 Aki 模型计算尾波 Q值,分析尾波 Q值对频率 依赖性特征,客观评估研究区介质衰减特征及区域 地震活动性。

1 方法简介

本研究采用基于单一散射模型的尾波方法求解 Q值。以某频率为中心频率,使用一定带宽滤波器 滤波后的尾波振幅可以表述为

 $A(f,t) = S(f) \cdot t^{-u} \cdot e^{-\pi f i/Q(f)}$ (1) 其中 S(f)为震源因子; t 为发震时刻算起的地震波 流逝时间; u 为常数,体波 u=1,面波 u=0.5,本研 究全部采用近震记录,因此 u 取值为 1; Q(f)为对应 于中心频率点 f 的尾波 Q 值; A(f,t)是对应 t 时刻 一个采样周期的幅度最大值。对式(1)两边取自然 对数并整理变为

 $ln(A(f,t) \cdot t^{*}) = lnS(f) - a \cdot t$ (2) 其中, $a = -\pi f/Q(f)$ 。上式表明 $ln(A(f,t) \cdot t^{*})$ 和 t 之间存在线性关系,因此可由式(2)数据拟合得出 a。由此可求得对应频率点的尾波 Q 值,即

$$Q(f) = -\pi f/a \tag{3}$$

本研究在具体操作上首先对地震波尾波以 f 为中心频率, f±1/3f 为带宽, 使用 6 阶 Butterworth 滤波器进行滤波, 之后以 f 对应的周期 T 为 采样步长, 分别采集不同流逝时间 t 对应的 A(f, t),将所有数据点代人式(2), 用最小二乘法求解该 频率的 Q 值。在研究整个区域地震波衰减总体特 征时, 先求该区域所有记录对不同频率的 Q 值, 再 对不同频率求 Q 值平均值, 用平均值作为该区域对 应频率的 Q 值, 并由此数据拟合频率与 Q 值的关系 式:

$$Q(f) = Q_0 f^{\mu} \tag{4}$$

2 观测资料

本研究使用宁夏及邻近的内蒙、甘肃台网的部 分台站记录,各台的基本情况见表1及图1。采用 数字地震波记录,仪器采样率为100 Hz(部分台站 采样率在此期间由50 Hz改为100 Hz),对应得奈 奎斯特频率为50 Hz。选取地震记录起止时间在 2008 年 1 月 - 2009 年 12 月期间, 地震发生在宁夏 境内及周边, 震级在 M_L2.0~4.7(取自宁夏台网月 报目录), 波形记录清晰, 噪声水平满足计算条件。



地震记录的地震射线路径)

Fig. 1 Distribution of earthquake epicenters and seismic stations.

3 数据处理及结果

3.1 数据处理

本研究分析频率段为 4~18 Hz, 间隔 1 Hz, 对 应中心频率 f,带宽取[2/3f,4/3f],使用 6 阶 Butterworth 带通滤波器^[3]进行滤波。根据朱新运 等[5-6]的研究结果,采用每次事件记录之前3秒钟的 噪声平均信号幅度作为标准噪声信号,与等长时间 尾波信号平均幅度相比,设置信噪比阀值为2,大于 2表示在数据计算上结果可靠。由于不同台站场地 条件不同,可能获取的尾波可用段也不同,对应流逝 时间也不同。不同的流逝时间反映不同深度的 Q 值,为保证采样深度基本相当,即尾波流逝时间基本 一致,在满足计算要求的情况下限制尾波流逝时间 在 80±5 s 范围内。这样共挑选出符合条件的 82 次地震的记录 195条,对同一地震记录三分向数据 分别求解Q值,同时给出各频率三分向结果的平均 值,并采用三分向数据的平均值作为判断该地震波 衰减特征的Q值指标(计算实例见图 2),最后拟合 Q值随频率的变化关系。

3.2 数据结果

利用 195 条地震记录,使用 6 阶 Butterworth 滤

西北地震学报

1 NX S25 石嘴山 0 花崗岩 FBS-3 EDAS-C24 100 2 NX TLE 南乐 245 第士 JDF-2 CMG-DM24 100 3 NX VCH 相川 0 花岗岩 CTS-1 EDAS-C24 100 4 NX NS8 牛茸山 2 茶砂岩 CMG-3ESPC CMG-0D24 100 5 NX ZHW 中卫 0 砂岩素 CMG-3ESPC CMG-0D24 100 6 NX TXN 周心 0 影台岩 CMG-3ESPC CMG-3ESP	序号	台网代码	台站代码	台名	地震计深度/m	 台基类型	 地震计	数采	采样率
2 NX TLE 向兵 245 粘土 JDF=2 CMG=DM24 100 3 NX YCH 報用 0 花岗岩 CTS=1 EDAS=C24 100 5 NX ZHW 中世 0 砂岩 大銀台 FBS=3 EDAS=C24 100 6 NX TXN 同心 板岩 FBS=3 EDAS=C24 100 7 NX XSH 香山 砂岩 CMG=3ESPC CMG=DM24 100 8 NX HYU 海原 0 大環石岩 BBVS=60 EDAS=241P 100 9 NX XII 西吉 0 砂岩 CMG=3ESPC CMG=0424 100 10 NX GYU 國原 0 片環治 EBVS=60 EDAS=241P 100 12 NM WUH 乌海 0 砂岩 EMS=56 EDAS=241P 100 13 GS JIA 景素 0 砂浸漬 BBVS=60 EDAS=241P <td>1</td> <td>NX</td> <td>SZS</td> <td>石嘴山</td> <td>0</td> <td>花岗岩</td> <td>FBS-3</td> <td>EDAS-C24</td> <td>100</td>	1	NX	SZS	石嘴山	0	花岗岩	FBS-3	EDAS-C24	100
3 NX YCH 復用 0 花崗岩 CTS-1 EDAS-C24 100 4 NX NSS 牛茸山 2 灰砂岩 CMG-3ESPC CMG-3ESPC CMG-3DS-C24 100 5 NX ZHW 中卫 0 砂岩 FBS-3 EDAS-C24 100 7 NX XSH 香山 0 砂岩 CMG-3ESPC CMG-DM24 100 8 NX HYU 海原 0 砂岩 CMG-3ESPC CMG-DM24 100 9 NX X11 西吉 0 砂砂岩 CMG-3ESPC CMG-DM24 100 10 NX GYU 国際 0 野菜 BBVS-60 EDAS-214 100 11 NX JYU 谷織 0 砂岩 BBVS-60 EDAS-2412 100 12 NM WUH 乌齒 0 砂岩 BBVS-60 EDAS-2412 100 13 GS PLT Y ८ 0	2	NX	TLE	陶乐	245	粘土	JDF-2	CMG-DM24	100
4 NX NSS 牛茸山 2 狭砂岩 CMG-BESPC CMG-DM24 100 5 NX ZHW 中卫 0 砂岩头灰岩 FBS-3 EDAS-C24 100 6 NX XXH 香山 砂岩 CMG-BESPC CMG-DM24 100 7 NX XSH 香山 砂岩 CMG-BESPC CMG-DM24 100 8 NX HYU 海原 0 大理石岩 BBVS-60 EDAS-241P 100 9 NX SH 香山 0 労業 BBVS-60 EDAS-241P 100 10 NX GS JTA 基業 0 砂岩 FBS-3 EDAS-C24 100 12 NM WUH 9% 0 可能 BBVS-60 EDAS-241P 100 13 GS JTA #案 0 砂岩 BBVS-60 EDAS-241P 100 14 GS JNT 節宁 0 元報 BVS	3	NX	YCH	银川	0	花岗岩	CTS-1	EDAS-C24	100
5 NX ZHW 中卫 0 砂岩朱灰岩 FBS-3 EDAS-C24 100 6 NX TXN 同心 0 板岩 FBS-3 EDAS-C24 100 7 NX XSH 香山 0 砂岩 CMG-3ESPC CMG-DM24 100 8 NX HYU 海原 0 大理石岩 BBVS-60 EDAS-241 100 9 NX X11 西吉 0 粉砂岩 CMG-3ESPC CMG-DM24 100 10 NX GYU 樹原 0 朽原泥 CTS-1E EDAS-241P 100 11 NX JYU 谷原 0 方原岩 BBVS-60 EDAS-241P 100 13 GS JNT 香奈 0 砂炭岩 BBVS-60 EDAS-241P 100 14 GS JNT 香宁 0 砂砾岩 BBVS-60 EDAS-241P 100 15 GS PLT 平点 0 砂砾岩 BUS-60 EDAS-241P 100 10 10 15 GS 10	4	NX	NSS	牛首山	2	灰砂岩	CMG-3ESPC	CMG-DM24	100
6 NX TXN 同心 0 板岩 FBS-3 EDAS-C24 100 7 NX XSH 香山 0 砂岩 CMG-3ESPC CMG-DM24 100 9 NX XII 西吉 0 砂岩 CMG-3ESPC CMG-DM24 100 10 NX GYU 園原 0 野湯 CMG-3ESPC CMG-DM24 100 11 NX GYU 園原 0 野湯 CMG-3ESPC CMG-DM24 100 12 NM WUH 乌酸 0 野湯 EBSS-60 EDAS-241P 100 13 GS JNT 渤索 0 砂岩 EBVS-60 EDAS-241P 100 15 GS PLT 平成 0 砂能器 CBG-3ESPC CMG-3ESPC CMG-3ESPC EDAS-241P 100 15 GS PLT 平成 0 砂能器 EBVS-60 EDAS-241P 100 16 GS 100	5	NX	ZHW	中卫	0	砂岩夹灰岩	FBS-3	EDAS-C24	100
7 NX XSH 希山 0 砂岩 CMG-3ESPC CMG-DAS-241P 100 8 NX HYU 海原 0 大理石岩 BBVS-60 EDAS-241P 100 10 NX GYU 周原 0 砂岩 FES-3 EDAS-2416 100 11 NX JYU 登遼 0 砂岩 FES-3 EDAS-241P 100 12 NM WUH 母泰 0 砂岩 BBVS-60 EDAS-241P 100 13 GS JTA 母泰 0 砂原岩 BBVS-60 EDAS-241P 100 15 GS PLT 平成 0 砂磁岩 BBVS-60 EDAS-241P 100 15 GS PLT 平成 0 砂磁岩 BBVS-60 EDAS-241P 100 16 GS JNT 静宁 0 砂磁岩 BBVS-60 EDAS-241P 100 16 JU JU JU JU JU	6	NX	TXN	同心	0	板岩	FBS-3	EDAS-C24	100
8 NX HYU 海原 0 大理石岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 9 NX XJI 西吉 0 粉砂岩 CMG-3ESPC CMG-DM24 100 10 NX GYU 固原 0 砂炭化 CTS-1E EDAS-2416 100 11 NX JYU 登華 0 砂炭 BBVS-60 EDAS-24IP 100 13 GS JTA 泉泰 0 砂炭岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 14 GS JTA 泉泰 0 砂炭岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 15 GS PLT 平凉 0 砂砾岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 15 GS PLT 平凉 0 砂砾岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 16 CMG-3ESP CMG-DM24 100 10 00 00 00 00 00 00 00 00	7	NX	XSH	香山	0	砂岩	CMG-3ESPC	CMG-DM24	100
9 NX XJI 再有 0 粉砂岩 CMG-3ESPC CMG-DM24 100 10 NX GYU 周原 0 钙质泥岩 CTS-1E EDAS-24L6 100 11 NX JYU 送線 0 砂岩 FBS-3 EDAS-24L9 100 12 NM WUH 乌海 0 片麻岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 13 GS JTA 景泰 0 砂页岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 15 GS PLT 平凉 0 砂砾岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 15 GS PLT 平凉 0 砂砾岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 00 00 00 00 00 00 00 00 50 100 150 200 250 300 时间/s (a) 原始液形及尾波成取 0 10 10 10 10 10 10 10 10 10	8	NX	HYU	海原	0	大理石岩	BBVS-60	EDAS-24IP	100
100 NX GYU $ d d d d d d d $	9	NX	XJI	西吉	0	粉砂岩	CMG-3ESPC	CMG-DM24	100
11 NX JYU $E\overline{W}$ 0 \overline{W} $FBS-3$ $EDAS-C24$ 100 12 NM WUH $\underline{\beta}$ 0 β β \overline{B} \overline{B} \overline{B} \overline{D} \overline{D}<	10	NX	GYU	固原	0	钙质泥岩	CTS-1E	EDAS-24L6	100
12 NM WUH 乌酱 0 片葉岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 13 GS JTA 景素 0 砂页岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 15 GS PLT 平次 0 砂砾岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 15 GS PLT 平次 0 砂砾岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 10 0 小 中 小 小 日 10 10 10 0 小 小 小 小 10 10 10 150 200 250 300 10 120 10 150 200 250 300 10 120 10 150 200 250 300 100 120 10 150 200 250 300 100 120 10 10 150 200 250 300 100 120 10 10 150 200 250 300 100 120 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	11	NX	JYU	泾源	0	砂岩	FBS-3	EDAS-C24	100
13 GS JTA 根泰 0 砂页岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 15 GS PLT 平凉 0 砂砾岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 10 GS PLT 平凉 0 砂砾岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 10 GS PLT 平凉 0 砂砾岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 10 GS PLT 平凉 0 砂砾岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 10 GS II II III III IIII IIIII IIIIIIII 10 GS IIII IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII	12	NM	WUH	乌海	0	片麻岩	BBVS-60	EDAS-24IP	100
14 GS JNT 静宁 0 初根岩 CMG-3ESP CMG-0M24 100 15 GS PLT 平成 0 砂砾岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 00 100 120 00 50 100 150 200 250 300 00 00 100 120 00 50 100 150 200 250 300 0 0 00 100 120 00 50 100 150 200 250 300 0 0 0 0 100 120 00 50 100 150 200 250 300 0 10 120 00 50 100 150 10 10 10 <t< td=""><td>13</td><td>GS</td><td>JTA</td><td>景泰</td><td>0</td><td>砂页岩</td><td>BBVS-60</td><td>EDAS-24IP</td><td>100</td></t<>	13	GS	JTA	景泰	0	砂页岩	BBVS-60	EDAS-24IP	100
15 GS PLT 平成 0 砂砾岩 BBVS-60 EDAS-24IP 100 000 120 000 000 100 150 200 250 300 000 000 120 000 000 100 150 200 250 300 000 000 120 000 000 100 150 200 250 300 000 000 120 000 000 000 100 100 100 100 120 100 000 000 000 000 100 100 100 100	14	GS	JNT	静宁	0	沉积岩	CMG-3ESP	CMG-DM24	100
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	15	GS	PLT	平凉	0		BBVS-60	EDAS-24IP	100
000 000 000 000 000 000 000 000						12			
000 000 000 000 000 000 000 000	100	ļ				1			
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	000-					11-	14. 11.		
000 000 000 000 000 000 000 000								t	
000 000 000 000 000 000 50 100 150 200 250 300 100 150 200 250 300 100 150 200 250 300 (a) 原始波形及尾波截取 (b) 垂直向j=11时的数据拟合情况 (b) 垂直向j=11时的数据拟合情况 平均数据结果Q_=401.7, r=0.42208 中均数据结果Q_=401.7, r=0.42208 100 101 101 101 101 101 101 1	000		—截取尾波	长度		10-			
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	000-		1 11.1						
000000000000000000000000000000000000	ļ					$\widehat{}$ 9-			t e
000000000000000000000000000000000000	0		a second s			- 5	• •1		
00 00 00 00 00 50 100 150 200 200 100 150 200 200 200 200 200 200 20 40 60 80 100 120 时间/s (a) 原始波形及尾波截取 (b) 垂直向f=11时的数据拟合情况 平均数据结果Q ₆ =401.7, r=0.42268 第20 10 ⁴ 10 ⁴ 平均数据结果Q ₆ =401.7, r=0.42268	200-		AU.					[ː ıı∄∐hilini	
00 00 00 50 100 150 200 250 100 150 200 200 200 200 200 40 60 80 100 120 时间/s (a) 原始波形及尾波截取 (b) 垂直向戶11时的数据拟合情况 平均数据结果Q₀=401. 7, r=0. 42208 平均数据结果Q₀=401. 7, r=0. 42208		. ul				7	÷	44 4 1	
00 00 50 100 150 200 250 300 时间/s (a) 原始波形及尾波截取 (b) 垂直向产11时的数据拟合情况 平均数据结果Q ₀ =401. 7, r=0. 42208 一U ₀ 规合 中N ₀ _火 测合 10 ³ 板索/H ₂	000								1
00 50 100 150 200 250 300 町间/s (a) 原始波形及尾波截取 (b) 垂直向产11时的数据拟合情况 平均数据结果Q ₀ =401. 7, r=0. 42208 一 10 ³ 振家/H ₂	000-					- 6			-
001 150 200 250 300 时间/s 101 101 120 101 101 101 101 101 101 101									•
0 ³ 10 ⁴ 10 ⁴ 10 ⁴ 10 ⁴ 10 ⁴ 10 ⁴ 0 ³ ● ●	000	50	100	150	200 250		40 60	80 100	120
(a) 原始波形及尾波截取 (b) 垂直向月11时的数据拟合情况 (b) 垂直向月11时的数据拟合情况 (c) 年均数据结果Q ₀ =401.7, r=0.42208 (c) 日		50	100	时间/	s	500 20	40 00	时间/。	120
0 ³ 0 ³ 0 ⁴ 0 ⁴			(a)	原始波形及	民波截取		(b) 垂直向;	∈11时的数据拟合情	况
P<均数据结果Q ₆ =401.7, r=0.42268 P<均数据结果Q ₆ =401.7, r=0.42268 P<均数据结果Q ₆ =401.7, r=0.42268 P<均数据结果Q ₆ =401.7, r=0.42268 P D ₆ 和合 P D ₇ D ₆ 和合 D ₇	Γ			·····			, <u>, , , , , , , , , , , , , , , , </u>	·····	
P<均数据结果Q ₀ =401.7, r=0.42268 P<均数据结果Q ₀ =401.7, r=0.42268 P<均数据结果Q ₀ =401.7, r=0.42268 P<均数据结果Q ₀ =401.7, r=0.42268 P D ₀ , x D ₀ , x D ₀ , x						P			
Формалия Phy B P B B C <thc< th=""> C C <th< td=""><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></th<></thc<>									1
0 ³ 0 ³ 0 ⁴ 0 ⁴									1
0 ³ 10 ¹ 10 ¹ 指案/H ₇ 10 ¹ 10 ¹ 10 ¹ 10 ¹ 10 ¹ 10 ¹ 10 ¹ 10 ¹ 10 ¹ 10 ¹							東を参告を用い	101 7 0 100	, where the second seco
0^{3}				and a second			十均数据结果Q。	=401.7, r=0.4220	8
10 ⁴ 10 ⁴ 10 ⁴ 10 ⁴	10 ³		***	and the second second		值		a i fair a fa	
$ \begin{array}{c} & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & &$			Breese	1		$\bigcirc 10^3$		A. martin	
Upg Upg Upg	ł	C						d the second	
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・			1 p			测合	مندنية. المنشقة		
	4	* ///			→ E _w 实	测	and the second sec		
10 ¹ 新家/Hz		4-6-				合	1.		
10 ¹ 10 ¹ 		/			T INs头	201	1.1		
		/			j ····· N _s 拟	合 ↓	1		
				10) ¹		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		



ig. 2 The calculating result of $M_L = 2.7$ earthquake recorded by Xiangshan Station occurred at 04:22 on January 1, 2008.

波器进行滤波,动态采样^[6],尾波流逝时间在 80±5 s,用椭球体公式计算尾波最大采样深度 92 km,每 条记录以 4 至 18 整数频率点为中心频率,计算 15

个频率点数据,对每个频率的所有 Q 值求平均值作 为该频率点研究区域的 Q 值, 拟合平均 Q 值与对应 频率之间的关系其结果为(图 3):



图3 Q值与频率的关系



Q(f) = (212±87.62) • f^{0.7584±0.19} (5) 地质构造上,宁夏北部属银川一吉兰泰拉张构 造区,由 NE、NNE 走向的两堑夹一垒平行组合而 成,地貌上分别为山地和盆地。而宁夏南部则属于 青藏块体北东缘弧形构造区,活动断裂分割山地和 盆地,走向自西而东由 NWW 或近 EW 逐渐过渡为 NW、NNW,甚至近 NS^[7]。结合宁夏及周边地震地 质特征及同期小震空间分布特点,将研究区自北向 南划分为四个小震密集区:吉兰泰地震区(主要为内 蒙古磴口至乌海小震密集带)、银川地震区、卫宁同 地震区和固海地震区^[7],分别统计Q值对频率的依 赖关系,结果如表 2,图 4 所示。

表 2 小震密集区 Q。值及其对频率的依赖性指数分布

小骨饮在厅	Aki 模型(流逝时间:80 s)			
小展留集区	记录条数	Q_0	η	
吉兰泰地震区(N39.2°-40.5°,E104.5°-107.5°)	14	274.2	0.663 6	
银川地震区(N37.7°-39.2°,E105.7°-107.0°)	17	252	.0.742 2	
卫宁同地震区(N37.0°-37.7°,E104.0°-107.0°)	55	213.4	0,724 6	
固海地震区(N35.2°-37.0°,E105.0°-107.0°)	122	194.2	0.768 8	

4 讨论和结论

(1) Q值大小反映了地震波衰减程度,Q值对 频率的依赖程度与地壳介质均匀程度有关,依赖程 度越大,地壳介质均匀程度越低,相关区域构造活动 越强烈,地震活动水平越高。该研究区由1 Hz 频率 对应得到的 Q₀=212,对频率的依赖性指数 0.758 4 (图 3)。与国内不同区域 Q。值及其对频率的依赖 性程度相比(表 3)^[5,8-12],Q。值相对较低,地震波衰 减较快,且其对频率表现出较强的依赖性。由此可 以认为,研究区区域构造活动较强,地震活动水平较 高。

(2) 对宁夏及邻区进行分区 Q。值计算,结果为:宁夏及邻区 Q。值整体呈北高南低分布,宁夏北



宁夏及邻区 2008-2009 年 M_L≥2.0 地震 M-t 图 Fig. 5 M-t diagram of Ningxia and adjacent regions' earthquakes with $M_L \ge 2.0$ in 2008-2009.

(a) 宁夏北部(71次)

图 5

师海阔等:利用 Aki 模型对宁夏及邻区尾波 Q值的研究

表 3 Q 值与频率关系的国内相关研究结果比较

			Q	<i>f</i>)	·····································	1/r =±.
庁亏		地区	\mathbf{Q}_0	η	流逝时间/s	作者
1		北京	217	0.74	60~90	马云生
2		浙江.	212	0.62	80	朱新运
3		青海玉树	82.3	0.876	$30 \sim 70$	王培玲
4		粤西	$260 \sim 370$	0.0~0.2	200	梁劳
5		九江一瑞昌	64.1	0.977 9	30	陈俊华
6		九江一瑞昌	77.5	0.96	40~44	昌坚
7		全区	212	0.758	80	本研究
8	宁夏	吉兰泰地震区	274.2	0,663 6	80	本研究
9		银川地震区	252	0.742 2	80	本研究
10	夏	卫宁同地震区	213.4	0,724 6	80	本研究
11		固海地震区	194.2	0.768 8	80	本研究

部的吉兰泰地震区、银川地震区较高,而宁夏南部固 海地震区和卫宁同地震区较低,这与赵卫明等^[13]计 算结果比较一致。由宁夏台网地震月报可以看出, 2008-2009年期间,宁夏南部地区 2.0级以上地震 活动水平明显高于北部地区(图 5),这一点映证了 Q值与相关区域地震活动水平之间的依存关系。

(3) Aki 等认为受介质几何非均匀性控制的低 频率端为5 Hz 以下,本研究三分向数据不一致段频 率高于5 Hz,最高可达8 Hz。朱新运等^[5] 对此解释 为不同地区受介质几何非均匀性控制的低频率端范 围是不同的。在选取资料的两年时间段里,由1 Hz 频率对应得到的 Q。值及对频率的依赖性指数都没 有趋势性变化,说明区域应力没有明显改变。

尾波Q值计算软件由浙江省地震局朱新运提供,笔者在浙江省地震局作访问学者期间,在朱新运 老师指导下完成本研究工作,计算所用波形数据由 宁夏地震局测震台网中心提供,在此深表谢意。

[参考文献]

- Aki K. Analysis of seismic coda of local earthquakes as scattered wave[J]. J. Geophys. Res., 1969, 74: 615-631.
- [2] Aki K, Chouet B. Origin of Coda wave: source, attenuation

and sattering effects[J]. J. Geophys. Res., 1975, 80; 3322-3342.

- [3] 朱新运.影响尾波Q值数据结果的算法因素分析[J].东北地 震研究,2006,22(4):8-13.
- [4] Rautain T G, Khalturin V I. The use of the coda for determination of earthquake source spectrum[J]. Bull. Seis. Soc. Amer., 1978,75:1371-1382.
- [5] 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.
- [6] 朱新运,刘杰,张帆.基于 Aki 模型的近震 S 波尾波 Q 值求解 及分析软件研制[J]. 地震研究,2006,29(1): 76-80.
- [7] 杨明芝,马禾青,廖玉华.宁夏地震活动与研究[M].北京:地震 出版社,2007.
- [8] 马云生,张天中,张焕生.北京及其周围地区尾波Q值分布特 征的研究[J].地震学报,1995,17(4):448-458.
- [9] 王培玲,孙洪斌,陈玉华.青海玉树单台地震序列的尾波 Q值 研究[J].高原地震,2007,19(3):21-24.
- [10] 梁劳,林美,江秋云.粤西地区的地震尾波 Q 值和尾波衰减特 征[J]. 华南地震,1989,9(2):1-13.
- [11] 陈俊华,甘家思.九江一瑞昌 5.7 级地震余震尾波 Qc 值分析 [J].大地测量与地球动力学,2006,26(3);65-68.
- [12] 吕坚,朱新运,高建华,等. 江西九江一瑞昌震区的尾波衰减特 征初探[J]. 地震,2006,26(4):15-21.
- [13] 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.