

尼鲁帕尔·买买吐孙、夏爱国、海仁妮莎,2017,南天山西段地震尾波  $Q$  值研究,中国地震,33(3),432~441。

## 南天山西段地震尾波 $Q$ 值研究

尼鲁帕尔·买买吐孙<sup>1)</sup> 夏爱国<sup>1)</sup> 海仁妮莎<sup>2)</sup>

1)新疆维吾尔自治区地震局,乌鲁木齐市新市区科学二街 338 号 830011

2)新疆维吾尔自治区地震局喀什基准地震台,新疆喀什 844000

**摘要** 基于新疆地震台网的数字地震波形资料,采用 Aki 的地震尾波单次散射模型,选取了南天山西段 10 个台站周围 60km 范围内  $M_s \geq 2.0$  的 397 次地震事件计算并得到了不同台站的尾波  $Q_c$  值。结果显示,南天山西段尾波  $Q_0$  值平均值在 140~390 之间,其中喀什台和乌恰台  $Q_0$  值最低;频率相关系数  $\eta$  的平均值在 0.62~1.00 之间,拟合平均  $Q$  值与对应频率之间的关系结果为  $Q = 261.2 \pm 110.8f^{0.80 \pm 0.28}$ ,表明该地区是以低  $Q_0$  高  $\eta$  值为特征的构造活跃区。

**关键词:** 南天山西段 地震 尾波  $Q$  值 单次散射

[文章编号] 1001-4683(2017)03-0432-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

地震波在地球介质中传播时会很快衰减殆尽,造成这种现象的原因主要是地球介质的非完全弹性以及介质弹性的非均匀性。 $Q$  值是描述地球介质特性的主要参数,地壳中裂隙状态、流体迁移、热物质上涌等岩性变化都可能引起应力变化,从而造成品质因子  $Q$  值的变化(周慧兰,1990)。Aki(1969)首次提出了尾波散射理论,提出可以利用尾波来研究震源区上部岩石圈的横向不均匀性、区域地震活动性以及震源机制解等。Aki 等(Aki,1969; Aki et al,1975)在单次散射模型基础上提出了台、源重合情况下的尾波衰减系数计算方法。考虑到台、源分离情况下震源至接收点距离的影响,Sato(1977)和 Pulli(1984)对 Aki 等(1975)的尾波计算方法进行了必要的修正(即 Sato 模型)。

尾波  $Q$  值主要反映了以震源和记录台站为焦点的椭球范围内的介质品质因子的特性,该品质因子作为衡量地区构造活动的重要指标,在震源物理、工程地震学和地震预测研究中都有重要的应用。与其他研究方法相比,利用尾波散射理论能较好地描述介质的某些特征,其优点在于它不是对介质进行确定的测量,而是给出介质在统计平均意义上的特征描述(李琼等,2007)。诸多研究表明, $Q$  值在地震活动频繁的地区较低,在地震活动相对平静的地区较高;在古老的地质单元或构造运动稳定地区较高,而在近代地质单元或构造活跃地区较低(马云生等,1995;李白基等,2004;朱新运,2006;朱新运等,2006a、2006b;马力等,2010;师海

[收稿日期] 2015-01-03; [修定日期] 2016-09-13

[项目类别] 新疆地震科学基金课题(201602)资助

[作者简介] 尼鲁帕尔·买买吐孙,女(维吾尔族),1986 出生,硕士,主要从事地震活动的预测研究工作。

E-mail: nilupar86@163.com

阔等,2011;贺永忠等,2012)。

本文利用南天山西段 2009~2014 年 10 个台站各自附近 60km 范围内的数字化地震波形资料,采用 Aki 尾波单次散射模型,对南天山西段的地震尾波  $Q$  值进行了研究。

### 1 研究区域及观测资料

研究区域位于新疆南天山西段(37.0°~43.0°N,73°~82°E)。该区域中小地震丰富,地质构造比较复杂。喀什-乌恰交汇区是新疆地震活动最为强烈的地区之一,位于帕米尔弧的北段,是南天山与西昆仑 2 条地震带的交汇区,区域内构造运动强烈,地壳缩短速率可达 20mm/a,活动断裂分布密集,主要断裂有托特拱拜孜断裂、卡兹特-阿尔特断裂、乌鲁克恰特断裂以及塔拉斯-费尔干纳断裂等(冯先岳,1995;曲延军等,2010)。

本研究使用南天山西段 10 个台站的记录,各台站的基本情况见图 1(a)及表 1。所选地震台站的地震仪是以 CMG 和 CTS 型为主的甚宽频带地震仪,其采样率均为 100Hz,频率在 0.1~30Hz 之间,均具有平坦的速度响应。选取分析样本为新疆台网地震目录的起止时间为 2009 年 1 月~2014 年 4 月,震中在南天山西段(37.0°~43.0°N,73°~82°E),震级为  $M_s$  2.0~4.5 的地震。其中  $M_s$  2.0~2.9 地震 243 次, $M_s$  3.0~3.9 地震 141 次, $M_s$  4.0~4.5 地震 13 次,最

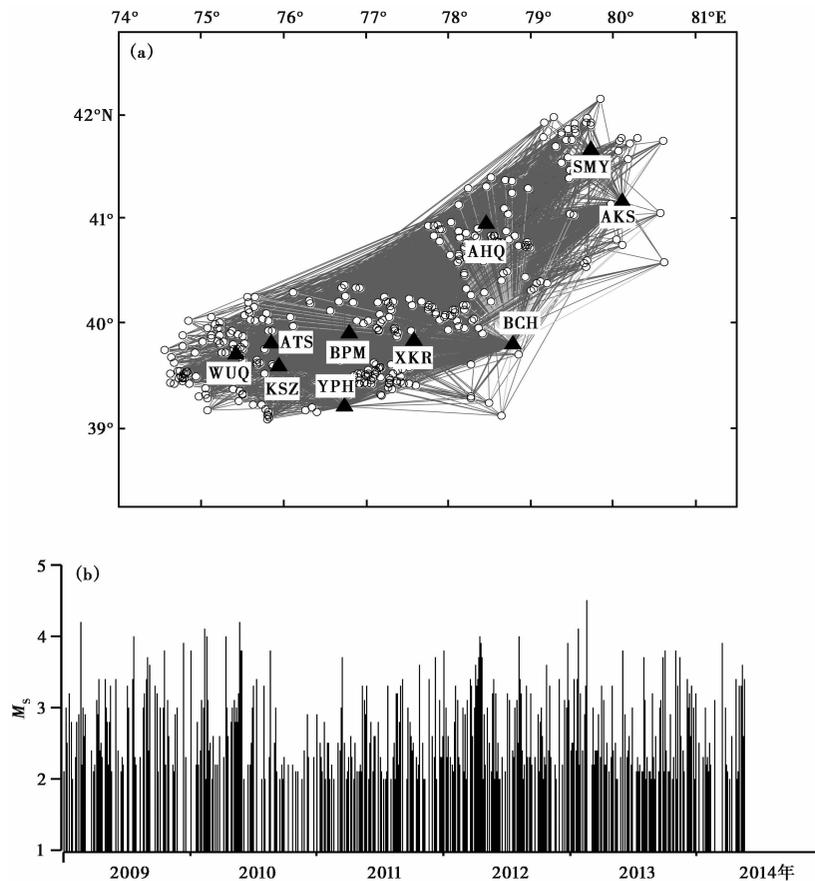


图 1 (a)研究区台站、地震分布及射线路径,(b)  $M_s \geq 2.0$  地震  $M$ - $T$  图

▲代表台站,○表示震中

表 1 研究区域地震台站信息情况

编号	台站代码	地震台站名	海拔高度/m	台基类型	地震计型号	数采型号
1	AHQ	阿合奇	1973	灰岩	CMG-3ESPC	EDAS-24IP
2	ATS	阿图什	1815	砂砾岩	CMG-3ESPC	EDAS-24IP
3	AKS	阿克苏	1123	前震旦纪辉绿岩	FSS-3BDH	EDAS-24IP
4	BCH	巴楚	1142	变质岩	EDAS-24IP	EDAS-24IP
5	BPM	八盘水磨	1325	砂砾岩	CTS-1E	EDAS-24L6
6	KSZ	喀什中继	1582	砂岩	CTS-1	EDAS-24IP
7	WUQ	乌恰	2206	砂砾岩	CMG-3ESPC	EDAS-24IP
8	XKR	西克儿	1200	变质岩	CMG-3ESPC	EDAS-24IP
9	YPH	岳普湖	1189	沙土	CMG-3ESPC	EDAS-24IP
10	SMY	神木园	2144	变质岩	CMG-3ESPC	EDAS-24 IP

大地震为 2013 年 2 月 18 日阿图什 4.5 级地震。所用地震波形记录清晰,噪声水平满足计算条件(图 1(b))。

## 2 方法原理

本文采用尾波方法求解  $Q$  值,用单次散射模型描述尾波衰减(Aki et al,1975),根据该单次散射模型,以某一中心频率的一定带宽滤波器滤波后的尾波振幅可表述为

$$A(f,t) = S(f) \cdot t^{-u} \cdot e^{-\pi f t / Q_c(f)} \tag{1}$$

式中,  $S(f)$  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,且体波的  $u = 1$ 、面波的  $u = 0.5$ ,因本文主要进行近震数据的分析,故  $u$  取值为 1;  $Q_c(f)$  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,进而整理变换为

$$\ln(A(f,t) \cdot t^u) = \ln S(f) - a \cdot t \tag{2}$$

式中,  $a = -\frac{\pi f}{Q_c(f)}$ 。式(2)表明  $\ln(A(f,t) \cdot t^u)$  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

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

计算中首先对地震尾波以  $f$  为中心频率,  $f \pm \frac{1}{3}f$  为宽带,使用 6 阶 Butterworth 滤波器进行滤波,之后以  $f$  对应的周期  $T$  为采样率步长,分别采集不同流逝时间  $t$  对应的  $A(f,t)$ ,将所有数据点代入式(2),用最小二乘法求解该频率的  $Q$  值。在分析整个区域地震波衰减总体特征时,先求出研究区内所有地震记录对不同频率的  $Q$  值,再计算出这些  $Q$  值的平均值,用此平均值作为研究区对应频率点的  $Q$  值,并由此数据拟合出频率与  $Q$  值的关系式

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

式(4)给出了  $Q_c(f)$  值与  $f$  的关系,对此式两边取对数可得

$$\ln Q_c(f) = \ln Q_0 + \eta \ln f \tag{5}$$

从式(5)可以看出,由于  $\ln Q_c(f)$  与  $\ln f$  成线性关系,采用最小二乘法可以得出  $Q_0$  和  $\eta$  值。

### 3 数据处理及结果分析

#### 3.1 数据处理

本研究分析频率段为 4~18Hz, 间隔 1Hz, 对应中心频率  $f$ , 宽带取  $[\frac{2}{3}f, \frac{3}{4}f]$ , 使用 6 阶 Butterworth 带通滤波器(朱新云等, 2006)进行滤波。根据朱新云等(2006a、2006b)的研究成果, 采用每次事件记录之前 3s 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, 设置信噪比阈值为 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。这样挑选出符合条件的 397 次地震的记录, 对同一地震记录 3 分向数据分别求解  $Q$  值, 同时给出各个频率 3 分向结果的平均值, 并采用 3 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  $Q$  随频率的变化关系。

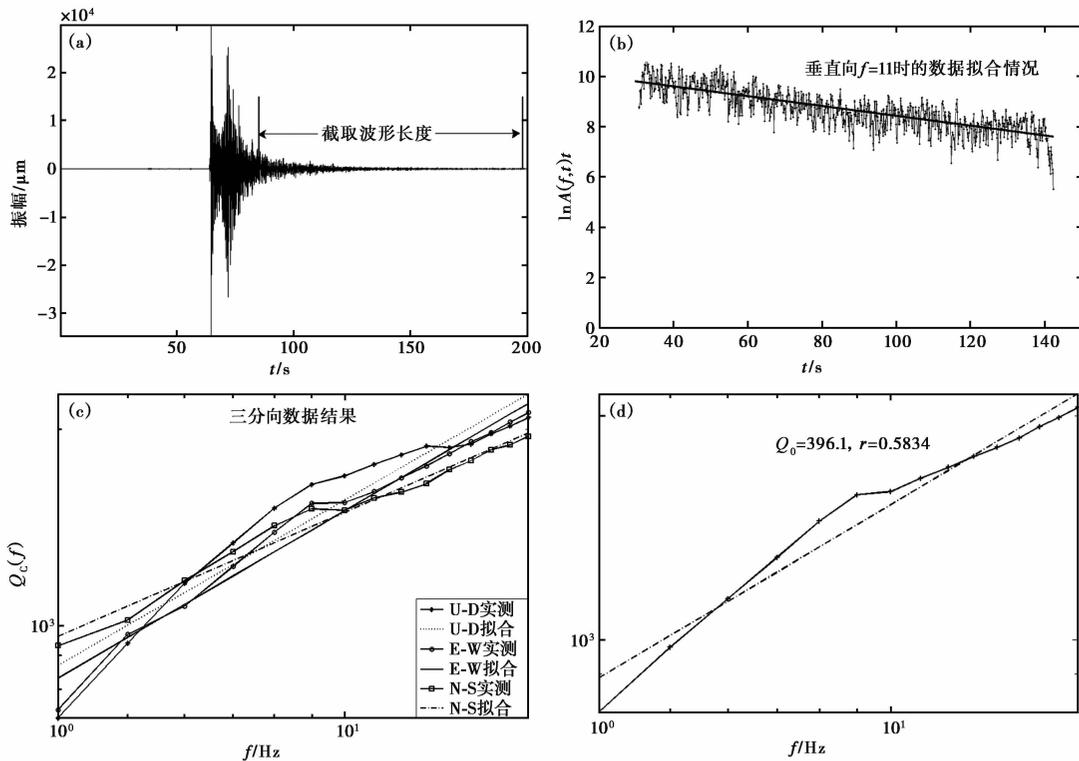


图 2 2010 年 5 月 14 日 23 时 31 分  $M_s$ 2.1 地震的阿合奇(AHQ)台计算实例  
(a) 尾波截断; (b) 垂直向  $f=11\text{Hz}$  时的数据拟合结果; (c) 三分量数据结果; (d) 平均数据结果

#### 3.2 计算结果

图 3 和表 2 给出了以阿合奇台为中心 60km 范围内 58 次地震计算出来的  $Q_0$  值和  $\eta$  值。由表 2 可见, 阿合奇台附近尾波  $Q_0$  值在 53 ~ 442 之间,  $Q_0$  值平均值为 249,  $\eta$  值均值为 0.73。

#### 3.3 分频 $Q_c$ 值时序进程分析

近年来, 许多研究者利用地震尾波衰减探索了  $Q_c$  值大震前后的变化, 以期借此发现大

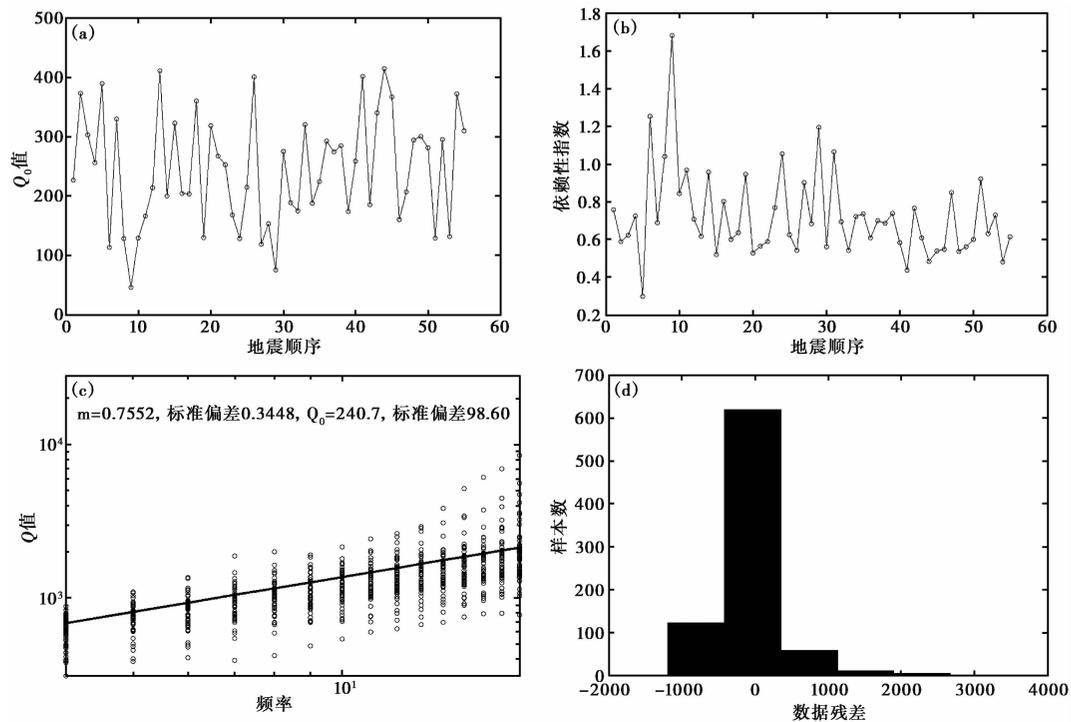


图3 阿合奇台  $Q_0$  值与频率关系

(a)  $Q_0$  值变化; (b) 指数变化; (c)  $Q_0$  值与频率的关系; (d) 拟合残差

震的前兆信息。多数研究结果表明,主震前  $Q_c$  值变小,主要表现在 12Hz 以下的频率范围,但也有  $Q_c$  值在震前变大的结果(Sato et al, 1988)。马宏生等(2005)认为,大震前由于受较强应力作用,地壳介质特别是韧性层破裂的增加可使尾波  $Q_c$  值减小( $Q_c^{-1}$  值变大),但临近破裂时,由于应力增强,导致裂隙闭合,  $Q_c$  值反而增大;大震后,由于作用在地壳韧性层的应力得到释放,从而介质松弛,以至反映其介质衰减特征的  $Q_c$  值减小,1976 年的唐山地震就具有这个特点。

图 4 给出了 2009 年 1 月~2014 年 4 月阿合奇台附近 60km 范围内  $M_s \geq 2.0$  以上地震在 4.0、6.0、8.0、10.0、12.0、14.0、16.0、18.0Hz 中心频段  $Q_c$  随时间的变化过程,图中还同时标出了台站周围 100km 范围内 5 级以上地震分布。由图 4 可见,图中 8 个频段  $Q_c$  值变化形态基本一致,其中 4.0Hz 时的  $Q_c$  值时间进程图较为平滑,2012 年 8 月 11 日 5.0 级地震以及 2013 年 3 月 11 日 5.1 级地震前几个频段均出现  $Q_c$  值高值;震后呈现下降趋势。

通过上述数据处理过程,对研究区域内的 10 个台站 60km 范围内  $M_s \geq 2.0$  以上地震在 4.0、6.0、8.0、10.0、12.0、14.0、16.0、18.0Hz 中心频段  $Q_c$  值随时间的变化过程进行分析。

南天山西段台站分布不是十分均匀,该区域所发生地震的位置常呈随机的聚散状,各台能记到其周围可供进行尾波  $Q_c$  值计算的地震并不相同。由于符合单次散射模型尾波功率谱分析的地震波形样本所限,有的台记录波形样本数较多,有的较少。10 个台站不同频段  $Q_c$  值时序进程分析结果表明,不同台站的分频  $Q_c$  值时序进程曲线趋势各异,但每个台站在

表 2 阿合奇县地震尾波  $Q_0$  值结果

事件	发震时刻		纬度(N) /(°)	经度(E) /(°)	震级 $M_s$	深度 /km	震中距 /km	$Q_0$	$\eta$
	年-月-日	时:分:秒							
1	2009-02-20	18:02:58	40.77	78.59	4.2	13	14.9	238.3	0.737
2	2009-02-20	23:42:37	40.76	78.65	3.7	8	21.5	415.5	0.539
3	2009-02-21	05:21:44	40.76	78.61	2.5	11	17.1	293.8	0.627
4	2009-02-25	21:42:32	40.72	78.62	3.0	5	18.4	296.6	0.665
5	2009-04-19	12:44:47	41.27	78.24	2.2	7	24.9	315.1	0.371
6	2009-04-30	22:47:54	40.71	78.99	2.6	9	59.1	112.2	1.257
7	2009-05-01	03:20:33	40.71	78.96	3.4	3	55.9	375	0.630
8	2009-05-01	07:58:17	40.72	78.94	2.5	4	53.6	109.5	1.111
9	2009-05-01	16:32:45	40.74	78.94	2.1	12	53.5	53.7	1.598
10	2009-05-02	06:41:32	40.72	78.94	2.0	6	53.6	110.2	0.881
11	2009-05-04	12:09:37	40.76	78.96	2.8	11	55.8	120.5	0.786
12	2009-05-05	01:43:42	40.74	78.97	3.0	7	56.9	200.6	0.896
13	2010-01-31	21:21:22	40.87	78.12	2.4	9	37.9	223.5	0.687
14	2010-02-19	02:32:17	40.47	78.67	4.0	13	25.5	249.2	0.767
15	2010-02-25	17:27:27	40.49	78.71	2.1	11	29.5	216.1	0.931
16	2010-03-10	07:20:50	41.34	78.77	2.6	9	36.8	303.9	0.547
17	2010-04-09	19:44:32	41.27	78.97	2.3	9	58.6	150.1	0.893
18	2010-04-10	14:09:42	40.77	77.90	2.1	7	49.1	206	0.592
19	2010-05-14	23:31:30	40.60	78.14	2.1	11	36.4	396.1	0.583
20	2010-06-30	01:35:39	40.85	78.22	3.0	9	28.3	132.6	0.930
21	2010-08-20	23:48:36	41.35	78.69	2.6	8	27.2	348.9	0.491
22	2010-12-23	12:51:53	40.79	78.74	2.3	7	31.3	295.4	0.526
23	2011-01-11	08:32:46	40.82	78.32	2.0	4	15.8	265.7	0.565
24	2011-01-12	17:57:30	40.81	78.14	2.1	9	35.7	190.8	0.717
25	2011-06-06	10:09:18	40.57	78.11	2.0	7	39.8	124.3	1.066
26	2011-06-20	00:07:19	41.29	78.46	2.2	6	8.0	228.1	0.581
27	2011-07-04	22:35:15	40.64	78.02	2.0	15	51.6	370.8	0.574
28	2011-07-23	16:57:43	40.89	78.36	2.1	10	24.2	185.9	0.745
29	2011-07-26	12:36:23	40.81	78.34	3.3	13	23.8	174.9	0.671
30	2011-08-27	12:52:09	41.12	78.12	2.2	7	38.1	67.7	1.297
31	2011-08-27	17:24:05	40.40	78.65	2.2	12	24.2	728.3	0.376
32	2011-10-05	08:20:26	40.95	78.03	2.4	11	47.9	257.9	0.583
33	2011-10-16	15:27:25	40.73	78.85	2.3	8	43.6	175.6	1.080
34	2012-01-01	17:27:42	40.73	78.53	2.6	7	8.9	199.5	0.626
35	2012-02-02	18:55:39	40.92	77.82	2.8	10	40.1	346.7	0.515
36	2012-04-22	00:40:12	40.82	77.82	2.3	9	40.1	227	0.624
37	2012-06-29	20:10:07	40.82	78.52	2.1	8	13.6	212.8	0.748
38	2012-07-12	04:21:48	40.88	77.90	2.5	5	59.8	325.7	0.571
39	2012-08-13	12:48:54	40.45	78.2	3.2	9	30.9	382.8	0.559
40	2012-10-14	01:04:32	40.62	78.22	2.1	8	27.6	409	0.553
41	2012-11-01	20:21:27	40.63	78.12	2.0	9	38.4	208	0.659
42	2012-11-06	05:03:06	40.70	78.20	2.1	5	29.4	234.1	0.616
43	2012-12-13	02:02:25	41.38	78.52	2.2	7	12.1	379.3	0.453
44	2013-01-29	19:35:23	40.82	78.55	2.2	10	10.3	210.1	0.717
45	2013-02-12	14:21:00	40.68	78.43	2.9	10	6.5	340.4	0.602

续表 2

事件	发震时刻		纬度(N) /(°)	经度(E) /(°)	震级 $M_s$	深度 /km	震中距 /km	$Q_0$	$\eta$
	年-月-日	时:分:秒							
46	2013-02-13	19:07:36	40.47	78.20	2.4	11	30.8	442.8	0.496
47	2013-04-04	21:46:21	40.88	77.92	3.3	8	59.8	418.8	0.473
48	2013-04-11	02:56:20	40.93	77.87	3.1	8	60.1	295.8	0.617
49	2013-05-01	03:37:20	41.23	78.77	2.2	4	10.3	172.4	0.505
50	2013-05-13	18:27:56	40.80	78.53	2.5	6	8.3	259.9	0.742
51	2013-08-03	16:15:20	41.03	78.73	3.7	7	30.1	318.9	0.504
52	2013-08-06	23:54:35	40.85	78.22	2.3	6	26.8	271.6	0.587
53	2013-08-07	04:58:47	40.92	77.75	2.2	8	56.9	315.3	0.555
54	2013-10-05	18:45:24	40.87	78.70	2.2	9	26.7	148.3	0.879
55	2013-11-02	12:27:32	40.65	78.13	3.8	9	37.3	258.5	0.664
56	2013-12-17	07:24:21	40.75	78.22	2.0	7	27.1	162.2	0.666
57	2013-12-18	09:44:28	41.08	78.68	3.3	10	24.7	398.6	0.447
58	2014-05-18	23:05:25	40.58	78.43	2.0	8	8.5	345.9	0.566

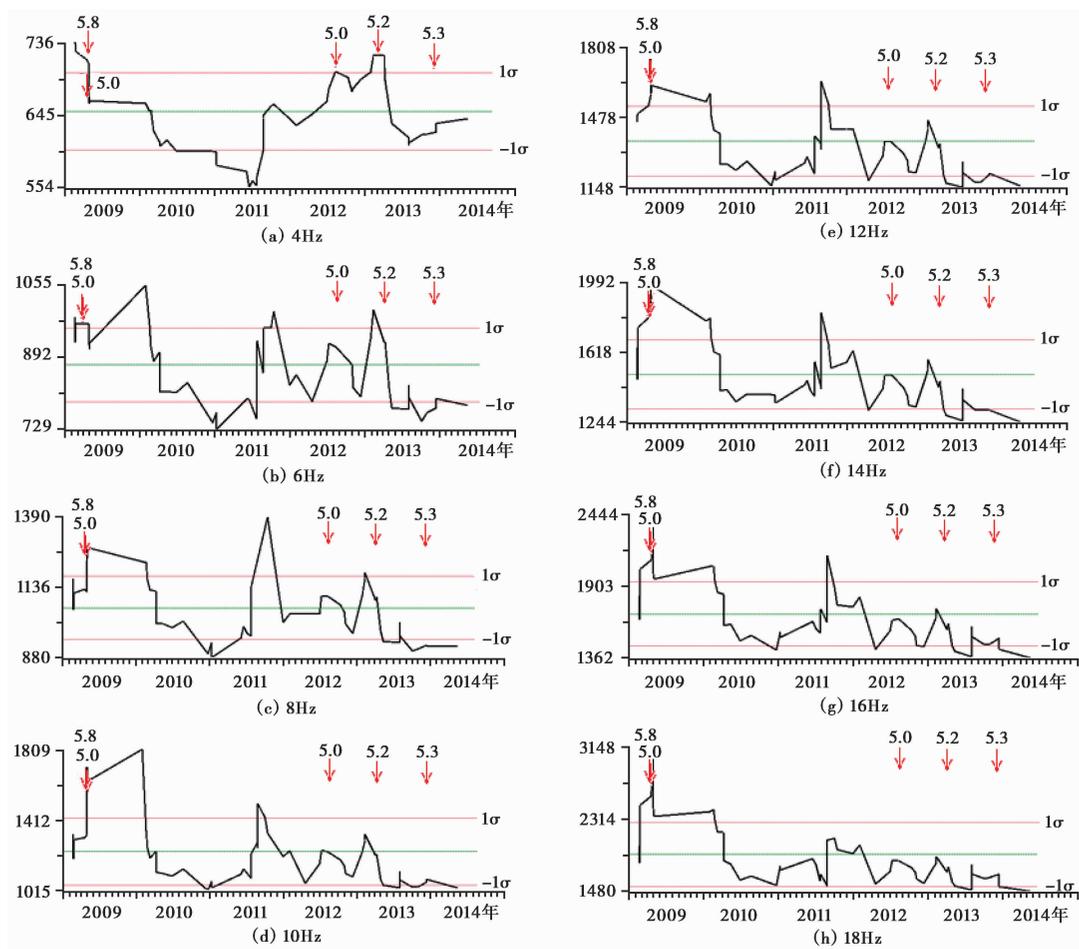


图 4 2009~2014 年阿合奇台周围 60km  $M_s \geq 2.0$  地震分频  $Q_c$  值时序进程图

图(a)~(h)分别对应 4~18Hz 时  $Q_c$  值,红色横线为 1 倍标准方差,绿色横线为均值

不同频率的时间进程曲线趋势大致一致。

### 3.4 尾波衰减特征 $Q_c$ 值研究

基于近震尾波的单次散射理论,我们利用南天山西段 10 个台记录的 397 个信噪比较高的地震数字化波形资料,计算了该地区地球介质对不同频率地震波衰减的品质因子  $Q_c$ 。表 3 和图 5 给出了研究区域内 10 个台站为中心 60km 范围内地震事件计算得到的  $Q_0$  和  $\eta$  值的平均值结果。

表 3 南天山西段 10 个台站周围地震事件计算的  $Q_0$  与  $\eta$  值平均值

台站	EW 向 ( $\varepsilon\pm\sigma$ )		SN 向 ( $\varepsilon\pm\sigma$ )		Z 向 ( $\varepsilon\pm\sigma$ )		平均值	
	$Q_0$	$\eta$	$Q_0$	$\eta$	$Q_0$	$\eta$	$Q_0$	$\eta$
阿合奇 (AHQ)	261.8±108.71	0.70±0.29	248.3±110.47	0.74±0.33	240.7±98.6	0.76±0.34	249.0±98.79	0.73±0.32
阿克苏 (AKS)	355.9±206.65	0.65±0.30	353.7±193.64	0.65±0.21	382.9±143.68	0.59±0.22	364.0±181.21	0.62±0.22
阿图什 (ATS)	202.3±241.69	0.96±0.43	146.1±106.33	1.02±0.32	239.7±254.67	0.85±0.33	180.60±147.87	0.94±0.34
巴楚 (BCH)	400.5±203.82	0.63±0.14	443.6±234.98	0.60±0.17	346.3±183.46	0.72±0.23	390.3±177.87	0.65±0.14
八盘水磨 (BPM)	289.9±122.13	0.78±0.21	279.1±121.26	0.81±0.22	330.6±121.47	0.73±0.21	300.9±113.50	0.77±0.20
喀什中继 (KSZ)	158.6±127.86	0.98±0.44	113.6±66.57	1.10±0.41	179.2±119.77	0.89±0.40	141.80±81.90	1.00±0.41
神木园 (SMY)	258.3±176.09	0.74±0.38	246.1±109.02	0.74±0.31	251.2±103.50	0.74±0.40	244.9±103.39	0.76±0.43
乌恰 (WUQ)	160.8±72.16	0.96±0.28	160.5±72.96	0.98±0.34	172.5±68.69	0.92±0.25	161.1±67.57	0.96±0.29
西克尔 (XKR)	324.8±139.04	0.79±0.23	304.1±144.47	0.83±0.27	316.0±162.42	0.83±0.28	310.5±133.19	0.82±0.25
岳普湖 (YPH)	223.1±98.95	0.81±0.24	308.2±157.69	0.69±0.24	279.3±185.90	0.82±0.35	260.9±111.47	0.76±0.23

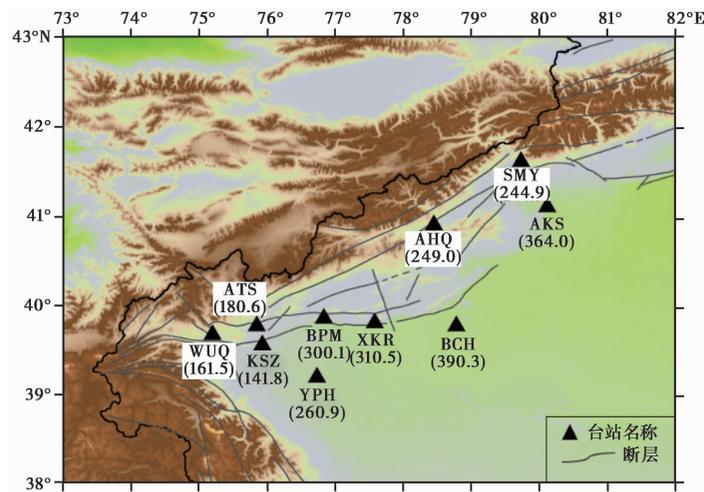


图 5 南天山西段各台站附近尾波  $Q_0$  值与主要活动构造分布

由表3可看出,南天山西段  $Q_0$  值的平均值在 140~390 之间,频率相关系数  $\eta$  的平均值在 0.62~1.00 之间,拟合平均  $Q_c$  值与对应频率之间的关系结果为  $Q_c = 261.2 \pm 110.8f^{0.80 \pm 0.28}$ , 本文计算结果与李志海等(2011)对伽师地区  $Q_0$  的计算结果基本一致;与赵翠萍等人(2011)得到的天山中段地区  $Q$  值( $Q = Q_0 f^\eta = 344.1f^{0.553}$ ) 相比较则显现为南天山西段的  $Q_0$  值小于天山中段地区的  $Q_0$  值。傅承义等(1983)研究认为,  $Q$  值与介质均匀程度相关,或者说与介质

强度有关。稳定地区介质均匀程度较高,其  $Q$  值较大;构造活动强烈地区介质均匀程度较低,其  $Q$  值较小。据此认为,南天山西段构造活动要强于天山中东段,这与两个地区地震活动特征是一致的:南天山西段是我国地震活动最强烈的地区之一,以 6 级以上地震活动为主;而天山中段地震活动相对南天山西段要弱,以 5 级地震为主。巴楚台附近的  $Q_0$  值最高,达到 390.3。研究区域 10 个台站  $Q_0$  值从大到小依次为:巴楚、阿克苏、西克尔台、八盘水磨、阿合奇、神木园、岳普湖、阿图什、乌恰及喀什。从分布来看,塔里木盆地边缘的阿克苏、巴楚和西克尔台较高的  $Q_0$  值反映盆地边缘介质的整合性相对较好,不像其他区域那样破碎,与其他几个台站附近的尾波  $Q_0$  值相比较而言,对地震波的散射较强。喀什和乌恰台附近  $Q_0$  值最小,反映该地区地壳破碎程度较高,与其较高的地质构造活动和较强地震活动水平相符合。

本文  $\eta$  值的部分计算结果出现了大于 1 的情况,表明频率越高,衰减率越小,这与介质对地震波的吸收是随频率升高而增强的一般认识相悖。而马云生等(1995)和马力等(2010)在计算云南滇西实验场地区的尾波  $Q_c$  值、北京及其周围地区以及昆明台附近尾波  $Q_c$  值分布特征的研究中,也出现过类似的现象。本文中讨论的  $Q_c$  值是实际观测资料按散射理论模式直接拟合得到的,有些  $\eta$  值大于 1 的原因,尚待进一步研究解释。

## 4 结语

$Q$  值大小反映了地震波衰减程度, $Q$  值对频率的依赖性与介质均匀程度有关,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(朱新运等,2006a、2006b)。本文依据 Aki 尾波单次散射模型,利用南天山西段 10 个台站附近地震事件频带资料计算了相应的尾波  $Q_c$  值,计算得到介质品质因子  $Q_0$  值的平均值在 140~390 之间,频率相关系数  $\eta$  的平均值在 0.62~1.00 之间。从  $Q_0$  值大小分布来看,喀什、乌恰、阿图什等台站  $Q_0$  值最小;与不同区域  $Q$  值及频率相关系数相比较,本文研究区的  $Q_0$  值较低,这与本地区的地震活动性相一致,表明该地区是以低  $Q_0$  高  $\eta$  值为特征的构造活跃区。

## 参考文献

- 冯先岳,1995,天山全新世活动断裂及古地震研究,内陆地震,9(3),217~226。  
傅承义、陈运泰、祁贵中,1983,地球物理学基础,北京:科学出版社。  
贺永忠、师海阔、朱新运等,2012,利用两种模型对宁夏及邻区尾波  $Q$  值进行对比研究,大地测量与地球动力学,32(增刊),10~17。  
马宏生、刘杰、张国民等,2005,尾波  $Q_c$  值随时间变化在地震预测中应用的研究,地震,25(4),39~48。  
马力、雷湘鄂、孙和平,2010,昆明台附近区域地震尾波  $Q$  值分析,地震学报,32(6),670~679。  
马云生、张天中、张焕生,1995,北京及其周围地区尾波  $Q$  值分布特征的研究,地震学报,17(1),448~458。  
李白基、秦嘉政、钱晓东,2004,云南姚安地区的尾波衰减,地震学报,26(1),47~52。  
李琼、秦嘉政、钱晓东,2007年宁洱 6.4 级地震余震序列尾波  $Q$  值研究,地震研究,30(4),337~343。  
李志海、朱成英、夏爱国等,2010,新疆伽师地区非弹性衰减、场地响应与震源参数研究,中国地震,26(3),340~348。  
曲延军、王琼、聂晓红,2010,新疆南部构造区带与地震活动状态研究,内陆地震,24(4),298~306。  
师海阔、朱新运、贺永忠等,2011,利用 Aki 模型对宁夏及邻区尾波  $Q$  值的研究,西北地震学报,33(4),370~375。  
赵翠萍、陈章立、华卫等,2011,中国大陆主要地震活动区中小地震震源参数研究,地球物理学报,54(6),1478~1489。  
周慧兰,1990,地球内部物理,218~227,北京:地震出版社。

- 朱新运, 2006, 影响尾波  $Q$  值数据结果的算法因素分析, 东北地震研究, **22**(4), 8~13。
- 朱新运、张帆, 2006a, 浙江及邻区尾波  $Q$  值研究, 西北地震学报, **28**(2), 108~113。
- 朱新运、刘杰、张帆, 2006b, 基于 Aki 模型的近震 S 波尾波  $Q$  值求解及分析软件研制, 地震研究, **29**(1), 76~80。
- Aki K, 1969, Analysis of seismic coda of local earthquakes as scattered wave, J Geophys Res, **74**, 615~631.
- Aki K, Chouet B, 1975, Origin of the coda wave: Source, attenuation and scattering effects, J Geophys Res, **80**(B23), 3322~3342.
- Pulli J, 1984, Attenuation of coda wave in New England, Bull Seism Soc Amer, **74**(4), 1149~1166.
- Sato H, 1977, Energy propagation including scattering effects: Single isotropic scattering approximation, J Phys Earth, **25**, 27~41.
- Sato H, 1988, Temporal changes in scattering and attenuation associated with the earthquake occurrence—A review of recent studies on coda waves, Pure App Geophys, **126**, 465~497.

## The study on seismic coda $Q$ value in the western segment of south Tianshan

Nilupaer Maimaitusun<sup>1)</sup> Xia Aiguo<sup>1)</sup> Hairennisha<sup>2)</sup>

1) Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

2) Kashgar Seismic Station of Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Kashgar 844000, Xinjiang, China

**Abstract** The coda attenuations below 10 seismic stations in the southern Tianshan region were studied in this paper by using the earthquake waveform data recorded through the Xinjiang Digital Seismic Network. 397 earthquakes with  $M_s \geq 2.0$  with the epicentral less than 60km around studied stations were used. The result showed that the average coda  $Q_0$  value of the southern Tianshan region is about 190~390 among which Kashgar and Wuqia have the lowest value. The correlation coefficient of mean frequency  $\eta$  is about 0.62~1.00. The relationship between the scattering attenuation and the frequency in the southern Tianshan region can be expressed as  $Q = 261.2 \pm 110.8f^{0.80 \pm 0.28}$ , suggesting that studied region is a tectonic active zone characterized with low  $Q_0$  and high  $\eta$  values.

**Key words:** Southern Tianshan region; Earthquake; Coda  $Q$  value; Single scattering model