

北京及其邻区Q值分布特征的研究

付昌洪 朱传镇

(国家地震局地球物理所)

一、引言

地震波通过地球介质时,由于实际介质并非完全弹性,因此,地震波的振幅除了因波阵面的几何扩散而减少外,还有因介质内摩擦等因素造成的吸收而使地震波的振幅随距离而减小。研究地震波在地球介质中的衰减特性,对研究震源本身及其周围环境都很重要,归纳起来有以下几方面的意义:

1. 用于解决一系列与地震波在实际地球介质中传播有关的地震问题;
2. 由地面台站上记录的地震波,推算震源辐射的能量;
3. 用以求得地震波在震源边界处的频谱成份,从而确定震源参数;
4. 用以研究地震活动区介质的流变性质,估计未来最大可能的地震强度;
5. 探索大地震发生前,震源周围地区地震波衰减特性随时间的变化,进而用于中期预报;
6. 研究各地区衰减值的区域性变化,结合地质构造,历史地震活动等特点,更合理地进行地震带的划分。

地震波在介质中的衰减,是介质重要特性之一,而Q值则是衡量衰减性质的主要物理参数。多年来,不少地震学者利用浅震、深震的体波和面波测定了一些地区的Q值,特别是在岛弧地区,Q值的空间分布,为板块构造提供了重要依据。值得提出的是,1972年日本铃木(S·Suzuki)^[2]利用大量爆破资料,较详细地研究了松代震群活动区地壳内Q值的空间分布,发现震中与其周围地区相比,Q值有明显差异。近年来,国内有不少人,也开展了这方面的工作,分别在频率域^[1]和时间域^[3,4]内测定了某些特定地区的Q值,取得了一些有意义的结果。

从浅震的孕育和预报的角度来看,研究地壳介质的Q值,更具有实际意义。有鉴于此,本文首先简述了用近震资料测定Q值的主要方法,特点及其适用范围;然后采用文^[1]中提出的方法,测定了北京及其周围地区地壳介质的Q值,并对测定结果进行了初步的分析和讨论。

二、测定Q值的主要方法简述

关于固体介质中波动能量的非弹性损耗的机制,现在还不很清楚,通常用介质品质因子Q值来描述, πQ^{-1} 的物理意义是单位波长上波动振幅的对数缩减^[5]。一般说Q值与频率可能有关,但在体波观测中,因所用仪器频带较窄,故可把Q视为常数。

用近震资料测定地壳中的Q值，其方法归纳起来有两大类，一类是时间域的方法。另一类是频率域的方法。

1. 时间域方法，事先，考虑震源时间函数，介质的吸收性质，仪器的频率特性，通过褶积计算出理论地震图，求得测定震源参数（震源尺度、地震矩、应力降等）和介质品质因子的一套量板^[3, 4]。利用直达P波的初动振幅和半周期，根据这套量板就可以测得介质品质因子Q值。这种方法的优点是简便。

2. 频率域方法。

地面台站上记录到的地震波振幅，主要取决于三个因素：源的性质（源的时间函数，空间函数，震级等）；路径的性质（吸收、散射、几何扩散、反射折射等）；接收点的性质（干扰、仪器特性、共振效应等）。对于体波，震源距为 r 处记录的地震波振幅谱可写成为：

$$|A(\omega)| = |S(\omega)| |B(\theta)| |C_s(\omega)| |M(\omega, r)| |G(r)| |C_r(\omega, r)| |I(\omega)| \quad (1)$$

$S(\omega)$ 源时间函数的谱

$B(\theta)$ 源的空间函数， Q 代表源相对于观测点的方位

$C_s(\omega)$ 源处地壳对波谱的影响

$M(\omega, r)$ 介质衰减的影响

$G(r)$ 几何扩展

$C_r(\omega, r)$ 接收点处地壳对波谱的影响

$I(\omega)$ 仪器频率响应

通常可把衰减项 $M(\omega, r)$ 写成：

$$M(\omega, r) = E \times P \left(-\frac{\omega}{2} \int \frac{dr}{Q(\omega, r) \cdot V(r)} \right)$$

这样(1)式可改写成下列形式

$$|A(\omega)| = |A_0(\omega)| E \times P \left(-\frac{\omega}{2} \int \frac{dr}{Q(\omega, r) \cdot V(r)} \right) \quad (2)$$

其中 $|A_0(\omega)| = |S(\omega)| |B(\theta)| |C_s(\omega)| |G(r)| |C_r(\omega, r)| |I(\omega)|$ 。

频率域方法大致又可分三种：频率比法；台站比法和波形比法。

A. 频率比法

设 \bar{Q} 为传播介质中的平均Q值，那么(2)式右边的积分就是波传播所需的时间 t 被 \bar{Q} 除，(2)式变成

$$|A(\omega)| = |A_0(\omega)| E \times P \left(-\frac{\omega}{2} \cdot \frac{t}{\bar{Q}} \right) \quad (3)$$

两种频率的振幅相比有：

$$\frac{|A(\omega_1)|}{|A(\omega_2)|} = \frac{|A_0(\omega_1)|}{|A_0(\omega_2)|} E \times P \left(-\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \cdot \frac{t}{\bar{Q}} \right)$$

取对数

$$\lg \frac{|A(\omega_1)|}{|A(\omega_2)|} = \lg \frac{|A_0(\omega_1)|}{|A_0(\omega_2)|} - \frac{\omega_1 - \omega_2}{2\bar{Q}} \cdot t \cdot \lg e \quad (4)$$

假定各次地震源谱相似, 在 $\lg \frac{|A(\omega_1)|}{|A(\omega_2)|} \sim t$ 坐标中, (4) 式是一直线方程, 从其斜率 K 中可求得 \bar{Q} 值

$$\bar{Q} = -\frac{\omega_1 - \omega_2}{2K} \cdot \lg e \quad (5)$$

此法适用于一个地震多台记录或多个地震单台记录的情况。

B. 台站比法 (也称为距离比法)

此法通常建立在不同距离上两个台站谱振幅比的基础上, 但也可用于一个台, 不同震中距的两个地震。

设台 1 和台 2 与震中在同一直线上, 使用的仪器相同或作了仪器校正之后, 有关系式:

$$\lg \frac{|A_1(\omega)|}{|A_2(\omega)|} = \lg \frac{G_1 |C_1(\omega)|}{G_2 |C_2(\omega)|} - \frac{\omega}{2} \left(\int_1 \frac{dr}{QV} - \int_2 \frac{dr}{QV} \right) \cdot \lg e \quad (6)$$

又可写成:

$$\lg \left(\frac{|A_1(\omega)| |C_2(\omega)|}{|A_2(\omega)| |C_1(\omega)|} \right) = \lg \frac{G_1}{G_2} - \frac{\omega}{2} (t_1^* - t_2^*) \cdot \lg e \quad (7)$$

(7) 式左端称为折合谱比例, $(t_1^* - t_2^*)$ 称为微分衰减, 作为进一步简化, 我们考虑两个台之间介质的平均 \bar{Q} , 则 (6) 式变成:

$$\begin{aligned} \lg \frac{|A_1(\omega)|}{|A_2(\omega)|} &= \lg \frac{G_1 |C_1(\omega)|}{G_2 |C_2(\omega)|} + \frac{\omega(t_2 - t_1)}{2\bar{Q}} \cdot \lg e \\ &= \lg \frac{G_1 |C_1(\omega)|}{G_2 |C_2(\omega)|} + \frac{\omega(r_2 - r_1)}{2\bar{Q}V} \cdot \lg e \end{aligned} \quad (8)$$

上式适用于只有两个台, 且右端第一项与 ω 无关的情况。于是作 $\lg \frac{|A_1(\omega)|}{|A_2(\omega)|} \sim \omega$ 图, 其直线的斜率 K 可给出 \bar{Q} 值

$$\bar{Q} = \frac{r_2 - r_1}{2KV} \cdot \lg e \quad (9)$$

如果我们对得到的振幅谱进行了几何扩散和地壳响应的校正, 则有:

$$\lg \frac{|A(\omega)| |C_1(\omega)| G_1}{|A_1(\omega)| |C(\omega)| G} = \frac{\omega(r_1 - r)}{2\bar{Q}V} \cdot \lg e \quad (10)$$

(10) 式适用于从震中出发的同一剖面上有任意多个台站的情况, 于是对每个 ω , 作出振幅比 (已校正过的) 对 r 的图, 由其斜率即可给出 Q 值。

另外, 若我们设 $|C_1(\omega)| \sim |C_2(\omega)|$, 则不论几何扩散为何种形式, 均有:

$$\frac{\alpha}{\alpha\omega} (\lg |A_1(\omega)|) - \frac{\alpha}{\alpha\omega} (\lg |A_2(\omega)|) = \frac{t_2 - t_1}{2\bar{Q}} \cdot \lg e \quad (11)$$

于是由台 1 和台 2 的振幅谱的斜率及给定走时 t_2 、 t_1 也可求出 Q 值。这种方法实际上相当于频率比法和台站比法的某种联合运用。

C. 波形比法

此法使用同一个台站所记录的同一个地震的不同类型波之间的振幅谱比。其优点在于适

当选取所比较的波,则可以消除震源和路径的影响。这种方法主要用于地核反射波如 P_cS , P_cP 等,求地幔的 Q 值〔6〕。

3. 本文采用的方法

根据现在北京地区台站分布情况和装备仪器的条件,为确定地壳中的介质品质因子 Q ,我们采用单台记录,直接通过近震直达 P 波振幅谱的斜率来求 Q 值〔1〕。此法属于频率域方法。

设台上观测到的直达 P 波的振幅谱为 $A(\omega)$,则有下列关系式:

$$A(\omega) = A_0(\omega)G(r)I(\omega)e^{-\frac{\omega}{2} \frac{r}{QV}} \quad (12)$$

式中 $A_0(\omega)$ 为源振幅谱, $G(r)$ 为几何扩散因子(对 P 波可取为 $\frac{1}{r}$), $I(\omega)$ 为地震仪的频率特性, r 为震源距, Q 为震源至观测点之间介质的平均品质因子。(12)式也可写成下列形式

$$\lg \frac{A(\omega)}{I(\omega)} = \lg[A_0(\omega)G(r)] - \frac{\omega}{2QV_p} \cdot V_s(t_s - t_p) \cdot \lg e \quad (13)$$

V_s 为虚波速度,北京地区取 $V_s = 8.15 \text{ km/s}$

V_p 为 \bar{P} 波速度,北京地区取 $V_p = 6.01 \text{ km/s}$

t_p 、 t_s 分别为 \bar{P} 波和 \bar{S} 波的走时。

震源理论的研究和实际观测表明〔7〕,体波源谱的低频部分近似为一常数,如果频率 ω 的范围取得合适,如取 ω 在低于拐角频率以下的范围,则在 $\lg \frac{A(\omega)}{I(\omega)} - \omega$ 图中,(13)式为一直线方程,由直线的斜率 K 即可确定出 Q 值。因为 $K = \frac{V_s(t_s - t_p)}{2QV_p} \cdot \lg e$

所以
$$Q = \frac{V_s(t_s - t_p)}{2K V_p} \cdot \lg e \quad (14)$$

通常认为,当 f 小于 f_0 时,源谱是平的,当 f 大于 f_0 时,源谱以 f^{-1} 或 f^{-2} 随频率的增大而减少。假如没有介质衰减,台站记到的振幅谱 $A(\omega)/I(\omega)$ 在 f 小于拐角频率 f_0 的范围内,也应该同源谱一样是平的。但实际上,记录到的振幅谱不是平的,这是介质的衰减所引起。

在选取 f 的范围时,就得考虑要避开拐角频率以上的频率范围。布龙的理论给出了波谱的拐角频率 f_0 与震源的等效园位错半径 r 之间有下列关系:

$$f_0 = \frac{2.34 V}{2\pi r} \quad (15)$$

式中 V 为波的传播速度。对于小地震, Schick 得到震级与 r 之间存在关系式〔8〕:

$$M = 2 \lg(2r) + 3.5 \quad (16)$$

由公式(15)和(16)我们可以粗略地估计出当 M 为 2.0 时 f_0 为 30 周,当 M 为 3.0 时 f_0 为 11 周。

这样,只要选震级较小的地震,在现有短周期仪器的频率范围内,是可以得到一段避开拐角频率以上的振幅谱,用最小二乘法拟合得一直线,从直线的斜率 K 中得到 Q 值。

表(一)

№	年 月 日	时 分	地 点	震 中		M _L	马道峪	龙泉寺	沙 城	平 谷
				φ	λ		S-P Q	S-P Q	S-PQ	S-P Q
1	71 1 8	04 37	大兴庞各庄	39° 35'	116° 23'	2.6	10.4 354			
2	6 3	17 05	文 安 北	38 35	116 20	2.2	19.2 375			
3	7 4	01 20	武 清 西 南	39 14	116 48	2.6	18.4 346		18.8 284	11.2 163
4	7 22	00 32	文 安 东	38 50	116 32	2.2	19.2 237			18.4 217
5	8 17	16 16	沙 城 西 北	40 30	115 33	2.4	9.7 233			
6	10 20	06 07	容 城	39 07	115 55	2.2	20.2 244			
7	11 22	02 25	天 竺 南	40 04	116 36	2.0	3.3 96			5.6 109
8	12 8	22 16	下 花 园	40 29	115 03	2.5	14.1 155			
9	12 13	13 02	香 河	39 47	117 07	2.5		10.8 188	16.8 354	
10	72 1 8	21 11	永 清	39 30	116 20	2.4			17.9 205	10.7 205
11	5 30	15 57	静 海 南	38 48	117 07	2.1	19.3 646			
12	6 15	22 34	宝 坻	39 55	117 00	2.3			16.0 341	
13	7 23	07 18	怀 安	40 40	114 16	2.1	22.2 370			
14	9 27	14 16	河 间	38 30	116 12	2.2		20.4 473		
15	10 20	17 28	坝 县 东	38 08	115 46	2.3	15.4 273		18.4 341	
16	10 20	13 49	赤 城	40 53	115 53	2.0	9.8 350			
17	11 3	12 15	蔚 县 北	39 50	114 33	2.1	19.0 694			
18	12 1	12 38	广 灵	39 45	114 15	2.4	24.0 485			
19	72 2 10	21 38	里 坦	38 28	116 22	2.7	18.1 376			18.1 627
20	73 5 5	11 48	下 花 园	40°31'	115° 17'	2.4	11.2 190			18.0 253
21	5 11	10 17	宝 坻	39 40	117 17	2.0	13.3 172			
22	5 16	13 56	杨 各 庄	39 18	118 36	2.7	20.4 593			17.0 305
23	6 2	14 15	通 县	39 55	116 23	2.3				7.3 114
24	6 10	19 17	丰 润	39 47	118 14	2.0		18.8 447		
25	6 30	22 36	文 安 南	38 34	116 25	2.4	23.4 311			22.2 240
26	7 15	07 47	喇叭 沟	40 54	116 46	2.0	6.3 194			
27	10 08	09 38	沙 城 北	40 30	115 32	2.2	10.8 224			
28	10 13	04 41	文 安	39 11	116 47	2.3				13.0 225
29	12 25	08 17	蔚 县 东	39 46	114 56	2.0	17.9 503			
30	74 1 19	07 02	幽 州 西 南	40 07	115 33	2.0	14.5 187			
31	4 4	12 17	大 城	38 25	116 35	2.0		22.1 414		
32	4 13	03 21	宣 化 东 南	40 41	115 13	1.9	14.2 172			
33	4 25	04 05	张 家 口 东 南	40 45	115 00	2.0	15.5 503			
34	5 7	14 14	天 津	39 12	117 15	1.6	17.9 438			
35	5 15	09 06	文 安 南	38 53	116 47	2.4	18.2 335			16.6 211
36	6 17	12 12	里 坦	38 28	116 36	2.2	22.8 479	22.8 350		
37	8 5	05 24	静 海 西	38 59	116 42	2.1	22.4 350			
38	8 5	13 32	里 坦	38 28	116 28	2.2	18.6 430			
39	74 10 19	19 04	宝 坻 北	39° 47'	117° 27'	2.7	10.8 310	12.0 451	21.3 400	
40	11 3	13 32	信 安	39 17	116 47	2.1	15.9 389			
41	11 29	12 47	三 来 水 南	39 16	115 40	2.3		10.8 436		
42	12 28	10 50	宝 坻 东 南	39 25	117 30	2.0	15.6 621	18.5 444		8.0 257
43	75 1 12	02 16	宝 坻	39 45	117 25	1.7	13.0 231	18.1 326		6.3 74
44	1 10	11 14	马 道 峪	40 27	116 38	2.0				7.3 78
45	1 27	11 25	大 城 南	38 35	116 30	2.2	24.6 420			

续表 1

№	年 月 日	时 分	地 点	震 中		M _L	马 道 峪		龙 泉 寺		沙 城		平 谷	
				φ	λ		S-P	Q	S-P	Q	S-P	Q	S-P	Q
46	2 1	21 27	文 安	38 32	116 42	2.0	19.5 389	19.6 549	24.4 469					
47	3 7	14 24	张家口东南	40 42	115 15	2.1	13.0 192							
48	3 11	09 39	石景山北	39 57	116 10	2.7				10.2 232				
49	3 29	05 31	清 河	40 04	116 15	1.6	6.8 110			10.0 92			11.9 232	
50	4 12	03 47	怀 来	40 18	115 26	2.0	11.9 336							
51	4 12	07 47	蔚 县	39 58	114 46	2.3	19.5 383							
52	5 1	09 15	白家疃	40 02	116 12	1.5	6.2 71			9.2 145				
53	5 3	07 00	居庸关东	40 15	115 58	2.2	6.6 93						14.2 222	
54	5 3	22 59	宝 坻	39 42	117 25	2.4	12.0 214	13.8 365	21.6 284					
55	5 6	14 12	文 安	38 49	116 42	2.0	16.0 404	19.8 433	18.8 253					
56	5 11	01 50	张家口东南	40 44	114 56	2.1	16.9 342							
57	5 15	14 01	坨县西北	39 13	116 14	2.2	16.6 308							
58	75 5 17	14 16	白家疃附近	40°02'	116° 04'	1.9	5.5 86							
59	5 20	05 46	文 安	38 37	116 21	1.9	27.2 402	16.0 199						
60	5 22	23 42	广 灵	39 50	114 14	2.1	21.8 474	16.2 560						
61	6 1	22 05	文 安	38 58	116 28	2.4		16.6 339					18.8 347	
62	6 17	07 23	灵 丘	39 35	114 15	2.5	29.0 737							
63	6 20	12 21	宣化西南	40 35	115 05	2.4	14.0 314							
64	6 22	21 42	宣 化	40 43	115 15	2.3	16.0 394	12.5 378					26.8 661	
65	7 28	20 07	武 清	39 35	117 12	1.8	11.8 177	13.8 205	21.0 375				6.8 246	
66	9 8	00 24	龙 泉 寺	40 05	116 05	1.7	7.3 69		7.5 94				13.2 419	
67	10 7	19 52	宝 坻	39 40	117 17	1.7	12.4 184	16.0 280	21.6 284					
68	10 10	02 02	白家疃	40 00	116 14	2.3			10.0 165				10.0 329	
69	10 13	18 28	白家疃东	40 00	116 15	2.5			9.4 160					
70	10 20	22 23	清 河 东	40 03	116 20	2.0			9.9 159				12.0 350	
71	11 4	18 01	宝 坻	39 47	117 23	2.0	14.8 229	16.6 531	22.8 412					
72	11 8	21 06	东 提 头 北	39 22	117 23	1.5	16.0 219		23.2 199				12.0 538	
73	11 15	12 31	白 家 疃	40 05	116 11	1.8			8.6 114				10.0 114	
74	76 7 13	08 16	东 提 头	39 17	117 25	2.0	18.0 226		24.4 220					
75	7 14	10 18	天 津 北	39 13	117 07	2.2	20.0 303		25.6 287					
76	7 29	19 42	宝 坻	39 46	117 18	2.5			21.6 155				6.0 270	
77	76 8 5	10 16	宝 坻	39°40'	117°22'	2.8			21.6 189					
78	8 10	12 54	镇罗营东北	40 22	117 12	2.0			18.7 228				4.4 224	
79	8 17	15 16	文 安	38 44	116 32	2.5		21.5 179						
80	8 18	02 52	大 厂	39 52	117 02	2.0			18.5 224					
81	8 18	17 50	天 津 东 北	39 17	117 29	2.4			26.5 523					
82	8 18	19 14	天 津 东 北	39 17	117 29	2.1		20.0 308						
83	8 19	04 45	镇罗营东北	40 23	117 12	1.8	7.0 126		18.7 245				4.5 137	
84	8 24	23 41	宝 坻	39 35	117 24	1.8		15.4 265	22.0 200					
85	8 26	14 49	宝 坻	39 38	117 31	2.2		15.6 296	23.0 233					
86	8 28	00 46	宝 坻	39 42	117 22	2.0		14.2 193	21.2 273					
87	9 3	18 43	沙 河 南	40 05	116 14	2.0			9.2 195				12.0 274	
88	9 6	15 01	宝 坻 北	39 47	117 19	1.8		14.0 141	20.4 158					
89	9 8	16 40	顺 义 南	40 07	116 45	1.8		6.0 100						
90	9 11	04 05	宝 坻	39 36	117 25	2.0		16.0 277	23.0 221					
91	9 11	15 28	高 丽 营 东	40 08	116 33	1.7			11.4 102				7.5 98	

续表 1

№	年月日	时分	地点	震中		M _L	马道峪		龙泉寺		沙城		平谷	
				φ	λ		S-P	Q	S-P	Q	S-P	Q	S-P	Q
92	9 13	05 14	宝坻西	39 43	117 12	2.5			14.0 375		21.0 307			
93	9 19	13 58	宣化	40 35	115 00	2.4							22.8 705	
94	9 21	19 30	崇礼南	40 50	115 16	1.7			13.0 159		6.8 79			
95	9 22	10 20	三道河	40 54	115 14	1.8			12.6 165		2.0 18			
96	76 9 23	06 23	怀来	40°22'	115°31'	1.9	11.5 199		6.7 141					
97	9 28	09 43	通县南	39 45	116 42	1.9			8.6 187					
98	10 12	03 08	沙城北	40 28	115 34	2.9							18.0 524	
99	11 20	14 58	宝坻东南	39 20	117 34	1.9	18.1 261				20.4 516			
100	11 21	05 09	宝坻东南	39 28	117 34	2.4	16.9 360		19.8 606				13.4 543	
101	11 25	12 14	通县西	39 55	116 33	2.8	7.0 101							
102	12 2	10 50	宝坻东南	39 33	117 35	1.6	16.0 256		18.2 239					
103	12 2	16 12	宝坻东南	39 33	117 35	1.8	16.0 235		17.2 397					
104	12 3	17 28	宝坻东南	39 30	117 32	2.4	16.0 298							
105	12 4	02 55	宝坻东南	39 28	117 37	2.1	20.0 495							
106	12 26	02 58	安次	39 30	116 50	2.0	11.0 113		11.2 235					
107	77 2 25	02 39	宝坻	39 11	117 18	2.3	14.5 304		15.4 222					
108	3 12	11 52	东提头	39 11	117 25	2.1			22.0 343					
109	3 14	09 26	徐辛庄	40 00	116 42	1.8	5.5 128		6.0 88					

注：表（一）中S-P就是文中的（ $t_s - t_p$ ），其单位为秒。

三、资料的选取与测得的结果

为记测定北京地区地壳介质中直达P波传播路径上的Q值，我们选用了北京台网短周期法中地震仪所记录的地震图，仪器频率特性曲线如图（一）所示。考虑到仪器的频带、在测定方法中对源谱频段的要求，同时兼顾记录图的清晰程度，所选用的地震的震级在2.0到3.0的范围内。

为计算观测波谱，对垂直向记录图的 \bar{P} 波段进行付里叶分析。谱分析中采用汉宁（Hanning）时间窗：

$$W(t) = \frac{1}{2T} (1 + \cos \frac{2\pi}{T} t),$$

T为窗长度，采样间隔为0.04秒。算出波谱后，在1到10周范围内，用最小二乘法拟合得到的波谱，由此得到谱的斜率，用公式（14）即可求得品质因子Q。

按照上述方法和步骤，我们采用了北京及其邻近地区发生的109个地震在马道峪、龙泉寺、沙城和平谷四个台上记录到的181个地震图，测定了相应路径上的平均Q值。台站位置和震中分布情况如图（二）所示。测得的具体Q值见表（一）

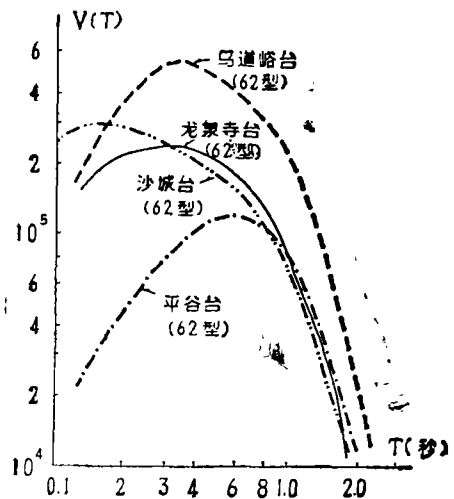


图1 仪器频特性曲线

四、结果的分析 and 讨论

1. 根据表(一)所测定的结果,对北京周围地区的几个地震活动区到各个台的平均Q值进行了计算,其结果见表(二)。

从表(二)中可见,除龙泉寺一带到马道峪台与到沙城台的平均Q值较低外,其余的数值大都在250到400这个范围内变化。表(二)的结果直观地表示在图(三)中。

表(二) 不同地震区到各台站的平均Q值

地区 \ 台站	马道峪	龙泉寺	沙城	平谷
宝坻	228	294	275	
天津—东 提头	345	389	334	
文安	331	317		
里坦	398	397		258
龙泉寺	86		151	277
张家口、宣化	283	234		
沙城	246			
广灵—蔚县	493			

如果对表(一)中测得的结果不分地区和台站进行平均的话,北京地区的平均Q值约为293(参加平均的个数为181个)。如果分成4个台分别进行平均,则有下列结果:

马道峪台: 平均为310(70个平均);

龙泉寺台: 平均为315(39个平均);

沙城台: 平均为242(40个平均);

平谷台: 平均为291(32个平均)。

除沙城台的结果外,与北京地区总的平均Q值是很接近的。沙城台Q值偏低可能与该台附近存在地热异常区有关。

1963年ALAN RYALL等人^[9]利用科罗拉多试验场的核爆炸记录资料测得地壳中P波的Q值为200。1964年FRANK PRESS^[10]利用维拉台网记录核爆炸引起的地震波测得的P波Q值为260。日本东京大学地震研究所吉田满等人^[11]测得的P波的Q值在清澄($\Delta = 150$ — 200km)为150到250,在堂平为250到400($\Delta = 250$ — 300km)。与我们在北京地区测得的结果是相近的。

2. 从表(一)的大量Q值数据中以及在表(二)中可以明显地看到这样一种趋势:测定出的Q值与P波和S波的走时差($t_s - t_p$)之间存在线性关系。用最小二乘法来拟合,得直线:

$$Q = K(t_s - t_p) + K_0 \quad (17)$$

其斜率和截距分别如表(三)所示。

这样得到Q与($t_s - t_p$)的关系式如下:

$$Q_{总} = 15.7(t_s - t_p) + 51.8$$

$$Q_{马} = 20.2(t_s - t_p) - 0.5$$

$$Q_{龙} = 17.1(t_s - t_p) + 51.4$$

$$Q_{\text{沙}} = 12.6(t_s - t_p) + 23.5$$

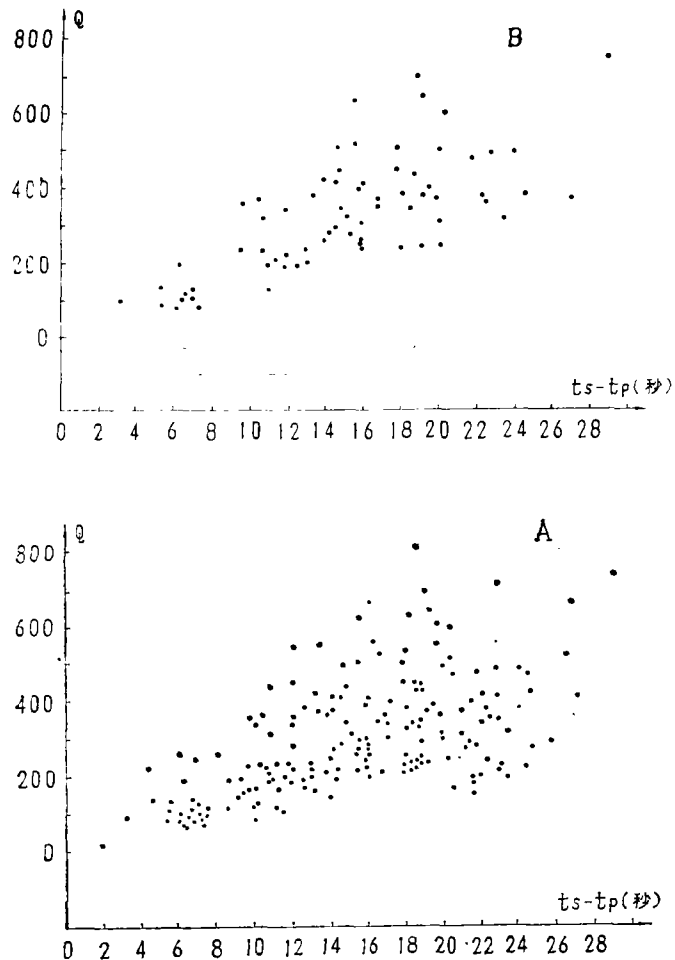
$$Q_{\text{平}} = 19.9(t_s - t_p) + 39.9$$

表(三)

	K	K ₀	参加拟合的个数	相关系数R
全部资料	15.7	51.8	181	0.60
马道峪台资料	20.2	-0.5	70	0.73
龙泉寺台资料	17.1	51.4	39	0.55
沙城台资料	12.6	23.5	40	0.67
平谷台资料	19.9	39.9	32	0.66

由上可见,得到的直线其相关性还是比较好的。且对各台(沙城台除外)来说,这种变化相差不大(见表二)。这表明在所考虑的台站和各震源所在地区范围内,地壳介质相对来说还是比较均匀的。

Q和 $(t_s - t_p)$ 存在直线相关(从图二中可以看得更明显)是一种表面现象,它实质上是反映了传播路径上通过的介质特性分布。北京周围地区发生的地震其深度大都在10到15公里范围内。由于地壳介质并非均匀完全弹性和各向同性,因此,由震源发出的地震波通过介质传播到地震台时,所走过的路径是一曲线。当 $(t_s - t_p)$ 小的时候,也就是记录台站离震源近的时候,地震波主要在地壳表层传播。所测定的Q值主要是反映了地壳表层的介质特性。当 $(t_s - t_p)$ 较大时,地震波主要在较深处传播,所测定的Q值主要是反映了地壳中离地表较深处介质的特性。由以上的结果,清楚地看出,地壳表层介质比较破碎,吸收大。地壳较深的介质较

图2 Q与 $(t_s - t_p)$ 关系

A全部资料(181个) B马道峪台资料(70个)

表(四)

$t_s - t_p$	台名	马道峪	龙泉寺	城沙	平谷
	Q				
8(秒)		161	188	124	199
10(秒)		201	222	149	239
12(秒)		241	256	174	279
14(秒)		281	290	199	319

致密, 故其吸收比表层小一些。因此在计算震源参数过程中, 当需要扣除介质衰减影响时, 应当考虑到Q值随震源距离不同而引起的差异。

3. 唐山大震前后有关地区的Q值发生变化。对发生在靠近唐山大震震中附近的宝坻、天津北部及唐山等地区的地震到马道峪台、龙泉寺台和沙城台路径上的Q值, 根据表(一)给的资料分别作了计算, 得到表(五)的结果。其中唐山地区到马道峪台和龙泉寺台的Q值引自文献^[12]的结果, 並作了必要的修正。

从表(五)中给出的数据可以看到, Q值在震后都比震前的值减低了。但各地区减低的百分比不同。减的最多的是在唐山地震最活动的地区。离唐山远一些的天津北部地区减少得少一些。这与铃本^[2]用67年人工爆破资料研究松代震群活动区所得到的结论是一致的。与

表(五) 唐山地震前后Q值变化的比较

	宝坻			天津北部			唐山		
	震前	震后	变化百分比	震前	震后	变化百分比	震前	震后	变化百分比
马道峪	—	—	—	361	329	9%	460	291	37%
龙泉寺	335	252	25%	444	343	23%	643	356	45%
沙城	352	217	38%	—	—	—	—	—	—

林帮慧^[13]研究宁河地震得到的结论也是相同的。77年朱传镇^[1]在研究海城地震时也有类似的结果。大震后Q值明显下降, 可能具有一定的普遍性。这种现象在物理上是可以理解的。临近大地震发生之前, 震源附近应力高度集中, 使得介质很紧密, 造成地震波在这种介质中传播能量损耗少, 因而Q值就大。大震后, 震源周围地区介质破碎程度显著增大, 这就使得Q值变小, 衰减增大。这种影响随震源距增大而变小。由此可以得到一点启示: 利用Q值随时间的变化有可能对有关地区介质的应力状态取得一定的信息, 另一方面, 每个地区的Q值大小也可用来作为估计该地区未来发生地震强度的一种背景资料, 因为一般说来在低Q值地区, 难以积累大量的弹性应变能, 当然Q值高的地区也未必一定会发生大地震, 所以高Q值仅是发生大震的必要的介质条件之一。

五、结 语

由北京及其邻近地区测得的Q值, 我们可以得到这样几点: (1) 对北京及其邻近地区181个地震记录测定的Q值, 得到北京地区平均Q值为293。大多数在200到400之间; (2) 经分析和对比可见: Q值的大小与震源到台站的路径远近存在线性关系, 这实质上表明了在地表的介质Q值小, 衰减大, 越向下, 地壳介质的Q值大, 衰减变小; (3) 唐山大震前后,

唐山震中区和邻近地区的介质Q值发生变化,一般说,震后Q值都比震前要小。

以上所述只是初步的结果,为了深入分析震源孕育环境,除了要弄清震源周围地壳介质的特性外,同时有必要研究上地幔,特别是M面附近介质的衰减特性,结合其他地球物理资料,以探讨地下物质迁移的可能性,及其与地震孕育、发生的关系。

本工作曾得到郑治真同志的协助,提供了部份资料,特此表示感谢。

参 考 文 献

[1]朱传镇等

海城地震前后微震震源参数与介质品质因子

地球物理学报 20, 3, 1977.

[2]S. Suzuki,

Anomalous Attenuation of P Wave in the Matsushiro Earthquake Swarm Area,

J. Phys. Earth., 20, 1, 1972.

[3]陈运泰等,

巧家、石棉的小震震源参数的测定及其地震危险性的估计,

地球物理学报, 19, 3, 1976,

[4]陈培善等,

唐山地震前后京津唐张地区的应力场

地球物理学报, 21, 1, 1978.

[5]Kolsky (王仁等译),

固体中的应力波, 1966年, 科学出版社.

[6]M. BATH (郑治真等译),

地球物理学中的谱分析,

1978年, 地震出版社.

[7]T.C.Hanks and M. Wyss,

The use of body—wave Spectra in The Determination of Seismic Source Paramaters,

B. S. S. A., 62, 2, 1972.

[8]Schick· R· A.,

A Method For Determining Source Parameters of Small Magnitude Earthquakes,

Z. Geophys 36, 2, 1970

[9]Alan Ryall等,

Jravel Time and Amplitudes EFrom Nuclear Exlosio, Nevada Test Site to Ordway, Colorado,

J. G. R., 68, 20, 1963, PP5821—5835.

[10]Frank Press,

Seismic Wave Attenuation in The Crust,

J. G. R. , 69, 20, 1964,

〔11〕吉田满和中村功,

地震波の減衰の地域性 I

短周期P波の減衰

东京大学地震研究所研究速报 第十二号

〔12〕朱传镇等

唐山7.8级地震前后微震震源参数

地球物理学报, 20, 4, 1977.

〔13〕林帮慧等

1977年5月12日宁河地震烈度明显偏低的探讨,

地球物理学报, 22, 1, 1979.