

兰州台观测到的 π 类震相初探

1. 前言

对于 L_1 、 L_{g1} 和 L_{g2} 波,有人认为是短周期面波,也有人认为是导波或是多次反射波,对此已有较为详细的研究结果,但对纵波性质的同类型波却研究甚少。

近年来,作者在处理兰州台所记录到的中国大陆地区的地震的资料时发现,兰州台不仅能记录到较清楚的 π 震相,而且还能从 π 震相组中再分出纵波性质的,且与 L_1 、 L_{g1} 和 L_{g2} 相对应的三个震相,我们把它命名为 π_1 、 π_{g1} 和 π_{g2} 震相。本文拟用兰州台1979—1985年的64型短周期仪和SK型中长周期仪的记录资料,给出 π_1 、 π_{g1} 和 π_{g2} 震相在兰州台的记录特征和可观测范围。并根据文献〔1〕和1)的研究结果,讨论 π_1 、 π_{g1} 和 π_{g2} 波在地壳中的传播机制。

2. π 震相及其记录特征

图1中给出了1979年—1985年发生在中国大陆及邻区的地震,共105个,其中有26个地震有 π 震相,占所选资料的 $\frac{1}{4}$ 弱。图2给出了两次典型的地震记录。表1给出了26个地震的 π

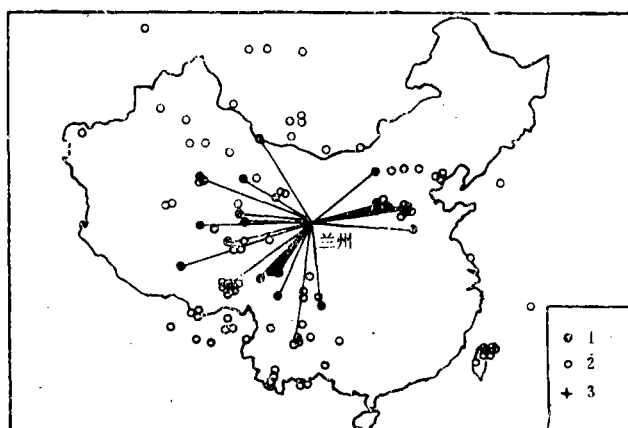


图1 中国大陆地区的震中位置、台站位置和 π 波的传播路径图

1. 具有 π 震相的地震和传播路径 2. 具有 L_{g1} 和 L_{g2} 震相的地震 3. 兰州台

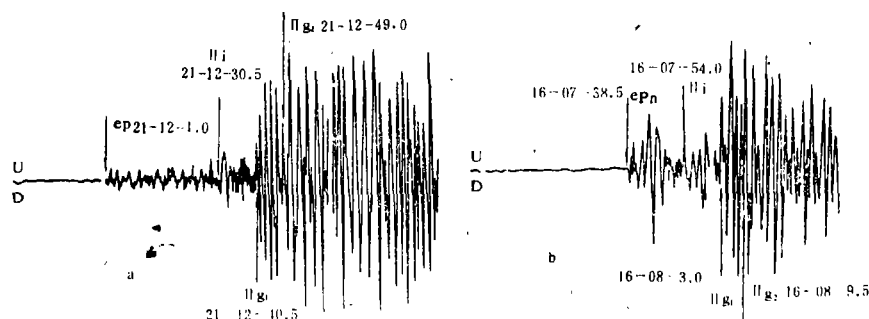


图2 两次典型的地震记录

a. 1983年11月6日菏泽5.8级地震

b. 1985年8月11日格尔木5.3级地震

表 1

编号	发震时刻 年.月.日 (G.M.T)	仪器	震相	震相到时 (G.M.T)	T_s (sec)	h (km)	T (sec)	ϕ, λ_e	Δ (km)	V_s km/sec	M
1	1979.12.2 01-37-10.4	SK	π_i	01-39-35.1	204.7			38.4°N 90.3°E	1226.2	5.99	5.7
		SK	π_{g1}	39-43.1	212.7					5.76	
		SK	π_{g2}	39-55.6	225.7		4			5.44	
2	1980.4.24 07-59-36.0	SK	π_{g2}	08-00-59.7	83.7	25	1.5	37.6°N 99.1°E	459.1	5.48	4.6
3	1980.6.1 06-18-57.9	64	π_i	06-20-3.3	125.4	20	1.5	38.9°N 95.6°E	796.4	5.48	5.6
		64	π_{g1}	20-9.8	131.9		2.4			6.35	
		64	π_{g2}	20-22.3	144.4		2.5			6.03	
4	1981.1.8 00-11-08.2	64	π_{g2}	00-14-45.0	216.8		2	38.4°N 90.7°E	1191.8	5.49	4.3
5	1981.1.4 15-19-35.4	64	π_{g2}	15-21-24.5	109.1		2	31.5°N 99.7°E	618.3	5.66	4.0
6	1981.1.13 13-55-21.3	64	π_{g2}	13-57-51.5	150.2		2	28.7°N 105.3°E	812.2	5.41	4.1
7	1981.1.21 18-20-00.9	64	π_{g2}	18-22-24.5	143.6		2	37.6°N 112.4°E	788.3	5.49	4.0
8	1981.6.9 22-08-21.4	64	π_{g1}	22-11-39.0	197.1		2	34.4°N 91.3°E	1146.8	5.80	6.5
9	1981.7.23 20-12-20.9	64	π_{g1}	20-14-42.0	141.1		2	40.4°N	830.6	5.88	4.0
		64	π_{g2}	14-51.5	150.6		2	111.4°E		5.51	
10	1981.8.13 03-01-37.0	64	π_i	03-04-11.0	154.0			40.3°N 113.4°E	970.4	6.30	5.0
11	1981.9.12 08-16-45.7	64	π_i	08-19-28.5	162.8		2	42.6°N	973.2	5.98	4.9
		64	π_{g1}	19-31.5	165.8			96.5°E		5.87	
12	1981.10.23 23-44-47.9	64	π_{g1}	23-47-52.5	184.6		2	29.7°N 95.0°E	1071.5	5.80	5.4
13	1981.11.9 08-52-32.0	64	π_{g1}	08-55-23.0	171.0		1.5	37.2°N 115.0°E	1009.4	5.90	3.8
14	1982.1.13 15-17-44.9	64	π_{g1}	15-19-58.5	133.6		1.5	37.3°N	800.1	5.99	4.3
		64	π_{g2}	20-08.5	143.6			112.6°E		5.57	
15	1982.1.22 04-30-01.9	64	π_{g1}	04-34-0.5	239.6	56		30.7°N 90.0°E	1403.8	5.86	5.7
16	1982.8.7 11-48-44.2	64	π_{g1}	11-51-13.0	148.8	25	2	33.3°N 94.9°E	863.3	5.80	5.1

续表 1

编号	年、月、日 发震时刻 (G.M.T)	仪器	震相	震相到时 (G.M.T)	T_s (sec)	h (km)	T (sec)	ϕ, λ (°)	Δ (km)	V_s km/sec	M
17	1982. 8. 15	64	π_{g2}	22-27-52.0	105.6		1.5	31.5°N		5.64	4.2
	22-26-06.4	SK	π_{g2}	22-27-52.0	105.6		4	100.1°E	596.3	5.64	
18	1982. 8. 15 23-24-31.7	64	π_{g1}	23-26-11.5	100.1			31.7°N 100°E	583.2	5.82	6.0
19	1982. 9. 26 11-20-32.4	64	π_{g1}	11-22-42.0	129.6		1.5	29.5°N 100.5°E	775.8	5.98	5.0
20	1983. 11. 6	64	π_i	21-12-30.5	164.9		1.5			6.33	5.8
		64	π_{g1}	12-40.5	174.9	15	1	35.0°N 115.3°E	1044.9	5.97	
	21-09-45.6	64	π_{g2}	12-49.0	183.4		2.5			5.69	
21	1984. 8. 28 17-22-38.0	64	π_{g1}	17-24-34.5	116.4		2.5	35.5°N 96.1°E	696.4	5.93	4.5
22	1985. 4. 18 05-52-52.9	SK	π_{g1}	05-55-24.0	196.1	7.1	8	25.7°N 102.9°E	1136.6	5.79	6.1
23	1985. 5. 2	64	π_i	03-14-41.5	125.7			37.3°N		6.22	4.1
	03-12-35.8	64	π_{g1}	14-44.5	128.7	14		112.4°E	782.6	6.08	
		64	π_{g2}	14-47.0	131.2					5.96	
24	1985. 5. 30 00-40-43.7	64	π_i	00-42-49.5	125.8	20	1.5	30.6°N 98.4°E	773.7	6.14	4.7
25	1985. 8. 11	64	π_i	16-07-54.0	116.4					6.33	5.3
	16-05-57.6	64	π_{g1}	08-03.0	125.9			36.0°N 95.6°E	737.4	5.85	
		64	π_{g2}	08-09.5	132.5		1.5			5.56	
26	1985. 11. 30	64	π_i	14-41-6.0	162.0			37.0°N		6.11	5.0
	14-38-24.0	64	π_{g1}	41-09.5	165.5			114.8°E	990.3	5.98	
		64	π_{g2}	41-14.5	170.5		1.5			5.80	

震相到时，由于有些地震周期互相叠加，不好测量，故有些地震缺周期项。

根据表 1 给出的数据，用最小二乘法原理可拟合出 π_i 、 π_{g1} 和 π_{g2} 波的走时和距离关系式：

$$T_{\pi_i} = 0.175\Delta - 11.9 \quad (1)$$

$$T_{\pi_{g1}} = 0.177\Delta - 6.3 \quad (2)$$

$$T_{\pi_{g2}} = 0.183\Delta - 3.4 \quad (3)$$

式中 T_s 的单位为秒， Δ 的单位为公里。

图 3 给出了 T_s 走时和震中距关系曲线，同时给出了分别根据(1)、(2)和(3)式作出的拟合曲线。由图 3 可见，某些实测点与拟合曲线有些偏离，其原因可能是：

(1) 地壳厚度不一致和地壳物质横向不均匀性，都会使 π 震相的时距关系产生一定的

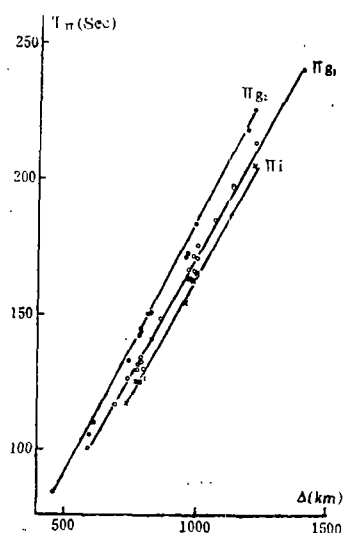
图3 π 震相时距关系图

表2

震 相	平均速度 (km/sec)	周期范围 (sec)		可测范围 (km)
		64型	SK型	
π_i	6.22 ± 0.12	1.5~2		700~1300
π_{g1}	5.89 ± 0.09	1~2.5	8	500~1400
π_{g2}	5.58 ± 0.14	1.5~2.5	4	400~1200

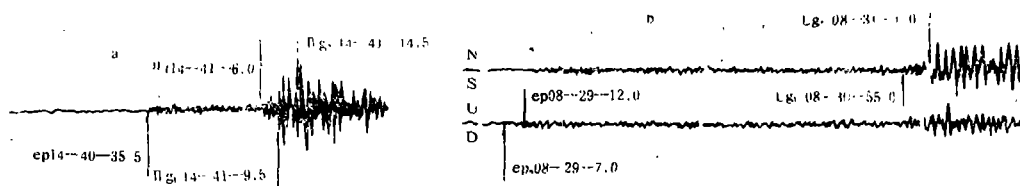


图4

a. 1985年11月30日河北邢台5.0级地震记录
b. 1981年12月6日河北邯郸北4.6级地震记录

离散。

(2) π 震相是P震相之后, S震相之前的续至震相, 它常叠加在P震相的持续振动中, 而不易准确测量其到时。

(3) 受地震基本参数测定精度的影响。

由表1可得到 π_i 、 π_{g1} 和 π_{g2} 震相的平均视速度、周期范围和兰州台对 π 震相的实际可测范围(表2)。

根据26个地震的记录资料, 可将 π 震相的记录特征初步概括如下:

(1) π 震相不是经常可以观测到的, 甚至对一些发生在同一地方且震级相当的地震, 有的可以观测到很清楚的 π 震相, 有的却观测不到。

(2) π 震相是P或 P_s 震相之后的续至震相, $T_s - T_p$ 约在17—60秒之间。

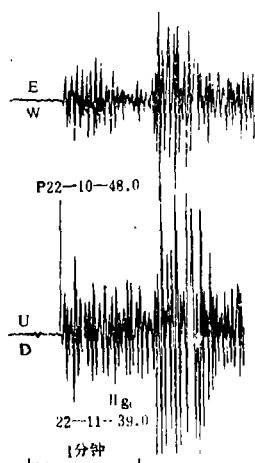


图5 1981年6月9日6.5级地震记录(64型仪器)

(3) π 震相在垂直分向上位移较大,但在某个水平分向上有时也有较大的位移,如图5所示。在同一分向上它们的位移一般是 $A_{\pi g_2} > A_{\pi g_1} > A_{\pi_1}$, 如图2、图4所示。

(4) 从图2、图4可以看出, π_1 的周期略大于 πg_1 和 πg_2 的周期,而 πg_2 的周期略大于 πg_1 的周期。

(5) 没有明显的频散现象; π 震相的清楚与否与震级大小无关,64型仪器记录到的 π 震相比较清楚。

3. π_1 、 πg_1 和 πg_2 的传播机制

根据本文给出的三种波的平均视速度值,参考文献〔2—4〕中给出的关于 L_1 、 L_2 和 R_2 波的传播机制,以文献〔1〕、1)对甘肃等地区的地壳分层结果(表3)为基础,作出了有关传播机制的假想模型(图6)。

表3

层数	层顶埋深(公里)	层厚(公里)	V_P (公里/秒)	V_S (公里/秒)	$r(V_P/V_S)$
一	0	1.1 ± 0.6	5.08 ± 0.17	2.90 ± 0.11	1.752
二	1.1	5.8 ± 1.6	5.90 ± 0.04	3.50 ± 0.05	1.686
三	6.9	14.1 ± 1.8	6.06 ± 0.01	3.57 ± 0.01	1.695
四	21.0	30.9 ± 0.6 30.2 ± 0.6	6.51 ± 0.04	3.77 ± 0.03	1.727
五	51.9(51.2)	1	8.17(8.08)	4.62	1.768(1.749)

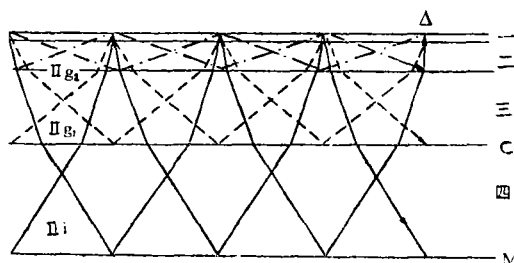


图6 π_1 、 πg_1 和 πg_2 波的传播机制示意图

由于 π_1 波的平均速度与表3中给出的1—4层中的P波层厚加权平均速度(6.29km/sec)相近,因此 π_1 波可能是P波在地壳内以多重大角度反射形式传播而形成的压缩波。 πg_1 波的传播速度与表3中给出的1—3层中的P波层厚加权平均速度(5.96km/sec)相近,因此这种波可能是在地表沉积层和花岗岩层中传播的压缩波。而 πg_2 波的传播速度与表3中

1) 王周元,甘肃地区的地壳分层结构,1982。

给出的1—2层中的P波平均速度(5.77km/sec)接近,因此它可能是在沉积层和花岗岩上层传播的压缩波。

总之, π_1 、 π_{g1} 和 π_{g2} 波是P波在地壳的不同层内,以不同的速度和频率,多次在地表沉积层内和各个速度间断面上以大角度反射,又相互迭加后形成的多重反射波。其主要界面是自由表面和莫霍面或陡峭的速度梯度带。地表沉积层的存在是多重反射波产生的关键因素。只有当表面反射点位于沉积层内时,它们的震相才能被记录到。

地表沉积层对以大角度入射的P波将产生相长干涉和相消干涉。若产生相长干涉,则在实际观测中将能观测到比原生震相P强的 π 震相(图4)。若同一P波,在地壳1—2层内是相长干涉,而在1—3层内是相消干涉,则反映在地震记录图上是 π_{g2} 震相清楚而 π_{g1} 震相缺失。

另外P波在地表沉积层的反射系数与波的频率有关^[5]。对某些频率的波,反射系数较大,而对某些频率的波,反射系数又较小。这可能是有些 π 震相记录不清或震相出现缺失的又一个原因。局部地质条件或场地响应也将导致波形和振幅的复杂化,而用单台地震观测资料来解决这个问题是较为困难的。

张诚、王周元同志仔细审阅了全文,并提出了有益的建议,在此谨表谢意。

(本文1987年9月28日收到)

(国家地震局兰州地震研究所 许健生)

参 考 文 献

- [1]冯锐等,利用地震面波研究中国地壳结构,地震学报, Vol. 3, No. 4, 1981.
- [2]M. Bath, The elastic waves Lg and Rg along Euroasiatic Arkiv for Geofysik, 1954.
- [3]B. Gutenberg, Channel wave in the earth crust, Geophysics, Vol.20, 1955.
- [4]M. Bath, A continental channel wave guided by the intermediate in the crust, Geofis., Pura.e. Appl., Vol.38, 1957.
- [5]Olsen, K. H. et al., Modeling short period crustal phases (P, Lg) for long-range refraction profiles, Phys. Earth Planete Inter., Vol.31, No. 4, 1983.

A PRELIMINARY STUDY ON THE π PHASES OBSERVED AT LANZHOU SEISMIC STATION

Xu Jiansheng

(The Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB)