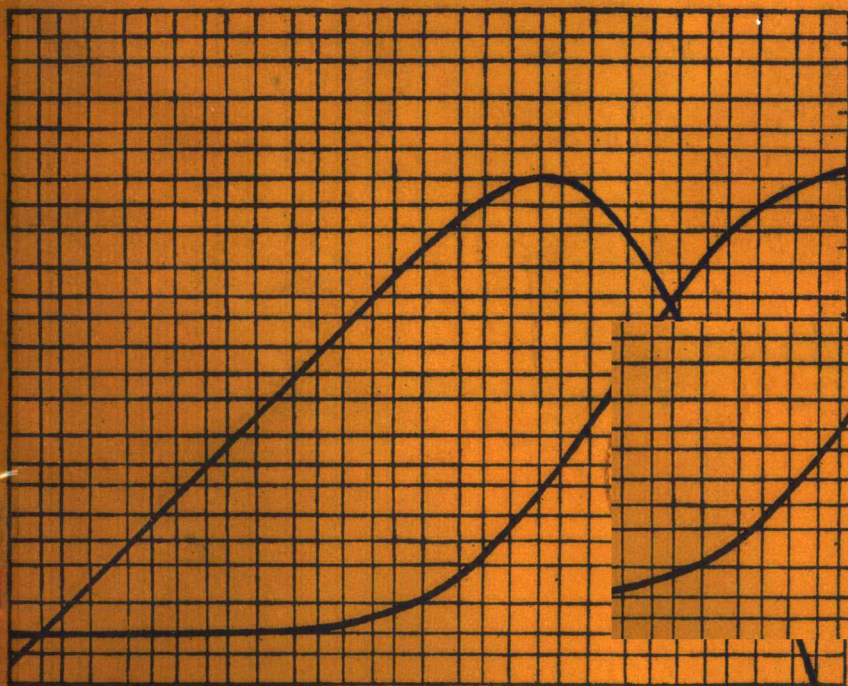


中国 763 型长周期 地震仪地震记录图集

琴朝智 赴荣国 编



地震出版社



中国763型长周期地震仪 地震记录图集

琴朝智 赵荣国 编

地震出版社

1990

内 容 提 要

本图集汇编了中国长周期地震台网自投入正式观测以来记录的大量典型地震图,选取了其中反映长周期地震记录特色的各类地震的原始记录进行了震相注释,并对我国自行研制的763型长周期地震仪的性能和全国长周期观测台网的布局做了简要介绍,还对763仪器记录地震的特征做出一定的说明。

本书可供从事地球内部物理学,地震学,地震台站观测研究和其他有关专业的科技工作者参考使用,尤其适合于台站干部及大专院校做培训教材使用。

中国763型长周期地震仪地震 记录图集

琴朝智 赵荣国 编

责任编辑:李俊

责任校对:孔景宽

地 震 出 版 社 出 版

北京复兴路63号

北京印刷二厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

787×1092 1/16 10印张 256千字

1990年2月第一版 1990年2月第一次印刷

印数 001—600

ISBN 7-5028-0257-6/P·164

(645) 定价: 5.50元

序

我国地震观测台网,多年来主要采用苏联设计的基尔诺斯式地震仪(即基式仪)与国产的DD-1地震仪,进行“长”、短周期兼顾记录。但是这两种仪器记录的频带范围仅为0.1秒到10秒之间,不足以记录更多的有效信息。近代地震学和地球物理学的研究,越来越多地提出对地震波长周期部分的观测需要。在这一方面,美国早在50年代就已设计出长周期地震仪器进行观测,60年代初,该仪器正式成为世界标准地震仪台网(WWSSN)中两套主要仪器中的一套,至今起着重要的作用;苏联也在60年代后期相继研制了长周期仪器,并在70年代中期建立了它的观测台网。我国于80年代中建成了包括30个台站的763型长周期地震观测台网,把观测地震的频段扩展到百秒以上,基本形成了长、中、短周期配套的中国式地震台网,监视着国内外的地震活动,观测水平已与WWSSN相同。

我国自行研制的763型长周期地震仪记录的范围可从几秒到百秒以上,非常适合于记录远震和极远震,同时也能清晰地记录到近震的某些震相。由于远震和极远震地震波的传播途径比较复杂,震相也极丰富,充分地利用长周期地震波中的信息,可以更深入人们对地球内部的结构和地震成因本质的认识。763型地震仪具备优良的动态特性,因而对同一地震波中的诸震相,在记录的周期和幅度方面远比其它仪器记录的周期和幅度更接近于地面的真实运动,从而更利于观测人员对震相的识别,改善震相分析,提高台站的测震能力,尤其对影区地震和远震衍射P震相的记录,我国观测台网所能记录的范围已远远超过国外文献报道的距离。

763型长周期地震观测台网自建成以来,已陆续积累了10万张以上的地震记录图,其中含有许多周期长达160—240秒的地幔面波,是进一步研究地球深部构造的宝贵资料。由于长周期地震观测工作在我国还刚刚起步,为了对观测资料进行分析示范,更全面地加以利用,本图集的编者从600多个典型震例的3000多张记录图中经仔细挑选,选出其中100张,一一标出震相,编成《中国763型长周期地震仪地震记录图集》。本“图集”还给出了763型长周期地震仪的频率特性和时间特性曲线,以及多种震源深度的走时曲线和我国763型长周期地震观测台站分布图等。相信此图集能对台站分析人员、台管干部、有关研究人员和大专院校的师生识别和研究长周期震相起一定的作用,为他们提供一基本参考资料,以对地震学的研究和地球内部的研究有所裨益。对本图集的出版,我愿致以衷心的祝贺。

秦馨菱

1988年10月

于北京

目 录

一、汇 编 说 明

1. 763型长周期地震仪观测台网概述 (3)
2. 763型长周期地震仪地震记录特征 (5)
3. 资料选取原则..... (8)

二、763型长周期地震仪地震记录图

三、附 录

1. 中国 763 型长周期地震仪地震台站分布图.....(139)
2. 763型长周期地震仪照片(140)
3. 763型长周期地震仪频率特性及时间特性曲线(142)
4. 远震走时图.....(143)
5. 震相名称解释.....(147)
6. 选用的地震目录.....(149)
7. 选用部分地震的地理分布图.....(152)
8. 导波观测资料.....(153)
- 参考文献.....(154)

一、汇编说明

1. 763型长周期地震观测台网概述

中国长周期地震观测台网是以我国自行研制生产的763型光记录长周期地震仪系统^[1]布设的全国性台网,是目前我国基本地震观测台网的组成部分。763型长周期地震仪系统的特性完全等同于世界标准地震台网(WWSSN)中的长周期地震仪的性能,它与我国现有的短周期地震仪(例如62型或DD-1、573型等)组配起来,加上宽频带中长周期的基氏地震仪,使我国台网兼备了长、中、短周期的地震观测功能,可以说已成为“中国化的标准模拟地震观测台网”了,这个台网和我国已建成的数字化地震台网共同承担着国内外的地震监测任务,并提供有关地球内部构造的重要信息。

763型地震仪的基本特性是由地震计的固有周期 T_1 和阻尼 D_1 与检流计的固有周期 T_2 和阻尼 D_2 以及它们二者间的耦合系数 σ^2 决定。其动态放大倍率的表达式为:

$$V = V_0 U = \frac{2A}{l_0} \sqrt{\frac{4D_1 D_2 K_1 \sigma^2}{T_1 T_2 K_2 m^2}} \cdot \frac{m}{\sqrt{T^{-2} + a + bT^2 + cT^4 + dT^6}}.$$

式中

$$V_0 = \frac{2A}{l_0} \sqrt{\frac{4D_1 D_2 K_1 \sigma^2}{T_1 T_2 K_2 m^2}}$$

称为静态放大倍率。 A 是光杠杆长度; l_0 是摆系统的折合摆长; K_1 是摆系统相对于其旋转轴的转动惯量; K_2 是检流计活动系统的转动惯量;其中

$$m = 2 \left(\frac{D_1}{T_1} + \frac{D_2}{T_2} \right).$$

仪器系统的振幅频率特性由下式求得:

$$U = \frac{m}{\sqrt{T^{-2} + a + bT^2 + cT^4 + dT^6}},$$

而相位频率特性则由下式计算:

$$\tan \gamma = \frac{ST^4 - PT^2 + 1}{qT^3 - mT}.$$

T 为地动周期,系数

$$p = \frac{1}{T_1^2} + \frac{1}{T_2^2} + \frac{4D_1 D_2}{T_1 T_2} (1 - \sigma^2),$$

$$q = 2 \left(\frac{D_1}{T_1 T_2^2} + \frac{D_2}{T_2 T_1^2} \right),$$

$$s = -\frac{1}{T_1^2 T_2^2},$$

$$a = m^2 - 2p;$$

$$b = p^2 - 2mq + 2s;$$

$$c = q^2 - 2ps;$$

$$d = s^2.$$

由此可见，仪器的特性完全取决于系统的五个基本参数 (T_1 、 T_2 、 D_1 、 D_2 及 σ^2)。763台网统一规定的参数值见表 1。

表1 763台网统一规定的参数值范围

T_1 (秒)	D_1	T_2 (秒)	D_2	σ^2	V_s	记录速度 (mm/min)
15 ± 0.1	1.0 ± 0.05	100 ± 5	1.0 ± 0.05	$0.01-0.3$	750—1500	15

系统的动态特性曲线见附录第三部分图 a (频率特性) 和图 b (时间特性)。

中国763长周期地震观测台站的地理分布见附录第一部分。

我国763长周期地震观测台网建成后，已陆续在震相的识别、监测地震的能力和记录影区地震、地震的定量化、反演地壳和上地幔的速度模型结构以及监测地下核爆炸等方面，收到了卓有成效的结果。某些方面甚至还突破了一些历史的记录，例如，观测到 $D=175.6$ 的 P_{41} 震相〔2〕。

目前，全国763长周期地震观测台网正以每年万张以上的可观数量积累着宝贵的地震记录图，成为研究地震学和地球物理学的重要基础资料之一。为了更多更好地开发利用763观测台网的资料，特汇编了这本图集，以便于推广应用。我们衷心期望本图集的出版能得到各方面专家、读者的指正和改进意见。

2. 763型长周期地震仪地震记录特征

1) 一般特征

在763型地震仪记录上,近震的各种震相均有明显的波形,震相清晰,比较容易辨认。在同一次地震的记录上,各震相之间的振幅与周期的比值均与中长周期地震仪(SK、DK-1型等)记录的波形参数相近。但是,763型地震仪记录上各种震相的周期值却往往是SK等地震仪记录的2—10倍之多!例如,SK或DK-1记录的 $\bar{P}$ 周期为2秒时,763型的记录上 $\bar{P}$ 的周期有时表现为4—20秒不等。并且,在记录地震的持续时间上763型也超过SK等1—3倍。

在远震记录中,763型地震仪对于不同震中距离和不同震源深度的震相特征的区别,尤为突出,波形差异相当大,分辨和识别都很容易,有十分突出的周期改变和相应的振幅变化,相位的改变更为明显。

对于周期较长的弱起始震相,例如在震中距 $D = 5 - 17^\circ$ ($1^\circ \approx 111.19\text{km}$)的浅源地震P和S的初始振幅,以及在 $D = 105 - 178^\circ$ 区段内的外核界面衍射波 P_{11} 的弱起始振幅,都能测出可信度较高的到时、周期和振幅值来。许多情况下,还可以辨别其初动的方向。

基阶面波(洛夫波Q、瑞利波R以及地幔面波 G_i 和 R_i 等)的初始时刻,在90%以上的浅源地震记录上都可分辨出来,并且到时精度较高,误差最多不超过半个周期;频散图谱十分清晰,读数方便。对于从记录图上鉴别面波传播途径(属于海洋结构或是大陆结构的判别)也比其它类型的地震仪容易得多。

对于中途地表反射波PP、SS等,以及反射转换波SP、PS、PPS等震相,记录尤为突出,以其特异的大周期和大振幅出现在波列中,与相邻的波动形成鲜明的对比。

在有一定震源深度的地震记录中(一般指深度 $h > 70\text{km}$),除显示各种震中附近反射震相外,核面反射波和反射转换波的记录也经常十分清晰, PcP 和 ScP 出现在体波段(P和S波段); ScS 出现在面波波列中,其波形类似一种“楔形”或“豁口形”图象,在相邻长周期的波列中十分清晰。

对于漏能型面波(PL,耦合PL-SL等)和 S_3KS 、 $PcSPKP$ 、 $PKPPKS$ 的ABC分支震相,763型地震仪也能记录得很好,一般情况下,能与走时表一一对应。

763型长周期地震仪对于几种主要震相的记录周期 T (s)的数值范围见表2。

表2 763型长周期地震仪记录主要震相的周期范围

$T \begin{matrix} \text{D}^\circ \\ \text{(s)} \end{matrix}$ 震相	11—37	38—83	84—105	106—125	126—180
P (PKP)	10—15	15—20	20—30		
S (SKS)	10—20	20—30	24—40		
PP (SP)	15—20	20—25	26—30	20—40	20—40
SS (PS)	20—25	20—30	30—40	30—50	>50
PL	30—40				
SL	30—50				
Q,R	20—40	25—50	50—80		
G_i, R_i	20—45	30—80	50—80	>80	
PcP, ScP	10—15	<20			
ScS	10—15	15—20			

763型长周期地震仪的记录与其它类型地震仪的记录特征对比见表3。

表3 763型长周期地震仪的记录与其它类型地震仪记录特征对比

记 录 情 况		地 震 仪 类 型		
		763 型	DD-1 等	SK 等
主震相清晰度		各种震相都清晰	仅P, PKP清晰	除影区效应外, 一般清晰
主震相周期 (s)		10—40	1—4	4—15
面波频散		最佳频散图谱	无频散显示	不及763记录明显
频散周期变化范围 (s)		80—25	7—5	20—6
其 它 震 相 记 录	$P_s, S_s, \bar{S}$	有部分记录, 较清晰	震相齐全相当清晰	$\bar{P}, \bar{S}$ 清晰
	P 和 S 的转换波	齐全	少	有缺失
	$P_{Li}, PKIKP$	齐全	仅出现PKIKP	有, 但很少
	PL, SL	经常出现	无	不多
	PP, SS, sP	齐全	无	较齐全
	SdP	容易出现	无	很少有
	Gn, Rn	常有	无	极少见
	360—D震相	常有	无	极少见
	Q, R初相	常有	无	不明显
	Airy震相	常有	无	少见

2) 随震中距改变的记录特征

在震中距 $D < 10^\circ$ 内, 浅源地震 (震源在地壳上层, 深度 $h < 20\text{km}$) 一般可分辨出较清晰的 P_s 、 S_s 、 S^* 和 $\bar{S}$ (本图集用 P 和 S 表示 P_s 和 S_s)。P 周期为 10—12s, S 周期可达 15—20s, 常有 20—30s 周期的 PL 出现在 P_s 和 S_s 之间, $\bar{P}$ 和 π_s 叠加其上。洛夫波紧随 S 之后, 在洛夫波列上, 有时可见清晰的 L_i 和 L_g (见图 1.1—1.9), 记录周期为 10—15s; 中深源地震和深源地震的 P 和 S 震相都十分清晰, 也不乏 ScP 和 ScS 的脉冲波, sP 可能干扰 S 初相。P 的周期为 12—15s, S 和 sP 的周期为 20s 左右, 图 1.1 是 763 型地震仪记录近距离的深源地震的 4 种典型震相和波形。

$11^\circ \leq D < 37^\circ$ 段, P 和 S 震相经常清晰可辨, 在其焦散距离 (20° 前后) 内的振幅尤为突出。有时可以分辨出震源在大陆架地区的 M_2 和 Rg 波。Q 和 R (或 G 和 R) 有时被 SS、 M_2 或 L_g 干扰, 但其长周期大振幅波形突出, 确定初相并不困难, 可参阅图 1.13 等图。对于地幔面波 G 和 R, 大凡震源深度超过地壳厚度的地震几乎无一遗漏地记录下来, 初始记录很清楚, 振幅衰减较快 (图 1.15)。在这段震中距内, G (或 Q) 和 R 的波形受地区地壳结构差异的影响很大。凡经过大陆结构地区的面波 (包括 Q 和 G) 都较发育, 而 R 则较小, Q 和 G 记录幅度比 R 约大 1—2 倍。此外, 经过大陆地壳结构的 Q 和 G 其波形一般表现为一种噪声的叠加; 凡主要途径为海洋地壳结构的 R 波则呈现出相当圆润、光滑的波列。途径完全是海洋结构的面波记录, 其优势波列主要为 R 波, 几乎认不出来明显的 G 和 Q。请参阅图 1.14—1.19 及 2.15 等; 在此震中距离内的中深源地震和深源地震记录中, 可以仔细分析出上地幔间断面 (自地表至此间断面的深度约在 400km 左右) 的横波折射转换波和内核界面反射波, 见图 1.20 和图 2.24 等, 也常看到异常的波形记录, 如图 1.23, 显示出面波 (主要是 R 波) 尾波的复杂性; 在 P 和 S 的焦散距离 (约 20° 左右) 上, 经常只有三种波, 即 P、S

和面波 Q(或 R)，如图 2.2；当震源深度在 40—80km 范围内，Pa 和 Sa 有时记录清楚，与 SS 和 Q 叠加。见图 2.11。

$38^\circ \leq D < 82^\circ$ 段，除去 PcS 可能干扰 S 的初至震相外，各种震相一般都能清晰可辨。未名震相 iX 逐渐增多。这些表现突出的大震相在 J-B 表上的相应距离，没有对应的名称。其中有一些可明显看出是波动的相长干涉效应（图 3.15 等），也常见明显的“拍”波（图 3.12 等）。Airy 震相在 763 型记录中经常可见，波形突出，尤其表现在竖直分向上，见图 3.24 等。各种基阶面波（Q、R 或 G 等）在震源深度为 100—200km 范围内，经常以大脉冲型长周期波列形式出现，如图 4.6 和图 4.7 等。

$83^\circ \leq D < 105^\circ$ 段，除去 SKS 可能干扰 S 的初至震相外，能够分辨的震相更为丰富。随着震源深度的加深和震中距的增大，这种特征更加明显，各种震相之间相互干扰也很小。对于中深源地震，随着震源深度的增大，体波周期与面波周期的比值变化急剧下降。与 SK 等其它类型地震仪的记录比较，如果 SK 仪记录的周期比值随震源深度每增加 100km 而变小 10% 的话，则 763 型仪器记录就将变小 20—30% 以上。763 型仪器记录深源地震的图谱中，体波初动振幅的前半个周期尤其短促；核面反射波 ScS 和反射转换波的 ScP 比 P 和 S 的更为明显；PP、PS 和 SS 波形突出地大，有时振幅与其原生波的振幅之比等于或大于 1，周期也接近面波的周期，见图 4.11—图 4.14。震级大于 7.4 的地震记录上，经常观测到沿优弧传播的 G_2 和 R_2 波，以及沿着 $D + 360^\circ$ 路径传播的 G_3 和 R_3 ，震相清晰，记录周期超过 70—80s，例如 图 4.12；在这段震中距的深源地震记录中，经常出现 SP 震相，竖直向上最突出，波形不同于浅源地震的 PS 和 SP，图 4.9—图 4.10。根据走时表仔细分析震相，还可以经常找到 PKKP 和 SKKP 一类的核震相。

$106^\circ \leq D < 180^\circ$ 段。在这一震中距区段内，浅源地震与深源地震的记录波形差异十分突出，其对比度优于 SK 等一类的记录。在 $106-125^\circ$ 之间，衍射 P_{diff} 和 PKIKP 以及 PP 等都是常见的突出震相。尤其是 P_{diff} 和 PKIKP 的检波效果，763 地震仪显得突出地优于任何其它类型仪器的记录，一般都能分辨其初相位，给出能满足一定要求的各种读数。见图 5.1—图 5.4；在 $126-180^\circ$ 之间，如果震级足够大（一般 $M > 7.5$ ），震源深度大于 300km，或者震级在 $6.5 < M < 7.5$ 之间，震源深度在 $100 < h < 300$ km 时，在 763 仪器记录的图谱中，对现在已知的大部分震相都有明显显示，震相清晰，根据走时表，可一一查出各自的震相名称， G_2 、 R_2 、 G_3 和 R_3 也是常见的震相。PP、PS 和 SS、SSS 及其对应的沿优弧震中距传播的 PP ($360^\circ - D$)、SS ($360^\circ - D$)、SSS ($360^\circ - D$) 一类的波也是常见的，很有可能被误认为面波。

3. 资料选取原则

本图集使用的资料时间范围是1985年1月至1987年9月。使用了包括北京(白家疃)、广州、沈阳、兰州、泰安、昆明、长春、余山、泉州和乌鲁木齐等10个台站的观测资料,在大约5000次地震事件记录中选取了约650次地震的原始记录,这些典型记录由于震级和震中距的分布适中,因而能识别出较多震相。从大约3000张图纸中择取了100幅图,以显示该仪器的记录特色。

在分析和核对震相时,所依据的地震基本参数(震中坐标、震源深度、零时和震级)是按照BISC提供的资料标注的。

震相是依据J-B地震走时表标注的。

本图集中给出了80个震相的名称和简介,包括体波主震相P(PKP)、S(SKS)等以及各种面波和导波。

选图的原则如下:

1. 能充分反映763型长周期地震仪的独特性能的地震事件,一般取震级 $m_s > 5$ 的远震记录;
2. 为便于对比震相特征,尽可能收集了包括不同震中距和各种震源深度的地震图中各种震相;
3. 注意收集各个台站在不同的方位和距离上的不同类型地震的地震记录,以保证具有一定的代表性,以便在分析识别震相工作中作为一种典范;
4. 为避免加工带来的失误,尽可能采用原始记录图制版汇编,并选择原始记录图线条清晰、反差好,且图面整洁的图纸;
5. 剔除非天然地震记录;
6. 选用国际资料交换台站的资料。

本图集中还尽可能地采用国际上通用的符号标注名称和名称,并月已知地震参数最后核定震相。图名文字说明分为地震参数和记录特征描述两部分。时间采用国际标准时,依次为图号、地震发生的年、月、日、时-分-秒、震中纬度、震中经度、震源深度、体波震级(m_s)、面波震级(M_s)、台站代码、震中距(D ,单位度)、震中方位角(A_s ,单位度)。选用的图件按震中距远近分为五部分,详见所附地震目录。

在汇编本图集过程中,得到许多763型长周期地震观测台站的领导和同志们大力协助与支持,作者们谨致衷心感谢。

二、763型长周期地震仪 地震记录图

THE
JOURNAL
OF
THE
ROYAL
ANTHROPOLOGICAL
INSTITUTE
OF GREAT
BRITAIN
AND IRELAND
VOLUME
LXXV
PART I
1905

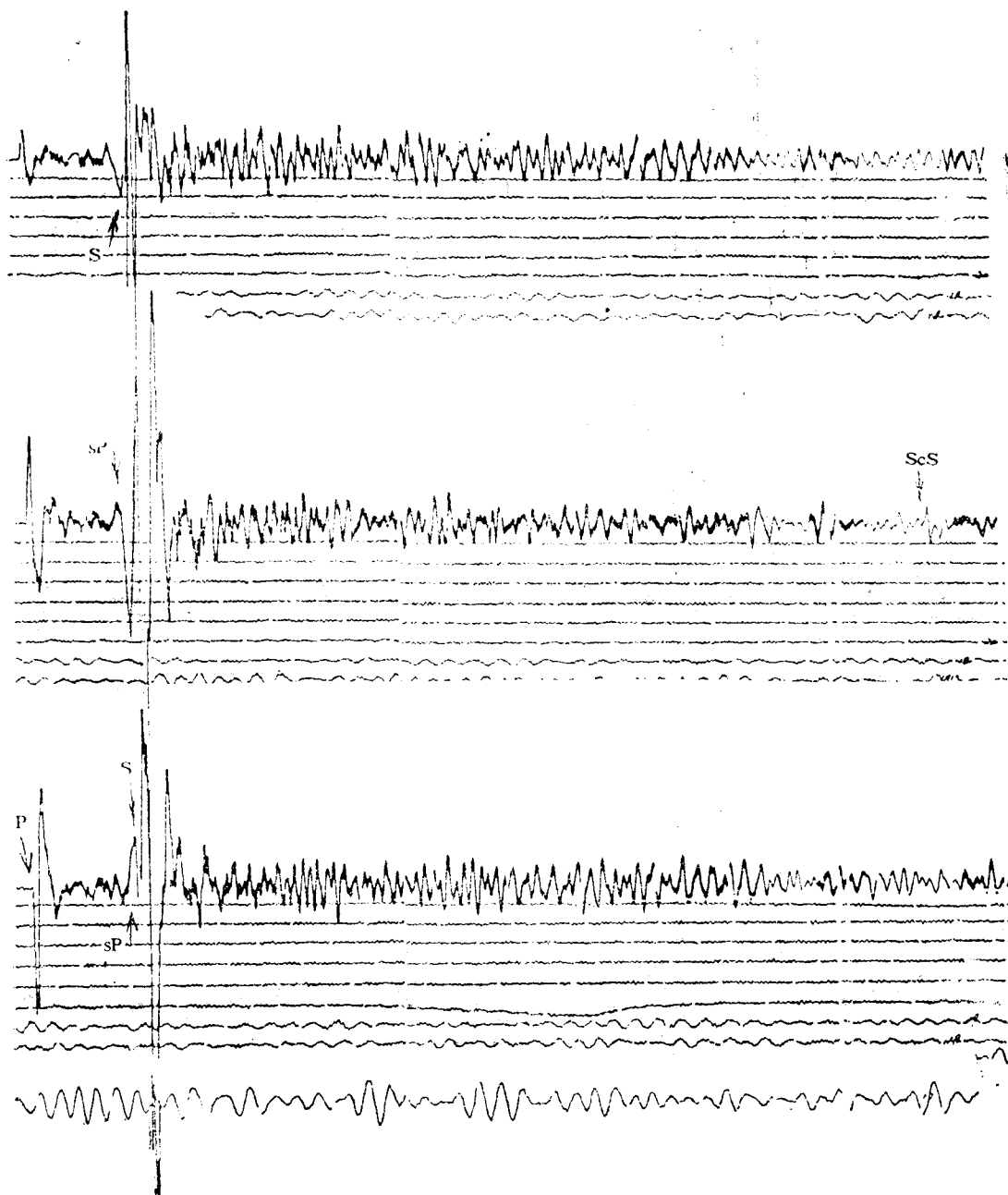


图1.1 1987.2.11, 17-42-51.0, 43.17N, 132.29E, h499, m_b5.5,
SNY, D6.6, A_z261

sP和S以及ScS都清晰可辨

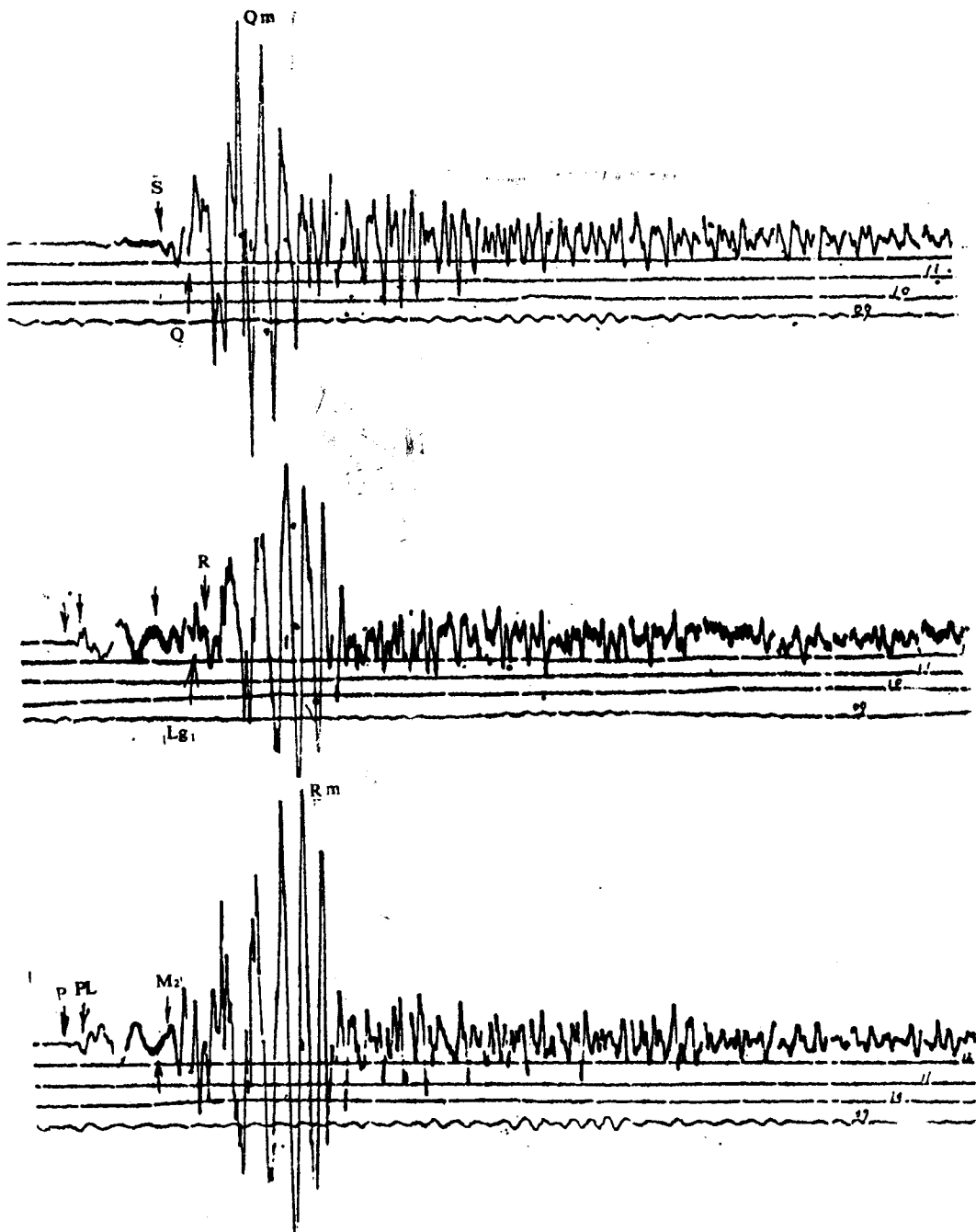


图1.2 1986.3.22, 04-45-32.9, 23.4N, 121.6E, h45, m_b5.6, GZH, D7.6, A₂265

P、S清晰可辨, M₂在R波列叠加。因台站方位角A₂接近270度, 具有不同性质的P和S, Q和R
已在二水平向分别记录