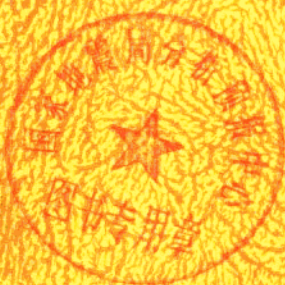


7596

56 252

中国分区地震波走时表的研制

国家地震局科技监测司



地震出版社

1989



中国分区地震波走时表的研制

国家地震局科技监测司

地震出版社

1989

内 容 提 要

本书介绍了我国现阶段研制走时表的理论和方法,如基本资料的筛选,地壳模型的选取,地震波走时表的正、反演计算等,并对各地区观测到的近震地震波的类型和特点进行了分类总结。书中还汇编了12个走时表的部分内容,以反映各区域地震波走时表的基本内容和形式。表中所列波类比J-B近地震波走时表丰富,测定参数的精度较高,适于各地区的地震定位和震相分析处理使用。本书所提供的成果可供研制下一代区域地震波走时表参考,亦可供地球物理工作者和有关大专院校师生参考。

中国分区地震波走时表的研制

国家地震局科技监测司

编:修济刚 张诚 曲克信

*

地质出版社出版、发行

北京复兴路63号

中国科学院印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 11.5印张 294千字

1989年10月第一版 1989年10月第一次印刷

印数 001—500

ISBN 7-5028-0308-4/P·196

(697) 定价: 5.00元

编 者 说 明

本文集选编了中国分区地震波走时表报告中的主要文章 13 篇，华北、东北、华东、华南、西北、西南地区区域走时表 12 个。它们是当前全国各区域地震波走时表研制成果的部分代表。

13 篇文章集中介绍了国内现阶段研制走时表的理论和方法，如基本资料的筛选，地壳模型的选取，地震波走时表的正、反演计算等，并对各地区观测到近震地震波的类型和特点进行了分类总结。这些成果可供研制下一代区域地震波走时表参考。

本文集因篇幅所限，只汇编了 12 个走时表的部分内容，即选取某一深度作为代表。它们反映了各区域地震波走时表的基本内容和形式。这些表都经过编表者自检和全国区域地震波走时表检验小组的统检，波类比 J-B 近地震波走时表丰富，比 J-B 表、塔吉克表和各地区原有的走时表精度高，适于各地区的地震定位和震相分析处理使用。

该项工作及本书的编辑出版，是在国家地震局科技监测司领导下，由修济刚、张诚、曲克信负责组织全国各省（市、自治区）地震局同志共同完成的。对于书中不足乃至错误之处，敬请批评指正。

1988 年 11 月

目 录

中国分区地震波走时表研制报告	(1)
四川地区分区走时表的编制及检验	(21)
甘青区域地震波走时表的编制	(45)
多层地壳模型近地震波走时表计算方法及程序设计	(51)
甘青区域地震波走时表的地壳模型的选取	(59)
陕西地区近震走时表的编制与检验	(67)
宁夏地区地震波走时表的编制与检验	(73)
长江三峡地区小区域地震波走时表	(81)
计算华北、东北地区走时表工作报告	(85)
华南地区近震走时表的编制	(89)
华东地区走时表(1988)的研究	(102)
西藏自治区走时表的编制	(107)
西藏自治区近震走时表检验报告	(112)
附表	
四川地区分区地震波走时表($h=0\text{km}$, $h=15\text{km}$)	(115)
甘青区域地震波走时表($h=10\text{km}$)	(121)
陕西地区地震波走时表($h=10\text{km}$)	(127)
宁夏地区地震波走时表($h=10\text{km}$)	(133)
长江三峡地区小区域地震波走时表($h=5\text{km}$)	(139)
华北地区 P 波走时表($h=0-33\text{km}$)	(143)
东北地区 P 波走时表($h=0-33\text{km}$)	(147)
东北地区均匀层速度模型地震波走时表($h=8\text{km}$)	(151)
华南地区近震走时表(II)	(157)
西藏自治区地震波走时表($h=10, 30\text{km}$)	(163)
华东地区地震波走时表(P, S)($h=0.0, 8.8, 18.0\text{km}$)	(167)
华东地区均匀层速度模型地震波走时表($h=9\text{km}$)	(175)

中国分区地震波走时表研制报告

中国分区地震波走时表研制小组

一、前 言

区域地震波走时表是分析地震波和地震定位的基本工具,是研究震源性质、地震活动性等所不可缺少的,它在地震学研究和发展中占有重要位置。1940年J-B(H. Jeffreys, K. E. Bullen)走时表诞生,它以波类丰富、计算方法完善而闻名于世,各国广为引用。由于地壳结构差异,J-B近震走时表不适用于其它地区使用,也由于30年代的时间服务和地震图的分辨率较低的限制,不满足各国当代地震研究对波类和时间服务精度的要求,在现代化的观测技术基础上,苏联、日本等国陆续研制自己的地震波走时表。70年代,我国的走时表问世,1976年郭履灿等编制出《中国P波和S波走时表》,1977年张诚等编制出《甘肃及邻近地区近地震波走时表》,还有国内的其它试用中的区域走时表,多年来对提高地震分析和定位起到作用。随着我国地震预报工作的进展,对地震分析和定位提出更高的要求,原有的走时表需要改进,无走时表的震区需要建立新表,我国地震台网的加密,观测技术的改善,地壳研究成果的大量取得,给研制新的走时表打下良好的基础。

1982年2月国家地震局科研处在上海召开“地震定位及震级测定工作会议”,对地震走时工作进行了讨论,并就全国各区域走时表的研制作了分工(表1),确定全国地震台网控制的地区先行研制走时表,某些特殊地震区,如东北深震区、帕米尔中深震区等,暂缓研制。1983年8月,国家地震局科技监测司在太原召开“全国地震走时工作会议”,检查任务执行情况,交流了初步成果,安排、调整了某些任务,确定“不强求研究方法的统一,但应强调研究成果的适用性”的编表原则。1986年7月发出“准备验收各地区地震走

表1 1982年上海会议研制走时表分工(1983年重申分工)

研 制 内 容	研 制 单 位
京津地区的走时曲线及其检验和速度结构的测定研究	局地球所
三峡、丹江地区走时曲线	湖北局
滇西试验场走时曲线	云南局
太原地区走时曲线	山西局
四川地区走时曲线	四川局
云南地区走时曲线	云南局
陕西地区走时曲线	陕西局
甘宁地区走时曲线	甘肃局
大华北地区走时曲线	局地球所
西北地区走时曲线	甘肃局
华东地区走时曲线	江苏局
华南地区走时曲线	广东局

时表”的通知, 1986年9月又发“地震走时定位工作的具体安排”, 布置了检验事宜, 1987年检验小组开始工作, 至1988年11月完成任务。

经过6年多时间, 参加研制走时表的单位提出论文13篇, 陆续研制出区域走时表12个。这些表分属两类, 一类适于地震定位, 一类兼顾分析和定位。这12个走时表是:

四川地区分区地震波走时表(西区和东区);

甘青区域地震波走时表;

陕西地区地震波走时表;

宁夏地区地震波走时表;

长江三峡地区小区域走时表;

华北地区P波走时表;

东北地区P波走时表;

东北地区均匀层速度模型地震波走时表;

华南地区近震走时表(II);

西藏地区地震波走时表;

华东地区地震波走时表(P, S);

华东地区均匀层速度模型地震波走时表。

研制这些走时表的步骤大体是相同的, 如: 1、选取资料, 重新定位, 筛选出记录最好和参数精度较高的大量地震及其波到时; 2、建立标准P波走时曲线; 3、对比走时残差, 求平均地壳速度模型; 4、正演理论走时; 5、编制走时表等。在具体计算上各地区有所不同, 如: 四川地区由慢度曲线反演速度结构, 华北地区由两点地震射线追踪法计算走时, 甘青地区由多层速度结构走时方程求解走时等。各地区都选取了较适合的区域多层地壳速度模型, 如四川地区分区采用了梯度层, 华北、东北地区采用了梯度层夹低速层; 在精度上, 各区域走时表都高于J-B表和原有的区域走时表; 在波类方面, 增添了中间层和莫霍界面上反射波的走时, 比J-B近震走时表更丰富; 并计算出各种深度走时表, 适用性大大提高, 能满足各地区的地震分析和定位。

各研究所和省地震局在监测预报和人力不足的情况下, 适当安排人力, 支持了此项任务的完成, 我们对国家地震局地球物理研究所、国家地震局兰州地震研究所、四川省地震局、国家地震局地震研究所、广东省地震局、陕西省地震局、宁夏地震局、上海市地震局、江苏省地震局、青海省地震局、西藏地震局在此表示感谢。

参加此项工作的主要人员有:

张 诚	曲克信	修济刚	赵 珠	张润生	刘茂林	蒲晓红
韩守琪	易桂喜	邵世勤	高世奎	张 伶	邓齐赞	姜家兰
丁毓玉	黄长林	陈希圣	杜长娥	王绒霞	吴诗芬	王玉霞
白 莹	李 强	吴 华	李 欣	孙文福	范玉兰	林纪曾
胡瑞贺	罗振暖	景天永	严尊国	田建明	薛军蓉	葛梅娟
张雁如	黄俊秋	王玉秀				

二、地壳模型的选取

区域地震波走时曲线内涵着地壳的速度结构, 由观测走时曲线反演地壳结构, 已知地

壳结构和走时方程可以正演地震波的走时,这两项研究是相辅相成的,是完成本课题的关键。各地区进行地壳模型的选取方法和步骤概括归结为三类:

(一) 四川地区地壳模型的选取

四川地区东、西两部地壳速度结构差异显著,以龙门山断裂带—四川台拗和扬子准台褶之间的分界带为界线,分四川为西区(A区)和东区(B区),分别研究。

1.制作基础曲线。选用工业爆破资料,由川滇台网观测的 P 波走时,作A区和B区的 P 波走时曲线(表面源),求幔度曲线,作为 P 波基础曲线,以修定天然地震的震源参数。

2.修定地震基本参数。采用偶台时差定位法修定震中经度和纬度,用幔度定深度,用时间截距定发震时刻。筛选出81个地震和12个工业爆破,作为计算的基础资料。

3.校正走时。对 P 波走时数据进行震源深度、台站高程和地球扁率的走时改正。

4.绘制实测 P 波走时曲线。对校正后的 P 波走时,分成AA、AB、BB、BA四条数据带,进行曲线拟合,用阻尼最小二乘法求走时折线各段的斜率和交点,确定表面源的 P 波实测走时曲线。

5.反演速度结构。用两种方法反演地壳和上地幔顶层的速度结构:(1)、取壳幔为均匀介质、水平分层结构,视 P 波走时曲线各折线段为各层层底的首波,计算速度结构。(2)、取壳、幔为连续介质,水平分层结构,由 P 波幔度曲线进行反演,得连续的速度结构。

6.制表模型的确定。计算模型的理论走时,调整模型参数,反复多次,求得理论走时与观测走时拟合较好的双层模型—连续介质梯度层和间断面相结合。

(二) 甘青地区模型的选取

1.初始模型。由本区的爆破和地震资料获得的多种匀速、水平层模型为基础,对某些较复杂的模型进行层数化简和速度的改变,取得20个2—4层模型,作为初始模型。

2.对初选的地震再定位。选用台站分布和记录最佳的 P 波,由两种 P 波初至到时定位法,分别定位,选取定位结果近似的参数,共筛选出94个可用地震。

3.走时校正。进行台站高程、震源深度和走时校正,求得标准高程、标准深度的 P 波观测走时。

4.拟合 P 波标准走时曲线。弃去偏差较大的 P 波走时,对 $h>0$ 的直达波和反射波用双曲线拟合,对 $h=0$ 的直达波和首波用直线式拟合,获得 P 波的标准深度走时曲线。

5.制表模型。将标准深度走时与各种初始模型走时对比,选取残差最小的模型。同时考虑到台网中多数台基岩性和本区震源分布、波的传播和地震分析的实用性,取水平层、匀速的双层速度结构。

(三) 华北、东北地区模型的选取

1.选取模型。根据华北、东北地区的地球物理探测成果,通过三维速度结构迭代反演和用实际观测资料拟合,确定“最佳”水平分层速度模型。

2.计算关键深度、震中距的走时。选定震源初值(经度、纬度, $t=0$),由两点射线追踪法,分别算出 $h=0, 5, \dots, 33\text{km}$ 的关键深度和震中距的理论走时。

3.对比模型。采用两点地震射线追踪法,对比模型的理论走时和观测走时的残差,取残差最小的模型。取华北区地壳和上地幔顶部为8层模型,取东北区地壳为5层模型,两

模型皆含有梯度层和低速层。

(四) 华东地区地壳模型的选取

将各地震的时空位置(λ 、 φ 、 h 、 t)和模型的各参数作为未知数进行求解,使所有参加运算的到时资料的总偏差值最小。步骤如下:

1.用 P_n 法(寻找使 P_n 走时形成直线的点作为震中)定出各震的震中(λ 、 φ)作为已知值。

2.选取一个初始模型,它的参数(各层的速度、厚度等)连同各震的深度和发展时刻作为未知数求总偏差的最小点,求取第一个计算模型。

3.以第一个计算模型为基础,定出各震的时空位置作为已知量,仅将模型参数作为未知量,求总偏差最小点,求得第二个计算模型。重复这一步骤,直到得到满意的结果,作为结果模型。

4.用结果模型对各震定位。至此即完成对所有未知数的求解。

各地区选取的编表地壳模型如表 2—5。

表 2 四川分区走时表地壳速度模型(P 波)

AA		AB		BB		BA	
速度 (km/s)	深度 (km)	速度 (km/s)	深度 (km)	速度 (km/s)	深度 (km)	速度 (km/s)	深度 (km)
4.60	0.0	5.70	0.0	5.80	0.0	5.80	0.0
5.35	0.8	6.40	23.2	6.00	18.0	6.24	22.0
5.78	1.6	6.68	23.2	6.35	18.0	6.42	22.0
6.28	28.5	7.40	60.7	6.73	41.0	6.85	52.5
6.67	28.5	7.90	60.7	8.15	41.0	7.90	52.5
7.41	64.0	8.60	102.7	8.60	60.0	8.80	102.7
7.80	64.0			8.65	67.5		
7.95	75.0						
8.26	90.0						
8.39	100.0						

表 3 四川分区走时表地壳速度模型(S 波)

AA		AB		BB		BA	
速度 (km/s)	深度 (km)	速度 (km/s)	深度 (km)	速度 (km/s)	深度 (km)	速度 (km/s)	深度 (km)
3.35	0.0	3.37	0.0	3.54	0.0	3.54	0.0
3.92	29.5	3.77	23.2	3.69	18.0	3.79	22.0
4.03	29.5	3.92	23.2	3.85	18.0	3.83	22.0
4.52	66.5	4.40	60.7	3.95	41.0	4.10	52.5
4.84	66.5	4.72	60.7	4.76	41.0	4.58	52.5
4.04	105.0	5.05	102.7	4.90	60.0	5.10	102.7

表 4 各区域匀速、水平分层模型

地区	层数	厚度 (km)	埋深 (km)	V_p (km/s)	V_s (km/s)	波速比	注
甘青	1	22	22	6.10	3.55	1.72	
	2	29.5	51.5	6.47	3.81	1.70	
	3		51.5	8.17	4.62	1.77	
陕西	1	16	16	5.90	3.44	1.72	
	2	24	40	6.50	3.70	1.76	
	3		40	7.95	4.55	1.75	
宁夏	1	27.2	27.2	5.99	3.53	1.70	
	2	23.7	50.9	6.40	3.81	1.70	
	3		50.9	8.09	4.64	1.74	
三峡	1	12	12	6.10	3.54	1.72	低速层
	2	8	20	6.02	3.50	1.72	
	3	15	35	6.73	3.87	1.74	
	4		35	8.02	4.61	1.74	
华南	1	21.4	21.4	6.01	3.55	1.69	
	2	11.0	32.4	6.88	3.93	1.75	
	3		32.4	7.98	4.58	1.74	
东北	1	17	17	5.95	3.47	1.71	匀速水平层
	2	16	33	6.50	3.78	1.72	
	3		33	7.80	4.44	1.76	
西藏	1	15.8	15.8	5.55	3.25	1.71	地幔
	2	53.5	69.3	6.25	3.76	1.73	
	3	31.3		7.97	4.55	1.75	
华东	1	8.8	8.8	6.26	3.61	1.73	低速层
	2	9.2	18.0	5.88	3.51	1.68	
	3	12.4	30.4	6.68	3.82	1.75	
	4		30.4	8.02	4.63	1.73	
华东	1	10	10	6.162	3.595	1.714	匀速水平层
	2	16	26	6.562	3.828	1.714	
	3	6	32	7.05	4.113	1.714	
	4		32	8.0	4.667	1.714	

表5 华北、东北P波速度梯度层模型

华北	P	深度(km)	0	3	3	14	14	20	20	25	25	35	35	65	
		速度(km/s)	4.5	5.9	5.9	6.1	6.5	6.6	6.3	6.3	6.8	7.1	7.8	7.9	
东北	P	深度(km)	0	4	4	17	17	21	21	25	25	33	33	51	70
		速度(km/s)	4.6	6.0	6.0	6.3	6.4	6.5	6.1	6.1	6.9	7.0	7.8	7.85	7.9

三、区域走时表的计算

12个区域地震波走时表,都是在选定较合理的地壳速度结构模型的基础上,已知走时方程,求解出各种波的理论走时,编算出走时和各种波的走时差表,除了单一的P波走时表外,各区域走时表都计算了台网观测到的已知的主要地震波的走时,如直达波 P_g 、 S_g (或 $\bar{P}$ 、 $\bar{S}$)、康拉德介面上的反射波 P_c 、 S_c 和首波 P^* 、 S^* 、莫霍介面上的反射波 P_m 、 S_m 和首波 P_n 、 S_n 。甘青、陕西、宁夏、四川、西藏地区,对地壳中间的主要断面(不一定是康拉德介面)上的反射波和首波取名为 P_l 、 S_l 和 P_2 、 S_2 。华东地区P、S走时表,给出各界面和虚置介面(震源深度处)上的直达波,命名为 P_0 ,第3层和第4层形成的回折波名为 P_3 、 P_4 ,各层的反射波名为 PP_1 、 PP_2 、 PP_3 ,各区域表包含的近地震波种类比J-B近震表更丰富,增加了 P_c 、 S_c (或 P_l 、 S_l)和 P_m 、 S_m 的走时,编算出多种深度走时表,如 $h=0, 5, 10, \dots, 55\text{km}$ 走时表,便于测定深度及验算不同震源深度的震相。

四川地区编制出AA表(A区地震A区台站),BB表(B区地震B区台站),AB表(A区地震B区台站),BA表(B区地震A区台站),同一地区4种走时表,使用上虽显复杂,但计算精度上更符合地壳速度结构,这也是解决台网分布区内速度结构差异显著的一种可行方法。

甘青、华南地区,在原有单层地壳速度结构模型走时表的基础上,又算出精度较高的双层速度结构走时表,上层的速度与原单层的平均速度相等或近似,这对绝大多数震源分布在上层内或层下附近的地震,由直达波和双层表定位的结果应与原单层表的相同或近似,这就使双层表既保持原单层表的特点,又进一步考虑了地壳下层速度高的因素。该双层表最适用于地震台基为坚硬基岩的台网使用,这一点是建台网时对台基岩性最基本的要求。

甘青、陕西、宁夏、华南地区采用《多层地壳模型近地震波走时表计算方法和程序设计》编算出双层模型表。东北、华东地区也采用同法,选用双层、3层匀速水平层模型,算出各区供分析处理适用(参考)的走时表。

华北、东北P波走时表,是用精心选取的水平分层梯度速度模型,用射线追踪方法计算理论走时,取震源深度为5km间隔,震中距为 0.1° 间隔,线性内插出全部走时,这种3层以上的多种模型走时,适于地震精确定位使用。各地区实际给出各种近震波的走时和走时差表情况见表6。

表 6 各区域走时表实际计算情况

地区	震源深度(km)	震中距离(km)
四川 (AA BB AB BA)	0, 5, 10, ..., 55	0, 2, 4, 6, ..., 750
甘青、宁夏	0, 10, 20, ..., 50	0, 10, 20, ..., 100, ..., 1000
陕西	0, 10, 20, ..., 40	"
东北	0, 10, 20, 30	"
华南	0, 5, 10, ..., 30	0, 0.9, 1.8, ..., 890
三峡	0, 5, 10, ..., 25	0, 0.9, 1.8, ..., 253
华东(P、S)	0, 2.21, ..., 8.84, 11.13, ..., 18.01, 21.11, ..., 30.42, 33.42, ..., 39.42	0—870
华东	0, 10, 20, 30	0, 10, 20, ..., 700
西藏	0, 10, 20, ..., 75	0, 2, 4, 6, ..., 1050
华北(P)	0.0, 5, 10, ..., 33	0, 0.1, 0.2, ..., 12.9
东北(P)	0.0, 5, 10, ..., 33	0, 0.1, 0.2, ..., 7.5

各地区观测的 P_s 、 S_s (或 $\bar{P}$ 、 $\bar{S}$)、 P_m 、 S_m 、 P_n 、 S_n 波都是很清楚的，尤其在临界距离附近， P_m 、 S_m 是很发育的。华北、东北、华南地区观测的 P^* 波也很清楚，它们的振幅较强。甘青地区，由爆破观测给出了地壳中间断面上的反射波 P_1 、 S_1 ，理论与观测走时相符，它们也符合能量强的特点。西藏地震，四川乡城台记录的 P_2 也是清楚的。关于各地区中间断面上的反射波和首波的特征还有待研究。以上所述各地区观测到的直达波和地壳界面上的反射波如图 1—10 所示；观测到的近震直达波和地壳断面上的首波如图 11—19 所示。

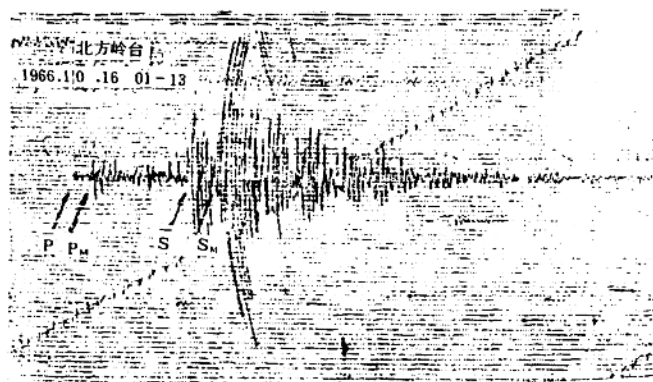


图 1 华北方岭台记录地方震

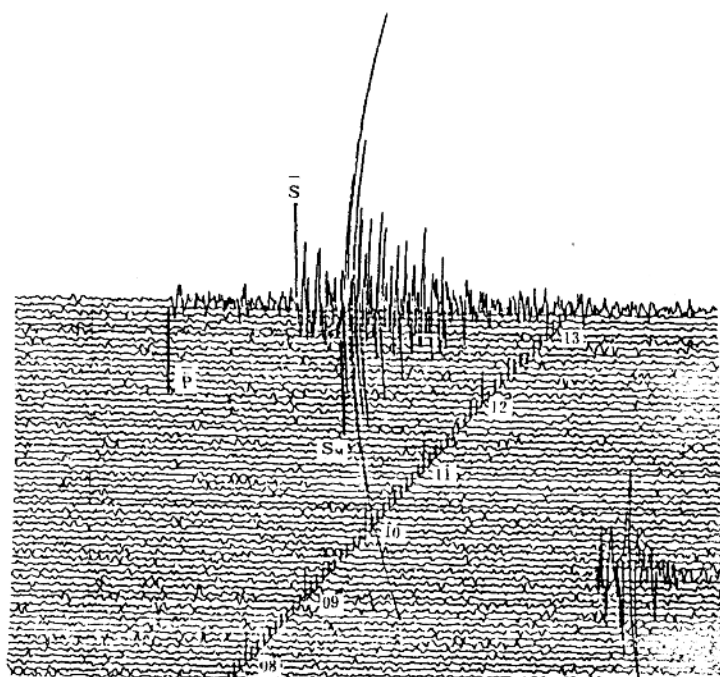


图2 东北辽东湾地震, 鞍山台记录, $\Delta = 84\text{km}$

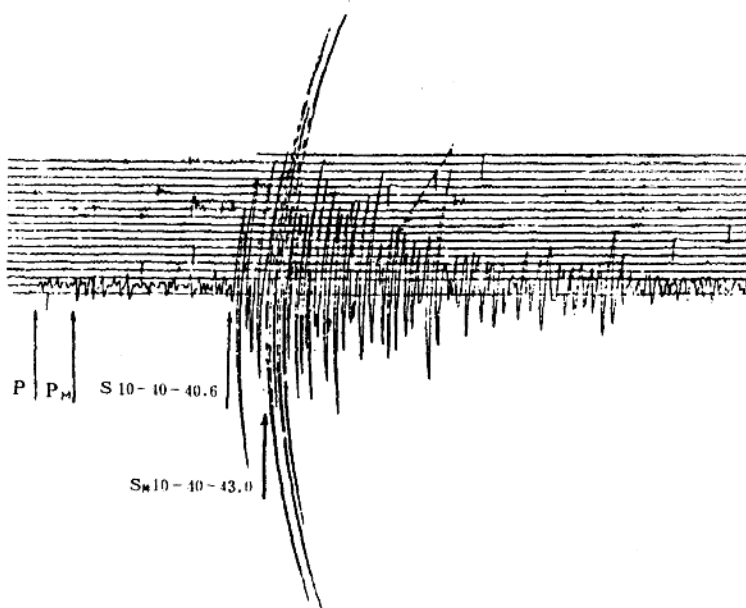


图3 南黄海地震, 华东南通台记录, $\Delta = 109\text{km}$

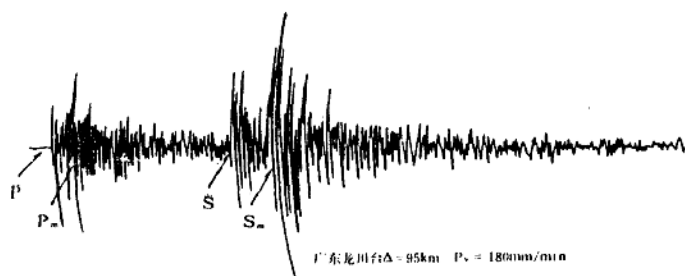


图4 广东河源新丰江地震，龙川台记录， $\Delta=95\text{km}$

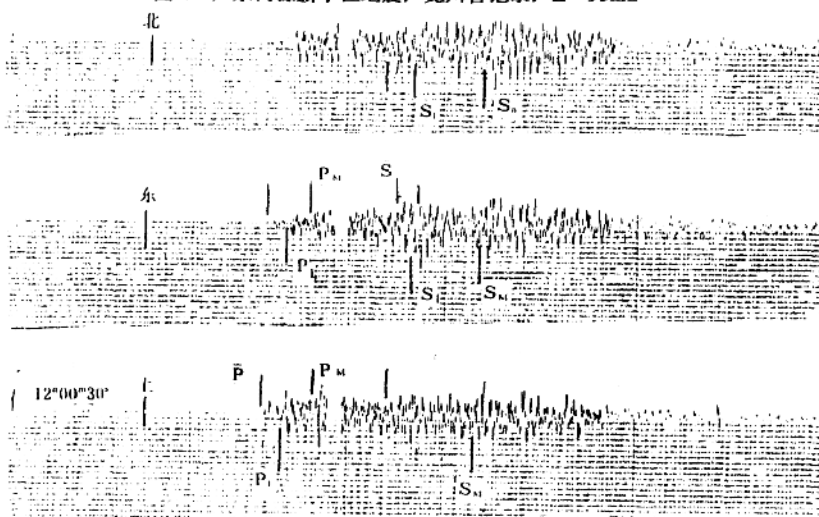


图5 西北，甘肃甘谷台记录， $\Delta=94\text{km}$

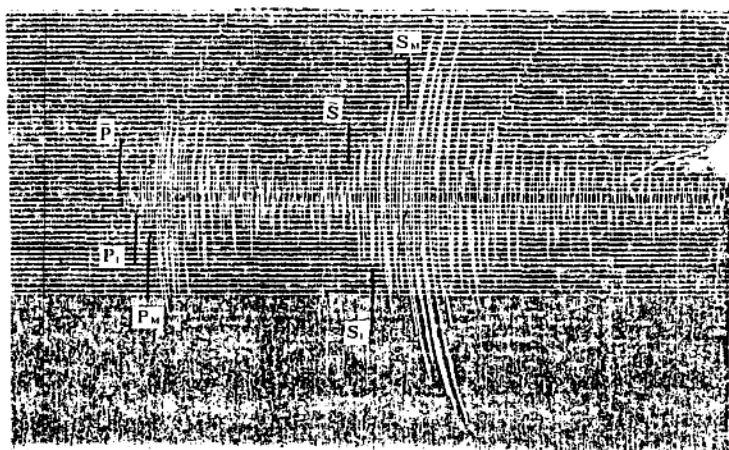


图6 1985年12月30日甘肃成县爆破，岷县台记录， $\Delta=164\text{km}$

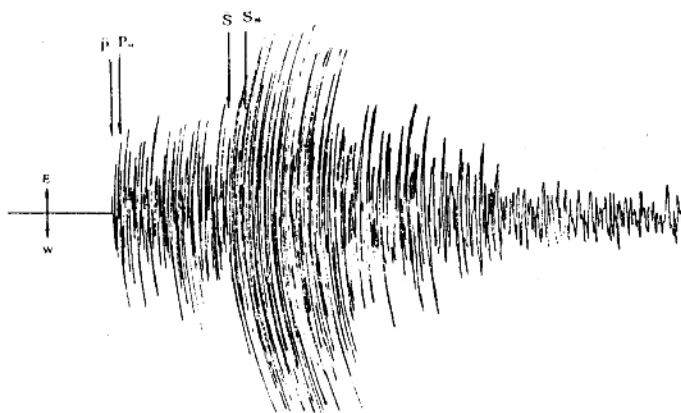


图 7 1982 年 4 月 5 日，四川省金川地震，道孚台记录， $\Delta = 117\text{km}$

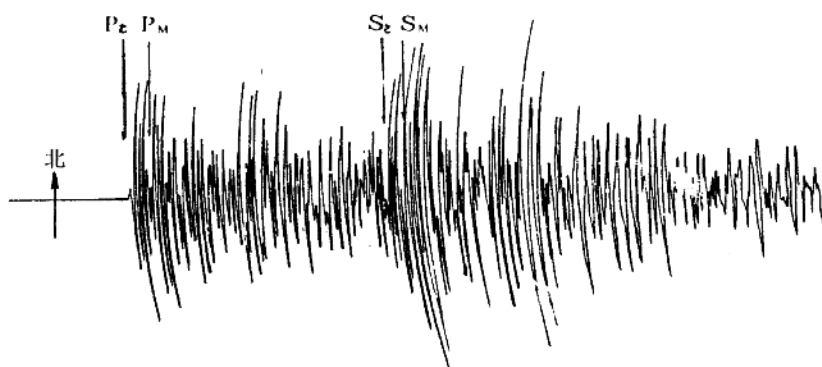


图 8 1982 年 4 月 5 日 12 时四川金川地震，绵竹台记录， $\Delta = 188\text{km}$

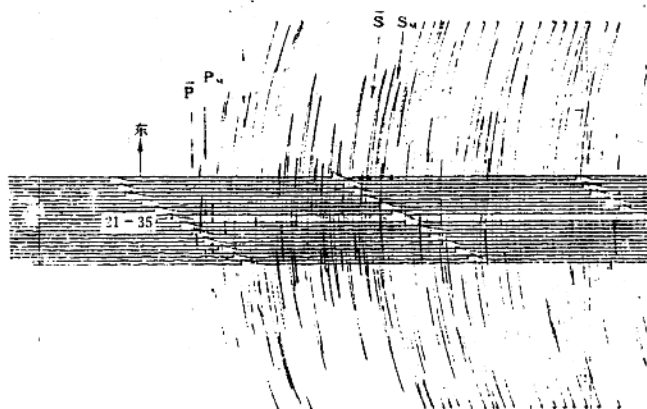


图 9 1983 年 8 月 16 日 21 时西藏班戈地震，拉萨台记录， $h = 50\text{km}$ ， $\Delta = 196\text{km}$

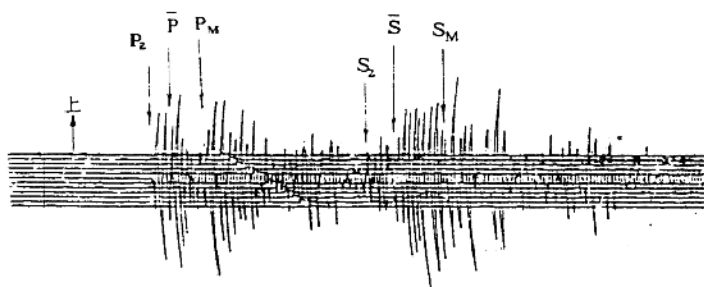


图 10 1987 年 3 月 7 日 09 时西藏那曲地震, 拉萨台记录, $h=10\text{km}$, $\Delta=192\text{km}$

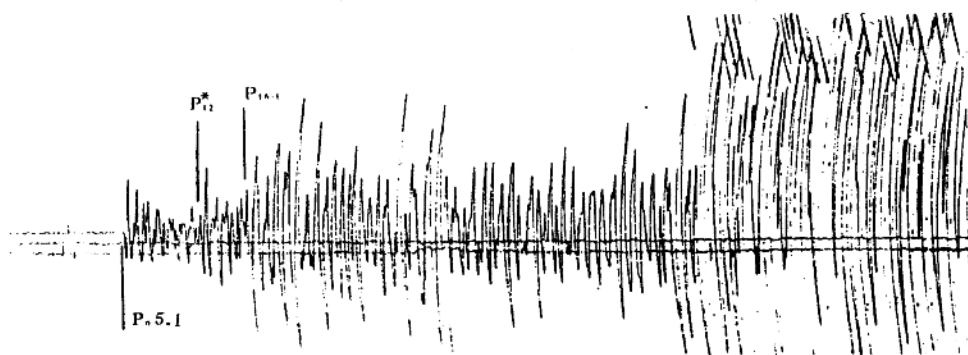


图 11 1983 年 8 月 3 日 14 时, 渤海 $M_L=4.4$ 地震, 北京白家疃台记录, $\Delta=369\text{km}$

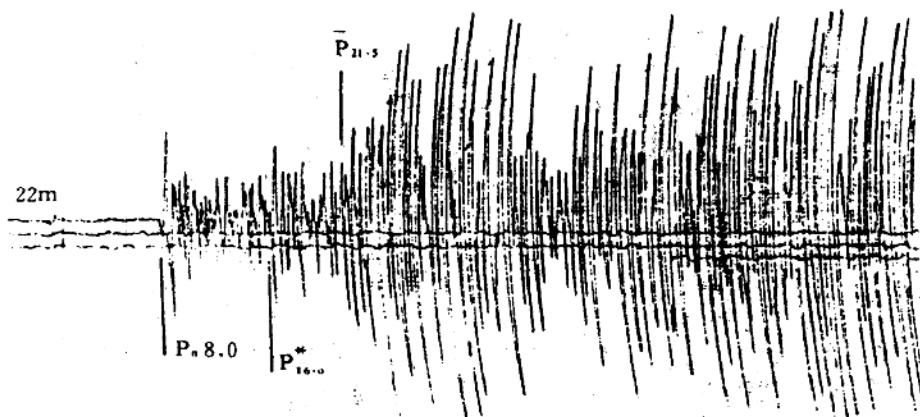


图 12 同图 11, 承德台记录, $\Delta=390\text{km}$

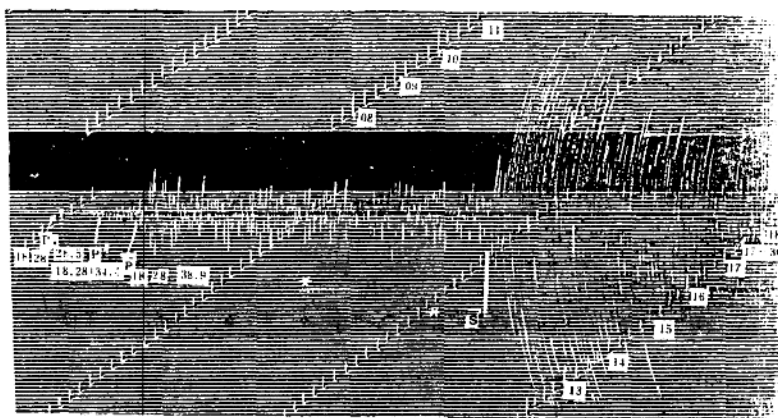


图 13 1988 年 2 月 21 日 18 时辽东湾 $M_L=4.2$ 级地震, 东北南山城台记录, $\Delta=384\text{km}$

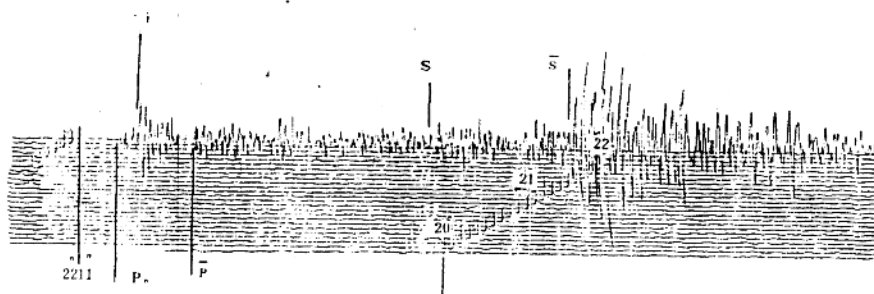


图 14 1987 年 12 月 12 日 22 时, 南黄海地震, 江苏灌云台记录, $\Delta=341\text{km}$

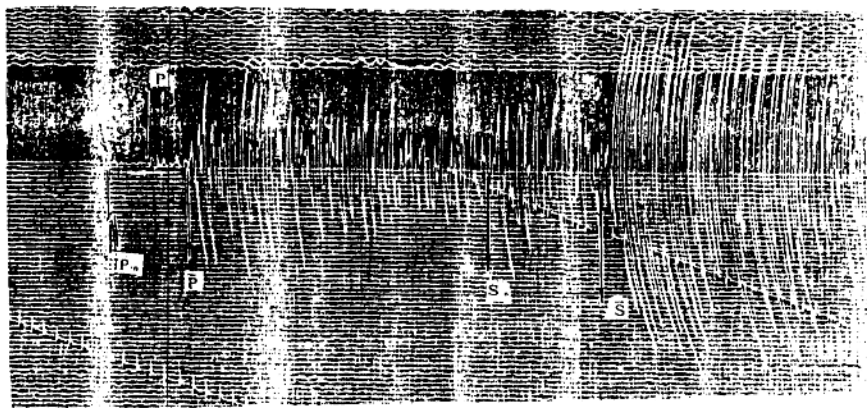


图 15 1987 年 2 月 25 日 22 时广东阳江 $M_S=5$ 地震, 海口台记录, $\Delta=236\text{km}$