

浅源极远震的震相特征与识别方法

刘家愚 张义梅

(湖南省地震局, 长沙 410001)

摘 要 介绍了纵波在地球内部的传播过程和浅源极远震的震相特点。由不同震中距的地震反映在三分向地震记录图上的初至震相振幅比的差异, 归纳出由地震初动判别地震类型的方法, 结合实际工作经验, 得出如何判别 PKS 震相、如何由 PP 推 S、由 SS 反推 PP 震相, 以及根据地震面波的到时, 通过 $\langle R_m - P \rangle$ 表来验证震中距等几种识别极远震及其震相的方法。

主题词: 地震波 震相 地震射线 极远震

1 引 言

从地面沿地球半径向地心, 地球主要可分为地壳、地幔、外核、内核四大部分。由于地球的分层结构, 使得在不同的地层里, 传播着不同的地震波。其中直达波 PG、SG 在地壳内传播, 反射波 P、S 在地幔内传播。如果用 K 表示透过外核的纵波, 用 I 表示透过内核的波, 那么波 PKP、SKS 则表示该波穿过外核, 而波 PKIKP、SKIKS 则表示该波穿过外核和内核。地幔作为一级近似, 可以认为是横向均匀的, 即地震波的波速随深度增加而增大。在震中距 $10^\circ \sim 103^\circ$ 的区域里, 各种波的传播路径主要在地幔之中, 因而其相应的地震震相比较简单, 易于识别。对于地震速报来讲, 这类地震可以很快地确定各主要震相, 求出所需要的参数。而对于震中距大于 103° , 纵波在核幔边界附近发生衍射, 能量分散, 其振幅开始急剧衰减, 直到震中距大于 144° 才重新出现在记录图上。在这个区域里, 由于地震波在地核周围发生绕射, 没有直达纵波出现。所以, 通常把 $103^\circ \sim 144^\circ$ 的震中距范围称为纵波——PKP 的影区。在此震中距之间可作为第一震相的只有衍射波 P_{dif} (P_c)。由于各种震相既多又模糊, 以及复杂的地球结构和速度分布, 给极远震的震相识别造成了困难。特别是在地震速报中, 由于未知地震的远近, 常常把震中距约为 $115^\circ \sim 120^\circ$ 间的 PP 波和 PS 波误认为 P 波和 S 波, 而把距离错误地估计为 80° 左右。在震中距超过 84° 时又将 SKS 波误认为 S 波等。因此, 正确识别震相, 在地震到达的短时间内便能粗略地判别地震的类型和震中距的大小, 有利于提高速报水平。

2 P 波的传播路径

在地球内部传播的地震波在其分层界面上都遵从光学的斯涅尔 (Snell) 定律。由于地震波的波速一般情况下随深度而增大, 因此地震射线不是直线, 而是凸向地心弯曲的, 如

收稿日期: 1998-04-20

第一作者简介: 刘家愚, 男, 1965 年生, 工程师, 主要从事震害防御和地震观测技术研究。

图 1 所示。

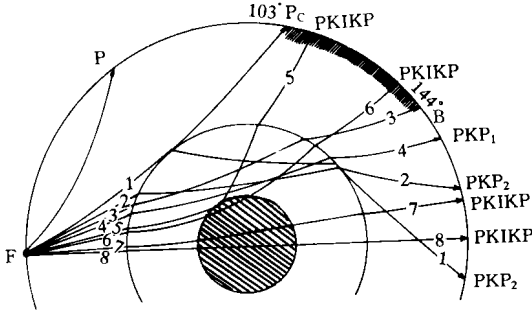


图 1 穿过地核的 P 波传播路径

图中的阴影部分为 $103^{\circ}\sim 144^{\circ}$ 之间的影区, B 点为焦散点

Fig.1 The propagation paths of P waves that passed through the internal earth

假如 1~8 条地震射线分别代表从震源 F 发出的几支纵波的传播路径, 由图 1 可见, 随着震中距的逐渐增大, 总是存在一条地震射线在核幔边界处与外核相切, 这时在切点附近, P 波被分解成由地幔到达地表的衍射波 P_{dif} 和两次经过外核界面折射到达地表的 PKP_2 。由于 P 波在核幔边界发生衍射, 它的大部分能量都在这里流入了地核, 以致于在这个震中距范围内只能观测到微弱的衍射波 P_{dif} , 其震相特征是初始很弱, 周期较大, 看似独立, 波数少于 3 个。

如图所示, 由于地球外核和内核的存在, 地震射线 1~8 经过衍射、折射、转换以不同性质的波在不同的介质里传播, 当它们到达地表时, 已不是按入射前的顺序排列了。实际上在震中距 $103^{\circ}\sim 144^{\circ}$ 之间, 首先到达的波是经过内核折射后幅度很弱的 $PKIKP$ 波。在这个区域的地震图上出现的震相既多又模糊, 如果震级较小, 甚至连初动都难以识别。在 144° 左右的地区是纵波的聚焦区, 震相 PKP 显得相当突出。当震中距大于 144° , PKP 分裂成 PKP_1 , PKP_2 , 它们仅限定在外核传播。 PKP_1 和 PKP_2 这两个分支震相始于 144° , 所以, 震中距 144° 称为焦散区。在 $144^{\circ}\sim 157^{\circ}$, PKP_1 的幅度由强变弱, 与此同时 PKP_2 却开始由弱变强。

3 浅源极远震的震相特征

通常把震中距大于 105° 直到 180° 的地震称为极远震。在这个范围内的主要震相是地核穿透波、长距离的中途反射波、反射转换波和面波。震相繁多而复杂并且记录持续时间很长, 在中长周期地震仪和长周期地震仪上有时记录持续可达数小时。

对于湖南省区域台网而言, 在这个距离段上所涉及的地震主要发生在大西洋中南部和美洲地区, 主要震相出现的顺序为 P_{dif} 、 $PKIKP$ 、 PKP 、 PP 、 PKS 、 PPP 、 SKS 、 $SKKS$ 、 $PcSPKP$ 、 PS 、 PPS 、 SS 、 R_m 等。

当震中距大于 105° 小于 144° 且震级足够大时, 在 PKP 震相之前 4 分钟左右, 有时可以观测到 P_{dif} 震相, 其波形起始平缓, 通常只有半个周期, 这是只有极远震才出现的震相。 PP 震相是继 P_{dif} 、 $PKIKP$ 之后的突出震相, 其初始平缓, 只在其中一个水平向上发育较好, 一两个周期之后可达最大幅度。

PKS 震相是 $105^{\circ}\sim 142^{\circ}$ 之间最为突出的震相, 在震中距等于 130° 附近最强, 表现为最突出的大振幅脉冲型记录。它是 P 波经过外核后转换而成的 S 波, 走时与 SKP 相同。它们同时到达, 垂直分向的 SKP 比水平分向的 PKS 要弱, 这是短周期地震仪在这一距离上记录到的仅有震相。对 $DK-1$ 仪器而言, 虽然 SKS 震相不明显, 但 $SKKS$ 和 $SKKKS$ 震相却经常出现, 记录波形比较清楚。

震中距在 $142^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 之间的地震主要发生在中美洲和南美洲地区, 其重要震相出现的顺

序为 PKIKP、PKP1、PKP2、PKS、PP、PPP、PcPPKP、SKKS、SKKKS、PPs、SS、SKSSKS 等。

实际上这时 PKIKP 与 PKP1 震相已很难区分，由于脱离了影区，PKP1、PKP2、SS、SSS 等震相已变得较强。SKP 被很强的 PP 震相所掩盖，SKKS、SKSP、PPS 等震相都很清楚。当震中距在 145° 附近时，PP 与 PKS 震相几乎同时到达，相互干扰。当震中距大于 175° ，由于地核的聚焦作用，各震相都形成大振幅。

在中长周期地震仪上，几乎所有的极远震都可以观测到 SS 震相，它在初动波到达 15 分钟以后出现，水平向较强，呈明显的大振幅、长周期。它相对于背景波清晰而突出，是分析处理极远震常用的验证震相之一。

4 浅源极远震的判别

对于远震，首先到达的波是地幔折射波 P，而对于极远震，首先到达的波是地核穿透波 PKP。震相 P 的出射角小于 85° ，而 PKP 的出射角大于或等于 85° ，表现在三分量地震图上初动的记录振幅垂直向极大，两水平向极小，这是区分它们的一个重要的动力学特征。假定一个地震的初始震相的振幅在垂直分向上的幅度为 A_Z 。同一时刻水平分向上的幅度为 A_H （其中， A_H 为 NS 和 EW 向初动振幅的几何平均值）。PKP 波的临界角 $e=84.5^{\circ}$ ； $\tan e=A_Z/A_H=10$ ，当 $A_Z/A_H<10$ ，初至震相为 P 波；当 $A_Z/A_H>10$ 时，初至震相为 PKP。在分析地震图时，如果看到垂直分量初始振幅远远大于同一时刻水平分量，记录周期相应较小并有一些高频波叠加，一般皆可视作浅源极远震。又因短周期地震仪在较高频段通常有较高的放大倍数，所以在影区范围内的地震应当在 DD-1 仪记录图的垂直分量上量取初始震相。

由 P_{diff} 衍射波的特性可知，它是极远震的标志震相之一，但并非在所有的极远震中都能见到。只有在震中距大于 105° 、震级相当大的情况下，才出现在中长周期或长周期地震仪的记录当中。由此可以总结出判定极远震的方法。

(1) 比初动。一般地，随着震中距的增大，垂直与水平向的初至波幅度的差异也逐渐增大。因此，当地震到来时，比较三分向地震仪的水平和垂直向同一时刻的初至波幅度，可以判定地震的远近。震中距小于 144° 的极远震，在 DK-1 仪记录图上常常看不见初动，更不用说去比较它们的幅度了。这时，应当在 DD-1 地震仪记录图上量取初动。对于 DD-1 仪器来讲，有时也只有垂直向可以看到幅度较小的初动，而水平向在同一时刻几乎分辨不出初动的位置，具体差异见表 1。

表 1 不同震中距地震的记录特征

地震类别	初动幅度比较	DD-1 初动	DK-1 初动	较强震相
一般远震 $\Delta<103^{\circ}$	随震中距逼近 103° A_Z 与 A_H 差异增大	三个分向清楚	三个分向清楚	P、PP、S
极远震 $\Delta<144^{\circ}$	垂直向幅度比水平向大 10 倍	仅垂直向清楚	初动不清	PKS、SS
极远震 $\Delta>144^{\circ}$	垂直向幅度比水平向大 10 倍以上	尖锐清晰 大振幅	尖锐清晰 大振幅	PKP1、PKP2 PP、SS

比较同一时刻的初动幅度是判别极远震的重要方法之一，地震一来我们首先关注的就是初动。根据初动是否尖锐粗略判断地震的深浅；比较初动的周期和幅度来判断地震的远

近。在地震到来后的几十秒内,通过看初动就可以对这个地震的远近有一个基本的认识。

(2) 判别 PKS。PKS 震相在影区内表现为大周期、大振幅的振动记录,它与初至震相的到时差一般在 3 分 35 秒左右,且随震中距的改变变化不明显。由于它在 130° 附近聚焦,所以水平向记录很强,在 DD-1、DK-1 仪器上都有清楚的记录。在速报中,PKS 波有时会被误认为是 S 波,这时只要根据震中距查 (Rm-P) 表可知,如果是 S 波,最大面波一定出现在初动的 8 分钟以内,否则,就可能是 PKS 波。

(3) 由 PP 推 S 的位置。一般来讲,PP 在垂直分量较强,在其中某一水平分量也较强,另一水平分量很弱,而且很快达到它的最大振幅,这是识别它的一个基本特征。PP 震相通常都在 DK-1 上较清晰。假如首先确定了 PP 波,查走时表就可以确定 S 的到时,静等那个时刻看是否有 S 震相出现,如果没有,要么该 PP 震相可能不正确,或者该地震就有可能是极远震。当然,如果不是极远震, S 震相在 DK-1 上是一目了然的。

(4) 定 SS 推 PP。有时 PP 波很难确认,初看地震图记录波形以为该地震不大,没有明显的特征波形出现。但十几分钟后振幅逐渐变大,并在水平分向上出现大周期的醒目波形,这就是极远震中最常见的而且比较容易确认的 SS 波。一旦认定了它,就可根据走时表查出 PP 的位置,仔细验证,如确有 PP 波存在,那么该地震的 SS 震相就是对的。SS 震相一般也在 DK-1 上查找。

(5) 由最大面波反推震中距。极远震记录会持续很长时间,有时达几小时。查看 DK-1 地震仪的记录可以发现往往滚筒走了两圈以后才出现大的面波,这是极远震的一个基本特征。假如我们根据 SS 震相找 PP 震相,但 PP 并不明显,要确认该地震的类型可以根据 SS 定的震中距查《震相走时便查表》的第 4 页的 (Rm-P) 表。得到最大面波的到时,如果初步认定的面波到时和理论面波到时与实际基本一致,说明初定的震中距是正确的,否则 SS 震相就是定错了。这时可根据最大面波到时来估计震中距。

(6) 根据 PKP1、PKP2 找 PP。当地震初动又大又清晰且波形很尖锐,但垂直向幅度远远大于同一时刻水平向的幅度,那么这就有可能是震中距大于 144° 的极远震。这时会出现 PKP2,并随震中距的增大 PKP2 远离 PKP1。但 PKP2 和 PKP1 的到时差总是不超过两分钟,而这时 PP 波出现在 PKP1 波的 3 分钟以后。根据《震相走时便查表》,由 PKP1 和 PKP2 来验证 PP,或用 PKP1 和 PP 来验证 PKP2,由此确定震中距是否正确。如果仍无把握,可用 SS 波来验证震中距。

5 结 语

在日常分析地震图的工作中,以上几种方法是综合使用的,直到确认为止。所谓“熟能生巧”,这些方法是实际工作中总结的一些经验体会,可能有一定的片面性。因为一个观测点面对的是全世界发生的地震,地震图记录是非常复杂而多变的,尤其是极远震记录,只有多看,勤于分析,留心观察特征,在长年实践中积累经验,常作总结,才可能达到只看地震记录的初动即能确定地震类型的玄妙境界。

参考文献

1 [瑞典] O. 库尔哈奈克·地震图解析·刘启元,吴宁远,修济刚译·北京:地震出版社,1992.

2 赵荣国.论远震分析·地震地磁观测与研究,1994,15(1):21~37

3 张诚编著·地震分析基础·北京：地震出版社，1988.

TO DISTINGUISH OF SEISMIC PHASE IN THE SHALLOW VERY DISTANT QUAKE

Liu Jiayu Zhang Yimei

(*Seismological Bureau of Hunan Province, Changsha 410001*)

Abstract

This artical had introduced the P wave 's propagation process in the earth internal and the phases characteristics of very distant shallow earthquake, and concluded a method to recognize the diffent focus distance earthquakes from their 3D seismogram 's first arrival phases and amplitude ratio difference. We summarized a way, combining with the working experience, to determinate the PKS wave phase. Clerive the S wave phases from PP wave phase. Clerive PP phases from SS wave phases. Then check up the phases and? focus distance with 《SEISMICPHASES TABLE》.

Key words: Seismic wave, Seismic phase, Seismic ray, Extreme distant earthquake

日本神户大学大内 博士来我局访问及学术交流

日本神户大学都市安全研究中心大内 博士在访问了北京、云南等地之后，于 11 月 4 日在中国地震局地质所徐道一研究员的陪同下，专程到我局访问并作学术交流。在广东省地震学会组织的学术报告会上作了题为“1995 年神户地震断层与强震动灾害及地震断层系统的靴袢 (Bootstrap) 模型”的学术报告，受到热烈欢迎，并就强震动发生的机制、强震中出现的重力波、地震成因理论模型及其物理含义等问题与我局科技人员进行了广泛的学术交流。

大内 先生对我省及华南沿海的地震预报研究甚感兴趣，专门与我局预报人员就我国历史大震与日本地震活动的比较、地震预报的可能性及今后的研究方向等问题进行了探讨，他的地震预报新思路给大家留下了深刻印象。

会后，大内 博士与《华南地震》编辑部进行了座谈。作为编委，他对该刊的工作表示关注，对《华南地震》已取得的成绩表示赞赏，并表示今后将进一步支持该刊的工作，为中日两国的地震学术交流尽力。

(广东省地震局 孙丽英)