

# IASPEI 标准地震震相表

D. A. Storchak J. Schweitzer P. Bormann

## 引言

在 2001 年 8 月 23 日的河内会议上,国际地震学与地球内部物理学协会(IASPEI)地震观测与解释委员会决定成立标准震相命名工作组。该工作组将经修订的标准地震震相命名规则进行了汇总,以便在统一准则的基础上使其简明、一致、不解自明。我们并非试图创立一套所有震相的完整列表。这张表的进一步发展是开放性的。该表并不打算满足地震学家们的特定要求,来为用于特定类型研究中的各种震相命名,而是希望这张新表将确保资料分析人员及其他用户在报告和交换数据时使用扩充的标准化数据。这应当形成一个供研究与实际应用的广泛而明确的数据库。同时,这张表及下面所概述的原则可以为以前未知的地震震相的命名提供有用的指导。

新的命名规则对在上一版《地震观测实用手册》(Willmore, 1979)以及由 ISC 地震公报中所公布的规则进行了部分修改和完善。它更符合现代地球与走时模型。与以前的做法有所不同,该工作组试图确保震相名称一般都能反映波的类型及其传播路径。相应地,表征起始性质、极性等的符号将不再是震相名称的一部分。该工作组也意识到,一些地震震相的存在在某些地区是常见的,而在另一些地区只是罕见的或尚未发现,比如 Pb (P<sup>\*</sup>)、PnPn、PbPb 等。

扩充的震相名称表如下所示,明显反映了现代地震传感器和传感器台阵对甚至在经典模拟记录中极少观测到的相当弱的震相的检测能力都有显著提高。它也说明了通过诸

如频率波数( $f-k$ )分析和极化滤波的数字多通道数据处理、用合成地震图模拟观测结果或在记录图上显示震相的理论预期起始时间,改进和进行正确震相识别的可能性。最后,新采用的 IASPEI 地震格式(ISF)比 NEIC、ISC 及其他数据中心所使用的旧有格式灵活得多(见 <http://www.isc.ac.uk/Documents/isf.pdf>)。它允许对长的或以前不常见的震相名称进行报告、计算机语法分析和归档。ISF 还为除垂直分量之外的其他分量和具有不标准响应特性的仪器而接受诸如初动性质、测量的反方位角与慢度,以及除 P 波与面波之外的其他震相的振幅与周期等补充参数。

参数报告格式灵活性的增强要求对标准化加以改进,这限制了不兼容的和不明确的数据的无控增长。因此,该工作组在某些原则上达成了共识。下面,在标准化震相名称列表之前,对它们有所概述。为便于理解震相名,下面还给出了射线图。这些图都是基于平均一维双层地壳模型对地方震源,以及使用全球一维地球模型 AK135 对区域震源与远震震源所进行的计算(Kennett *et al.*, 1995)。

在给缩写的震相确定名称之前,人们应当首先在所使用的语言及其规则上意见要一致。如同在其他任何语言当中一样,我们需要适当的字母表(这里是普通拉丁字母)、数字(这里是阿拉伯数字)、+/-号、诸如规定大小写字母使用的正字法,以及描述各语素间正确顺序与相互关系的规则的句法。但是,人们应当意识到,由于带有一些历史发展语言的成分,地震学命名规则将不可避免

地形成不同于常规的例外情况,且其含义依赖于使用它们的上下文。尽管并未提供全部资料,但是下文会提到一些例外情况。注意,我们的努力目标主要在于在国际数据交换中使用标准化的名称,以便为科研建立起唯一而明确的全球数据库。规则的许多例外都与专门的、大多是地方的研究应用相关。有关震相的识别经常需要专门化的数据采集与处理步骤,而这些步骤并非地震学常规数据分析的一部分。另外,许多这些例外震相极少或从来不用于地震事件定位、震级测定、震源机制计算等各国国际数据中心的主要任务当中。所以,我们集中于对地震数据中心、对于基于广泛交换与积累的参数读数的区域与全球地球模型的改进来说都特别重要的震相。此外,我们为某些波的类型与震相名称最初的定义增加了说明。

## 1 用于描述地震震相的标准字母、符号与句法

### 1.1 大写字母

代表地震体波基本类型的单个大写字母包括:

- P: 穿过地壳和地幔的纵波,来源于 *undae primae* (拉丁文)=初至波(Borne, 1904);
- K: 穿过地球外核的纵波,来源于 Kern (德文)=地核(Sohon, 1932; Bastings, 1934);
- I: 穿过地球内核(*inner core*)的纵波(Jeffreys and Bullen, 1940);
- S: 穿过地壳和地幔的横波,来源于 *undae secundae* (拉丁文)=续至波(Borne, 1904);
- T: 部分以声波的形式在海洋中传播的波,来源于 *undae tertiae* (拉丁文)=第三个到达的波(Linehan, 1940);
- J: 穿过地球内核的横波(Bullen,

1946)。

### 例外情况

• 命名规则中使用的大写字母 *N* 不代表震相名称,而代表到达台站之前波传播的(或  $N-1$  次反射而形成的)分段数目。 $N$  通常应当紧随其应用的震相符号之后。参见下面的句法实例。

• 地震事件发生于地球表面以下的情况下,小写字母 *p* 和 *s* 表示相对而言比较短的上行 *P* 波或 *S* 波的一段,它们在自由表面处发生反射,同时也可能在发生转换之后以下行 *P* 波或 *S* 波的形式继续传播。这样,地震深震震相(例如 *pP*、*sP*、*sS*、*pPP*、*sPP*、*pPKP*等)就被唯一地确定了。识别和报告这样的震相对于震源深度的测定是极其重要的(Scraser, 1931; Stechschulte, 1932)。

• 对地壳和上地幔间断面进行详细研究的许多研究人员都用小写字母 *p* 和 *s* 分别表示 *P* 波和 *S* 波震相转换或多重反射中的一段,而这一段较短,它既可以是上行的,也可以是下行的。

代表面波的一个或两个大写字母包括:

- L: 未特别说明的(相对)较长周期面波,来源于 *undae longae* (拉丁文)=长波(Borne, 1904);
- R: 瑞雷(Rayleigh)波(短周期直至甚长周期的地幔面波)(Angenheister, 1921);
- Q: 勒夫波,来源于 *Querwellen* (德文)=横波(Angenheister, 1921);
- G: (甚长周期)全球(地幔)勒夫波,首先是由 Gutenberg 和 Richter (1934)观测到并报告的;为了纪念 Gutenberg, Byerly 提出使用 *G* 来表示这种波(Richter, 1958);
- LR: 长周期瑞雷波,通常与面波波列中的艾里震相最大值有关;
- LQ: 长周期勒夫波。

### 1.2 小写字母与符号

单个小写字母一般指明震相在地壳或上地幔中的作用,即指明该震相的转向点位于

地壳或上地幔中,或者震相在间断面处反射或最终转换:

- g: 跟随在震相名之后,用以表征波的“底部”到达上地壳[“花岗岩层”(granitic)],即在 P 或 S 体波的情况下有转向点]或只是在上地壳内传播(面波)(例如 Pg、Sg、Rg)(Jeffreys, 1926);

- b: 跟随在震相名之后,用以表征体波底部到达下地壳[“玄武岩层”(basaltic)](Jeffreys, 1926)[例如 Pb、Sb; 这些震相的另外的名称为 P\*、S\* (Conrad, 1925)];

- n: 跟随在震相名之后,用以表征其底部到达地球地幔顶层或在地幔顶层中以首波的形式传播的 P 波或 S 波(例如 Pn、Sn); 该符号在 Mohorovičić 发现了地壳并将地壳震相与正常(“normal”=n)地幔震相分开之后而引入(Mohorovičić, 1910);

- m: 在莫霍(Moho)间断面外侧的(向上)反射波(例如 PmP、SmS);

- c: 在核幔边界(Core-mantle boundary, CMB)外侧的反射波; 该用法由 James B. Macelwane 提出(见 Gutenberg, 1925);

- i: 在内核边界(inner core boundary, ICB)外侧的反射波;

- z: 在(除自由表面、核幔边界或内核边界之外)深度为 z(以千米为单位)处的间断面的反射波。间断面外侧向上的反射波可以另外补充一个正号(+) (例如 P410+P, 但这不是必须的), 而间断面内侧向下的反射波必须补充一个负号(-) (例如 P660-P)。

大写字母震相名之后的两个小写字母表示该震相所属的走时分支。由于地球的几何与速度结构,相同类型的地震波的走时曲线可以发育成 3 个不同的分支,在某些情况下,这些分支分离得很好。因此,通常可将核震相的不同分支与其在自由表面或核幔边界处的多重反射波区分开来。例子有 PKPab、PKPbc、PKPdf、SKSac、SKKSac 等。用字母 ab、bc 和 df 将不同的 PKP 分支分离是由

Jeffreys 和 Bullen (1940)引入的。

一个大写字母震相名后面可以跟随 3 个小写字母,用以指明其特性,例如,作为由散射引起的主震相的前驱波(pre) (例如 PKPpre),或者作为将主震相的走时分支延伸到外核影区的衍射波(例如 P 波在外核影区中的 Pdf)。

### 1.3 生成复杂震相名称的句法

由于地球内部的折射、反射与转换,大部分震相在其到达台站之前都要经历复杂的传播路径。因此,大部分震相就不能以一种望文生义的方式用单个大写字母符号来描述。通过将如上所述的大小写字母结合起来,人们就能够描述甚至相当复杂的折射、反射或转换震相的性质。符号的顺序(句法)规定了由于发生折射、反射与转换事件,而在时间(由左至右)与空间上所形成的各震相段的顺序。

## 2 生成复杂标准震相名称的实例

复杂震相名称的传统实例如下。

### 2.1 折射与转换折射波

- PKP 是单纯的折射纵波。其传播路径中的第一部分以 P 波的形式穿过地壳和地幔,第二部分穿过外核(K),而第三部分再次以 P 波的形式穿过地幔和地壳。PKP 的另一个名称为 P' (Angenheister, 1921),应当读作“P 撇”。

- PKIKP (PKPdf 的另一个名称)也是单纯的折射纵波。其传播路径中的第一部分以 P 波的形式穿过地壳和地幔,第二部分穿过外核,第三部分穿过内核,第四与第五部分返回,再次穿过外核及地幔和地壳。

- SKS 是转换折射波。它以剪切波的形式穿过地壳和地幔,当折射进入外核时,被转换为纵向 P 波,而当进入地幔时,再次转换回 S 波的形式。

- SKP 与 PKS 是只有一次转换的转换折射波,它分别在进入地核时由 S 转换为

P, 或在离开地核时由 P 转换为 S。

## 2.2 单纯的反射波

- 在自由表面处或核幔边界内侧(只有向下)反射的情况下, 只是重复震相符号, 例如 PP、SS (Geiger, 1909)、PPP、SSS、KK、KKK 等。

- 由莫霍面、核幔边界或内核边界的外侧向上反射的情况是通过在震相符号之间分别插入 m、c 或 i 来表示的, 例如 PmP、PcP、ScS、PKiKP。

- 由地幔或地壳内在深度  $z$  处的任意其他间断面的反射, 可以来自间断面的内侧(—; 即向下返回进入地幔), 也可以来自间断面的外侧(+; 即返回到地表)。为了区分这两种可能性,  $z$ (或以千米为单位的相应的数字)的后面必须跟随正负号; 例如 P410+P 或 P660—P。

- 为了简化由于多重反射而形成的多段震相的名称, 人们也可以将其写作“震相名称  $N$ ”。这种缩写方式通常是就带有长震相名的多重震相而言的, 诸如 PmP2 表示 PmPPmP (PmP 在自由表面处的反射波), SKS2 表示 SKSSKS ( $S'$  的另一个名称, SKS 在自由表面处的反射波), PKP3 表示 PKPPKPPK (PKP 在自由表面处的二次反射, 是  $P'$  的另一个名称), 以及 P4KP 表示 PKKKKP (P 波在核幔边界内侧的三次反射波)。

另外还有两点注意事项。第一, PKP2=PKPPK 现在分别是  $P'2$  或  $P'P'$  的另一个名称。这不应被误解为原来的用法, 即用 PKP2 表示 PKPab。第二, 对于核幔边界内侧的多重反射波, 工作组遵循了已建立的传统, 并未将数字  $N$  置于相关震相符号 K 之后, 而是将其置于 K 之前。

## 2.3 反射点处发生转换的反射波

当震相改变其性质由 P 转换为 S 或由 S 转换为 P 时, 写作:

- PS(第一段为 P, 第二段为 S)和 SP

(第一段为 S, 第二段为 P)是在自由表面处向下进入地幔的反射波(Geiger and Gutenberg, 1912a, 1912b);

- PmS 和 SmP 分别表示在莫霍面外侧的反射和转换波;

- PcS 和 ScP 表示核幔边界外侧的反射和转换波;

- $Pz+S$  和  $Sz-P$  分别表示在深度为  $z$  处的间断面外侧和内侧的反射和转换波。注意, “—”是必须的, 而 “+”不是。

关于这一点, 值得一提的是, 因为液态外核不允许 S 波的传播, 所以不可能在由核幔边界内侧反射回来进入外核时发生波型转换。

工作组根据这些方法与规则确定了新的 IASPEI 标准的震相名称。在新名称与其他所使用的传统名称不一致之处, 也给出了传统名称。这些传统名称要么仍以另一个名称(另称为)的形式被接受, 要么是不应当再使用的原来的名称(原为)。

## 3 一些 IASPEI 标准震相的射线图

我们显示了上述许多震相穿过地球时的射线路径。地壳震相的 3 张图是说明双层地壳中主要射线路径的示意图(图 1)。其他各图(图 2 至图 6)中的射线都使用 WKB3 程序(Chapman, 1978; Dey-Sarkar and Chapman, 1978)的射线图部分进行了计算; 我们选择了 AK135 地球模型(Kennett *et al*, 1995)作为速度模型。对于某些类型的 P 波和 S 波震相, 穿过地球的射线路径非常相似, 这是因为波速比  $V_P/V_S$  的变化不足以给出差别很大的射线图。在这种情况下, 我们只计算 P 型射线的射线路径(即 P、Pdif、pP、PP、P660P、P660-P、PcP、PcP2 和 PcP4), 并假设相关 S 型震相的相应射线路径非常相似。为了显示具有相似名称的震相

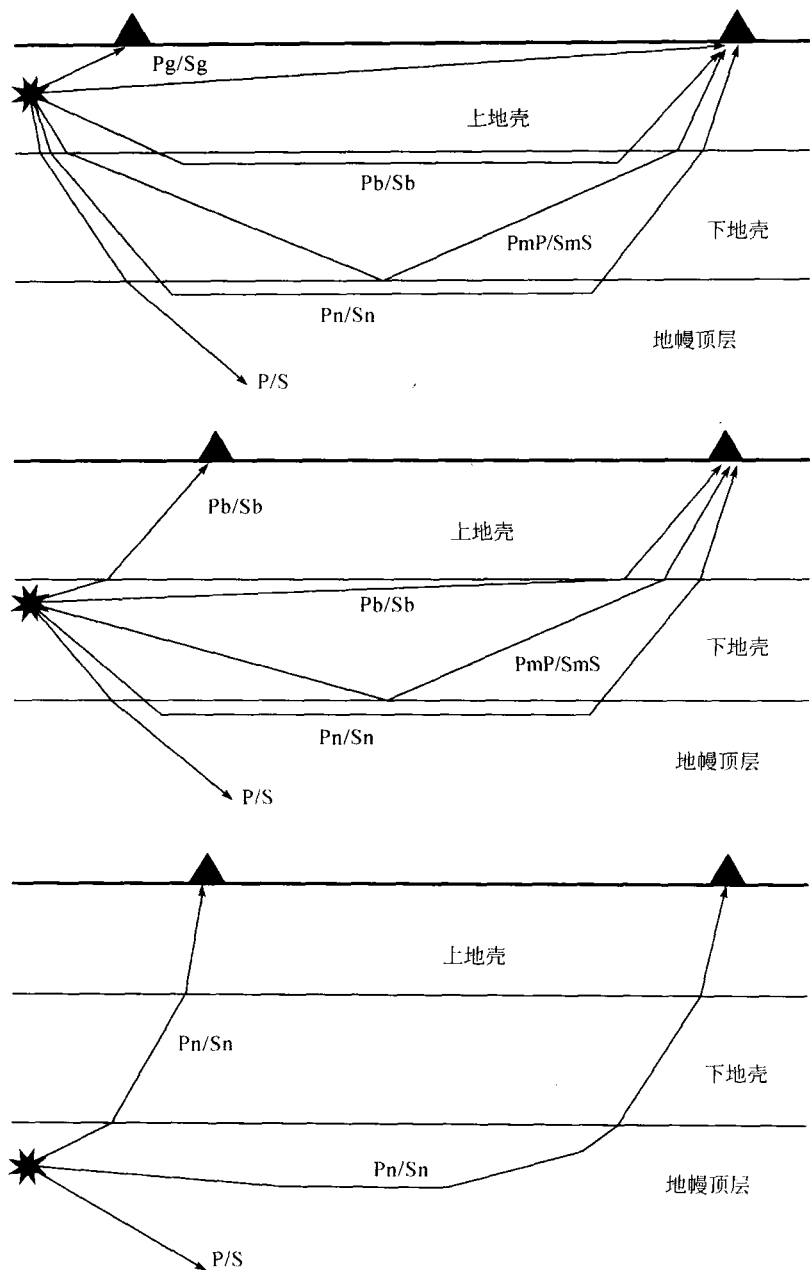


图 1 双层地壳情况下所观测到的上地壳(上图)、下地壳(中图)和地幔顶层(下图)中,距震源为地方和区域距离范围内( $0^{\circ} < D < 20^{\circ}$ 左右)的地震“地壳震相”

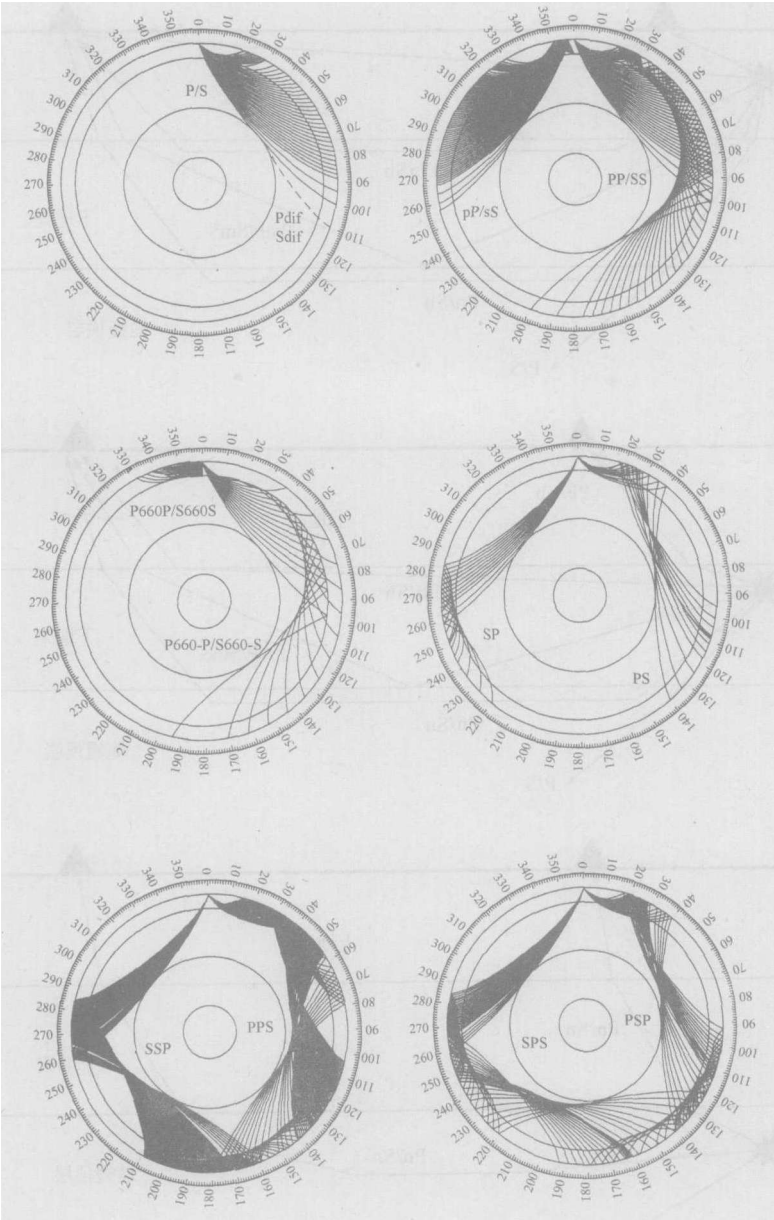


图 2 远震距离范围内( $D>20^{\circ}$ 左右)所观测到的地幔震相

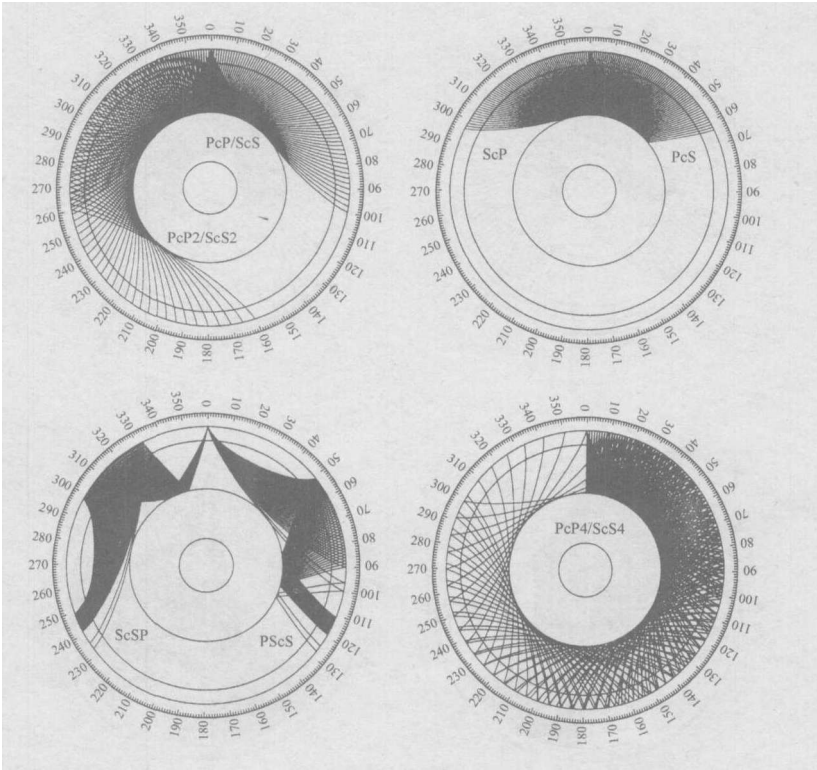


图 3 地核反射波

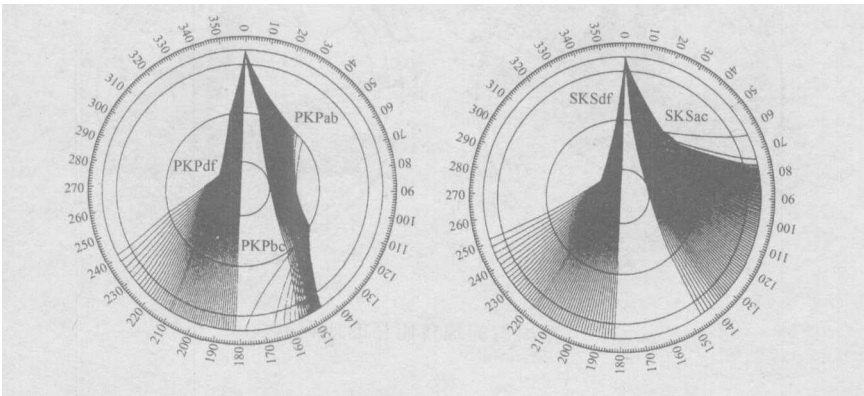


图 4 直达地核震相的地震射线

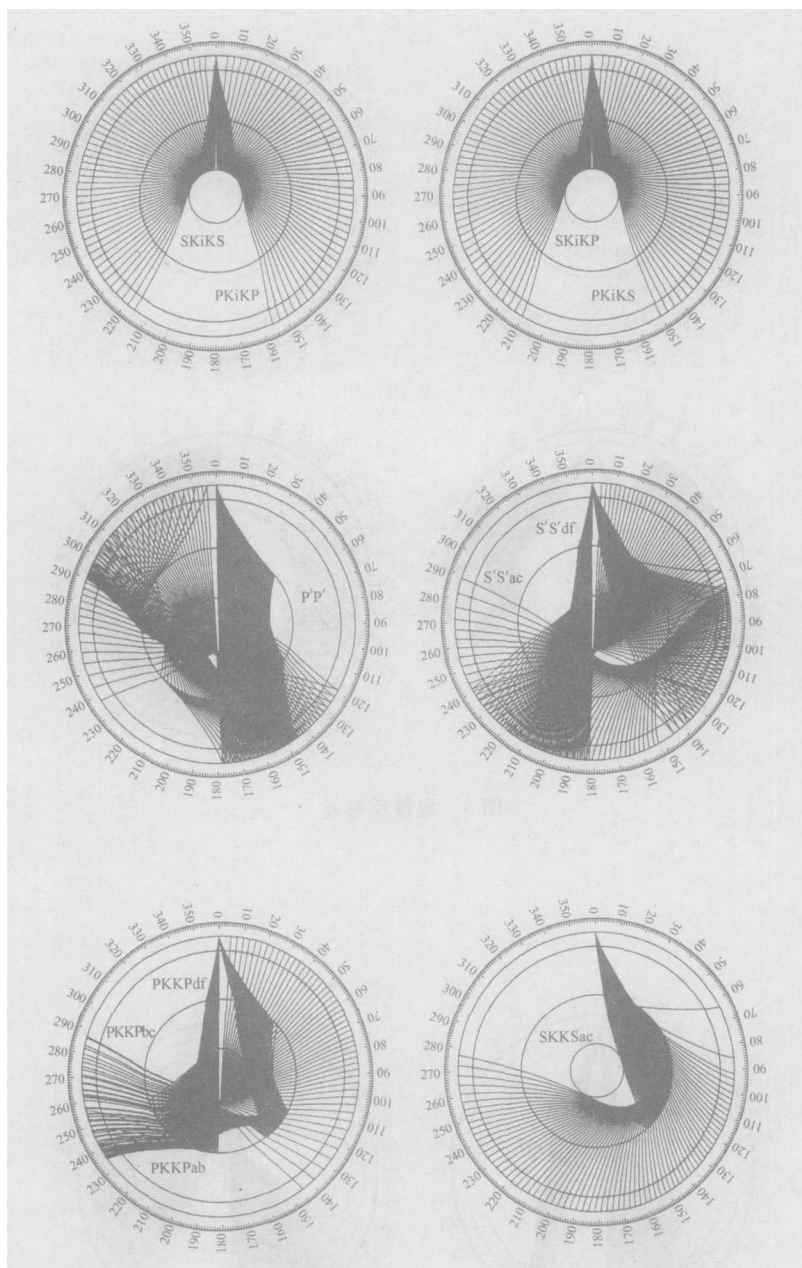


图 5 单反射的地核震相的地震射线



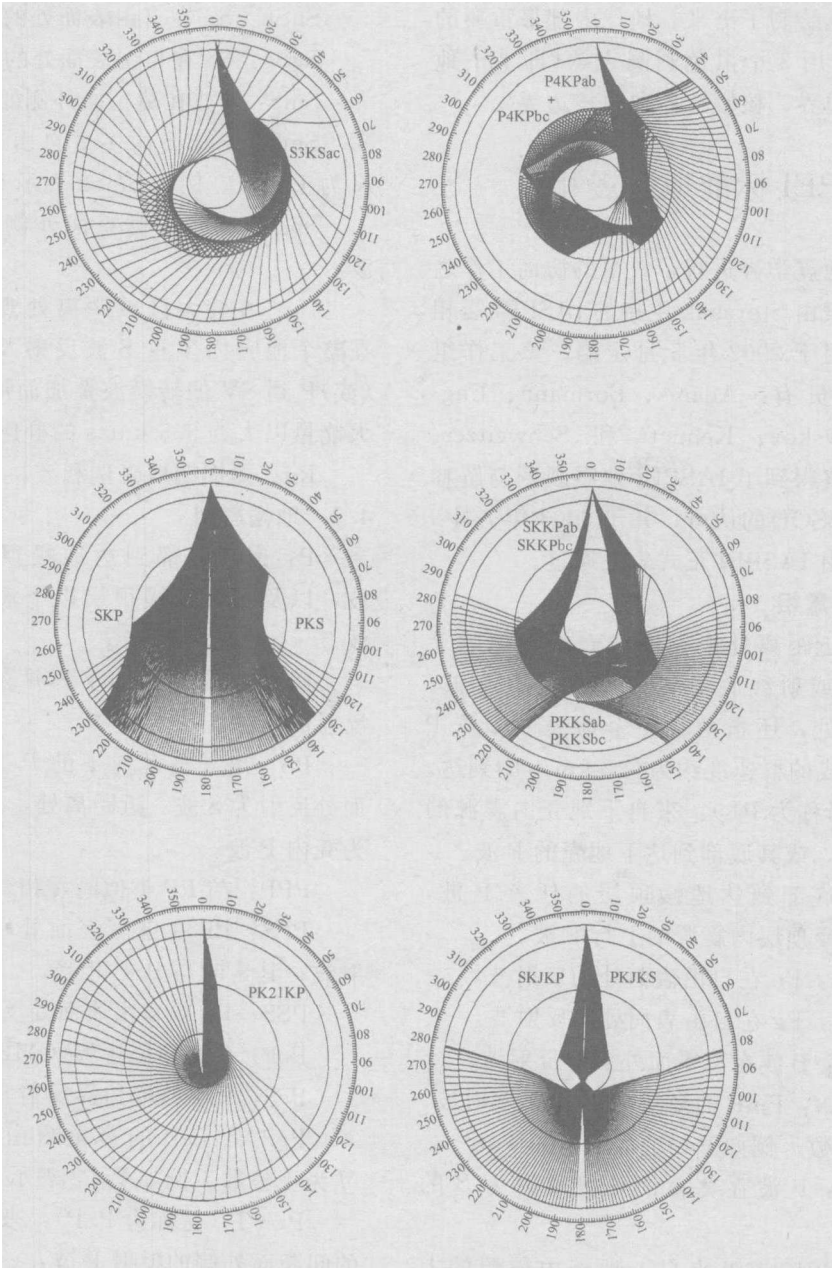


图 6 多重反射与转换的地核震相的地震射线

的不同射线路径,我们在许多图上都将射线离开震源一次向左和一次向右的路径分别以不同的颜色绘制了出来。地球内部最重要的 3 个间断面用 3 个黑色圆圈表示(即上下地幔之间的边界、核幔边界和内核边界)。

## 4 IASPEI 标准地震震相表

在与地震学界进行了大量的协商工作之后,这张表由 Storchak 主持的 IASPEI 震相命名工作组于 2002 年 5 月定稿。该工作组的其他成员有:Adams、Bormann、Engdahl、Havskov、Kennett 和 Schweitzer。这张表最终得到了 IASPEI 地震观测与解释委员会(CoSOI)的认可,并于 2003 年 7 月 9 日在札幌由 IASPEI 正式表决通过。

### 4.1 地壳震相

Pg: 近距离处来自上地壳内震源的上行 P 波,或射线底部到达上地壳的 P 波;更远距离处,还指由在整个地壳内多重 P 波反射形成的群速度约为 5.8 km/s 的到达。

Pb(另称为  $P^*$ ): 来自下地壳内震源的上行 P 波,或其底部到达下地壳的 P 波。

Pn: 底部到达地幔顶层的任意 P 波,或来自地幔顶层内震源的上行 P 波。

PnPn: Pn 在自由表面处的反射波。

PgPg: Pg 在自由表面处的反射波。

PmP: P 波在莫霍面外侧的反射波。

PmPN: PmP 的多重自由表面反射波; $N$  为正整数。例如 PmP2 表示 PmPPmP。

PmS: P 波在莫霍面外侧反射为 S 的波。

Sg: 近距离处来自上地壳内震源的上行 S 波,或其底部到达上地壳的 S 波;更远距离处,还指由在整个地壳内多重 S 波反射及 SV 到 P 和(或) P 到 SV 的转换波叠加而形成的到达。

Sb(另称为  $S^*$ ): 来自下地壳内震源的上行 S 波,或其底部到达下地壳的 S 波。

Sn: 其底部到达地幔顶层的任意 S 波,或来自地幔顶层内震源的上行 S 波。

SnSn: Sn 在自由表面处的反射波。

SgSg: Sg 在自由表面处的反射波。

SmS: S 波在莫霍面外侧的反射波。

SmSN: SmS 的多重自由表面反射波; $N$  为正整数。例如 SmS2 表示 SmSSmS。

SmP: S 波在莫霍面外侧反射为 P 的波。

Lg: 在较大区域距离处观测到的、由在整个地壳内多重 S 波反射及 SV 到 P 和(或)P 到 SV 的转换波叠加而形成的波。最大能量以大约 3.5 km/s 的群速度传播。

Rg: 短周期地壳瑞利波。

### 4.2 地幔震相

P: 射线底部到达地幔顶层以下的纵波,以及来自地幔顶层以下震源的上行纵波。

PP: 离开震源向下,并在自由表面处反射的 P 波。

PS: 离开震源向下的 P 波,在自由表面处反射为 S 波。近距离处,其第一段表现为壳内 P 波。

PPP: 与 PP 类似的震相。

PPS: PP 在自由表面处转换为 S 的反射波;其走时与 PSP 相当。

PSS: PS 在自由表面处反射的 S 波。

PcP: P 在核幔边界(CMB)的反射波。

PcS: P 在核幔边界反射转换为 S 的波。

PcPN: PcP 的多重自由表面反射波; $N$  为正整数。例如 PcP2 表示 PcPPcP。

$P_z+P$  (另称为  $P_zP$ ): 来自深度为  $z$  处的间断面外侧的反射 P 波, $z$  为以千米为单位的正数。例如 P660+P 表示来自 660 km 处间断面上面的反射 P 波。

$P_z-P$ : 来自深度为  $z$  处的间断面内侧的反射 P 波。例如 P660-P 表示来自 660 km 处间断面下面的反射 P 波,这意味着该震相先于 PP。

$P_z+S$  (另称为  $P_zS$ ): 来自深度为  $z$  处的间断面外侧的 P 到 S 的转换反射波。

$P_z-S$ : 来自深度为  $z$  处的间断面内侧的 P 到 S 的转换反射波。

$PScS$ : 离开震源向下的 P 波, 在自由表面处反射为  $ScS$  波。

$Pdif$  (原为  $Pdiff$ ): 地幔中沿核幔边界产生衍射的 P 波。

$S$ : 射线底部到达地幔顶层以下的剪切波, 以及来自地幔顶层以下震源的上行剪切波。

$SS$ : 离开震源向下, 并在自由表面处反射的 S 波。

$SP$ : 离开震源向下的 S 波, 并在自由表面处反射为 P 波。近距离处, 其第二段表现为壳内 P 波。

$SSS$ : 与  $SS$  类似的震相。

$SSP$ :  $SS$  在自由表面处反射转换为 P 的波; 其走时与  $SPS$  相当。

$SPP$ :  $SP$  在自由表面处反射为 P 的波。

$ScS$ : S 在核幔边界的反射波。

$ScP$ : S 在核幔边界反射转换为 P 的波。

$ScSN$ :  $ScS$  的多重自由表面反射波;  $N$  为正整数。例如  $ScS_2$  表示  $ScSScS$ 。

$S_z+S$  (另称为  $S_zS$ ): 来自深度为  $z$  处的间断面外侧的反射 S 波,  $z$  为以千米为单位的正数。例如  $S_{660}+S$  表示来自 660 km 处间断面上面的反射 S 波。

$S_z-S$ : 来自深度为  $z$  处的间断面内侧的反射 S 波。例如  $S_{660}-S$  表示来自 660 km 处间断面下面的反射 S 波, 这意味着该震相先于  $SS$ 。

$S_z+P$  (另称为  $S_zP$ ): 来自深度为  $z$  处的间断面外侧的 S 到 P 的转换反射波。

$S_z-P$ : 来自深度为  $z$  处的间断面内侧的 S 到 P 的转换反射波。

$ScSP$ :  $ScS$  在自由表面处反射为 P 的波。

$Sdif$  (原为  $Sdiff$ ): 地幔中沿核幔边界

产生的衍射 S 波。

### 4.3 地核震相

$PKP$  (另称为  $P'$ ): 射线底部到达地核而未特别说明的 P 波。

$PKPab$  (原为  $PKP_2$ ): 底部到达外核上部的 P 波;  $ab$  指的是  $PKP$  焦散点的后退分支。

$PKPbc$  (原为  $PKP_1$ ): 底部到达外核下部的 P 波;  $bc$  指的是  $PKP$  焦散点的前进分支。

$PKPdf$  (另称为  $PKIKP$ ): 底部到达内核的 P 波。

$PKPpre$  (原为  $PKhKP$ ): 由于核幔边界附近或核幔边界处的散射而形成的、在  $PKPdf$  之前的震相。

$PKPdif$ : 外核中在内核边界 (ICB) 处产生的衍射 P 波。

$PKS$ : 底部到达地核的 P 波, 在核幔边界转换为 S, 且并未特别说明的波。

$PKSab$ : 底部到达外核上部的  $PKS$  震相。

$PKSbc$ : 底部到达外核下部的  $PKS$  震相。

$PKSdf$ : 底部到达内核的  $PKS$  震相。

$P'P'$  (另称为  $PKPPKP$ ):  $PKP$  在自由表面处的反射波。

$P'N$  (另称为  $PKPN$ ): 在自由表面经过  $N-1$  次反射的  $PKP$  震相。  $N$  为正整数。例如  $P'_3$  表示  $P'P'P'$ 。

$P'_z-P'$ : 由地核外深度为  $z$  处的间断面内侧反射的  $PKP$  震相, 这意味着它先于  $P'P'$ ,  $z$  为以千米为单位的正数。

$P'S'$  (另称为  $PKPSKS$ ):  $PKP$  在自由表面处反射转换为  $SKS$  的震相, 其他实例如  $P'PKS$ 、 $P'SKP$ 。

$PS'$  (另称为  $PSKS$ ): 离开震源向下的 P 波, 在自由表面处反射为  $SKS$  的震相。

$PKKP$ : 在核幔边界内侧经过一次反射而未特别说明的 P 波。

$PKKPab$ : 底部到达外核上部的  $PKKP$  震相。

PKKPbc: 底部到达外核下部的 PKKP 震相。

PKKPdf: 底部到达内核的 PKKP 震相。

PNKP: 由核幔边界内侧经过  $N-1$  次反射的 P 波,  $N$  为正整数。

PKKPpre: 由于核幔边界附近的散射而形成的、在 PKKP 之前的震相。

PKiKP: 由内核边界反射的 P 波。

PKNiKP: 由内核边界内侧经过  $N-1$  次反射的 P 波。

PKJKP: 以 P 波形式穿过外核, 且以 S 波的形式穿过内核的 P 波。

PKKS: 由核幔边界内侧经过一次反射的 P 波, 且在核幔边界处转换为 S 波的震相。

PKKSab: 底部到达外核上部的 PKKS 震相。

PKKSbc: 底部到达外核下部的 PKKS 震相。

PKKSdf: 底部到达内核的 PKKS 震相。

PcPP'(另称为 PcPPKP): 在自由表面处由 PcP 到 PKP 的反射波。其他实例如 PcPS'、PcSP'、PcSS'、PcPSKP、PcSSKP。

SKS(另称为 S'): 以 P 波的形式穿过地核且未特别说明的 S 波。

SKSac: 底部到达外核的 SKS 震相。

SKSdf(另称为 SKIKS): 底部到达内核的 SKS 震相。

SPdifKS(另称为 SKPdifS): 在射线路径上带有一段震源处和(或)接收点一方的地幔面上 Pdif 波的 SKS 震相。

SKP: 穿过地核的 S 波, 并以 P 波的形式穿过地幔, 该震相未特别说明。

SKPab: 底部到达外核上部的 SKP 震相。

SKPbc: 底部到达外核下部的 SKP 震相。

SKPdf: 底部到达内核的 SKP 震相。

S'S'(另称为 SKSSKS): SKS 在自由表面处的反射波。

S'N: 在自由表面处经过  $N-1$  次反射的 SKS 震相,  $N$  为正整数。

S'z-S': 由地核外深度为  $z$  处的间断面内侧反射的 SKS 震相, 这意味着它先于 S'S',  $z$  为以千米为正数的正数。

S'P'(另称为 SKSPKP): 在自由表面处 SKS 到 PKP 的转换反射波, 其他实例如 S'SKP、S'PKS。

S'P(另称为 SKSP): 自由表面处 SKS 到 P 的反射波。

SKKS: 在核幔边界内侧经过一次反射而未特别说明的 S 波。

SKKSac: 底部到达外核的 SKKS 震相。

SKKSdf: 底部到达内核的 SKKS 震相。

SNKS: 由核幔边界内侧经过  $N-1$  次反射的 S 波,  $N$  为正整数。

SKiKS: 以 P 波的形式穿过外核, 并由内核边界反射的 S 波。

SKJKS: 以 P 波的形式穿过外核, 并以 S 波的形式穿过内核的 S 波。

SKKP: S 波在核幔边界内侧反射为 P 波, 并以 P 波的形式穿过地核, 然后又以 P 波的形式继续在地幔中传播的震相。

SKKPab: 底部到达外核上部的 SKKP 震相。

SKKPbc: 底部到达外核下部的 SKKP 震相。

SKKPdf: 底部到达内核的 SKKP 震相。

ScSS'(另称为 ScSSKS): 在自由表面处由 ScS 到 SKS 的反射波, 其他实例如 ScPS'、ScSP'、ScPP'、ScSSKP、ScPSKP。

#### 4.4 震源附近地表反射震相(深震震相)

pPy: 上行 P 波在自由表面或洋底反射而形成的、如上定义的所有 P 型波始(Py)。

警告：字符“y”仅仅表示能够由自由表面产生的任意震相的一个通配符。例如：pP、pPKP、pPP、pPcP等。

sPy：上行S波在自由表面或洋底反射而形成的所有Py震相。例如sP、sPKP、sPP、sPcP等。

pSy：上行P波在自由表面或洋底反射而形成的、如上定义的所有S型起始(Sy)。例如pS、pSKS、pSS、pScP等。

sSy：上行S波在由自由表面或洋底反射而形成的所有Sy震相。例如sSn、sSS、sScS、sSdif等。

pwPy：上行P波在大洋自由表面处反射而形成的所有Py震相。

pmPy：上行P波在莫霍面内侧反射而形成的所有Py震相。

#### 4.5 面波

L：未特别说明的长周期面波。

LQ：勒夫波。

LR：瑞雷波。

G：勒夫型地幔波。

GN：勒夫型地幔波，N为整数，用以指明波包是沿大圆的小弧(奇数)或大弧(偶数)传播的。

R：瑞雷型地幔波。

RN：瑞雷型地幔波，N为整数，用以指明波包是沿大圆的小弧(奇数)或大弧(偶数)传播的。

PL：紧随P波起始之后的基阶漏能式P波，该震相由P波能量进入地壳和上地幔形成的波导层中耦合而形成。

SPL：在PL波导层中耦合的S波，其他实例如SSPL、SSSPL。

#### 4.6 声学震相

H：来自水下震源的水声波，它们在地下发生了耦合。

HPg：在接收点一方转换为Pg的H震相。

HSg：在接收点一方转换为Sg的H震相。

HRg：在接收点一方转换为Rg的H震相。

I：在地下发生耦合的大气声波到达。

IPg：在接收点一方转换为Pg的I震相。

ISg：在接收点一方转换为Sg的I震相。

IRg：在接收点一方转换为Rg的I震相。

T：第三个到达的(Tertiary)波。这是来自固体地球中震源处的声波，通常由声通道[SOFAR, SOund Fixing And Ranging (声测位与测距)的缩写]在低速海洋水层中捕获。

TPg：在接收点一方转换为Pg的T震相。

TSg：在接收点一方转换为Sg的T震相。

TRg：在接收点一方转换为Rg的T震相。

#### 4.7 振幅测量震相

A：未特别说明的振幅测量结果。

AML：近震震级的振幅测量结果。

AMB：体波震级的振幅测量结果。

AMS：面波震级的振幅测量结果。

END：对于持续时间震级，记录中可见的结束处的时间。

#### 4.8 未识别的到达

x(原为i、e、NULL)：未识别的到达。

rx(原为i、e、NULL)：未识别的区域地震的到达。

tx(原为i、e、NULL)：未识别的远震到达。

Px(原为i、e、NULL、(P)、P?)：未识别的P型到达。

Sx(原为i、e、NULL、(S)、S?)：未识别的S型到达。

译自：Seism Res Lett. 2003. 74(6): 761~772

原题：The IASPEI standard seismic phase list  
(中国地震局地球物理研究所 邹立晔译；王碧泉校)