

从近震到远震 震相序列全解析

朱战斌◎编著

地震出版社

从近震到远震 震相序列全解析

朱战斌 编著

地震出版社

前 言

随着宽频带大动态范围的数字化地震记录系统的广泛应用，更多的地震震相被记录下来。同时，伴随着全球数字地震记录系统的广泛使用以及时间服务系统精确度的提高，编制与实际地震记录更加符合的区域地震走时表也成为了可能。中国从1986年的CDSN系统开始运作起，至2000年全国已大范围地进入了数字地震记录替代模拟地震记录的数字时代。同模拟记录相比，数字地震记录系统记录到了更多的地震震相，同时在震相的幅频特征上也呈现出了新的特点。为了更好地利用和发掘数字地震记录的优势，为开展更广泛的地震科研活动准备更充分和扎实的地震震相数据，就有必要对数字地震仪器记录到的不同震中距离的地震震相序列、震相幅频特性等有进一步的认识。

北京地震台始建于1955年，其前身是1930年李善邦先生主持筹建的鹫峰地震台。北京地震台作为CDSN的首批数字化记录台站，从1986年开始数字化地震记录，积累了大量的数字地震记录资料。2009年我们利用这些地震资料，结合北京台周边的地震层析成像，研制了北京台的近、远震地震走时表。在研制北京台地震走时表的工作中，我们发现了一些在模拟地震记录时期很少分析到的地震震相以及在模拟地震记录时期对一些震相的认识

上存在的问题。本书就是基于北京台数字宽频地震记录图并结合北京台地震走时表,按照地震震中距由近及远的原则,对不同区域的地震震相序列、震相记录表现特征、幅频特性等做初步的归纳和总结。我们试图将地震图上所有清晰记录到的已知震相都能标注出来。由于本书涉及震相比较多,同时绝大多数震相也是第一次去分析和认识,所以难免出现某些震相名标注得不恰当。在此欢迎阅读此书的读者指正(champinzhu@163.com)。本书震相名称均采用 IASPEI91 震相名表,震相的优势周期均取自宽频带原始记录。本图集中的所有地震图均来自北京白家疃地震台 STS-1 型宽频地震计的原始记录(ORG)。地震图例中还包括了一些经过宽频仿真后的世界台网短周期记录图(WWSSN)、基尔诺斯中长周期记录图(KIRNOS)和长周期(LPSRO)记录图。

朱战斌

2011 年 12 月 25 日

术语和符号说明*

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——底部到达最上层地幔的任意 P 波或来自最上层地幔内震源的上行 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。

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——其底部到达最上层地幔的任意 S 波或来自最上层地幔内震源的上行 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。

2. 地幔震相

P——射线底部到达最上层地幔以下的纵波以及来自最上层地幔以下震

* 本表摘自 IASPEI 标准震相名表（Storchak D.A., Schweizer J., Bormann P., 2003. The IASPEI Standard Seismic Phase List[J]. Seismological Research Letters, 74(6) 761 ~ 772）。

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

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 在核慢边界（CMB）的反射波。

PcS——P 在核慢边界反射转换为 S 的波。

Pdif（原 Pdiff）——地幔中沿核慢边界产生绕射的 P 波。

S——射线底部到达最上层地幔以下的剪切波以及来自最上层地幔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。

ScS——S 在核慢边界的反射波。

ScP——S 在核慢边界反射转换为 P 的波。

Sdif（原 Sdiff）——地幔中沿核慢边界产生的绕射 S 波。

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 PKP2）——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 PKP1）——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。

PKPdif——外核中在内核边界（ICB）处产生的绕射 P 波。

PKS——底部到达地核的 P 波，在核慢边界转换为 S，并且未特别说明的波。

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。

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。

PKiKP——由内核边界反射的 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。

SKS (另称为 S')——以 P 波的形式穿越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。

SKP——穿越地核的 S 波, 并以 P 波的形式穿越地幔, 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。

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。

SKKP——S 波在核幔边界内侧反射为 P 波, 并以 P 波的形式穿越地核, 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。

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 型起始（Py）。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。

目 录

一、近震地震图集·····	1
(一) 近震概述 ·····	1
(二) 近震实例 ·····	3
1. $\Delta=0.98^\circ$ $h=15\text{km}$ $M_L=2.7$ (河北省廊坊霸州市堂二里镇)	
震相序列: Pn、Pg、pPn、sPb、Sb、Sg、sSb、sSn ·····	3
2. $\Delta=0.99^\circ$ $h=15\text{km}$ $M_L=3.3$ (天津市宝坻区)	
震相序列: Pb、Pg、pPb、pPn、sPg、sPb、Sb、Sg、sSb ·····	4
3. $\Delta=1.2^\circ$ $h=17\text{km}$ $M_L=3.4$ (天津市津南区)	
震相序列: Pn、Pb、Pg、sPg、PnPn、Sn、Sb、Sg、sSb ·····	5
4. $\Delta=1.5^\circ$ $h=13\text{km}$ $M_L=3.7$ (河北省保定市蠡县)	
震相序列: Pn、Pb、Pg、sPg、PnPn、Sg、sSb ·····	6
5. $\Delta=1.57^\circ$ $h=15\text{km}$ $M_L=3.5$ (河北省唐山市丰南区)	
震相序列: Pb、Pg、pPb、PbPb、sPg、Sb、Sg、sSb ·····	7
6. $\Delta=1.6^\circ$ $h=9\text{km}$ $M_L=2.9$ (河北省唐山市开平区)	
震相序列: Pn、Pg、pPn、PnPn、Sg、sSb ·····	8
7. $\Delta=1.77^\circ$ $h=15\text{km}$ $M_L=2.7$ (河北省张家口市张北县)	
震相序列: Pn、Pb、pPb、PbPb、Sb、Sg、sSb ·····	9
8. $\Delta=1.8^\circ$ $h=19\text{km}$ $M_L=2.9$ (河北省唐山市滦南县)	
震相序列: Pn、Pb、Pg、pPn、pPb、PbPb、sPn、Sn、Sb、Sg、 sSn、SbSb、SnSn ·····	10
9. $\Delta=2.1^\circ$ $h=14\text{km}$ $M_L=4.0$ (河北省秦皇岛市青龙满族自治县)	
震相序列: Pn、Pb、pPn、Pg、sPn、sPg、Sn、Sb、Sg、sSb、 SbSb、SnSn ·····	11

10. $\Delta=2.1^\circ$ $h=9$ km $M_L=4.7$ (河北省秦皇岛市卢龙县)
震相序列: Pn、Pb、sPn、pPb、sPb、PnPn、Sn、sSn、Sb、sSb、
Sg、SnSn 12
11. $\Delta=2.1^\circ$ $h=16$ km $M_L=3.1$ (山西省大同市浑源县)
震相序列: Pb、pPn、Pg、pPb sPn、Sg、SbSb、SnSn 13
12. $\Delta=2.3^\circ$ $h=18$ km $M_L=3.6$ (河北省唐山市乐亭县)
震相序列: Pn、pPn、sPn、Pg、sPb、sPg、Sn、sSn、sSb、SnSn 14
13. $\Delta=2.4^\circ$ $h=14$ km $M_L=3.1$ (山西省忻州市代县)
震相序列: Pn、pPn、Pb、pPb、PbPb、sPg、Sb、SbSb、SnSn ... 15
14. $\Delta=2.4^\circ$ $h=18$ km $M_L=3.6$ (内蒙古自治区乌兰察布市察哈尔右翼前旗)
震相序列: Pb、Pg、PbPb、I1、Sb、Sg、SbSb 16
15. $\Delta=3.1^\circ$ $h=15$ km $M_L=4.1$ (山西省忻州市宁武县)
震相序列: I1、Pb、pPb、PbPb、sPb、Sb、SnSn、sSb、SbSb ... 17
16. $\Delta=3.8^\circ$ $h=19$ km $M_L=3.7$ (内蒙古自治区乌兰察布市四子王旗)
震相序列: Pb、pPb、Pg、sPg、Sb、Sg 18
17. $\Delta=4.1^\circ$ $h=14$ km $M_L=3.9$ (河南省濮阳市清丰县)
震相序列: Pn、pPn、SPn、PnPn、Pb、PbPb、sPb、Pg、pPg、
sPg、sSn、Sb、SbSb、Sg 19
18. $\Delta=4.8^\circ$ $h=38$ km $M_L=4.6$ (辽宁营口地震)
震相序列: Pn、I1、sPn、sPg、Sn 20
19. $\Delta=4.9^\circ$ $h=32$ km $M_L=3.9$ (山东省青岛市即墨市)
震相序列: pPn、PnPn、sPn、Pb、sSn、SnSn、Sb 21
20. $\Delta=5.0^\circ$ $h=28$ km $M_L=4.2$ (山东省青岛市崂山区)
震相序列: Pn、PnPn、pPn、sPn、Pb、Sn、sSn、SnSn、Sb 22
21. $\Delta=5.1^\circ$ $h=15$ km $M_L=4.5$ (河南省开封市兰考县)
震相序列: Pn、pPn、sPn、PnPn、Pb、pPb、PbPb、sPb、Pg、
sPg、Sn、sSn、SnSn、Sb、sSb、SbSb、Sg 23
22. $\Delta=5.8^\circ$ $h=18$ km $M_L=6.2$ (内蒙古霍林郭勒)
震相序列: Pn、pPn、sPn、PnPn、pPb、Pg、sPg、Sn、sSn、
SnSn、SbSb、Sg 24
23. $\Delta=6.44^\circ$ $h=9$ km $M_L=5.0$ (黄海)
震相序列: Pn、pPn、sPn、PnPn、pPb、sPb、Pg、sPg、Sn、
sSn、SnSn、Sb、SbSb、Sg 25
24. $\Delta=7.53^\circ$ $h=8$ km $M_L=5.3$ (吉林松源)
震相序列: pPb、PbPb、Pg、sPg、Sg 26
25. $\Delta=8.3^\circ$ $h=9$ km $M_L=5.2$ (中国黄海)
震相序列: pPn、sPn、PnPn、PbPb、sPg、sSn、SnSn、SbSb 27

二、远震地震图集.....28

(一) 远震概述 28

(二) 远震实例 30

1. $\Delta=12.9^\circ$ $h=21\text{km}$ $M_S=7.3$ (日本九州岛地震)
震相序列: Pn、pPn、sPn、Sn、SnSn 30
2. $\Delta=13.4^\circ$ $h=460\text{km}$ $M_B=6.1$ (俄罗斯东南沿岸近海)
震相序列: P、S1、S2、SCP、SCS (S1: S 的第一个分支) 31
3. $\Delta=15.0^\circ$ $h=379\text{km}$ $M_B=6.8$ (日本海)
震相序列: P (1)、P (2)、S、SPb、PcP、ScP、ScS、pPKiKP、sPKiKP ... 32
4. $\Delta=15.1^\circ$ $h=10\text{km}$ $M_S=6.3$ (中国东海)
震相序列: P、pP、sP、S、sS 33
5. $\Delta=16.8^\circ$ $h=32\text{km}$ $M_S=6.5$ (中国台湾地区)
震相序列: Pn、pPn、PnPn、Sn、S、SnSn、S2 34
6. $\Delta=16.8^\circ$ $h=8\text{km}$ $M_S=7.2$ (日本本州西岸近海)
震相序列: Pn、P、sPn、PnPn、Sn、S、SnSn 35
7. $\Delta=17.4^\circ$ $h=7\text{km}$ $M_S=6.2$ (中国台湾地区)
震相序列: P、PnPn、S、SnSn、lg 36
8. $\Delta=18.4^\circ$ $h=170\text{km}$ $M_B=6.0$ (中国台湾地区)
震相序列: P、Pn、pP、sP、S (1)、S (2)、sS、ScP、ScS 37
9. $\Delta=21.2^\circ$ $h=16\text{km}$ $M_S=6.0$ (日本北海道地区)
震相序列: P、Pn、pP、sP、sPn (sP (2))、PnPn、S、Sn、sS、
SnSn、ScS 38
10. $\Delta=23.3^\circ$ $h=15\text{km}$ $M_S=6.9$ (老挝)
震相序列: P (1)、P (2)、sP、PnPn、S、sS、SnSn 39
11. $\Delta=24.9^\circ$ $h=105\text{km}$ $M_B=5.9$ (千岛群岛)
震相序列: P、pP、sP、S、sS、ScP、ScS 40
12. $\Delta=28.9^\circ$ $h=107\text{km}$ $M_B=6.1$ (日本火山列岛地区)
震相序列: P、pP、sP、PnPn、PP、S、sS、SnSn、ScP、SS、ScS ... 41
13. $\Delta=29.6^\circ$ $h=8\text{km}$ $M_S=6.0$ (中国新疆维吾尔自治区南部)
震相序列: P、sP、PnPn、S 42
14. $\Delta=30.8^\circ$ $h=132\text{km}$ $M_B=6.6$ (俄罗斯堪察加半岛)
震相序列: P、pP、sP、PnPn、PcP、S、sS、ScP、ScS 43
15. $\Delta=32.7^\circ$ $h=182\text{km}$ $M_B=6.6$ (俄罗斯堪察加半岛)
震相序列: P、pP、sP、PP、PcP、S、sS、ScP、PcS、SS、ScS ... 44
16. $\Delta=35.2^\circ$ $h=173\text{km}$ $M_B=6.2$ (兴都库什地区)
震相序列: P、pP、sP、PcP、S、ScP、sS、SS、ScS 45

17. $\Delta=41.7^\circ$ $h=123\text{km}$ $M_B=6.2$ (印尼哈马黑拉岛)
震相序列: P、pP、sP、PP、ScP、PcS、S、sS、SS、ScS 46
18. $\Delta=45.3^\circ$ $h=132\text{km}$ $M_B=6.4$ (安德烈亚诺夫群岛 [阿留申群岛])
震相序列: P、pP、sP、PcP、PP、ScP、PcS、S、sS、ScS、SS ... 47
19. $\Delta=50.5^\circ$ $h=6\text{km}$ $M_S=6.6$ (福克斯群岛 (阿留申群岛))
震相序列: P、PP、S、ScS、SS 48
20. $\Delta=56.3^\circ$ $h=154\text{km}$ $M_B=6.3$ (新爱尔兰地区)
震相序列: P、pP、sP、PP、S、sS、SS 49
21. $\Delta=57.1^\circ$ $h=14\text{km}$ $M_S=6.5$ (美国阿拉斯加半岛)
震相序列: P、pP、sP、PcP、PP、S、sS、ScS、SS 50
22. $\Delta=58.1^\circ$ $h=189\text{km}$ $M_B=6.2$ (所罗门群岛)
震相序列: P、pP、sP、S、sS 51
23. $\Delta=61.3^\circ$ $h=10\text{km}$ $M_S=7.9$ (所罗门群岛)
震相序列: P、sP、PcP、PP、S、SS 52
24. $\Delta=61.5^\circ$ $h=10\text{km}$ $M_S=7.9$ (卡尔斯伯格海岭 (印度洋))
震相序列: P、pP、PcP、S、sS、SS 53
25. $\Delta=68.9^\circ$ $h=32\text{km}$ $M_S=7.2$ (圣克鲁斯群岛 (所罗门群岛))
震相序列: P、pP、sP、PP、S、sS、SKSac、sSKSac、SS 54
26. $\Delta=71.5^\circ$ $h=193\text{km}$ $M_B=6.8$ (瓦努阿图群岛)
震相序列: P、pP、sP、PKiKP、S、ScS、sS、sSKSac、SS 55
27. $\Delta=73.5^\circ$ $h=141\text{km}$ $M_B=6.8$ (瓦努阿图群岛)
震相序列: P、pP、sP、SKiKP、S、ScS、sS、sSKSac、SS 56
28. $\Delta=77.9^\circ$ $h=40\text{km}$ $M_S=7.2$ (瓦努阿图群岛)
震相序列: P、PCP、sP、S、sS、SS 57
29. $\Delta=80.0^\circ$ $h=24\text{km}$ $M_S=6.8$ (洛亚蒂群岛东南 (新喀里多尼亚))
震相序列: P、pP、sP、PP、S、SKSac、sS、PnS、SS 58
30. $\Delta=80.8^\circ$ $h=5\text{km}$ $M_S=7.1$ (地中海西部)
震相序列: P、sP、PcP、PP、S、SKSac、ScS、PnS、SS 59
31. $\Delta=88.3^\circ$ $h=54\text{km}$ $M_S=7.9$ (汤加群岛)
震相序列: P、pP、sP、PP、SKSac、S、sS、PnS、SS 60
32. $\Delta=90.7^\circ$ $h=57\text{km}$ $M_S=6.1$ (斐济群岛以南)
震相序列: P、pP、sP、PP、SKSac、S、sS、SP、PS、SS 61
33. $\Delta=92.6^\circ$ $h=23\text{km}$ $M_S=6.0$ (新西兰克马德克群岛地区)
震相序列: P、PP、SKSac、S、sS、PS、SS、PKKSbc、SKKSac 62
34. $\Delta=93.0^\circ$ $h=47\text{km}$ $M_S=6.2$ (新西兰克马德克群岛地区)
震相序列: P、pP、sP、PP、SKSac、pSKSac、S、sS、PS、SS、
SKKSac 63

35. $\Delta=93.1^\circ$ $h=68\text{km}$ $M_s=6.5$ (新西兰克马德克群岛)	
震相序列: P、pP、sP、PP、SKSac、S、PS、I1、pS、sS、SS ...	64
36. $\Delta=93.2^\circ$ $h=17\text{km}$ $M_s=6.6$ (新西兰克马德克群岛地区)	
震相序列: P、pP、sP、PP、SKSac、S、sS、PS、SS	65
37. $\Delta=94.2^\circ$ $h=39\text{km}$ $M_s=6.2$ (西印度洋 - 南极洲海岭)	
震相序列: P、pP、sP、PP、SKiKP、S、PS、sS、SS	66
38. $\Delta=96.2^\circ$ $h=27\text{km}$ $M_s=6.0$ (西南印度洋海岭)	
震相序列: P、sP、PP、PKiKP、SKSac、S、PS、PKKpdf、SS ...	67
39. $\Delta=96.3^\circ$ $h=10\text{km}$ $M_s=6.4$ (新西兰南岛西岸远海)	
震相序列: P、PP、SKSac、S、PS (SP)、SS	68
40. $\Delta=96.8^\circ$ $h=5\text{km}$ $M_s=7.2$ (新西兰南岛西岸远海)	
震相序列: P、PP、SKSac、S、SP、SS	69
41. $\Delta=97.6^\circ$ $h=10\text{km}$ $M_s=8.0$ (太平洋麦夸里岛以北)	
震相序列: P、PP、SKSac、S、PS、SS	70
42. $\Delta=98.5^\circ$ $h=14\text{km}$ $M_s=6.5$ (新西兰奥克兰群岛地区)	
震相序列: P、I1、PP、SKSac、S、SP、I2、SS	71

三、远震、极远震交界地震图集.....72

(一) 概述	72
(二) 地震实例	73
1. $\Delta=98.6^\circ$ $h=13\text{km}$ $M_s=7.4$ (新西兰奥克兰群岛地区)	
震相序列: Pdiff、PP、SKSac、S、SP、PS、SS	73
2. $\Delta=99.7^\circ$ $h=9\text{km}$ $M_s=6.3$ (太平洋麦夸里岛以北)	
震相序列: Pdiff、PP、SKSac、S、PS、SS	74
3. $\Delta=101.4^\circ$ $h=20\text{km}$ $M_s=6.3$ (太平洋麦夸里岛以北)	
震相序列: P、PP、SKSac、S、PS、SS	75
4. $\Delta=102.1^\circ$ $h=9\text{km}$ $M_s=7.0$ (太平洋麦夸里岛以北)	
震相序列: Pdiff、I1、PP、PKiKP、SKSac、Sdiff、PS、I2、SS ...	76
5. $\Delta=102.5^\circ$ $h=11\text{km}$ $M_s=6.1$ (墨西哥加利福尼亚湾)	
震相序列: Pdiff、PP、SKSac、S、PS、SS	77

四、极远震地震图集.....78

(一) 极远震概述	78
(二) 极远震实例	79
1. $\Delta=110.4^\circ$ $h=24\text{km}$ $M_s=7.9$ (墨西哥哈利斯科州沿岸近海)	
震相序列: Pdiff、PP、SKSac、S、PS、SS	79

2. $\Delta=118.9^{\circ}$ $h=10\text{km}$ $M_s=7.5$ (洪都拉斯以北)
震相序列: Pdiff、PKPdf、PP、SKSac、SKKSac、S、PS (SP)、SS 80
3. $\Delta=119.6^{\circ}$ $h=10\text{km}$ $M_s=6.2$ (非洲以南)
震相序列: PKPdf、pPKPdf、sPKPdf、PP、SKSac、SKKSac、S、PS (SP)、SS 81
4. $\Delta=120.0^{\circ}$ $h=10\text{km}$ $M_s=7.0$ (多米尼加共和国地区)
震相序列: Pdiff、PKPdf、pPKPdf、sPKPdf、(sPKiKP)、PP、SKSac、SKSdf、SKKSac、Sdiff、PS、(SKKSdf)、SS 82
5. $\Delta=121.0^{\circ}$ $h=24\text{km}$ $M_s=6.6$ (危地马拉沿岸近海)
震相序列: Pdiff、PKiKP、PKPdf、PP、I1、SKSdf、SKKSac、SP (PS)、SS 83
6. $\Delta=121.6^{\circ}$ $h=41\text{km}$ $M_s=6.9$ (北大西洋)
震相序列: Pdiff、PKPdf、pPKPdf、sPKPdf、PP、I1、SKSdf、pSKSac、SKKSac、Sdiff、PS、SS 84
7. $\Delta=124.5^{\circ}$ $h=35\text{km}$ $M_s=7.3$ (尼加拉瓜沿岸近海)
震相序列: Pdiff、PKiKP (PKPdf)、pPKiKP、PP、SKSdf、Sdiff、PS、PKKSbc、SKKSdf、SS 85
8. $\Delta=125.1^{\circ}$ $h=147\text{km}$ $M_b=6.7$ (背风群岛)
震相序列: Pdiff、PKPdf、I1、pPKPdf、sPKPdf、PP、SKPdf、SKSdf、SSKSdf、Sdiff、SKKPdf、SS 86
9. $\Delta=128.7^{\circ}$ $h=33\text{km}$ $M_s=6.7$ (巴拿马 - 哥斯达黎加边境地区)
震相序列: PKPdf、pPKPdf、sPKPdf、PP、SKPdf、PKSdf、I1、SKSac、SKKSac、SKKPdf、SKKSdf、SS 87
10. $\Delta=133.7^{\circ}$ $h=15\text{km}$ $M_s=7.4$ (哥伦比亚西岸近海)
震相序列: Pdiff、PKiKP、PP、SKPab、SKKSac、Sdiff、PS、I1、SS、S'S'ac 88
11. $\Delta=135.2^{\circ}$ $h=31\text{km}$ $M_s=7.1$ (巴拿马以南)
震相序列: Pdiff、PKiKP、PP、SKPab、SKSac、SKKSac、Sdiff、PS、I1、SKKSdf、SS、S'S'ac 89
12. $\Delta=140.3^{\circ}$ $h=37\text{km}$ $M_s=6.4$ (秘鲁北部沿岸近海)
震相序列: Pdiff (弱)、PKPdf、PKiKP、pPKPdf、sPKPdf、PP、SKPdf、SKiKP、PKSab、SKSac、I1、SKKSac、SKKSdf、SS、S'S'ac 90
13. $\Delta=140.4^{\circ}$ $h=122\text{km}$ $M_b=6.6$ (秘鲁 - 厄瓜多尔边境地区)
震相序列: Pdiff、PKPdf、PKiKP、pPKiKP、PP、SKPbc、I1、SKSdf、sSKSdf、SKKSac、I2、SKKSdf、SS、S'S'ac 91
14. $\Delta=144.2^{\circ}$ $h=10\text{km}$ $M_s=6.5$ (南桑威奇群岛以东 (大西洋))

	震相序列: PKPdf、PP、SKPdf、SKSdf、SKKSdf、SS、S'S'ac ...	92
15.	$\Delta=149.5^{\circ}$ $h=10\text{km}$ $M_s=6.6$ (南桑威奇群岛地区 (大西洋))	
	震相序列: PKPdf、pPKPab、sPKPab、SKPdf、PP、SKKSac、 I1、SKKSdf、SS、S'S'ac	93
16.	$\Delta=152.0^{\circ}$ $h=10\text{km}$ $M_s=6.9$ (南极洲斯科舍海)	
	震相序列: PKPdf、PKiKP、pPKPbc、pPKiKP、sPKPab、PP、 SKKSac、SS、S'S'ac	94
17.	$\Delta=161.4^{\circ}$ $h=60\text{km}$ $M_s=7.9$ (智利北部沿岸近海)	
	震相序列: Pdiff、PKPdf、PKPdiff、pPKPdf、sPKPdf、PP1、 PP2、SS1、SS2、S'S'ac	95
18.	$\Delta=162.3^{\circ}$ $h=289\text{km}$ $M_B=6.0$ (阿根廷胡胡伊省)	
	震相序列: PKPdf、PKPdiff、PKPab、pPKPdf、sPKPdf、PP、 SS	96
19.	$\Delta=162.7^{\circ}$ $h=26\text{km}$ $M_s=7.0$ (智利北部沿岸近海)	
	震相序列: Pdiff、PKPdf、pPKPdf、sPKPdf、PKPdiff、pPKPdiff、 sPKPdiff、PKPab、sPKPab、SKPdf、PP1、PP2、SS	97

一、近震地震图集

(一) 近震概述

结合北京台实际地震记录和北京台地震走时表,我们发现北京台具有近震记录特征的震中距范围大致位于 $0^{\circ} \sim 9.6^{\circ}$ 之间。由于近震的震相跟区域的地下结构分层密切相关,所以在此有必要对北京台及周边地壳及上地幔结构做一介绍。

北京台及周边地下 22km 处为康拉德界面,即上、下地壳的分界面,天然地震图上记录到的 Pb 震相即是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。在 IASPEI91 和 AK135 模型中康拉德截面位于 20km 处。

北京台周边(除东南方向外)的莫霍面大约位于地下 34km 处,北京台东南方向的莫霍面大约位于 28km 处。而 IASPEI91 和 AK135 模型中该面位于 35km 处。天然记录图中记录到的 Pn 震相即是底部到达最上层地幔的任意 P 波,或来自最上层地幔内震源的上行 P 波。

由于地壳震相的复杂性,长期以来因为缺少详尽的区域地震走时表,使得近震地震分析一直处于比较粗浅的认识水平上,即使是 Pn、Pb 和 Pg 也有时会搞错了顺序。本书基于北京台近震走时表,对中国地震台网定位较好的近震震相首次进行了较为详细的标注。震相序列包含了深度震相、自由表面反射波等,相信会对地震工作者提高对近震震相认识有所帮助。需要提醒读者的是:宽频带原始记录能够清晰地记录到各种近震震相的幅频变化,而经过短周期仿真滤波后,很多震相将无法识别。所以大家一定要改掉经验性的用短周期分析近震的习惯。下面就近震震相的分析和识别总结如下:

(1) 北京台上下地壳的分界面大致位于 22km 处,对于震中距小于 0.8° 、震源深度小于 22km 的近震,其主要震相为明显的 Pg、Sg 震相;而当震源深度接近 22km,震中距小于 0.8° 的地震,其初至波可能已为 Pb 震相。当震中距大于 0.8° 、小于 1.4° 时, Pb 和 Pg 走时非常接近,此时必须通过震源深度与波的形态综合考虑来分辨。由于壳内速度随深度增

加而加快,各层主要初至波的周期呈现出 $TPn < TPb < TPg$ 的明显特征。

(2) 北京台走时表显示震源深度小于 13km 的地震,当震中距大于等于 1.2° 时,近震初至波已为 Pn。随着震源深度的增加,这一震中距会逐渐缩短。

(3) 由于震源深度的不同, Pn 将表现出不同的振幅特征。如果 Pn 是来自最上层地幔内震源的上行 P 波,则其振幅强烈,类似直达波特征;若 Pn 是底部到达最上层地幔的任意 P 波,则其振幅小、起始弱,变得很难分辨。

(4) 震中距大于 1.3° 小于 2.6° 范围内的近震, Pn 一般都以初至波的身份被清晰记录下来。西部 Pn 能够清楚识别的范围较东部小,一般震中距大于 2.2° 以后才能获得清楚的 Pn 震相,这与西部地壳厚有关。

(5) 震中距大于 2.6° 的地震震相识别在方向上有了明显的差别。随着震中距的不断加大, Pn、Pb 呈现出明显的区域特征。西部的 Pn 震相较模糊,但 Pb 则相对清晰;而东部的 Pn 震相则较西部更清晰, Pb 震相却无西部清晰。这与西部莫霍界面深、东部莫霍界面浅有关。

(6) 近震深度震相的识别,注意从波形的相似性和初动方向来判别。例如,如果初至是 Pn,那 pPn 的初动方向与 Pn 初动方向相反,波形应有 Pn 相似性; sPn 初动方向则与 Pn 初动方向一致,形态上有 Pn 的痕迹。

周期表现上,则一般为 $TPn < TpPn < TsPn$ 。

(7) 震中距大于 3.8° 的较小地震, Pn 可能已弱得无法识别。此时我们看到的高频初至波可能已经是 pPn 或 sPn 了。所以,此时如果经验性地按照 Pn 识别,将会导致后续震相认识的错误,并造成地震定位错误。

(8) 通常,震源附近的反射波振幅要强于原始波形。比如, pPn 振幅大于 Pn 振幅, sPn 振幅略大于 pPn 振幅。