

在格陵兰地区地震图上记录到的 一个附加震相——i 震相的特征

庆 梅, 潘海涛, 戴维乐

(安徽省地震局, 安徽 合肥 230031)

摘要: 在 1976~1983 年期间, 格陵兰地区共记录到 53 个地震. 所有的地震资料都用检查地震记录图纸的方式进行了复核审查, 得到了该地区 P_{tr} , P_g , P_{11} (PMP), S_0 和 L_g 波的走时曲线及其视速度, 这些结果与加拿大的走时曲线相一致. 发现有 9 个地震的 11 张地震图上记录到一个附加的 i 震相. 初步研究认为, i 震相的存在与震中距、震源深度和地震方向有关, 不过此现象尚须进一步研究.

主题词: 地震图; 震相; 格陵兰; i 震相

中图分类号: P315.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(1999)04-0430-03

0 序言

格陵兰位于北极附近, 是世界上最大的岛, 面积有 2 670 000 km², 84% 的内陆地区终年被冰雪覆盖, 内陆冰厚度达 3.5 km, 沿海岸地区为非冻土区. 在世界地震目录中只能看到为数不多的格陵兰地震, 这可能是由于该区地震活动水平不高和地震台稀少所致. 从 1963 年起格陵兰地区开始安装三分向短周期地震仪, 相继建立了 NOR ($v_0 = 5 \times 10^4$), DAG ($v_0 = 5 \times 10^4$), KTG(SCO) ($v_0 = 2.5 \times 10^4$), GDH ($v_0 = 2.5 \times 10^4$), 和 ALE 地震台(图 1). 该台网的检测阈值大约为 3~4 级, 绝大多数地震沿东北部、北部和西部海岸线附近发生.

1 地震活动特征

本文选用了 1976~1983 年期间在格陵兰地区记录到的可靠的 53 个地震的地震参数, 该结果取自于哥本哈根地震台网报告、国际地震台网报告以及渥太华地震台网报告. 图 1 给出了 5 个地震台及 53 个地震震中分布情况. 可见绝大多数地震沿海岸线分布, 地震集中分布区在 DAG 地震台和 NOR 地震台之间, 格陵兰北部地区地震分布比较分散, 西部沿海岸线分散分布, 沿东海岸在 DAG 和 KTG(SCO)地震台之间没有地震连续分布. 本文将 53 个地震划分成 6 个区: I 区位于北东沿海地区($77^\circ \sim 80^\circ \text{N}$, $18^\circ \sim 23^\circ \text{W}$), 分布有 12 个地震; II_s 区位于南西沿海地区($63^\circ \sim 73^\circ \text{N}$, $50^\circ \sim 58^\circ \text{W}$), 分布有 12 个地震; II_N 区位于北西沿海地区($75^\circ \sim 77^\circ \text{N}$, $65^\circ \sim 71^\circ \text{W}$), 有 7 个地震分布; III 区位于北部沿海地区($81^\circ \sim 87^\circ \text{N}$, $20^\circ \sim 72^\circ \text{W}$), 有 15 个地震分布; IV 区位于南东沿海地区($72^\circ \sim 77^\circ \text{N}$, $01^\circ \sim 25^\circ \text{W}$), 有 5 个地震分布; V 区位于格陵兰以西($70^\circ \sim 72^\circ \text{N}$, $68^\circ \sim 70^\circ \text{W}$), 有 1 个地震分布; VI 区位于格陵兰内陆($72^\circ \sim 74^\circ \text{N}$, $34^\circ \sim 40^\circ \text{W}$), 有 1 个地震分布. 这一时期发生的最大震级为 $M_b = 4.9$ (地震参数为: 1978-01-04 14: 52; 09.7°N , 23.9°W ; $M_b = 4.9$; $h = 36 \text{ km}$); III 区, 格陵兰北部沿海区). 在 S. Gregersen 工作^[1]的基础上, 根据地震图记录和单台报告以及哥本哈根、渥太华、ISC(国际地震中心)地震台网的报告, 我们分析检核了所有地震参数, 我们读取了位于 I, II_s, IV, V, VI 区的 29 个地震由 DAG, NOR, GDH 和 KTG 台所记录的 P_{tr} , P_g , P_{11} (PMP), S_0 和 L_g 震相的初至到时. 由于缺少近台 ALE 的记录图纸, 我们仅检核位于 II_N 和 III 区的其余 24 个地震的震相到时资料, 据此我们还以震中距 Δ 为 X 轴, 震相到时 t 为 Y 轴绘出了格陵兰地区走时曲线, 所用线性回归模式为

$$\begin{aligned} Y_i &= a + bX_i \\ t_i &= a + b(\Delta) \end{aligned}$$

用最小二乘法拟合计算得到每条直线 $t_{p_n} - \Delta$, $t_{p_g} - \Delta$, $t_{p_{11}} - \Delta$, $t_{s_n} - \Delta$, $t_{L_g} - \Delta$ 的相关系数、直线截距和斜率 r , a , b . 斜率 b 即为各震相的视速度:

$$v_{p_n} = 8.25 \text{ km/s} \quad v_{p_g} = 6.57 \text{ km/s} \quad v_{p_{11}} = 6.30 \text{ km/s}$$
$$v_{s_n} = 4.57 \text{ km/s} \quad v_{L_g} = 3.60 \text{ km/s}$$

该结果与加拿大地区的走时曲线^[2]

$$v_{p_n} = 8.20 \text{ km/s} \quad v_{p_g} = 6.20 \text{ km/s} \quad v_{s_n} = 4.75 \text{ km/s}$$
$$v_{L_g} = 3.57 \text{ km/s}$$

相一致. 这表明格陵兰地区地震记录和我们

的分析均是正常的.

2 i震相的特征

在 I, II_s, IV区由 DAG, NOR, GDH 和 KTG(SCO) 台站记录的 9 个地震 11 张地震图上除了 P_n , P_g , P_{11} , S_n , L_g 震相以外, 还记录了一个附加的震相 i 震相. 典型的具有 i 震相的记录图(图 2)如 1979 年 2 月 15 日 DAG 台所记录的 I 区地震: $\Delta = 307.6 \text{ km}$, $T_s - T_p = 32.7 \text{ s}$, $T_i - T_p = 20.1 \text{ s}$, i 位于 P 波与 S 波系列之间, 它的到时是在 P 波之后, S 波之前, 振幅和频率均小于 P 波, 周期大于 P 波: $T_i - T_p = \frac{1}{2}(T_s - T_p)$, $A_i = (1/2 \sim 1/3)A_p$, $A_i = (1/2 \sim 1/3)A_g$, $f_i = (1/2 \sim 1/3)f_p$, $f_i = (1/2 \sim 1/3)f_g$.

通常在 $T_s - T_p = 20 \sim 45 \text{ s}$ (最大 70 s) 时能发现 i 震相, $T_i - T_p = 10 \sim 20 \text{ s}$ (最大 30 s). 表 1 给出了 9 个有 i 震相的地震参数. 结果表明 i 震相的存在与震中距、震源深度有关.

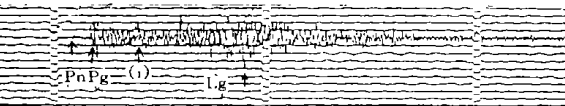


图 2 有 i 震相的典型地震波曲线

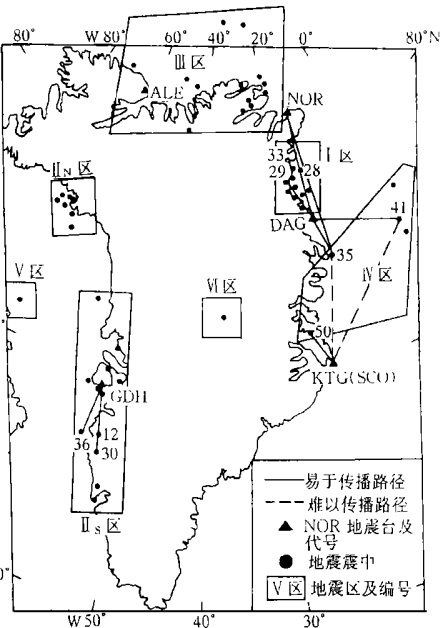


图 1 格陵兰地区地震台、地震震中、地震区的分布及 i 震相传播路径

当发生震中距为 175~710.9 km 的浅源地震(震源深度为 0~10 km)时能在地震图上记录到 i 震相. 同一个地震在某一方向的地震台记录图上可以记录到 i 震相, 而在另一方向地震台记录图上却记录

不到 i 震相(图 1). 图 3 给出了 i 震相的走时曲线和其视速度值 $v_i = 6.05 \text{ km/s}$.

表 1 具有 i 震相的地震参数

序号	日期	区号	台站	h/km	Δ/km	$T_s - T_p$	$T_i - T_p$	t_{p_n}	t_{p_g}	t_i	A_{p_n}	A_{p_g}	A_i
						/s	/s	/s	/s	/s	/ μm	/ μm	/ μm
35	1979-06-12	IV	DAG	0	175.0	19.8	10.0	27.18	29.18	37.18	2.2	9.0	3.0
50	1983-02-28	IV	KTG	0	192.8	20.2	11.0	30.94	32.14	41.94	10.0	33.2	21.0
12	1977-12-05	II _s	GDH	18	217.6	22.6	12.1	32.70		44.80	6.0		3.0
36	1979-08-16	II _s	GDH	18	246.6	25.2	11.2	35.65	39.85	46.85	1.0	3.5	2.0
33	1979-04-17	I	NOR	22	240.8	25.3	16.8	35.11	36.41	51.91	18.0	56.0	23.5
30	1979-02-24	II _s	GDH	0	267.7	25.5	12.8	36.96	39.56	49.76	0.2	1.0	0.8
28	1979-01-03	I	DAG	18	274.0	31.0	17.5	37.40	41.20	54.90	5.0	55.0	3.0
33	1979-04-17	I	DAG	22	301.8	31.6	14.6	40.81	45.91	55.41	2.2	6.0	6.0
29	1979-02-15	I	DAG	9	307.6	32.7	20.1	43.64	48.94	63.74	0.8	7.0	4.0
41	1980-08-20	IV	DAG	0	451.1	45.0	25.6	60.85	72.85	86.45	6.0	8.0	3.0
35	1979-06-12	IV	NOR	0	710.9	70.1	31.6	92.58	103.20	124.20	11.0	20.0	10.0

3 讨论与结论

(1) 在 1976~1983 年期间格陵兰的地震活动水平不高, 共记录到 53 次 3~4 级地震, 最大震级为 4.9 级, 绝大多数地震沿北部、西部、东部海岸分布. 东北地区(I 区)是格陵兰地震集中分布区.

(2) 当 $T_S - T_P = 10 \sim 70$ s 时绝大多数地震图上可记录到清晰的地震波震相 P_{tr} , P_g , S_{tr} , $L_g(S_g)$. 在 $T_S - T_P = 17 \sim 25$ s, 震中距为 $145 \sim 245$ km 的情况下, 在 DAG 台还记录到了反射波 PMP(来自莫霍界面). 本文得到的格陵兰地区走时曲线和各震相的视速度值与加拿大地区走时曲线及视速度值相一致.

(3) 格陵兰某些地区某些地震台在 $T_S - T_P = 20 \sim 45$ s(最大值 70 s) 时大约在 P 波与 S 波之间 $T_i - T_p = 1/2(T_i - T_p)$ 处还记录到一个附加震相 i 震相. i 震相的振幅小于 P 波振幅, 周期略大于 P 波周期. i 震相的存在与震中距、震源深度及地震方向有关. 本文得到 i 震相区域分布图, 格陵兰北东地震集中区(I 区)是 i 震相容易传播的地区, 南东沿海地区(IV 区) i 震相传播比较困难, 南西沿海岸线地区(II 区) i 震相传播难易程度则介于上述两者之间.

(4) 值得注意的是, 有时能在某些地震图上出现 i 震相, 有时在另一些地震图上却找不到 i 震相. 这可能与地震的震源深度有关. 如同一地震台几乎在同一地点记录到的以下 2 次地震, 一个震源较浅能记到 i 震相, 另一个震源较深则记不到 i 震相:

29 号地震: 1979-02-15, $79^{\circ}30'N$, $20^{\circ}34'W$, $h = 8.6$ km
M3.9 I 区 DAG 台记录到 i 震相, $\Delta = 307.6$ km, $T_S - T_P = 32.7$ s, $T_i - T_p = 20.1$ s

44 号地震: 1982-01-21, $79^{\circ}28'N$, $19^{\circ}30'W$, $h = 20.5$ km,
M4.0 I 区 DAG 台记录不到 i 震相, $\Delta = 302.9$ km, $T_S - T_P = 32.7$ s.

(5) 关于记录到 i 震相的可能物理解释是: 在格陵兰岛地壳中的某一深度可能存在一个界面. 界面以上是低速松散的沉积层, 以下是高速坚固的岩石层^[3~4]. i 震相是来自该界面的绕射或反射波. 当震源浅于该界面时, 可以记到较清楚的 i 震相. 关于这一解释尚需通过更多的观测资料作进一步深入研究.

工作中得到了盖格申教授的帮助指导和所提供的全部资料, 在此表示衷心感谢.

[参考文献]

[1] Gregersen S. Earthquakes in Greenland Bull. Geol. Soc. Denmar, 1982, 31: 11 ~ 27.
[2] Smith W E T, Milne W G. Canadian earthquakes-1965. Seism. Series Dom. Obs., 1965. (2): 1 ~ 38.
[3] Chen K C, Chiu J M, Yang Y T. Q_p - Q_s relation in the sedimentary basin of the upper Mississippi embayment using converted phases. Bull. Seism. Soc. Am., 1994, 84: 1861 ~ 1868.
[4] Chen K C, Chiu J M, Yang Y T. Shear-wave velocity of the sedimentary basin in the upper Mississippi embayment using S-to-P converted waves. Bull. Seism. Soc. Am., 1996, 86: 848 ~ 856.

THE CHARACTERS OF AN EXTRA SEISMIC PHASE, i-PHASE,
ON SEISMOGRAMS IN GREENLAND

QING Mei, PAN Hai-tao, DAI Wei-le
(Seismological Bureau of Anhui Province, Hefei 230031, China)

Key words: Seismogram; Seismic phase; Greenland; i-phase

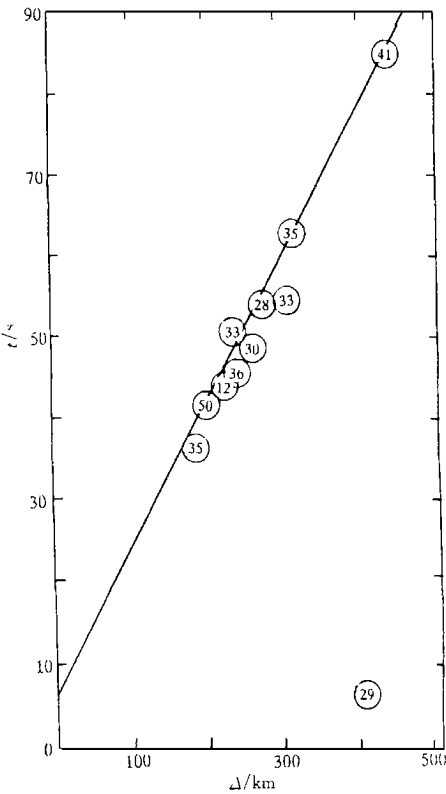


图 3 有 i 震相的(11 张地震图)
走时曲线

$v_i = 6.05$ km/s $n = 11$, $r = 0.9942$
 $a = -53.4199$, $b = 6.0468$