

王心宇, 王有学, 熊彬, 等. 接收函数的  $H-k$  方法及其应用[J]. CT 理论与应用研究, 2018, 27(2): 187-196. doi:10.15953/j.1004-4140.2018.27.02.07.

Wang XY, Wang YX, Xiong B, et al.  $H-k$  scanning method of receiver functions and its application[J]. CT Theory and Applications, 2018, 27(2): 187-196. (in Chinese). doi:10.15953/j.1004-4140.2018.27.02.07.

## 接收函数的 $H-k$ 方法及其应用

王心宇, 王有学<sup>✉</sup>, 熊彬, 蒋婵君, 张琪, 曾成, 胡锦涛

(桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541006)

**摘要:** 接收函数的  $H-k$  方法是研究地球内部结构的重要方法, 由于接收函数不依赖于震源参数, 可以更为精确地确定观测台站下方的地壳结构; 同时  $H-k$  方法简单明了, 可以利用深度-波速比扫描同时获取台站下方的地壳厚度及地壳内部的波速比或泊松比。本文利用  $H-k$  方法, 对桂东北地区的宽频带地震流动台网观测数据的地震数据进行应用, 结果表明该区的地壳厚度变化大 (28~34 km), 而且地壳内部的波速比 (1.801~1.897) 或泊松比 (0.277~0.308) 较高, 与桂东北地区的基性、超基性岩大片出露的事实相吻合。

**关键词:** 接收函数;  $H-k$  方法; 地壳厚度; 波速比

doi:10.15953/j.1004-4140.2018.27.02.07      中图分类号: O 242; P 315      文献标志码: A

1964 年, 美国科学家 Phinney 首次提出用地震波位移的水平分量与垂直分量的谱振幅比值来研究观测地震台站下方的地球内部速度结构, 该方法开辟了用远震体波波研究地球内部结构的新途径, 也是接收函数法的雏形。1977 年 Vinnik 尝试从远震体波波形中去除震源和传播路径的响应, 孤立出接收区的响应。对时间域的远震 P 波而言, 震源过程与地震波传播效应之间存在解耦关系, 所以, 理论上远震 P 波可以表示为震源因子, 接收区介质响应和仪器响应的褶积关系<sup>[1]</sup>。1979 年 Langston 根据 Helmberger 和 Wiggins 的地震图合成机制, 利用等效震源的概念, 假设地震台站下方介质对地震波垂直分量的响应是  $\delta$  函数, 将 Phinney 的谱振幅比值改为频谱比值, 并将其反变换至时间域, 计算出地震台站下方介质对等效震源在水平分量上的响应, 即接收函数<sup>[2]</sup>。“接收函数”简单而言即消除震源时间函数和传播路径的影响, 由观测台站下方的地壳、上地幔速度界面产生的 PS 转换波及多次反射震相组成的波列。利用远震 P 波接收函数法, 人们可以从宽频带远震 P 波波形数据中得到地震台站下方的岩石圈 (地壳和上地幔) 横波速度结构, 所以, 该方法引起了国内外学者们的广泛关注, 其理论和方法在不断地改进和发展, 并在多个领域得到了应用。

接收函数利用地震体波中横波成分对速度不连续面非常敏感且会在速度不连续面形成转换波的特性, 来反演地壳内部的横波速度结构。Zandt 和 Ammon 于 1995 年首次提出了利用接收函数的 PS 转换震相和 PPpS 多次震相计算地壳厚度和地壳速度比 (泊松比) 变化的思想, 并在 Precambrian Grenville 省的东南部的地壳研究中成功应用。2000 年 Zhu 和 Kanamori 在此基础上加入了多次反射波震相, 有效降低了 Zandt 和 Ammon 方法的折中缺点,

收稿日期: 2018-01-12。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41574039); 广西自然科学基金重点基金项目 (2016GXNSFDA380014)。

使计算结果更加稳定。由于地壳波速比/泊松比包含着比地壳 P 波和 S 波速度结构更多的地壳介质成分和动力学演化信息, 该方法简单高效。但在实际资料处理过程中, 仍然存在折中问题, 以及多极值的现象。2007 年, Niu 等提出了一种改进的  $H-k$  方法, 通过计算不同  $k$  值的 Ps 震相和多次震相的时深转换波形相关性, 并将此作为每个网格的权重函数, 叠加过程中同时使用 4 次根非线性叠加以减弱相关噪声, 有效地克服了一般叠加过程中的多极值和折中问题<sup>[3-6]</sup>。

本文详细阐述了 P 波接收函数的提取及  $H-k$  扫描方法, 并且将该方法应用于桂东北地区的宽频带地震流动台网观测数据。

## 1 接收函数及 $H-k$ 扫描方法的基本原理

### 1.1 接收函数及其提取

如果介质为两层均匀介质, 其纵、横波速度及密度均有差异, 则当一束平面纵波 (P 波) 自下而上入射速度不连续面时, 它会在界面上产生透射纵波 (P) 和转换横波 (S); 透射纵波及转换横波又会继续在地表发生反射, 进一步形成反射的纵波 (p) 或横波 (s); 由自由表面产生的反射波再次经过速度不连续面的时候, 会继续产生反射的横波 (S), 最终被地表处的三分量检波器所记录 (图 1 下图)。我们规定上行纵、横波分别用 P、S 表示, 下行纵波、横波分别用 p、s 表示, 则图 1 的各个震相 PS、PPpP、PPpS、PSpS/PPsS 以及 PSsS 可以分别表示从莫霍面入射纵波的转换波、透射纵波经自由表面反射的纵波在莫霍面又反射到地表的纵波、透射纵波经自由表面反射的纵波在莫霍面又反射到地表的横波、透射横/纵波经自由表面反射的纵/横波在莫霍面又反射到地表的横波以及透射横波经自由表面反射的横波在莫霍面又反射到地表的横波, 在地震图上则是一系列的波至串。

可以将入射的平面纵波等效为震源, 利用 Kennett 提出的广义反射透射矩阵方法<sup>[7]</sup>, 计算出各个震相的地震响应, 最后合成为理论地震图 (图 1 上图), 即为理论接收函数。

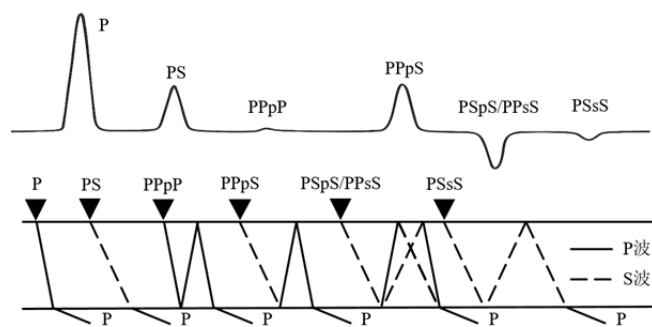


图 1 接收函数及其各种震相的射线路径示意图

Fig.1 Diagram of receiver function and the ray paths for different phases

对于一个三分量地震记录, 首先利用下式 (1) 把原始的两个水平分量地震记录旋转为径向和切向记录。

$$\begin{cases} D_R(t) = N(t)\cos\beta + E(t)\sin\beta \\ D_T(t) = -N(t)\sin\beta + E(t)\cos\beta \end{cases} \quad (1)$$

其中  $D_R$  为径向分量,  $D_T$  为切向分量,  $\beta$  为反方位角。

由于地震波形记录包括仪器响应  $I(t)$ 、震源函数  $S(t)$  及介质速度结构信息, 因而地震记录的垂向、径向及切向分量的时间序列  $D_V(t)$ 、 $D_R(t)$  及  $D_T(t)$  在数学上可以表示为:

$$\begin{cases} D_V(t) = I(t) * S(t) * E_V(t) \\ D_R(t) = I(t) * S(t) * E_R(t) \\ D_T(t) = I(t) * S(t) * E_T(t) \end{cases} \quad (2)$$

在远震情况下, P 波入射角很小, 到达观测点的射线与铅垂线之间的夹角较小 (一般小于  $20^\circ$ )。远震垂直分量的主要能量都集中在直达纵波附近, 其后波列的能量很弱, 一般可以忽略不计, 因此可以将台站下方的速度结构在垂向分量上的时间响应近似为

$$E_V(t) \approx \delta(t) \quad (3)$$

将 (3) 式代入 (2) 式, 并利用傅里叶变换将其变换至频率域, 则有:

$$\begin{cases} D_V(\omega) \approx I(\omega) \cdot S(\omega) \\ D_R(\omega) \approx I(\omega) \cdot S(\omega) \cdot E_R(\omega) \\ D_T(\omega) \approx I(\omega) \cdot S(\omega) \cdot E_T(\omega) \end{cases} \quad (4)$$

消去  $I(\omega) \cdot S(\omega)$  因子, 可得:

$$\begin{cases} E_R(\omega) \approx \frac{D_R(\omega)}{D_V(\omega)} \\ E_T(\omega) \approx \frac{D_T(\omega)}{D_V(\omega)} \end{cases} \quad (5)$$

最后, 将式 (5) 反变换至时间域, 即可得到  $E_R(t)$  及  $E_T(t)$ , 即为要提取的径向和切向上的接收函数。

然而, 地震信号往往存在干扰, 甚至严重的干扰, 所以在进行地震资料预处理过程中可以利用带通滤波器来消除高频噪声。一般较为常用的是高斯滤波器, 其数学表达式为

$$G(\omega) = \exp\left(\frac{-\omega^2}{4\alpha^2}\right) \quad (6)$$

其中  $\alpha$  是高斯滤波带宽因子, 它决定保留下来的地震信号的频率成分。 $\alpha$  越大, 高截频率就越大, 保留下来的地震信号中的高频成分就越多; 相反, 高截频率越小, 保留下来的地震信号中的高频成分就越少。

同时, 为增加稳定性, 引入“水准参量”的概念<sup>[8]</sup>, 对接收函数公式进行了修正。即垂向分量频谱的幅值小于某一给定值时, 统一用某一水准常量来代替, 则接收函数的计算公式被修正为

$$\begin{cases} E_R(\omega) \approx \frac{D_R(\omega) \bar{D}_R(\omega)}{\phi(\omega)} G(\omega) \\ \phi(\omega) = \max\left(D_V(\omega) \bar{D}_V(\omega), c \cdot \max\left(D_V(\omega) \bar{D}_V(\omega)\right)\right) \end{cases} \quad (7)$$

其中,  $\bar{D}_V(\omega)$  是  $D_V(\omega)$  的复共轭,  $c$  为水准量, 取值范围一般位于 0.000 1~0.01 之间, 不同地区、不同时间可能对应不同的取值。

## 1.2 $H$ - $k$ 方法原理

对于水平层状介质来说, 远震 P 波接收函数的不同震相 PS、PPpS 以及 PSpS/PPsS 相对于初至 P 波的到时差可分别表示为

$$T_{PS} = H \left[ \left( \frac{k^2}{V_p^2} - p^2 \right)^{\frac{1}{2}} - \left( \frac{1}{V_p^2} - p^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (8)$$

$$T_{PPpS} = H \left[ \left( \frac{k^2}{V_p^2} - p^2 \right)^{\frac{1}{2}} - \left( \frac{1}{V_p^2} - p^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (9)$$

$$T_{PPpS} = T_{PSpS} = 2H \left( \frac{k^2}{V_p^2} - p^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

其中,  $H$  表示地壳厚度,  $V_p$  为该层平均 P 波速度,  $k$  为波速比 ( $V_p/V_s$ ),  $p$  为入射波的射线参数。

根据 Zhu 等<sup>[5]</sup>提出的  $H$ - $k$  扫描叠加方法, 定义振幅叠加函数

$$S(H, k) = \omega_1 r(T_{PS}) + \omega_2 r(T_{PPpS}) - \omega_3 r(T_{PPsS+PSpS}) \quad (11)$$

其中,  $r(t)$  为径向接收函数,  $\omega_i (i=1, 2, 3)$  为相应的权重系数, 根据各震相的清晰程度确定, 且有  $\sum \omega_i = 1$ , 本文所取的权重因子分别是  $\omega_1 = 0.6$ ,  $\omega_2 = 0.3$ ,  $\omega_3 = 0.1$ 。

对于地壳厚度  $H$  及波速比  $k$ , 可以取一系列的值,  $H = h_1, h_2, \dots, h_m$ ,  $k = k_1, k_2, \dots, k_n$ 。利用公式 (11) 计算  $S(H, k)$ ,  $S(H, k)$  的最大值即对应于该台站下方的地壳厚度  $H$  和平均的地壳介质的波速比  $k$ 。

根据波速比与泊松比之间的关系式<sup>[9]</sup>

$$\sigma = \frac{k^2 - 2}{2k^2 - 2} \quad (12)$$

可进一步获得相应地震台站下地壳介质的平均泊松比。

## 2 $H$ - $k$ 方法在确定地壳厚度及地壳介质泊松比中的应用

桂东北地区位于扬子地块与华夏地块的拼合地带 (图 2)。多数地质学者认为, 在四堡运动时期, 由于新元古代古华南海的关闭, 导致了扬子和华夏两个大陆块体的碰撞-拼合, 形成了延绵 1 500 km 的江南造山带 (或称之为四堡造山带、雪峰-四堡岛弧造山带和钦-杭结合带等)<sup>[10-12]</sup>。两者的拼合带在其东段相对清楚, 沿绍兴-江山-萍乡一带展布, 有蛇绿混杂岩带、岛弧火山岩、后碰撞 S 型花岗岩及其年代学等可靠证据<sup>[13-15]</sup>。但在西段, 过湖北益阳后, 无论是蛇绿混杂岩还是岛弧火山岩均无踪影, 加之大量中生代花岗岩的占位和大面积特提斯期沉积岩的覆盖, 致使仅从地表的地质依据无从判定拼合带的西延位置。在这样的背景下, 我们在广西地区布置了宽频带地震观测台网, 对广西地区的三维岩石圈结构进行研究, 为广西地区的深部矿产资源勘查提高科学依据。

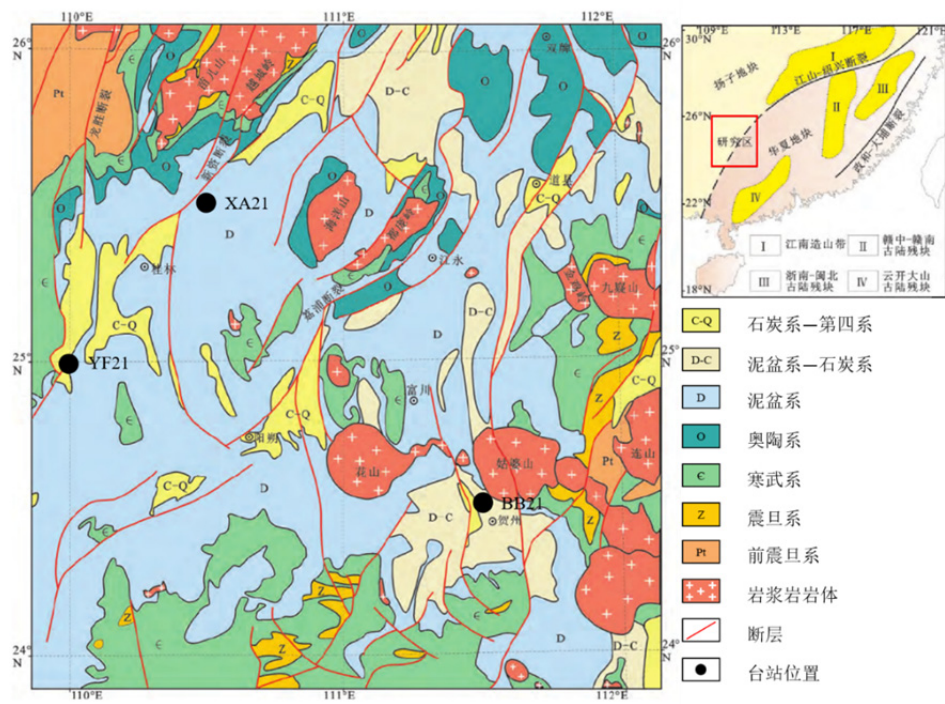


图 2 研究区区域地质简图及台站分布图 (据 1 : 250 万地质图改编)  
Fig.2 Geological map of the study area and distribution of stations

本文利用宽频带地震台网的观测数据, 对台站下方的地壳厚度及地壳介质的泊松比进行研究。2016 年 12 月 17 日 10:51:10 (UTC=0) 在巴布亚新几内亚发生 7.9 级地震 (153.52° E, -4.5° N, 震源深度 94.54 km) 中, YD21 台站 (111.99° E, 22.03° N, 震中距 50.98° ) 记录的三分量地震波形记录如图 3 所示。在高斯带宽因子  $\alpha$  取 2.5 时, 对水准量参数  $c$  分别采用 0.00001、0.0016、0.01 及 0.1 四个值进行接收函数的提取<sup>[16]</sup>, 其结果如图 4 所示。由图 4 可以看出, 当水准量因子  $c=0.0016$  时, 接收函数径向分量中的 PS、PPs、PSp/PPsS 以及 PSsS 各震相都具有清晰的波至, 并且可以较好地识别。

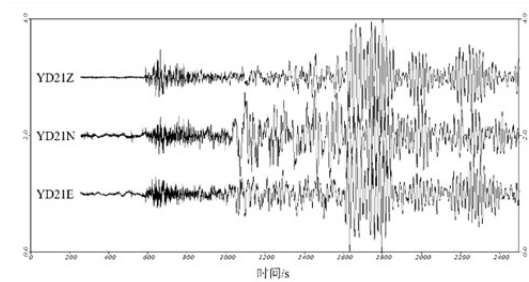


图 3 巴布亚新几内亚地震记录  
Fig.3 Seismic records from Papua New Guinea earthquake at station YD21

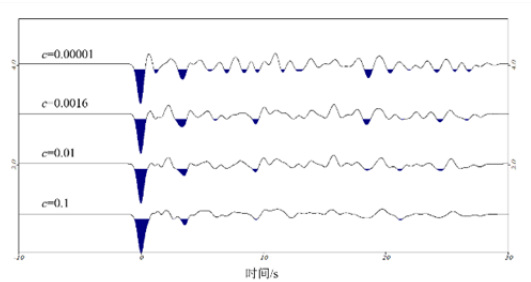


图 4 水准量参数  $c$  试验结果  
Fig.4 Test results of water level  $c$

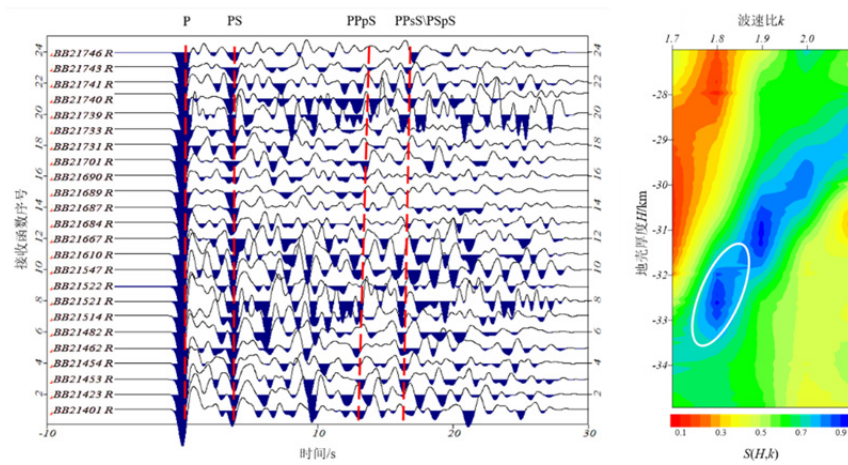
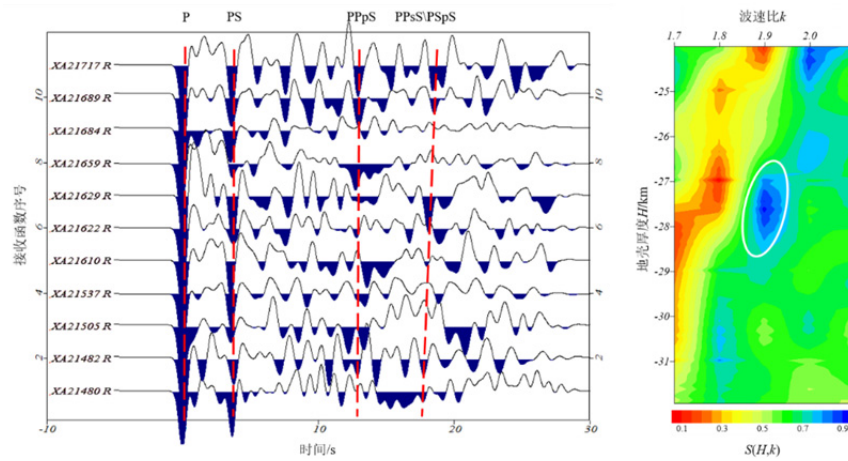
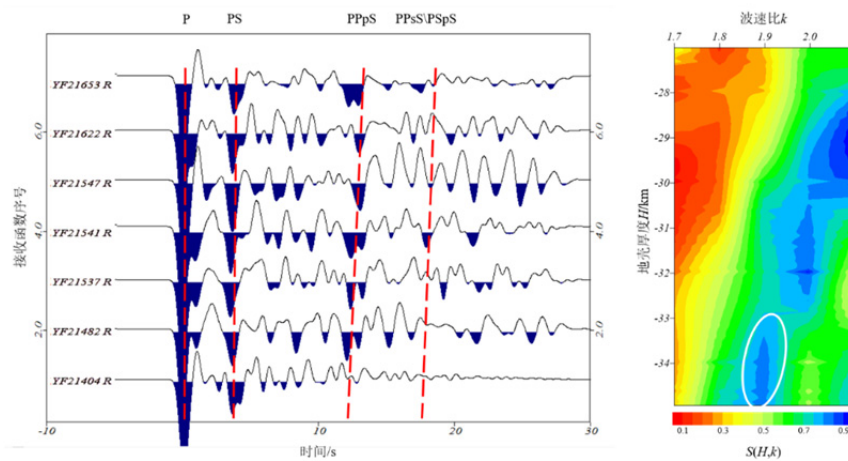
在对接收函数提取过程中各个参数研究的基础上, 我们对广西地区宽频带流动地震观测台站 BB21 (位于广西贺州市八步区)、XA21 (位于广西桂林市兴安县) 和 YF21 (位于广

西桂林市永福县)接收到的地震事件(表 1)的地震记录进行了接收函数提取,并进行了  $H-k$  叠加扫描。台站分布情况如图 2 中黑色圆点所示,台站信息与其接收函数的  $H-k$  扫描结果分别见表 2 及图 5~图 7,图中椭圆所圈处为  $S(H,k)$  的最大值。

表 1 提取接收函数及  $H-k$  扫描所使用的地震事件信息  
Table 1 Seismic event information used for receiver function extraction and  $H-k$  scanning

事件编号	时间 (UTC = 0)		经度/° E	纬度/° N	震源深度/km	震级	震中距/°
401	2015/10/20	21:52:03	167.30	-14.86	135.00	7.1	67.712
404	2015/10/26	9:09:33	70.72	36.44	212.52	7.5	36.168
423	2015/11/9	16:03:46	-173.07	51.64	15.00	6.5	63.138
453	2015/12/7	7:50:08	72.75	38.23	33.00	7.2	35.010
454	2015/12/9	10:21:49	129.51	-4.11	21.00	6.9	33.357
462	2015/12/25	19:14:47	71.13	36.49	206.00	6.3	35.811
480	2016/1/26	3:10:23	153.17	-5.33	43.85	5.8	50.811
482	2016/1/30	3:25:11	158.51	54.01	163.22	7.2	46.452
505	2016/3/3	0:10:50	94.41	-4.79	10.00	5.6	32.666
514	2016/3/12	18:06:45	-173.94	51.56	19.00	6.3	61.892
521	2016/3/19	1:35:12	-174.14	51.51	17.00	6.0	61.822
522	2016/3/20	22:50:20	162.82	54.29	30.00	6.4	48.544
537	2016/4/3	8:23:52	166.86	-14.32	26.00	6.9	67.322
541	2016/4/6	6:58:48	166.62	-14.07	24.00	6.7	67.097
547	2016/4/10	10:28:59	71.13	36.47	212.00	6.6	35.684
610	2016/5/28	5:38:51	-178.20	-21.97	405.58	6.9	83.519
622	2016/6/5	16:25:34	125.63	-4.59	429.62	6.3	32.526
629	2016/6/9	4:13:08	116.27	-11.25	19.00	6.1	35.864
653	2016/6/26	11:17:12	73.35	39.49	20.00	6.4	34.507
659	2016/7/4	9:25:39	164.97	-10.63	44.00	5.9	63.724
667	2016/7/20	15:13:17	169.05	-18.93	167.00	6.1	71.779
684	2016/8/12	1:26:36	173.12	-22.48	16.37	7.2	76.892
687	2016/8/23	19:39:45	122.44	-7.29	533.97	6.0	33.542
689	2016/8/31	3:11:35	152.79	-3.68	476.00	6.8	50.016
690	2016/9/1	16:37:57	179.15	-37.36	19.00	7.0	89.246
701	2016/9/24	21:28:42	-178.24	-19.78	596.40	6.9	82.317
717	2016/10/28	5:26:56	153.22	-4.67	45.15	5.9	50.782
731	2016/11/25	14:24:31	74.02	39.23	17.00	6.6	34.618
733	2016/12/5	1:13:05	123.38	-7.32	526.00	6.3	33.941
739	2016/12/9	19:10:07	161.13	-10.75	19.50	6.9	60.581
740	2016/12/10	16:24:35	154.47	-5.66	142.58	6.0	52.304
741	2016/12/17	10:51:10	153.52	-4.50	94.54	7.9	50.975
743	2016/12/21	0:17:15	127.92	-7.51	152.00	6.7	35.748
746	2016/12/29	22:30:19	118.66	-9.03	79.00	6.3	34.096



图5 BB21 台的接收函数与  $H-k$  扫描结果Fig.5 Receiver functions and the  $H-k$  scanning result at the station BB21图6 XA21 台的接收函数与  $H-k$  扫描结果Fig.6 Receiver functions and  $H-k$  scanning result at the station XA21图7 YF21 台的接收函数与  $H-k$  扫描结果Fig.7 Receiver functions and  $H-k$  scanning result at the station YF21

一般来说,地壳内部介质的纵、横波速度比不会大于 1.9。根据图 5~图 7 的扫描结果,我们得到广西地区宽频带流动地震观测台站 BB21、XA21 和 YF21 下方的地壳厚度、地壳内部介质的纵横波速度比及泊松比(表 2)。

表 2 台站信息与  $H-k$  扫描结果  
Table 2 Station information and  $H-k$  scanning results

台站名	经度(° E)	纬度(° N)	地壳厚度 $H/\text{km}$	波速比 $k$	泊松比 $\sigma$
BB21	111.499	24.502	31.995	1.801	0.277
XA21	110.473	25.516	27.646	1.897	0.308
YF21	110.018	25.016	34.442	1.887	0.305

宽频带流动地震观测台站 BB21、XA21 和 YF21 位于桂东北—湘南地区,区域上位于南华裂谷盆地内桂东凹陷带,是扬子地块和华夏地块西南段边界交接地带。研究区地层以古生代地层为主,零星分布中元古代和中生代到第四纪地层,并且分布有大量的基性、超基性岩体,沿宁远—道县北东向分布主要有玻基辉橄岩、橄榄拉斑玄武岩、石英拉斑玄武岩和碱性玄武岩等。

由表 2 可以看出,台站下方的莫霍面起伏剧烈,地壳厚度在 28~34 km 之间变化,表明该区深部构造的复杂性,在太平洋板块、特提斯构造域及扬子地块的共同作用下,在印支运动中形成大量的推覆构造和挤压褶皱,叠置与缩短作用造成地壳显著加厚<sup>[17]</sup>,地壳发生了严重的形变。同时,该区的地壳物质具有较高的泊松比 0.277~0.308(纵横波速度比为 1.801~1.897),这与该区出露有大量的基性、超基性岩相一致<sup>[18-20]</sup>。

3 结论

通过对接收函数的  $H-k$  扫描方法的研究及在广西地区宽频带地震流动台网观测数据的地震数据的应用,可以得出以下结论:

- (1) 接收函数不依赖于震源参数,可以更为精确地确定台站下方的地壳结构。
- (2)  $H-k$  方法简单明了,可以利用深度-波速比扫描同时获取台站下方的地壳厚度及地壳内部的波速比或泊松比。
- (3) 广西东北地区  $H-k$  方法的扫描结果表明,地壳厚度(28~34 km)变化较大,反映了该区在太平洋板块、特提斯构造域及扬子地块的共同作用下,地壳发生了严重的形变;地壳内部物质具有较高的波速比(1.801~1.897)或泊松比(0.277~0.308),与该地区的基性、超基性岩大片出露的事实相吻合。

参考文献

[1] Burdick LJ, Langston CA. Modeling crustal structure through the use of converted phases in teleseismic body-wave forms[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1977, 67(3): 677-691.

[2] Langston CA. Structure under Mount Rainier, Washington, Inferred from teleseismic body waves[J]. Journal of Geophysical Research Solid Earth, 1979, 84(B9): 4749-4762.

[3] Zandt G, Ammon CJ. Continental crust composition constrained by measurements of crustal



- Poisson's ratio[J]. *Nature*, 1995, 374(6518): 152-154.
- [4] Christensen NI. Poisson's ratio and crustal seismology[J]. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 1996, 101(B2): 3139-3156.
- [5] Zhu L, Kanamori H. Moho depth variation in southern California from teleseismic receiver functions[J]. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 2000, 105(B2): 2969-2980.
- [6] Niu F, Bravo T, Pavlis G, et al. Receiver function study of the crustal structure of the southeastern Caribbean plate boundary and Venezuela[J]. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 2007, 112: B11308, doi:10.1029/2006JB004802.
- [7] Kennett BLN, Kerry NJ. Seismic wave in a stratified halfspace[J]. *Geophysical Journal International*, 1979, 57(3): 557-583.
- [8] Owens TJ, Zandt G, Taylor SR. Seismic evidence for an ancient rift beneath the Cumberland Plateau, Tennessee: A detailed analysis of broadband teleseismic P waveforms[J]. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 1984, 89(B9): 7783-7795.
- [9] 王有学. 地震波理论基础[M]. 北京: 地质出版社, 2011.  
Wang YX. Introduction of Seismic Wave Theory[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011. (in Chinese).
- [10] 马瑞士. 华南构造演化新思考兼论“华夏古陆”说中的几个问题[J]. *高校地质学报*, 2006, 12(4): 448-456.  
Ma RS. New thought about the tectonic evolution of the South China: With discussion on several problems of the Cathaysian Old Land[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2006, 12(4): 448-456. (in Chinese).
- [11] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带[J]. *高校地质学报*, 2006, 12(4): 418-431.  
Shu LS. Predevonian tectonic evolution of South China: From Cathaysian Block to caledonian period folded orogenic belt[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2006, 12(4): 418-431. (in Chinese).
- [12] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. *中国地质*, 2009, 36(1): 1-28.  
Pan GT, Xiao QH, Lu SN, et al. Subdivision of tectonic units in China[J]. *Geology in China*, 2009, 36(1): 1-28. (in Chinese).
- [13] 李献华. 广西北部新元古代花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其构造意义. *岩石学报*, 1999, 28(1): 1-9.  
Li XH. U-Pb zircon ages of granites from northern Guangxi and their tectonic significance[J]. *Geochimica*, 1999, 28(1): 1-9. (in Chinese).
- [14] Li ZX, Li XH, Kinny PD, et al. Geochronology of neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia[J]. *Precambrian Research*, 2003, 122(1-4): 85-109.
- [15] Wang YJ, Fan WM, Sun M, et al. Geochronological, geochemical and geothermal constraints on petrogenesis of the Indosinian peraluminous granites in the South China Block: A case study in the Hunan Province[J]. *Lithos*, 2007, 96(3): 475-502.
- [16] 张洪双, 田小波, 滕吉文. 稳定的频率域提取接收函数方法研究[J]. *地球物理学报*, 2009, 52(10): 2483-2490.  
Zhang HS, Tian XB, Teng JW. Research of stable method to estimate receiver function in frequency domain[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2009, 52(10): 2483-2490. (in Chinese).
- [17] 柏道远, 周亮, 马铁球, 等. 湘东南印支期花岗岩成因及构造背景[J]. *岩石矿物学杂志*, 2007, 26(3): 197-212.  
Bai DY, Zhou L, Ma TQ, et al. Genesis and tectonic setting of Indosinian granites in southeast Hunan[J]. *Acta Petrologica Et Mineralogica*, 2007, 26(3): 197-212. (in Chinese).
- [18] 郭锋, 范蔚茗, 林舸, 等. 湖南道县辉长岩包体的年代学研究及成因探讨[J]. *科学通报*, 1997, 42(15): 1661-1664.  
Guo F, Fan WM, Lin G, et al. The chronology study and genesis of gabbro xenoliths in Daoxian, Hunan Province[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(15): 1661-1664. (in Chinese).

- [19] 赵振华, 包志伟, 张伯友. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征[J]. 中国科学(D 辑), 1998, (S2): 8-15.  
Zhao ZH, Bao ZW, Zhang BY. Geochemistry of the Mesozoic basaltic rocks in southern Hunan Province[J]. Science in China (Series D), 1998, (S2): 8-15. (in Chinese).
- [20] 王岳军, Y. H. Zhang, 范蔚茗, 等. 湖南印支期过铝质花岗岩的形成: 岩浆底侵与地壳加厚热效应的数值模拟[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(6): 491-499.  
Wang YJ, Zhang YH, Fan WM, et al. Numerical modeling of the formation of Indo-Sinian peraluminous granitoids in Hunan Province: Basaltic underplating versus tectonic thickening[J]. Science in China (Series D), 2002, 32(6): 491-499. (in Chinese).

## *H-k* Scanning Method of Receiver Functions and its Application

WANG Xin-yu, WANG You-xue<sup>✉</sup>, XIONG Bin,  
JIANG Chan-jun, ZHANG Qi, ZENG Cheng, HU Jin-feng

(School of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541006, China)

**Abstract:** *H-k* scanning method of receiver function is an important method to study the internal structure of the earth. Since the receiver function does not depend on the source parameters, it can be more accurate to determine the crustal structure below the station. *H-k* scanning method is simple and efficient, and can be used to obtain the crust thickness below the station and the  $V_P/V_S$  or Poisson's ratio inside the crust. In this paper, the *H-k* method is applied to the observational seismic data from the portable broadband seismic array in northeastern Guangxi province. The results show that the thickness of the crust varies greatly in this area (28~34 km), and the  $V_P/V_S$  (1.801~1.897) or Poisson's ratio (0.277~0.308) in the crust is higher, which is consistent with the fact that the basic and ultrabasic rocks are exposed in the northeast of Guangxi province.

**Keywords:** receiver functions; *H-k* scanning; crust thickness;  $V_P/V_S$  ratio



**作者简介:** 王心宇(1991—), 男, 桂林理工大学地质资源与地质工程专业硕士研究生, 主要从事地球物理研究, Tel: 15977389270, E-mail: wxy5515@outlook.com; 王有学<sup>✉</sup>(1961—), 男, 桂林理工大学地球科学学院教授, 博士生导师, 主要从事地球内部结构及地球动力学研究, Tel: 0773-5896341, E-mail: uxue.wang@glut.edu.cn。