

云南地区背景噪声互相关函数中体波信号来源初探^{*}

王伟涛¹, 杨润海², 郑定昌², 倪四道³, 王宝善¹

(1. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081; 2. 云南省地震局, 云南 昆明 650224;
3. 中国科学院测量与地球物理研究所 动力测量重点实验室, 湖北 武汉 430077)

摘要: 利用云南地区 43 个宽频带地震台站记录的 2008 ~ 2010 年垂直分量数据, 计算了台站对间的互相关函数并得到了 5 ~ 40 s 周期的瑞利面波信号。研究发现在 5 ~ 10 s 周期范围内, 瑞利面波信号之前存在很强的前驱信号, 该信号能量优势频段为 0.1 ~ 0.2 Hz, 其到时接近噪声互相关函数零点, 视速度约为 30 km/s。该信号到时随季节存在正负交替变化, 进一步的质点分析表明该信号为出射角较小的 P 波信号。参考已有的研究, 认为远场地脉动噪声源中的 P 波信号穿过地球深部到达云南地区, 形成了噪声互相关函数中视速度较高的体波信号, 并且相关的噪声源位置在冬季和夏季分别位于北太平洋和南印度洋, 具有明显的季节性空间变化。

关键词: 背景噪声; 体波信号; 噪声源; 季节变化

中图分类号: P315.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2011)03-0350-08

0 引言

近年来, 研究人员发现通过对地震台记录到的长时间的背景噪声进行互相关计算, 得到的互相关函数可以在一定程度上代表两个地震台之间的格林函数 (Lobkis, Weaver, 2001; Snieder, 2004; Wapenaar, 2004; Shapiro, Campillo, 2004)。从原本看似杂乱无序的随机噪声信号中获得确定性的信号, 即为格林函数。因此, 对背景噪声的研究在近十年来成为地震学研究的热点, 噪声互相关方法被广泛应用于对地下结构的成像研究, 并在监测地下介质波速变化上有了初步的应用 (Shapiro *et al*, 2005; Yang *et al*, 2007; Zheng *et al*, 2008; Zheng *et al*, 2010; Fang *et al*, 2010; Brenguier *et al*, 2008a, 2008b; Cheng *et al*, 2010; 房立华等, 2009; 李昱等, 2010; 刘志坤, 黄金莉, 2010)。

理论上, 从噪声互相关函数中可以提取出完整的格林函数, 但实际研究中, 人们提取和利用的往往都是格林函数中的面波部分, 对体波信号的提取较为少见, 这是由多种原因造成的: 首先,

要利用布设在地球表面的地震台提取体波信号, 需要来自于地表以下的噪声 (Wapenaar, 2004), 而地球上的噪声源主要分布在地球表面, 其信号的主要形式是基阶面波; 第二, 格林函数提取中, 贡献最大的是沿连接两个台站的大圆路径上分布在台站两侧的稳相区域内的噪声源 (Snieder, 2004), 而能够提供稳相体波信号的噪声源较少; 第三, 噪声中体波信号的振幅一般较小, 在互相关函数中较难显现 (Forghani, Snieder, 2010)。

体波信号可以提供地下介质深部的信息, 而且背景噪声中确实有相当一部分能量以体波形式存在 (Koper *et al*, 2010), 因此很多研究者也尝试并从噪声互相关中成功提取到了体波信号。Draganov 等 (2007) 利用沙漠中的噪声记录提取了折射 P 波并进行成像研究; Roux 等 (2005) 利用间距 2 ~ 10 km 的台站对提取出了远场 P 波信号; Wang 等 (2010) 利用一个台间距为 50 m 左右的小孔径台阵提取出了微弱的 P 波信号; Zhan 等 (2010) 利用噪声互相关得到了 Moho 面的反射震相 SmS。利用噪声互相关提取体波震相, 是背景噪声干涉的重要研究方向。

在利用云南地区固定台数据进行噪声互相关

^{*} 收稿日期: 2011-03-21.

基金项目: 中国地震局地球物理研究所基本科研专项 (DQJB10A01, DQJB10B20, DQJB11C05) 和国家自然科学基金 (41004019, 40874095) 联合资助。

研究时,笔者发现在面波信号之前存在较强的前驱信号。本文对此前驱信号进行了研究,发现该信号是源于远场噪声源中的P波信号,并对其可能来源和机制进行了解释。

1 噪声互相关计算与结果

本文使用国家数字测震台网数据备份中心提供的云南地区43个宽频带台站(图1)2008~2010年垂直分量数据进行噪声互相关处理(郑秀芬等,2009)。原始数据去除均值、趋势和仪器响应之后,将其抽样至1 Hz,并按照每个台站每天一个数据的形式来对数据进行归档,使用“One-bit”方法消除地震事件对归档后的数据的干扰,并在2~60 s周期内进行了谱白化处理。最后,计算任意台站对上每一天的互相关函数,并进行三年的叠加处理得到最终结果。

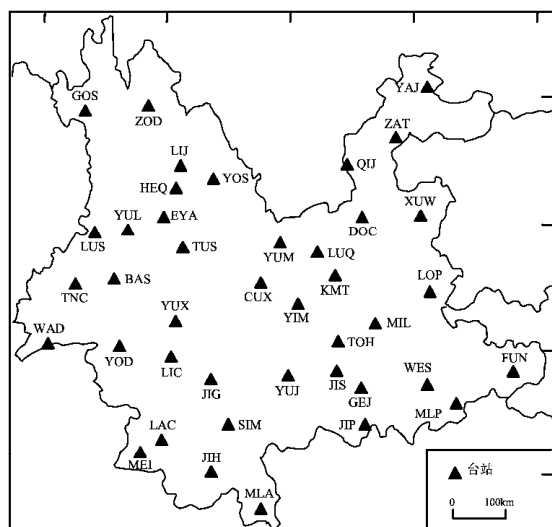


图1 云南地区噪声互相关函数计算中使用台站的分布

Fig. 1 Distribution of the stations used in calculating ambient noise cross correlation in Yunnan

由于笔者使用的是垂直分量的噪声进行互相关计算,因此得到的互相关函数中的信号主要以瑞利面波为主。图2显示了部分路径上5~10 s和10~40 s两个周期内经过三年叠加得到的噪声互相关函数波形。可以看出,在这两个周期内,噪声互相关函数中都存在清晰的瑞利面波信号,其平均视速度约为3 km/s。

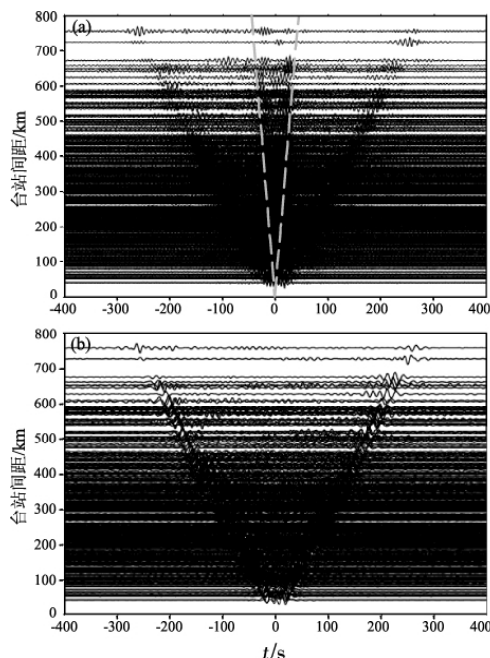


图2 部分路径上经过2008~2010年3年叠加得到的噪声互相关函数波形

(a) 周期为5~10 s的信号; (b) 周期为10~40 s的信号

Fig. 2 Noise-cross correlation functions stacked for three years from 2008 to 2010 in partial path

(a) Signals in 5~10 s period band;
(b) Signals in 10~40 s period band

笔者研究发现在5~10 s周期范围内,在瑞利面波之前还存在一组较强的信号,如图2a中虚线指示范围。该信号到时接近零点,其视速度约为30 km/s,并且仅在5~10 s周期范围内比较明显,在10~40 s周期范围内则观察不到。为查明此信号的类型和来源,笔者对其进行深入分析。

2 瑞利面波前驱信号分析

通过观察,笔者发现前驱信号到时在互相关函数零点正负50 s范围内,为此选取了未进行滤波处理的原始互相关函数中负50 s到正50 s之间的信号进行频谱分析,并选取台站间距在200 km以上且前驱信号较为明显的路径进行研究,以减少瑞利面波信号的干扰。最后笔者对选取的174条路径上该时段内的信号进行频谱分析,并对能谱最高值进行了归一化处理(图3)。从图3中可以看出,在多条路径上,该信号能谱分布比较一致,主要能量集中在0.1~0.2 Hz内。

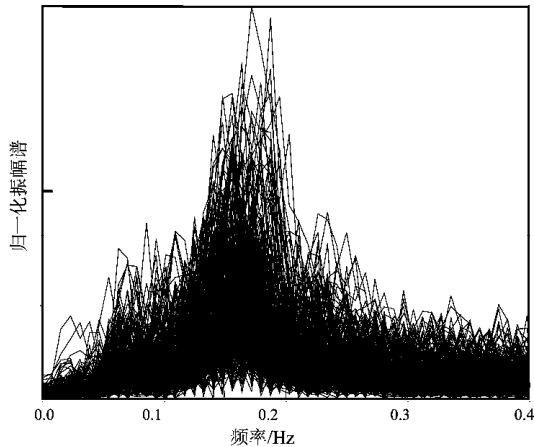


图3 多条路径上先驱信号的归一化频谱图

Fig. 3 Normalized power spectrum of the precursors in various path

频谱分析中使用经过三年叠加之后的噪声互相关函数,反映的是先驱信号的年平均特征。为研究该信号随时间的变化规律,笔者将先驱信号

比较明显的路径所对应的噪声互相关函数进行了单月的叠加处理,每一条路径上都得到了36个叠加之后的噪声互相关函数波形,并将每一组波形按照时间顺序进行排列,发现虽然该信号的到时集中在零点附近正负50 s左右,但其到时却随季节存在着正负交替变化。图4以JIG-ZAT和LAC-YUM两条路径上的波形为例,展示其走时的季节变化趋势。

图4显示了JIG-ZAT和LAC-YUM路径上先驱信号到时随月份的变化趋势。互相关函数波形中信号的因果部分表示从路径中第一个台站传向第二个台站的信号。从图4中可以看出,该信号在同一路径上的到时在夏季和冬季存在明显的正负交替变化,且在这两个路径上变化趋势相同。笔者对其余先驱信号较为明显的路径也进行了分析,得到了类似的结果,并且发现东北-西南方向上的路径信号较强,到时变化趋势也较为明显。

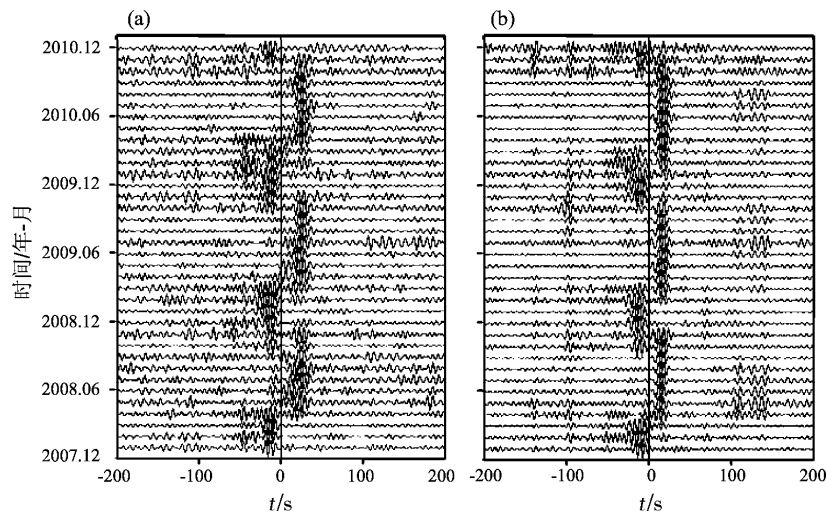


图4 2008~2010年前驱信号到时随月份的变化

(a) JIG-ZAT 路径; (b) LAC-YUM 路径

Fig. 4 Variation of the precursor's arrival time from 2008 to 2010 with month

(a) Path of JIG-ZAT; (b) Path of LAC-YUM

为进一步确定此信号的类型,笔者选取了部分先驱信号明显的路径,利用三分量数据重新计算不同分量组合的互相关函数来进行质点运动分析。由于质点运动分析需要保留原始噪声信号的相对幅度信息,因此在使用三分量数据进行互相关计算时,没有采用“One-bit”和谱白化等非线性处理。首先在单天数据中选取一段无地震事件

的时段,计算噪声的平均振幅值,再对数据中振幅超过6倍噪声振幅平均值的时间段进行了裁切处理,以此数据来进行互相关计算。同时,根据台站坐标对参与计算的台站对的原始数据进行旋转处理,得到同该路径相对应的径向R、切向T和垂直向Z方向的分量。最后对得到的R、T、Z方向3个分量分别进行互相关处理,并按照三年中冬季

和夏季分别进行叠加处理。其中夏季叠加使用当年第151天到第270天的数据, 冬季则采用当年第300天到次年第90天的数据。

对叠加之后得到的夏季和冬季RR和ZZ分量组合的噪声互相关函数, 选取了前驱信号部分以及瑞利面波部分分别绘制了质点运动轨迹, 图5显示了以LAC-YUM路径为例的分析结果。

图5a~c分别显示了LAC-YUM路径上冬季和夏季3个分量的噪声互相关函数在5~10 s滤波之后的波形以及前驱信号在冬季和夏季的质点运动轨迹。由于该路径上5~10 s的瑞利面波较弱, 因此选取了该路径上10~20 s的瑞利面波信号来分析面波的质点运动, 如图5d~f所示。由于可以确定在对应走时范围内的信号为瑞利面波, 因此选取10~20 s的面波信号并不影响对比分析其同前驱信号的差别。

从图5中可以看出, 在冬季和夏季, 前驱信号的质点运动轨迹均表现出同瑞利面波截然不同的

运动方式。瑞利面波的质点在冬季和夏季的运动方式相同, 都具有明显的逆进椭圆特征(图5e, f), 而前驱信号则具有更强的垂向分量, 有明显的P波特征, 并且在冬季和夏季, 其运动轨迹具有明显的方向性差异(图5b, c), 对其余路径的分析也得到了类似的结果。

Landès等(2010)利用质点运动分析的方式研究了噪声互相关函数中面波之前的前驱信号, 其得到的结果同本文的结果具有极高的相似性。Landès等(2010)认为, 此类前驱信号是由远场噪声源中的P波信号在深部界面反射至研究区域下方而产生的。相对于此研究, 本文所得到的前驱信号更加明显, 而且在同一路径上的到时具有明显的季节性正负交替变化。因此, 笔者认为在云南地区噪声互相关函数中的这种较强前驱信号也是来自远场噪声源的P波信号, 并且产生这种信号的噪声源的位置在冬季和夏季可能不同。

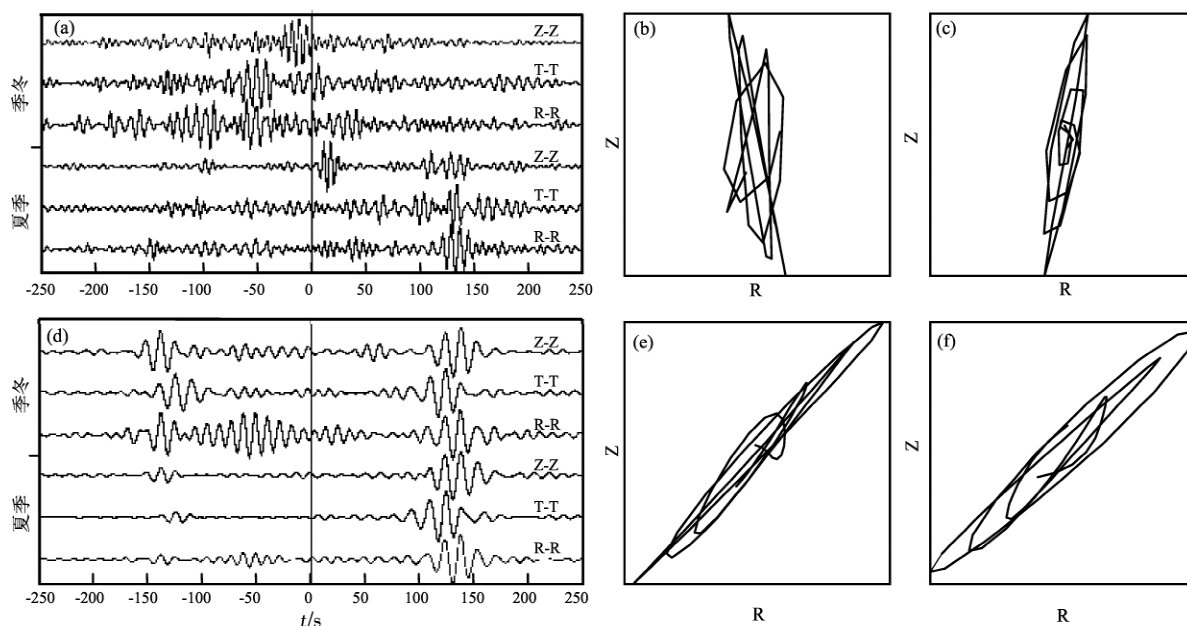


图5 LAC-YUM路径上冬季和夏季三分量互相关函数波形及质点运动轨迹

(a) 5~10 s 周期范围内的互相关函数波形; (b) 5~10 s 周期范围内前驱信号在冬季的质点运动轨迹; (c) 5~10 s 周期范围内前驱信号在夏季的质点运动轨迹; (d) 10~20 s 周期范围内的互相关函数波形; (e) 10~20 s 周期范围内的瑞利面波信号在冬季的质点运动轨迹; (f) 10~20 s 周期范围内的瑞利面波信号在夏季的质点运动轨迹

Fig. 5 Waveforms of three components cross correlation functions for path LAC-YUM in winter and summer and the partial motions for precursors and Rayleigh waves respectively

(a) Waveforms of cross correlation functions within 5~10 s periods; (b) Partial motions for precursors in winter within 5~10 s periods; (c) Partial motions for precursors in summer within 5~10 s periods; (d) Waveforms of cross correlation functions within 10~20 s periods; (e) Partial motions for Rayleigh wave in winter within 10~20 s periods; (f) Partial motions for Rayleigh wave in summer within 10~20 s periods

3 讨论与结论

地球背景噪声在 10 ~ 20 s 和 5 ~ 10 s 之间存在两个明显的峰值, 分别称为第一类地脉动 (Primary Microseism) 和 第二类地脉动 (Secondary Microseism)。Longuet - Higgins (1950) 认为, 第二类地脉动是由两列方向相反、频率相同的第一类地脉动经过非线性耦合产生的。在近海海岸, 传向海岸的海浪同其反射波可以相互耦合, 形成 5 ~ 10 s 的噪声。因此 5 ~ 10 s 的噪声源主要沿着海岸线分布, 这一结果也被很多研究证实 (Stehly *et al*, 2006; Yang, Ritzwoller, 2008)。但 Kedar 等 (2008) 指出, 近海海岸线并不是第二类地脉动唯一的来源, 在特定的深海海域也有条件发生这种非线性耦合, 从而产生相应的噪声。Zhang 等 (2009, 2010) 研究表明, 在海洋风暴的驱使下, 在深海和近海海岸都可以产生 5 ~ 10 s 的噪声, 并且这些噪声中含有强烈的 P 波信号, 甚至可以用于风暴轨迹的追踪。

地球背景噪声中的体波成分往往来自于地面

下方, 以一定的出射角度被位于地表的地震台记录到。出射角度小的体波往往会在互相关函数中形成视速度较高的信号。图 6a 为以出射角 θ 传播的平面波的射线路径和波前示意图。从时刻 t_1 到 $t_1 + \Delta t$, 波前沿射线路径向前传播了 Δs , 但在地表波前传播的水平距离为 Δx , 并且有

$$\Delta x = \frac{\Delta s}{\sin \theta}, \quad (1)$$

因此, 该信号的视速度 V_{app} 为

$$V_{app} = \frac{V}{\sin \theta}. \quad (2)$$

其中, V 为体波在介质中的传播速度。

本文在 IASPEI91 模型 (Kennett, Engdahl, 1991) 的基础上以 TauP 方法 (Crotwell *et al*, 1999) 计算了不同类型的 P 波 (P, PP, PKP, PKiKP) 在不同角距离上的水平慢度 (图 6b)。由于视速度为水平慢度的倒数, 从图 6b 中可以看出, 对于特定的 P 波, 可以形成视速度很高的信号。

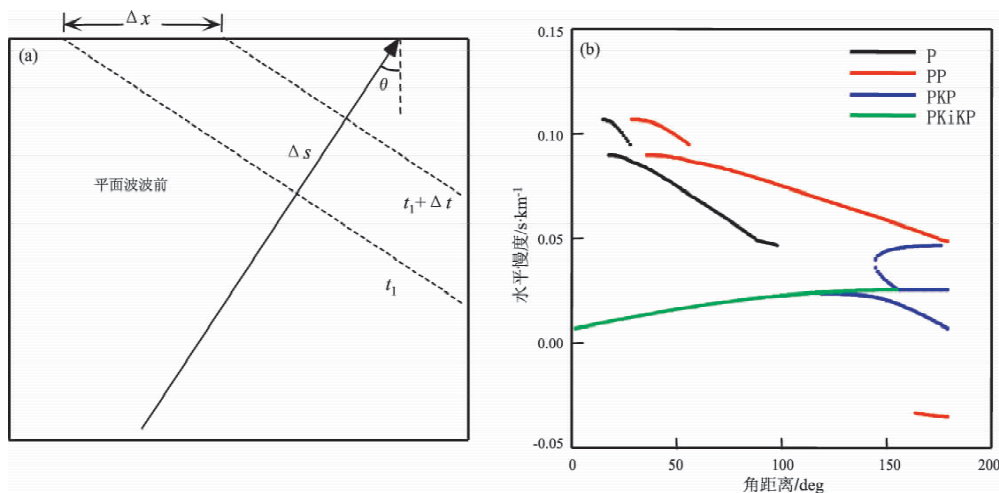


图 6 P 波信号的视速度与水平慢度分析

(a) 平面波以出射角 θ 出射地表的示意图 (实线箭头表示射线路径, 虚线表示平面波的波前);

(b) 以 IASPEI91 模型计算的不同类型的 P 波在不同角距离上的水平慢度

Fig. 6 Apparent velocity and horizontal slowness anylysis of different P wave

(a) A plane wave emerges on a horizontal surface with the emergent angle θ . (arrow with solid line: the ray path,

dashed line: the wavefront of the plane wave); (b) Horizontal slowness for different type P waves

with respect to angular distance of source and receiver based on IASPEI91 model

很多研究都证实了 5 ~ 10 s 噪声中存在较强 P 波信号。Koper 和 Foy (2008) 利用位于泰国的

CMAR 台阵对南亚地区的噪声进行了研究, 他们使用的台阵位置如图 7 中黑色五角星所示, 其 FK 分

析结果表明, CMAR 的噪声记录中含有较强的 P 波信号, 该信号的视速度较高, 为 25 km/s 左右。利用台阵技术得到的方位角和慢度参数表明该噪声来自于印度洋南部, 很可能是该地区 5 ~ 10 s 噪声中的 P 波信号穿越地球深部而到达台阵下方的。Landès 等 (2010) 则联合利用台阵分析和噪声互相关技术对远场噪声源中的 P 波信号进行了研究, 发现在第二类地脉动噪声范围内存在较强的 P 波信号, 该信号会在噪声互相关函数接近零点的位置产生一组前驱信号。他们还利用 Beam-forming 的方法对这些噪声源进行了定位研究, 发现此类噪声源的位置存在季节性变化, 在北半球的冬季主要位于大西洋北部和太平洋北部, 夏季则位于印度洋南部以及太平洋南部, 这些噪声源空间位置的变化, 很可能同全球风暴位置的季节变化有关。

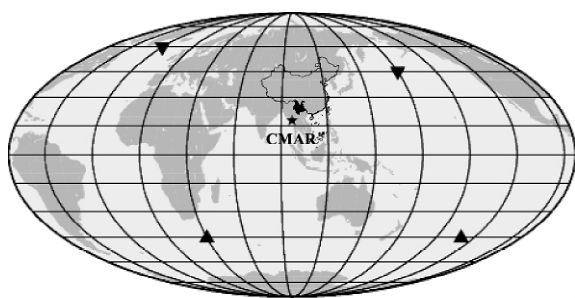


图7 云南地区噪声相关函数中面波前驱信号的可能来源

(黑色三角和倒三角为 Landès 等 (2010) 得到的 5 ~ 10 s 噪声源在夏季和冬季的可能位置; 黑色五角星表示泰国 CMAR 台阵的位置)

Fig. 7 Possible mechanics for the strong precursors observed in noise-cross correlation function in Yunnan region

(Filled triangles and inverse triangles: the sources for 5 ~ 10 s microseisms for summer and winter respectively obtained by Landès *et al* (2010); Filled star: the position of CMAR array in Thailand)

云南地区处于中国西南, 其西南方向是印度洋, 东部则是广阔的太平洋, 如图 7 所示。云南地区的噪声很可能来自于两个大洋的共同作用。同时图 7 中也用黑色三角和倒三角分别表示了 Landès 等 (2010) 研究中夏季和冬季的 5 ~ 10 s 噪声源分布, 可以看出, 北太平洋和南印度洋的噪声源距离云南地区较近, 其产生的 P 波信号在穿过地球

深部区域之后, 可以被云南地区的地震台站记录, 这很可能就是本文所观测到的前驱体波信号的产生机制。在夏季云南地区的台站记录到的这种 P 波形态噪声主要受印度洋南部噪声源的影响, 而冬季则主要受来自太平洋北部噪声的影响, 因此在云南地区得到的前驱信号到时具有季节性的正负交替变化特征。根据 Sineder (2004) 的研究, 稳相区域内的噪声源对格林函数的提取影响最大。这两个噪声源的连线恰好在云南地区形成东北—西南方向, 其产生的信号提供了来自于地表以下的稳相区域内的体波噪声, 因此, 观测到前驱信号在东北—西南方向上具有较强的振幅和较为明显的到时交替变化现象。在稳相区域之外的路径上, 也存在一定的 P 波信号, 但其强度较弱。笔者观测到噪声互相关函数中前驱信号的视速度约为 30 km/s, 而 Koper 和 Foy (2008) 直接利用台阵分析方法得出的 P 波噪声的视速度为 25 km/s, 同本文的结果接近, 进一步确认了对此前驱信号来源的猜想。其视速度的差异, 很可能是接收台站位置不同造成的。本文仅仅利用了台站间距和信号到时来估计此信号的视速度, 只能大体反映该信号视速度特征, 要精确测量云南地区此前驱信号的视速度, 尚需要进一步的工作。

通过以上分析, 云南地区噪声互相关函数中面波之前的较强信号可能来自于远场噪声源中的 P 波成分, 并且产生这种前驱信号的噪声源在夏季和冬季位于不同的位置。这种前驱信号的发现, 使得研究人员有可能通过噪声互相关获得地球深部的信息, 为利用噪声研究地球深部提供了一种可能手段, 但对此信号来源的精确定位, 尚需要联合台阵技术作进行进一步分析。云南省地震局在腾冲火山带布设有小型火山台阵, 中国地震局“中国台阵探测——南北地震带南端”项目也将在云南境内布设较大尺度的流动台阵, 地震科研人员将在后续研究中使用这些台阵数据对此信号进行进一步的研究。

本研究得到中国地震局监测预报司的支持。本文中使用的地震波形数据由中国地震局地球物理研究所“国家数字测震台网数据备份中心”提供, 在此一并表示感谢。

参考文献:

- 房立华, 吴建平, 吕作勇. 2009. 华北地区基于噪声的瑞利面波群速度层析成像[J]. 地球物理学报, 52(3): 663–671.
- 李昱, 姚华建, 刘启元, 等. 2010. 川西地区台阵环境噪声瑞利波相速度层析成像[J]. 地球物理学报, 53(4): 842–852.
- 刘志坤, 黄金莉. 2010. 利用背景噪声互相关研究汶川地震震源区地震波波速变化[J]. 地球物理学报, 53(4): 853–863.
- 郑秀芬, 欧阳颢, 张东宁, 等. 2009. “国家数字测震台网数据备份中心”技术系统建设及其对汶川大地震研究的数据支撑[J]. 地球物理学报, 52(5): 1412–1417.
- Brenguier F, Campillo M, Hadziioannou C, *et al.* 2008a. Postseismic relaxation along the San Andreas Fault at Parkfield from continuous seismological observations[J]. Science, 321(5895): 1478–1481.
- Brenguier F, Shapiro N M, Campillo M, *et al.* 2008b. Towards forecasting volcanic eruptions using seismic noise [J]. Nature Geoscience, 1(2): 126–130.
- Cheng X, Niu F, Wang B. 2010. Coseismic velocity change in the rupture zone of the 2008 M_w 7.9 Wenchuan earthquake observed from ambient seismic noise[J]. BSSA, 100(5B): 2539–2550.
- Crotwell H P, Owens T J, Ritsema J. 1999. The taup toolkit: Flexible seismic travel-time and raypath utilities [J]. Seismological Research Letters, 70(2): 154–160.
- Draganov D, Wapenaar K, Mulder W, *et al.* 2007. Retrieval of reflections from seismic background-noise measurements [J]. Geophys Res Lett, 34(4): L04305, doi: 10.1029/2006GL028735.
- Fang L H, Wu J P, Ding Z F, *et al.* 2010. High resolution Rayleigh wave group velocity tomography in North China from ambient seismic noise [J]. Geophys J Int, 181(2): 1171–1182.
- Forghani F, Snieder R. 2010. Underestimation of body waves and feasibility of surface-wave reconstruction by seismic interferometry [J]. The Leading Edge, 29(7): 790–794.
- Kedar S, Longuet-Higgins M, Webb F, *et al.* 2008. The origin of deep ocean microseisms in the North Atlantic Ocean [J]. Proc R Soc A, 464(2901): 777–793.
- Kennett B L N, Engdahl E R. 1991. Traveltimes for global earthquake location and phase identification [J]. Geophys J Int, 105(2): 429–465.
- Koper K D, Foy D B. 2008. Seasonal anisotropy in short period seismic noise recorded in south Asia [J]. BSSA, 98(6): 3033–3045.
- Koper K D, Seats K, Benz H. 2010. On the composition of Earth's short-period seismic noise field [J]. BSSA, 100(2): 606–617.
- Landès M, Hubans F, Shapiro N M, *et al.* 2010. Origin of deep ocean microseisms by using teleseismic body waves [J]. JGR, 115, B05302, doi: 10.1029/2009JB006918.
- Lobkis O I, Weaver R L. 2001. On the emergence of the Green's function in the correlations of a diffuse field [J]. J Acoust Soc Am, 110(6): 3011–3017.
- Longuet-Higgins M S. 1950. A theory of the origin of microseisms [J]. Philos Trans R Soc London (Ser A), 243(857): 1–35.
- Roux P, Sabra K G, Gerstoft P, *et al.* 2005. P-waves from cross-correlation of seismic noise [J]. Geophys Res Lett, 32, L19303, doi: 10.1029/2005GL023803.
- Shapiro N M, Campillo M, Stehly L, *et al.* 2005. High resolution surface wave tomography from ambient seismic noise [J]. Science, 307(5715): 1615–1618.
- Shapiro N M, Campillo M. 2004. Emergence of broadband Rayleigh waves from correlations of the ambient seismic noise [J]. Geophys Res Lett, 31, L07614, doi: 10.1029/2004GL019491.
- Snieder R. 2004. Extracting the green's function from the correlation of coda waves: A derivation based on stationary phase [J]. Phys Rev E, 69(2): doi: 10.1103/PhysRevE.69.046610.
- Stehly L, Campillo M, Shapiro N M. 2006. A study of the seismic noise from its long-range correlation properties [J]. JGR (B10): 111, B10306.
- Wang W, Ni S, Wang B. 2010. Composition of high frequency ambient noise from cross-correlation: A case study using a small aperture array [J]. Earthquake Science, 23(5): 433–438.
- Wapenaar K. 2004. Retrieving the elastodynamic Green's function of an arbitrary inhomogeneous medium by cross correlation [J]. Physical Review Letters, 93(25): doi: 10.1103/PhysRevLett.93.254301.
- Yang Y, Ritzwoller M H, Levshin A L, *et al.* 2007. Ambient noise Rayleigh wave tomography across Europe [J]. Geophys J Int, 168(3): 259–274.
- Yang Y, Ritzwoller M H. 2008. Characteristics of ambient seismic noise as a source for surface wave tomography [J]. Geochim Geophys Geosyst, 9(2), doi: 10.1029/2007GC001814.
- Zhan Z, Ni S, Helmberger D V, *et al.* 2010. Retrieval of Moho-reflected shear wave arrivals from ambient seismic noise [J]. Geophys J Int, 182(1): 408–420.
- Zhang J P, Gerstoft P, Bromirski P D. 2010. Pelagic and coastal sources of P wave microseisms: Generation under tropical cyclones [J]. Geophys Res Lett, 37, L15301, doi: 10.1029/2010GL044288.
- Zhang J, Gerstoft P, Shearer P M, *et al.* 2009. High-frequency P-wave seismic noise driven by ocean winds [J]. Geophys Res Lett, 36(9) doi: L09302, 10.1029/2009GL037761.
- Zheng S, Sun X, Song X, *et al.* 2008. Surface wave tomography of China from ambient seismic noise correlation [J]. Geochim Geophys Geosyst, 9(5): Q05020.
- Zheng X, Jiao W, Zhang C, *et al.* 2010. Short-period Rayleigh wave group velocity tomography through ambient noise cross-correlation in Xinjiang, northwest China [J]. BSSA, 100(3): 1350–1355.

Study on the Origin of the Body Wave Extracted from Ambient Seismic Noise Cross-correlation Function in Yunan

WANG Wei-tao¹, YANG Run-hai², ZHENG Ding-chang², NI Si-dao³, WANG Bao-shan¹

(1. *Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China*)

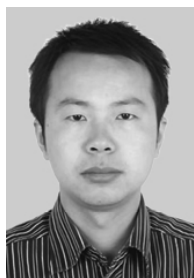
(2. *Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

(3. *Key Laboratory of Dynamic Geodesy, Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, Hubei, China*)

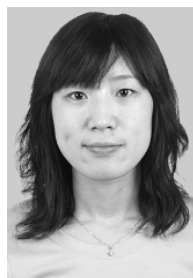
Abstract

Using vertical component records observed at 43 broad-band seismic stations from 2008 to 2010 in Yunnan, we calculate the noise-cross correlation functions between each station-pair and obtain Raleigh surface wave in the period from 5s to 40s. We find that in the period from 5s to 10s, and before Rayleigh wave, there is a strong precursory wave whose dominant frequency band is between 0.1 Hz and 0.2 Hz and whose arrival time is near the zero of cross correlation functions. Moreover its negative arrival-time in Winter alternates with the positive ones in Summer. Through further analysis of particle-motion, we confirm that this wave is P-wave with smaller reflection angle whose apparent velocity is about 30km/s. Referring to the relevant research results, we conclude that originating from the ambient micro-tremor noise source at a teleseismic distance, P-wave travels through deep earth to Yunnan and reaches a higher apparent velocity. The ambient noise source, which locates in South Indian Ocean in Summer and North Pacific Ocean in Winter, varies seasonally and spatially.

Key words: ambient noise; body wave signal; noise source; seasonal variation



董燕生 北京农业信息技术研究中心助理研究员。2010 年毕业于北京师范大学，获博士学位。主要从事地震灾害遥感、农业灾害遥感等领域的研究，尤其是灾后遥感监测与损失评估。



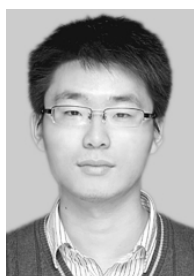
兰双双 北京工业大学建筑工程学院博士后。2005 年、2007 年、2010 年毕业于吉林大学环境与资源学院，并分别获学士、硕士、博士学位。主要从事水环境与地震地下流体方面的研究。



倪红玉 安徽省地震局工程师。2008 年毕业于中国科技大学化学物理系，获硕士学位。主要从事地震预报研究工作。



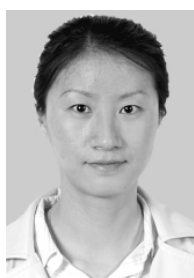
王伟涛 中国地震局地球物理研究所助理研究员。2009 年毕业于中国科学技术大学地球与空间科学系，获博士学位。主要从事重复震源和 4D 地震学研究。



魏运浩 中国地震局地震研究所硕士研究生。2007 年毕业于武汉理工大学资源与环境工程学院，获学士学位；2008 年 9 月至今，在中国地震局地震研究所水库诱发地震研究室攻读硕士学位。主要从事地震工程研究工作。



许晓庆 宁夏回族自治区地震局工程师。2004 年毕业于成都信息工程学院计算机科学与技术专业，获学士学位；2010 年毕业于中国科学技术大学地球和空间科学学院固体地球物理专业，获硕士学位。现主要从事地震预测和计算地震学等研究工作。



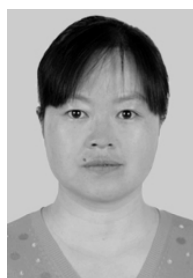
张风霜 中国地震局第一监测中心工程师。2006 年毕业于天津师范大学数学与应用数学专业，获理学硕士学位；2009 年 2 月至 6 月于中国科学院上海天文台学习利用 Gamit/Globk 软件进行 GPS 数据处理的基础理论与方法。现主要从事 GPS 数据处理与地震预测研究。



张双凤 河北省地震局邯郸中心台工程师。1999 年毕业于河北工程大学计算机专业，获学士学位。主要从事地震观测及分析预报工作。



张新东 河北省地震局高级工程师。1988 年毕业于云南大学地球物理系，获理学学士；2003 年毕业于中国科技大学地球物理专业，获硕士学位。曾参与首都圈地震台网建设、十五河北数字地震台网改造等项目。主要从事地震台网的勘选、设计与建设，数字化地震波形资料的应用研究等。



李 琼 云南省地震局工程师。2008 年毕业于云南大学固体地球物理系，获硕士学位，主要从事地震前兆和地震预报等方面的研究工作。