# 地幔间断面研究现状

1. 李嘉琪,宁杰远,蔡晨等.[基于三重震相波形非线性反演的俯冲带410-km间断面起伏研究](../基于三重震相波形非线性反演...410-km间断面起伏研究_李嘉琪.pdf)[J].地球物理学报,2021,64(02):507-524.

利用NECESSArray宽带地震阵列记录的三倍P波，我们应用遗传算法对千岛群岛俯冲带内及周围410公里的不连续结构进行了非线性反演。我们重点研究了来自M.5. 9地震的波形，该地震于2009年10月10日21:24（格林尼治标准时间）发生在千岛群岛俯冲带。射线路径大致平行于俯冲板块的走向，克服了在倾角方向上，不连续性波动过大而无法识别的困难。我们根据方位角范围，将该区域分为北部（275°~280°）、中部（269°~274°）和南部（264°~266°）。因此，我们可以研究410公里的不连续体在逐渐接近并最终穿透俯冲板块时的起伏情况。为了减少浅层结构对结果的影响，我们在反演前对P波到达的波形进行了排列。此外，我们还采用了一个阵列归一化的策略，使我们能够充分利用三倍的振幅来解决二层连续结构。我们的反演结果表明，"410公里不连续面 "在北部被抬升了10~20公里，在中部地区被抬升了20~30公里，在南部地区被抬升了60~70公里。这种隆起与矿物物理学对橄榄石到菘蓝岩平衡相变的预测一致。跨越不连续面的压缩波速跳跃在北部为10%，中部为10%，南部为7%。中部为10%，南部为7%。在考虑了震源侧和我们研究的波速异常的影响后 在考虑了以前的断层扫描结果所显示的震源侧和我们研究区域的波速异常的影响后，剩下的~4%的波速是由我们的断层扫描结果所显示的、 剩下的~4%的波速跳跃与IASP91模型中的数值相当。我们的 目前的结果显示，没有确凿的证据表明俯冲板块中存在可转移的橄榄石楔。俯冲板块中存在可转移的橄榄石楔，但未来的研究旨在对过渡区的详细 过渡区的波形拟合 三叠纪的详细波形，可能会给这个问题一个确定的答案。

1. 王冠之,陈永顺,张晨等.华南中部地幔转换带厚度异常：海南地幔柱?[J].地球物理学报,2022,65(10):3871-3880.
2. 马宇岩,盖增喜.利用SS前驱波研究纳斯卡-南美俯冲带周边上地幔间断面起伏及其动力学意义[J].北京大学学报(自然科学版),2018,54(06):1186-1194.DOI:10.13209/j.0479-8023.2017.179.
3. 刘震,田小波,聂仕潭等.华北东部复杂的660km相变界面[J].地球物理学报,2016,59(06):2039-2046.

[C. Houser,G. Masters,M. Flanagan,P. Shearer. Determination and analysis of long‐wavelength transition zone structure using SS precursors[J]. Geophysical Journal International,2008,174(1).](https://academic.oup.com/gji/article/174/1/178/575692?login=true)178-194

410和660公里不连续地形和过渡区厚度的全球测绘已被证明是制约地幔化学、动力学和矿物学的有力工具。大量的地震和矿物物理学研究表明，410公里的不连续是由橄榄石到菘蓝岩的相变造成的，660公里的不连续是由环斑岩到过氧化物和镁武岩的相变造成的。410和660公里不连续体的底面反射作为SS的前兆到达。随着最近确定SS到达的半自动化方法的发展，我们将Flanagan和Shearer（1998a）手工挑选的SS波形的数据集增加了两倍多。我们能够通过在5°而不是10°半径范围内堆叠波形来提高分辨率，同时也大大增加了南半球的数据覆盖范围。由此产生的SS-S410S和SS-S660S时间受到上地幔速度结构的严重影响。我们对不连续地形和速度异质性进行了联合反演，并对前兆差分时间进行了简单的速度校正，发现这两种方法的差别不大。660公里的不连续地形和过渡区厚度与过渡区的速度相关，而410公里的不连续地形则不然。此外，410公里不连续地形与660公里不连续地形不相关，而是反相关，这是由于它们各自的相位变化的Clapeyron斜率的符号相反。这些结果表明，660公里不连续面的地形可能是由热效应主导的，而410公里不连续面的地形可能是由成分效应主导的。此外，与以往的研究不同，我们发现410公里不连续面的地形比660公里不连续面的地形要小，410和660公里的地形有相似的振幅。

# PKIKP震相

[Devon N. Verellen,Erik C. Alberts,Gustavo A. Larramendi,E. Horry Parker Jr,Robert B. Hawman. P ‐Wave Reflectivity of the Crust and Upper Mantle Beneath the Southern Appalachians and Atlantic Coastal Plain Using Global Phases[J]. Geophysical Research Letters,2020,47(18).](https://schlr.cnki.net/en/Detail/index/GARJ2020/SJWD911733D37D1867ED97C1F0DF8CE8A770)

使用全球相位的南阿巴拉契亚和大西洋沿岸平原下方地壳和上地幔的P波反射率

使用PKPdf作为虚拟源生成的反射剖面显示，从南部阿巴拉契亚造山运动和大西洋沿海平原下面不到1公里的深度到大约200公里的结构的横向连续反射。被解释为来自莫霍河的反射的到达时间从沿海平原下的约10秒增加到蓝岭山脉下的17.4秒（约57公里），提供了南部阿巴拉契亚山脉处于大致等静力学平衡的额外证据。32-36秒（120-135公里）的反射与最近Ps到达和表面波的反演中发现的岩石圈底部的深度一致。另外，这些和后来的58秒（约224公里）的反射可能是由于与天体层中的拖曳流动有关的分层，表明在佐治亚州沿海平原下面225公里以下的深度，主要是水平流动而不是垂直流动。

1. Januka A et al. [Irregular Transition Layer Beneath the Earth's Inner Core Boundary From Observations of Antipodal PKIKP and PKIIKP Waves](https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2018GC007562)[J]. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 2018, 19(10) : 3607-3622.

标准的地球模型假定有一个简单的统一的内核边界（ICB），将液态铁外核和固态铁内核分开。然而，冶金学和地球动力学实验预测，沿着这个边界的横向变化源于凝固过程中的热化学和地球动力学不稳定性。我们通过利用反方向PKIIKP波形对其在ICB底部反射点下的最上层内核的剪切波速度结构的敏感性来寻找这种横向异质性的证据。从178o到180o距离范围内的33个罕见的反波段地震图中测量PKIIKP/PKIKP能量比，我们发现这个比率在0.1和1.1之间变化。合成地震图表明，横向均匀的液体-固体ICB不能解释这种变化。相反，观察结果支持空间可变的ICB过渡，包括（1）地震速度和密度的梯度，它们从外核的速度和密度平滑地增加到内核的大部分，最大深度为10公里，或者（2）分层过渡，速度和密度的局部双不连续，相隔4-10公里。如果过渡区的剪切速度较小（<2 km/s），分层过渡可以在PKIKP之后产生一个尾声。我们的结果意味着，ICB不是均匀的，可能会出现横向刚度变化的斑块。我们推断在ICB存在的非均匀的小尺度结构特征与最下层外核的小尺度外核对流所驱动的非线性凝固机制相一致。

1. 沈旭章, 周蕙兰. [用 PKIKP 的前驱震相探测青藏高原东部地幔底部的散射体](https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=3uoqIhG8C44YLTlOAiTRKgchrJ08w1e75TZJapvoLK1s14ANF2xSTSiZVJCeXAh93anguCIldMiyOZ73UK2fLw15a6tAG3En&uniplatform=NZKPT). 科学通报, 2009, 54: 3844~3851

在兰州 CTBTO 地震台阵的记录波形上识别了 PKIKP 的前驱震相, 并提取了它们的 慢度、方位角及其与 PKIKP 之间的到时差, 然后使用这些观测特征量测定了产生这些前驱 震相的散射体的位置. 结果表明, 这些散射体分布在青藏高原东部及附近地区的地幔底部 或 D”区域, 为该处结构的复杂不均匀性提供了证据. 对比表明, 这些散射体与全球层析成 像在该处地幔底部给出的波速高异常区相关, 可以合理地解释散射体的成因. 这是因为研 究表明, 该处地幔底部的这些波速高异常区, 很可能是古特提斯俯冲板块在青藏高原东部 及附近地区到达地幔底部, 并在俯冲过程中因拆沉、滞留及与地幔物质混合等作用所产生的 不均匀体(也即地震波散射体)的显示.

地球内核震相 PKIKP(亦称 PKPdf)的前驱波是探测地幔底部或 D”区域不均匀体的有用资料。

1. [王文爽. 利用PKIIKP/PKIKP振幅比约束内核顶部S波速度结构[D].武汉大学,2019.](https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=3uoqIhG8C475KOm_zrgu4lQARvep2SAkEcTGK3Qt5VuzQzk0e7M1z-HwWIXC5ZYx5mUo8E3Lgz1pPaxEeNuglZ5lp_-2arQj&uniplatform=NZKPT)

研究内核顶部的S波速度结构有助于了解内核的生长机制。在近极对极(178°180°)的震中距范围内,从内核边界下表面反射的PKIIKP震相对于内核顶部的S波速度十分敏感,因此PKIIKP/PKIKP振幅比可以用于约束内核顶部的S波速度结构。近极对极的地震观测记录极少,但位于非洲北部的TAM台站记录到了4个振幅极强的PKIIKP震相。这些异常PKIIKP震相揭示了内核边界处的异常结构(外核底部P波速度逐渐下降至15%或者内核顶部存在接近于零的S波速度)。然而,利用TAM台站记录到的12个近极对极地震事件对这些异常PKIIKP震相进行详细的分析后,三个方面的分析结果表明这些异常震相实际上是PKIKP的尾波,它们可能来源于Tonga俯冲板片上方的不均匀结构。首先,这些异常震相出现在179°179.6°的震中距范围内,内核边界处的异常速度结构无法较好的解释其振幅。其次,这些异常震相也出现在160°170°的震中距范围中,其慢度接近于PKIKP。第三,这些异常震相的走时在TAM台站处的变化无法用PKIIKP震相的走时误差来解释。TAM台站附近(5°以内)不存在其余台站,因此无法从此台站近极对极地震记录中估计准确的PKIIKP/PKIKP振幅比。舍弃TAM台站的记录后,重新从美国IRIS数据中心以及中国地震局搜集了极对极地震记录。在178°180°的震中距范围内一共收集到140个具有高信噪比(SNR>4)记录的地震事件。针对PKIIKP震相容易受PKIKP尾波干扰的特点,本文提出了改进的PKIIKP/PKIKP振幅比估计方法。利用均方根(RMS)估计振幅比时,这140个事件556个近极对极地震记录中PKIIKP/PKIKP振幅比的合理变化范围为0.050.65。这140个事件中有15个地震事件可以通过慢度分析拾取到受PKIKP尾波干扰较小的PKIIKP震相。利用RMS估计振幅比时,这15个地震事件234个近极对极地震记录中振幅比的合理变化范围为0.050.5。按步长为0.1°对震中距分段后,这234个记录在各段内RMS振幅比的最小值揭示了内核顶部约10km厚的层状结构中S波速度存在平均约10%的减少。利用波束能量估计振幅比时,这15个地震事件在175°180°震中距范围的平均PKIIKP/PKIKP振幅比也揭示了内核顶部相同的S波速度异常结构。内核顶部S波速度异常层的平均层厚从10km逐渐减小时,S波速度的减少程度会逐渐增大。

[秦加岭,孙新蕾,张鹏等.地球内核顶部300km速度和衰减各向异性的区域变化[J].地球物理学报,2020,63(06):2199-2209.](https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=3uoqIhG8C44YLTlOAiTRKibYlV5Vjs7i8oRR1PAr7RxjuAJk4dHXoi-gwJqpE8a4U6RSqe1osvgVm-zhWJkwwqdfk0Lppsr7&uniplatform=NZKPT)

衰减结构是地球内核的重要性质,它可以与地球内核的速度结构结合,对内核的形成和演化机制提供更全面的信息.本文系统收集了1991年到2014年全球、区域和临时地震台网的PKPDF和PKPBC数据,研究了澳大利亚、非洲和太平洋中部下方内核顶部300km的速度和衰减各向异性结构.速度结果表明,澳大利亚下方内核的速度没有明显的各向异性,但是非洲和太平洋中部下方的内核具有明显的各向异性,且非洲的速度各向异性强于太平洋中部.同时,相对于AK135模型,澳大利亚的平均速度快0.5%,而非洲和太平洋中部的平均速度与参考模型没有明显差异.对于内核的衰减结构,我们得到以下结果:1)在东西方向,内核顶部200km左右的区域,澳大利亚的衰减最强(Q值在400左右),非洲和太平洋中部的Q值分别在600和500左右.2)澳大利亚下方的内核衰减没有明显的各向异性,非洲和太平洋中部下方的内核衰减存在明显的各向异性.此外,内核在非洲地区的衰减各向异性强于太平洋中部的各向异性.3)最后,内核中三个区域的速度和衰减具有良好的相关性,即高/低速对应于高/低衰减.考虑到以上结果以及三个区域的位置,我们认为内核顶部的速度和衰减结构都存在区域变化,而不是简单的半球变化.这种区域变化很可能是由于核幔边界热结构的不均一性和内核耦合,使得内核顶部的不同区域在形成过程中受不同的变形影响,从而形成铁晶体不同的生长和排列,引发了不同的各向异性特征.

[M Ramírez-Nicolás. Modelización de la función velocidad para las ondas P a partir de las fases PKiKP y PKIKP/Modelling of P-waves velocity function from the PKiKP and PKIKP phases[J]. Física de la Tierra,2011,23.](https://schlr.cnki.net/en/Detail/index/GARJ2011/SPQD59D822459E19BB54D218CD69339FE052) 59-71

地球结构的特点是由一些具有不同物理特性的区域组成。对于它们的研究，人们使用PREM或IASPEI91等模型。这些模型描述了地球的内部结构，为我们提供了通过这些区域的波的速度的理论值。在本文中，我们重点关注穿越内核的波（PKIKP），以及内核表面的反射波（PKiKP）。这项研究的目的是确定地震图中的PKiKP和PKIKP阶段，并将它们与从模型中得到的理论值进行比较。这项工作的另一个目的是，从时间浪费（波PKIKP和PKiKP到达的时间差）的最小化出发，提出地震波在外核和内核之间不连续处的传播速度表达式。在这项研究中，我们选择了两次地震，一次发生在哥伦比亚，1999年4月26日（Mw=5.9），另一次发生在秘鲁-厄瓜多尔，2007年11月16日（Mw=6.8）。我们只分析了震中距离在130°到140°之间的台站的地震图，因为震中距离小于130°时，PKIKP和PKiKP之间有干扰现象。

A. [Cao,B. Romanowicz. Test of the innermost inner core models using broadband PKIKP travel time residuals[J]. Geophysical Research Letters,2007,34(8).](https://schlr.cnki.net/en/Detail/index/GARJ0010_3/SJWD30FAA30FD2E8BE7950F815C8E8F8D96F)

最近提出了两种不同的最内层核心（IMIC）模型，每种模型的半径不同，各向异性的方向和强度也不同。为了测试这些IMIC模型，我们系统地收集了一个高质量的宽带PKIKP数据集，其中心距离范围为150°至180°。我们的新数据集包括1,100个单独测量的PKIKP绝对到达时间。同时，PKIKP的底点和内核的射线路径在东西半球和南北半球分布良好。我们将这个数据集反演给内核各向异性的两层模型，并将得到的拟合结果与现有的IMIC模型预测的结果进行比较。我们的结果表明，如果存在IMIC，其半径很可能在500公里左右，而不是最初提出的300公里左右，并且与基于PKIKP波形模型的内核分层更加吻合。

[PKIKP...and Those Mysterious Precursors](https://watermark.silverchair.com/srl071001_0080.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAq0wggKpBgkqhkiG9w0BBwagggKaMIIClgIBADCCAo8GCSqGSIb3DQEHATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQMnN7fLsuD1avrdIULAgEQgIICYJ8lcY9Qyo4c4vH2KYTg54vaNorkBgvLkzZnqi5eApAsGIJ1B5MfxHfsvpn_VK1trm5YlSIzt8-r0yk4awiAKZd1OwRqtAQAhbbZ3rIg4G3Y5L1eB95VuENLdIjIG7Z3MSe8PxPrivymDybmH9zlw7L7ilFEczvs0soWlx6krbRPOPzUnIE5RhniihtyBmFwSsoKsE2bTFspjaMI6P-Frxcr5Gdu1s_dJSAxNbCUAaV6b5oZWBKYXP0sOnemP7NFe5LoCnCOMkimKttpOo876snq9NUTLaM0bw2r7htn2pGO9mn0MNZdl0mGxxzFbM8KHYJMahoPXyFKdpnJpch4-uCKkQKvLz5McBQ_JMX97ajOQEpNamvcMW3tonUmi5aop1TnAWrJrUou0oJY6R-uf8foueFOhqSB6KeL5KmY6rg1UY4tA1XNpN0hR2lKk9jUvmthLOcmJKCALhUbgInNKL_vKElM83KMOczYjkUIrdlcrK6GguVAWZgHjy-EJA2z4dorpUqCJfXN0glLk_rrvLZixCI89cUYmQkMo5As7lxuzPCAg7Jx_WqySRZEzpmJ9QnoHJBMiN1-R9MPbwB0MNeLN2KwgdDMWrStXIsCl1h9zihMCYhxc2_G_WW9P_3rJ9VeU1kVc1KHsTIKZPu9hipYuB8u5GpaswD0FDeUm2TkHy8VBV91AvFWzcaXUXHmU8wCV7FFUbnlshOwEUEnzaA2eJkFDBmsiPylUjFqJIrWK15lVWUqqdPOx-Y2une2Vc9ng7PlUeklnFXrwkiP3zHsJM0hE9NSh2-6APE08ZQ5)

Larry J. Ruff. PKIKP...and Those Mysterious Precursors[J]. Seismological Research Letters,2001,72(1).

[Vernon F. Cormier. Anisotropy of heterogeneity scale lengths in the lower mantle from PKIKP precursors[J]. Geophysical Journal International, 1999, 136(2) : 373-384.](https://schlr.cnki.net/en/Detail/index/GARJ8099_4/SJWD00000653991)

通过对异质性散射的PKIKP高频前兆建立模型，研究了下地幔中异质性尺度长度的各向异性的影响。尽管具有各向同性或各向异性的尺度长度分布的模型可以适合观察到的短周期前兆的尾声形状，但宽带PKIKP前兆的频率含量有利于主要是各向同性的尺度长度分布。前兆的形状与0.05-0.5 km-1的文带中P速度1%的波动相一致，延伸到地核-地幔边界以上1000 km，并且D″区域对整个下地幔的循环开放。在0.02-2赫兹频段观察到的PKIKP前体的激发水平要求异质性的功率谱几乎为白色或随文数缓慢增加。尺度长度的各向异性可能存在于水平长度大于垂直长度的D″层中，对于P-速度扰动，如果在几公里的垂直尺度上取平均值，则对PKIKP前兆产生的影响很小，或者没有可探测到的影响；如果在几百米或更小的尺度上取平均值，则影响更大。

[Cormier Vernon F.. Time‐domain modelling of PKIKP precursors for constraints on the heterogeneity in the lowermost mantle[J]. Geophysical Journal International,1995,121(3).](https://academic.oup.com/gji/article/121/3/725/813136?login=true)

现在已经有了关于球体对平面弹性波散射的紧凑解，它对任意水平的速度和密度扰动以及任意的波长/球体半径比都有效。这些解决方案很容易被纳入地震图的合成方法中，这些方法对高斯蒂克附近的频率依赖性仍然有效。PKIKP的短周期前兆是通过动态射线追踪和高斯光束的叠加在分布式球体表示D″异质性的情况下合成的。对任意水平的扰动、波长与散射体维数相同或小于散射体维数的Rayleigh-Born散射的校正，以及散射到PKP的内部核心分支的校正趋于相互抵消，验证了以前假设Rayleigh-Born近似有效的PKIKP前体的工作。结果与这些研究相似：标度长度在20-35公里左右，P速度和密度的扰动为10%。在时域建模有助于解释前兆波列的出现，约束D″异质性的深度。在120°到130°范围内，前体尾波的长度和激发有助于约束D″异质性的最大厚度。前体振幅随着距离的增加向Baustic方向明显增加，这表明散射机制比含有球形散射体的模型或具有单一标度长度的各向同性的高斯分布所预测的更强烈地集中在前进方向上。

[Kenneth C. Creager. Anisotropy of the inner core from differential travel times of the phases PKP and PKIKP[J]. Nature,1992,356.](https://www.nature.com/articles/356309a0?utm_source=cnki&amp;utm_medium=affiliate&amp;utm_content=meta&amp;utm_campaign=DDCN_1_GL01_metadata)

在地球液体外核（PKP-BC）中转动的压电波和在固体内核（PKIKP-DF）中运行的压电波的旅行时间差异主要对内核边界附近的结构敏感。从短周期波形测得的这种不同的旅行时间与径向对称的小振幅偏差是一致的，除非射线路径几乎平行于地球自旋轴。这些接近轴线的路径始终产生大的旅行时间异常，为内核最外层的大振幅、轴对称异常提供了有力的证据。

[Andrea Morelli,Adam M. Dziewonski,John H. Woodhouse. Anisotropy of the inner core inferred from PKIKP travel times[J]. Geophysical Research Letters,1986,13(13).](https://schlr.cnki.net/en/Detail/index/GARJ8099_4/SJGU0DAC2C541AD378793663EC2A30271F94)

在170°和180°之间观察到的PKIKP阶段的旅行时间残差显示出2度的轴对称模式，振幅约为2秒。在较短距离上的影响要小得多，整个数据集不能用物理上现实的（各向同性的）异质性的径向分布来解释。我们提出，除了一般的（各向同性的）异质性外，内核是各向异性的，具有与地球自转轴对齐的圆柱形对称性。沿着这条轴线的平均P-速度比赤道面的速度快1%左右。

[G. Poupinet,R. Pillet,A. Souriau. Possible heterogeneity of the Earth's core deduced from PKIKP travel times[J]. Nature,1983,305.](https://schlr.cnki.net/en/Detail/index/GARJ8099_4/SJPDC750193FB6C1B8D72F8EDE00E9B26F44)

根据PKIKP走时推断地核可能存在的不均匀性

地心通常由球形对称的速度模型来描述。地核由两个主要的球形层组成：半径接近3480公里的流体外核，P-速度随深度增加，从8公里秒到10.3公里秒；半径为1220公里的固体内核，P-速度接近11公里秒（参考文献1，2）。利用国际地震中心（ISC）5年的公报，对全球400个地震观测站的地震核心相PKIKP的台站残差进行了计算。PKIKP旅行时间可以通过减去P延迟来校正上地幔的传播；因此PKIKP-P残差是对地震台下地幔和地心的平均垂直旅行时间的测量。PKIKP-P延迟的球面谐波发展到4度，可以解释数据中58%的变异。PKIKP-P表现出一种纬度依赖性：极地台站往往比赤道台站快。我们在此表明，这种模式可能反映了地球内核边界附近的P-速度分布偏离了球形对称性。

重确定震源深度

1. [Giovambattista R D, Barba S. An estimate of hypocentre location accuracy in a large network: possible implications for tectonic studies in Italy[J]. Geophysical Journal International, 1997, 129(1): 124-132.](http://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb00941.x)
2. [Engdahl E R, Buland R, van der Hilst R. Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1998, 88(3):722-743.](http://dx.doi.org/10.1785/BSSA0880030722)
3. [Sloan R A, Jackson J A, McKenzie D, Priestley K. Earthquake depth distributions in central Asia, and their relations with lithosphere thickness, shortening and extension[J]. Geophysical Journal International, 2011, 185(1): 1-29.](http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04882.x)
4. [Bondár I, Myers S C, Engdahl E R, Bergman E A. Epicentre accuracy based on seismic network criteria[J]. Geophysical Journal International, 2004, 156(3): 483-496.](http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02070.x)
5. [Fang H, Hilst R D. Earthquake Depth Phase Extraction with P Wave Autocorrelation Provides Insight into Mechanisms of Intermediate‐Depth Earthquakes[J]. Geophysical Research Letters, 2019, 46(24): 14440-14449.](http://dx.doi.org/10.1029/2019GL085062)
6. [Zhan Z, Wei S, Ni S, Helmberger D. Earthquake centroid locations using calibration from ambient seismic noise[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2011, 101(3): 1438 -1445.](http://dx.doi.org/10.1785/0120100118)
7. [Yuan J, Kao H, Yu J. Depth‐Scanning Algorithm: Accurate, Automatic, and Efficient Determination of Focal Depths for Local and Regional Earthquakes[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2020, 125(7): 1-22.](http://dx.doi.org/10.1029/2020JB019430)
8. [Stein S, Wiens D A. Depth determination for shallow teleseismic earthquakes: Methods and results[J]. Reviews of Geophysics, 1986, 24(4): 806-832.](http://dx.doi.org/10.1029/RG024i004p00806)
9. [Gomberg J S, Shedlock K M, Roecker S W. The effect of S-wave arrival times on the accuracy of hypocenter estimation[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1990, 80(6A): 1065-1628.](http://dx.doi.org/10.1785/BSSA08006A1605)
10. [Florez M A, Prieto G A. Precise relative earthquake depth determination using array processing techniques[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2017, 122(6):4559-4571.](http://dx.doi.org/10.1002/2017JB014132)
11. [Craig T J. Accurate Depth Determination for Moderate-Magnitude Earthquakes Using Global Teleseismic Data[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2019 124(2): 1759-1780.](http://dx.doi.org/10.1029/2018JB016902)
12. [Heyburn R, Selby N D, Fox B. Estimating earthquake source depths by combining surface wave amplitude spectra and teleseismic depth phase observations[J]. Geophysical Journal International, 2013, 194(2): 1000-1010.](http://dx.doi.org/10.1093/gji/ggt140)
13. [Dahal N R, Ebel J E. Method for Determination of Depths and Moment Magnitudes of Small-Magnitude Local and Regional Earthquakes Recorded by a Sparse Seismic Network[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2018, 109(1): 124-137.](http://dx.doi.org/10.1785/0120180151)
14. [Gounon A, Letort J, Cotton F, et al. Improving depth estimations of African earthquakes using teleseismic data, and influence for the East-African rift seismic hazard characterization. Geophysical Journal International, 2022, 228(1): 447-460.](http://dx.doi.org/10.1093/gji/ggab348)
15. [Weston J, Engdahl E R, Harris J, et al. ISC-EHB: Reconstruction of a robust earthquake data set[J]. Geophysical Journal International, 2018, 214(1): 474-484.](http://dx.doi.org/10.1093/gji/ggy155)
16. [Kennett B L N, Engdahl E R, Buland R. Constraints on seismic velocities in the Earth from traveltimes[J]. Geophysical Journal International, 1995, 122(1): 108-124.](http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.1995.tb03540.x)
17. [Kirkpatrick S, Gelatt C D, Vecchi M P. Optimization by Simulated Annealing[J]. Science, 1983, 220(4598): 671–680.](http://dx.doi.org/10.1126/science.220.4598.671)
18. [Billings S D. Simulated annealing for earthquake location[J]. Geophysical Journal International, 1994, 118(3): 680-692.](http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.1994.tb03993.x)