

地震科技前沿快报

2024 年第 10 期（月刊总第 69 期）

中国地震局科学技术委员会
中国地震局科技与国际合作司

中国科学院兰州文献情报中心
中国科学技术信息研究所

本期概要

1、菲律宾和台湾俯冲系统的地震构造及其地震灾害意义

美国科学家利用 21 年来记录的震级 ≥ 4.6 级地震数据，分析了以俯冲和碰撞为特征的菲律宾和台湾的地震构造。结果表明深层地震与俯冲板片的瓦达蒂-贝尼奥夫带有关联，而浅层地震则源于巨型逆冲断层、地壳断层和板内断层。与邻近的印度尼西亚类似，菲律宾和台湾有很高的地震风险。

2、使用机器学习提高地震速度模型的分辨率

本研究提出了一种高分辨率 U-NET（HR U-NET）机器学习模型，以从低分辨率速度模型中推导高分辨率速度模型，解决传统全波形反演的高计算成本问题。使用合成和现场数据的实验表明，HR U-NET 能有效恢复地下速度信息，计算成本仅为传统方法的 8.2%。该方法为准确地下成像提供了新思路，但仍需改进权重模型和神经网络结构以进一步提升性能。

3、基于 PELT 的微震信号初至识别与判定方法研究

本研究提出了一种基于 PELT 算法的微震 P 波初至识别方法，以解决低信噪比微震数据拾取精度不高的问题。与传统的 STA/LTA 和 AIC 方法相比，新方法在拾取精度和抗噪性方面有明显优势，在低信噪比条件下表现更优越，现场实测数据验证了其有效性，对地震实时监测具有重要意义。

菲律宾和台湾俯冲系统的地震构造及其地震灾害意义

菲律宾和台湾地区的地震活动为洞察以俯冲和碰撞为特征的地区的构造和地震危险性提供了机会。美国科学家通过记录 21 年来震级 ≥ 4.6 级地震的震源分布和震级 ≥ 5.0 级地震的震源机制，总结分析了菲律宾和台湾的地震构造。他们量化了地震活动率（地震频率），并将地震活动分布与提出的构造和断裂模型进行了比较。2000 年 1 月 1 日至 2021 年 3 月 31 日期间发生了 6187 次 $M \geq 4.6$ 级的地震，其中 79% 震源深度小于 70 km，70% 震级小于 5.0。自 2000 年 1 月以来，每年大约发生 88 次 5.0 级以上地震，其中 12 次 7.0 级以上地震。地震活动性在 50~210 km 深度之间呈指数下降，其下降速度比全球平均速度快 10%。深度 > 70 km 的中、深地震可追溯到俯冲板片的瓦达蒂-贝尼奥夫（Wadati-Benioff）带，其中大多数地震仅活跃在大约 250 km 深处。深度 > 70 km 的地震分布可能受到年轻岩石圈俯冲、板片撕裂和 410~660 km 处相边界相互作用的影响。深度 ≤ 70 km 的浅层地震是由巨型逆冲断层、地壳断层和板内断层引起的。地壳逆冲断裂和走滑断裂是破坏性地震最丰富和最普遍的来源。与邻近的印度尼西亚类似，菲律宾和台湾有很高的地震风险。相关研究成果发表在 2024 年 6 月的 *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*。

菲律宾和台湾的地震活动为了解以俯冲和地壳断裂为特征的、人口稠密地区的活动构造和地震危险性提供了机会。欧亚板块（由巽他陆块和华南陆块组成）与菲律宾海板块的汇聚产生了大量的地震活动，而频繁的地震活动发生在人类居住区，造成了重大地震风险。以前的一些研究集中在了解区域构造，地幔的地震层析成像，地震活动性的来源和相关危害等。

研究人员通过将近期地震活动（2000—2021 年）与最新文献中的发现和构造模型进行比较，对菲律宾-台湾地区的地震构造进行了全面的回顾。

他们概述了区域的总体构造，研究了震源和震源机制的空间分布，量化了地震活动率（地震频率），并将观测趋势与最近提出的构造和断裂模型进行了比较。

研究区位于 5° — 30° N 和 110° — 135° E 之间，包括西琉球群岛、台湾和菲律宾，欧亚板块与菲律宾海板块在该区域斜向汇聚。图 1a 显示了 2000 年 1 月 1 日至 2021 年 3 月 31 日期间研究区域发生的 6 187 次 $M \geq 4.6$ 级地震的位置。最近的地震活动集中在主要板块边界和断层上，板块内部非震性明显。大多数地震活动位于深度 ≤ 70 km 处（占地震活动的 79%），震级 M 小于 5.0（占地震活动的 70%）。在主要俯冲带的内侧，震源深度增加，深度 ≥ 300 km 的深部地震仅位于菲律宾南部下方。自 2000 年 1 月以来，发生了 14 次 7.0 级以上地震，主要发生在菲律宾南部和台湾，没有 8.0 级以上的大地震。

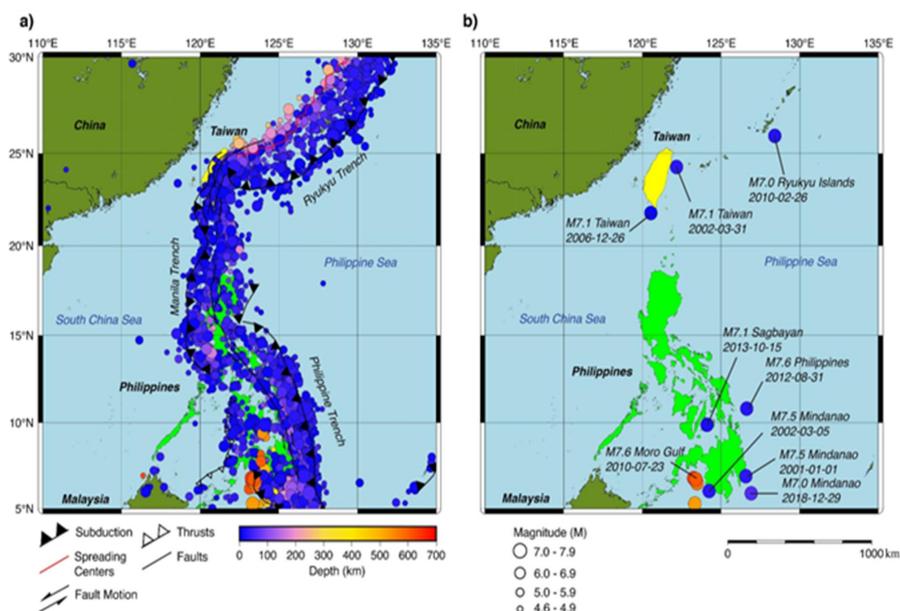


图 1 菲律宾-台湾地区所有地震的震源：(a) $M \geq 4.6$ ，(b) $M \geq 7.0$ （美国地质调查局数据）

1. 地震活动率

通过平均地震活动率，或年均地震频率（EQ/y），可以深入了解地震

最活跃的地区，以及地震活动如何随深度变化。 $M \geq 5.0$ 地震的平均年发生率约为 88 EQ/y。最频繁的地震活动是双峰式的，发生在 0~10 km（约 20 EQ/y）和 30~40 km（18 EQ/y）。在 50~210 km 深度之间，地震活动性从 6 EQ/y 下降到 <1 EQ/y，几乎呈指数下降，其遵循方程 $\log_{10}(y) = 1.2 - h/106$ ，($R^2 = 0.97$)，其中 y 为地震活动率 (EQ/y)， h 为深度 (km)。260 km 以下的地震活动成零星分布，并且存在几个地震空区。下地幔过渡带 (MTZ) 内的地震活动率增加，峰值在 520~540 km 之间和 580~620 km 之间，下地幔内的地震活动峰值在 680 km 处。这些边界处地震活动性的增加可能与这些深度处矿物相变的存在有关，这增加了板块俯冲的粘性阻力。

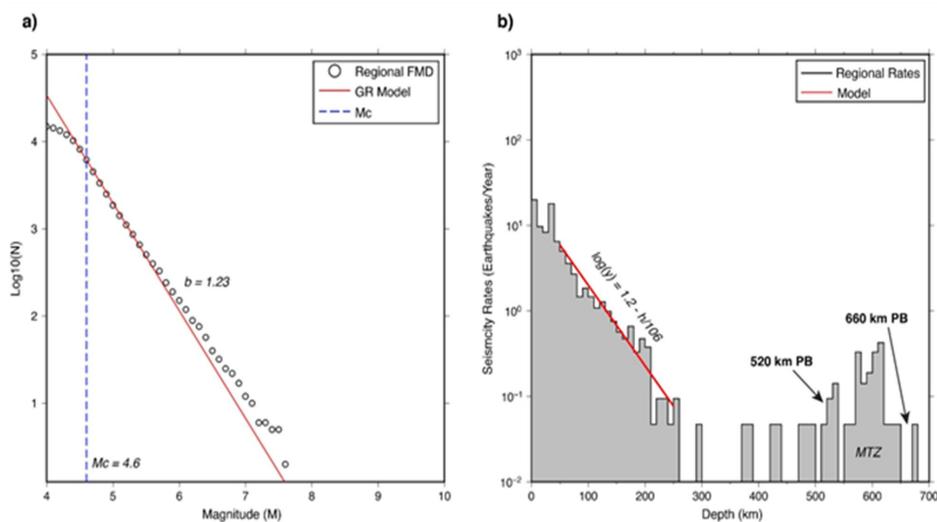


图 2 震级 ≥ 4.0 地震的古登堡-里克特 (频率-震级) 分布

2. 中部 (70~300 km) 和深部 (>300 km) 的地震活动性

一般来说，在俯冲系统中，中深地震集中在被称为瓦达蒂-贝尼奥夫 (Wadati-Benioff) 的倾斜狭窄地震带，该地震带勾勒出俯冲板片的地震活跃部分。在研究区，中、深地震活动分别约占近期地震活动的 19% 和 2%。

研究区中深部板内震源机制具有多样性。与脆性地壳地震相比，深度 ≥ 70 km 的地震发生在更高的温度和压力条件下，反映了变质脱水、矿物

相变、板片弯曲和热剪切不稳定性等复杂过程。琉球海沟内侧的中、深部板内地震的震源机制主要为正断层或正斜断层，与板片向下弯曲并进入地幔时发生的板片挠曲一致。逆断层和斜向逆断层明显靠近台湾，可能反映了琉球海沟与台湾碰撞时的复杂变形。马尼拉海沟内侧出现了正斜断层、逆斜断层和走滑断层的组合，可能与高原俯冲、微大陆碰撞和板片撕裂有关。菲律宾南部深部地震活动的震源机制主要为正断层，可能是由于板片挠曲。

3. 浅层地震活动性和震源机制（深度<70 km）

浅层地震事件在靠近人口中心的地方产生强烈地面运动，其与重大地震灾害和风险密切相关。研究区的浅层震源分为俯冲环境中常见的三种类型：巨型逆冲地震、地壳地震以及板内地震。

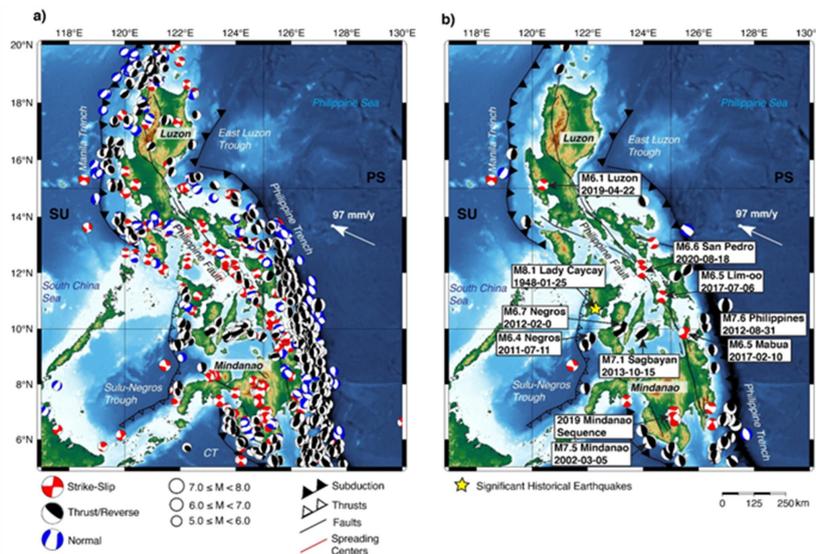


图3 2000年1月1日至2021年3月31日在菲律宾记录的深度 ≤ 70 km的浅层地震震源机制：(a) $M \geq 5.0$ ，(b) $M \geq 6.0$

巨型逆冲地震：可能代表马尼拉海沟巨型逆冲地震的事件在 20°N 以南最为明显。菲律宾海沟在吕宋岛以东的巨型逆冲地震活动明显较少，但在 15°N 以南朝向棉兰老岛（Mindanao）的地区明显增加。在海沟和东吕

宋海槽内，很少有 $M \geq 6.0$ 的地震。Cotabato 海沟（图 3a 中的 CT）也是棉兰老岛西部一个活跃的巨型逆冲构造，并具有显著的地震灾害风险。

地壳地震：地壳地震活动由浅层构造活动构成，这种浅层构造活动最有可能发生在各板块内部，而不是在巨型逆冲界面上，并通过多种过程产生。研究人员将地壳地震活动分为以下断层类型：逆冲断层、走滑断层、正断层。

浅部板内地震：浅部板内地震通常发生在俯冲板片中，深度在 20~60 km 之间，与更深的板内地震一样，震源机制可能具有多样性。浅部板内地震活动的一个典型例子是在台湾南部观察到的正断层，该正断层与碰撞构造环境不一致，以前被认为是在台湾下方俯冲的欧亚板块内的板块弯曲力所导致。2000 年 1 月以来，最大的浅层板内地震是 2006 年 12 月发生的 7.1 级屏东地震，震源深度为 20~44 km，并造成了显著破坏。

4. 与印度尼西亚的比较

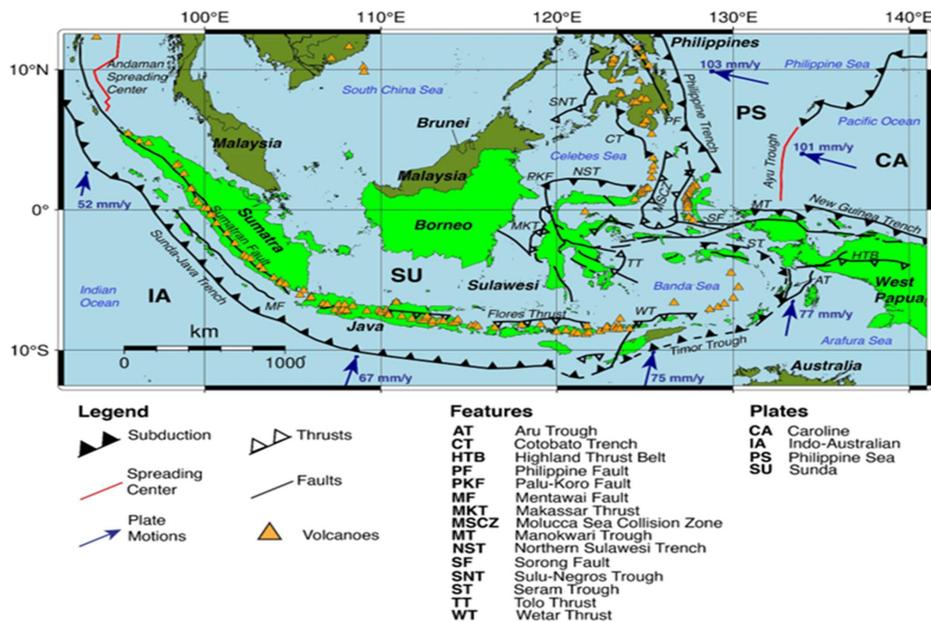


图 4 印度尼西亚及其周边地区的构造环境

图 4 显示了印度尼西亚地区的主要俯冲带和断层。印度尼西亚位于一个相似的复杂挤压构造环境中，尽管其 $M \geq 5.0$ 级地震的年均地震活动率约为菲律宾-台湾地区的 3.5 倍 (318 EQ/y)，同时也比菲律宾-台湾地区经历了更频繁的大地震、特大地震。

虽然存在如此大的区域差异，但这两个地区特定的俯冲带和断层却表现出惊人的相似性。例如，台湾附近的琉球海沟和爪哇附近的巽他-爪哇海沟都显示出巨型逆冲活动，丰富的外缘隆起正断层，并且被认为表现出较低的板间耦合。除了俯冲作用外，这两个地区都经历了斜向汇聚，并被分割为与海沟平行的走滑断层系统，如菲律宾断层和苏门答腊断层。此外，冲绳海槽的正断层与印度尼西亚的阿鲁海槽相似，都是由上覆板块的伸展作用形成的。

来源：Hutchings S, Mooney W. Seismotectonics of the Philippine and Taiwan subduction systems and implications for seismic hazards. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2024, 25(6): e2023GC010990.

使用机器学习提高地震速度模型的分辨率

为了解决复杂的地下结构问题，必须构建高分辨率速度模型。全波形反演（FWI）等算法已被用于获得准确的高分辨率速度结构，但是仍然存在计算成本高等障碍。因此，本研究提出了一种高分辨率 U-NET（HR U-NET）机器学习模型，可从低分辨率速度模型中推导出高分辨率速度模型。在训练过程中，低分辨率速度模型和通过相应速度信息获得的偏移数据被作为训练的输入数据。此外，研究尝试使用包含准确速度值的先验信息来提高高分辨率速度模型的精度，同时还利用了通过地球物理测井数据生成的先验模型和包括先验模型可靠性信息的权重模型。最终，研究使用低分辨率速度模型、偏移数据、先验模型和权重模型训练 HR U-NET 模型。使用合成数据和现场数据进行的数值试验表明，所提出的模型可以准确地构建高分辨率速度模型，并验证了先验模型和权重模型在训练过程中的重要作用。此外，研究证实，所提出的方法仅使用传统反演方法 8.2% 的计算成本就得出了几乎相似的结果。换句话说，在计算成本方面，它具有能够更有效地预测高分辨率速度信息的优势。相关研究发表在 2024 年 8 月的 *Geophysical Journal International*。

从地震数据中构建高分辨率速度模型是进行精确地下成像的一项基本任务，传统的地震数据处理方法仅可生成低分辨率速度模型。为了获得高分辨率速度模型，需要执行全波形反演或随机反演等算法，这需要很高的计算成本。近年来，计算资源的改善和机器学习算法的发展导致了计算成本的降低，各个领域都在积极开展机器学习的应用研究。基于机器学习的速度模型建立方法分为使用叠前（pre-stack）数据的方法和使用叠后（post-stack）数据的方法。叠后数据具有一定优势，其作为输入时，输入和输出域彼此匹配，这可以简化学习过程。在此基础上，不少学者证明了

基于深度学习的、利用测井信息的高分辨率波形反演方法的可行性。

本研究在前人研究的基础上，基于叠后数据的优势，尝试利用机器学习从低分辨率速度模型（通过传统数据处理获得）生成精确的高分辨率速度模型。为了构建高分辨率速度模型，利用了各种易于获取的信息。研究使用了通过常规数据处理生成的低分辨率速度模型和基于低分辨率速度模型构建的地下地震图像，并假设可以使用先验信息，例如通常在现场勘探阶段获得的测井数据（其包含真实速度的精确值）。研究人员先介绍了使用的网络架构，并解释了构建训练数据的方法，然后利用模拟数据和现场数据进行了数值试验，验证了所提方法的适用性。

1. HR U-NET 的架构

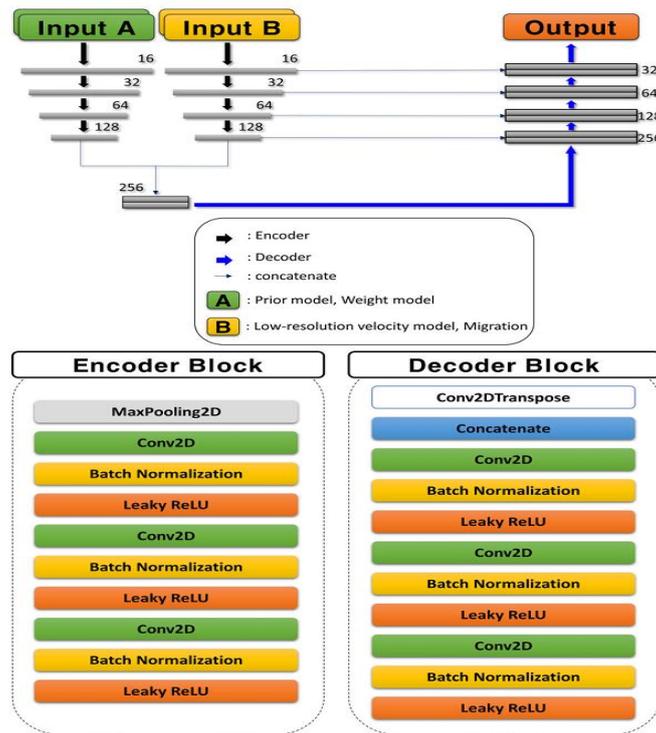


图1 HR U-NET 模型架构

传统的数据处理方法通常会产生地震偏移数据和低分辨率速度信息。地震偏移数据可以提供准确的地下结构信息，但无法获得地下的地球物理

特性，如 P 波和 S 波速度或密度。当使用低分辨率速度模型时，首次到达通常是准确的，但它们不能提供准确的材料特性分布信息。因此，需要额外开发一种基于背景速度数据推导更高分辨率速度结构的程序。研究人员采用并修改了 U-NET (Ronneberger 等, 2015) 架构，这是一种用于图像分割的端到端全卷积网络模型。所构建的 HR U-NET 需要两个输入，每个输入由两个具有相似特性的通道组成。换句话说，HR U-NET 的输入 A 由先验模型和权重模型组成，HR U-NET 的输入 B 由低分辨率速度模型和偏移数据组成。

2. 先验模型和权重模型的作用

研究人员分析了先验模型和权重模型在基于四种类型输入数据构建精确的高分辨率速度模型中的作用，四种数据分别是低分辨率速度数据、迁移数据、先验模型数据和权重模型数据。为了分析先验模型和权重模型的作用及其必要性和有效性，研究使用两种类型的输入数据进行了额外的训练：低分辨率速度模型数据和迁移数据 (Input2)、三种类型的输入数据 (低分辨率速度模型数据、迁移数据和先验模型数据 (Input3))。

通过对 Input2、Input3 和 Input4 (HR U-NET 的合成数据，包含 4 种类型输入数据) 模拟结果的比较，研究人员发现 Input3 比 Input2 对速度值的预测更合理，但在分析包含权重模型数据 (其中包含先验模型的不确定性信息) 的 Input4 的预测结果时，发现先验模型在 Input3 结果中残留的痕迹被减弱了，同时各层的边界也更加清晰，获得的速度值也更加准确。因此，研究认为先验模型和权重模型的使用对于建立更加准确的速度模型非常重要。具体而言，使用先验模型可以提高速度预测的准确性，而使用权重模型可以细化先验模型对预测结果的影响。

3. 不准确的速度和偏移数据及三维现场数据应用

为了验证所提出方法是否可以在低分辨率速度和偏移数据不够准确的情况下应用，研究使用不准确的速度模型和偏移数据进行了训练。预测结果正确地描述了模型浅部的大部分地层和速度对比明显的构造，但深部薄层的反射连续性不足。特别是在右下方的背斜构造内，由于逆时偏移（RTM）伪影和不准确的低分辨率速度信息的影响，反射预测不准确。与使用准确输入相比，预测的速度准确性较低。总体而言，即使只有不准确的速度和迁移数据，所提出方法也可以相对准确地预测高分辨率速度结构，但更高的输入质量可以带来更准确的预测。

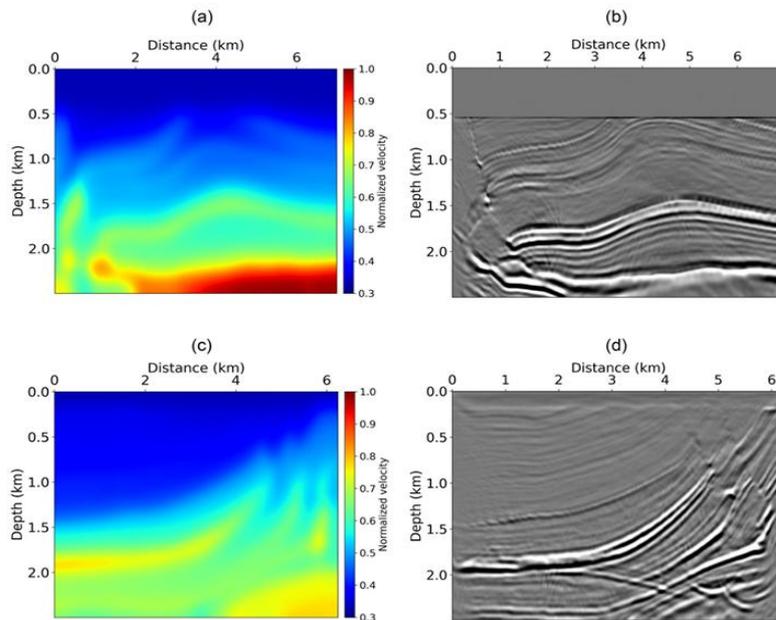


图 2 (a)和(b): 进行模型训练的不准确的低分辨率速度和 RTM 数据; (c)和(d): 进行模型预测的不准确的低分辨率速度和 RTM 数据

为了验证训练模型是否能有效预测三维现场数据的速度信息，研究人员从整个现场数据集中提取了三维立方体的某个部分，并应用训练模型进行了测试。结果表明，所提出方法具有较高的预测精度。此外，研究比较和分析了不同方法在计算成本方面的效率。结果表明，预测三维场数据的高分辨率速度信息需要2小时0分29秒，是传统反演方法时间成本的8.2%。

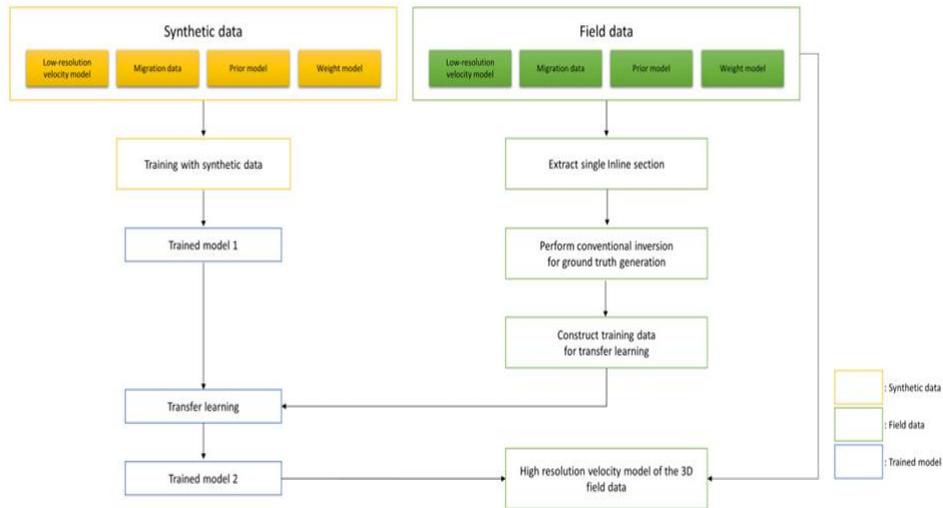


图 3 针对现场数据应用所提出的工作流程

直接比较计算成本可能不公平，因为一维叠后反演（ $rjMcMC$ ）是在 CPU 上执行的，而机器学习是在 GPU 上执行的。尽管 CPU 和 GPU 的计算时间可能因硬件模型而异，但很明显，基于机器学习的速度预测比传统的 $rjMcMC$ 反演更有效。而且，如果地震数据总量增加，传统方法的计算成本将线性增加。另一方面，即使数据量增加，所提方法的计算成本也不会显著增加。

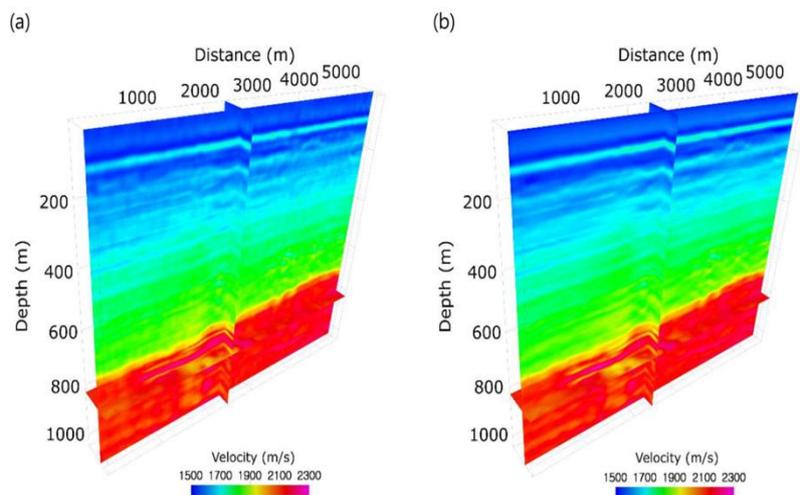


图 4 现场数据的测试结果：(a)常规反演结果($rjMcMC$)；(b)应用训练后的 HR U-NET 模型产生的预测结果

4. 小结

本研究提出了一种基于机器学习的 HR U-NET 模型，利用常规数据处理得到的信息来提高低分辨率速度模型的分辨率，同时利用先验模型和权重模型获取的非地震信息来提高预测精度。为了验证模型的性能，使用合成数据和现场数据训练 HR U-NET 模型，并将其应用于测试数据集。结果表明，HR U-NET 可以通过利用低分辨率速度模型、偏移数据，以及可通过常规数据处理程序获得的先验信息有效和高效地恢复地下速度信息。特别是，所提出的 HR U-NET 的一个重要特点是，在合成数据上预先训练的模型可以通过迁移学习应用于现场数据，并且训练成本较低。

然而，这项研究仍然需要一些改进。首先，本研究使用的权重模型是基于和先验信息存在位置的距离而设计的。然而，由于先验信息的可靠性会根据观察到的地下结构的复杂性而改变，因此应该对构建适合给定数据特征的权重模型进行额外的分析。此外，虽然本研究中训练的神经网络对于建立具有较精确速度值的高分辨率速度模型非常有效，但是还需要开展能够提高模型性能的最优人工神经网络结构的研究。

来源：Kim S, Cho Y, Jun H. Resolution enhancement for a seismic velocity model using machine learning. *Geophysical Journal International*, 2024, 238(2): 681-699.

基于 PELT 的微震信号初至识别与判定方法研究

在微震监测中，准确识别 P 波初至 (initial arrival) 时对于微震震源的精确定位和分析至关重要。然而，由于微震信号通常能量较低、信噪比较差，现有的初至拾取算法在处理低信噪比的微震数据时受强背景噪声影响较大，拾取结果的准确性较低。针对该问题，本研究提出一种新的初至识别方法，首先利用变分模态分解 (VMD) 和样本熵方法对低信噪比的微震数据进行去噪，然后利用修剪精确线性时间 (PELT) 算法确定微震初至到时。与传统的长短时平均值比法 (STA/LTA) 和赤池信息准则方法 (AIC) 相比，本研究提出的方法在拾取精度和抗噪性方面表现出明显的优势。相关研究成果发表在 2024 年 7 月的 *Pure and Applied Geophysics*。

随着微震监测技术的进步，与水力压裂伴随的微震事件在页岩气勘探开发中的重要性日益凸显。目前，对微震 P 波初至拾取方法的研究主要分为三类。第一类是基于传统技术及其改进方法，其中最常用的是长短时平均值比法 (STA/LTA) 和赤池信息准则 (AIC) 及其改进方法。第二类方法是基于波形的参数特征，这些方法不依赖预先标注的训练数据，而是根据相似性对数据集中的样本进行聚类，为微震事件的自动拾取提供了一种有效途径。第三类方法主要为基于神经网络的自动拾取技术。

近年来，研究人员提出了多种深度学习方法来提高初至拾取的效率和准确性。然而，这些深度学习方法的有效性在很大程度上取决于训练数据集的质量和数量。如果训练数据不足或有偏差，则很可能无法达到预期的性能。

针对现有微震初至鉴别方法在低信噪比条件下的局限性，本研究提出一种基于 PELT (修剪精确线性时间) 算法的改进方法，用来识别初至到时。为了进一步提高拾取精度，本研究在应用 PELT 算法之前采用 VMD

(变分模态分解) 算法进行去噪处理。同时, 还以样本熵作为判断分量有效性的准则, 自适应地提取并重构成去噪后的微地震信号, 然后将信号输入到 PELT 算法中进行初至判别, 并与传统方法进行对比实验模拟, 分析现场实测数据作进一步验证。

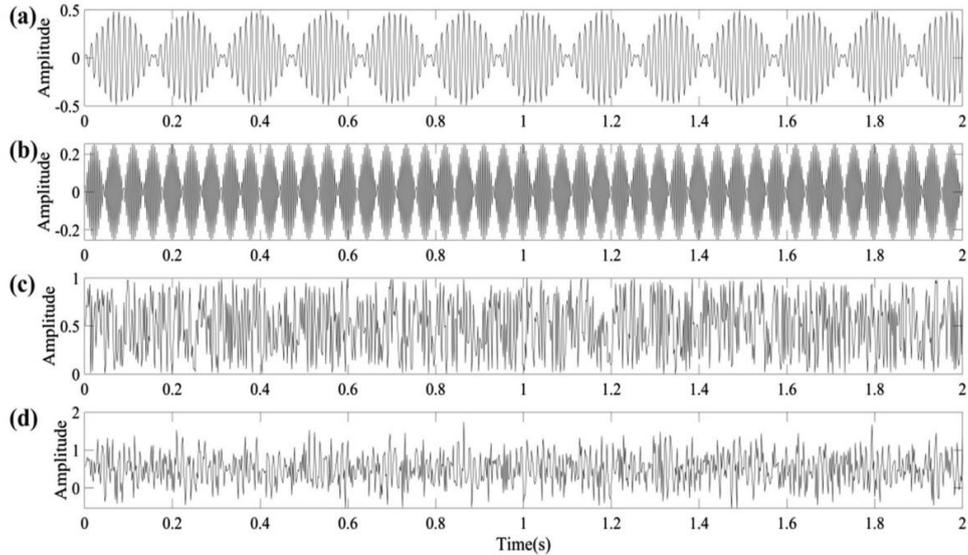


图 1 合成噪声数据的组成: a、b 为周期性噪声, c 为随机噪声, d 为噪声数据

1. 噪声抑制

本研究提出的噪声抑制方法将 VMD 方法与样本熵方法相结合。VMD 算法是一种自适应信号处理方法, 不需要先验知识或假设, 能够有效处理非线性非平稳混合信号, 在语音信号处理、图像处理、地震信号分析等各个领域表现出了广阔的应用潜力, 它可以看作是经验模态分解 (EMD) 方法的改进算法。样本熵是评估时间序列信号复杂性和规律性的重要统计指标, 是逼近熵 (ApEn) 的改进方法。

2. 初至拾取方法简介

PELT 算法是 Jackson 等人于 2005 年提出的一种有效的时序分析变点检测技术。本研究采用 PELT 算法识别微震信号的初至时间。该算法

通过代价函数和惩罚项的最小组合来确定变点的位置。该方法适用于处理大型数据集，同时保持较低的计算成本和较高的结果精度。

PELT 算法的基本原理是对时间序列信号进行全局分析，寻找段间差异最大化的最优分割，其中的变点位于分割边界。PELT 算法的优点包括：①单参数控制（惩罚因子）简化了算法调整；②保证找到全局最优解，增强结果的可靠性；③利用“前向修剪”技术提高计算效率，同时确保分割的准确性。

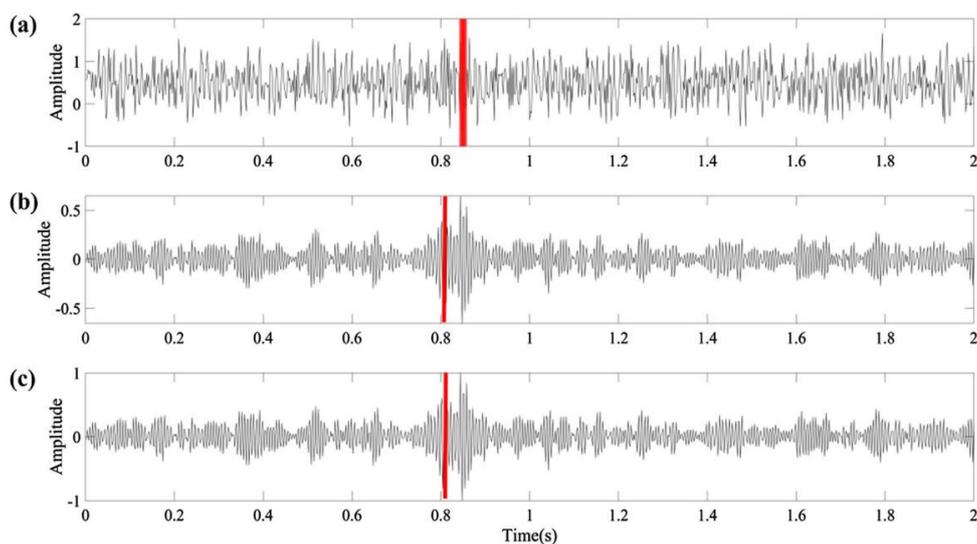


图2 PELT 方法拾取结果：a 为噪声数据拾取结果，b 为去噪数据拾取结果，c 为归一化去噪数据拾取结果

3. 初至选择标准

在使用 PELT 算法对噪声水平较高的复杂微震数据进行初至时间拾取时，为了尽可能多地拾取有效的初至时间，本研究将最大拾取次数设置为 3。这种策略使得算法在检测到多个潜在初至时间的情况下，能够综合判断选择最可能的初至时间，从而提供容错能力，这也是 PELT 方法作为微震 P 波初至时间识别器的优势。对于单通道微震数据，由于缺乏与相邻通道数据的对比分析，通常将检测到的第一个变化点作为初至时间。

在处理多通道微震数据时，本研究采用更全面的方法，以提高初至时间确定的精度。具体操作如下：①使用 PELT 算法依次处理各通道微震数据，每通道地震数据最多可显示 n 个拾取到时；②由于相邻多通道微震数据的初至时间相似，提取通道间相近的时间；③如果从某个通道拾取的到时在相邻通道中没有对应的相似时间，这可能表明该微震数据中有效信号的概率较低，噪声影响较大，或者该通道数据初到点的记录有误。为了便于后续分析，保留初至时间。最后，对每个微地震数据通道进行单独处理。

4. 结果分析

本实验旨在验证新提出的微震信号拾取方法在不同信噪比条件下的精度和抗噪性。研究人员通过将微震信号与噪声数据合成，模拟现场微震信号中的噪声环境，以评估该方法在低信噪比环境下的有效性。为了更清楚地展示去噪新方法的应用效果，研究人员模拟了真实地震信号中可能遇到的噪声环境，包括周期性噪声（源自工业干扰）和随机噪声。因此，合成数据主要由三部分组成：干净的微震信号、周期性噪声和随机噪声。

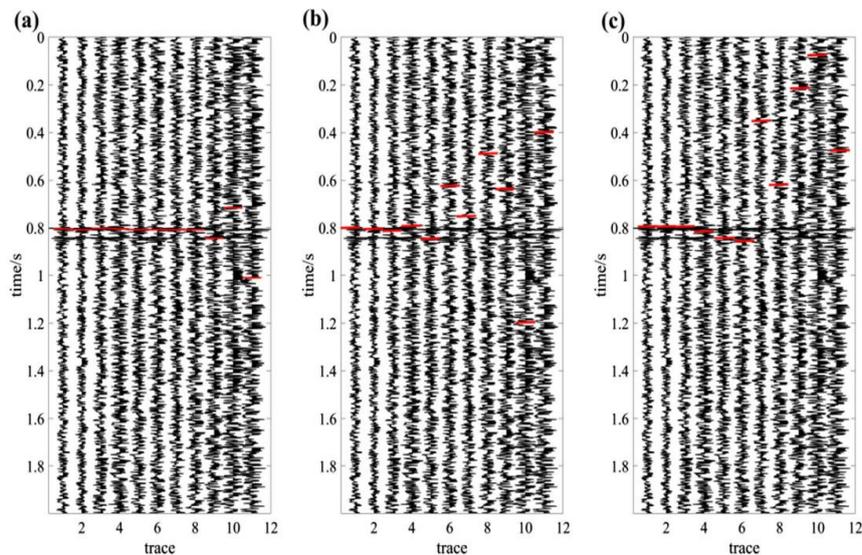


图3 三种方法经过 VMD 去噪后的拾取结果：a 为新方法拾取结果，b 为 AIC 算法拾取结果，c 为 STA/LTA 算法处理结果

对不同信噪比条件下的试验结果分析表明,虽然 STA/LTA 方法在计算速度上具有明显优势,但其性能对人为设置的窗口大小和阈值非常敏感,不同的参数选择可能导致结果存在明显差异。此外, AIC 方法和 STA/LTA 方法在拾取精度方面的不足限制了它们在复杂噪声环境中的应用。而本研究提出的算法虽然在计算效率上不如 STA/LTA 方法,但在拾取精度上具有明显优势,证明了新方法在复杂噪声环境下的有效性和可靠性。

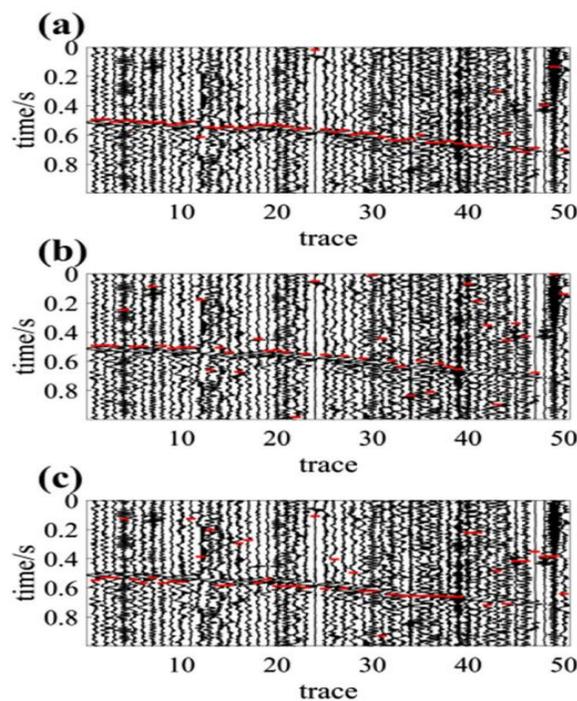


图4 新方法与传统算法在 VMD 算法进行现场数据噪声抑制后的对比: a 为新方法拾取结果, b 为 AIC 算法拾取结果, c 为 STA/LTA 算法处理结果

现场数据验证分析使用的微震数据来源于中国某水力压裂水平井油气开采项目。该项目采用地面监测技术,以 2 ms 的采样间隔采集数据,由于监测环境的复杂性,采集的数据不可避免地受到噪声的干扰。研究人员对数据应用了三种不同的处理算法:本研究提出的新方法、STA/LTA 算法和 AIC 算法。为提高信噪比,首先对原始微震数据进行 VMD 方法的噪声抑制处理。分析结果表明,新方法对原始数据的初始拾取准确率高达 76%,

经过 VMD 去噪处理后,准确率显著提高到 88%。而传统的 AIC 和 STA/LTA 方法对原始数据的准确率分别为 58%和 20%,去噪后准确率略有提高,为 60%。这表明新方法不仅具有较高的拾取精度,而且具有良好的抗噪性能。在实际场景中的优异表现进一步证明,新方法能够满足现场微震信号的拾取需求。

5. 小结

本研究针对地面微震数据初至拾取精度不高的问题,提出了一种基于 PELT 算法的微震 P 波初至识别方法。首先,结合 VMD 算法对信号进行去噪,有效提高信噪比,为初至波的精确拾取提供清晰的信号基础。然后,利用微震事件的特点和 PELT 算法的优势,提高微震数据初至时间拾取精度。与传统 STA/LTA、AIC 算法相比,该方法在拾取精度上表现出明显的优势,特别是在低信噪比的模拟数据中,能够准确获取初至时间。此外,通过现场实测数据分析进一步验证了新方法的有效性,这对地震实时监测分析具有重要意义。

来源: Wang X, Lv M. Research on the initial arrival recognition and judgment method of microseismic signals based on PELT. Pure and Applied Geophysics, 2024: 1-16.

主送: 中国地震局领导

编发: 中国地震局地震预测研究所