

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.863>



地震大数据和 AI 如何改进全球大震参数快速测定?

王 墩¹, 孙 琨²

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学计算机学院, 湖北武汉 430074

1 背景

地震是造成人员死亡最多的自然灾害(占 58%)。20 世纪以来, 中国自然灾害死亡 130 万人, 其中约 75 万地震伤亡主要由大震($M \geq 7$)造成的。因此加强对大震减灾的研究, 实现可操作的防震减灾, 是我国经济发展与社会稳定的重大需求。随着信息和制造技术发展, 地震学界在理解地震的基本物理过程上取得了飞跃性的发展, 但对地震成核、发展和终止的物理过程认识仍不明晰, 使准确地震预报事业步履维艰(Kanamori, 2008)。与此同时, 利用地震产生的实时地震波数据, 来快速确定地震参数和破裂过程, 并用此来评估强震动、海啸和其他地震地质灾害风险, 逐渐成为地震学界关注的重点研究内容之一, 并取得了重要进展。但近年来一些大震震例研究显示, 快速准确获取大震震源过程及其参数的研究还有很大进步空间和紧迫社会需求(倪四道, 2008; 陈会忠和沈萍, 2009)。

2004 年 12 月 26 日 7 点 58 分(当地时间), 印尼苏门答腊岛发生 $M9.1 \sim 9.3$ 大地震, 震后一个小时的时间内测定的震级为 6.8~8.5 级, 显示为一个小震事件。真实情况是这次地震破裂向北延伸超过 1 000 km, 横扫苏门答腊—安德曼群岛及周边地区,

引发了大规模海啸, 造成了约 20 万人遇难的重大灾难。

2011 年 3 月 11 日 14 点 46 分(当地时间)日本东北地区发生了 $M9.0$ 特大地震, 造成了约 2 万人罹难的灾难。震后半小时内, 这个 $M9.0$ 地震被严重低估为 $M8.1$ 地震。对海啸预警来说, 在震后快速准确地测定震级是关键。

上述震例反映了当前快速(实时)大震参数测定中的一个不容忽视的问题, 即在地震参数快速测定过程中, 因数据不完备性及时效性, 对震源做了一些近似假定。比如, 将地震震源近似为点源、设定滤波频带等。这些假定在应对震级较小的常规地震时尚可, 但对于破裂尺度超过 100 km 大震时将可能产生一些严重问题, 比如不确定极震区位置、低估震级、为海啸预警提供严重失真的震源参数。因此, 快速准确测定全球大震参数是科学界的重大关切及全社会的迫切需求。

2 核心思想

目前基于全球地震实时观测数据的实时地震学研究方法主要有基于 W-phase 矩张量反演、反投影成像、有限断层反演技术和全波形拟合反演技术。

作者简介: 王墩(1982—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事震源破裂过程、活动构造、及构造应力场解析等研究。E-mail: wangdun@cug.edu.cn

引用格式: 王墩, 孙琨, 2022. 地震大数据和 AI 如何改进全球大震参数快速测定? 地球科学, 47(10): 3915—3917.

Citation: Wang Dun, Sun Kun, 2022. How the Big Data Seismology and AI Refine Rapid Determination of Source Parameters of Large Earthquakes? *Earth Science*, 47(10): 3915—3917.

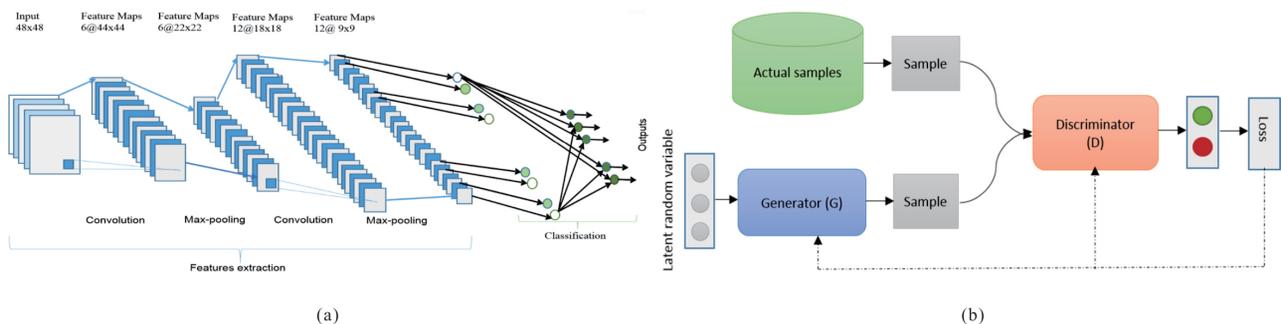
表 1 基于全球地震波数据的实时地震学常用研究方法简介

方法	W 震相反演	反投影	有限断层反演
数据	W 震相(介于 P 波和 S 波之间的一种长周期震相)	主要为直达 P 波	P 波、SH 波及面波
时效性 (远场:震中距 $\geq 30^\circ$;近场:震中距 $< 30^\circ$)	远场,约 30 min,成熟; 近场, ≥ 7 min,测试中	远场,震源持续时间+6 min,成熟; 近场,震源持续时间+3 min,测试中	震后 1 到数小时,技术相对成熟
优点	获得矩震级和震源机制	获得震源时空信息	获得设定断面位错模型
缺点	设定为点源,震源尺寸及展布信息缺失.	无震源机制、深度和震级	模型参数难以准确设定

这些方法所需数据类型、时效性、优缺点见表 1. 因全波形拟合反演费时较多(如 GCMT 等),常不用于实时地震学研究,故这里略去.

近年来,全球地震学界通过大量令人感动的无私奉献努力,建成了覆盖全球的密集地震观测台网(~数万套地震仪),并面向全世界实时共享观测数据.这些实时地震观测大数据,为更精准、更迅速测定大震震源参数(震级、破裂尺度、破裂持续时间等)提供了可能.但同时,这些海量地震观测大数据也对当前地震学广泛使用的方法带来了严重挑战.近年来,人工智能技术蓬勃发展,为大数据等科学领域发展提供了开拓了新的空间.

比如,以深度学习为代表的人工智能技术在许多领域取得了突破性的进展.卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)是图像处理中常用的深度网络结构,它的一个神经元只与相邻层的部分神经元连接,并且包含由多个卷积层构成的特征提取器(图 1a).生成对抗网络(generative adversarial network, GAN)是另一类常用的深度网络(图 1b).

图 1 两种网络结构图(Alom *et al.*, 2019)

a. 典型卷积神经网络结构; b. 典型生成对抗网络结构

它的主要思想是通过学习数据的分布知识,进而生成和真实数据相似的模拟样本.引入以上思路,通过构建深层卷积神经网络和生成对抗网络来替代常规大震参数测定方法(如反投影法),采用近 20 年来全球密集地震观测大数据进行训练,可望实现更精准测定大震震源参数,如震级、破裂尺度和破裂持续时间.并在此基础上结合地表场地条件及地震动衰减公式,可快速评估地震影响区地震动,进而获得地震烈度图.

3 科学价值及应用前景

基于全球地震实时观测大数据,采用人工智能技术方法,或许可为全球大震参数快速准确测定和地震减灾提供新思路.引入人工智能思路,通过构建深层卷积神经网络和对抗网络来替代常规大震参数测定方法,采用近 20 年来全球密集地震观测大数据进行训练,可望实现更精准测定大震震源参数,如震级、破裂尺度和破裂持续时间.

对于陆内地震,基于准确地震参数及发震断层

空间分布特征,结合地表场地条件及地震动衰减公式,可快速评估地震影响区地震动,圈定地震重灾区及影响场(Chen *et al.*, 2022),为地震应急及救援提供第一手科学依据.对于海域地震,基于准确地震震源参数及震源过程的海啸风险评估,将更精准圈定海啸影响区及影响等级.

参考文献

- Alom, M.Z., Taha, T.M., Yakopcic, C., et al., 2019. A State-of-the-Art Survey on Deep Learning Theory and Architectures. *Electronics*, 8(3): 292. <https://doi.org/10.3390/electronics8030292>
- Chen, W.K., Wang, D., Si, H.J., et al., 2022. Rapid Estimation of Seismic Intensities Using a New Algorithm that Incorporates Array Technologies and Ground-Motion Prediction Equations (GMPEs). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 112(3): 1647–1661. <https://doi.org/10.1785/0120210207>
- Kanamori, H., 2008. Earthquake Physics and Real-Time Seismology. *Nature*, 451(7176): 271–273. <https://doi.org/10.1038/nature06585>
- 陈会忠,沈萍,2009.地震信息科学的创新和地震学的发展.合肥:中国地球物理学会第二十五届年会.
- 倪四道,2008.应急地震学的研究进展.中国科学院院刊, 23(4): 311–316.