

汕头海底分布式光纤传感海洋观测进展

杨积忠^{1*} 杨晓东² 罗耀³ 刘兴汉⁴ 张建平⁴ 孙梦宇² 常叶龙⁵

1 同济大学海洋地质国家重点实验室 上海 200092;

2 中国科学院南海海洋研究所中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室 广州 510301;

3 中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境国家重点实验室 广州 510301;

4 大唐汕头新能源有限公司 广东汕头 515098; 5 华南理工大学土木与交通学院 广州 510641

1、摘要：分布式光纤声学传感（Distributed Acoustic Sensing, DAS）技术能够将海底光缆转变成空间密集的应变传感器阵列用于海洋观测，该技术近年来得到了广泛关注和重要应用。本研究报道了我们利用汕头海上风力发电厂光电复合缆进行的一个月的连续 DAS 数据采集、处理和分析的初步成果。数据采集期间 DAS 台阵记录到多个地方震和区域地震，通过将 DAS 海洋信号与同步采集的物理海洋观测资料进行对比，其与海浪有效波高显示出高度一致性，证明了 DAS 作为下一代海洋观测设备的巨大潜力。

关键词：分布式光纤传感，海洋科学，地球物理，物理海洋，天然地震

2、数据采集：本研究使用电缆隶属于汕头大唐勒门海上风电场，是连接风电场岸上机房与海上 220kv 升压站的冗余电缆，总长度 30km，埋设深度 3m，在海缆入海约 24 km 处进入已运行的海上风机区域。我们选取其中一根暗光纤接入由智地感知（合肥）科技有限公司提供的 ZD-DAS 询问器，于 2024 年 1 月 12 至 2024 年 2 月 20 日记录了连续数据。DAS 询问器脉冲频率为 1000Hz，输出采样频率为 200Hz，标距 10m，道间距 4m。数据存储格式为 HDF5，相应每分钟数据大小为 325MB，总数据量为 16.6TB，所有数据均存储在外置可更换的磁盘阵列上。广东省地震局在南澳岛上部署了宽频带地震台站（NAO）连续采集三分量地震数据，该台站距离海底光缆最近约 17.5km。中国科学院南海海洋研究所的粤东上升流区海洋生态系统综合观测研究站在南澳岛附近布设了浪龙剖面流速仪，进行连续水文数据监测，设置采集频率为 2Hz。浪龙设备距离海底光缆最近约 16km，可与 DAS 提取的海面波浪信号进行对比。

3、DAS 信号分析

图 1 是 2024 年 2 月 7 日菲律宾克拉维利亚 M5.3 区域地震的具体分析，地震波形如图 1a 所示，DAS 信号与宽频带地震仪显示出相似的波形和信噪比。图 1b 是 DAS 记录的 28km 光纤地震剖面，在 2-10Hz 带通滤波后应用 500-5000m/s 范围的 FK 滤波以消除海浪等环境噪声影响，处理后的时间-距离地震剖面可以看到清晰的 P 波和 S 波。图 1c 展示的是图 1a 中地震波形对应的 DAS 和 NAO 台站地震频谱图，进一步说明了 DAS 和宽频带地震仪信号的一致性。

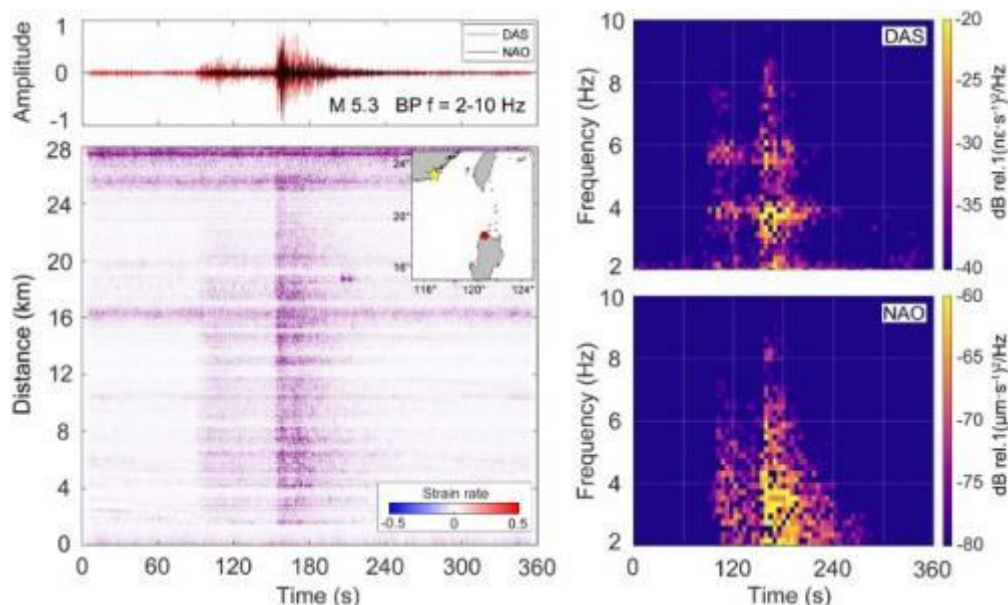


图 1、2024 年 2 月 7 日菲律宾克拉维利亚 M5.3 地震的 DAS 记录及其与三分量台站对比。

海洋波浪监测是海洋水文监测的重要部分。本研究利用浪龙剖面流速仪记录了 2023 年 1 月 13 日至 2023 年 2 月 13 日期间的 32 天有效波高数据及频谱图（图 2）。选取距离浪龙设备较近位置且远离风机的光纤通道 2625 道应变率数据，0.005–1Hz 滤波后利用短时傅里叶变换得到频谱图（图 2a），图 2b 展示了 0.01–0.42Hz 滤波后的应变率信号实时曲线。从图 2 可以发现，海面有效波高的高值时间点与海面频谱图高强度区域与 DAS 数据的频谱图高能量区域和应变率的高值区域具有较高的一致性。这说明 DAS 对海面波动变化具有较高的敏感性，具有用于海面波浪监测的潜力。

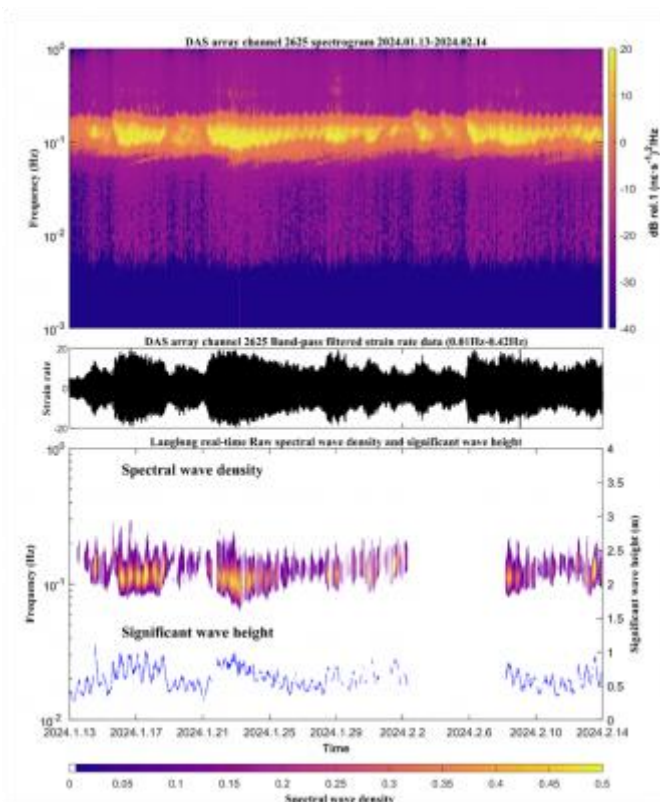


图 2、（a）连续的 DAS 第 2625 道应变率数据 0.005–1Hz 滤波的频谱图；（b）同一时间间隔内 DAS 第 2625 道的应变率数据 0.01–0.42Hz 滤波的信号；（c）光纤布置海域内现场实测海面波浪的波浪谱和有效波高曲线。

4、结论：本研究利用汕头海域的 30 公里光电复合缆进行了为期 38 天的 DAS 海洋观测研究。利用观测到的 DAS 数据，我们监测到一些地方微震和区域地震，与陆上三分量地震台站的波形对比，显示出较好的一致性。将 DAS 信号与海域实测的有效波高数据进行对比，发现在突变值的时间点和波动变化规律上均有高度一致性，证明了 DAS 在海洋水文监测方面的能力。