



分布式光纤及地下结构探测实验研究

尹扶（地球和空间科学学院 地质工程专业）
导师: 王宝善

School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, China



摘要

在城市地区进行地震观测，对于城市地下空间规划建设与抗震减灾有着重要的指导意义。通常精细的地下空间结构探测依赖于高密度的台阵布设，但在人口密集的城市地区进行高密度台阵布设往往充满困难。分布式光纤传感技术（DAS）作为一种新的地震观测手段，为低成本高密度台阵布设提供了新的解决方案。我们在北京进行连续十天的地震观测实验，识别出人工落锤信号、天然地震信号与周边干扰噪音，利用背景噪声互相关技术提取的面波信号，可以获得地下浅层S波速度结构剖面。

引言

随着社会现代化进程的发展，城市已经成为人类主要的居住地。城市的安全发展依赖于人们对城市地下空间结构的认知，如何安全高效的利用城市地下空间以及监测城市地下空间运行状况，是目前阻碍城市进一步发展的最大障碍。传统方法对城市地下空间的勘察需要在城市表面密集布设地震观测仪器，这些仪器通常数量众多且价格昂贵，但现代城市密集的建筑布局与杂乱的人类活动阻碍着传统观测方法的实现。近些年一种基于光学信号传感的技术逐渐步入地震勘探的领域，分布式光纤声波传感技术(DAS, Distributed Acoustic Sensing)。该技术可利用城市系统现有的光纤，达到超高密度的永久性观测，有效的克服在城市地区进行地震观测困难的问题。

研究方法

目前通用的DAS技术是通过向光纤中发射脉冲光，测量背向散射光的相位差，并据此得到光纤沿线的应变率(张丽娜等，2020)。该技术中有几个关键的影响因素，其中激光脉冲宽度决定了空间分辨率，光源功率和相干性决定了监测灵敏度，而相位测量方法则决定了仪器的动态范围。DAS 是一种新型地震观测技术,提供**超高密度、宽频带**观测：

- 台站间距：0.25 -10 m
- 观测长度：0.1 - 10s km
- 信号频段：mHz - kHz

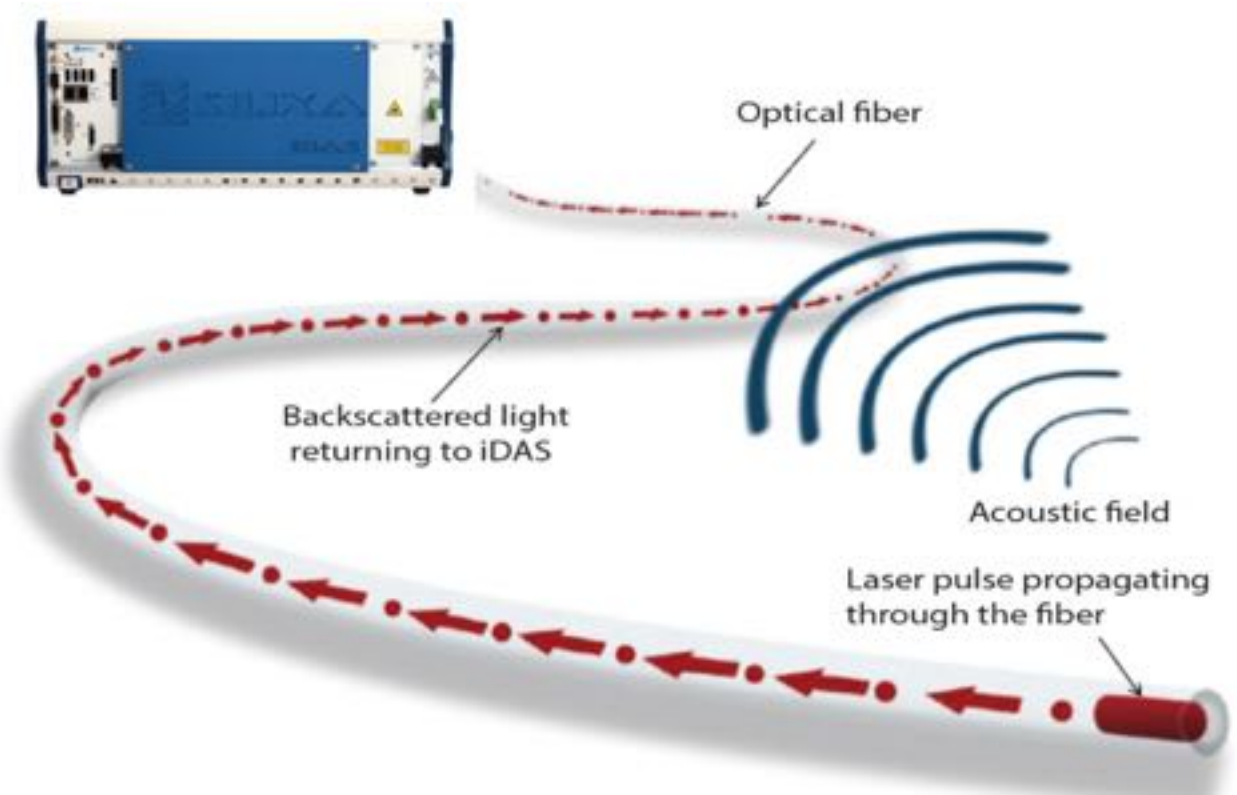


图1：光纤传感示意图

DAS 实验信号研究

为验证国内自研光纤传感设备在浅层结构探测中的可行性，2020年国庆期间我们在北京进行连续十天的地震观测实验。总长约1公里的实验光缆，被分成260个独立观测单元，道间距4米，期间进行了80次人工落锤实验。十天的观测实验总共获得近20T的原始数据，从降采样处理后的地震记录中可识别出人工落锤信号（图2）、天然地震信号（图3）与周边干扰噪音（图4）。利用背景噪声互相关技术提取的面波信号，可以获得地下浅层S波速度结构剖面（图7）。

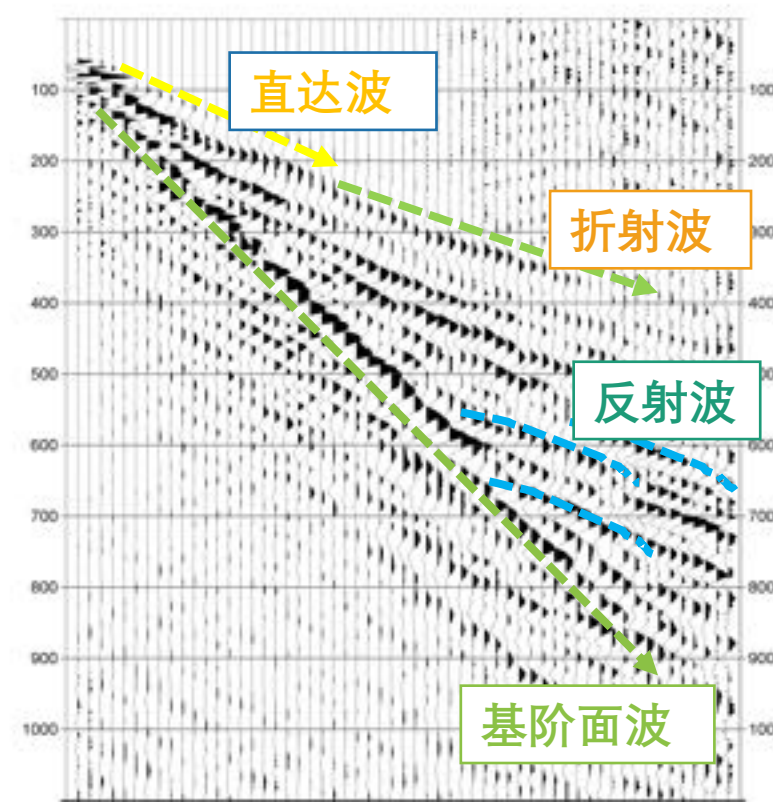
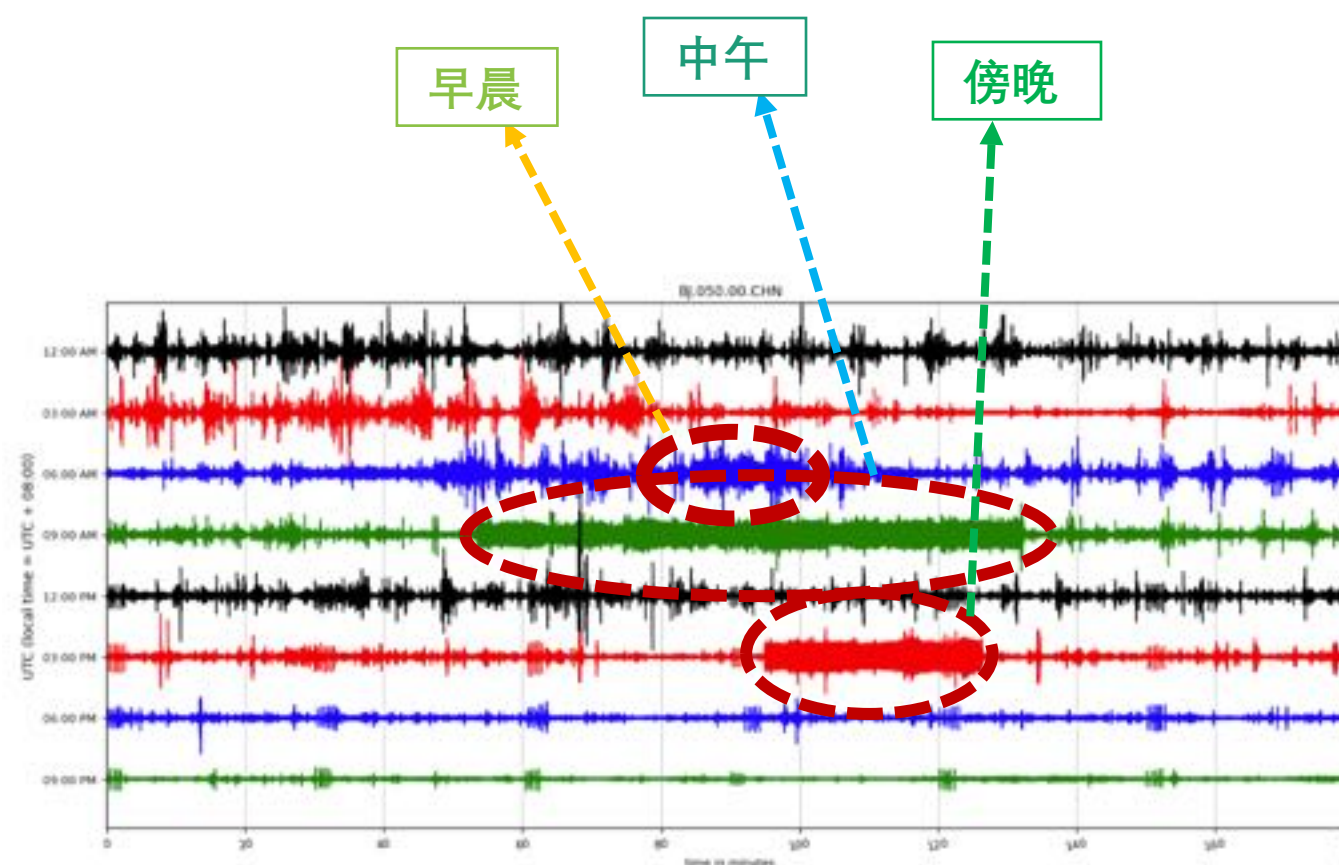
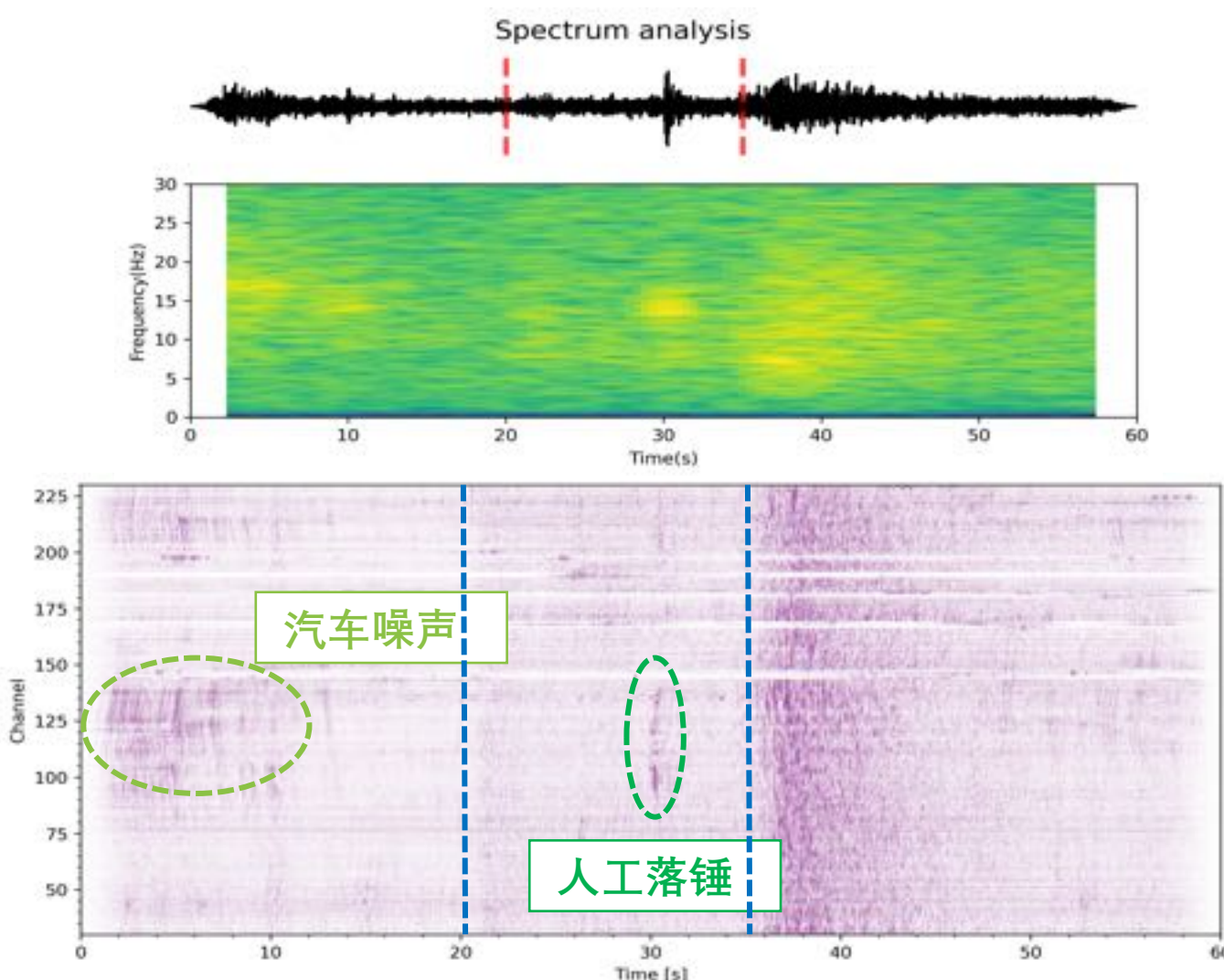


图2：DAS观测到人工落锤的地震信号。从中可以看到明显的直达波、折射波、反射波与面波信号。利用这些地震信号可以进行城市地下空间结构的速度成像。

图3：DAS记录到某一次134km远处的地震信号，可以看到明显的P波和S波震相。时频分析图可以看到地震信号的主频在10hz以下，这与真实情况符合。在此时间段还记录到汽车行驶的信号，计算得到汽车的视速度约为40km/s。

图4：DAS某一位置处24小时的连续信号记录，可以看到明显的24.5hz的单频干扰信号，分别出现在早晨、中午与傍晚。该干扰信号的位置与白家疃食堂位置接近，初步推测是食堂发出的单频干扰信号。

地下浅层 S 波速度结构

背景噪声技术是21世纪地震学最重要的突破研究之一。其利用地球上广泛存在的噪声震动信号，通过互相关函数的计算，得到台站对之间的经验格林函数（图5）。经验格林函数中，Rayleigh面波信号占据主要能量部分，通过提取面波信号的频散信息（图6）即面波的传播速度和面波信号频率的对应关系，可以进行地下速度结构的成像研究（图7）。

成像结果表明该地区30米以内浅部的S波速度在300m/s左右，是典型的城市浅部横波速度，且实验区域较为平坦，无明显速度突变现象。

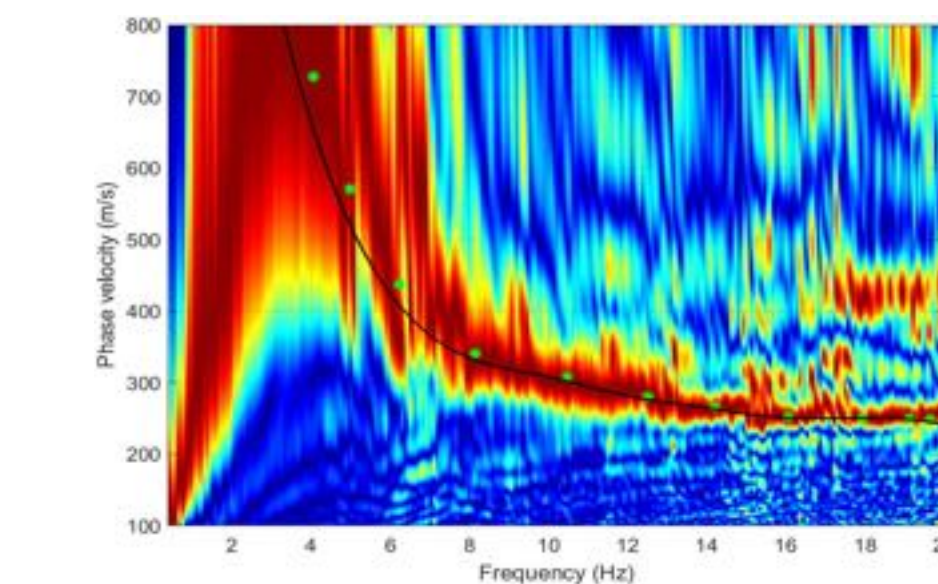


图6：从背景噪声记录中提取经验格林函数，再从经验格林函数中提取频散信息。可以看到提取的频散信息低频信号能够达到4hz，这超过了传统主动源勘探的信号范围，有利于更深部的速度结构成像

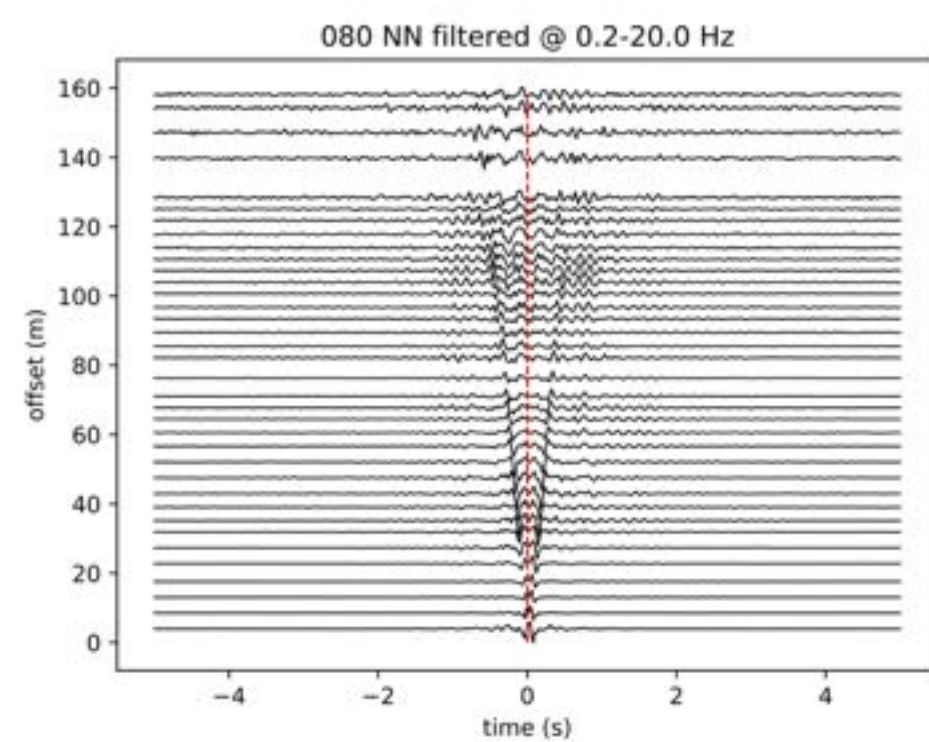


图5：背景噪声中提取的经验格林函数

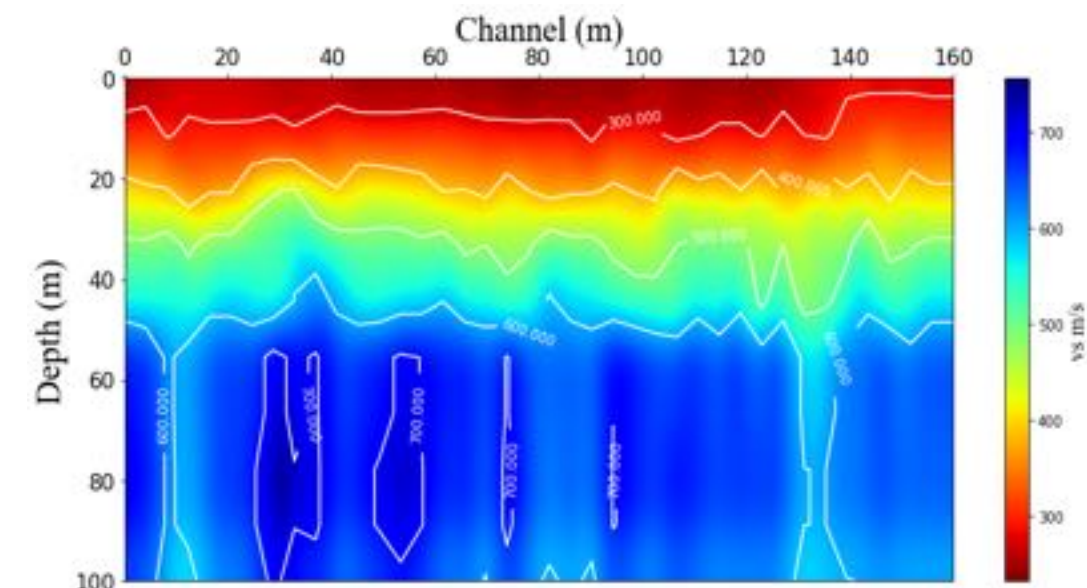


图7：地下 S 波速度结构成像

结论

分布式光纤声波传感技术作为一项正在兴起的新型地震观测技术，近年来迅猛发展（Zhan,2020）。在此次地震观测实验中，我们利用DAS准确的记录到了人工落锤信号、天然地震信号与周边干扰噪音，利用背景噪声互相关技术提取的面波信号，获得地下浅层S波速度结构剖面。这些实验的成功实验表明我国利用城市光纤进行城市地下空间探测和监测的可行性，势必成为今后城市地震观测的主要方向。

参考文献：

- [1].Zhan Z, Distributed Acoustic Sensing Turns Fiber-Optic Cables into Sensitive Seismic Antennas.Seismological Research Letters, 2020, 91(1): 1–15. <https://doi.org/10.1785/0220190112>
- [2]. Zhang L, Ren Y, Lin R, et al. Distributed acoustic sensing system and its application for seismological studies. Progress in Geophysics (in Chinese), 35(1):0065-0071, doi:10.6038/pg2020DD0384 [张丽娜, 任亚玲, 林融冰, 等. 分布式光纤声波传感器及其在天 然地震学研究中的应用, 地球物理学进展, 2020, 35(1): 0065-0071, doi:10.6038/pg2020DD0384]



Wechat

Email: yinfu@mail.ustc.edu.cn