



東南大學
SOUTHEAST UNIVERSITY

研究生讲座报告

岩体声源监测及应用

课程名称:	专业讲座
姓名:	桑阳
学院:	苏州联合研究生院
专业:	岩土工程
学号:	224642
课程老师:	赵学亮

2022 年 9 月 27 日

東南大學講座報告

SOUTHEAST UNIVERSITY

专业： 岩土工程
姓名： 桑阳
学号： 224642

讲座名称： 岩体声源监测及应用

演讲人： 董陇军 讲座日期： 2022 年 9 月 27 日 讲座地点： 线上

一、 研究目的和背景

矿业是国民经济命脉，支持了 70% 以上的国民经济及其相关产业。我国矿山开采总体走向深部，特别是随着开采深度增加，地应力高，岩爆、垮塌等动力灾害频发，资源回收异常困难，突破灾害防控卡脖子关键技术瓶颈，符合国家战略需求，具有重大战略意义。

受制于深部多中段多采场开采中矿岩、采场、充填体共存的特殊复杂环境，波速动态变化、波传播路径复杂，导致灾源位置定位精度低、异常区域辨识难。要实现深部资源安全高效可持续开采，复杂岩石结构中震源精准定位和异常区域超前辨识是亟待突破的技术瓶颈。

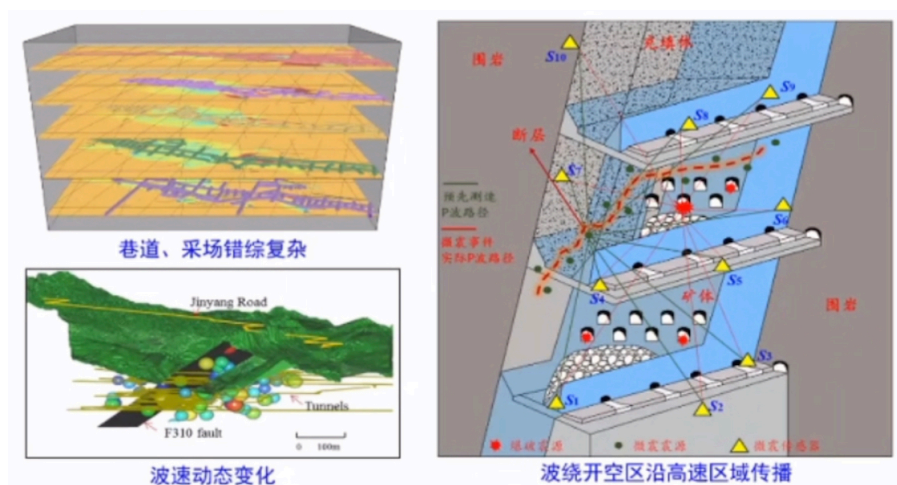


图 1: 深部地下环境

二、 研究内容和步骤

1. 理论分析方法

(1) 复杂岩石结构震源定位方法

我们提出一种改进的 A* 搜索算法以确定波在复杂结构中的传播路径，将区域划分网格，赋予 0 和 1 来描绘区域形状，实现定位区域的数字矩阵化；使用改进的搜索算法搜索传感器与网格点之间传播路径，最终得到 P 波绕开空区后的真实传播路径。

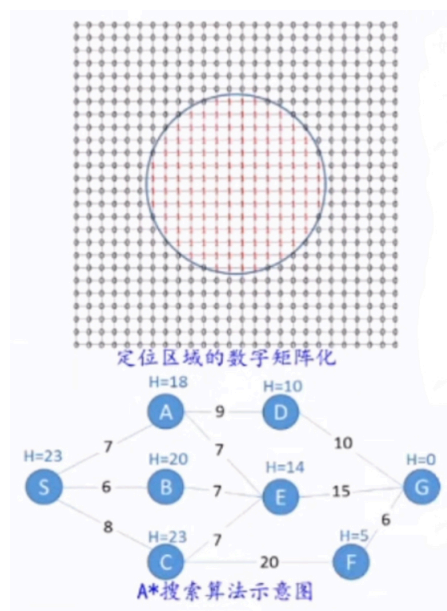


图 2: Caption

如上图所示，S 为起始节点，G 为目标节点。

1. 节点之间连线是两点的路径长度，如：(A,E)= 7。
2. 节点旁的 H 值是当前节点 x 到达目标节点台的预估值，如：H(A)=18，表示从当前点 A 到达目标点 G 的估计路径长度为 18。此处 H(x) 即为启发函数，启发函数采用两点间的直线距离进行估计。
3. 从起点 S 到达当前节点 x 的实际路径长度表示为 G(x)。
4. 从起点 S 到达目标 G 并经过点 x 的估计距离长度表示为： $F(x) = G(x) + H(x)$ 。如 $F(A) = G(A) + H(A) = 7 + 18 = 25$ 。
5. A* 算法通过不断的选择估计距离 F 最小的节点，逐渐构建最短路径。

改进的 A* 搜索算法，以使得当前节点与网格节点形成的方向增多，增加选择，来减小与实际路径方向之间的误差；方向的增加，同时使得搜索的计算量增大，分别计算拓展的各层模型。综合计算量和误差，选择最合适的 3 层模型。

基于确定的波传播路径、传感器坐标和 P 波到时，将波速作为未知参数实时反演，消除波速对定位精度的影响；联合解析解与概率密度函数，实现了异常到时的准确剔除，建立了基于路径搜索的无需预先测速震源定位方法 (ALM)。

(2) 岩岩走时层析成像反演方法

声波通过异常区域会发生衍射和折射，其传播路径也会发生相应的变化，从而导致传感器接收走时的差异。基于此，我们提出利用走时层析成像结合矩阵分解和高斯滤波的阻尼最小二乘法 (DLSQR-GF) 来识别复杂岩体结构中的异常区域。

走时层析反演由以下步骤组成：

1. 首先，建立初始模型并划分网格。网格的大小和数量决定结果的分辨率；精细的网格尺寸和更多的信号量会进一步增加计算成本。

2. 其次，采集信号数据，包括震源、传感器的坐标和信号的触发到时。对采集到的信号数据需用降噪算法进行降噪预处理，保证到时的准确性。
3. 再次，结合正演模拟和 DLSQR-GF 进行层析成像。通过 DLSQR-GF 将正演部分计算得到的到时与观测到时进行寻优，得到迭代过程中的速度场。

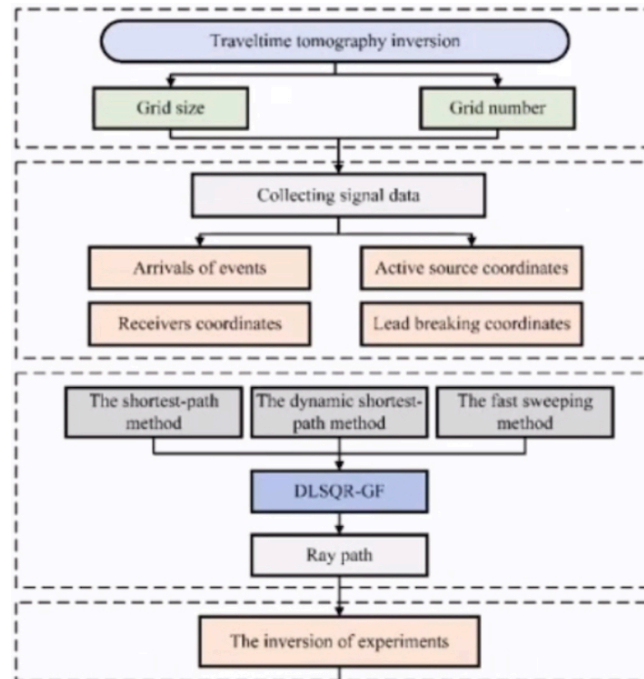


图 3: 走时层析反演流程

2. 研究过程

(1) 复杂空区形状震源定位

在具有复杂空区的石板上开展 44 次断铅实验，采用基于路径搜索的无需预先测速震源定位方法 (ALM) 对断铅震源进行定位。结果表明，23 次断铅的误差为 0，18 次断铅的误差为 1cm。因此，本方法可实现断铅震源位置准确定位。分别采用提出的 ALM 方法、FastWay、TD 和「M 四种方法进行定位精度比较。结果表明，ALM 通过搜索每一个断铅震源的实际传播路径，具有明显的定位优势，定位精度较其他三种方法分别提高了 22.2%，41.7% 和 46.2%。

- (2) 应力加载下波速空间变化采用 500N/s 恒力控制对 $100 \times 100 \times 200$ mm 花岗岩进行单轴压缩实验。采用 AIC 法对波形到时进行拾取，并基于 MSIM-MV 定位方法对岩石信号源进行定位。结合校正拾取时间和定位结果，利用协同主动脉冲和声发射源的走时层析成像技术确定了速度场的空间分布。基于走时层析成像技术对岩石样品中异常空洞区域识别能力的定量评估。实验室实验由二维和三维实验组成。在实验中布置传感器的配置要求尽可能地增加岩体中的射线覆盖率。

1.DSPM 和 FSM 的结果在实验中受误差因素影响较小。

2.DSPM 和 FSM 对低速区域的识别与空洞异常区域的实际分布相吻合。

3.SPM、DSPM 和 FSM 的准确率分别为 65.83%、74.59% 和 72.68%。

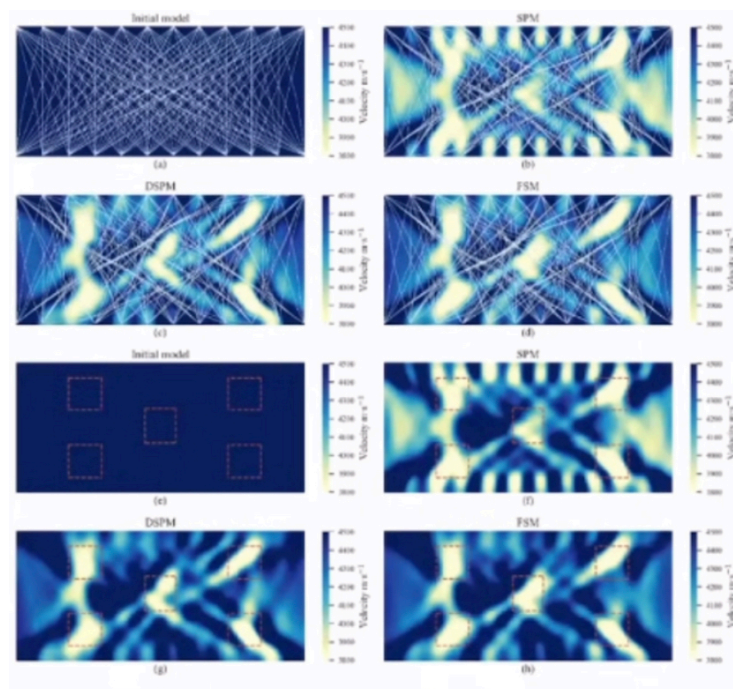


图 4: Caption

4. 层析成像室内实验受到误差因素的影响，包括到时误差、初始背景速度和传感器与传播介质之间耦合。

三、 研究结论

1. 提出了一种确定复杂结构中波传播路径的搜索算法，基于无需预先测速的微源解析迭代协同定位方法，建立了基于路径搜索的无需预先测速的定位方法 (ALM)。

2. 复杂空区石板断铅定位结果表明 ALM 定位方法可准确定位断铅震源位置,定位精度较 FastWay、TD 和 TM 三种方法分别提高了 22.2%，41.7% 和 46.2%。

3. 速度变化、声发射源形核和能量聚集的时空演化直观地表征了应力分布和裂纹扩展特征。通过所提出的 MTC 和 DC 系数的变化可以识别裂纹的不稳定扩展。

4. 提出了一种辨识复杂岩体结构中隐伏异常区域的走时层析成像方法，克服了空区辨识中速度差异的限制，减少了迭代中速度突变的影响。

5. 为了定量评估识别精度和计算效率，开展了室内实验，验证了所提方法的可靠性和有效性。在陕西震奥矿山进行了现场实验，验证了所提方法的可行性。结果表明，该方法可以实现地下巷道和岩体高应力区的辨识。为地下岩土工程中潜在异常区超前预警提供了理论基础和技术支持