

钻进过程的声发射检测技术

成都地质学院 曹鸿国

提 要 分析并介绍了声发射检测技术,介绍了该技术在岩石力学、钻具动力学研究及井底声学定向方面的应用。

声发射(简称AE)是自然界中普遍的物理现象。例如,地震前兆的地声、岩体破碎前的爆裂声、钻具工作面与岩体的摩擦、冲撞等都将产生声发射现象。因此利用声发射波的检测技术,提取钻进过程的钻进状态信息,进而应用现代信号分析技术,就易于实现钻进系统工况的在线监控。

一、声发射波及其检测

在外界条件(机械载荷、温度变化等)作用下,固体物质内部将产生局部应力集中现象。由于应力集中区的高能状态是不稳定的,它必将向稳定的低能状态过渡,在这一过渡过程中,应变能将以弹性波的方式快速释放,即产生声发射现象。

例如钻进时,岩石之类固体物质破碎变形过程中,会产生声发射波,研讨其产生声发射波的过程,可对声发射机理作如下解释。对固体物质微观结构的力学模型研究表明,其形变产生声发射波的过程,类似于机械系统的瞬间不稳定状态。即在外力作用下,固体物质的结构缺陷区,或微观不均匀性所致应力集中区,以及形变等等处于高能量状态的非稳定区,都将过渡到低能量状态的稳定区。如果固体物质内部这种过渡状态是在瞬间进行的,则必将伴随着能量的瞬间释放,即以弹性波的形式释放能量——这就是产生声发射波的过程。这种能量状态的演变过程,可用机械系统的瞬间不稳定态来比拟,如图1所示。

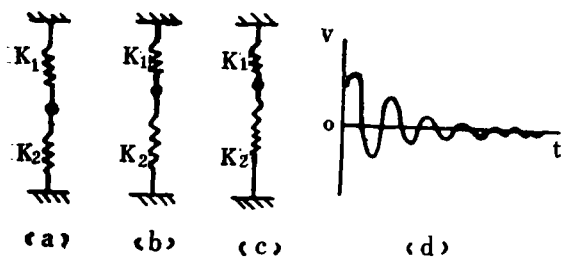


图1 声发射波产生过程的力学模型

固体物质内部质点的微观结构模型似如被弹簧系结,图1a表示弹簧刚度 $k_1 = k_2$, 则质点处于平衡状

态;当 $k_1 > k_2$ 时,质点发生位移,如图1b所示;而 $k_1 \gg k_2$ 时,质点错位突变,弹簧 k_2 断开,质点产生振荡,直至新的平衡稳态为止,如图1c、d所示。导致质点不稳定的因素是固体物质范性形变中晶格位错、晶界滑移,或者由于内部裂纹的发生和扩展,直至断裂、破损等,这种由不稳定状态过渡到稳定状态的过程,都会以弹性波形式释放能量,而固体物质内部的无穷多质点在不同时刻释放的能量,将以球面波阵的方式向外传播。

声发射波据其发射源的动力学特性,可分为连续型、突发型两类声发射信号。连续型声发射信号是因固体物质中微观形变而产生的声发射波,其信号特征与随机噪声相似;而突发型声发射信号,则是因固体物质破坏过程中产生的声发射波,由于伴随微裂纹的发生、扩展而产生的信号是一连串脉冲衰减波,其脉冲宽度约为数微秒至数毫秒,这主要取决于应变能量的断续释放时间间隔。两种声发射波分别是固体物质内部晶格位错运动的塞积与解脱或微裂纹断续扩展等现象所致。

为了将声发射波转换为可测的电信号,目前主要采用压电谐振式传感器予以检测。典型的声发射检测系统,如图2所示。

声发射信号的分析处理技术具有突出的特点。目前直接将记录波形进行波谱分析的尚不多见,多数采用电平幅度计权、事件计数、发射率和累积计数等数理统计分析方法来处理声发射信号。

综上所述,采用独特的声发射信号处理方法,通过开发计算机的接口技术,就能使声发射的动测技术应用于钻进过程的破岩机理研究、钻进过程监控及受控定向钻进等高级钻进技术领域。

二、声发射波谱分析的应用

由前分析得知,任何固体物质由于其内部晶格的位错、晶界滑移,抑或由于材料内部裂纹的产生和扩展,都要释放内部贮能,并以弹性波形式产生声发射现象。在钻进过程中,钻柱的振动弹性应变、钻头

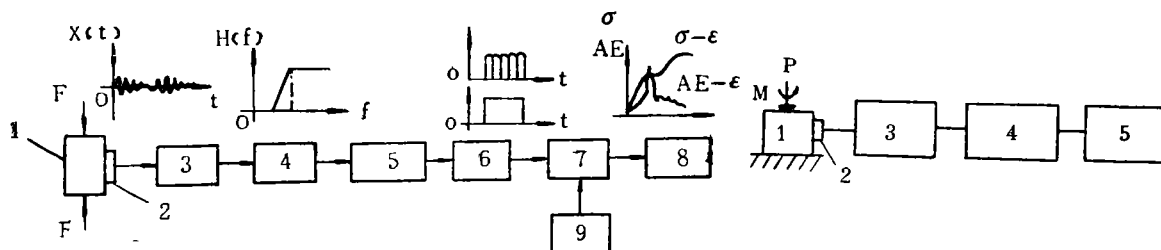


图2 声发射波检测系统

1—岩样；2—AE传感器；3—前置放大器；4—滤波器；5—主放大；6—整形；7—计数；8—记录；9—时基

在钻进时的应变贮能，以及被钻进岩体的破裂、摩擦和碰撞、冲击等都是实际的声发射源。因此，应用声发射检测技术获取孔底钻进信息，利用声发射波谱分析结果在线监控钻进过程，是现代钻进技术的突破性进展。

以下仅以声发射技术在钻进过程中几个方面的应用，作一初步研讨。

1. 岩石力学研究中的应用

应在用声发射波谱分析方法研究岩石力学诸多课题，可以说是声发射技术最早的开发成果。地震学方面的研究成果早已为人所知，现仅举投入工程实用的，由日本北海道大学和环境地质工程公司共同开发的声发射滑坡监测系统为例，该监测系统在滑坡演变的初期阶段，就能由高灵敏度的AE传感器（检测灵敏限为 $1\mu\text{m}$ ）测量出岩体内裂纹的发生和扩展。系统投入使用后，在日本有滑坡危险的3万个监测点设置了AE传感器，实现了滑坡灾害的早期预报。至于声发射技术在矿山地压研究中的应用成果，文献报导较多，读者自可查阅。

目前，声发射技术在钻进工程中的开发应用，早已引起国内外工程界的注目。鉴于钻进过程中背景信号噪声大、钻进工艺技术和装备的特殊性，以及AE传感器与信号接收仪器间通信道建立的难点等因素的制约，使在钻进过程岩石力学的有关课题研究，应用声发射技术的难度增大，故对此课题的研究仍处于试验阶段。

在钻进工程岩石力学课题研究中，其声发射波谱分析原理系统见图3。AE传感器可安装在钻头上（试验台的岩石试样回转，研究钻头动态磨损等课题），或将AE传感器安装在试验台的岩石试样上（钻头回转钻进，研究岩石破碎机理等课题）。AE传感器检测信号，通过声发射检测仪变换处理后，可直接由磁带记录仪记录，再输入至信号频谱分析仪或计算机进行

图3 声发射波谱分析原理系统

1—岩样；2—AE传感器；3—声发射接收装置；4—磁带记录仪；5—IBM-PC

波谱分析。鉴于声发射波的频带很宽（可从次声至超声谱区），可采用时基扩展、频域压缩技术，拓展分析频带4—8倍的信号分析方法予以解决。

图4所示，为钻进过程中的钻头声发射波的实录波谱。此项试验由罗加兰研究所进行，声发射检测是

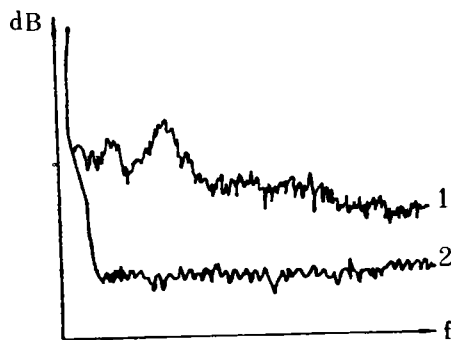


图4 钻进时钻头的实录波谱

1—钻进时地面记录的井底AE信号频谱；2—停钻时的背景噪声谱

采用英国康沃尔坎博矿校的AE波定向传感器。试验表明：钻进过程中，钻头的声发射波谱信号有明显峰值特性，这是钻头工况监测的重要信息来源。据大量AE波的频谱分析，可确定信号事件率，从而获得钻头磨损量与谱峰值间的规律。

2. 在钻柱动力学研究中的应用

在钻进过程中，由于往复式泥浆泵向钻柱内压入冲洗液而产生的冲洗液柱的压力脉动，钻进时钻柱的扭曲螺旋形变，钻头在孔底沿不平整破研面上回转产生的低频振动和钻头在孔底钻进时的撞击振动，以及冲洗液在孔底的穴蚀作用、湍流所引起的高频振动等因素都将激起复合频率介于5—500—5000 Hz的钻柱纵向振动。通过振动波谱的录波分析，不难确定出钻柱动力学研究中的基本参数：

$$h(t) = h_{\max} \sin \omega t;$$

$$v(t) = h_{\max} \cdot \omega \cdot \cos \omega t;$$

$$a(t) = h_{\max} \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t$$

实际进行钻柱动力学波谱分析时,由于 $h(t)$ 时域函数具有不同频率的波谱成份,因而录波时可选用宽频带的传感器予以检测。AE波传感器可置于地面主动钻杆上,通过一定的声耦合媒介呈垂直—纵向方位安装,检测的钻柱振动AE波信号直接由磁带记录仪记录,后续信号分析仪进行信号的幅频特性分析。

图5所示波谱分析资料,是前苏联西—依尔库茨克矿区钻进过程的录波信号。由钻柱动力学研究中的波谱分析,不难确定钻柱振动的 $h_{\max}$ 及其频谱范围,从而定量获取钻柱振动的 $v(t)$ 和 $a(t)$ 特性。同时,由钻柱振动AE波信号分析的峰值特征和信号事件率,也能作为孔底钻具磨损程度和钻进工况在线监测的有用信息。



图5 钻柱振动AE波信号波谱图

a—在软岩中钻进时; b—在硬岩中钻进时; c—时标频率500 Hz; d—钻具磨损后

3. 定向钻进的井底声学定向

在受控定向钻进研究中,极重要的是在线获取控制井眼空间位置的实时信息。现在研究的各种随钻监

测井眼空间状态信息的仪器系统,已不同程度的取得了突破性进展。利用钻头在井底所激发的AE波来监控定向,即是研究中的一种新颖的声学定向系统。

井底声学定向,是在地面距钻进设备一定部位处,安装AE传感器,以实现并对井底钻头破碎岩石或钻具振动所激发的AE波监测一定向。

由于声发射现象是固体材料受力作用产生形变或断裂时,以弹性波形式释放出应变能量——声发射波,因此,声发射检测技术及声发射波谱分析,是获取工程信息的一种有效、新颖的信号检测方法。其优点是:

- (1) 信号监测区大;
- (2) 对难于接近的信息客体,可实现远场监测;
- (3) 对客体内应力、内裂纹的发生、扩展可实现在线连续监测;
- (4) 利用各种信号分析方法,使声发射检测技术,除了监测客体内应力场的演变外,还有更多方面的工程应用——诸如钻柱动力学研究、井底声学定向等;
- (5) 检测系统简单,工作可靠,环境适应性强。

在高技术深入开发的今天,声发射技术在工程领域的实用化已指日可待,它必将成为工程监测和诊断的重要手段。

参 考 文 献

1. 郑君理、杨为理、应君珩. 信号与系统. 人民教育出版社, 1981.
2. 袁宏义. 声发射测试技术及其传感器的设计. 强度与环境, 1983, (2).
3. 森村正直、山崎弘郎. ヤンサ工学. 朝倉書店, 1982.
4. ヤンサ技術, 1989, (12).
5. SPE Drilling Engineering, Vol. 4, No. 2, 1989.
6. В. Е. Кобецков, ИДР. Звуковая Система связи с забоем при буровой скважине. Москва Недра, 1979.

Sonic Emission Inspection Techniques in the Process of Drilling

Cao Hongguo

Chengdu College of Geology

Abstract The paper introduces and analyses the sonic emission inspection techniques, and shows the applications of this technique in the research on rock mechanics, drilling tool dynamics and sonic orientation at hole bottom.