

文章编号:1009-6825(2008)01-0016-02

声发射技术在岩石试验研究中的应用*

刘明松 张春雷

摘要:介绍了声发射技术的特点及原理,分析了声发射技术在岩石试验研究中的成果,并指出声发射技术在岩石试验研究中的不足,最后对其应用前景进行了展望,为岩石试验研究带来了经济效果,同时为指导工程的设计施工提供了有利的理论依据。

关键词:声发射技术,凯塞效应,岩石试验研究

中图分类号:TU455

文献标识码:A

声发射(Acoustic Emission,简称 AE)技术是利用岩石变形过程中,内部破裂的产生和破裂面之间的摩擦滑动所辐射的超声波信息,连续不断地观测岩石材料内部微破裂的动态演化,以此来研究岩石变形、破坏的微观机制,对探讨岩体突发失稳机制和地震预报预防具有重要意义。声发射作为一种检测技术起步于 20 世纪 50 年代的德国,60 年代该技术在美国原子能和宇航技术中迅速兴起,并首次应用于玻璃钢固体发动机壳体检测中;70 年代,在日本、欧洲及我国相继得到发展,但因当时的技术和经验所限,仅获得有限的应用;80 年代开始获得较为正确的评价,引起许多发达国家的重视,在理论研究、试验研究和工业应用方面做了大量的工作,取得了一定的进展。

1 声发射技术的特点及原理

1.1 声发射技术是一种动态检测方法

1)可以对静态的结构进行检测,也可以对受力的围岩进行实时检测。2)对形态复杂的和特大的构件或岩体可以在控制范围的任何部位进行检测。3)由于声发射技术所用的固体材料普遍存在,对大多数岩土工程都可以用声发射技术来检测。

通过观察试验发现,产生这一现象的主要原因是微孔曝气时气泡在上升较短的距离后就向整个截面扩散,而单孔曝气的气泡则可上升更大的距离后才扩散。分析认为这是由于微孔曝气所释放的气泡较小,气泡更容易受到干扰而改变原有的上升路径,这一结果使得反应器上部流化变得较为困难。

4 结语

根据以上对 HSL 好氧流化床反应器的试验研究,认为其水力特性有如下特点:

- 1)填料装填率越大,填料所需曝气量越大,在填料装填率超过 90%时,增大曝气量已不可能使填料完全流化。
- 2)填料流化气量先随曝气水深增大而减小,后又随之增加;采用单孔曝气较微孔曝气易实现填料流化,但此时充氧效率会受

1.2 声发射技术原理

凯塞效应是德国学者 Kaiser 在 1963 年研究金属声发射特性时发现的,材料被重新加载期间,在应力值达到上次加载最大应力之前不产生声发射信号。也就是说,岩土体在受荷载作用时引起内部微裂纹的产生、发展、错位、颗粒界面的移动、破坏等都会产生声发射;岩土体声发射的频次、多少、激烈程度与岩土体的破坏过程密切相关,岩土体破坏愈严重,岩土体声发射频次愈高,放能量愈大。因此,通过岩土体声发射频次、能量等有关指标,在一定程度上反映了岩体结构特征及其破坏过程^[1],这是声发射技术在岩石试验研究的主要依据。声发射检测原理见图 1。

2 声发射技术在岩石试验研究中的成果

殷正钢等通过单轴压缩条件下四种岩石的声发射试验得出岩石的声发射特性主要取决于岩石本身,且岩石的声发射事件率与其能量率规律并不完全一致。蒋海昆(2000 年)的研究显示^[2]:在线弹性变形阶段,高频成分随时间有增加的趋势,而在弱化阶段,部分事件出现低频峰。刘力强等(2001 年)对五种岩石标本的试验研究表明^[3],当变形以破裂为主时,声发射频谱在失稳前会出

到一定影响。

参考文献:

- [1]王 奕.移动床生物膜反应器的研究及应用现状[J].环境污染治理技术与设备,2002,3(7):78-80.
- [2]王荣昌.流动床生物膜反应器在污水处理中的应用研究现状[J].环境污染治理技术与设备,2003,4(7):79-85.
- [3]徐 斌,夏四清.生物流化床预处理黄浦江原水中试研究[J].工业水处理,2003,23(2):19-22.
- [4]王洪春.HSL 好氧生物流化床[A].中国水污染防治技术装备论文集[C].2003.91-93.
- [5]杨玉旺.移动床生物膜反应器处理污水的研究应用进展[J].工业水处理,2004,24(2):12-15.

Study on the hydraulics characteristics in HSL aerobic biological fluidized bed

SUN Ji-hui CHEN Ze-zhi QIANG Shao-jie

Abstract:Based upon study of the gas flowrate changes of filler under various filling rates, submersion depth, microporous and single orifice aeration ways, different aeration density and other conditions the hydraulics characteristics of HSL aerobic biological fluidized bed is studied, which provide good references for optimization design of HSL aerobic biological fluidized bed and similar reactors.

Key words:HSL aerobic biological fluidized bed, hydraulics characteristics, submersion depth

收稿日期:2007-08-13 * :江西省研究生创新专项基金资助项目

作者简介:刘明松(1978-),男,江西理工大学硕士研究生,江西 赣州 341000

张春雷(1978-),男,助教,江西理工大学,江西 赣州 341000

现明显的下降;而当变形以摩擦为主时,声发射频谱在失稳前变化相对较小,且上升下降均可能出现。

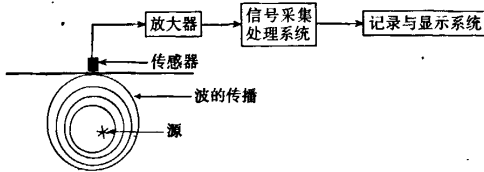


图1 声发射检测原理图

付小敏通过典型岩石单轴压缩变形及声发射特性试验,研究结果表明:1)岩石声发射的初始应力水平各不相同,主要由岩石的裂隙闭合、各向异性及非均匀性引起,与岩石的单轴抗压强度关系不明显;2)可以利用岩石声发射累计对数相对稳定阶段作为判断岩石弹性变形阶段,从而确定岩石的弹性极限。利用该阶段的起点作为判断裂隙闭合应力界限,利用声发射累计对数曲线激增点作为判断岩石的屈服极限;3)岩石声发射的剧烈增长点,往往出现在单轴抗压强度的73.29%~98.91%之间;4)以最大相关系数为标准,岩石的应力—应变关系、应变—声发射累计对数关系和应力—声发射累计对数关系都是5次多项式关系;5)岩石变形快,其声发射累计对数增长就快;6)岩石的强度既与构成岩石的矿物集合体有关,也与岩石的细观结构有关。

刘建新在岩石破裂声发射试验研究中的结果表明:1)空障碍体构造不能阻止裂纹的扩展,并使岩石的破裂强度降低近一个量级;2)由于构造的不同,非穿透切口样品和穿透切口样品的AE空间分布特点有本质区别,非穿透切口样品的微破裂在切口两端之间切口前缘处发育,而穿透切口样品的微破裂在切口两端附近发育;3)含共线构造的岩石样品,在加载试验中,裂纹远端的声发射分布与单裂纹端部相似,内端部声发射也有较密集分布,当应力达到一定水平时,内端部发生错断。

姜永东等在对岩石声发射凯塞效应应用于地应力测试的研究中结果表明:1)测试技术以及测试过程中对试件产生端部效应的处理方法是可行的;2)使用该方法时,在条件许可下,应尽可能在同一方向上多取试样,将测试结果进行加权平均处理,使单向正应力值接近实际值;3)利用岩石的凯塞效应声发射信号,通过计算结果得到了测点处地应力椭球的表达式,从而能确定出岩体3个方向上的主应力值;4)重庆市百阳县寨坝镇滑坡地下岩体某点地应力的预估可作为工程设计的参考。徐东强等用岩石声发射与岩石损伤分析岩爆发生机理的结果表明:从声发射特性看大理岩在破坏前具有前兆峰值,所以通过声发射对岩爆的发生进行预测和预报是可行的。

3 声发射技术在岩石试验研究中的不足

从声发射理论和应用情况看,虽然声发射技术的理论研究已经取得了显著的成绩,但仍落后于工程实际应用,由于声发射技术可以检测大范围任何部位的被测物体,也可用于对任何形状的结构,可以以不破坏被测试体进行实时监测;由于地震波与声发射信号具有相似的随机性、非平稳过程,还可以进行地震预测预报,

所以声发射技术具有良好的应用前景。但也存在以下问题:

1)声发射机理的研究尚不太成熟,因而限制了声发射技术的应用与发展。

2)声发射技术的发展离不开声发射仪器的发展,声发射信号的分析与处理方法能力还不能有效除噪、分频,进一步限制更有效地应用于AE技术。

3)李典文认为,“尽管凯塞效应已经发现了40年,有关它的理论却很少,甚至没有什么发展。”Holcomb认为,岩石声发射技术是理论研究落后于工程实际的少数学科之一。在仪器方面,由于地下空间环境条件的恶劣,经常使得仪器的性能不稳定,同时,环境噪音也易使仪器对声发射信号的判别失真。在对岩体声发射信号的利用方面,还很不完善,没有利用声发射的全部信号。所以说,声发射信号波形的识别技术有待进一步发展。因而,用户对仪器使用的熟练程度以及经验技巧在实际监测中很重要。理论上,对岩石声发射的机理研究有待深入;试验标准的制定有待进一步规范;对凯塞效应的机理研究,对断裂试验开裂点的判定许多学者还有不同的看法;如何根据室内声发射试验规律指导岩体稳定性监测,用哪一种理论来处理声发射监测信息更为合理,都有待进一步研究。

4 应用前景

尽管声发射技术还存在各种问题,但它仍不失为一种经济的、行之有效的、应用前景广泛的技术手段。在国外,声发射技术已不局限于在采矿工程中应用,而是早已渗透到其他各个领域^[5]。例如,对大型结构的健全性声发射评价,对大型压力容器或管道进行声发射无损检测,利用声发射对隧道施工中围岩松动区进行监测和评价,地下空区的声发射监测,送电铁塔基础变形的声发射监测,甚至还用于控制轻武器弹壳的生产,对飞机飞行中疲劳裂纹进行声发射监测等。总之,声发射技术以其无可替代的优越性被人们认识、利用并发展,随着电子技术及其本身机理研究的发展,应用前景必将更加广泛。

5 结语

纵观声发射研究走过的40多年历史,可以说声发射的研究取得了丰硕的成果。尤其是近年来随着观测技术的改进和提高,声发射不但给岩石力学研究带来可喜的研究效果,而且也作为岩石试验研究带来了意想不到的经济效果,同时更好地为指导工程的设计施工提供了有利的理论依据。

参考文献:

[1]王宁. 采场顶板安全分级的声发射神经网络方法[J]. 有色金属(矿山部分), 2003(11):31-32.

[2]蒋海昆. 典型断层组合及不同温压条件下岩石变形过程中的声发射活动的特征(博士学位论文)[D]. 2000.

[3]刘力强,马胜利,马瑾,等. 不同结构岩石标本声发射b值和频谱的时间扫描及其物理意义[J]. 地震地质, 2001(2):8-10.

[4]桑玉发,余克圣,毛建华. 采场围岩稳定性监测与声发射定位技术[J]. 长沙矿山研究院季刊, 1992, 12(2):37-43.

The application of Acoustic Emission technology in rock test research

LIU Ming-song ZHANG Chun-lei

Abstract: The author introduces the characteristics and principles of Acoustic Emission technology, analyzes its achievement in rock test research, points out its disadvantages in the research, and forecasts its application prospect, which brings economic effects into rock test research and offer advantaged theoretical basis to guide design and construction of engineering.

Key words: Acoustic Emission technology, Kaiser effect, rock test research

声发射技术在岩石试验研究中的应用

作者: [刘明松](#), [张春雷](#), [LIU Ming-song](#), [ZHANG Chun-lei](#)
 作者单位: [江西理工大学, 江西, 赣州, 341000](#)
 刊名: [山西建筑](#)
 英文刊名: [SHANXI ARCHITECTURE](#)
 年, 卷(期): 2008, 34(1)
 引用次数: 1次

参考文献(4条)

1. 王宁 [采场顶板安全分级的声发射神经网络方法](#)[期刊论文]-[有色金属\(矿山部分\)](#) 2003(11)
2. 蒋海昆 [典型断层组合及不同温压条件下岩石变形过程中的声发射活动的特征](#)[学位论文] 2000
3. 刘力强, 马胜利, 马瑾 [不同结构岩石标本声发射b值和频谱的时间扫描及其物理意义](#)[期刊论文]-[地震地质](#) 2001(02)
4. 桑玉发, 余克圣, 毛建华 [采场围岩稳定性监测与声发射定位技术](#)[期刊论文]-[长沙矿山研究院季刊](#) 1992(02)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [尹贤刚, 李庶林 声发射技术在岩土工程中的应用](#) -[采矿技术](#)2002, 2(4)
 通过声发射技术的发展以及用于采场稳定性监测、边坡稳定性监测、量测地应力的几个例子, 说明声发射技术在岩土工程中的应用及其优越性和发展前景, 指出在岩石声发射机理、波形识别技术、试验标准的制定、凯塞效应的机理等方面还有待进一步研究。
2. 学位论文 [陈宏 地下工程岩体稳定性及地应力测量的计算机系统及其应用](#) 1999
 地下矿山巷道、采场中个别结构体的冒顶、片帮, 其特点是没有明显的先兆, 偶然性、随机性强, 且不易为人们所察觉, 但其危害性极大, 道、采场中这种结构体的冒顶、片帮将直接威胁作业人员的生命安全, 给矿山的安全生产带来隐患, 是矿山安全生产中不容忽视的重要问题。因此如何对地下矿山巷道、采场中结构体的稳定性进行分析, 实现其稳定性的预测、预报工作就成为矿山安全生产亟待解决的问题。80年代以来, 声发射技术在地下工程中的成功应用, 特别是将其用于岩爆的预报以及大面积冒顶的预报成功, 使作者们坚信对个别岩体的冒顶、片帮, 用声发射技术预报也是可以成功的。针对巷道、采场结构体冒顶、片帮的特点, 作者以岩体结构分析方法和岩体声发射技术为手段, 使结构体的稳定性预测有了实质性的进展, 从某种意义上说, 用岩体结构分析与岩体声发射技术相结合的研究方法使地下矿山巷道、采场中结构体稳定性的预测可以达到定量的程度。此外, 在利用声发射的Kaiser效应测定原岩应力方面, 两种技术的有机结合更是独具特色。因此, 岩体结构分析方法和岩体声发射技术虽各有其自身的特点, 但岩体结构分析与岩体声发射技术两种手段、方法的有机结合使用, 一方面可以让两种技术充分发挥各自的特长, 另一方面还可以真正做到优势互补。出于这样的基本思想, 作者在“国家”八·五“科技攻关课题《大厂铜坑矿“细脉带地压及充填体稳定性监测》和《云锡老厂14-5#采场结构尺寸及回采顺序的优化研究》课题研究的基础上, 结合科研和生产工作中的实际需要, 用Microsoft/C++7.0设计、开发和完成了“岩体结构分析计算机系统”, 该系统不仅能够对地下矿山的巷道、采场顶板和帮墙上结构体的稳定性进行判别分析, 从而确定顶板、帮墙上结构体的冒落、滑移状态, 对冒落、滑移结构体求出其体积、重量, 并对滑移结构体确定其滑动面及滑动的方向, 而且还能够对节理面按层面方位进行旋转以确定共轭X型节理, 并利用共轭X型节理或断层对主应力场方位进行分析, 以确定主应力场的方位。该系统可直接用于地下矿山巷道、采场围岩稳定性的分析和矿区主应力场方位的分析, 一方面为矿山的生产提供安全保障, 另一方面主应力场方位的分析结果可为矿山现代化科学生产设计与施工提供依据。
3. 期刊论文 [尹贤刚, 李庶林 用岩石声发射凯塞效应量测地应力研究](#) -[采矿技术](#)2006, 6(3)
 凯塞效应在实际工程中的应用越来越受到重视, 通过介绍利用岩石声发射技术进行地应力测试的基本原理和实验方法, 指出该方法具有比一般应力解除法进行现场地应力量测所特有的经济、简便、有效的优点, 并且还介绍了利用该方法对厂坝铜锌矿地应力进行测试的实例, 最后指明对凯塞效应有影响的一些因素以及有待进一步研究的方向。
4. 学位论文 [江云飞 声发射技术在直升机动部件疲劳系统研究中的应用](#) 2005
 在直升机动部件的疲劳试验及强度研究中, 利用声发射技术监测可以更早发现裂纹的萌生、位置及扩展等情况, 能有效地发现损伤部位和损伤的程度。因而开展声发射技术的研究, 进一步改进和提高疲劳试验状态下裂纹检测的效率和精度, 对准确评估直升机各重要构件寿命是非常关键的。在本文中, 我在传统的参数式声发射技术的基础上, 应用了模态分析手段来分析复合材料损伤破坏过程中声发射信号与损伤程度之间的相关性特征, 并对直升机动件进行日历寿命技术进行了研究。主要完成的工作如下: 通过对比试验来验证参数式声发射技术和模态式声发射技术的理论, 分析两种声发射技术的优缺点, 找到各自最佳的应用范围。应用模态分析技术, 分析复合材料拉伸破坏试验中的声发射信号, 提取复合材料不同破坏阶段下的声发射源信号的特征, 进行了有关复合材料损伤模式识别的工作。应用声发射技术中凯塞效应理论对直升机动部件日历寿命技术。
5. 期刊论文 [龚斌, 闻邦椿, 齐辉, 金志浩, GONG Bin, WEN Bang-chun, QI Hui, JIN Zhi-hao 凯塞效应在压力容器缺陷评定中的应用](#) -[无损检测](#)2006, 28(3)
 提出一种利用声发射技术判定压力容器缺陷来历的方法。通过水压试验时的声发射监测, 利用凯塞效应原理对被检出缺陷是漏检原始缺陷还是使用后形成缺陷进行判定, 为基于断裂力学理论的安全评定提供可靠保证。
6. 会议论文 [尹贤刚, 李庶林 用岩石声发射凯塞效应量测地应力研究](#) 2006
 凯塞效应在实际工程中的应用越来越受到重视, 通过介绍利用岩石声发射技术进行地应力测试的基本原理和实验方法, 指出该方法具有比一般应力解除法进行现场地应力量测所特有的经济、简便、有效的优点, 并且还介绍了利用该方法对厂坝铜锌矿地应力进行测试的实例, 最后指明对凯塞效应有影响的一些因素以及有待进一步研究的方向。
7. 学位论文 [龚斌 承压特种设备检测中声发射技术的研究](#) 2006
 声发射检测作为一种新的无损检测方法与其它常规无损检测方法相比有其独特的优点。随着工业技术的发展, 如何从声发射检测信号中获取更多的源信息, 使声发射技术更好地用于承压特种设备的检测成为工业生产的迫切需要, 也是目前声发射技术研究的重点课题之一, 这一课题研究具有重要的理论意义和实际应用价值。
 本文主要对压力容器安全检测和压力管道泄漏检测中声发射技术进行研究。
 基于弹性波在传播时声压随指数衰减规律和第一次门槛跨越时差技术比较成熟的现状, 论文提出两种声发射源精确定位的方法——能量累积定位

法和多探头定位法,并对特种设备声发射检测中各种常见的探头阵列从理论上求出了两种定位方法的解析解。利用能量累积值与信号衰减特性的关系,论文导出了信号幅值修正系数的解析公式,从而快捷、准确地判断源声发射的强度。论文还对两种定位方法中的部分探头阵列利用模拟声发射源进行了实验定位,结果表明在实验室条件下两种定位方法都具有较好的定位精度。

论文利用线弹性理论和弹塑性理论就小范围屈服与大范围屈服两种情况对裂纹尖端形成塑性区时产生的声发射累计数与缺陷尺寸的关系进行研究,得出小范围屈服和大范围屈服形成塑性区时产生的声发射累计数分别与应力强度因子的4m和2m次方成正比的结论。论文还提出了一种利用声发射的凯塞效应来判断容器中新检出缺陷来历的方法,并通过单边缺口试样拉伸声发射检测实验和实际应用案例验证了理论分析的正确性。

论文通过建立压力管道圆孔泄漏的射流扰动模型,研究了泄漏声发射信号的产生机理及信号的频谱特性和能量累积特性。并以水为实验介质进行了压力管道圆孔泄漏的声发射实验测试,利用小波分析对实验结果进行处理,结果表明压力管道泄漏声发射信号是由射流对微小扰动的响应引起的并沿压力管道传播的一种含有多种频率成分的应力波,其频带很宽,从几kHz到几MHz都有,与液体的表面张力、密度及波动常数等参数有关,对碳钢管道水泄漏的实验测试表明泄漏孔径和总流量的改变对频率的分布特性影响不大,主要频率成分集中在3.05~3.81kHz左右;对同一泄漏孔径,喷射流速与信号的能量累计值基本符合指数关系 $E = a \cdot v^n$ 。

8. 期刊论文 [纪洪广, 裴广文, 单晓云 混凝土材料声发射技术研究综述 -应用声学2002, 21\(4\)](#)

本文对混凝土材料声发射研究的历史、现状及涉及的领域进行了概括与总结,对混凝土材料声发射机理、声发射参数与力学参数间的关系、声发射在断裂力学中的应用、混凝土材料的凯塞效应与应用以及现代非线性理论和方法与声发射技术的结合等问题进行了评价与展望。

9. 期刊论文 [黄承德, 刘茂军, HUANG Cheng-de, LIU Mao-jun 混凝土材料声发射技术研究 -广西大学学报\(自然科学版\)2008, 33\(3\)](#)

总结了混凝土材料声发射研究的历史及现状,对混凝土材料声发射机理、声发射参数与力学参数间的关系、声发射在断裂力学中的应用、混凝土材料的凯塞效应以及新的理论与方法在声发射领域的应用等问题进行了评价与展望。

10. 学位论文 [金亮 电磁声发射的实验研究 2007](#)

电磁声发射技术是近几年发展起来的一种无损检测新技术。利用电磁激励产生声发射信号来定位小的缺陷或裂缝,可以做到对特定区域的检测而不用对整个结构加载。这种方法在飞行器、大的复杂铸件及多层接合材料中,对检测缺陷的类型及数量具有良好的发展潜力。目前电磁声发射的机理以及电磁激励和声发射信号的关系尚不完全清楚。本文在此背景下,对电磁声发射进行了理论和实验研究。

首先,建立了电磁声发射的有限元模型,分析了试件在不同加载条件下的形变,对比了几个加载因素对电磁声发射的影响,并对试件进行了温升分析。

第二,考虑了凯塞效应的影响,设计了声发射电源的电流缓冲回路,避免了过电流的产生。采取低电平开断和负电压关断的措施,使电源在强磁场环境中能正常工作。

第三,利用声发射系统进行了断铅实验、传感器的测试,并对铝板的声速进行标定,进行了电磁声发射实验。

引证文献(1条)

1. [吕传炳, 余东合 冀中凹陷高家堡地区异常破裂压力储层压裂改造技术 \[期刊论文\] -石油钻采工艺 2009\(3\)](#)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_shanxjz200801009.aspx

下载时间: 2010年5月31日