

文章编号:1006-7329(2002)01-0019-04

石灰岩在单轴压缩条件下的声发射特性

谢 强¹, 张永兴¹, 余贤斌²

(1. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045; 2. 昆明理工大学 国土资源开发工程院, 昆明 650093)

摘要:为研究岩石受压及破坏失稳过程中的声发射特性,作者利用改进的岩石声发射参数动态测试系统,对广西某矿石灰岩作了岩石的单轴压缩试验,检测了岩样从加载直至破坏过程中的声发射活动,表明内部微裂纹的形成与原有裂纹的扩展是岩石加载过程中声发射活动的主要原因。

关键词:石灰岩; 声发射; 能率; 单轴压缩; 应力; 应变

中图分类号:TU457

文献标识码:A

声发射技术在岩土工程中的应用已相当广泛,它是岩石力学研究中很重要的工具之一。声发射是靠岩石发声来侦察其内部状态和力学特性的一种实验方法,当岩石受力变形时,岩石中原来存在的或新产生的裂缝周围地区应力集中,应变能较高,当外力增加到一定大小时,在有裂缝缺陷地区发生了微观屈服或变形,裂缝扩展,从而使得应力弛豫,一部分贮藏能量将以弹性波(声波)的形式释放出来,这就是声发射现象,对岩石发出的声音进行分析、观测,可以了解其内部的状态。利用声发射技术探测岩石性质和状态的变化,就其性质而言是一个反演问题,因此,需要在实验室中就地球自然环境下岩石的声发射特性进行研究,提供反演的资料。

声发射信号不仅能反映岩石的力学性质,而且这种弹性波形式的信号还具有容易传播和接收、能保证监测系统快速化、扩大监测范围、可进行长期监测和动态测试等优点。早在本世纪三十年代末期,美国矿务局的工程师奥伯特(Obert)和杜瓦尔(Duvall)^[2]就发现了受压力作用的岩石结构有声发射(Acoustic Emission,简称AE)活动存在。一系列的实验室和现场研究表明,声发射是岩石材料及其力学结构稳定性的一个度量,目前,声发射已广泛用于地下采场、采空区、露天边坡和坝基等的稳定性监测,以及石油、地震、地下建筑工程中。

1 岩石的声发射特性研究

1.1 岩石声发射参数测试系统

岩石声发射信号是前沿时间只有几十到几百毫微秒、重复频率高的瞬变随机波信号。局部瞬变产生的垂直位移约为 $10^{-7} \sim 10^{-6}$ m,频率分布在次声到超声频率范围(几刚兹到几十兆赫兹)。这就要求声发射检测系统具有高响应速度、高灵敏度、高增益、宽动态范围、强阻塞恢复能力和频率检测范围可以选择等性能。另外,声发射测试常常在强的机械噪音(频率通常低于50 kHz)、液体噪音(100 kHz~1 MHz)和电气噪音的环境中进行,所以还要声发射仪器具有一定的抗干扰能力和排除噪音的能力。这其中的大部分功能是借助于昆明理工大学国土资源开发工程院岩石声学实验室的SYB-4型声发射参数测定仪来实现的,但由于其输出数据可操作性差,直观性不强,我们结合A/D转换技术对其进行了改造,使其在功能上和可操作性上都得到了极大的拓展,并利用它得出了大量有用的、可靠的数据,为声发射研究提供了硬件基础。

• 收稿日期:2001-06-12

作者简介:谢 强(1975-),男,重庆人,博士生,主要从事岩石力学与工程技术研究。

图1为改造后的SYB-4型声发射仪结构框图。

1.2 岩石声发射参数的选取

为全面反映岩石声发射特性,必须选取适当的参数,通常描述声发射特性的参数有如下两类^[3]。

(1)声发射率(NR) 是反映声发射突发波的频度的一类参数,是指每单位时间(Δt)内观测到的声发射的次数(ΔN)。一个声发射脉冲激发传感器,使之振荡并产生阻尼的振荡波形如图2所示。每一个这样的波形称为一个声发射事件(event),在测试中所得到的事件总数称为事件计数,单位时间(通常为秒)内的事件数称为事件计数率。事件计数的处理方法着重于考察事件的频度而较少涉及信号的幅度,也不能反映每一事件的能量。同时,对于连续型信号,采用这种参数也有困难。

在所检测到的声发射事件中,超过阈值电压(也称门阈电压)的脉冲状信号称为振铃,例如,图2中有6个振铃。在试验过程中所测取的总振铃数称为累计振铃计数,即通常所指的声发射计数(AE count),单位时间内的振铃计数称为振铃计数率或声发射计数率,简称声发射率(AE rate)。振铃计数处理方法在一定程度上反映了声发射信号的幅度,因而涉及声发射的能量,一般认为此参数优于事件计数。

(2)能率(ER) 是反映发声信号能量的脉冲信号,是指单位时间(Δt)内所观察到的全部事件的发射能的总和,与所观测到的事件所在波形的幅度值的平方成正比。值得一提的是,无论是声发射率(NR)还是能率(ER)都取决于监听系统的灵敏度和讯噪比,也取决于整个监听系统的频率响应。

累计活动(N)、声发射幅度、声发射能(E)、累计能(ΣE)等也可用于描述材料的声发射特性,但一般认为用声发射率(NR)和能率(ER)来加以描述就已足够了。当然,岩石材料的声发射资料也可用它的频谱来加以描述,但正如许多作者所指出的,要测出有意义的频谱在实验上是不实际的。因此,本试验也仅采用了声发射率(NR)和能率(ER)来对岩石材料在受力作用下的声学特性作描述。

1.3 单轴压缩条件下石灰岩的声发射特性

多年来,众多的研究工作都企图建立所观测到的声发射与材料其它各种性质之间的可靠的经验关系。例如,奥伯特和杜瓦尔在实验室发现(在现场也一样),当试样或结构承受较大的压缩荷载时其声发射率急剧上升^[2]。在这些试验中,奥伯特和杜瓦尔研究了几种岩石的声学特性,其中包括粗玄武岩、灰岩、花岗岩、角岩、片岩、砂岩和白云岩等,奥伯特和杜瓦尔的试验表明,结构面破坏后,声发射率减小,换句话说,就是声发射可以作为稳定性程度的指标。另有一些研究人员发现,在低应力级有不均衡的高声发射率,这可能与微裂纹和空隙的闭合有关。总之,国内外的大量资料都表明,岩石的声发射是有规律可循的。石灰岩是广西、云南、贵州等省广为分布的一类岩石,对其声发射特性进行研究,可以对水利水电工程、巷道开挖、边坡整治等起到指导性的作用。为此,我们利用广西某矿石灰岩岩芯,进行了单轴压缩试验,岩样直径5 cm,高10 cm,试验严格按照国家标准《岩石试验方法标准》执行。

图3为石灰岩在单轴压缩条件下的典型声发射试验结果。

在对得出的5块岩样的声发射区线进行分析后,我们可以发现,石灰岩在单轴压缩条件下的声

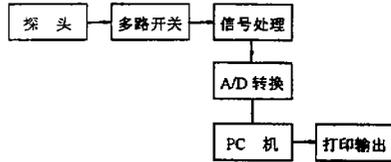


图1 SYB-4型声发射仪结构框图

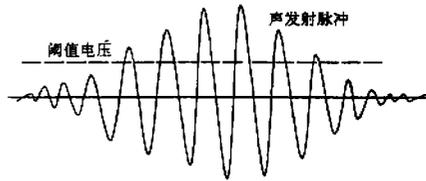


图2 声发射计数法

发射活动有如下规律:

(1)加载初期有不同程度的声发射活动,小事件开始出现,但能率极小。在较低的应力作用下,试件内某些预先存在的裂纹开始闭合,闭合过程及闭合后部分粗糙面的破坏都会产生声发射,但能量较低,往往具有很大的波动性;

(2)随着荷载的缓慢增加,声发射活动较少,甚至没有;该阶段内试件上受到的应力,还不足以形成新裂纹,应力与应变保持线性关系(如图4),但不同岩石试样内部某些闭合的裂纹表面之间同样会发生滑移,因此也有可能产生能率较低的声发射事件;

(3)继续加载,当荷载水平达到25 MPa时,(本岩样的极限强度约32 MPa),岩样的新裂纹开始形成,试件出现扩容现象,声发射率和能率都逐渐趋于活跃,能率达到高峰值;

(4)继续加载,声发射活动又进入另一个较低水平,但此阶段声发射率和能率相对加载初期都较高,表明裂纹之间的相互作用开始加剧,某些微裂纹发生聚合、贯通,从而导致了断裂面的形成。多数试件在临近破坏时(峰值应力的95%),声发射活动异常活跃,并且声发射率在试件破坏时均达到最大值,能率相对较高;

(5)岩样破坏后,应力并未立即卸载至零点,而是逐渐降低,此过程中未检测到任何微小的声发射事件。

表1列出了受压岩样开始有较明显的声发射活动直至岩样破坏时段内能率和声发射率。

表1 岩样受压至破坏时段内能率和声发射率

时序	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
NR	0	1	6	1	217	42	27	49	28	23	7	5
ER	0	0.14	0.81	0.02	54.92	6.99	2.15	4.86	4.72	3.63	0.64	0.37
时序	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
NR	6	1	1	0	1	7	28	102	15	45	8	10
ER	0.61	0.02	0.02	0	0.02	0.7	2.96	11.9	0.93	5.73	0.87	0.78
时序	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	
NR	21	06	5	0	42	36	115	253	36	2	0	
ER	2.06	2.04	0.26	0	3.94	2.06	25.2	46.3	8.37	0.46	0	

由上表同样可以看出,岩样受压后,能率最大的时候声发生率不一定最大;声发射率最大的时候,能率不一定最大。能率最大值发生在岩样破坏前,声发射率最大值发生在岩样抗压强度最大时。

上述分析表明,岩石的声发射现象与岩石的受力大小无关,但和岩石所处的受荷阶段有直接的联系。

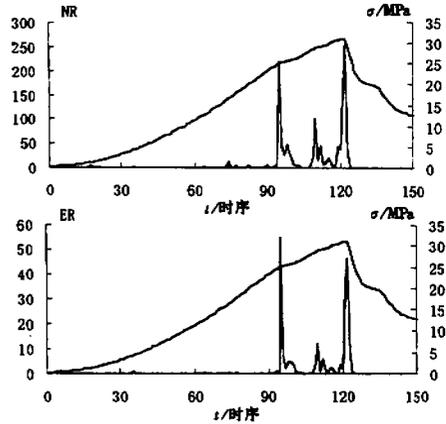


图3 石灰岩在压缩条件下的典型声发射曲线

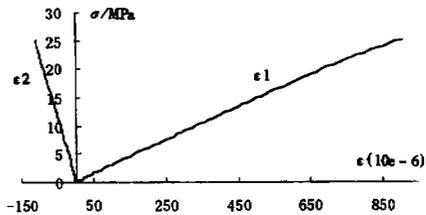


图4 石灰岩在压缩条件下的应力应变曲线

在研究中还发现岩石的均匀性、致密程度以及岩样的平行度等对声发射规律有显著影响。岩石愈不均匀,愈疏松,愈不平整,声发射显著增加出现得愈早,声发射率水平也愈高。

特别地,对5块中的3块,加载到15 MPa左右卸载,可以发现此时根本就没有声发射出现,为进一步验证这种现象的正确性,我们特意对系统中的虚拟门槛电平作了进一步的降低,同样未能发现声发射活动现象。

古德曼(Goodman)曾研究了反复加卸载对声发射的影响,他提出了“岩音加速点”的概念,他认识到在应力未超过岩音加速点的加卸载循环中,很少有声发射现象,但是如果施加更大的荷载,则在随后的加载循环中,声发射率上升,而卸载过程同样未检测大声发射事件。在对石灰岩作单轴压缩条件下的声发射试验后发现,我们的结果与古德曼的结果是较为一致的。但如何确定岩音加速点,在岩石力学界仍存在较大的分歧,我们的试验结果表明岩音加速点在试件强度的约83%(25 MPa/30 MPa)左右,与古德曼的结论相当吻合(约80%^[1])。我们认为,之所以在岩音加速点上存在分歧主要与岩石加卸载系统、岩石试件的裂隙发育程度、噪音的大小等因素有关。

结合岩样的应力应变曲线,我们同样可以观察到,声发射活动与岩石的体积变形存在一定的内在联系(加载初期除外)。当应力达到强度值的约80%时,声发射明显增多,岩石的体积开始膨胀;临近破坏时,声发射猛烈增加,直至岩石发生破裂。声发射活动与岩石体积膨胀两者变化的一致性表明,岩石内部微裂纹的形成与原有裂纹的扩展是造成声发射活动与体积变化的共同原因。

微裂纹的产生及扩展是岩石声发射的主要来源,这一观点已越来越得到大家的公认(特别是高强度岩石),并在无数试验中得以证实。岩石的宏观破裂与其微破裂有直接关系,其声发射规律可以作为岩体失稳破坏的依据,但是如何将声发射参数用于定量判定岩石的失稳仍需大量的试验加以验证。

2 结论

- 1) 对试验所采用的石灰岩而言,岩音加速点在试件强度的约83%左右;
- 2) 在卸载过程中,未监测到声发射现象出现,说明试验岩体仍处于弹性阶段;
- 3) 多数试件在临近破坏至最终破坏期间,声发射活动异常活跃,并且能率在试样破坏前达到最大值(破坏前兆),声发射率在试件破坏时达到最大值,可见,利用声发射率和能率来监测岩石的破坏情况是可行的。

参考文献:

- [1] J. -F. Deflandrg, O. Vincké and E. Rebut. Contribution of the acoustic emission analysis to the interpretation of the uniaxial compressive test(A). Proc. 35th US Rock Mechanics Symp(C). 5/7 June 1995. Ed. Balkema.
- [2] Obert, L. . Duvall, W.L. . Micro-Seismic Method of Determining the Stability of Underground Openings(R) Bulletin 573, Bureau of Mines, United States Department of the Interior, Washington (1957).
- [3] 王祖荫. 声发射技术基础(M). 济南:山东科学技术出版社,1989.

盾也是十分必要的。

参考文献:

- [1] 成虎. 建筑工程合同管理与索赔[M]. 南京: 东南大学出版社, 2000.
- [2] GF-1999-0201, 建设工程施工合同(示范文本)(S).
- [3] GF-2000-0208, 水利水电土建施工合同条件(S).
- [4] 新版 FIDIC 合同条件学习辅导材料(Z). 天津: 天津大学, 2001.

Analysis and Discussion on Settlement of Disputes under Some Civil Engineering Contract Conditions

DING Da-yong

(Research Institute of Construction & Economy, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Firstly the incapability of supervising engineers in dealing with disputes is discussed. This paper analyzes the similarities and differences between the methods of disputes settlement under the provisions of the new edition of FIDIC Conditions and the two main domestic civil engineering contract conditions. It is argued that the DAB proposed by the new edition of FIDIC Conditions and the dispute mediator suggested by the Irrigation Works, Water and Electrical Works and Civil Engineering Construction Contract are reasonable and necessary.

Keywords: supervision engineer; dispute; friendly settlement; DBA; dispute mediator

(上接第 22 页)

Study on Acoustic Emission of Limestone in Uniaxial Compression Test

XIE Qiang¹, ZHANG Yong-xing¹, YU Xian-bin²

(1. Faculty of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: In order to study the acoustic emission of rock under compression by means of the rock acoustic parameter dynamic testing system (RAPDTS), some uniaxial compression tests on a kind of limestone from Guangxi Province were carried out. It was concluded that the formations of new micro clefths generated in the rock and the enmargements of existing clefths are the principal factors that cause the acoustic emission.

Keywords: rock; acoustic emission; energy rate; uniaxial compression test; stress; strain