

# 简述大型岩体稳定性声发射监测的三个环节

霍臻,陈翠梅,玉国进

(中钢集团武汉安全环保研究院,武汉 430081)

**摘要:**大型岩体稳定性 AE 监测作业范围大,地质结构复杂,周期性长,环境嘈杂,科学认证、正确处理大型岩体稳定性 AE 监测中的每个环节是监测工作有效和可靠的保障。以三峡永久船闸边坡稳定性 AE 监测取得的成果,阐述了永久船闸边坡稳定性声发射(AE)监测方法中的三个重要环节,即大型岩体稳定性 AE 监测的可行性分析、大型岩体稳定性 AE 监测的设计原则、大型岩体的稳定性分析。它们是大型岩体稳定性 AE 监测方法的重要成果,对大型岩体稳定性 AE 监测具有重要的参考价值。

**关键词:**大型岩体;监测;声发射;方法研究

中图分类号: TG115.28

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2010)03-0192-04

## A Brief Analysis on the Three Parts in Acoustic Emission Monitoring of Stability of Large Intrusion

HUO Zhen, CHEN Cui-Mei, YU Guo-Jin

(Wuhan Safety & Environmental Protection Research Institute of Sinosteel Corporation, Wuhan 430081, China)

**Abstract:** Acoustic emission monitoring of the acoustic emission monitoring of the stability of large intrusions covers a large scope of area. Not only the involving geologic framework is complicated, the monitoring is also conducted in a noisy environment with a long period. Therefore, a scientific authentication of how to deal with each part of the acoustic emission monitoring of the stability of large rock mass is the safeguard of effective acoustic emission monitoring. The results in the acoustic emission monitoring of the stability of permanent navigation locks side slope in the Three Gorges were reviewed and stated three important parts in the acoustic emission monitoring—feasibility analysis on the acoustic emission monitoring of the stability of large intrusions, the design principles of acoustic emission monitoring of the stability of large rock mass, and the stability analysis of large rock mass. They were not only the important achievements from the research in the acoustic emission stability monitoring of the stability of large rock mass, but also served as good references for the reliability of the acoustic emission monitoring of the stability of large rock mass.

**Keywords:** Large intrusion; Monitoring; Acoustic emission; Research methodology

长江三峡工程永久船闸位于长江左岸,水库库坝的北端,是长江三峡水利枢纽工程建设的主体工程之一。永久船闸为双线五级船闸,船闸线路总长 1 607 m,两线闸室中心线相距 94 m,其间为高 50~

收稿日期:2009-05-08

**作者简介:**霍臻(1962—)男,高级工程师,全国无损检测学会常务理事,声发射专业委员会主任,从事材料和结构的无损检测技术研究和应用工作。声发射技术研究和应用项目,获得省、部级科技进步奖四项。

70 m 的直立岩体中隔墩,两线闸室南、北侧为直立岩坡,属于岩体基岩中露天开挖建设的岩体工程建筑物,最终在第二、三闸室段形成上缓下陡的岩体高陡边坡。永久船闸边坡在开挖与永久支护加固工程中的稳定或失稳,将影响施工人员的安全和工程进度。投入运行后,通畅与否会造成重大的经济和社会影响。所以,对永久船闸在开挖及边坡永久支护过程中,以及永久支护加固工程效果等的监测预报,乃至船闸建成投运后边坡岩体稳定性评价,都是十

分必要的。

岩体声发射技术是当今工业发达国家积极开发的岩体稳定性评价或失稳预测、预报的有效方法。有关部门在船闸的开挖、边坡形成过程中,已采用了当今国内外公认的岩体位移监测、岩体变形测试等诸多先进技术,而岩体声发射监测是仅有的动态监测技术。

永久船闸边坡稳定性 AE 监测的实施为船闸在开挖建设过程中,及时掌握边坡岩体稳定性的发展趋势,指导边坡支护和评价边坡加固效果等方面提供有效依据。在实施过程中,对 AE 监测的各个环节进行科学认证和慎密考量,是监测取得成果的基础,特别是 AE 监测中的三个重要环节,即 AE 监测的可行性分析、AE 监测的设计原则、岩体稳定性分析的科学性和实用性,是最大化提高监测可靠性的保障。

## 1 大型岩体 AE 监测的可行性分析

岩体声发射定义为:在外力作用下,岩体内部存在缺陷(包括裂纹)或不均质的部位,首先储存着应变能,当这种应变能储存到某一数值时,即以弹性波(声波)的形式释放,并由源点向四周传播开去。从中我们可以理解到:岩体受力导致应变能的释放,即表明岩体内部缺陷扩展或力学性能的变故,显然,岩体声发射是伴随着岩体受力产生裂隙扩展或断裂而产生的现象。所以岩体声发射反映了岩体的动态信息,可作为预报预测,评价岩质工程结构稳定性的依据。

目前,常用于评价岩质工程可能发生的破坏与垮塌等事故灾害来临,并取得工程实绩验证的最直观的参数有三种:

(1) 总事件:单位时间内检测仪器检测到的岩体声发射事件的总数,其单位为:事件数/min。也可称为频度。岩体受力破坏初期,声发射总事件数较少,随着受力破坏的加剧及垮塌冒落的来临,总事件也随之明显增加。

(2) 大事件:单位时间内电信号振幅较大的事件,单位为:大事件数/min。岩体破坏越剧烈,大事件数越多,频度越高。脆性坚硬整体性较好的岩体,在受力破坏初期,大事件的频度也相对较高。是岩体受力破坏剧烈程度的重要指标。通常是在仪器研制中设置某一电子门槛,当某一电信号振幅大于设置电子门槛时,即为大事件。

(3) 能率:表示单位时间内,声发射的能量等效

为检测仪器检测到声发射事件电信号包络面积,即:

$E = K \int_{t_0}^t V^2 dt$ ;  $K$  为比例系数;  $E$  为能率;  $t$  为时间;  $V$  为振幅,个/min。该参数是反映声发射事件能量大小的指标,除了与电信号振幅大小有关外,还与声发射事件电信号延续时间长短有关,一般而言,岩体受力破坏初期,能率很小,而岩体破坏越剧烈越临近垮塌冒落阶段,能率则明显地增多。此参数往往作为预报岩体结构破坏,失稳时的参考依据。

岩体组分的多样性和岩体结构的复杂性,要求在对 AE 监测前期做可行性分析,这是 AE 监测前期准备工作的重要组成部分之一。其主要内容是,通过专用设备现场监测岩体的 AE 水平能否满足分析预报岩体稳定性的需要。目的为监测设计以及结合岩体试样 AE 实验为监测设备的参数设计提供依据。

由于永久船闸高陡边坡工程规模大,开挖工程强度高,在永久船闸开挖当中,应用岩体声发射技术对边坡岩体稳定性进行监测是必要的。然而,实际应用中,应考虑边坡岩体的声发射水平能否满足分析、预报边坡岩体稳定性的需要。为此,在项目实施前,我们对边坡岩体进行声发射监测可行性分析。

### 1.1 监测仪器与测孔位置选取

当时,正值永久船闸进入二期大规模开挖时期,现场人员众多、机械车辆作业频繁,爆破作业时有发生,环境噪音强度很高。应用 YSS 型便携式单通道岩体声发射监测仪进行现场监测。该设备是我院早期开发研制的一款单通道便携式仪器,其特点为结构牢固、轻便、性能稳定。检测仪由探头、主机和充电器组成,可检测岩体声发射的总事件、大事件和能率三个声发射参数值及其变化速率,该仪器适合岩体声发射巡视监测和水平孔的定期巡检。

测孔的选择充分利用现场其他作业留下的孔洞,在中隔墩、船闸南、北坡、及北坡 NA4 排水洞等选择其孔深为 50 cm 以上共 12 个孔作为监测孔。

### 1.2 检测结果及分析结论

检测工作进行了 10 d,检测的数据处理整理结果见表 1。

可以看出,永久船闸中隔墩、南、北边坡岩体受力产生破坏时,声发射现象十分丰富和可检测,用该仪器检测到的声发射大事件频度为 0~7 个/min,虽然不高,但总事件最高达到 51 个/min。能率最低时为 11 个/min,最高时达 310 个/min。数据变化幅度相当明显,足以满足岩体稳定性分析。

结论:通过适当合理的布设测孔网,可以实现分

表1 永久船闸声发射监测可行性研究数据

孔号	检测孔位置	大事件(个/min)	总事件(个/min)	能率(个/min)	备注
1	北边坡	1	2	175	
2	北边坡	2	9	119	
3	北边坡	3	14	90	
4	北边坡坡脚	2	15	191	
5	北边坡坡脚	1	6	22	
6	三闸室中隔墩	0	5	12	北侧
7	三闸室中隔墩	1	2	18	南侧
8	三闸室中隔墩	1	1	11	南侧
9	三闸室中隔墩	1	4	31	南侧
10	二闸室中隔墩	3	51	157	北侧
11	南坡三闸首边坡脚	7	18	310	
12	北坡NA4排水洞内	3	10	97	

析预报边坡岩体稳定性及其发展趋势,并为评价边坡加固效果提供可靠依据。

## 2 大型岩体 AE 监测的设计原则

影响岩体工程的声发射监测结果的因素很多,诸如岩石组分、结构特征、断层、裂隙、夹层、结构面等。因此,声发射监测必须与工程地质紧密结合。所以,监测设计,即监测孔位置、监测网及监测制度的设计,要利用地质部门发布的研究成果,进行合理、有效的规划,同时,也要针对可行性研究的结果进行综合考量。

### 2.1 监测区域的选定

(1) 块体的稳定性主要受结构面的发育程度、岩体组分、力学性质、含水程度以及临空面情况和加固程度等因素决定。块体周边结构面或裂隙发育程度(旧的或新生的),对声波衰减、吸收、反射、折射均有影响,为准确把握块体动态,监测孔应尽量接近结构面。

(2) 南北坡坡脚处为压应力集中区和高剪应力区,但未出现压应力屈服区。剪切屈服区和拉张屈服区主要表现在构造复杂部位的边坡上浅层,且多数剖面未出现屈服区。故在监测范围内,声发射监测点选在边坡坡面浅层部位,南北两侧坡脚也适当设布控点。

(3) 第三闸首边坡工程地质相对复杂,永久船闸闸首坡体最高,坡高为 170 m,风化壳平均厚度达 41 m,有 F215 断层切割,是应力分析重点部位。故

在监测地段中把三闸区段作为重点监测区段。

(4) 宏观观察分析了解,在每个闸区南北坡脚下,均开挖方形输水廊道,其附近的坡脚应力集中更大,故也应设监测孔。

(5) 另外,邀请地质勘察技术人员赴现场共同实地勘察钻孔孔位,优化监测网的布局。

依据上述原则,在双线船闸南、北侧直立坡,靠坡面向下布设监测孔。

### 2.2 监测孔布设

监测孔是用于置入声发射监测仪器探头的,测孔位置直接影响着声发射检测的数据,以及监测对象危险状态预测预报的成功。通常,监测孔的布设主要考虑如下问题:

(1) 测孔距离 测孔间距过大,有可能存在岩体受力破坏时监测不到岩体声发射信号,一般而言,结构面越少,完整性较好的致密坚硬岩体,声波传播衰减较少。探头灵敏度越高,监测范围越大。显然,两个测孔间的间距要受到岩性以及探头灵敏度两因素的制约。实际上,监测范围内的岩体的结构,性质差别很大;探头的灵敏度也不可能达到理想的程度。直到当前,只能根据实践经验大致确定测孔间距,即一个测孔监测范围为以 15~20 m 为半径的球体范围内。本项目以“不稳定块体”作为重点监测对象,适当缩小测孔间距,两测孔间距取<30~40 m。

(2) 测孔深度 测孔太浅,探头工作时易于受到孔外空气中传播的各类作业噪音干扰。一般情况下,监测孔深度都要求在 2 m 以上。另外的一个原则是,监测孔底越靠近“不稳定块”效果越好。

遵循上述的原则,结合现场实际情况,建立了永久船闸边坡稳定性 AE 监测测控网(图 1)。由 39 个测孔,三个监测站,组成三个独立的监测系统。

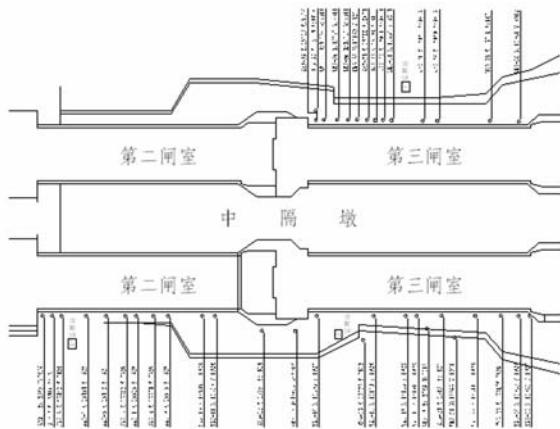


图 1 永久船闸边坡稳定性 AE 监测测控网

### 3 大型岩体的稳定性分析

鉴于岩体结构、成份以及岩体工程的临空面积大小、失稳岩体体积大小等因素影响,即使同一种类岩石性质的岩质工程,失稳前的声发射水平差别很大,声发射信号参数亦不相同。所以,时至今日,国内外均未制定完成声发射检测预报岩体失稳的标准。

尽管人们应用多种技术分析、评价岩体结构稳定性以及预报预测岩体失稳,但是以下两点是最主要的:

(1) 有针对性的选取监测区内的岩体试样,进行室内 AE 实验,深入了解岩体的声发射波型特征、声发射参数与应力的关系,为准确评价岩体稳定性提供依据。

(2) 以往所完成的工程监测当中,类似工程的实绩,作为岩体声发射监测数据分析,判断岩体稳定性和失稳的参考依据。

一方面,本项目岩体试样室内声发射试验结果,提供了如下参考性启示<sup>[1]</sup>:

(1) 当应力达到破坏强度  $\sigma_B$  的 20% 以下,即为裂纹的闭合阶段,较小的应力会造成相对较大的变形,这是裂隙闭合的结果。此时,声发射事件数  $NT \leq 9$  个/min。

(2) 当应力达到破坏强度  $\sigma_B$  的 20%~40% 时,即为岩石中的原生裂隙面间发生相对运动,新的裂隙产生,随着裂隙的稳态扩展,岩石释放能量较多,即出现明显的 AE 现象。此时,声发射事件  $9 \text{ 个/min} \leq NT \leq 59 \text{ 个/min}$ 。

(3) 当应力增加到破坏强度  $\sigma_B$  的 80% 以上时,破坏速度、破坏范围急剧增加,开始了试样的非稳态裂隙传播阶段。由于裂隙的分叉作用,岩石发生结构破坏,体积急剧膨胀,AE 的频度值也急剧增加。此时,声发射事件数据  $59 \text{ 个/min} \leq NT \leq 309 \text{ 个/min}$ 。

另一方面,多年类似工程监测的实践经验是:

(1) 当岩体预示大范围失稳时,相邻的数个测

孔随时间推移,声发射事件频度明显增加,且其中又有 1~2 个测孔声发射事件频度增高的更快,更早地达到岩体受力破坏裂隙扩展阶段的频度,这时明显的大范围岩体失稳的前兆。

(2) 只有个别测孔声发射频度持续增高,并且达到岩体裂隙扩展的频度,这是岩体局部失稳的前兆。

鉴于上述原则,根据仪器所监测到的 AE 信号,在对监测数据进行全面、科学的分析基础上,对边坡岩体稳定性进行预报。向工程建设相关部门及时提交中、短期边坡稳定性评故报告 60 份。这些监测成果及时地反馈给设计、土建监理部门及相关项目部等,为船闸在开挖建设过程中,及时掌握边坡岩体稳定性的发展趋势,指导边坡支护和评价边坡加固效果等方面提供了有效的依据<sup>[2]</sup>。

### 4 结论

岩体声发射监测技术是永久船闸开挖过程中,用于监测评价边坡岩体稳定性诸多技术项目中,仅有的根据监测岩体动态信息分析、判断、预报边坡岩体稳定性,以及评价边坡岩体加固支护措施效果的新技术。本项目开创了在大型建设项目建设中,运用岩体动态检测技术,对边坡岩体稳定性进行预测、预报以及对岩体加固支护效果进行评价的先例,同时,对我国 AE 技术应用于大型甚至特大型建设工程具有示范作用。

大型岩体稳定性 AE 监测作业范围大,地质结构复杂,周期性长,环境嘈杂,本文阐述的三个环节是大型岩体稳定性 AE 监测诸多环节中的一部分,也是保障监测可靠性的重要环节。

#### 参考文献:

- [1] 霍臻,陈翠梅,王正义.边坡稳定性声发射监测[J].工业安全与环保,2007,33(5):33~35.
- [2] 霍臻,陈翠梅,汪道林.人工边坡稳定性 AE 监测的实践和展望[C] // 2003 苏州无损检测国际会议论文集. 上海:中国机械工程学会无损检测分会,2003:41.

**QC 检测仪器网**  
WWW.QCTESTER.COM  
全新改版上线

更便于 搜寻仪器、专业展会、专业期刊  
更多 行业信息、供求信息  
www.qctms.cn 天下机械网 天下机械  
欢迎点击 查看更多 精彩内容