

应用 Kaiser 效应测定某水电站右坝肩地应力

马青力

(成都理工大学, 成都 610059)

摘要: 介绍了岩石声发射 Kaiser 效应的理论及其在室内进行地应力测试的方法与过程, 并证实了与现场实测值的一致性。

关键词: 声发射; Kaiser 效应; 地应力

中图分类号: TV 698. 11; TV 641

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005) 06-0248-03

Measurement of Geo-stress with Kaiser Effect of Acoustic Emission in Ruozhadu Power Station

MA Qing-li

(Chendu University of Technology, Chendu 610059)

Abstract: According to the basic principle of Kaiser effect, the way to determine geo-stress in laboratory was investigated. It is presented that the geo-stress determined on the basis of Kaiser effect approaches to its numerical value determined in site.

Key words: acoustic emission; Kaiser effect; geo-stress

1 声发射 Kaiser 效应概述

所谓声发射(Acoustic Emission, 简称 AE), 是指材料或结构在受力变形或破坏过程中以弹性波的形式释放其应变能的现象。在与地质材料有关的研究中, 微振活动、岩音、地震声活动、亚声噪声这些术语应该说和声发射一词是同义的。大多数材料的声发射信号都很微弱, 人耳一般很难辨别出来, 因而需要借助于灵敏的电子仪器加以监测。用声发射仪监测和分析声发射信号并利用声发射信号推断材料和结构内部性质变化的技术就称之为声发射技术。声发射技术的发展已有几十年的历史, 在国内外, 均受到人们的普遍重视。国外早期主要将该技术用于金属矿山、煤矿及隧道工程的安全性问题, 后来随着技术的完善, 研究应用扩大到边坡稳定、岩爆及室内材料的脆性研究, 声发射技术也从原来的采矿工业扩大到石油、地质、地震、水利、土建、国防、机械等部门。

所谓凯塞效应是指材料在重复加载过程中, 在受到或超过先前所承受的最大应力时, 其声发射现象显著增加, 而当未达到过去所承受的最大应力水平时, 声发射现象不发生或很少发生的现象。岩石的凯塞效应具有记忆历史最大应力和应变的能力, 但凯塞效应记忆先前应力和先前应变的准确程度不高。岩石声发射产生的原因在于其内部存在的裂纹, 岩石凯塞效应的机理则在于对其先前损伤的记忆。

2 工程概况

糯扎渡大型水电工程位于云南思茅地区澜沧江上。坝区地处唐古拉-昌都-兰坪-思茅褶皱系兰坪-思茅拗陷的

南端, 地貌上属于滇西纵谷山原区之中山峡谷亚区。坝区及其邻近地区主要由二叠系—三叠系花岗岩($\gamma 43 \sim \gamma 51$)、三叠系忙怀组(T₂m)的粉砂岩、泥岩组成, 断裂发育, 岩浆活动及火山作用较强烈。此项目的一个重要研究内容就是: 斜坡岩体力学环境条件研究。通过详细的现场地质调查、结合现场测试, 研究斜坡形态、岩性与结构特征, 特别是破裂带岩体的结构特征及其物理力学特性; 研究斜坡区的水文地质条件; 结合河谷地貌形成与发育历史、区域构造应力场环境及现今地应力实测, 研究斜坡应力场的形成与演化。

3 测试原理

在各类地下岩石工程中, 为了合理地评价岩体及岩体工程的稳定性, 必须确定岩体中的初始应力状态, 以及由于工程开挖后而在岩体中产生的次生应力和诱导应力。如今测定地应力的方法有很多, 如液压盒法、扁千斤顶法、钻孔应力解除法、水压致裂法等, 然而这些方法工艺复杂, 费时费钱, 测量结果具有不确定性, 是一项比较困难的工作。从而, 也就在一定程度上限制了现场岩体应力量测工作的推广使用, 特别是一些中小型工程困难就更多。采用声发射技术是从地层中取出岩芯(岩样), 将岩芯在实验室进行再次加载, 根据其声发射时的应力状态推算出地应力。将岩体应力量测从现场搬进实验室, 可以经济有效地进行量测工作, 而且还可以简捷方便地获得大量实测数据, 提高测量数据的可靠性。所以, 用声发凯塞效应量测地应力简便、快速、经济, 已经越来越多地受到人们重视。因为, 根据声发射Kaiser 效应, 确定了先前所受的最大应力也就确定了地应力。

* 收稿日期: 2005-01-12

基金项目: 国家自然科学基金资助(编号: 40272118)

作者简介: 马青力(1974-), 男, 原中铁十五局工程师, 现成都理工大学在读硕士, 从事岩土方面的研究工作。

Kaiser 效应测量地应力的基本方法是对岩芯进行单轴压缩,同时接收其声发射信号。在应力较低时声发射率很低,并与应力近似成直线关系。但当作用力达到某一临界值时,声发射活动则突然增加,并按照一个比原来大得多的比例,与应力保持线性关系。声发射活动突然增加时所对应的这个临界值,就是岩芯试件压缩时最大应力的大小。

为计算空间主应力,可制取六个方向的试件(图1),这样即能得到惟一解。

由于地应力本身的离散性以及 Kaiser 效应测试应力的精度,即使同一地点、同一方向不同试件测得的应力值也不相同。因此对于每一个方向至少应有8个以上的试件进行试验,然后根据声发射 Kaiser 效应的明显与否进行加权平均。对于 Kaiser 效应明显的,权重 $P=1$; 不明显的 $P=0.5$; 非常不明显的或根本不能确定 Kaiser 效应特征点的取 $P=0$ 。则测定值的最优值 σ_0 、标准差 S 可分别由下式确定。

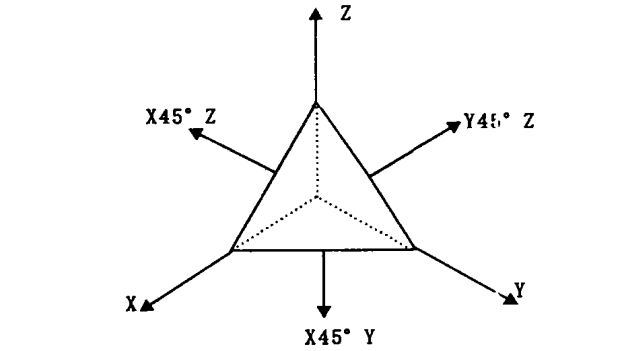


图1 制样方向

$$\sigma_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \sigma_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$
$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n P_i (\sigma_i - \sigma_0)^2}{\sum_{i=1}^n P_i} \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中: n ——某一方向上的测试试件数目; 为各试件的应力测试值。

求得6个方向的应力分量最优值后,可求得剪应力分量

$$\tau_{xy} = \sigma_{y45^\circ y} - (\sigma_x + \sigma_y) / 2$$
$$\tau_{yz} = \sigma_{y45^\circ z} - (\sigma_y + \sigma_z) / 2$$
$$\tau_{xz} = \sigma_{x45^\circ z} - (\sigma_x + \sigma_z) / 2$$

则应力张量的三个不变量为

$$J_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$
$$J_2 = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2$$
$$J_3 = \sigma_x \sigma_y \sigma_z - \sigma_x \tau_{yz}^2 - \sigma_y \tau_{xz}^2 - \sigma_z \tau_{xy}^2 + 2 \tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{xz}$$

令

$$Q = -\frac{2}{27} J_1^3 + \frac{1}{3} J_1 J_2 - J_3$$
$$T = \frac{1}{3} J_1^2 + J_2$$

$$W = \arccos \left(-\frac{1}{2} Q / \sqrt{-\frac{1}{27} T^3} \right)$$

继而可求得主应力值

$$\sigma_1 = 2 \sqrt{-\frac{T}{3} \cos \frac{W}{3}} + \frac{1}{3} J_1$$
$$\sigma_2 = 2 \sqrt{-\frac{T}{3} \cos \frac{W+2\pi}{3}} + \frac{1}{3} J_1$$
$$\sigma_3 = 2 \sqrt{-\frac{T}{3} \cos \frac{W+4\pi}{3}} + \frac{1}{3} J_1$$

主应力的方向与坐标轴 X 、 Y 、 Z 夹角的方向余弦按下式计算

$$l_i = 1 / \sqrt{1 + \left[\frac{(\sigma_i - \sigma_x) \tau_{yz} + \tau_{xy} \tau_{xz}}{(\sigma_i - \sigma_y) \tau_{xz} + \tau_{xy} \tau_{yz}} \right]^2 + \left[\frac{(\sigma_i - \sigma_x)(\sigma_i - \sigma_y) \tau_{xy}^2}{(\sigma_i - \sigma_y) \tau_{xz} + \tau_{xy} \tau_{yz}} \right]^2}$$
$$m_i = \frac{(\sigma_i - \sigma_x) \tau_{yz} + \tau_{xy} \tau_{xz}}{(\sigma_i - \sigma_y) \tau_{xz} + \tau_{xy} \tau_{yz}} l_i$$
$$n_i = \frac{(\sigma_i - \sigma_x)(\sigma_i - \sigma_y) \tau_{xy}^2}{(\sigma_i - \sigma_y) \tau_{xz} + \tau_{xy} \tau_{yz}} l_i$$

式中, $i=1, 2, 3$ 。主应力的倾角 α 和方位角 β 可由下式计算

$$\alpha_i = \arcsin m_i$$
$$\beta_i = \arcsin \frac{l_i}{1 - m_i^2}$$

应当注意的是应用上式时, X 轴应为正北方向。

4 测试系统

测试系统(见图2)包括:

加载系统: MTS815 Rock Mechanics Test System 程控伺服岩石刚性试验机, BHR-4/15T 电阻荷载传感器。

AE 测试系统: AE-Preamplifier Model PA01 探头, SQ-1 型前置放大器, 滤波器, AE-04 四通道声发射信息分析仪, XD-2 型信号发生器。

变形测量系统: YD-15 动态电阻应变仪。

数据记录系统: LZ4-304 型函数记录仪。

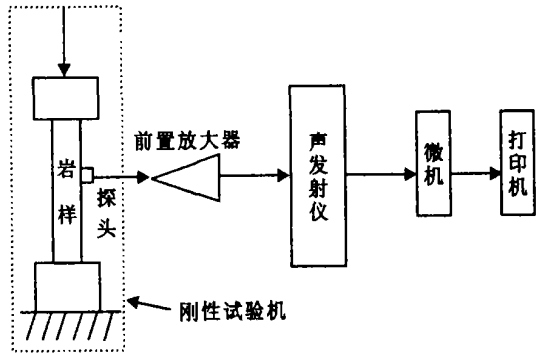


图2 声发射试验系统框图

5 测试准备

5.1 物质准备

取样与制样: 项目组在该电站坝基右坝肩平硐223#及203#中确定了三个采样点,每个采样点取7块试样,试样大小25 cm×25 cm×25 cm,共计21块。制样在实验室内完成,六个方向每个方向取7个试样,岩芯加工成25 mm×25 mm×75 mm的长方体试件。

端部处理: 为了消除岩石试件端部由于应力集中及端面摩擦所引起的信号干扰,在试件端头包裹一层胶布。

探头安装: 探头布置在试件正中部,为保证耦合效果,在探头

与试件接触部位,涂上一层耦合剂凡士林,再用橡皮把探头固定。

5.2 技术准备

探头频率选择: 80 kHz。

加载速率确定: 应变加载 $2 \times 10^5/s$ 。
声发射仪参数设置: 仪器增益40 db; 门槛电压0.06V; 门槛方式固定; 采样时间0.1 s。

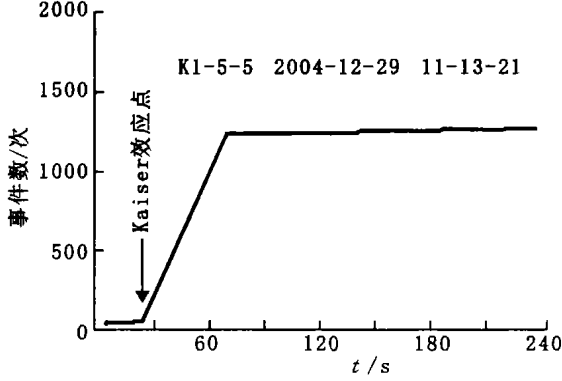
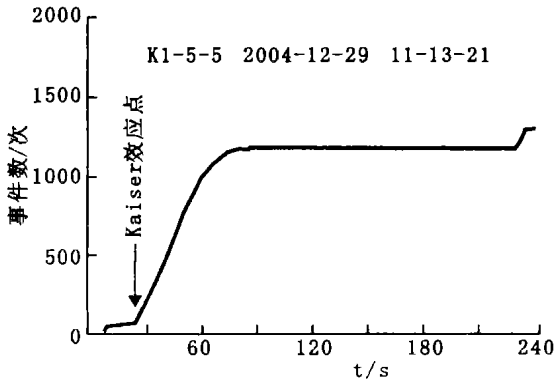


图3 声发射事件累积数与时间关系曲线图

6 测试结果及分析

我们从声发射曲线中找到 Kaiser 效应点,即可确定“初射点”时间,再从加载数据中找到相对应的力,用它除以该试件的断面积,就得到了此方向的地应力。最后根据前面介绍的原理可求出相应的主应力。

声发射事件累积数与时间关系曲线见图3所示:

我们所得到的测试结果见下表:

编号	三个主应力/ Mpa		
	σ_1	σ_2	σ_3
K1	33.4	29.0	35.8
K2	37.4	35.8	31.7
K3	32.0	34.7	33.5

我们将室内 AE 测试结果与现场实测值相比较,发现误差不超过10%,已基本能满足工程地质评价及斜坡应力分析的需要。

参考文献:

[1] 秦四清,李造鼎. 岩石声发射技术概论[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1993.
[2] 李宏,张伯崇. 北京房山花岗岩原地应力状态AE法估计[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(8): 1349- 1352.
[3] 李庶林,尹贤刚,王泳嘉,等. 单轴受压岩石破坏全过程声发射特征研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(15): 2499- 2503.
[4] 山邦久. 声发射(AE)技术的应用[M]. 冯夏庭. 北京: 冶金工业出版社, 1996.
[5] 张景和. 利用岩石发射Kaiser效应测定低应力的新方法[J]. 岩石力学与工程学报, 1987, (6): 347- 355.
[6] 陈积懋. 超声检测新技术[M]. 余南廷译. 北京: 科学出版社, 1991.

(上接第247页)

$$Q=\frac{1}{7}(5.2Q^3/H)$$

管臂厚度公式:

$$\delta=\frac{PD}{W}\Psi Q[\sigma]$$

拟定管半径和壁厚,布置采用露天式铺设。进口设进水池,出口设消力池,在压力管道转弯处及平直段60~80 m设镇墩,中间设置支墩,其间距6~8 m;在倒虹吸低点设冲砂阀,管身每隔200~300 m设检修孔。

表7 倒虹吸水力特性表

名称	里程 (k+m)	设计流量 $/ (m^3 \cdot s^{-1})$	水头 损失	倒虹吸内 径/m	壁厚 /mm	设计流速 $/ (m \cdot s^{-1})$
# 倒虹吸	0+000~0+363.71	0.4	8.0	0.50	8	2.04
# 倒虹吸	5+311~5+611.402	0.3	8.0	0.45	8	1.89

参考文献:

[1] 刘俊民,余新晓. 水文与水资源学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
[2] 洪惜英. 水力学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
[3] 清华大学水利工程系《程水力学》编写组. 工程水力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1959.
[4] 华东水利学院. 水力学[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
[5] 王汉杰. 水资源工程学[M]. 北京: 农业出版社, 1990.

3 经济评价

评价依据: 依据《水利部建设项目经济评价规范》SL72—94《建设项目经济评价方法与参数》《小水电建设项目经济评价规范》SL16—95进行评价。

渠道地处贫困山区,工程永久占地主要为荒坡和灌木林地,有利用价值的耕地较少,本项目的直接效益为灌溉效益,防洪效益。通过指标计算,其经济理论上是合理的。其工程设计灌溉面积0.08万hm²,可使水利化程度由8.8%提高到30.5%,使GDP每年增长10%。

综上所述,兴建该工程是提高人民生活水平、促进社会经济持续稳定发展的必然要求,因此,兴建该工程十分必要和迫切。