

文章编号:1000-582X(2004)08-0121-03

川东北飞仙关组岩石动力特性的试验*

尹光志¹,孙国文¹,张东明²

(1. 重庆大学 资源及环境科学学院,重庆 400030;

2. 重庆大学 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室,重庆 400030)

摘要:以川东北飞仙关组岩石(砂岩、灰岩)为实验试件,利用自行设计的声波测试装置,应用声波测试技术对川东北飞仙关组岩石的动力特性进行了室内试验研究,测出了岩石试件的弹性波速(纵波波速 V_p 、横波波速 V_s),并获得该类岩组的一系列动弹性参数(动弹性模量 E_d 、动泊松比 ν_d 、动剪切模量 G 、动体积模量 K)。并根据试验结果分析了岩石的物理力学性质。结果表明,该实验的原理和方法可为相关工程所利用。

关键词:声波测试技术;动力特性;弹性波速;动弹性参数

中图分类号:TU45

文献标识码:A

我国开展岩石动力测试工作,早在50年代中期便开始了。在60年代初,声波测试技术(利用声波在岩石中的传播特性的参数,如纵、横波速、波的振幅衰减和波的频谱特性等来判断岩体结构和特性)已有少数单位应用过,但没得到充分的注意。岩体的动力法测试技术,近年来在我国得到迅猛发展,形成一套较完整的弹性波测试系统。根据工作频率的高低和测试对象范围的大小,可分为超声波法、声波法和地震波法。超声波法主要应用于岩石试件的测试,声波法应用于范围较小的工程岩体,地震波法则适用于范围较大的岩体。

动力法的优点是轻便简捷,费时少,对被测的岩石或岩体没有任何破坏作用,试验可以重复进行,测试对象的尺寸可根据需要选择。并且这种测试技术,既是物理的方法,又是力学的方法。所以动力法测试技术被广泛的应用并作为研究岩体特性和状态的重要手段^[1]。

弹性动力法主要应用于地球物理勘探,油气田开发,地质勘查,岩体物理力学特性的测定,施工前后工程岩体的状态和岩体加固效果的检测,以及工程岩体的评价等方面^[2]。

1 川东北飞仙关组岩石动力特性的试验

1.1 实验目的

测定所送4个井不同岩性岩石的弹性波速(纵波波速 V_p ,横波波速 V_s)、动弹性参数(动弹性模量 E_d 、动泊松比 ν_d 、动剪切模量 G 、动体积模量 K)。

1.2 仪器设备和材料及实验装置

1) 试验仪器主要有:SYC-Ⅲ型岩石声波参数测定仪;200 KC的纵波传感器及横波传感器;声波测试实验架;万用表及千分表等。

2) 试验设备及材料主要有:干燥箱;钻石机或车床,锯石机,磨石机或磨床,黄油,金属铝箔;清洁剂等。

1.3 试件加工精度、含水状态及数量

1) 加工精度:两端面不平行度不大于 1×10^{-3} m,相邻两平面的不垂直度^[3],将试件放在水平检测台上,用直角尺紧贴试件垂直侧边,要求两者之间无明显缝隙。

2) 试件含水状态为自然含水状态。

3) 试件数量应根据试验方式、钻孔数、钻孔岩芯长度以及实际情况确定。此次岩石弹性波实验的试件数量及尺寸见表1所示。

* 收稿日期:2004-04-21

基金项目:高等学校优秀青年教师科研奖励计划资助项目

作者简介:尹光志(1962-),男,四川西昌人,重庆大学教授,主要从事岩石力学及岩土工程研究。

表1 岩石弹性波实验的试件数量及尺寸

井号	深度/m	芯号	岩性	试件尺寸/m	试样数量/个
罗家5井	2 951.42 ~ 2 952.04	159 ~ 163	灰岩	$\phi 0.07 \times 0.035 \sim 0.07 \times 0.04$	2
罗家2井	3 198.44 ~ 3 288.46	36 ~ 901	砂岩	$\phi 0.07 \times 0.026 \sim 0.07 \times 0.043 5$	12
紫1井	3 422.51 ~ 3 459.54	64 ~ 439	灰岩	$\phi 0.07 \times 0.031 \sim 0.07 \times 0.04$	8
渡4井	4 218.05 ~ 4 238.47	232 ~ 415	砂质灰岩	$\phi 0.07 \times 0.026 \sim 0.07 \times 0.043 5$	11

1.4 实验原理和方法

1) 该实验主要是应用 SYC 型声波测定仪测出纵波和横波在岩石试件中的运行时间 t_p 和 t_s , 见图 1。从而得到声波波速, 再根据波速求得相关动弹性参数。

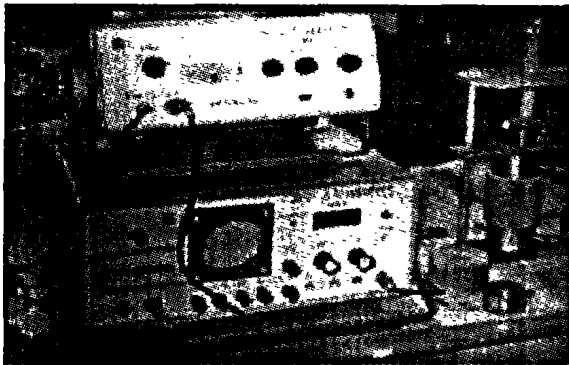


图1 纵波和横波测试装置

2) 该仪器的原理在示波显示型设备中是比较典型的。这种仪器主要包括发射机和接收机两大部分^[4]。仪器采用脉冲工作方式, 每秒钟向所测岩石辐射出声脉冲并在某一指定地点接收并显示弹性波信号。发射机所发射的脉冲声波, 是一种以方波调制的正弦波。每一组正弦波包括约 10 个左右的周期, 这种发射方式, 可以得到较纯的频谱, 减少了频散现象。同时使能量集中在基频上, 增大传播距离。发射机的工作过程如图 2。

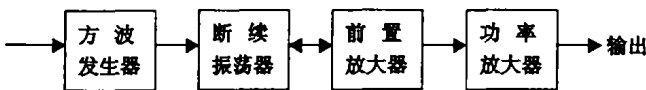


图2 发射机工作过程

3) 发射机所发射的脉冲声波通过发射换能器(发射探头)传递给岩石试件, 声波在岩石试件中运行, 再通过接受换能器(接受探头)传至接收机, 由接收机把声波转换成电信号, 在示波器上显示出正弦波信号。从而读出岩石试件中声波走时。示波器工作波形见图 3, t 为岩石试件中声波传递时间(μs)。



图3 工作波形图

4) 纵波测试时探头与岩石接触采用黄油做耦合剂, 横波测试时探头与岩石接触采用金属铝箔做耦合剂。

5) 按照有关规程, 测定岩石试件的密度 ρ 。

此次岩石弹性波测试数据见表 2 所示。

表2 岩石弹性波传播时间测试结果

井号	深度/m	试件长度/m	纵波时间 $t_p/\mu s$	横波时间 $t_s/\mu s$
罗家5井	2 951.42 ~ 2 952.04	0.035 0	6.10	9.80
罗家2井	3 198.44 ~ 3 288.46	0.035 2	8.25	13.44
紫1井	3 422.51 ~ 3 459.54	0.036 8	7.84	12.89
渡4井	4 218.05 ~ 4 238.47	0.035 1	0.21	15.55

1.5 岩石弹性波速的计算

1) 按式(1)和式(2), 计算岩石试件的纵波波速 V_p 和横波波速 V_s :

$$V_p = L/t_p \quad (1)$$

$$V_s = L/t_s \quad (2)$$

式中: L 为波测试件的长度(发射传感器与接收传感器之间的距离)。

2) 将每组几个岩石试件计算的纵波和横波波速取平均值, 确定该组岩石试件的纵波波速和横波波速, 取平均值, 确定该组岩石试件的纵波波速和横波波速, 即

$$V_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{pi} \quad (3)$$

$$V_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{si} \quad (4)$$

此次岩石弹性波实验的弹性波速计算结果见表 3 所示。

表3 岩石弹性波速计算结果

井号	深度/m	纵波速度 $V_p/10^3 m \cdot s^{-1}$	横波速度 $V_s/10^3 m \cdot s^{-1}$	V_p/V_s
罗家5井	2 951.42 ~ 2 952.04	5.738	3.571	1.607
罗家2井	3 198.44 ~ 3 288.46	4.261	2.653	1.606
紫1井	3 422.51 ~ 3 459.54	4.694	2.855	1.644
渡4井	4 218.05 ~ 4 238.47	3.428	2.251	1.523

1.6 岩石动力学弹性参数计算

可由纵波波速和横波波速来计算岩石式样的动弹性参数^[1],即

$$E_d = \frac{\rho V_p^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2} \quad (5)$$

式(5)中 E_d ——动弹性模量。

$$\nu_d = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (6)$$

式(6)中 ν_d ——动泊松比。

$$G = \rho \nu_s \quad (7)$$

式(7)中 G ——动剪切模量。

$$K = \rho \left(v_p^2 - \frac{4}{3} v_s^2 \right) \quad (8)$$

式(8)中 K ——动体积模量。

此次岩石动力学弹性参数计算结果见表 4 所示。

表 4 岩石动弹性参数计算结果

井号	深度/m	密度/g·cm ⁻³	动弹性模量/10 ⁴ MPa	动泊松比	动剪切模量/10 ⁴ MPa	动体积模量/10 ⁴ MPa
罗家 5 井	2 951.42 ~ 2 952.04	2.978 5	8.993 6	0.183 9	3.798 2	4.742 5
罗家 2 井	3 198.44 ~ 3 288.46	2.498 0	4.161 5	0.183 5	1.758 2	2.191 2
紫 1 井	3 422.51 ~ 3 459.54	2.865 0	5.634 7	0.206 4	2.335 3	3.199 0
渡 4 井	4 218.05 ~ 4 238.47	2.727 0	3.097 9	0.121 0	1.381 8	1.362 2

2 实验结果分析

1) 实验结果总体表明:岩石密度越大,波速越大,动弹性参数越大,岩石越完整,空隙率较小,致密性强,力学性质较好。这一点也被后续所做的抗拉、抗剪、抗压实验所证明。

2) F. 伯奇^[5]研究指出,影响岩石纵波波速传播速度的主要因素是岩石的密度及岩石介质的原子量,对于普通岩石介质来说,波速与岩石密度成线性关系,这点由罗家 5 井,紫 1 井,渡 4 井的实验数据用一元线性回归很好的拟合证明,见图 4。

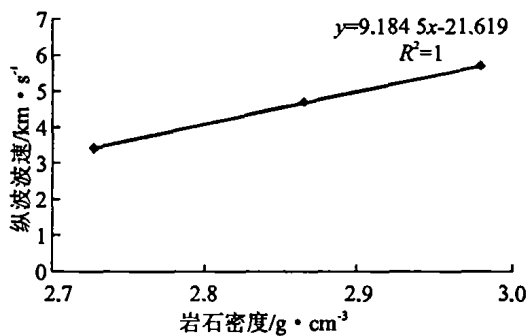


图 4 纵波波速与岩石密度的函数关系

3) 罗家 2 井不符合上述规律,可能是由于岩石试件微观和宏观上结构构造差别的缘故。对于工程而言,尤其应该注意这种不符合常规的变异现象,这也是我们研究岩体值得注意的一个方面。

4) 大量的实验研究表明:岩石纵波速度与横波波速的比值为 1.7 左右,表明岩石质量较好^[3]。而该实验的 V_p/V_s (1.607、1.606、1.644、1.532) 也接近 1.7,说明该实验几个井的岩石质量指标较好,力学性质较好,岩石比较完整。

5) 实验测出罗家 5 井、紫 1 井的波速比罗家 2

井、渡 4 井的大,即灰岩的波速比砂岩的大,由弹性波理论说明灰岩的岩石质量,力学性质比砂岩好。从工程角度来说,在一定强度范围内,岩石的弹性波速与岩石的强度之间具有很高的相关性。即波速越大,强度越大。故罗家 5 井、紫 1 井更不易破坏,承载力强。

3 结 语

通过实验测出岩石试件的弹性波速,动弹性模量对现场具有重要指导意义。岩体的弹性波传播特征是岩体特性的反映^[6-7],因此,弹性波法是评价岩体的一种重要手段。研究与理论分析,应用动力法测试技术测试岩石特性和状态是可行且经济有效,对分析岩石的力学性质也很有帮助,尤其对测试岩石的波速以及通过密度、波速计算岩石的动弹性参数具有实质意义。

此次实验只能是动力学,弹性波等方面的初步研究,但这方面的研究显然具有重要的理论意义和一定的实用价值,更深入的研究还有待于下一步进行。

参考文献:

[1] 陶振宇. 岩石力学的理论与实践[M]. 北京:水利出版社,1981.
 [2] 吴世明,唐有职. 岩土工程波动勘测技术[M]. 北京:水利水电出版社,1992.
 [3] 李造鼎. 岩体测试技术[M]. 北京:冶金工业出版社,1983.
 [4] 孙成栋. 岩石声学测试[M]. 北京:地质出版社,1981.
 [5] 宋守志. 固体介质中的应力波[M]. 北京:煤炭工业出版社,1989.
 [6] 李通林,谭学术,刘传伟. 矿山岩石力学[M]. 重庆:重庆大学出版社,1991.
 [7] 蔡美峰,何满潮,刘东燕. 岩石力学与工程[M]. 北京:科学出版社,2002.

Process control for block erection of towering structures by bliding

CUI Bi-hai, ZHENG Zhou-lian, ZHAO Chang-rong

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Towering structures are usually of imposing height, heavy weight and poor bending and torsional rigidities. Hence, their block erection is a technology-intensive course. Traditional manual control can hardly meet the requirements of the overall process and guarantee its safety. The combination of computer technology with conventional hoisting techniques is applied to the block erection process of towering structures to do the process study of the hoisting system first of all, and to acquire data with instruments and devices according to the process study so as to aid the decision-making and process control of block erection, to realize automatic execution of emergency measures and to guarantee the safety in the course of hoisting.

Key words: hoisting; towering structure; process control; aided decision-making

(编辑 姚 飞)

~~~~~  
(上接第 123 页)

## Experimental research on dynamical characteristics of rock in fei xianguan northeast in sichuan

*YIN Guang-zhi, SUN Guo-wen, ZHANG Dong-ming*

- (1. College of Resource & Environmental Sciences, Chongqing University, Chongqing 400030, China;
2. Key Laboratory for the Exploitation of Southwestern Resources & the Environmental Disaster Control Engineering Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Rock (sandstone, ash stone) in fei xian guan northeast Sichuan was used as rock sample, Experimental research on elasticity wave in room was done by testing technology of sound wave. The speed of elasticity wave and the dynamical elasticity parameter is calculated by the experiment. After the experiment, the physics mechanic character of rock is analyzed by experiment data.

**Key words:** testing technology of sound wave; dynamical character; the speed of elasticity wave; the dynamical elasticity parameter

(编辑 姚 飞)