

文章编号: 1000-7598-(2000)03-0289-05

# 适用于岩石力学细观实验研究的加载仪

葛修润, 李廷芥, 张梅英, 刘继光

(中国科学院 武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

**摘要:** 根据岩石工程力学性质研究的需要, 研制了岩石细观力学加载仪(YXJY-5T)。该仪器设备配装在光学体视显微镜下, 可以观察岩样在加载过程中, 四个平面(岩石试样为长方形柱体)变形破坏的全过程, 并获得岩样的应力-应变曲线和相对应的细观结构变化的图像。

**关键词:** 岩石; 细观试验加载仪; 细观结构; 加载过程; 变形破坏

**中图分类号:** TU 502<sup>+</sup>.1      **文献标识码:** B

**作者简介:** 葛修润, 男, 1934 年出生, 中国工程院院士, 研究员, 博导, 主要从事岩石力学与工程数值方法研究。

## Loading apparatus for the meso-mechanical experiment rock

GE Xiu-run, LI Ting-jie, ZHANG Mei-ying, LIU Ji-guang

(Institute of Rock and Soil Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

**Abstract:** According to the requirement of studying for engineering mechanical properties of rock material, a loading apparatus for meso-mechanical experiment of rocks has been developed. The apparatus can be used as an additional instrument for optical solid microscope, and with the microscope, the complete failure progress of the four faces of rock samples (rectangular in shape) under loading can be observed. In this way, the stress-strain curve and the related graphic of the changing microstructure of rock samples can also be attained.

**Key Words:** rock; loading apparatus for the meso-mechanics; microstructure; loading progress; deformation failure

## 1 前 言

由于科学技术的发展, 促使各门学科的研究更加深入和开拓, 岩石力学学科也不例外。随着国民经济和工程建设的迅猛发展, 对岩石力学学科提出更为广泛和深入的课题。

目前的宏观实验研究远不能解决岩石工程力学中的问题, 许多学者开始重视岩石力学的细观行为, 共同认识到宏观的变形破坏为细观变形的积累扩展而成, 掌握细观变形破坏的规律, 可以为岩石工程中出现的课题给予更科学的解释并加以解决。不少研究者开始引用先进的仪器设备, 如: 扫描电子显微镜、计算机断层扫描仪(简称 CT 仪)等, 进行在加载条件下观察分析岩石变形破坏的全过程。由于上述仪器为大型精密仪器, 对实验的条件和试样的要求较为严格和苛刻, 试验时必须受到加载方式、荷载大小, 试件尺寸、干燥试样等方面的限制, 因此, 我们考虑到岩石的一些特性和工程建设中的具体要求, 设计和研制了适用于岩石细观力学实验研究的加载仪。该仪器配装在光学体视镜下(或图像计算机等), 可以观察在加载过程中岩样四个平面(试样为长方柱体)及每个点的变形破坏形貌, 并得到应力-应变曲线和相对应的裂纹开裂和发展图像。

如果配装摄像仪, 还可获得变形全过程的录像; 接连计算机, 可自动采集各种应力-应变的数值及图形。

## 2 仪器设备的结构和工作原理

岩石细观力学加载仪由加载平台、标准液压源、载荷测量显示系统和压头位移测量显示系统四大部分组成, 见图 1, 2。

### (1) 加载平台

加载平台由压头(1-1)、油缸旋转支架(1-2)、可移动水平底座(1-3)、测量百分尺尺头(1-4)(1-5)等组成(见图 3)。压头与油缸的活塞相连接, 油缸活塞上所受的力传递到压头上, 使岩样受压, 油缸内压力缓慢增加, 岩样所受的载荷也随之增加。

压头安装在可旋转的支架上, 拨开空位插销(1-6), 借助手柄(1-7), 可移动支架到四个固定的观察位置, 使岩样四个平面均可被观察。转动和移动过程不影响加载过程。

旋转支架安装在可水平移动的底座上, 使旋转支架可以沿 X、Y 轴的方向移动, 其移动位置可以用 X、Y 轴方向的两个百分尺来测量。

### (2) 标准液压源

收稿日期: 1999-03-26。

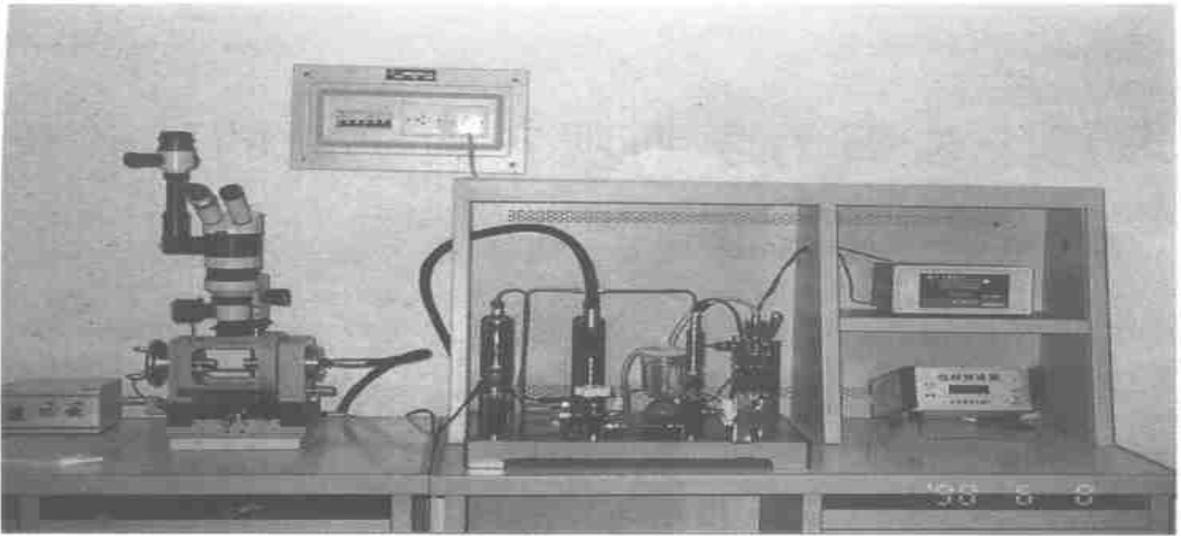


图1 岩石细观力学加载仪

Fig. 1 Loading apparatus for the meso-mechanical experiment of rock

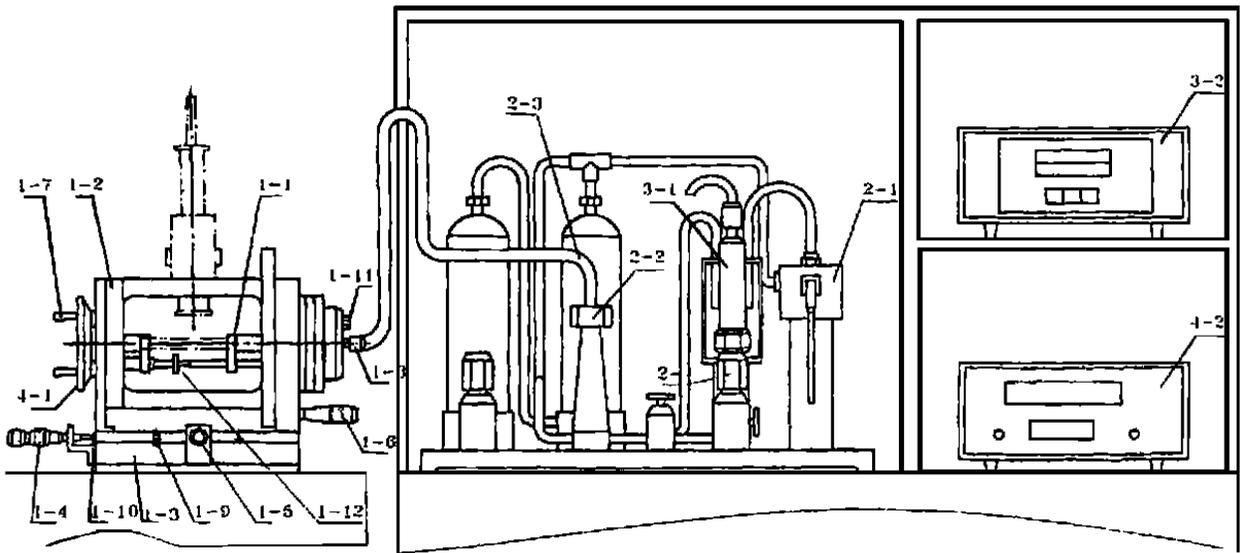


图2 岩石细观力学加载仪结构图

Fig. 2 Structure of loading apparatus

选用 CYL-600 型两用校验器作标准液源。其压力范围为 0~60 MPa。

### (3) 载荷测量显示系统

该系统由 CYG1115-40B 压力变送器(3-1)与 XMT5000 智能型数字显示仪(3-2)组成。CYG1115-40B 压力变送器是由半导体单晶硅片做成的压力传感器与相应的电路组成,测量范围为 0~40 MPa,输出信号 4~20 mA,精度不低于 0.5% FS。数字仪上显示的数字是压头上的荷载值,荷载单位为 kN。

### (4) 压头位移测量显示系统

该系统由 WY-5L 位移传感器(4-1)和 RO-2D(带 4  $\frac{1}{2}$  位数显)位移变送器(4-2)组成。WY-5L 位移传感

器是 LVDT 形式的传感器,线性测量范围为 0~5 mm,精度不低于 0.5% FS。数字仪上的数字是压头位移值,示值单位为微米(0.001 mm)。

## 3 加载仪性能的检测标定

首先对加载仪进行空载试验(不加试样),以检查仪器各部件动作的稳定性,证实其重现性能较好,载荷及位移恢复“零点”性能好,后面对以下各项进行标定。

### (1) 压力系统检测标定

<sup>1</sup> 加工标准钢块试件,尺寸为 15 mm × 15 mm × 45 mm,试件两侧粘贴应变片(DB120 5AA 250 型号),

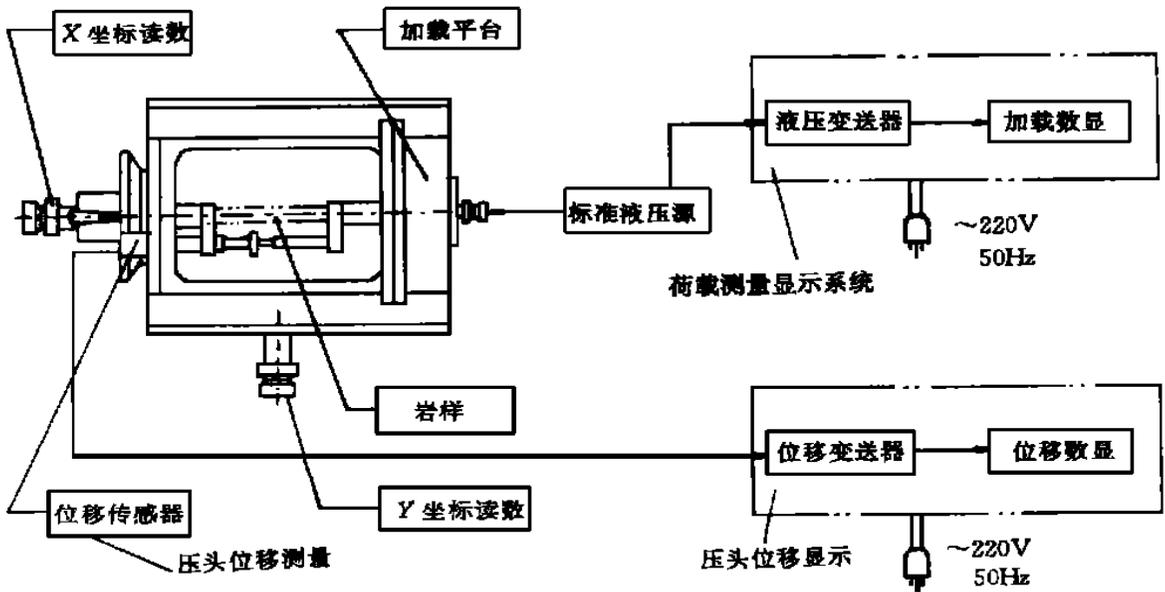


图 3 岩石细观力学加载仪测试原理方框图  
Fig.3 Basic program of testing about loading apparatus

用 YJ-X4 型静态电阻应变仪测量应变值, 在英国制造的 100 kN 高压三轴仪上进行单轴压缩试验, 根据测量的应力-应变曲线, 得到线性回归系数  $B = 239$ , 相关系数  $r = 0.999\ 942$ 。

④将上述钢块试件, 置于岩石细观力学加载仪上进行单轴压缩试验, 测试应力-应变曲线, 检测标定 CYG1115-40B 压力变送器和 XMT5000 智能型数字显示器, 得到线性回归系数  $B = 241.22$ , 相关系数  $r = 0.999\ 979$ , 与前一试验结果基本吻合。

(四) 压力稳定性检测, 从 0-48 kN 分级加载, 每级保持 1-3 min, 其压力值随时间延长虽然稍有降低, 但位移值在 3 分钟内保持不变, 进行补压至原来的压力值, 其位移值仍不变。标准液压源校验器的性能, 在每一级荷载停留一分钟, 其压力下降值不得超过该荷载的 1%。我们的检测在该范围内。

(2) 位移变送器的检测标定

用标准规块 500-5 000  $\mu\text{m}$  分别标定检测, 其压头位移数字显示的精度不低于 0.5% FS。

(3) 对压力、位移、应变三项稳定性检测标定

对压力、位移、应变三项稳定性检测标定同时进行, 仍采用标准钢块, 作卸压和补压实验。压力升至一定值, 保持 2 min, 稍有下降, 进行补压, 其位移值基本不变, 卸压至低值后再加至原来的压力值, 仍恢复到原来的位移数值。详见表 1 和图 4, 5。图 5 中 A 为常数; B, C 同上。

(4) 对花岗岩和大理岩试样进行单轴压缩实验

表 1 压力、位移、应变三项稳定性标定  
Table 1 Standardization of compressure, displacement, strain stability

加载、卸载	P kN	S $\mu\text{m}$	$\mu\epsilon$ $\times 10^6$	保持时间 min
	1	0	0	
补压	5.0	26	100	2
	4.9	26	99	
	5.0	26	99	
补压	10.0	44	218	2
	9.9	43	217	
	10.0	44	219	
补压	15.0	58	335	2
	14.7	58	334	
	15.0	58	335~336	
补压	20.0	71	454	2
	19.6	71	452	
	20.0	71	454	
补压	25.0	82	573	2
	24.4	82	569	
	25.0	82	573	
补压	30.0	92	691	2
	29.1	92	685	
	30.0	92	691	
补压	35.0	102	810	2
	33.9	102	803	
	35.0	102	810	
补压	40.0	112	927	2
	39.2	113	923	
	40.0	112	927	
补压	45.0	121	1042	2
	44.5	122	1040	
	45.0	122	1042	
卸压至	11.8	52	273	
加压至	45.0	121	1045	
卸压至	10.7	49	247	
加压至	45.0	122	1045	

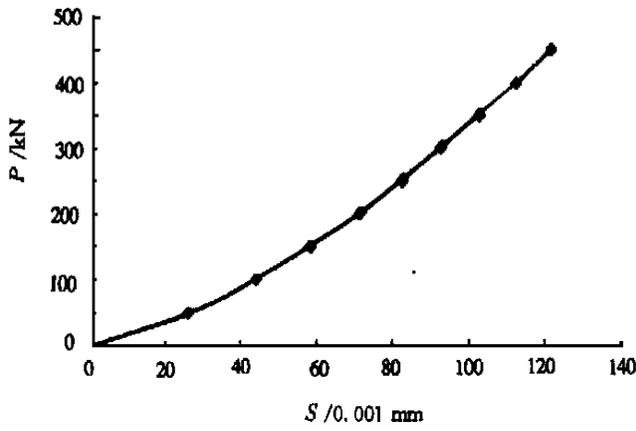


图4 压力-位移曲线(钢试件)  
Fig. 4 Compressure-displacement curve

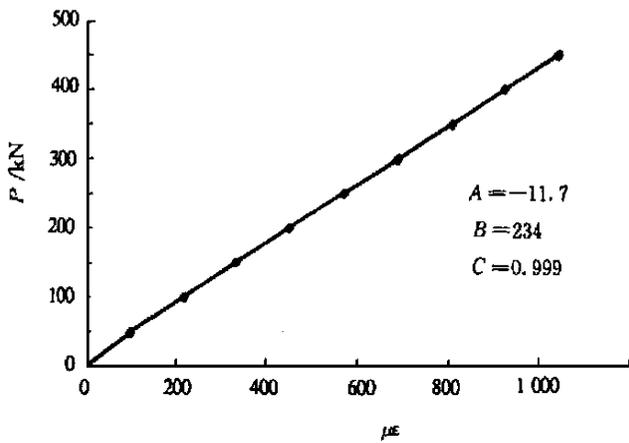


图5 压力-应变标定曲线(钢试件)  
Fig. 5 Compressure-strain calibrating curve

这两种岩石制备的岩样, 尺寸为 15 mm × 15 mm × 45 mm, 10 mm × 10 mm × 30 mm, 并分别在七块 15 mm × 15 mm × 45 mm 的试样中间贯穿直径为 4 mm 小圆孔, 进行单块岩样单轴压缩实验, 在光学体视显微镜下观察试样在加载过程中岩样细观结构的变形破坏全过程, 得到了各岩样的应力-应变曲线及相对应的细观结构(裂纹产生、扩展延伸过程)的照片, 见图 6~ 10。试

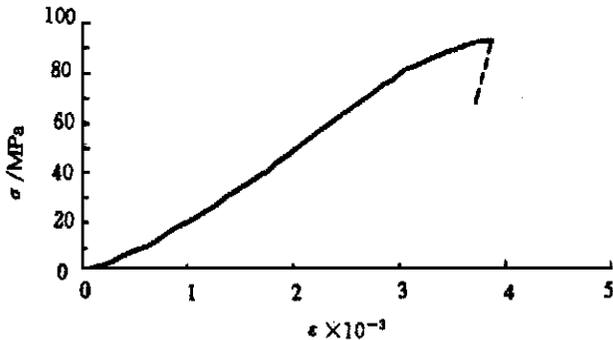


图6 大理岩(15 mm × 15 mm × 45 mm)  
应力-应变曲线(试样突破碎见图 10)  
Fig. 6 Stress-strain curve of marble  
samples(15 mm × 15 mm × 45 mm)

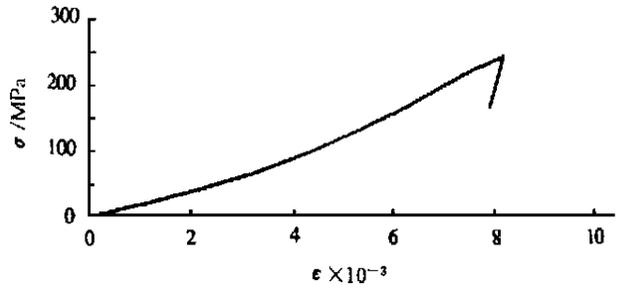


图7 花岗岩(10 mm × 10 mm × 30 mm)应力-应变  
曲线(试样突破碎)  
Fig. 7 Stress-strain curve of  
granite samples(10 mm × 10 mm × 30 mm)

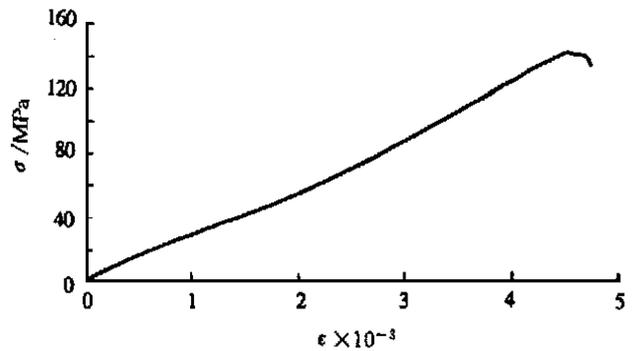


图8 花岗岩(15 mm × 15 mm × 45 mm 中间小孔 φ4 mm)  
应力-应变曲线(试样破裂, 图 9)  
Fig. 8 Stress-strain curve of granite  
samples  
(15 mm × 15 mm × 45 mm, with a φ 4 mm centred hole)

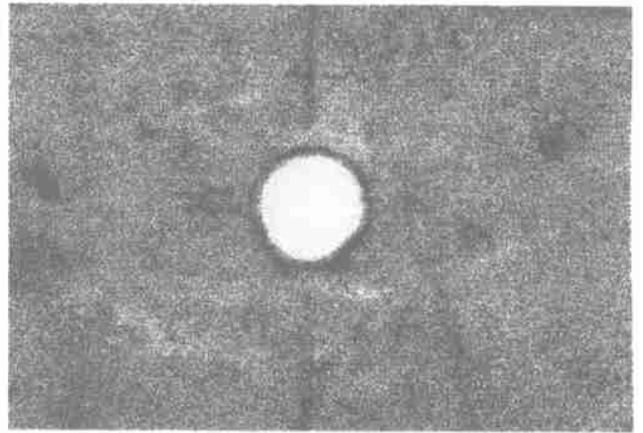


图9 花岗岩(15 mm × 15 mm × 45 mm 中间小孔 φ4 mm)  
试样破裂全景(裂纹在小孔两侧, 基本上平行压力方向)  
Fig. 9 Whole picture of the fractured granite  
samples  
(15 mm × 15 mm × 45 mm, with a φ 4 mm centred hole)

验结果表明均能满足岩石细观力学试验研究的要求。

#### 4 主要技术指标

加载仪最大加载值为 50 kN, 压头沿 X 轴方向加  
压, 压头行程不小于 5 mm。



图10 花岗岩(10 mm×10 mm×30 mm)试样裂纹缝端部  
Fig.10 Crack tips in the granite samples  
(10 mm×10 mm×30 mm)

试验中,岩样连同压头可转动四个观察位置(每个位置相差 $90^\circ$ );岩样能连同压头在所需观测的范围内沿 $X$ 、 $Y$ 轴方向平缓地移动,使每个观察平面上的每一点均可被观测。

加载仪精度: ①平台沿 $X$ 、 $Y$ 轴方向移动,机械读数精度不低于0.1 mm; ④加载过程中压头位移数字显示精度不低于0.5% FS; ④加载过程中荷载数字显示精度不低于0.5% FS。

## 5 仪器的特点和功能

(1) 岩石细观力学加载仪配装在光学体视显微镜

下,可很直观地观察岩石在受力过程中其细(微)观结构变化的状态,并可获得应力-应变曲线和相对应的照片,为研究岩石变形破坏的机理提供科学、直观的实验依据。

(2) 制备的岩样为长方形,尺寸有10 mm×10 mm×30 mm和15 mm×15 mm×45 mm二种。

(3) 加载平台可以旋转,每个位置相差 $90^\circ$ ,可以观察试件四个平面的细观结构,为三维计算提供信息依据。

(4) 加载平台增加 $X$ 、 $Y$ 轴方向的移动百分微尺,可以任意移动试件每个观察点,并读出移动的距离数字,为进行网格观测和连续拍照提供条件。

(5) 用压力变送器与智能型数字显示仪及位移变送器 and 位移传感器代替了原来的压力表和百分表,使其测量精度增加,并且可直接测读荷载值和位移值。

(6) 用标准液压源的两用校验器,操作较轻便和省力。

(7) 设备制造成本低。

## 6 结 语

如果在现行的岩石细观力学加载仪上配装高分辨的显微镜,微机、图像仪和安装三个方向的摄像仪等,该仪器可成为一种具有较高自动化程度,适用于岩石力学细(微)观实验研究方面的先进的实验仪器。

## 会 讯

### 第六次全国岩石力学与工程学术大会及 四届三次理事会将于2000年10月24~27日在武汉召开

由中国岩石力学与工程学会主办,中国科学院武汉岩土力学研究所、水利部长江水利委员会承办的第六次全国岩石力学与工程学术大会及四届三次理事会将于2000年10月24~27日在武汉东湖听涛宾馆召开,大会的主题是新世纪岩石力学与工程的开拓和发展。

大会征文共收到论文260多篇,经过论文评审委员会评审,约有230篇论文收录到会议论文集中。大会将采用青年工作者论坛、热门课题讨论等方式分组进行学术交流,会议期间将颁发优秀论文奖,同时举办会议成果发布与产品介绍会后,组织前往三峡大坝工程考察。

热情欢迎岩石力学与工程界人士及关心岩石力学与工程发展的各界人士参加本次学术大会,有意者请与大会秘书处联系。

大会秘书处: (027)87869263 黄理兴

(027)87869250 唐文生

传 真: (027)87869203 (027)87863386

E - mail: lxhuang@dell.whrsm.ac.cn