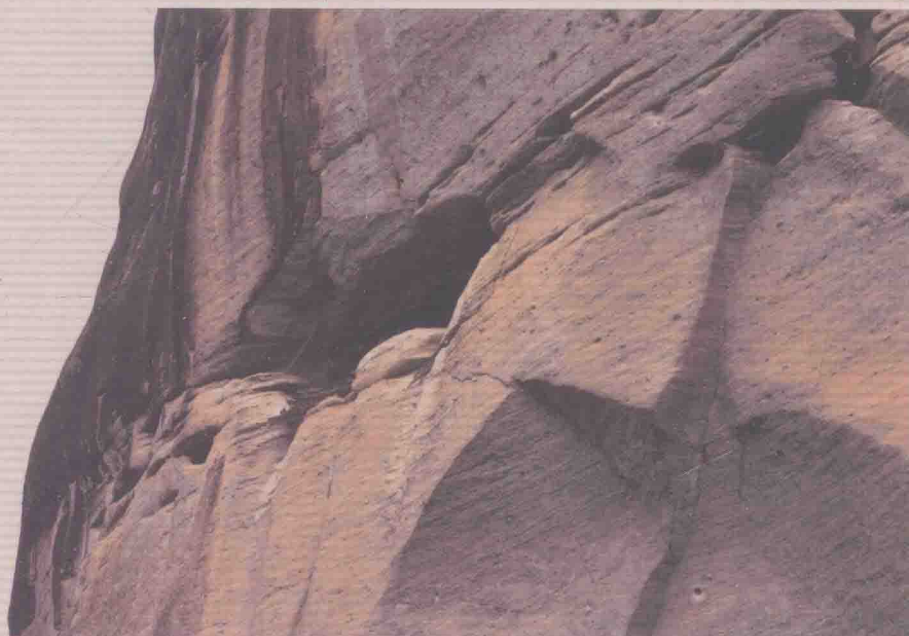


岩石力学实验指导



吴 姜 © 编 著



贵州大学出版社
Guizhou University Press

岩石力学实验指导



吴 姜 © 编 著



贵州大学出版社
Guizhou University Press

图书在版编目 (C I P) 数据

岩石力学实验指导 / 吴姜编著. -- 贵阳 : 贵州大学出版社, 2015.11

ISBN 978-7-81126-810-2

I. ①岩… II. ①吴… III. ①岩石力学—实验—教材

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 241544 号

岩石力学实验指导

作 者: 吴 姜

责任编辑: 但明天

出版发行: 贵州大学出版社

印 刷: 贵阳精彩数字印刷有限公司

开 本: 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张: 10.5

字 数: 270 千字

版 次: 2015 年 11 月 第 1 版

印 次: 2015 年 12 月 第 1 次印刷

印 数: 1—1000 册

书 号: ISBN 978-7-81126-810-2

定 价: 39.00 元

版权所有 违权必究

本书若出现印装质量问题, 请与本社联系调换

电话: 0851-88292951



本书是为采矿工程、岩土工程等专业的学生编写的实验教材。全书分为岩石力学实验、土工实验、矿山测试技术实验、矿山压力及控制实验和综合设计实验五个部分。主要介绍了实验的基本原理和具体实验操作方法。

早在 1992 年,矿业学院针对采矿工程专业,独立开设了岩石力学实验课程,该课程包含《岩石力学》《矿山压力测试技术》《矿山压力及控制》《相似模拟》等实验课程。1995 年我院新开设岩土工程专业,因此又将《土工实验》中的部分实验整合到岩石力学实验课程中。

本书内容主要参照《煤和岩石物理力学性质测定方法》GB/T 23561.1-2009、《水利水电工程岩石试验规程》SL 264-2001、《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266-2013、《土工试验规程》DT-92 等编写。

本书由吴姜主编,其中第四部分由韩森编写,其余部分由吴姜编写。由于水平有限,书中不当和错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

项目一 岩石力学实验	1
任务一 煤、岩石力学性质采样的一般规定	3
任务二 岩石的物理及水理性质	7
实验一 岩石含水率实验	7
实验二 岩石吸水性实验	8
实验三 岩石视密度实验	11
实验四 岩石真密度的实验	15
实验五 岩石孔隙率实验	16
实验六 岩石的渗透性实验	18
任务三 岩石的强度实验	21
实验七 岩石单轴抗压强度及软化系数实验	21
实验八 岩石单轴抗拉强度实验	23
实验九 岩石单轴抗剪实验	25
实验十 纯剪条件下单轴抗剪强度实验	29
实验十一 岩石点载荷强度指数实验	31
实验十二 岩石硬度塑性实验	35
实验十三 煤岩的坚固性系数测定实验	37
实验十四 煤层顶底板分类时岩石单轴抗压强度简易测定方法	38
任务四 岩石变形实验	41
实验十五 岩石在单轴压缩状态下的变形参数实验	41
实验十六 岩石三轴实验	45
任务五 软岩力学特性实验	51
实验十七 软岩耐崩解性指数测定实验	51
实验十八 软岩膨胀率测定实验	53
实验十九 软岩膨胀应力测定实验	57
项目二 矿山测试技术	61
实验二十 电阻应变片粘贴技术实验	63
实验二十一 电阻应变片温度效应及补偿实验	64

实验二十二	平面应力的测试方法实验	67
实验二十三	差动电阻式位移传感器的标定实验	69
实验二十四	岩体声波检测仪及换能器的使用与测试基础实验	73
实验二十五	光弹性实验方法观察实验	78
项目三	矿山压力及控制	81
实验二十六	顶底板相对移近量及巷道两帮移近量观测实验	83
实验二十七	支柱载荷观测实验	85
实验二十八	综采支架载荷及立柱下缩观测仪器的使用	91
实验二十九	采区巷道支承压力分布观测仪器实验	95
项目四	土工实验	97
实验三十	试样制备及饱和实验	99
实验三十一	颗粒分析实验	103
实验三十二	土的液塑限实验	112
实验三十三	土的固结实验(快速法)	121
实验三十四	土的剪切实验	126
实验三十五	土的击实实验	129
项目五	综合性、设计性实验	133
附录 A	岩石、土的工程分类	137
附录 B	岩石参数参考值	142
附录 C	岩土力学实验在工程中的应用	146
附录 D	学生实验守则	152
附录 E	综合性实验成绩评定标准	153
附录 F	实验成绩评定办法	154
实验报告模板		157
参考文献		161

目 一

岩石力学实验

岩石力学的研究对象是各类岩体，采用力学原理和方法研究岩石或岩体在外力作用下的变形与破坏规律，是解决所有岩石工程技术问题的理论基础，是一门力学和地学相结合的应用性基础学科。通过岩石力学实验了解岩块的基本物理力学性质及其破坏机制，研究在工程建筑物荷载作用下基岩或围岩的工程性状，为工程地质评价和工程建筑物设计提供依据。



任务一 煤、岩石力学性质采样的一般规定

1. 煤和岩石采样工作的重要性

煤和岩石采样工作是决定煤和岩石物理力学性质测定结果正确性和可靠性的重要因素。在选择采样方法以及在采样操作过程中,应使试样原有的结构和状态尽可能不受破坏,以便最大限度地保持煤岩试样原有的物理力学性质。

2. 采样地点的选择

采样地点应符合研究的目的和要求,应特别注意煤岩试样的代表性。在研究某一局部地点的岩石性质时,应在研究地点附近,寻找具有代表性的采样点采样;应根据岩性变化情况,分别在几个具有代表性的采样点采样;当岩层岩性变化较大时应分别在上、中、下不同部位采样。每组煤岩试样应采自岩性相同的同一层位。对岩性变化大的岩层,禁止将从不同地点和不同部位采取的煤岩试样编为一组。

3. 采样方法及规格

采样方法分为打钻采样和直接采样。

打钻采样：即钻孔套取岩芯。钻孔采样应尽量垂直层面打钻，倾斜不大于 5°，有特殊困难（如倾角大的岩石层在地面打钻）不能达到上述要求时，应注明倾斜角度。

直接采样：即在工作面、采空区、煤壁等处直接采取样品，所采煤岩试样规格大体为长×宽×高为=20cm×20cm×15cm。

4. 煤岩试样编号

- (1) 按行业标准对煤岩试样进行编号。
- (2) 对采样的煤岩试样进行记录，填写送验单（见表 1-1），即对取样地点、取样方法、煤和岩石类型、编号、尺寸、地质描述、贮藏环境、层理方向等进行记录。在试样上用符号“↑”标明其层理方向，箭头垂直层理面如图 1-1 所示。

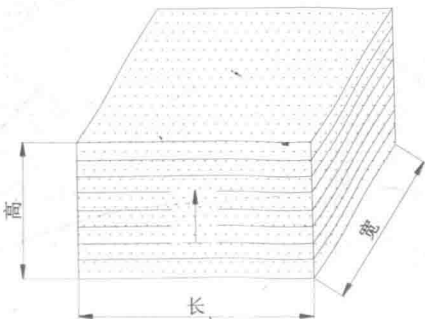


图 1-1 采集的煤岩试样规格及标记示意图

(3) 封装。将采好的样品迅速用皮纸包好，写上编号立即浸蜡整体封固，装入四周充填木屑的箱内并封紧。在装箱时放入填写好的煤岩试样送验单——表 1-1，一式两份，一份寄给实验单位，一份由委托单位留底。

表 1-1 煤岩试样送验单

送样单位：_____ 送样日期：_____

编号	名称	采样日期	采样方法	采样地点	试样描述	柱状图	层次	累厚	层厚	距地表深度	试样尺寸(cm)			试验要求	备注
											长(直径)	宽	高		

注：①试样描述，包括采样地点附近的地质构造、裂隙、节理、颜色、颗粒、胶结物、煤岩层沿厚度变化情况。

②柱状图，应作详细的分层图。

(4) 煤岩试样的制备。

① 加工机械

- a. 对成形试样：取样机、切面机、磨石机、检验平台、百分表及表座、钢尺等。
b. 对岩粉：破碎机、粉碎机、瓷或玛瑙研钵，以及 $\phi 0.2\text{mm}$ 、 $\phi 0.3\text{mm}$ 分样筛等。

② 制备设备

烘箱、真空抽气装置、干燥器、大盆等。

5. 各项实验所需标准件尺寸、精度及最低数量

每组煤岩试样的数量，应满足试件制备的需要，按要求测定的项目确定。考虑到加工中的损耗以及偏离度大于 20% 时试样数量要适当增高等因素，采样时一般应按表 1-2 中所列数量的两倍采取。对于软岩，采样的数量还应更大一些。

表 1-2 各项实验所需标准样尺寸及精度与最低数量

测定项目	标准试样尺寸及精度	标准试样最低数量	备注
真密度	岩粉	300 克	
视密度		3 个	用量积法测视密度时可采用测定力学性质的试件。用不规则试样时，可用加工规则试样剩余的边角料
吸水性		3 个	
含水性		3 个	
单轴抗压	$\phi (50-70)^{+0.6-0.2}$, $h=2D^{\pm 0.2}$; $50 \times 50 \times 100^{\pm 0.2}$	3 个	
变形参数	$\phi (50-70)^{+0.6-0.2}$, $h=2D^{\pm 0.2}$; $50 \times 50 \times 100^{\pm 0.2}$	3 个	
三轴实验	$\phi (50-70)^{+0.6-0.2}$, $h=2D^{\pm 0.2}$; $50 \times 50 \times 100^{\pm 0.2}$	9 个	
单轴抗拉	$\phi (50-70)^{+0.6-0.2}$, $h=0.5D^{\pm 0.2}$; $50 \times 50 \times 25^{\pm 0.2}$	3 个	
变角剪	$\phi (50-70)^{+0.6-0.2}$, $h=2D^{\pm 0.2}$; $50 \times 50 \times 50_{-0.01}^{+0.3}$	9 个	
纯剪	$\phi 25^{+0.1}$, $h=2D$	3 个	
坚固性系数	每块直径约 (20~30)	1000 克	不规则试样
膨胀率	$h=20$, $D \geq 2.5 h$	3 个	
膨胀应力	$h=20$, $D \geq 2.5 h$	3 个	
耐崩解性	大致为球形 40~50 (克/个)	10 个	不规则试样
点荷载强度	$D=50$, $h=(0.8 \sim 1.4) D$	5 个	规则实验
	双点间距 30~50	15 个	不规则实验
渗透性	$\phi^{+0.6-0.2}$, $h=1D^{\pm 0.2}$	3 个	

6. 试件的含水状态及制作方法

岩石试件的含水状态对岩石的强度有着显著的影响,因此必须根据实验需要选择各种煤岩试样的含水状态。

(1) 天然含水状态: 岩石在天然状态下的含水状态称为天然含水状态。

(2) 自然含水状态: 将制备好的试件放在底部有水的干燥器内 1~2 天, 并保持一定的温度但试件不得接触水面, 此时试件的含水状态称为自然含水状态。

(3) 干燥含水状态: 将制备好的试件放入烘箱内在 105~110℃ 恒温下烘干 24 小时至恒重, 此时试件的含水状态称为干燥含水状态。

(4) 风干含水状态: 将制备好的试件放在空气中 1~2 天, 此时试件的含水状态称为风干含水状态。

(5) 水饱和含水状态: 采用特殊方法使岩石吸水到极限值, 达到水饱和状态, 此时试件的含水状态称为水饱和含水状态。

水饱和含水状态有两种制备方法: 煮沸法和真空抽气法。

煮沸法: 将制备好的干燥试件放入煮沸器内, 注水高出试件 3~4 厘米。煮沸 3~4 小时, 在煮

沸过程中应保持水面高于试件, 待冷却至室温后取出试件, 再放入盛水盆中。在实验时需用湿毛巾擦去试件表面的水分。

真空抽气法: 将制备好的干燥试件放入真空抽气装置中, 如图 1-2 所示。试件间距不得小于 2 厘米。接上抽气系统, 所有连接处均不得有漏气现象。开动真空泵抽气 20~30 分钟 (抽气真空度保持在 740 毫米汞柱负压), 然后打开三通, 慢慢将水注入真空抽气罐内至水面高出试件 2~3 厘米, 继续抽气直至试件表面不再有气泡冒出为止。关闭真空泵, 扭转三通活塞使真空抽气罐与大气相通, 然后从真空抽气罐中取出试件。全部浸入盛水的容器中静置 4 小时以上。实验时需用湿毛巾擦去试件表面的水分。

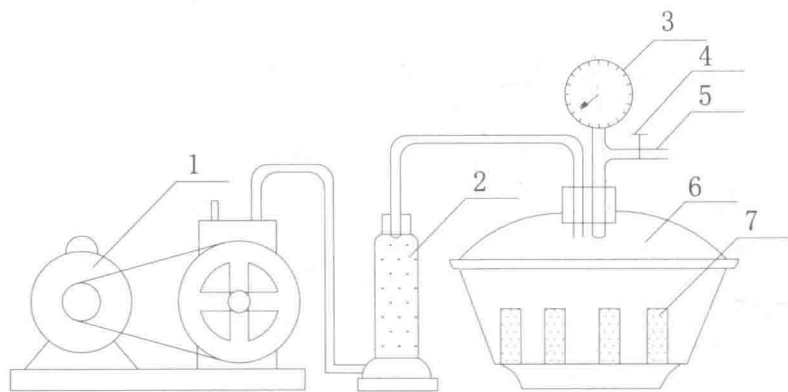


图 1-2 真空抽气装置

1-真空泵; 2-干燥塔; 3-应力表; 4 进水阀; 5-进水管; 6-干燥器; 7-试样



任务二 岩石的物理及水理性质

物体具有三相性，即固态（煤、岩）、液态（水）和气态（空气、甲烷等）。煤岩的物理性质是指岩石三相组成部分的相对比例关系不同所表现的物理状态，主要有密度、渗透性、孔隙性等。煤、岩等物质在水的作用下表现出来的力学、物理、化学性质称为岩石的水理性，主要有吸水性、软化性、抗冻性、渗透性等。

实验一 岩石含水率实验

一、实验目的

1. 了解测定岩石天然含水率的意义。
2. 学习、掌握岩石天然含水率测试方法。

二、实验原理

岩石在天然状态下所含水分的质量与岩石烘干后的质量之比即为岩石的含水率。

$$W_t = \frac{g_1 - g}{g} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中: W_t —岩石的天然含水率 (%);

g_1 —保持天然水分的试件质量 (g);

g —烘干的试件质量 (g)。

三、实验设备

实验仪器: 小锤、钢丝刷、烘箱、干燥器、天平 (最大称量 1000g, 感量 0.01g) 等。

四、实验内容及步骤

(1) 从蜡封的岩石试件中取得保持天然含水状态的质量不小于 50g 的试件三块, 并立即称重得 g (g)。

(2) 将试样放入烘烤箱中, 在 $105 \sim 110^\circ\text{C}$ 下干燥 24 小时后取出, 再放在干燥器中待冷却至室温, 称重 g_1 (g)。

(3) 测定结果计算。

按公式 (1-1) 计算岩石的天然含水率。

实验平行测定三次, 取算术平均值, 计算结果取两位小数。

五、思考题

简述岩石天然含水率的意义。

实验二 岩石吸水性实验

一、实验目的

学习、掌握自然吸水率、强制吸水率的测定方法。

二、实验原理

遇水不崩解的岩石的吸水性是指在一定的实验条件下岩石吸入水分的能力, 通常用自然吸水率和强制吸水率来表示。

自然吸水率 W_z : 试件在大气压力作用下吸入水分的质量与试件烘干质量之比。

$$W_z = \frac{g_1 - g}{g} \times 100\% \quad (2-1)$$

饱吸（强制）水率 W_b ：试件在真空加压条件下吸入水分的质量与试件烘干质量之比。

$$W_b = \frac{g_2 - g}{g} \times 100\% \quad (2-2)$$

式中： g_1 —试件自然吸水后的质量（g）；

g_2 —试件饱吸（强制）吸水后的质量（g）；

g —试件烘干后质量（g）。

三、实验设备

实验仪器：小锤、烘箱、干燥器、天平（最大称量 1000g，感量 0.01g）等。

含水状态制备设备：真空抽气装置（见图 1-2）或煮沸器天平、盛水容器、玻璃棒、铅盒、钢丝刷、毛刷等。

四、实验内容及步骤

1. 自然吸水率测定步骤

（1）从岩样中选取具有代表性的边长约 4~5 厘米的近似立方体的岩样三块作为试件，注意不得出现人为裂隙，消除其表面上粘着物 and 易脱落的岩屑。

（2）将试件放在 105~110℃ 的烘箱中，烘至恒重后取出，放入干燥器中冷却至室温后在天平上称得干重 g （g）。

（3）在盛水的容器中放置几根直径相同的玻璃棒，每根玻璃棒间距 1~2 厘米。将岩块架在玻璃棒上，每块试件间距 1~2 厘米。

（4）向容器中注水至试件的 1/4 高度处，以后每隔 2 小时注水一次，每次注水量为使容器液面升高数等于试件高度的 1/4，直至最后液面高出试件 1~2 厘米为止。

（5）24 小时后将试件取出，用湿毛巾擦去表面水分，第一次称重后仍放回水容器中，以后每隔 24 小时称重一次，直至最后两次质量之差值不超过 0.05 克为止，最后一次的称重即为试件吸水后的质量 g_1 （g）。

2. 强制吸水率测定步骤

（1）、（2）与自然吸水相同。

（3）将烘干后的试件放在真空抽气罐内的带孔板上（或煮沸器），其间距不得小于 2 厘米。

（4）接上抽气系统，所有连接处不得漏气。

（5）开动真空泵使真空度保持在 640 毫米汞柱负压，抽气 20~30 分钟，然后打开三通活塞，慢慢将水注入真空抽气罐内，至水面高出试件 2~3 厘米后，再继续抽气，直至试件表面不再有气泡冒出为止。关闭真空泵，扭转三通活塞，使真空抽气罐与大气相通。

- (6) 从真空抽气罐中取出试件，全部浸入盛水的容器中，再静置 4 小时以上。
- (7) 取出试件，用湿毛巾擦去表面水分，称吸水质量得 g_2 (g)。
- (采用煮沸法：将试件放入煮沸器内煮沸 1 小时，然后全部浸入盛水的容器中，再静置 4 小时以上。)

3. 计算整理

按公式 (2-1)、(2-2) 计算自然吸水率和强制吸水率。实验平行测定三次，取算术平均值，计算结果取两位小数，并将数据填入表 2-1 中。

表 2-1 岩石含水率、吸水率测定记录表

试样 编号	岩 性	试样 烘干 质量 (g)	试样饱和吸水率 W_b (%)			试样自然吸水率 W_z (%)			试样天然含水率 W_e (%)		
			饱和吸 水量 (g)	吸水 率	平均吸 水率	自然 吸水 量(g)	自然 吸水 率	平均自 然吸水 率	天然 重(g)	天然 含水 率	平均天 然含水 率

五、思考题

1. 制备饱和吸水试样时，抽气或煮沸的实质是什么？为何实验前取出饱和吸水试样时，要用湿毛巾擦去表面水分？
2. 岩石试样有哪几种含水状态？如何制备？
3. 分析实验结果。

实验三 岩石视密度实验

一、实验目的

1. 了解各种视密度试件的制备方法。
2. 熟悉天平和游标卡尺的使用方法。
3. 掌握两种实验方法的原理。

二、实验原理

1. 岩石视密度

岩石视密度是指单位体积岩石（含孔隙）的质量。岩石的视密度不仅与组成岩石的成分有关，而且与岩石的孔隙度及含水状态有关。根据岩石试件的含水状态不同，岩石视密度分为干视密度、天然视密度、自然视密度和饱和视密度。

天然视密度是指岩石在天然含水状态下的视密度，记为 ρ_t 。其计算公式为

$$\rho_t = \frac{g_t}{V_t} \quad (3-1)$$

式中： g_t —天然含水状态下岩石质量（g）；

V_t —天然含水状态下岩石的体积（ cm^3 ）。

干视密度是指试件在 $105 \sim 110^\circ\text{C}$ 恒温下烘干 24 小时后的视密度，记为 ρ_g 。其计算公式为

$$\rho_g = \frac{g_g}{V_g} \quad (3-2)$$

式中： g_g —岩石试件干燥至恒量时的质量（g）；

V_g —干燥含水状态下岩石的体积（ cm^3 ）。

自然视密度是指岩石试件自然吸水后的视密度，记为 ρ_z 。其计算公式为

$$\rho_z = \frac{g_z}{V_z} \quad (3-3)$$

式中： g_z —自然含水状态下岩石质量（g）；

V_z —自然含水状态下岩石试件的体积（ cm^3 ）。

饱和视密度是指岩石试件饱和吸水后的视密度，记为 ρ_b 。其计算公式为

$$\rho_b = \frac{g_b}{V_b} \quad (3-4)$$

式中： g_b —水饱和状态下岩石试件的质量（g）；