

岩石强度特性的单轴压缩试验研究

郭中华¹ 朱珍德² 杨志祥³ 周云东²

(1. 东南大学交通工程学院, 江苏 南京 210096 2. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098;
3. 杭州市堤塘工程建设管理处, 浙江 杭州 310016)

摘要:以宜兴抽水蓄能电站所提供的岩芯为例,对该电站岩芯的强度特性进行研究,依据单轴压缩试验结果分别提出了风干状态下岩石的单轴抗压强度与高径比,自然状态、饱和状态下岩石的单轴抗压强度与横截面积之间的非线性关系式.该式可以很方便地在有关工程中为相似岩石估算其强度值提供参考.

关键词:单轴压缩试验;单轴抗压强度;应力应变;砂岩;灰岩

中图分类号: TU459+.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-198X(2002)02-0093-04

试件在单向压缩时能承受的最大压应力称为单轴抗压强度(简称抗压强度).岩块的单轴抗压强度是一个用来说明岩块的一般力学性质的最简单的指标,在研究岩块分类以及确定破坏判据和莫尔包络线时,常常都要用到它.由于获得这个试验指标比较简单,计算也方便,而且它与抗拉强度和抗剪强度之间有着一定的比例关系,如抗拉强度为它的3%~30%,抗剪强度为它的7%~15%^①,从而可借助于它大致估算抗拉强度和抗剪强度.因此单轴压缩试验是研究岩石力学性质的一种重要手段.

1 岩石试件性质及单轴压缩试验方法

1.1 工程实例简介

针对宜兴抽水蓄能电站所提供的岩芯试件,根据《岩石物理力学性质试验规程》,按照宜兴电站的要求,分别对3#西梅园(石英砂岩)、5#下库料场(长石砂岩)、玉山—南坝料场(灰岩)、芙蓉寺料场(灰岩)、五通组料场(压、软砂岩)、2#茅山组(压、软砂岩)以及4#洞挖料场(砂岩),共9种 $\varnothing 40\text{mm}$ 、高 $H = 80\text{mm}$ 的岩石试件进行单轴压缩试验.本次试验采用RMT-150B刚性伺服试验机,将9种岩样分成3组,即自然状态、饱和状态、风干状态,分别做单轴压缩应力-应变过程试验.

1.2 单轴压缩试验方法及条件

试件的单轴压缩试验是在RMT-150B岩石力学试验系统下进行的.该系统是专为岩石或混凝土一类的工程材料进行力学性能试验而设计的.它试验功能齐全、操作方便、自动化程度高,试验可完全在计算机控制下进行.

由于工程原址提供的岩芯直径为40mm,按照规范要求,笔者把试件高度定为80mm.试件加荷过程中,采用位移控制方式,位移速率为0.005mm/s.与力控制方式比较起来,它不仅可有效地防止岩块试件受压崩裂而对人员、仪器造成伤害,而且还能给出试件屈服后的应力应变关系曲线.根据工程的要求,分别对9种不同的岩石在不同含水状态(风干、自然、饱和)下进行单轴压缩试验,考虑到岩石力学性质离散性大的特点,故在各种状态下对同一岩石分别制备了7个以上的试件来试验.从试验结果看,其抗压强度、弹性模量、变形模量、泊松比和软化系数都是比较理想的.

2 试验成果及分析

2.1 强度及应力应变关系特性

2.1.1 应力应变关系特性

从图1~3所示的5种不同岩石(选自9种不同的岩石试件)在3种含水状态下的应力应变关系曲线可

可以看出以下两个特点：

a. 岩石的应力应变曲线的形状大体上是类似的，一般可分为压密、弹性变形和向塑性变形过渡直到破坏这样3个阶段。加荷初期，轴向应力的增加量随轴向应变的增加而增加，曲线呈上凹形状，这是由于岩石试件中的微裂隙或节理面压密而产生的^[1]。随后，在裂隙、弱节理面都闭合后，应力应变关系则具有近似于线弹性的性质，由于岩石中裂隙、节理面等的宽度不一样，则闭合的程度也不同，所以各曲线的线性部分长度也不同；当轴向应变继续增加，且岩石中的应力超过了其最大承载力，试件就开始破裂，应力应变曲线转向下降，其特点是试件在破坏初期仍保持一定的强度。有的试件在破坏后，应力还有部分回升的现象，这是因为破裂过程中孔隙结晶的崩坍使某些裂隙闭合的缘故，这种破坏称为稳定破裂型^[2]。

b. 由图2、3可知，不同的含水状态对岩石试件的强度特性有很大的影响，含水率越高，强度越低，砂岩与灰岩受含水状态影响的程度也有很大的差异，前者的软化系数比后者大。

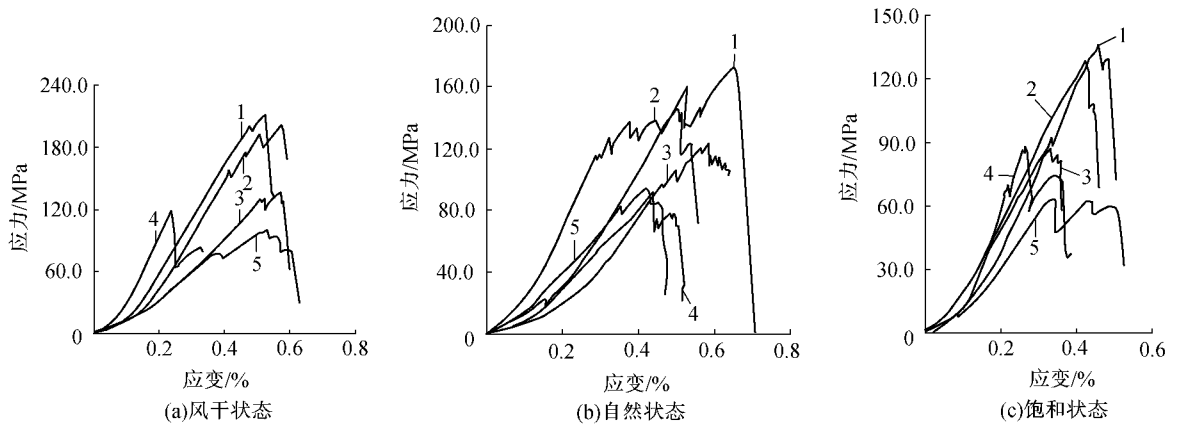


图1 轴向应力与轴向应变的关系

Fig.1 Relations of axial stress & axial strain for five kinds of rocks

1—西梅园料场五通组弱风化石英岩状砂岩 2—地下厂房洞挖料，茅山组弱风化岩屑(石英)砂岩 3—上水库库盆及进出水口开挖料，茅山组弱风化岩屑石英砂岩 4—玉山—南坝采石场弱风化浅肉红色厚层灰岩 5—芙蓉寺采石场的弱风化深灰色中层—薄层状灰岩

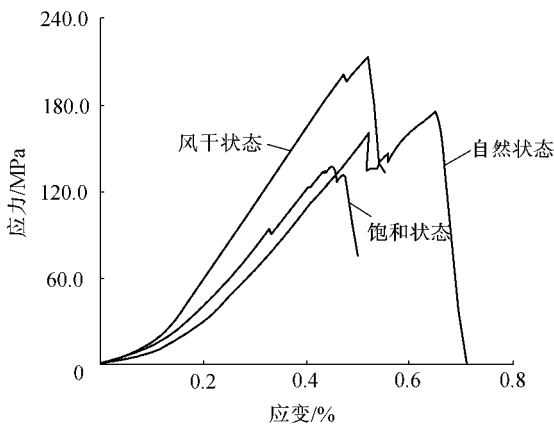


图2 西梅园料场五通组弱风化石英岩状砂岩轴向应力与轴向应变的关系

Fig.2 Relations of axial stress & strain of quartzous sandrock at Ximeiyuan stocking yard under three conditions

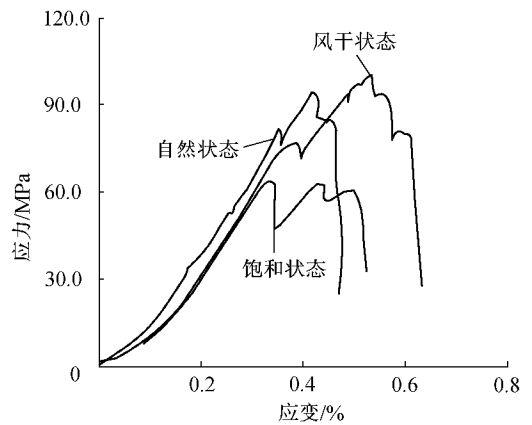


图3 芙蓉寺采石场的弱风化深灰色中层—薄层状灰岩轴向应力与轴向应变的关系

Fig.3 Relations of axial stress & strain of stratified limestone at Furongsi stone pit under three conditions

2.1.2 强度特性

研究表明，试件的高径比对单轴抗压强度有重要影响^①。本次试验采用的高径比为2左右，试件内的应力分布颇为均匀，岩石单轴抗压强度值已趋稳定，对其强度来说是合理的。笔者根据试验数据，采用回归分析

①潘别桐. 岩体力学. 武汉: 中国地质大学工程地质教研室, 1990.

方法得到如下一些关系式.

风干状态下岩石强度与高径比的关系为(结果见表 1)

$$\sigma_{cf} = \sigma_c^* [0.778 + 0.222(h/d)^{-1}] \quad (1)$$

式中: σ_{cf} ——任意高径比的试件在风干状态下的单轴抗压强度; σ_c^* ——高径比为 1 的试件在风干状态下的单轴抗压强度.

表 1 岩芯在风干状态、自然状态、饱和状态下的强度值

Table 1 Strength of rock core under air-drying natural and saturation conditions

岩石名称	风干状态				自然状态				饱和状态			
	σ_c^*/MPa	σ_{cf}/MPa		误差 /%	m_z	σ_{cz}/MPa		误差 /%	m_b	σ_{cb}/MPa		误差 /%
		理论值	实测值			理论值	实测值			理论值	实测值	
3# 西梅园料场石英砂岩	240.251	213.077	211.461	0.764	1.28	185.747	173.455	7.086	2.60	146.677	136.273	7.635
		213.856	223.096	4.142		186.866	198.424	5.825		143.411	151.476	5.325
		213.947	218.058	1.885		186.691	187.958	0.674		144.231	142.160	1.456
4# 洞挖料场砂岩	231.214	205.381	201.476	1.938	2.09	149.517	145.045	3.083	3.17	128.793	129.124	0.257
		205.898	216.321	4.818		153.227	150.928	1.523		123.446	116.830	5.663
		205.229	194.279	5.636		153.149	149.112	2.707		123.923	130.589	5.104
		205.062	211.461	3.026		152.138	163.455	6.923				
		205.139	199.046	3.061								
2# 茅山组(压)砂岩	150.365	133.977	136.145	1.592	1.50	112.459	123.015	8.581	2.92	86.052	87.710	1.890
		133.225	135.923	1.985		114.009	127.589	10.644		86.716	86.131	0.680
		133.215	130.695	1.928		113.803	102.613	10.905		85.985	84.952	1.216
玉山—南坝料场灰岩	130.623	116.188	118.996	2.360	1.25	100.205	91.584	9.413	2.14	84.852	88.716	4.355
		116.046	130.154	10.839		101.326	108.057	6.229		84.935	86.812	2.163
		116.215	101.784	14.178		101.606	112.674	9.823		84.757	79.133	7.107
芙蓉寺料场灰岩	113.172	100.496	100.295	0.200	0.96	92.715	94.429	1.815	3.22	63.574	64.460	1.374
		101.018	109.900	8.082		92.416	91.584	0.909		55.257	58.649	5.783
		100.242	93.452	7.266		93.487	92.632	0.923		59.266	51.207	15.738

试验结果又表明,强度随试件含水状态及横截面积不同而变化的规律可表示为(结果见表 1)

$$\sigma_{cz} = \sigma_c^* \left(\frac{d}{d_0}\right)^{m_z} \quad (2)$$

$$\sigma_{cb} = \sigma_c^* \left(\frac{d}{d_0}\right)^{m_b} \quad (3)$$

式中: σ_{cz} ——直径为 d 的试件在自然状态下的单轴抗压强度; σ_{cb} ——直径为 d 的试件在饱和状态下的单轴抗压强度; d ——试件的直径; d_0 ——试件的标准直径,取为 50 mm; m_z ——常数,其变化范围为 0.96 ~ 2.09; m_b ——常数,其变化范围为 2.14 ~ 3.22.

2.2 影响因素分析

抗压强度受到很多因素的影响与制约. 这些因素大体可分为两种: 其一是岩石本身因素的影响, 例如矿物成分、颗粒大小、胶结物、密度、孔隙比、含水量、生成条件及层理结构等; 其二是试验环境与物理环境的影响, 例如试件尺寸、形状、试件加工情况、压力机压头与试件之间的摩擦、加载速率及周围环境(如温度等). 限于工程要求的客观条件制约, 本次试验中矿物成分与含水量等因素影响较为明显.

2.2.1 矿物成分的影响

不同矿物组成的岩石, 具有不同的抗压强度, 这是由于矿物本身的特点, 不同的矿物有着不同的强度所致. 从图 1 可以看出, 石英砂岩的抗压强度比灰岩要大得多; 不过, 因受颗粒大小、胶结情况、生成条件等的影响, 由相同矿物组成的岩石, 其抗压强度也相差较大. 试验中同样含有石英颗粒的石英岩状砂岩的抗压强度就要比岩屑石英砂岩大.

2.2.2 含水量的影响

水对岩石的抗压强度有显著的影响,当水侵入岩石时,就顺着裂隙进入,润湿岩石全部自由面上的每个矿物颗粒.水分子的加入改变了岩石的物理状态,削弱了颗粒间的联系.在完全烘干状态下与饱和状态下所求得单轴抗压强度值有着一定的差别,这一差别在软岩中表现得更为突出,即前者的值往往要比后者大得多.由于孔隙中的水对岩石中矿物的风化、软化、泥化、膨胀以及溶蚀作用,使得在饱和状态下岩石单轴抗压强度有所降低.对于泥岩、粘土岩、页岩等软弱的岩石,两者的差别甚至可达2~3倍.而对于致密坚硬的岩石,两者的差别甚小^[3].由图2、3可知:风干状态下岩石抗压强度最高,自然状态次之,饱和状态最小.这表明,随含水量增加,抗压强度呈下降的趋势,而3#西梅园料场石英砂岩由风干状态到饱和状态抗压强度降低的幅度比芙蓉寺料场灰岩来得小,这是因为前者比后者坚硬、亲水性弱等的缘故.

3 结 语

a. 岩石的单轴压缩试验成果表明:应力应变关系曲线一般可分为压密、弹性变形和向塑性过渡直到破坏这3个阶段.由于微裂隙或节理面被压密,曲线形状呈上凹形状,随之应力应变关系曲线呈线性性质,在应力达到最大承载力后,曲线开始下降.

b. 从试验得到的关系式有: $\sigma_{cf} = \sigma_c^* [0.778 + 0.22(h/d)^{-1}]$, $\sigma_{cz} = \sigma_c^* (d/d_o)^{n_c}$, $\sigma_{cb} = \sigma_c^* (d/d_o)^{n_b}$.

c. 根据工程原址提供的岩芯试件,进行了9种不同岩样、3种不同含水状态的单轴压缩试验.结果表明:不同的矿物组成、颗粒大小、胶结情况及生成条件下,岩石具有不同的抗压强度.表现在:含石英的砂岩的强度比灰岩强度高,而石英岩状砂岩的强度比岩屑石英砂岩的高.含水状态对各种岩石影响的程度也不相同,但总的趋势是:随着含水量的增加,岩石的抗压强度将明显减小.这是因为水分子进入岩石裂隙中,削弱了颗粒间的联系,使强度降低,其强度降低的程度取决于岩石内孔隙的状况、组成岩石的矿物成分的亲水性和岩石中水分含量以及水的物理化学性质等因素.

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,1981.60~63.
 [2] 重庆建筑工程学院,同济大学. 岩体力学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1981.18~21.
 [3] 沈明荣. 岩体力学[M]. 上海:同济大学出版社,1999.12~16.

Study on Rock Strength Characteristics Based on Uniaxial Compression Tests

GUO Zhong-hua¹, ZHU Zhen-de², YANG Zhi-xiang³, ZHOU Yun-dong²

(1. College of Traffic Engineering, Southeast Univ., Nanjing 210096, China;

2. College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

3. Administrative Department of Hangzhou Embankment Engineering Construction, Hangzhou 310016, China)

Abstract: A study is performed on strength characteristics of rocks from the Yixing Pumped Storage Station. Some formulae are presented which reflect the non-linear relationships between uniaxial compressive strength and the height-to-diameter ratio of rocks under air-drying condition, and between the uniaxial compressive strength and the cross-sectional area of rocks under natural and saturation conditions. The formulae provide some reference for estimation of strength of similar rocks.

Key words: uniaxial compression test; uniaxial compressive strength; stress-strain; sandrock; limestone