

# 岩石室内试验结果相关性及离散性分析

胡爱连\*

(广东省佛山地质局, 佛山 528200)

**摘要: 目的** 本文结合佛山某地的花岗岩室内试验数据讨论其离散性和相关性, 分析造成离散的原因及减少离散的措施。**方法** 选取佛山某地花岗岩的10组样品进行室内物理性质、力学性质试验, 对数据进行统计分析。**结果** 该地区花岗岩的含水率、块体密度、颗粒密度和单轴抗压强度有一定的相关性, 也存在离散性。**结论** 分析测试结果的相关性及离散性, 有助于提高试验数据的参考价值, 为工程应用提供理论支持。**关键词:** 岩石室内试验; 物理性质; 力学性质; 影响因素; 相关性; 离散性

## Correlation and discrepancy analysis of rock indoor test results

HU Ai-Lian\*

(Foshan Geological Bureau of Guangdong Province, Foshan 528200, China)

**ABSTRACT: Objective** To discuss the dispersion and correlation of granite in Foshan, analyze the causes of the dispersion and the measures to reduce the dispersion. **Methods** 10 groups of granite samples from a place in Foshan were selected for laboratory tests of physical and mechanical properties, and the data were analyzed statistically. **Results** The water content, bulk density, particle density and uniaxial compressive strength of granites in this area have a certain correlation, and there are discretization. **Conclusion** Analysis of the correlation and discreteness of test results is helpful to improve the reference value of test data and provide theoretical support for engineering applications.

**KEY WORDS:** indoor testing of rocks; physical properties; mechanical properties; influencing factors; correlation; discreteness

## 0 引言

在岩体工程设计和岩土工程施工中, 必须了解岩石的工程性质。岩石的岩性指标, 按工程性质可分为物理性质、水理性质和力学性质指标。工程中常用的岩石物理性质主要有含水率、块体密度、颗粒密度等, 水理性质主要有吸水性、耐崩解性等, 力学性质主要有抗压强度、抗拉强度、抗剪强度、点荷载强度等。这些性质的测定可以由现场原位测试和室内试验测定得到。由于原位测试存在适用条件的局限性, 工程地质条件有时也较复杂, 有些试验在一定程度上较耗费人力、物力, 很多情况下不可能大量进行操作, 所以目前工程基本上是以室内测试为主, 因此工程应用时与岩石室内试验结果息息相关<sup>[1-2]</sup>。本文以佛山

某地花岗岩的室内试验相关数据为基础进行相关分析, 为工程应用提供可靠数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验样品

样品为佛山某地区工程地质钻孔芯样, 岩性为中等风化花岗岩。按照《GB/T 50266-2013 工程岩体试验方法标准》要求, 利用岩石切割机制备试样。单轴抗压强度在同一含水状态和同一加载方向下, 每组试验试件为3个<sup>[3]</sup>, 为建立各指标的相关性, 采用单轴抗压强度的试验试件作为测定块体密度的试件, 切割后边的角料测定岩石的含水率, 抗压强度测试后的样品通过破碎、筛分得到岩石粉体测定颗粒密度。

\*通信作者: 胡爱连, 工程师, 研究方向为岩土试验测试、化学分析。E-mail: 282949619@qq.com

\*Corresponding author: HU Ai-Lian, Engineer, Foshan Geological Bureau of Guangdong Province, Foshan 528200, China. E-mail: 282949619@qq.com

### 1.2 试验主要仪器

TYE-2000KE型微机控制电液伺服压力试验机及WD-300KE(Z)微机控制电子压力测试机,广州市广材试验仪器有限公司;电子数显游标卡尺,桂林广陆数字测控有限公司;JA2003电子天平,上海舜宇恒平科技仪器有限公司;抽气真空器,杭州热工仪器厂。

### 1.3 试验方法

量积法测定岩石的天然块体密度。采用烘干法,将待测试样在105~110℃的温度下烘24h,称量计算岩石的含水率;利用比重瓶法测定岩石的颗粒密度;将制备好的试件置于试验机承压板中心,使试件两端面与试验机上压板接触,以0.5~1.0 MPa/S的速度加载直至试件破坏,记录破坏荷载,计算

岩石单轴抗压强度<sup>[3]</sup>。

## 2 结果与分析

通过试验测试,得出10组数据,如表1。

### 2.1 物理性质试验结果的分析

从表1~2可以看出,该地区岩石的含水率变化范围0.23%~1.40%,块体密度在2.40~2.70 g/cm<sup>3</sup>,颗粒密度在2.60~2.80 g/cm<sup>3</sup>。结合图1分布来看,块体密度和颗粒密度离散性一般,但每组样品也存在明显差别,样品含水率离散性较大。岩石含水率与岩石块体密度和颗粒密度有一定的相关性,岩石空隙小越致密,块体密度大,颗粒密度大,样品含水量越低。

表1 试验测试数据  
Table 1 Experimental test data

岩石类型	组数	天然单轴抗压强度(MPa)	含水率(%)	块体天然密度(g/cm <sup>3</sup> )	颗粒密度(g/cm <sup>3</sup> )
中等风化花岗岩	1	62.8	0.28	2.62	2.70
		44.1	0.33	2.60	2.71
		33.9	0.34	2.59	2.69
	2	9.03	0.77	2.48	2.58
		13.8	1.13	2.38	2.55
		15.4	1.01	2.52	2.60
	3	20.9	0.40	2.61	2.69
		63.1	0.34	2.66	2.70
		30.1	0.32	2.58	2.70
	4	21.2	1.40	2.54	2.66
		22.0	0.35	2.56	2.68
		18.3	1.36	2.53	2.65
	5	20.9	0.52	2.57	2.65
		29.4	0.55	2.51	2.66
		21.3	0.45	2.49	2.65
	6	22.4	0.98	2.59	2.69
		19.1	0.85	2.57	2.70
		18.3	0.95	2.57	2.68
	7	68.9	0.34	2.62	2.72
		77.9	0.38	2.63	2.75
		52.0	0.36	2.61	2.75
	8	15.4	0.75	2.51	2.62
		9.58	1.02	2.54	2.62
		6.24	1.34	2.52	2.63
	9	53.1	0.49	2.72	2.75
		34.8	0.53	2.61	2.72
		52.3	0.53	2.62	2.73
	10	31.7	0.23	2.71	2.80
		45.2	0.23	2.70	2.78
			50.2	0.30	2.71

表2 物理指标分析  
Table 2 Physical index analysis

项目	含水率(%)	块体密度(g/cm <sup>3</sup> )	颗粒密度(g/cm <sup>3</sup> )
平均值	0.63	2.58	2.69
标准差	0.36	0.076	0.059
变异系数	0.58	0.029	0.022

### 2.2 力学性质测试结果的分析

结合表1、表3可以看出该地区花岗岩单轴抗压强度范围在6.0~80 MPa,变异系数0.60,离散性较大。图2、图3从含水率和块体密度值反映出一定的相关性,含水率越高,单轴抗压强度越低;块体密度越低,单轴抗压强度越低。

表 3 单轴抗压强度结果分析

Table 3 Analysis of uniaxial compressive strength results

项目	抗压强度(MPa)
平均值	32.8
标准差	19.6
变异系数	0.60

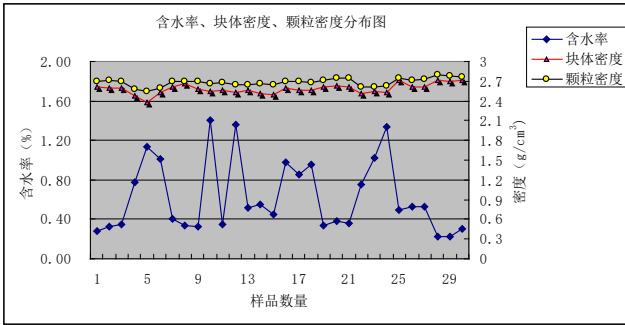


图 1 物理性质指标分布图

Fig.1 Distribution diagram of physical property indicators

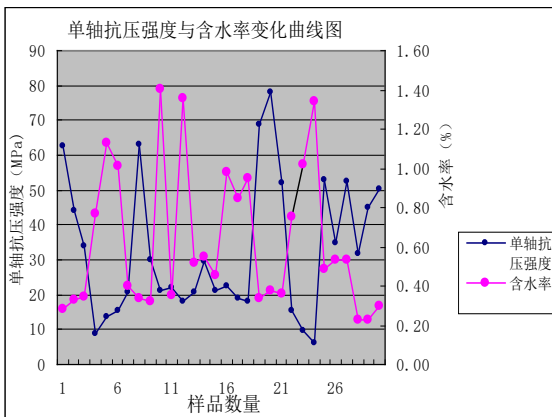


图 2 单轴抗压强度与含水率相关性

Fig.2 Correlation between uniaxial compressive strength and moisture content

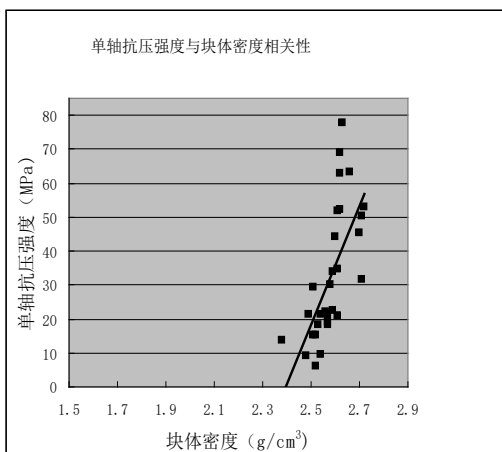


图 3 单轴抗压强度与块体密度相关性

Fig.3 Correlation between uniaxial compressive strength and block density

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

(1) 从影响岩石物理性质的因素来分析,有岩石的矿物成分、结构、孔隙充填物的物理性质等的影响, 另外有岩石所处地质环境的温度、压力等因素的影响。岩石的密度取决于岩石的矿物组成、结构构造、孔隙度: 矿物的密度是由构成该矿物各元素的原子量和矿物的分子结构决定的, 矿物成分中含密度大的矿物如石英较多, 密度就大; 岩石结构致密, 孔隙少的, 密度也相对大。而岩石含水率与岩石本身的性质、气候条件及地质构造等相关: 不同种类的岩石, 其孔隙度和孔径分布不同, 因此岩石含水率有所不同; 气候条件也直接影响着岩石的蒸发和孔隙中水分的渗透和压缩; 岩石的构造形态形成不同的孔隙度和孔径大小, 导致其含水率的变化。因此物理性质的相关性和离散性也是由这些影响因素决定。

花岗岩属于酸性岩浆岩中的侵入岩, 其密度主要由化学成分决定, 含水率主要由岩石结构和孔隙度决定。从酸性到超基性, 随着二氧化硅含量的减少和铁镁氧化物含量的增加, 侵入岩的密度逐渐增大。本试验测试样品的地区花岗岩矿物成分相对较单一, 因此同组试验结果密度呈现出较小的离散性, 主要区别是风化程度不同, 由于风化原因产生了黏土化, 不同组的样品密度差别较大, 如 1 组与 2 组、8 组相比较差别明显。风化过程导致岩石表面发生变化, 增加水分渗入的机会, 从而引起含水率的变化, 因此样品含水率呈现出一定的离散性。

(2) 从影响岩石抗压强度的因素来分析, 一方面是岩石本身强度性质, 如岩石的结构、矿物成分、胶结情况、生成条件、块体密度、层理和裂隙的特性及风化程度和温湿度情况等; 另一方面是试验条件, 如试件大小、试件的几何形状、试件加工情况和加荷速率, 以及取样数量与代表性问题等<sup>[4-9]</sup>。

路新景等人<sup>[10]</sup>在研究岩石单轴抗压强度优势尺寸及尺寸效应时, 提出岩石的尺寸效应与单轴抗压强度的离散性有关, 指出造成岩石强度离散性差异的主要原因可以从岩石内部存在的各种缺陷上解释。缺陷在岩石内部对整体来说影响较小, 但如果集中在一块特定尺寸的试件上来说就会放大影响, 这也是在试验规范中要求试件直径应大于岩石中最大颗粒直径的 10 倍<sup>[3]</sup>的原因。天然岩石在地质演变过程中微裂缝和空隙是岩石微观结构中常见的现象, 微结构裂隙有些肉眼可见, 有些不可见, 因此导致岩石强度的各向异性。裂隙多且面积大的样品, 对强度的影响比较大。对于结构而言, 结晶岩石和非结晶岩石、细结晶岩石和粗结晶岩石, 强度有明显区别。岩石的矿物成分及其相对含量对岩石的抗压强度也有很大的影响: 岩石中含石英、长石等硬度大的矿物多时, 岩块抗压强度会较高; 含云母、高岭石等硬度小的矿物多时, 岩块抗压强度则较低。再者岩石的

风化程度决定岩石的抗压强度,同种岩石内部矿物氧化程度可能不同,氧化厉害的抗压强度也就越低。

本试验中花岗岩抗压强度呈现离散性,主要与岩石的均匀性、风化程度相关。从其与块体密度的相关性也可以看出,如1、3、8、9组中抗压强度出现较大差别,结果的不一致性说明样品不均匀,有可能岩块中存在不可见的裂隙或者软弱夹层。在有风化现象的岩石样品中,主要是岩石表面结构呈现破碎和疏松状态,矿物成分也有所变化,从水分的变化可以看出,风化岩中这类矿物易受湿度影响,如2、4、6、8组含水率相对高很多,整体抗压结果都偏低很多。由此可以看出样品的不均匀和风化作用是导致该地区岩石强度降低的主要原因。

影响岩石的物理性质因素主要与自身有关,指标波动范围较小,只要有一定数量具有代表性的岩石测试,结果影响也相对小。而岩石力学性质相对复杂,指标变化范围大,容易出现离散,我们要准确区分是岩石本身情况反映的离散还是外界因素如试验条件、人为因素造成的试验离散。在试验前后可采取一定的措施,减少外界因素造成的离散性。

#### (1) 测试前样品的采集

为了取得具有代表性的岩样,必须根据取芯情况和分析目的,在现场选取岩样,适当加大取样密度。钻芯取样时减少对层理和软弱面的干扰,岩芯筒到地面后,为防止由于毛细管作用力使钻井液渗入岩芯内,应立刻将岩芯取出。倒出时,应注意上下层位,不得颠倒。避免产生人为破碎,出现人为裂缝。岩芯取出后,应迅速擦掉或用小刀刮掉泥浆,不能用水或其他液体加以冲洗。岩芯从取出、检查、排列、选样均应在最短的时间内完成。取具有代表性的样品,按照规范一组试验样品要有至少3个有效试件<sup>[3]</sup>,长度取到足够长。样品从地下取出后需进行标注和保护。

#### (2) 测试时试验因素的控制

试验中严格按照规范操作,注意细节的控制,如样品制备、试验样品数量、试验环境温湿度的控制、试验仪器的控制要素等。在试件制备中注意表面的光滑和平整度,这是保证物理性质和力学性质与样品实际相符的重要因素。在制备样品时对切割部位的选择很重要,样品选取代表性也是试验的关键。

#### (3) 结合采用原位测试

原位测试在工地进行,不用取样可以避免扰动,保持了岩体天然结构和环境状态,提高了与室内试验对比。测试的岩体体积大更能反映宏观结构对岩石性质的影响,所测指标的工程应用价值也较大。

## 3.2 结论

(1) 本试验中佛山某地区花岗岩岩石室内结果物理性质中含水率、力学性质抗压强度呈现较大的离散性,两者有一定的相关性。由于该地区花岗岩矿物成分相对单一,密度变化范围小,所以离散性一般。对于同组岩块,含水率、抗压强度值和密度的变化有关联。主要与岩石的均匀性和风化程度有关,尤其是从抗压强度值上表现较明显。样品不均匀,风化岩石含水率增大,抗压强度下降。

(2) 本试验花岗岩测试数据离散性符合该地区岩石特性。通过统计分析测试结果的相关性及离散性,可以准确判断试验数据与地质岩层情况的匹配性,有助于对该地区工程地质情况进行清晰地了解。

(3) 对于地质情况复杂的地区,在勘察采样时多布点采样,取样量上尽可能多,试验数据才能真实反映。还需要注意在试验前后采取有效措施避免一些其他因素干扰,如样品采集、试验因素的控制等,或者采取原位测试对比等。

## 参考文献

- [1] 常士骝.工程地质手册(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,1992.
- [2] 刘衍林,石颖.室内岩石试验结果的离散性分析[J].岩土工程界,2009,12(12),82-83,85.
- [3] 中华人民共和国国家标准.GB/T 50266-2013 工程岩体试验方法标准[S].北京:中国计划出版社,2013.
- [4] 连云飞,栾向军,石虹惠.岩石的抗压强度及影响因素分析[J].科技信息,2008,(03):19.
- [5] 王嫚,冯秋兰,孔祥斌.关于岩石单轴抗压强度影响因素的分析[J].西部探矿工程,2008,(04):44-45.
- [6] 尹玉英,尹立威.浅析岩石单轴抗压强度的影响因素[J].湖南水利水电,2002,(06):12-13.
- [7] 张蕊.岩石单轴抗压强度试验研究[J].地下水,2014,40(04):183-184.
- [8] 张东旭.室内岩石试验成果与岩体强度的相关性[J].世界有色金属,2017,(03):188,190.
- [9] 杨振,亓宪寅.探究岩石抗压强度的影响因素及试件破坏形态[J].四川建材,2021,47(03):87-88.
- [10] 路新景,李志敬,房后国,等.岩石单轴抗压强度优势尺寸及尺寸效应[J].人民黄河,2011,33(04):107-109.

## 作者简介

胡爱连,工程师,研究方向为岩土试验测试、化学分析。