

# 不同岩性岩石的软化系数分析及探讨

胡爱连 潘瑞芬

广东省佛山地质局

**摘要:** 岩石的软化系数是岩石力学性质的重要参数之一, 本文分别对10组泥岩、泥质粉砂岩、灰岩、花岗岩测试, 发现受水和温度的影响, 室内试验抗压强度发生变化, 软化系数不同。结合不同岩石性质分析原因, 更好地把握岩石性质指导室内岩石试验测试, 为工程勘测设计提供可靠数据。

**关键词:** 软化系数; 岩石软化性; 抗压强度; 水; 温度; 影响

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.16.041

岩石浸水后强度降低的性质, 称为岩石的软化性, 用软化系数  $\eta$  来衡量<sup>[1]</sup>。岩石软化系数是判定岩石耐风化、耐水浸能力的指标之一, 是用来评价岩石力学性质的重要指标。在水利水电勘测设计、建筑勘测设计、地质勘察等有重要的应用价值, 通过软化系数评估岩石的稳定性和可靠性, 为岩体工程设计和岩土工程施工提供技术支持。

岩石软化系数是通过计算岩石在饱和状态的单轴岩石抗压强度与岩石在干燥状态的单轴抗压强度比值得到。国内外很多学者从不同方面对岩石的力学、物理性质进行了研究<sup>[2-17]</sup>。水与岩石有着复杂的物理、化学和力学等作用, 同时温度对岩石的强度、变形和破坏等特性也有不可忽视的影响, 测试软化系数与这两方面很大关系。本文对某实际工程的代表性岩样进行了相关的试验研究, 比较软化系数, 结合试验数据分析。

## 一、试验方法

### (一) 样品制备

各选取10组泥岩、泥质粉砂岩、灰岩、花岗岩等作为研究对象, 在不同状态下(天然、干燥、饱和)分组进行室内试验。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圆柱体试样。天然状态试样是钻机抽取的天然岩芯切割磨平后的圆柱体试件; 干燥状态的试样是将切割磨平后圆柱体试件置于烘箱内, 在105~110℃的温度下烘24h, 取出放在干燥器内冷却至室温得到; 饱和含水状态的样品采取自由浸水法, 将制备好的圆柱体试件放入水槽, 先注水至试件高度的1/4处, 以后每隔2h分别注水至试件高度的1/2和3/4处, 6h后全部浸没试件, 试件在水中自由吸水48h后取出得到<sup>[18]</sup>。

### (二) 单轴抗压强度试验及测试结果

利用微机控制电液伺服压力试验机及微机控制电子压力测试机, 测试各组试件的单轴抗压强度, 得到相应的试验数据。

表1 泥岩试验数据

岩石类型	序号	天然单轴抗压强度 / MPa	饱和单轴抗压强度 / MPa	烘干单轴抗压强度 / MPa	软化系数, $\eta$
泥岩	1	1.30	0.964	7.06	0.14
	2	4.08	0.620	14.5	0.04
	3	3.73	0.473	14.9	0.03
	4	5.77	2.97	18.7	0.16
	5	6.22	2.37	20.8	0.11
	6	14.7	4.07	24.5	0.17
	7	13.4	6.78	30.6	0.22
	8	2.91	1.96	11.2	0.18
	9	2.00	1.14	10.2	0.11
	10	2.52	1.29	11.1	0.12

表2 泥质粉砂岩试验数据

岩石类型	序号	天然单轴抗压强度 / MPa	饱和单轴抗压强度 / MPa	烘干单轴抗压强度 / MPa	软化系数, $\eta$
泥质粉砂岩	1	5.67	5.60	17.3	0.32
	2	6.56	7.21	21.9	0.33
	3	6.73	5.88	26.6	0.22
	4	27.6	26.6	37.6	0.71
	5	35.3	33.5	98.8	0.34
	6	23.2	13.9	63.3	0.22
	7	34.0	28.2	51.7	0.55
	8	17.4	16.9	33.4	0.51
	9	30.2	25.4	50.4	0.50
	10	55.2	37.0	59.5	0.62

表3 灰岩试验数据

岩石类型	序号	天然单轴抗压强度 / MPa	饱和单轴抗压强度 / MPa	烘干单轴抗压强度 / MPa	软化系数, $\eta$
灰岩	1	72.3	67.6	90.4	0.75
	2	71.6	89.3	101	0.88
	3	55.6	55.3	65.9	0.84
	4	47.5	53.4	73.0	0.73
	5	57.4	56.9	72.9	0.78
	6	68.1	43.1	65.7	0.66
	7	39.5	37.9	39.5	0.96
	8	82.1	64.4	78.3	0.82
	9	53.4	42.4	63.8	0.66
	10	59.5	52.3	60.8	0.86

表4 花岗岩试验数据

岩石类型	序号	天然单轴抗压强度 /MPa	饱和单轴抗压强度 /MPa	烘干单轴抗压强度 /MPa	软化系数, $\eta$
花岗岩	1	92.7	104	116	0.90
	2	114	110	123	0.89
	3	112	74.4	77.0	0.97
	4	67.7	50.7	79.1	0.64
	5	87.8	68.6	71.1	0.96
	6	119	93.9	97.3	0.97
	7	83.3	80.0	103	0.78
	8	46.8	47.6	55.9	0.85
	9	45.1	46.0	77.3	0.60
	10	47.8	46.0	63.8	0.72

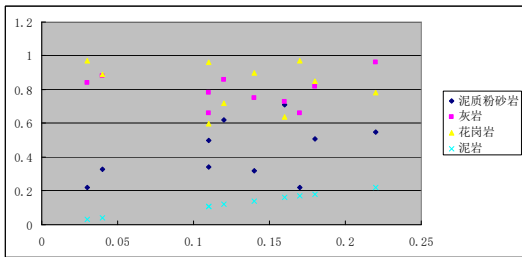


图1 四种岩石试件的软化系数散点图

有关资料显示软化系数  $\eta > 0.75$ , 岩石软化性弱, 相应岩石的抗水、抗风化和抗冻性强, 工程地质性质较好; 软化系数  $\eta < 0.75$ , 岩石软化性强, 则认为其工程地质性质较差<sup>[1, 2]</sup>。综合表1~表4及图1可见, 本组试验中泥岩的软化系数小于0.2, 泥质粉砂岩的软化系数为0.2~0.8, 灰岩的软化系数为0.6~1.0, 花岗岩的软化系数为0.6~1.0。由软化系数的变化归纳出本组试验中岩石试件的软化强弱: 泥岩软化性较强; 泥质粉砂岩的软化性变化区间较大, 但普遍软化性稍强; 灰岩和花岗岩大部分软化性弱。

## 二、结果分析

图2~图5显示各类岩石不同状态下的单轴抗压强度, 大部分变化趋势为: 烘干单轴抗压强度  $\geq$  天然单轴抗压强度  $>$  饱和单轴抗压强度。说明水和温度对岩石有影响, 决定着软化系数大小。当水侵入岩石时改变了岩石物理或化学的状态, 饱和状态岩石强度降低; 在105~110℃下干燥, 低温烘干对岩石强度有一定的提高, 强度降低或提高的程度与岩石性质相关。其中泥岩和砂岩强度受水和烘干温度的影响较明显, 灰岩和花岗岩受影响程度一般。

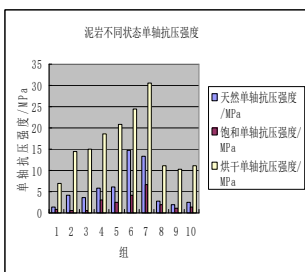


图2 泥岩不同状态单轴抗压强度图

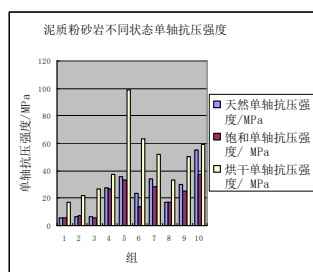


图3 泥质粉砂岩不同状态单轴抗压强度图

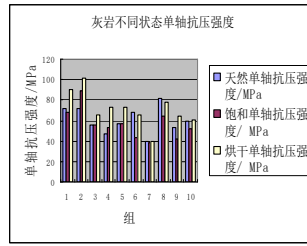


图4 灰岩不同状态单轴抗压强度图

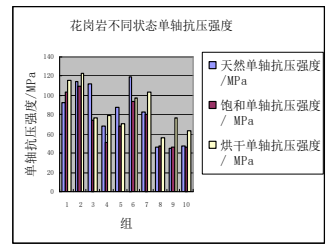


图5 花岗岩不同状态单轴抗压强度图

### (一) 水对岩石的影响

根据  $\eta$  值的大小, 工程中常用于评价水对岩石影响程度的标准见表5<sup>[10]</sup>。结合本组试验软化系数数据, 可以得出: 泥岩受水影响严重; 砂岩受水影响为中等以上, 变化区间较大; 灰岩和花岗岩基本上受水影响较小。

表5 水对岩石影响程度评价表

软化系数值 $\eta$	水的影响程度评价
$< 0.40$	岩石受水影响严重
$0.40 \sim 0.65$	岩石受水影响程度显著
$0.65 \sim 0.80$	岩石受水影响程度中等
$0.80 \sim 0.95$	岩石略受水影响
$> 0.95$	岩石不受水的影响

水对岩石软化性主要与岩石性质有关, 由组成岩石的矿物成分的亲水性和岩石含水量、岩石颗粒间联结方式、岩石孔隙率及裂隙的发育程度等因素决定<sup>[10, 19]</sup>。从下面几个方面分析:

#### (1) 岩石的矿物成分

泥岩属于黏土岩的一种, 主要矿物成分有黏土质矿物和有机质及少量砂; 泥质粉砂岩主要成分为粉砂, 含少量黏土矿物及胶结物。这两种岩石一般含有高岭石、伊利石和蒙脱石等黏土矿物, 亲水性强。灰岩主要是钙质沉积物, 花岗岩主要成分为长石和石英, 这两种岩石亲水性较差, 短时间(48h)受影响较小。从软化系数试验看, 各类岩石饱和浸泡48h水对岩石的软化作用主要体现在黏土矿物的含量上。

#### (2) 岩石的结构

泥岩是泥状结构类, 构造主要是层状构造, 质地松软, 固结程度较弱, 水进入孔隙、裂隙中时, 部分胶结物被稀释、软化或溶解, 胶结力减小。砂岩是一种沉积岩, 主要由各种砂粒胶结而成的, 在粉砂岩中常具有薄的水平层理, 沉积物含水时易受液化产生变形层理及其他滑动构造。灰岩属隐晶质结构, 块状构造, 均致性很好, 内部结构较为致密。而花岗岩是在大陆壳中分布最广的一类深成岩, 矿物晶体整体性好, 在不构造断裂和风化的情况下力学强度高。结构的致密度决定岩石受水的影响程度。

#### (3) 岩石的孔隙率及裂隙发育程度

泥岩和砂岩是由岩屑、有机质等在水体或风力作用下沉积而成的岩石, 沉积过程中, 岩屑颗粒之间会留下一定的空隙。花岗岩是岩浆在地壳中冷却结晶而形成的

岩石, 岩浆在冷却的过程中, 矿物晶体会紧密结合, 几乎没有空隙; 灰岩具有晶粒结构, 本身孔隙致密, 晶粒之间紧密接触。因此, 灰岩、花岗岩的孔隙率较泥岩和砂岩低, 水通过孔隙进入岩石的影响就低。

## (二) 温度对岩石的影响

许多学者研究了温度对岩石力学特性的影响<sup>[11-17]</sup>, 发现高温作用使岩石的性质发生了根本性的变化。温度对岩石的影响是一个较复杂的过程, 总结温度对岩石作用机理, 主要是与组成岩石的矿物颗粒性质、颗粒结构、颗粒成分、微裂纹发育程度及分布形式存在差异有关。

本次试验样品干燥时在105~110℃(低温下)进行的, 对比天然和烘干样品单轴抗压强度试验数据发现泥岩和砂岩烘干后单轴抗压强度相对天然状态单轴抗压强度提高了, 灰岩和花岗岩略有波动。分析原因: 岩石在低温下主要是颗粒结构受到影响, 经过烘干其含水量减小, 部分自由水被蒸发, 冷却后的岩石重新硬化, 刚度变大, 结构性增强, 强度提高, 这个硬化作用泥岩和砂岩表现尤为明显。另一方面由于岩石内部水分逸出气体膨胀使得部分裂隙闭合, 温度不高还不足以引起新的裂隙产生, 因此岩石颗粒更加致密, 强度提高。但是对于裂隙发育的岩石, 烘干也可能使裂隙增大, 结构型降低, 导致强度降低, 这就是有些灰岩和花岗岩的烘干单轴抗压强度出现降低的原因。本次试验对于研究岩石性质方式方法较单一, 对不同岩石受温度影响的变化规律、差异等方面的研究还需要更进一步。

## 三、结论

(1) 本组试验中泥岩的软化系数小于0.2, 泥质粉砂岩的软化系数为0.2~0.8, 灰岩的软化系数为0.6~1.0, 花岗岩的软化系数为0.6~1.0。表明泥岩受水影响严重; 砂岩受水影响为中等以上, 变化区间较大; 灰岩和花岗岩基本上受水影响较小。

(2) 通过岩石软化系数试验测试发现软化系数与岩石性质相关, 与水和温度对岩石的影响有关, 岩石的矿物成分和颗粒结构决定受影响的程度。水的作用下, 泥岩和泥质粉砂岩单轴抗压强度明显降低; 烘干时, 105~110℃干燥作用泥岩和砂岩硬化强度提高, 这两方面影响泥岩和泥质砂岩软化系数值较为明显。

(3) 水和温度对岩石强度有影响, 因此在日常试验测试中为保证试验数据的准确性, 必须通过有效措施控制采样、包装、运输、试样制备等环节, 保证样品原始状态, 尽量减少环境或其他因素对实验数据的影响。

## 参考文献

- [1] 李彦荣. 岩土测试理论、方法与标准体系(M). 北京: 科学出版社, 2019: 36.
- [2] 李剑, 何鹏, 王琛等. 沉积岩岩石软化系数异常原因分析(J). 西部探矿工程, 2009(11): 15-18.
- [3] 徐光苗, 刘泉声, 彭万巍等. 低温作用下岩石基本力学性质试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(12): 2502-2508.
- [4] 张晶瑶, 金校元. 加热温度变化对岩石强度的影

响[J]. 金属矿山, 1996(12).

[5] 冒海军, 杨春和, 黄小兰等. 不同含水条件下板岩力学实验研究及理论分析[J]. 岩土力学, 2006, 27(9): 1637-1642.

[6] 文圣勇, 韩立军, 宗义江等. 不同含水率红砂岩单轴压缩试验声发射特征研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(8): 46-48, 52.

[7] 张安斌, 张艳博, 刘祥鑫等. 水对泥质粉砂岩物理力学性能影响的试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(8): 67-71.

[8] 蒋景东, 陈生水, 徐婕等. 不同含水状态下泥岩的力学性质及能量特征[J]. 煤炭学报, 2018, 43(8): 2217-2224.

[9] 高磊. 饱水对岩石力学性能影响的试验研究[J]. 新疆水利, 2015(2): 1-5, 29.

[10] 薛卉, 刘有为, 纪鹏. 针对某堆石料场岩石软化系数值低的原因分析及措施[J]. 云南水力发电: 2022, 38(12): 93-95.

[11] 曹峰. 温度对深部岩石的力学性质的影响[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2012, 14(5): 83-85.

[12] 左建平, 周宏伟, 刘瑜杰. 不同温度下砂岩三点弯曲破坏的特征参量研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(4): 705-712.

[13] 何爱林, 王志亮, 石恒. 温度作用后花岗岩强度特性及矿物成分变化特征[J]. 合肥工业大学学报自然科学版, 2018, 41(4): 501-506.

[14] 吴阳春, 邵保平, 王磊等. 高温后花岗岩的物理力学特性试验研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2020, 51(1): 193-203.

[15] 赵彦东, 赵文奎, 柯尊乾等. 温度对深井岩石力学性质的影响[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2010, 12(2): 71-73.

[16] 吴刚, 邢爱国, 张磊. 砂岩高温后的力学特性[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(10): 2110-2116.

[17] 周青春. 温度、孔隙水和应力作用下砂岩的力学特性研究[D]. 武汉: 中国科学院武汉岩土力学研究所, 2006.

[18] 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.

[19] 徐志英. 岩石力学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.

作者简介: 胡爱连, 性别: 女, 出生年月: 1982年11月, 籍贯: 湖北武汉, 单位: 广东省佛山地质局, 地质实验测试工程师, 现从事岩土试验测试工作。

潘瑞芬, 性别: 女, 出生年月: 1997年2月, 籍贯: 广东兴宁, 单位: 广东省佛山地质局, 地质实验测试助理工程师, 现从事岩土试验测试工作。