

# 干湿循环下不同风化程度泥质粉砂岩崩解特性试验研究

田巍巍

(新疆水利水电勘测设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830091)

**摘要:** 为了研究干湿气候环境的变化对泥质粉砂岩崩解特性的影响,以新疆肯斯瓦特水利枢纽工程泥质粉砂岩为研究对象,通过室内模拟干湿淋水状态变化,对风化作用下的泥质粉砂岩进行崩解性和力学特性试验研究,结果发现:随着风化程度的加剧,泥质粉砂岩耐崩解性逐步减弱;循环崩解后,各粒径含量都呈现增加趋势,强风化的崩解速度和崩解含量高于风化程度低的岩石;风化作用促使泥质粉砂岩原生结构发生了改变,泥质物含量增加,使其强度和抵抗变形的能力降低。从崩解的微观机制上分析,黏土矿物含量、胶结物类型等对崩解的发生起了主导作用;风化作用促进了黏土矿物含量的增加,加速了崩解,不同风化类型导致崩解特性也出现差异性。

**关键词:** 风化作用;崩解特性;干湿循环;泥质粉砂岩

中图分类号:TV223.1; TU452

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2018)06-0223-04

## Experimental study on disintegration characteristics of argillaceous siltstone with different degree of weathering under dry – wet cycling

TIAN Weiwei

(Xinjiang Water Resources and Hydropower Design Institute, Xinjiang Urumqi 830091, China)

**Abstract:** In order to study the effects of dry and wet climate changes on the disintegration characteristics of argillaceous siltstones, the argillaceous siltstones of the Kinswat Water Conservancy Project in Xinjiang were studied. We conducted the experimental study on the indoor disintegration and mechanical properties of argillaceous siltstones with different degrees of weathering by indoor simulation of dry and wet watering change conditions. The results showed that as the degree of weathering intensifies, the resistance to collapse of argillaceous siltstone gradually weakened. After the cycle disintegration, the particle size content increased. The disintegration rate and disintegration amount of strong weathering were higher than that of the rock with low weathering degree. The weathering action promoted the change of the original structure of argillaceous siltstone and the increase of muddy matter content. It reduces the strength and ability to resist deformation. From the microscopic mechanism of disintegration, the content of clay minerals and the type of cement played a leading role in the occurrence of disintegration. Weathering promotes the increase of clay mineral content and accelerates disintegration. Different weathering types lead to differences in disintegration characteristics.

**Key words:** weathering; disintegration characteristics; dry – wet cycling; argillaceous silt stone

### 1 研究背景

软岩岩体在天然情况下很少发生崩解,但是经过反复干燥、淋水和风化作用等外部环境的变化,改变了岩石结构和矿物成分,促使岩石产生崩解<sup>[1]</sup>。在水利工程中经常遇到软岩边坡的崩解、软化等问题,因此对工程软岩进行崩解特性研究具有重要的意义。

近年来,在软岩崩解特性方面有较多的研究成果。柴肇云等<sup>[2]</sup>研究了泥岩耐崩解性和矿物组成的相关性,发现泥岩的耐崩解特性与其孔裂隙的结构特征和矿物组成有着密切关系;梁冰等<sup>[3]</sup>研究了干湿循环和冻融循环作用对泥质岩崩解特性的影响,发现冻融循环作用比干湿循环作用产生更为明显的影响;张巍等<sup>[4]</sup>研究了泥质膨胀岩崩解物粒径分布与膨胀性

收稿日期:2018-06-05; 修回日期:2018-07-20

作者简介:田巍巍(1987-),男,河南周口人,硕士,工程师,研究方向为水利水电及岩土工程等。

之间的关系,研究发现膨胀岩膨胀性的强弱和膨胀岩崩解物的最大含量粒组的颗粒粒径、有效粒径和耐崩解性指数呈负相关;郭永春等<sup>[5]</sup>利用岩石热物理学和毛细作用原理研究了温度、水等因素的水热交替对红层泥岩崩解的影响,发现水热交替是导致泥岩快速崩解的主要动力;黄明等<sup>[6]</sup>和邓涛等<sup>[7-8]</sup>对酸碱环境中泥质页岩的崩解规律进行了研究,发现酸性环境对泥质页岩的崩解性影响较大,加速了软岩的崩解,碱性环境对崩解性影响较小。苏永华等<sup>[9]</sup>和吴道祥等<sup>[10]</sup>研究发现在与水接触后软岩所呈现的崩解特性和软岩的成分、胶结的状态、成因等密切相关。曹运江等<sup>[11]</sup>研究发现泥质物含量多少对软岩的崩解特性有很大影响,泥质物含量和崩解特性、崩解的速度呈正相关;杨建林等<sup>[12]</sup>研究了泥岩饱水过程中崩解的微观机制,泥岩的崩解主要在饱水过程中产生的次生孔隙和表面受到的拉应力共同作用的影响;刘长武等<sup>[13]</sup>研究泥岩遇水崩解软化的机理,认为空隙体积降低,但表面积却增大了,致使泥岩在遇水后显现崩解和膨胀。黄宏伟等<sup>[14]</sup>认为泥岩遇水后出现微孔隙及其吸附效应,破坏了岩石内部的结构体系,从而出现软化崩解现象。

以上针对软岩崩解的内外部环境、软岩的结构组成、微观机理等方面进行了大量研究,本文将在前人研究基础上,通过干湿环境的变化,模拟不同风化程度下泥质粉砂岩在淋水和干燥循环条件下的崩解特性及其变化规律,将对软岩边坡的工程特性研究及其防护发挥重要的作用。

## 2 研究对象概况

以新疆肯斯瓦特水利枢纽工程泥质粉砂岩为研究对象,该工程岩性基本为褐色泥质粉砂岩,偶有夹杂灰绿颜色粉砂质泥岩,中厚状单层岩石的厚度为0.5~2.0 m。开挖边坡后,由于岩体卸荷及风化等外力作用,岩体出现大面积崩解<sup>[15]</sup>,出现很多的碎裂结构面(图1)。



图1 边坡开挖后碎裂结构面

对该工程泥质粉砂岩进行电镜测试,发现岩石为泥质粉砂状的结构,块状形构造,矿物成分主要为碎屑物质和黏土矿物组成。岩石的碎屑粒径较细,且大部分为粉砂质碎屑。碎屑的成分由石英、长石及岩屑等组成,胶结类型为孔隙式胶结,胶结的物质为泥质物。有较大部分的深色有机质在粉砂质碎屑之间不均匀分布。图2为不同风化程度的泥质粉砂岩颗粒组成。从图2可以看出,不同风化程度的泥质粉砂岩颗粒组成发生了改变,粉砂屑 $d = 0.005 \sim 0.06$  mm含量逐步降低,细砂屑 $d = 0.06 \sim 0.2$  mm含量变化不大,泥质物 $d < 0.005$  mm随着风化程度的加剧明显增多。

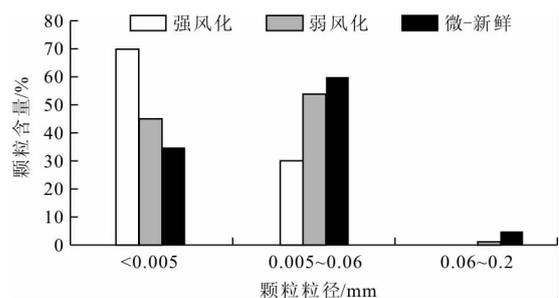


图2 不同风化程度的泥质粉砂岩颗粒组成

## 3 研究方法及其结果

### 3.1 研究方法

岩石崩解特性的主要指标表现为耐崩解性指数,是岩石样在承受干湿循环下抵抗软化及崩解作用的能力。分别取不同风化程度的浑圆状天然岩块试件各20块,每一个岩块称重约40 g。在室内环境下,模拟岩石受到降雨等淋水状态下的崩解特性。将自然状态下的岩样进行风干,进行淋水崩解试验,随时观察和记录,首次干湿淋水循环试验后,以5、2、0.5、0.25 mm等4种粒径的筛分筛进行筛析试验,将大于2 mm粒径的颗粒反复进行干湿淋水循环测试直到不再崩解。试验结束后计算耐崩解性指数 $I_d$ 。 $I_d$ 为崩解稳定后大于2 mm的残余崩解物重量与试验前岩样重量之比。

为了更好地研究不同风化程度的泥质粉砂岩的崩解特性,同时取样对其抗压强度和变形模量等力学性能进行了试验研究。

### 3.2 结果与分析

3.2.1 室内崩解特性试验 在室内干湿淋水崩解试验下,不同风化程度的泥质粉砂岩表现出不同的崩解特性,其耐崩解指数 $I_d$ 也出现较大差异。

微-新鲜泥质粉砂岩在首次干湿淋水循环下几

乎未产生崩解,经过第 2 次的循环试验后发现裂纹显现,水中可以看到少许泥质物与粉砂,经过 3 次干湿淋水循环试验基本趋于稳定。其耐崩解性指数  $I_d$  为 98.7;弱风化作用下的泥质粉砂岩在首次干湿淋水循环后有轻微的崩解,在第 2 次的循环中出现快速崩解,经过 5 次循环后达到稳定,粒径大于 2 mm 的物质主要为石英、云母及较细砾石等,耐崩解性指数  $I_d$  为 80.2;强风化作用下泥质粉砂岩在首次干湿淋水循环后产生较大的崩解,随着干湿循环的继续,大于 5 mm 的颗粒物崩解很快,水中的粉细砂较多的出现,在 4 次循环后,完全崩解为泥质状和颗粒状,经过 5 次循环达到稳定,粒径大于 2 mm 的物质主要为石英、云母及较细砾石等,耐崩解性指数  $I_d$  为 69.8。

3.2.2 崩解物颗粒分析 为了研究泥质粉砂岩在崩解后颗粒含量的变化规律,对不同风化程度的泥质粉砂岩颗粒级配进行对比分析,结果见表 1~5。

表 1 粒径大于 5 mm 颗粒含量变化 %

风化程度	循环次数				
	1	2	3	4	5
强风化	92.38	73.12	59.46	40.16	27.54
弱风化	99.78	91.89	80.23	64.98	41.67
微-新鲜	≈100	99.34	97.65		

表 2 粒径 5~2 mm 颗粒含量变化 %

风化程度	循环次数				
	1	2	3	4	5
强风化	3.42	10.36	22.38	34.87	40.37
弱风化	0.07	3.01	12.96	21.41	35.07
微-新鲜	0.00	0.18	1.02		

表 3 粒径 2~0.5 mm 颗粒含量变化 %

风化程度	循环次数				
	1	2	3	4	5
强风化	0.98	1.35	1.37	2.95	3.84
弱风化	0.02	0.99	1.79	1.92	2.56
微-新鲜	0.00	0.13	0.45		

表 4 粒径 0.5~0.25 mm 颗粒含量变化 %

风化程度	循环次数				
	1	2	3	4	5
强风化	1.31	1.93	2.01	2.96	5.12
弱风化	0.05	1.72	2.32	2.46	4.14
微-新鲜	0.00	0.15	0.36		

表 5 粒径 <0.25 mm 颗粒含量变化 %

风化程度	循环次数				
	1	2	3	4	5
强风化	1.91	13.24	14.78	19.06	23.13
弱风化	0.08	2.39	2.7	9.23	16.56
微-新鲜	0.00	0.20	0.52		

从表 1 可以看出,大于 5 mm 的颗粒含量随着循环次数的增加,呈现下降的趋势,而新鲜岩石大于 5 mm 颗粒含量变化不大,表明强风化作用后崩解较快,新鲜岩石崩解速度缓慢并很快趋于稳定。从表 2~5 可以看出,风化作用后的泥质粉砂岩在循环崩解后各粒径含量都呈现增加趋势,尤其是粒径在 2~5 mm 和小于 0.25 mm 的颗粒含量呈现较快的增长,粒径 0.5~2 mm 和 0.25~0.5 mm 的颗粒含量增长较慢。新鲜泥质粉砂岩在整个崩解过程中各粒径含量呈较小的变化。

3.2.3 力学特性分析 为了更好地研究影响泥质粉砂岩崩解特性的机制,对不同风化类型的泥质粉砂岩进行力学特性试验,试验结果如表 6 所示。由试验结果可知,泥质粉砂岩在天然状态下,抗压强度均较高,浸水饱和后,抗压强度损失较大;风化后泥质粉砂岩抵抗变形的能力减弱,尤其是强风化作用饱和状态下抵御变形的能力下降较快。这是由于风化作用改变了泥质粉砂岩的原生结构,使得泥质物和黏土矿物含量增加,遇水后极易出现软化和崩解,导致其强度和抵抗变形的能力降低。力学性质的改变也会对泥质粉砂岩崩解性产生很大的影响,从侧面加速了泥质粉砂岩的崩解。

表 6 不同风化程度的泥质粉砂岩力学性质

风化程度	抗压强度/MPa		变形模量/GPa	
	天然状态	饱和状态	天然状态	饱和状态
强风化	40.9	19.6	13.3	6.0
弱风化	44.6	25.3	22.5	16.6
微-新鲜	57.5	29.8	24.3	20.8

## 4 崩解机制分析

已有研究发现软岩的崩解性能主要与软岩的结构、矿物成分、胶结物类型等性质有关<sup>[6-8]</sup>,通过对肯斯瓦特水利枢纽工程 3 种风化作用下的泥质粉砂岩进行 SEM 扫描电镜观测,发现强风化作用下的泥质粉砂岩黏土矿物含量较多,弱风化和微-新鲜岩石的矿物含量依次减少(见表 7 所示)。黏土矿物

中伊利石占主要成分,其次为高岭石和蒙脱石,随着风化程度的加剧其各自含量也在增长。因此泥质粉砂岩受到风化后会表现出不同程度的崩解特性。

表7 不同风化程度的泥质粉砂岩矿物成分

风化程度	矿物成分及含量/%				胶结物
	伊利石	蒙脱石	高岭石	长石、石英等	
强风化	52	13	20	15	泥质物
弱风化	45	11	17	27	泥质物
微-新鲜	40	10	15	35	泥质物

由试验结果可知,泥质粉砂岩主要矿物成分为伊利石、蒙脱石、高岭石等,胶结物为泥质物,其主要成分也为黏土矿物,具有比表面积大且吸水性很强,加上孔隙式胶结的泥质粉砂岩,为水进入岩石内部提供了通道。当水分在岩石孔隙内运移时,引起泥质粉砂岩的软化、膨胀、崩解等。细小的岩石颗粒吸附的水膜增大,一定程度上也加速了岩石的崩解。

此外,泥质粉砂岩中的粉砂屑容易失水,在干燥环境下失水引起收缩开裂,使岩石出现剥离崩解。风化作用促使泥质粉砂岩的泥质物含量增加,力学特性出现显著的降低,使其强度和抵抗变形的能力减弱,干燥环境时表面易出现裂纹,遇水时发生软化,对泥质粉砂岩的崩解特性起到一定的促进作用。

因此,矿物成分的含量和胶结物质类型等对泥质粉砂岩的崩解特性产生很大影响,在崩解发生过程中发挥着主导作用。风化作用对泥质粉砂岩的崩解性能起着外在诱导作用,是崩解发生的外部因素,不同风化类型的泥质粉砂岩表现出崩解特性的差异性。对于软岩边坡,应采取保护措施,避免外部环境的侵蚀,有助于降低软岩的崩解特性和保持原有的强度。

## 5 结论及建议

(1)通过崩解性试验研究,发现在室内干湿淋水状态下,不同风化程度的泥质粉砂岩的耐崩解性逐步减弱。

(2)在干湿循环作用后,小于5 mm的颗粒物不同粒径含量均呈上升趋势,但是强风化作用下崩解含量高于其他风化程度较轻的泥质粉砂岩。粒径在2~5 mm和小于0.25 mm的颗粒含量呈现较快的增长,中间粒径颗粒含量增长较慢。新鲜泥质粉砂岩在整个崩解过程中各粒径含量变化较小。

(3)风化作用促进了泥质物和黏土矿物含量的增加,改变了原生结构。风化作用也使其饱和抗压强度迅速降低,抵御变形能力减弱,从而加速崩解。因

此不同风化类型的泥质粉砂岩表现出崩解性差异。

(4)影响软岩崩解特性的环境因素很多,冻融条件、湿热条件、水化条件等环境因素对软岩的崩解特性具有不同的影响。本次试验在微观崩解机制研究上还存在一定的不足,故在今后的研究中将会对影响软岩崩解性的各种环境条件和微观机制进行深入的研究和分析。

## 参考文献:

- [1] 万宗礼, 聂德新. 坝基红层软岩工程地质研究与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [2] 柴肇云, 张亚涛, 张学尧. 泥岩耐崩解性与矿物组成相关性的试验研究[J]. 煤炭学报, 2015, 40(5): 1188-1193.
- [3] 梁冰, 谭晓引, 姜利国, 等. 冻-融及干-湿循环对泥质岩崩解特性影响的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(4): 705-711.
- [4] 张巍, 尚彦军, 曲永新, 等. 泥质膨胀岩崩解物粒径分布与膨胀性关系试验研究[J]. 岩土力学, 2013, 34(1): 66-72+79.
- [5] 郭永春, 谢强, 文江泉. 水热交替对红层泥岩崩解的影响[J]. 水文地质工程地质, 2012, 39(5): 69-73.
- [6] 黄明, 詹金武. 酸碱溶液环境中软岩的崩解试验及能量耗散特征研究[J]. 岩土力学, 2015, 36(9): 2607-2612+2623.
- [7] 邓涛, 詹金武, 黄明, 等. 酸碱环境下红层软岩-泥质页岩的崩解特性试验研究[J]. 工程地质学报, 2014, 22(1): 238-243.
- [8] 邓涛, 黄明, 詹金武. 不同pH环境下黏土类岩崩解过程分形演化规律[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, 42(10): 1480-1485.
- [9] 苏永华, 赵明华, 刘晓明. 软岩膨胀崩解试验及分形机理[J]. 岩土力学, 2005, 26(5): 728-732.
- [10] 吴道祥, 刘宏杰, 王国强. 红层软岩崩解性室内试验研究[J]. 岩土力学与工程学报, 2010, 29(S2): 4173-4179.
- [11] 曹运江, 黄润秋, 郑海君, 等. 岷江上游某水电站工程边坡软岩的崩解特性研究[J]. 工程地质学报, 2006, 14(1): 35-40.
- [12] 杨建林, 王来贵, 李喜林, 等. 泥岩饱水过程中崩解的微观机制[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2014, 33(4): 476-480.
- [13] 刘长武, 陆士良. 泥岩遇水崩解软化机理的研究[J]. 岩土力学, 2000, 21(1): 28-31.
- [14] 黄宏伟, 车平. 泥岩遇水软化微观机理研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2007, 35(7): 866-870.
- [15] 新疆玛纳斯河肯斯瓦特水利枢纽工程地质勘察项目组. 新疆玛纳斯河肯斯瓦特水利枢纽岩土试验报告(初步设计阶段)[R]. 乌鲁木齐: 新疆生产建设兵团勘测规划设计研究院, 2009.