

引用格式: 赵凡, 谢振斌, 王冲. 四川马尔康甲扎尔甲山洞窟壁画材料耐水性试验研究[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(29): 272-277  
Zhao Fan, Xie Zhenbin, Wang Chong. Experimental Study on material water-resistance of the cave Mural in Jiazaerjia mountain, Sichuan Province[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(29): 272-277

# 四川马尔康甲扎尔甲山洞窟壁画材料耐水性试验研究

赵凡 谢振斌 王冲  
(四川省文物考古研究院, 成都 610041)

**摘要** 为了解甲扎尔甲山洞窟壁画材料耐水性, 从验证性试验的角度对壁画地仗层样品在静水浸没条件下的崩解特征进行了研究。结果表明: 壁画材料在静水浸没条件下均会发生不同程度的崩解, 大多数样品耐水性差, 一段时间内(120 min)部分崩解, 少数样品耐水性极差, 短时间内(不足60 min)完全崩解; 样品崩解过程大致可分为开始期、发生期、结束期三个阶段, 发生期的崩解具有间歇性或突发性; 样品耐水性分化的成因与壁画结构特征和制作材料方面的差异性直接相关。可见该壁画水下原址保护的建 议措施不可行, 设计的试验方案兼具定量化和动态性的特点, 在岩土类文物保护研究中对于水稳定性较差材料的耐水性评价具有一定应用前景。

**关键词** 壁画 材料 耐水性 静水浸没 崩解  
**中图分类号** TU521.3; **文献标志码** B

甲扎尔甲山洞窟壁画位于四川省阿坝藏族羌族自治州马尔康市白湾乡大石函村甲扎尔甲山南侧山腰, 绘制于15世纪末至16世纪初, 为第七批全国重点文物保护单位。谢振斌等<sup>[1]</sup>对该壁画现状进行了调查, 该洞窟系山体断层破碎带岩石差异风化形成的天然岩洞, 平面呈长条形, 向内收窄, 长19.7 m, 宽2.3~3.6 m, 由三道隔墙将空间分为洞口、前室、中室和后室, 数座佛塔分布其间。壁画分布于崖壁、隔墙和佛塔局部表面, 总面积27.5 m<sup>2</sup>, 保存状况差。

双江口水电站坝址位于该洞窟壁画所在山体临近河道下游约2 km处, 属大渡河流域梯级电站开发关键项目, 为目前在建世界第一高坝。水电站设计最大坝高315 m, 正常蓄水位2 500 m, 洞窟洞口平台高程2 471.92 m, 若水电站按原设计建成蓄水后壁画将位于库区淹没范围正常蓄水位以下二十余米处, 由此水电站建设工程必然会对壁画产生一系列不利影响, 尤其壁画主体泥质地仗层对水的作用十分敏感。该泥质地仗层就材料性质而言属于广义土的范畴, 由土的基本性质理论<sup>[2-4]</sup>可知, 一般土体在浸入水中后自身结构形态和力学强度将发生不同程度改变。同时根据壁画材料耐水性相关研究<sup>[5-6]</sup>,

通常对于大多数壁画泥质地仗层, 在静水浸没条件下吸水饱后形态结构将逐渐崩散离解, 遇水湿化或泥化后力学强度也将消失, 但是如果其中加入胶凝材料或加筋材料后水理性质也会大大改善。

为了解该壁画材料的耐水性, 为《大渡河双江口水电站建设工程对甲扎尔甲山洞窟壁画影响评估》中水下原址保护建 议措施提供科学的评价指标和参数, 本文采用验证性试验的方法对壁画地仗层样品在水下环境中的崩解情况、作用机制及分化成因进行了分析, 以期对壁画材料耐水性作出科学客观评价。

## 1 试验方法

### 1.1 基本方法

材料耐水性主要指水对材料自身各方面性能的影响程度, 也称水稳定性、防水性等。通过相关文献资料总结<sup>[7-9]</sup>, 目前材料耐水性试验常用方法主要包括浸水试验、冲刷试验和吸潮试验如表1所示, 一般根据试验对象和目的不同而进行针对性选择与设计。

若双江口水电站按原设计建成蓄水后甲扎尔甲山洞窟壁画将位于库区淹没范围正常蓄水位以下二十余米处, 依据试验条件与实际情况相似的原则, 在不考虑水压力、水化学、水动力等作用影响下, 本次选择浸水试验的方法来进行壁画材料耐水性试验。

2019年4月2日收到

第一作者简介: 赵凡(1987—), 男, 汉族, 陕西汉中 人, 硕士。研究方向: 文物保护。E-mail: zhaofan\_163@163.com。

表 1 材料耐水性试验常用方法

Table 1 Common methods of materials water-resistance test

序号	试验方法	测试条件	测试指标
1	浸水试验	静水浸没	软化系数、质量损失量(率)、 体积损失量(率)
2	冲刷试验	雨水或流水冲刷侵蚀	质量损失量(率)、 体积损失量(率)
3	吸潮试验	高湿或不同湿度环境	外观形态、力学强度

## 1.2 方法要求

为初步了解壁画材料耐水性,进而对试验方法提出具体要求,借鉴岩土类文物保护研究中土样崩解试验的方法,对壁画材料在静水浸没条件下的崩解性进行测试。基本操作:选用各类壁画地仗层残块,置于一定孔径金属方格网板上,将其完全浸入静水中,观察形态结构变化,记录崩解现象及发生时间。结果表明,样品残块崩解性呈现出明显分化,大致可分为两类,第一类在较长时间内部分或少部分崩解,第二类在短时间内大部分甚至完全崩解。

由此分析,对于第一类样块,由于试验结束后有部分或大部分未崩解,同时未崩解的残余样块能够较好保持自身形态结构且具有一定强度,可以直接从吊网取出,样块质量损失量可以通过固体崩解前后质量差值求得,可采用传统烘干称重法测试样块崩解前后干质量即可实现;对于第二类样块,由于试验结束后仅有少部分未崩解或完全崩解,即使未崩解的残余样块也完全泥化,无法从吊网取出,样块质量损失量只能通过固体崩解进入水中质量求得,需要试验方法能够对样块崩解进入水中的质量进行测试。

## 2 试验方案

### 2.1 试验装置

本次参考《土工试验规程》湿化试验(SL237—007—1999)、《岩石物理力学性质试验规程》岩石耐崩解试验(DZ/T 0276.9—2015),同时借鉴岩土类文物保护研究中土样崩解试验方法<sup>[10-12]</sup>,设计了壁画材料耐水性试验装置如图 1 所示。

### 2.2 试验原理

首先烘干法测试样品干质量( $M_0$ )。然后将样品浸入试验装置水中,称量样品对水体系产生的质量增加量即天平读数( $M_t$ ),同时记录试验现象和试验时间( $t$ )。根据样品和水体系受力分析,样品对水产生的质量增加量( $M_t$ )等于样品崩解部分质量( $\Delta M$ )和未崩解部分排开水的质量( $\Delta M_1$ )之和,即  $M_t = \Delta M + \Delta M_1$ 。最后根据崩解特点不同,将样品分两类进行试验结果处理,相关指标计算公式如表 2

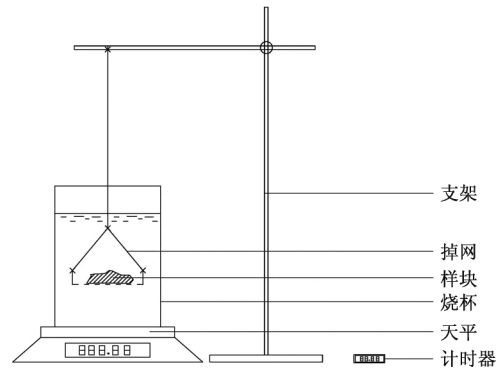


图 1 试验装置结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of test apparatus structure

表 2 相关指标计算公式

Table 2 Calculation formula of test related indicators

指标	部分崩解样品	完全崩解样品
试验结束时间 $T/\text{min}$	120	$t_1 (M_{t1} = 90\% M_0)$
质量损失量 $\Delta M/\text{g}$	$M_0 - M_1$	$\Delta M = M_0$
崩解率 $\alpha/\%$		$\Delta M/M_0$
崩解速度 $V/(g \cdot \text{min}^{-1})$		$\Delta M/T$
崩解速率 $V'/(\% \cdot \text{min}^{-1})$		$\Delta M/(TM_0) \times 100\%$

所示。

(1) 对于第一类在较长时间内部分或少部分崩解的样品,一段固定时间( $T$ )后样品崩解趋于停止,状态基本稳定即认为试验结束,取出未崩解样品烘干法测试样品干质量( $M_1$ )。样品材料质量损失量( $\Delta M$ )即为崩解量,等于样品干质量( $M_0$ )与样品未崩解部分干质量( $M_1$ )差值,即  $\Delta M = M_0 - M_1$ 。根据前期试验中此类样品崩解趋于停止、状态基本稳定的时间范围,设计试验结束时间  $T = 120 \text{ min}$ 。

(2) 对于第二类在短时间内大部分甚至完全崩解的样品,一段时间( $t_1$ )后样品接近完全崩解、状态基本稳定即认为试验结束。样品质量损失量( $\Delta M$ )即为固体崩解进入水中质量,分析此时固体大部分甚至完全崩解进入水中、气体基本完全逸散,固体仅残留少部分未崩解挂于网上,样品对水产生的质量增加量( $M_t$ )基本都为固体崩解部分质量( $\Delta M$ ),而受固体未崩解部分排开水的质量( $\Delta M_1$ )影响很小,即  $\Delta M \approx M_t$ 。根据前期试验中此类样品接近完全崩解、状态基本稳定的残存程度,设计当  $M_{t1} = 90\% M_0$  时样品全部崩解,即试验结束时间  $T = t_1$ 、质量损失量  $\Delta M = M_0$ 。

## 3 试验结果

通过对试验数据整理分析和试验现象观察记录,试验结果如表 3 所示,试验结束样品状态如图 2 所示。

表3 试验结果  
Table 3 Test results

序号	样品类型	样品编号	$M_0/g$	$M_1/g$	$\Delta M/g$	$t/min$	$V/(g \cdot \min^{-1})$	$\alpha/\%$	$V/(\% \cdot \min^{-1})$
1	崖壁壁画	MJB-B-3 1#	39.09	0	39.09	37.5	1.04	100	2.67
2		MJB-G-1 1#	34.13	26.88	7.25	120	0.06	21.24	0.18
3		MJB-G-1 2#	28.62	21.66	6.96	120	0.06	24.32	0.2
4		MJB-G-2 1#	69.75	0	69.75	52.8	1.32	100	1.89
5	隔墙壁画	MJB-G-2 2#	57.75	0	57.75	43.1	1.34	100	2.32
6		MJB-G-3 1#	57.7	34.84	22.86	120	0.19	39.62	0.33
7		MJB-G-3 2#	34.71	18.32	16.39	120	0.14	47.22	0.39
8		MJB-G-4 1#	49.86	38.73	11.13	120	0.09	22.32	0.19
9	佛塔壁画	MJB-T-1 1#	54.06	42.07	11.99	120	0.1	22.18	0.18
10		MJB-T-1 2#	63.72	52.47	11.25	120	0.09	17.66	0.15
11		MJB-T-2 1#	54.6	38.73	15.87	120	0.13	29.07	0.24
12		MJB-T-2 2#	35.82	26.11	9.71	120	0.08	27.11	0.23

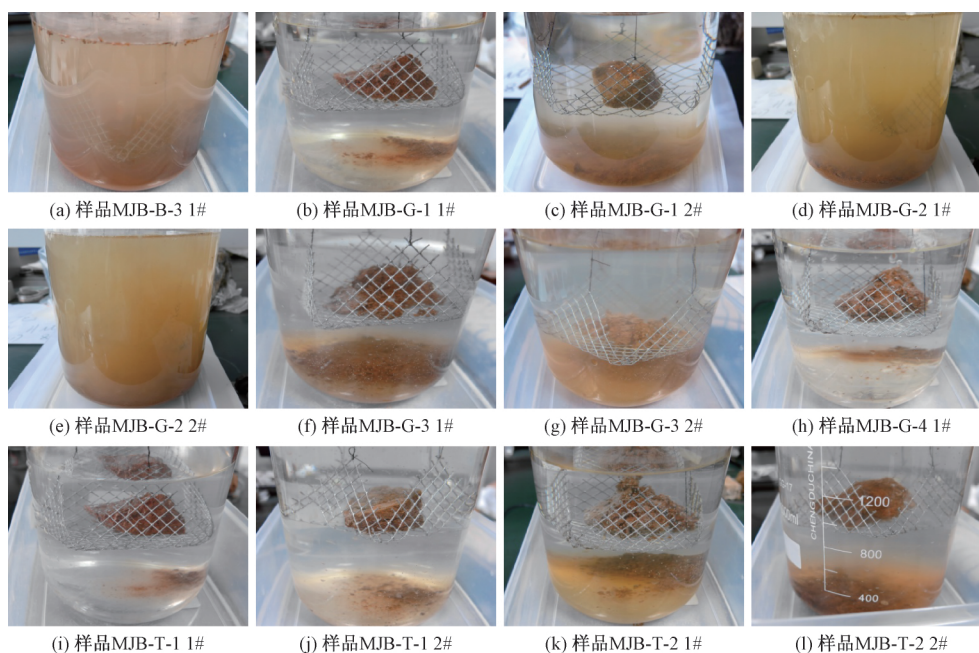


图2 试验结束样品状态

Fig.2 Sample status at the end of test

试验中9件样品部分崩解,3件样品完全崩解,部分崩解样品在120 min内崩解率为17.66%~47.22%,平均崩解速率0.15%~0.39%·min<sup>-1</sup>;完全崩解样品在37.5~52.8 min内完全崩解,平均崩解速率(1.89~2.67)%·min<sup>-1</sup>。由此可见,甲扎尔甲山洞窟壁画材料耐水性整体差,在静水浸没条件下均会发生不同程度的崩解。同时壁画材料耐水性差异十分显著,呈现出明显的分化现象,大多数样品耐水性差,在静水浸没条件下一段时间内(120 min)发生部分崩解,但随着时间继续崩解仍将缓慢发生;少数样品耐水性极差,在静水浸没条件下短时间内(不足60 min)基本完全崩解。

## 4 讨论

### 4.1 样品崩解作用机制

根据各类壁画地仗层样品在试验过程中崩解特征现象和天平读数与试验时间之间关系的分析,样品崩解特征呈现出明显的阶段性,大致可分为崩解开始期、崩解发生期、崩解结束期三个阶段(图3)。两类样品各阶段的崩解特征现象和天平读数随试验时间变化情况表现出不同程度差异,其中两者在崩解发生期的崩解具有间歇性或突发性。

#### 4.1.1 崩解开始期

崩解开始期部分崩解样品和完全崩解样品的崩



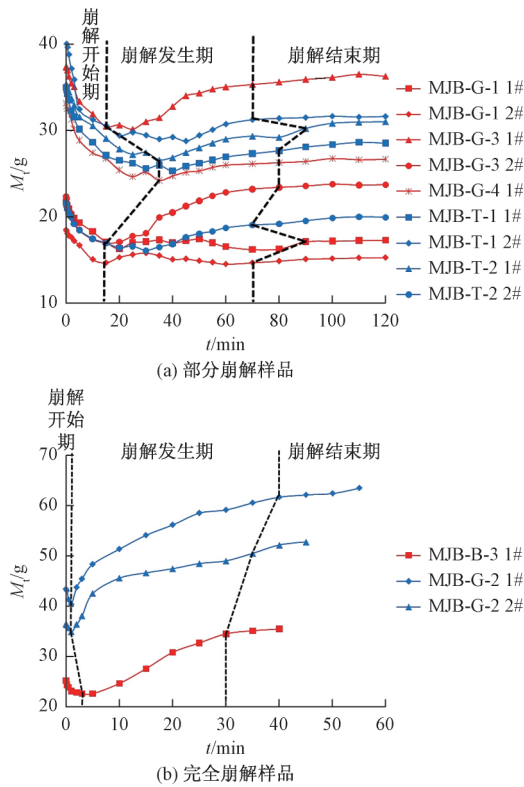


图3 样品天平读数与试验时间关系

Fig. 3 Relationship of balance reading and test time

解特征现象基本一致,主要表现为:样品刚浸入水中气泡快速冒出,之后气泡冒出趋缓,表面开始软化,边缘棱角出现粒状崩解,局部发生小块状崩解,水基本澄清,水中掉入少量泥土颗粒。两者天平读数随试验时间变化趋势一致、变化程度差异显著,天平读数均为不断减小至最小值,部分崩解样品此阶段时间长、减小量大,减速先快后慢,一般时间15~25 min、减小量5~10 g;完全崩解样品此阶段时间极短、减小量小,减速整体较快,一般时间仅2~4 min、减小量3~5 g。

分析样块刚浸入水中一段时间内,孔隙中与大气相连通的气体在水压力作用下快速以气泡形式逸散冒出,同时样块由表及里逐渐吸水饱和和引起泥土颗粒间扩散层增厚,当粒间斥力超过吸力便逐渐呈粒状或小块状崩散分解,主要发生在粒间结合薄弱或应力集中部位。此阶段对应至天平读数上则为,一方面样块中气体快速逸散进入空气导致天平读数(样块对水体系产生的质量增加量)减少;另一方面样块中泥土颗粒逐渐崩解进入水中导致天平读数增大。前者由一较高水平逐渐趋于减缓、后者由零逐渐趋于加快,天平读数由前者产生的减小量不断大于后者产生的增加量,由此天平读数总体上呈不断减小趋势,同时至某一时间由前者产生的减小量等于后者产生的增加量,天平读数减小至最小值。

#### 4.1.2 崩解发生期

崩解发生期部分崩解样品和完全崩解样品崩解特征现象差异明显,部分崩解样品气泡持续缓慢冒出,表层至内部逐渐软化,边缘棱角和底部不断发生小块状崩解,局部偶有发生大块状崩解,水间歇性略浑浊-澄清,直至样品部分掉落至水底、部分呈块状残余吊网上;完全崩解样品气泡也持续缓慢冒出,内部逐渐吸水软化甚至泥化,局部不断发生粒状或小块状崩解,整体间歇性发生大块状崩解,伴随大气泡冒出,水变浑浊,直至样品大部分掉落至水底、少部分呈离散状残余吊网上。两者天平读数随试验时间变化规律一致、变化程度略有差异,天平读数均为不断增大至相对稳定值,增速先快后逐渐趋缓,波动性明显,部分崩解样品此阶段时间较长、增大量较小,一般时间35~45 min、增大量5~10 g;完全崩解样品此阶段时间较短、增大量较大,一般时间25~38 min、增大量12~18 g。

分析样块浸入水中一段时间后,表层至内部逐渐吸水饱和,泥土颗粒间吸力减小、斥力增加,在粒间结合薄弱或应力集中部位不断发生粒状或小块状崩散分解。加之样块孔隙中密闭气体形成的气泡在水压力作用下体积变小、压力增大,当气泡压力增大至一定程度后骤然破裂挤压孔隙周围土体发生大块状开裂离散,气泡随之快速逸散,一般主要发生在内部裂纹或孔洞部位。此阶段天平读数与上一阶段相同,样块中气体逸散进入空气导致天平读数减少与泥土颗粒逐渐崩解进入水中导致天平读数增大同时发生。前者逐渐趋于减缓、后者先加快后逐渐趋于减缓,天平读数由前者产生的减小量不断小于后者产生的增加量,由此天平读数总体上呈不断增大趋势,且随着间歇性大块状崩解和大气泡冒出两者产生突发性大幅变化,天平读数随之表现出明显的波动,直至后期两者均趋于减缓,天平读数增大至相对稳定值。

#### 4.1.3 崩解结束期

崩解结束期部分崩解样品和完全崩解样品崩解特征现象基本一致,主要表现为:吊网上残余的部分块状样品或少部分散体状样品形态基本保持稳定,局部偶有少量粒状或小块状崩解,间歇性小气泡冒出,水保持略澄清-澄清,最终以该状态持续至试验结束。两类样品天平读数与试验时间关系均呈缓慢增大趋势,部分崩解样品此阶段时间较长、增速较慢,有一定波动性,一般时间60~70 min,完全崩解样品此阶段时间较短、增速略快,一般时间5~15 min。

分析样块浸入水中后期,对于吊网上残余的部

分块状样块,前期完全泥化部分和具有裂纹、孔洞、棱角等结构缺陷部分已经崩解,残余部分可能由于一些因素影响水稳定性较好而基本保持原状,但随着残余样块表层吸水饱和,局部泥土颗粒因粒间斥力大于吸力仍会缓慢发生少量粒状或小块状崩解;对于吊网上残余的少量散体状样块,由于网板的承托可以继续保持原有状态而不进入水中,但受间歇性小气泡冒出、外部环境振动等因素影响仍会有少量离散状态土粒失去支撑进入水中。此阶段天平读数与上两阶段也相同,样块中气体逸散进入空气导致天平读数减少与泥土颗粒逐渐崩解进入水中导致天平读数增大同时发生。两者均保持较低水平逐渐趋于停止,前者相对后者的幅度略小,总体上天平读数由前者产生的减小量与后者产生的增加量之和接近于零而略有增加,即天平读数随时间基本保持稳定呈缓慢增大趋势。

#### 4.2 样品耐水性分化成因

壁画地仗层样品耐水性分化明显,部分崩解和完全崩解两类样品在崩解开始期、崩解发生期、崩解结束期的崩解特征现象和天平读数随试验时间变化情况表现出不同程度差异,分析这主要与该壁画结构特征和制作材料方面的差异性直接相关。甲扎尔甲山洞窟壁画位于川西北高原藏区,时代上分属同一时期不同阶段,分布上位于崖壁、隔墙、佛塔等不同位置,壁画的制作缺乏统一规划和规范要求。谢振斌等<sup>[1]</sup>对该壁画制作材料和工艺进行了分析,隔墙壁画一般厚约0.5~1 cm,粗细泥层区分不明显,未见夹杂植物纤维作加筋,隔墙和佛塔壁画大多厚3~5 cm,粗泥层与细泥层区分明显,可见夹杂长短不一经揉捻处理的草本植物根茎作加筋,导致不同类型壁画的层次结构和材料组成存在很大差别。壁画地仗层样品泥土颗粒均以粉粒为主,砂砾次之,黏粒极少,一般泥质地仗在水中均会发生崩解,然而部分样品泥土颗粒矿物成分中方解石相对含量高达15%以上,初步推测为有意添加石灰作为胶凝材料来优化地仗性能,且大多数样品中有植物纤维作为加筋材料,对于改善地仗水理性质具有积极作用。

#### 4.3 壁画材料耐水性评价

甲扎尔甲山洞窟壁画材料在静水浸没条件下均会发生不同程度的崩解,材料耐水性差异十分显著,呈现出明显的分化现象,大多数样品耐水性差,在静水浸没条件下一段时间内(120 min)发生部分崩解,但随着时间继续崩解仍将缓慢发生;少数样品耐水性极差,在静水浸没条件下短时间内(不足60 min)基本完全崩解。样品崩解过程大致可分为崩解开始期、崩解发生期、崩解结束期三个阶段,在崩解发生

期的崩解具有间歇性或突发性。由此推断,双江口水电站按照原设计建成蓄水后,甲扎尔甲山洞窟壁画将位于该水电站库区淹没范围正常蓄水位以下二十余米处,就壁画材料自身耐水性而言,部分壁画将很快完全崩解消散,部分壁画也将逐渐崩解直至全部离散。研究从验证性试验的角度证明甲扎尔甲山洞窟壁画水下原址保护的可行措施不可行。

#### 4.4 试验方案合理性自评

试验方案采用壁画地仗层样品在静水浸没条件下称量样品对水体系产生质量增加量的方法,不仅可以实现对完全崩解样品崩解量(率)与崩解速度(速率)的科学测试,从而准确量化完全崩解样品的崩解结束时间,克服了以往仅凭肉眼观察的不足,而且通过天平读数对样品崩解部分质量和未崩解部分排开水质量进行动态测试,较好地实现了对崩解过程中固体崩解和气体逸散与试验时间之间关系的研究。整体上试验结果能够为甲扎尔甲山洞窟壁画材料耐水性评价提供科学的指标和参数,满足影响评估工作需求,同时试验方案兼具定量化、动态性的特点,在岩土类文物保护研究中对于土遗址建筑材料、石窟寺弱胶结砂砾岩、壁画彩塑泥质地仗层或胎体、古建筑风化砖石构件等水稳定性较差材料的耐水性评价具有一定的应用前景。

## 5 结论

(1) 甲扎尔甲山洞窟壁画材料在静水浸没条件下均会发生不同程度的崩解,大多数样品耐水性差,在静水浸没条件下一段时间内(120 min)发生部分崩解,但随着时间继续崩解仍将缓慢发生;少数样品耐水性极差,在静水浸没条件下短时间内(不足60 min)基本完全崩解。

(2) 样品崩解过程大致可分为崩解开始期、崩解发生期、崩解结束期三个阶段,崩解发生期的崩解具有间歇性或突发性。样品耐水性分化的成因与该壁画结构特征和材料组成方面的差异性直接相关。

综上,从验证性试验的角度证明甲扎尔甲山洞窟壁画水下原址保护的可行措施不可行。设计的试验方案兼具定量化和动态性的特点,在岩土类文物保护研究中对于水稳定性较差材料的耐水性评价具有一定的应用前景。

#### 参 考 文 献

- 1 谢振斌,赵凡,刘建成. 四川马尔康市甲扎尔甲山洞窟壁画结构材料分析[J]. 四川文物, 2017(6): 81-89  
Xie Zhenbin, Zhao Fan, Liu Jiancheng. Analysis on microstructure and materials of the cave mural in Jiazhaerjia mountain in Maerkang city, Sichuan Province [J]. Sichuan Cultural Relics, 2017(6):

- 81-89
- 2 王旭东, 谏文武, 韩文峰. 岩土质文物保护名词术语[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 64  
Wang Xudong, Chen Wenwu, Han Wenfeng. The nominal terms of rock and soil cultural relics protection [M]. Beijing: Science Publishing House, 2014: 64
  - 3 孙满利, 王旭东, 李最雄. 土遗址保护初论[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 94-97  
Sun Manli, Wang Xudong, Li Zuixiong. Preliminary theory of earth site protection [M]. Beijing: Science Publishing House, 2010: 94-97
  - 4 蔡美峰, 何满潮, 刘东燕. 岩石力学与工程[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 111-113  
Cai Meifeng, He Manchao, Liu Dongyan. Rock mechanics and engineering [M]. Beijing: Science Publishing House, 2013: 111-113
  - 5 杜文凤, 张虎元. 莫高窟壁画加筋土遗址干缩变形研究[J]. 敦煌研究, 2015(1): 116-123  
Du Wenfeng, Zhang Huyuan. Shrinkage deformation of mural plasters reinforced with natural fabrics at the mogao grottoes [J]. Dunhuang Research, 2015(1): 116-123
  - 6 赵林毅, 李 黎, 樊再轩, 等. 古代墓室壁画地仗加固材料的室内研究[J]. 敦煌研究, 2016(2): 108-116  
Zhao linyi, Li li, Fan Zaixuan, et al. Laboratory study on the conservation and restoration materials of wall paintings of ancient tombs [J]. Dunhuang Research, 2016(2): 108-116
  - 7 林芳辉, 彭家惠. 石膏基材料耐水性指标及测试方法[J]. 中国建材科技, 1995, 4(1): 11-15  
Lin Fanghui, Peng Jiahui. Water resistance index and test method of gypsum base materials [J]. China Building Materials Science & Technology, 1995, 4(1): 11-15
  - 8 王 琴. 生土材料的改性研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2009  
Wang Qin. Study on modification of raw soil material [D]. Chongqing: Chongqing University, 2009
  - 9 孔令伟, 郭爱国, 赵颖文, 等. 荆门膨胀土的水稳性及其力学效应[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(6): 727-732  
Kong Lingwei, Guo Aiguo, Zhao Yingwen, et al. Water stability of Jingmen expansive soils and their mechanical effect [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(6): 727-732
  - 10 张 抒, 唐辉明. 非饱和花岗岩残积土崩解机制试验研究[J]. 岩土力学, 2013, 34(6): 1668-1674  
Zhang Shu, Tang Huiming. Experimental study of disintegration mechanism for unsaturated granite residual soil [J]. Rock and Soil Mechanics, 2013, 34(6): 1668-1674
  - 11 王 浪, 邓 辉, 邓通海, 等. 软岩耐崩解和室内浸水崩解试验方法差异性分析[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(7): 106-111  
Wang Lang, Deng Hui, Deng Tonghai, et al. Analysis in the difference of collapse resistance test and immersion test schemes of soft rock [J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(7): 106-111
  - 12 谏文武, 郭志谦, 徐彦荣, 等. 基于 SH 加固材料的土遗址夯土试样室内滴渗试验研究[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(8): 1517-1523  
Shen Wenwu, Guo Zhiqian, Xu Yanrong, et al. Laboratory tests on rammed earth samples of earthen sites instilled by reinforcement material SH [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2015, 37(8): 1517-1523

## Experimental Study on Material Water-resistance of the Cave Mural in Jiazhaerjia Mountain, Sichuan Province

ZHAO Fan, XIE Zhen-bin, WANG Chong  
(Sichuan Archeology Research Institute, Chengdu 610041, China)

**[Abstract]** In order to ascertain material water-resistance of the cave mural in Jiazhaerjia mountain, the disintegration characteristics of ground layer sample is researched under the condition of still water immersion through proof test. The result shows that all samples could disintegrate in different degrees. Most samples with poor water-resistance disintegrate partly in a period of time. A few samples with especially poor water-resistance disintegrate fully in a short period of time. Disintegration process can be roughly divided into initial period, occurrence period and end period. The samples disintegrate intermittently or suddenly in occurrence period. The difference of water-resistance is directly related to structure feature and material composition. So the proposed measure of mural protected at original site in water is not feasible. The test scheme with quantitative and dynamic feature has certain application prospect for material water-resistance test in rock and soil cultural relic conservation.

**[Key words]** mural material water-resistance still water immersion disintegration