

柯岩造像及摩崖题刻防风化材料性能研究

金柏创¹ 张旭² 李晶²

(1. 绍兴市柯桥区文物保护管理所, 浙江绍兴, 312000; 2. 国文科保(北京)新材料科技开发有限公司, 河北涿州, 072750)

摘要 柯岩造像及摩崖题刻长期受外界环境、本身材质及人为因素的影响, 风化严重。本文以其为研究对象, 通过实验室模拟老化试验进行柯岩造像及摩崖题刻专用防风化材料的筛选, 并对实验室筛选出的材料进行现场试验, 通过保护前后数据的对比, 进行加固及防水效果的评估, 确定纳米级二氧化硅复合氟碳乳液+防水剂+纳米级二氧化钛封护剂保护材料体系对其保护效果较好。

关键词 造像及摩崖题刻 凝灰岩 防风化材料

1 前言

柯岩造像及摩崖题刻位于浙江省绍兴县柯岩风景区内, 2013年5月25日, 国务院公布其为第七批全国重点文物保护单位。是一处不可多得的研究古人石雕、造像、摩崖、石刻等艺术遗产的综合场所, 文物构成主要包括石雕大佛、云骨, 以及蚕花洞、七星岩和文昌阁遗址的摩崖题刻。但由于长期处于露天环境, 风吹日晒雨淋等作用, 文物表面出现了严重的风化现象, 亟需进行防风化处理。因此, 针对柯岩造像及摩崖题刻专用的防风化材料的研究工作迫在眉睫。

2 柯岩造像及摩崖题刻岩石性质

我国石刻造像石材以砂岩和石灰岩为主, 而柯岩造像及摩崖题刻石材为凝灰岩, 这是极为罕见的。凝灰岩是一种分布最广泛、最常见的细粒火山碎屑岩。碎屑主要表现为岩屑、晶屑、玻屑和火山灰, 其碎屑粒径一般小于2.0mm^[1]。本防风化材料研究所选用的样板石材, 均取自柯岩摩崖石刻附近与文物同材质的岩石, 经分析检测为凝灰岩, 其主要成分为SiO₂和Al₂O₃, 其中SiO₂含量占60%~70%, Al₂O₃含量占25%~30%, 同时还含少量的K₂O、Fe₂O₃、CaO、TiO₂, 属酸性硅酸盐岩石, 主要成分及含量见表1。

表1 各样品主要成分及含量

(单位: %)

样品编号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂
1	65.91	25.05	4.08	3.12	0.91	0.26
2	63.72	26.32	3.92	3.04	2.51	0.30
3	60.34	29.35	3.53	3.87	1.66	0.18
4	66.87	24.28	4.09	3.11	1.25	0.18

3 保存环境及保存现状评估

防风化材料研究前,我们对柯岩造像及摩崖题刻的保存环境及保存现状进行了检测与评估,以筛选出最适于此文物的防风化材料。

3.1 保存环境评估结果

为确定柯岩造像及摩崖题刻所处环境,我们对柯岩风景区内SO₂、NO₂、CO₂、紫外光强度、风速、湿度及TSP质量浓度等环境参数进行检测,检测结果见表2。

表2 柯岩风景区环境参数平均值

检测区域	SO ₂ 浓度	NO ₂ 浓度	紫外光强度	CO ₂ 浓度	湿度	风速	TSP浓度
	/(mg/m ³)	/(mg/m ³)	/(mW/cm ²)	/ppm	/%	/(m/s)	/(mg/m ³)
大佛	0.0313	0.0185	3.184	241	46.5	0.94	0.2252
云骨石	0.0198	0.0158	1.196	291	50.6	0.44	0.0446
柯岩题刻	0.0510	0.0140	2.424	233	46.9	1.41	0.0220
古七星岩	0.0379	0.0098	0.561	262	57.0	0.46	0.0211
整体环境	0.0342	0.0147	1.906	255	50.4	0.72	0.07823

3.2 保存现状评估结果

为确定柯岩造像及摩崖题刻的保存现状,我们对整个区域内的文物本体进行了数据采集工作,共设置数据采集点近100个,通过对检测数据的整理分析发现各点位检测数据存在一定的差异,整体来看该文物本体表层强度、硬度较低,仅为新鲜岩石的70%左右,表层含水率为新鲜岩石的1.5倍,色度偏低,说明其污染、风化严重,各区域检测数据见表3。

表3 各区域文物本体检测数据平均值

检测区域	划痕宽度 /10 ⁻² mm	回弹值	超声波波速/(m/s)	含水率 /%	色度		
					<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
大佛	48.8	28	1521	1.4	50.9	2.3	9.6
云骨石	44.3	35	1241	1.6	55.0	3.3	6.4
柯岩题刻	56.5	30	1668	1.2	45.6	3.5	6.0
古七星岩	49.7	32	1741	2.0	54.9	3.1	4.7
新鲜岩石	36.4	48	1515	1.0	70.4	3.2	5.2

4 防风化材料筛选试验材料

石质文物的防风化保护材料研究需要选择与文物材质相同或相近的岩石，为保证试验结果的准确性与科学性，本次防风化材料筛选试验石材取自柯岩造像附近。通过综合分析新鲜岩石涂刷防风化材料前后及模拟老化试验后各项性能指标，选择出最合适的防风化材料。

本次保护对象材质为凝灰岩，孔隙较多，孔径较大，因此外界水分、有害物质等对其破坏性较大，因此防风化材料必须具有较好的加固、防水及封护效果，同时还需具有较好的耐老化性能。

我国在石质文物保护过程中常用的保护材料主要包括两大类：一类是无机材料，如氢氧化钡、碱土硅酸盐及氟硅酸盐等^[2]；另一类是有机材料，如有机硅树脂、丙烯酸树脂及环氧树脂等^[3]。综合分析柯岩造像及摩崖题刻岩石性质及所处环境特点，结合石质文物保护工程实例，选择三种材料进行材料筛选试验，材料名称及编号见表4。

表4 试验材料编号、名称及物态

材料编号	材料名称	物态
1	3%B72丙酮溶液	液态
2	Remmers 500E有机硅材料	液态
3	纳米级二氧化硅复合氟碳乳液+防水剂+纳米级二氧化钛封护剂	液态

5 防风化材料筛选试验方法及结果

本次防风化材料筛选试验包括涂装性能试验及耐老化性能试验，根据最少干预和可再处理的原则，筛选出在两组试验中各项性能均较好的材料，用于柯岩造像及摩崖题刻的防风化保护。

5.1 涂装性能试验

1) 试验方法

将所取石样加工成8cm × 5cm × 2cm大小的试验样板，清洗并烘干，完成各项参数的采集工作后进行防风化材料的涂装，待各材料稳定后进行各项参数的采集工作，涂装前后数据详见表5。

表5 各试验样板涂装前后检测数据

样块 编号	增重量 /g	划痕宽度/10 ⁻² mm		色差值 ΔE	表面自由渗水率/(L/30min)	
		涂装前	涂装后		涂装前	涂装后
1号样块	0.13	30.3	25.3	3.8	0.54	0.13
2号样块	0.10	33.1	26.6	2.5	0.56	0.15
3号样块	0.20	32.9	26.7	2.0	0.60	0.16

2) 试验结果

三种材料的涂装都没有使样块的外观发生明显改变，都具有一定的加固效果，而且使样块的表面防水性能有所提高。相对来说，3号材料对于样块的渗透性较好，表层强度提高18.9%，涂装前后

色差值仅为2.0,对样块的色度改变最小;1号材料有一定的渗透性和加固效果,但对样块的色度改变相对较大;2号材料渗透性相对略差,加固效果较为明显。因此,对于涂装性能而言,3号材料相对较好,其余两种材料对于样块也起到了一定的增强与保护效果。

5.2 耐老化性能试验

1) 试验方法

根据文物保存环境的各项参数及相关行业上的标准进行套用或按比例放大设定材料耐老化试验。通过对各样板老化试验前后外观及各项参数的对比,进行各材料耐老化性能的评估。

2) 试验项目及检测指标

试验项目包括综合环境模拟老化试验、淋雨试验、气体腐蚀试验、紫外光老化试验、冻融试验、热老化试验,老化试验总时间为1000h。老化试验的检测指标包括重量损失率、表层强度改变程度、色差值、表面自由渗水率。

3) 试验结果

通过各项老化试验前后涂装各材料的试验样板检测参数的对比,进行试验结果的分析,以综合环境老化试验为例,检测参数详见表6。

表6 各试验样板综合环境老化试验前后检测数据

试验项目	样块编号	重量损失率/%	表层强度改变程度	色差值 ΔE	老化后表面自由渗水率/(mL/30min)
综合环境模拟老化试验	0	64	↓ 11.4	1.6	0.40
	1	54	↑ 4.4	2.8	0.10
	2	93	↓ 5.8	3.9	0.20
	3	44	↑ 4.7	2.1	0.10

在综合环境模拟老化试验中,1、2号材料涂装的样块在试验后颜色稍有变浅,其余各样块在试验前后外观无明显变化。从试验前后各样块的性能改变可以看出,样块的重量损失率:3号<1号<空白<2号。样块的表层强度改变程度:1号<3号<2号<空白。其中,1号材料和3号材料涂装样块的表层强度改变程度较为接近。样块的色差值:空白<3号<1号<2号。样块的自由渗水率:3号、1号<2号<空白。因此,综合对比,3号材料的耐综合环境老化性能相对较好。

在其他单项老化试验中,3号材料也表现出较好的耐淋雨、紫外光、气体腐蚀、冻融及热老化的性能,因此在环境模拟老化试验中,3号材料耐老化性能优于其他两种材料。

5.3 综合试验结果

根据各材料的涂装性能试验和耐老化性能试验结果,3号材料对于样块的渗透性较好,表层强度提高18.9%,涂装前后色差值仅为2.0,对样块的色度改变最小。在耐老化性能试验中,3号材料在综合环境模拟老化试验、淋雨试验、紫外光老化试验、有害气体腐蚀试验、冻融试验、热老化试验中,各项性能表现均相对较好。因此,在保护材料筛选试验中,3号材料的保护效果最好,拟选用3号保护材料体系(纳米级二氧化硅复合氟碳乳液+防水剂+纳米级二氧化钛封护剂)作为柯岩造像及摩崖题刻表面加固与防护材料。

6 防风化材料现场试验结果

为确认实验室筛选出的防风化材料对于柯岩造像及摩崖题刻的防风化效果，我们在柯岩风景区选取了具有典型风化特征的摩崖题刻进行现场试验。

6.1 加固效果

现场保护试验后，风化的石刻表面回弹值增加了11%~14%，表面划痕宽度减小了13%~20%，石刻表面强度增加，加固效果显著，检测数据见表7。

表7 保护前后检测数据

点位	回弹值			划痕宽度		
	保护前	保护后	变化率/%	保护前 10^{-2} mm	保护后 10^{-2} mm	变化率
1	34	38	11.8	44.3	35.2	-20.5%
2	33	37	12.1	49.7	40.2	-19.1%
3	35	39	11.4	42.2	36.5	-13.5%
4	35	40	14.3	46.0	38.5	-16.3%

6.2 防水效果

对试验后的石刻表面进行防水效果检验，从照片上可以看出，水接触到试验面后，呈现聚集状态或者沿石刻表面流下，水在石刻表面不浸润，表面疏水效果明显，检测数据详见表8。

表8 保护前后检测数据

点位	超声波波速			表面自由渗水率		
	保护前/(m/s)	保护后/(m/s)	变化率/%	保护前/(mL/30min)	保护后/(mL/30min)	变化情况
1	1750	1808	3.3	0.3	0.1	减小
2	1824	1921	5.3	0.4	0.1	减小
3	1699	1769	4.1	0.3	0.1	减小
4	1889	1965	4.0	0.2	0.1	减小

通过上表可以看出，保护后石刻表层超声波波速变化较小，材料渗透并未对石质孔隙度造成大的影响，石刻表面自由渗水率都减小到0.1mL/30min及以下，石刻表面防水效果显著。

6.3 对文物外观的影响

不改变文物外观是文物保护的基本原则。保护前后石刻外观几乎没有视觉变化，保护试验没有对石刻造成感官变化，检测数据详见表9。

表9 保护前后检测数据

点位	色差 (ΔE)	光泽度
1	0.6	无眩光
2	0.6	无眩光
3	1.3	无眩光
4	0.8	无眩光

检验保护前后石刻表面的色度与光泽,从数据结果看,保护前后色差均小于2,石刻色度未发生明显改变;另外,由于石刻表面平整度不够,光泽度无法进行仪器检测,通过现场观察,保护后石刻表面无眩光,保护试验并没有改变石刻外观光泽。

6.4 现场试验结果

通过现场试验前后文物本体各项参数的对比确认,该防风化材料的使用不会使柯岩造像及摩崖题刻外观产生明显改变,同时具有较好的加固及防水效果,使用后文物本体的表层强度及防水性能大大提高,又未对岩石本身的孔隙结构造成堵塞,不影响其再次保护。

7 小 结

通过对柯岩造像及摩崖题刻岩石性质研究、保存环境与保存现状的检测与评估,使我们对其保存状态有了较为详细、准确的了解,为防风化材料的筛选奠定了基础。通过防风化材料筛选试验及现场试验的综合分析结果,筛选出了对其保护效果较好的防风化材料,该材料体系能够在不改变文物外观的同时有效提高其表层强度及防水性能,同时又未堵塞岩石本身的孔隙结构,不影响其再次保护。

希望以上一系列的研究及试验,能够对石质文物保护材料的评估与选择提供一个科学研究思想。

参 考 文 献

- [1] 徐飞,王勉,万俐,等.浙江余杭凝灰岩摩崖石刻造像防风化材料性能研究//中国文物保护技术协会,故宫博物院文博科技部编.中国文物保护技术协会第七次学术年会论文集.北京:科学出版社,2013:220-221.
- [2] 韩冬梅,郭广生.化学加固材料在石质文物保护中的应用.文物保护与考古科学,1999,(2).
- [3] 王丽琴,党高潮.加固材料在石质文物保护中应用的研究进展.材料科学与工程学报,2004,22(5):778-782.