

四川地区古代石刻风化原因的研究

曾中懋

(四川省文物管理委员会, 成都, 610041)

摘要 对四川地区七处古代石刻取样, 并进行了物理性质和X衍射分析。结合石刻所在地区的气候特征和现状, 提出了四川地区石刻风化的原因。

关键词 古代石刻 风化原因

一、前言

古代石刻在四川地区遗存较多, 据不完全统计共有三百多处, 这些古代石刻生存至今, 少则几百年、多则一二千年, 饱经各种自然的和人为的破坏, 都有不同程度的风化。风化作用使得古代石刻呈粉状或片状脱落, 致使表面线条不清、轮廓模糊, 甚至完全破坏, 不复存在。长期以来, 古代石刻的风化一直引起人们的关注。要减弱古代石刻的风化, 降低它的风化作用, 增强其抗御自然力破坏的能力, 首先需要了解造成四川地区古代石刻风化的原因。

岩石学从理论上和实践上对大面积岩层风化的内在因素和外部条件, 以及风化后的产物都作出了较为详尽的论述, 这些理论和实践一直是研究岩石风化的基础。但对文物保护来说, 需要了解的不是大面积岩层风化的原因, 而是具体的、小范围内的、某一古代石刻(如一处摩岩造像或几个龛窟)的风化原因。在众多的风化原因中, 寻找出主要的风化原因来^[1]。

二、样品

为了解造成四川地区古代石雕的风化原因, 在七处古代石刻造像的同一岩层的非雕刻和未风化部位, 分别凿取造像岩石进行测试。

1. 大足宝顶山摩岩造像 建于南宋淳熙六年至淳祐九年(A.D 1179—A.D 1249), 历时七十余年, 有巨型雕刻三十余幅, 佛像万余尊。全部造像均凿刻在长石石英砂岩上, 呈淡褐色, 岩高15—30m, 岩长500m, 现存造像除牧牛道场、圆觉洞外, 均上彩和贴金。

2. 大足北山摩岩造像 始建于唐景福元年(A.D 892), 历经五代至南宋绍兴, 历时250余年建成, 共有造像264龛窟。全部龛窟凿刻在长石石英砂岩上, 呈浅褐红色, 岩高7m, 岩长500m。造像风化较为严重, 现存全部造像均未上彩和贴金。

3. 安岳华严洞摩岩造像 为南宋嘉熙四年(A.D 1240)所建。依岩凿洞, 洞宽8m、洞深10m, 有佛像60余尊, 造像岩石为长石石英砂岩, 呈淡褐红色。现存石刻均未上彩和贴金。

4. 广元皇泽寺摩岩造像 为南北朝、隋、唐、宋不同时期的石刻, 现存石刻和摩岩造像34处、造像千尊, 造像岩石为长石石英砂岩, 呈绿黄色, 现存雕刻均未上彩和贴金。

5. 广元千佛崖摩岩造像 为南北朝、隋、唐、宋、元、明不同时期的石刻。石刻南北长约200m, 最高处40m, 共有龛窟400多个、造像7000余尊, 龛窟重叠密布, 最多达13层之多。造像岩石为长石石英砂岩, 呈淡黄色。现存石刻均未上彩和贴金, 造像风化严重。

6. 乐山大佛 为依凌云山断崖凿成的一尊弥勒坐像, 为唐开元元年(A.D. 713)创建, 贞元十九年(A.D. 803)完成。造像岩石为长石石英砂岩, 呈褐红色。大佛全身生长着苔藓等低级植物, 岩体风化极为严重。

7. 雅安高颐阙 为东汉建安十四年(A.D. 209)所建, 今存东、西两阙, 相距13m。东阙上部残损严重, 已不能复原; 西阙现状完好, 阙高12.4m。造阙岩石为长石石英砂岩, 呈红褐色, 质地坚硬, 力学强度高。虽造像年代较早, 但雕刻风化极弱。

三、测 试

对所取得的七组样品分别进行物理性质和X衍射成分分析。

1. 物理性质的测试

物理性质的测试按地质和水文工程的有关规范进行。其结果见表1。

表1 各造像砂岩物理性质测试结果(按孔隙率大小为序排列)

序号	样品来源	分 析 结 果			
		比重(g/cm ³)	容重(g/cm ³)	孔隙率(%)	吸水率(%)
1	雅安高颐阙	2.69	2.57	4.46	1.44
2	广元皇泽寺摩岩造像	2.69	2.35	12.64	4.16
3	安岳华严洞摩岩造像	2.68	2.34	12.69	4.16
4	大足宝顶山摩岩造像	2.55	2.17	15.01	5.07
5	大足北山摩崖造像	2.70	2.29	15.19	5.14
6	广元千佛崖摩岩造像	2.48	2.21	16.89	5.81
7	乐山大佛	2.66	2.06	22.56	8.19

2. X衍射结构成分分析

X衍射结构分析是在荷兰Philips PW 1010 X衍射分析仪上进行的。测试条件是: 电流16mA、电压34kV、铜靶、扫描速度20/min, 时间常数2s、散射狭缝1°、岁散狭缝1°, 速率计量程1000cps。测试结果见表2。

表2 X衍射结构成分分析结果表

序号	样品来源	分 析 结 果 (%)									
		石英	钠长石	钾长石	方解石	白云石	褐铁矿	赤铁矿	绿泥石	水云母	多水高岭石
1	雅安高颐阙	47	16	2	11	5	7		5	7	
2	广元皇泽寺摩岩造像	45	22	13					10	8	2
3	安岳华严洞摩岩造像	39	30	5	5			2	4	15	
4	大足宝顶山摩岩造像	41	23	6	8			3	7	11	
5	大足北山摩岩造像	38	29	8					14	11	
6	广元千佛崖摩岩造像	40	21	16				2	3	15	3
7	乐山大佛	41	12	9	10		5		5	8	10

四、讨 论

1. 从现场直观看, 上述各处摩崖造像的现状, 即风化程度是: 乐山大佛 > 广元千佛岩摩岩

造像>大足北山摩岩造像>大足宝顶山摩岩造像>安岳华严洞摩岩造像>广元皇泽寺摩岩造像>雅安高颐阙。这个风化程度从大到小的顺序,恰巧与表1中各暗处造像砂岩的孔隙率从大到小的排列是一致的。造像砂岩本身的孔隙率越大,岩石结构就越疏松,造像砂岩的力学强度——抗压强度、抗拉强度和抗剪切强度就越低,抵御各种外界因素对造像砂岩造成破坏的能力就越差。因而造像砂岩的孔隙率的大小可以作判定造像砂岩抗风化能力强弱的标志。

另外造像砂岩的孔隙率越大,吸收水分的能力就越强,贮藏的水分也越多。这样,碳酸盐——方解石和白云石的溶蚀作用,胶结泥质的流失都会越大,造像砂岩的风化速度也就越快。在雅安高颐阙的造像砂岩中,虽然有较多的碳酸盐类矿物,再加上所在地的湿度较大、雨水较多的气候特征,似乎高颐阙的风化应是比较严重的。但是实际情况是,高颐阙的风化程度却较轻,浮雕的轮廓和线条都很清晰。这正是由于组成高颐阙的砂岩结构严密,力学强度大,比重和容重都居砂岩之首,孔隙率、吸水率都很低,因此大大地减少了碳酸盐类矿物与空气中的水分和二氧化碳的接触,致使高颐阙的风化作用进行得很缓慢。而乐山大佛的造像砂岩的物理性质却与此正相反,故乐山大佛的风化是较为严重的。

把各处摩岩造像的风化强弱与X衍射结构分析的结果联系起来,可看出造像砂岩中,如果砂岩的孔隙率大致一样,那么泥质(绿泥石、水云母和高岭石的总和)含量多的造像就容易风化,这是大足北山摩岩造像的风化程度大于大足宝顶山摩岩造像的原因。如果孔隙率和泥质的含量大致一样,那么在造像砂岩中碳酸盐类矿物含量大的就容易风化,这就是大足宝顶山摩岩造像比安岳华严洞摩岩造像容易风化的内在原因。

2.造像砂岩自身具有风化条件,但真正要使造像砂岩风化,还必须要有若干外界因素相配合。这些外界因素就是一般所指的岩石风化原因——物理的、化学的和生物的。在这些诸因素中,大都要通过水作媒介而发生作用。所以说水是造成古代石刻风化的最根本的外部原因之一。

四川地区气候温暖、潮湿多雨、四季分明。冬暖、春早、夏热、秋雨,日温差较小、常年一般不超过 10°C ,年平均降雨量在1000mm以上、相对湿度夏季在80%左右、冬季在60%左右,气候属温带和亚热带混合型。现以雅安高颐阙和乐山大佛所处的气候条件之一——降水量为例说明。雅安是世界上全年日照最少的地方之一。这里全年日照时数只有960h,全年平均每天日照不到3h。雅安位于青藏高原东麓,地处四川盆地西缘,受地形影响,降水量特别多,素有“雨城”之称,年降水量为全省之冠,一年之中平均有218天降雨,年平均降雨量1774.3mm,最大月降水量为337mm。盛夏季节,暴雨频繁,雨日很多,日照自然很少。阴雨连绵的秋季,太阳更难露面,故有“天漏”之说。乐山大佛处于川西南多暴雨区,降水丰沛,年降水量为1368mm,最高年降水量为1949mm。全年降雨日数为175天,最多可达200天。所以四川地区遗存下来的古代砂岩石刻易受到水的危害,引起风化。

在造像砂岩中,胶结物多为泥质,少数是钙质,极少数是硅质。而泥质中又以绿泥石、水云母和高岭石为主。胶结泥质的微粒,特别是直径在 $1\mu\text{m}$ 左右的微粒,在饱水状态下容易发生水化作用^[4]。这是一种物理化学变化,泥质水化的结果,在泥质微粒的四周形成了一水化层,致使泥质微粒体积增大,造成造像砂岩的体积膨胀。反之,在干燥状态下,随着造像砂岩中水分的蒸发,泥质微粒四周的水化层就缩小,以至完全消失。这又使得泥质微粒的体积变小,造成造像砂岩体积的收缩。这种干湿交替产生的应力,使得造像砂岩产生了微小裂隙,多次反复,往复复始,最后成粉状或片状脱落。水份浸入首当其中的是石刻的表层,它是受水份

浸入和影响最大的部位,是体积膨胀和收缩最剧烈的地方,也是古代石刻上文物价值最高的部位。

另外,在潮湿的状态下,造像砂岩的力学强度会降低得很多。有人曾对大足宝顶山摩岩造像的岩石在风干和饱水的状态下,按风化的程度,即新鲜岩石、弱风化岩石、强风化岩石和剧烈风化岩石,分别使用XD-2点荷载仪进行力学强度测试,结果见表3^[3]。

表3 大足宝顶山造像砂岩在干湿状况下力学强度测试结果表

风化分带 试验状态	新鲜		弱风化		强风化		剧烈风化	
	干	湿	干	湿	干	湿	干	湿
抗拉强度(kg/cm ²)	24.7	22.5	12.2	6.7	5.0	2.6	-	2.2
抗压强度(kg/cm ²)	560	500	275	154	122	63	-	5.3

从测试结果看出,造像砂岩在饱水状态下,力学强度都比干燥时低;新鲜岩石下降得较小,风化砂岩下降得较大,其力学强度仅为干燥状况的1/2。

水份渗透进造像砂岩,不但会造成岩石力学强度和抗御风化能力的下降,还具有机械的淋蚀作用。雨水和地下水因自身重力的作用,向下流动,形成水帘和大小不同规模的“瀑布”,它具有较强的冲刷能力——一种机械作用力。这种力能将已被水分渗透、造成力学强度下降最为明显的各种造像砂岩的表层随水流的方向冲刷流失。水流速度越大,水流与造像砂岩之间的动摩擦力就越大,水流对造像砂岩的冲刷力也越大。经多次反复地冲刷,古代石刻的表层受到的破坏就会越来越严重。大足宝顶山摩岩造像中“人间别会”的毁坏原因正是如此。

3.除了水(雨水、冷凝水和地下水)对造像砂岩造成破坏之外,风的剥蚀也是不能忽视的。在冬季,四川地区多刮北风和西北风,常伴有霜和雾。在夏季,往往是刮地方性的阵性大风,早上有露。风力最大时可达8—10级,风速在28.5m/s以上。风力将造像砂岩表层已疏松的颗粒剥蚀,暴露出新的表面,使风化作用向深层发展。四川气候的另一特点是风伴随着雨,雨中夹杂着风,称为风雨交加。暴雨在短时间内可提供大量的水,其中,一小部分渗透进石刻造像的表层,大部分受自身重力的作用,在造像砂岩的表层形成水帘。水帘还要受到风的继续压力,使水的渗透作用加深。在风与表面成直角的方向吹向表面时,几个风速下的压力见表4^[4]。

表4 风速与风压的关系表

风速(m/s)	法向投向的表面压力(厘米水柱)
13.9	1.2
28.3	5.0
38.3	9.0

10级风的风速为28.5—32.0m/s,形成的表面压力为4.9—5.9Pa。有些石刻造像虽然有龛窟遮盖,因龛窟较浅,造像的下半身仍风化严重。其原因就在于风雨交加的情况下,风力把雨水吹送进石窟或石刻造像的下半部分,雨水和地下水的渗透使该部分的表层力学强度下降,这是风和雨共同作用的结果。广元千佛岩摩岩造像地处嘉陵江的东岸,冬季的西北风正对着它,夏季河道上的阵性大风将暴雨送到了岩面上,向下倾泄,不可一世。而处于同一地址的皇泽寺摩岩造像处在嘉陵江的西岸,它背对西北风,又修建了仿古建筑的遮盖体,避免了夏季雨水的侵蚀、渗透和冲刷。大足北山摩岩造像系南北走向,面对北风的剥蚀。在北山摩岩造像的136窟

和大足宝顶山摩岩造像的圆觉洞中,虽然洞窟内终年湿度较大(都在85%以上),造像表层的力学强度都很低,用手指甲就能凿下造像砂岩的表层。但因背向风或洞窟较深,风吹不进洞内,表层力学强度较差的颗粒,尚未被刮走或落下,造像至今仍保存较好。大足宝顶山摩岩造像地处马蹄形的山湾,虽然造像全部都接了石檐,但南面造像——牧牛道场正迎西北风,风化仍很严重。

4. 四川地区摩岩造像的风化除去上述三个互相关联的主要原因外,大气污染的破坏也是不容忽视的

根据乐山市环保部门对乐山大佛所在地的大气进行测试,结果见表5、表6^[1]。由表可见乐山大佛所在地的大气污染尤为严重。

表5 1982—1985年乐山大佛四周大气质量评价结果比较

年度	二氧化碳			氮氧化物			降尘			综合污染	
	年平均 均值	污染 指数	污染 系数	年平均 均值	污染 指数	污染 系数	年平均 均值	污染 指数	污染 系数	污染 指数	污染 系数
1982	0.14	2.33	污染	0.032	0.32	理想	8.7	1.50	污染	1.38	临界
1983	0.16	2.67	污染	0.037	0.37	理想	8.6	1.48	临界	1.51	污染
1984	0.15	2.50	污染	0.041	0.41	理想	9.7	1.58	污染	1.50	污染
1985	0.22	3.67	污染	0.050	0.50	理想	9.0	1.55	污染	1.90	污染

表6 乐山大佛所在地降水酸度统计表

年度	降水pH值			酸雨样品		
	最小值	最大值	平均值	酸雨频率(%)	酸雨量/总雨量(%)	酸雨pH平均值
1982	4.20	6.86	4.51	42.9	76.6	4.49
1983	3.08	7.60	4.69	66.3	74.1	4.61
1984	3.55	7.81	4.67	48.4	68.5	4.44
1985	3.49	7.76	4.62	72.1	89.8	4.54

大气污染可造成酸雨,在冬季还能造成酸雾,雾不过是更细小的雨滴。酸雨在造像砂岩上可与砂岩中的碳酸盐类矿物发生作用,使砂岩变得更加疏松多孔,更易被水冲刷流失和被风刮落。酸雨不是影响一个孤立的地区,而是影响较大区域的环境。现有的研究表明:大气污染可以随大气流输送到几千里以外的区域去。乐山大佛所在地的大气中酸雨严重,并非都是由乐山市大气污染所造成的。根据研究考查:大气中的污染物是随大气流从外地输入的。所以单靠某一城市或某一地区采取保护环境的措施来消除空气污染是不可能的。乐山大佛及其附近小龛风化之所以严重,与大气污染有着密切的关系。

参 考 文 献

- [1] G.Alessandrini G.Saia, G.Biscontin and L.Laszarini, The Arch of peace in Milan: I researches on stone deterioration, *Studeis in Conservation*, 27 (1982), 8.
- [2] 华东石油学院勘探系基础地质、石油地质教研室, 沉积岩, 石油工业出版社, 1977年, 第48页。
- [3] 黄克忠, 四川大足石刻加固工程中的检测工作, 四川文物, (待发表)。
- [4] 姜进展, 文博, 4(1986), 93.

[5] 邓仕高和周庆文, 浅谈大气污染对乐山大佛的影响, 四川文物, (待发表).

A study on the cause of weathering for ancient sandstone carvings in Sichuan

Zeng Zhongmao

(Board of Cultural Relics Management of Sichuan Province, Chengdu 610041)

Abstract

This paper describes that the samples have been gained in seven ancient sandstone carvings in Sichuan. Their physical property has been measured. Their component has been analysed by X-ray diffractometer. More over, it is discussed to combine the result of examination with the local climate and present state of ancient sandstone carvings. Cause of weathering for ancient sandstone carvings in Sichuan are the porosity and mud in the sandstone, erosion and rushing of the rain, wearing of the wind and environmental pollution.

Keywords: Ancient sandstone carvings Cause of weathering

1991年4月27日收到