

DB50

重庆市地方标准

DB 50/T 843—2017

不可移动石质文物修复操作规程

Operation rules for the restoration of non removable stone cultural rel

2017 - 12 - 30 发布

2018 - 06 - 01 实施

重庆市质量技术监督局

发布



目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本要求 6

5 清洗 6

6 脱盐 9

7 加固 10

8 灌浆 12

9 粘接 14

10 补全 16

11 封护 18



前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由重庆市文物局提出并归口。

本标准起草单位：大足石刻研究院、大足石刻世界文化遗产旅游开发区管理委员会。

本标准主要起草人：蒋思维、陈卉丽、冯太彬、韩秀兰、尹爱民、刘婷婷。

本标准于2017年12月首次发布。



不可移动石质文物修复操作规程

1 范围

本规程规定了不可移动石质文物修复操作的基本要求,以及对清洗、脱盐、加固、灌浆、粘接、补全、封护等的材料、器具、操作条件、工艺流程、操作要求、质量检验和成品保护的要求。

本规程适用于以下不可移动石质文物的修复:

- a) 区县级以上政府公布为文物保护单位的不可移动石质文物,含古文化遗址、古墓葬、古建筑、石窟寺、石刻等。
- b) 区县级政府文物行政部门登记公布为不可移动文物的石质文物点,及确有保护价值的不可移动石质历史遗留物。
- c) 其他符合或部分符合不可移动石质文物的可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 17412.1-1998 岩石分类和命名方案 火成岩岩石分类和命名方案

GB/T 17412.2-1998 岩石分类和命名方案 沉积岩岩石分类和命名方案

GB/T 17412.3-1998 岩石分类和命名方案 变质岩岩石分类和命名方案

WW/T 0002-2007 石质文物病害分类与图示

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

石质文物 stone cultural relics

指人类在历史发展过程中遗留下来的具有一定历史、艺术、科学价值的,以天然岩石或石材加工制作的遗物和遗迹,分为不可移动石质文物和可移动石质文物,可移动石质文物不在本规程范围之内。

3.2

不可移动石质文物 unmovable stone relics

指以天然岩石或石材加工制作的具有一定历史、艺术、科学价值的不可移动的遗物和遗迹,包括古文化遗址、古墓葬、古建筑、石窟寺、石刻、近代现代重要史迹和代表性建筑等。

3.3

石质文物材质 texture of stone cultural relics

指石质文物承载历史信息的载体,包括石质文物本体和石质文物表面装饰层。石质文物本体指加工

制作为石质文物的天然岩石或石材，以下简称石质。表面装饰层中的金箔、彩绘等不在本规程范围之内。

天然岩石或石材主要分为以下类型：

- a) 火成岩岩石：花岗岩、玄武岩等。
- b) 沉积岩岩石：砂岩、凝灰岩、石灰岩等。
- c) 变质岩岩石：大理石、片麻岩等。

出处：参照国标GB/T 17412.1-1998、GB/T 17412.2-1998和GB/T 17412.3-1998的有关规定执行。

3.4

历史修复材料 historical restoration materials

指历代工匠对石质文物残缺、残损部分使用其他替代材料进行补全修复的部分，主要材料有泥、石灰、石膏、水泥、混凝土等。

3.5

石质文物保存环境 conservation environment of stone cultural relics

保存环境包括：露天环境、半露天环境、室内环境及地下环境四种保存环境。

3.6

石质文物病害 diseases of stone cultural relics

石质文物病害是指石质文物在长期使用、流传、保存过程中由于环境变化、自然营力侵蚀、人为破坏等因素导致文物在物质成分、结构构造、甚至外貌形态上发生的破坏现象。

3.6.1

尘土 dust

粉尘、泥土及风化产物在石质表面沉积。

3.6.2

水渍 water logging

水流经石质表面留下的痕迹。

3.6.3

水锈结壳 incrustation

水侵蚀石质文物，在表面形成硬壳。

3.6.4

人为干预 human intervention

人为涂鸦、书写、烟熏，以及由保护引起的变色与污染等。

3.6.5

生物病害 biological disease

植物、动物、微生物在石质表面生长繁衍的现象。

- a) 植物病害：树木、杂草或低等植物（蕨类、苔藓等）在石质表面生长繁衍，对文物形成根劈作用的现象。
- b) 动物病害：昆虫、小动物等在石质表面、空鼓或裂隙部位活动和生长繁衍，污染或侵蚀文物的现象。
- c) 微生物病害：霉菌、地衣等微生物菌群在石质表面生长繁衍，污染文物或使文物表面（层）风化的现象。

3.6.6

盐析 salting-out

又称表面泛盐。指石质表面可溶盐富集析出并结晶的现象。

3.6.7

粉化剥落 powder peeling

石质表面酥粉剥落的现象。

3.6.8

孔洞状风化 hole-like weathering

石质表层形成孔洞状或蜂窝状风化的现象。

3.6.9

鳞片状剥落 Scaly exfoliation

石质表面产生鳞片状起翘并剥落的现象。

3.6.10

片状剥落 flaking

石质表层片状、板块状剥落的现象。

3.6.11

空鼓 empty drum

石质表层鼓起、分离形成空腔，但并未完全剥落的现象。

3.6.12

裂隙 cracks

指不可移动石质文物在各种因素作用下发生的破裂变形（不包括有明显位移的断裂），按形成机理分为三大类型：

- a) 风化裂隙：因物理风化、生物风化和化学风化作用形成的浅表层裂隙；

- b) 应力裂隙：因石质本身结构构造和应力作用而深入石质文物内部的裂隙；
- c) 构造裂隙：石质文物石质成岩过程中形成的原生性构造裂隙。

3.6.13

断裂 breakage

裂隙贯穿性切割产生明显位移和错位的现象。

3.6.14

残缺 loss

石质文物局部缺失与残损。

3.7

石质文物修复技术 repair techniques of stone cultural relics

为消除或减缓石质本体病害实施的修复措施，包括清洗、加固、粘接、灌浆、补全、封护等。基本流程如图1。

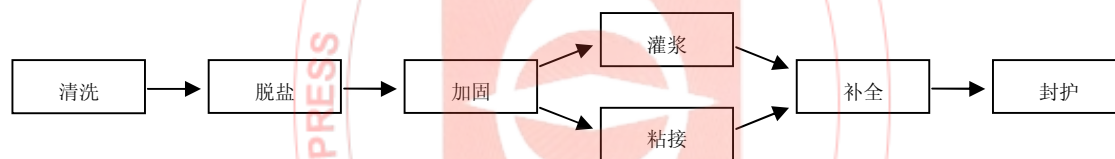


图1 石质文物修复操作基本流程

3.7.1

清洗 cleaning

去除石质文物表面的风化物、污染物等有害物质。清洗分为物理清洗和化学清洗。

- a) 物理清洗：使用机械工具或水清洗去除附着于石质表面的尘土、微生物等污染物。
- b) 化学清洗：利用化学材料清洗去除石质表层的生物污斑、烟熏物、水渍、结垢、人为涂覆、铁锈和油漆等污染物。

3.7.2

脱盐 desalination

使用去离子水或蒸馏水浸润棉纸或纸粉等贴敷吸附的方法，去除石质表面可溶盐的一种修复措施。

3.7.3

加固 reinforcement

按修复对象分为风化石质加固和结构性稳定性加固。

- a) 风化石质加固：分为滴渗加固和喷涂加固。通过在风化孔隙中引入、补充合适的加固材料，增加或恢复其应有的强度。风化加固对象主要为石质粉化脱落和鳞片状剥落部位。
- b) 结构稳定性加固：使用替换或锚固、支顶、垫砌等方法，对石质文物出现位移、沉降、歪闪、倾斜、掏蚀等失稳部位进行加固。

3.7.4

灌浆 grouting

对石质文物裂缝、空鼓部位灌注化学材料进行粘接加固的一种修复措施。分为常规灌浆、高压灌浆和锚固灌浆。

- a) 常规灌浆：使用灌浆材料对风化裂隙、张开度及深度小的应力裂隙、空鼓石质进行的灌浆。
- b) 高压灌浆：使用灌浆机对张开度及深度大的应力裂隙、影响稳定性的构造裂隙进行加压灌浆。
- c) 锚固灌浆：使用灌浆材料和锚杆对张开度及深度大，且位于边坡或底面的裂隙进行的锚杆锚固灌浆。

3.7.5

粘接 binding

使用黏结材料对石质断裂脱落块体进行拼对复位粘接处理的一种修复措施。依据粘接修复对象分为常规粘接和锚杆粘接。

- a) 常规粘接：使用黏结材料直接拼对粘接断裂脱落体量小的石质文物块体。
- b) 锚杆粘接：使用黏结材料和锚杆锚固粘接断裂脱落体量大或处于易脱落部位的石质文物块体。

3.7.6

补全 integrity repairing

因缺损影响石质文物稳定性或严重影响艺术效果，在资料完备和考古充分的条件下使用补配材料进行补全的一种修复措施。依据补全对象分为常规补全和连接件补全。

- a) 常规补全：使用补全材料对残缺体量小的部位进行随形补全。
- b) 连接件补全：使用补全材料和连接件对残缺体量大的部位进行随形补全。
- c) 连接件：指使用竹、木或金属材料等制作的构件连接文物残缺部位与补全体，增加补全的稳固性。
- d) 随形补全：依据残缺部位本体形态、尺寸等，随其延伸方向进行修补。

3.7.7

封护 coating

使用憎水材料喷涂石质表面的一种修复措施。

3.7.8

预加固 pre-reinforcement

在清洗和脱盐前，使用可再处理的低浓度风化石质加固材料，并参照风化石质加固方法，加固稳定性差的粉化石质和鳞片状石质的一种临时修复措施。

3.7.9

勾缝 pointing

粘接和灌浆后使用修复材料进行填充找平的修复措施。

3.7.10

协色 color consistence

使用矿物颜料对石质文物修复中和修复后的部位进行颜色协调的修复措施。

3.7.11

成品保护 finished product protection

对修复完成以后的石质文物采取的临时保护措施。

4 基本要求

- 4.1 石质文物修复应以审批通过的保护修复方案为依据。
- 4.2 石质文物修复应遵循真实性、最小干预、可识别性和最大兼容性的原则。
- 4.3 石质文物修复技术人员应经过专业培训，掌握修复技能，了解修复对象。
- 4.4 石质文物修复应及时收集资料，做好科学、规范的档案记录。
- 4.5 工程实施阶段，应做好修复对象、修复人员及周边环境的防护措施。
- 4.6 施工中应对文物本体和修复工艺、材料开展跟踪监测。
- 4.7 化学材料应有注册商标、生产厂家、合格证书、出厂日期、性能说明等。
- 4.8 化学材料应无毒、无害，即不对环境造成污染，不对人体造成危害。
- 4.9 化学材料要远离火源、电源，避免阳光直射。
- 4.10 根据保存状况、艺术效果确定历史修复材料的保留或去除，并严格按照石质文物修复操作流程进行修复操作，其中具有重要价值的历史修复材料去除后应予保存。

5 清洗

5.1 材料要求

- 5.1.1 化学清洗材料应具备良好的安全性。
- 5.1.2 表面污染物清洗用水应为去离子水、纯净水或蒸馏水。
- 5.1.3 清洗中使用的脱脂棉和棉纸应具有良好的吸水性，且柔软、无杂质。
- 5.1.4 抑菌材料和低等植物灭杀材料要求高效、低毒、对环境友善等。

5.2 主要器具材料

5.2.1 主要器具

手术刀、油画刀、雕刻刀、铲刀、镊子、竹签、牙刷、毛笔、洗耳球、刷子、棉签、脱脂棉、棉纸、棉布、量筒、量杯、玻璃容器、吸尘器、振动刻蚀机、电子分析天平等。

5.2.2 主要清洗材料

水、乙醇、丙酮、石油醚、氢氧化钠、碳酸铵、氨水、六偏磷酸钠、乙二胺四乙酸、柠檬酸、草酸、离子交换树脂等。

5.2.3 主要的微生物和植物灭杀材料

过氧化氢、碳酸氢钠、氨水等抑菌材料，硫酸亚铁、高锰酸钾等除草剂和低等植物灭杀剂。

5.3 操作条件

5.3.1 石质风化严重部位，需进行预加固处理。

5.3.2 清洗过程中应具备适宜的温湿度环境。

5.3.3 清洗前，修复人员应对病害情况有充分认识和理解。

5.4 工艺流程

5.4.1 尘土清洗

软毛刷、毛笔、洗耳球去除浮尘→竹签、修复刀等去除坚硬厚实尘土→吸尘器吸取清除尘土→棉签、牙刷蘸水或水与乙醇、水与丙酮等清洗尘土→棉签蘸水清洗残留有机溶液→质量检验。

5.4.2 水渍清洗

软毛刷、毛笔、洗耳球去除浮尘→吸尘器吸取清除的污物→棉签、牙刷蘸六偏磷酸钠、乙二胺四乙酸等溶液清洗表面水渍→六偏磷酸钠、乙二胺四乙酸等溶液湿润棉纸贴敷吸附表层水渍→棉签蘸水清洗残留有机溶液→质量检验。

5.4.3 水锈结壳清洗

软毛刷、毛笔、洗耳球去除浮尘→六偏磷酸钠、乙二胺四乙酸等溶液湿润棉纸贴敷软化硬壳→修复刀、手术刀、振动刻蚀机等去除软化硬壳→吸尘器吸取清除的污物→棉签、牙刷蘸六偏磷酸钠、乙二胺四乙酸等溶液清洗残留物→棉签蘸水清洗残留有机溶液→质量检验。

5.4.4 烟熏清洗

软毛刷、毛笔、洗耳球去除浮尘→竹签、修复刀、手术刀等去除表面烟熏物→吸尘器吸取清除的污物→棉签、牙刷蘸碳酸铵、氢氧化钠等溶液清洗表面烟熏物→碳酸铵、氢氧化钠等溶液湿润棉纸贴敷吸附表层烟熏物→棉签蘸水清洗残留有机溶液→质量检验。

5.4.5 油漆清洗

软毛刷、毛笔、洗耳球去除浮尘→修复刀、手术刀等去除表面厚实油漆→吸尘器吸取清除的污物→棉签、牙刷蘸丙酮溶液、石油醚等清洗表面油漆→丙酮溶液、石油醚等湿润棉纸贴敷吸附表层油漆→棉签蘸水或乙醇（主要针对石油醚使用）清洗残留有机溶液→质量检验。

5.4.6 铁锈清除

软毛刷、毛笔、洗耳球去除浮尘→修复刀、手术刀、振动刻蚀机等去除表面铁锈→吸尘器吸取清除的污物→棉签、牙刷蘸柠檬酸、草酸等溶液清洗表面铁锈→柠檬酸、草酸等溶液湿润棉纸贴敷吸附表层铁锈→棉签蘸水清洗残留有机溶液→质量检验。

5.4.7 生物病害清洗

生物病害清洗依据病害种类包括以下3种方法：

- a) 动物病害的去除：软毛刷、毛笔、洗耳球去除浮尘→竹签、修复刀、手术刀等去除表面动物污斑→吸尘器吸取清除的污物→棉签、牙刷蘸水或水与乙醇、水与丙酮等有机溶液清洗残留污斑→棉签蘸水清洗残留有机溶液→质量检验。
- b) 植物病害的去除：清除危害文物的植物→软毛刷、毛笔、洗耳球去除尘土→竹签、修复刀等去除植物污斑→吸尘器吸取清除的污物→棉签、牙刷等蘸水或水与乙醇、水与丙酮等有机溶液清洗残留污斑→棉签、牙刷蘸水清洗残液→配制硫酸亚铁等喷涂灭杀→质量检验。
- c) 微生物病害的去除：软毛刷、软毛笔、洗耳球去除尘土→竹签、修复刀去除微生物污斑→吸尘器吸取清除的污物→棉签、牙刷蘸水或水与乙醇、水与丙酮等有机溶液清洗残留污斑→棉签、牙刷蘸水清洗残液→配制抑菌剂喷涂灭杀→质量检验。

5.5 操作要求

- 5.5.1 根据石质文物表面污染物类型选择合适的工艺，操作流程应严格按照设计要求执行。
- 5.5.2 操作中应做好文物的防护措施。
- 5.5.3 石质粉化脱落或鳞片状剥落等部位应在预加固后进行清洗操作，预加固方法参照 7.4.1 风化石质加固执行。
- 5.5.4 使用手术刀、修复刀等工具，动作要轻柔，修复工具与修复面呈 45° 角倾斜。
- 5.5.5 棉签清洗应朝着一个方向操作，及时更换棉球，避免造成二次污染。
- 5.5.6 清洗不能留下划痕或改变颜色。
- 5.5.7 贴敷吸附清洗时，要注意控制时间，防止化学材料过多渗入石质内部。
- 5.5.8 清洗器具应具备良好的可操作性和安全性，并符合设计要求。

5.6 质量检验

- 5.6.1 清洗器具、材料的使用，以及操作流程符合设计要求。
- 5.6.2 清洗后石质表面无划痕或颜色未改变。
- 5.6.3 石质表面尘土、烟熏、油漆、铁锈、水渍、水锈结壳等污染物，以及生物病害得到有效去除。
- 5.6.4 植物和微生物彻底灭杀。
- 5.6.5 检验方法参照表 1 执行，清洗质量符合表 1 的要求。

表1 质量要求及检验方法

序号	项目	质量要求	检验方法
1	表面污染物的清洗	无残留污物	目测、视频显微镜
2	生物病害的清洗	植物和微生物彻底灭杀，清洗后无残留污物	目测、视频显微镜
3	工具使用要求	无划痕	目测

5.7 成品保护

使用棉纸、塑料膜、棉布等对已经完成的清洗部位进行遮护，防止降尘和修复残渣、废液对其造成污染。

6 脱盐

6.1 材料要求

- 6.1.1 脱盐使用去离子水、蒸馏水等无杂质纯水。
- 6.1.2 脱盐使用的吸附材料选用吸水性和吸附力好的棉纸或纸粉。
- 6.1.3 脱盐用水和吸附材料的选择应符合设计要求。

6.2 主要器具材料

6.2.1 主要器具

毛笔、洗耳球、排刷、羊毛刷、量杯、玻璃容器、搅拌机、镊子、电导率仪等。

6.2.2 主要脱盐材料

水、棉纸、纸粉等。

6.3 操作条件

- 6.3.1 脱盐应在石质表面尘土、污染物、生物病害清除后进行。
- 6.3.2 脱盐部位应保持干净、干燥。
- 6.3.3 脱盐过程中应有合适的温湿度环境。

6.4 工艺流程

软毛刷、毛笔、洗耳球去除表面污物→去离子水、蒸馏水等无杂质纯水浸润棉纸或纸粉（加水搅拌制成纸浆）→将棉纸或纸浆贴敷于盐析部位→排刷、羊毛刷等将其拍实→取下自然干燥的棉纸或纸浆，置于纯水中检测电导率值→反复脱盐并检测，直至电导率检测值减小并趋于稳定→质量检验。

6.5 操作要求

- 6.5.1 脱盐操作流程应严格按照设计要求执行。
- 6.5.2 操作中应做好文物的防护措施。
- 6.5.3 脱盐部位顺序由上而下或由内而外。
- 6.5.4 脱盐时，棉纸或纸浆应贴实于石质表面。
- 6.5.5 空气干燥且温度高于 30℃时，贴敷的棉纸或纸浆上可覆盖保鲜膜，减缓水分蒸发。
- 6.5.6 吸附材料自然干燥后方可进行揭取。
- 6.5.7 石质粉化脱落或鳞片状剥落等部位应在预加固后进行脱盐操作，预加固处理方法参照 7.4.1 风化石质加固执行。
- 6.5.8 电导率值降低并趋于稳定后停止脱盐。
- 6.5.9 脱盐器具应具备良好的可操作性和安全性，并符合设计要求。

6.6 质量检验

- 6.6.1 脱盐工具、材料的使用，以及操作流程符合设计要求。
- 6.6.2 脱盐后石质表面无盐结晶体。
- 6.6.3 多次脱盐后吸附材料的电导率值应逐渐减小并趋于平稳。
- 6.6.4 检验方法参照表 2 执行，脱盐质量符合表 2 的要求。

表2 质量要求及检验方法

序号	项目	质量要求	检验方法
1	表面盐结晶	无残留	目测
2	检测吸附材料的电导率值	多次脱盐后的电导率值应逐渐减小并趋于平稳	电导率仪检测

6.7 成品保护

用棉纸、塑料膜、棉布等对已经完成的脱盐部位进行遮护，防止降尘、修复材料及其他因素造成污染和破坏。

7 加固

7.1 材料要求

- 7.1.1 风化石质加固材料应具有良好的安全性、可操作性、渗透性、流动性和黏结力等。
- 7.1.2 风化石质加固材料应有良好的耐久性和耐候性。
- 7.1.3 加固材料在固化时收缩率小或不收缩。
- 7.1.4 结构稳定性加固选取的石材应与石质文物材质一致。
- 7.1.5 结构稳定性加固使用的金属构件、竹木构件等辅助材料应符合设计要求。

7.2 主要器具材料

7.2.1 主要器具

注射器、各种型号针头、排刷、毛笔、羊毛刷、喷壶、量筒、量杯、电子分析天平、玻璃容器、脱脂棉、棉签、棉纸、手术刀、油画刀、镊子、竹签、洗耳球、吸尘器、衬垫材料、捆绑绳（带）、千斤顶、电（手）动葫芦、起重机、升降机等。

7.2.2 主要的风化石质加固材料

丙烯酸树脂、有机硅树脂、有机氟树脂、醋酸纤维素等。

7.2.3 主要的结构稳定性加固材料

石材、灰浆、环氧树脂、金属构件、竹木构件等。

7.3 操作条件

- 7.3.1 风化石质加固应在清洗、脱盐作业完成后进行。
- 7.3.2 风化石质加固部位应保持干净、干燥。
- 7.3.3 风化石质加固过程中应有合适的温湿度环境。
- 7.3.4 石质结构稳定性加固的构件替换、锚固及垫砌等，加固对象基础应稳定。

7.4 工艺流程

7.4.1 风化石质加固

软毛刷、毛笔、洗耳球去除浮尘污染物→配制加固材料→依据病害类型和面积选择加固工艺→反复多次加固直至不再吸收→质量检验。

7.4.2 结构稳定性加固

- a) 风化失稳石构件替换：选取石材并加工→临时防护→拆除风化失稳石构件→构件替换填补→石材间填充灰浆→拆除防护设施→勾缝、协色→质量检验。
- b) 沉降、歪闪、倾斜石构件支顶、垫砌：选取石材并加工→临时防护→本体衬垫捆绑→起重设备抬升或起吊→沉降、歪闪、倾斜部位加固、石材垫砌、拨正→石材间填充灰浆→拆除防护设施→勾缝、协色→质量检验。
- c) 位移失稳石构件锚固：临时防护→钻锚孔→清理锚孔→制作锚杆、配置灌浆材料→埋植锚杆→灌浆→锚孔内浆液干燥后修补孔口→勾缝、协色→质量检验。

7.5 操作要求

- 7.5.1 风化石质加固和稳定性加固操作流程应严格按照设计要求执行。
- 7.5.2 风化石质加固使用的渗透材料浓度，应依据风化程度严格按照设计要求进行调整。
- 7.5.3 风化加固顺序应由上而下和由内而外。
- 7.5.4 风化加固应控制加固速度，防止材料在石质表面结膜。
- 7.5.5 风化石质加固不能表面产生眩光和改变颜色。
- 7.5.6 结构稳定性加固应做好评估，并符合设计要求。
- 7.5.7 构件严重风化且影响文物稳定性的，方可实施构件替换。
- 7.5.8 结构稳定性加固应做好文物和人员的安全防护。
- 7.5.9 吊装设备的使用应具备良好的可操作性和安全性，并符合设计要求。

7.6 质量检验

- 7.6.1 加固器具、加固材料的使用，以及操作流程符合设计要求。
- 7.6.2 风化石质加固后颜色无变化，表面无眩光。
- 7.6.3 风化石质加固后强度低于或接近同材质未风化石质强度。
- 7.6.4 结构稳定性加固后，石质文物整体稳定性增强。
- 7.6.5 结构稳定性加固填补或替换的石构件与本体颜色接近。
- 7.6.6 替换的石构件与本体高差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 范围以内。
- 7.6.7 检验方法参照表3执行，加固质量符合表3的要求。

表3 质量要求及检验方法

序号	项目	质量要求	检验方法
1	风化石质加固	表面颜色	无变化
		表面形貌	无眩光
		强度	接近或低于同材质未风化石质强度
2	结构稳定性加固	表面颜色	替换的石构件与本体颜色接近
		表面形貌	替换的石构件与本体的允许偏差 $\pm 5\text{mm}$
		稳定性	结构稳定，无位移、沉降、歪闪、倾斜

表3 质量要求及检验方法（续）

序号	项目	质量要求	检验方法
3	埋植锚杆	锚孔内部结构	超声波检测
		锚孔内浆液固结体强度	接近本体强度 硬度计检测

7.7 成品保护

用棉纸、塑料膜、棉布等对已经完成的加固修复部位进行遮护，防止降尘、修复材料及其他因素造成污染和破坏。

8 灌浆

8.1 材料要求

- 8.1.1 灌浆材料应具备良好的兼容性、流动性、附着力、黏结力和安全性等。
- 8.1.2 灌浆材料应有良好的耐久性和耐候性。
- 8.1.3 灌浆材料应有良好的可操作性，固化时间可调节、可控制。
- 8.1.4 灌浆浆液在固化时收缩率小或不收缩。
- 8.1.5 灌浆材料固结体有良好的抗渗性能和强度。
- 8.1.6 灌浆浆液对灌浆设备、管路无腐蚀，易于清洗。
- 8.1.7 锚固灌浆中的锚孔灌浆材料可使用与裂隙、空鼓相同的、浓度略高的灌浆材料。
- 8.1.8 锚固灌浆锚杆应符合设计要求。

8.2 主要器具材料

8.2.1 主要器具

灌浆机、灌浆管、排气管、电钻、注射器、各种型号针头、排刷、毛笔、羊毛刷、喷壶、量筒、量杯、电子分析天平、玻璃容器、脱脂棉或棉签、棉纸、修复刀、手术刀、油画刀、镊子、砂纸、砂布、竹签、洗耳球、吸尘器等。

8.2.2 主要灌浆材料

超细水泥、高岭土、环氧树脂、有机硅树脂、醋酸纤维素、甲基丙烯酸甲酯、非水溶性聚氨酯浆等。

8.2.3 主要填料和辅助材料

石粉、细小石子、石英砂等填料，竹、木或金属材料等制成的锚杆。

8.3 操作条件

- 8.3.1 灌浆操作应在清洗、脱盐、加固作业完成后进行。
- 8.3.2 裂隙断面或空鼓部位干净、干燥。
- 8.3.3 裂隙和空鼓断面石质稳定无风化。
- 8.3.4 锚固灌浆埋置的锚杆稳固。
- 8.3.5 灌浆过程中应有合适的温湿度环境。

8.4 工艺流程

8.4.1 常规灌浆

常规灌浆依据裂隙和空鼓的体量包括以下两种方法：

- a) 手动灌浆流程：清理裂隙→裂隙断面渗透加固→配置灌浆材料→手动灌注灌浆材料→局部修补→协色→质量检验。
- b) 灌浆机常压灌浆流程：清理裂隙→裂隙断面渗透加固→裂隙边缘涂有机硅脱膜剂→使用封堵材料对裂隙作临时封口处理，预留灌浆口→检漏→配置灌浆材料→灌浆机常压灌注灌浆材料→去除封堵材料→局部修补→协色→质量检验。

8.4.2 高压灌浆

清理裂隙→裂隙断面渗透加固→裂隙口边缘涂有机硅脱膜剂→使用封堵材料对裂隙作临时封口处理，预留灌浆口→检漏→配置灌浆材料→设置灌浆机压力→灌浆机加压灌注灌浆材料→去除封堵材料→局部修补→协色→质量检验。

8.4.3 锚固灌浆

清理裂隙→裂隙断面渗透加固→钻锚孔→清理锚孔→制作锚杆→配置锚孔灌浆材料→锚孔埋植锚杆并灌浆→裂隙口边缘涂有机硅脱膜剂→使用封堵材料对裂隙作临时封口处理，预留灌浆口→锚孔内浆液干燥后裂隙检漏→配置裂隙灌浆材料→设置灌浆机压力→灌浆机常压或加压灌注灌浆材料→去除封堵材料→局部修补→协色→质量检验。

8.5 操作要求

- 8.5.1 根据裂隙、空鼓类型和体量选择合适的工艺，其操作流程应严格按照设计要求执行。
- 8.5.2 操作中应做好文物防护措施。
- 8.5.3 脱膜剂的涂刷应方便剔除。
- 8.5.4 裂隙封口堵漏应严实，防止灌浆时产生漏浆。
- 8.5.5 灌浆机灌浆应有专人观测，出现漏浆应及时清除。
- 8.5.6 高压灌浆应严格控制灌浆压力，确保石质文物安全。
- 8.5.7 灌浆材料应填实、填满，裂隙缝口预留修补位置。
- 8.5.8 锚固灌浆时锚孔灌浆应密实，且材料完全固化、锚杆固定后，方可进行灌浆操作。
- 8.5.9 锚固灌浆锚孔位置、数量、深度，锚杆大小、材质，应符合设计要求。
- 8.5.10 灌浆器具应具备良好的可操作性和安全性，并符合设计要求。

8.6 质量检验

- 8.6.1 灌浆器具、材料的使用，以及操作流程符合设计要求。
- 8.6.2 灌浆后，风化裂隙和空鼓无扩展。
- 8.6.3 裂隙、空鼓部位浆液填实、填满，固结后无空腔，浆液固结体强度接近本体强度。
- 8.6.4 锚固灌浆锚孔内浆液填实、填满，锚杆稳固，浆液固结体强度接近本体强度。
- 8.6.5 局部修补颜色与本体接近或一致，修补材料固结体与本体高差控制在±1mm以内。
- 8.6.6 局部修补材料固结体强度低于本体强度。
- 8.6.7 检验方法参照表4执行，灌浆质量符合表4的要求。

表4 质量要求及检验方法

序号	项目		质量要求	检验方法
1	裂隙、空鼓灌浆	风化裂隙和空鼓表面形貌	灌浆后无扩展	目测，尺量
		内部结构	浆液填实、填满，无空腔	敲击检测风化裂隙、空鼓 超声波或地质雷达检测应力裂隙和构造裂隙
		灌浆材料固结体强度	接近或低于本体强度	岩石贯入阻力仪检测
2	埋植锚杆后	锚孔内部结构	浆液填实、填满，无空腔	超声波检测
		锚孔内浆液固结体强度	接近本体强度	硬度计检测
3	灌浆后的局部修补	表面颜色	与本体接近或一致	目测、色卡比对
		表面形貌	与本体的允许偏差 $\pm 1\text{mm}$	目测、尺量
		固结体强度	低于本体强度	硬度计检测

8.7 成品保护

用棉纸、塑料膜、棉布等对已经完成的灌浆修复部位进行遮护，防止降尘、修复材料及其他因素造成污染和破坏。

9 粘接

9.1 材料要求

- 9.1.1 粘接材料应具备良好的安全性、可再处理性、兼容性、黏结力、附着力等。
- 9.1.2 粘接材料应有良好的耐久性和耐候性。
- 9.1.3 粘接材料应有良好的可操作性，固化时间可调节、可控制。
- 9.1.4 粘接材料在固化时收缩小或无收缩。
- 9.1.5 固结体的抗压、抗拉强度高。
- 9.1.6 锚杆粘接中的锚孔灌浆材料可使用与断裂粘接相同的、浓度略高的粘接材料。
- 9.1.7 粘接使用锚杆应符合设计要求。

9.2 主要器具材料

9.2.1 主要器具

锯子、凿子、电钻、注射器、各种型号针头、排刷、毛笔、羊毛刷、洗耳球、量筒、量杯、电子分析天平、玻璃容器、脱脂棉或棉签、棉纸、修复刀、手术刀、油画刀、镊子、砂纸、砂布、竹签、洗耳球、吸尘器、衬垫材料、捆绑绳（带）、电（手）动葫芦、起重机、升降机等。

9.2.2 主要粘接材料

水硬石灰、修复砂浆、环氧树脂、有机硅树脂、有机氟树脂、醋酸纤维素等。

9.2.3 主要填料和辅助材料

石粉、石英砂等填料，竹、木或金属材料等制成的锚杆。

9.3 操作条件

- 9.3.1 粘接操作应在清洗、脱盐、加固作业完成后进行。
- 9.3.2 粘接面应保持干净、干燥，并具有一定的粗糙度。
- 9.3.3 粘接面石质稳定无风化层。
- 9.3.4 粘接面能紧密结合。
- 9.3.5 锚杆粘接埋置的锚杆稳固。
- 9.3.6 粘接过程中应具备适宜的温湿度环境。

9.4 工艺流程

9.4.1 常规粘接

清理粘接面→加固粘接面→拼接处做好标记→配制粘接材料涂抹粘接面→拼对粘接→稳固支护→粘接材料完全固化后拆除支护设施→局部修补→协色→质量检验。

9.4.2 锚杆粘接

清理粘接面→加固粘接面→标记拼接位置→制作锚杆→粘接面钻锚孔→清理锚孔→加固锚孔→配置粘接材料→粘接面（任意一面）埋植锚杆并灌入粘接材料→锚杆固定后将粘接材料灌入对应面锚孔→粘接面涂抹粘接材料→拼对粘接并固定和支护→粘接材料完全干燥固化后拆除支护设施→局部修补→协色→质量检验。

9.5 操作要求

- 9.5.1 根据断裂石质体量及位置选择合适的工艺，操作流程应严格按照设计要求执行。
- 9.5.2 操作中应做好文物和人员的防护措施。
- 9.5.3 断面残缺部位在粘接前应进行修补。
- 9.5.4 做好拼对标记，避免粘接错位。
- 9.5.5 控制粘接材料使用量，避免材料溢出，如有溢出，应及时清理。
- 9.5.6 粘接时，粘接面应结合紧密。
- 9.5.7 锚杆粘接锚孔位置、数量、深度，锚杆大小、材质，应符合设计要求。
- 9.5.8 锚杆粘接时锚孔灌浆应密实，且材料完全固化、锚杆固定后，方可进行粘接操作。
- 9.5.9 人工无法搬动的大体量断裂石质吊装拼对、粘接应做好衬垫捆绑。
- 9.5.10 粘接完成后，做好支护，支护设施的拆除必须在粘接材料完全固化后进行。
- 9.5.11 粘接器具应具备良好的可操作性和安全性，并符合设计要求。

9.6 质量检验

- 9.6.1 粘接器具、材料的使用，以及操作流程符合设计要求。
- 9.6.2 粘接材料填实、填满，无空腔。
- 9.6.3 粘接后无明显错位，错位允许偏差在 $\pm 3\text{mm}$ 以内。
- 9.6.4 粘接材料固结体强度接近本体强度。
- 9.6.5 锚杆粘接锚孔内浆液填实、填满，锚杆稳固，浆液固结体强度接近本体强度。
- 9.6.6 局部修补颜色与本体颜色接近或一致，修补材料固结体与本体高差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内。
- 9.6.7 局部修补材料固结体低于本体强度。
- 9.6.8 检验方法参照表 5 执行，粘接质量符合表 5 的要求。

表5 质量要求及检验方法

序号	项目		质量要求	检验方法
1	断裂粘接	粘接后的表面形貌	错位允许偏差 $\pm 3\text{mm}$	目测, 尺量
		内部结构	粘接材料填实、填满, 无空腔	X射线探伤机或超声波检测
		粘接材料固结体强度	接近本体强度	硬度计或岩石贯入阻力仪检测
2	粘接后的局部修补	局部修补的表面颜色	与本体接近或一致	目测、色卡比对
		表面形貌	与本体的允许偏差 $\pm 1\text{mm}$	目测、尺量
		修补材料固结体强度	低于或接近本体强度	硬度计检测
3	埋植锚杆	锚孔内部结构	浆液填实、填满, 无空腔	超声波检测
		锚孔内浆液固结体强度	接近本体强度	硬度计检测

9.7 成品保护

9.7.1 粘接部位应做好支护, 在粘接材料完全固化前, 严禁扰动。

9.7.2 用棉纸、塑料膜、棉布等对已经完成的粘接修复部位进行遮护, 防止降尘、修复行为及其他因素造成污染。

10 补全

10.1 材料要求

10.1.1 补全材料应具备良好的安全性、可再处理性、兼容性、黏结力、附着力等。

10.1.2 补全材料应有良好的耐久性和耐候性。

10.1.3 补全材料应有良好的可操作性, 固化时间可调节、可控制。

10.1.4 补全材料在固化时收缩率小或无收缩。

10.1.5 补全材料固结体有良好的抗渗性能和强度。

10.1.6 连接件补全中的连接孔灌浆材料可使用与补全修复相同的、浓度略高的补全材料。

10.1.7 补全修复如需使用连接件的, 使用材料应符合设计要求。

10.2 主要器具材料

10.2.1 主要器具

锯子、凿子、电钻、注射器、各种型号针头、排刷、毛笔、羊毛刷、洗耳球、量筒、量杯、电子分析天平、玻璃容器、脱脂棉或棉签、棉纸、修复刀、雕刻刀、手术刀、油画刀、镊子、砂纸、砂布、竹签、洗耳球、吸尘器等。

10.2.2 主要补全材料

水硬石灰、修复砂浆等, 有机硅树脂、有机氟树脂、醋酸纤维素等。

10.2.3 主要填料和辅助材料

石粉、石英砂等填料, 竹、木和金属材料等制成的连接件。

10.3 操作条件

- 10.3.1 适宜的温湿度环境。
- 10.3.2 具有完备的历史资料和考古资料。
- 10.3.3 补全应在清洗、脱盐、加固、灌浆、粘接作业完成后进行。
- 10.3.4 补全结合面无软弱层、无尘土污物。
- 10.3.5 补全结合面具有一定的粗糙度。
- 10.3.6 连接件补全埋置的连接件稳固。
- 10.3.7 补全需在石质残缺部位加固完成后。

10.4 工艺流程

10.4.1 普通补全

清理补全修复面→反复多次加固→补全材料多次随形修补→补全材料固化后,打磨修型→协色→质量检验。

10.4.2 连接件补全

清理补全修复面→反复多次加固修复面→钻连接孔→清洁连接孔→加固连接孔→制作连接件→埋植连接件并配制灌浆材料浆灌→灌浆材料完全固化后→补全材料多次随形修补→补全材料固化后打磨修型→协色→质量检验。

10.5 操作要求

- 10.5.1 根据残缺的体量及部位选择合适的工艺,操作流程应严格按照设计要求执行。
- 10.5.2 操作中应做好文物的防护、遮护措施。
- 10.5.3 配制补全修复材料时,控制好黏稠度,应以不挂流为宜。
- 10.5.4 残缺部位无依据可查但影响稳定性或整体艺术效果,可适量进行随形修补。
- 10.5.5 补全量大的,应分多次进行,再次补全操作应在前次补全材料基本固结后进行。
- 10.5.6 连接件数量、大小、材质及埋植位置,应符合设计要求。
- 10.5.7 使用连接件补全时,连接孔灌浆材料应填实,孔内材料完全固化、连接件固定后,方可进行补全修复。
- 10.5.8 严格控制修补和打磨修型的操作力度。
- 10.5.9 补全器具应具备良好的可操作性和安全性,并符合设计要求。

10.6 质量检验

- 10.6.1 补全器具、材料的使用,以及操作流程符合设计要求。
- 10.6.2 补全材料固结体颜色与本体一致。。
- 10.6.3 补全材料固结体与本体高差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 范围以内。
- 10.6.4 补全材料固结体强度低于本体强度。
- 10.6.5 连接件补全连接孔内浆液填实、填满,连接件稳固,浆液固结体强度接近本体强度。
- 10.6.6 检验方法参照表 6 执行,补全质量符合表 6 的要求。

表6 质量要求及检验方法

序号	项目		质量要求	检验方法
1	残缺补全	表面颜色	固结体与本体接近或一致	目测、色卡比对
		表面形貌	与本体的允许偏差 $\pm 1\text{mm}$	目测、尺量
		固结体内部结构	无孔洞、分界面	X射线探伤机或超声波检测
		固结体强度	低于本体强度	硬度计、岩石贯入阻力仪检测
2	埋植连接件	连接孔内部结构	浆液填实、填满，无空腔	超声波检测
		连接孔内浆液固结体强度	接近本体强度	硬度计检测

10.7 成品保护

10.7.1 补全部位应做好防护，在未完全固化前，避免扰动。

10.7.2 用棉纸、塑料膜、棉布等对已经完成的补全修复部位进行遮护，防止降尘、修复行为及其他因素造成污染。

11 封护

11.1 材料要求

11.1.1 应具有良好的安全性、可操作性、渗透性和流动性等。

11.1.2 应具有良好的耐久性和耐候性。

11.2 主要器具材料

11.2.1 主要器具

喷壶、注射器、排刷、毛笔、羊毛刷、洗耳球、量筒、量杯、电子分析天平、玻璃容器、脱脂棉或棉签、棉纸、塑料膜、棉布等。

11.2.2 主要封护材料

机硅树脂、有机氟树脂、醋酸纤维素、丙烯酸等。

11.3 操作条件

11.3.1 封护应在清洗、加固、灌浆、粘接、补全等工作完成后可进行。

11.3.2 封护之前应对已修复的部位整体除尘。

11.3.3 封护对象表面层干净、干燥。

11.3.4 封护操作应有适宜的温湿度环境。

11.4 工艺流程

石质文物整体除尘→配制封护材料→封护→质量检验。

11.5 操作要求

11.5.1 根据石质文物体量选择合适的工艺，操作流程应严格按照设计要求执行。

11.5.2 封护顺序应由上而下和由内而外。

11.5.3 严格控制封护速度，避免材料凝聚和流淌。

11.5.4 封护器具应具备良好的可操作性和安全性，并符合设计要求。

11.6 质量检验

11.6.1 封护器具、材料的使用，以及操作流程应符合设计要求。

11.6.2 封护后表面颜色无变化，表面无眩光。

11.6.3 封护后吸水性应接近本体石质。

11.6.4 检验方法参照表 6 执行，封护质量符合表 6 的要求。

表7 质量要求及检验方法

序号	项目	质量要求	检验方法
1	表面颜色	无变化	目测、色卡比对
	表面形貌	无眩光	目测
	吸水性	接近本体石质	卡斯滕瓶检测

11.7 成品保护

封护处理过程中，用棉纸、塑料膜、棉布等对已封护部位进行临时遮护，待封护材料完全干燥后方可去除临时遮护材料。