



大型石窟寺石质本体保护修复

——以大足千手观音造像为例

陈卉丽 冯太彬 韩秀兰 彭柳升

(大足石刻研究院, 重庆, 402360)

摘要 中国的石窟分布广泛, 历史悠久, 因我国南北方气候环境的差异性, 导致南北方石窟寺保存现状的差异, 但主要病害类型和保护修复技术有共通性。本文以处于南方湿润气候环境下的彩绘贴金石质文物大足千手观音造像为例, 对石质本体的保护研究、修复技术以及典型病害修复案例等进行详细论述。在石质修复中, 始终秉承“思与行”的工作思路与研究方法, 最大限度地保留了千手观音原始雕刻形态以及表面贴金层等历史信息。通过石质本体修复, 有效消除或缓解了石质本体病害, 确保了千手观音雕刻品的稳定性, 恢复了千手观音造像的完整性, 满足了文物的审美需求, 同时为千手观音造像贴金、彩绘的修复提供了良好的操作条件。

关键词 大型石窟寺 千手观音 石质本体 保护修复

引言

中国的石窟分布广泛, 历史悠久, 气势恢宏, 是中华民族的瑰宝。我国南北方气候环境的差异性, 导致南北方石窟保存现状的差异。北方石窟由于北方风沙大、气候干燥、温差变化大、冬季结冰等因素影响, 其风化破坏基本以物理性破坏为主。而南方石窟处于南方高温高湿、雨水充沛、生物生长活跃、酸雨的环境, 其风化破坏更多的是化学、生物性的。但主要的病害类型(岩体失稳、水害侵蚀、石质风化等)与保护的技术方法(危岩加固、水害治理、石质加固等)有共通性。石窟寺本体石质病害的发生发展, 损伤的是石材, 破坏的是其所承载的历史、艺术等信息。

处于南方湿润气候环境下的大足千手观音造像位于大足石刻宝顶山大佛湾南崖, 编号第8号, 开凿于南宋淳熙至淳祐年间(1174~1252年), 是我国最大的集雕刻、贴金、彩绘于一体的摩崖石刻造像, 占崖面积88m²。石质本体修复是千手观音保护工程的重要环节, 对造像的稳定性和完整性有着极其重要的作用, 同时也是造像表面贴金层和彩绘层的载体。千手观音造像历经八百载沧桑岁月, 病害严重多达34种, 其中石质存在风化、残缺、断裂、空鼓、剥落、溶蚀、污染、生物病害和盐晶花9种病害。千手观音石质病害不仅影响造像的长久保存, 还导致其所承载的历史、艺术等多种信息丢失。2008年国家文物局将千手观音保护项目列为全国石质文物保护一号工程加以保护, 同

年6月国家文物局以文物保函〔2008〕611号文件正式批准开展大足千手观音造像抢救性保护工程。2008年7月~2015年5月,项目承担单位中国文化遗产研究院联合国内多家科研院所一起针对千手观音保护修复复杂问题,对其进行了集体“把脉会诊”的前期勘察研究,为千手观音造像的修复寻求到了“千金良方”。在总体保护修复方案获得审批后,分区域开展石质本体加固、补形等修复工作。

1 千手观音的保护修复研究

千手观音造像在长期自然营力和人类活动的影响下,造像本体产生了石质风化,雕刻品断裂、脱落,金箔开裂、起翘,彩绘粉化、起甲等多种病害,同时因地质、水文、大气等复杂的影响因素,千手观音保护项目是一项集保护修复与研究于一体的大型文物保护工程,其复杂性和艰巨性在国内文物保护工程中罕见。为此,先期开展了大规模勘察研究工作。

1.1 岩土体工程地质详细勘察

了解岩体的稳定性和渗水状况是石窟寺文物保护的基础,采用物探、钻探、坑探与地质测绘相结合,多种技术手段交替使用、互相验证、综合分析,建立三维水文地质仿真模型,以查明千手观音造像崖壁岩体内地下水的分布和渗流情况,为千手观音造像的保护工程设计提供科学依据。勘察表明,千手观音造像区内岩体完整,不受地下水影响。千手观音造像区的潮湿主要由凝结水导致的。

1.2 保存现状及主要病害调查

以千手观音本体表层现状为对象,将石质、彩绘、金箔作为病害分类的材质基础,确定了三类材质的基本病害术语及图示。通过将考古探方立面化的形式,将千手观音立面划分为9层11列共计99个单元,分别以单元格、造像、手为调查单位,针对文物病害种类与面积、手臂数量和残缺数目、法器数量三方面进行了调查(图1~图4)。

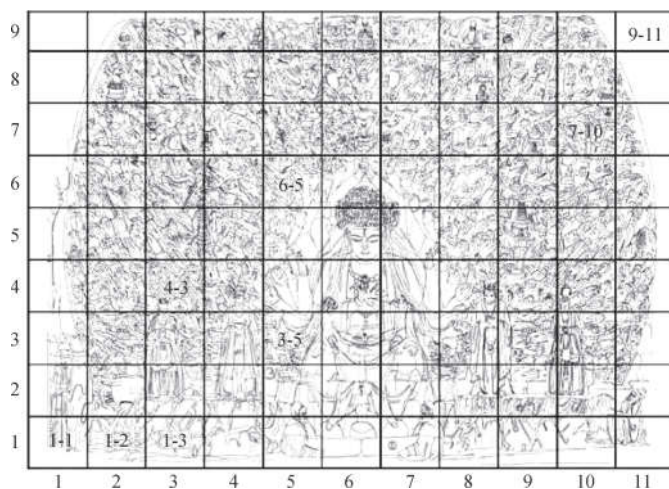


图1 现状调查:网络布控+区域编号(手臂编号、法器编号)



图2 风化

图3 残缺

图4 裂隙切割

调查结果(图5)显示,千手观音现存手臂数量为830只,其中手817只,臂13只,石质存在风化、残缺、断裂、裂隙、空鼓、盐析、涂覆、尘土、补塑材料劣化等多种病害。石质风化面积约91m²,断裂和裂隙约有90处,据统计千手观音手指总数3840只,有残缺的手指3015只,占手指总数

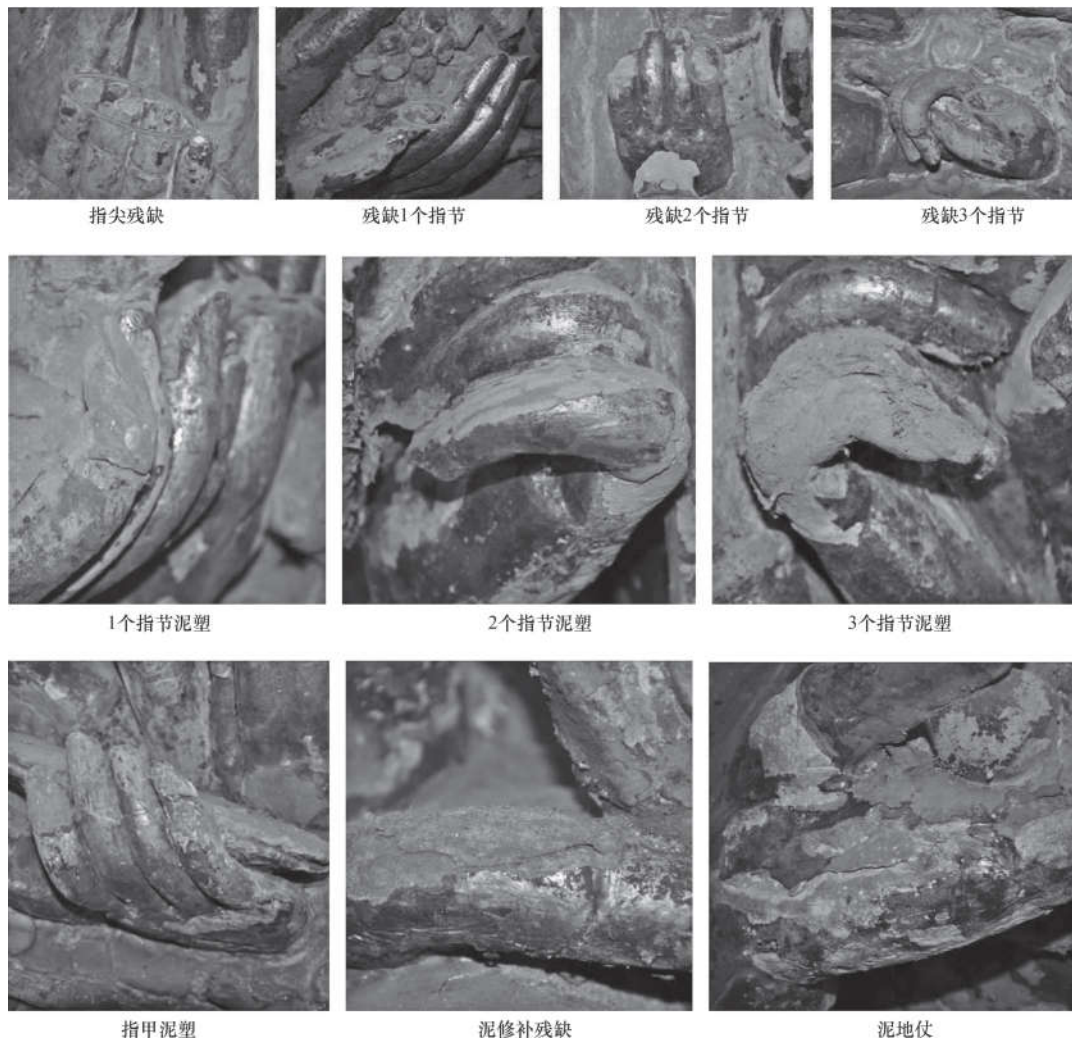
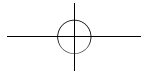


图5 调查结果



的78.52%，其中残缺1个指节966只，残缺2个指节319只，残缺3个指节52只，指尖残缺1676只，手残缺2只。在揭取手表面不稳定金箔层后，展露出的泥塑手指数量大大增加，泥塑手指多达429只，占手指总数的11.17%，其中1个指节为泥塑的294只，2个指节为泥塑的109只，3个指节为泥塑的26只。

1.3 历史修复调查

千手观音造像历史上经历了4次修复，有明确记载的最后一次大规模修复在大清光绪十五年（1889年），新中国成立后持续开展保养维护工作。本次使用X射线探伤检测结果表明，看似完好的手指，其内部存在风化、断裂等病害，同时还获得了古人大量使用的楠竹缠麻锚杆以及部分手指使用木、铁、石等材质锚杆，黄泥、黏土混合物补塑材料等诸多信息（图6）。

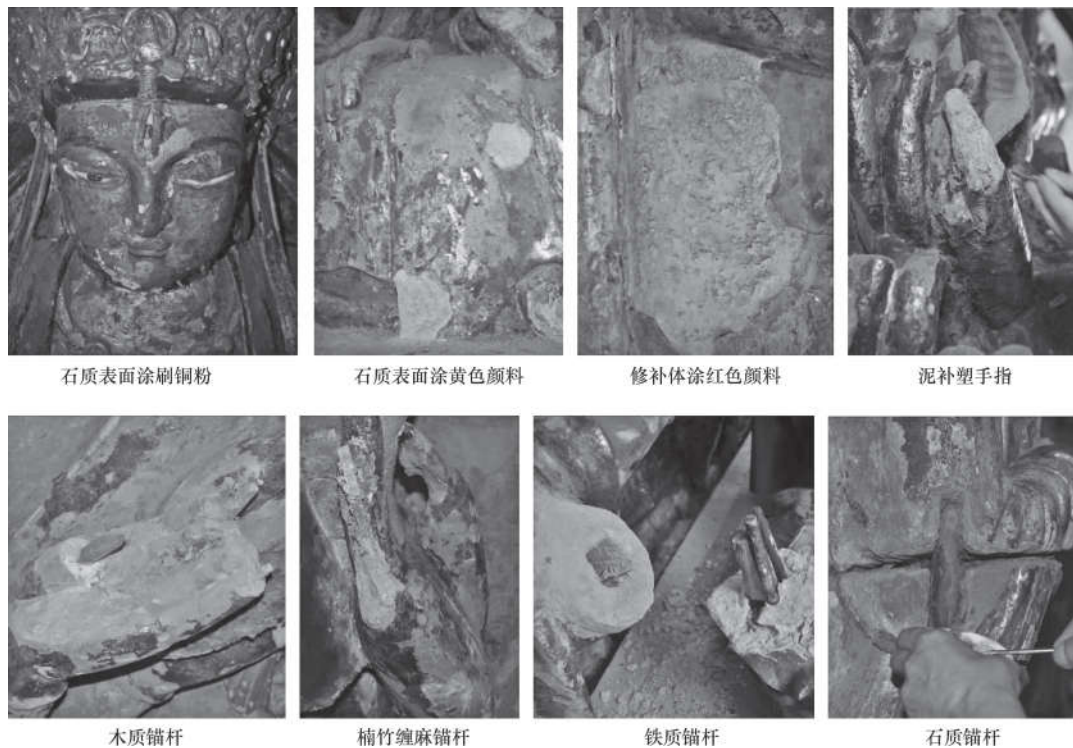
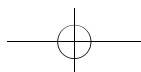


图6 千手观音历史修复痕迹类型

1.4 雕刻品稳定性调查

采用便携式X射线探伤仪，结合前期现状勘察记录和地质环境勘察评估报告，对手（手掌、手臂、手指）的裂隙病害和风化病害情况进行测试分析并开展初步评估研究。

检测结果（图7）显示，千手观音雕刻品整体稳定性较差。中部发生裂隙的情况最严重，法器发生严重风化的情况比手指严重。



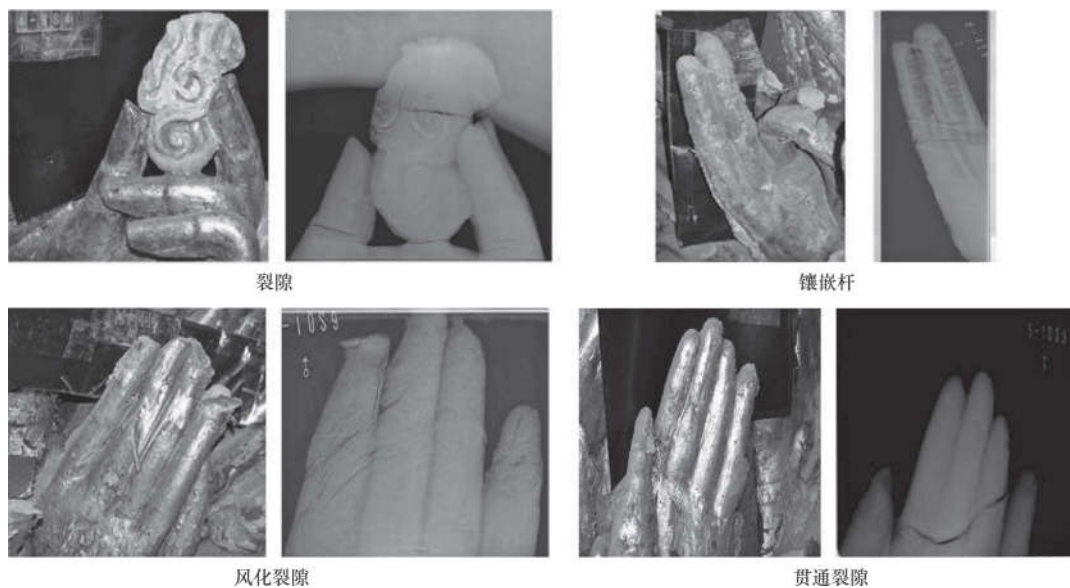


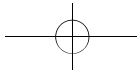
图7 X射线探伤结果

1.5 石质劣化机理分析

千手观音造像材质为砂岩，硬度适中便于雕刻，但易于风化。不可移动文物千手观音受气候环境、地质及水文环境复杂因素的影响。①千手观音砂岩化学成分主要为 SiO_2 ，其次为 Al_2O_3 和一定量黏土矿物，砂岩中 Al_2O_3 含量比较高，抗风化能力较弱。胶结类型为孔隙式胶结，胶结物主要为易风化的钙质。②千手观音风化砂岩中主要成分为石英和长石，另有一定量的黏土矿物，胶结物方解石含量最低为3%，最高为18.4%，石膏为风化产物，含量低于1%。③水和以硫化物为代表的酸性阴离子以及可溶盐的协同作用是石质本体劣化的主因。④环境中干湿交替和酸雨作用加速石质风化。

1.6 保护修复试验

经过砂岩试块的实验室和现场试验，以及2008年、2009年和2010年三次千手观音局部本体试验、专家的评审之后，最终确定风化砂岩加固材料为专门研制的纤维素ZB-WB-S砂岩加固材料，石质补形材料为ZB-WB-S石粉砂浆；补形锚杆选择楠竹和现代材料碳纤维作为备选材料，在使用时根据补形量大小及位置关系，确定是否钻锚孔，置入经脱盐、灭菌、加固处理的楠竹或碳纤维锚杆作为连接件，钻孔时应根据石质断面及补形量确定孔深和孔径，避免对石材造成新的损伤。



2 石质修复工艺及重要案例分析

2.1 石质修复工艺

2.1.1 除尘

遮护未修复面，毛刷、洗耳球配合去除手金箔表面尘土。

2.1.2 不稳定金箔层的揭取

镊子、修复刀配合揭取造像表面分层开裂卷曲、起翘、空鼓等不稳定金箔层至稳定层位，揭取的金箔按手的编号装入密封袋中。

2.1.3 劣化材料的去除

用竹签、手术刀去除石质表面劣化材料，棉签蘸2A溶液（乙醇：纯净水=1：1）清洗残留的劣化材料。

2.1.4 脱盐

用竹签去除石质表面盐析产物，纯净水浸湿多层棉纸贴敷需要脱盐的基岩部位，并用排刷轻轻拍打，让棉纸紧贴石质，待棉纸自然干燥后，将其取下，重复操作2~3次，直至盐析物减少或消失。通过测定吸附材料棉纸的电导率，来检测脱盐效果。

2.1.5 风化石质加固

修复效果跟踪监测表明，严重风化石质保留过多，在加固和补形后，该部分石质极易形成类似于岩石的软弱夹层带，影响石质本体的稳定性，为此，对严重风化石颗粒予以去除。同时根据石质风化程度，分别使用3%或5% ZB-WB-S砂岩加固材料渗透加固至不再渗透为止。

2.1.6 残缺石质补形

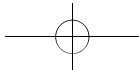
根据造像保存现状的潜在一体性，对有据可循的石质残缺部分进行补全修复，尽可能实现千手观音雕刻形态以及艺术的完整性，满足文物的审美需求。手形的补全是此次修复中的重要基础层面。

补形的主要依据和重要参考：①照片类资料；②佛教造像的手印规制；③千手观音造像三维激光扫描信息图；④千手观音造像主尊两侧手的对称关系；⑤手形走向（残缺较少的手）和手指（粗细、长短）协调性判断等。

补形工艺：

（1）手指残缺量在1个指节以内：用8% ZB-WB-S石粉砂浆直接多次补形。

（2）手指残缺量在1个指节以上：为了增加补形部位的稳定性，需在补形部位钻锚孔，置入不同形状、大小、长度经处理后的楠竹缠麻锚杆，用10% ZB-WB-S石粉砂浆固定锚杆，用8% ZB-



WB-S石粉砂浆多次补形，雕刻刀对补形部位修形，砂纸打磨光滑。

2.1.7 石质断裂、裂隙、空鼓的修复

为保留千手观音雕刻品的原始形态，用3% ZB-WB-S砂岩加固材料渗透加固石质断裂面，在黏接断面钻锚孔并植入楠竹锚杆，用10% ZB-WB-S石粉砂浆进行原位或复位黏接，用8% ZB-WB-S石粉砂浆修补黏接缝。石质空鼓部位采用较稀的10% ZB-WB-S石粉砂浆多次灌注，干燥后用8% ZB-WB-S石粉砂浆找平石质空鼓边缘。10% ZB-WB-S石粉加麻砂浆填充石质裂隙，8% ZB-WB-S石粉砂浆修补裂隙边缘。

2.1.8 泥塑手指修复

千手观音历史修复中的泥质手指，在大足常年湿度较大的环境中变形、风化，对造像胎体稳定性造成危害，需用石粉砂浆替换泥塑。

修复方法：①将泥塑手指取下存放，做补形参考依据；②保留泥塑手指表面金箔层，掏空泥塑材料，用石粉砂浆填充修复。

修复工艺：用10% ZB-WB-S石粉砂浆更换泥质胎体。

2.2 重要案例分析

2.2.1 残缺手指修复（案例：9-4-S9）

2.2.1.1 保存现状

拇指指甲局部残缺，无名指第一二指节残缺，残留第三指节向手心弯曲并与拇指相连，小指第一指节残缺，第二指节残缺1/3。

2.2.1.2 补形依据

①缺失部位残留痕迹。小指靠岩体有第一二指节残缺后的痕迹，无名指与拇指间残留部位有叠加相连的关系。②千手观音造像左右对称手形。该手与9-8-S7手形对称（图8）。所以拇指、小指残缺部分可参考9-8-S7手的拇指、小指走向，按照残缺石质补形工艺进行延伸补形；无名指残缺部分依据残留部位的弯曲程度，按照9-8-S7手无名指与拇指的叠加关系，进行残缺石质补形。

2.2.1.3 补形工艺

修复刀将较稀10% ZB-WB-S石粉砂浆涂抹于残缺断面，增加砂浆与本体的结合度；稍干，配制10% ZB-WB-S石粉砂浆多次粗补形，根据补形量大小及位置关系，确定是否置入锚杆作支撑体，用8% ZB-WB-S石粉砂浆塑形，干燥后，用修复刀修形，砂纸打磨光滑，修复前后见图9和图10。

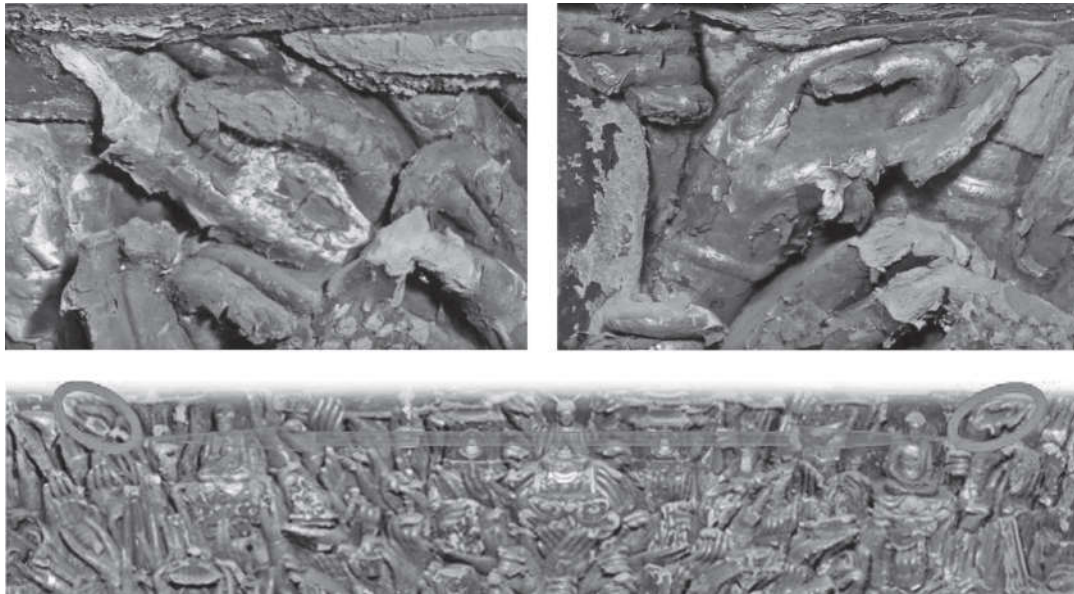
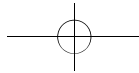


图8 对称关系的手指



图9 9-4-S9修复前



图10 9-4-S9修复后

2.2.2 残缺手的修复（案例：4-6-S1）

2.2.2.1 保存现状（图11）

此手位于主尊像胸右侧，与4-7-S1呈对称分布，臂向前伸，为原雕刻；手自腕部残缺，现存手掌及所持物是后期用黏土材料做的想象补塑。

2.2.2.2 修复依据研究

- (1) 川渝地区以及南北方石窟不同时期手观音造像调查研究。
- (2) 查阅同类造像和文献记载的相关图像资料。
- (3) 千手观音造像对称性和手形研究。
- (4) 三维扫描及虚拟修复效果（图12～图14）。

三维虚拟修复过程如图15～图17所示。

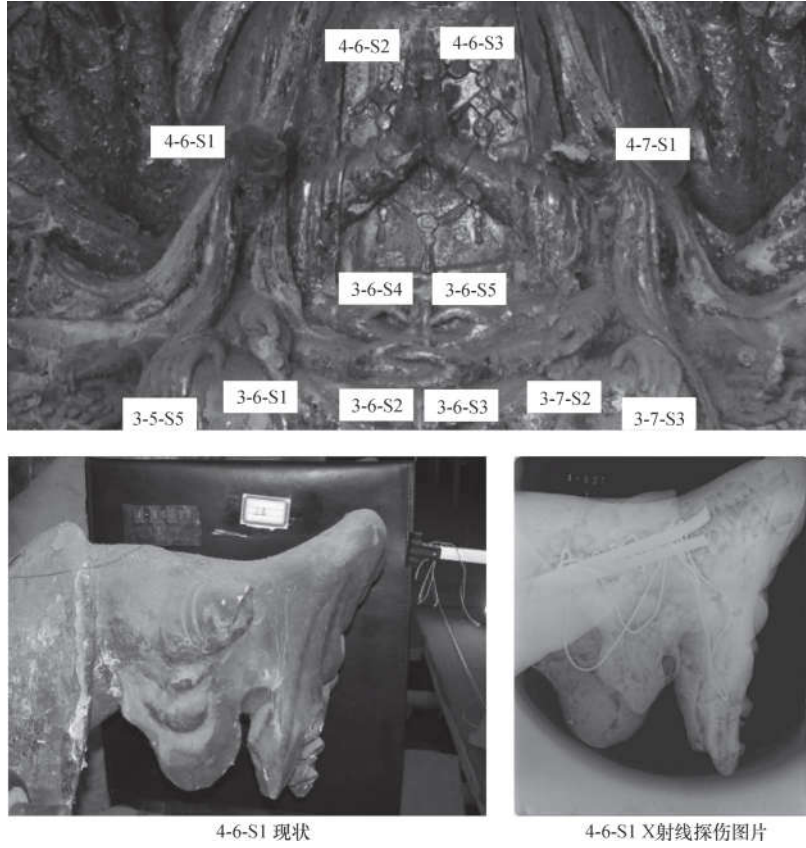


图11 4-6-S1残缺手的现状与X射线探伤



图12 对称手4-7-S1如意珠手现状



图13 4-6-S1线图



图14 4-6-S1如意珠手白模图

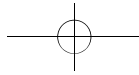


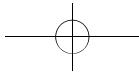
图15 主尊手部修复前彩色正射影像图（2011年）



图16 主尊手部修复前白模图（2011年）



图17 4-6-S1如意珠手与4-7-S1如意珠手组合虚拟修复效果图



(5) 油土模拟试验修复效果。

根据相关调查结果，使用精雕硬油土对主尊残缺手及手指进行模拟修复（图18）。



图18 4-7-S1如意珠手和4-6-S1如意珠手油土模拟修复效果

(6) 4-6-S1作为如意珠手存在的问题。

①千手观音手腕戴手镯，手镯开口（接口）方向与手心方向一致（图19），由此可确定手心、手背的方向。



图19 手镯开口方向与手心方向

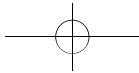
②仅剩手臂的4-6-S1手镯开口向右偏下约30°，因此，4-6-S1手心向上握如意珠存在问题（图20、图21）。



图20 手镯开口方向确定手心方向



图21 如意珠手手心方向在上



(7) 研究成果。通过对4-6-S1手形的研究, 以及2013年7月17日和2014年7月11日2次专家评估会的意见, 基于对文物修复的真实性要求, 对历史价值和艺术价值的综合考虑, 为恢复千手观音造像的完整性, 确定4-6-S1手修复参考依据为具有对称关系的4-7-S1如意珠手, 并采取可拆卸式的修复方法来修复此手, 以利于后期找到更确凿更科学的依据再次修复处理。

2.2.3 4-6-S1修复方法

(1) 雕刻4-6-S1如意珠手。参照4-7-S1如意珠手形, 用雕塑油泥复制4-6-S1如意珠手模型并用玻璃钢翻模; 使用“点线机”在选定砂岩上雕刻4-6-S1如意珠手, 待后期补接使用。

(2) 去除补塑材料。4-6-S1现存手掌及所持布帕为20世纪80年代用黏土混合材料进行的想象补塑, 补塑部位缺乏科学依据。使用修复刀、凿子等去除补塑材料。

(3) 石质断面加固。清除石质断面尘土, 使用3% ZB-WB-S砂岩加固材料对断面进行多次渗透加固, 直至不再渗透为止。

(4) 补接如意珠手。

① 特制螺纹钢套管的固定。

a. 不锈钢锚杆的固定: 根据4-6-S1手腕断面残留锚孔及按照石质断面黏接吻合线, 找出新雕刻如意珠手黏接面对应连接锚孔位置, 使用电动磨钻钻锚孔, 孔深11cm, 孔径3.5cm; 清洁锚孔后用3% ZB-WB-S砂岩加固材料多次渗透加固, 再在锚孔内灌入丙烯酸快干胶调制的石粉砂浆, 把准备好的不锈钢锚杆安装在锚孔内, 调整好锚杆角度待固化(图22)。

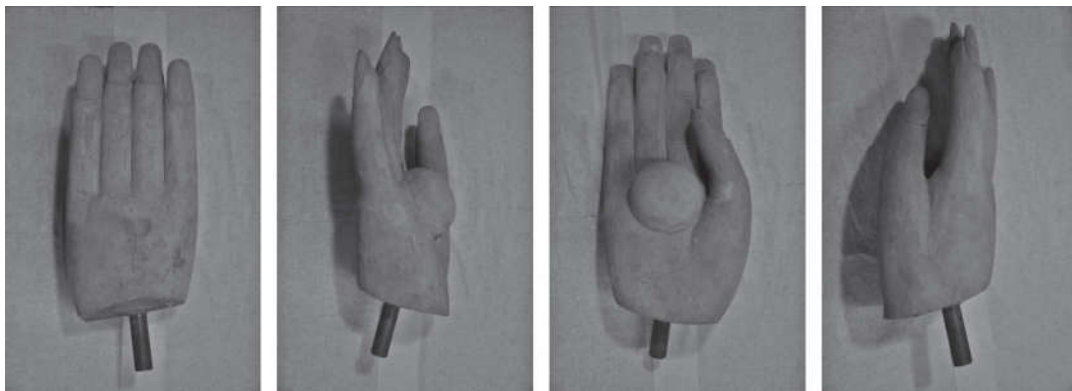


图22 4-6-S1新雕手不锈钢锚杆安装固定后

b. 套管的安装固定: 利用4-6-S1手腕残缺断面残留的锚孔安装套管(图23)。在残留锚孔内灌注10% ZB-WB-S石粉砂浆(图24), 再把准备好的套管植入该锚孔内, 24h固化后, 套管安装完毕。

注: 为实现该手补接部位的可逆修复, 在手腕断面残留的锚孔内使用10% ZB-WB-S石粉砂浆固定套管, 在需要拆卸时, 用专用稀释剂注入锚孔内, 砂浆失去黏接作用, 套管就很容易取出来。

② 调整手的位置并固定。

完成以上所有工序后, 实施4-6-S1的拼对、黏接及补塑工作。调整对接手的上下左右位置后卸下, 在黏接石质断面涂抹10% ZB-WB-S石粉砂浆(图25), 将新雕刻的手置入手腕断面已固定好的



图23 利用4-6-S1断臂原来锚孔安装套管

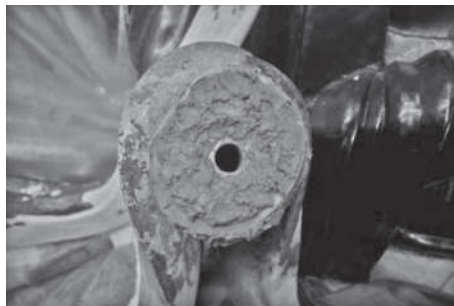


图24 4-6-S1断臂涂抹石粉砂浆

套管中，用砂浆固定（图26）。



图25 4-6-S1新雕手黏接断面涂抹砂浆



图26 4-6-S1新雕手黏接中

③ 勾缝、补塑。

为使黏接面更牢固，对4-6-S1起到更好的黏接作用，待黏接材料固化后，把丙烯酸快干胶加石粉调成合适黏稠度的砂浆后，涂抹在黏接缝处。黏接材料完全固化后，用10% ZB-WB-S石粉砂浆进行细部补形和修形（图27、图28）。



图27 4-6-S1修复前



图28 4-6-S1修复后

注：这种黏接方法也是考虑到修复的可逆性，要想拆卸此手，只需将接缝处的丙烯酸快干胶轻轻敲掉就可以取下补接的4-6-S1手掌部分，也不会损伤原有的石质胎体。

2.2.4 断裂手指修复

为保留手指等雕刻品的原始形态，增强其稳定性，以9-3-S11断裂手指修复为例，对断裂手指进行原位或复位黏接。

2.2.4.1 保存现状

X射线检测表明，无名指、小指第二三指节部位存在贯通性裂隙，且裂隙面石质粉化严重，无名指、小指贯穿性裂隙：长21.5cm，宽1mm（图29、图30）。



图29 9-3-S11现状



图30 9-3-S11 X射线探伤图片

2.2.4.2 修复方法

①手术刀沿裂隙切开取下无名指、小指第一二指节，用毛笔去除断面粉化石颗粒。②用3% ZB-WB-S砂岩加固材料加固断面至不再渗透为止。③按照手指断裂吻合线，用电磨钻在断面钻锚孔，孔深2cm，清洁孔后，用5% ZB-WB-S砂岩加固材料加固锚孔。④将10% ZB-WB-S石粉砂浆灌注锚孔，在孔内置入5cm长缠麻楠竹锚杆，黏接断面填补10% ZB-WB-S石粉砂浆使手指黏接为一体并固定。⑤达到一定强度后，用8% ZB-WB-S石粉砂浆修补黏接缝（图31、图32）。



图31 9-3-S11修复前

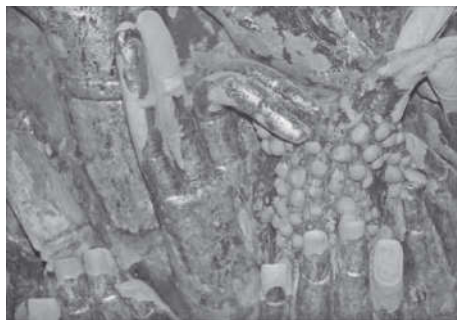
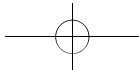


图32 9-3-S11修复后



2.2.5 脱落手的修复（案例：6-5-S2）

2.2.5.1 6-5-S2现状

此手在历史上受到外力作用，从手腕处断裂脱落，手臂断面石质风化。脱落手长35cm，宽20cm，厚25cm，断裂面长16cm，宽11cm。脱落手局部残留环氧树脂黏接材料（图33、图34）。

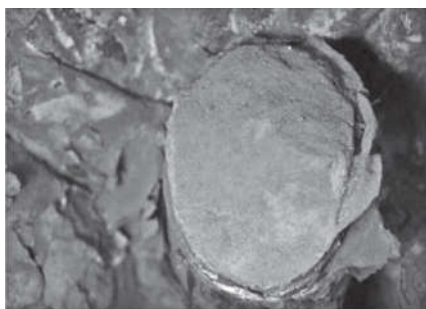


图33 6-5-S2手臂现状

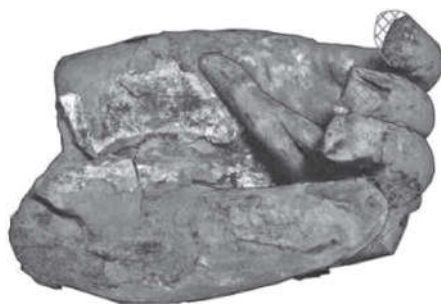


图34 6-5-S2脱落手现状

2.2.5.2 修复历史记录

此手在历史上实施过多次黏接修复，为给千手观音本体修复积累经验，2009年10月，将此手带到中国文化遗产研究院实验室进行修复试验（图35），试验内容有：开裂金箔揭取，劣化材料去除，风化石质加固，残缺石质补塑，髹漆、回贴金箔等。2013年8月，再运回到千手观音现场实验室。



图35 6-5-S2修复试验后

2.2.5.3 修复方法

1) 去除残留黏接材料

用125W小型电动磨棒机以及合金钢特制修复刀，小心谨慎地去除石质断面残留的以及高出石质本体表面的环氧树脂黏接材料。

2) 钻黏接锚孔

用125W、钻头4~7cm的小型电动磨棒机，在手臂断面开孔2个且间距为4cm，孔深10cm，孔

径2.5cm；根据断裂黏接缝以及锚孔的对应位置，在脱落手石质断面钻2个锚孔，孔深8cm，孔径2.5cm。

3) 石质加固

3% ZB-WB-S砂岩加固材料多次渗透加固石质断面及锚孔，至不再渗透为止。

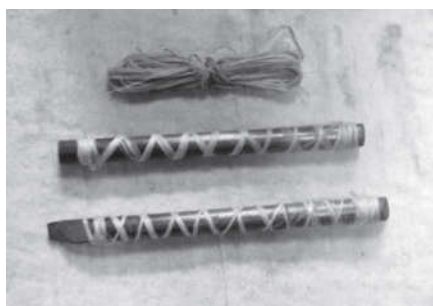


图36 缠麻碳纤维锚杆

4) 复位锚杆选择及制作

(1) 锚件选择：因需要黏接复位手的体积和质量较大，故使用合成材料碳纤维作为6-5-S2手黏接复位锚杆。

(2) 锚件的制作：根据锚孔尺寸截取合适长度的2根碳纤维锚杆，靠近拇指底部第一根锚杆长17cm，靠近小指底部第二根锚杆长16cm。在锚杆上缠绕少量麻纤维后放入较稀10% ZB-WB-S石粉砂浆里浸泡24h（图36），使碳纤维锚杆和麻及砂浆达到很好的黏接效果。

5) 锚杆安装及固定

在手臂锚孔内灌入调制好的环氧树脂材料，将制作好的缠麻碳纤维锚杆植入锚孔内固定并待固化；在脱落手断面锚孔内灌入环氧树脂材料，按照断裂黏接缝使其固定在手臂的锚杆上并适当支撑，待黏接材料完全固化后去除支撑（图37）。



图37 6-5-S2断手黏接后

6) 残缺手指的修复（图38~图41）



图38 6-5-S2断手黏接后



图39 残缺手指植入补塑楠竹锚杆

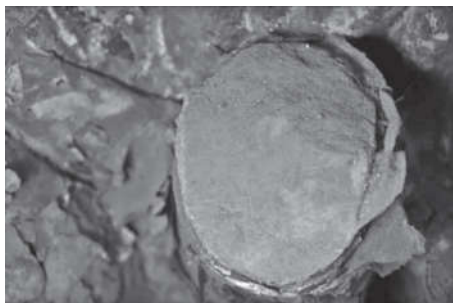


图40 6-5-S2修复前



图41 6-5-S2修复后

①电动磨钻在食指断面钻锚孔，3% ZB-WB-S砂岩加固材料渗透加固锚孔。②将预先制作好的缠麻楠竹锚杆，置入灌有10%ZB-WB-S石粉砂浆的锚孔内并固定。③待锚杆固定后，10% ZB-WB-S石粉砂浆多次粗补形，8% ZB-WB-S石粉砂浆塑形。④补塑材料干燥后，用雕刻刀修形，砂纸打磨光滑。

2.2.6 泥塑手指修复

2.2.6.1 案例1：9-4-S4

(1) 保存现状：小指指形完整，第一指节、第二指节1/2为泥补塑，泥补塑部位与石质结合部位存在明显分界面，泥塑材料老化失效（图42）。

(2) 修复方法：为保证小指泥塑部位的形状，暂保留金箔层。

①修复刀与凿子配合掏空手指泥塑部位。②电动磨钻在小指断面钻锚孔，用5% ZB-WB-S砂岩加固材料加固锚孔。③锚孔内灌入10% ZB-WB-S石粉砂浆，接着在锚孔和金箔空腔中置入缠麻“L”形楠竹锚杆，10% ZB-WB-S石粉砂浆固定锚干。④达到一定强度后用10% ZB-WB-S石粉砂浆多次填补塑形。⑤干燥后，去除因形态保留的金箔层，用8% ZB-WB-S石粉砂浆塑形。

修复前后见图43和图44。



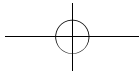
图42 9-4-S4修复前现状



图43 9-4-S4修复前



图44 9-4-S4修复后



2.2.6.2 案例2: 8-4-S4

(1) 保存现状: 小指第一指节为泥补塑, 泥补塑部位与石质结合部位存在明显分界面, 且泥塑材料老化失效 (图45)。

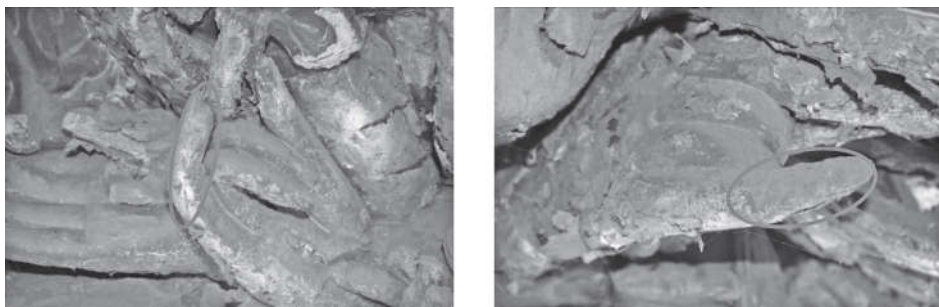


图45 8-4-S4修复前

(2) 修复方法: 将泥塑手指取下存放, 做补塑参考依据。

①手术刀沿石质与泥质分界面处切取手指泥塑部分, 并放于密封袋留存做补形参考依据。②毛笔去除石质断面粉化石颗粒, 用5% ZB-WB-S砂岩加固材料渗透加固石质断面。③电动磨钻在石质断面钻锚孔, 清洁锚孔, 用5% ZB-WB-S砂岩加固材料加固锚孔。④锚孔内灌入10% ZB-WB-S石粉砂浆, 接着置入缠麻楠竹锚杆。⑤待锚杆固定后, 10% ZB-WB-S石粉加麻砂浆, 根据泥塑手指的形状粗补形, 再用8% ZB-WB-S石粉砂浆塑形。⑥补塑材料干燥后, 用雕刻刀修形。

修复前后见图46和图47。



图46 8-4-S4修复前



图47 8-4-S4修复后

3 修复效果评估

为了跟踪监测千手观音造像石质胎体修复效果, 评估修复质量, 在修复过程中, 通过Equotip R3硬度仪、Sint DRMS Cordless阻尼抗钻仪、DDS-11A型电导率仪等多种技术手段对石质胎体加固强度、补塑及脱盐效果等进行科学检测。检测结果表明, 千手观音风化石质使用3%或5% ZB-WB-S砂岩加固材料渗透加固后, 其强度为未风化石质强度的50%以上, 并随时间推移趋于稳定; 石质残缺部位使用8%或10% ZB-WB-S石粉砂浆补塑后, 补塑部分与原石质结合密实, 无明显分界面, 其

补塑部位强度为未风化石质强度的50%以上，并随时间推移趋于稳定，达到预期修复效果。

在千手观音造像石质本体修复实践中，秉承“思与行”的工作思路与研究方法，在具体修复实践中，千手观音造像呈现的病害比前期调研的结果更为严重和复杂，石质风化和残缺面积增大。在许多细节问题，如加固材料浓度、黏接材料配比、补塑材料配比以及补塑依据等仍需进一步研究，根据修复中面对的具体情况随时进行再讨论、再研究，用研究的成果指导修复。在石质修复中，最大限度地保留了千手观音原始雕刻形态以及表面贴金、彩绘等历史信息。通过石质胎体修复，确保了千手观音雕刻品的稳定性，恢复了千手观音造像的完整性，满足了文物的审美需求，为下一步贴金层修复提供了良好的操作条件。