

# 大雄宝殿及壁画概况

## 1 地理位置

浚县位于河南省北部，安阳市东南、现属鹤壁市辖区，现有 7 个乡（镇）和 4 个街道办事处，448 个行政村，全县人口 66 万人。农业是浚县的支柱产业，其收入占比超过 75%。京珠、鹤濮两条高速公路和新范公路、汤上路两条省级公路穿越县境，交通比较便利。

浚县于 1994 年 1 月被国务院公布为第三批国家历史文化名城，地理坐标位于 N114.5°，E35.7°，西距京广铁路约 30 公里。广袤的华北平原，一马平川，沃野千里，稻粟飘香翻浪之中，镶嵌着浚县历史名城。城南突起两山，东浮丘西大伾，大伾山孤峰起于平川，拔地百米，凌云摩空，西望太行，东临黄河故道，大雄宝殿即坐落于大伾山东麓。



图1-1 浚县位置图

浚县地处太行山东麓，华北平原南部，地势中部略高，西部和东部低缓。东部属于黄河冲积扇北翼西北边缘地带，由西南向东北和缓倾斜。由于与扇前洼地交接，加上古黄河的改道冲

积，微地貌结构相当复杂。大伾山位于现在河南省浚县县城东关，属于黄河中下游冲积平原区，地形平缓，孤峰突起，高程为 135.3 米，系太行山余脉。山体呈梭状，南北长 1.75 公里，东西宽 0.95 公里，面积约 1.66 平方公里，高出周围地面 75.2 米。大佛位于大伾山东南角山脚下，相对大伾山地势较低。

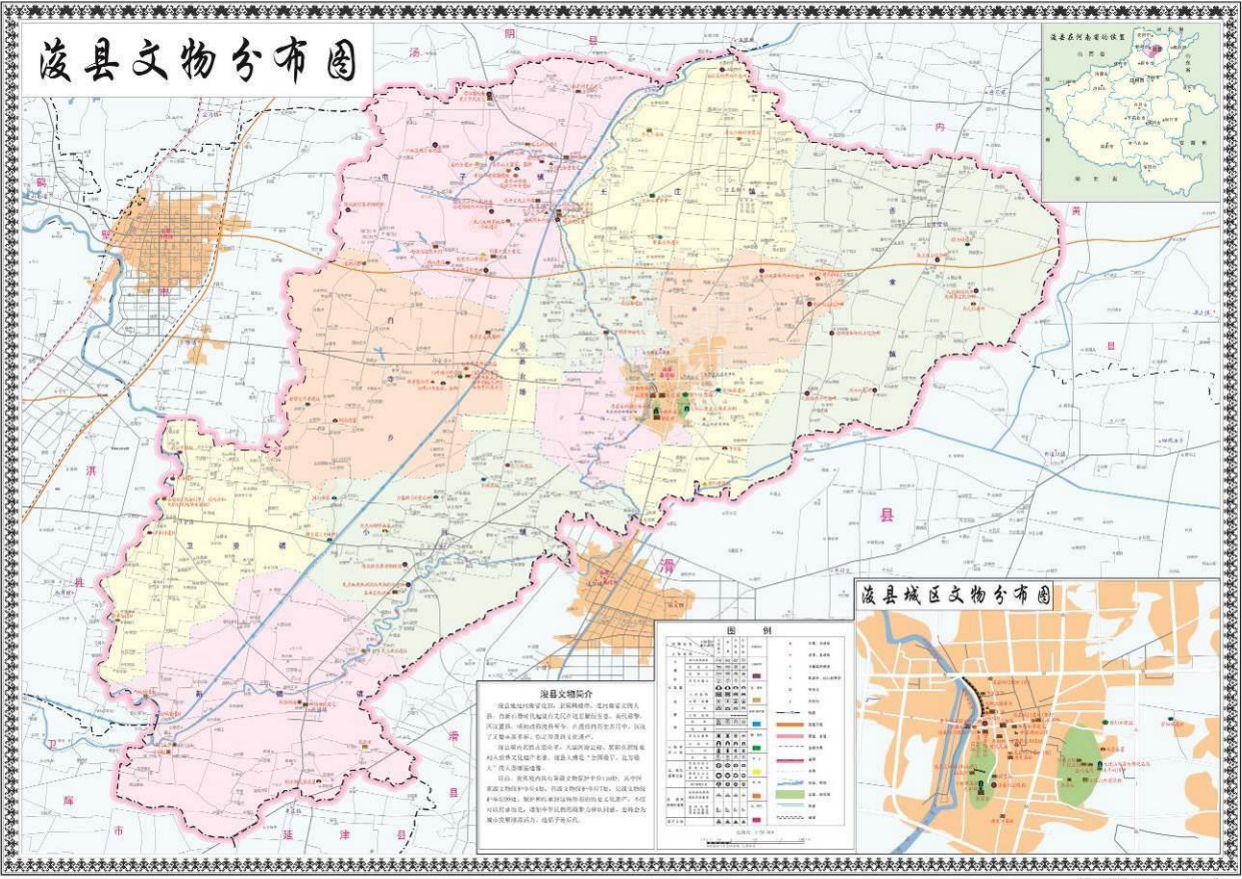


图1-2 浚县文物分布图

该区河流主要属黄河流域、海河水系。浚县境内的卫河、淇河、共产主义渠是浚县重要的地表水资源。其中卫河距大雄宝殿较近，在大伾山以西 1.2 公里。卫河发源于博爱和辉县，全长 347 公里，流域面积 555 平方公里，河底海拔高度约 70m，对大雄宝殿及其附近文物没有影响。大伾山及周边的植物主要包括灌木丛如荆条，乔木如松树、柏树、榆树、野枣树、楸树、野花草等等。

浚县境域的最早记载见于《太平寰宇记》。北宋端拱元年（988 年），于黎阳县置通利军，军境东西 40 里，南北 48 里。东至白马县 25 里，西至卫州卫县 57 里，南至白马县 27 里，北至渲州临河县 43 里，东南至白马县 15 里，西南至卫州卫县 20 里，东北至澶州临河县 20 里，西北至相州汤阴县 45 里。熙宁六年（1073 年），卫县改为镇，并入黎阳县，境域扩大。



明嘉靖七年（1528 年），浚县境域东西 100 里，南北 120 里。西至淇县界 70 里，西北至汤阴界 50 里，西南至汲县界 70 里，东南至滑县界 15 里，东至滑县界 10 里，东北至大名府 180 里。

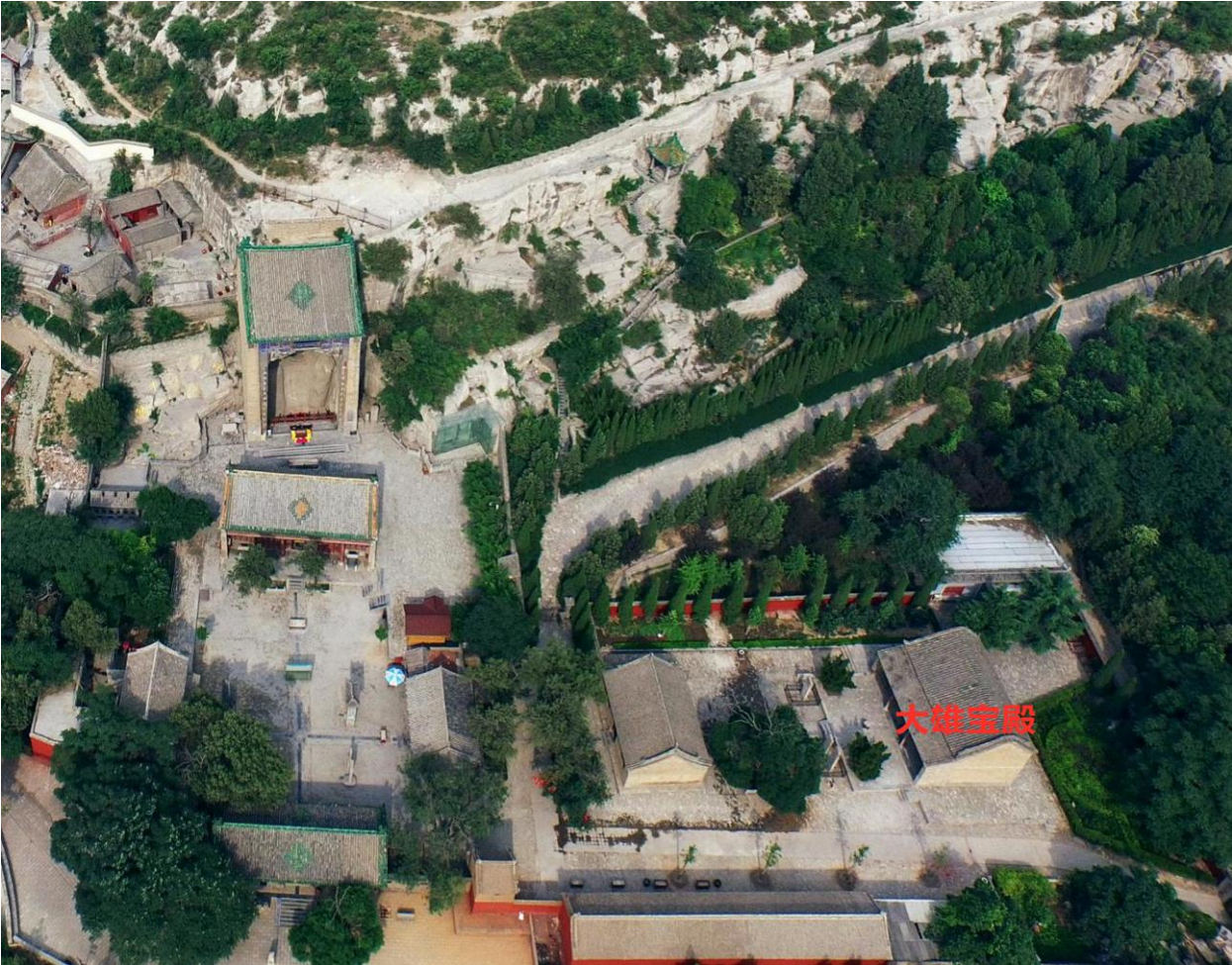


图1-3 天宁寺航拍图

清雍正十一年（1733 年），宜沟镇划归汤阴县，割去面积不详。

清乾隆二十四年（1759 年），县境东西 82 里，南北 115 里。东至滑县界 12 里，西至淇县界 55 里，南至滑县界 50 里，北至汤阴界 50 里，东南至滑县界 12 里，东北至内黄县界 18 里，西南至汲县界 65 里，西北至汤阴界 50 里。清嘉庆六年（1801 年）、光绪十三年（1887 年）《浚县志》所载县境与之相同。

民国二十五年（1936 年），浚县总面积 734 平方公里。县城东至滑县 12 里，西至淇县界 55 里，南至滑县界 30 里，北至汤阴界 50 里，东南至滑县界 20 里，西南至汲县界 65 里，东北至内黄县界 45 里，西北至汤阴县界 50 里。

1949 年 10 月，中华人民共和国建立后，内黄县五区（原属高陵县）划归浚县，浚县庞村

乡划归淇县。1950 年，道口镇及军庄、白庄、程文庄、河西街划归滑县。1955 年 9 月，延津县大屯、长屯两个乡划归浚县。自此，浚县境域面积为 1088 平方公里。

据 1985 年土壤普查结果，浚县境域面积为 1083.88 平方公里，占全省面积的 0.65%，占安阳市面积的 17.8%。以县城文治阁为中心，东至东王楼村东内黄县界直线距离 11.6 公里，西至东高村西淇河中心 27 公里，南至界牌村南滑县界 8.1 公里，北至南苏村北汤阴界 17.5 公里，东南至东张庄村东南滑县界 6.3 公里，东北至东海头村东北内黄县界 19.3 公里，西南至西双鹅头村西南汲县界 34 公里，西北至田辛庄村西北汤阴界 24.5 公里。

浚县古城，文物荟萃，遐迩驰名，有“南京到北京比不上浚县城”之说。它西滨卫河，南枕浮丘，东临大伾，北襟原野，不但构筑精细，古朴壮观，而且襟山带水，地理位置非凡。大伾、浮丘两座历史文化名山对峙分布于县城南部东西两侧，为省级风景名胜区。

2.气候条件

浚县地区属于温带大陆性季风气候区，春暖夏热、秋爽冬寒、四季分明。多年平均气温为 13.8℃，年均气温最高为 14.4℃，最低为 12.8℃；年极端气温最高为 44℃（1960 年 6 月），最低为-21.4℃（1951 年 1 月）。一般 7 月份最热，平均气温达 26.9℃，1 月份最冷，平均气温为-1.6℃；夏季炎热期年均 51 天，最热年为 70 天，冬季寒冷期年均 51 天，最冷年 80 天。

浚县年平均降水量为 550mm-650mm 之间，最多年份为 1317.4mm，是平均值的 203.4%，最少年份为 312.3mm，是平均值的 48.21%，极值差 1005.1mm。历史上丰水年降水量大于 1200mm，近期枯水年曾小于 300mm。一年内降水不均，季差较大。降水多集中在七、八月份，占全年降水的 50%，次为六、九两月，占全年降水的 23%；月降水量 8 月最多，平均为 171.2mm，1 月最少，平均为 4.0mm，降水量分配总趋势为从 3 月份开始递增，8 月份开始递减，形春旱、夏涝、冬干的降水规律。

浚县年平均相对湿度为 66%，年均湿度最高为 72%，最低为 60%。年内各月平均相对湿度受降水制约，1-6 月在 60%左右，7-10 月超过 70%。其中 8 月最高达 81%。

区内季风特点明显，风向春夏偏西，冬秋偏东北风，风力一般为 1-3 级，年主导风向为东北方向。多年最大积雪厚度为 19cm，最大冻土深度为 185mm。



3.历史沿革

浚县历史悠久，6000 年前先民已在淇河下游繁衍生息，商都迁殷，浚地称黎，为畿内地。西周属卫，春秋属晋，战国属魏。西汉高祖年间（前 206-195 年）置黎阳县，至今 2000 余年。东晋时丁零族翟辽距此称王。北宋政和五年（1115）设浚州，明洪武二年（1368 年）始称浚县。

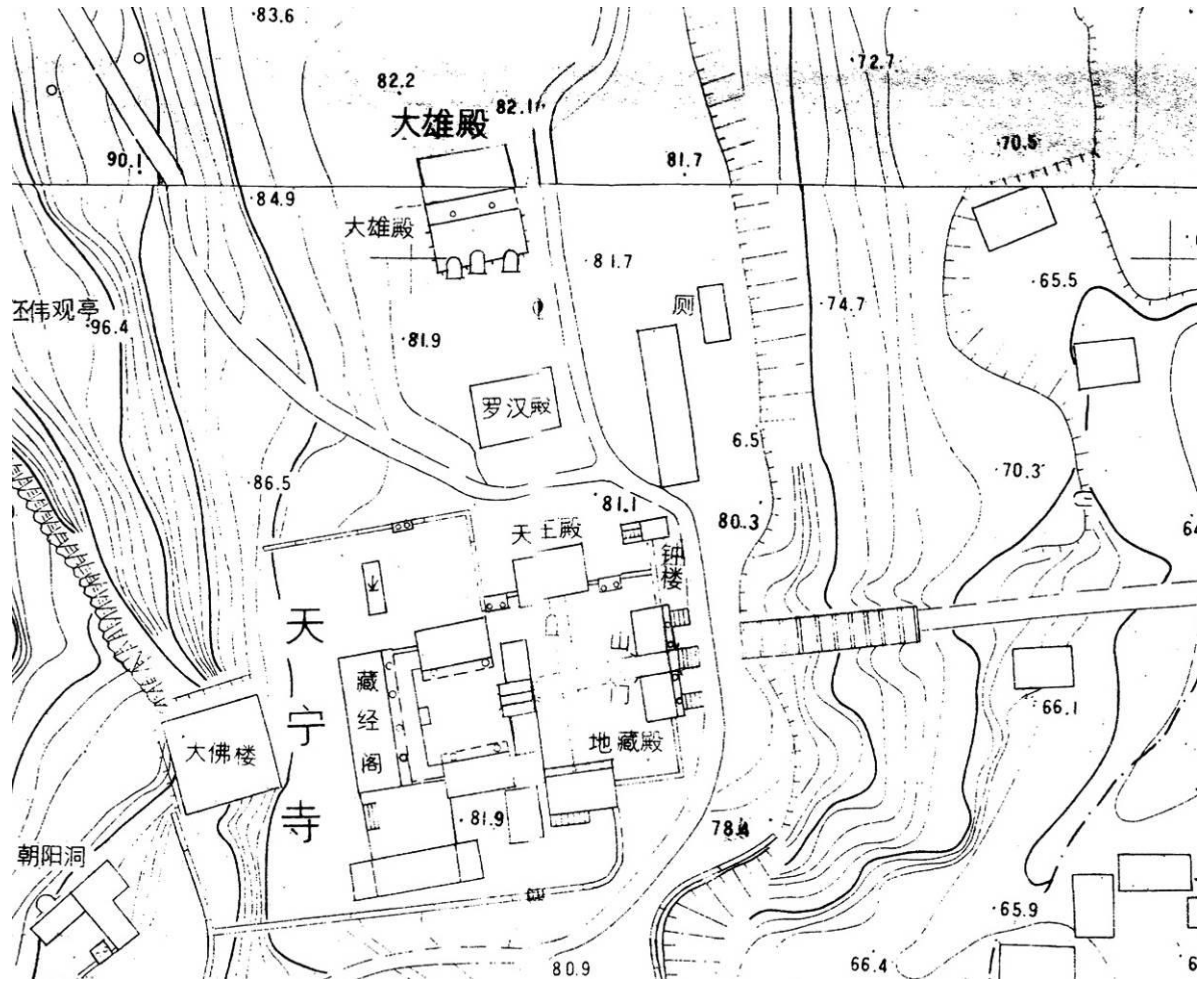


图1-4 天宁寺平面图

浚县地处太行山东麓与华北平原的过度带，卫水、淇水蜿蜒穿越其境。周定王五年（前 602 年）黄河在宿胥口（中店附近）溃决，改道大伾山东侧流向东北，至金明昌五年（1194 年）河道大溃南徙。浚地左右伾浮，襟带淇卫，东控黄河，西凭太行，形势如此险要，常为兵家所争，屡起历史风云。

据《大伾山通志记载》，大雄宝殿所在天宁寺原名大伾山寺，座西面东，始建于北魏太和年间。明代改为坐北向南，更名天宁寺。清道光二十八年（1848），邑绅邢本立又改为坐西面

东。1963 年 6 月，公布为河南省第一批文物保护单位。2001 年 6 月，天宁寺随摩崖大佛及石刻公布为全国重点文物保护单位。

今天宁寺占地 2600 平方米，有殿宇 30 余间，规模宏大，形成东西、南北两条轴线布局。东西轴线一进三院，有山门、藏经阁、大佛楼。南北轴线一进四院，有地藏殿、天王殿、罗汉殿、大雄殿、水陆殿遗址。



图1-5 大雄宝殿正视图

山门正前有七十二级石砌台阶，俗称七十二磴，直至山下。1976 年曾在台阶下端两侧出土石兽一对，造型独特，为石雕造像艺术珍品，专家鉴定为北齐石狮，现存河南博物院。今台阶为 2008 年 10 月重修改造，系将原路面加宽。山门前一对石狮雄踞左右，为 1985 年从别处移此。山门前右侧有古槐一株，胸径 13 米，枝干苍劲，斜出的一枝如游龙，俗称龙槐，有“龙槐拦驾”故事流传。

“大佛露脸工程”后的大佛楼山门为天宁寺东西中轴线上的第一座建筑，原山门为清道光二十八年（1848 年）邑绅邢本立重建，有高基平台，面阔 5 间，硬山式建筑，灰板瓦覆顶，南梢间为土地殿，北梢间为鬼王殿。因年深日久，损毁严重，2001 年 2 月，对原山门进行翻修。新山门较原山门宏阔，为悬山大顶，面阔 5 间 15 米，进深五架椽 5.12 米，前有檐廊，灰筒瓦覆顶，绿琉璃瓦剪边，明间通开大门，门额横悬米芾集字“天宁寺”木匾。山门内塑哼哈二将。山门南、北各有一梢间。



穿过山门，即天宁寺前院，东西、南北两条轴线在此交会，院内宽敞清幽，碑碣林立。其中有后周显德六年（959 年）准敕不停废记碑。记周世宗令全国废除佛寺，准大伾山寺不停废记之事，惜“文化大革命”时期被毁。1981 年复制新碑。院内原置一金代铁铎，高 2.5 米，口径 2 米，上铸铭文，年久不锈，惜 1966 年被毁。院南侧为地藏殿，建于清道光年间，面阔 3 间 9.31 米，进深 6.68 米，高 2 层，灰板瓦覆顶,内原塑地藏菩萨。北侧为天王殿，建于清道光年间，面阔 3 间 9.31 米，进深 5.89 米,内塑弥勒佛像和四大天王像。

中院原有 2 门，南北两侧厅堂各 3 间，为禅林僧舍。惜于 2001 年拆除。迎面为藏经阁，坐西向东，始建于明万历三年(1575 年)，为保存南京吏部所赠大藏经而建。面阔 5 间 17.5 米，进深 3 间 7.5 米，高 11.36 米，上、下 2 层。单檐硬山带前廊式建筑，灰板瓦覆顶，黄绿琉璃瓦剪边，明间楼下正中门额上方悬一木质横匾，上刻卢荫棠所书“藏经阁”3 字。阁上原存佛教经典 6053 卷，1949 年移交平原省，现存新乡市博物馆。下层原奉杨谿、陆光祖像，后改塑为六臂观音，俗称三皇姑，毁于 1966 年。1989 年后塑新像，高 4 米，左右各 6 臂，最上两手托日月；依次左持拐尺，右握金印；两手胸前合掌；左持弓，右拈箭；左拿青杨枝，右拿净水瓶；最下两手下垂。造像生动精致。院内有晋开运二年（945 年）石香幢，历史价值颇高。

天宁寺旧貌过藏经阁即天宁寺后院。迎面为大佛楼，是东西轴线上最后一座建筑。明崇祯《浚县志》记载：“石勒依佛图澄之言，镌崖石为佛像，高寻丈，以镇黄河。拓拔魏覆以重阁，元末毁于兵”。由此可知，佛楼始建于北魏，元末毁于兵。明正统十年（1445 年）重建，依崖筑成。前有拜厦，后有主楼。主楼分 2 层，共 3 间，原有楼梯可登。2000 年 8 月 20 日至 2001 年 2 月 20 日，投资 37 万元，对大佛楼进行局部改造，拆除正面墙体和中层楼板，两侧增加钢筋混凝土立柱，并施彩绘。今大佛楼面阔 13.64 米，进深 14.76 米，通高 25.6 米，为硬山式建筑，无前墙，灰筒瓦覆顶，绿琉璃瓦剪边。正面檐下悬挂书法家夏湘萍隶书“大佛楼”木匾。楼内为后赵时期依崖雕凿弥勒造像一躯，两脚居地面以下丈余，通高 22.29 米。故有“八丈石佛七丈楼”之称。大佛楼北立明成化十年（1474 年）大伾天宁寺金饰佛像记碑一通。南北两侧陡壁悬崖，历代文人墨客摩崖题记、诗文 50 多块，其中有明代理学家王阳明《大伾山诗》、兵部尚书卢象升《大伾山诗》。

南北轴线一进四院，前院即东西轴线前院，向北过天王殿为二院。居中为罗汉殿，坐北向南，面阔 3 间 10.75 米，进深 7.92 米。殿内有石雕神台，上塑佛像 1 尊，两侧为十八罗汉塑像。原像毁于 1966 年，现存塑像系 1989 年复制。院东侧有钟楼 1 间，坐东向西，建在高 1 米

台基上，面阔 3.64 米，进深 3.57 米，顶覆灰板瓦，内悬明景泰四年（1543 年）铁钟 1 口，钟高 1.8 米，口径 1.2 米，重 5000 余斤，钟身铸铭文并八卦符号。过罗汉殿向北为三院，居中为大雄殿，俗称三佛殿。过大雄殿向北为四院。居中原有水陆殿，面阔 3 间，歇山顶覆琉璃瓦，前有拜厦，明崇祯十七年(1644 年)重修，民国初年毁，现存遗址。



图1-6 重修天宁寺碑记

天宁寺院内碑碣林立，现主要遗存碑刻有：1、黎阳大伾山准敕不停废记碑；2、曹坦题记碑；3、大伾天宁寺金饰佛像记碑；4、重建水陆殿记碑；5、大雄氏水陆缘起记碑；6、重修天宁寺三殿碑；7、大名府保存经书扎符碑；8、藏经阁碑文碑；9、浚县大伾山天宁寺藏经阁记碑；10、大伾山天宁寺创造像记碑；11、重修天宁寺大雄殿碑记碑；12、大伾山天宁寺藏经阁碑；13、大伾山天宁寺正殿佛前长明灯碑记碑；14、大伾山天宁寺新图水陆圣像碑记碑；15、供奉十地阎罗诸佛菩萨地藏菩萨圣像碑；16、天宁寺尝谓人之欲兴善念者碑；17、天宁寺检藏重修藏经阁碑记碑；18、朝山进香碑记碑；19、重修地藏王菩萨殿碑；20、重修浚邑大伾山东天明代藏经宁寺碑记碑；21、重修大佛阁碑记碑；22、重修天宁寺碑记碑；23、重修大伾山大佛楼碑记碑；24、后晋香幢。



天宁寺古建筑群为研究我国早期佛教历史和庙宇建筑提供了详细的资料，具有较高文物价值。大雄宝殿是天宁寺古建筑群重要建筑之一，俗称三佛殿，建于 1 米高台基上，面阔三间 12.64 米，进深 9.56 米，卷棚顶建筑，灰板瓦覆顶，前廊后殿浑然一体。殿前有拜厦，殿内供奉释迦摩尼、阿弥陀佛、药师佛三世佛像，故有旧称“三佛殿”。佛像高 3 米，像后绘有背光，原像已毁，现塑像为 1993 年重塑。殿内两侧山墙绘有二十四诸天壁画，惟妙惟肖，形象逼真，为清代作品。

大雄宝殿的始建年代不详，历代曾数次翻修重建，碑刻史料记载如下：

明成化年间，僧会昌禪主持重建天宁寺大雄殿五间、法堂三间，修葺水陆道场、伽蓝祠宇、立两廊、构仪门；

明正德六年（1511 年）重建大雄殿五间，高三丈余，广两倍之。工程始于正德元年八月，落成于正德二年十月（重建水陆殿记碑）；

明嘉靖三十七年（1558 年）浮图宗达率众重修天宁寺三殿（大伾山通志）；

崇祯十年（1637 年），信士张定宇重修天宁寺大雄殿（重修天宁寺大雄殿记）；

咸丰七年（1857 年），例赠登仕郎耆从九品邢本立捐资重修天宁寺。重修大雄殿三间，前拜殿三间，水陆阁三间，罗汉殿三间，天王殿三间，眼光殿一座，山门外台阶九层，寺南大石桥一座，重修大山门五间，增修钟楼一座，补修藏经阁五间，地藏殿三间，金塑全寺神像，重修寺院围墙（重修浚县大伾山东天宁寺碑记）；

同治四年（1865 年）至同治六年（1867 年），邢本立之子邢文魁、邢文彬重修天宁寺（大伾山通志）；

民国二年（1913 年），补修大佛殿三间，重修拜殿三间，水陆阁三间，天王殿三间，藏经阁五间，南、北禅房六间，眼光殿一间，二门楼一座，地藏王殿三间，山门五间，周围院墙（重修天宁寺碑记）；

1956 年，省文化局拨款维修天宁寺、大石佛等文物（大伾山通志）；

1963 年 6 月 20 日，河南省人民委员会《关于公布“河南省第一批文物保护单位名单”的通知》，公布天宁寺（包括大石佛及附近碑铭）、千佛寺石窟（包括碧霞宫）、恩荣坊（龙章宠西坊）、陇西尹公浮屠、北齐四面造像碑、大赉店新石器至商周文化遗址为省级重点文物保护单位。省文化局拨款 4.1 万元，维修大伾山天宁寺、太平兴国寺、天齐庙、浮丘山碧霞宫山门、寝宫楼等古建筑，次年东竣工（大伾山通志）；

1965 年 1 月，“社教运动”中以破除迷信为由，将大伾山、浮丘山寺庙中的泥、木、石神像及一些有艺术价值的木制牌位、匾额和佛龕等毁掉（大伾山通志）；

2007 年 5 月，对天宁寺天王殿、罗汉殿、大雄宝殿揭顶维修（大伾山通志）。

4.学术研究

地方志和浚县历史文化研究专著包括：

（1）熊象阶.清嘉庆《浚县志》；

（2）浚县地方史志编纂委员会.《浚县志》.中州古籍出版社.1990 年；

（3）马金章.《中国历史文化名城-浚县》.中州古籍出版社.2006 年；

（4）浚县文物旅游局.《大伾山通志》.中州古籍出版社.2014 年；

（5）大伾山的研究专著较为重要的是郑永立等大伾山编纂委员会编写的《大伾山志》，中州古籍出版社，1995 年；

（6）对大伾山摩崖石刻研究的著作有清代王昶的《金石萃编》，1805 年；

（7）毕沅编撰的《中州金石记》，商务印书馆，1936；

关于大伾山及大伾山相关历史的研究论文较丰富，发表于重要的学术期刊杂志其中重要的包括：

（1）古代建筑修整所. 河南省几处石窟简介.文物.1961；

（2）吕品. 准敕不停废记碑中的抑佛史料.中原文物.1983；

（3）张富民. 大伾山摩崖石刻初探.中原文物.1991；

（4）刘家任. 王铎手书于大住山的三处摩崖石刻.中原文物.1991；

（5）陈平. 河南省古代建筑保护研究所. 浚县千佛洞石窟调查.文物. 1992；

（6）杭侃. 河南浚县大任山龙洞摩崖.文物.1998.

（7）杨华南. 浚县千佛寺石窟病害原因及保护措施初探.中原文物.2003.

（8）陈悦新.河南浚县大佛的年代.文物.2013.

（9）任思义.《禹贡》大伾的地望问题，和《大伾山古貌新探》质疑.《河南史志论丛》第三辑；

（10）田涛. 大伾山即成皋山辩.《河南史志论丛》第三辑；

（11）赵超. 略论浚县大伾山浮丘山古代石刻，和谈浚县的几件唐宋石刻.《大伾文化》；



- (12) 徐长青.《大伾山铭并序》略考;
- (13) 温玉成. 读《大伾山铭》及张居宽题记小识, 和浚县大弥勒佛及相关问题研究,《大伾文化》;
- (14) 周到. 郭大松.也谈河南浚县大石佛的年代问题.《中原文物》第一期;
- (15) 吕品. 大伾山“准敕不停废记碑”与大佛年代.《大伾文化》;
- (16) 任思义. 谈谈浚县大石佛的创建年代.《大伾文化》;
- (17) 杨富学. 浚县大伾山六字真言题刻研究.《大伾文化》;
- (18) 刘建华. 浚县大伾山天宁寺双狮之我见.《大伾文化》;
- (19) 刘会喜. 《大伾山天宁寺金饰佛像碑》考释.《大伾山文艺》2007 年第二期;
- (20) 刘会喜. 大伾山摩崖题刻漫谈.《引玉集》。

其他有关大伾山相关文物及近年浚县文化旅游状况的研究多达上百篇，相关参考资料更为广泛、丰富，有较为良好的研究积累。

大伾山天宁寺的历史文献丰富，研究成果丰硕。新中国成立后，尤其是近二十多年来，对其的研究具有良好的延续性，研究内容丰富，包括摩崖大佛及石刻文体的调查和保护、历史研究、石刻艺术等，涉及多个学科领域，研究积累较为良好。但以大伾山天宁寺大雄宝殿及其附属文物为核心的研究尚未开始，尚无系统的研究成果。

## 5.价值评估

### 5.1 历史价值

中国古代壁画艺术，兴起于汉晋、盛于唐宋、延至明清，是我国历史文化遗产中的宝贵财富。大雄宝殿壁画所在的天宁寺始建于北魏太和年间，原为坐西向东，明代改为坐北向南，清道光二十八年（1848）又改为坐西向东。故今寺院有南北、东西两条轴线，面积 2600 平方米。东西轴线现存山门 5 间；藏经阁 5 间，分 2 层，为明万历三年所建；大佛楼 1 座，高 7 丈许，倚崖而建，与崖顶齐。南北轴线现存地藏殿 3 间 2 层、天王殿 3 间、罗汉殿 3 间、大雄宝殿 3 间。天宁寺古建筑群为研究我国早期佛教历史和庙宇建筑提供了详细的资料，具有较高历史研究价值。

大雄宝殿是天宁寺古建筑群重要建筑之一，位于天宁寺东侧，建于一米高台基上，面阔三间 12.67 米，进深 9.50 米，卷棚顶建筑，灰板瓦覆顶，前廊后殿浑然一体。殿内塑有释迦摩

尼、阿弥陀佛、药师佛三世佛像。原像早毁，现塑像为 1993 年重塑。两侧山墙绘有二十四诸天壁画，惟妙惟肖，形象逼真，为清代作品。

壁画艺术是集建筑、雕塑、绘画于一体的立体艺术，古代艺术家在继承中原汉民族和区域民族艺术优良传统的基础上，吸收、融合了外来的表现手法，发展成为具有浚县地方特色的中国民族风俗的佛教艺术品，为研究区域政治生态、经济发展历史、宗教发展历史、民族关系、人民生活等提供了珍贵的实物资料，是人类的文化宝藏和精神财富。



图1-7 大伾山天宁寺全景图

### 5.2 艺术价值

壁画是我国民族文化中绚丽多彩的艺术遗产之一，起源甚早，广布流传，名家辈出，佳篇连绵。许多史书和古籍中未著述的社会面貌和社会生活，可以通过壁画形象地反映出来。它不仅是一份可贵的艺术遗产，而且是当时社会风貌和社会生活的真实记录，侧面反映了我国的古老文化和文明历史。

大雄宝殿壁画所绘的二十四诸天人物形象，风格统一，艺术特征基本一致。具体表现为：（1）造像面部宽平，具有明显的中原地区审美特征。（2）躯体结构匀称，女性尊者宽肩细



腰，造型端庄大方，男性尊者高大威武，尽显智慧与力量。（3）衣纹采取中原地区传统表现手法，优美流畅，质感颇强。（4）装饰上亦吸收中原地区传统手法，特别是菩萨和女性尊者胸前及腰部的 U 字形飘带，宛若自然飘动在风中，体现了中原地区传统的审美情趣。（5）造像皆脚踏祥云，祥云造型不尽统一，但风格一致，装饰讲究，上下基本呈垂直状，大小不一；云瓣饱满有力，最内侧以黑色为底，其次为灰，再为白边，白边外侧以黑线勾勒出祥云形制，各色层间横向对比大小几乎一致，肉眼近看可区分出渐变色块，远观整体色彩和谐统一，增加了祥云的动态韵律。（6）尊者手持各类法器，手指纤细修长，灵活自如，线条简洁明快。（7）人物造形或双臂抬起，或单臂高举另一侧自然垂落，形态生动自然，活灵活现。从整体上看，绘制的诸天形象皆造型完美，材质优良，工艺精湛，流光溢彩，彰显出雍容华贵的艺术气息。

各朝代壁画表现出不同的绘画风格，反映出我国各时段社会的政治、经济、文化和意识形态的状况，是中国古代美术史的光辉篇章，为中国晚清壁画艺术史的研究提供了珍贵的形象史料。大雄宝殿壁画人物形象的世俗化特征，反映了当时宗教、政治意识形态的客观状态，也是清代末期浚县地区佛教题材壁画艺术的代表性作品。

5.3 科学价值

相对于制作材质、工艺更为复杂的清代同时期文物而言，大雄宝殿壁画所具有的科学价值较为纯粹，其壁画制作工艺采用的是传统泥质地仗加白灰基底的形式进行制作，先用掺有麦草的粗泥将壁画绘制的青砖部位抹平，待干燥后再用较细的石灰在粗泥地仗上找平，该方法依旧采用传统的寺庙殿堂壁画制作工艺，并简化了制作流程（如泥质地仗层内部并未发现中泥层与细泥层等）。

在壁画颜料层中发现有近代化学合成颜料的使用痕迹，如蓝色颜料经检测为普鲁士蓝。普鲁士蓝具有立方结构，在常温常压下稳定，不溶于水，溶于酸、碱，色泽鲜艳，着色力强，遮盖力略差等特性。在普鲁士蓝发明之前，群青是壁画绘制中主要使用的蓝色颜料，其天然矿物颜料的属性造成颜料价格极为昂贵，十八世纪初，德国人迪斯巴赫发明了人工合成颜料普鲁士蓝，其作为天然矿物颜料群青的廉价代替产品，风靡欧洲，使画家调色盘中的颜料日趋完整，不用再像以前一样非常小心地只使用很少很少的蓝来调配颜料，丰富了绘画作品的色彩，使画面色彩更加鲜艳。

中国近代颜料制造业起步较晚，自主生产的颜料品种有限，从明朝嘉靖年间《天水冰山录》中的色名“西洋铁色褐”，至清朝乾隆嘉庆时期《布经》中的色名“番黄”、颜料商品名

“洋桶靛”可知，中国在明代就开始使用进口颜料。自晚清开始直到中华人民共和国成立之前，只能通过大量进口颜料来满足国内日益增长的商业需求。早期外国颜料传入中国后，民间多称其为洋色或品色颜料，但具体颜料种类或化学名称不详。直至民国时期，一些染色书籍才有国外染料厂和各种颜料的记载。

表 1-1 1873 年维也纳世博会中国纺织品参展清单

| 色名  | 1873 年《维也纳世博会清单》  |          | 1881 年《丝绸调查报告》      |           |
|-----|-------------------|----------|---------------------|-----------|
|     | 英文                | 产地       | 英文                  | 产地        |
| 一品红 | Aniline red       | 苏州       | —                   | —         |
| 一品蓝 | Aniline blue/Blue | 苏州       | —                   | —         |
| 品红  | Aniline red       | 苏州、湖州    | Aniline red         | 苏州、上海     |
|     | Lake              | 苏州、杭州    | Scarlet             | 苏州、湖州     |
| 品绿  | —                 | —        | Green               | 上海        |
| 品蓝  | Aniline blue      | 苏州、杭州、湖州 | Aniline blue        | 杭州、上海     |
|     | Blue              | 苏州       | Blue ground         | 苏州        |
| 品月  | —                 | —        | Aniline blue        | 苏杭、盛泽、湖州、 |
| 洋红  | Turkey red/Red    | 曼彻斯特/杭州  | Red                 | 绍兴、宁波     |
| 洋黄  | —                 | —        | Yellow              | 绍兴、宁波     |
| 洋绿  | —                 | —        | Mixed colours/Green | 苏州、绍兴、宁波  |
| 洋青  | —                 | —        | Pink/Rose           | 湖州、大夷亭    |
| 洋蓝  | Prussian blue     | 江苏       | —                   | —         |
| 洋灰  | —                 | —        | Dark slate          | 杭州        |
| 洋金  | —                 | —        | Gold                | 上海        |
| 洋雪青 | Peach             | 杭州、苏州、湖州 | —                   | —         |
|     | Lilac/Slate       | 杭州、苏州    | —                   | —         |
| 红雪青 | Lavender          | 苏州       | Lavender            | 苏州        |
| 雪青  | Lilac             | 苏州       | Lavender            | 苏州        |
|     | Lavender          | 苏州       | Slate/Violet        | 盛泽        |
| 淡雪青 | —                 | —        | Mauve               | 绍兴、嘉兴     |
| 玫瑰  | —                 | —        | Pale azure          | 杭州        |
| 玫雪青 | Mauve             | 苏州       | —                   | —         |
| 茄色  | —                 | —        | Mauve               | 湖州        |
| 瑰紫  | —                 | —        | Aniline red         | 湖州        |
| 呀兰  | Pink              | 苏州       | —                   | —         |
| 呀妃  | Pink              | 苏州       | —                   | —         |

根据哈佛大学图书馆藏中国旧海关史料中的《1873 年维也纳奥匈帝国世界博览会中国各港口参展纺织品清单》（见表 1-1），参展商品中有产自江苏省的“洋蓝小布”，清单附有此布的英文说明—“Dyed with Prussian blue”，可知当时的洋蓝是指普鲁士蓝，说明该颜料最迟在 1873 年已经传入江苏省。因普蓝在 18 世纪初已经被发现，其传入中国的时间应该更早。根据《中国画颜色的研究》（修订版）记载：“鸦片战争以后，化学颜料渐渐大量的进口。到了清朝咸丰初年（1851 年），洋蓝（德国制）洋绿（鸡牌商标，德国制）洋红（日本制、英国德国制，种类很多）普遍使用在染织……上”，结合 1881 年海关督办 E·Rocher 的丝绸调查报告、近代对外贸易资料及中国丝绸博物馆藏 1895 年德国艺业会中国参展纺织品的部分染料分



析结果，说明矿物染料（或称为化学颜料）可能在 19 世纪 50 年代已经传入中国。

综上所述，根据文献资料记载普鲁士蓝颜料在中国的出现及使用时间，在没有明确的史料文献记载大雄宝殿壁画确切绘制年限的情况下，可以根据普鲁士蓝最早出现在中国的时间大致推测该壁画的创作时间。由进口普鲁士蓝颜料在中国传统壁画中的使用，间接反映出当时西方先进的科学技术手段对我国乃至世界艺术品绘制材料、工艺的影响，同时也映射出时代背景下，科学技术对国家间的商贸往来、人民的生产生活方式、经济的互利发展等多方面推动作用。

## 5.4 社会价值

释尊一代时教，发源于印度，盛兴于中国。佛教传入中国，已经有二千余年的历史；从东汉时期到现在，对中国政治、社会、思想、文化、信仰等产生了划时代的影响。在社会文化方面，因为佛经的翻译与流传，影响了中国儒家文化以及其它社会文化，为中国文化史写下了光辉璀璨的篇章。因此，中国文化受到佛教文化的巨大影响，佛教文化也早已溶入到中国文化之中，成为中国传统文化的重要组成部分，也更加充分地体现出佛教中国化已深入社会、深入民众、深入人心。

随着明清时代的交替以及满清入主大统带来的社会政治文化环境的巨大变迁，无论是统治者的佛教政策，还是思想文化界关联到佛教的反思，以及佛教发展的倾向等，也都纠结于清朝前期的政治文化调试与整合之中。早期的儒家思想局限于建构道德政治原则体系，未能建立君权起源理论，造成君权缺乏终极的世俗正当性。“天命”观念及“天人感应”论不仅为君权神授提供了理论依据，并且与五行理论一道为王朝更替及新王朝的建立提供了合法性基础。

“天人感应”论把“天”、自然现象和君主本人联系起来，为君权披上神圣的外衣；清代统治者亦通过祭天仪式与尊号的制定宣告皇权正统与君权合法，并利用五行相生相克为朝代更替提供理论依据，“天命”观念成为支撑清代政治统治的重要信仰。

君权合法性即君主取得的权力是正当的、合乎道义的，它是人们发自内心地认同和接受，在本质上是一个信仰问题，“天命”观念为传统社会的君权合法性，提供了基础和依据。“天命”，即上天的意志或命令，它是人所不知、人所不及、无法抗拒的最高力量，它创造了自然界和人类社会的秩序，并决定人类的祸福休咎。在这一套思想体系中，朝代的更迭变动在冥冥

之中是由上天决定的，新的君主不仅是成王败寇的结果，也是上天选择的结果，因此君主的权力是由上天赋予的，臣民应当顺应上天的旨意，接受君主的统治。

除了自上而下地强化政治伦理信仰，佛教亦是实行教化、维护道德伦理的重要工具，通过对佛事活动和对被神化人物的信仰，尊卑有别、忠君事亲的观念于无声处渗透在人们的思想之中，成为人们发自内心接受的价值观念，从而在无形中实行社会教化和社会控制。因此，佛教一方面为政治伦理信仰提供理论支持，另一方面通过佛事活动和神灵信仰传递官方伦理，在上下两方面的共同作用下实现“以神道设教”的政治理想。

在传统社会的中国乡村，正式的国家管理只到县一级，地方事务诸如水利、自卫、治安、调解等多由村民自发形成的组织团体负责，这类自治团体的负责人被称为“乡约”，由村民轮流担任。在传统社会的乡村治理中，宗教作为上至天子下达百姓的“共同信仰”，一方面通过迎神赛社、春祈秋报等祭祀仪式和庆典将村民聚集起来，在进香、祭祀活动中形成了香会、上供会等自发形成的社会组织，表明乡村治理逐渐向着组织化、制度化的方向发展，另一方面，作为神灵祈祷、祭祀的重要场所的乡村寺庙，因其公共性质在乡村治理中发挥了重要作用。

虽然传统社会正式的行政制度只到县一级，广大乡村并不直接与国家权威连接而实行地方自治，但乡村并未就此而脱离了国家的控制而发展出一套独立的思想或理念，从而危及政治统治。事实上，即使正式行政制度未能深入乡村，但是官方正统的价值观念、道德伦理却在这片土地上深深扎根，并于无形之中维持着既有的等级秩序和社会制度。作为“以神道设教”的重要工具，民间宗教在其中发挥了重要作用。

一方面，宗教通过等级明确的神灵体系及祭祀活动中等级差别强化并维持了传统社会的等级秩序，通过城隍的公正形象及其司法职能弥补司法制度的不足，并借由人们对鬼神及因果报应的敬畏加强社会控制；另一方面，不同的祭祀仪式将宗族、行业团体及地域整合起来，增强了团体内部的凝聚力，促进了地区社会的整合，从而在等级秩序、社会整合、社会控制三方面的共同作用下使传统乡村社会朝着稳定有序的方向发展。

通过思想层面润物无声地浸透和行为层面祭祀仪式的强化作用，佛教在维护清代传统社会的伦理价值和社会秩序方面发挥了重要作用。中国社会虽然千百年来历经朝代更迭且官方行政制度与广大乡村并不直接相连，但是以宗教为核心的道德教化从未中断，大雄宝殿作为重要的宗教祭祀、礼佛仪式的举办场所，其重要社会价值尤为凸显，即便在今天它也影响着人们的许多观念和行为。



## 5.5 文化价值

大雄宝殿壁画所绘二十四诸天，指的是佛教的护法诸神，又可称为“诸天鬼神”。自古列十六天像，各有所主，以其有呵护佛法之功。后增日神、月神、娑竭龙王及阎摩罗王，因日可破暗，月可照夜，龙则秘藏法宝，阎摩掌管幽冥，故加此四为二十天。后又将“天龙八部”之紧那罗王，及道教神祇紫微大帝、东岳大帝、雷神增入其中，最终形成二十四天。

佛教中的诸天鬼神大多源于印度婆罗门教和印度民间神祇。佛教是与婆罗门教相对抗的宗教派别。早期佛教反对婆罗门教的种姓至上、祭祀至上和天神至上。但佛教并不否认天神的存在，它把天神作为一切有情(众生)的一个组成部分。一些吠陀神祇、婆罗门教神祇也被佛教吸收，成了佛教的护法神。如大梵天、帝释天原是婆罗门教信奉的大神，日天、月天是印度神话中的太阳神、月亮神，大自在天原是古印度外道崇拜的大神，夜叉和鬼子母是古印度民间传说中的吃人鬼和女魔鬼，焰摩罗王(阎罗王)本是印度神话传说中的地狱之主等。

佛教在中国流传后，诸天鬼神又与中国的民间鬼神相结合。如关公变成了佛门的护法伽蓝，包青天 and 韩擒虎等做了阎罗王，这使得护法神的队伍更加壮大。各大庙宇大雄宝殿中的诸天形象被装扮成中国古代帝王将相和后妃贵妇的样子，已被中国化了。

“天”梵语 Deva-loka，音译“提婆”。“天”在佛教文化中主要指有情众生因各自所行之业而感得的殊胜果报。如六道、十界中的天道、天界。这时的天称为“天人”或“天众”，并非宇宙意义上的天。佛教以为天是有情众生最妙、最善，也是最快乐的趣处。只有修习十善业道者才能投生天部。但“天”虽然处于诸有情界中最高最优越的地位，能获种种享受，但仍未跳出轮回，一旦前业享尽，便会重新堕入轮回之中。另外，佛经中说到“天”时，除了指作为正报的有情众生之一类外，还指其依报即这些有情众生的生存环境。佛教也把世俗世界分为欲界、色界、无色界三种，其中欲界有六天，包括四天王天、忉利天和兜率天等。色界有十八天（一说十七天，或二十三天的），主要有大梵天、遍净天、无想天、大自在天等。作为佛教造像的表现题材的诸天主要是在前述有情众生一类的意义上说的。只不过这些“天人”大都具有非凡的本领。佛教把古代印度神话和其他宗教中的一些神也称为天，并将他们吸纳进来，视为佛教的护法神，天的队伍不断扩大。

**二十四诸天依次为：**

（1）功德天

又名吉祥天，是一位仁慈的女神。她原是婆罗门教天神，是德叉迦和鬼子母夫妇的女儿。

她又是北方毗沙门天的姐姐(有说为后妃)。由于与财神有这样亲密的关系，所以她又被奉为财富女神。《金光明经·功德天》说，若信徒能够诵持此经，供养诸佛，并用香花、美味供养吉祥天，持念她的名号，就会得到资财宝物等福报。《大吉祥天女十二名号经》还记载，她有十二个名号，信徒若能够受持读诵这十二个名号，并如法修习供养，就能够消除贫穷业障，得到富贵。据《陀罗尼集经》记载，她身体呈银色，头戴花冠，身披天衣，项挂璎珞，珠光宝气、雍容华贵。左手拿如意宝珠，右手结施无畏印。左右两边分别立有梵天和帝释天；二天神背后各有一座七宝山。她头顶现五色祥云，云端有一头六牙白象，象鼻绞动一个玛瑙瓶，瓶中不断倾泄种种宝物，浇灌在她顶上一个千叶宝盖内。这些都与吉祥天掌理财富和赐福众生的功德有关。中国佛寺所造的功德天的形象大概受了这段记载的影响。佛教专门以她为本尊作禳灾招福的法会，这种法会被称为“吉祥忏过法”。

（2）辩才天

顾名思义，辩才天以聪明和具大辩才而得名。她还能唱出美妙的歌曲，所以又称“美音天”、“妙音天”。她是掌管智慧辩才、音乐与福德的天神。辩才天原是印度人信仰的河神。有人说她是男神，但大多数认为她是女神，是阎罗王的姐姐。她居无定所，经常与各种野兽为伴。她穿着极其简陋，但她形象十分美丽，“面如满月”，“目如修广青莲叶”，“常以八臂自庄严”。这些生活习性和形象特征成了她形象塑造的重要依据。《金光明最胜王经》宣称，凡是宣讲《金光明经》者，都能得到她的护持，增进智慧，辩才无碍，还可以解脱生死；又说诵读此经还可以使人成为大声乐家。日本密教主要是针对其音乐方面的功德，对其进行崇奉的。辩才天的形象主要有两种：一种是八臂菩萨装束形象，旁边六臂持物，分别拿火轮、剑、弓、箭、斧、绳索，中二臂合掌，脚下有狮、虎、狐、豺等兽。一种是菩萨形象的坐像，左手拿琵琶，右手作弹奏状；也有作弹箜篌状的。很显然，前一种形象来源于佛典的记载，而后一种形象则是根据辩才天在音乐方面的特征而塑造的。

（3）大梵天王

又作“梵天”、“梵王”等，是婆罗门教的尊神，被认为是世界万物的“始祖”。大梵天后来成了释迦牟尼佛的护法神。据传释尊自兜率天降生的时候，大梵天手执白拂子，在佛前作引导。释尊成道后，施舍自己的宫殿，请佛说法。《大悲经》记载，释尊行将入灭时，将护持佛法重任交给了他。大梵天居住于色界，为色界初禅天之主，与梵辅天、梵众天合称色界初禅三



天。较为常见的大梵天的形象是四面四臂像，每面各有三目；四臂都持有物，右边两手各持莲花和念珠，左边两手一手持净瓶，一手结唵字印；坐于莲花座上，坐骑是一只鹅或由七只鹅拉的车子。另外，梵天还有一面二臂、三面二臂形象。中国寺院中，梵天多与诸天共同供奉于大雄宝殿之中；还有一种是他与帝释共同侍奉释迦佛的形象。

#### （4）帝释天

帝释天原是婆罗门教的天神,音译作“释提桓因”、“因陀罗”等。《大智度论》记载，他原是摩揭陀国一个婆罗门，生性乐善好施。他有三十二位知己，与他同修福德善业，死后又一起生到了忉利天宫。忉利天共有三十三天宫，故又称三十三天。帝释居忉利天中央的善见城(又作喜见城)，他的四面各有八天宫，分别由他生前的三十二位知己作为辅臣居住。《净名疏》等书则说，迦叶佛入灭后，有一位女子发心为佛修塔，另有三十二人助缘。后来以此功德，他们共生忉利天宫，那位女子便是帝释天。帝释天经常用种种物品供养释尊和僧众。帝释天形象显密所传各异。在汉地寺院中，帝释天多为少年帝王像，男身女面。他的身后一般有位三位天女，相传为他的三位夫人：圆生、善法、赦友。其中，一位给帝释打伞；一位端盘，内盛莲花；一位捧一个山石盆景，意为须弥山。北京石景山区的法海寺存有明代的壁画，其中即有帝释天像。

#### （5-8）四大天王

四大天王俗称“四大金刚”，在天王殿中享受供奉。佛教吸取印度古代神话传说和古印度教中关于“天”的种种说法，提出“三界”说。三界中欲界最低，此界天有六重，即“六欲天”，第一重叫“四天王天”，离人世最近。这里就是四大天王的住处。佛经说，四天王天就在著名的须弥山山腰，那里耸立着一座犍陀罗山，此山有四山峰，称须陀四宝山，高三百三十六万里。四天王任务是各护一方世界，即佛教说的须弥山四方的东胜神洲、南赡部洲(中国在此洲)、西牛贺洲、北俱卢洲。故四大天王又称“护世四天王”。四天王各有九十一子，辅佐四天王守护空间十方，即东、西、南、北、东南、西南、东北、西北以及上、下。四大天王手下各有八位大将，帮助管理所属各处山河、森林以及地方小神。众大将中居首位的是韦驮，专门保护出家人，因此备受僧尼尊崇。

四大天王的名称及形象为：东方持国天王，名多罗吒，身白色，穿甲胄，手持琵琶。“多罗吒”是梵文的音译，意译为“持国”。“持国”意为慈悲为怀，保护众生。他是主乐神，故手持琵琶，表明他要用音乐来使众生皈依佛教。

南方增长天王，名毗琉璃，身青色，穿甲胄，手握宝剑。“毗琉璃”是梵文的音译，意为“增长”。“增长”能令众生增长善根，护持佛法。他手仗宝剑保护佛法。

西方广目天王，名毗留博叉，身白色，穿甲胄，手中缠一龙。“毗留博叉”是梵文的音译，意译即“广目”。“广目”意为能以净天眼随时观察世界，护持人民。他为群龙领袖，故手缠一龙(也有的作赤索)，看到有人不信佛教，即用索捉来，使其皈依佛教。

北方多闻天王，名毗沙门，身绿色，穿甲胄，右手持宝伞，左手握神鼠——银鼠。“毗沙门”为梵文音译，意译即“多闻”。“多闻”比喻福德之名闻于四方。他手持宝伞，用以制服魔众，保护人民财富。多闻天王原是古印度教的一位天神，又名施财天。在印度古神话中，他既是北方的守护神，又是财富之神，是一位大“财神爷”，故其在四天王中信徒最多。敦煌壁画中的毗沙门画像，在他渡海巡行之际，常常散下金钱财宝。

在中国寺庙里，四大天王形象被彻底汉化，皆为中国古代武将打扮。只要有寺庙，就一定有四大天王像。他们都被安置在天王殿中，殿中央为大肚弥勒佛(布袋和尚)，四大天王分列两旁。天王像大多威武凛然，其中以杭州灵隐寺的四大天王像最为精绝。它们造型优美传神，令人叹为观止。

#### （9）日天

又称日天子、宝意天子、宝光天子等名。日天原是印度神话传说中的太阳神，佛教说他是观音菩萨的变化身。他住在太阳中，太阳里有他的宫殿，称为“日宫”。他在一年之中循环于须弥山中腹，遍照四天下及四大洲的白昼。他与守护黑夜的月天对应，也由四天王管辖。他身边常有二妃陪侍。二妃乘七宝庄严车驾，以八头宝马牵引，周围还有七曜九曜等星宿护卫。摩利支天作他的前导。《秘藏记》卷末载，其形象是：红色脸膛，两手各持一朵莲花，乘坐于四匹马拉的大车上。

#### （10）月天

月天，又称月宫天子，原是古印度崇拜的月神。佛经说他是大势至菩萨的化身。“大势至”意为宝吉祥，月天既为大势至菩萨化身，所以又得名宝吉祥天。月天住在月宫中，他的身边也有许多美丽的天女陪侍。据说他有五百岁的寿命。关于月天的形象，印度和中国所传各不相同。他在印度为男性形象。佛教传入中国后，由于中国文化中也有月神崇拜，而中国的月神又被阴阳学视为阴性，这样印度的月神受中国月神信仰的影响也女性化了，并且还吸收了中国月



神的形象特征。她的形象通常为：美貌后妃装束，头冠中嵌满月，月中现兔形。但是密宗供奉的月天仍是印度式的。

#### （11）金刚密迹力士

金刚密迹力士以知晓如来一切秘密事迹而得名。《金光明经》记载，他是大鬼神王，与五百夜叉原都是大菩萨，为护持众生、保护佛法，他们才屈尊作了佛教的护法神。他行动十分敏捷，在佛教护法神中以“捷疾”著称。他常侍卫在佛陀身边，得到佛陀信任，佛陀常把一切秘密要事委托于他。佛寺常把他供奉于寺院山门殿内。其形象较为特殊，一般为红色脸膛，怒气冲天，全身肌肉鼓胀，劲健刚强，手中常持金刚杵。明代以前，佛寺都只供一尊密迹金刚。明代《封神演义》问世后，书中虚构的“哼哈二将”取代了密迹金刚。

#### （12）摩醯首罗天

摩醯首罗天又名大自在天，是印度教崇奉的主神。佛教收入摩醯首罗天后，把他奉为十地菩萨，故他的塑像也为菩萨形象。头戴宝冠，身着菩萨装，骑白牛，八臂三目，手执拂子、铃、杵、矩尺。立像常略去白牛。另外还有作二臂、四臂、十八臂的诸种形象。大自在天主要为密宗崇奉，密教把他视为大日如来的化身。他的诸种形象也主要出现于密宗寺院里。

#### （13）散脂大将

又称“密神”。他原是印度婆罗门教中的夜叉神，为北方毗沙门天手下八大神将之一。他统领二十八部天众，经常巡行世间，赏善罚恶。有人说他是鬼子母的二儿子，但多数认为他是鬼子母的丈夫。他的形象为金刚模样，面为红色，满脸怒气，手持降魔杵。一般人习惯把他同白脸善相的金刚密迹力士视为哼哈二将。

#### （14）韦驮天

韦驮又叫韦琨、韦驮天、韦驮菩萨、韦天将军。韦驮本为古印度婆罗门教信奉之神，叫六面童子，原为战神，有六头十二臂，手执弓箭，骑孔雀，后被大乘佛教吸收为护法神。韦驮像常被供奉于大雄宝殿对面，天王殿弥勒之背。这与他擒贼护佛立有大功有关。韦驮是佛国中的“神行太保”，以善走如飞著称。佛教传说，在如来涅槃时，竟有个“捷疾鬼”偷走了佛的两颗牙齿，韦驮急起直追，抓获窃贼，夺回佛牙。于是，韦驮担起保护释迦灵塔、打退盗取佛骨之敌的重任。

韦驮像一般立于山门背面，执金刚杵横眉瞠目，警惕地注视着祠堂(大雄宝殿)之前的方塔，乃取守护释迦灵塔之意。韦驮是中国佛教徒造就的，所以他是地道的中国武将打扮。韦驮

像面部英俊，金盔金甲，手执金刚杵，威风凛凛，颇像赵云、马超一类著名的古代武将。一般有两种姿势：一种是双手合十(即僧人所行礼节)，横杵于腕上，直挺挺站立；一种是一只手握杵拄地，另一只手叉腰。在佛经的卷首一般刻有佛像或佛陀说法图，而在卷尾则常常刻有韦驮像。

#### （15）坚牢地神

又称地天或地神，是职掌土地及一切植物的天神，与主管上天的大梵天神相对应。地神的形象十分独特，唐朝时为男神，有二臂和四臂两种形象。二臂形象是双手握宝瓶或钵，内插各色鲜花；四臂形象是四手分别持镰、箭、锄、锹四种农具。后来，地神由男身演变成了女身，并且多以二臂形象出现，手里持物又增添了鲜花、谷穗等物品。

#### （16）菩提树神

菩提树神是守护菩提树的女天神。相传，释迦牟尼佛在菩提树下打坐修道时，菩提树神便以树叶为释迦佛挡风遮雨，保护他安心修道，故名。她被认为是佛教最早的护法神。在佛寺里，她的形象特点是两手拿一树枝，打扮成年轻妇女的样子。菩提树本名毕钵罗树，这种树为常绿乔木，叶子呈卵形，茎干黄白色，花隐于花托中，树籽可作念珠。由于它是佛教圣树，东南亚佛教国家信徒常焚香散花，绕树礼拜，沿习成俗。

#### （17）鬼子母

鬼子母据传是五百夜叉鬼之母，故俗称“鬼子母”。她本为古印度民间传说的恶神，与散脂大将结为夫妻，生了五百个小夜叉，专以小孩为食，危害众生，后被释迦佛所感化，成为佛教的护法神。鬼子母皈依佛门后，偏重于对妇女和儿童的保护。据佛经记载，她能保护儿童健康成长，为儿童除病消灾；能保护妇女顺利分娩，减少痛苦。鬼子母由此又被人们尊奉为“爱子母”或“爱子神”。鬼子母传入中国后，除了为佛教徒作为护法神崇奉外，还被民间当作“送子娘娘”单独供奉、礼拜。鬼子母在藏传佛教里也很受崇拜。密宗里有以鬼子母为本尊的专门修法，称“诃利帝母法”、“诃利帝母供”，是祈祷妇女顺利生产的修法。修法时念《诃利帝母经》和《诃利帝母真言经》。《诃利帝母真言经》记载其形象说：“画诃利帝母作天女像，纯金色，身着天衣，头冠璎珞，坐高台上，垂下两足。于垂足边，画二孩子，傍高台立，于二膝上各坐一孩子，以左手怀中抱一孩子，于右手中持吉祥果。”

#### （18）摩利支天

摩利支天原是古印度神话传说中的天神，意为“阳焰”、“光焰”。主要为密宗所传。相传，她神通广大，常在日天(太阳神)前行走，日天看不见她，而她能看见日天。她有自己专门的法门，佛经中称修习摩利支天法或诵习《摩利支天经》能够得到不可思议的加持。据《大摩利支菩萨经》记载，此天“能令众生在道路中隐身，众人中隐身，水、火、盗贼一切诸难皆能隐身”。众生得到这样的隐身之术，便能降伏恶魔鬼怪。摩利支天的形象主要有两种：一种为天女形象：或坐或立于莲花上，左手持一天扇，置于胸前，右手下垂。一种为忿怒形象：面红如日出之色，身着红色天衣，红色即表示忿怒；挂璎珞，戴耳环、腕钏，腰系宝带；头上顶一宝塔，塔内有毗卢遮那佛；具三面八臂，三面面相各异：正面菩萨脸，端庄慈祥；左面猪脸，尖嘴獠牙；右面童子脸，面目隽秀。每面又各有三目。八手臂都持有物，左四手执无忧树枝、绳索、弓、线圈；右四手持金刚杵、针、钩、箭。八臂有时也作六臂。她坐在野猪身上，或坐于七头野猪拉的车之上。这位天神在藏传佛教里影响很大。

#### （19）娑竭罗龙王

又名水天，原为印度婆罗门教天神，专门掌管水界。作为佛教的护法神，它专任西方守护者，也掌管水界。它主要为密宗所信奉。密宗还有专门供养水天的仪式，称“水天法”和“水天供”。其常见形象为：身青色，骑于龟背上，有九个头，皆为龙形，左手握拳，右手执索。又一种说法认为，水天为娑竭罗龙王，是佛教龙神中的大龙王。这位龙王还有一个女儿，叫龙女。娑竭罗龙王的形象常见为头现龙形，身着帝王服。

#### （20）阎魔罗王

阎魔罗王又称阎摩罗王、阎摩王、琰摩、双王等。阎魔罗王原是印度神话传说中掌管地狱之主，《黎俱吠陀》中称他还有一个妹妹，叫阎蜜，兄妹通婚，成为人类的始祖。所以他后来到地狱管理他的子孙们的亡灵。佛教产生后，把他纳入自己的神灵体系。阎魔罗王传入中国后，产生了具有中国文化特色的“阎王爷”。阎王在印度佛教中本为单独一个，经过与我国民间信仰和道教信仰的融合，形成了“十三阎王”和“十殿阎王”，而通常以十大阎王的说法较为流行。中国的许多历史人物也加入了阎王的队伍，成了道地的中国阎王，如范仲淹等。

#### （21）紧那罗王

紧那罗是“天龙八部”之一，其头上有角，故又名人非人。他为帝释天部下，负责演奏音乐，故为音乐神。这类神有男有女，男性为马首人身，女性则端庄美丽；男性长于演奏，女性长于歌唱。紧那罗女演唱起来不仅优美动听，而且还会产生魔力。紧那罗女常与乐神乾达婆配

为妻室。男性紧那罗其貌不扬，长着个马头；女性紧那罗则相貌端庄，有一副绝妙的好嗓子。据说有五百仙人在山中修禅，当时紧那罗女正于雪山天池中洗澡，洗得畅快，不禁唱起歌来。迷人的歌喉，唱得五百仙人“即失禅定，心醉狂逸，不能自持，譬如大风吹诸林树”。《大智度论》也说，有五百仙人腾云驾雾，在空中飞行，忽然传来了紧那罗女的动人歌声，大仙们顿时如醉如痴，忘乎所以，道术一下失灵，纷纷从空中栽落尘埃。

#### （22）紫微大帝

紫微大帝，又称“中天紫微北极太皇大帝”。这一神名来源于古代对北极星的崇拜。古人认为北极星是帝王星，他住在天上的紫微宫中。由此也称人间帝王的禁中为“紫禁城”。道教吸收这些说法，尊居住在中天紫微宫的北极太皇大帝为四御之一。其职责是协助玉皇大帝执掌天经地纬、日月星辰和四时气候。因中国古代农业与气候的关系十分密切，故太皇大帝深得民间尊崇。明代宫廷专门敕建了紫微殿，“设像祭告”。他常和玉皇大帝合供一殿，形象依据《洞真太极北帝紫微神咒妙经》，头戴冕旒，身着朝服，为人间帝王形象。

#### （23）东岳大帝

东岳大帝，全称“东岳天齐仁圣大帝”，是道教崇奉的泰山神。他原也是我国古代民间信仰。道教吸收他后，说他是掌管人间生死之神。历代帝王对他屡予褒封。唐玄宗封他“天齐王”；宋真宗大中祥符元年(1008)封他“仁圣天齐王”；大中祥符四年(1011)封他“东岳天齐仁圣大帝”；元世祖至元二十八年(1291)封他“东岳天齐大生仁皇帝”。民间信奉也十分普遍，各地还纷纷建起了供奉他的庙宇，每年农历三月二十八日为其祭祀日。他的形象为苍老帝王像：戴冠著袍，颈系冠带，颌下飘垂二绺胡须，手捧玉笏，足登云头鞋。

#### （24）雷神

雷神是我国古代神话传说中司雷之神。《山海经·海内东经》载：“雷泽中有雷神，龙头人身，鼓其腹。”《太平广记》引《神仙感通记传》说，雷公有兄弟五人，即天雷、地雷、水雷、社雷(又称妖雷)、神雷，是为五雷神。道教看到雷神在民间的广泛影响，把它改造为道教天神。道教还有所谓“五雷天心正法”的修法，宣扬依此而修，可以致雷雨，祛病痛。雷神的形象最初为龙形，后变为半人半兽；被道教吸收后，又完全人形化。今天在佛寺和道观中，雷神的形象大致有两种：一种是半人半兽，蓬头怒发，似人似鬼，披甲，手持劈山斧；另一种是人形，身着铠甲，面有髭须；左手结印，右手举锤；左脚踏鼓，右脚作出击鼓的样子。



佛教护法诸天鬼神是佛教神祇中最为丰富、奇幻的一部分，他们以护持佛法为职志，但有时也协助佛菩萨做些化导众生的工作。《妙法莲华经·观世音菩萨普门品》说，因所度化的对象不一样，观音菩萨可化现为梵王身、帝释身、紧那罗身等各种护法神来普度众生。《华严经》亦称：“一切诸佛退位，或作菩萨，或作声闻，或作转轮圣王，或作魔王、大臣、居士、长者，或作彩女、宰官，或作大力鬼神、山神、江神、主水神、主火神、一切苗稼神、树神及外道，作种种方便，助我释迦如来化导众生。”

5.6 宗教价值

信奉宗教，崇拜偶像，是人们在漫长历史时期理想和信念的寄托，壁画绘制于大雄宝殿之中，正是制造这种氛围。宗教人物形象绘于寺观殿堂中，让人们目睹其庄重的气势和慈善的神态，更加形象化，更具吸引力。正由于如此，寺观壁画中的神被列为画题之主体，占据着重要位置。现存寺观壁画中，佛教画题除二十四诸天形象外，还包括：佛本生故事、本行故事、涅槃变、经变故事、七地九会、观音法会、善财童子五十三参、天龙八部、十六宝观、禅宗法嗣、帝后剃度、地狱变相、轮回转生等。几乎佛经所载应有尽有，且变化多端，很少雷同。研究这些神之来源与发展过程，是研究我国宗教文化和宗教艺术不可缺少之内容。壁画的制作出自当时民间匠师之手，除宗教内容外，他们所生活的社会环境和社会风貌，通过他们的手笔必然反映到壁画之上，成为当时社会生活的写照。

佛教是中国优秀传统文化的重要组成部分，是构成文化自信的重要来源。中国佛教在道德建设、本土文化发展、生态文明建设和人文价值等方面都表现出不可替代的价值。时至今日，佛教寺院每年农历九月都要举行供佛斋天法会。所谓“供佛斋天”，略称斋天，民进俗称拜天公。清代《弘赞所集供诸天科仪》云：“供天一法本出《金光明经》，修忏时供设三宝、诸天。”佛教徒虽不归依诸天，然礼敬诸天，这是因为诸天归命佛，且奉行正法，修诸善业、不作恶业之缘故。据《金光明经》记载，诸天于金光明会上，一一于佛前发善心菩提，并亲承如来法敕，常佑护受持、诵读、书写《金光明经》者。因诸天秉持法王嘱累，巡行人间，以慈心辅翼有德，奖善罚恶，世人乃建此供佛斋天之法会，诵经礼忏，施设净食，以供养十方三宝、护世诸天及其随从。为求表示最高之诚心与敬意，坛场应设三宝、诸天及其侍从之座席，设施当极尽庄严、清净，法会之礼赞唱诵当力求如仪；茶水、果物、菜蔬亦当净洁新鲜。



图1-8 天宁寺内佛事活动

佛教文化的核心是当世与来生的转化，是对现实的隐忍与克制，使得佛教文化天然具有一种弱攻击性。尽管佛教依然希望能让更多人信仰佛家至理，但这种希望却是通过当时佛教僧人的苦心与善行来实现的，这使得浚县当地的民众对佛教文化并不抵触，反而广泛接纳。此外，由于浚县地理位置的特殊性，黄河汛情、蝗灾旱灾、战乱等多重因素影响下，唯有佛教中关于来世教义能够抚慰当时饱受苦难的浚县百姓内心，使他们得到精神慰藉。正是因为华夏文化与的佛教文化的包容性，使得二者相得益彰，与此同时也促进了佛教在浚县地区的繁荣。

## ● 大雄宝殿及壁画保存现状与病害勘察



目 录

1 地理位置 ..... - 1 -

2.气候条件 ..... - 2 -

3.历史沿革 ..... - 3 -

4.学术研究 ..... - 5 -

5.价值评估 ..... - 6 -

    5.1 历史价值 ..... - 6 -

    5.2 艺术价值 ..... - 6 -

    5.4 社会价值 ..... - 8 -

    5.5 文化价值 ..... - 9 -

    5.6 宗教价值 ..... - 13 -

1 自然与工程地质条件 ..... 1

    1.1 气候环境特征 ..... 1

    1.2 地形地貌特征 ..... 4

    1.3 地层岩性特征 ..... 6

    1.4 水文地质特征 ..... 7

    1.5 区域稳定性 ..... 9

        1.5.1 地质构造 ..... 9

        1.5.2 地震 ..... 9

2.保存现状及病害调查评估 ..... 11

    2.1 病害调查任务与技术要求 ..... 11

        2.1.1 调查目的 ..... 11

        2.1.2 调查的意义 ..... 11

    2.2 调查依据和原则 ..... 11

        2.2.1 调查的依据 ..... 11

        2.2.2 调查的原则 ..... 12

    2.3 调查方法和调查工作完成情况 ..... 12

2.3.1 工作任务、范围及精度..... 12

2.3.2 调查的方法..... 12

2.3.3 完成的工作量..... 12

2.4 文物本体病害现状与评估 ..... 13

    2.4.1 建筑保存现状..... 13

    2.4.2 壁画保存现状..... 22

        2.4.2.1 壁画结构..... 25

        2.4.2.2 红外检测..... 26

    2.4.4 壁画病害..... 27

        2.4.4.1 积尘..... 27

        2.4.4.2 泥渍、水渍、龟裂..... 28

        2.4.4.3 人为刻划、涂写..... 29

        2.4.4.4 空鼓..... 30

        2.4.4.5 地仗脱落..... 30

        2.4.4.6 颜料层脱落..... 30

        2.4.4.7 裂隙..... 31

        2.4.4.8 孔洞..... 31

        2.4.4.9 不稳定边沿起翘..... 32

        2.4.4.10 动物损害..... 32

        2.4.4.11 铁钉、铁丝..... 32

    2.4.5 壁画病害量统计..... 32

# 保存现状与病害勘察

## 1 自然与工程地质条件

### 1.1 气候环境特征

浚县隶属鹤壁市，位于河南省北部，地处安阳、濮阳、新乡三市之间，属中纬度地区。县境北、东北、东、东南与安阳市汤阴县、内黄县、滑县接壤，南、西南与新乡市延津县、卫辉市搭界，西与淇县淇河相望。浚县位于河南北部，地处太行山与华北平原过渡地带，属暖温带半湿润性季风气候。

浚县的气候特点是：四季分明，光照充足，雨量充足，温差较大。各季特点是：春旱风大回暖快，夏雨集中天气热，秋高气爽气象新，冬季严寒雨雪稀。夏季多偏南风，冬季多偏北风。

#### （1）气温与光照

浚县年均气温为 13.7℃，最高时为 14.4℃（1977、1978 年），最低时为 12.8℃（1984 年），温差 1.6℃。极端最高气温 41.9℃（1967 年 4 月、1972 年 6 月 11 日），极端最低气温-18.4℃（1971 年 12 月 27 日）。各月平均气温最低为-1.6℃（1 月），最高为 26.9℃（7 月）。

夏季炎热期（候温高于 25℃），年均 51 天，最热年为 70 天（1963 年）；暑热期（候温高于 28℃），年均 19 天，最热年为 40 天（1965 年）；酷热期（候温高于 30℃），年均 2 天，最热年为 10 天。冬季候温低于 5℃以下，年均 51 天，最冷年 80 天（1976 年）；低于零度以下，年平均 42 天，最冷年 65 天（1968 年）；低于零下 5℃，年均 4 天，最冷年为 15 天（1969 年）。

气温日较差 5 月份最大，平均为 12.9℃，对小麦灌溉非常有利。8 月日较差最小，平均 9.2℃。8 月下旬以后，日较差逐渐增大，9、10 月份日较差分别为 10.7℃、11.7℃，对晚秋作物灌溉及薯块膨大非常有利。

气温稳定通过≥0℃的初日为 2 月 21 日，终日为 12 月 12 日，间隔 296 天，积温 5122.8℃。积温最低年份（1963 年）4909.5℃，最高年份（1978 年）5416.2℃，相差 506.7℃。气温稳定通过 5℃的初日为 3 月 10 日，为冬小麦返青生长期，终止期为 11 月 19 日，间隔 256 天，积温 4979.8℃。气温稳定通过 10℃的活动积温一般在 4624.4℃，最高年份

4886.5℃，最低年份 3936.1℃，80%的保证率为 4483.8℃，初日平均在 4 月 2 日，最早在 3 月 18 日，最迟在 4 月 29 日；终日平均在 11 月 2 日，最早 10 月 6 日，最迟 11 月 12 日，初终日间隔 215 天，最长 232 天（1973 年），最短 193 天（1965 年），年际变化较大。气温稳定通过 15℃的初日平均在 4 月 23 日，终日在 10 月 10 日，间隔 172 天，积温 4036.3℃。浚县 1963—1985 平均气温，极端气温见表 1-1。

表 1-1 浚县 1963—1985 平均气温、极端气温 ℃

| 年份   | 平 均<br>气 温 | 最 高<br>气 温 | 最 低<br>气 温 | 年份   | 平 均<br>气 温 | 最 高<br>气 温 | 最 低<br>气 温 | 年份   | 平 均<br>气 温 | 最 高<br>气 温 | 最 低<br>气 温 |
|------|------------|------------|------------|------|------------|------------|------------|------|------------|------------|------------|
| 1963 | 13.4       | 37.8       | -12.3      | 1968 | 14.1       | 41.0       | -12.2      | 1973 | 14.0       | 37.7       | -11.5      |
| 1964 | 13.0       | 39.1       | -16.6      | 1969 | 12.9       | 39.6       | -14.5      | 1974 | 13.8       | 38.7       | -11.7      |
| 1965 | 14.3       | 40.4       | -10.8      | 1970 | 13.4       | 37.5       | -13.8      | 1975 | 14.3       | 38.7       | -13.4      |
| 1966 | 14.2       | 41.4       | -12.7      | 1971 | 13.5       | 38.2       | -18.4      | 1976 | 13.4       | 38.2       | -11.9      |
| 1967 | 13.9       | 41.9       | -16.1      | 1972 | 13.4       | 41.9       | -15.4      | 1977 | 14.4       | 39.9       | -13.0      |
| 1978 | 14.4       | 40.9       | -10.3      | 1981 | 14.0       | 39.6       | -13.1      | 1984 | 12.8       | 38.0       | -15.4      |
| 1979 | 14.1       | 40.0       | -14.9      | 1982 | 14.1       | 38.0       | -12.5      | 1985 | 13.1       | 39.3       | -13.6      |
| 1980 | 13.5       | 39.3       | -13.4      | 1983 | 14.1       | 37.0       | -13.0      |      |            |            |            |

浚县日照时数年均 2311.8 小时，日照百分率为 52%。最高年份（1965 年）2735.5 小时，最低年份（1984 年）1812.2 小时。年内分布，5 月份最多，为 249.7 小时，6 月份次之，2 月份最少，为 146.6 小时。4-8 月日照在 200 小时以上，有利于作物生长。全年太阳辐射量为 110.8 千卡/cm2。最大值出现在 5、6 月份，均在 13.0 千卡/cm²；2 月份最小，为 5 千卡/cm²。年内变化趋势是，3-5 月份辐射值递增最快，5-8 月份达到最高期；9-12 月份递减明显。太阳辐射季节变化分明：冬季为 16.5 千卡/ cm²，占年总量的 14.9%，春季为 32.8 千卡/cm²，占年总量的 29.6%，夏季为 36.9 千卡/ cm²，占年总量的 33.3%，秋季为 24.6 千卡/cm²，占年总量的 22.2%。光合有效辐射年总量为 54.4 千卡/ cm²。一年中，5、6 月份最大，均为 6.4 千卡/ cm²，2 月份最小，为 2.5 千卡/ cm²。季节变化特点是，夏季最高，春季次之，冬季最低，浚县 1963—1985 月均太阳辐射、光合有效辐射统计表见表 1-2、表 1-3。



| 表 1-2 浚县 1963—1985 月均太阳辐射统计表 |     |     |     |      |      |       |      |      |     |     |     |     | 单位：千卡/平方厘米 |
|------------------------------|-----|-----|-----|------|------|-------|------|------|-----|-----|-----|-----|------------|
| 月份                           | 1   | 2   | 3   | 4    | 5    | 6     | 7    | 8    | 9   | 10  | 11  | 12  | 全年         |
| 辐射量                          | 5.9 | 5.0 | 9.3 | 10.5 | 13.0 | 13.0  | 12.1 | 11.8 | 9.6 | 9.1 | 5.9 | 5.6 | 110.8      |
| 年总量%                         | 5.3 | 4.6 | 8.4 | 9.5  | 11.7 | 11. 7 | 10.9 | 10.6 | 8.7 | 8.2 | 5.3 | 5.1 | 100.0      |

| 表 1-3 浚县 1963—1985 月均光合有效辐射辐射统计表 |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |      | 单位：千卡/平方厘米 |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|------------|
| 月份                               | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9    | 10  | 11  | 12  | 全年   | 全年%        |
| 有效辐射                             | 2.9 | 2.5 | 4.6 | 5.1 | 6.4 | 6.4 | 5.9 | 5.8 | 4.7  | 4.5 | 2.9 | 2.7 | 54.4 | 100        |
| ≥0℃                              | 0   | 1.5 | 4.6 | 5.1 | 6.4 | 6.4 | 5.9 | 5.8 | 4.7  | 4.5 | 2.9 | 1.3 | 49.1 | 90         |
| ≥10℃                             | 0   | 0   | 0   | 4.7 | 6.4 | 6.4 | 5.9 | 5.8 | 4.7  | 4.5 | 1.3 | 0   | 39.7 | 73         |
| ≥15℃                             | 0   | 0   | 0   | 2.5 | 6.4 | 6.4 | 5.9 | 5.8 | 4.7  | 4.5 | 0   | 0   | 34.2 | 63         |
| 小麦 10-5 月                        | 2.9 | 2.5 | 4.6 | 5.1 | 6.4 | -   | -   | -   | -    | 4.5 | 2.9 | 2.7 | 31.6 | 58         |
| 玉米 6-9 月                         | -   | -   | -   | -   | -   | 6.4 | 5.9 | 5.8 | 4. 7 | -   | -   | -   | 22.8 | 43         |
| 棉花 4-10 月                        | -   | -   | -   | 3.9 | 6.4 | 6.4 | 5.9 | 5.8 | 4.7  | 4.5 | -   | -   | 37.6 | 69         |

浚县地面年均温度 17.1℃。元月为-1.3℃。从 2 月份开始增温，9 月份以后逐渐递减。≥15.0℃以上的月份是 4-10 月，共 214 天。各层地温年均值基本相同，均在 15℃左右。地温变化的特点是，1、2、11、12 月由浅至深递增，5-8 月则相反，3-4 月、9-10 月，地温变化不大。5 厘米地温稳定通过 14℃时间为 4 月 14 日。80%的保证率日期为 4 月 13 日，最早年份为 1977 年 3 月 30 日，最迟年份为 1965 年 4 月 30 日，二者相差 31 天。5 厘米地温，年平均值元月份最低，为-0.5℃，7 月份最高，为 28.9℃。

浚县年平均初霜期在 10 月 31 日，最早为 10 月 21 日，最迟在 11 月 17 日，二者相差 27 天。终霜期平均出现在 3 月 23 日，最早为 3 月 10 日，最晚为 4 月 21 日，二者相差 42 天。平均无霜期 221 天，最高年份 243 天，最低年份 194 天。年际变化较大，80%的保证率为 199 天。

（2）降水及湿度

浚县年均降水量 647.8 毫米，最多年份（1963 年）为 1317.4 毫米，为年均值的 203.4%；最少年份（1966 年）为 312.3 毫米，为年均值的 48.21%，极值差 1005.1 毫米。由于年际变率

较大，旱涝常交替出现，但旱多于涝。一年内降水分配不均，季差较大。夏季平均 398.9 毫米，占年总量的 61.8%，1963 年多达 995.0 毫米。秋季为 133.9 毫米，占 20.7%。春季为 93 毫米，占 14.4%。冬季最少，仅占 3.1%。月降水量 8 月最多，平均为 171.2 毫米；1 月最少，平均 4.0 毫米。降水量分配总趋势是：从 3 月份开始递增，8 月份开始递减，形成春旱、夏涝、冬干的降水规律，调查区 1963 年～1985 年各月及年总降水量见表 1-4

| 表 1-4 调查区 1963 年～1985 年各月及年总降水量（mm） |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |        |
|-------------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| 月份<br>年份                            | 1    | 2    | 3    | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11   | 12   | 全年     |
| 1963                                | -    | 0.1  | 20.3 | 40.7  | 169.4 | 68.9  | 164.9 | 761.2 | 63.0  | 0.7   | 14.3 | 13.9 | 1317.4 |
| 1964                                | 7.2  | 13.6 | 16.8 | 125.9 | 77.9  | 14.0  | 196.1 | 325.0 | 78.0  | 108.5 | 5.9  | 1.5  | 969.4  |
| 1965                                | 2.1  | 11.7 | 3.4  | 47.1  | 7.7   | 25.1  | 109.2 | 24.1  | 26.9  | 25.0  | 46.6 | 0.1  | 329.0  |
| 1966                                | -    | 2.3  | 29.3 | 23.4  | 6.4   | 53.6  | 125.6 | 30.8  | 8.2   | 17.9  | 13.9 | 0.9  | 312.3  |
| 1967                                | 8.9  | 17.0 | 34.6 | 26.6  | 13.8  | 100.6 | 154.9 | 184.0 | 141.5 | 6.6   | 59.1 | -    | 747.6  |
| 1968                                | 2.2  | 0.4  | 2.3  | 7.4   | 33.4  | 37.3  | 149.2 | 67.3  | 62.9  | 92.9  | 26.9 | 15.9 | 498.1  |
| 1969                                | 4.6  | 10.0 | 6.4  | 98.1  | 41.2  | 17.2  | 111.5 | 318.2 | 251.3 | 18.8  | 3.3  | -    | 880.6  |
| 1970                                | 0.2  | 6.8  | 6.1  | 23.0  | 50.5  | 68.7  | 170.5 | 216.5 | 19.5  | 19.3  | 4.3  | 0.1  | 585.5  |
| 1971                                | 2.8  | 12.6 | 10.7 | 31.5  | 15.1  | 223.4 | 197.7 | 223.3 | 46.0  | 24.0  | 46.4 | 17.8 | 851.3  |
| 1972                                | 14.4 | 5.1  | 12.5 | 4.6   | 45.7  | 89.1  | 309.8 | 66.7  | 85.0  | 38.3  | 32.0 | 0.3  | 703.5  |
| 1973                                | 17.3 | 6.9  | 8.0  | 65.1  | 21.8  | 115.7 | 222.9 | 107.8 | 37.5  | 65.8  | 0.3  | -    | 669.1  |
| 1974                                | 2.6  | 7.7  | 16.3 | 7.0   | 24.3  | 23.2  | 134.7 | 192.5 | 71.1  | 36.3  | 46.4 | 48.3 | 610.4  |
| 1975                                | 0.9  | 1.4  | 7.7  | 52.9  | 2.8   | 43.2  | 202.2 | 125.9 | 258.1 | 52.0  | 3.9  | 9.0  | 760.0  |
| 1976                                | -    | 43.8 | 7.9  | 36.8  | 0.5   | 63.5  | 373.0 | 132.2 | 15.6  | 12.4  | 14.9 | 1.9  | 702.5  |
| 1977                                | 2.3  | -    | 8.9  | 72.1  | 69.5  | 82.9  | 264.7 | 17.2  | 6.0   | 60.0  | 9.7  | 3.2  | 596.5  |
| 1978                                | -    | 7.2  | 9.6  | -     | 78.3  | 22.8  | 98.5  | 40.6  | 14.7  | 42.2  | 10.1 | 5.2  | 329.2  |
| 1979                                | 13.3 | 24.0 | 66.2 | 43.1  | 19.5  | 32.2  | 101.4 | 107.5 | 83.4  | 1.8   | 1.6  | 10.2 | 514.8  |
| 1980                                | 0.3  | -    | 23.9 | 16.5  | 24.7  | 201.4 | 166.1 | 35.5  | 78.6  | 63.6  | 0.6  | -    | 611.2  |

|      |     |      |      |      |       |      |       |       |       |      |      |      |       |
|------|-----|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| 1981 | 8.9 | -    | 22.8 | 6.4  | 0.4   | 72.0 | 62.0  | 97.6  | 19.1  | 66.0 | 11.1 | -    | 366.3 |
| 1982 | 0.9 | 11.9 | 13.3 | 6.4  | 53.8  | 29.4 | 106.9 | 336.4 | 25.0  | 19.2 | 15.3 | -    | 618.5 |
| 1983 | 0.5 | 0.3  | 32.3 | 81.3 | 117.5 | 18.4 | 78.5  | 55.8  | 169.6 | 90.0 | 1.6  | 0.3  | 646.1 |
| 1984 | -   | -    | 4.5  | 8.3  | 43.5  | 64.3 | 148.1 | 313.0 | 108.7 | 11.2 | 23.5 | 27.4 | 752.5 |
| 1985 | 2.4 | 6.5  | 12.6 | 0.8  | 68.9  | 30.2 | 37.2  | 160.6 | 148.9 | 55.6 | 1.4  | 3.6  | 528.7 |
| 平均   | 4.0 | 8.2  | 16.4 | 36.0 | 42.9  | 65.1 | 160.1 | 171.2 | 79.1  | 40.3 | 17.1 | 7.4  | 647.8 |

\*引自：浚县地方史志编纂委员会，《浚县志》，1990

浚县年平均相对湿度为 66%，最高年份为 72%（1985 年），最低年份为 60%（1968 年）。年内各月平均相对湿度受降水制约，1-6 月在 60%左右，7-10 月超过 70%。其中 8 月最高，达 81%。降雨季节湿度过大，不利于棉花生长，且往往导致虫害蔓延。

（3）风

浚县冬季多偏北风，夏季多偏南风。年平均风速 3.2 米/秒。1-6 月大于平均值，在 3.3-4.2 米/秒之间；7-12 月小于平均值，在 2.7-3.1 米/秒之间。瞬间最大风速为 28 米/秒（1965 年 5 月）。平均大风日数 10.8 天，1-6 月为 1.0-2.1 天，7-12 月为 0.2--0.6 天。各年风力风向示意图如图 1-1。

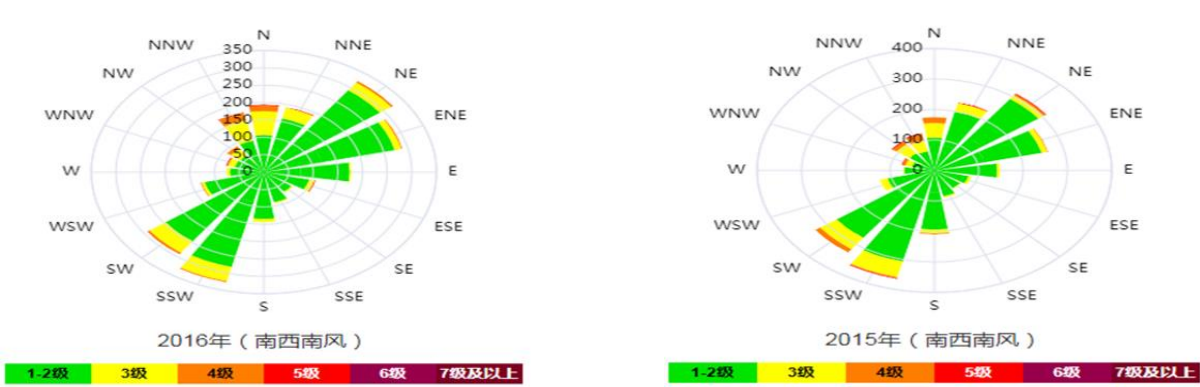
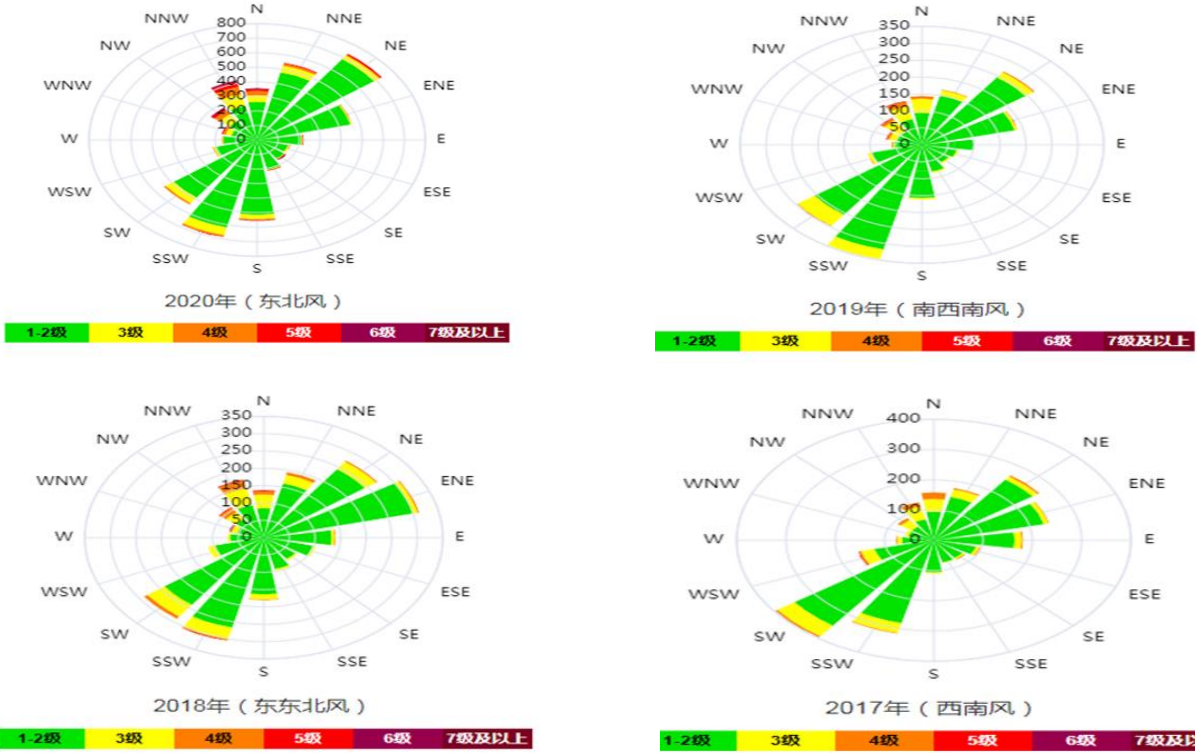


图 1-1 2015-2020 风力风向示意图

（4）灾害性天气

干旱：一年四季时有发生。按季节分春旱、初夏旱、伏旱、秋旱和冬旱，有时连续旱。春旱时段为 3 月至 5 月中旬。这个时期正值小麦拔节、抽穗和秋作物播种期，需水量较大，降水量只有达到 200 毫米以上才能满足作物生长需要。1986 年至 2000 年间，没有一年达到标准，出现春旱 11 次，平均 1.4 年一遇。初夏旱时段为 5 月下旬至 7 月上旬。此间各种作物需水量大，且土壤蒸发和植株水分蒸腾很大，若干旱少雨将影响春播作物的正常生长和晚秋作物的适时播种。1986 年至 2000 年共发生初夏旱 9 次，平均 1.7 年一遇。伏旱时段为 7 月中旬至 8 月中旬。此间气温高，蒸发量大，作物处于旺盛生长期，干旱对各种作物有较大影响。1986 年至 2000 年共出现伏旱 3 次。平均 5 年一遇。秋旱时段为 8 月下旬至 10 月下旬。此间系大秋作物成熟期和小麦播种期，干旱将严重影响全年粮食产量。农谚日“春旱不算旱，秋旱减-半”。1986 年至 2000 年共出现秋旱 3 次。平均 5 年一遇。

暴雨：受季风活动影响，夏季常有暴雨发生，且强度大、时间长，造成平地积水，淹没农田，倒塌房屋等，给人民生命财产带来重大损失。按暴雨日降水量大于 50 毫米标准。1986 年至 2000 年共出现暴雨 29 次，平均每年 2 次。夏季出现的暴雨次数占总数的 70%。出现暴雨最早日期是 1993 年 4 月 3 日。

冰雹：春末至夏秋，正值农作物生长旺盛期或收获季节，时有冰雹天气出现。夏季降雹时常伴随狂风暴雨，致使作物倒伏，主干折断，造成大幅减产，乃至绝收。根据鹤壁市观测站资料，1986 年至 2000 年出现冰雹 4 次，分别在 1986 年、1987 年、1993 年。由于冰雹的局地性很强，相当一部分不在观测范围内，实际出现冰雹次数远远超过 4 次。

大风：风力大于 8 级(17 米/秒)以上，足以危害人们生产活动和日常生活的为大风。1986 年至 200 年全县共出现 104 次，平均每年 6.9 次，最多年份为 2000 年，出现 24 次。



雷电：雷电是严重威胁人民生命财产安全的气象灾害之一。随着高层建筑物的增加和各类无线电设备、计算机、家用电器等电子设备的广泛应用，雷击事件的发生呈上升势态。浚县地处南北气候过渡带，是雷电活动和发生雷击灾害比较频繁的县份之一。1986年至2000年，年均雷暴日为22天，最多年份1999年达29天。雷击事件发生主要集中在春季和夏季，夏季时最多，春季多于秋季。夏季6月、7月份较多。

1.2 地形地貌特征

浚县地处太行山东麓与华北平原的过渡地带。地势特征是中部略高，西部和东部低缓。中部为45里火龙岗。西部属于淇河冲积扇的一部分，以大赆店为顶点分别向东北、东南呈扇状倾斜。东部属于黄河冲积扇北翼边缘地带，由西南向东北和缓倾斜。由于与扇前洼地交接，加上古黄河频繁决口和改道，形成的微地貌结构相当复杂。浚县地貌大体有山岗、平原和河渠，错落分布8座小山和火龙岗面积约177.3平方公里，占全县总面积的16.3%；淇河平原、卫河平原和黄河故道平原面积约864.5平方公里，占总面积的79.45%；河渠水域面积约46.2平方公里，占总面积的4.25%。大伾山和浮丘山由浚县县城东西突起，大伾山孤峰起于平川。浚县地处太行山东麓与华北平原的过渡地带，地质属华北坳陷区，地势中部略高，西部和东部低缓。东部属于黄河冲积扇北翼西北边缘地带，由西南向东北和缓倾斜。由于与扇前洼地交接，加上古黄河的改道冲积，微地貌结构相当复杂。横跨内黄隆起和汤阴地堑两个构造单元，83%的面积为第四系所覆盖。地势自西南向东北和缓倾斜，一般海拔70米。地貌以平原为主，河流、岗丘和小山错落其间。

浚县基本地貌特征如下：

（1）平原地貌特征

浚县境内分布有淇河平原、卫河平原和黄河故道平原，总面积847.4平方公里，占全县土地总面积的84.6%。

淇河平原位于县境中西部，东依火龙岗，西抵淇河，南至民丰渠，北至浚汤界，包括大赆店、钜桥乡大部，卫贤乡全部，面积约209平方公里，占全县总面积的19.21%。地势由西向东缓倾，平均坡降1/7000左右，海拔80-95米。该平原土壤肥沃，水源充足，排灌便利，是浚县粮食高产稳产区。

卫河平原位于火龙岗以东卫河两侧，包括新镇镇、小河镇、城关镇、王庄乡全部及城关

乡、白寺乡、屯子镇一部分，是浚县的主要产粮区，面积约520.5平方公里，占全县土地总面积的52%。地势由西南向东北倾斜，平均坡降约1/5000，海拔57米至65米。黄河故道平原位于县境东北部，包括善堂镇全部，城关乡、王庄乡一部分，面积约174.7平方公里，占全县土地总面积的17.4%。

黄河故道平原位于县境东北部，包括善堂乡全部，城关与王庄乡一部，面积154平方公里，占全县总面积的14.15%。区内有83个行政村，9万余人。耕地15.7万亩，占全县耕地面积的14.8%，人均1.7亩。黄河故道平原系古黄河冲积和泛滥淤积形成。经常年风力吹扬、搬运作用，地表分布有沙丘、沙垄，高1—3米不等，间有小盆地。由于古黄河多次泛滥和改道，该区微地貌形态复杂。善堂乡东部和南部沙丘、沙垄为河床所留，下高村、什村以北地区为泛水形成，宋村、朱村、白毛、临河等洼地则系决口所致。其土壤有风沙土、沙土、黄潮土、湿潮土、褐潮土，土质疏松，渗透性好，地表径流少。

浚县地势起伏，宣泄不畅，平原地区形成30多个陂洼，面积较大的有白寺陂、同山陂、新镇肢、小滩肢、临河陂，1985年末陂洼总面积26.67平方公里。1986年后，经过15年治理，大部分成为良田。丰水年有内涝发生。

（2）山丘地貌特征

浚县境内现存8座小山和1条火龙岗。山丘面积约147.3平方公里，占全县总面积1001.3平方公里的15.4%。其中丘陵面积130平方公里，山地面积17.3平方公里。原凤凰山、紫金山因开山取石被夷为平地。

大伾山位于县城东1公里处，南北长1.75公里，东西宽0.95公里，面积1.66平方公里，至高海拔135米，相对高程70米。该山系太行山余脉。山体为中寒武统出露，叠压三层各层倾向东南，倾角30°左右。凸出部覆盖层较薄，局部裸露。山峰南北两侧呈等齐倾面一般坡度7°；东西两侧各呈凹形斜面，一般坡度12°，有陡壁悬崖。（图1-2）山上文物古迹荟萃，古建筑星罗棋布。1979年对外开放。1984年辟为风景区，禁止采石伐木，自然景观和文物古迹得到有效保护。

浮丘山位于县城西南，东峙大伾，西滨卫河。南北长约1.5公里，东西宽约0.65公里，面积约0.98平方公里，至高海拔103米，相对高程45米。山峰南侧呈等齐斜面，西、北、东三侧各呈凸凹型斜面，局都有跳坎陡壁。浮丘山系太行山余脉，山体为中寒武统出露，大部有薄土覆盖，局部裸露，山顶有一突兀石峰，俗称“小金顶”、“山上山”。浮丘山向以名胜著

称。山上古柏夹道，有唐代古柏、石窟和明代古建筑群，历史价值颇高，系省级重点文物保护单位，图 1-3 为浮丘山碧霞宫。



图 1-2 大伾山

善化山在县城西北 15 公里火龙岗东麓。南北长约 1.5 公里，东西宽约 1.35 公里，面积约 2.03 平方公里，至高海拔 203 米，相对高程 143 米。山峰西、北两侧呈等齐斜面，局部陡峭，综合坡度 24° 左右；东西两侧较缓，呈凹形斜面，坡度 8°—14°。善化山系太行山余脉。山体为上寒武统出露，岩矿资源丰富，表土覆盖较薄，大部裸露，易于开采。盛产青石、花斑石，是浚县石灰、石料石雕品重要产地之一。元明以来，林木渐被砍伐，清末已所剩无几。本世纪七十年代中期以来，降雨偏少，地下水位下降，由泉干涸，善化山自然环剧变，善化之状已不复见。

象山古名相山，见于明清《浚县志》。1937 年华北水利委员会编绘的地图首次改名象山。象山接善化山在其南。南北长约 1.75 公里，东西宽约 1.5 公里，面积约 2.63 平方公里。至高海拔 231.8 米，系浚县最高点。主峰西侧呈等齐斜面，坡度 17°—19°，间有陡壁和冲沟。东南侧较缓，呈凸形斜面，坡度 5°—10°。

白寺山在县城西 9 公里火龙岗上。南北长约 2.5 公里。东西宽约 1.15 公里，面积 1.4 平方公里。至高海拔 95 米，相对高程 37.5 米。山峰四周皆呈等齐斜面。西北、东南两侧坡度 7° 左右，东北和西南两侧 3° 左右。该山系太行山余脉，山体为寒武统出露，多为青灰色石灰岩，西部与火龙岗连接处系淡蓝色及浅黄色石灰岩。

同山位于县城西南 16 公里。西南至东北走向，长约 2.1 公里，宽约 1.75 公里，面积约 3.68 平方公里，至高海拔 145 米，相对高程 84 米。山顶东西两侧呈等齐斜面，一般坡度



图 1-3 浮丘山碧霞宫

7°，有陡壁；南北两侧呈凹形斜面，坡度 3° 左右。同山系太行山余脉，为古生界中寒武统出露，大部无表土覆盖，岩矿资源丰富，质地优良，易于开采，是浚县灰、石产地之一。

凤凰山位于大伾山东北 1 公里，系大伾山分支。山体呈龟形，直径约 150 米，周长 500 余米，面积约 0.02 平方公里，至高海拔 65 米。山体系石灰岩，青石裸露，无表土覆盖，易于开采。经累年采掘，五十年代末山头已被削平，今已成坑凹，深六至七米。东、南两面留有土岭。

紫金山位于凤凰山东北 250 米。西南至东北走向，长约 250 米，宽约 100 米，面积 0.025 平方公里，至高海拔 61.2 米。山体北高南低，系石灰岩结构，青石裸露，无表土，开采便利。历史上早有采掘。

火龙岗系受北北东向汤东断裂控制，于更新世早期抬升，经长期剥蚀形成。地形呈鱼脊状，具有典型的台地特征。顶部宽阔平缓，微有起伏。一般海拔 80-100 米，最高点海拔 231.8 米。西坡较陡，东坡平缓，全岗沟壑纵横。岗上从南至北依次排列着由寒武系灰岩组成的同山、白寺山、象山、善化山。因受地形和成土年龄影响，火龙岗土壤分布差异明显。顶部为砂姜土，系奥陶纪石灰岩、砂岩、砾岩风化后，经流水冲刷，碎屑物残留地表形成。土层较薄，一般为 40-75 厘米。东西两坡土壤种类较多，从岗顶到平原，依次分布着褐土性土、白面土、立黄土、黄覆潮褐土、淤土等。由于坡度不一，土壤分布错落交叉。陡坡处多为薄层灰石土或砂姜立黄土，缓坡处多为厚层褐土性砂姜立黄土，低洼处多为淤土。

(3) 坡洼地貌特征

浚境自古河流多而又泛滥频繁，且地形起伏，渲泄不畅，故坡洼众多，内涝严重。周定王五年（前 602 年），黄河自宿胥口（今申店附近）溃决改道，所遗河道形成水泽。宋代，白寺、同山二坡汇为长丰泊，与山东梁山泊齐名。明嘉靖年间，知县陆光祖开长丰泊渠，使长丰泊水患减弱。清代，坡洼内涝灾害依然严重。嘉庆《浚县志》载“邑境宿水患，西有长丰冻，约地千余顷，洼下泻卤，遇夏秋之交隆潦连绵。”民国年间，浚县坡洼有增无减。新中国建立前夕，全县有大小坡洼 34 个，范围涉及 4 个区的 232 个村，面积 16.4 万亩，占总耕地的 17%。这些坡洼大体分为 4 个类型：一是洪水坡，即行洪区坡洼，有新镇、烧酒营、白寺、同山、亮马台、左洼、张徐庄、侯胡寨 8 个坡，面积 5 万余亩，涉及 122 个村。特点是面积大，坡度缓，遇洪水全坡被淹，但下泄快，成灾面积小；二是洪涝坡，即洪水和内涝相兼地区坡洼，有邢固、赵岗、小滩、赵庄、枣林、井固、了堤头、什村、元过、嘴头、沙



地、下高村、曲河、胡村、长村、毛村、周村、桥庄 18 个坡，面积 5.7 万亩，涉及 77 个村。特点是排水困难，积水时间长；三是内涝坡，有刘洼、宋庄、朱村三个坡，面积 3.3 万亩，涉及 20 个村。特点是，坡度大，来水面广，无排水出路。大雨大灾，小雨小灾，一般年份成灾面积 2.3 万亩；四是死洼坡，有翟村、白毛、山南头、河道、黄辛庄 5 个坡，面积 2.4 万亩，涉及 13 个村。特点是坡度陡，降雨径流大，地下水位高，排水无出路，降雨 50 毫米，积水深达 30-60 厘米。

1.3 地层岩性特征

浚县位于华北坳陷区，地层出露简单，83% 的面积为第四系所覆盖。大任山、浮丘山、善化山、象山、同山、白寺山有上寒武系零星出露，火龙岗及其以东有上第三系出露。浚县地层受构造运动影响。在加里东运动以后，地壳隆起，长期处于剥蚀状态，直到上新世才接受沉积，因而缺失上古生界及中生界。断陷构造使浚县东部和南部地区老地层埋藏很深。

（一）太古界：未出露地表。据东阳涧（蒋村、牛宋村、周村、王村合称东阳涧）物探资料和圈里、善堂、郝营、新庄钻孔资料，在 300 米与 500 米以下均可见到太古界。岩性为混合质黑云二长片麻岩、黑云斜长片麻岩、斜长角闪片岩及少量砂粒岩。

（二）寒武系：有零星出露。大坯山、浮丘山、象山、同山、白寺山等处皆系上中寒武统出露。县南部钻孔中也可见到中寒武统。

中寒武统为一套灰岩、白云质灰岩，多具鲕状结构。下部为灰色厚层鳞状灰岩，黄绿色页岩夹薄层灰岩，含三叶虫化石；中部为条带鲕状白云质灰岩、花斑状白云质灰岩、花斑状俩状白云质灰岩；上部为灰色---灰黑色薄层状白云岩、薄层—厚层白云质灰岩。地表露头产状，倾向 140-150°，倾角 24°。上寒武统整合于中寒武统之上。其下部主要为鲕状灰岩、泥质条带灰岩，含三叶虫化石，向上白云质增加；中部为含白云石灰岩和白云质灰岩，白云质分布不均，形成条带、花斑状等，在横向上向白云岩过渡；上部为泥质白云岩和结晶白云岩。

（三）奥陶系：县北部东阳涧 300 米以下及县境以东汤 4 孔 940 米深处见奥陶系地层。其下部为角砾状灰岩、角砾状泥质白云岩、泥质灰岩夹泥质白云岩和白云岩；上部主要是灰岩、花斑状白云质灰岩、夹白云岩。

（四）第三系：断续分布于卫贤东至翟村火龙岗一带，为上第三系上新统鹤壁组。在汤

4 孔深 755--940 米处见下第三系。下第三系下部为浅棕黄色砂质泥岩、泥状砂岩、砂岩及砾岩；中部为浅黄、棕色泥岩、泥质粉砂岩及中细粒砂岩。上第三系上新统鹤壁组下部为青灰色厚层状砾岩层，钙质胶结，质坚硬，95%以上砾石为石灰岩；次为砂岩，分选性好，略具定向排列；再次为灰白、黄褐色泥灰岩，成岩较好，块状结构，含泥质较高。中部为褐黄、灰绿色厚层花斑状钙泥质砂岩，系细粒半成岩，裂隙间常有白色钙质充填；上部为褐红色薄层状钙质砂岩与花斑状泥质砂岩瓦层，局部夹薄层泥灰岩。

（五）第四系：出露较全，有下更新统、中更新统、上更新统和全新统，分布广,83%的面积为其覆盖。

下更新统分布于火龙岗地区西部边缘地带，零星出露地表，由浚 CK\_1、CK\_2、CK\_5 等钻孔资料，本统不整合于第三系之上。岩性以棕黄色及灰绿、棕红及杂色粘土、砂土、砂、砂砾岩组成，钙质胶结。中更新统残、冲积层分布于共产主义渠以西，大面积出露，但出露不全，厚度 0.2-20 米。岩性下部为红黄色冲积粉土质轻亚粘土，土状结构，块状构造，半成岩，具水平层理，垂直节理发育，含钙质结核较多。水湿后具粘性，干燥后较硬；上部为砖红色残积粉土质亚粘土，粉砂结构，块状构造，呈厚层状，半成岩，不具层理，网状节理发育，风化后破碎，遇水有崩解性、粘性。本层随古地形起伏而起伏。上更新统分布于县城以北至王庄集，呈大面积出露。因地势平坦，冲积物极少，未见完整剖面。主要岩性下部为灰黄、灰白色黄土状粉土质轻亚粘土，土状结构，块状构造，较疏松，具水平层理，垂直节理较发育，质地均一，手触砂感较强，水湿后略具粘性；上部为灰黄、灰白色黄土状粉土质轻亚粘土，夹大量灰黄色粘土团块，块径 3-10 厘米。

全新统分布于县城西南及东北一带。依其岩性、成因、地貌及迭加关系等，分为淤积层、冲积层和上部风积层。

（1）淤积层：分布于县城以西姜营、李庄等地区及孙石井一带。其成因一是古河道堆积，二是下沉形成的凹地堆积。系粉土质砂及粉土质轻亚砂土，绝大部分为砂粒和粉粒。分选系数为 1.434-1.369，分选充分，含碳酸盐 8.73-8.85%。

（2）冲积层：沿卫河河套分布，组成河流的河床及漫滩，厚度 1-3 米。岩性为砾石、粗砂、细砂、粉砂及亚粘土等。颗粒粗细不等，一般上游颗粒较粗，粒径 5-20 微米，到下游颗粒逐渐变细，砾石成份主要为石灰岩、石英岩、片麻岩等。

（3）风积层：分布于浚县东北李村、迎阳铺、朱村一带，岩性为轻亚砂土和细砂，呈松

散状，地表常形成高 1-3 米沙丘。沙丘多成群分布，方向不定，高度不等，随风移动。

1.4 水文地质特征

浚县境内有卫河、淇河、共产主义渠 3 条河流，骨干沟渠 10 条。浚滑沟属黄河流域金堤河水系，流域面积 59 平方公里。其余为海河流域。共果西为共果水系，干沟有长丰、刘注沟；以东为卫河水系，干沟有民丰沟、苏村沟、长虹渠。全县年均过境水总量 3.39 亿立方米，年内、年际不均，旱季出现断流。除淇河外，其他河水污染严重。浅层地下水总储量 1.23 亿立方米，年平均降水量 647.8 毫米，无霜期 221 天，全年日照时间 2311.8 小时。西部向南流，东都向东北流，总趋势流向东北。

（一）水资源

据 1983 年《浚县水资源调查暨水利区划报告》及有关资料，浚县年平均地表径流量为 0.9 亿立方米，现状利用量 0.01 亿立方米。丰水年径流深度 129 毫米，径流量 1.4 亿立方米。偏枯年径流深度 36 毫米，径流量近 0.4 亿立方米。特枯年径流深度 11 毫米，径流量 0.11 亿立方米。卫河、淇河、共产主义渠等过境水年均值 11.53 亿立方米，现状利用量 1.39 亿立方米。多年平均可利用的地下水为 1.49 亿立方米，允许开采量 0.7 亿立方米。全县水资源总量年均值 3.46 亿立方米。保证率 P=50 %时为 3.30 亿立方米，保证率 P=75%时为 2.59 亿立方米。

由于防洪、除涝、供水工程等水利设施的不断增加，地表水、地下水利用率大大提高。根据现有水利设施能力，平水年（P=50%）可供水 2.47 亿立方米，现状年（P = 75%）可供水 1.93 亿立方米，人均 379 立方米，亩均 183 立方米，耕地灌溉率全县平均 62%。1981 年以来，降水偏少（年均值 464.6 毫米，下降幅度为 27.8 %），地表径流缺乏，淇河、卫河、共渠断流枯竭，地下水已成为农业、工业、城乡居民生活用水的主要来源。目前，浅层地下水实际开采量已达 1.05 亿立方米，大大超过允许开采限度，地下水位急剧下降，已出现 4 个漏斗区。浚县已由历史上的多水县变为贫水县，面临水资源短缺危机，科学管水用水已成为重要课题。

（二）地表水

（1）水系

浚县今有卫河、淇河、共产主义渠（简称共渠）、永通河 4 条河流，骨干沟渠 10 条，

支沟 42 条，分属黄河和海河两大流域，3 个水系。东南隅浚滑沟流域属黄河流域金堤河水系，包括张（宋）庄坡、马村坡、朱村坡，流域面积 59 平方公里。其余皆属海河流域，控制面积 1029 平方公里。分为两个水系，共渠以西为共渠水系，主要支流有淇河，干沟有长丰沟、刘洼沟等，流域面积 474 平方公里。共渠以东为卫河水系，干沟有民主沟、苏村沟、浚内沟、长虹渠等，流域面积 555 平方公里。

（2）卫河

卫河系海河五大支流之一，发源于博爱县皂南和辉县百泉，全长 347 公里，流域面积 555 平方公里。卫河浚县段自新镇乡双鹅头入境，经新镇、小河、城关、城镇、屯子、王庄 6 个乡，至苏村北入内黄，长 79.5 公里。河床宽 60-80 米，纵比降 1/1000-1/1200。右堤长 74 .88 公里，左堤长 58 公里。最大安全流量，新镇小李庄为 350 立方米/秒，北老关嘴为 750 立方米/秒。年均过境水总量 6.15 亿立方米，是浚县主要地表水资源。

古卫河上起枋堰，下包今河北威县以南的清河，称为白沟，为一季节性河沟。最早记载见于《水经注》，源头接近淇河东岸。东汉建安九年（204 年），曹操于淇水口下大枋木使成堰，遏淇水东入白沟，以通漕运。隋大业四年（608 年）开永济渠，成为南北大运河一段，“南达于河（黄河），北通涿郡”，系南北水运要道。唐宋时称御河。因其流经古卫国黎地，故又称卫水、黎水。自东汉至清末 1700 余年间，卫河一直为漕运要道，对南北交通及浚县经济的发展起过重要作用。

卫河浚县段蜿蜒曲折，坡降小，流速慢，泄洪力差，极易泛滥成灾，历史上水灾频繁，故有“卫河闹浚县”之说。新中国建立后，经长期综合治理，卫河逐步变害为利。五十年代末至六十年代中期，卫河航运空前兴盛。之后，引黄济卫停止放水，加上连年干旱和沿河用水量增加，卫河水位急剧下降，七十年代中期已无法通航。近几年来，卫河曾几度断流。

（3）淇河

淇河发源于太行山西林县与辉县交界处，流经县境西部，为浚、淇两县界河。北自大赆店村南入境，经大赆店、钜桥、卫贤、新镇 4 乡，南至淇门西注入卫河，全长 34.5 公里，流域面积 211.8 平方公里。河床宽处 200 米，窄处 60 米，最大安全流量 800 立方米/秒。

淇河古名淇水，最早记载见于《诗经》：“送子涉淇，至于顿丘”“瞻彼淇奥，绿竹猗猗”。古淇河可以行船。《诗经·卫风·竹竿》云：“淇水悠悠，桹楫松舟；驾言出游，以写我忧”。东汉建安九年（204 年），曹操遏淇水东入白沟，使其改道，遂为卫河支流。因淇河



水清，河底多鹅卵石，故俗称清水河、石河。民国四年（1915 年）始建天赉渠，引淇水自流灌溉。

淇河比降大，流速快，遇洪水极易溃决成灾。新中国建立后，经常年治理，淇河水害减轻，水资源得到充分利用，成为浚县农田灌溉重要水源。

（4）共产主义渠

共产主义渠（简称共渠）开挖于 1958 年，自新镇乡北刘庄入境，经新镇、卫贤、小河、白寺、屯子 5 乡，至北老关嘴东北入卫河，斜贯县境中部。全长 45 公里，口宽 100 米左右，渠底比降 1/5000，保证流量 400 立方米/秒，1975 年多达 631 立方米/秒，年均过境水 5.38 亿立方米，是浚县重要地表水资源。

共渠作用，一是泄洪排涝，分担卫河流量并排除坡洼地积水；二是引黄济卫，抬高卫河下游水位，以利航运； 三是灌溉农田。共渠建成之后，发挥了应有作用。引黄济卫停止放水后，共渠水源不足，近几年来几度干涸。



图 1-4 共产主义渠总体布置图

（5）永通河

永通河位于浚县与鹤壁市郊区、汤阴县的接壤地带。发源于鹤壁市的黑山，自汤阴其官沟村南入县境南流，经姬屯、翟村北至田新庄东北入汤阴县境，浚县境内长 9 公里，河床宽 10 米，平时流量 3 立方米/秒。永通河古称宜师沟。后因山洪冲积，中游渐成暗河，长约 9 公里，故有“明十八，暗十八”之说。民国年间，河道淤积，渐成季节河。

（三）地下水

（1）储量、流向

据五十年代地质勘探资料，浚县地下水有潜水和承压水。含水层为第四系、第三系和寒武系的砂岩、砂砾岩。潜水埋深一般 3 米左右，水量 15-20 吨/小时。承压水埋深 20-80 米，水量 15-70 吨/小时。全县地下水总储量 59.9 亿吨。其中潜水静储量 B +C 级 23.5 亿吨，承压水静储量 B+C 级 36.4 亿吨。据 1983 年浚县水资源调查资料，地下水储量（即年内可恢复的地下水资源）总量年均值为 1.3 亿立方米。潜水流向是西部向南流，东部向东北流，总趋势流向北东，承压水流向东南。

（2）分布

浚县地下水依地形和水文地质条件大体可分为 5 个类型区：

①强富水区：即淇河以东火龙岗以西倾斜平原区。其西部和东部潜水埋藏情况有所不同。西部即大赉店至七里铺靠铁路一带，地下水埋藏较深，一般在 11 米以下，含水层为砾石，厚度大于 2 米。水量变化大，单井出水量 15~75 吨/小时。东部潜水埋深 1.5~5 米，含水层为半胶结砂砾岩、中细沙夹砾结石，厚 2.5 米，单井出水量 20~40 吨/小时。

②富水区：分布于卫河和共产主义渠两侧坡洼区。含水层为砂砾石和沙层。有两个稳定含水层，第一层埋深 5~8 米，厚度大于 3 米；第二层埋深 10~13 米，厚度大于 7 米。因地势低洼，距河近，河道侧渗和灌溉回归水补给较快，单井出水量 35-60 吨/小时。

③弱富水区：分布在县城以东及东北平原地区，包括黄河故道和卫东、卫南高滩区。含水层以沙层为主，深部为少量砂砾石。有三个含水层，埋深分别为 4~8 米，11~14 米和 30 米以下；各层厚度分别为 2~5 米、7 米和 4 米，单井出水量 40 吨/小时。

④贫水区：即火龙岗丘陵区。地下水埋深 25~80 米。20 厘米以下为砾礫隔层，透水性差，地表水入渗困难。含水层多为粉沙及砂岩，但含水量甚少，单井出水量 25 吨/小时。

⑤自流水区：分布于火龙岗以西，钜桥、翟村以东。含水层为砂岩、半胶结粉砂岩，倾向南东，倾角 7°~1°。含水层埋深及厚度在不同地区有差别。孟庄一带，含水层厚 10 米，埋深 50~70 米，水量 20 吨/小时，水头 1~5 米。莲池和南阳涧一带，含水层埋深分别为 17~19 米、35~40 米、75~80 米及 90 米以下，厚度分别为 5 米、6 米和 4 米，水头 2~5 米，水量约 15 吨/小时。

（四）水质

（1）饮用水水质

据浚县防疫站 1978 年 5 月和 1979 年 8 月对 11 个公社 20 眼饮水井水质检验，浚县地下水水质属中硬度水，矿化度在 500 毫克/升以下，PH 值在 6.5~8.2 之间，总硬度一般不超过 25 度，基本上符合国家规定的生活饮用水卫生标准。有些地方含氟和汞较高，王庄公社小齐村大队地下水氟化物含量高达 6 毫克/升，超过国家规定（含氟 0.5-1.0 毫克/升）标准，有氟中毒现象发生。新镇公社东郭村地下水含汞量为 0.006 毫克/升，超过国家饮用水卫生标准。政府已采取措施，改善了这些地区的饮水条件，以防治地方病。

（2）灌溉水水质

据 1981 年 10 月对 129 个测点取样化验结果分析，浚县农田灌溉水质基本良好，可分为两大类型区，即淡水区和微咸水区。淡水区面积约占全县总面积的 74.5%，范围包括淇东岗西、火龙岗、卫南高滩区、黄河故道区大部 and 卫河、共产主义渠坡洼区局部，属重碳酸型钙质水，矿化度在 1 克/升以下，适宜农田灌溉。

微咸水区面积约占全县总面积的 25.5 %，范围包括卫河东高滩区、卫河和共产主义渠坡洼区大部及黄河故道区局部。水质为重碳酸氯化型钠钾水，微咸，矿化度在 1~3 克/升。这些地区如排水不畅，农田土壤中盐类容易聚集，出现盐碱，灌溉应取慎重态度和科学办法。

1.5 区域稳定性

1.5.1 地质构造

浚县位于太行山隆起的东南麓，横跨内黄隆起和汤阴地堑两个构造单元，以火龙岗为界，以东属内黄隆起区，以西属汤用地堑区。地质构造以断裂为主，有北北东向和北西西向（近东西向）两个方向大断裂，为第四系地层覆盖。肉眼可以见到。断层性质以压性为主，兼有扭性及张性。系一古老的构造体系，规模较小，在古生代末期基本定型。

北东向断裂构造属于新华系，于印支期(准阳运动)开始形成，性质为压性或压扭性，包括太行山东麓深大断裂、汤东断裂、波县至内黄断层、卫河断层。太行山东麓深大断裂位于卫贤、钜桥带由北北东、南南西方向延伸出界。汤东断裂是汤阴地堑与内黄隆起的分界线，走向为北东 250 度，倾向西，断距 40000 余米。波县至内黄断层南起城关乡八里井，延伸至内黄县东村，走向北西，倾向西南，为东升西降正断层。卫河断层为活动正断层，近期活动强烈。以西地块较稳定，略有抬升，以东地块则持续下沉，北西西向断层在古生代末期基本

定型，为一较古老的构造体系，规模较小，只有在古生代基岩出露区（浮丘山、象山等处）才可见到。

1.5.2 地震

（一）震情

1975 年前，历史上涉及浚县的地震有 22 次，其中对浚县造成破坏的有 4 次。最早一次在 宋 天 圣 七 年（1029 年），通利军地 震，军城陷为湖绍兴十四年（1144 年）十月，“河朔（黄河北）诸郡地震，死无人葬”。清嘉庆十九年（1814 年）正月十五日，“地震，坍房百余间，伤数十人”。民国二十六年（1937 年）八月一日，山东菏泽地震，波及浚县，县城东城墙倒坍数丈，人畜有伤亡 。

1975 年，浚县地震台建立后，开始用仪器测量地震，至 1985 年末，测到的地震有 38 次。其中有 10 次震级在 3.2 级至 7.8 级，震中皆在外地，浚县有震感，未造成破坏。其余 28 次皆属微震，最大震级为 1.6，有 22 次低于 1 级。（详见下表 1-5、1-6）

据地震监测资料表明，浚县所在地堑区，地壳仍继承老构造方式作升降交替振荡运动。1978 年以前，以每年 2.3 毫米的速率下沉，之后，又以每年 3.0 毫米的速率上升。隆起区火龙岗上的白寺测点每年反向抬升率达 12 毫米。

表 1-5 浚县地区地震记录表

| 时 间               | 震 情               |
|-------------------|-------------------|
| 天圣七年( 1029 年)     | 地大震，军城陷为湖。        |
| 宋康定元年( 1040 年)八月  | 地大震，地声如雷。         |
| 绍兴十四年(1144 年)十月   | 河朔(黄河北)诸那地震，死无人葬。 |
| 明成化六年(1470 年)正月   | 地震。               |
| 弘治六年(1493 年)四月    | 地震。               |
| 正德十三年( 1518 年     | 地震。               |
| 嘉靖三年(1524 年)正月    | 浚县有轻震感            |
| 嘉靖三十四年十二月十二日夜     | 陕西华县地震，浚县为轻震区。    |
| 万历十五年(1587 年)三月三日 | 修武地震，浚县有震感        |
| 天启四年(1624 年)七月    | 地震。               |

|                        |                                   |
|------------------------|-----------------------------------|
| 清康熙七年(1668 年)六月十七 8 戊时 | 山东莒县、郯城地震，浚县有震感。                  |
| 清康熙十八年(1679 年)四月初六日    | 山西临汾、襄陵地震，其声如雷。县城东西城门有损。          |
| 清康熙十八年七月二十八 8 己时       | 河北三河、平谷地震，浚县受害。                   |
| 清康熙三十四年四月初六日           | 地震，响声如雷，县城东西城门有损。                 |
| 乾隆二十二年(1757 年)六月初五日    | 地震。                               |
| 乾隆二十四年( 1759 年)        | 地震，声如雷鸣。                          |
| 嘉庆十九年(1814 年)正月十五日     | 地震，坍房百余间，伤数十人。                    |
| 二十年九月二十一日子时            | 山西平陆地震，汝县有感。                      |
| 道光十五年( 1835 年)八月初四辰时   | 地震。                               |
| 中华民国九年(1920 年) 十一月七日   | 甘肃海原地震,汝县房上掉土.掉瓦,门窗晃动作响，有房屋裂缝.倒塌。 |
| 中华民国二十六年( 1937 年)八月一日  | 山东菏泽地震；浚县东城墙倒塌三四文,人畜有伤亡。丰泽庙顶倾圮。   |
| 1966 年 3 月 8 日 05：29   | 河北邢台地震,浚县有震感,门搭链作响，灯泡晃动，屋顶落土。     |

表 1-6 1975—1985 年浚县地震台测到的地震情况

| 时 间                            | 震 中   | 震级  | 浚县震情 |
|--------------------------------|-------|-----|------|
| 1975 年 2 月 14 日 19 时 36 分 06 秒 | 辽宁海域  | 7.2 | 有震感  |
| 1976 年 7 月 28 日 3 时 42 分 53 秒  | 河北唐山  | 7.8 |      |
| 10 月 2 日 14 时 43 分 36 秒        | 浚县    | 0.2 |      |
| 11 月 25 日 2 时 58 分             | 浚汤交界处 | 0.8 |      |
| 1977 年 8 月 9 日 16 时 43 分 48 秒  | 山东成武  | 4.5 | 有震感  |
| 9 月 11 日 18 时 31 分             | 浚县北   | 0.4 |      |
| 11 日 18 时 37 分                 | 浚县北   | 0.4 |      |
| 14 日 9 时 58 分                  | 浚县北   | 0.4 |      |

|                                  |          |     |       |
|----------------------------------|----------|-----|-------|
| 19 日 13 时 17 分                   | 浚县北      | 0.3 |       |
| 26 日 6 时 04 分                    | 浚县北      | 0.3 |       |
| 10 月 7 日 12 时 26 分               | 浚县北      | 0.1 |       |
| 1978 年 1 月 6 日 11 时 32 分 35 秒    | 浚县北      | 0.1 |       |
| 6 日 17 时 46 分 10 秒               | 浚县北      | 0.9 |       |
| 7 日 12 时 24 分 10 秒               | 浚县北      | 0.4 |       |
| 6 月 5 日 21 时 25 分                | 新乡       | 4.5 | 有震感   |
| 10 月 1 日 10 时 08 分               | 汤阴县城西    | 3.9 | 有震感   |
| 1979 年 1 月 2 日 07 时 06 分         | 淇县黄洞     | 3.2 | 钜桥有震感 |
| 1980 年 8 月 2 日 03 时 10 分 42 秒    | 林县       | 4.7 | 有感    |
| 1981 年 12 月 23 日 6 时 27 分        | 山东菏泽     | 4.0 | 有晃动感  |
| 1982 年 1 月 26 日 17 时 47 分        | 河北邢台     | 4.6 | 有震感   |
| 5 月 30 日 15 时 17 分               | 浚县东北     | 0.3 |       |
| 1983 年 2 月 27 日 17 时 20 分 13.3 秒 | 浚县       | 1.1 |       |
| 11 月 7 日 05 时 09 分               | 山东菏泽、东明间 | 5.9 | 有晃动感  |
| 1984 年 6 月 15 日 23 时 46 分 10.1 秒 | 浚县       | 1.4 |       |
| 1985 年 3 月 29 日 16 时 17 分 23.3 秒 | 浚县       | 1.0 |       |
| 8 月 7 日 17 时 57 分 54.6 秒         | 浚县       | 0.6 |       |
| 21 日 20 时 24 分 19.2 秒            | 浚县       | 1.6 |       |
| 21 日 21 时 56 分 46.2 秒            | 浚县       | 0.8 |       |
| 21 日 22 时 25 分 36.2 秒            | 浚县       | 0.6 |       |
| 22 日 03 时 41 分 00.2 秒            | 浚县       | 0.9 |       |
| 24 日 22 时 51 分 22.5 秒            | 浚县       | 0.4 |       |
| 24 日 23 时 45 分 02.2 秒            | 浚县       | 1.2 |       |
| 29 日 17 时 35 分 13.0 秒            | 浚县       | 1.1 |       |
| 9 月 1 日 15 时 37 分 16 .8 秒        | 浚县       | 0.4 |       |
| 1 日 16 时 02 分 03.3 秒             | 浚县       | 1.2 |       |
| 1 日 16 时 40 分 17 .8 秒            | 浚县       | 0.9 |       |



|                      |    |     |  |
|----------------------|----|-----|--|
| 1 日 21 时 54 分 09.2 秒 | 浚县 | 0.4 |  |
| 2 日 03 时 27 分 50.0 秒 | 浚县 | 0.5 |  |

（二）测防

本世纪七十年代中期，浚县开始进行地震测防工作。1974 年 11 月，县革委设立地震办公室，编制定员 2-3 人隶属于县计委。1985 年，工作人员增至 7 人。地震办成立以来开展的主要工作是：（1）宣传普及地震知识。组织放映了《海城地震》、《唐山地震》等科教电影片 120 余场，印发宣传材料 3000 余份，广播稿件约 3 万多字。（2）建立测报点。先后在王可庄、大伾山西侧、姬庄、柴程庄、浚县一中、白寺、国营农场、五四农场等地设 15 个测报点，采用土仪器测试和观察井水理化变化及动物异常反应等手段，捕捉地震信息。（3）培训地震测报队伍。每年组织 1-2 次技术培训班，提高测报人员素质，力求做到观测数据准确、及时、连续、可靠。（4）加固主要建筑物，增强其抗震能力。1981 年，地区建委拨款 1.27 万元，加固县城水塔及计委办公楼。新建重要建筑物都注意到了防震性能。1975 年 4 月，国家地震局、河南省地震队在浮丘山千佛寺北 50 米处建地震台。初有工作人员 4 人，采用 65 型微震仪监测地震情况。1976 年，增加地磁（采用 HD5—72 型核子族进磁力仪）、水化（采用 FD—105 水氢分析仪）两个观测项目。1978 年，增设中长周期地震观测项目，添置了 DK-1 地震仪及三分向磁变仪。1985 年，浚县地震台有工作人员 14 人。其中工程师 1 人、助理工程师 3 人、技术员 2 人。主要仪器设备有 D0-1、DK-1、CZM-2、72 型三分向磁变仪及振弦仪、压容仪。开展的监测项目有测震、地磁、地应力。1978 年，浚县地震台工作成绩突出，被省地震局评为模范单位

2.保存现状及病害调查评估

2.1 病害调查任务与技术要求

2.1.1 调查目的

- （1）查明大雄宝殿及殿内壁画保存现状、考古和保护加固工作的历史；
- （2）基于大雄宝殿及殿内壁画的保存现状，开展相应的评估工作，确定抢险保护加固工程的范围；
- （3）查明大雄宝殿及殿内壁画的赋存环境特征；
- （4）重点查明大雄宝殿及殿内壁画的病害现状等；

- （5）重点查明古建与壁画病害的分布规律及成因机制；
- （6）查明古建病害与壁画病害间存在的关系；
- （7）提出大雄宝殿及壁画保护工程的有效保护措施，制定详细的抢险加固设计方案；
- （8）制定详细的工程预算。

2.1.2 调查的意义

大伾山天宁寺大雄宝殿是全国重点文物保护单位大伾山摩崖大佛及石刻一天宁寺古建筑群的重要组成部分，实施对其保护修缮对于保护大伾山摩崖大佛及石刻文物的完整性、真实性价值具有重要意义。由于自然和人为等多方原因，文物的现存状况岌岌可危，建筑墙体出现了一定程度的开裂、屋顶瓦面漏雨和木构件糟朽、变形等病害，危及建筑安全；壁画整体受古建墙壁裂隙影响，亦出现局部开裂，因建筑局部漏雨、壁面人为涂刷、刻划等因素，造成壁画表层受污染情况较为严重，影响文物整体安全稳定及观赏性。

2.2 调查依据和原则

2.2.1 调查的依据

受浚县文物局委托，甘肃莫高窟文化遗产保护设计咨询有限公司于 2022 年 1 月对大伾山天宁寺大雄宝殿及壁画全面开展了勘察设计工作。本次工程勘察设计根据下列规范、规程、手册及相关法规进行。

- （1）《中华人民共和国文物保护法》(2002 年 10 月 28 日)；
- （2）《文物保护法实施条例》(2003 年 7 月 1 日)；
- （3）《保护世界文化和自然遗产公约》（1972 年）；
- （4）《纪念建筑、古建筑、石窟寺等修缮工程管理办法》（1986 年 7 月）；
- （5）《中华人民共和国文物保护法》（2002 年 10 月）；
- （6）《中华人民共和国文物保护法实施条例》（2003 年 7 月）；
- （7）《中国文物古迹保护准则》（2015 年）；
- （8）《文物保护工程管理办法》（2003 年 4 月）；
- （9）《古代壁画现状调查规范》；
- （10）《中华人民共和国合同法》；
- （11）《中华人民共和国安全生产法》；

- (12)《建设施工组织设计规范》;
- (13)《文物建筑施工组织设计编制要求》
- (14)《文物建筑工程质量检验评定标准》;
- (15)《建筑工程项目管理规范》;
- (16)《建设工程监理规范》;
- (17)《建筑工程文件归档整理规范》;
- (18)《安全防范工程技术规范》;
- (19)《中华人民共和国城市规划法》;
- (20)《中华人民共和国环境保护法》;
- (21)《建筑施工扣件式钢管脚手架安装技术规范》

2.2.2 调查的原则

- (1)贯彻“保护为主，抢救第一，合理利用，加强管理”的文物保护工作方针;
- (2)不破坏文物的原则;
- (3)优先选用无损检测的原则;
- (4)必须遵循少量取样的原则;
- (5)选择先进分析设备和实验方法，以便减少试验用样量的原则;
- (6)必须进行试验的原则;
- (7)注重历史调查、全面收集资料的原则。

2.3 调查方法和调查工作完成情况

2.3.1 工作任务、范围及精度

本次修缮工程的勘察对象主要包括：①修缮对象本体残损情况；②修缮对象周边环境勘察，各部分调查内容如下：

修缮对象的残损情况：重点勘察各个建筑的台基、地面、墙体、梁、柱、檩枋、木装修及屋面等的具体残损情况，为下一步的修缮方法提供详尽的基础资料。

修缮对象的周边环境勘察：重点调查文物建筑所在院落的基本情况，评估文物建筑的保存环境，如：文物建筑周边排水现状等。

修缮对象的消防、防雷、照明以及展示利用项目等属安防保护，建议甲方邀请具有相关资质的设计单位另行编制。

2.3.2 调查的方法

对文物建筑进行人工勘测记录，确定建筑的结构特点，手绘建筑的结构、外观形状、装修大样等草图，作为制定修缮保护方案的依据。具体方法如下：

归档登录法：建立表格，对应文物的具体保存情况并进行登录。

现状勘查：对文物建筑暴露部分残损程度进行探查；对不宜探查的部位，主要采用现代化的方法测出数据并进行综合分析观察研究。

资料核对：对照有关资料，对文物的现状与早期原状的差别进行对比分析，对现存的情况进行对照、观察、分析其损坏程度及原貌变化程度。

群众访谈与史料搜集：在调研和测绘过程中，辅助以走访和群众访谈。同时搜集大量的相关的史料。

以上几种勘察方法的综合应用，使本次勘察基本具备科学化、量化的特点，为以后保护工程的制定打下了良好的基础。

2.3.3 完成的工作量

针对古建部分墙体开裂、整体稳定性及壁画本体病害进行详细勘察，系统梳理出古建及壁画的病害类型、病害成因，并根据监测、检测数据，设计具有针对性的试验。

自 2021 年 7 月开始，至 2021 年 12 月结束，具体工作如下：

- (1) 2021 年 7 月初至 2021 年 7 月中旬进行资料收集汇总及现场勘察，制定了踏勘计划并进行现场踏勘、图纸绘制等工作，同时布置仪器设备，开展区域环境监测；
- (2) 2021 年 7 月中旬至 2021 年 7 月末进行样品采集及分析检测工作，根据分析检测结果，设计实验室试验；
- (3) 2021 年 8 月至 2021 年 9 月，结合实验室试验结果，进行现场本体局修复工艺试验，并对试验区域进行养护及效果跟踪监测；
- (4) 2021 年 12 月末，结合现场环境监测数据及实验效果，编制完善保护修缮方案。
- (5) 2023 年 8 月，依据省局批复意见，对方案进行修改完善。

2.4 文物本体病害现状与评估

2.4.1 古建勘察对象

本次修缮工程的勘察对象主要包括：①修缮对象本体残损情况；②修缮对象周边环境勘察，各部分调查内容如下：

修缮对象的残损情况：重点勘察各个建筑的台基、地面、墙体、梁、柱、檩枋、木装修及屋面等的具体残损情况，为下一步的修缮方法提供详尽的基础资料。

修缮对象的周边环境勘察：重点调查文物建筑所在院落的基本情况，评估文物建筑的保存环境，如：文物建筑周边排水现状等。

修缮对象的消防、防雷、照明以及展示利用项目等属安防保护，建议甲方邀请具有相关资质的设计单位另行编制。

2.4.1.1 古建筑勘察方法

对文物建筑进行人工勘测记录，确定建筑的结构特点，手绘建筑的结构、外观形状、装修大样等草图，作为制定修缮保护方案的依据。具体方法如下：

归档登录法：建立表格，对应文物的具体保存情况并进行登录。

现状勘查：对文物建筑暴露部分残损程度进行探查；对不宜探查的部位，主要采用现代化的方法测出数据并进行综合分析观察研究。

资料核对：对照有关资料，对文物的现状与早期原状的差别进行对比分析，对现存的情况进行对照、观察、分析其损坏程度及原貌变化程度。

群众访谈与史料搜集：在调研和测绘过程中，辅助以走访和群众访谈。同时搜集大量的相关的史料。

以上几种勘察方法的综合应用，使本次勘察基本具备科学化、量化的特点，为以后保护工程的制定打下了良好的基础。

2.4.1.2 传统工艺调研

①建筑形制：双坡硬山建筑。

原形制保持原状，保存较好。

②建筑结构：砖（青砖、土坯转）木结构，抬梁式梁架。

原结构保持原状，保存较好。

③建筑材料：青条石（1320X400X150、1400X450X150、1960X450X150）、青砖（规格310X140X70、240X120X60）、白灰（粘结材料）、滑秸泥（抹灰材料）、木柱（规格Φ220、Φ340、Φ440）、瓜柱（规格Φ260、Φ280）、梁（规格Φ320、Φ360、Φ460）、檩条（规格Φ220、Φ260、Φ280）、门、过梁（松木）、青瓦（规格180x150x12）、滑秸泥和麻刀石灰（墙体抹灰）。柱、梁、檩、枋多用落叶松，椽用杉木，装修使用红松。

该建筑的材料大部分为原始遗存。

④施工工艺：

基础：未出现因基础病害造成的墙体裂缝、局部沉降等状况，结合当地地质情况分析，认为建筑基础稳定。（未探查到基础的砌筑形式。）

地面：原土夯实→100厚灰土垫层→240X120X60青条砖细墁，青灰扫缝。

台基：青石台基。

墙体：青砖砌筑，外包青砖一层，内置土坯砖（里生外熟）砌筑。

墙体内侧抹灰：15-20厚滑秸泥打底→2厚麻刀石灰抹面。

屋面：檩条→木椽（规格60X70@220）→望砖→滑秸泥80~150厚→青灰背→青瓦。

门窗：门（格栅门样式一码三箭）、窗（格栅窗样式一码三箭）。

该施工工艺基本保留了明清河南地方建筑传统工艺做法。

⑤结论：

该建筑“原形制、原结构、原工艺、原材料”各方面大部分保存较好，本次维修方案编制的工艺做法依照遗存的“四原”，进行维修设计。

2.4.1.3 文物建筑本体现状勘察

通过对天宁寺大雄宝殿单体建筑的调查，本次勘查中发现，建筑台基早期有不均匀沉降现象，造成建筑后墙中部竖向裂缝。现阶段沉降已经趋于稳定，近年来未有新的裂缝产生，且裂缝宽度无加剧趋势，建筑基础已经处于稳定状态。该建筑主要残损为：墙体局部裂缝、内墙壁画空鼓脱落严重、屋面漏雨、望砖酥碱、木椽受潮严重、屋面瓦件碎裂和佚失等。其详细残损状况见下表：

| 天宁寺大雄宝殿残损现状及病害成因分析列表 |   |         |      |         |           |
|----------------------|---|---------|------|---------|-----------|
| （注：所有未见残损构件未列入表内）    |   |         |      |         |           |
| 序                    | 名 | 残损位置、程度 | 损坏原因 | 残损点评定界限 | 残损程度或现状评估 |



| 号  | 称     |                                                                                      |                |                |                      |
|----|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------------|
| 01 | 基础    | 本次勘查中发现，建筑台基早期有不均匀沉降现象，造成建筑后墙中部竖向裂缝。现阶段沉降已经趋于稳定，近年来未有新的裂缝产生，且裂缝宽度无加剧趋势，建筑基础已经处于稳定状态。 | 建筑基础早期的不均匀沉降造成 | 后墙有裂缝形变，现已趋于稳定 | 中度残损                 |
| 02 | 散水    | 建筑周围无散水遗存，均为青砖铺装，存在灰缝流失情况，总面积约 7.8 m²。建筑四周排水较好。                                      | 后人改制。          | /              | 现状评估：<br>四周排水良好，无需整治 |
| 03 | 月台及踏步 | ①月台整体情况保存较好，未见严重残损情况。<br>②月台地面青砖轻度酥碱，局部地面灰缝流失，面积约 8.4 m²。                            | 随雨水流失，自然侵蚀     | /              | 轻度残损，保存较好            |
|    |       | ①踏步保存完好，未见明显残损及病害；<br>②月台南侧（踏步东侧）阶条石局部断裂，断裂长度约 0.6m；<br>③月台西侧阶条石局部断裂，长度约 1.1m。       | 年久失修，自然开裂      | /              | 轻度残损，保存较好            |
| 04 | 外地廊   | ①外廊地面保存完好，青砖轻度酥碱，                                                                    | 正常使用痕迹         | /              | 轻度残损，保存较好            |

|    |    |    |                                                                        |                                               |                |   |           |
|----|----|----|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------|---|-----------|
|    | 面  |    | 酥碱深度 1~5mm；<br>②东次间廊部地面局部灰缝流失，面积约 2.1 m²。                              |                                               |                | / | /         |
|    |    | 室内 | ①室内地面保存较好，个别青砖表面酥碱。明间西侧局部地面青砖酥碱，约 8 块，深度约 8-12mm。<br>②明间拜石保存较好，未见明显残损。 |                                               | 正常使用痕迹         | / | 轻度残损，保存较好 |
| 05 | 墙体 | 室外 | 前檐檐墙                                                                   | 东、西次间前檐檐墙保存较好，未见明显病害。                         | 自然侵蚀痕迹         | / | 保存较好      |
|    |    |    | 东山墙                                                                    | 东山墙东南角下部青石墙体白灰缝流失，面积约 1.2 m²。                 | 雨水侵蚀墙体，导致灰缝流失。 | / | 保存较好      |
|    |    |    |                                                                        | 东山墙青砖墙体保存完好，仅有青砖表面轻度酥碱状况，酥碱深度 1-4mm。未见其他明显病害。 | 自然侵蚀痕迹         | / | 保存较好      |
|    |    |    | 北山墙                                                                    | 北山墙青砖墙面均保存完好，仅有青砖表面轻度                         | 自然侵蚀痕迹         | / | 青砖墙体保存较好  |

|  |  |  |     |                                                                                                                                                                    |                                                   |                          |      |
|--|--|--|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------|------|
|  |  |  |     | 酥碱状况，酥碱深度 1-4mm。                                                                                                                                                   |                                                   |                          |      |
|  |  |  |     | 北山墙中部，有上下贯穿缝一道，缝始于檐口叠涩砖向下直至青石台基及地面。<br>墙体上部缝较宽，宽度 5-28mm 不等，越向上宽度逐渐增大，该段长度约 2.2 米；<br>墙体中部裂缝较细，宽度在 4-10 之间，该段长度约 1.8 米；<br>墙体下半部裂缝又逐渐增大，裂缝宽度约 6-29mm，该段长度约 1.98 米。 | 经现场调研及走访，该裂缝已经存在很久且近年没有再发生变化，属于早期的沉降裂缝，现阶段已经趋于稳定。 | 受力引起的裂缝；出现沿砖块断裂的竖向或斜向裂缝。 | 中度残损 |
|  |  |  | 西山墙 | 西山墙青砖墙面均保存完好，仅有青砖表面轻度酥碱状况，酥碱                                                                                                                                       | 自然侵蚀痕迹                                            | /                        | 保存较好 |

|  |  |  |    |                                                                           |                 |                                 |      |
|--|--|--|----|---------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|------|
|  |  |  |    | 深度 1-5mm。                                                                 |                 |                                 |      |
|  |  |  |    | 西山墙西北角墙体有细微裂缝一道，裂缝从青石台基开始向上延伸，长度约 1.1 米，裂缝宽度 3-10mm。                      | 沉降造成的细微裂缝，已经稳定。 | 受力引起的裂缝；出现沿砖块断裂的竖向或斜向裂缝。        | 轻度残损 |
|  |  |  | 廊部 | 东山墙内墙保存完好，上部白灰抹面墙体浮尘较多，面积约 2.5 m²。                                        | 自然侵蚀痕迹          | /                               | 保存较好 |
|  |  |  | 廊部 | ①西山墙内墙南侧青砖碱墙局部酥碱约 3 块，酥碱深度 14-25mm，其他墙体保存完好；<br>②上部白灰抹面墙体浮尘较多，面积约 2.5 m²。 | 自然侵蚀痕迹          | 在长 1m 的任一段墙中，墙体风化平均深度已大于墙厚的 1/5 | 轻度残损 |
|  |  |  | 室内 | 室内的前檐槛墙保存较好，未见有明显病害。                                                      | 日常使用痕迹          | /                               | 保存较好 |

|    |    |      |                                                                                                                      |                                                                     |                                 |                                         |
|----|----|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|
|    |    |      | <p>①室内东、西以及后墙均有彩画遗存，本次设计进行了全面勘测，详见“2.4.2 壁画保存现状”章节；</p> <p>②室内明间有竖向贯通缝两道，分别位于明间大佛的东西两侧，该处病害为重点处理病害，现状详见“”章节叙述内容。</p> | <p>年久失修，墙体裂缝造成雨水渗入，壁画出现空鼓剥蚀现象。</p>                                  | <p>受力引起的裂缝；出现沿砖块断裂的竖向或斜向裂缝。</p> | <p>中度残损，壁画已经出现空鼓、脱落等现象，加之墙体裂缝，急需修缮。</p> |
| 06 | 梁架 | 明间东缝 | <p>①明间东缝梁架均保存良好，梁架仅有水渍、灰尘等病害。</p> <p>②后檐脊檩下方瓜柱有竖向干缩裂缝，长度约 400mm，裂缝宽度 25mm，深度约 43mm。</p> <p>③廊部梁架未见残损。</p>            | <p>①屋面漏雨所致造成梁架有雨水痕迹。</p> <p>②原为木材自然干缩裂缝，长期受屋面漏雨、温差及干缩湿胀影响，发展至今。</p> | <p>有斜裂、脱榫或劈裂。</p>               | <p>/</p>                                |

|    |      |      |                                                                                                                                |                                                                     |                   |              |
|----|------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|
|    |      | 明间西缝 | <p>①明间东缝梁架均保存良好，梁架仅有水渍、灰尘等病害。</p> <p>②后檐脊檩下方瓜柱有竖向干缩裂缝，长度约 240mm，裂缝宽度 14mm，深度约 21mm。</p> <p>③廊部梁架未见残损。</p>                      | <p>①屋面漏雨所致造成梁架有雨水痕迹。</p> <p>②原为木材自然干缩裂缝，长期受屋面漏雨、温差及干缩湿胀影响，发展至今。</p> | <p>有斜裂、脱榫或劈裂。</p> | <p>轻度残损。</p> |
|    |      | 柱础   | <p>外廊及室内柱础未见明显病害，仅有自然侵蚀痕迹。</p>                                                                                                 | <p>自然侵蚀</p>                                                         | <p>/</p>          | <p>/</p>     |
| 07 | 柱及柱础 | 柱子   | <p>①明间东缝檐柱油饰剥蚀，露出木柱。木柱干缩裂缝布满柱根，高度约 450mm。</p> <p>②明间西缝柱根处油漆剥蚀，木柱干缩裂缝布满柱根，局部有糟朽情况，糟朽深度约 40mm，高度约 350mm。</p> <p>③室内柱子未见明显病害。</p> | <p>油饰剥落造成木构件失去保护，自然侵蚀造成木材干缩裂缝及糟朽。</p>                               | <p>有斜裂、脱榫或劈裂。</p> | <p>轻度残损。</p> |
| 08 | 檩    | 外    | <p>外廊檩枋均进行过修</p>                                                                                                               | <p>/</p>                                                            | <p>/</p>          | <p>/</p>     |



|    |     |                                                                            |                                                           |                    |                         |       |
|----|-----|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------|-------|
|    | 枋   | 廊                                                                          | 缮，未见明显病害。                                                 |                    |                         |       |
|    |     | 室内                                                                         | 室内檩、枋保存较好，但因为屋面漏雨布满水渍，不排除有上部（隐藏部位）糟朽的可能性，需要施工中揭顶后进一步进行勘查。 | 屋面漏雨所致造成梁架有雨水痕迹。   | /                       | 轻度残损  |
| 09 | 木基层 | 前檐廊部屋面（小青瓦屋面部分）系统因进行过修缮，所以木基层保存较好，未见明显病害。                                  |                                                           | /                  | /                       | /     |
|    |     | 前檐（筒板瓦屋面部分）连檐断裂，檐口下垂，断裂长度约 2.4m。                                           |                                                           | 长期受雨水侵蚀导致连檐糟朽。     | 材质劣化，已严重腐朽或虫蛀，或已严重受潮。   | 中度残损。 |
|    |     | ①室内望砖灰缝流失严重，为屋面瓦件破损漏雨所致。<br>②屋面部分望砖断裂、糟朽，前檐约 9 块，后檐约 12 块。                 |                                                           | 因长期受雨淋影响严重，导致遍布水渍。 | /                       | 中度残损。 |
|    |     | ①前檐椽糟朽约 6 根，部分椽因长期屋面漏雨造成椽中间向下弯曲，挠度约 13 约 18 根。<br>②后檐椽糟朽约 7 根，部分椽因长期屋面漏雨造成 |                                                           | 长期屋面漏雨冲刷致使椽糟朽。     | 椽条材质劣化，已严重腐朽或虫蛀，或已严重受潮。 | 中度残损。 |

|    |    |                                                                                           |                                                    |   |   |
|----|----|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---|---|
|    |    | 椽中间向下弯曲，挠度约 15，共计 15 根。<br>③罗锅椽糟朽约 3 根。                                                   |                                                    |   |   |
| 10 | 屋面 | ①前檐勾头断裂、破损约 12 块，滴水断裂 3 块；<br>②后檐勾头断裂、破损约 8 块，滴水保存完好。                                     | 日久失修，造成勾头、滴水因粘结材料流失严重，掉落佚失。                        | / | / |
|    |    | ①屋面瓦件破损，造成室内漏雨，其中前檐屋面破损面积约 12 m²，后檐屋面破损约 14.5 m²。<br>②前檐明间屋面长有杂草，面积约 1.5 m²。<br>③垂脊均保存完好。 | 受风蚀、日晒、雨水冲刷影响，导致瓦件碎裂。<br>瓦件长期积累湿气较重，给植物提供了适合的生长条件。 | / | / |
| 09 | 装修 | 建筑前檐门、窗室外表面遍布水渍，存在轻微糟朽现象，面积约 5.5 m²。                                                      | 受风蚀、日晒、雨水侵蚀影响，出现糟朽现象。                              | / | / |
| 10 | 油饰 | ①廊部檩枋、木基层等木构件刚经过修缮，未做油                                                                    | 受风蚀、日晒、雨水侵                                         | / | / |

|  |                                                                 |               |  |  |
|--|-----------------------------------------------------------------|---------------|--|--|
|  | 饰；<br>②前檐檐柱油饰剥落严重，尤其是柱根位置，已经完全剥蚀，失去了对木构件保护的作用。<br>③木装修油饰剥蚀较为严重。 | 蚀影响，日久材料效力降低。 |  |  |
|--|-----------------------------------------------------------------|---------------|--|--|

2.4.1.4 文物建筑周边环境、排水勘察及评估

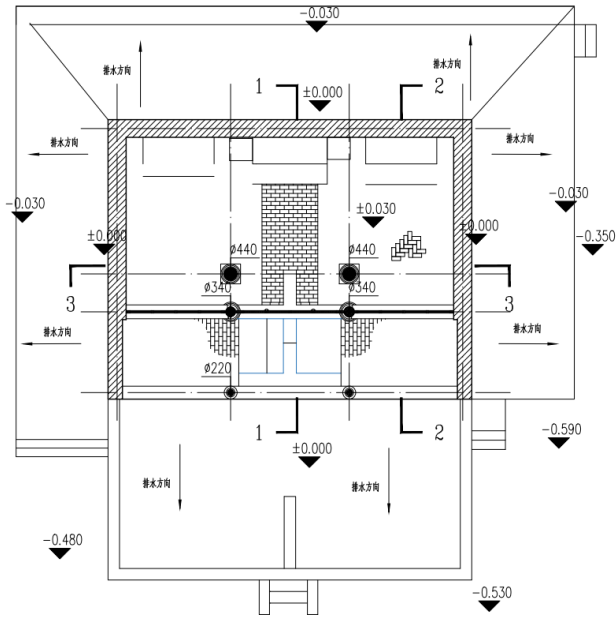


图 2-1 现状航拍及排水示意图



图 2-2 建筑西侧铺装



图 2-3 建筑西北侧地面铺装



图 2-4 建筑北侧地面铺装



图 2-5 建筑东北侧地面铺装





图 2-6 建筑东侧铺装



图 2-7 建筑南侧铺装

|                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 环境及排水现状及分析：<br>大雄宝殿现阶段的排水方式为自然排水的方式。现阶段大雄宝殿周边均为开阔的场地，均已铺装青砖地面，经过测量，地面均向外找坡 3%，满足雨水的排水标注。 |
| 结论：天宁寺大雄宝殿周边排水情况良好，无需整治。                                                                 |

大雄宝殿是天宁寺古建筑群重要建筑之一，始建于明嘉靖三十六年（1557 年），崇祯十七年（1644 年）重修，卷棚顶建筑，灰板瓦覆顶，前廊后殿浑然一体。内塑有释迦摩尼、阿弥陀佛、药师佛三世佛像。原像早毁，现塑像为 1993 年重塑。两侧山墙绘有二十四诸天壁画，惟妙惟肖，形象逼真，为清代作品。通过对天宁寺大雄宝殿单体建筑的调查，发现建筑台基早期有不均匀沉降现象，造成建筑后墙中部竖向裂缝。现阶段沉降已经趋于稳定，近年来未有新的裂缝产生，且裂缝宽度无加剧趋势，建筑基础已经处于稳定状态。该建筑主要残损为：墙体局部裂缝、内墙壁画空鼓脱落严重、屋面漏雨、望砖酥碱、木椽受潮严重、屋面瓦件碎裂和佚失等。其详细残损状况见下表：

天宁寺大雄宝殿残损现状及病害成因分析列表  
(注：所有未见残损构件未列入表内)

| 序号 | 名称    | 残损位置、程度                                                                              |                                                                   | 损坏原因           | 残损点评定界限        | 残损程度或现状评估        |
|----|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|------------------|
| 01 | 基础    | 本次勘查中发现，建筑台基早期有不均匀沉降现象，造成建筑后墙中部竖向裂缝。现阶段沉降已经趋于稳定，近年来未有新的裂缝产生，且裂缝宽度无加剧趋势，建筑基础已经处于稳定状态。 |                                                                   | 建筑基础早期的不均匀沉降造成 | 后墙有裂缝形变，现已趋于稳定 | 中度残损             |
| 02 | 散水    | 建筑周围无散水遗存，均为青砖铺装，存在灰缝流失情况，总面积约 7.8 m²。建筑四周排水较好。                                      |                                                                   | 后人改制。          | /              | 现状评估：四周排水良好，无需整治 |
| 03 | 月台及踏步 | ①月台整体情况保存较好，未见严重残损情况。<br>②月台地面青砖轻度酥碱，局部地面灰缝流失，面积约 8.4 m²。                            |                                                                   | 随雨水流失，自然侵蚀     | /              | 轻度残损，保存较好        |
|    |       | ①踏步保存完好，未见明显残损及病害；<br>②月台南侧（踏步东侧）阶条石局部断裂，断裂长度约 0.6m；<br>③月台西侧阶条石局部断裂，长度约 1.1m。       |                                                                   | 年久失修，自然开裂      | /              | 轻度残损，保存较好        |
| 04 | 地面    | 外廊                                                                                   | ①外廊地面保存完好，青砖轻度酥碱，酥碱深度 1~5mm；<br>②东次间廊部地面局部灰缝流失，面积约 2.1 m²。        | 正常使用痕迹         | /              | 轻度残损，保存较好        |
|    |       | 室内                                                                                   | ①室内地面保存较好，个别青砖表面酥碱。明间西侧局部地面青砖酥碱，约 8 块，深度约 8-12mm。<br>②明间拜石保存较好，未见 | 正常使用痕迹         | /              | 轻度残损，保存较好        |



|    |    |    |       |                                                                                                                                                                    |                                                   |                          |          |
|----|----|----|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------|----------|
|    |    |    | 明显残损。 |                                                                                                                                                                    |                                                   |                          |          |
| 05 | 墙体 | 室外 | 前檐墙   | 东、西次间前檐槛墙保存较好，未见明显病害。                                                                                                                                              | 自然侵蚀痕迹                                            | /                        | 保存较好     |
|    |    |    | 东山墙   | 东山墙东南角下部青石墙体白灰缝流失，面积约 1.2 m²。                                                                                                                                      | 雨水侵蚀墙体，导致灰缝流失。                                    | /                        | 保存较好     |
|    |    |    |       | 东山墙青砖墙体保存完好，仅有青砖表面轻度酥碱状况，酥碱深度 1-4mm。未见其他明显病害。                                                                                                                      | 自然侵蚀痕迹                                            | /                        | 保存较好     |
|    |    |    | 北山墙   | 北山墙青砖墙面均保存完好，仅有青砖表面轻度酥碱状况，酥碱深度 1-4mm。                                                                                                                              | 自然侵蚀痕迹                                            | /                        | 青砖墙体保存较好 |
|    |    |    |       | 北山墙中部，有上下贯穿缝一道，缝始于檐口叠涩砖向下直至青石台基及地面。<br>墙体上部缝较宽，宽度 5-28mm 不等，越向上宽度逐渐增大，该段长度约 2.2 米；<br>墙体中部裂缝较细，宽度在 4-10 之间，该段长度约 1.8 米；<br>墙体下半部裂缝又逐渐增大，裂缝宽度约 6-29mm，该段长度约 1.98 米。 | 经现场调研及走访，该裂缝已经存在很久且近年没有再发生变化，属于早期的沉降裂缝，现阶段已经趋于稳定。 | 受力引起的裂缝；出现沿砖块断裂的竖向或斜向裂缝。 | 中度残损     |

|  |  |    |     |                                                                                                           |                             |                                 |                                  |
|--|--|----|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|  |  |    | 西山墙 | 西山墙青砖墙面均保存完好，仅有青砖表面轻度酥碱状况，酥碱深度 1-5mm。                                                                     | 自然侵蚀痕迹                      | /                               | 保存较好                             |
|  |  |    |     | 西山墙西北角墙体有细微裂缝一道，裂缝从青石台基开始向上延伸，长度约 1.1 米，裂缝宽度 3-10mm。                                                      | 沉降造成的细微裂缝，已经稳定。             | 受力引起的裂缝；出现沿砖块断裂的竖向或斜向裂缝。        | 轻度残损                             |
|  |  | 内墙 | 廊部  | 东山墙内墙保存完好，上部白灰抹面墙体浮尘较多，面积约 2.5 m²。                                                                        | 自然侵蚀痕迹                      | /                               | 保存较好                             |
|  |  |    |     | ①西山墙内墙南侧青砖碱墙局部酥碱约 3 块，酥碱深度 14-25mm，其他墙体保存完好；<br>②上部白灰抹面墙体浮尘较多，面积约 2.5 m²。                                 | 自然侵蚀痕迹                      | 在长 1m 的任一段墙中，墙体风化平均深度已大于墙厚的 1/5 | 轻度残损                             |
|  |  |    | 室内  | 室内的前檐槛墙保存较好，未见有明显病害。                                                                                      | 日常使用痕迹                      | /                               | 保存较好                             |
|  |  |    |     | ①室内东、西以及后墙均有彩画遗存，本次设计进行了全面勘测，详见“2.4.2 壁画保存现状”章节；<br>②室内明间有竖向贯通缝两道，分别位于明间大佛的东西两侧，该处病害为重点处理病害，现状详见“”章节叙述内容。 | 年久失修，墙体裂缝造成雨水渗入，壁画出现空鼓剥蚀现象。 | 受力引起的裂缝；出现沿砖块断裂的竖向或斜向裂缝。        | 中度残损，壁画已经出现空鼓、脱落等现象，加之墙体裂缝，急需修缮。 |

|    |      |      |                                                                                         |                                                          |            |       |
|----|------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------|-------|
| 06 | 梁架   | 明间东缝 | ①明间东缝梁架均保存良好，梁架仅有水渍、灰尘等病害。<br>②后檐脊檩下方瓜柱有竖向干缩裂缝，长度约400mm，裂缝宽度25mm，深度约43mm。<br>③廊部梁架未见残损。 | ①屋面漏雨所致造成梁架有雨水痕迹。<br>②原为木材自然干缩裂缝，长期受屋面漏雨、温差及干缩湿胀影响，发展至今。 | 有斜裂、脱榫或劈裂。 | /     |
|    |      | 明间西缝 | ①明间东缝梁架均保存良好，梁架仅有水渍、灰尘等病害。<br>②后檐脊檩下方瓜柱有竖向干缩裂缝，长度约240mm，裂缝宽度14mm，深度约21mm。<br>③廊部梁架未见残损。 | ①屋面漏雨所致造成梁架有雨水痕迹。<br>②原为木材自然干缩裂缝，长期受屋面漏雨、温差及干缩湿胀影响，发展至今。 | 有斜裂、脱榫或劈裂。 | 轻度残损。 |
| 07 | 柱及柱础 | 柱础   | 外廊及室内柱础未见明显病害，仅有自然侵蚀痕迹。                                                                 | 自然侵蚀                                                     | /          | /     |
|    |      | 柱子   | ①明间东缝檐柱油饰剥蚀，露出木柱。木柱干缩裂缝布满柱根，高度约450mm。                                                   | 油饰剥落造成木构件失去保                                             | 有斜裂、脱榫或劈裂。 | 轻度残损。 |

|    |     |    |                                                                                        |                    |                         |       |
|----|-----|----|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------|-------|
|    |     |    | ②明间西缝柱根处油漆剥蚀，木柱干缩裂缝布满柱根，局部有糟朽情况，糟朽深度约40mm，高度约350mm。<br>③室内柱子未见明显病害。                    | 护，自然侵蚀造成木材干缩裂缝及糟朽。 |                         |       |
| 08 | 檩枋  | 外廊 | 外廊檩枋均进行过修缮，未见明显病害。                                                                     | /                  | /                       | /     |
|    |     | 室内 | 室内檩、枋保存较好，但因为屋面漏雨布满水渍，不排除有上部（隐藏部位）糟朽的可能性，需要施工中揭顶后进一步进行勘查。                              | 屋面漏雨所致造成梁架有雨水痕迹。   | /                       | 轻度残损  |
| 09 | 木基层 |    | 前檐廊部屋面（小青瓦屋面部分）系统因进行过修缮，所以木基层保存较好，未见明显病害。                                              | /                  | /                       | /     |
|    |     |    | 前檐（筒板瓦屋面部分）连檐断裂，檐口下垂，断裂长度约2.4m。                                                        | 长期受雨水侵蚀导致连檐糟朽。     | 材质劣化，已严重腐朽或虫蛀，或已严重受潮。   | 中度残损。 |
|    |     |    | ①室内望砖灰缝流失严重，为屋面瓦件破损漏雨所致。<br>②屋面部分望砖断裂、糟朽，前檐约9块，后檐约12块。                                 | 因长期受雨淋影响严重，导致遍布水渍。 | /                       | 中度残损。 |
|    |     |    | ①前檐椽糟朽约6根，部分椽因长期屋面漏雨造成椽中间向下弯曲，挠度约13约18根。<br>②后檐椽糟朽约7根，部分椽因长期屋面漏雨造成椽中间向下弯曲，挠度约15，共计15根。 | 长期屋面漏雨冲刷致使椽糟朽。     | 椽条材质劣化，已严重腐朽或虫蛀，或已严重受潮。 | 中度残损。 |

|    |    |                                                                                           |                                                    |   |   |
|----|----|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---|---|
|    |    | ③罗锅椽糟朽约 3 根。                                                                              |                                                    |   |   |
| 10 | 屋面 | ①前檐勾头断裂、破损约 12 块，滴水断裂 3 块；<br>②后檐勾头断裂、破损约 8 块，滴水保存完好。                                     | 日久失修，造成勾头、滴水因粘结材料流失严重，掉落佚失。                        | / | / |
|    |    | ①屋面瓦件破损，造成室内漏雨，其中前檐屋面破损面积约 12 m²，后檐屋面破损约 14.5 m²。<br>②前檐明间屋面长有杂草，面积约 1.5 m²。<br>③垂脊均保存完好。 | 受风蚀、日晒、雨水冲刷影响，导致瓦件碎裂。<br>瓦件长期积累湿气较重，给植物提供了适合的生长条件。 | / | / |

2.4.1.5 残损病害成因分析

引起天宁寺大雄宝殿文物建筑残损病害的原因主要有两大类：第一类自然因素；第二类人为因素。

2.4.1.6 自然因素形成的病害

水害和自然灾害：包括日常的雨水、地下水对建筑的损害和“河南 7.20 暴雨”对建筑的破坏。主要表现在屋面瓦件冻融断裂，屋面木基层雨水侵蚀糟朽、变形等，进一步导致苦背层流失，造成屋面漏雨严重。屋面本就漏雨严重，又经“河南 7.20 暴雨”，暴雨期间雨水对屋面进行冲击，导致文物建筑的屋面漏雨的加剧。

基础早期的不均匀沉降也是病害之一，虽然现阶段基础已经稳定，但是前期的基础形变使文物建筑后墙产生了较为严重的裂缝情况，裂缝现在已经不在发展，但是雨水可以通过裂

缝侵蚀墙体，造成墙体内侧的土坯砖发胀、酥碱，以及壁画的空鼓和脱落。

2.4.1.7 人为因素形成的病害

- ①不当维修、使用
- 后人在使用过程中存在不当使用现象，如：佛像的建设是否会造成地基再次出现问题等。
- ②使用磨损
- 如：日常使用过程中导致地面磨损，个别青石断裂等。

2.4.1.8 安全状态评估及维修建议

（一）主要构件集安全性鉴定评级

按照《古建筑木结构维护与加固技术规范》（GB/T 50165-2020 标准）中规定，古建筑勘查项目主要构件集安全性鉴定评级，此次勘察的建筑结构可靠性构件评级情况统计如下表：

| 天宁寺大雄宝殿安全性鉴定评级列表                            |      |                                                                                      |          |          |            |
|---------------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|------------|
| （注：所有未见残损构件及非结构构件未列入表内，本表中病害序号与现状残损列表中序号相同） |      |                                                                                      |          |          |            |
| 序号                                          | 名称   | 残损位置、程度                                                                              | 勘查项目鉴定评级 | 单个构件鉴定评级 | 构件集安全性鉴定评级 |
| 01                                          | 基础   | 本次勘查中发现，建筑台基早期有不均匀沉降现象，造成建筑后墙中部竖向裂缝。现阶段沉降已经趋于稳定，近年来未有新的裂缝产生，且裂缝宽度无加剧趋势，建筑基础已经处于稳定状态。 | a' 级     | a 级      | A 级        |
| 02                                          | 月台及踏 | ①月台整体情况保存较好，未见严重残损情况。<br>②月台地面青砖轻度酥碱，局部地面灰缝流失，面积约 8.4 m²。                            | a' 级     | a 级      | A 级        |



|    |        |                                                                                |                                                                        |                                               |      |     |     |
|----|--------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------|-----|-----|
|    | 步      | ①踏步保存完好，未见明显残损及病害；<br>②月台南侧（踏步东侧）阶条石局部断裂，断裂长度约 0.6m；<br>③月台西侧阶条石局部断裂，长度约 1.1m。 |                                                                        | b' 级                                          | b 级  | B 级 |     |
| 03 | 地<br>面 | 外廊                                                                             | ①外廊地面保存完好，青砖轻度酥碱，酥碱深度 1~5mm；<br>②东次间廊部地面局部灰缝流失，面积约 2.1 m²。             | a' 级                                          | a 级  | A 级 |     |
|    |        | 室内                                                                             | ①室内地面保存较好，个别青砖表面酥碱。明间西侧局部地面青砖酥碱，约 8 块，深度约 8-12mm。<br>②明间拜石保存较好，未见明显残损。 | b' 级                                          | b 级  |     |     |
| 04 | 墙<br>体 | 室外                                                                             | 前檐墙                                                                    | 东、西次间前檐槛墙保存较好，未见明显病害。                         | a' 级 | a 级 | A 级 |
|    |        |                                                                                | 东山墙                                                                    | 东山墙东南角下部青石墙体白灰缝流失，面积约 1.2 m²。                 | a' 级 | a 级 | A 级 |
|    |        |                                                                                |                                                                        | 东山墙青砖墙体保存完好，仅有青砖表面轻度酥碱状况，酥碱深度 1-4mm。未见其他明显病害。 | a' 级 | a 级 |     |
|    |        | 北山墙                                                                            | 北山墙青砖墙面均保存完                                                            | a' 级                                          | a 级  | D 级 |     |

|  |  |        |             |                                                                                                                                                                  |      |     |     |
|--|--|--------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|-----|
|  |  |        | 山<br>墙      | 好，仅有青砖表面轻度酥碱状况，酥碱深度 1-4mm。                                                                                                                                       |      |     |     |
|  |  |        |             | 北山墙中部，有上下贯穿缝一道，缝始于檐口叠涩砖向下直至青石台基及地面。墙体上部缝较宽，宽度 5-2.8mm 不等，越向上宽度逐渐增大，该段长度约 2.2 米；<br>墙体中部裂缝较细，宽度在 4-10 之间，该段长度约 1.8 米；<br>墙体下半部裂缝又逐渐增大，裂缝宽度约 6-2.9mm，该段长度约 1.98 米。 | d' 级 | d 级 |     |
|  |  |        | 西<br>山<br>墙 | 北山墙青砖墙面均保存完好，仅有青砖表面轻度酥碱状况，酥碱深度 1-5mm。                                                                                                                            | a' 级 | a 级 | B 级 |
|  |  |        |             | 西山墙西北角墙体有细微裂缝一道，裂缝从青石台基开始向上延伸，长度约 1.1 米，裂缝宽度 3-10mm。                                                                                                             | b' 级 | b 级 |     |
|  |  | 室<br>内 | 廊<br>部      | 东山墙内墙保存完好，上部白灰抹面墙体浮尘较多，面积约 2.5 m²。                                                                                                                               | a' 级 | a 级 | B 级 |
|  |  |        |             | ①西山墙内墙南侧青砖碱墙局部酥碱约 3 块，酥碱深度                                                                                                                                       | b' 级 | b 级 |     |

|    |    |      |                                                                                                           |      |     |     |
|----|----|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|-----|
|    |    |      | 14-25mm，其他墙体保存完好；<br>②上部白灰抹面墙体浮尘较多，面积约 2.5 m²。                                                            |      |     |     |
|    |    | 室内   | 室内的前檐槛墙保存较好，未见有明显病害。                                                                                      | a' 级 | a 级 | D 级 |
|    |    |      | ①室内东、西以及后墙均有彩画遗存，本次设计进行了全面勘测，详见“2.4.2 壁画保存现状”章节；<br>②室内明间有竖向贯通缝两道，分别位于明间大佛的东西两侧，该处病害为重点处理病害，现状详见“”章节叙述内容。 | d' 级 | d 级 |     |
| 05 | 梁架 | 明间东缝 | ①明间东缝梁架均保存良好，梁架仅有水渍、灰尘等病害。<br>②后檐脊檩下方瓜柱有竖向干缩裂缝，长度约 400mm，裂缝宽度 25mm，深度约 43mm。<br>③廊部梁架未见残损。                | b' 级 | b 级 | B 级 |
|    |    | 明间西缝 | ①间东缝梁架均保存良好，梁架仅有水渍、灰尘等病害。<br>②后檐脊檩下方瓜柱有竖向干缩裂缝，长度约 240mm，裂缝宽度 14mm，深度约 21mm。<br>③廊部梁架未见残损。                 | b' 级 | b 级 |     |
|    |    |      |                                                                                                           |      |     |     |

|    |       |                                                            |                                                                                                 |      |     |     |
|----|-------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|-----|
| 06 | 柱及柱子础 | 柱础                                                         | 外廊及室内柱础未见明显病害，仅有自然侵蚀痕迹。                                                                         | a' 级 | a 级 | A 级 |
|    |       | 柱子                                                         | ①明间东缝檐柱油饰剥蚀，露出木柱。木柱干缩裂缝布满柱根，高度约 450mm。<br>②明间细缝柱根处油漆剥蚀，木柱干缩裂缝布满柱根，局部有糟朽情况，糟朽深度约 40mm，高度约 350mm。 | c' 级 | c 级 | C 级 |
|    |       |                                                            | ③室内柱子未见明显病害。                                                                                    | a' 级 | a 级 |     |
| 07 | 檩枋    | 外廊                                                         | 外廊檩枋均进行过修缮，未见明显病害。                                                                              | a' 级 | a 级 | A 级 |
|    |       | 室内                                                         | 室内檩、枋保存较好，但因为屋面漏雨布满水渍，不排除有上部（隐藏部位）糟朽的可能性，需要施工中揭顶后进一步进行勘查。                                       | a' 级 | a 级 | A 级 |
| 08 | 木基层   | 前檐廊部屋面（小青瓦屋面部分）系统因进行过修缮，所以木基层保存较好，未见明显病害。                  |                                                                                                 | a' 级 | a 级 | C 级 |
|    |       | 前檐（筒板瓦屋面部分）连檐断裂，檐口下垂，断裂长度约 2.4m。                           |                                                                                                 | b' 级 | b 级 |     |
|    |       | ①室内望砖灰缝流失严重，为屋面瓦件破损漏雨所致。<br>②屋面部分望砖断裂、糟朽，前檐约 9 块，后檐约 12 块。 |                                                                                                 | c' 级 | c 级 |     |
|    |       | ①前檐椽糟朽约 6 根，部分椽因长期                                         |                                                                                                 | c' 级 | c 级 |     |

|  |  |                                                |  |  |  |
|--|--|------------------------------------------------|--|--|--|
|  |  | 屋面漏雨造成椽中间向下弯曲，挠度约 13 约 18 根。                   |  |  |  |
|  |  | ②后檐椽糟朽约 7 根，部分椽因长期屋面漏雨造成椽中间向下弯曲，挠度约 15，约,15 根。 |  |  |  |
|  |  | ③罗锅椽糟朽约 3 根。                                   |  |  |  |

2.4.1.9 建筑整体安全状态评估

参照《古建筑木结构维护与加固技术标准》（GBT50165-2020 标准）古建筑可靠性鉴定分类标准，对其安全评估分析析如下：

01.本次勘察的 1 处文物建筑基础经过早期的自然沉降，造成了建筑后墙出现一条自上而下的贯通裂缝。现阶段基础已经稳定，裂缝宽度也没有再次变化，但是现在的墙体裂缝急需进行整治。

02.该文物建筑的保存状况较好，其主要病害为屋面漏雨造成木椽糟朽、望砖局部酥碱、灰缝流失。上述病害危害较大，其中：

屋面漏雨造成室内梁架、椽望、布满水渍，对木构件的破坏极大。大雄宝殿室内存有壁画，屋面漏水也会造成壁画起皮空鼓，对壁画影响较大。后墙的裂缝虽然处于现在稳定，但是如果不及时进行修缮，雨水会入侵墙体，造成墙体内部土坯砖膨胀，从而对壁画造成不可逆转的损坏。

综上所述，结合上文的主要构件集安全性鉴定评级及建筑的实际情况，结构体系安全性等级如下表：

| 序号 | 建筑名称    | 建筑年代 | 建筑面积      | 结构体系安全性等级 |
|----|---------|------|-----------|-----------|
| 01 | 天宁寺大雄宝殿 | 清代   | 122.22 m² | B 级       |

由上表可知，本次拟修缮的 1 处文物建筑生存现状较好，但是屋面及后墙急需修缮、保护。

2. 4.1.10 维修建议

1.本工程的性质为文物建筑修缮保护工程，以排除建筑安全隐患、治理建筑现存病害为主，针对建筑的残损状况采取合理有效的修缮措施，不以修饰建筑风貌使建筑焕然一新为目

的。

2.设计和施工中注重对原材料、原构造、原工艺、原风貌的研究，贯彻“最小干预”的原则，尽可能缩减工程量，以最大程度保护历史信息。补配构件应该在工艺形制上与原始构件一致，并在隐蔽部位予以标识，以保证修缮后建筑的历史风貌。

3.勘察过程中，由于部分隐蔽部位无法得到详尽的探索，会出现勘察不到、情况暂不明之现象存在，在维修过程中可根据工程进展，设计、施工、监理人员一致配合，及时进行补测调研、完善设计，以保证工程的顺利进展。

4.由于涉及内墙上的壁画修复，建议对存在较好的壁画采取有效的防护措施，如:搭设临时保护罩棚等措施。

2.4.2 壁画保存现状

2.4.2.1 壁画结构

大雄宝殿殿内壁画绘制在东壁、西壁和北壁。东、西壁壁画尺寸相同，宽 5.34m，高 7.6m，地仗最厚处达 2.5cm，北壁壁画宽 11.39m，高 4.68m，地仗最厚处达 2.5cm。

墙壁主要分四部分构成，最底部为条石砌筑层（如图 2-8 所示），条石墙体最高处达 45 厘米，条石尺寸较为统一，排列整齐；中部为青砖砌筑层（如图 2-9 所示），青砖墙体最高处达 87.6 厘米，砖型尺寸较为统一，排列整齐；上部及顶部为土坯砖加青砖砌筑层；墙体高 7.6 米，砖体形制尺寸较为统一，局部垫有残碎土坯砖块（如图 2-13 所示），排列整齐。壁画支撑体有青砖、土坯砖两种类型。



图 2-8 底部条石砌筑层及中部青砖砌筑层



图 2-9 上部土坯砖砌筑层





图 2-10 壁画泥层



图 2-11 泥层显微照片



图 2-12 泥层、基底层厚度



图 2-13 内窥镜下残碎砖块

支撑体上涂抹掺有麦草纤维的泥层（如图 2-12 所示），用于整面墙体找平，泥层外侧为白灰基底层。泥层厚度大小不一，平均厚度为 2cm，白灰层平均厚度为 0.5cm。东侧及西侧壁画分别绘制二十四诸天造像，单面壁画分上、下两行人物排列，每行六尊造像，单面绘制十二尊；北侧墙壁前塑有释迦摩尼、阿弥陀佛、药师佛三世佛像，三佛前立两尊协士像，三佛紧贴北侧墙壁，壁面绘有三佛背光。

2.4.2.2 红外检测

采用红外热成像仪，对三面墙壁壁画进行红外热成像影像拍摄，为增加拍摄对比强度，提高拍摄对比效果，选择在大伾山区域降雨后两小时进行拍摄。东壁、西壁从热成像图分析，整体温度由壁画顶部至底部呈现由高温至低温的趋势，最高温度在 26℃左右，最低温度在 22℃左右，温差在 4℃之间（如图 2-15、图 2-17 所示）；热成像影像并未显示东、西侧壁画有明显低温点或温差过大区域，说明壁画内部无明显渗水、漏水区域；壁画局部及部分壁画脱落区域出现小范围温差变化，结合现场勘查情况，判定为基底层与地仗层、地仗层与支

撑体出现空鼓病害所致。

北壁壁画主尊造像左右两侧各有一条较长裂隙，系支撑墙体变形、开裂所致，根据红外热成像结果，左侧裂隙处温度明显低于周边区域，右侧裂隙深度相对于左侧裂隙较浅，因此温度变化不甚明显，但仍低于周边区域温度；使用内窥镜对两侧裂隙进行内部探查，发现左侧裂隙可轻松穿过土坯墙直至北墙外部包砖层，而右侧较窄裂隙多个测试点位均无法直接穿透，结合红外影像判断，主尊左侧较深裂隙内部的土坯砖大多已形成贯穿裂隙，其外部包砖亦出现与土坯砖错位的裂隙，右侧裂隙相对深度较浅，并未贯穿整面墙体，左侧裂隙相较右侧裂隙劣化程度更为严重。



图 2-14 东壁壁画影像图

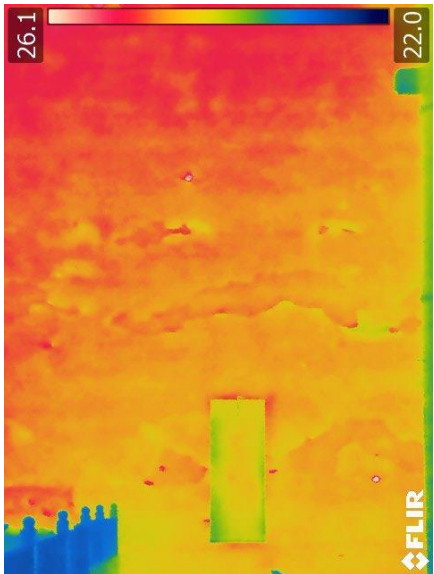


图 2-15 东壁壁画热成像图



图 2-16 西壁壁画影像图

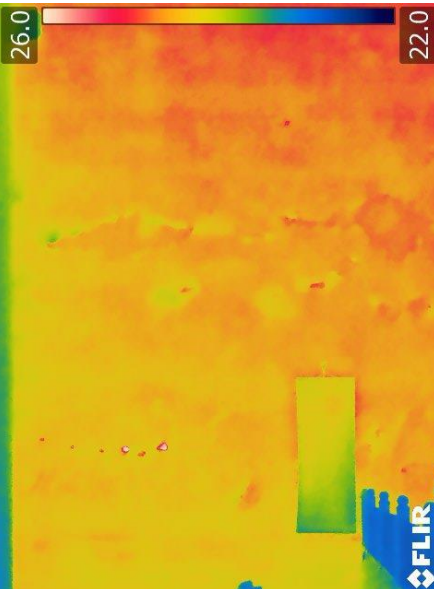


图 2-17 西壁壁画热成像图





图 2-18 北壁裂隙影像图

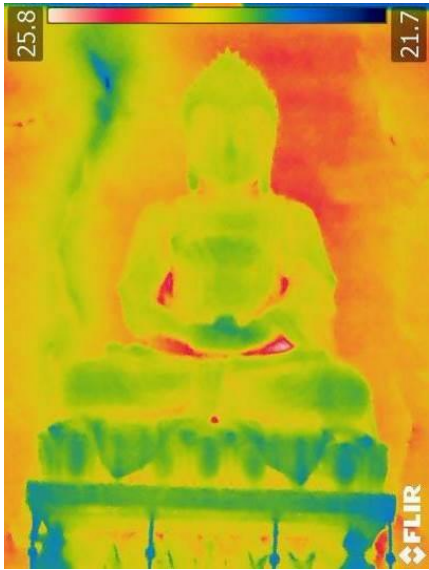


图 2-19 北壁裂隙热成像影像图



图 2-20 主尊左侧裂隙



图 2-21 内窥镜下探明左侧裂隙已贯穿墙体



图 2-22 大雄宝殿北壁外侧裂隙

### 2.4.3 壁画病害

大雄宝殿由于年久失修，建筑顶部局部发生雨水渗漏情况，导致东、西两侧壁画局部脱落较为严重，并于壁画表面形成大面积泥渍污染，部分颜料层褪色、脱落较为严重；雨水渗入地仗层，造成地仗层及基层吸水胀缩不一致，进而导致局部出现空鼓；壁画下部无保护遮挡措施，遭受人为污染、破坏较为严重，出现大面积涂写、刻画、脱落、缺失等现象。北侧壁画整体存在大面积积尘，壁画底部受人为污染及破坏较为严重；由于北壁墙体已出现变形、开裂，北侧壁画于中心造像左右两侧出现两条较长裂隙，左侧裂隙长约 4.8 米，最宽处约 10 厘米，最深处达 45 厘米，右侧裂隙长约 4.7 米，最宽处约 5 厘米，最深处达 32 厘米。壁画颜料层除脱落及表面污染外，并未发现大面积酥碱病害。



图 2-23 东墙壁画

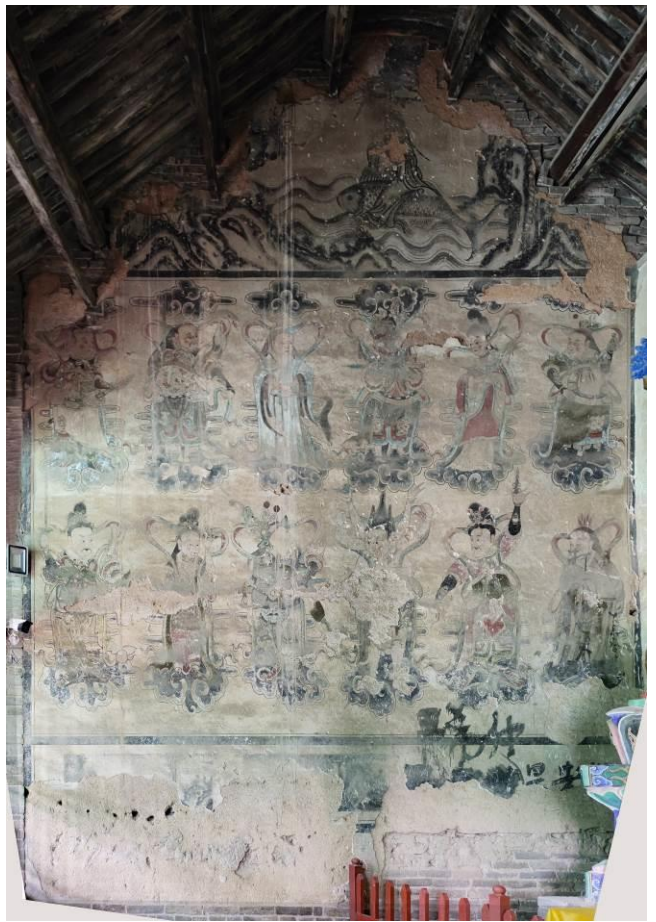


图 2-24 西墙壁画



图 2-25 北墙壁画

#### 2.4.3.1 积尘

随着人们生产生活水平不断提高，越来越多的工业废气被源源不断的排放到空气当中，这些工业生产中使用的化石燃料燃烧后形成的颗粒物以及天宁寺内持续不断的焚香燃烛活



动，都是产生壁画表面灰尘和积尘的主要因素之一。积尘病害广泛存在于大雄宝殿壁画上，积尘堆积较厚的区域，底部壁画颜料层被严重遮挡，肉眼无法准确辨别壁画所绘人物或纹饰内容，致使被遮挡区域画面漫漶不堪，影响文物整体美观与协调；此外，积尘对壁画颜料层表面的摩擦，以及积尘内部的化学成分亦会造成颜料层胶结材料的老化，进而导致颜料层出现局部脱落现象。经现场勘查发现，除西墙顶部壁画积尘较少，其余壁画均存在大面积较厚积尘。



图 2-26 西壁局部积尘



图 2-27 西壁局部积尘

2.4.3.2 泥渍、水渍、龟裂

大雄殿屋顶局部存在漏雨、渗水情况（如图 2-30 所示），雨水与土坯砖墙及地仗泥层结合，形成混合泥浆，并沿壁画表面垂直向下流淌，泥浆流经区域形成较厚的泥渍覆盖污染物，对壁画形成遮挡，被遮挡部位底部影像已无法清晰识别。部分区域在泥浆及水流冲刷影响下，颜料已出现局部失胶脱落现象（如图 2-31 所示）。经现场勘查，泥渍病害主要集中于西壁壁画，已发现四处较明显泥渍流淌覆盖部位，均为大雄殿顶部漏水点起始，至壁画底部结束；东壁壁画仅发现一条较为明显泥渍覆盖，北壁并未发现有泥渍病害。泥渍对壁画颜料层的遮挡、对颜料层冲刷造成的颜料脱落，已造成文物历史信息不可逆的流失。

此外，由于长时间漏雨，受雨水浸泡后的地仗层在吸收雨水后，体积膨胀，待水流停止后，地仗层内部水分随之蒸发，如此往复造成地仗层常年干湿循环，地仗层材料老化、体积膨胀收缩后形成局部密集龟裂纹（如图 2-32 所示）；但经现场多层位比对勘察后发现，大多数该类型病害区域未出现严重起翘或地仗层叠压等现象，虽龟裂开口处裂隙较多，但其张开程度、张开角及底部粘接强度尚可，目前处于较为稳定状态，但不排除随雨水渗漏、材料自

然老化及其他环境因素影响下，龟裂区域病害持续裂化，直至发生起翘、整体脱落的可能性。



图 2-28 西壁局部泥渍



图 2-29 泥渍显微照片（倍数 x60）



图 2-30 东壁顶部渗水处



图 2-31 西壁局部泥渍污染



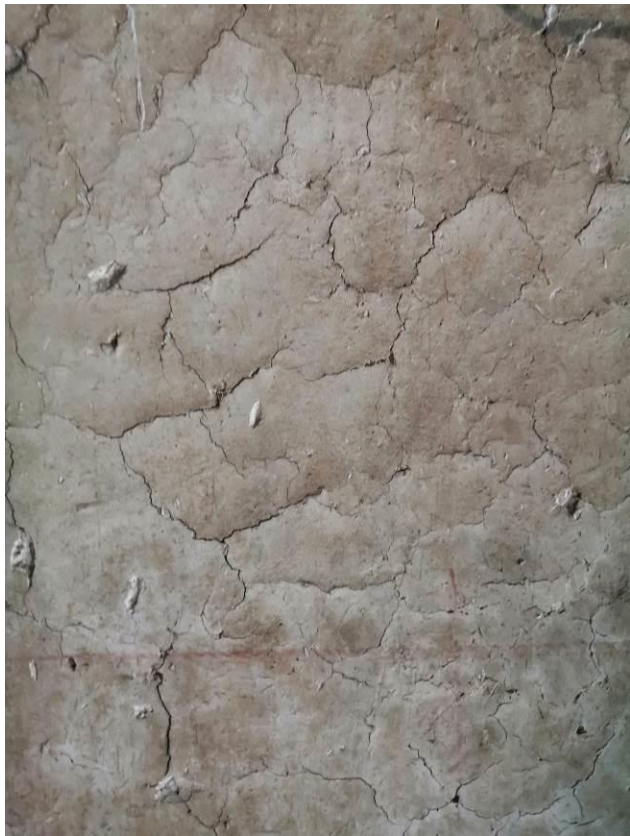


图 2-32 西壁局部龟裂区域



图 2-33 西壁局部龟裂显微照片（倍数 x60）

2.4.3.3 人为刻划、涂写

人为污染病害广泛存在于大雄宝殿壁画，该类病害主要集中于壁画底部。由于壁画无保护遮挡措施，游客可以轻易在壁画上进行涂写、刻划（如图 2-34~图 2-39 所示），书写材料多为铅笔、墨水、粉笔等，书写及刻划内容多为诗句、人名、日期等，部分刻划区域疑似特定历史时期的凿、划、刻痕迹。部分颜料已浸入基层，刻划区域已形成永久不可逆的损害，影响文物艺术价值。



图 2-34 墨迹书写、刻划

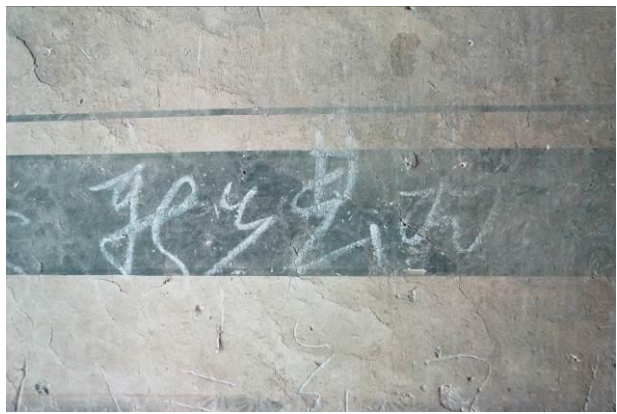


图 2-35 粉笔书写



图 2-36 人为刻划

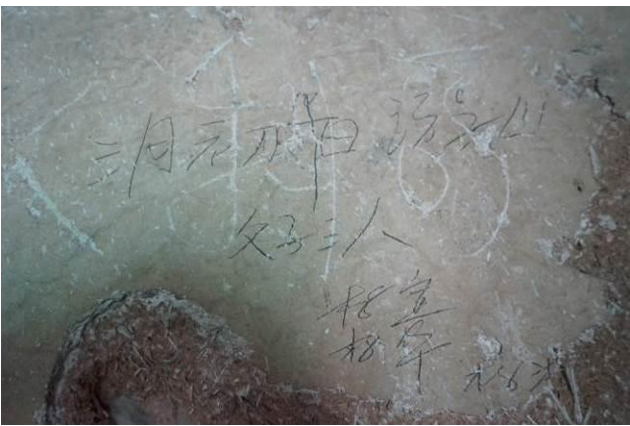


图 2-37 铅笔书写



图 2-38 墨迹



图 2-39 黄色颜料书写



图 2-40 墨迹显微照片（x60）



图 2-41 铅笔显微照片（x60）



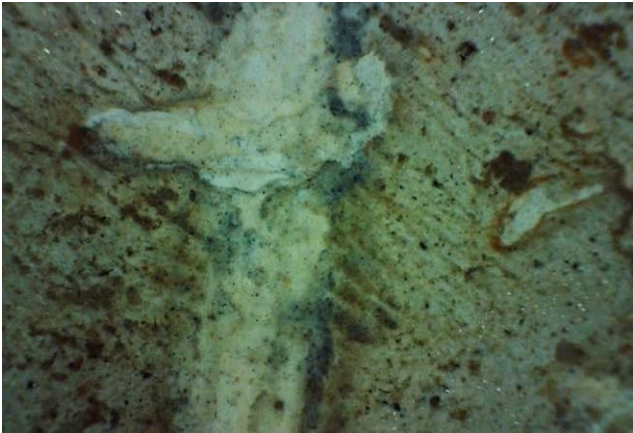


图 2-42 人为刻划显微照片（×60）

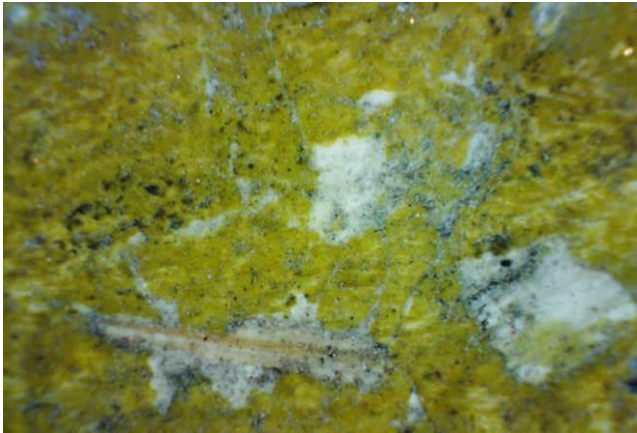


图 2-43 黄色颜料书写显微照片（×60）

2.4.3.4 空鼓

空鼓病害在三面壁画均有发现，病害分布区域并无明显规律，分析其成因与古建渗水及墙壁毛细水上升后壁画地仗泥层、基底层材料吸水胀缩性不一致及材料自身老化后粘接性能弱化有关。空鼓病害大多出现在基底层与泥质地仗层之间，部分面积较大，且存在局部脱落或塌陷（如图 2-44-图 2-47 所示）。如病害继续劣化，局部基底层将无法承受空鼓区域自身重量，进而造成地仗层脱落，对壁画的艺术价值及历史信息造成不可逆的损害。



图 2-44 地仗层空鼓

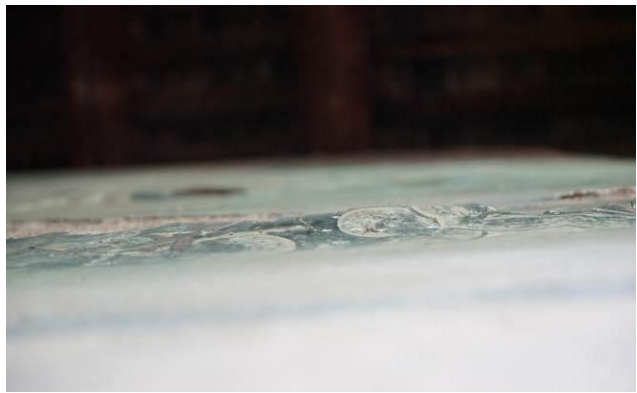


图 2-45 空鼓突出部位



图 2-46 内窥镜下空鼓区域基底层与泥地仗层分离



图 2-47 内窥镜下空鼓区域

2.4.3.5 地仗脱落

该类病害广泛存在于三面壁画，壁画顶部渗水处及下部人为活动区域脱落面积较大，东壁、西壁顶部与古建接触部位壁画受渗水影响，几乎全部脱落；壁画底部因历史原因，人为破坏已使壁画大面积脱落；东壁、西壁在壁画中心部位也存在部分脱落现象，面积大小不一，并无规律，脱落区域周边大多伴有空鼓或起翘病害；北壁壁画除主尊两侧裂隙处存在局部脱落，其他部位并未发现大面积该类病害。



图 2-48 壁画中心脱落部位



图 2-49 壁画局部脱落部位



图 2-50 壁画底部脱落部位



图 2-51 壁画底部脱落部位

2.4.3.6 颜料层脱落

颜料层脱落病害广泛存在于大雄宝殿三面壁画，其主要病害表现形式主要分三种，颜料层片状脱落、颜料层点状脱落，颜料层化晕式脱落。

颜料层片状脱落主要集中在壁画地仗层较不稳定区域，因自身胶结材料老化，粘接性能逐渐减弱，伴随地仗脱落颜料层随之脱落，该类病害主要以大块局部脱落的形式为主（如图 2-52、图 2-53 所示）；颜料层点状脱落病害多存在于地仗层龟裂部位，原较为完整的颜料层，



因地仗层出现细小龟裂纹、开裂纹而随之变形、脱落，该类型病害大多呈点状不规则形式出现在壁画表面（如图 2-54 所示）；而第三种化晕式脱落多集中在受渗水影响区域，水流、泥浆的流淌将壁画颜料层中本已老化失效的胶结材料溶解于水中，颜料颗粒因失去了胶结材料的凝聚而变得松散不堪，随水流的流淌而逐渐被冲散，表现在图像上便犹如国画技法中的晕染法，可从表观上看到明显的水流痕迹（如图 2-55 所示）。



图 2-52 壁画颜料层局部片状脱落



图 2-53 壁画颜料层局部片状脱落



图 2-54 壁画颜料层局部点状脱落



图 2-55 壁画颜料层局部化晕式脱落

2.4.3.7 裂隙

裂隙病害主要集中在北壁主尊左右两侧，左侧裂隙相对于右侧裂隙更深、更宽；该病害成因主要为北壁顶部两根梁架木直接立于北壁顶部，梁架并无顶梁柱支撑，因此，建筑顶部的部分重量通过梁架直接作用于北侧墙体，墙体无法承受梁柱垂直向下作用的压力，进而产生开裂，墙体开裂直接导致壁画裂隙的产生。通过内窥镜勘察，北壁左侧壁画裂隙局部已贯穿至古建外部包砖，其宽度最宽处达十公分左右；右侧裂隙经探查，并未发现贯穿迹象，其

宽度明显窄于左侧裂隙。东壁与西壁均未发现有裂隙病害。



图 2-56 主尊左侧裂隙



图 2-57 主尊左侧局部裂隙

2.4.3.8 孔洞

该类病害主要集中在东壁、西壁壁画下部，多为人为破坏所致。中部及顶部壁画未发现孔洞。



图 2-58 西壁下部孔洞



图 2-59 西壁下部孔洞



2.4.3.9 不稳定边沿起翘

该类病害多出现在壁画顶部、底部脱落处边缘及壁画空鼓脱落处边缘部位，面积较大，与地仗层粘接不牢固，稳定性不佳，轻触即有脱落风险，部分区域已有局部断裂，仅靠小块粘接区域支撑（如图 2-60、图 2-61 所示），亟需进行加固处理。



图 2-60 边缘起翘部位



图 2-61 空鼓起翘部位

2.4.3.10 动物损害

该类病害面积较小，主要为鸟类及其他动物的排泄附着物，多为白色或棕黑色混合体（如图 2-62、图 2-63 所示）。



图 2-62 壁画表面局部鸟类粪便



图 2-63 壁画表面局部鸟类粪便

2.4.3.11 铁钉、铁丝

该类病害主要集中在壁画下部，多为人为在壁面钉入铁钉，部分铁钉上栓有长短不一的铁丝或铁片（如图 2-64、2-65 所示），局部被铁钉钉入的壁画曾被剔除，剔除部位已形成坑凹孔洞。



图 2-64 北壁下部铁钉及铁丝



图 2-65 北壁铁钉

2.4.4 壁画病害量统计

经现场详细勘察、测量，大雄宝殿壁画主要病害共十三种，各病害面积详见下表：

表 2-1 大雄宝殿壁画病害面积统计

| 病害名称   | 病害面积（单位：m <sup>2</sup> ，裂隙、边缘起翘病害单位为 m） |
|--------|-----------------------------------------|
| 积尘     | 118.1                                   |
| 水渍     | 38.42                                   |
| 泥渍     | 25.3                                    |
| 龟裂     | 56.54                                   |
| 点状脱落   | 61.92                                   |
| 颜料层脱落  | 17.45                                   |
| 涂写     | 20.25                                   |
| 人为损害   | 99.43                                   |
| 动物损害   | 1.56                                    |
| 地仗脱落   | 7.3                                     |
| 空鼓     | 94.52                                   |
| 裂隙     | 22.68                                   |
| 地仗边沿起翘 | 179.8                                   |

根据以上图表，大雄宝殿壁画主要病害为积尘病害（占总病害比例 21.84%）、空鼓病害（占总病害量 17.48%）、人为损害（占总病害量 18.39%）及点状脱落（占总病害比例 11.45%），此四种类型病害量总和占病害总比例的六成以上；此外，龟裂病害占总病害量 10%左右；水渍病害占总病害量 7%左右；其余病害面积均未超过总病害面积的 5%，各类病害占病害总量的比例如图 2-66 所示。同时，壁画地仗边沿起翘病害量也较大，共有 179.8m。

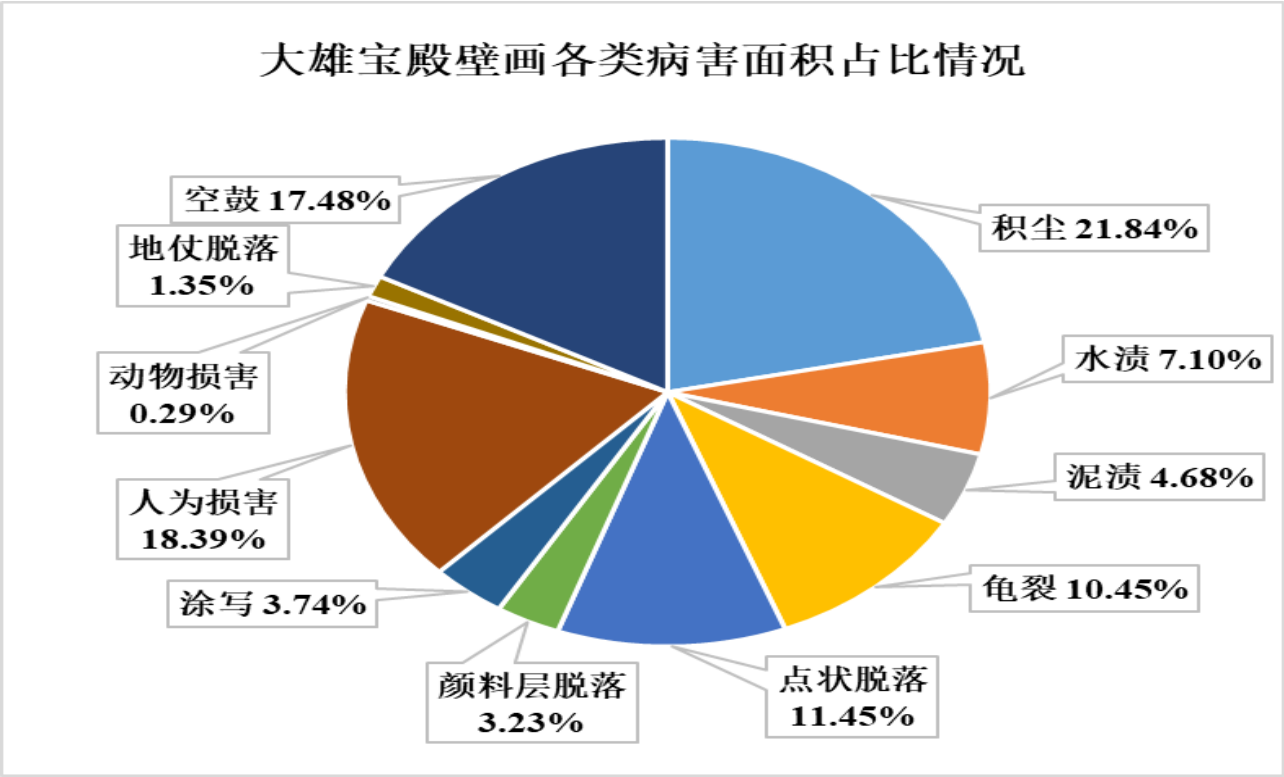


图 2-66 大雄宝殿壁画各病害量占病害总量的比例



## ● 保护工程设计

目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 1. 设计说明 .....              | 1  |
| 2 修缮性质 .....               | 1  |
| 2.1 保护修缮原则.....            | 1  |
| 2.2 保护修缮依据.....            | 2  |
| 2.3 保护修复技术路线.....          | 2  |
| 3.壁画制作工艺 .....             | 3  |
| 3.1 检测分析目的.....            | 3  |
| 3.2 现场无损检测.....            | 3  |
| 3.2.1 检测仪器与方法 .....        | 3  |
| 3.2.2 测试结果 .....           | 5  |
| 3.3 实验室检测分析.....           | 7  |
| 3.3.1 样品信息 .....           | 7  |
| 3.3.2 检测仪器与方法 .....        | 8  |
| 3.3.3 分析结果 .....           | 10 |
| 3.4 结论.....                | 18 |
| 4.修复加固材料基本物理力学性能试验 .....   | 19 |
| 4.1 壁画灌浆、加固材料筛选试验.....     | 19 |
| 4.1.1 试验材料 .....           | 19 |
| 4.1.2 实验内容及方法 .....        | 20 |
| 4.1.3 试样制备及养护 .....        | 20 |
| 4.1.4 测试方法、仪器 .....        | 21 |
| 4.1.5 测试结果 .....           | 24 |
| 4.2 壁画地仗填补、边沿加固材料筛选试验..... | 28 |
| 4.2.1 试验材料 .....           | 28 |
| 4.2.2 试验内容及方法 .....        | 28 |
| 4.2.3 试样制备及养护 .....        | 28 |

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| 4.2.4 测试结果 .....               | 29        |
| 4.3 结论 .....                   | 31        |
| 5.现场保护修复试验.....                | 31        |
| 5.1 原则与依据 .....                | 31        |
| 5.2 补型灌浆修复材料制备 .....           | 31        |
| 5.3 空鼓壁画保护修复试验 .....           | 33        |
| 5.4 不稳定地仗层边沿加固 .....           | 34        |
| 5.5 脱落、孔洞地仗层加固填补 .....         | 35        |
| 5.6 裂隙加固填补 .....               | 37        |
| 5.7 表面污染物清理 .....              | 38        |
| 5.7.1 积尘 .....                 | 38        |
| 5.7.2 泥渍 .....                 | 39        |
| 5.7.3 涂写 .....                 | 40        |
| 5.8 修复试验效果检测 .....             | 42        |
| 5.8.1 地仗脱落填补、加固试验区硬度检测 .....   | 42        |
| 5.8.2 地仗裂隙、脱落填补加固试验区声波检测 ..... | 43        |
| 5.8.3 地仗填补试验区色度检测 .....        | 44        |
| 5.9 结论 .....                   | 46        |
| 6. 大雄宝殿古建保护修缮.....             | 47        |
| 6.1 工程范围 .....                 | 47        |
| 6.2 修缮原则及依据 .....              | 47        |
| 6.3 规范文件 .....                 | 47        |
| 6.4 指导思想 .....                 | 错误!未定义书签。 |
| 6.5 设计目标 .....                 | 48        |
| 6.6 整体保护措施 .....               | 48        |
| 6.7 文物建筑维修及环境、排水整治措施对照表 .....  | 48        |
| 6.8 施工做法说明 .....               | 51        |
| 6.8.1 材质说明 .....               | 51        |



|                  |    |
|------------------|----|
| 6.8.2 施工要求 ..... | 51 |
| 6.8.3 工程做法 ..... | 51 |
| 6.9 壁画、泥塑防护..... | 51 |
| 6.10 施工管理措施..... | 54 |
| 6.11 施工管理.....   | 54 |
| 6.12 施工注意事项..... | 54 |
| 7.概算 .....       | 55 |

## 1. 设计说明

通过对大雄宝殿壁画历史信息与保存现状等多方面的实际勘查、记录和分析，确认大雄宝殿壁画历史价值、宗教价值、社会价值颇高，但其保存现状堪忧。从整体调查结果分析，各种壁画病害特征较为明显，保存现状尚属完整，考虑到大雄宝殿壁画的完整性，仅仅评估壁画本体是不够的，必须从两方面兼顾：

### （1）壁画本体病害

大雄宝殿壁画的主要病害包括地仗层脱落、空鼓、裂隙、起翘、污染、孔洞、人为破坏、积尘、泥渍损害等 9 种病害。

### （2）建筑破坏对壁画的影响

壁画所依附的载体——大雄宝殿自身存在较为严重的问题，顶部梁架因无立柱支撑，大部分压力集中于大殿北侧墙壁，致使北壁受力不均，局部无法承受顶部梁架重力，进而导致墙体发生开裂，虽现阶段文物尚属于较为稳定状态，但不排除病害继续劣化可能，届时将严重影响古建及所属壁画的安全。因此大雄宝殿壁画的保护需建立在载体稳定的基础下进行，首先明确对建筑的保护修缮措施，再进行壁画的保护。

鉴于此，本方案以壁画的保护修复设计为重点，制定各类病害的治理方法和措施，同时针对古建（以北壁为主）病害特点，结合壁画修复工艺流程及材料，进行保护修缮设计。

## 2 修缮性质

大雄宝殿壁画保护项目是在前期调研和分析检测工作的基础上，严格遵守“不改变文物原状”、“最小干预性”、“可再处理性”和“最大兼容性”等文物保护的基本原则，采用科学、合理、有效的技术措施对病害进行治理。如壁画表面污染物清除与地仗层大面积残缺的修复工作，将严格按照“不改变文物原状”原则进行保护修复，对壁画残存的大部分地仗层以及地仗层已脱落部位等区域，以“保持现状”为主，保护壁画的文化遗存及历史信息。整体保护设计方案，采用污染物清除、空鼓裂隙灌浆、不稳定地仗层边沿加固、起翘壁画加固回贴、残缺地仗补全及表面效果处理等技术措施对大雄宝殿壁画进行科学保护。

大雄宝殿壁画由北侧壁画、东侧壁画及西侧壁画等多部分构成，各部位壁画的保存状况和病害状况不同，但其保护修复目的都是以消除和减缓各种破坏因素、保护文化遗存、最大

限度地将现存文物主体所赋存的形象资料及历史信息留给后人、展示遗址形制结构及其蕴含的文化价值、历史价值等为主。

### 2.1 保护修缮原则

大雄宝殿壁画存在多种病害，且多为多种病害共存。为了达到保护大雄宝殿壁画的最终目的，我们在设计“浚县大伾山天宁寺大雄宝殿壁画保护设计方案”和具体保护修复施工过程中均严格遵循下列原则：

以壁画裂隙、壁画表层污染物、空鼓壁画及残存不稳定地仗层为重点，采取相应的保护措施。

重视勘察研究工作。大雄宝殿壁画保护措施都必须以勘察研究成果为基础，内容包括：全面、深入理解大雄宝殿壁画的完整性；对壁画及所处载体进行详细勘察，充分研究、真实记录大雄宝殿壁画文物价值的赋存载体；对壁画的完整性、真实性及保存状况进行系统评估；客观分析大雄宝殿壁画损毁的各种自然和人为原因。

以保护壁画现状为指导思想，尊重文物的真实性与完整性。任何保护措施均应严格遵守“不改变文物原状”、“最小干预性”、“可再处理性”和“最大兼容性”等基本原则，保持大雄宝殿壁画的真实性；尽可能地保护遗存本体所包含的全部历史信息，保持大雄宝殿壁画的完整性。

安全性要求。保护措施的目的应是出于有效保持大雄宝殿壁画的稳定与安全状态；保护措施不得破坏遗存本体，或对其构成威胁。保护采用传统技术与现代科学技术相结合的手段进行，工程措施上尽量采用隐蔽性技术。

风险防范。制定具体保护措施应采取审慎的态度，预测风险，并采取防范措施。尽可能采用可逆性或可持续的保护措施；现代材料的使用应做必要的试验。尽量减少应用材料种类，注意材料的兼容性、稳定性、可持续性，把握修复工艺的可辨性。依据“可持续保护”原则、“原址保护”原则。按照使用的“所有材料及工艺必须经过试验和研究，证明是对文物古迹有效的、基本无害”的要求，选用文物原有的制作材料，在保护修复中使用的各种材料要尽量做到可逆，材料性能要经过严格的科学分析和筛选论证，以便于文物的再修复，以及文物材料的科学选择和重新应用。



修复材料的选材、配比原则：①修补材料总体应具有与修补部位周边原胎体材料相同的热膨胀系数和收缩性，力学强度应近于原材料，粘结强度近于原材料；与修补部位周边原材料具有良好的颗粒组配，化学性质稳定，不对接触面的原始材料造成侵害，且具有较强的抗风化能力，且不应引发其他有害反应。②修补材料的填充剂本身不应提供高于原地仗层材料固有的粘结强度，在此前提下可选择与原地仗层材料相同或相近的成分及配比，或选择均匀且具有柔韧性的材料；修补材料的黏结剂应具有与原材料明显不同的溶解性能（如反应于不同的溶剂）。

使用非传统材料需遵循的原则：①安全性：对文物本体构成物质不具腐蚀性及破坏力，②耐久性：具有较长的老化周期，在老化过程中对与其接触的文物本体物质不造成化学或物理损害。③可去除：材料中非挥发性物质在文物本体表面的附着部分或渗透性残留物需具有良好的可去除性，可通过对文物本体不具危险性的手法完全清除（如反应于不同的溶剂）。

重视遗址环境，加强环境监测。环境是影响大雄宝殿壁画病害发育的重要因素，温度、湿度、渗水、凝结水等问题会造成壁画的进一步损坏，应坚持对壁画所处环境进行长期监测，记录分析因环境问题对墓室壁画产生的影响因素。

重视文物历史、科学和文化价值展示。在不损害大雄宝殿壁画文物价值的前提下，保护措施应考虑大雄宝殿壁画未来可能涉及的合理展示和正确解读，严格遵守“四个保持”原则，即保持原有形制（包括原平面布局、造型、形式特征和艺术风格）、原有结构、原有材料和原工艺技术，避免误导。修复保护不强求完整，但要达到整洁、安全、美观，具有一定的观赏性，以延缓病害发展，延续文物寿命为主要目的。

管控要求。各类保护措施应满足大雄宝殿壁画的保存、管理、安防和日常维护要求；日常管理与维护也是大雄宝殿壁画保护的主要措施之一。

2.2 保护修缮依据

在设计浚县大伾山天宁寺大雄宝殿壁画保护设计方案过程中，应严格遵循以下依据：

- 1) 《中华人民共和国文物保护法》(2002 年 10 月 28 日)；
- 2) 《文物保护法实施条例》(2003 年 7 月 1 日)；
- 3) 《保护世界文化和自然遗产公约》(1972 年)；
- 4) 《纪念建筑、古建筑、石窟寺等修缮工程管理办法》(1986 年 7 月)；

- 5) 《中华人民共和国文物保护法》(2002 年 10 月)；
- 6) 《中华人民共和国文物保护法实施条例》(2003 年 7 月)；
- 7) 《中国文物古迹保护准则》(2015 年)；
- 8) 《文物保护工程管理办法》(2003 年 4 月)；
- 9) 《大雄宝殿壁画现场勘测及其成因分析结论》；
- 10) 《大雄宝殿壁画制作工艺及制作材料分析结论》；
- 11) 《大雄宝殿壁画保护材料及保护方法实验结论》；
- 12) 《大雄宝殿壁画保护材料及保护方法实验补充实验及结论》；
- 13) 《古代壁画现状调查规范》；
- 14) 《中华人民共和国合同法》；
- 15) 《中华人民共和国安全生产法》；
- 16) 《建设施工组织设计规范》；
- 17) 《文物建筑施工组织设计编制要求》
- 18) 《文物建筑工程质量检验评定标准》；
- 19) 《建筑工程项目管理规范》；
- 20) 《建设工程监理规范》；
- 21) 《建筑工程文件归档整理规范》；
- 22) 《安全防范工程技术规范》；
- 23) 《中华人民共和国城市规划法》；
- 24) 《中华人民共和国环境保护法》；
- 25) 《建筑施工扣件式钢管脚手架安装技术规范》

2.3 保护修复技术路线

在大雄宝殿壁画保护过程中，严格遵循《中国文物古迹保护准则》第六条之规定，以“研究应当贯穿在保护工作全过程，所有保护程序都要以研究的成果为依据”为准则，按以下程序步骤对壁画实施了保护修复（如图 2-1 所示）。

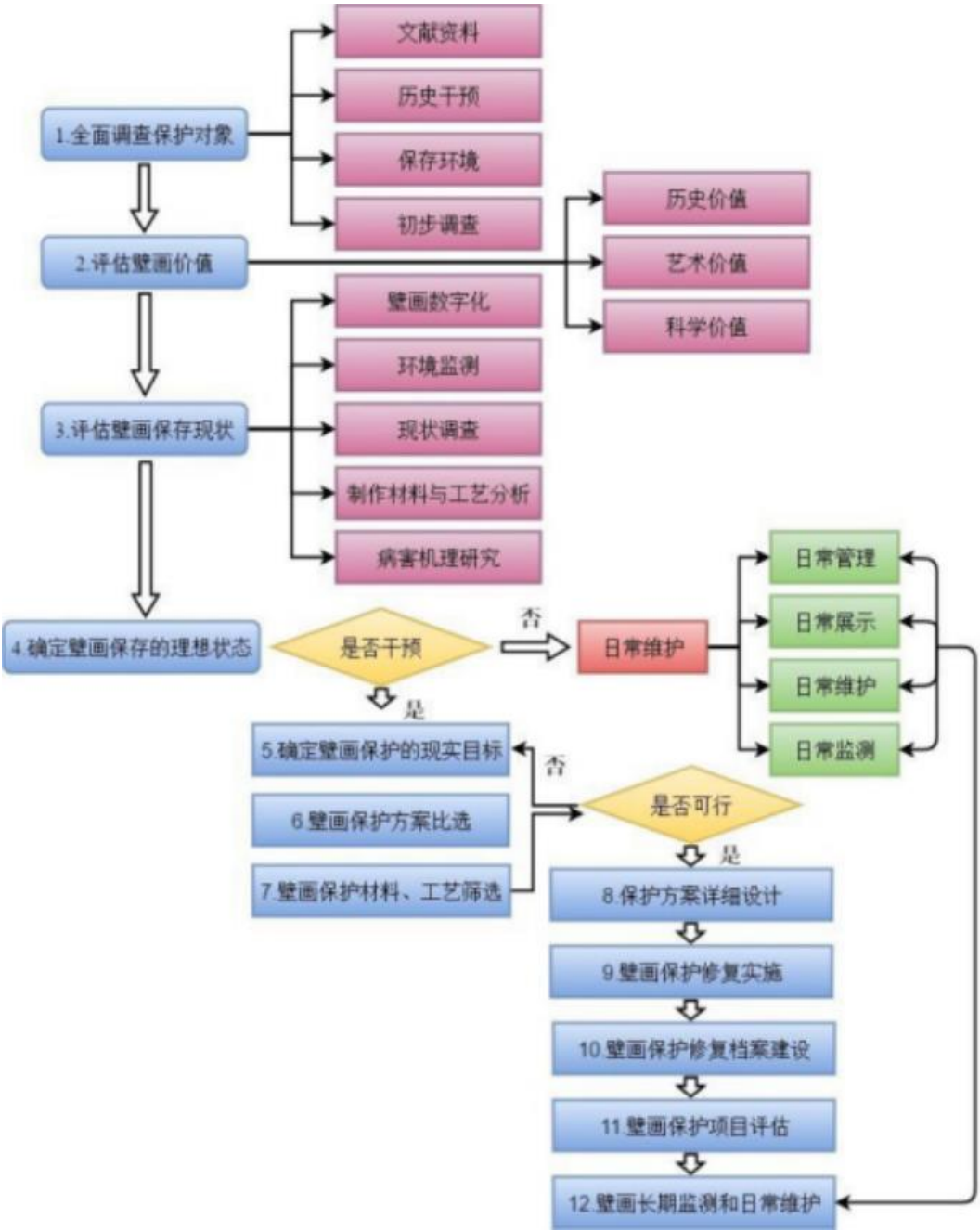


图 2-1 大雄宝殿壁画保护技术路线图

3.壁画制作工艺

3.1 检测分析目的

对壁画制作材料和工艺的研究是讨论壁画病害机理不可缺少的基础信息，为筛选壁画保护修复材料与工艺提供重要依据，也是制定大雄宝殿壁画保护对策，开展保护实施工程的前提条件。同时，开展壁画制作材料和工艺研究，可以进一步挖掘壁画蕴含的艺术价值、科学价值和历史价值。因此这一研究内容是一项基础性工作，需要在大量科学分析的基础上进行

系统研究。

本方案针对一种材料使用多种分析手段，使分析结果可以进行相互印证，确保准确可靠。

3.2 现场无损检测

为了最大程度地减小对文物的干预，并保留文物保存状况及其化学成分的相关信息，对大伾山天宁寺大雄宝殿壁画进行现场无损检测，检测仪器选择使用便携式 X 射线荧光光谱仪进行壁画材料元素分析，使用便携式色度计进行色度测试，仪器信息及测试结果如下。

3.2.1 检测仪器与方法

（1）便携式 X 射线荧光光谱仪

使用 Thermo Niton XL2 便携式 X 荧光能谱仪设备，设备型号为 XL3t 950。Thermo NitonXL2 XRF 分析仪可为制造品质保证提供快速准确的元素测定。XL2 分析仪采用标准集成式相机准确定位分析区域，可提供即时、无损元素分析以及偶存元素和痕量元素分析。手持式 Niton XL2 分析仪轻巧、耐用，适用文物本体各部位无损检测，包括非金属材料鉴别、壁画颜料层及地仗层元素分析等。

描述：Niton XL2 XRF 分析仪

XL2-高性能半导体检测器 Ag 阳极，最大 45 kV、80 μA，固定角度的彩色触摸屏显示器

多种应用模式：金属合金、电子金属、贵金属、矿土模式（依据应用的可行性）

合规性：CE、RoHS

数据存储器：64 MB 系统内存/128 MB 用户内存，仪器内部能够存储>10,000 组含光谱信息的读数

数据传输：USB、蓝牙和 RS-232 串口数据线

显示类型：固定角度的彩色触摸屏显示器

高度（英制）：4 英寸

高度（公制）：100 mm

平台长度（英制）：10.25 英寸

长度（公制）：256 mm



|                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 宽度（英制）：11 英寸                                                                                                                                                                                                                                              |
| 宽度（公制）：275 mm                                                                                                                                                                                                                                             |
| 配件：便携式测试架；固定（台式）测试架；移动测试架；电焊面罩；土壤测试保护                                                                                                                                                                                                                     |
| 功耗：100 μA                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 安全特性：通过密码保护实现用户安全                                                                                                                                                                                                                                         |
| 标配配件：集成式相机；可锁定的防护式便携箱；防护式皮带套；两个 6 芯锂离子电池组；110/220 V 交流电池充电器/交流适配器；PC 连接线（USB 和 RS-232）；Thermo Scientific™ Niton Data Transfer (NDT™) PC 软件；安全绳；校验样品/标准品                                                                                                   |
| 管类型：Ag 阳极，最大 45 kV、80 μA                                                                                                                                                                                                                                  |
| 重量（英制）：3.0 磅，5.8 盎司                                                                                                                                                                                                                                       |
| 重量（公制）：1.53 kg                                                                                                                                                                                                                                            |
| 电压：45 kV                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 系统电子：400 MHz ARM 11 CPU，300 MHz DSP，用于信号处理的 80 MHz ASICS DSP                                                                                                                                                                                              |
| 数据录入：触摸屏键盘，用户可编程的选取列表                                                                                                                                                                                                                                     |
| 采用 Thermo Niton XL2 便携式 X 荧光能谱仪设备，现场选取颜料层不同颜色区域及白灰地仗、泥质地仗裸露区域进行现场无损检测，分析不同测试样点元素成分。                                                                                                                                                                       |
| <b>（2）便携式色度计</b>                                                                                                                                                                                                                                          |
| 使用 Konica Minolta 公司的 CM-700d1 型分光测色计，测量波长范围为 400nm～700nm，测量波长间隔为 10 nm，测量波长间隔为 10nm。手持式便携 CM-700d1 型无损分光测色计，具有结构紧凑、操作方便等特点，其锥状测量探头可以更好地进行测量定位，对壁画如凹陷区域、浅层裂隙区域等特殊部位均可进行色度测定，垂直机身设计保证了测量稳定性与方便性，甚至不规则测试区域表面也可以轻松测量。测量口径可根据实际样品尺寸，在 Φ 8 mm 和 Φ 3 mm 之间进行选择。 |
| 描述：Konica Minolta CM-700d1 型分光测色计                                                                                                                                                                                                                         |
| 照明/受光系统：d/8（漫射照明，8°方向接收）SCI（包含镜面反射光）/SCE（不包含镜面反射光）同时测量(CIE5、ISO7724/1、ASTM E1164、DIN5033 Teil7、JIS Z8722 条件 C）                                                                                                                                            |
| 传感器：硅光二极管阵列（双列 40 组）                                                                                                                                                                                                                                      |
| 分光方式：平面回折光栅                                                                                                                                                                                                                                               |

|                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 积分球尺寸：Φ40mm                                                                                                                                                                           |
| 测量波长范围：400nm～700nm                                                                                                                                                                    |
| 测量波长间隔：10nm                                                                                                                                                                           |
| 半波宽：约 10nm                                                                                                                                                                            |
| 反射率测量范围：0～175%，分辨率：0.01%                                                                                                                                                              |
| 照明光源：脉冲氙灯（含 UV 滤镜）                                                                                                                                                                    |
| 测量时间：1 秒                                                                                                                                                                              |
| 最小测量间隔：约 2 秒（SCI 或 SCE 模式）                                                                                                                                                            |
| 测 量 / 照 明 口 径 ： MAV:Φ8mm/Φ11mm ； SAV:Φ3mm/Φ6mm （CM-600d 仅 有 MAV:Φ8mm/Φ11mm）；USAV: Ø2.4mm/Ø3mm(CM-700d-U)                                                                              |
| 重复性：光谱反射率：标准偏差小于 0.1%，色度值：标准偏差值小于 ΔE*ab0.04，*当白板校准后以 10 秒间隔测量白板 30 次                                                                                                                  |
| 器间差：小于 ΔE*ab0.2 (SCI/MAV)，*23℃时以主机测量 BCRA 系列 II 12 色板                                                                                                                                 |
| 语言模式：英语/日语/德语/法语/西班牙语/意大利语/中文                                                                                                                                                         |
| 标准观察者：2°视角、10°视角                                                                                                                                                                      |
| 观察光源：A、C、D50、D65、F2、F6、F7、F8、F10、F11、F12（最多可同时选择两种光源进行显示）                                                                                                                             |
| 显示内容：光谱数据/图，色度值，色差值，合格/不合格，仿真色彩，色彩评估                                                                                                                                                  |
| 色空间/色度指标：L*a*b*，L*C*h，Hunter Lab，Yxy，XYZ 及这些色空间的色差，Munsell MI，WI(ASTM E313)，YI(ASTM E313-73/ASTM D1925)，ISO Brightness，8 度光泽度ΔE*ab (CIE1976)，ΔE*94 (CIE1994)，ΔE00 (CIE2000)，CMC (l:c) |
| 内存：4,000 组，标准色数据：1,000 组                                                                                                                                                              |
| 端口：USB1.1；蓝牙®标准版 1.2*                                                                                                                                                                 |
| 电源：碱性电池或可充电镍氢电池（×4），电源适配器 AC-A305                                                                                                                                                     |
| 操作温湿度范围：5℃～35℃，相对湿度 80%以下（35℃），无凝露                                                                                                                                                    |
| 储存温湿度范围：0℃～45℃，相对湿度 80%以下（35℃），无凝露                                                                                                                                                    |
| 尺寸（长×宽×高）：107×73×211.5mm                                                                                                                                                              |
| 重量：约 550g（不含白色校正板及电池）                                                                                                                                                                 |

- 标准配件：白色校正板 CM-A177,零校正盒 CM-A182
- Φ8mm 目标罩（含稳定片）CM-A178
- Φ8mm 目标罩（不含稳定片）CM-A180
- Φ3mm 目标罩（含稳定片）CM-A179
- Φ3mm 目标罩（不含稳定片）CM-A181
- 电源适配器 AC-A305，腕带 USB 连接线 IF-A17，5 号电池×4
- 可选配件：Φ8mm 目标罩（含玻璃镜片）CM-A183 替换用防尘罩（聚烯烃）CM-A186
- 粉末测试装置 CM-A184
- 色彩管理软件 SpectraMagic™ NX CM-S100w
- 防尘套件 CM-A185
- 外箱 CM-A176

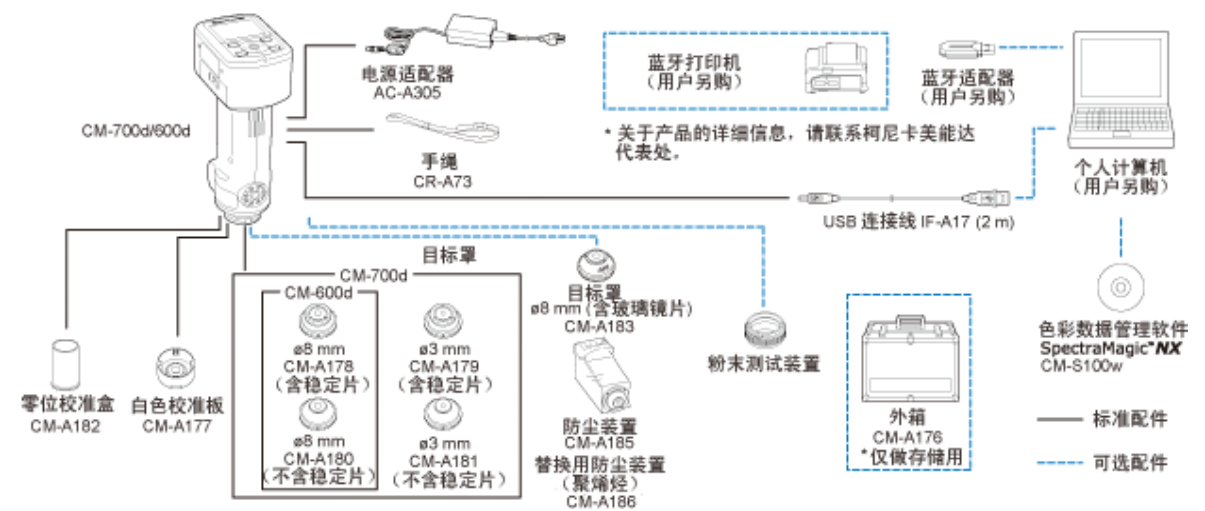


图 3-1 CM-700d1 型分光测色计结构图

色度计是模拟人眼对红、绿、蓝光感应的光学测量仪器，主要是根据 CIE 色空间的 Lab, Lch 原理，测量显示出样品与被测样品的色差 $\Delta E$  以及 $\Delta Lab$  值，可测量样品的反射色度、吸收率、亮度以及各种色值等等。所有的颜色都可以通过任何一种 Lab 颜色标尺被感知并测量，L 轴为亮度轴，0 为黑，100 为白；a 轴为红绿轴，正值为红，负值为绿，0 为中性色；b 轴为黄蓝轴，正值为黄，负值为蓝，0 为中性色。这些标尺可以用来表示试样与标样的颜色差异，通常以 $\Delta a$ 、 $\Delta b$ 、 $\Delta L$  为标识符， $\Delta E$  被定义为样品的总色差，但其不能表示出试样色差的偏移方向， $\Delta E$  数值越大，说明色差越大。

色度的测定与记录是壁画保护修复工作实施前的重要基础数据储备，通过对修复前壁画

的原始色度测定，为保护方案修复工艺的制定、后期修复效果的比对提供准确、科学的数据支撑。现场选取多处壁画不同颜色、颜料区域及不同层位地仗区域测试点进行无损色度测定。

3.2.2 测试结果



图 3-2 现场无损/微损检测东墙测试点



图 3-3 现场无损/微损检测西墙测试点



图 3-4 现场无损/微损检测北墙测试点



表 3-1 现场无损检测点色度、元素测试结果

| 测试点<br>编号 | 位置 | 颜色  | 色度测试结果 |        |        | 荧光测试结果      |          |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |       |       |      |      |       |      |       |      |       |      |      |  |  |  |
|-----------|----|-----|--------|--------|--------|-------------|----------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|--|--|--|
|           |    |     | L      | a      | b      | Type        | Duration | Ba   | Zr   | Sr   | Rb   | As   | Pb    | Zn   | Cu    | Co   | Fe    | Mn   | Cr   | Ti   | Ca    | K     | Al   | P    | Si    | Cl   | S     | Mg   | Hg    | Sc   | Te   |  |  |  |
| 1         | 东墙 | 黑   | 38.917 | 1.357  | 5.637  | TestAll Geo | 120      | 0.15 | 0.01 | 0.06 | 0.00 | 0.01 | 0.02  | 0.00 | 0.01  | 0.00 | 0.87  | 0.05 | 0.01 | 0.63 | 45.26 | 2.48  | 5.54 | 0.14 | 21.06 | 0.15 | 20.42 | 2.78 | 0.00  | 0.23 | 0.03 |  |  |  |
| 2         | 西墙 | 黑   | 32.020 | 0.200  | 2.610  | Soil        | 60.99    | 0.17 | 0.01 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.01 | 0.00  | 0.02 | 0.56  | 0.05 | 0.00 | 0.02 | 61.27 | 1.10  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 36.42 | 0.00 | 0.00  | 0.21 | 0.04 |  |  |  |
| 3         | 西墙 | 白   | 74.380 | 5.750  | 18.630 | Soil        | 61.75    | 0.17 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.01 | 0.00  | 0.00 | 0.59  | 0.06 | 0.00 | 0.03 | 77.46 | 0.84  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 20.48 | 0.00 | 0.00  | 0.17 | 0.04 |  |  |  |
| 4         | 东墙 | 红   | 42.200 | 21.107 | 18.770 | Soil        | 92.71    | 0.27 | 0.00 | 0.03 | 0.04 | 0.76 | 2.66  | 0.10 | 0.01  | 0.00 | 0.92  | 0.05 | 0.01 | 0.20 | 39.82 | 1.37  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 49.19 | 0.00 | 4.11  | 0.21 | 0.07 |  |  |  |
| 5         | 东墙 | 红   | 44.330 | 15.520 | 15.040 | TestAll Geo | 92.33    | 0.18 | 0.00 | 0.07 | 0.02 | 0.45 | 1.52  | 0.16 | 0.01  | 0.00 | 0.65  | 0.03 | 0.01 | 0.25 | 32.27 | 1.00  | 0.00 | 3.46 | 15.39 | 0.36 | 41.79 | 0.00 | 2.07  | 0.15 | 0.04 |  |  |  |
| 6         | 东墙 | 红   | 41.760 | 12.420 | 12.790 | Soil        | 60.36    | 0.40 | 0.00 | 0.02 | 0.05 | 1.23 | 5.19  | 0.12 | 0.00  | 0.00 | 1.11  | 0.06 | 0.01 | 0.32 | 30.60 | 1.42  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 53.52 | 0.00 | 5.49  | 0.15 | 0.10 |  |  |  |
| 7         | 西墙 | 红   | 38.640 | 20.500 | 13.500 | Soil        | 80.35    | 0.54 | 0.01 | 0.00 | 0.24 | 1.50 | 4.15  | 0.39 | 0.00  | 0.00 | 0.33  | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 13.36 | 0.62  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 54.29 | 0.00 | 23.81 | 0.00 | 0.16 |  |  |  |
| 8         | 北墙 | 红   | 43.19  | 20.26  | 13.1   | Soil        | 60.2     | 0.73 | 0.00 | 0.00 | 0.19 | 3.58 | 12.98 | 0.32 | 0.00  | 0.06 | 0.68  | 0.00 | 0.00 | 0.21 | 7.83  | 0.73  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 53.77 | 0.00 | 18.12 | 0.00 | 0.23 |  |  |  |
| 9         | 西墙 | 赭   | 30.730 | 4.220  | 14.530 | Soil        | 80.51    | 0.23 | 0.01 | 0.08 | 0.00 | 0.03 | 0.09  | 0.00 | 10.30 | 0.00 | 1.32  | 0.08 | 0.02 | 0.36 | 60.87 | 2.70  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 23.35 | 0.00 | 0.00  | 0.37 | 0.04 |  |  |  |
| 10        | 西墙 | 赭   | 31.630 | 8.180  | 10.630 | Soil        | 80.64    | 0.30 | 0.01 | 0.10 | 0.00 | 0.04 | 0.14  | 0.00 | 19.23 | 0.00 | 1.63  | 0.12 | 0.05 | 0.50 | 57.97 | 4.86  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 14.20 | 0.00 | 0.00  | 0.58 | 0.05 |  |  |  |
| 11        | 东墙 | 褐   | 43.430 | 4.560  | 20.520 | TestAll Geo | 92.37    | 0.17 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.03 | 0.17  | 0.00 | 10.17 | 0.00 | 1.00  | 0.05 | 0.01 | 0.20 | 39.60 | 1.70  | 0.00 | 0.00 | 11.67 | 0.68 | 34.21 | 0.00 | 0.00  | 0.14 | 0.03 |  |  |  |
| 12        | 西墙 | 棕   | 36.490 | 4.260  | 7.200  | Soil        | 80.44    | 0.50 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 3.97 | 16.43 | 0.02 | 0.01  | 0.03 | 0.54  | 0.07 | 0.01 | 0.05 | 10.15 | 2.37  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 65.29 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.16 |  |  |  |
| 13        | 西墙 | 黄   | 52.830 | 6.440  | 21.730 | Soil        | 80.52    | 0.27 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.75 | 3.33  | 0.01 | 0.01  | 0.00 | 1.94  | 0.08 | 0.01 | 0.17 | 50.65 | 1.95  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 40.33 | 0.00 | 0.00  | 0.22 | 0.06 |  |  |  |
| 14        | 东墙 | 绿   | 42.097 | -3.553 | 9.210  | TestAll Geo | 107.65   | 0.17 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.40 | 2.81  | 0.00 | 0.01  | 0.00 | 1.37  | 0.04 | 0.00 | 0.13 | 36.75 | 1.09  | 2.54 | 0.30 | 7.84  | 0.22 | 41.32 | 4.69 | 0.00  | 0.10 | 0.04 |  |  |  |
| 15        | 东墙 | 绿   | 31.570 | 4.650  | 10.220 | Mining      | 81.93    | 0.10 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.02 | 0.06  | 0.00 | 6.23  | 0.00 | 0.87  | 0.00 | 0.00 | 0.21 | 46.18 | 0.72  | 1.90 | 0.11 | 8.62  | 0.75 | 34.18 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 |  |  |  |
| 16        | 东墙 | 绿   | 44.430 | -2.810 | 13.980 | Mining      | 81.82    | 0.09 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.67 | 4.71  | 0.00 | 0.01  | 0.00 | 1.59  | 0.00 | 0.00 | 0.18 | 30.34 | 1.01  | 3.01 | 0.27 | 12.91 | 0.57 | 39.54 | 4.99 | 0.00  | 0.00 | 0.00 |  |  |  |
| 17        | 东墙 | 绿   | 38.170 | -3.720 | 7.390  | Mining      | 81.12    | 0.07 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.47 | 2.56  | 0.00 | 0.01  | 0.00 | 2.45  | 0.00 | 0.01 | 0.17 | 31.83 | 1.58  | 5.16 | 0.76 | 15.77 | 0.64 | 32.08 | 6.37 | 0.00  | 0.00 | 0.00 |  |  |  |
| 19        | 西墙 | 浅绿  | 58.660 | 2.120  | 17.970 | Soil        | 80.85    | 0.21 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.36 | 1.31  | 0.00 | 0.01  | 0.00 | 1.17  | 0.06 | 0.00 | 0.03 | 53.45 | 2.57  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 40.35 | 0.00 | 0.00  | 0.26 | 0.05 |  |  |  |
| 20        | 北墙 | 深绿  | 47.77  | -3.48  | 13.62  | Mining      | 81.38    | 0.07 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.01 | 0.05  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 2.18  | 0.00 | 0.02 | 0.48 | 43.29 | 1.63  | 5.23 | 1.38 | 9.01  | 0.13 | 33.61 | 2.83 | 0.00  | 0.00 | 0.00 |  |  |  |
| 21        | 北墙 | 浅绿  | 55.26  | -1.88  | 9.26   | Mining      | 82.23    | 0.06 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.01 | 0.01  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 1.20  | 0.00 | 0.02 | 0.68 | 45.10 | 0.82  | 6.03 | 1.89 | 15.71 | 0.11 | 28.31 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 |  |  |  |
| 22        | 东墙 | 蓝   | 41.300 | -6.747 | -6.323 | Mining      | 84.17    | 0.10 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.65 | 3.55  | 0.00 | 0.01  | 0.00 | 2.27  | 0.00 | 0.00 | 0.22 | 29.83 | 3.31  | 5.55 | 2.74 | 10.76 | 0.37 | 34.26 | 6.28 | 0.00  | 0.00 | 0.00 |  |  |  |
| 23        | 西墙 | 蓝   | 43.220 | -2.380 | 5.350  | Mining      | 83.22    | 0.14 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 1.43 | 8.12  | 0.00 | 0.01  | 0.00 | 1.20  | 0.05 | 0.00 | 0.08 | 24.83 | 1.73  | 4.53 | 1.65 | 12.75 | 0.46 | 39.31 | 3.61 | 0.00  | 0.00 | 0.00 |  |  |  |
| 25        | 西墙 | 浅蓝  | 33.290 | 23.050 | 13.100 | Soil        | 80.43    | 0.31 | 0.00 | 0.06 | 0.01 | 2.40 | 10.07 | 0.01 | 0.02  | 0.00 | 2.39  | 0.04 | 0.01 | 0.20 | 27.90 | 3.21  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 53.04 | 0.00 | 0.01  | 0.05 | 0.10 |  |  |  |
| 26        | 西墙 | 浅蓝  | 58.510 | 6.790  | 15.490 | Soil        | 80.73    | 0.21 | 0.00 | 0.07 | 0.01 | 2.02 | 8.81  | 0.01 | 0.01  | 0.00 | 3.03  | 0.02 | 0.00 | 0.18 | 31.18 | 3.75  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 50.42 | 0.00 | 0.01  | 0.04 | 0.07 |  |  |  |
| 27        | 东墙 | 白粉层 | 71.300 | 3.770  | 14.103 | Soil        | 80.61    | 0.21 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.01  | 0.00 | 0.58  | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 64.75 | 0.58  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 33.49 | 0.00 | 0.00  | 0.14 | 0.04 |  |  |  |
| 28        | 东墙 | 地仗层 | 57.060 | 9.680  | 21.450 | Soil        | 80.72    | 0.25 | 0.13 | 0.06 | 0.03 | 0.01 | 0.01  | 0.02 | 0.02  | 0.05 | 6.06  | 0.14 | 0.00 | 0.68 | 46.96 | 4.05  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 41.41 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.03 |  |  |  |
| 29        | 西墙 | 地仗层 | 61.570 | 10.970 | 24.130 | Soil        | 61.85    | 0.53 | 0.22 | 0.16 | 0.07 | 0.01 | 0.02  | 0.05 | 0.03  | 0.00 | 19.03 | 0.39 | 0.04 | 2.78 | 43.57 | 16.68 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 16.09 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.08 |  |  |  |

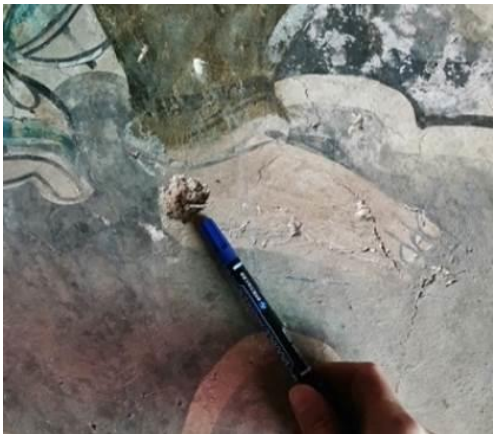
3.3 实验室检测分析

3.3.1 样品信息

为充分了解天宁寺大雄宝殿壁画制作材料和工艺，为壁画保护修复工作提供可靠依据，在对现场进行相关无损检测的同时，对大雄宝殿壁画颜料、地仗材料进行取样分析，取样位置选择壁画脱落、裂隙等病害部位，取样量尽量少。共取得样品 10 个，具体情况见下表。

表 3-2 天宁寺大雄宝殿壁画样品情况

| 序号 | 样品类型 | 样品编号  | 取样位置 | 取样照片                                                                                 |
|----|------|-------|------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 粉色颜料 | X-W-1 | 西墙顶部 |   |
| 2  | 绿色颜料 | X-E-2 | 东墙   |  |
| 3  | 黑色颜料 | X-W-3 | 西墙   |  |

|   |      |       |    |                                                                                       |
|---|------|-------|----|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 | 红色颜料 | X-W-4 | 西墙 |    |
| 5 | 黄色颜料 | X-E-5 | 东墙 |   |
| 6 | 蓝色颜料 | X-E-6 | 东墙 |  |
| 7 | 黑色颜料 | X-E-7 | 东墙 |  |



|    |          |        |        |                                                                                      |
|----|----------|--------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 8  | 地仗       | X-E-8  | 东墙顶部   |    |
| 9  | 历史修补填缝材料 | X-E-9  | 东墙顶部   |   |
| 10 | 地仗历史修补材料 | X-W-10 | 西墙 1 层 |  |

3.3.2 检测仪器与方法

（1）显微形貌与结构观察

显微镜是目前文博行业常用的分析检测方法之一。显微镜分析是壁画组成结构、病害等分析的基础工作。利用显微镜观察壁画颜料层与地仗层剖面，可以快速准确地判断壁画绘制工艺。

将样品放在模具中，使用双组分环氧树脂按一定比例混合后包埋，经过 24 小时室温固化成型，使用美国标乐公司的 PHOENIX3 型样品抛光系统对样块观察面进行抛光作业。用 400

目和 600 目的砂纸水磨，然后采用 1500 目到 12000 目的 Micro-Mess 砂布对其观察面进行抛光。使用基恩士 VHX-2000 数码显微系统，配备 VH-Z20R 超小型高性能变焦镜头，观察倍数为 20-200 倍，将磨制、抛光处理后的样块放入显微镜下观察其剖面结构。

（2）化学成分分析

能谱仪(EDS,Energy Dispersive Spectrometer)是用来对材料微区成分元素种类与含量分析，配合扫描电子显微镜与透射电子显微镜的使用。EDS 可以与 EPMA，SEM，TEM 等组合，其中 SEM—EDS 组合是应用最广的显微分析仪器，EDS 的发展，几乎成为 SEM 的标配，是微区成份分析的主要手段之一。能谱仪可低、高真空，搭配数字化扫描电镜；放大倍数为 5-30000 倍；工作电压为 0.3KV-30KV；样品室可装直径 200mm 的样品；样品台为五轴马达驱动全对中样品台。测试时可对固体样品微区表面形貌观察与成像，适用于壁画颜料、地仗等样品观测。

使用 EDAX 公司的 Genesis200XMS 能谱仪配备日本日立公司生产的 S-3600N 型扫描电子显微镜。树脂包埋抛光后的样品经表面喷金处理后进行显微形貌观察并进行选区元素分析。

（3）物相分析

拉曼光谱技术（Raman spectra）又称激光拉曼光谱分析技术。广泛应用于物质的鉴定、分子结构研究等领域。拉曼光谱分析技术具有无损样品、样品几乎无需制备、取样量少、分析快速等优点。因此，该方法主要是对壁画颜料的确认，并且与偏光显微粉末法分析结果进行相互印证。使用法国 JYBINYVON 公司生产的 XploRA 型激光共聚焦拉曼光谱仪，配备 532nm、638nm 和 785nm 三个不同波长的激光器。颜料样品不做任何处理直接进行测试，检测时各样品选用合适的激光器和放大倍数。

X 射线衍射仪（X-ray Powder diffractometer）是利用衍射原理，精确测定物质的晶体结构，织构及应力，精确的进行物相分析，定性分析，定量分析。目前广泛应用于文物保护领域对文物材质或文物表面污染物、生成物的成分测定。X 射线的波长和晶体内部原子面之间的间距相近，晶体可以作为 X 射线的空间衍射光栅，即一束 X 射线照射到物体上时，受到物体中原子的散射，每个原子都产生散射波，这些波互相干涉，结果就产生衍射。衍射波叠加的结果使射线的强度在某些方向上加强，在其他方向上减弱。分析衍射结果，便可获得晶体结构。当待测晶体与入射束呈不同角度时，那些满足布拉格衍射的晶面就会被检测出来，体

现在 XRD 图谱上就是具有不同的衍射强度的衍射峰。对于非晶体材料，由于其结构不存在晶体结构中原子排列的长程有序，只是在几个原子范围内存在着短程有序，故非晶体材料的 XRD 图谱为一些漫散射馒头峰。

使用日本理学 Smartlab 9Kw 型 X 射线衍射仪。将样品用玛瑙研钵研碎后在玻璃片上压片进行测试，测定条件：Cu 靶，功率：9kW，扫描速度：20°/min，2θ 扫描范围：5°-80°。该设备通过与各种装置和光学元件单元结合使用，可以对从粉末到薄膜的广泛材料进行多种测试和评价。仪器搭载了根据测试目的指导 X 射线衍射测试步骤的“Package Activity”，将光学系统调节、样品位置调节、测试条件设定等一连串步骤编成套装，操作方便、快捷。SmartLab 向导能够自动调节光学元件，为分析样品调整样品高度和角度到最佳位置；SmartLab Studio II 软件、CBO 技术和自动调整功能相结合，使得粉末衍射简单化，其具体应用包括：物相分析，晶粒尺寸，定量分析，晶格参数测量，结晶度以及 Rietveld 精修。

多维半导体直读检测器支持 0D 和 1D 测量模式切换，能量分辨率出色，比常规探测器强度高 600 倍以上，灵敏度高，测量速度快，能够准确分析低含量样品和微量成分。通过以上检测仪器，对大伾山天宁寺大雄宝殿壁画采集的样品进行物质成分分析，结合元素检测分析结果，明确壁画的制作材料。

（4）离子含量测试

离子色谱 (Ion Chromatography)是高效液相色谱（HPLC）的一种，是分析阴离子和阳离子的一种液相色谱方法。狭义而言，离子色谱法是以低交换容量的离子交换树脂为固定相对离子性物质进行分离，用电导检测器连续检测流出物电导变化的一种色谱方法，是利用被测物质的离子性进行分离和检测的液相色谱法。

使用 Shimadzu HIC-SP 型抑制柱高效离子色谱对样品进行测试。离子色谱仪采用日本岛津公司生产，型号为 HIC-10A super IC 的离子色谱系统，组成设备型号及参数列于下表。

表 3-3 岛津 HIC-10A super IC 离子色谱系统设备参数

|       |           |
|-------|-----------|
| 设备    | 型号及参数     |
| 高压输液泵 | LC-10ADsp |
| 柱温箱   | CTO-10A   |
| 电导检测器 | CDD-10Asp |

|          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| 系统控制器    | SCL-10Asp                            |
| 在线真空脱气机  | DGU-12A                              |
| 阴离子分离柱   | Shim-pack IC-SA3，柱长 250mm，内径 4.0mm   |
| 阴离子分离保护柱 | Shim-pack IC-SA3(G)，柱长 10mm，内径 4.6mm |
| 阴离子抑制器   | SUPPRESSOR CARTRIDGE ANION           |
| 阳离子分离柱   | Shim-pack IC-SC1，柱长 150mm，内径 4.6mm   |
| 阳离子分离保护柱 | Shim-pack IC-SC1(G)，柱长 10mm，内径 4.6mm |
| 阳离子抑制器   | SUPPRESSOR CARTRIDGE KATION          |

色谱系统控制、数据采集和处理使用 LCsolution Ver. 1.21sp1 色谱工作站。测试条件如下：

表 3-4 阴离子测试条件

|          |                                                |
|----------|------------------------------------------------|
| 流动相      | 0.35mmol/L Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 水溶液 |
| 柱温       | 45℃                                            |
| 流速       | 0.8mL/min                                      |
| 柱压       | 11MPa                                          |
| 进样量      | 60μL                                           |
| 数据记录起止时间 | 0–30min                                        |

表 3-5 阳离子测试条件

|          |                                               |
|----------|-----------------------------------------------|
| 流动相      | 0.70mmol/L H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 水溶液 |
| 柱温       | 40℃                                           |
| 流速       | 1.0mL/min                                     |
| 柱压       | 5.9MPa                                        |
| 进样量      | 60μL                                          |
| 数据记录起止时间 | 0–20min                                       |

离子色谱仪测试中，氯离子（Cl<sup>-</sup>）、硝酸根离子（NO<sub>3</sub><sup>-</sup>）、硫酸根离子（SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>）、钠离子（Na<sup>+</sup>）、钾离子（K<sup>+</sup>）、镁离子（Mg<sup>2+</sup>）、钙离子（Ca<sup>2+</sup>）标准样品均为 100mg/L，购自国家标准物质研究中心。碳酸钠（Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>）及硫酸（H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>）均为分析纯。高纯水购自北



京中科圣泽科技发展有限公司，电阻值大于 18 MΩ·cm。

准确称取一定质量的干燥样品放入确定质量的高纯水中超声 15min，静置 24 h，然后抽取水溶液使用一次性水系针头式过滤器过滤后，直接进样测定。一次性水系针头式过滤器购自天津奥特赛恩斯仪器有限公司，孔径 0.22μm，直径 13mm。

通过对大雄宝殿地仗层样品的离子色谱检测分析，可以得出壁画地仗层的含盐量大小，为保护修复工艺的制定提供准确依据。

3.3.3 分析结果

(1) 壁画结构分析

通过样块显微镜下观察，结合现场勘察结果发现，天宁寺大雄宝殿壁画结构包括支撑体、地仗层、白粉层和颜料层。

支撑体：本次调查的天宁寺大雄宝殿壁画均绘制于殿内，作为壁画支撑结构的是大雄宝殿建筑墙体，包括青砖、土坯砖及条石三种材料。从东侧及西侧壁画地仗脱落处可见，壁画顶部以青砖为支撑体，壁画中间部位以土坯砖为支撑体，壁画底部以青砖为支撑体，墙体最下部为条石基层。

地仗层：在青砖/土坯砖外部为泥质地仗层。地仗层中含有较多麦草类植物纤维，具有较强的拉结功能，为壁画绘制提供基础。地仗层厚度为 20-25mm。

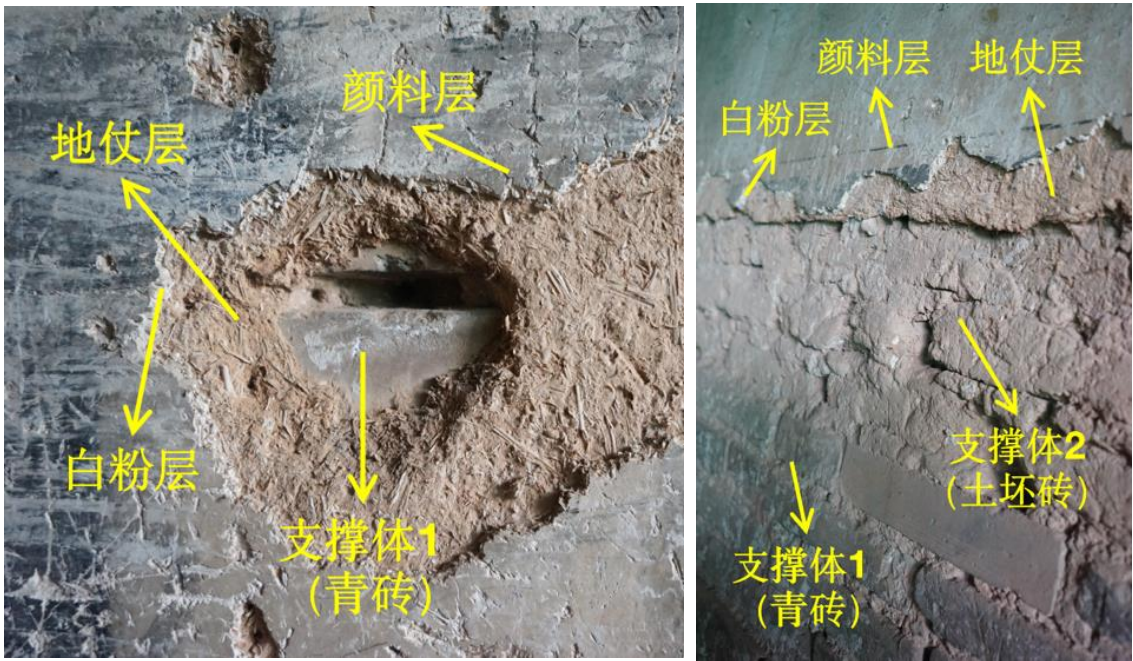


图 3-5 天宁寺大雄宝殿东壁底部壁画结构示意图



图 3-6 天宁寺大雄宝殿西壁顶部壁画结构示意图



图 3-7 天宁寺大雄宝殿东壁顶部壁画结构示意图



图 3-8 天宁寺大雄宝殿壁画地仗层厚度测量



图 3-9 天宁寺大雄宝殿壁画白粉层中的纤维材料 图 3-10 天宁寺大雄宝殿壁画白粉层厚度测量



白灰层：在地仗层和颜料层之间，材质较为细腻，在找平泥质地仗的同时为壁画提供基础底色。白灰层的平均厚度为 5-7mm，从部分颜料脱落区域可以观察到白灰层中也含有少量麦草类植物纤维。

颜料层：天宁寺大雄宝殿壁画颜料层绘制主要涉及红、绿、蓝、白、黄等颜色，各色颜料有叠压、平行等多种关系，他们组成了大雄宝殿壁画的图像和色彩。同时，各色颜料厚度也有所不同。为更好地了解壁画各层间结构，选择蓝色颜料、红色颜料、金色颜料、绿色颜料样品进行镶样，采用显微观察的方式，对各色颜料层进行剖面结构观察。壁画整体结构示意图如下：

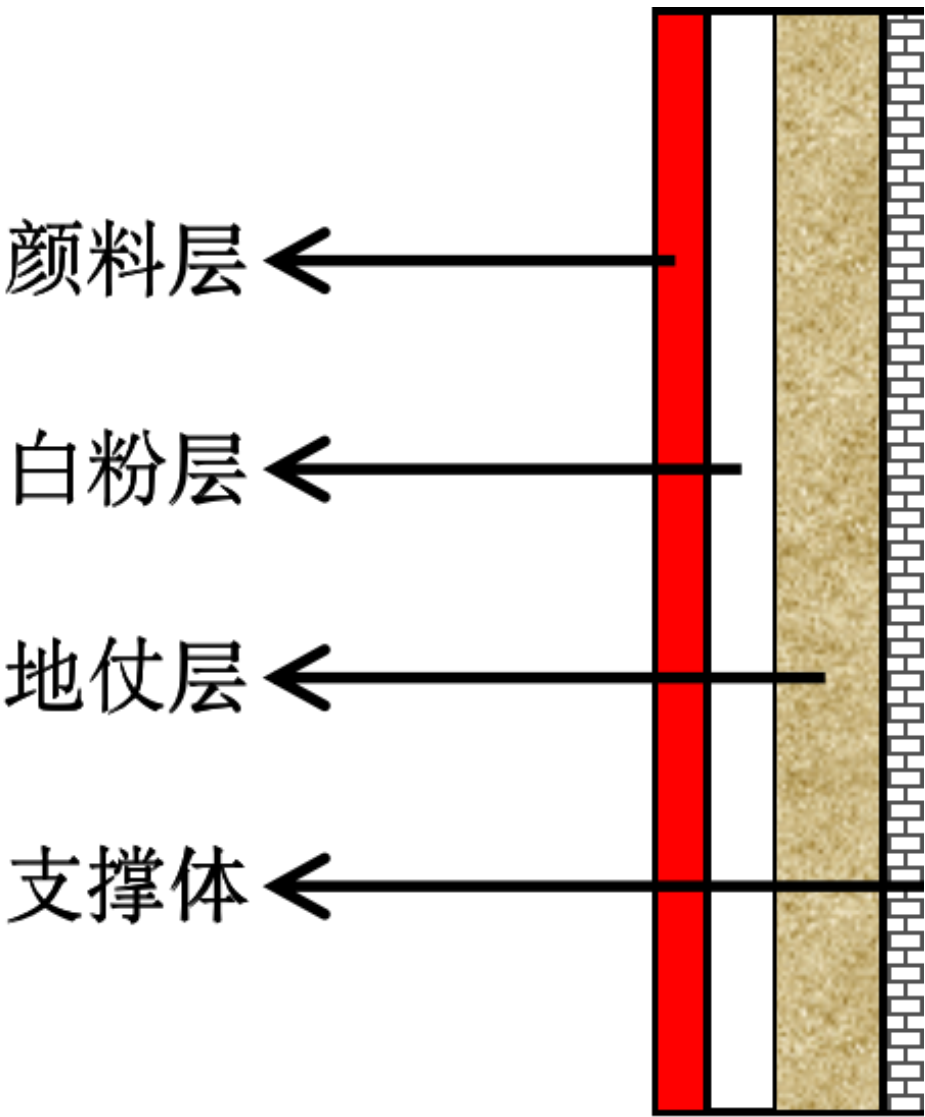
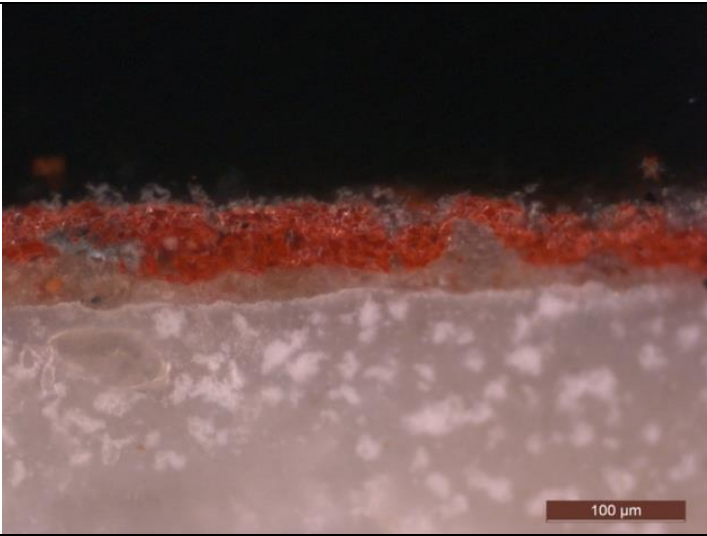


图 3-11 天宁寺大雄宝殿壁画结构示意图

表 3-6 天宁寺大雄宝殿壁画颜料样品层次关系

| 颜色 | 显微照片 |  | 结构分析                                         |
|----|------|--|----------------------------------------------|
| 粉色 |      |  | 该样品包括颜料层和白粉层。颜料层厚度在 20.651μm 至 35.743μm 之间。  |
| 绿色 |      |  | 该样品包括颜料层和白粉层。颜料层厚度在 34.551μm 至 125.573μm 之间。 |
| 黑色 |      |  | 该样品包括颜料层和白粉层。颜料层厚度在 38.928μm 至 61.603μm 之间。  |



|    |                                                                                    |                                             |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 红色 |  | 该样品包括颜料层和白粉层。颜料层厚度在 38.144μm 至 45.473μm 之间。 |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|

(2) 壁画构成材料成分分析

利用 RAM、SEM 及 EDS 分别对颜料样品进行分析检测，以确定壁画各层化学成分，分析壁画绘制工艺，各样品检测内容见下表。

表 3-7 天宁寺大雄宝殿壁画样品检测内容

| 序号 | 样品编号   | 取样位置 | 样品描述         | 检测内容              |
|----|--------|------|--------------|-------------------|
| 1  | X-W-1  | 西墙顶部 | 块状，粉色颜料+白灰基底 | SEM 及 EDS、RAM、XRD |
| 2  | X-E-2  | 东墙   | 块状，绿色颜料+白灰基底 | SEM 及 EDS、RAM     |
| 3  | X-W-3  | 西墙   | 块状，黑色颜料+白灰基底 | SEM 及 EDS、RAM     |
| 4  | X-W-4  | 西墙   | 块状，红色颜料+白灰基底 | SEM 及 EDS、RAM     |
| 5  | X-E-5  | 东墙   | 片状，黄色颜料+白灰基底 | RAM               |
| 6  | X-E-6  | 东墙   | 片状，蓝色颜料+白灰基底 | RAM               |
| 7  | X-E-7  | 东墙   | 片状，黑色颜料+白灰基底 | RAM               |
| 8  | X-E-8  | 东墙顶部 | 块状，壁画泥质地仗    | XRD、离子色谱          |
| 9  | X-E-9  | 东墙顶部 | 块状，青砖抹灰材料    | XRD、离子色谱          |
| 10 | X-W-10 | 西墙   | 块状，地仗历史修补材料  | XRD、离子色谱          |

按照上表对颜料、地仗样品进行分析检测，结果如下：

SEM 及 EDS 检测分析：

对打磨好的测试样进行 SEM 及 EDS 测试，分析元素组成。

1) X-W-1 粉色颜料样品

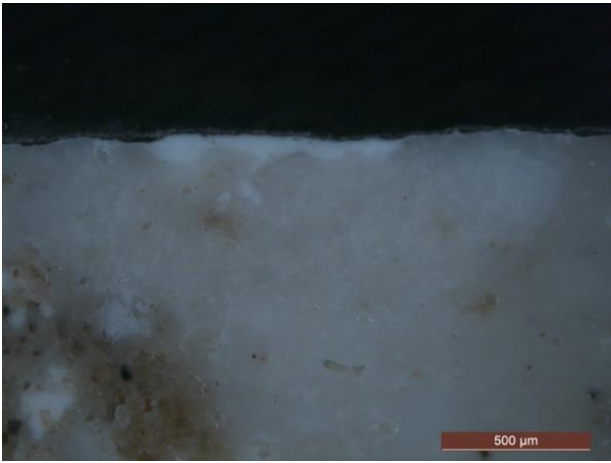


图 3-12 X-W-1 显微照片



图 3-13 X-W-1 显微照片

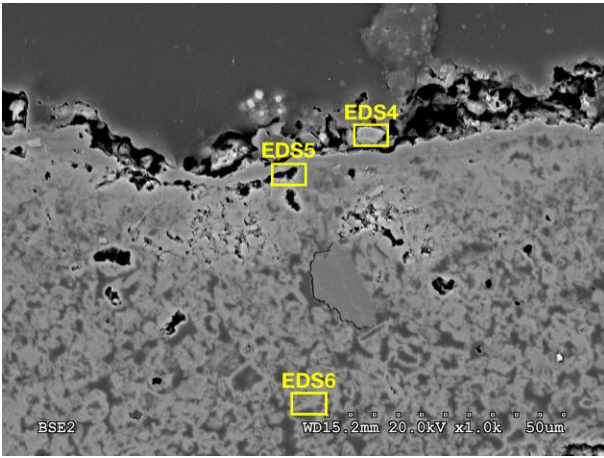
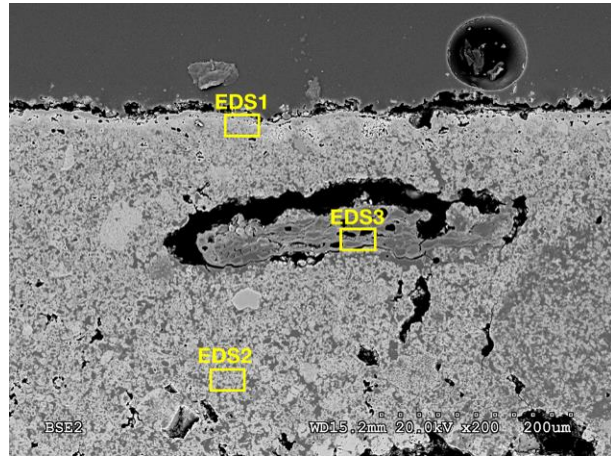


图 3-14 X-W-1 扫描电镜照片

表 3-8 X-W-1 能谱分析结果（wt%）

| 编号   | C     | O     | Mg   | Al   | Si    | Cl   | Ca    |
|------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|
| EDS1 | 26.59 | 19.71 | 0.73 | 3.01 | 3.79  | 0.59 | 45.58 |
| EDS2 | 34.11 | 16.28 | 2.43 | —    | 1.41  | 0.21 | 45.56 |
| EDS3 | 69.16 | 15.13 | 2.51 | 3.47 | 3.44  | —    | 6.29  |
| EDS4 | 60.95 | 10.72 | 1.17 | 2.04 | 14.30 | 0.62 | 10.21 |
| EDS5 | 17.44 | 14.44 | 2.39 | 2.30 | 2.74  | 0.74 | 59.95 |
| EDS6 | 32.14 | 15.93 | 2.28 | 0.87 | 2.28  | —    | 46.51 |

根据样品 X-W-1 能谱分析结果，该样品颜料层主要元素为 C、O、Si、Ca 等；白灰基底主要元素为 Ca、C、O 等，推测为石灰石；



2) X-E-2 绿色颜料样品

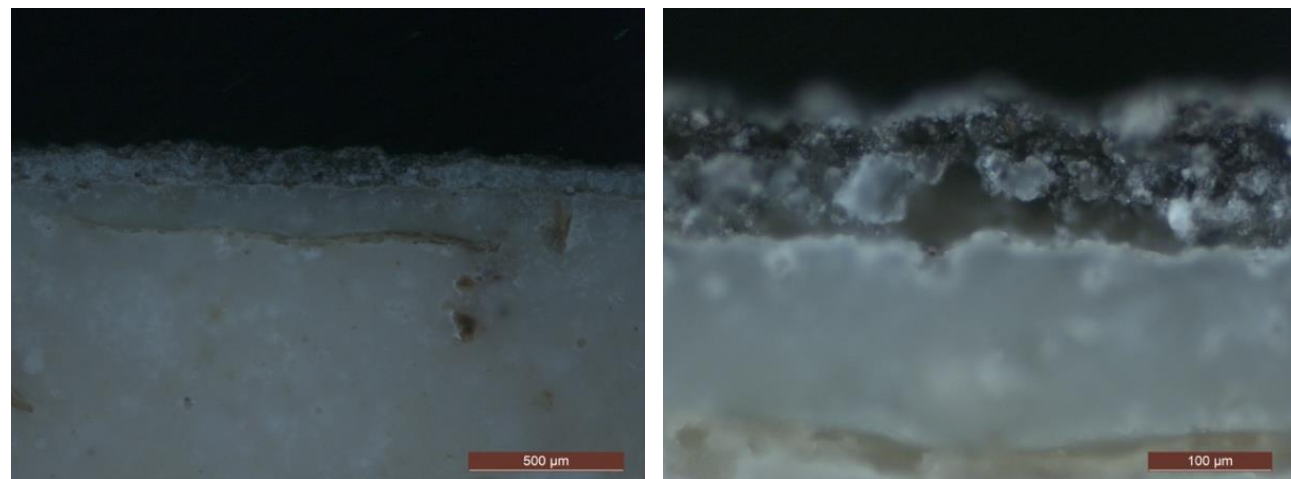


图 3-15 X-E-2 显微照片

图 3-16 X-E-2 显微照片

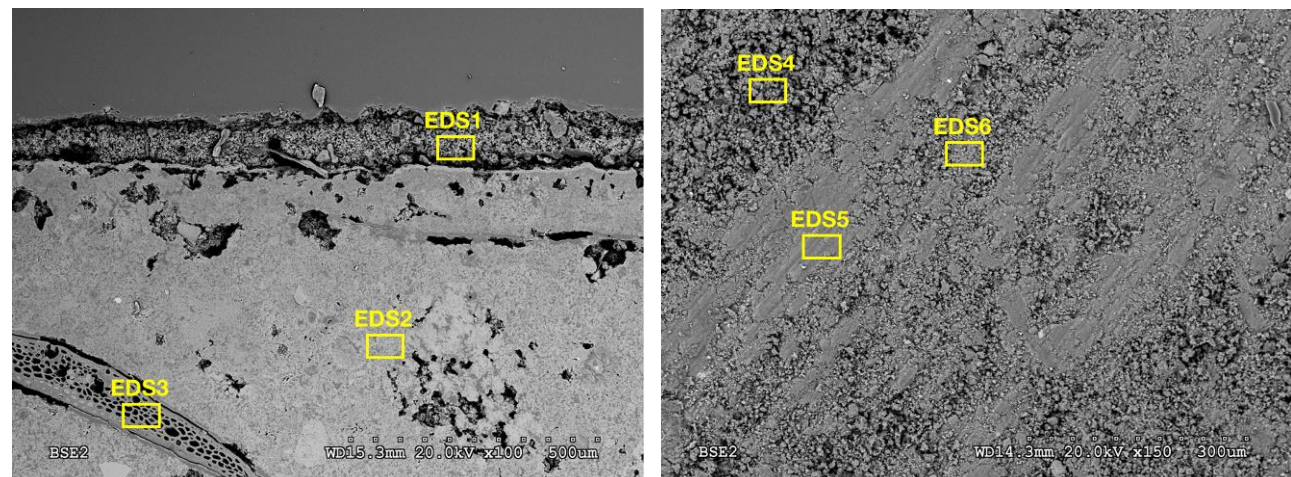


图 3-17 X-E-2 扫描电镜照片

表 3-9 X-E-2 能谱分析结果 (wt%)

| 编号   | C     | O     | Na   | Mg   | Al   | Si    | S     | K    | Ca    | Fe   | Cu   |
|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|
| EDS1 | 50.87 | 20.43 | —    | 1.41 | 1.71 | 6.76  | —     | —    | 15.23 | —    | 3.59 |
| EDS2 | 38.26 | 17.23 | —    | 3.42 | 1.02 | 2.12  | —     | —    | 37.95 | —    | —    |
| EDS3 | 52.79 | 15.78 | —    | 9.22 | 1.87 | 18.13 | —     | —    | 2.21  | —    | —    |
| EDS4 | 17.70 | 19.31 | —    | 0.78 | 2.95 | 8.33  | 18.07 | 1.84 | 27.52 | 3.50 | —    |
| EDS5 | 17.64 | 14.52 | 0.69 | 0.87 | 3.45 | 13.85 | 19.04 | 1.57 | 25.79 | 2.58 | —    |
| EDS6 | 15.05 | 19.8  | 0.51 | 1.05 | 3.26 | 8.70  | 19.50 | 1.57 | 28.36 | 2.20 | —    |

根据样品 X-E-2 能谱分析结果，该样品颜料层主要元素为 Cu、Ca、C、O 等；白灰基底主要元素为 Ca、O、C 等，推测为石灰石，检测点 EDS3 处为植物纤维，结合现场观察，壁画白灰基底中含有麦草类植物纤维。

3) X-W-3 黑色颜料样品

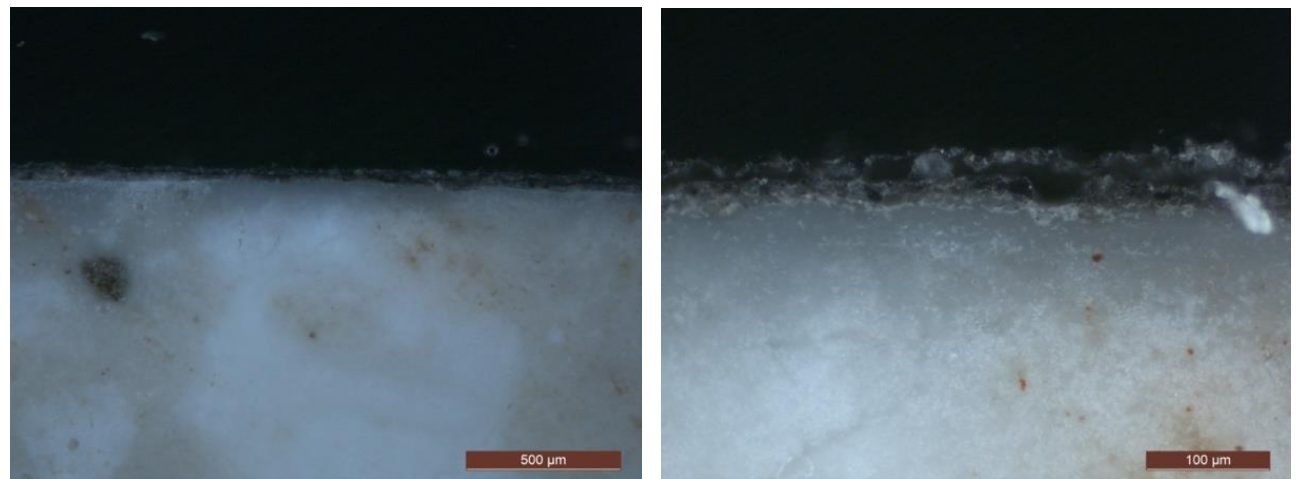


图 3-18 X-W-3 显微照片

图 3-19X-W-3 显微照片

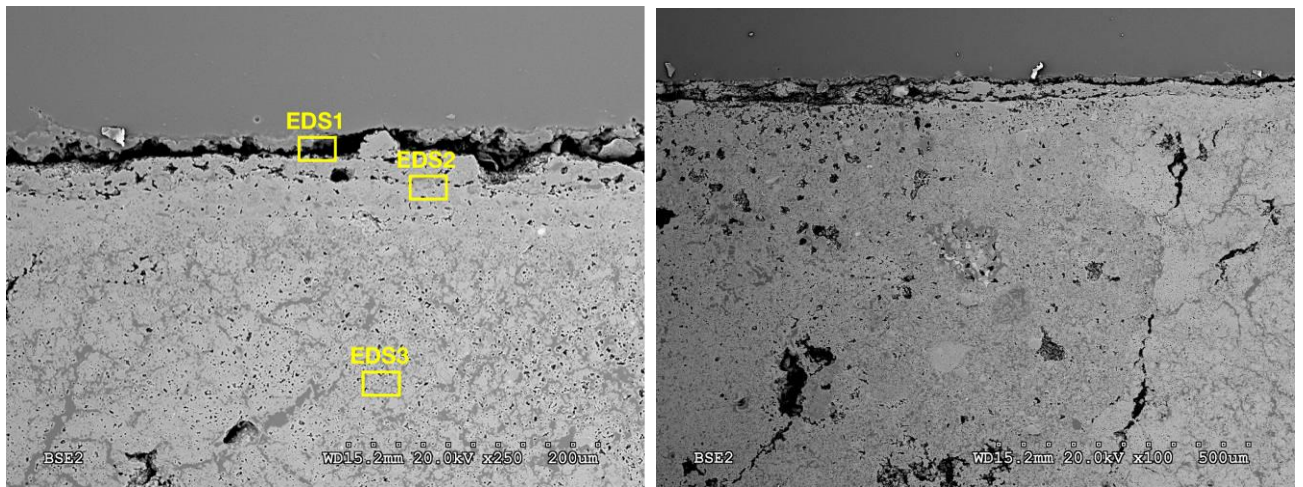


图 3-20 X-W-3 扫描电镜照片

表 3-10 X-W-3 能谱分析结果 (wt%)

| 编号   | C     | O     | Na   | Mg   | Al    | Si    | Ca    |
|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| EDS1 | 86.72 | 11.15 | —    | —    | 0.97  | —     | 1.16  |
| EDS2 | 39.18 | 19.10 | —    | 0.50 | 13.49 | 16.84 | 10.89 |
| EDS3 | 28.68 | 20.58 | 0.54 | 0.89 | —     | —     | 49.31 |

根据样品 X-W-3 能谱分析结果，该样品颜料层主要元素为 C、O 等，推测为炭黑；白灰



基底主要元素为 Ca、C、O 等，推测为石灰石。

4) X-W-4 红色颜料样品

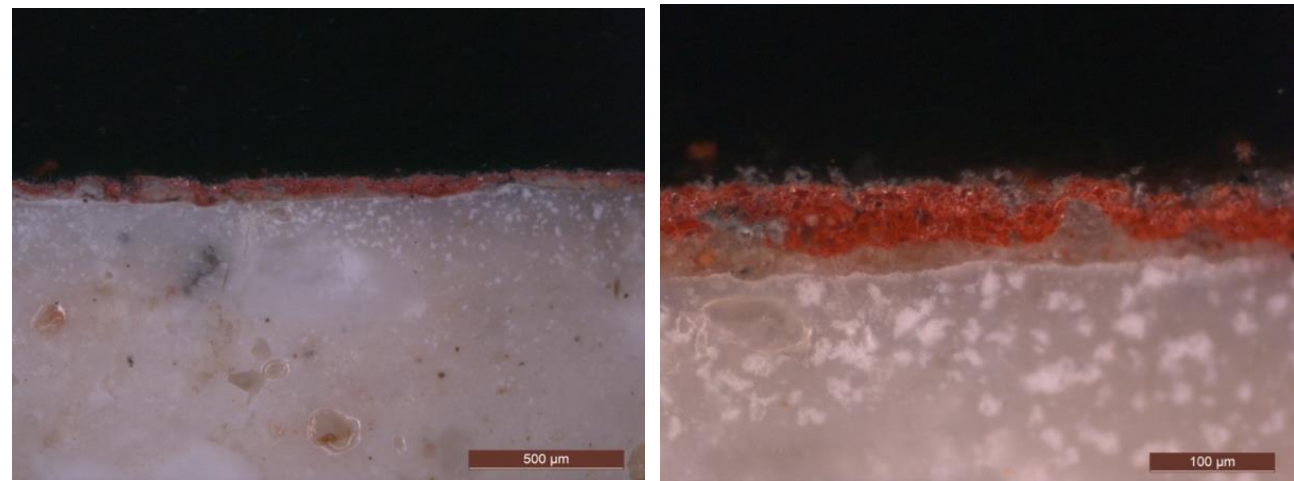


图 3-21 X-W-4 显微照片

图 3-22 X-W-4 显微照片

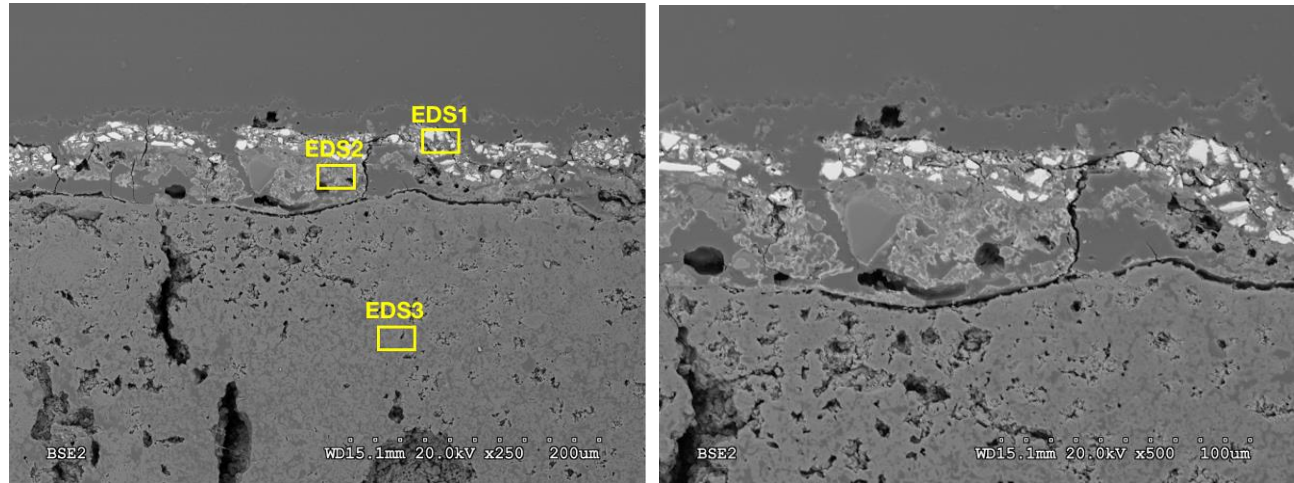


图 3-23 X-W-4 扫描电镜照片

表 3-11 X-W-4 能谱分析结果 (wt%)

| 编号   | C     | O     | Mg   | Al   | Si   | Hg    | S    | Ca    |
|------|-------|-------|------|------|------|-------|------|-------|
| EDS1 | —     | —     | —    | —    | —    | 91.42 | 8.58 | —     |
| EDS2 | 37.18 | 5.97  | —    | 5.27 | 6.70 | 40.66 | 2.32 | 1.89  |
| EDS3 | 38.69 | 17.32 | 2.40 | 1.76 | 1.42 | —     | —    | 38.43 |

根据样品 X-W-4 能谱分析结果，该样品颜料层主要元素为 Hg、S 等，推测为朱砂；白灰基底主要元素为 Ca、C、O 等，推测为石灰石。

5) X-E-5 黄色颜料样品



图 3-24 X-E-5 显微照片

图 3-25 X-E-5 显微照片

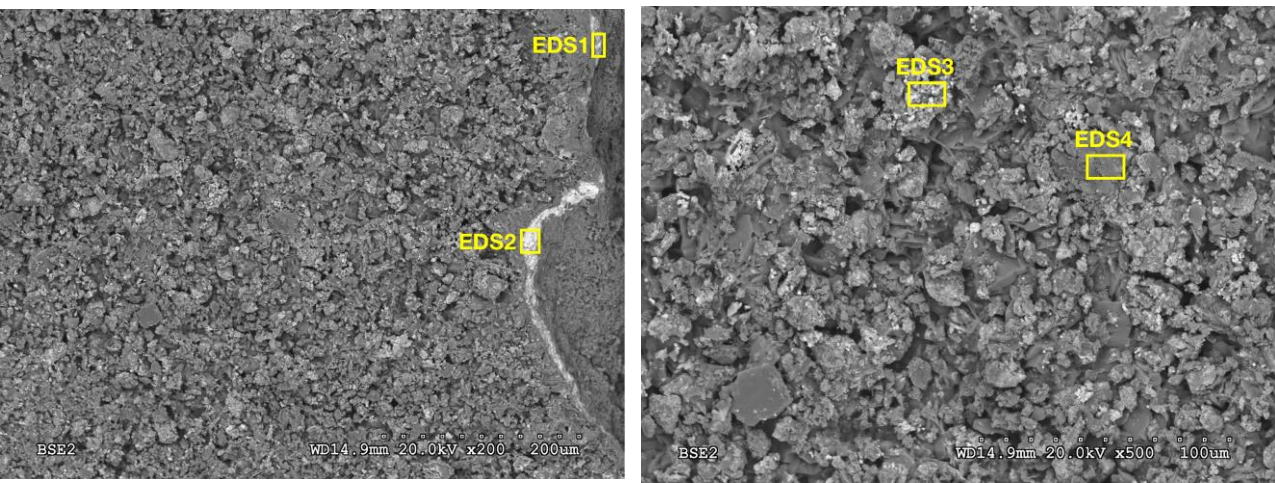


图 3-26 X-E-5 扫描电镜照片

表 3-12 X-E-5 能谱分析结果 (wt%)

| 编号   | C     | O     | Mg   | Al   | Si    | S     | Pb    | Cl   | K    | Ca    | Fe   |
|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|
| EDS1 | 10.35 | 12.30 | 3.15 | 2.00 | 7.47  | 8.55  | 34.34 | —    | 1.04 | 18.46 | 2.34 |
| EDS2 | 8.47  | 4, 74 | 0.65 | —    | 0.23  | —     | 66.72 | 8.18 | —    | 11.01 | —    |
| EDS3 | 10.34 | 5.96  | 1.34 | 0.97 | 10.86 | —     | 67.95 | —    | —    | 2.58  | —    |
| EDS4 | 16.77 | 20.00 | 1.64 | 0.99 | 2.04  | 27.75 | —     | —    | —    | 30.8  | —    |

根据样品 X-E-5 能谱分析结果，该样品颜料层主要元素为 Pb、Ca、O 等，推测为铅黄；



白粉层主要元素为 Ca、C、O 等，推测为石灰石。

RAM 检测分析:

对天宁寺大雄宝殿各颜料样品进行 RAM 分析，确定颜料的物质成分。

表 3-13 天宁寺大雄宝殿壁画样品激光拉曼光谱分析

| 样品编号  | 颜色 | 拉曼谱图 | 检测照片 |
|-------|----|------|------|
| X-W-1 | 粉色 |      |      |
| X-E-2 | 绿色 |      |      |
| X-W-3 | 黑色 |      |      |

|       |    |  |  |
|-------|----|--|--|
| X-W-4 | 红色 |  |  |
| X-E-5 | 黄色 |  |  |
| X-E-6 | 蓝色 |  |  |
| X-E-7 | 黑色 |  |  |

由拉曼光谱分析可知，天宁寺大雄宝殿壁画颜料中，粉色颜料为铁红和石膏的混合物，绿色颜料为孔雀石，黑色颜料为炭黑，红色颜料为朱砂，黄色颜料为铅黄，蓝色颜料为普鲁士蓝和碳酸钙的混合物，部分黑色颜料区域发现有石膏。测试结果与能谱检测结果可以互相



印证。

**XRD 检测分析：**

对天宁寺大雄宝殿泥质地仗样品、白灰地仗样品、青砖抹灰材料样品、西壁地仗历史修补材料等进行 XRD 测试。结合已掌握的检测分析数据及现场勘查结果，分析天宁寺大雄宝殿壁画泥质地仗层所用土，极有可能采自天宁寺大雄宝殿附近，为做验证，选择天宁寺附近一处黄土断崖面，剥去表层浮土积尘等杂物，取其内部约 5 公分处土样，编号 X-W-11，进行检测分析。检测结果如下。

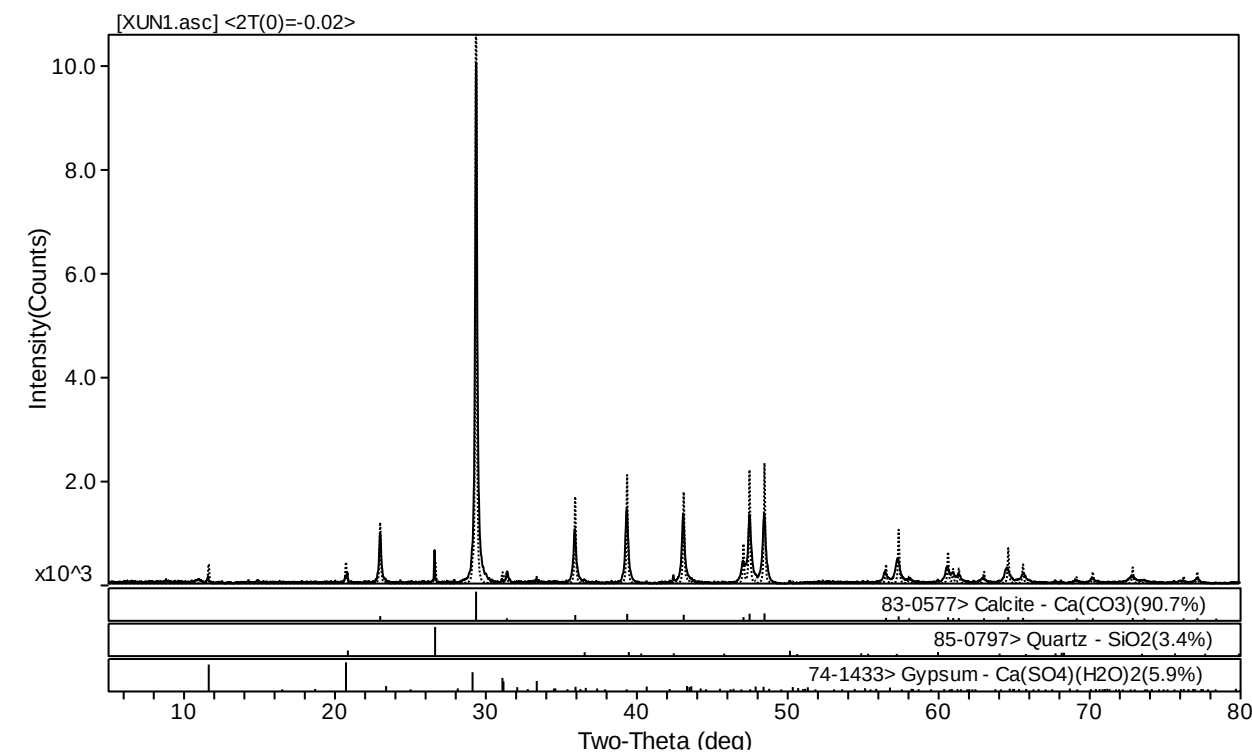


图 3-27 样品 X-W-1 XRD 测试结果

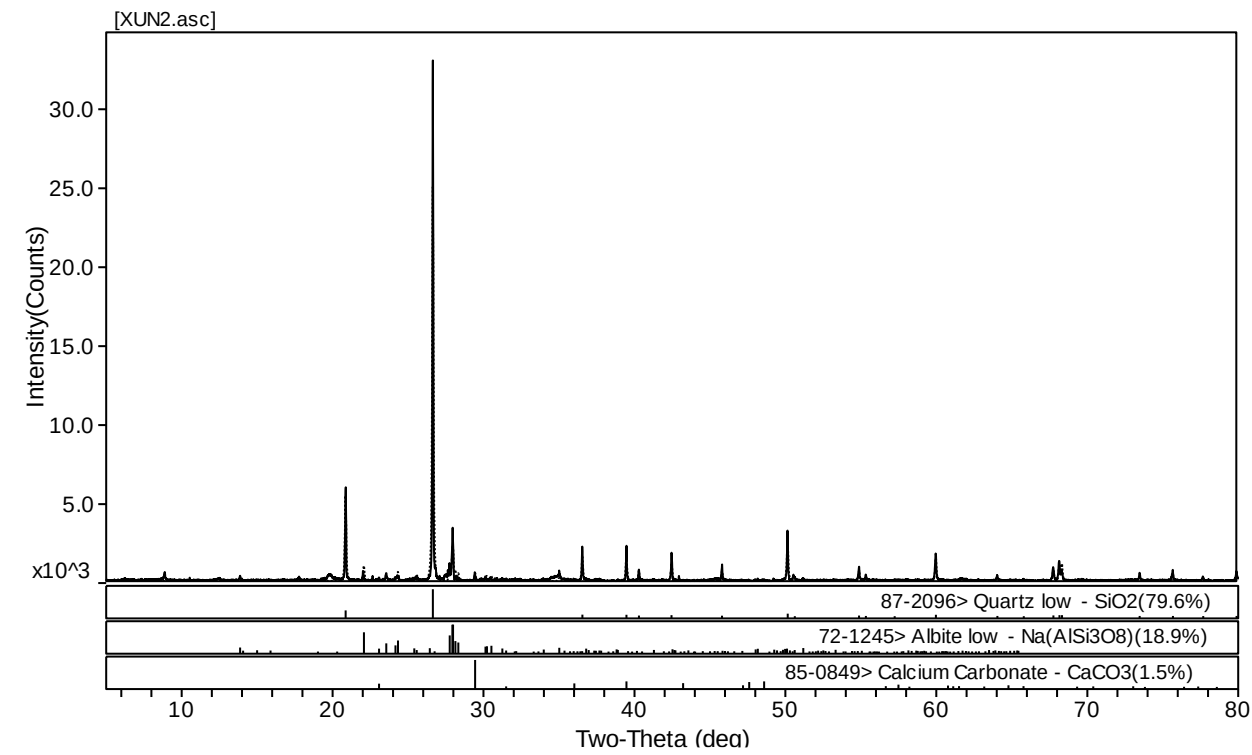


图 3-28 样品 X-E-8 XRD 测试结果

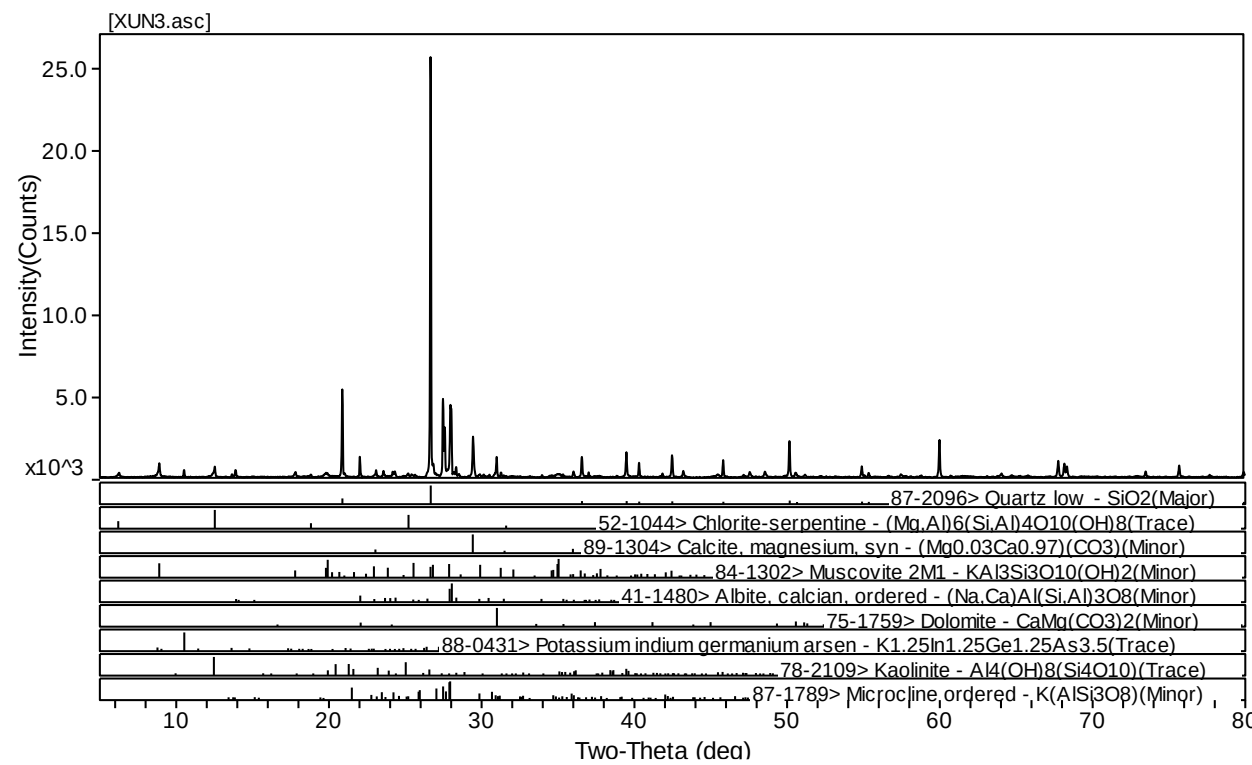


图 3-29 样品 X-E-9 XRD 测试结果

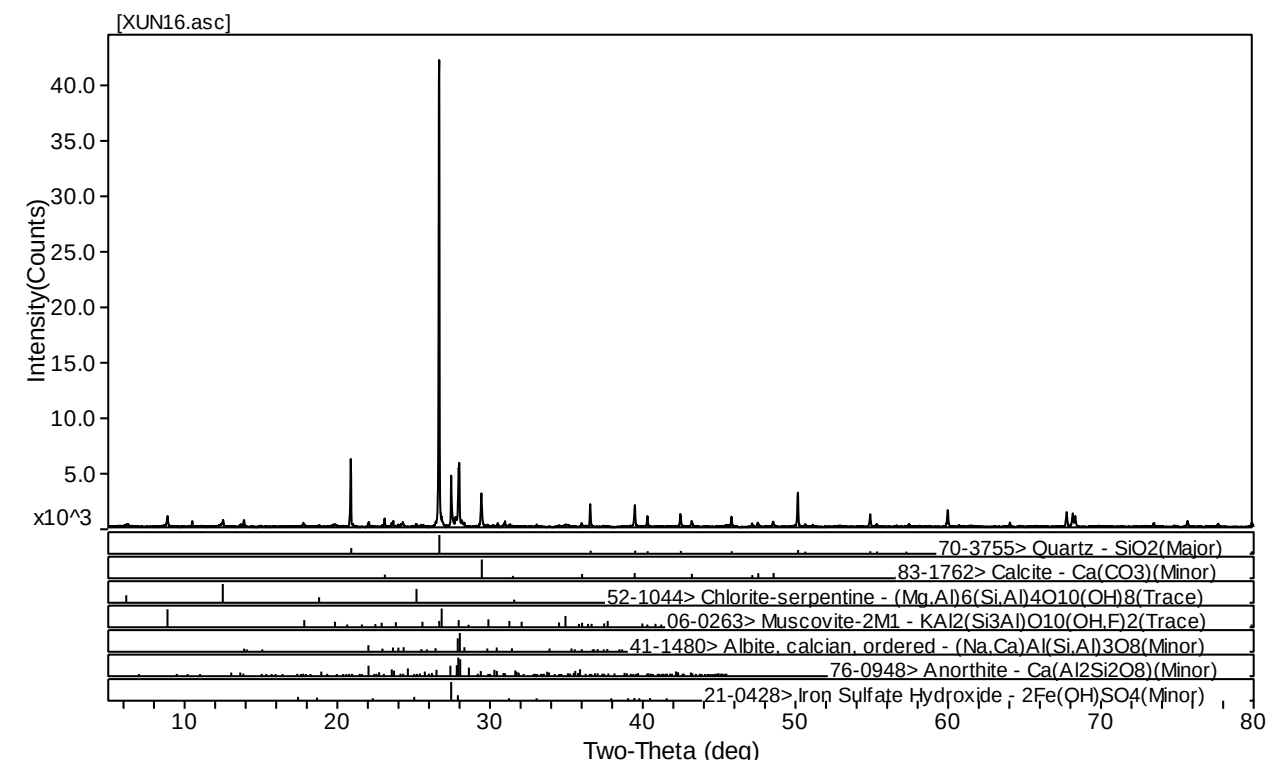


图 3-30 样品 X-W-10 XRD 测试结果

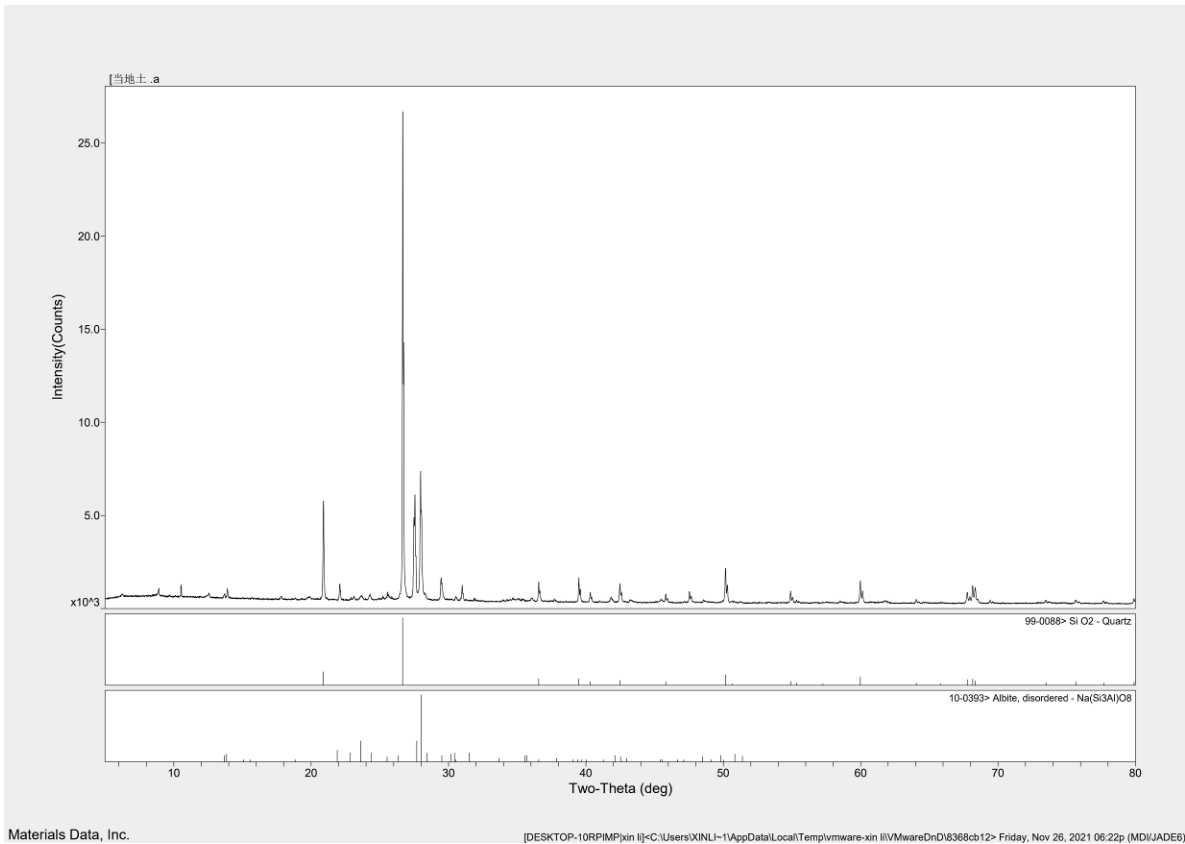


图 3-31 样品 X-W-11 XRD 测试结果

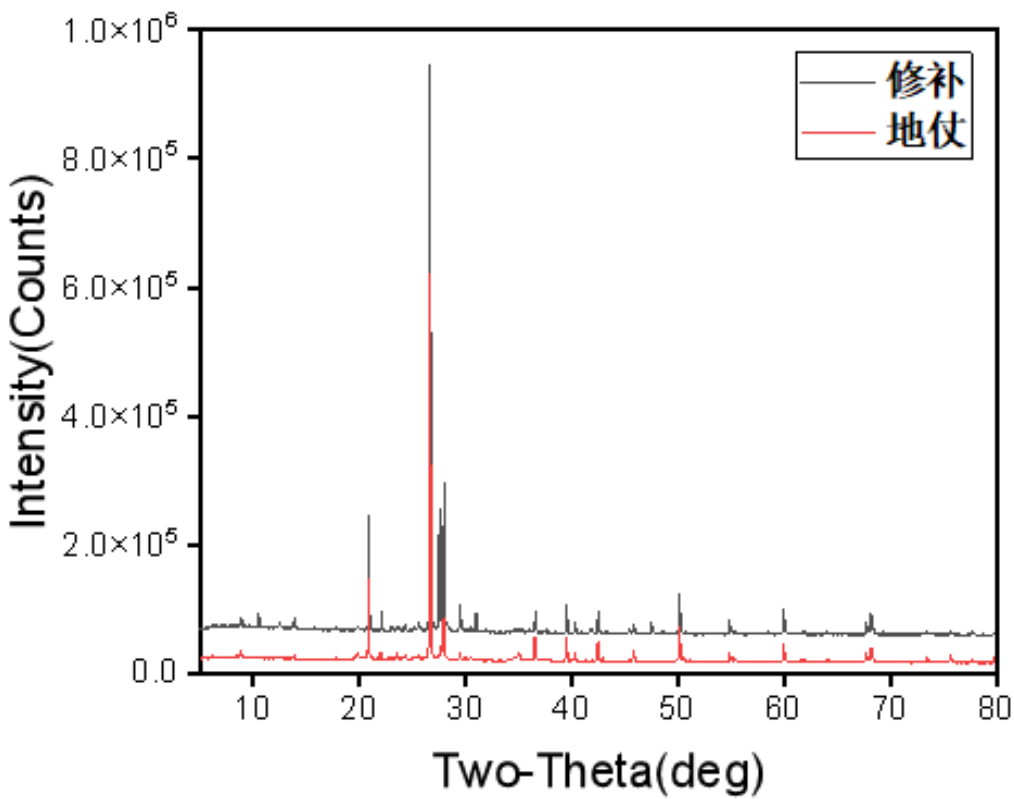


图 3-32 壁画原地仗与当地土成分对比

将测试结果汇总如下：

表 3-14 天宁寺大雄宝殿壁画样品 XRD 测试结果

| 样品编号   | 测试内容          | 测试结果                               |
|--------|---------------|------------------------------------|
| X-W-1  | 壁画地仗成分        | 碳酸钙（90.7%）、石英（3.4%）、石膏（5.9%）       |
| X-E-8  | 壁画地仗成分        | 石英（79.6%）、低钠长石（18.9%）、碳酸钙（1.5%）    |
| X-E-9  | 青砖抹灰材料成分      | 石英、绿泥石、镁方解石、钾长石、钙质钠长石、白云石、高岭石、微斜长石 |
| X-W-10 | 西墙底部地仗原修补材料成分 | 石英、碳酸钙、绿泥石、白云石、钙质钠长石、钙长石           |
| X-11   | 当地土成分         | 石英、钠长石                             |

样品 X-E-8 中含有植物纤维，通过显微观察鉴定，该植物纤维为麦草，由于该掺加料非常少，无法对其含量进行准确计量。



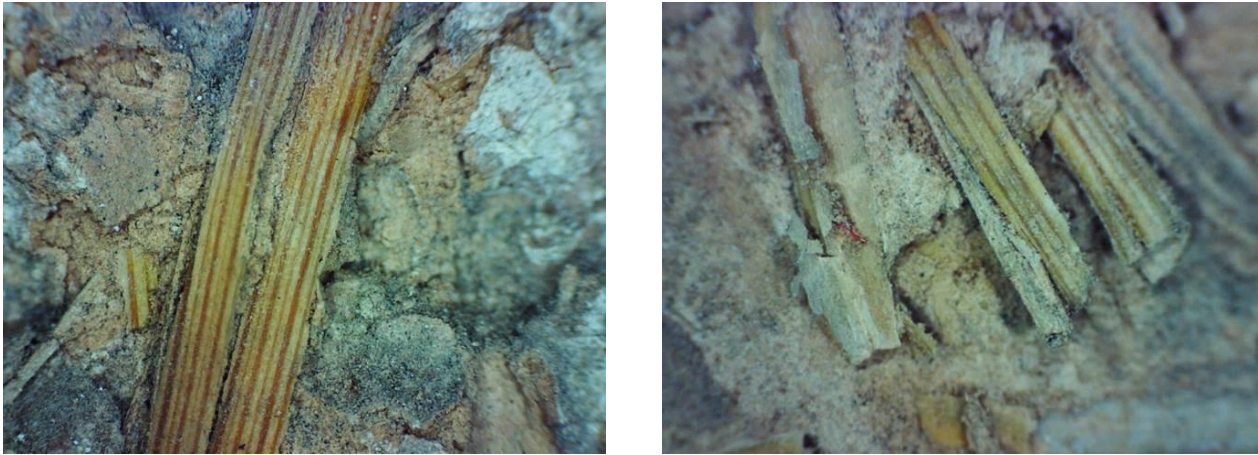


图 3-33 地仗层掺加料显微照片（x60）

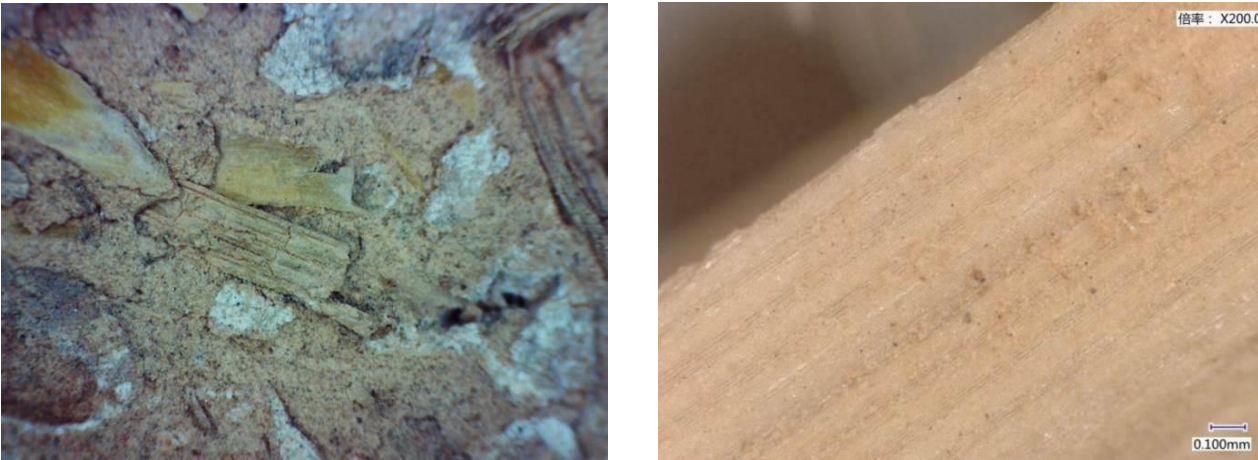


图 3-34 地仗层掺加料显微照片（x60）

图 3-35 地仗层掺加料显微照片（x200）

离子色谱测试：

对天宁寺大雄宝殿地仗样品、青砖抹灰材料样品及西壁地仗修补材料进行离子色谱测试，结果如下。

表 3-15 天宁寺大雄宝殿壁画样品离子色谱测试结果（注：单位为 mg/g）

| 样品编号   | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |
|--------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|
| X-E-8  | 1.627           | 0.928          | 0.000            | 9.325            | 3.917           | 13.687                       | 0.916                         |
| X-E-9  | 1.492           | 1.165          | 1.813            | 18.992           | 4.836           | 26.966                       | 5.322                         |
| X-W-10 | 0.086           | 0.105          | 0.064            | 4.325            | 0.188           | 0.052                        | 3.403                         |

根据测试结果，样品 X-E-8、X-W-10 中的离子含量较低，样品 X-E-9 的离子含量相对较高，由于该样品取自东墙顶部，建筑顶部雨水渗漏导致此处含盐量较高。

3.4 结论

根据对壁画采集样品的综合检测分析数据，可以得出以下结论：

- （1）大伾山天宁寺大雄宝殿壁画主要以青砖、土坯砖作为支撑体，在壁画顶部和底部为青砖，在壁画中部为土坯砖，由内部至外部依次为墙体、泥质地仗、白灰地仗，然后在白灰地仗进行绘制，形成最外侧颜料层。
- （2）壁画地仗层为掺加麦草的泥质地仗，厚度为 20-25mm；壁画白粉层厚度为 5-7mm，白粉层中也掺有少量麦草。
- （3）壁画所用颜料多为无机矿物颜料，也使用了近代合成材料普鲁士蓝。根据检测结果，粉色颜料为铁红和石膏的混合物，绿色颜料为孔雀石，黑色颜料为炭黑，红色颜料为朱砂，黄色颜料为铅黄，蓝色颜料为普鲁士蓝和碳酸钙的混合物。由于壁画至今已有一百余年历史，其胶结材料因自然降解、老化，已无法测得其成分及含量。
- （4）壁画地仗层中添加了少量麦草作为加筋材料，其目的是增加地仗强度，减少收缩、开裂；对比壁画地仗材料及大雄宝殿周边土样的分析结果可知，两个样品的主要成分均为石英与钠长石，结合我国古代壁画制作过程中，泥质地仗基本均为当地取材的历史经验，可基本判断，大雄宝殿壁画泥质地仗层所用主要材料为当地黄土，这为壁画泥质地仗层的修复材料的选择提供了准确、可靠的依据。文物保护材料的选用应秉持最小干预、最大兼容、安全性、适应性等原则，因此在壁画地仗脱落、空鼓等病害修复材料及工艺试验中，选择用本地黄土作为主要修复材料进行试验。
- （5）结合白灰层测试结果可以确定，其主要成分为碳酸钙（石灰石），且添加了少量的麦草作为筋料，防止其开裂、收缩。石灰石是广泛应用于建筑及工业等多行业的原材料，通过高温焙烧可制成生石灰（氧化钙），未经焙烧的石灰石粉末极难溶于水，无法形成适于涂抹的地仗材料。因此可以推断，壁画白灰层的原始材料并非石灰石，而是传统建筑材料熟石灰。熟石灰浆体的硬化包括干燥结晶和碳化两个同时进行的过程。在大气环境中，熟石灰浆体中的氢氧化钙在潮湿状态下会与空气中的二氧化碳发生反应生成碳酸钙，并释放出水分，即发生碳化，反应过程较为缓慢，其化学反应式为： $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 。经过百余年的漫长转变，白灰地仗中的氢氧化钙已完全反应转换成为碳酸钙，结合文物保护选用保护材料应秉持原工艺、原方法、最小干预、最大兼容性、安全性、适应性等原则，决定在壁画白灰基层脱落病害修复材料及工艺试验中，选择用熟石灰作为主要修复材料进行试验。

4.修复加固材料基本物理力学性能试验

以壁画的原制作材料为主，结合以往壁画修复的研究经验，初步选择与壁画地仗制作材料相同或相近的材料为修复试验的主要材料，结合壁画保存环境、病害的机理的研究结果，进行修复加固材料的实验室筛选研究，主要实验内容有空鼓灌浆材料筛选试验、边沿加固材料筛选试验、地仗加固材料筛选试验、壁画裂隙和破损地仗修复材料筛选试验等。

- (1) 修复加固材料的物理化学指标
- 采用物理、化学、仪器等分析方法，研究修复加固材料基本物理、化学性质，以最大限度的接近壁画地仗材料，保证材料与壁画材料的兼容性。
- (2) 修复加固材料的物理力学性能
- 选择不同配比（复合材料配比、水灰比等）的修复材料，进行物理力学性能的测试，包括材料的粘接性能、强度、耐久性等。
- (3) 修复加固材料的加固效果
- 在室内模拟壁画的保存环境，进行材料的老化实验，评价修复加固材料的加固效果和耐老化性能。
- 综合以上研究结果，筛选出各项性能最佳的修复材料。

4.1 壁画灌浆、加固材料筛选试验

4.1.1 试验材料

经现场勘查，大雄宝殿壁画因渗水、材料自然老化导致壁画产生较为严重的开裂、脱落、起翘等病害，局部地仗层较为疏松，需对此类病害进行局部加固修复，达到稳定状态后再进行下一步处理。选取天宁寺周边洁净黄土及麦草，经脱盐、晾晒后备用，麦草需剪成长约 2 公分左右条状，另需准备 70 目左右纯净石英砂及纯净水为补型试验备用。

在我国乃至世界文物保护界，有机硅丙烯酸材料及改性丙烯酸类材料得到了较为广泛的应用，特别是在壁画保护领域，已经受了数十载的实践考验，其加固性能、渗透性能、耐候性能、耐老化性能等各项综合指标均优于其他类型壁画保护加固材料。项目组经过现场勘查，结合壁画现存环境，采取改性丙烯酸类加固材料进行试验，加固材料选择 ZB—SE—3A 改性丙烯酸乳液（简称：纯丙，甘肃知本新材料科技有限公司）、ZB—SE—1 有机硅改性丙烯酸乳液（简称：硅丙，甘肃知本新材料科技有限公司）2 种保护修复材料进行评价研究。

(1) 材料的基本特性

ZB—SH—3A 改性丙烯酸乳液的基本特性

表 4-1 ZB—SE—3A 改性丙烯酸乳液组成

| 组成                | 含量(重量比) |
|-------------------|---------|
| 水                 | 33%     |
| 聚丙烯酸酯             | 57.2%   |
| 羟乙基纤维素            | 0.5%    |
| 乳化剂（阴离子、非离子表面活性剂） | 1.7%    |
| 乙二醇               | 4.5%    |
| 消泡剂               | 0.7%    |
| 助成膜剂              | 1.7%    |
| 防霉、杀菌剂            | 0.2%    |
| NH4OH             | 0.4%    |
| 其他                | 0.1%    |

表 4-2 技术指标

| 项目             | 指标             |
|----------------|----------------|
| 外观             | 乳白或浅蓝色，无粗颗粒和异物 |
| pH 值           | 8-9            |
| 固含量(或不挥发物)，%，≥ | 44             |
| 粘度，Pa·s，≥      | 0.48           |
| 最低成膜温度，℃，≥     | 5              |
| 丙烯酸酯单体残留，%     | 0.1            |
| 稀释稳定性          | 合格             |
| 机械稳定性          | 合格             |
| 冻融稳定性          | 合格             |
| 化学稳定性          | 合格             |



**ZB—SH—3A 改性丙烯酸乳液成品**外观为半透明至乳白液体，固含量为 45-49%，黏度为 15-80s。

改性丙烯酸乳液的优点：涂膜光泽柔和，粘接性、耐候性、保光性、保色性、抗水解性及机械物理性能较好。缺点主要集中在：最低成膜温度(MFT)偏高、乳液稳定性偏低、乳液流变性特别是粘度不能有效调节。

**ZB-SE-1 有机硅改性丙烯酸乳液的基本特性**

**表 4-3 有机硅改性丙乳液的组成**

| 组成                 | 含量(重量比) |
|--------------------|---------|
| 水                  | 47%     |
| 有机硅改性聚丙烯酸酯         | 57%     |
| 乳化剂(OP-10)         | 2.0%    |
| 助成膜剂(乙二醇丁醚、二乙二醇丁醚) | 2.0%    |

**表 4-4 有机硅丙烯酸乳液的技术标准**

| 项目                   | 指标             |
|----------------------|----------------|
| 外观                   | 乳白或浅蓝色，无粗颗粒和异物 |
| pH 值                 | 8-9            |
| 固含量(或不挥发物)，%， ≥      | 44             |
| 粘度，Pa • s， ≥         | 0.48           |
| 平均粒径，nm              | 100            |
| 最低成膜温度，℃， ≥          | 5              |
| 残留单体含量，%             | 0.1            |
| Ca <sub>2</sub> +稳定性 | 合格             |
| 稀释稳定性                | 合格             |

|       |    |
|-------|----|
| 机械稳定性 | 合格 |
| 冻融稳定性 | 合格 |
| 化学稳定性 | 合格 |

**ZB—SE—1 有机硅丙烯酸乳液**加助渗剂成品外观为半透明至乳白液体，固含量为 45-49%，黏度为 15-80s。

**（2）有机硅改性丙烯酸乳液的一般性质**

有机硅单体是一种同时具有反应性官能团(双键)和可水解基团(硅醇的烷基醚)的硅烷。含有不饱和乙烯基官能团的有机硅氧烷单体能够与丙烯酸酯单体共聚，得到有机硅改性的丙烯酸酯共聚物。硅氧烷因含有多个硅醇烷基醚结构而易水解，水解后生成硅醇-SiOH，进而产生缩聚，形成硅氧烷键 Si-O-Si 的网状交联结构。

改性后的有机硅丙烯酸乳液除具有丙烯酸乳液的一般特点外，乳液的耐候性得到了明显提高，耐高低温性能较好，渗透性强，很好的解决了丙烯酸乳液成膜后易出现的低温变脆、高温发粘现象。此外，硅丙乳液在抗沾污性、耐水性、透气性等方面也较前者有较大幅度的提高。

**4.1.2 实验内容及方法**

以改性丙烯酸为主剂的加固材料，其渗透性能不佳，加固效果良好，能随浆液的渗入有效渗透进疏松地仗层并粘接牢固；有机硅改性丙烯酸乳液渗透性能好，但其粘接强度不如改性丙烯酸乳液高，加固干燥后，轻触有地仗颗粒掉落；混合液结合了两种材料各自优势，即较强的渗透性与良好的粘接性，对灌浆渗透深度及粘接强度均有提高。

结合以往壁画修复经验及两种加固材料各自优势特性，分别选择以有机硅改性丙烯酸乳液、改性丙烯酸乳液为主剂，以去离子水为稀释剂，配制有机硅改性丙烯酸乳液和改性丙烯酸乳液比例为 1:1 的混合液原液，分别配置浓度为 1%、2%和 3%的加固试剂，将脱盐后的当地黄土、麦草与不同浓度的加固剂混合调制灌浆材料。

**4.1.3 试样制备及养护**

**（1）试样制备**

- a.将脱盐、晒干后土样碾碎过土样筛，使颗粒在 75-300μm 之间。
- b.制备浓度为 1%、2%、3%的纯丙-硅丙混合液。

c.采用相同流动度下的胶灰比（下表）进行试样制备。用搅拌器将不同浓度的纯丙-硅丙混合液和过筛后的土混合均匀，按下表中的水灰比依次制成以 1%、2%、3%三种浓度的混合液为灌浆材料的浆液。

表 4-5 各试块胶灰比

| 试样编号 | 试验材料、浓度         | 胶灰比  |
|------|-----------------|------|
| J-1  | 试验土、1% 纯丙-硅丙混合液 | 0.34 |
| J-2  | 试验土、2%纯丙-硅丙混合液  | 0.35 |
| J-3  | 试验土、3%纯丙-硅丙混合液  | 0.36 |

将各配比的浆液制成制成直径 61.80 mm，高 20 mm 的试样，测试收缩性、干燥时间、弹性波速、硬度、含水率及密度等指标，制成直径 50 mm，高 50 mm 的试样进行透气性测试，制成 40mm×40mm×160mm 的试样进行龄期强度测试。各项测试设三个平行样求平均值。试样规格及其对应的测试内容见下表，标准规格的模具及试验材料、部分试块照片如图 4-1 至 4-5 所示。

表 4-6 灌浆材料试块规格及测试内容

| 试样规格（mm）  | 测试内容                      |
|-----------|---------------------------|
| 40×40×160 | 龄期强度                      |
| Φ61.8×20  | 线性收缩率、干燥时间、弹性波速、硬度、含水率、密度 |
| Φ50×50    | 透气性                       |



图 4-1 标准尺寸模具

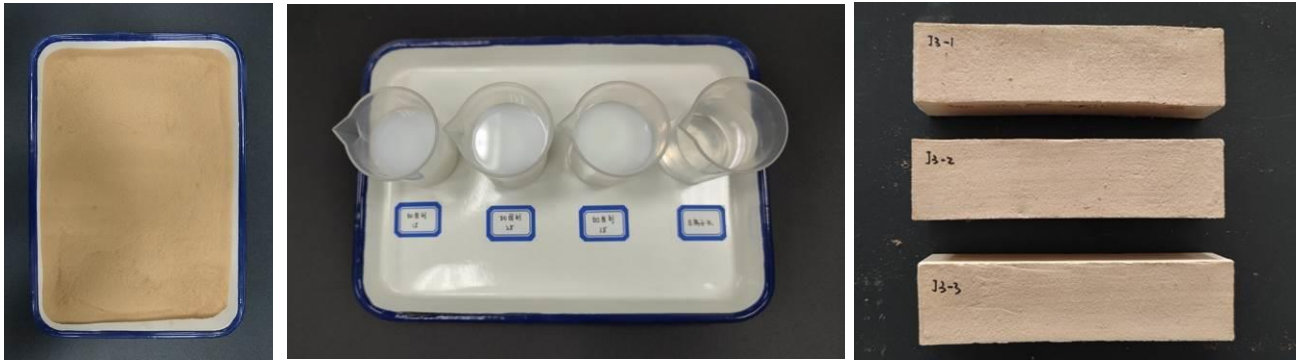


图 4-2 试验土

图 4-3 纯丙-硅丙混合液、去离子水、部分试样（40×40×160）

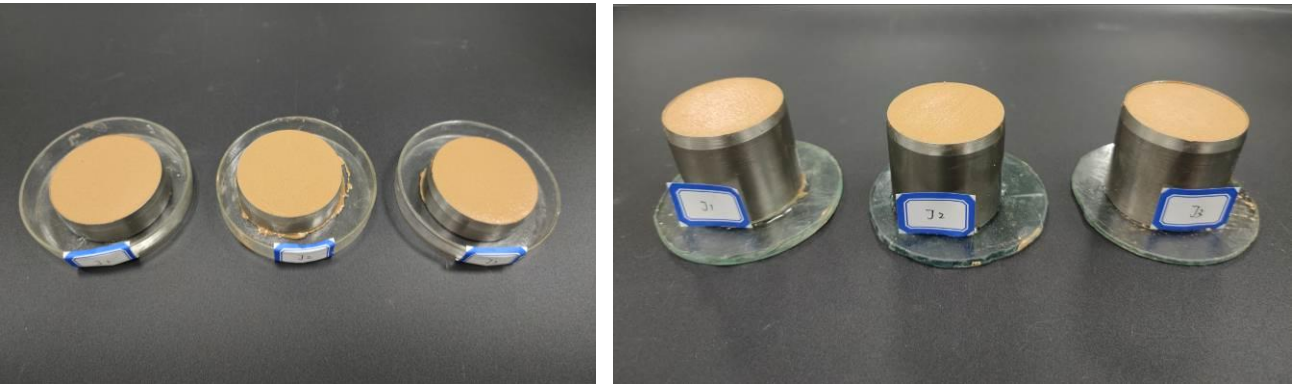


图 4-4 部分试样（Φ61.8×20）

图 4-5 部分试样（Φ50×50）

（2）养护条件

灌浆材料在制成后灌注于墙体中，水分不易迅速流失，因此养护过程中湿度较高。设置养护温度为 20℃，相对湿度为 70%。

4.1.4 测试方法、仪器

（1）收缩率测试

对空鼓壁画灌浆材料来说，固化时收缩太大会导致浆液无法与壁画支撑体、粗泥层形成有效粘结。因此，对各配比浆液的收缩性进行测试。测试方法参照《建筑砂浆基本性能试验方法标准》（JGJ/T 70—2009），脱模干燥后的圆柱试样每天测试直径和高，计算体积的收缩率，计算公式如下：

$$[(V_1 - V_2) / V_1] * 100\%$$

其中  $V_1$  表示试样的初始体积， $V_2$  表示试样干燥后的体积，收缩率用%表示。

试验中使用电子数显卡尺测量试样的直径和高，其主要技术参数如下：



测量范围：0-150mm  
分辨率：0.01mm  
精度：±0.02mm  
重复精度：0.01mm

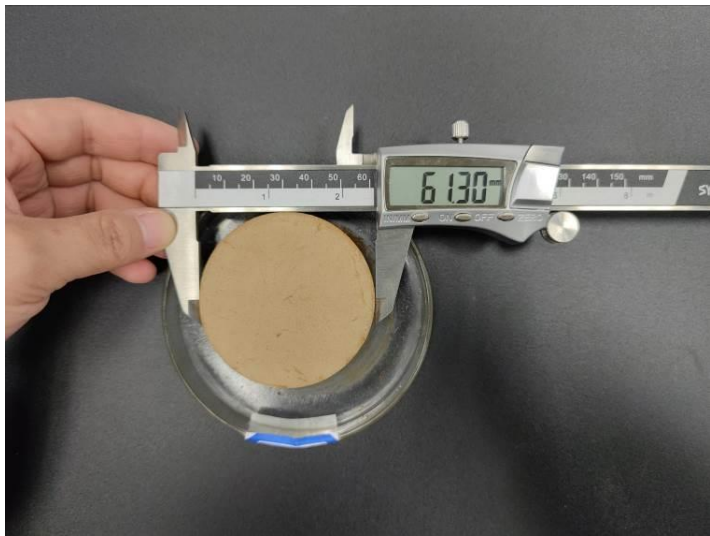


图 4-6 收缩率测试

(2) 透气性测试

灌浆材料的透气性涉及到其呼吸性能，透气性小的灌浆材料不利于基体内外的水汽传输，会导致发霉、劣化等病害。试样的透气性测试使用无锡市三峰仪器设备有限公司的 STZ 直读式透气性测定仪，是一种气压式气钟结构的仪器，仪器结构由进气阀、气钟、水筒、回气管、旋钮、微压表、机体及试样筒等部分组成，其主要技术参数如下：

试样尺寸：Φ：50±0.2mm；h：50±1mm；

气钟内空气压力：10 厘米水柱高=10g/cm<sup>2</sup>

气钟空气容量：0-1000cm<sup>3</sup>~2000cm<sup>3</sup>

通气孔规格：小孔 Φ0.5±0.003mm，大孔 Φ1.5±0.003mm；

透气性系数测定范围：小孔档 0~50（AFS）相当于 0-30 升米/米<sup>2</sup>·时·毫米水柱。大孔档 50-2450（AFS）相当于 30-1470 升米/米<sup>2</sup>·时·毫米水柱。

气源工作压力：981±5Pa

测量精度：±1%

测试原理如下：

据流体力学中达西定律，在气体层流条件下，通过一定形状试样的空气量 Q（mm<sup>3</sup>）与通气时间（min）、试样前后的压力差 P（厘米水柱）、试样的截面积 F（cm<sup>2</sup>）成正比，与试样高度 h（cm）成反比。

即： $Q = K \frac{t \times P \times F}{h}$

则： $K = \frac{Qh}{F \times P \times t}$

式中：K——透气性系数（cm<sup>3</sup>·cm/cm<sup>2</sup>·厘米水柱·min）

F——试样截面积  $\frac{1}{4} \pi 5^2 = 19.63 \text{cm}^2$

Q——容器气钟内空气容量（固定为 2000cm<sup>3</sup>）

h——试样高度（5cm）

那么： $K = \frac{2000 \times 5}{\frac{1}{4} \pi 5^2 \times P \times t} = \frac{509.5}{P \times t}$

式中：P——试样前后的压力差（厘米水柱）

t——试样通过 2000 厘米<sup>3</sup>空气的时间（min）

测试时使用标准法（公式法）进行测定，从微压表读出试样前的空气压力 P（厘米水柱），同时用秒表测得气钟内 2000cm<sup>3</sup> 空气完全通过试样的所需时间 t（min），将 P、t 值代入公式  $K = \frac{509.5}{P \times t}$  便可算出容量为 2000cm<sup>3</sup> 的空气完全透过试样的透气性系数 K。



图 4-7 透气性测试

(3) 干燥时间测试

干燥时间是指在一定的相对湿度和温度下，灌浆材料达到恒重质量所需要的时间，将制好的试样放在培养皿中称重，然后放入 30 摄氏度的恒温箱中，每天定时称重，直至恒重并记录干燥时间。

(4) 弹性波速测试

结石体的弹性波速受各种因素的影响，如孔隙、含水量和结石体内部结构，可以有效反映不同龄期的结石体内部结构形态的变化。使用瑞士博赛 proceq Pundit PL-200PE 混凝土超声波检测仪，配备 54kHz 指数传感器（用于粗糙表面且无耦合剂的使用）。

- 主要技术参数如下：
- 测量范围：0.1-7930μs
- 分辨率：0.1μs (<793μs)，1μs (>793μs)
- 脉冲电压 UPV：100-450Vpp
- 脉冲电压 UPE：100-400Vpp
- 接收机增益：1x-10000x（0-80dB）[11 步]

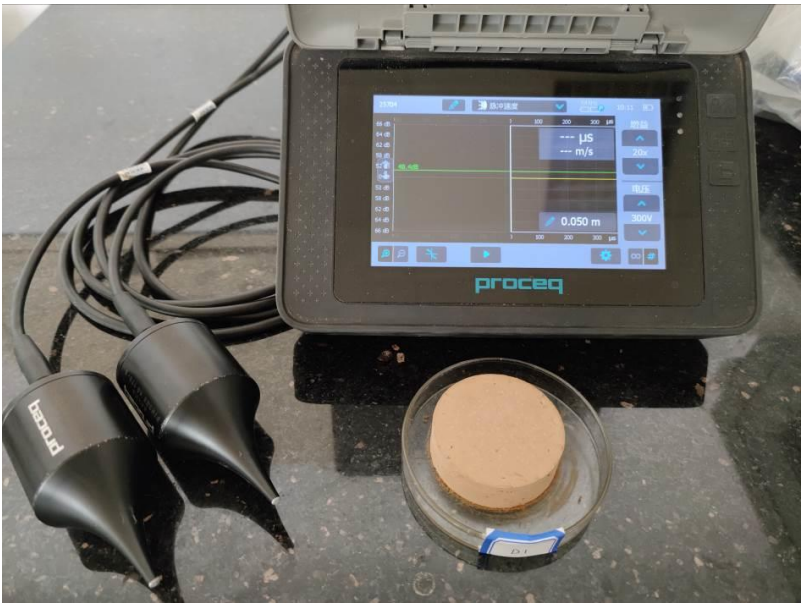


图 4-8 弹性波速测试

(5) 硬度测试

使用瑞士博赛 Proceq Equotip 550 便携式硬度计，配备 Equotip Leeb 冲击装置 D，主要技术参数如下：

- 仪器尺寸：250×162×62mm
- 冲击体质量：5.45 克（0.2 盎司）
- 冲击体测量范围：1-999HL
- 冲击体测量精度：±4HL（800 HL 时为 0.5 %）
- 冲击体分辨率：1HL
- 冲击能量：11.5Nmm
- 冲击方向：自动补偿
- 球压头：碳化钨，直径 3.0 毫米（0.12 英寸）



图 4-9 硬度测试

(6) 龄期强度测试

测试方法参照《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》（GB/T 17671-1999），分别测试试样脱模后第 7 天、第 14 天和第 28 天的抗折抗压强度。

- 使用美国英斯朗特 instron3369 电子万能材料试验机，主要技术指标如下：
- 最大动载荷：±50KN
- 动态载荷传感器测量精度：满程的±0.5%（1-100%的量程内）
- 位置测量精度：满程的±0.5%
- 标距：25mm
- 移动范围：±5mm
- 测量精度：±0.5%（引伸计满程至 1/50 量程）



分析软件：Bluehill2 软件

试样的抗折、抗压强度测试均选用 50kN 传感器，测试速度均为 5mm/min。配备无锡市中科建材仪器有限公司的标准尺寸抗折夹具（40mm×40mm×160mm）和抗压夹具（40mm×40mm）。

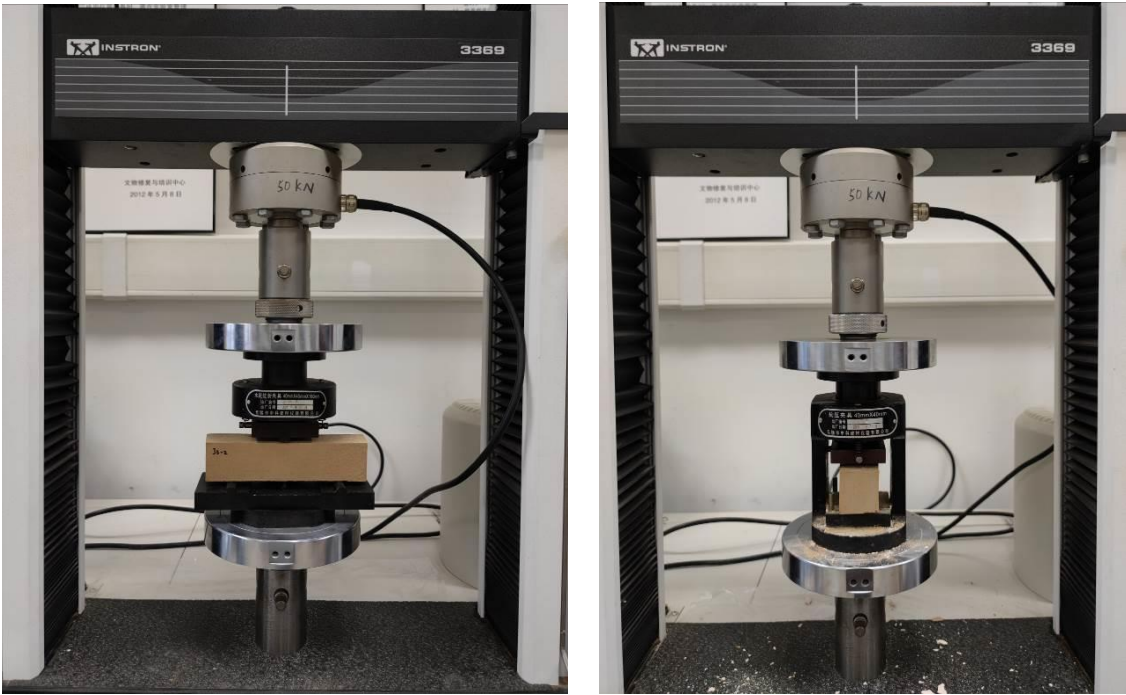


图 4-10 抗折、抗压强度测试

(7) 含水率及密度

测试方法：从试样脱模时起，每天测量试样质量，直至质量稳定后，将试样置于烘箱，在 105℃下烘干，称得干质量，根据下式计算得出含水率。

$$w = \left( \frac{w_d}{m_o} - 1 \right) \times 100$$
 (式 4-1)

式中  $w$  ——含水率（%）

$m_o$ ——干土质量（g）

$w_d$ ——湿土质量（g）

用电子数显卡尺测量试样养护期的直径、高，计算出质量稳定后的体积  $V$ ，根据下式分别计算其湿密度和干密度。

$$\rho_o = \frac{m_o}{V}$$
 (式 4-2)

式中  $\rho_o$ ——试样的湿密度（g/cm<sup>3</sup>）

$m_o$ ——试样的湿质量（g）

$$\rho_d = \frac{\rho_o}{1+0.01w}$$
 (式 4-3)

式中  $\rho_d$ ——试样的干密度（g/cm<sup>3</sup>）

$w$  ——试样的含水率（%）

(8) 耐水性测试

测试方法：各试样基本稳定后，将试样放入水中，定时拍照记录试样的破坏情况，水量以能够没过试样为宜。

4.1.5 测试结果

(1) 收缩率测试结果

根据各试样收缩率测试结果，绘制收缩率随龄期变化的曲线，如下图所示。观察发现，结石体 J-1、J-2、J-3 的收缩主要集中在养护期的前 10 天，在养护第 10-13 天时试样体积略有膨胀，在养护 13 天后基本保持稳定状态。

纯丙-硅丙混合液的浓度越高，结石体的收缩率越大。在养护 21 天时，J-3 的收缩率最大，为 19.426%，J-1 的收缩率最小，为 15.860%。

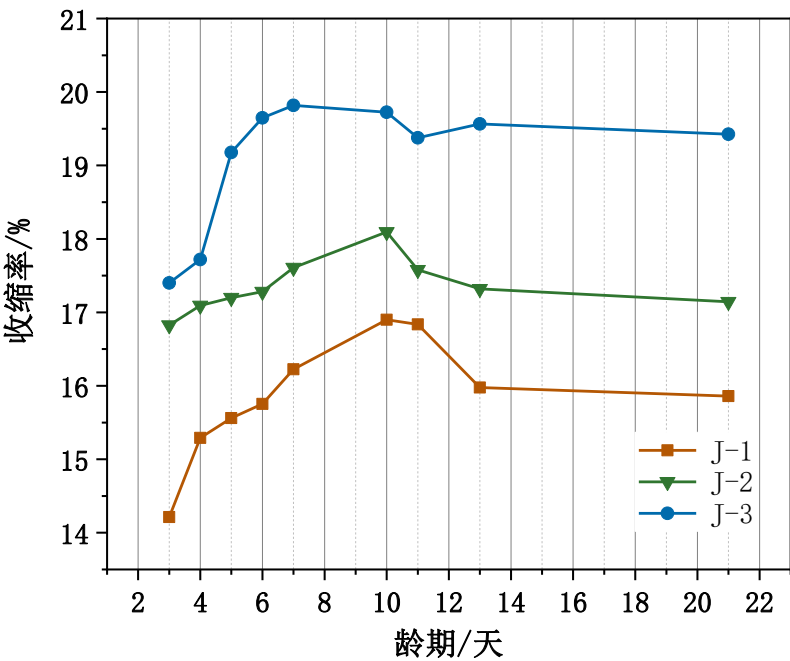


图 4-11 结石体收缩率随龄期变化的曲线

(1) 透气性测试结果

各试样的透气性测试结果如下图所示。测试结果显示，J-1、J-2、J-3 的透气性相差不大。

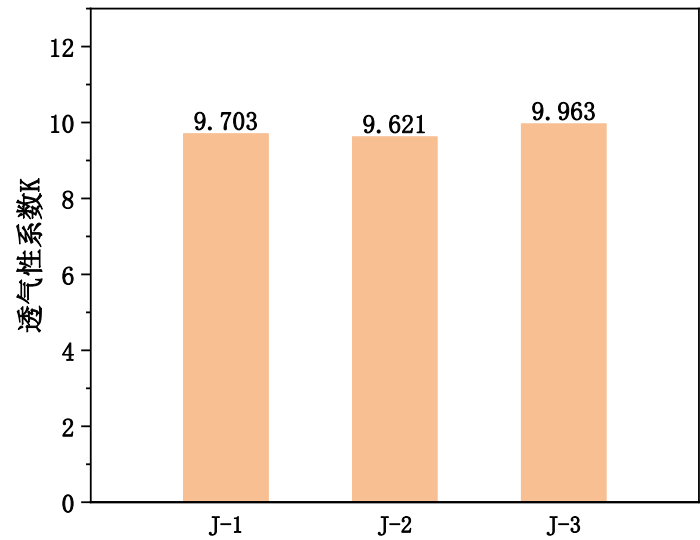


图 4-12 结石体的透气性测试结果

(3) 干燥时间测试结果

各试验组试样在养护过程中的质量及质量损失率随龄期的变化曲线如下图所示。在养护过程中，各组试样的质量均呈现逐渐下降的趋势。根据各结石体质量随龄期的变化曲线可知，结石体 J-1、J-2、J-3 在养护前 4 天质量下降速度较快，接近线性下降，约下降 5g/天，在养护第 4-6 天质量下降速度较慢，约下降 1g/天，在养护 6 天后趋于稳定。

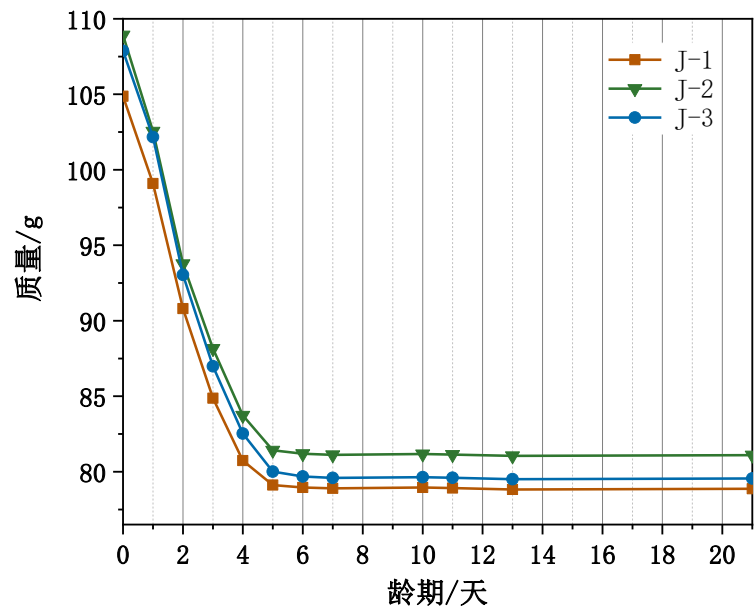


图 4-13 结石体质量随龄期变化的曲线

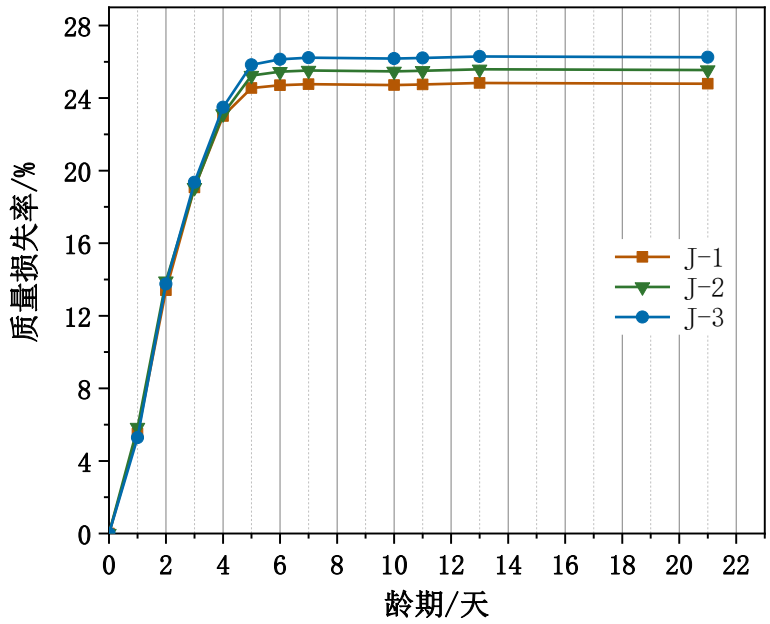


图 4-14 结石体质量损失率随龄期变化的曲线

(4) 龄期强度测试结果

分别测试各试样在脱模后第 7 天、第 14 天和第 28 天的龄期抗折、抗压强度。各试样在各龄期的弯曲应力-应变曲线、压缩应力-应变曲线及各试样抗折、抗压强度随龄期的变化分别如下图所示。

根据测试结果，随着龄期的增加，各试块的抗折、抗压强度逐渐增大，在养护 28 天时，结石体 J-1、J-2、J-3 分别可以提供 0.374MPa、0.395MPa、0.415MPa 的抗折强度，以及 3.373MPa、3.880MPa、4.412MPa 的抗压强度，抗折、抗压强度随混合液浓度的增加而增大。

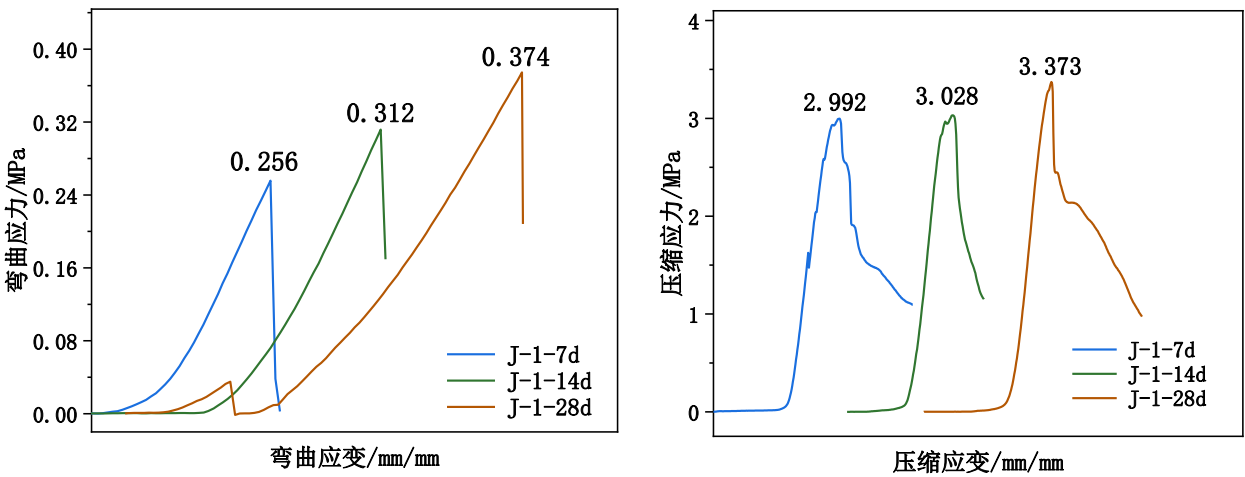


图 4-15 试样 J-1 在各龄期的应力-应变曲线



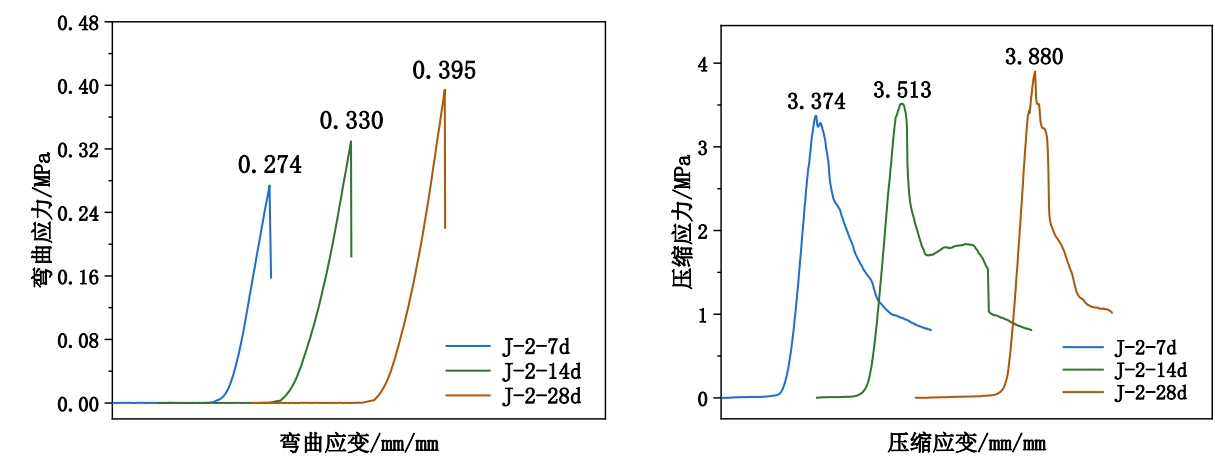


图 4-16 试样 J-2 在各龄期的应力-应变曲线

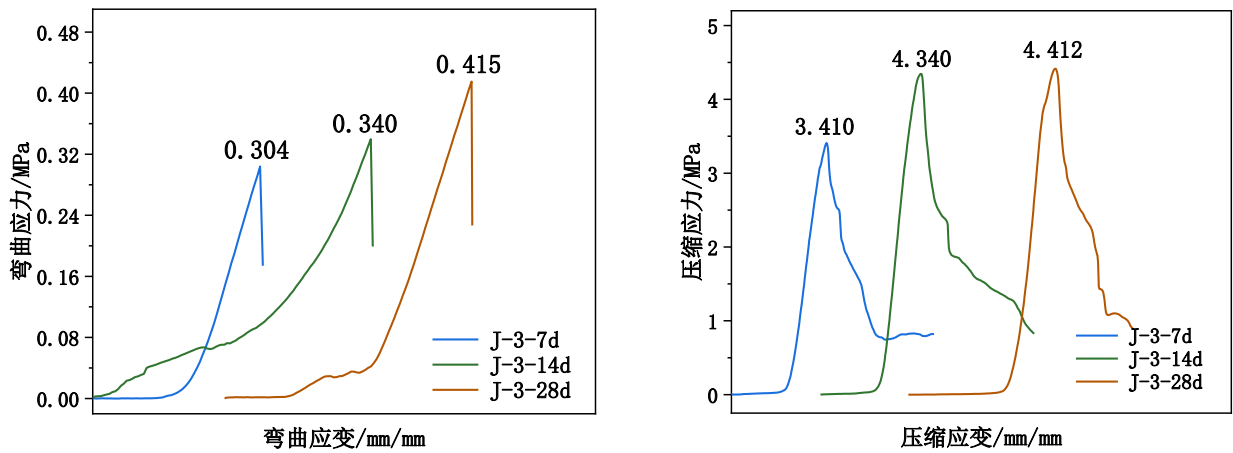


图 4-17 试样 J-3 在各龄期的应力-应变曲线

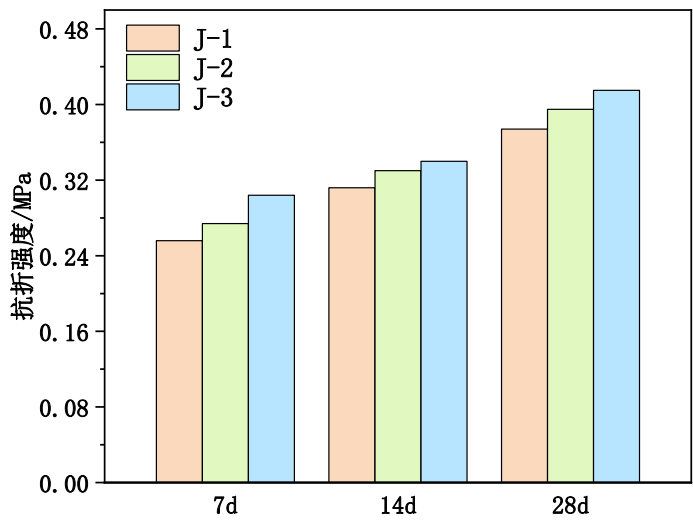


图 4-18 各试样抗折强度随龄期的变化

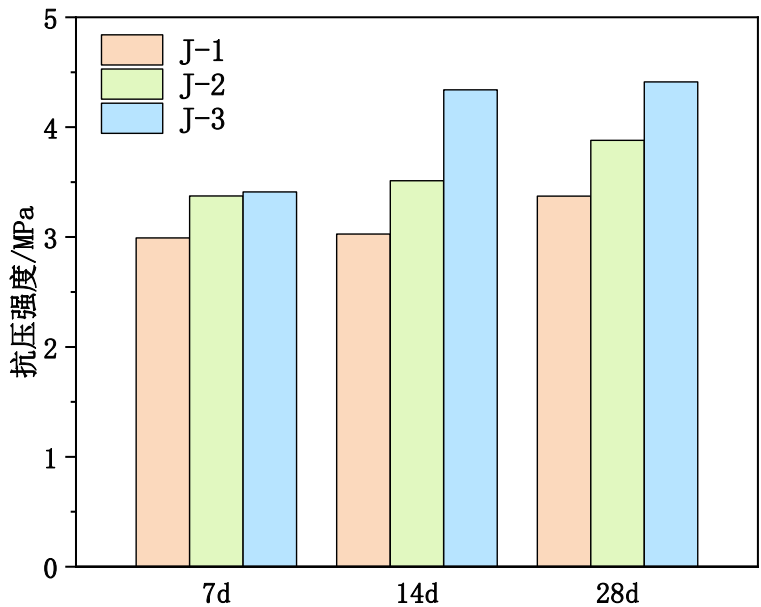


图 4-19 各试样抗压强度随龄期的变化

(5) 硬度、弹性波速测试结果

各试样在养护 28 天后的硬度、弹性波速测试结果分别见下表。结果显示，试样的硬度及弹性波速随混合液浓度的增加而增大，在养护 28 天后，J-1 的硬度可以达到 208.67，弹性波速可以达到 490.0；J-3 的硬度可以达到 254.67，弹性波速可以达到 588.7。

表 4-7 硬度测试结果

|     | 测试点 1 | 测试点 2 | 测试点 3 | 平均值    |
|-----|-------|-------|-------|--------|
| J-1 | 219   | 204   | 203   | 208.67 |
| J-2 | 224   | 209   | 210   | 214.33 |
| J-3 | 244   | 296   | 224   | 254.67 |

表 4-8 弹性波速测试结果

|     | 测试点 1 | 测试点 2 | 测试点 3 | 平均值   |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| J-1 | 577   | 481   | 412   | 490.0 |
| J-2 | 579   | 635   | 439   | 551.0 |
| J-3 | 532   | 682   | 552   | 588.7 |

(6) 含水率及密度计算结果

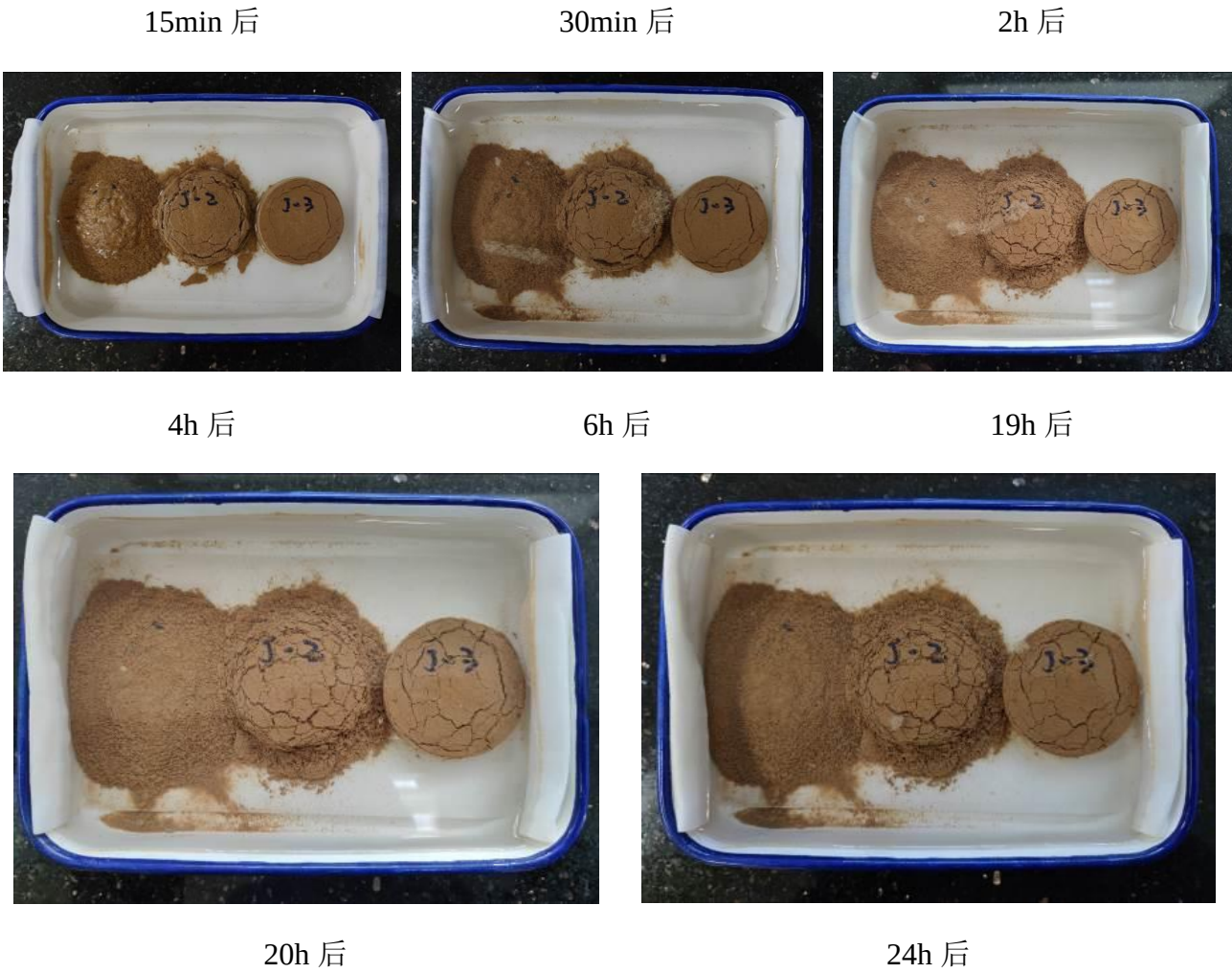
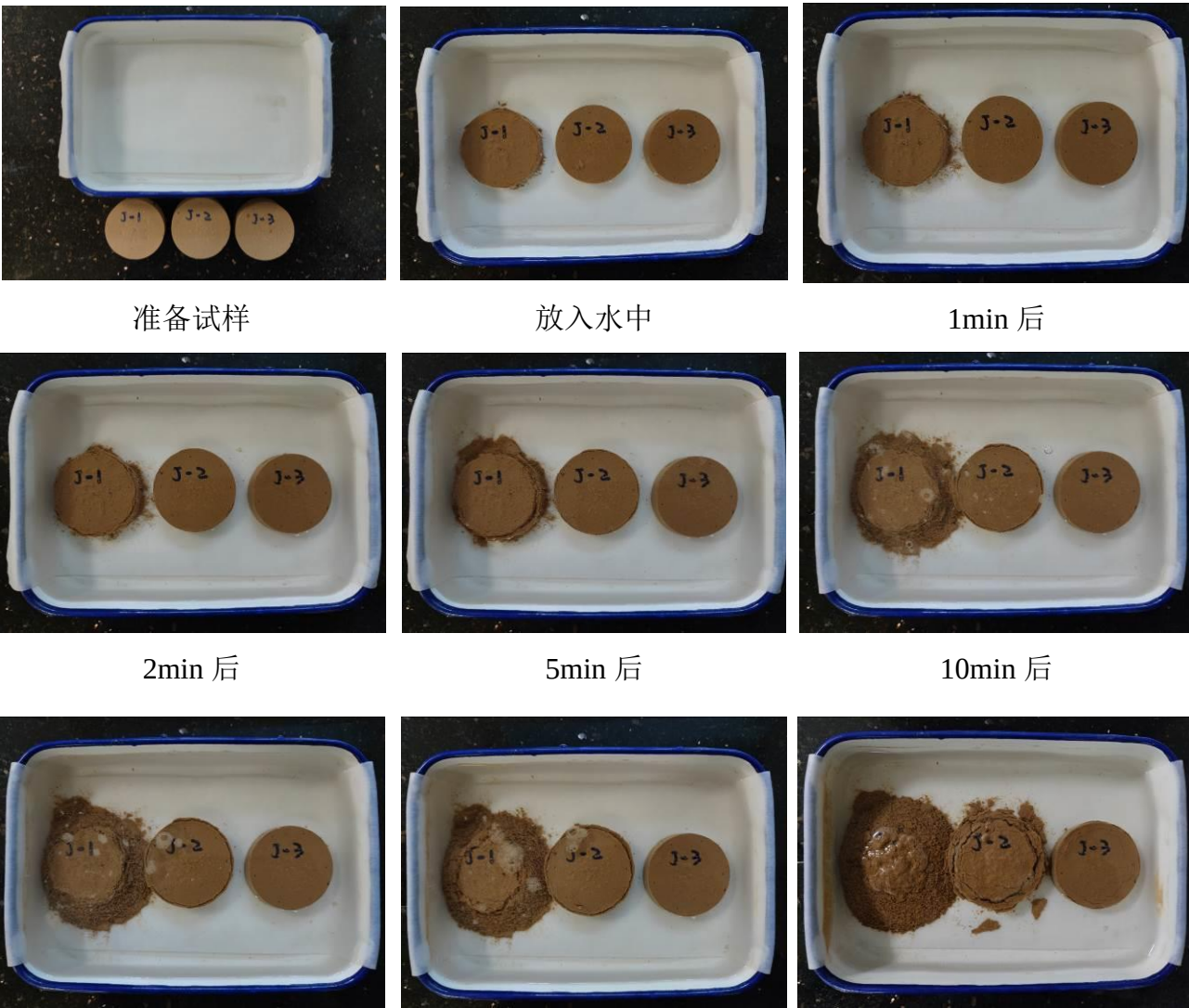
各试样在养护 28 天后的密度、含水率计算结果见下表。根据计算结果，在养护 28 天后，试样 J-2 的密度和含水率最大。

表 4-9 含水率及密度计算结果

|     | 湿质量 (g) | 干质量 (g) | 含水率 (%) | 湿密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 干密度 (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----|---------|---------|---------|--------------------------|--------------------------|
| J-1 | 78.814  | 78.521  | 0.373   | 1.314                    | 1.309                    |
| J-2 | 81.037  | 80.712  | 0.403   | 1.351                    | 1.345                    |
| J-3 | 79.493  | 79.208  | 0.360   | 1.325                    | 1.320                    |

(7) 耐水性测试结果

各试样放入水中后的情况如下图所示。



根据实验结果，试样 J-1 放入水中后立即开始从试样边缘开始崩解，2h 后已经完全崩解；试样 J-2 在放入水中 2min 后，样块边缘开始出现裂隙，2h 后样块周边区域已经完全崩解，随即试样中央开始出现裂纹，24h 后几乎完全崩解；试样 J-3 在放入水中 15min 后，样块边缘开始出现小裂隙，2h 后试样中部区域也产生裂隙，24h 后试样已布满裂隙。实验结果表明，混合液浓度越高，试样的耐水性越好。

(8) 小结

根据上述实验结果，纯丙-硅丙混合液的浓度越高，试样的收缩率越大，抗折、抗压强度、硬度及弹性波速越大，耐水性越好。

三种试样的透气性相差不大，试样的质量在养护 6 天后趋于稳定，试样的收缩主要集中在养护期的前 10 天，在养护 13 天后基本保持稳定状态。

在养护 21 天时，J-3 的收缩率最大，为 19.426%，J-1 的收缩率最小，为 15.860%。在养护 28 天时，结石体 J-1、J-2、J-3 分别可以提供 0.374MPa、0.395MPa、0.415MPa 的抗折强



度，以及 3.373MPa、3.880MPa、4.412MPa 的抗压强度；此时，试样 J-1 的硬度可以达到 208.67，弹性波速可以达到 490.0；J-3 的硬度可以达到 254.67，弹性波速可以达到 588.7。

综合以上结果，试样 J-2 配比具有适宜的收缩率、透气性及强度，能够满足作为空鼓壁画灌浆材料的条件，因此，在天宁寺大雄宝殿的空鼓壁画灌浆现场试验中，选择当地黄土作为灌浆填充材料，以浓度为 2%的混合液作为主剂进行测试。

4.2 壁画地仗填补、边沿加固材料筛选试验

4.2.1 试验材料

针对大雄宝殿壁画的空鼓病害特征，结合勘察设计阶段灌浆加固材料试验，制作灌浆材料试验样块。本试验是在现场对此类病害的修复材料及工艺研究基础上，针对泥质壁画地仗脱落的具体特征，选用相应的灌浆材料，尽量选用重量轻、透气性好、收缩率小、强度适中、流动性好的材料，按照最小介入和最大兼容原则，按一定比例混合。主要材料有：

黄土：取自大伾山天宁寺周边洁净无污染的素土。

石英砂：石英砂主要成分是 SiO<sub>2</sub>，颜色呈乳白色或无色半透明状，是一种化学性能稳，耐磨又坚硬的硅酸盐矿物。

去离子水。

4.2.2 试验内容及方法

将素土、石英砂分别过筛，将麦草剪成 2-3cm 的小段。试验中土砂比及掺加料的含量参考壁画原地仗层确定。进行地仗筛选时制作 D-1#、D-2#、D-3#三种试块，其中试块 D-1#土沙比为 9:1，试块 D-2#土沙比为 8:2，试块 D-3#土沙比为 7:3，每组样块均加入麦草作为筋料，以增强其强度，麦草含量均为 1%，各试块具体配比见下表。

表 4-10 地仗填补、边沿加固材料筛选试块配比

| 试样编号 | 土:砂 | 麦草含量 |
|------|-----|------|
| D-1# | 9:1 | 1%   |
| D-2# | 8:2 | 1%   |
| D-3# | 7:3 | 1%   |

4.2.3 试样制备及养护

具体试验步骤：首先将筛好的黄土、砂按照上述配比进行混合，搅拌均匀后加入相应浓度混合液进行搅拌，将麦草分四次加入，每次加入后搅拌，使麦草能够与土、砂均匀混合，最后将灰料搅拌至成为松软的泥状，放在保鲜膜中醒制 24h，然后装入模具。模具使用 60 立方（Φ61.8×20 mm）环刀以及 100 立方（Φ50.46×50mm）环刀，用修复刀将配制好的面泥依次抹至模具中，压实，将边缘修整齐，编好号。静置 24h 后脱模，脱模后的试块在室温下阴干。各试块分别进行收缩率、透气性、干燥时间、弹性波速及硬度测试，测试方法、仪器同 4.14。

试验过程中拍照记录整体过程。



试验土                      石英砂                      麦草

图 4-20 试验材料



调配材料                      放入模具                      修整表面

图 4-21 试样制作过程

4.2.4 测试结果

(1) 收缩率测试结果

根据各试样收缩率测试结果，绘制收缩率随龄期变化的曲线，如下图所示。观察发现，试样 D-1、D-2、D-3 的收缩主要集中在养护期的前 10 天，在养护 13 天后基本保持稳定状态。

试样含沙量越高，收缩率越小。各试样的收缩率均在 5%以下，在养护 25 天时，D-1 的收缩率最大，为 4.011%，D-3 的收缩率最小，为 1.031%。

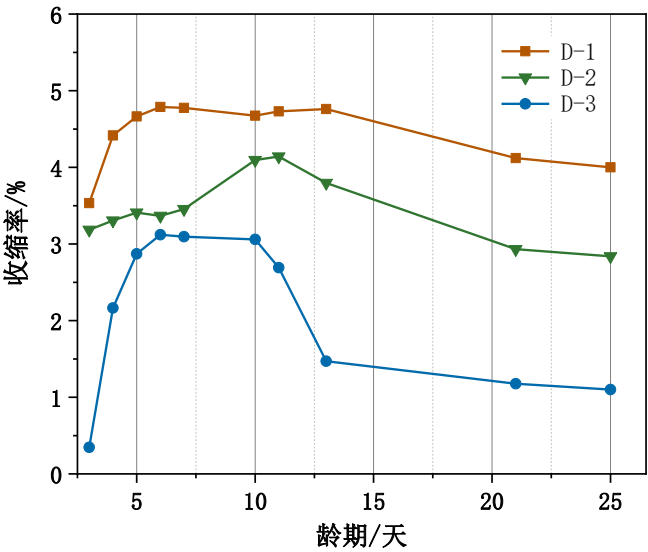


图 4-22 各试样收缩率随龄期变化的曲线

(2) 透气性测试结果

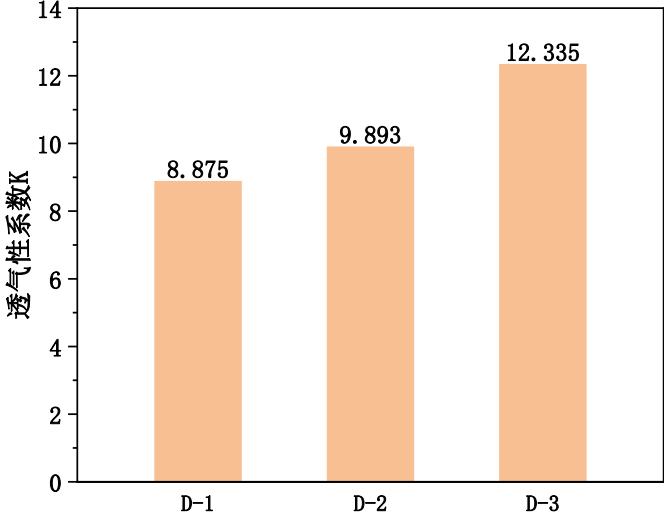


图 4-23 各试样透气性测试结果

各试样的透气性测试结果如上图所示，根据测试结果，含沙量越高的试样透气性越好。

试样 D-1 的透气性系数最小，为 8.875，D-3 的透气性系数最大，为 12.335。

(3) 干燥时间测试结果

各试样在养护过程中的质量及质量损失率随龄期的变化曲线如下图所示。在养护过程中，各组试样的质量均呈现逐渐下降的趋势。根据各结石体质量随龄期的变化曲线可知，各试样在养护前 2 天质量下降速度较快，接近线性下降，约下降 7g/天，在养护第 2-4 天质量下降速度较慢，约下降 1g/天，在养护 4 天后趋于稳定。

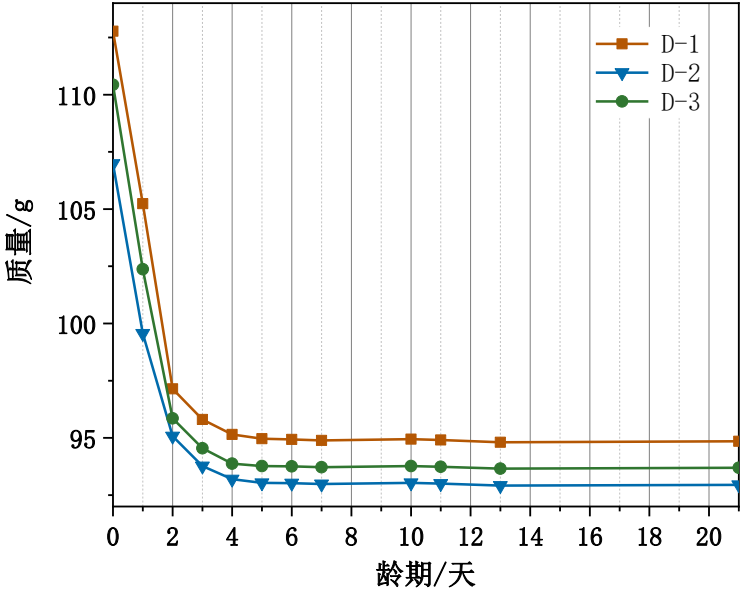


图 4-24 各试样的质量随龄期变化的曲线

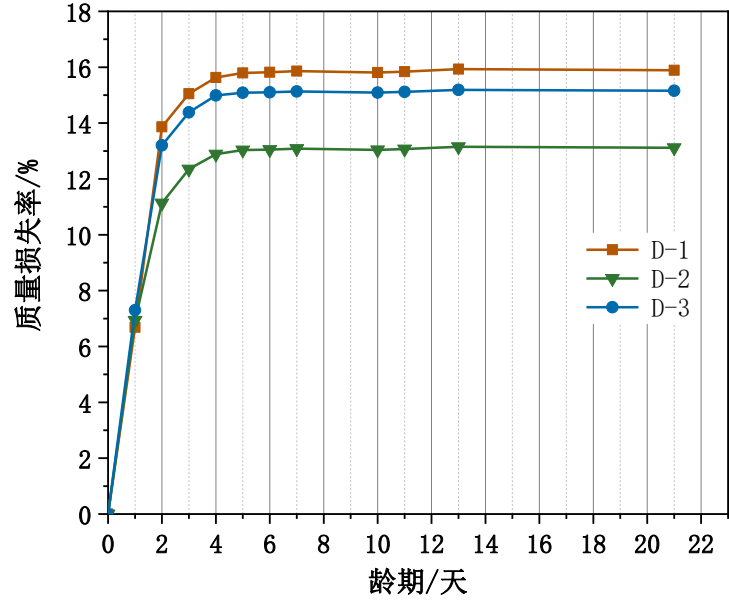


图 4-25 各试样的质量损失率随龄期变化的曲线



（4）硬度、弹性波速测试结果

各试样在养护 28 天后的硬度、弹性波速测试结果分别见下表。结果显示，试样的硬度及弹性波速随砂含量的增加而减小，在养护 28 天后，D-1 的硬度可以达到 266.67，弹性波速可以达到 526.7；D-3 的硬度可以达到 216.33，弹性波速可以达到 509.0。

表 4-11 硬度测试结果

|     | 测试点 1 | 测试点 2 | 测试点 3 | 平均值    |
|-----|-------|-------|-------|--------|
| D-1 | 283   | 256   | 261   | 266.67 |
| D-2 | 233   | 223   | 225   | 227.00 |
| D-3 | 222   | 206   | 221   | 216.33 |

表 4-12 弹性波速测试结果

|     | 测试点 1 | 测试点 2 | 测试点 3 | 平均值   |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| D-1 | 529   | 631   | 420   | 526.7 |
| D-2 | 536   | 504   | 514   | 518.0 |
| D-3 | 485   | 562   | 480   | 509.0 |

（5）含水率及密度计算结果

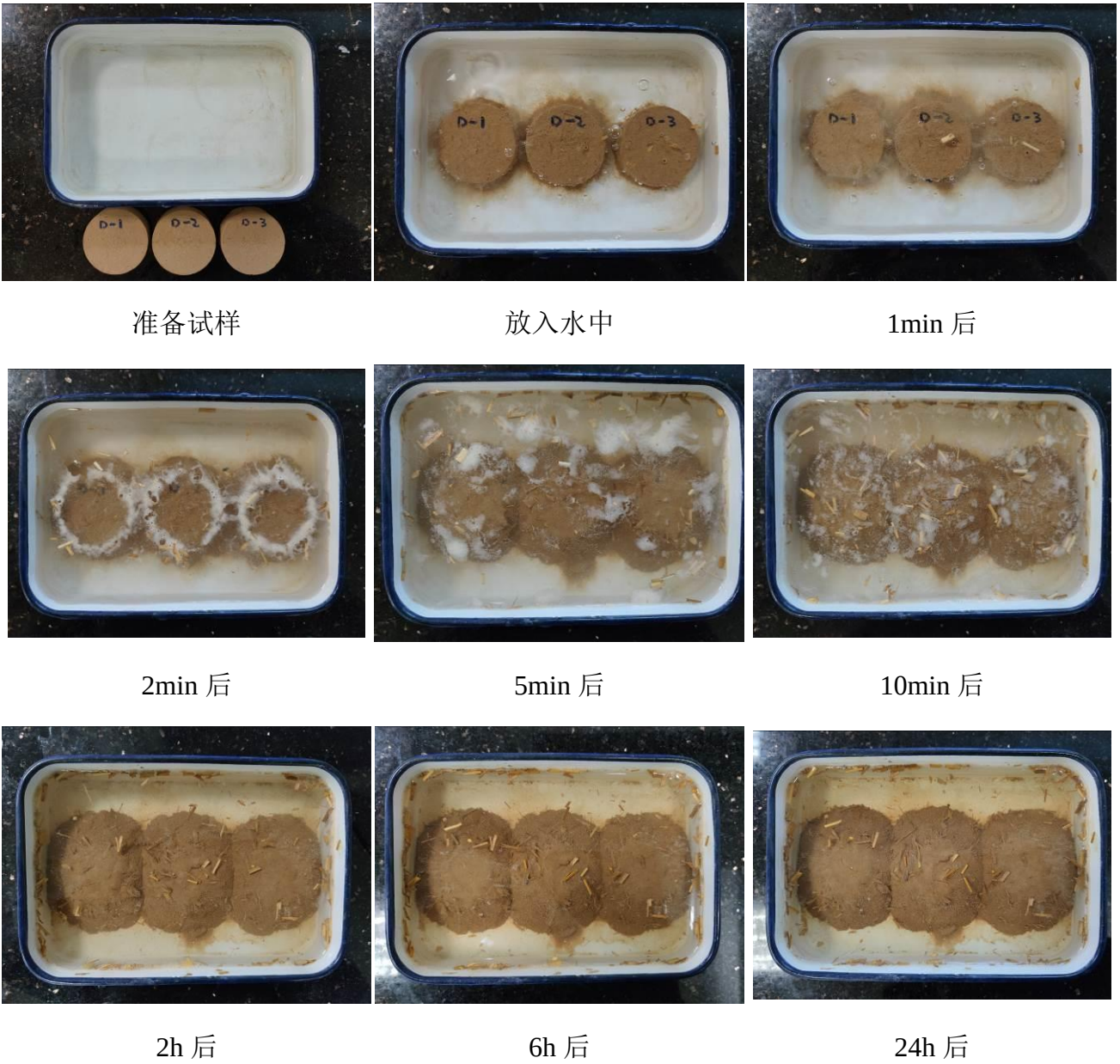
各试样在养护 28 天后的含水率、湿密度及干密度计算结果见下表。根据计算结果，试样 D-1 的密度及含水率最大。

表 4-13 含水率及密度计算结果

|     | 湿质量（g） | 干质量（g） | 含水率（%） | 湿密度（g/cm³） | 干密度（g/cm³） |
|-----|--------|--------|--------|------------|------------|
| D-1 | 94.791 | 94.172 | 0.657  | 1.560      | 1.570      |
| D-2 | 92.893 | 92.365 | 0.572  | 1.548      | 1.539      |
| D-3 | 93.639 | 93.148 | 0.527  | 1.561      | 1.552      |

（6）耐水性测试结果

各试样放入水中后的情况如下图所示。



根据实验结果，三种配比的试样耐水性均较差，在放入水中后同时开始迅速崩解，产生气泡及白沫，三种试样在放入水中 5min 后几乎全部崩解。

（7）小结

根据上述实验结果，试样的含沙量越高，收缩率越小，透气性越越好，硬度和弹性波速越小。

各试样在养护前 2 天质量下降速度较快，接近线性下降，约下降 7g/天，在养护第 2-4 天质量下降速度较慢，约下降 1g/天，在养护 4 天后趋于稳定；各试样的收缩主要集中在养护期的前 10 天，在养护 13 天后基本保持稳定状态。

试样 D-1 的透气性系数最小，为 8.875，D-3 的透气性系数最大，为 12.335；各试样的收



缩率均在 5%以下，在养护 25 天时，D-1 的收缩率最大，为 4.011%，D-3 的收缩率最小，为 1.031%；在养护 28 天后，D-1 的硬度可以达到 266.67，弹性波速可以达到 526.7；D-3 的硬度可以达到 216.33，弹性波速可以达到 509.0。

综合上述试验结果（结合现场检测原泥质地仗层里氏硬度值均为 220HL 左右），试样 D-2 具有适宜的透气性、收缩率及与原地仗最接近的硬度值，适宜作为壁画脱落地仗层填补及边缘加固材料，因此，在天宁寺大雄宝殿壁画地仗填补及边缘加固现场试验中，拟选用土砂比为 8:2，麦草含量为 1%的修复材料。

4.3 结论

在上述灌浆材料筛选试验以及地仗填补、边缘加固材料筛选试验中，测试了各配比试样的收缩率、透气性、硬度、弹性波速、龄期强度、耐水性等性能，根据测试结果，天宁寺大雄宝殿空鼓壁画区域的灌浆材料拟选用浓度为 2%的混合液作主剂，以当地土作填充材料；壁画脱落地仗填补及边缘加固区域，拟选用土砂比为 8:2，麦草含量为 1%的修复材料。

5.现场保护修复试验

浚县天宁寺大雄宝殿壁画病害形成原因较为复杂，原址保护工程涉及面广、工程量大，是一个跨学科的综合性文物保护工程。结合修复加固材料物理化学性质分析、修复加固材料基本物理力学性能试验及大雄宝殿现存环境进行现场试验，筛选出适宜的修复材料和修复工艺方法，为大雄宝殿壁画保护以及修复实施打下坚实有力的基础。

5.1 原则与依据

在修复过程中必须遵守《中华人民共和国文物保护法》、《中华人民共和国文物保护法实施条例》、《中国文物古迹保护准则》、《文物保护工程管理办法》等法律、法规，坚持“保护为主，抢救第一”的文物工作方针，按照“不改变文物原状”和“最小介入最大兼容”的原则。

同时，在大雄宝殿壁画保护过程中，应严格遵循《中国文物古迹保护准则》第六条之规定，即“研究应当贯穿在保护工作全过程，所有保护程序都要以研究的成果为依据”。以病害现状和特点为依据，对一处壁画多处病害并存的情况，根据不同病害的表现特征和严重程度，选择适宜的保护工艺，依病害轻重程度分步实施。

5.2 补型灌浆修复材料制备

保护修复材料的选择是保证文物修缮安全性、时效性的关键，按保护修复材料应具有最大兼容性、可逆性等原则，选取大雄宝殿地仗制作原材料——本地黄土及本地麦草做基础修复加固材料。

选取天宁寺周边断崖处洁净黄土，经过初筛、细筛后，将黄土放入洗净的空桶中，使用纯净水对黄土进行浸泡脱盐，浸泡前测量纯净水的电导率及 PH 值（电导率值为 1.5μS/cm，PH 值为 7），纯净水需没过黄土至少二分之一，浸泡 24 小时，待黄土完全沉淀后，测量浸泡液的电导率及 PH 值，测量完毕后倒出上清液，并向桶中倒入等量纯净水。重复以上程序，直至浸泡液电导率及 PH 值与纯净水相近。

经检测，第一遍浸泡液的电导率值为 1350μS/cm，第二、三、四遍浸泡液电导率值呈现匀速下降趋势，至第五遍时，电导率数值趋于稳定，保持在 221μS/cm 左右；黄土浸泡液第一遍测定 PH 值为 6.8，第二、三遍呈上升趋势，至第四遍时趋于稳定，保持在 7.2 左右；根据测试结果，经纯净水浸泡的地仗修补材料，已有效去除了其中的可溶盐等物质，保障后期试验中材料的稳定性及实验数据的准确性。

将浸泡后黄土倒在干净的塑料布上，并均匀铺平进行晾晒，晒干后将干燥板结的黄土碾碎，并使用细分析筛进行过滤，去除较大颗粒及杂质，筛得黄土即可作为补型灌浆加固试验材料。



图 5-1 取土



图 5-2 脱盐





图 5-3 PH 值测量



图 5-4 电导率测量



图 5-7 捶打麦草



图 5-8 裁剪麦草



图 5-5 筛土



图 5-6 过筛后的黄土



图 5-9 麦草脱盐



图 5-10 电导率测量

选取浚县当地的洁净麦草，将麦草放入桶中，使用纯净水对麦草进行浸泡脱盐，浸泡至少三遍，每一遍持续浸泡 24 小时，并对每一遍浸泡液进行电导率及 PH 值测试，直至浸泡水电导率及 PH 值数值接近或等于纯净水数值。第一遍浸泡液测得的电导率值为  $190\mu\text{S}/\text{cm}$ ，第二、第三、第四遍浸泡液电导率值呈现匀速下降趋势，至第五遍时，电导率数值趋于稳定，保持在  $20\mu\text{S}/\text{cm}$  左右；麦草第一遍浸泡液测得的 PH 值为 7.3，第二、三遍趋于稳定，至第四遍时降至 7.1。通过测试数据可知，纯净水浸泡过的麦草，已有效去除了其中的可溶盐等物质，为后期试验中材料的稳定性及实验数据的准确性提供保障。使用铁锤或较坚硬工具对麦草持续不断进行捶打，使其较为坚硬外壳变得松散，富有韧性；随后用剪刀将麦草按 1 公分左右的长度进行裁剪，并将裁剪后的麦草均匀铺平在塑料布上进行晾晒，直至麦草彻底干透，放入干燥的密封袋中备用。

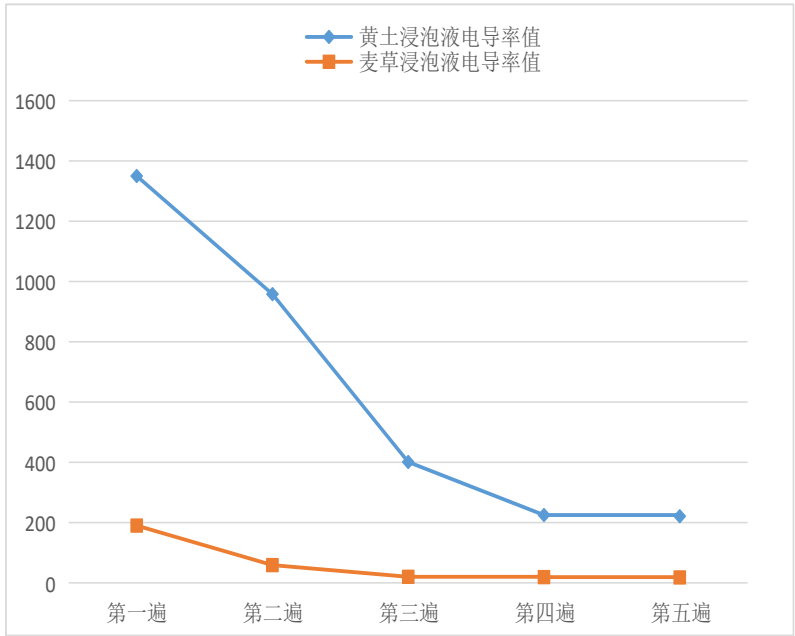


图 5-11 黄土、麦草浸泡液各浸泡遍次电导率值



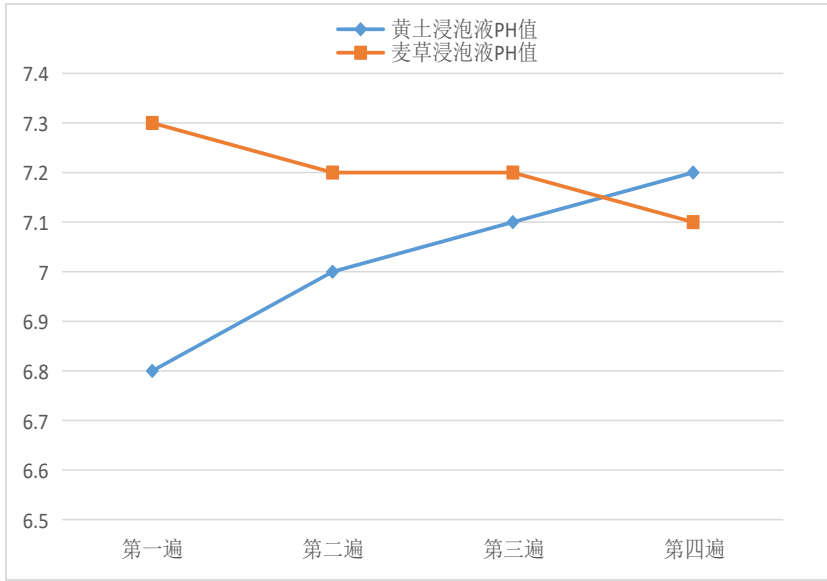


图 5-12 黄土、麦草浸泡液各浸泡遍次 PH 值

5.3 空鼓壁画保护修复试验

大雄宝殿壁画空鼓病害较多，局部空鼓区域地仗层较为疏松，需先对疏松地仗层进行加固，待地仗自身强度提升后，再进行灌浆修复。

空鼓壁画修复时应遵循空鼓壁画灌浆原则，即：

- （1）自下而上少量多次循序进行灌浆。
- （2）大面积空鼓壁画采用先外围后内部灌浆。
- （3）空鼓壁画裂缝应自裂缝一端向另一端或自裂隙下端向上端进行灌浆。
- （4）点状灌浆、片状灌浆、条状灌浆，不必灌满。

根据大雄宝殿壁画空鼓病害情况，结合前期实验室灌浆加固材料筛选试验结果，选择有机硅改性丙烯酸乳液、改性丙烯酸乳液，将两种加固材料调和为 1:1 比例的混合液加固剂先进性预加固，再选用以黄土、浓度为 2%混合液材料，和制成胶灰比 0.5 的稀灰浆进行灌浆。

空鼓壁画灌浆工艺为：

（1）除尘

使用通桥，将空鼓区域内部已脱落杂物、碎屑清除，并使用洗耳球、刮刀、软毛刷等工具将杂物、碎屑清理干净，使空鼓区域内部整洁。

（2）地仗层预加固

制备混合液加固剂，使用注射器将混合液加固剂对空鼓区域疏松地仗层进行预加固，使

地仗层强度增高，达到可灌浆要求。

（3）注浆孔定位

对空鼓区域进行灌浆前的预判定，明确灌浆区域及需要灌浆的面积后，根据区域面积大小及壁画空鼓严重程度，选取适当点位作为预设开孔点。

（4）开孔

对空鼓区域进行灌浆前的预判定，明确灌浆区域及需要灌浆的面积后，选择适宜开孔的区域，用特制工具在壁画空鼓区域已破损或画面不完整处开设直径 0.5cm 的小孔（如灌浆区域有较适合埋设注浆管的裂隙或孔隙，可选择在该区域进行灌浆操作，避免开孔对壁画造成不可逆的损害）。

（5）埋设注浆管

将注浆管从注浆孔插入壁画与支撑体的空隙中，注浆管可根据空鼓部位的情况调整。

（6）裂隙预封护

为方便观察空鼓区域灌浆情况，防止浆液外流造成壁画污染，对空鼓区域边沿存在开裂的区域，使用脱脂棉对空鼓裂隙部位进行预封护。

（7）灌浆

用 100mL 医用注射器由下而上，将浆液顺注浆管压入壁画空鼓部位，同时手掌轻轻按住壁画灌浆部位（应带好一次性橡胶手套），灌浆过程中随时调整注浆管长度及位置，少量多次灌入，以免浆液灌入过多，造成壁画鼓裂或浆液外泄。

（8）支顶壁画

灌浆后，用带有保护层的纯棉木浆纸和吸水脱盐材料 KC-X60 纸的透气性顶板，对壁画进行支顶保护，支顶力度不宜过大，支顶板轻顶部软性材料与壁画轻触即可。

（9）边沿加固

待浆液干燥后，去除支顶板及裂隙处预封护脱脂棉，使用地仗修补材料对裂隙处进行边沿加固，以使其达到稳定状态。

（10）修补注浆孔

使用地仗修补材料，对注浆孔进行填补。

（11）表面效果处理

对边沿加固区域及注浆孔填补区域，待修补材料半干燥时，进行表面效果处理，使修补



区域质感及色彩与周边壁画相协调，达到整体视觉效果的和谐统一。



图 5-13 空鼓灌浆区域所用材料、工具



图 5-14 通桥清理杂物、碎屑



图 5-15 洗耳球吹净积尘



图 5-16 刮刀剔除杂物、碎屑



图 5-17 毛刷除尘



图 5-18 疏松地仗层预加固



图 5-19 埋设注浆管



图 5-20 空鼓区域裂隙预封护



图 5-21 注射浆液



图 5-22 支顶板定位



图 5-23 灌浆区域支顶



图 5-24 灌浆区域边沿加固

#### 5.4 不稳定地仗层边沿加固

壁画地仗层局部脱落部位伴有地仗层边沿不稳定、起翘等病害，其长度、厚度不一，大多集中在地仗层、基层局部脱落或空鼓开裂等部位。

结合前期实验室壁画地仗补型、边沿加固材料筛选试验结果，针对白灰层与泥质地仗层边沿加固部位，分别选用相对应的黄土或熟石灰材料，对病害部位进行保护加固修复；对疏松不稳定地仗层使用浓度为 1% 的混合液，根据病害程度调整加固量，对其局部进行加固；修复泥质地仗层使用脱盐后的黄土、纯净石英砂，以土砂比 8:2，麦草量为 1% 的比例进行调配，根据病害程度适当调整水灰比；修复白灰地仗层使用熟石灰，根据病害程度适当调整水灰比。修复顺序依次为积尘、碎屑清理→疏松地仗加固→破损地仗层边沿修复。

具体工艺如下：

##### （1）积尘、杂物清理

不稳定地仗层的除尘、杂物清理与空鼓壁画的清理方法基本相同，值得注意的是部分壁画边沿非常脆弱，地仗层酥软粉状颗粒脱落较多，在除尘时一定要格外小心，掌握好力度，



既要清除粉尘，又要保留原疏松的地仗层。使用毛刷轻轻的进行清扫，同时配合洗耳球进行吹洗。

（2）疏松地仗层预加固

制备混合液加固剂，使用注射器将 1%混合液沿地仗层边沿注射进背部，使疏松地仗层达到稳定状态（2~3 遍）。

（3）填垫灰浆

壁画的地仗粉状脱落和颗粒状缺失，基底层大片悬浮，如果仅以注射粘结剂加固的方式对区域进行加固，会使基底层低陷，画面凹凸不平影响美观。因此，在加固剂干燥后，使用地仗修补材料，用小型修复刀对壁画边沿缺失部位进行填垫，填垫灰浆的量要严格掌握，过多过少都会影响壁画边沿加固效果。

（4）表面效果处理

待填补材料半干燥时，进行材料表面效果处理，使修复区域与周边原壁画区域视觉效果整体协调、统一。



图 5-25 边沿碎屑清理



图 5-26 积尘清理

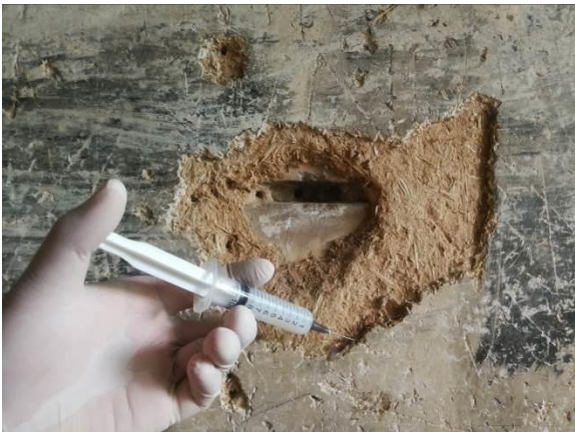


图 5-27 疏松地仗层加固

图 5-28 破损地仗边沿填补

5.5 脱落、孔洞地仗层加固填补

结合前期实验室壁画脱落地仗补型、边沿加固材料筛选试验结果，针对白灰层与泥质地仗层需要填补加固的部位，分别选用相对应的黄土或熟石灰作为主要修复材料，对病害部位进行保护加固修复；由于壁画内部结构出现疏松或自然重力以及人为活动导致地仗层脱落、松动，需对不稳定地仗层或基底层不稳定区域进行预加固，待其达到稳定状态后再进行脱落地仗填补工作，对疏松不稳定地仗层使用浓度为 1%混合液进行预加固，可根据地仗层疏松程度调整加固次数（最多加固三遍），对其局部进行预加固；修复泥质地仗层使用脱盐后的黄土，选用纯净石英砂，以土砂比 8:2，麦草量为 1%的比例进行调配，根据病害程度适当调整水灰比；修复白灰地仗层使用熟石灰，根据病害程度适当调整水灰比。

（1）积尘、杂质清除

地仗加固前，首先要对地仗修复区域进行除尘、杂物清理，使用软毛刷、洗耳球、软毛牙刷等工具同时配合进行清理作业，确保加固、填补试验区域的地仗层表面无其他杂质，整体整洁、干净；

（2）疏松地仗层预加固

清除试验区地仗层表面积尘、杂质后，制备混合液加固剂，使用 100ml 注射器，将浓度为 1%的混合液加固剂对松软地仗进行预加固，可根据地仗疏松程度适当调整加固遍数（1~3 遍），以增加补型区域原地仗强度。

（3）脱落地仗填补

制备地仗填补材料，待预加固区域干燥后，用地仗填补材料对地仗缺失区域进行填补，对脱落范围较大的区域，应采取少量多次填补的方式，确保填补材料的粘接强度及修复效果。

（4）表面效果处理

待填补材料半干燥时，进行表面效果处理，使修补区域整体视觉效果协调、美观。

泥质地仗层脱落修补试验区 1:





图 5-29 地仗填补材料



图 5-30 制备补型材料



图 5-31 积尘清理



图 5-32 碎屑清理



图 5-33 除尘



图 5-34 疏松地仗加固



图 5-35 填补地仗



图 5-36 填补地仗表面效果处理



图 5-37 修复前  
泥质地仗层脱落修补试验区 2:



图 5-38 修复后



图 5-39 积尘清理



图 5-40 碎屑清理





图 5-41 除尘



图 5-42 疏松地仗层加固



图 5-43 地仗填补



图 5-44 地仗填补干燥后效果

### 5.6 裂隙加固填补

由于墙体开裂变形导致壁画开裂，针对该类型壁画病害所采取的修复措施与脱落地仗修复工艺措施基本相同，对裂隙内部积尘、杂物等进行清理后，对不稳定地仗层或基层进行预加固，待其疏松地仗层达到稳定状态后再进行裂隙区域填补工作；修复泥质地仗层使用脱盐后的黄土，选用纯净石英砂，以土砂比 8:2，麦草量为 1%的比例进行调配，根据病害程度适当调整水灰比；修复白灰地仗层使用熟石灰，根据病害程度适当调整水灰比。

#### （1）积尘、杂质清除

地仗加固前，首先要对地仗病害区域进行除尘、杂物清理作业，确保该区域无其他杂质；

#### （2）疏松地仗层预加固

清除积尘、杂质后，使用 1%混合液加固剂对松软地仗进行加固，以增加补型区域强度。

#### （3）裂隙填补

待加固区域干燥后，用地仗填补材料对地仗缺失区域进行填补，对裂隙开裂范围较大的区域，应采取少量多次填补的方式，确保填补材料的粘接强度及修复效果。

#### （4）表面效果处理

待填补材料半干燥时，进行表面效果处理，使修补区域整体视觉效果协调、美观。



图 5-55 清理裂隙内部碎屑



图 5-56 除尘



图 5-57 积尘清理



图 5-58 裂隙疏松地仗加固





图 5-59 裂隙填补



图 5-60 表面效果处理



图 5-61 修复前

图 5-62 修复后

5.7 表面污染物清理

大雄宝殿壁画表面污染物主要分为积尘、泥渍、铅笔涂写、墨迹、粉笔涂写等，针对壁画表层不同种类、材质污染物，选用无色、无腐蚀性、具有较好操作性、低残留与可逆性的材料进行具有针对性的清除试验。

5.7.1 积尘

积尘病害广泛存在于大雄宝殿壁画表面，属于壁画表面污染物中较易清除的一种，从积尘的物理特性来看，灰尘是固体杂质，形状多不规则，大多是有棱角并带有灰、褐、黑等颜色，且具有吸水性。当空气中有大量灰尘，且相对湿度达到一定程度时，水汽即形成水滴，所以灰尘易被水湿润，也易吸附水分。其化学成分比较复杂，有时会提供导致降解的酸根和金属离子。有些灰尘本身就带有酸性或碱性，例如硫酸烟雾、光化学烟雾就具有酸性，金属氧化物等微粒具有碱性。另外灰尘中的飘尘由于粒径小，表面积非大，因此它们的吸附能力很强，可以将空气中的有害物质吸附在它们表面，而呈酸性或碱性。灰尘中往往含有粘土等物质，会吸收空气中的水分，使其发生水解反应，分解出胶粘状的氢氧化铝。

由于大部分积尘区域病害污染时间过长，经试验发现单纯依靠毛刷除尘及洗耳球吹吸等方法无法完全将积尘彻底清除，需使用棉签等工具配合试剂进行清理。



图 5-63 试验用工具及试剂

试验过程：

- (1) 使用软毛刷、洗耳球等工具将吸附在壁画表面的疏松的浮尘、浮土清理掉；
- (2) 准备三种清洗试剂，分别为去离子水、EDTA3%试剂、乙醇 2A 试剂（去离子水：无水乙醇=1：1），对残存的较为坚固的浮土层进行滚涂清除，并逐步将其清理干净，清理过程需格外小心谨慎，蘸取试剂量不易过大，否则会造成壁画便面试剂残留过多；不可使用过大力度进行清除，棉签需要勤换，否则易造成壁画表面二次污染或清除不净等现象。



图 5-64 洗耳球轻吹表面浮尘



图 5-65 软毛刷清除表层浮土





图 5-66 试验过程中



图 5-68 积尘清理试验前试验区显微照片 (X60 倍)

图 5-67 试验后对比效果



图 5-69 去离子水清理试验区显微照片 (X60 倍)

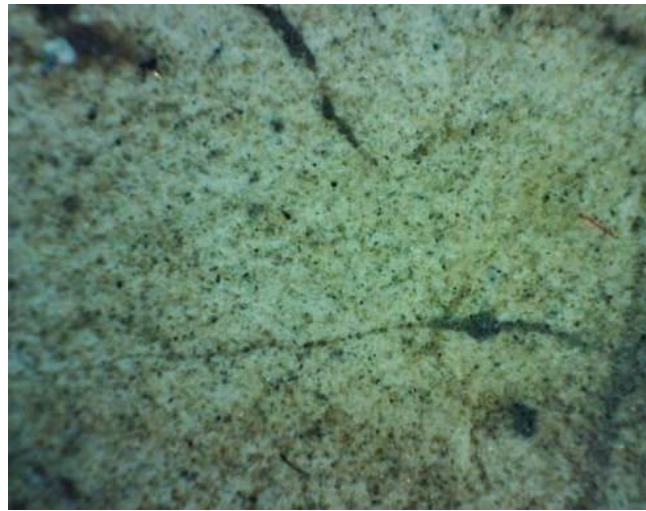


图 5-70 EDTA3%试剂清理试验区显微照片 (X60 倍)

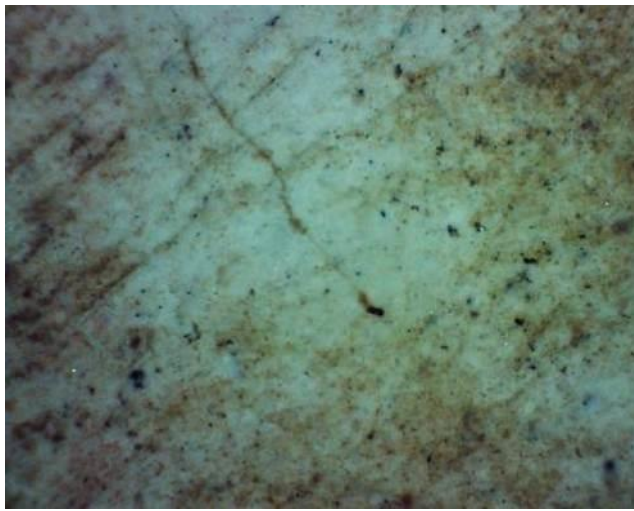


图 5-71 乙醇 2A 清理试验区显微照片 (X60 倍)

5.7.2 泥渍

泥渍作为大雄宝殿表层污染物病害中较难处理的一种，其清除工艺相较于其他类型污染物更为复杂，由于该类型病害在形成过程中伴有雨水混合，在泥浆流淌干燥后易形成较厚泥质结构物，其与地仗层、颜料层结合较为结实紧密，清理时需十分小心谨慎，否则极易对壁画颜料层、地仗层造成不可逆性损伤。

因泥质结垢较厚，仅仅依靠棉签擦拭的方法进行清理容易造成壁画表面二次污染，所以在第四块清洗试验中加入手术刀剔除法，先将表层较厚泥质结构剔除后，再对表层较薄区域进行清理，将重复污染概率减小到最低。

试验过程：

(1) 使用软毛刷、洗耳球等工具将吸附在壁画表面的疏松的浮尘、浮土清理掉；

(2) 准备三种清洗试剂，分别为去离子水、EDTA3%溶液、乙醇 2A 溶液（去离子水：无水乙醇=1：1），使用棉签蘸取适量试剂，在对应试验区进行泥渍污染物清理，清理过程需格外小心谨慎，蘸取试剂量不易过大，否则会造成壁画表面试剂残留过多；不可使用过大力度进行清除，棉签需要勤换，否则易造成壁画表面二次污染或清除不净等现象。

(3) 在第四处试验区，首先使用手术刀轻轻剔除壁画表面较厚泥质结垢，注意不可过度用力，亦不可用手术刀直接刮划壁画本体，仅将泥渍较突出部位小心清除平整；随后选取试剂清理试验效果较好的乙醇 2A 试剂，对泥渍剔除区域进行清理；清理过程需格外小心谨慎，蘸取试剂量不易过大，否则会造成壁画表面试剂残留过多；不可使用过大力度进行清除，棉签需要勤换，否则易造成壁画表面二次污染或清除不净等现象。

(4) 在泥渍试验区清理完毕后，使用无添加剂的纯木浆纸与纯净水，对试验区域进行整体脱盐。



图 5-72 洗耳球轻吹表面浮尘



图 5-73 软毛刷清除表层浮土



图 5-74 手术刀剔除较厚泥垢



图 5-75 局部棉签去污





图 5-76 泥渍去除试验前



图 5-77 泥渍去除试验后



图 5-78 试验用工具及试剂

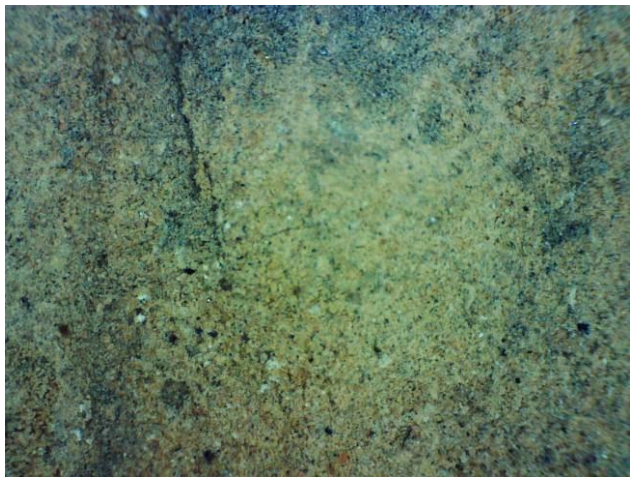


图 5-79 泥渍清理试验前试验区显微照片 (X60 倍)

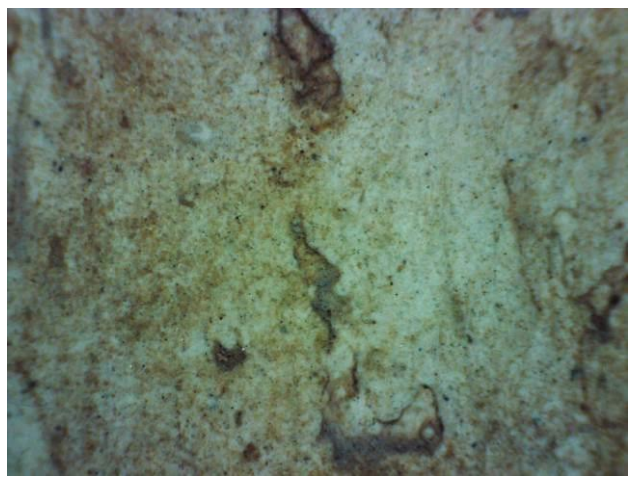
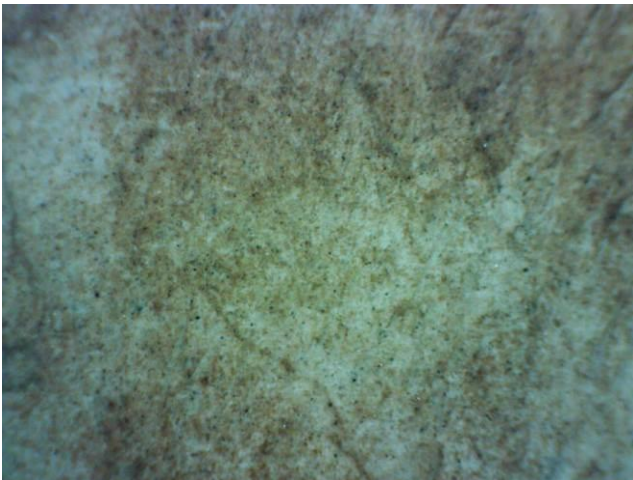


图 5-80 棉签蘸去离子水清理法试验区显微照 图 5-81 棉签蘸 EDTA3% 试剂清理法试验区显  
片 (X60 倍) 微照片 (X60 倍)

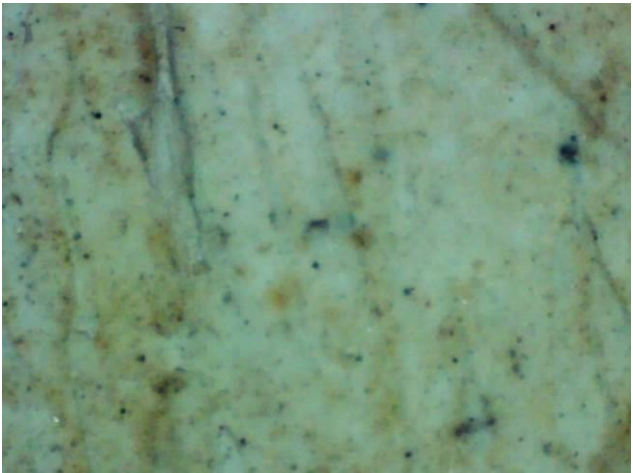
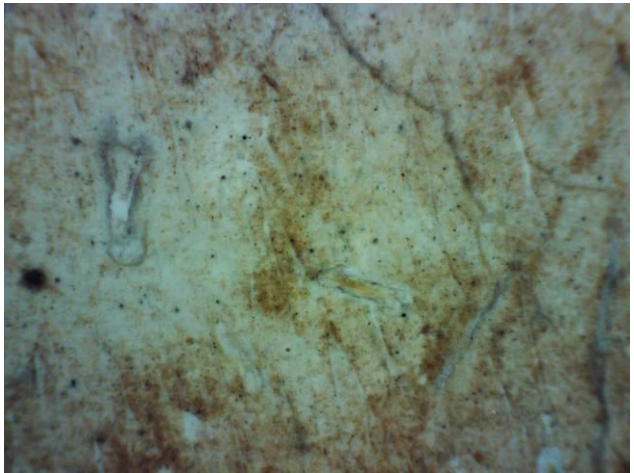


图 5-82 棉签蘸乙醇 2A 试剂清理法试验区显微 图 5-83 手术刀剔除法配合棉签蘸乙醇 2A 试  
照片 (X60 倍) 剂清理法试验区显微照片 (X60 倍)

### 5.7.3 涂写

粉笔涂写病害属于人为污染病害的一种，是使用生石膏材质粉笔或铅笔、有色颜料等材料在壁画表面颜料层上书写、绘画留下印记，对绘画层产生局部覆盖的一种病害，影响壁画观赏价值。此类病害多集中于壁画底部有人活动的区域，由于粉笔涂写时力度较大，所涂写的字体在壁画表面残存时间较长，较难去除。

试验过程：

(1) 使用软毛刷、洗耳球等工具将吸附在壁画表面的疏松的浮尘、浮土清理掉，再使用较软牙刷对粉笔痕迹进行局部清理，注意清理力度不宜过大，否则会对壁画颜料层造成不可逆的损伤；

(2) 准备三种清洗试剂，分别为去离子水、3%EDTA 溶液、2A 溶液（去离子水：无水乙醇=1：1），使用棉签蘸取适量试剂，在对应试验区滚拭清理粉笔痕迹，清理过程需格外小心谨慎，蘸取试剂量不易过大，否则会造成壁画便面试剂残留过多；不可使用过大力度进行清除，棉签需要勤换，否则易造成壁画表面二次污染或清除不净等现象。

(3) 在第四处试验区，首先使用手术刀轻轻剔除壁画表面较厚粉笔痕迹，注意不可过度用力，易不可用手术刀直接刮划壁画本体，仅将粉笔材料较突出部位小心清除平整；随后选取试剂清理试验效果较好的 2A 试剂，对泥渍剔除区域进行清理；清理过程需格外小心谨



慎，蘸取试剂量不易过大，否则会造成壁画便面试剂残留过多；不可使用过大力度进行清除，棉签需要勤换，否则易造成壁画表面二次污染或清除不净等现象。



图 5-84 试验用工具及试剂



图 5-85 洗耳球轻吹表面浮尘



图 5-86 软毛刷清除表层浮土



图 5-87 牙刷对粉笔痕迹局部清理



图 5-88 棉签蘸取试剂进行清理



图 5-89 手术刀剔除法进行清理

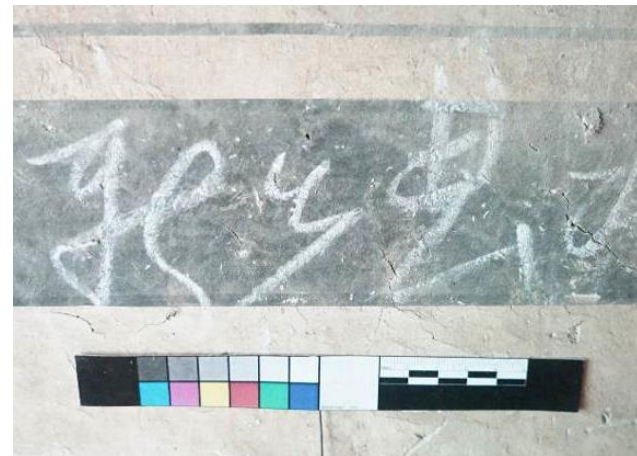


图 5-90 粉笔清理试验前照片



图 5-91 粉笔清理试验后照片

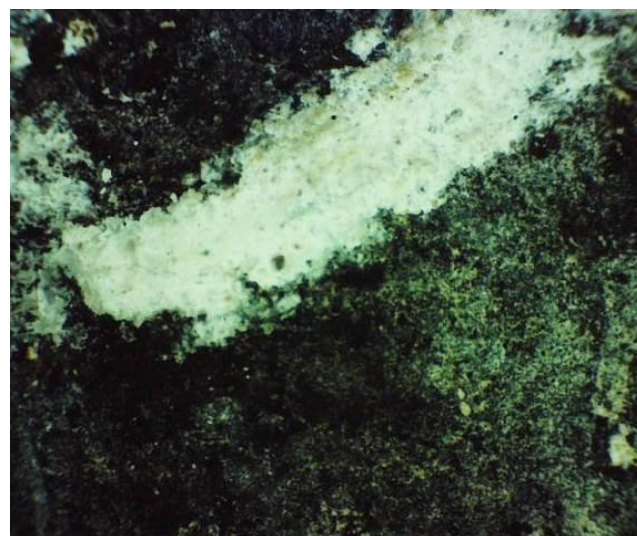


图 5-92 粉笔痕迹清理试验前显微照片  
(×60)

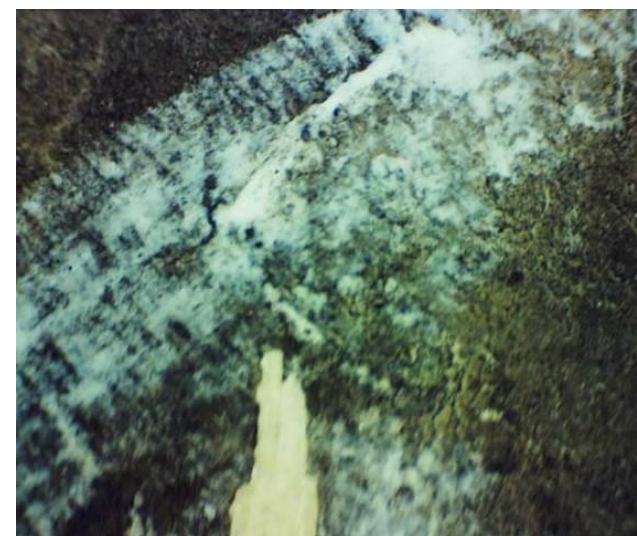


图 5-93 棉签蘸去离子水清理法试验区显微照片  
(×60)



图 5-94 棉签蘸 EDTA3% 试剂清理法试验区  
显微照片 (×60)

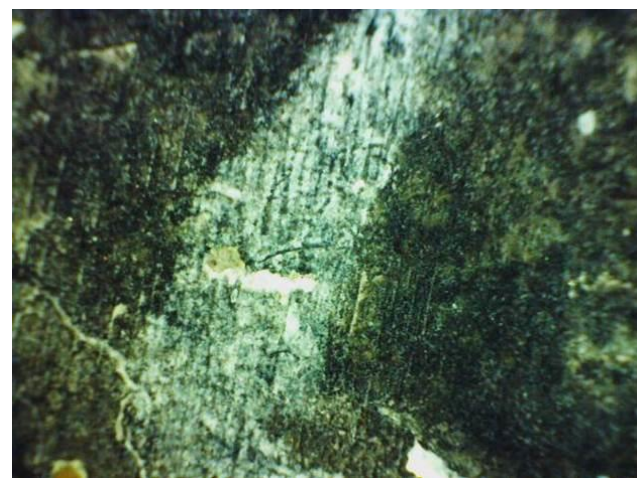


图 5-95 棉签蘸乙醇 2A 试剂清理法试验区  
显微照片 (×60)



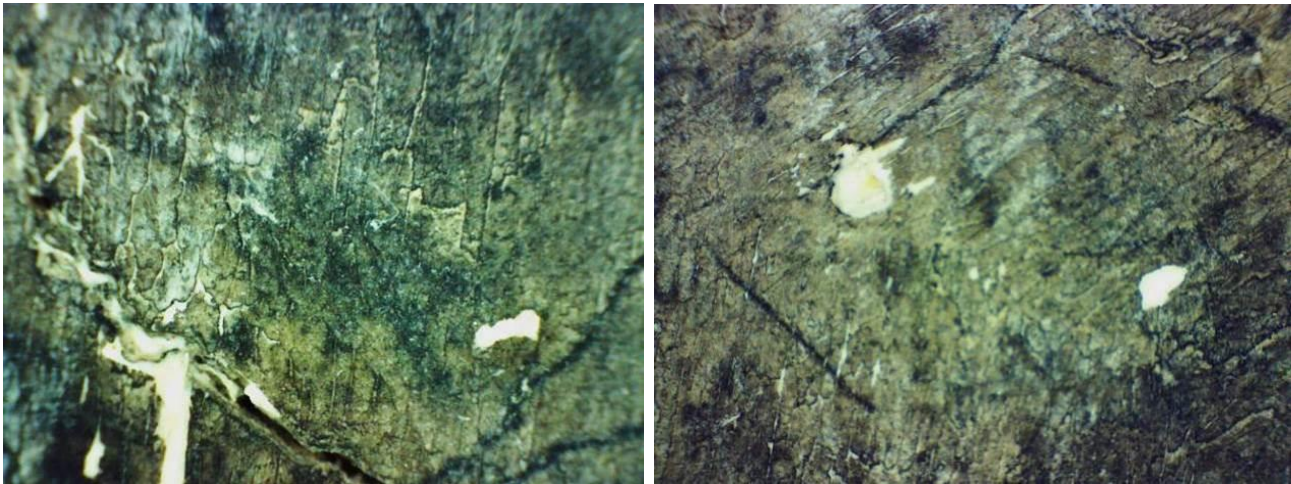


图 5-96 手术刀剔除法清理法试验区显微照片 (×60) 图 5-97 手术刀剔除法配合棉签蘸乙醇 2A 试剂清理法试验区显微照片 (×60)

5.8 修复试验效果检测

现场修复试验效果检测，是指使用如里氏回弹硬度计、超声波无损检测仪、色差仪等现代化仪器设备，采集相应检测数据，通过对比试验区域修复试验前后的硬度、声波、色差等数据，进而对现场修复试验效果进行科学化、数据化评估的科技检测手段，是对修复材料、工艺可行性的重要评判依据。

5.8.1 地仗脱落填补、加固试验区硬度检测

检测仪器采用瑞士博赛 Proceq Equotip 550 便携式硬度计，配备 Equotip Leeb 冲击装置 D，主要技术参数如下：



图 5-98 里氏硬度检测仪

测量范围：1-999 HL

测量精度：±4HL（800 HL 时为 0.5 %）

分辨率：1HL

冲击能量：11.5 Nmm

冲击体质量：5.45 克（0.2 盎司）

球压头：碳化钨，直径 3.0 毫米（0.12 英寸）

修复试验开始前，使用硬度计对待修补地仗区域周边较为完好的地仗层进行基础硬度测试，并记录数值，为排除人为操作误差等因素对测试数值准确性的影响，本次检测中采取一处试验区进行多点位检测并求平均值。因试验区面积较小，每处试验区共选择五处检测点进行硬度测试，去掉五点检测数值中最高及最低数值，其余三个数值求平均值，该平均值即视为试验区试验修复前基础硬度值。

地仗填补实验结束，待填补材料完全干燥后，采取相同形式，对试验区进行试验后的硬度数据检测，并对比试验填补地仗与周边较完好地仗层硬度值（见表 5-1 ~表 5-4）。

表 5-1 西墙泥质地仗脱落填补试验区 1 修复前后硬度值对比表

| 项目        | 一点测定 | 二点测定 | 三点测定 | 平均值 |
|-----------|------|------|------|-----|
| 补型区域周边原地仗 | 223  | 220  | 226  | 223 |
| 补型后填补地仗   | 221  | 257  | 218  | 232 |

表 5-2 西墙泥质地仗脱落填补试验区 2 修复前后硬度值对比表

| 项目        | 一点测定 | 二点测定 | 三点测定 | 平均值 |
|-----------|------|------|------|-----|
| 补型区域周边原地仗 | 240  | 222  | 233  | 232 |
| 补型后填补地仗   | 224  | 234  | 236  | 231 |

表 5-3 北墙泥质地仗裂隙填补试验区 3 修复前后硬度值对比表

| 项目        | 一点测定 | 二点测定 | 三点测定 | 平均值 |
|-----------|------|------|------|-----|
| 补型区域周边原地仗 | 232  | 211  | 206  | 216 |
| 补型后填补地仗   | 249  | 202  | 211  | 221 |

表 5-4 东墙白灰地仗裂隙填补试验区 4 修复前后硬度值对比表

| 项目 | 一点测定 | 二点测定 | 三点测定 | 平均值 |
|----|------|------|------|-----|
|----|------|------|------|-----|

|           |     |     |     |     |
|-----------|-----|-----|-----|-----|
| 补型区域周边原地仗 | 286 | 285 | 266 | 279 |
| 补型后填补地仗   | 274 | 281 | 283 | 279 |

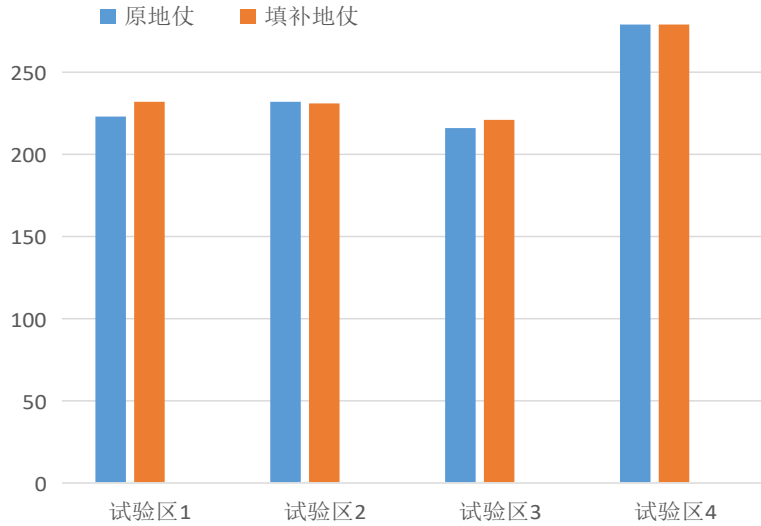


图 5-99 各试验区地仗填补前后硬度值对比

由各试验区试验前后硬度数据可知，原较完好泥质地仗层基础硬度值均在 210HL~230HL 之间，试验区补型后硬度值均在 220HL~230HL 之间，补型区域数值与原地仗数值呈相近状态；原白灰地仗基础硬度值为 279HL，试验区补型后硬度值为 279HL，补型区域数值与原地仗数值相等。

5.8.2 地仗裂隙、脱落填补加固试验区声波检测

检测仪器采用瑞士博赛 proceq Pundit PL-200PE 混凝土超声波检测仪，配备 54kHz 指数传感器（用于粗糙表面且无耦合剂的使用）。



图 5-100 超声波检测仪

主要技术参数如下：

测量范围：0.1-7930μs

分辨率：0.1μs（<793μs），1μs（>793μs）

修复试验开始前，使用声波仪对待修补区域进行原地仗基础声波测试，测试以裂隙或脱落区域为中心，声波发射探头与信号接收探头横跨裂隙、脱落区域左右两侧，间隔十公分进行测量，并记录数值。为排除人为操作误差等因素对测试数值准确性的影响，本次检测采取一处试验区多点位检测并求平均值的方式进行测定。因试验区面积较小，每处试验区共选择五处检测点进行声波测试，去掉五点检测数值中最高及最低数值，其余三个数值求平均值，该平均值即视为试验区试验修复前基础声波值。

地仗层裂隙、脱落填补试验结束，待填补材料完全干燥后，采取相同形式，对试验区进行试验后的声波数据检测，并对比试验前后声波值（见表 5-5 一表 5-8）

表 5-5 西墙泥质地仗脱落填补试验区 1 修复前后弹性波速值对比表

| 项目      | 一点测定 | 二点测定 | 三点测定 | 平均值 |
|---------|------|------|------|-----|
| 补型前原地仗  | 302  | 230  | 203  | 245 |
| 补型后填补地仗 | 644  | 770  | 667  | 694 |

表 5-6 西墙泥质地仗脱落填补试验区 2 修复前后弹性波速值对比表

| 项目      | 一点测定 | 二点测定 | 三点测定 | 平均值 |
|---------|------|------|------|-----|
| 补型前原地仗  | 266  | 225  | 260  | 250 |
| 补型后填补地仗 | 542  | 600  | 598  | 580 |

表 5-7 北墙泥质地仗裂隙填补试验区 3 修复前后弹性波速值对比表

| 项目      | 一点测定 | 二点测定 | 三点测定 | 平均值 |
|---------|------|------|------|-----|
| 补型前原地仗  | 240  | 208  | 221  | 223 |
| 补型后填补地仗 | 635  | 644  | 700  | 660 |

表 5-8 东墙白灰地仗裂隙填补试验区 4 修复前后弹性波速值对比表

| 项目      | 一点测定 | 二点测定 | 三点测定 | 平均值 |
|---------|------|------|------|-----|
| 补型前原地仗  | 524  | 573  | 610  | 569 |
| 补型后填补地仗 | 899  | 940  | 750  | 863 |



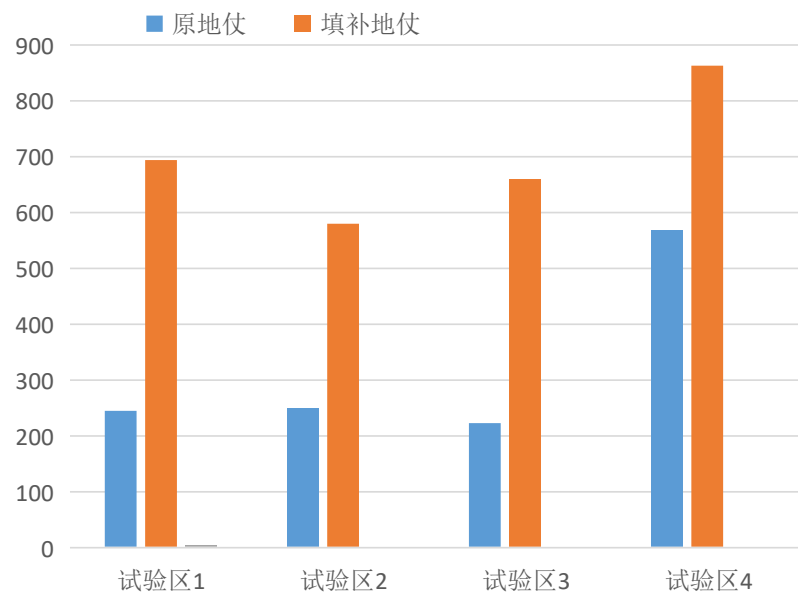


图 5-101 各试验区地仗填补前后弹性波速值对比

由各试验区试验前后声波数据可知，原泥质地仗裂隙、脱落区域基础声波值均在 220m/s~250m/s 之间，试验区补型后声波值均在 580m/s~694m/s 之间，补型区域数值与原地仗数值呈明显提升状态；原白灰地仗基础声波数值为 569m/s，试验区补型后声波值为 863m/s，补型区域数值与原地仗数值呈明显提升状态。

5.8.3 地仗填补试验区色度检测

检测仪器采用 Konica Minolta CM-700d1 型分光测色计。

主要技术参数如下：

照明/受光系统：d/8（漫射照明，8°方向接收）SCI（包含镜面反射光）/SCE（不包含镜面反射光）同时测量(CIE5、ISO7724/1、ASTM E1164、DIN5033 Teil7、JIS Z8722 条件 C）

传感器：硅光二极管阵列（双列 40 组）

分光方式：平面回折光栅

积分球尺寸：Φ40mm

测量波长范围：400nm~700nm

测量波长间隔：10nm

半波宽：约 10nm

反射率测量范围：0~175%，分辨率：0.01%

照明光源：脉冲氙灯（含 UV 滤镜）

测量时间：1 秒

最小测量间隔：约 2 秒（SCI 或 SCE 模式）

测量/照明口径：MAV:Φ8mm/Φ11mm；SAV:Φ3mm/Φ6mm (CM-600d 仅有 MAV:Φ8mm/Φ11mm)；USAV: Ø2.4mm/Ø3mm(CM-700d-U)

重复性：光谱反射率：标准偏差小于 0.1%，色度值：标准偏差值小于 ΔE\*ab0.04，当白板校准后以 10 秒间隔测量白板 30 次。

修复试验开始前，使用分光测色计对地仗层裂隙、脱落等待修补区域进行原地仗基础色度测试，并记录数值；试验结束待补型材料完全干燥后，进行修补后色度测定。通过计算修补前后的ΔE 色差值，判断修补材料与原地仗色度是否接近或一致。计算方法采用国际照明委员会于 1976 年制定的 Lab 颜色空间中的色差公式。

颜色可以由 Lab 三个颜色值来表示，在对比修补前后地仗的颜色差时，L、a、b 值三个颜色数据的差值分别为 ΔL，Δa，Δb，ΔL 大表示偏白，ΔL 小表示偏黑，Δa 大表示偏红，Δa 小表示偏绿，Δb 大表示偏黄，Δb 小表示偏蓝，ΔE 表示总色差的大小。ΔE 色差值的计算公式如图 5-102 所示，色差值容差范围表见表 5-9。

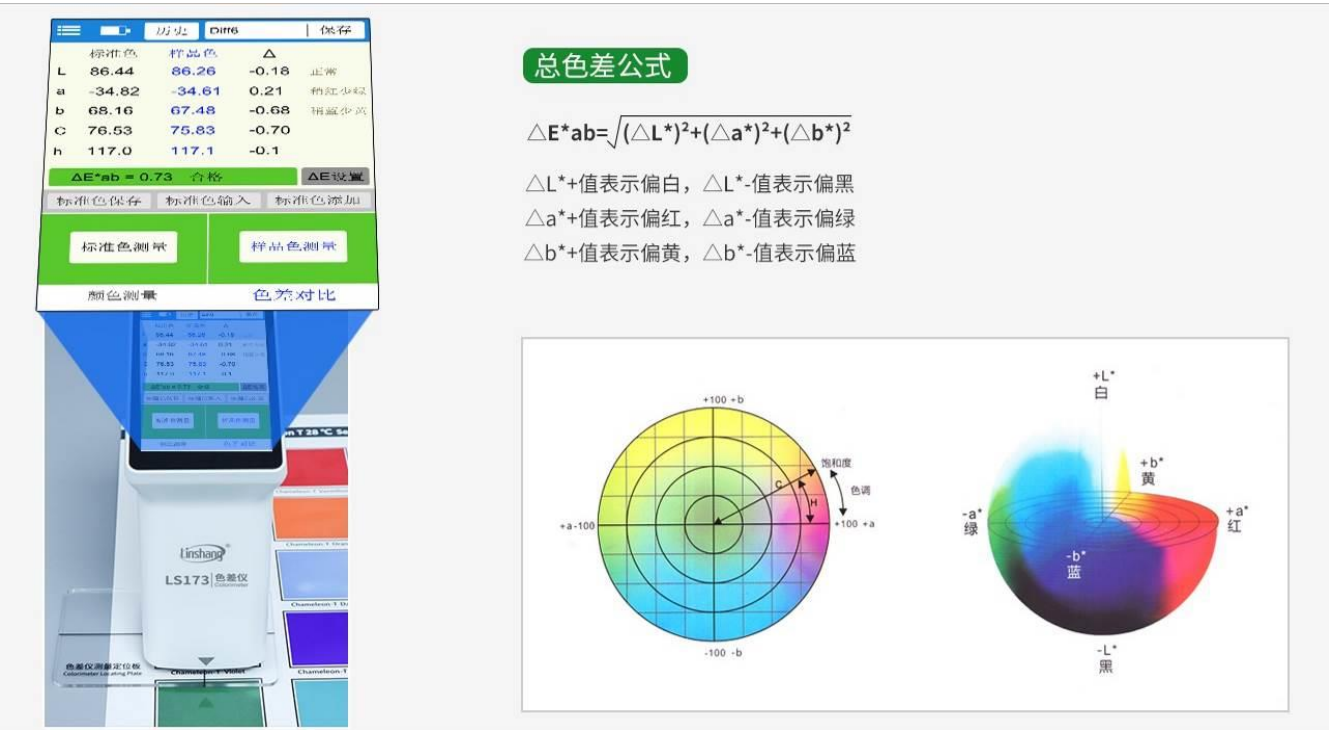


图 5-102 测色计测色范围及 ΔE 色差值计算公式

表 5-9 ΔE 色差值容差范围表

| 范围                      | 色差（容差）          |
|-------------------------|-----------------|
| $\Delta E^*0\sim0.25$   | 非常小或没有；理想匹配     |
| $\Delta E^*0.25\sim0.5$ | 微小；可接受的匹配       |
| $\Delta E^*0.5\sim1.0$  | 微小到中等；在一些应用中可接受 |
| $\Delta E^*1.0\sim2.0$  | 中等；在特定应用中可接受    |
| $\Delta E^*2.0\sim4.0$  | 有差距；在特定应用中可接受   |
| $\Delta E^*4.0$ 以上      | 非常大；在大部分应用中不可接受 |

同时，对清理试验区待清理区域进行基础色度测定，并记录数值。试验结束，待试验区表面完全干燥后，对其进行清理试验后色度测定。针对清理试验区，主要测定其清理后的颜料层色度是否与未受污染的原颜料层色度接近或一致。由于颜料层表层污染物与底部颜料层颜色不一，所以该组数据不能以清理前后的色差  $\Delta E$  值作为比较，而应以试验区清理后的色度值与原颜料层色度值进行比较，两值越接近，证明清理效果越好。因大雄宝殿内壁画原颜料层表面污染较为严重，已无法找到未受其他颜色侵扰的洁净色块作为清理试验标准对比色样，因此选择国际上广泛应用的美国 PANTONE 国际标准色卡，现场选取壁画白灰层相对最为洁净区域，使用色卡进行比对，确认色卡标样与壁画白灰层最为相近的色块为 PANTONE NO.155C 号色样，以该标样 L 值 87、a 值 4、b 值 22 作为白灰层清理试验后的标准对比值。

|    |       |  |    |    |    |   |    |     |    |     |     |     |         |
|----|-------|--|----|----|----|---|----|-----|----|-----|-----|-----|---------|
| 71 | 1525C |  | 50 | 48 | 73 | 0 | 65 | 100 | 11 | 202 | 78  | 0   | #CA4E00 |
| 72 | 153C  |  | 53 | 33 | 63 | 0 | 43 | 100 | 18 | 192 | 102 | 0   | #C06600 |
| 73 | 1535C |  | 38 | 34 | 53 | 0 | 51 | 100 | 38 | 147 | 63  | 0   | #933F00 |
| 74 | 154C  |  | 44 | 26 | 50 | 0 | 43 | 100 | 34 | 153 | 84  | 9   | #995409 |
| 75 | 1545C |  | 21 | 19 | 26 | 0 | 51 | 100 | 83 | 81  |     |     | #51260B |
| 76 | 155C  |  | 87 | 4  | 22 | 0 | 9  | 27  | 0  | 236 | 214 | 175 | #ECD6AF |
| 77 | 1555C |  | 83 | 21 | 25 | 0 | 18 | 34  | 0  | 255 | 191 | 160 | #FFBFA0 |
| 78 | 156C  |  | 81 | 12 | 34 | 0 | 18 | 43  | 0  | 239 | 193 | 138 | #EFC18A |

图 5-103 PANTONE 色卡标样

通过对现场清理试验区试验前后色度比对可知，积尘污染物清理试验区乙醇 2A 溶液清理试验后，色度 L 值为 80.76、a 值为 6.13、b 值为 20.31；泥渍污染物清理试验区手术刀配合乙醇 2A 试剂清理试验后，色度 L 值为 79.45、a 值为 6.81、b 值为 20.68；试验区清理后色度值均接近标样色度值（壁画表面污染物清理试验区各清理工艺色度值详见表 5-10）。

表 5-10 壁画污染物清理试验区色度对比

| 名称           | 对比区域                    | L     | A    | B     | 匹配度    |
|--------------|-------------------------|-------|------|-------|--------|
| 标准色度         | PANTONE 国际标准色卡 155C 号标样 | 87    | 4    | 22    | 标准     |
| 积尘污染物清理试验区色度 | 积尘清理前基础色度               | 57.5  | 6.66 | 19.18 | 色度差别大  |
|              | 去离子水                    | 72.87 | 7.5  | 23.12 | 色度差别较大 |
|              | EDTA3%溶液                | 74.41 | 8    | 23.7  | 色度差别一般 |
|              | 乙醇 2A 溶液                | 80.76 | 6.13 | 20.31 | 与标样相似  |
| 泥渍污染物清理试验区色度 | 泥渍清理前基础色度               | 65.47 | 7.67 | 23.1  | 色度差别大  |
|              | 去离子水                    | 73.62 | 8.24 | 24.31 | 色度差别较大 |
|              | EDTA3%试剂                | 75.44 | 7.49 | 22.12 | 色度差别一般 |
|              | 乙醇 2A 试剂                | 78.73 | 6.01 | 19.35 | 与标样相似  |
|              | 手术刀配合乙醇 2A 试剂           | 79.45 | 6.81 | 20.68 | 与标样相似  |

通过对地仗层裂隙、脱落修复试验区试验前后色差数据对比可知（见表 5-11），无论白灰填补试验区或泥质地仗填补试验区，填补地仗在完全干燥后，所测得色度均与原地仗层色度接近，填补加固试验区域与原地仗区域色差值 $\Delta E$  均在 1~2 范围内（色差容值范围详见表 5-9），根据色差值容差范围表比对结果（此表为工业级别色差容值，由于工业生产对产品色差容值要求较高，在此引用仅做参考；鉴于文物保护的特殊性及复杂性，在以较为合理的壁画表面污染物清理工艺及材料配比为前提下，应尽可能减小在壁画污染物清理过程中对壁画表面过多的物理摩擦，将污染物清理对壁画带来的潜在影响值降到最低，不以 $\Delta E$  值作为最终的评估指标，视觉效果相似或接近即可），色差值均属中等可接受范围，肉眼观察视觉效果无较明显差别。



表 5-11 地仗填补试验区试验前后色差表

| 试验区名称       | L     |       | A     |      | B     |       | ΔE   |
|-------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|
|             | 原地仗   | 填补地仗  | 原地仗   | 填补地仗 | 原地仗   | 填补地仗  |      |
| 白灰地仗填补试验区   | 56.06 | 57.70 | 7.46  | 6.91 | 18.60 | 18.59 | 1.73 |
| 泥质地仗地仗填补试验区 | 61.78 | 61.40 | 6.57  | 7.14 | 17.85 | 18.91 | 1.26 |
| 泥质地仗地仗填补试验区 | 62.08 | 60.85 | 10.28 | 9.63 | 23.58 | 22.41 | 1.82 |
| 泥质地仗地仗填补试验区 | 66.80 | 65.43 | 8.76  | 7.32 | 22.36 | 22.11 | 2.00 |

5.9 结论

（1）经三种试剂对积尘污染进行清除试验后发现，三种试剂均较为有效的清除了壁画表层较顽固积尘，其中乙醇 2A 试剂的清除效果最为明显，通过显微镜下观察，去离子水及 EDTA 清洗试验区虽已将大部分积尘清除，但局部仍有较明显残存积尘，乙醇 2A 试剂试验区残存积尘最少，清除对比效果最为明显，且试验区基底层、地仗层无明显变形、疏松、开裂等变化，因此选择乙醇 2A 试剂棉签清洗法作为壁画表层积尘的清除方式是较为安全、有效、可靠的。

（2）积尘的清洗材料及工艺，可同样运用于动物损害（鸟类粪便）的清洗工艺中，在鸟类排泄物清理完毕后，需对清理区域使用无添加剂的木浆纸及纯净水进行局部脱盐工艺（1~2 遍），待脱盐区域完全干燥后，配置浓度 1%的混合液加固剂，对动物损害区域失胶颜料层进行局部加固（1~2 遍）。

（3）经四种不同工艺的泥渍清理试验后，比对清理效果发现，单纯使用棉签清理法对泥渍的清理均可取得较好效果，其中乙醇 2A 试剂在三种试剂中效果最为突出，大部分泥渍可以去除。但由于泥渍较厚，清理时间较长，且显微镜下观察其表面仍有部分土颗粒富集。手术刀剔除法配合棉签蘸乙醇 2A 试剂清理法，清理泥渍时间相对单纯使用棉签清理法耗时短，且显微镜下观察其清理效果最佳，清理后画面清晰不模糊，基底层仍坚固稳定，未发生开裂、变色等不良现象。结合试验结果，明确当遇有较厚泥渍病害区域，选择使用手术刀剔除法配合棉签蘸乙醇 2A 试剂清理法进行清理，当遇有较薄泥渍病害区域，选择使用棉签蘸乙醇 2A 试剂清理法进行清理。

（4）经四种不同工艺涂写痕迹清除试验后，比对清除效果发现，单纯使用棉签蘸取试剂的清理方法对涂写痕迹的清理效果不佳，清理试验区均有大量涂写材料的残留，其外观颜色与清理前对比并无较大差别；而使用手术刀配合棉签蘸取乙醇 2A 清洗试剂的清除试验区，清除效果在四种对比试验中效果最为突出，通过显微相机观察，大部分涂写材料可以去除（如图 5-97 所示），仅有少量残留；但由于涂写材料与壁画粘结时间较长，涂写材料较硬且厚度薄，手术刀在剔除操作过程中需极为小心谨慎，否则一但力度过大，非常容易对壁画颜料层造成划伤，且该方法由于精细程度要求较高，耗时较长。

（5）通过壁画地仗层脱落、孔洞、裂隙填补加固试验可知，使用浓度为 1%的混合液加固剂对待填补的疏松地仗层进行加固，效果良好，有效将松软、开裂的地仗层颗粒粘结牢固，使疏松地仗层达到较为稳定状态；以脱盐后的当地黄土、纯净石英砂、麦草、熟石灰为主的地仗填补材料，填补过程中可塑性好，材料干燥后无开裂、变形等情况；硬度计检测填补材料干燥后与试验区周边地仗硬度相似，材料适应性、与周边地仗层兼容性强；声波检测裂隙、孔洞等区域修复后，声波传导速度有明显提高，部分声波传导速度较修复前提高 2~3 倍，材料固结后密实度好，内部未出现空隙、裂痕，收缩率较低；色差仪检测干燥后修复材料与修复区域原地仗色差值均在ΔE2 以内，属可接受范围，视觉效果整体协调统一，1.5 米以外肉眼观察，修补区域与原地仗无明显差别，1.5 米以内仔细观察，可识别出填补修复区域位置，符合文物保护修复区域可辨识性原则。

（6）不稳定地仗层边沿加固区域，修复前地仗边沿均有不同程度的开裂、起翘、粘接不牢固等影响残存地仗不稳定情况，通过边沿加固试验有效提高了残存地仗的边沿强度，材料与原地仗粘接强度好，无开裂、变形、变色等情况，且由于表面效果处理到位，修复区域整体修复效果自然、协调、统一，在有效治理病害、提高边沿稳定性的同时，增加了壁画整体观赏价值。

（7）壁画空鼓灌浆试验充分证明，修复前的地仗空鼓区域，用手轻触壁画表面即有明显晃动迹象。通过灌浆工艺加固后的壁画空鼓区域，将地仗层与其底部进行了有效粘接，材料可灌性高，密实度好，加固后强度有明显改善；内部完全干燥后用手轻触壁画表面已无晃动感，材料粘接性、兼容性强；轻敲壁画表面，原空鼓区域已发实性回声，材料与地仗层粘接牢固、填充度高。

（8）结合上述试验结论，针对水渍病害的清理，由于渗水造成颜料层胶结材料失效，因

此应先对水渍病害区域使用 1%浓度的混合液加固剂进行预加固，使颜料层达到稳定状态后，用软毛刷配合洗耳球对其表面积尘、杂物进行清理，再使用泥渍及积尘清理试验中效果最好的乙醇 2A 试剂，配合棉签蘸取法对污染区域进行清理，达到理想清理效果后，对水渍病害区域使用无添加剂的木浆纸及纯净水进行整体脱盐作业（1~2 遍）。

（9）针对壁画龟裂区域，应首先使用毛刷配合洗耳球对其表面积尘等污染物病害进行清理，而后使用棉签法蘸取乙醇 2A 试剂对龟裂区域表面进行清理，再使用注射器将浓度为 1%的混合液加固剂沿龟裂部位裂隙缓慢滴注到龟裂区域内部，使其软化、渗透，为防止其表面产生炫光等不良影响，加固量应视病害程度而定，尽量在一遍时将加固剂渗入龟裂区域内部，加固次数最多不可超过两遍，加固后使用脱脂棉吸走残留加固剂；最后，将裁剪好的无痕防粘棉质放在待回帖区域表面，使用回帖专用的木制修复刀，将龟裂区域进行按压回帖，注意按压力度不可过大，否则会在软化的地仗层上留下印记，影响壁画感官效果。

（10）针对颜料层脱落病害，首先使用毛刷配合洗耳球对病害区域进行清理，再使用棉签法蘸取乙醇 2A 试剂，对病害区域进行滚拭清理；制备浓度为 1%的混合液加固剂，使用注射器将加固剂沿颜料层脱落部位边沿开裂处缓慢滴入，使其渗透至颜料层内部，为防止颜料层表面有过多加固材料等不良影响，加固量应视病害程度而定，尽量在一遍时将加固剂渗入颜料脱落加固区域内部，加固次数最多不可超过两遍，同时，将裁剪好的无痕防粘棉纸放在待加固区域表面，使用加固回帖专用的木制修复刀，将颜料层脱落、开裂区域进行按压回帖，注意按压力度不可过大，否则会在表面留下印记，影响壁画感官效果；最后，使用棉签蘸取乙醇 2A 试剂，对加固区域颜料层表面进行滚拭清理，防止加固材料干燥后区域表面产生炫光。

而针对颜料层点状脱落病害，由于该病害颜料层与基层粘接强度极差，轻触即有脱落风险，因此先制备浓度为 0.5%的混合液加固剂对不稳定颜料层进行预加固，加固量不宜过多，加固一遍使其颜料颗粒具有一定粘结强度后，对其表面积尘等污染物使用软毛刷、洗耳球等工具进行清理；而后使用浓度为 1%的混合液加固剂，用注射器将加固剂沿颜料层脱落部位边沿开裂处缓慢滴入，使其渗透至颜料层内部，为防止颜料层表面产生炫光等不良影响，本次加固应一次加固到位，加固次数不应超过两次，加固后使用棉签蘸取乙醇 2A 试剂，对加固区域颜料层表面进行滚拭清理，防止加固材料干燥后区域表面产生炫光；最后，将裁剪好的无痕防粘棉质放在待加固区域表面，使用加固回帖专用的木制修复刀，将颜料层脱落、

开裂区域进行按压回帖，注意按压力度不可过大，否则会在表面留下印记，影响壁画感官效果。

（11）对铁钉、人为刻划等人为因素造成的病害，应对铁钉等壁画表面异物小心剔除，注意不可破坏壁画本体，结合补型材料填补加固试验，对拔除铁钉、人为刻划形成的孔洞、划痕、坑洼凹陷区域，使用与试验结果相同工艺进行填补，使已遭受破坏的壁画本体整体协调、统一。

6. 大雄宝殿古建保护修缮

6.1 工程性质及范围

参照《古建筑木结构维护与加固技术标准》（GBT50165-2020 标准）古建筑可靠性鉴定分类标准，将此次天宁寺大雄宝殿文物建筑修缮保护工程定性为修缮工程。

本次修缮保护工程项目范围为天宁寺大雄宝殿文物建筑 1 座。

| 序号 | 名称      | 年代 | 层数 | 工程性质 | 残损等级 | 建筑面积/m²   | 拟采取维修措施 |
|----|---------|----|----|------|------|-----------|---------|
| 01 | 天宁寺大雄宝殿 | 清  | 单层 | 修缮工程 | B    | 122.22 m² | 揭顶维修    |

6.2 法律法规及相关文件

- ① 《中华人民共和国文物保护法》（2017 年修订）；
- ② 《中华人民共和国文物保护法实施条例》（2017 年修订）；
- ③ 《文物保护工程管理办法》（2003）；
- ④ 《纪念建筑、古建筑、石窟寺等修缮工程管理办法》（2004）；
- ⑤ 《中国文物古迹保护准则》（2015）；
- ⑥ 《中华人民共和国文物保护法实施细则》的有关规定；
- ⑦ 《河南省文物保护管理办法》以及相关文件；
- ⑧ 《历史文化名城名镇名村保护条例》。

6.3 规范文件

- ① 《古建筑木结构维护与加固技术标准》（GBT50165-2020 标准）；



- ②《中国古建筑修缮技术》（1983）；
- ③天宁寺大雄宝殿的相关历史资料。

6.4 设计原则

遵照《中华人民共和国文物保护法》（2017 年修订）有关精神，按照《中国文物保护准则》（国家文物局推荐），参照国际保护文件《威尼斯宪章》（1964）和范例，并根据天宁寺大雄宝殿文物建筑的特点，对天宁寺大雄宝殿设计应遵循如下原则来进行：

- 1.以《中华人民共和国文物保护法》为基本原则，严格遵守我国古建筑维修管理的有关条例及规定。遵循“不改变文物原状”、“最小干预”等原则，保护文物及其历史环境的真实性和完整性。
- 2.慎重对待“复原”问题。凡复原者，必须具有足够的依据。对缺少依据者，只要无碍于结构和使用功能，均不做复原。
- 3.注重采用传统材料和工艺。除在隐蔽部位出于结构方面的需要外，新补配的构件均应注意采用与原构件相同的材料和施工工艺进行维修。
- 4.尽可能多地保留原构件。对构件的更换必须掌握在最小的限度。凡是能用构件予以保留；确实无法使用，但具备较高的历史与艺术价值的构件，应于拆除后予以妥善保存。
- 5.新配置部分应具有可识别性和可逆性。当用原材料、原工艺进行维修时，应注意使新配部分在材料色泽、细部、纹路等方面与原件有一定程度区别。如有可能，应在所配材料、构件隐蔽部位做出时间及修缮情况标记。所有新配材料、构件均应具备可逆性，坚决杜绝鱼目混珠式的“做旧”和不可逆性的加固。
- 6.坚持“不改变文物原状”的修缮原则。尽可能恢复原有建筑布局及历史面貌。当原结构不合理，确需借助新结构进行加固时，注意在隐蔽部位进行结构处理；当无法利用隐蔽部位进行处理时，加强附加新结构在材质、结构和时代特点等方面可识别性，以免产生误导作用。

6.5 指导思想

本次文物建筑修缮保护工程坚持“保护第一、加强管理、挖掘价值、有效利用、让文物活起来”的文物工作方针。在对文物建筑现状认真勘察、评估的基础上，遵照文物保护原则和技术规范要求，结合相关研究资料，重点消除文物建筑现存的病害和安全隐患。保障文物

本体的稳定性和安全性。真实全面的保存、延续其包含的历史信息，使其价值得到可靠保障和发挥。

6.5 设计目标

坚持“保护第一、加强管理、挖掘价值、有效利用、让文物活起来”22 字文物工作新方针，统筹保护与发展的关系，以文物保护利用为重点，使本期维修的 1 处文物建筑基本消除险情，均得到全面维修、维护和合理利用。以便于为文物建筑提供更好的保存环境的同时，继续传承弘扬中华优秀传统文化，满足人民群众日益增长的精神文化需求。

6.6 整体保护措施

建议当地文物主管部门尽快委托相关业务单位制定专项的安防、消防、防雷、照明等各方面进行规划及整治，使文物建筑生存环境得到良好的改善治理。

6.7 文物建筑维修及环境、排水整治措施对照表

| 天宁寺大雄宝殿维修措施对照表    |     |                                                                                      |                                             |
|-------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| （注：所有未见残损构件未列入表内） |     |                                                                                      |                                             |
| 序号                | 名称  | 残损位置、程度                                                                              | 维修措施                                        |
| 01                | 基础  | 本次勘查中发现，建筑台基早期有不均匀沉降现象，造成建筑后墙中部竖向裂缝。现阶段沉降已经趋于稳定，近年来未有新的裂缝产生，且裂缝宽度无加剧趋势，建筑基础已经处于稳定状态。 | 基础保持现状，由当地文物管理部门对其建筑基础状况建立长期有效的观测机制。        |
| 02                | 散水  | 建筑周围无散水遗存，均为青砖铺装，存在灰缝流失情况，总面积约 7.8 m²。建筑四周排水较好。                                      | 散水位置保持现状，对灰缝流失的位置进行青灰扫缝，面积约 8 m²。           |
| 03                | 月台及 | ①月台整体情况保存较好，未见严重残损情况。<br>②月台地面青砖轻度酥碱，局部地面灰缝流                                         | ①月台保持现状；<br>②轻度酥碱的青砖地面保持现状，对月台整体青灰扫缝，面积约 70 |

|    |        |                                                                                |                                                                        |                                                                                                        |                                          |
|----|--------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|    | 踏<br>步 | 失，面积约 8.4 m²。                                                                  |                                                                        | m²。                                                                                                    |                                          |
|    |        | ①踏步保存完好，未见明显残损及病害；<br>②月台南侧（踏步东侧）阶条石局部断裂，断裂长度约 0.6m；<br>③月台西侧阶条石局部断裂，长度约 1.1m。 |                                                                        | ①踏步维持现状；<br>②对月台南侧（踏步东侧）青石断裂部位使用改性环氧树脂拌和青石粉粘结牢固面积约 0.3 m²。<br>③对月台西侧青石断裂部位使用改性环氧树脂拌和青石粉粘结牢固面积约 0.3 m²。 |                                          |
| 04 | 地<br>面 | 外<br>廊                                                                         | ①外廊地面保存完好，青砖轻度酥碱，酥碱深度 1~5mm；<br>②东次间廊部地面局部灰缝流失，面积约 2.1 m²。             | ①外廊青砖地面保持现状；<br>②外廊地面青灰扫缝，面积约 26 m²。                                                                   |                                          |
|    |        | 室<br>内                                                                         | ①室内地面保存较好，个别青砖表面酥碱。明间西侧局部地面青砖酥碱，约 8 块，深度约 8-12mm。<br>②明间拜石保存较好，未见明显残损。 | ①挖补地面酥碱严重的青砖共计 8 块，使用青灰对室内地面进行扫缝。<br>②拜石维持现状。                                                          |                                          |
| 05 | 墙<br>体 | 外<br>墙                                                                         | 前<br>檐<br>墙                                                            | 东、西次间前檐槛墙保存较好，未见明显病害。                                                                                  | 东西次间槛墙维持现状。                              |
|    |        |                                                                                | 东<br>山<br>墙                                                            | 东山墙东南角下部青石墙体白灰缝流失，面积约 1.2 m²。                                                                          | 使用白灰膏对东山墙东南角下部白灰缝流失的青石墙体进行补缝，面积约 1.2 m²。 |
|    |        |                                                                                |                                                                        | 东山墙青砖墙体保存完好，仅有青砖表面轻度酥碱状况，酥碱深度 1-4mm。未见其他明显病害。                                                          | 保存较好的东山墙墙体现状保护。                          |
|    |        | 北                                                                              | 北山墙青砖墙面均保存完好，仅有                                                        | 保存较好的北山墙墙体现状保护。                                                                                        |                                          |

|  |  |  |        |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                            |                                                                      |
|--|--|--|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|  |  |  | 山<br>墙 | 青砖表面轻度酥碱状况，酥碱深度 1-4mm。                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                      |
|  |  |  |        | 北山墙中部，有上下贯穿缝一道，缝始于檐口叠涩砖向下直至青石台基及地面。<br><br>墙体上部缝较宽，宽度 5-28mm 不等，越向上宽度逐渐增大，该段长度约 2.2 米；<br><br>墙体中部裂缝较细，宽度在 4-10 之间，该段长度约 1.8 米；<br><br>墙体下半部裂缝又逐渐增大，裂缝宽度约 6-29mm，该段长度约 1.98 米。 | <u>因为该裂缝已经趋于稳定，没有再扩大发展，所以本次修缮仅对断裂青砖抽换的方式进行修缮，即：参照该建筑墙体青条砖遗存，使用同材质、同规格的青条砖对后檐东次间中部裂缝部位断砖进行抽换，后用白灰浆勾抵严实，保证灰缝饱满。</u><br><u>对微小的裂缝（宽度小于 5-10mm）修缮以白灰浆直接勾抵。</u> |                                                                      |
|  |  |  |        | 西<br>山<br>墙                                                                                                                                                                    | 西山墙青砖墙面均保存完好，仅有青砖表面轻度酥碱状况，酥碱深度 1-5mm。                                                                                                                      | 保存较好的西山墙墙体现状保护。                                                      |
|  |  |  |        |                                                                                                                                                                                | 西山墙西北角墙体有细微裂缝一道，裂缝从青石台基开始向上延伸，长度约 1.1 米，裂缝宽度 3-10mm。                                                                                                       | 对微小的裂缝（宽度小于 10mm）修缮以白灰浆直接勾抵。                                         |
|  |  |  | 内<br>墙 | 廊<br>部                                                                                                                                                                         | 东山墙内墙保存完好，上部白灰抹面墙体浮尘较多，面积约 2.5 m²。                                                                                                                         | 东山墙内墙现状保护，人工清理墙体浮尘，面积约 2.5 m²。                                       |
|  |  |  |        |                                                                                                                                                                                | ①西山墙内墙南侧青砖碱墙局部酥碱约 3 块，酥碱深度 14-25mm，其他墙体保存完好；<br><br>②上部白灰抹面墙体浮尘较多，面积约 2.5 m²。                                                                              | ①人工挖补西山墙内墙酥碱青砖 3 块，使用白灰进行补缝处理，其他墙体维持现状；<br><br>②人工清理墙体浮尘，面积约 2.5 m²。 |



|    |    |                                                                                                 |                   |                                                                                                             |                                                                                                            |
|----|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |                                                                                                 | 室内                | 室内的前檐槛墙保存较好，未见有明显病害。                                                                                        | 室内的前檐槛墙现状保护。                                                                                               |
|    |    |                                                                                                 |                   | ①室内东、西以及后墙均有彩画遗存，本次设计进行了全面勘测，详见“2.4.2 壁画保存现状”章节；<br>②室内明间有竖向贯通缝两道，分别位于明间大佛的东西两侧，该处病害为重点处理病害，现状详见“ ” 章节叙述内容。 | 维修章节                                                                                                       |
| 06 | 梁架 | 明间东缝：①明间东缝梁架均保存良好，梁架仅有水渍、灰尘等病害。<br>②后檐脊檩下方瓜柱有竖向干缩裂缝，长度约 400mm，裂缝宽度 25mm，深度约 43mm。<br>③廊部梁架未见残损。 |                   |                                                                                                             | ①人工清理东缝梁架的水渍和尘土；<br>②使用木条对东缝梁架的瓜柱劈裂处进行 嵌补，使用改性环氧树脂粘结牢固，再在 裂缝中部加截面为 50X5mm 的铁箍两道，铁 箍间距 300mm；<br>③廊部梁架现状保护。 |
|    |    | 明间西缝：①明间东缝梁架均保存良好，梁架仅有水渍、灰尘等病害。<br>②后檐脊檩下方瓜柱有竖向干缩裂缝，长度约 240mm，裂缝宽度 14mm，深度约 21mm。<br>③廊部梁架未见残损。 |                   |                                                                                                             | ①人工清理西缝梁架的水渍和尘土；<br>②使用木条对西缝梁架的瓜柱劈裂处进行 嵌补，使用改性环氧树脂粘结牢固，再在 裂缝中部加截面为 50X5mm 的铁箍两道，铁 箍间距 300mm；<br>③廊部梁架现状保护。 |
| 07 | 柱  | 柱                                                                                               | 外廊及室内柱础未见明显病害，仅有自 |                                                                                                             | 柱础现状保护。                                                                                                    |

|    |     |                                                                                               |                                                                                                                 |                                                                                  |
|----|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|    | 及柱础 | 础                                                                                             | 然侵蚀痕迹。                                                                                                          |                                                                                  |
|    |     | 柱子                                                                                            | ①明间东缝檐柱油饰剥蚀，露出木柱。木柱干缩裂缝布满柱根，高度约 450mm。<br>②明间西缝柱根处油漆剥蚀，木柱干缩裂缝布满柱根，局部有糟朽情况，糟朽深度约 40mm，高度约 350mm。<br>③室内柱子未见明显病害。 | ①②使用木条（竹片）对柱根劈裂处进行嵌补，使用改性环氧树脂粘结牢固，再在裂缝中部加截面为 50X5mm 的铁箍一道。<br>③室内柱子保持现状。         |
| 08 | 檩枋  | 外廊                                                                                            | 外廊檩枋均进行过修缮，未见明显病害。                                                                                              | 外廊檩枋均保持现状。                                                                       |
|    |     | 室内                                                                                            | 室内檩、枋保存较好，但因为屋面漏雨布满水渍，不排除有上部（隐藏部位）糟朽的可能性，需要施工中揭顶后进一步进行勘查。                                                       | 檩枋维持现状，人工清理水渍及除尘。施工中进一步勘查檩条上部是否有糟朽现象，如果有请及时通知设计单位进行针对性设计。                        |
| 09 | 木基层 | 前檐廊部屋面（小青瓦屋面部分）系统因进行过修缮，所以木基层保存较好，未见明显病害。                                                     |                                                                                                                 | 前檐廊部木基层位置现在。                                                                     |
|    |     | 前檐（筒板瓦屋面部分）连檐断裂，檐口下垂，断裂长度约 2.4m。                                                              |                                                                                                                 | 更换前檐（筒板瓦屋面部分）的断裂连檐，长度约 3 米。                                                      |
|    |     | ①室内望砖灰缝流失严重，因屋面瓦件破损漏雨所致。<br>②屋面部分望砖断裂、酥碱，前檐约 9 块，后檐约 12 块。                                    |                                                                                                                 | ①揭顶维修，重新安装望砖。<br>②更换断裂、酥碱严重的望砖，前檐约 9 块，后檐约 12 块。                                 |
|    |     | ①前檐椽糟朽约 6 根，部分椽因长期屋面漏雨造成椽中间向下弯曲，挠度约 13，约 18 根。<br>②后檐椽糟朽约 7 根，部分椽因长期屋面漏雨造成椽中间向下弯曲，挠度约 15，约 15 |                                                                                                                 | ①更换前檐糟朽的木椽约 6 根，对于弯曲的椽使用熏蒸法进行校正后继续使用，约 18 根；<br>①更换后檐糟朽的木椽约 7 根，对于弯曲的椽使用熏蒸法进行校正后 |

|    |        |                                                                                           |                                                                                                                                                                                                        |
|----|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |        | 根。<br>③罗锅椽糟朽约 3 根。                                                                        | 继续使用，约 15 根                                                                                                                                                                                            |
| 10 | 屋<br>面 | ①前檐勾头断裂、破损约 12 块，滴水断裂 3 块；<br>②后檐勾头断裂、破损约 8 块，滴水保存完好。                                     | ①按照原形制补配前檐断裂的勾头 12 块，滴水 3 块；<br>②按照原形制补配后檐断裂的勾头 8 块。                                                                                                                                                   |
|    |        | ①屋面瓦件破损，造成室内漏雨，其中前檐屋面破损面积约 12 m²，后檐屋面破损约 14.5 m²。<br>②前檐明间屋面长有杂草，面积约 1.5 m²。<br>③垂脊均保存完好。 | 揭顶维修，重做筒板瓦屋面，做法详见“施工做法说明”。揭顶过程中收集散落的瓦件，设计、施工、监理单位共同甄别可用瓦件，参照遗存瓦件材质、规格，补配屋面坍塌处佚失和碎裂的不可用瓦件；更换前檐碎裂严重的瓦件，面积约 12 m²；清理前檐屋面杂草，面积约 1.5 m²；更换后檐碎裂严重的瓦件，面积约 14.5 m²。注：重新铺瓦时，新、旧瓦集中使用，旧瓦集中在后坡，新瓦集中在南坡，以使颜色尽可能一致。 |
| 11 | 装<br>修 | 建筑前檐门、窗室外表面遍布水渍，存在轻微糟朽现象，面积约 5.5 m²。                                                      | 木装修现状保护。                                                                                                                                                                                               |
| 12 | 油<br>饰 | ①廊部檩枋、木基层等木构件刚经过修缮，未做油饰；<br>②前檐檐柱油饰剥落严重，尤其是柱根位置，已经完全剥蚀，失去了对木构件保护的作用。<br>③木装修油饰剥蚀较为严重。     | ①廊部檩枋新做油饰，起到对檐檩、枋的保护作用，椽子做防虫防腐处理；<br>②重做前檐檐柱油饰，采用四道灰做法；<br>③木装修重做油饰。                                                                                                                                   |

6.8 施工做法说明

6.8.1 材质说明

挖补土坯砖、青条砖所用砌砖依据建筑遗存规制订制。木材等构件材质要求，尽可能保留原有构件，凡利用化学、物理方法处理后不影响结构稳定性的构件，均应保留。更换下的旧构件，可调整其他部位使用的，可合理利用。补配竹、木构件，在条件允许情况下竹子、木材材质尽可能与原构件材质相同，木材要求含水率小于 18%。注：土坯砖需定制，制作时需使用当地纯净黄土制坯，黏度较大，泥的含水量较少；装坯前，泥应经反复捶打，入坯后用拐子将坯内泥土杵实。

6.8.2 施工要求

- 1.按照“最小干预”文物维修原则，使结构满足使用要求的老构件继续使用，不能满足要求的老构件考虑换一种方式使用在合适的位置。
- 2.补配的建筑构件材质、形制应于老构件保持一致。

6.8.3 工程做法

本次工程做法均参照“四原调查”结果进行，具体各部位做法如下：

- 1.散水：本次维修对象及周边建筑周围均无散水遗存，且维修对象周围暂无明显积水现象，因此本次暂不补配散水。
- 2.室内地面做法：地面保存较好，维持现状，仅对地面进行人工青灰扫缝处理。
- 3.室外土坯砖抹面及室内抹面做法：20mm 厚滑秸泥抹平（滑秸泥重量配比为黄土：滑秸=100:8）→3mm 厚麻刀（或纸筋）石灰面。
- 4.墙体：
  - （1）青砖墙体挖补：轻度酥碱的墙砖，继续使用；对酥碱深度大于 2cm 的墙砖，用小铲或凿子将酥碱部分剔除干净，用砍磨加工后的砖块按原位、原形制镶嵌，用白灰浆粘贴牢固，白灰勾缝。
  - （2）土坯砖墙体挖补：深度不足 2cm 的按现状保留，深度大于 2cm 的则剔平清理残损表面，用土坯砖片镶补，用泥浆粘贴牢固、补缝。
  - （3）墙体裂缝：对细微墙体裂缝(0.5 厘米以下)，维持原状并定期观测裂缝发展情况；墙体缝较宽处（0.5cm 以上）采取桃花浆（白灰浆加好粘土浆，白灰：粘土体积比=3:7 或



4:6) 注浆灌缝的方式对裂缝进行加固。对墙体开裂较大(缝宽大于 1cm)且青砖整块断裂的部分,应将表层断裂砖块抽取,用整砖替换。对墙体开裂较大(缝宽大于 1.5cm)且青砖整块断裂的部分且不影响结构稳定性的,在抽换断裂青砖后,采用铁扒铜沿墙缝加固。

(4) 内墙的处理方式:

5.梁、檩、枋: 施工中对梁枋做进一步探查,参照古建筑维护加固技术规范要求,依据糟朽程度对其进行更换或镶补处理。施工做法可参见《古建筑木结构维护与加固技术规范》(GB/T50165—2020 标准) P42《梁枋柱的化学加固》(若存在需做更换或镶补处理的木构件,必须先通知设计单位、监理单位、业主单位进行对现场进行进一步勘察、确认)。

6.木椽防腐处理采用生桐油刷 2—3 遍。局部糟朽深达直径的 2/5 的更换。木构件在防腐过程中,构件湿胀,含水率增大,同时弹性变大,塑性体现。采用室内自然干燥定型,对弯曲部位施压,施压强度结合构件弹性程度,在构件的干燥过程中,随着构件含水率的减小,构件最终恢复定型。

7.弯曲木构件的熏蒸加压: 首先使用氟酚合剂(FP 或 w-2)或五氯酚钠,采用熏蒸法对弯曲的椽子进行熏蒸,再利用地沟、卡槽,使用千斤顶对檩条弯曲部位进行加压、校正,加压、校正后进行风干处理,最后原位归安。

8.屋面: 更换断裂、糟朽的望砖。屋面挑顶修理;补配碎裂、佚失瓦件。断裂瓦件可用环氧树脂粘接: 乙二胺: 石粉,其比例为 100:6(另加色料),佚失脊饰予以补配。按下列工作顺序进行:

(1) 现状记录。除文字记录外,须附图纸、照片。记录的内容为: 现存瓦顶的式样和工程做法;筒板瓦、脊饰数量、式样及残毁情况。

(2) 脊饰编号。拆除瓦顶前,对艺术构件如脊筒、正吻等进行编号。

(3) 拆除脊饰。一般顺序先从檐头开始,卸下勾头、滴水,然后揭坡面瓦,最后揭除灰背。

(4) 整理脊饰。拆下脊饰后要进行整理,凡完整可用的瓦件要分类放置,新补瓦件一律按原式样进行补配。

(5) 苫背。苫背层,可按原式样、结构进行。屋面做法为: 木椽→望砖(参照设计方案及现存遗存)→80mm 厚泥背(白灰: 黄土体积比为 1: 4,另 100 公斤白灰掺麦草 6 公斤)→10mm 白灰浆→瓦瓦。

(6) 瓦件。依据拆除记录、设计图纸等资料,进行布瓦。

(7) 调脊。按原式样调脊。保留现有脊饰构件,佚失构件予以补配。

9.油饰: 易受风雨侵蚀的前檐两檐柱为四道灰: 捉缝灰、通灰、中灰、细灰、磨细钻生; 门窗等易触碰受风雨侵蚀的部位用原子做地仗,做法为: 硝基漆渗透→批原子灰→打磨→刷漆。檐檩、枋椽、飞用传统的桐油钻生后,然后刮细腻子一道→干后刷土红色油 1—2 道。(熟桐油内加红土掺以适量的黑烟色)。

10 防虫防腐: 本次仍使用桐油做防腐、防虫处理,对象为原木构件及新配木构件。做法如下:

①建筑的原构件有虫蛀、腐朽,不能再利用者,重新补配;对新补配及继续使用的木构件和装修做隔潮和防腐处理,做法: 刷桐油二至三道,桐油内添加 5%的五氯酚钠。

②不落架工程木构件的局部处理,可采用熏蒸法及注射法,使其自然渗透。

6.9 壁画、泥塑防护

壁画与泥塑体量大、质量重,质地松软,自身稳定性差,为避免在古建筑修缮过程中受到二次破坏,对泥塑进行专业的套箱保护,对壁画做支撑保护。

套箱制作: 对壁画、泥塑不同面进行若干板单元制作即正面板单元、侧边板单元(上、左、右)。板单元尺寸以造像的投影面中各边界最外点沿正交线外扩 10cm,制作完成后进行板单元的拼接组装,现场不得使用电焊。

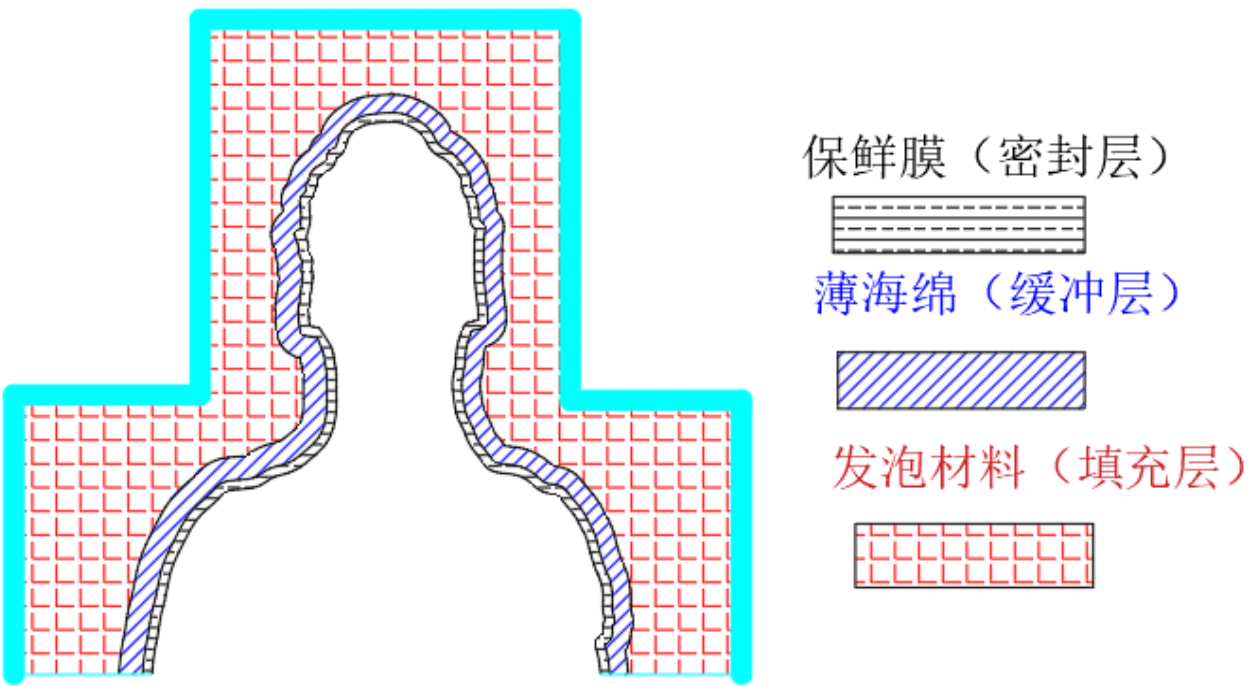


图 6-1 泥塑防护箱体内部结构示意图

泥塑整体套箱步骤如下：

- (1) 造像表面先用 PE 膜（保鲜膜）进行整体密封；
- (2) 使用硬质珍珠棉进行包裹，（这种海绵光泽像珍珠，可以切割成各种形状，且弹性较强），包裹完成后，用塑料带进行捆扎固定。
- (3) 泥塑套箱使用 50mm\*80mm 的木方制作套箱，在箱内横向加装木板，与海绵缓冲层紧密接触，对佛像起到平衡支撑的作用，箱体表面 10mm 厚木板进行封闭。再用聚氨酯发泡材料，对套箱进行充分填充。（聚氨酯发泡材料需具有防火、阻燃、耐高温等特性）（如图 6-1、图 6-2、图 6-3 所示）

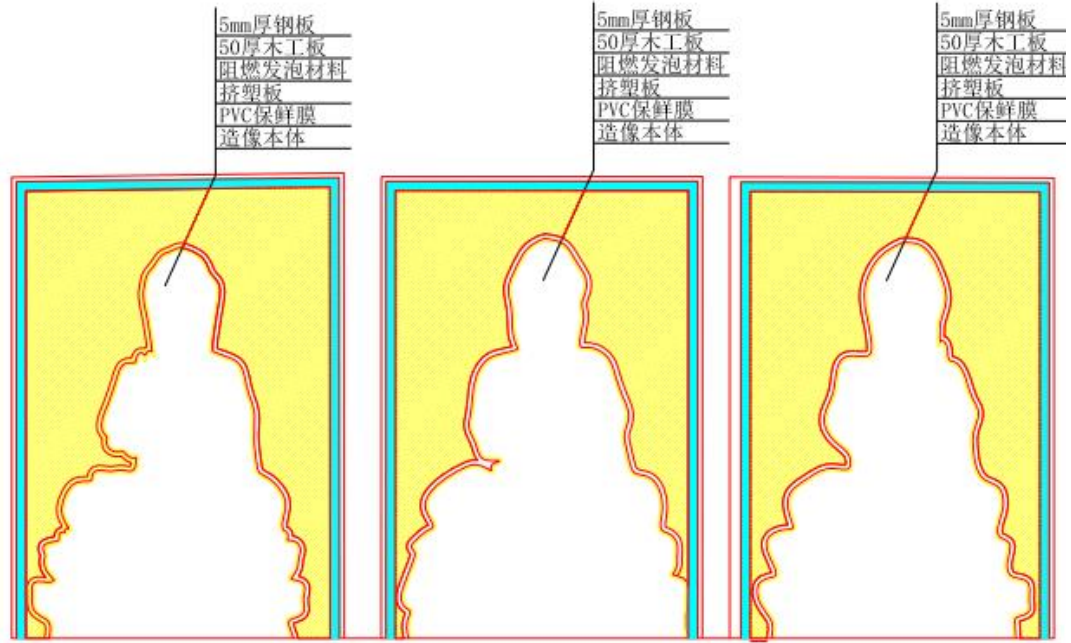


图 6-2 泥塑防护箱体整体示意图

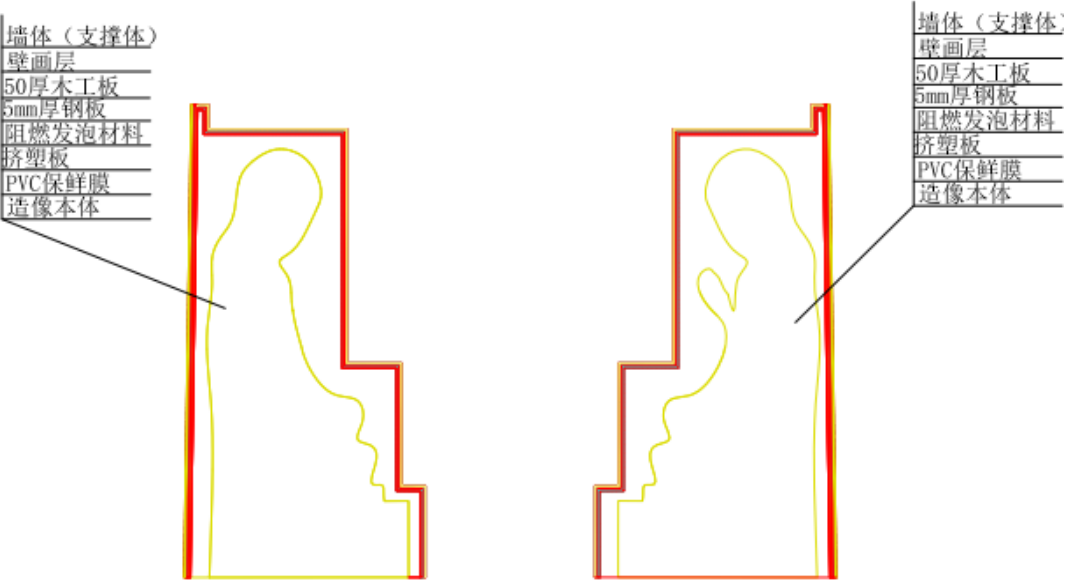


图 6-3 泥塑防护箱体整体示意图

壁画保护步骤：

本次采取整体固定的方法支护壁画。具体操作过程如下：

- (1) 表面预加固和整体灌浆加固结束后，待溶剂挥发完成，先用软性支撑材料作为缓冲层，与壁画表面接触。
- (2) 软性支撑材料之上，硬性支撑材料作为受力层，硬性支撑材料背后用钢管固定。
- (3) 结合古建梁架结构，利用钢管等作为整体固定的支撑材料，将壁画与古建固定为一



体，最大限度减少墙体拆除、砌筑时，古建结构形变对壁画造成的损伤。

（4）对后墙外墙拆除即壁画支撑体土坯砖进行拆除。

（5）支撑体拆除完毕后，补充后檐住，固定梁架后，重新砌筑土坯及砖墙，并对壁画背面地仗层进行清理、找平、加固。若地仗层损坏严重，应将地仗层全部清除，重新用草拌泥做地仗层。

（6）待后墙重新做好后；再将壁画回贴于支撑体之上，揭除表面预加固材料，对表面进行清洗。

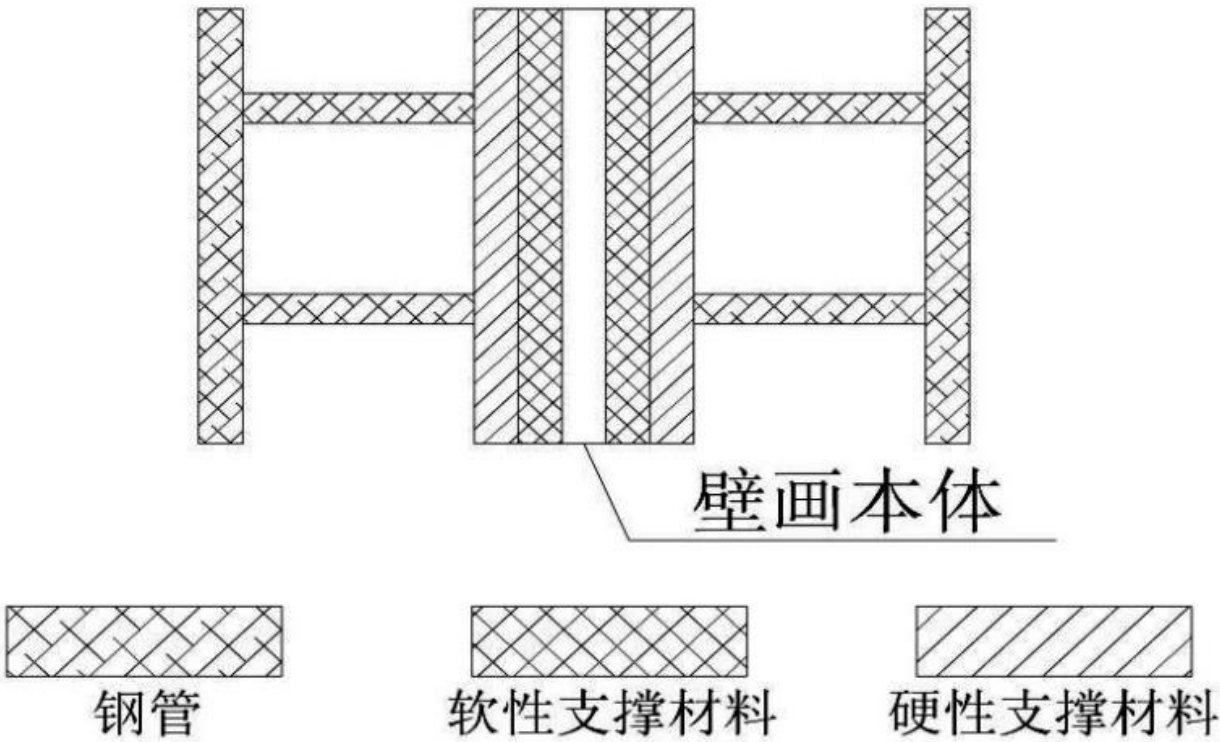


图 6-4 壁画防护支撑体结构图

### 6.10 施工管理措施

结合该工程施工条件及古建筑工程修缮特点，精心组织好流水施工，创造瓦、木、石等各工种工序不碰撞、互不干扰、连续均衡的文明施工现场。先搭设好施工工棚，清理好场地，创造良好的施工环境和条件。认真细致地搞好各项施工前准备工作，凡属可利用的材料都要分类存放好。清理、统计准备可利用的原旧材料数据，着手购买所需各种材料，并细心加工制作。木构件面层保护应在木构件及屋面完成后施工。需要脚手架对木构架进行支撑加

固时，应在整个修缮工程施工前搭设好，确保牢固安全。施工前必须仔细校核设计尺寸，当设计与实际不符时，以实际尺寸为准。特别是门窗等细小尺寸，一定要先复核，再施工。

### 6.11 施工管理

施工单位必须具有相应的专业施工资质、丰富的施工经验、严格的责任心和高尚的职业品德。掌握维修原则，确保工程质量。施工中应严格遵守文物修缮的原则，能够修补的构件应尽量保留，切记大换、大改和大动是文物建筑修缮中的大忌。施工中应一丝不苟，精心操作严禁自我意识的施工管理，对设计中的不明之处，要随时与设计人员沟通，杜绝自作主张、随意变更的事件发生。

熟读设计方案。修缮工作开工之前，有关施工人员应对设计图纸和做法说明书认真阅读，领会设计意图和一些特殊的要求。除此以外应对建筑本体的文物价值和历史特征有所了解，以便施工过程中能够更多保留建筑的历史信息。

做好施工现场布置。施工现场各种设施是否合理，直接关系到施工安全、进度、质量等标准和要求。做好施工记录。施工记录包括两个方面的内容，一是日常施工的记录，二是施工中遇到特殊情况的记录。

### 6.12 施工注意事项

- ①施工材料的选购，一定要按方案落实，确保工程质量。
- ②施工时严格按《安全技术操作规程》施工。
- ③检查拆除工程的施工准备工作，各项实施情况不到位不得施工。
- ④施工现场周围设置维护设施，杜绝非施工人员进入现场。
- ⑤脚手架搭设要有足够的牢固性和稳定性，保证施工期间在所规定的荷载作用下或在气候条件的影响下不变形、不摇晃、不倾斜，确保施工安全。脚手架最好采用钢管脚手架。严格按照施工组织设计搭设脚手架，满足堆料、运输、操作和行走的要求。
- ⑥行人通道、出入口设置安全防护通道。
- ⑦修缮过程中，坚持修缮过程的可逆性，保证修缮后的可再处理性。尽量选择使用与原构件相同、相近或兼容的材料，使用原有工艺技术及做法，尽可能保留更多的历史信息。
- ⑧在修缮过程中应识别地方建筑风格与传统工艺手法，保持地方建筑风格的多样性、传统工艺手法的地域性和营造手法的独特性。

- ⑨安全第一是修缮工程的保障，文物的安全与人员的安全同等重要。施工中应设置防火、防雨设备，设置完善的安全设施，并对施工人员及周围群众做好安全宣传、教育工作，确保人员及文物建筑的安全。施工中应对原有建筑的每一个构件、一砖一瓦视同文物对待，尤其是屋面易损瓦件，在拆卸时应轻拿轻放，堆放于安全的场所，避免一切不应有的损失。
- ⑩施工单位应严格按照设计文件和《古建筑木结构维护与加固技术标准》（GBT50165-2020 标准）。现场监理人员应及时对隐蔽工程进行验收和档案记录。出现意外情况，应及时向甲方，会同设计单位共同研究确定处理方案。施工中若发现方案未涉及的问题，施工单位应及时向有关部门报告，未经有关管理部门和设计单位同意，不得擅自施工。施工单位必须择有相应古建修缮资质的施工单位，修缮过程中要加强质量意识与管理工作。材料的采购，序 必须按照部标或国标选择优质产品，严禁以次充好、偷工减料等行为。修缮工艺，施工工要符合国家古建筑修缮有关质量标准。
- ⑪资料收集
- 拆除过程中对各重要隐蔽部位及其接点应拍照存档，以备修复施工中对照。竣工后施工单位应提交完整的竣工档案资料，并归档保存。