

《文物保护工程专业人员学习资料》 壁画

2020 年



文物保护工程专业人员学习资料编委会 组织编写

目录

1 中国壁画基本知识	1
1.1 中国壁画发展简史	1
1.1.1 原始社会壁画	1
1.1.2 夏、商、周、春秋、战国壁画	3
1.1.3 秦汉壁画	6
1.1.4 魏、晋、南北朝壁画	10
1.1.5 隋代壁画	13
1.1.6 唐代壁画	16
1.1.7 五代壁画	21
1.1.8 宋、辽、金、西夏壁画	23
1.1.9 元代壁画	27
1.1.10 明代壁画	29
1.1.11 清代壁画	30
1.2 中国壁画的基本类型	31
1.2.1 按照建筑物类型	31
1.2.2 按壁画创作年代	31
1.2.3 按制作材料与工艺	32
1.3 中国壁画的题材内容	32
1.4 中国代表性壁画	35
1.4.1 山西寺观壁画	35
1.4.2 敦煌石窟壁画	37
1.4.3 陕西墓葬壁画	38
1.4.4 西藏佛教壁画	39
1.5 壁画组成及其基本功能	40
1.5.1 壁画支撑体	41
1.5.2 壁画地仗层	41
1.5.3 壁画颜料层	41
2 壁画保护概要	43
2.1 壁画保护基本情况	43
2.1.1 中国壁画保护的发展历程及现状	43
2.1.2 壁画保护修复取得的主要成果	50
2.1.3 壁画保护修复存在的主要问题	55
2.1.4 经典案例	60
2.1.5 多学科在壁画保护中的应用	65
2.2 壁画保护项目的要求	69
2.2.1 壁画保护的主要目的、任务	69
2.2.2 《中国文物古迹保护准则》中保护原则在壁画保护中的应用	70
2.2.3 壁画保护项目的程序	73
2.2.4 壁画保护项目的规范和技术要求	79
3 壁画材料工艺与病害	81

3.1 壁画材料特性	81
3.1.1 支撑体	81
3.1.2 地仗层	81
3.1.3 颜料层	83
3.1.4 表面涂层	85
3.1.5 其他	86
3.1.6 绘画工艺	86
3.2 壁画病害原理	87
3.2.1 支撑体	87
3.2.2 地仗层	88
3.2.3 颜料层	89
3.3 壁画基本病害类型	90
3.3.1 壁画病害机理的研究方法	90
3.3.2 壁画主要病害类型和成因	91
3.3.3 壁画支撑体和保存环境特性对壁画的影响类型和成因	94
4 壁画保护技术与修复材料	100
4.1 空鼓壁画的保护修复技术与材料	100
4.1.1 空鼓壁画更换支撑体修复	100
4.1.2 空鼓壁画的灌浆修复	100
4.2 起甲和粉化壁画的保护修复技术与材料	103
4.2.1 起甲壁画的保护修复	103
4.2.2 粉化壁画的保护修复	104
4.3 壁画脱盐的技术与材料	105
4.3.1 壁画脱盐技术专业术语	106
4.3.2 壁画脱盐工艺	106
4.3.3 壁画脱盐材料	111
4.4 酥碱加固技术与材料	113
4.4.1 酥碱壁画专业术语	113
4.4.2 酥碱壁画加固技术	113
4.4.3 酥碱壁画加固材料	115
4.5 壁画的揭取、搬迁保护技术	118
4.5.1 壁画揭取、搬迁主要原因	118
4.5.2 壁画的揭取	118
4.5.3 壁画的搬迁	126
4.6 壁画的复原技术	127
4.6.1 复原壁画安装前的准备工作	128
4.6.2 安装壁画	129
4.6.3 修整壁画	130
4.7 壁画边缘加固技术与材料	132
4.7.1 壁画边缘加固技术	132
4.7.2 壁画边缘加固材料	133
4.7.3 地仗层修补技术与材料	134
4.8 缺损壁画的修补技术与材料	140
4.8.1 破碎地仗层修补技术	140

4.9 壁画表面污染物清除技术与材料	141
4.9.1 表面污染物类型及清除原则.....	141
4.9.2 画面钙质土垢清除技术.....	142
5 壁画保护勘察设计与研究	151
5.1 壁画保护项目勘察设计的主要内容	151
5.1.1 壁画保护项目勘察设计原则、依据与内容	151
5.1.2 壁画现状调查	151
5.1.3 壁画价值评估内容与方法	154
5.1.4 壁画赋存环境调查内容与方法	155
5.1.5 壁画病害调查与评估	156
5.1.6 壁画制作材料与工艺调查的内容与方法	156
5.2 壁画保护研究	157
5.2.1 壁画制作材料及工艺研究	157
5.2.2 壁画保存环境研究	158
5.2.3 壁画病害机理研究	158
5.2.4 壁画保护材料及工艺研究	159
6 壁画保护项目勘察设计文件编制	169
6.1 壁画保护项目方案设计文件编制	169
6.1.1 壁画保护项目方案设计文件编制的主要内容	169
6.1.2 壁画保护项目方案设计文件编制的工作程序	170
6.1.3 壁画保护项目方案设计文本编制及要求	173
6.2 壁画保护项目施工设计文件编制	173
6.2.1 壁画保护项目施工设计文件编制的主要内容	173
6.2.2 壁画保护项目施工设计文件编制的基本工作程序	175
6.2.3 壁画保护项目施工设计文本编制及要求	175
6.2.4 壁画保护项目实施过程中设计调整、变更的程序和要求	177
6.3 壁画保护项目概算、预算	178
6.3.1 壁画保护项目概算、预算的基本框架和内容	179
6.3.2 壁画保护项目概算、预算的编制要求	188
7 壁画保护工程项目管理	191
7.1 壁画文物保护工程类型	191
7.2 壁画文物保护工程审批	191
7.2.1 保护工程立项审批	191
7.2.2 保护工程设计审批	192
7.2.3 施工技术文件审批	193
7.2.4 工程设计变更审批	193
7.3 壁画文物保护工程经费审批	193
7.3.1 专项资金申报文件内容	194
7.3.2 专项资金审批	194
7.4 壁画文物保护工程施工阶段	194
7.4.1 保护工程准备阶段	194
7.4.2 保护工程实施阶段	195

7.4.3	保护工程验收阶段	195
7.4.4	保护工程保修阶段	196
7.5	壁画文物保护工程准备阶段管理	196
7.5.1	保护工程开工审批	196
7.5.2	保护工程设计交底与图纸会审	196
7.5.3	保护工程施工组织设计	198
7.6	壁画文物保护工程施工现场管理	202
7.6.1	施工现场安全管理	202
7.6.2	施工现场文明施工管理	204
7.6.3	施工现场进度管理	205
7.6.4	施工现场质量管理	206
7.7	壁画文物保护修复档案管理	207
7.7.1	档案构成	208
7.7.2	记录使用材料与形式	209
7.8	壁画文物保护工程竣工验收	209
7.8.1	竣工验收申请	210
7.8.2	竣工验收内容	210
7.8.3	竣工验收程序	212
7.8.4	竣工验收结论及备案	212
7.8.5	工程资料归档与移交管理	212
7.9	壁画文物保护工程保修期管理	213
8.1	内涵阐释	214
8.1.1	文物预防性保护背景	214
8.1.2	壁画预防性保护定义	214
8.1.3	壁画预防性保护原则	215
8.2	风险监测	215
8.2.1	保存环境监测	215
8.2.2	安全状况监测	216
8.2.3	本体病害监测	217
8.3	保养维护	217
8.3.1	检查记录	217
8.3.2	应急处置	218
8.3.3	日常保养	218
8.3.4	管理维护	219
8.4	防护加固	219
8.4.1	主动性防护	219
8.4.2	被动性加固	220
9	壁画数字化	221
9.1	概述	221
9.1.1	关于壁画数字化的基本概念	221
9.1.2	当前壁画数字化工作的主要技术手段	226

9.1.3 壁画数字化工作的意义	228
9.2 壁画数字化技术流程	230
9.2.1 测绘	230
9.2.2 摄影	232
9.2.3 人员和设备要求	236
9.3 壁画数字化成果及质量评定	237
9.3.1 工作成果	237
9.3.2 质量验收	244
参考文献	246
壁画（工程师）样题	251
壁画（工程师）参考答案	257
壁画（设计师）样题	258
壁画（设计师）参考答案	264

1 中国壁画基本知识

中华优秀传统文化是中华民族生生不息、发展壮大的丰厚滋养。文物是中华民族悠久历史和灿烂文化的实物见证，蕴含着一个民族特有的精神价值、思维方式和创造力、生命力、想象力，是中华民族的精神标识和国家的“金色名片”。壁画在全球各国布极为广泛，而我国是世界上壁画保存最丰富的国家。我国壁画具有时代早、年代连贯、数量多、种类全、分布广、创作民族多等诸多特点，是一类极具历史价值、艺术价值、科学价值、社会价值、宗教价值的文化遗产，也是研究古代社会的重要实物资料。

1.1 中国壁画发展简史

壁画的发展与不同民族在各个历史时期的生活习俗、宗教、哲学、美学观念等紧密相连的。同时，壁画的制作也与当时社会的政治、经济、文化、技术发展水平相适应。因此，古代壁画艺术也被赞誉为“墙壁上的博物馆”。

壁画是最古老的绘画形式，我国壁画始于先秦，历经汉、魏、晋、南北朝、隋、唐、五代、宋、辽、金、西夏、元、明、清等时代，发展脉络清晰，历史悠久，形成了独特的艺术风格。

1.1.1 原始社会壁画

作为人类最早艺术实践之一的绘画，早在旧石器时代已经出现在天然岩石平面上，如裸露的岩石表面、幽暗的洞窟壁面（岩画）。这种记录人类日常、对自然力量崇拜的原始艺术冲动，随着生产工具的进步、生产力的发展、聚落环境的改善，逐渐形成了壁画的萌芽。

中国壁画的源头或可追溯至新石器时代——甘肃秦安大地湾地画。大地湾遗址位于天水市秦安县东北五营张邵店村，于1978年秋开始发掘。大地湾遗址是一处规模较大的新石器时代遗址，最早距今约7800年，最晚距今约4800年，有3000年文化的连续，其规模之大、内涵之丰富，在我国考古史上亦属罕见。大

地湾“地画”是我国最早的绘画，也是原始社会建筑壁画的滥觞。

大地湾编号为“F411”的房址地面上存有一幅黑色颜料绘制的画作，是我国目前发现的年代最早的、独立存在的绘画，在考古学、人类学等领域具有重要研究价值。这幅长约 1.2 米、宽约 1.1 米、保存大部完好的地画的发现改写了中国美术史，将其前推了 2000 多年。

关于大地湾地画的含义解释，目前至少有 5 种：

①郎树德的“家庭的祖先崇拜”（试论大地湾仰韶晚期遗存 .文物，1983）

②宋兆麟的“丧葬舞蹈”（室内地画与丧迁风俗—大地湾地画考释 .中原文物，1986 年特刊（论仰韶文化））；

③李仰松的“巫术活动”（秦安大地湾遗址仰韶晚期地画研究 .考古，1986（11））；

④吕恩国、刘学堂的“氏族群婚”（大地湾地画再考 .考古与文物，1995（3））；

⑤杨亚长的“狩猎图”（大地湾地画含义新释 .考古与文物，1995（3））。

此外，新石器时代中期，距今约 5000 年的辽宁牛河梁红山文化女神庙遗址出土的壁画残片，是我国迄今发现的最古老的壁画遗址。这些壁画残片，或用赭红画成连纹，或用赭红间黄、白二色，绘成三角纹图案。新石器时代晚期，在宁夏固原店河村齐家文化遗址一座房屋残垣的白灰面上，考古工作者发现用红色描绘的几何纹样装饰壁画。河南濮阳西水坡新石器晚期遗址中，墓主人两侧有用蚌壳镶嵌的龙和虎各一，可视为我国“镶嵌”壁画的前身。虽然从壁画的建筑性上理解，这些原始绘画还不能被称为真正意义上的壁画，但至少可以说它们是中国壁画的雏形。

相传远古黄帝时代，我国的壁画艺术就已形成风貌，在当时的建筑内用壁画作为装饰已成风气。在“成教化、助人伦”的宣扬上，壁画艺术开始成为重要的手段和表现形式。例如，在墙壁上画蚩尤相貌以弭蠢乱，画“神荼、郁垒”于门上以御鬼、辟邪。

中国原始社会壁画，只有寺观殿堂壁画一种类型。画作图案比较简单，使用

颜料单一，内容多为线条、几何形状、人物、动植物、日常生活场景（如狩猎、歌舞等），大部分反映原始社会的社会生活、崇拜和信仰的萌芽状况两方面的历史信息。

1.1.2 夏、商、周、春秋、战国壁画

夏、商、周为我国奴隶社会时期，礼制殊隆，壁画艺术因其特殊的表现能力而受到当时统治阶层的重视。殿堂、院舍进行“蜃（蛤蜊）灰墁壁”，以图画为美观，并重视图画的宣传教育作用。例如，在名堂四墉上绘以尧舜之容、桀纣之像，以其相貌各具善恶（尧舜之容善之，桀纣之相恶之）教育他人，以垂兴废之诫。

（1）夏朝壁画（公元前 21 世纪-公元前 16 世纪）

关于我国壁画的起源，潘天寿认为当在黄帝时代，随着国绘画的普遍应用和技术进步逐渐推广而萌芽。在礼教思想的影响下，绘画应用于铸金器物上，庙堂之上也开始出现人物画和装饰图案。至夏桀之时，由于极欲穷奢，大兴土木，即有琼室瑶台之宏丽建筑。建筑与绘画为姊妹艺术，故潘天寿认为：有此等华丽之建筑，自必需多量之绘画，以为装饰。据《竹书纪年》记载，桀“筑倾宫、饰瑶台、作琼室、立玉门”，推测壁画的起源应当在夏桀时代。

（2）商朝壁画（公元前 16 世纪-公元前 11 世纪）

有关商代壁画的状况，《周礼·考工记》记载：殷人重屋。这种商代庙堂的特质，就是所谓的“四阿重屋”，即四坡顶、两重檐，在四坡屋盖的檐下，再设一周保护夯土台基的防雨坡檐。考古工作者在河南安阳小屯村殷墟宫殿基址的“F11 区”发现过壁画残片。文献（中国科学院考古研究所安阳发掘队：1975 年安阳殷墟的新发现，《考古》，1976 年 4 期）记载：在一块残长 22 厘米、宽 13 厘米、厚 7 厘米涂有白灰面的墙皮上发现绘有红色花纹和黑圆点。残片上的纹饰似由对称图案组成，线条较粗，转角圆钝，应是主题中的辅助花纹。

这种情况和西汉刘向《说苑·反质篇》引《墨子》佚文说，殷商时期“宫墙文画”、“锦绣披堂”相符。此外，《史记·殷本纪》：（伊尹）五反然后肯往从汤，言素王及九主之事。《史记集解》引刘向《别录》注释“九主”曰：九主者，有法

君……三岁社君，凡九品，图画其形。《尚书 商书 说命篇》：高宗武丁，恭默思道，梦帝赉予良弼，其代予言，乃审厥象，俾以形，旁求于天下。说筑傅岩之野，惟肖，爰立作相。这些文字资料都在一定程度上描述了商代壁画的制作情况。

（3）西周壁画（公元前 11 世纪-公元前 771 年）

《孔子家语 观周第十一》：孔子观乎明堂，睹四门墉，有尧舜之容，桀纣之象，而各有善恶之状，兴废之诫焉。又有周公相成王，抱之负斧扆、南面以朝诸侯之图焉。孔子徘徊而望之，谓从者曰：“此周公所以盛也。夫明镜所以察形，往古者所以知今。人主不务袭迹于其所以安存，而忽怠所以危亡，是犹未有以异于却走而欲求及前人也，岂不惑哉！”。这样的记载说明了：

①周代已有以历史人物为题材的壁画存在。

②壁画成为统治阶级宣传、教育的手段，起到“宣教化，成人伦”的作用。

关于壁画的这种功用，唐代张彦远在《历代名画记》卷一“叙画之源流”中引用西晋陆机的话来总结：“宣物莫大于言，存形莫善于画”。

西周壁画考古实证有罗西章《陕西扶风杨家堡西周墓清理简报》，《考古与文物》1980 年第 2 期：陕西省扶风县杨家堡西周墓中，墓穴四壁有以白色绘出的菱形二方连续带状图案，是一种比较粗简的壁面装饰。

（4）春秋战国壁画（公元前 770 年-公元前 221 年）

王逸《楚辞章句》：《天问》者，屈原之所作也。何不言问天？天尊不可问，故曰天问也。屈原放逐，忧心愁悴。彷徨山泽，经历陵陆。嗟号昊旻，仰天叹息。见楚有先王之庙及公卿祠堂，图天地山川神灵琦玮譎诡及古贤圣怪物事。周流罢倦，休息其下，仰见图画，因书其壁……。刘向《说苑》：齐王起九重台，召敬君图之。敬君不得归，思其妻，乃画妻对之。

春秋战国壁画考古实证有考古研究所洛阳发掘队：《洛阳西郊一号战国墓发掘记》，《文物》1959 年第 12 期：墓圻四周墙壁、墓道两壁尚有残余的彩绘痕迹，在墓圻四壁折角处的彩绘是：先用红色在壁上涂抹成宽带，在宽带上下涂黑色窄线，类似镶边。在下边一条黑线条的下面，又涂上一条较黑色线条稍宽的黄色

色线条。墓室四周图案极为对称。墙壁中部彩色脱落太甚，仅余一些红色斑点痕迹……在黄色及黑色上下，都残留有斑驳的白垩痕迹。这种彩绘应该是具有帷幔和画幔作用的圜壁装饰。

秦咸阳三号建筑遗址，在一号建筑遗址西南约 100 米，为南北排列的两组建筑，中间有长廊相通。廊左右有坎墙，上绘壁画，内容为建筑、车马、人物、游猎、鸟兽、植物和鬼怪等，内容丰富，色彩艳丽。所绘车马为每组四马一车，系驾方式与秦始皇陵出土的铜车马略同。马有枣红、黄和黑色。三号遗址出土的壁画，是迄今仅见的秦代绘画原作，也是已发现的最早的殿堂壁画，在中国古代美术史上有很高的价值。由于壁画残缺，所绘内容尚无定论。如东壁的“朝仪图”，也有人认为是“百戏图”。三号遗址距今 2290±80 年，约建于战国晚期。

仪仗图：壁画绘于南北向走廊东坎墙内壁之上。画面南北两端各有一架杆类物体，用途不明。北端上部残存 1 人，下身服装呈喇叭口状，铜绿色，白线条勾边。南端上部残存四人，身着长袍，南数第一人至第四人袍色分别为铜绿、浅褐、铜绿、白。四人下身服装均呈喇叭口状，胸部空出一方块，无色。画面中部有 6 人，一字排列，分南北两组，每组 3 人。6 人轮廓线都不太清楚，头部似戴兽面具，身着袍，胸部有一方框，中空。北边第一人，袍为褐色，袍下部呈喇叭口状。第二人轮廓线不清楚，仅可见头部有三条黑飘带。第三人仅可见头部的三条黑飘带。其余三人头部均有三条黑飘带，身着长袍，右下襟向后延伸上翘，呈鱼尾状。三人袍色由北向南分别为褐、红、黑色。

建筑和人物图：壁画绘于南北向走廊西坎墙内壁之上。第五间墙壁北部残存一似建筑物图案，大轮廓线为黑色，白线勾边。第六间壁画较清晰，建筑物有南、北二楼，每楼二层。一、二层间由两条平行黑线分开。楼的南北两端各有一角楼。南楼南端残余两层，北端仅存人字形角楼顶。北楼南端角楼残余一层，北端角楼四层，人字形顶。楼内有人物活动。南楼下层南部有一人，仅存腿部；中部一人，仅存上身。南、北楼上层各有一人，仅余腿部。建筑物和人物图案一般为黑色，个别角楼是深褐色。

(5) 夏商周及春秋战国时期壁画特点

①图案日趋复杂和精美，如陕西扶风西周墓的菱形二方连续带状图案，洛阳西郊一号战国大墓中的帷幕和画幔，说明人们审美意识的逐渐丰富；

②使用颜料逐渐增多，如安阳小屯村殷墟宫殿残留壁画中，出现白、红、黑等颜料。如洛阳西郊一号战国大墓中，出现红、黑、白、黄四种颜料。说明随着审美意识的丰富，人们不断推动绘画技术的进步；

③内容逐渐丰富，除了众多的装饰图案外，还出现了大量的以历史人物为主题的壁画，如《孔子家语》中记载的“周公相成王”，再如《楚辞章句》中记载的“图天地、山川、神灵、琦玮、谲(jue)诡(gui)及古贤圣、怪物事”的情况。

这些都说明当时人们绘制的壁画除了记录和装饰之外还多了“宣教化、助人伦”的功用，壁画蕴含的信息也逐渐呈现出多样化的趋势。

1.1.3 秦汉壁画

(1) 秦代壁画

为政不久的秦代也建造了许多辉煌而富丽的宫殿、庙宇，在宫殿庙宇内部也尽施装饰，绘制壁画更是不可少的。然而，频繁战争致使大量建筑被毁、彩饰尽没，唯有在埋藏于地下的部分遗物中还能见之一二。陕西省社会科学院考古研究所渭水队《秦都咸阳故城遗址的调查和试掘》（《考古》1962年第6期）中关于6号建筑遗址的报告：其中F2（残破房子编号）保存稍好，在壁上先涂一层厚0.5厘米的拌有草灰的细泥，然后再涂上很薄的一层石灰。上面还有壁画，壁画多用红、黄、兰、黑等颜色绘成，有直线纹、几何纹和曲线纹。

秦都咸阳考古工作站《秦都咸阳第一号宫殿建筑遗址简报》（《文物》1976年第11期）：出土残块四百四十多块，其中最大的一块长37厘米、宽25厘米。壁画五彩缤纷，鲜艳夺目，规整而又多样化，风格雄健，具有相当高的造诣，显示了秦文化的艺术的特色。壁画颜色有黑、赭、黄、大红、朱红、石青、石绿等，以黑色比例最大，赭、黄其次，饱和度很高。用的是钛铁矿、赤铁矿、朱砂等矿物质颜料。

三号遗址壁画主要出于廊东、西坎墙墙壁上。现根据东、西坎墙墙壁分间由南向北叙述。东壁：第1间和第2间墙体已毁，未见壁画。第3间仅在墙底保留极少几何形图案，为壁画底边边饰。图案紫红色打地，黑彩。第4间车马图。图中有三组车马，每组应四马一车。三组车马均向北驰，构图位置由南向北一组高于一组。车马图下为黑彩几何纹图案边饰。第5间仪仗图。画面分别由南北两端下角向中间顶部各有一条黑线，可能二线交叉于坎墙上部。北下角黑线下又有一黑色曲线带，褐色线条勾边。南下角黑线下有弧线黑带、黑色涡纹或流云纹线条。第6间车马图。车马为南北二组，均向南驰。第7间亦为车马图。仅有一组车马，驰向南。马四匹，黄色。右骖马身有两条黑飘带，左骖马有一条黑飘带。马身有六辔连接于车伞。车伞黑色。车伞顶部较平，上有一桥形耳。车伞下有一褐色横带，其下为车厢，上有两条黑飘带。第8间，壁画剥落殆尽。第9间，麦穗图。图案中心似“山”字形，两边各对称发展出一云纹图案，其外又各发展出一枝麦穗图案。图案为黑色。

此外，《史记 始皇本纪》记载：“秦每破诸侯，写放其宫室，作之咸阳北坂上”。当是绘制各国宫室之营造图样的壁画。东晋王嘉《拾遗记》：“皇元年，骞霄国献刻玉善画工名裔。使含丹青以漱地，即成魑魅及诡怪群物之像；……工人以指画地，长百丈，直如绳墨。方寸之内，画以四渎五岳列国之图。又画为龙凤，蹇翥若飞始”。

以上记载说明，在那一时期中原绘画已和西域绘画发生接触，开始吸收外来绘画的新样式。同时，秦始皇统一六国后大兴土木，于咸阳建阿房宫，其雄伟壮丽称羨千古。其间雕梁画栋，山节藻梲（zhuo 一声），很可能曾存在大量的壁画。

（2）汉代寺观殿堂壁画

汉代的经济和政治一度繁荣、稳定，统治者在黄老思想的影响下，生前尽情享乐，还幻想着死后成仙长生。因此，厚葬风气风靡天下。壁画这一艺术形式在汉代墓葬中获得较大发展。墓葬壁画也是如今唯一可见的汉代壁画形式。

①汉代殿堂壁画、寺观壁画

由于年代久远，建筑毁坏，汉代殿堂壁画和寺观壁画几乎荡然无存。只能在文献记载中窥见一斑。壁画艺术在汉代获得长足的发展，各种文献记载显示了汉代壁画进入空前的繁荣期。北宋李昉等《文苑英华》：汉文帝三年(公元前 177 年)于未央宫承明殿画屈佚草、进善旌、诽谤木、敢谏鼓……。东汉班固《汉书 郊祀志》：(汉武帝前 140-前 87)作甘泉宫遗址,中为台室,画天地泰一鬼神,而置祭具以祭天神。《汉书 苏武传》：宣帝甘露三年，单于入朝，上思股肱之美，乃图画其人于麒麟阁，法其形貌，署其官爵姓名。东汉王充《论衡》：宣帝之时（前 73-前 49 ），画图汉列士，或不在于画上者，子孙耻之。《汉书 成帝纪》：汉文帝在太子宫，成帝生甲观画堂。东汉蔡质《汉官典职》：尚书奏事于明光殿省中，皆以胡椒塗壁，紫青界之，画古烈士，重行书赞。

②画院及画家

据南朝刘宋范晔《后汉书》记载，汉代宫廷设“少府”，下属有“黄门署长、画室署长、玉堂署长各一人”。画室内有画工，即《后汉书》列传中所提到的“黄门画者”或“尚方画工”。汉代画家可以分为三个阶层：一，尚方画工；二，民间画工；三，文人画家。说明汉代已出现绘画的专门机构及人员。毛延寿，西汉刘歆《西京杂记》记载：前汉元帝，后宫既多，不得常见。乃令画工图其形，按图召幸之。诸宫人皆赂画工，多者十万，少者不减五万。唯王嫱不肯，遂不得召。后匈奴求美人为阏氏，上按图召昭君行。及去召见，貌美压后宫。而占对举止，各尽闲雅。帝悔之，而业已定。帝重信于外国，不复更人。乃穷案其事，画工皆弃市。籍其家，资皆巨万。前汉有尚方画工毛延寿、陈敞、龚宽、刘白、阳望、樊育；后汉有张衡、蔡邕、赵岐、刘褒、尚方画工刘旦、杨鲁等。

③佛教壁画的出现

据《牟子理惑论》记载：（明帝）时于洛阳城西雍门外起佛寺。于其壁画千乘万骑绕塔三匝。又于南宫清凉台，及开阳城门上作佛像。明帝时豫，修造寿陵，曰显节亦于其上作佛图像。俞剑华《中国绘画史》：又摄摩腾于保福院画首楞严

二十五观之图。

④汉代寺观殿堂壁画特点

汉代寺观殿堂壁画按题材内容可以分为四个方面：宣教化、敦人伦；鬼神祭祀；宗教传播；事迹记载。

(3) 汉代墓葬壁画

汉代墓葬壁画最早发现于 20 世纪早期，迄今为止见于考古发掘报告、简报、调查记录、简讯的汉代壁画墓已经达到 60 多座，分布在河南、陕西、甘肃、辽宁、内蒙古、河北、山西、山东、安徽、四川、江苏等地。其中，以河南和陕西为中心的中原地区分布最为集中。

依据现有考古资料，我国在汉代开始出现墓葬壁画。1987 至 1988 年发掘的永城芒山柿园汉墓位于芒山保安山东麓下，是西汉初期的梁国墓。墓主室顶部壁画保存较好，用红、白、黑、绿四种颜料绘画而成，面积约 16.8m²，是我国最早的墓葬壁画。汉代墓葬壁画的兴盛主要是延续了秦以来对“升仙”的追求。

(4) 秦汉壁画特点

①图案与颜料日趋繁复和丰富。

②内容题材取得巨大突破，可谓“图画天地，品类万物”。具体来说，其内容上的表现有升仙神异、天象祥瑞、驱疫辟邪、经史故事、生平威仪、家居娱乐和生产活动等方面。

③基本格局是以强盛的大帝国为背景的大一统美术；以儒家思想为背景的礼教美术；以人生价值和终极意义为背景的神仙美术。

④殿堂壁画以土坯墙体为支撑体。墓室壁画以空心砖结构的墓室，小砖砌成的墓室，石板构筑的墓室。

⑤以毛笔为工具，以墨为主要材料，使用化学性质稳定的朱、绿、黄、橙、紫、青、白等颜色的矿物质颜料，有的还在颜料中掺有胶质物。秦、汉早期壁画采用墨线勾勒轮廓再平涂色彩的手法。东汉晚期出现大笔挥洒的写意法和不勾勒轮廓而直接施色的没骨法、单色线勾和白描法，有的还出现晕染法；构图上摆脱

周秦以来呆板的横向排列形式，开始讲究比例和透视关系。总之，在汉墓壁画中可以找到中国画各种技法的渊源。

⑥佛教壁画开始出现

1.1.4 魏、晋、南北朝壁画

这一时期是中国壁画发展的高峰期。一方面，墓葬壁画继承先前的传统继续发展，同时随着佛教的传播，出现了大量佛教寺观壁画和石窟壁画，中国壁画的三大类型至此齐备；另一方面，此时期著名画家层出不穷，研究绘画的画论著作数不胜数。这两种情况促进了中国绘画艺术不断进步，特别是造就了壁画发展的高峰期，使得此时期的壁画在中国绘画发展史上占据异常重要的地位。

魏晋南北朝时期著名画家辈出，加上佛教发展的兴盛，产生了大量的寺观壁画，然而由于年代的久远，这些画迹已不复存在。北朝杨炫之《洛阳伽蓝记》（伽蓝，僧伽蓝摩）记录洛阳当时佛寺 70 多座，唐代杜牧“南朝四百八十寺，多少楼台烟雨中”等诗文也描绘了当时佛教盛况。

（1）寺观、殿堂壁画

根据《贞观公私画史》《古画品录》《续画品》《历代名画记》《图绘宝鉴》记载，当时著名的画家顾恺之、陆探微、张僧繇（合称“六朝三杰”）均在寺观创作壁画。

①顾恺之：东晋，攻人像、佛像、禽兽、山水等。画作《女史箴图》《洛神赋图》《列女仁智图》《斫琴图》等堪称珍品。画金陵瓦棺寺《维摩诘》，已知最早的维摩诘形象画，唐代杜甫犹见其画，其诗《送许八拾遗归江宁觐省，甫昔时尝客游此县，于许生处乞观瓦官寺维摩图样志诸篇末》：看画曾饥渴，追踪恨淼茫。虎头金粟影，神妙独难忘。

②陆探微：擅肖像、人物，学东晋顾恺之，兼攻蝉雀、马匹、木屋，亦写山水草木。多为宫廷贵族写照，当时推为最工。《历代名画记》卷二《论顾陆张吴用笔》中记载：“昔张芝学崔瑗、杜度草书之法，因而变之，以成今草书之体势，一笔而成，气脉相通，隔行不断，惟王子敬明其深旨，故行首之字往往继其前行，

世上谓之一笔书。其后陆探微亦作一笔画，连绵不断，故知书画用笔同法。画镇江甘露寺。

顾恺之与陆探微并称顾陆，共创“密体”：意存笔先，画尽意在；笔迹周密，紧劲连绵如春蚕吐丝。

③张僧繇：吴郡吴中（今江苏苏州）人，南北朝时期梁朝大臣，著名画家。记载他在金陵一乘寺用讲求明暗、烘托的“退晕法”画“凸凹花”，有立体感，可知他已接受了外来的绘画技法，“笔才一二、像已应焉”，很像现在的速写，被称为“疏体”。

除上述名家之外，魏晋南北朝时期还许多画家参与了寺观壁画的创作。如顾骏之：刘宋，永嘉法王寺；沈标：萧齐，画会稽王观寺；董伯仁：北周，汝州白雀寺、固州海觉寺、江都终圣寺；江僧宝：梁代，江陵长庆寺、江宁景公寺；张善果：梁代，江陵陟岵寺、江宁栖霞寺、江都静乐寺、江都惠日寺；张儒童：梁代，会稽报恩寺、江都东安寺、江都兴圣寺。

（2）石窟壁画

石窟壁画是佛教传入中国的直接产物。公元1世纪前后，佛教传播至中国古代西域疏勒国（今喀什地区）、龟兹国（今库车、拜城）、于阗国（今和田、于田）、焉耆国（今焉耆县）等地区。公元3世纪前后，佛教传播至甘肃、陕西和中原地区。

此时期佛教传播沿线分布着众多石窟，这些石窟中保留了大量壁画。根据它们的绘制时期，可以大致将中国石窟壁画分为新疆石窟壁画（小乘佛教）和甘肃石窟壁画（大乘佛教）两个部分。其中，新疆石窟数量远远超出甘肃石窟。

汉代后期，统治者注重与西域的交流，西域文化逐渐传入中原。天竺、大月氏一带流行的犍陀罗式、笈多佛教壁画艺术也伴随着僧侣们的宗教活动，越过天山南北，并跨过玉门关进入河西走廊、关中以至齐鲁、吴越。

绘画技法方面，天竺僧侣也由东南越海而来，为寺观壁画的绘制带来了新颖的域外风格。最为突出的是，一度流行的“曹衣出水”式线描与具有凹凸感觉的“晕染法”结合，为中国古代壁画艺术表现增添了新的光彩。

绘画内容方面，随着寺观壁画与石窟壁画的兴起和发展，壁画的内容题材也发生了较大变化。佛教的释迦牟尼佛、观音菩萨、天龙八部、经变故事、本生故事、因缘故事等成为寺观壁画与石窟壁画的主要题材。道教也模仿佛教的宣传形式，在道观中绘制元始天尊、三清诸神像、明真经变等。同时，在壁画的次要部位，常绘有各个时期善男信女们的供养画像。

从这一时期开始，寺观宗教题材与殿堂世俗题材壁画齐头并进、互相媲美，形成了丰富多彩的新局面，为壁画艺术的发展开辟了新的境界。

（3）墓葬壁画

曹魏两晋以来，由于战乱不已，规模宏大且雕刻精致的画像石墓很少见。中原地区较少在墓室绘制壁画，只是辽东、河西等边远地区仍有豪门大户沿袭汉代旧制，营建砖石结构的壁画墓。北魏开始，墓葬壁画又重新开始在中原流行。至北朝晚期，墓葬壁画取得重大发展。东晋和南朝流行用模印画像砖拼嵌墓室画，呈现了一种新的工艺方法。这一时期的壁画墓，目前共发现约 120 座，主要分布在辽宁、吉林、甘肃、河南、山西、河北、山东、陕西、宁夏等地。

总体说来，此时期墓葬壁画在秉承汉代传统的基础上与时俱进，不断融入外来样式和时代新风，形式日趋规范，技艺渐臻成熟。具体来说，佛教的深入传播、道教的兴起、玄学的流行，使得包括墓葬艺术在内的整个造型艺术从内容到形式上都发生了如下四个方面的变化。

①壁画被广泛用于官僚、贵族，甚至帝王墓葬的装饰，并突破了传统的空间布局，开创了在墓道两壁绘制大型壁画的先河；

②场面壮观的卤簿仪仗图和格套化的墓主画像跃居主流题材，其意图旨在标示墓主人的高贵身份和显赫地位；

③隐逸题材绘画开始浮现，不仅潜藏着丰富的思想文化内涵，而且孕育和催生了中国山水画；

④名家的艺术实践和理论探索促成了绘画样式和风格的创新，导致了绘画理念和审美情趣的变化和演进，“传神”成为绘画艺术的最高境界。

总之，魏晋南北朝墓室壁画大体展现了处于转型期的中国绘画的风貌和成就，具有承前启后、继往开来的历史地位。

1.1.5 隋代壁画

公元 581 年，杨坚废除北周政权后灭陈，结束了自公元 304 年以来长达 277 年的南北分裂局面，建立隋朝，重新统一全国。隋文帝杨坚建国后，提倡节俭治国，振兴经济、发展文化，深得民心，融南北风尚，出现了政治稳定、百姓安宁的新局面。隋代统治者笃信佛教，佛教寺院、石窟的兴建不减以往，凡寺庙、石窟内必塑佛像、绘壁画。自汉魏以来的厚葬之风在隋代仍延续，墓葬壁画虽然不及魏晋，但仍在倡行。

(1) 寺观壁画

在隋文帝杨坚的倡导下，朝野竞相修建佛教寺院，先后三次下诏在全国 113 个州修建舍利塔。公元 581 年（开皇之初）至公元 604 年（仁寿之末），修建寺院 3792 所，度僧尼 20 万至 30 万人。隋炀帝杨广也大修寺庙、造经堂、铸佛像、度僧尼。大业元年（公元 605 年），于洛阳修建显仁宫，于长安修建寿仁宫，此二宫规模庞大，绘画彩壁可以说是必然的。

隋王朝国祚短暂，仅二帝三十余年。隋代二帝崇信佛教，使得佛教在中国获得空前发展。隋文帝于开皇元年“诏境内之民任听出家，乃令计口出钱，营造经像。于是时俗随风而靡，民间佛书，多于六经数十百倍”。仁寿年间，三次诏令诸州建舍利塔，派遣沙门中“谙解法相，兼堪宣导者”分送舍利，往诸州起塔，限同期入石函，令“总管刺史已下，县尉以上……停常务七日，专检校行道，及打刹等事”。炀帝在位时，除造像立寺之外，“在两都及巡游，常以僧、尼、道士、女官（女道士）自随”。一些善于逢迎的和尚，乘机提出“破斥南北，禅义均弘”的口号，欲统一佛教以适应统治阶级的需要，把隋代佛教的风火越煽越旺。

这一时期，著名画家辈出，加上佛教发展的兴盛，产生了大量的寺观壁画，然而由于年代的久远，这些画迹已不复存在。唯有从对一些文字记载中，可以窥见当时的壁画制作技艺水平。以唐代张彦远《历代名画记》来看，当时参加寺观

壁画绘制的画家就有数十人。如展子虔、董伯仁、孙尚子、郑法士及其家人（弟法轮、子德文）、杨契丹、田僧亮、江志、尉迟跋质那、李雅、蔡生、陈善见、释氏等，都享有佛寺壁画名家的盛名。

（2）石窟壁画

王邵《舍利感应记》：仁寿元年“瓜州市于崇教寺起塔。”《续高僧传·智焯传》载，智焯“入关中，住法静寺，仁寿置塔，敕召送于瓜州崇教寺。”据莫高窟保存的武周《李义碑》记载，崇教寺就在莫高窟。由此可见，远在边陲的敦煌佛教也得到朝廷的扶持。莫高窟隋代窟数骤增，显系隋代帝王倡导发展佛教的结果。

隋代石窟壁画处于过渡时期，在内容题材、人物造型、绘画技法、绘画风格等方面均有所突破和创新，为壁画在唐代发展至巅峰期奠定了基础。这与隋朝经营丝绸之路，在张掖举办西域二十七国交易大会，大力促进中西文化交流是分不开的。

壁画内容方面，大乘佛教题材逐渐取代小乘佛教题材，本生、因缘、佛传故事日渐减少，经变画日趋增多，法华经变、维摩诘经变、弥勒经变等相继出现。新出现的经变画改变了以叙事为主的北朝艺术传统，探索了以绘境（如净土环境）绘人（如维摩诘居士）为主的、内涵更为丰富的表现形式，以适应新题材的需要。尽管这些新的经变表现形式还不成熟，但仅就壁画艺术表现力的增强来看，无疑是前进了一大步。

壁画布局方面，在继承北朝模式的基础上，做出了迎合壁画内容需要的变化。例如，将壁画中的经变画、故事画通通移至窟顶，四个壁面除开龕造像之外多绘千佛，并于南北壁中部各绘说法图一铺。北朝在壁中一带绘经变故事画的传统趋于消亡。到隋代后期，又将千佛移至窟项，使四壁布满并列的说法图，出现了画幅少而规模大的通壁说法图。至此，经变画的布局形式完全突破了北朝模式，开了大型经变画的先河。

人物造型方面，画家在大胆地探索过程中创作各类人物的典型形象，逐渐形成了隋代统一的风格。以菩萨像为例，在北周时期出现的头大、腿短等比例失调

的特点，在隋朝末期逐渐消失；脸形出现了方形、长条形、广额、秀额、颐形等多种形式；菩萨的姿态从原先呆板的双腿并立过渡到一条腿微曲，将重心放在另一条腿上的自然倾斜状态；从早期较多的夸张、想象逐渐趋于写实风格；装饰上多半袒露右肩，腰束锦裙，衣裙上遍饰各种波斯风格的织锦花纹。

绘画技法方面，描线既有精细的“铁线描”，又开创了效果豪放的“蓝叶描”；涂色在晕染法的基础上，将西方的“明暗对比法”与中原的“渲染法”融为一体，使人物脸部的形象既表现出红润的色泽，又具有阴阳明暗的立体效果。将西方绘画技法与中原民族绘画技法相融合，从而促进了我国绘画技艺的发展。

绘画风格方面，隋代石窟壁画两种不同的风格。“疏体”线描精炼、赋色单纯、晕染浅淡、人物神情庄静娴雅；“密体”人物造型以及衬托人物的环境（如堂阁楼院落、山峦树木、流水、动物等）都刻画得细腻真实，色彩艳丽，晕染层次多而浓重。无论疏体还是密体，都受到中原绘画风格的影响，至唐初融合为一，成为唐代壁画风格的基础。

（3）墓葬壁画

目前已发现的隋代墓葬壁画数量不多，共约 9 座：陕西三原双盛村李和墓（隋开皇二年，公元 582 年）；陕西潼关税村壁画墓；山东嘉祥英山徐敏行墓（开皇四年）；宁夏固原小马庄村史射勿墓（大业六年，公元 610 年）；陕西西安东郊韩森寨吕武墓；西安东郊庆华厂李椿夫妇墓（大业六年）；西安东郊白鹿原刘世恭墓（大业十一年）；西安东郊白鹿原 M20；西安田行达墓（大业十二年）。

（4）隋代壁画艺术特点

隋代壁画艺术的成就是多方面的，并且对后世壁画艺术的发展有积极而深远的影响。

①融汇不同艺术风格。隋代消除了南北阻碍，中原与边疆畅通无阻，中原艺术源源不断地传到边疆，浓厚的中原艺术色彩开始出现在边疆地区。

②华丽的中原风格和质朴的地方色彩相结合，是隋代壁画艺术的时代特色。重青绿，间朱赭，敷金彩，勾色线，表现了以画风华丽细腻为体系的格调；又以

赭线勾勒，青、绿、赭、黑为主调，笔力洒脱，不加修饰，画风朴实疏朗，潇洒自然。

③晕染技法发生演变。北朝壁画主要技法之一是以素面绘供养人，以西域凹凸法表现宗教人物。自北朝后期出现“以浓色微加点缀”的素面菩萨开始，一种企图改变沿着肌肤边缘层层叠染而呈凹凸的尝试，经西魏、北周两代的探索，到隋代，有继承沿肌肤边缘、眼眶周围叠染成凹凸、加填白鼻白眼“小”字脸的；又有红晕鼻梁眼睑，双颊叠染成圆团，或叠晕兼施的，还有以肉红晕开于双颊四肢隆起处的；也有素面不施渲染。

在石窟壁画艺术历史上，隋代无疑是变革的活跃时期。国家统一、经济发展、中西交往频繁的有利条件，使眼界大开的隋代石窟艺术充满活力。如今看来，尽管壁画变色严重、人物肌肤晕染略显杂乱无章，使隋代壁画艺术有所减色，但是隋代艺术中蕴蓄着活力，尤其那些可贵的探索，如经变画新题材的引进、经变画形式的尝试和创新、晕染技法的发展、装饰图案使用范围的扩大，又都为那一时期的壁画和彩塑增色不少。整体上，隋代壁画艺术显然还处于幼稚朴拙的阶段，然而隋代大部分艺术探索都被唐代继承下来并加以发展。即此而论，隋代壁画艺术起到了承上启下的重要作用。

1.1.6 唐代壁画

公元 618 年隋炀帝被杀，李渊自立为帝，国号唐，再次统一了中国。公元 627 年唐太宗李世民继位后，鉴于隋朝由于暴政引起农民大起义而急骤灭亡的教训，不得不在政治、经济、军事和文化等方面进行改革，使阶级矛盾渐趋缓和，社会生产力得以恢复和发展；同时，在国内加强与各民族的联系，在国外与亚洲许多国家频繁交往。上述各种因素促使唐代孕育了灿烂辉煌的封建文化，壁画艺术也是其中之一。

唐代经济繁荣，文化昌盛，出现了政治长期稳定、国富民强、百姓安宁的局面，绘画艺术也得以全面发展。隋唐以前，器物和建筑物上的绘画总体上占据中国画的主流。到了唐代，卷轴画逐渐弱化了以往壁画与器饰的功能，从更典型、

更高级的层次上反映出中国绘画的普遍认识和发展规律。但是，从宏观的角度将唐代看成我国壁画艺术的鼎盛时期是不过分的。壁画艺术在唐代已经形成了成熟的模式，这种模式不仅总结了前代绘画技法、体现了唐画风貌，也定立了未来中国封建社会壁画艺术发展的范式。

由于隋帝杨坚、杨广大力弘扬佛教，全国诸州佛事活动十分兴盛。至唐代，尽管武德年间太史令傅奕坚决反佛，高祖下诏沙汰僧道，然而自贞观至长安（武则天年号）的七十余年中，太宗造寺为皇太子、诸王，皇后、六宫妃主授戒，两次下诏全国广度僧尼。武则天时沙门薛怀义与法明等十人进《大云经》说武则天是弥勒下生，于是武则天下令天下各州置大云寺，广度僧尼，寺院浮屠遍及各地。当时佛教具有不同特点的各个宗派相继形成，大乘思想盛极一时，特别是净土宗高僧善导到长安以后，遣《阿弥陀经》十万余卷，画《净土变相》三百余壁，“满长安中并受其化”。可见当时佛教艺术十分兴盛。

政治经济的昌盛带来了文化艺术的繁荣。宋人苏东坡曾说：“诗至于杜子美，文至于韩退之，书至于颜鲁公，画至于吴道子，而古今之变，天下之能事毕矣。”吴道子就是被奉为“画圣”的盛唐卓越画家。在唐代统治者的积极倡导下，宫殿寺院装饰画壁一时成风。根据现存的文献记录，吴道子一人仅在长安、洛阳两地就画有三百余幅壁画。

无论何时何地，宫殿寺观壁画普遍代表其所处时代壁画的最高水平和典型面貌。然而，大多数宫殿寺观壁画难以保存至今。通过石窟壁画和墓葬壁画，我们能在一定程度上了解唐代的社会文化和唐人的精神追求。

（1）寺观壁画

唐朝寺观及其僧、道在以皇室为首的上层统治者支持下，得到了优厚的待遇，形成了一种特殊的社会经济地位。这是唐朝寺观壁画艺术得以发展和昌盛的重要条件。这一时期著名画家辈出，包括阎立德（弟阎立本）、尉迟乙僧、王定、张孝师、范长寿、王韶应、尹琳、李仲昌、刘行臣、薛稷、李昭道、李思训、陈静心、陈静眼、吴道子、卢棱伽、杨庭光、李生、王耐儿、牛昭、皇甫軫、姚景仙、

石抱玉、杨惠芝、武静藏、杨恒、解倩、程逊、郑虔、韩幹、陈子昂、周昉等上百人。佛教发展兴盛且名家云集，促使大量寺观壁画产生。然而由于年代的久远，这些画迹大多不复存在。

实物考古资料仅发现山西省五台县佛光寺壁画。该壁画绘于殿内拱眼壁和明间佛座背面。其中东大殿北槽次间拱眼壁上绘制一横幅“西方佛会图”，画面分三组布局，中间一组绘释迦牟尼说法图，释迦牟尼居中，观世音菩萨、大势至菩萨等七菩萨协侍两旁；其两侧绘文殊菩萨、普贤菩萨各自成局，也有协侍菩萨，作赴会行进状态。两端绘供养人像，北像为僧装，南像为俗装。壁画造型丰满、技巧熟练，媲美同时期的敦煌壁画。

（2）石窟壁画

唐代是中国石窟壁画艺术发展的鼎盛期，原因在于其艺术价值高和实物遗存数量多。唐代石窟壁画主要分布于新疆克孜尔石窟、库木吐拉石窟，甘肃敦煌石窟、麦积山石窟、天梯山石窟、炳灵寺石窟等。仅就敦煌莫高窟现存的 492 个洞窟而言，就有 236 个唐代洞窟的壁画遗存。同时，莫高窟唐代壁画时代较为明确，窟龕划分清楚，作品风格区分也较为明显。

内容题材方面，唐朝石窟壁画逐渐以各种净土变代替了魏、隋时期颂扬佛陀各种牺牲行为的本生故事画。武德年间，基本上还保持着隋代经变的简单内容和形式，至贞观时期壁画艺术飞跃式发展，大型经变逐渐增多。除隋代所见的《阿弥陀经变》《东方药师经变》《维摩诘经变》《弥勒上生经变》《涅槃经变》《法华经变》和佛传中的《乘象入胎》《夜半逾城》外，出现了《观无量寿经》中的《未生怨》《十六观》《九品往生》和《弥勒下生经变》《文殊变》《普贤变》《劳度叉斗圣变》《宝雨经变》《洛迦山观音净土变》《阿弥陀三尊五十菩萨图》《十一面观音》和《地狱变》等。藻井、边饰、圆光、华盖、幢幡、莲座、地毯、花砖、栏板及服饰上的装饰图案纹样丰富多彩。属于肖像画范畴的供养人像，其贵族男女、文官武将、仆役、僧尼以及马群牛车，也被刻画得十分细致。

技法方面，初唐壁画在构图上出现了主体式与叙述式相混合的构图形式。例

如，以佛在伽耶山说法为主体，形体较大，周围圣众较小，伽耶山两侧及下部为佛说的各种比喻，以山水为背景，有各类人物、动物、寺塔、房舍、城阙、长城等等，形象更小，衬托得中心主体人物更为突出。初唐大型经变构图特点是：1) 画面人物和景物配置丰满，突出主体的同时又兼顾周围相互间的对称、均衡、疏密、远近等关系，因此富有装饰性；2) 运用散点透视与鸟瞰相结合来处理人物和景物的位置关系，使画面构图丰满且有舒适的空间感；3) 远观近看两相宜。远看气魄雄浑、开朗深邃、富丽堂皇，近看绘工精细、引人入胜。

造型方面，人物面相由清秀逐渐趋向丰满、结实转变，人体比例适度。无论是佛、菩萨、帝释、梵天、天王、力士，还是比丘、居士、帝王、后妃、臣僚、仆役、平民、胡商、婆罗门等，从衣着服饰到行坐举止的刻画，无不以现实人物的形、神为蓝本，有的在面部五官上表现不同人物的个性，有的在动作、姿态之间彼此互相呼应以传神。因此，唐代壁画人物造型具有现实生活中人物的真实感和世俗化特点，特别明显的变化是壁画中比比皆是的菩萨已完全女性化。

线描方面，多由隋代比较粗壮自由的线描逐渐转变为兰叶线描，主要用于衣纹、飘带，配合色的晕染，更能体现丝织品的质感。同一幅画作中，线的颜色也有变化。根据不同物象采用不同线描和运笔技巧，展示出线的粗细、曲直、刚柔、虚实和长短变化。神灵形象多用土红色勾线，俗人形象常以淡墨轻描，故而前者给人红润光彩的感觉，后者产生素面如玉的效果，在敷色涂彩上，则多以泥壁为底，色调温和、淳厚、典雅，别有风采。初唐画工尝试用朱线取代隋代的土红线，使得轮廓明快，画面焕然一新。唐代壁画创作中常见的线描有以下几种形式：

- ①淡墨线起稿，朱线定形，白线提神。
- ②朱线起稿，浓墨线定形，白线提神。
- ③淡墨线起稿，浓墨线定形。
- ④墨线描肉体，朱线描衣纹。
- ⑤朱线描肉体，墨线描衣纹。

晚唐时期，壁画已失去初、盛唐时期清新明朗、金碧辉煌的格调。经变画故

事情节增多，画面显得琐碎、冗繁，中唐时出现的构图形象程式化、概念化的倾向愈发显著。但是，由于开凿高大洞窟，出现了一些幅面开阔、气势磅礴的壁画，佛经故事画也为取悦世俗民众，加强了故事性、戏剧性、趣味性和娱乐性，从而创作出一些艺术性较强的壁画。

（3）墓葬壁画

唐代是中国墓葬壁画发展的鼎盛期，其创作数量之多、规模之大、水平之高，可谓空前绝后。目前共发现唐代壁画墓约 150 座，其中大部分分布在陕西关中地区。从壁画布局和内容题材变化的情况来看，唐代墓葬壁画可分为三个阶段：第一阶段为初唐至盛唐，即唐代墓葬壁画特征形成和发展时期。壁画采用单栏式，全墓壁画布局趋向一致，壁画内容不仅有多种出行图，游乐题材也增多起来，出现影作的仿木结构，配合男女侍从的形象，使墓室具有宅院化的特点。第二阶段为中唐时期，绘于墓道中的壁画逐渐少见，墓室中流行主人像和折扇式人物屏风画。第三阶段为晚唐时期，壁画越来越简化，流行六屏式人物、花鸟图、云鹤、十二生肖、家居生活、乐舞游乐、文吏仆役、仕女侍童等题材。

唐墓壁画从内容上可分为两个不同的图像系统：

第一，表现贵族府邸（或宫苑）内外场景的现实性图像系统。此图像系统的内容有：墓道东西两壁：仪仗队、骑马出行、车舆、檐子（轿辇）、狩猎出行、打马球、客使、门吏等；靠近墓道的过洞、天井壁面上：仪卫武士、列戟架、文吏等；靠近甬道的过洞、天井与甬道两壁：内侍、侍女、宫女、贵妇；墓室壁：侍女、宫女、乐舞、屏风等。其中，仪仗队、车舆、门吏、列戟架、仪卫、内侍（或宦官）、侍女（或宫女）、贵妇、乐舞、屏风等，是唐代壁画墓中普遍出现的图像，构成这一图像系统中的主要成分，具有一定的规范性。当然，这些图像随着墓葬规格、墓主人身份、时代不同而有所变化，各个图像成分也会有所消长。但是，有一些图像如阙楼、狩猎出行、打马球、客使、驯豹、朝服文官等，只出现在某些太子、公主、亲王的墓中，不具有严格的规范性。

第二，表现宇宙时空的宇宙图像和标示升仙、吉祥或厌胜的神瑞图像所构成

的图像系统。宇宙图像包括：①墓室顶部：天象图；②墓室南北两壁：朱雀、玄武，或十二生肖图像（四神十二时）；③墓道东西两壁前端：青龙、白虎。开元前，①和③构成关中唐代壁画墓宇宙图像的基本组合形式，开元年间起，在墓室南北两壁配备朱雀、玄武，配成完整四神系统，是唐代壁画墓宇宙图像成分的重要变化。神瑞图像包括：①甬道顶部或天井上方：瑞鸟、仙人、飞天、祥云；②墓道东西两壁：仙人、云中车马、飞天、祥云、忍冬、莲花等。神瑞图像在唐墓壁画中，不像天象、四神宇宙图像在墓中比较固定、规范化，它们在唐代壁画墓中出现不普遍，有较大的偶然性，缺乏固定的格式。其中的祥云、瑞鸟出现频率较高。神瑞图像在布局构图上有两个显著特点：其一，一般画在高于现实人物图像的地方；其二，绝大多数神瑞图像都呈向南（墓道口）飞行或奔腾之状，与仪仗队的行进方向一致。

1.1.7 五代壁画

公元 907 年，唐朝宣武节度使朱温废唐建立后梁，至公元 960 年后周殿前都点检赵匡胤废后周建立宋朝，史称五代十国时期，共 53 年。在此分裂割据时期，中原地区先后出现后梁、后唐、后晋、后汉、后周，统称五代。在长江流域先后出现吴、南唐、吴越、楚、闽、南汉、前蜀、后蜀、荆南、北汉，十个割据政权，合称十国。同时，北方契丹族建立了辽国。

（1）寺观壁画

五代十国时期的中原地区，由于统治者和佛教界都需要壁画为自己服务，壁画制作之风虽不及唐代，但也十分兴旺发达，名家辈出，如中原画家朱繇、张南，左礼、王仁寿、释智蕴、荆浩、张图、曹仲玄；西蜀画家孙位、张南本、常粲、滕昌佑、刁光胤、赵德玄、赵温奇、卢楞伽、左全、杜敬安（北宋黄休复《益州名画录》）等。此外，西蜀还有专门画道教尊者的道士画家张素卿。

当中原战乱频繁之际，西蜀、南唐、吴越等地区政局稳定、经济繁荣、生活安定，不少北方的文人、画家、技工相继外迁。西蜀、南唐等地区的执政者重视文学艺术的发展，专门成立画院，使画师的地位得以提高，促进了这些地区壁画

艺术的繁荣。然而，五代时期的寺观壁画较为完整保存至今的，仅余山西平顺县大云院。

平顺大云院壁画位于山西平顺县城西北龙耳山中，绘于五代晋天福三年(公元 938 年)。现存五代壁画在大佛殿东壁和扇面墙上，有 21 平方米。东壁绘《维摩经变》，维摩诘像面部残损，文殊菩萨相对而坐，面相端庄，举止安详，与正在辩论中的维摩诘的激动神情适成对照。他们身后，各有菩萨、罗汉、天王、神将、侍从等。中央是香积菩萨、舍利佛和持花天女。上方绘有飞天及种种奇妙景象。扇面墙正面绘观音、大势至二菩萨，背面画《西方净土变》，画工精细，色彩鲜丽。画风与敦煌同期壁画相似。画中乐舞位都作宫女装束，与敦煌同期壁画中乐舞伎作菩萨装束不同。

(2) 石窟壁画

五代石窟壁画内容，承袭晚唐经变二十种，绘制在各窟主室内的显著壁面上，以边饰为界。四壁下部，用屏风格式，画本生故事、佛经故事、供养菩萨或供养人行列。例如，敦煌莫高窟第 61 窟西壁的《五台山图》(高 3.42、宽 13.45 米)，就是一幅气势宏伟的杰作。五台山是文殊师利久居的胜山、说法的道场。图上部自北而南，并列着东、北、中、西、南五台，各有一山环抱。空中神迹化现，峰前山间遍布塔寺庐庵，道俗巡礼络绎不绝。下部北起镇州，南自太原，中经五台县，两路朝拜中台文殊殿的朝山香客和送供使往返途中。全图塔寺屋宇建筑物 179 处，桥梁 13 座；榜题清晰可辨的 112 方；佛与菩萨 20 身，僧俗人物 428 人；乘骑驮马 48 匹，运驼 13 峰。这些人马三五成群，结队而行，经山城，穿冈峦，拜寺塔，迂回攀登。《五台山图》是山水人物画，也是一幅古迹导游图。更可贵的是，它为今人研究建筑史、佛教史、社会史等提供了珍贵的形象资料。

这一时期新出现的敦煌莫高窟第 72 窟通壁《刘萨诃因缘变》，是以唐朝道宣《续高僧传》为依据绘制的。胡僧刘萨诃，先不事佛，乐行射猎。后落发为僧，云游江南。北魏太延元年，西至凉州盘和(番禾)郡，遥礼御谷山，对弟子授记说“此谷当有像出”，像全“则世乐时康”，像缺“则世乱民苦”。刘萨诃继续西行，命

终酒泉。至正光初御谷山裂，果现丈八无头立佛，众人另雕佛头，总是“安讫还落”。北周孝闵帝元年七里涧现一佛头，迎装上去“宛然符合”。保定元年，为像建“瑞像寺”。武帝建德元年灭法毁寺。隋文帝开皇初，再建佛寺。大业五年炀帝巡视河西，亲礼此像，改名“感通寺”，命“模写传形”，供人礼敬。《刘萨诃因缘变》描绘的就是上述内容。

（3）墓葬壁画

五代墓葬壁画目前所见不多，比较重要的有河北曲阳西燕村后唐同光二年（公元 924 年）的北平王王处直墓、陕西彬县前家咀村后周显德五年（公元 958 年）的卫王冯晖墓、江苏江宁南唐保大元年（公元 943 年）的孟知祥和陵等。

五代壁画时间虽短，但上承唐代画风，下开宋元画迹，起到了沟通脉络的积极作用。尤其是它独特的乡土风格，对宋初、西夏、元代壁画颇有影响。

1.1.8 宋、辽、金、西夏壁画

公元 960 年，赵匡胤建立北宋王朝，结束了五代十国的分裂割据局面。同时，北方契丹族建立辽国、西北党项组建建立西夏，后期北方女真族建立金国。在这一时期，虽然宋、辽、金、西夏等各王朝对峙，但由于游牧文化和农耕文化的对立和融合，壁画这一传统艺术仍得到传承和继续，在不同时代和地区都有一定的发展和演变。

（1）宋代壁画

宋代的统治者为了稳定人心、巩固自身政权，极力崇佛仰道。但总体上，这一时期的宗教势力较唐代有明显衰落。文人墨画的盛行，致使许多壁画及其创作者很少见诸记载而湮没无闻。宋代的文化艺术处于上升发展时期，统治者对绘画非常重视。宋徽宗赵佶嗜好丹青，设立翰林画院，但对壁画的重视远不及唐代。

① 寺观壁画

宋代寺观壁画仍然比较兴盛，出现过大规模的政教宣传的大型寺观壁画，如宋初增修国子监学舍、太祖开宝年间修建开宝寺、景德年间修建景德寺、太宗时期修建大相国寺、真宗年间修建玉清昭应宫，都是有皇家画院的画师领衔完成。

现存寺观壁画遗迹有河北定州净众院塔基地宫壁画；河北定州静志寺塔基地宫壁画；山西高平开化寺壁画；山西高平仙翁庙壁画。

河北定州净众院位于河北省定州市城内新立街。原塔已毁，仅存塔基地宫，建于北宋至道元年(公元 995 年)，坐北朝南，砖室方形，面积 7.2 平方米，高 2.34 米，顶口盖石雕歇山式屋顶，南壁券门两侧绘天王像。北壁正中彩绘释迦灵牌，两侧各绘弟子五人。东西两壁绘涅槃图、涅槃变和帝释天、梵天礼佛图。

山西高平开化寺位于高平市东北的舍利山腰，寺庙创建于北齐武平二年(公元 571 年)，寺中的大雄宝殿东、西、北三面墙壁上的壁画，创作于北宋绍圣三年(公元 1096 年)，是我国保存面积最大的宋代寺观壁画。由北宋哲宗绍圣三年(公元 1096 年)郭发等人绘制，于次年春告竣。东壁和北壁东部为《大方广佛华严经》经变图；西壁和北壁西部壁画最为精美，为《大方便佛报恩经》经变图，由 4 副画面组成，犹如连环画，每幅画面中间为说法图，说法图周围配置本生故事图。

②石窟壁画

宋代石窟壁画艺术趋于衰落。北宋著名绘画史家郭若虚在其名著《图画见闻志》中曾说过：“若论佛、道（画）……近不及古。”同时，海上“丝绸之路”的日益发展而取代陆上“丝绸之路”，渐渐失去它在中西交通方面的重要性。这些因素的综合作用，势必影响到石窟艺术的发展。

宋窟壁画题材，前期仍然以各神大幅经变画为主，唐、五代时期流行的二十多种经变中，除《涅槃经变》绝迹外，余皆因循沿袭。新出现的经变画有《八大灵塔变》与《千手千眼观世音菩萨广大圆满无碍大悲心陀罗尼经变》。北宋时期的各种经变画，从总体上看，绝大多数规模小、人物少、色彩单调，构图更加程式化。

壁画中的用线，主要是墨线与赭红线，除少数尚称遒劲外，多数缺乏笔力。这个时期的所谓“战笔”，实际上也是线描功夫衰退的表现。至于用色方面，富丽光彩的朱砂等减少，灰暗的大绿、赭红以及用铅粉调和银朱氧化变色后的茶褐色壁画则比比皆是。

（2）辽代壁画

游牧民族契丹统一北方地区后，受到中原地区较先进文化的影响，游牧文化与农耕文化逐渐交流融合。契丹政权十分重视绘画艺术，宫内专设翰林图画院，皇帝贵族中不乏擅长丹青之术的人物，如辽圣宗耶律隆绪、世宗耶律阮、兴宗耶律宗真、贵族如耶律倍、耶律题子、耶律裹履等，俱为一时妙手，各有擅长。

①寺观壁画

辽代君主重佛教，于寺观中广造佛像，壁画作品也非常多。现存寺观壁画有辽宁沈阳无垢净光院舍利塔地宫壁画、山西应县佛宫寺（应县木塔）壁画。

②墓葬壁画

辽代对境内的游牧民族（北部草原）和农耕汉人（燕云地区）采取因俗而治的方针，在中央统治机构中设立南面官和北面官，以国制治契丹，以汉制待汉人，这使得契丹和汉人各自的文化都得到尊重和发展。因此，辽代墓葬壁画分为两种类型，一种为契丹贵族墓，一种为汉族官吏或地主墓。这两种墓室的形制多为仿木建筑结构的圆形、方形或八角形。

契丹贵族壁画墓多在上京和中京地区，按早、中、晚三个时期依次分布在内蒙古赤峰宝山、内蒙古巴林右旗和内蒙古通辽市库伦旗等地。壁画题材主要为升仙或来世思想、四时风光、宴饮散乐、出行归来、花鸟等。部分壁画沿用了晋唐以来汉族著名画家的绘画粉本，反映出契丹早期墓葬壁画对中原文化艺术的吸收。

汉人官吏或地主壁画墓分布在辽南京和西京地区，即所谓燕云十六州。早期流行圆形墓，壁画内容为墓主人日常生活、女仆操作和侍女图等内容；中期流行较大圆形墓和少量方形墓，题材多为仿木结构建筑图和日常生活用具；晚期流行圆形单室小墓和多角形墓。早期圆形大墓和方形墓有少量遗存，多出现于北京、张家口和大同等地。壁画内容主要为日常家居生活和出行图。画面布局很有规律，一般在墓门两侧绘卫士，西壁多绘制出行、乐舞或宴饮图，东壁也常常绘制宴饮图与西壁呼应，北壁多绘制帷帐、条屏、桌椅和餐具等，墓室顶部描绘天象图，四壁多做出雕砖仿木建筑和桌椅，并施以彩绘。早、中期壁画墓较少，以晚期壁

画墓居多，晚期壁画墓又主要分布在张家口和大同地区。其中，张家口宣化区有 9 座壁画墓，堪称此时期墓葬艺术的代表。大同地区也发现多座辽代壁画墓。

（3）金代壁画

①寺观壁画

金代寺观壁画现存遗迹多在山西，较典型的有朔州崇福寺和繁峙岩山寺。

岩山寺原名灵岩院，位于山西省繁峙县天岩村，创建于宋元丰至金正隆年间（公元 1078—1161 年）。我国古代寺庙多有壁画和彩塑，而金代壁画、彩塑能够保存至今的为数不多。岩山寺屡经修葺，寺内建筑多已改观，唯文殊殿虽经元代揭顶重筑，但殿内金代壁画与彩塑未予更制，原貌未失，十分珍贵。

岩山寺壁画为宫廷画师所绘，技法自然高超，宫殿、楼阁、酒肆、磨坊及旗仗车辆等铺排有致，着色浑厚；帝王、文臣、武将、嫔妃、宫女及小农工商等人物各具形态、栩栩如生，是那一时期社会生活的缩影，也是研究宋、金时期社会、宗教、美术、建筑的珍贵实物资料。

②墓葬壁画

金代墓葬壁画主要分布在山西、河北、河南、山东、甘肃、北京、辽宁等地，金故地（黑龙江）鲜有发现。其中，山西最为集中，可大致分为晋北、晋中、晋东南和晋南 4 个区域。

（4）西夏壁画

公元 1038 年正式立国的西夏王朝，是中国历史上大致与宋、辽、金同时并存的一个封建割据政权。这个政权以党项羌族为主体，此外还包括汉、吐蕃、回鹘、鲜卑、蒙古、女真、突厥等多民族。它的疆域相当于今宁夏回族自治区全境、甘肃省大部、陕西省北部、青海及内蒙古的部分地区。

西夏统治者在建国前，就注意向北宋王朝学习和吸收汉地佛教文化，多次派使团入宋朝贡，求取汉文佛教典籍。北宋初年，赵德明和赵元昊都曾遣人到山西五台山礼佛供僧。德明、元昊本人就以“晓浮屠学(即佛学)通蕃汉文字”著称。建国后，更是从汉、回鹘、吐蕃佛教文化中汲取营养。

西夏壁画主要为石窟壁画。墓葬壁画多分布在银川附近，有西夏第八代皇帝李遵项的陵墓壁画。

①石窟壁画

西夏早期石窟壁画中除少数洞窟外，不绘制供养人形象。在表现技法上，比较普遍地使用石绿或铁朱作底色，相当普遍地运用浮塑贴金、沥粉堆金法，如菩萨身上所佩戴的珠玉、璎珞、臂钏、手镯、耳铛等，还有帷幔上垂挂的璎珞铃饰等、平棋和团花图案的花蕊及藻井中心纹饰中的龙、凤等等。金色被认为是色彩中最贵重、最富丽、最耀眼夺目的，用它来打扮和支撑由于陷入严重公式化、程式化而生命力已显得很脆弱的佛画艺术，反映出佛教自唐以后的衰败景况。

西夏中期石窟壁画的一大特点，是较为明显地受高昌回鹘佛教艺术的影响。例如莫高窟西夏中期壁画中出现了柏孜克里克石窟佛像头光和身光中的编织纹样和火焰宝珠纹样，而且两地石窟说法图的构图形式、人物造型、衣冠服饰、色彩配置以及艺术风格等，都有不少共同或相似之处。又如，莫高窟西夏中期壁画中流行的、具有强烈时代特征的波状卷云纹边饰，饱满而顶部稍尖的八瓣莲花以及藻井中龙的形象与画法等，都与柏孜克里克石窟同类纹样非常相似。这些情况反映出西夏时期敦煌与新疆高昌地区在文化上的密切关系，反映出这些地区的汉族、党项、回鹘等几个民族间佛教艺术的交融。敷彩方面，已不像早期壁画那种多青绿色而稍偏于冷的色调，而是多用朱、赭，色调热烈明快。多使用“勾填法”来处理线条与色彩的关系，即在轮廓定稿线内填色，留出一点边缘，以免色彩覆盖了线条，涂色之后不再描线。

西夏石窟壁画艺术继承了中华民族自汉唐以来的优秀传统，同时又学习吸收了其他兄弟民族的文化艺术养料，也有本民族的个性和时代特点，对中华民族精神文明的建设和发展做出了自己的贡献。

1.1.9 元代壁画

公元13世纪初，蒙古族兴起于塞北，成吉思汗统一了各蒙古族部落，于1206年建立了蒙古汗国，先后灭了辽、金、西夏、大理，1271年忽必烈定国号为元，

1279年灭南宋，定都大都（北京）。1351年红巾军起义，1368年朱元璋攻入大都。自忽必烈起，元代传11帝、历98年。元朝初期，政治、文化一度陷于衰败，后期一系列措施得以转机，文化、艺术也随之得以恢复和发展。

蒙古族崇信佛教，元朝佛教的发展未受到任何阻挠。同时，道教也被提倡，所以元朝出现了佛道两教并存的局面。元代壁画以寺观壁画为主，少见墓葬壁画，石窟壁画亦罕见于敦煌之外的地区。

（1）寺观壁画

据考察统计，元代寺观壁画约有1500平方米。主要分布在山西省芮城县永乐宫的龙虎殿、三清殿、纯阳殿、重阳殿；洪洞县广胜寺大雄宝殿、水神庙内明应王殿；高平市万寿宫三清殿；稷山县兴化寺、青龙寺；陕西省耀州区南庵《朝元图》等。

永乐宫（又名：大纯阳万寿宫）原在山西永济市永乐镇，相传为道教祖师之一吕洞宾的故宅，因黄河水利工程改迁到芮城县。永乐宫内，无极门、三清殿、纯阳殿、重阳殿四处均绘有壁画，总面积约800平方米。永乐宫壁画是道教壁画中最重要的作品群，集中反映了元代壁画艺术的最高成就。壁画表现众神朝拜老子及吕洞宾、王重阳传教施法的宗教故事。内容丰富，大部分保存较好，具有相当高的艺术水平，在我国壁画艺术史中占有重要地位。朝元图画在三清殿内，四壁及扇面墙两侧均绘壁画，有泰定二年（公元1325年）作者河南马君祥父子的题名。

永乐宫各殿中，以三清殿和纯阳殿的壁画最为精彩。三清殿朝元图描绘道府诸神朝谒元始天尊，故名“朝元”。壁画构图宏阔，气势磅礴，所绘人物个个神采奕奕，表情动作无一雷同：有的对语，有的沉思，有的倾听，有的注视，神情姿态彼此呼应，成为有机的整体。人物服饰冠戴华丽辉煌，衣纹多用吴道子“莼菜条”线条，长达数尺，紧劲贯气，既含蓄又有力度。色彩采用重彩勾填，在冠戴、衣襟、薰炉等处沥粉贴金，更觉绚烂夺目，此风格远承唐宋壁画传统，在元代画坛上独树一帜。纯阳殿则以52幅壁画演绎着吕洞宾富有传奇色彩的人生，同时

也折射着宋、元时代的社会生活。壁画中官吏、平民、农夫、乞丐的服饰装束，使用的器皿、设施，居住的亭台楼榭，出入的酒肆茶寮等都成了极有价值的图文资料。

（2）石窟壁画

元代石窟壁画，在西夏壁画的基础上大量吸收藏传佛教艺术的内容和表现形式，在敦煌莫高窟壁画艺术发展史上独树一帜。同时，元代石窟壁画艺术既有前代艺术遗产的借鉴，更兼强大统一的元帝国使中断的“丝绸之路”再度复通，许多新的元素传入，壁画的内容和形式都一展新貌。

技法方面吸收前人经验，以遒劲有力的铁线描勾勒出人物轮廓，然后在轮廓线内淡施晕染，绘出肌肤，使之形成凹凸，产生向背明晰之感。人物的服饰采用生动、多变、流畅的折芦描，将复杂的衣褶、飘带等画得层叠有序，飞扬飘举。形神相得益彰，意象统一。

（3）墓葬壁画

元代墓葬壁画多沿袭前代，主要分布在山东、内蒙古和山西等地区。其中，山西的元代壁画墓多数在大同，少数在长治及运城等地。

总之，蒙元时期的壁画艺术，是汉、蒙、藏等各族人民智慧的共同结晶，其中不乏精湛的艺术品。

1.1.10 明代壁画

1368年朱元璋建立大明王朝，定都南京，后于永乐十九年（1421）迁都北京。它建立于1368年，到1644年灭亡，先后经历了16位皇帝。明代是我国封建社会后期，也是资本主义萌芽时期，在中国绘画史上文人画最为昌盛，壁画创作日趋衰败。明朝初期，朱元璋沿袭宋制，恢复了御用画院，许多画家因绘制壁画而得宠。

明代统治者对壁画创作有严格的规定，若有违反必定严惩，使得画家们怵然自警。这也是明代壁画日趋衰败的重要原因之一。明代壁画艺术已远不及同期卷轴画盛行。现存寺观壁画遗迹共10余处，包括北京法海寺、新绛东岳稷益庙、

汾阳圣母庙、平遥镇国寺、河北正定龙兴寺、河北石家庄毗卢寺、天津蓟县独乐寺、四川蓬溪宝梵寺、四川新津观音寺、云南丽江大觉宫等。

在全国各地的明代寺观壁画中，北京法海寺壁画保存最好、制作最精。与敦煌莫高窟壁画和永乐宫壁画相比，法海寺壁画在规模、力度、气势上不及前两者，但在精细程度和用金之技法上，确实有其高超之处。当明代的文人画家们对写实人物画尤其是宗教绘画兴趣淡漠的时候，民间的画工们在从生活中汲取养分，以高涨的创作热情投入到这些深受百姓喜爱的佛教故事题材中，在艰辛的工作条件下，塑造出了非常动人的艺术形象，为我国壁画艺术宝库留下了珍贵的典藏。

法海寺壁画沿袭唐代传统模式，而人物形象又有着明显的时代特征。佛教壁画中表现帝释梵天的作品在南朝梁代已出现，至唐、五代时期就广为流行，不少著名画家都表现过这一题材。宋、元以来，特别是明、清，在寺院壁画中绘帝释梵天图仍极为流行，同时由于后期佛道掺杂，佛教图像中有了不少道教的神像，如道教中的紫微大帝、东岳大帝、雷神、风神等，也进入佛教图像行列，变为二十四天、三十三天等。法海寺壁画帝释梵天图承袭唐制，二十诸天中没有道教神像，而且构图布局和形象处理与唐、宋作品有着更多的传承关系。

1.1.11 清代壁画

1616年女真贵族努尔哈赤建立后金，天聪十年（公元1636年）皇太极称帝，改国号为清。宣统三年（公元1911年）辛亥革命推翻了清王朝，自皇太极改国号为清至宣统皇帝退位，共传11帝、历276年。自顺治帝到乾隆帝的清前期，将专制主义中央集权的政体推向历史最高峰。

清宫廷不设画院，但宫廷内部的绘事活动仍然活跃，尤其是文人画风，而壁画不再被视为正统绘事。与此同时，民间画工行会组织出现，开始承担庙堂彩壁之事。清代壁画数量颇丰。其中，比较著名的有甘肃张掖大佛寺、内蒙古包头市五当召和美岱召、山东泰安岱庙、江苏及浙江等地的太平天国壁画、故宫长春宫回廊壁画等。

太平天国（公元1851—1864年）共14年，其主要思想是“追求政治、经济、

男女平等，国家之间平等”，主张不崇信佛教、不相信鬼邪，并对一切儒家、佛家意识加以剔除。因此，太平天国治下没有新绘制的寺观壁画或墓葬壁画。然而，太平天国重视殿堂壁画，南京城的各家王府内都绘制壁画。太平天国殿堂壁画起初仅限于大门，随后在照壁、二门上绘制花草、山水，有些在大门上用金色线描画龙、虎、大象、鸡、鹅、花、鸟等。

1.2 中国壁画的基本类型

壁画是指装饰建筑物墙壁上的画。通常是以绘制、雕塑及其他造型或工艺手段，在建筑物墙壁上制作的画。构成壁画有三个基本要素是以人工改造或人工构建的建筑物为支撑体、以颜料为物质载体、以绘制技术为主要手段。作为绘画的一种形式，具有绘画最一般的规律，即二度空间（平面性）、构图、色彩、造型（形象）、笔触（线条）等。

1.2.1 按照建筑物类型

壁画是人类文化遗产中最古老的艺术形式之一，其最基本特征之一是建筑性，所即任何形式的壁画总是与一定形式的建筑相联系。按照壁画所依附的建筑物形式，而将其分为石窟壁画、寺观壁画、殿堂壁画、民居壁画、墓葬壁画。

(1) 寺观、殿堂、民居壁画

在寺观、殿堂、民居等建筑物墙壁和顶棚上的绘画，也可将其统称为古建筑壁画。

(2) 石窟壁画

在佛教石窟内周壁、披顶、甬道、藻井等墙壁上的绘画。

(3) 墓葬壁画

在古代墓葬内周壁及顶部墙壁上的绘画。

1.2.2 按壁画创作年代

壁画是最古老的绘画形式，我国壁画始于先秦，跨越汉、魏、晋、南北朝、

隋、唐、五代、宋、辽、金、西夏、元、明、清各个时代，历史悠久，形成了独特的艺术风格。

1.2.3 按制作材料与工艺

按壁画的制作工艺及材料又可分为干壁画、湿壁画、镶嵌壁画。

(1) 干壁画

干壁画是世界上历史最悠久、分布最广、保存数量最多、技术最早成熟的壁画形式。干壁画的颜料层绘制在完全干燥的地仗层表面。我国目前现存的壁画全部都是干壁画。

(2) 湿壁画

湿壁画是颜料用水调和后画在潮湿的石灰地仗上的壁画形式。

(3) 镶嵌壁画

镶嵌壁画是一种古老技法，最早出现在西亚，现代也有新发展。镶嵌壁画主要以黏土泥（现代常用水泥）调入其他黏合剂，将有色石子、陶瓷片、有色玻璃、料器、贝壳、珐琅、宝石等不同颜色的颗粒黏合起来拼成画面。此外，还有使用大块石料（如有色大理石）、木材板块、有色玻璃镶嵌而成的。

1.3 中国壁画的题材内容

壁画的一大基本特征即装饰性，是指壁画题材内容与建筑物功能和环境的协调统一。壁画反映了古代社会的风俗信仰、艺术风貌、科技成就等，内容丰富，具有极高的历史价值、艺术价值、科学价值，是研究古代社会的重要实物资料。按内容可将壁画分为宗教壁画与非宗教壁画。

①宗教壁画：现存的石窟寺壁画大多是宗教壁画，即使其中个别情景为非宗教题材，但作为营造整个宗教环境的元素，也可以将其视作宗教壁画。宗教壁画主要用来营造宗教活动场所的气氛，同时一些绘画也是信徒朝拜的对象。

②非宗教壁画：非宗教壁画的内容广泛、主题多样，主要起到装饰作用。我国非宗教壁画最常见的题材内容是典型的传统吉祥图案和各种丰富的几何图案。

此外，还有反映日常生活和神话传说等内容的壁画。

（1）寺观、殿堂壁画

相传远古黄帝时代，我国的壁画艺术就已形成风貌。在当时的殿堂建筑内用壁画作为装饰已成风气，并在“成教化、助人伦”的宣扬上，壁画艺术开始成为重要的手段和表现形式。例如在墙壁上画蚩尤相貌以弭蠢乱，画“神荼、郁垒”于门上以御鬼、辟邪。从中国原始社会壁画来看，只有殿堂壁画一种类型。图案比较简单，使用颜料单一，内容多为线条、几何形状、人物、动植物、日常生活场景（如狩猎、歌舞等），反映原始社会的社会生活、崇拜和信仰的萌芽状况等历史信息。

夏、商、周为我国奴隶社会时期，当时的礼制殊隆，壁画艺术因其特殊的表现能力而受到统治阶层的重视，殿堂、院舍进行“蜃（蛤蜊）灰墁壁”以图画为美观，并重视图画的宣传教育作用。例如在名堂四墉上绘以尧舜之容，桀纣之像，且其相貌各具善恶，尧舜之容善之，桀纣之相恶之，用以教育他人，以垂兴废之诫。

（2）石窟壁画

我国绝大多数石窟壁画是佛教东传进入中国后发展起来的，壁画以宗教内容为主，因此石窟壁画是一类形式特殊的寺观壁画。随着寺观壁画与石窟壁画的兴起发展，壁画内容也发生了较大变化。释迦牟尼佛、观音菩萨、天龙八部、经变故事、本生故事、因缘故事成为石窟、寺院壁画的主要题材。道观中也模仿佛教的宣传形式，绘制元始天尊、三清诸神像、明真经变等。同时，在壁画的次要部位常绘制各个时期善男信女们的供养画像。此后，寺观宗教题材与殿堂世俗题材壁画齐头并进、互相媲美，形成了丰富多彩的新局面，也为壁画艺术的发展开辟了新的境界。

佛教壁画按题材可分为七类：

①尊像画：包括佛、弟子、菩萨、天王、天龙八部众神。尊像画通常以说法图的形式来表现，也有单独表现佛、菩萨、天王等形象的。

②佛经故事画：本生故事（佛的前世的故事）、本行故事（释迦牟尼佛的传记故事）、因缘故事（佛教化众生及各种劝善惩恶的故事）。

③中国传统神仙画：东王公、西王母、伏羲、女娲，东王公、西王母、伏羲、女娲、风、雨、雷、电诸神是中国自先秦以来就已流传的神仙思想，这样的形象进入佛教石窟，反映了当时中国人对佛教的理解。另一方面，佛教吸收了这些中国传统的神，更有利于其在中国的发展。

④佛教史迹画：与佛教历史相关的故事。

⑤经变画：综合地表现一部佛经内容的画称为经变。常见的有涅槃经变、维摩诘经变、阿弥陀经变、观无量寿经变、法华经变、药师经变、弥勒经变、报恩经变等，这些经变画在表现佛国世界的同时，反映了古代的建筑、音乐舞蹈、民俗、社会生活等多方面的历史场面。

⑥供养人画：在洞窟完成时，往往要把供养人及家属的形象画出来，并写出题记。这些供养人及相关题记文字，就是我们了解各时代社会各阶层人物和相关历史的重要资料。

⑦装饰图案画：大多集中于建筑的顶部，石窟中心柱窟的人字披顶都画有莲花与忍冬纹图案，平顶则画出平棋图案。覆斗顶窟中，窟顶的均绘多彩藻井图案。此外，在佛背光、龕楣等处均有装饰图案。早期的纹样流行忍冬纹、莲花纹。隋代，来自波斯的联珠纹较流行，唐代以后，葡萄、石榴、茶花等植物纹及禽鸟动物等图形也常常组合在图案中，飞天及化生也常常与图案相组合。

（3）墓葬壁画

墓葬壁画自西汉前期形成以后，不断演变形成了一种丧葬文化现象，表达了深邃而复杂的信仰和丧葬观念，反映了古代社会的风俗信仰。墓葬壁画以现实生活内容为主，表现墓主人生前的社会环境、日常生活等，展示和提供了当时古代上层社会的政治、文化、贵族生活、以及建筑、科技等内容。以唐代墓葬壁画为例，其色彩鲜艳，内容丰富，真实生动，墓主人身份明确，补充了文字史料，其弥足珍贵自不待言。唐代贵族大型墓葬多由长斜坡墓道、多天井、多过洞、甬道、墓室组成，象征墓主人生前居住的豪华宫殿以及重重院落。壁画绘制在墓葬的各

个壁面，内容因具体位置而异，墓道多绘制青龙、白虎、出行、狩猎；过洞、天井多绘制列戟、内侍；甬道多绘制女侍、女官、伎乐以及装饰性屏风。墓葬壁画题材有以下七类：

- ①四神：青龙、白虎、朱雀、玄武；
- ②狩猎：驯豹、牵狗、架鹰（鹞）、骑猎等；
- ③仪仗、出行：步行仪仗队、骑马仪仗队、仪卫、列戟、备马、驾车、骆驼；
- ④社会生活：马球、乐舞、杂技、男女侍从、庭院游乐、室内装饰；
- ⑤生产：农耕、牧养；
- ⑥建筑：佛寺、道观、阙、楼阁、斗拱、影作木构；
- ⑦星象：金乌、蟾蜍、银河、星斗。

唐墓壁画是研究唐代典章制度、社会习俗、美学艺术极其珍贵的形象资料，具有很高的历史价值。如壁画中的《阙楼图》，为大明宫含元殿前建筑的复原和乾陵神道前阙楼复原，提供了直接依据，推动了相关学科和问题的研究。

1.4 中国代表性壁画

1.4.1 山西寺观壁画

汉代末年，随着佛教的传入，佛教寺院在我国逐渐兴起。魏晋以后，或依山凿窟，或架木建寺，佛教寺塔，遍及各地。隋代末年，海内寺宇已有三千七百九十二所。唐会昌五年（公元 854 年）禁佛，毁佛寺达四千六百所，毁招提、兰若四万所。虽然佛事时有兴废，而到元代，全国寺院仍然达到四万二千三百多所，“凡天下人迹所到，精蓝胜观，栋宇相望”。但是，近代由于战事连年再加上自然损害，木构寺宇多荡然无存，只是在边远地区或少数名胜地残留有早期寺院。唯独山西一地，山岳绵互，道路险阻，历年屡免战火，加上自然条件干燥少雨，木构建筑留存较久。这些因素使山西成为全国遗存古代寺院最多、保存寺观壁画最多且最完好的地区，如图 1-1 所示。

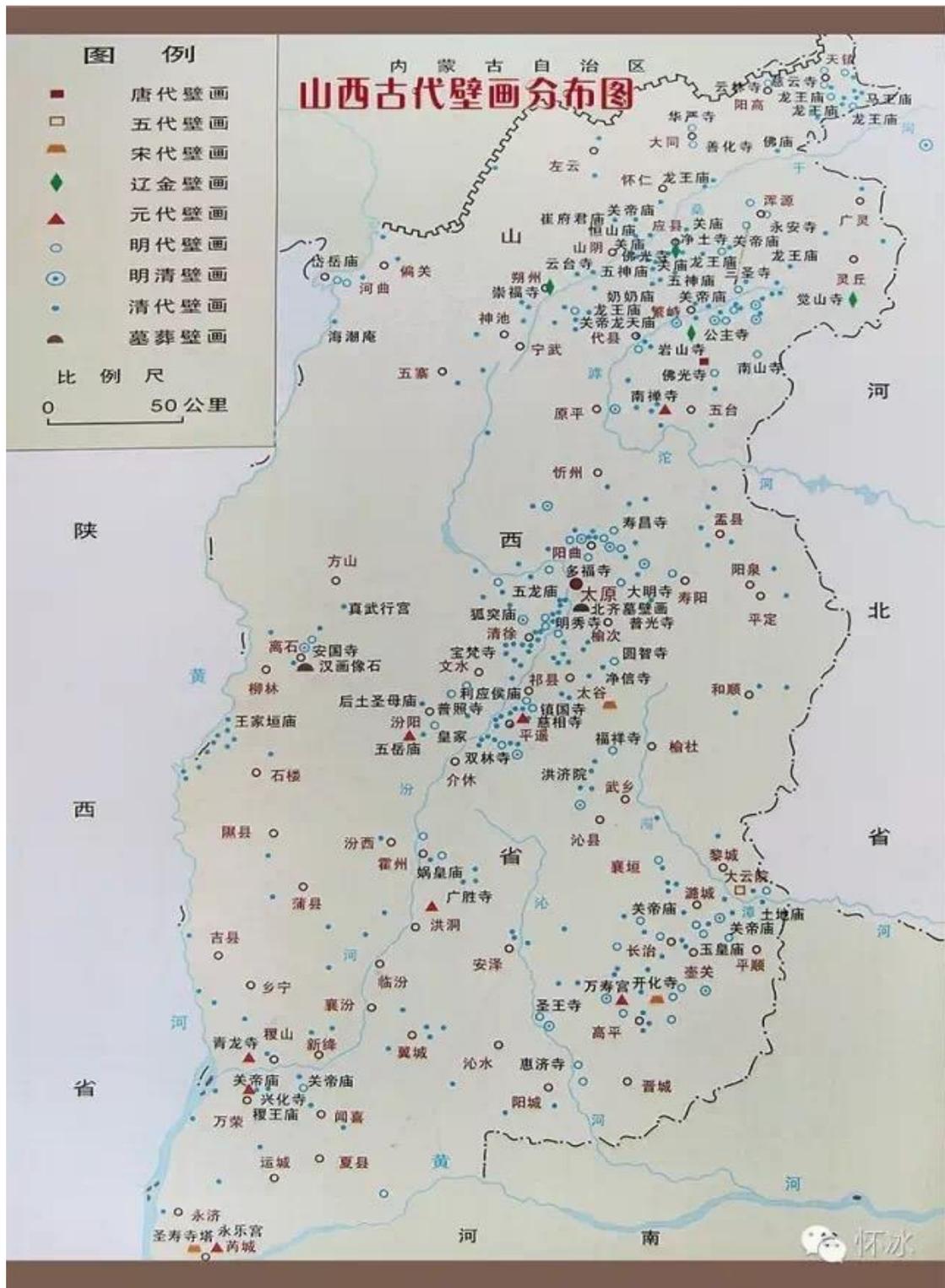


图 1-1 山西古代壁画分布图

山西古代壁画从南到北绵延千里，目前发现并仍然保存较好的古代壁画总面积多达 2.5 万余平方米。从汉代开始，经南北朝唐宋元明清，其风格既有传承亦有变化，不仅体现了不同历史时期的绘画特征，而且对于美术以及社会、宗教诸

方面的研究都具有无可估量的价值。不同民族、不同文化、不同风格，山西壁画以其完整多样、典型独特、制作宏伟、自主创新且自成一体，高度反映了中国古代壁画的发展进程。通过壁画便可以逐一窥探挖掘两千年以来社会、宗教、建筑、美术、民俗、体育、服装等等，内容丰富翔实，形同百科宝典。

山西壁画大多为寺观壁画，很多都是官方或是宫廷投资，宫廷画家参与的。其投资、地仗制作工艺以及绘画的精致程度，是其他大多数地区壁画所不能比拟的。

1.4.2 敦煌石窟壁画

敦煌石窟始建于十六国的前秦时期，历经十六国、北朝、隋、唐、五代、西夏、元等历代的兴建。敦煌壁画包括敦煌莫高窟、西千佛洞、安西榆林窟共有石窟 552 个，保存历代壁画 45000 多平方米，是我国乃至世界壁画最多的石窟群，内容非常丰富，已经成为“敦煌学”中重要的分支研究。敦煌学被称为国际显学，因为敦煌文化不仅是中华优秀传统文化的代表，更是中古时期人类文明的结晶，也是伟大的宗教文化最形象的集中表达，又是历史时期中亚西域民族和语言五彩世界的印证，敦煌藏经洞保存有很好的婆罗蜜文、粟特文、梵文、于阗文、藏文等语言文字的文献，敦煌的文献和文物其文化属性不仅是汉文化的精华，也是世界文明汇聚的结果。

敦煌之所以能留下如此丰厚的文化宝藏，与其所处的河西走廊特殊的地理位置有密切的关系：这里曾是中华民族向外发展的必经之地，更是历史上不同文明汇聚的地区，这决定了包括敦煌在内的河西走廊地带一定是人类文明融会贯通的重要地带。特有的地理位置造就了敦煌的文化担当。古人很早就认识到了敦煌及河西走廊在战略上的重要性。《晋书》中说河西走廊是“西北邪出，在南山之间”。敦煌则是“华戎所交一都会”，司马光在《资治通鉴》里指出河西是“中国之心腹”。隋代认为敦煌是丝路“咽喉所在”，汉唐时期通过河西走廊在中亚西域地区建立了非常有效的统治，商队、僧侣、使团得以通过河西走廊往返于中土和中亚西域和更加遥远的地区。

敦煌壁画记载着的真实的丝路行迹，是古人留给我们的历史密码。古代的丝

绸之路，漫延几万里，那么在如此漫长的道路上，又是如何保护商队的安全的呢？在莫高窟壁画中描绘的就是商队和强盗的斗争，说明商队是有武装保护的。唐初突厥人作为北方草原霸主的时候，他们是保护粟特国际商队行进的重要力量。

敦煌是认识和研究中国古代传统社会文化的宝库。其独特的“两关文化”与人文关怀，充满着古人的文化自信、文化坚守和深厚的家国情怀。

1.4.3 陕西墓葬壁画

中国在秦汉出现了墓葬壁画。1987—1988年发掘的永城芒山柿园汉墓，位于芒山保安山东麓下，该墓是西汉初期的梁国墓。主室顶部壁画保存较好，用红、白、黑、绿四种颜料绘画而成，壁画面积16.8平方米。这是我国目前发现最早的墓葬壁画之一。汉代墓葬壁画自西汉前期形成以后，不断演变，形成了一种丧葬文化现象，表达了深邃而复杂的信仰和丧葬观念，丰富和发展了我国古代绘画的造型技巧和艺术表现形式，在早期绘画史和思想史上占有非常重要的地位，具有极高的历史价值、艺术价值和科学价值。

陕西关中是唐代的京畿地区，在近三百年的历史中，有18位皇帝和大量的达官贵族埋葬在此。由于唐墓壁画是绘制在泥灰质地的墙壁上，能够保存至今的为数极少。中华人民共和国成立至今，陕西地区已发掘了2000余座唐墓，存有壁画的墓葬超过100座。唐代前期，经济繁荣、社会稳定，壁画创作空前兴盛，成为唐代造型艺术中一株绚丽的奇葩。目前，已发掘自武德四年(公元621年)的贺若氏墓至文德元年(公元888年)唐僖宗李儇靖墓，有明确纪年的唐代壁画墓，如郑仁泰、李爽、李凤、阿史那忠、苏君、韦洞、苏思勳、高元珪等墓葬壁画，反映了唐代各个时期的社会生活风貌。淮安王李寿、章怀太子李贤、懿德太子李重润、永泰公主李仙蕙诸墓壁画，更是再现了唐代壁画艺术的盛况。

唐墓壁画以现实生活内容为主，表现墓主人生前的社会环境、日常生活等，展示和提供了唐代上层社会的政治、文化、贵族生活以及建筑、科技等内容。唐代墓葬壁画色彩鲜艳，内容丰富，真实生动，墓主人身份明确，补充了文字史料，其弥足珍贵自不待言。

唐墓壁画其构造与绘制方法是建筑技术的重要组成部分，唐代贵族墓葬及其壁画本身就是唐代大型建筑的实物资料。唐墓壁画中阙楼图、影作木构等直观反映了唐代建筑的形式。壁画中的星宿天象图是研究古代天文史的珍贵资料，同时也是研究唐代天文与人们政治、生活等关系的重要资料。壁画中的农耕图、服饰、花卉、器具等对于研究唐代农具、服装工艺及色彩、花卉种植、日常用具的工艺等都有极高的研究价值。

唐墓壁画是唐代颜料标本的宝库，它保存着唐代近 300 年间的大量颜料实物遗存，充分反映了我国古代矿物应用、颜料化学及其冶炼技术的高度发展。唐墓壁画是古代颜料科技发展史的重要研究对象，也是研究古代绘画工具和材料的珍贵资料。唐墓壁画所用的颜料有 10 多种，其中绝大多数是天然矿物，少部分是天然植物染料和人工合成颜料。

1.4.4 西藏佛教壁画

西藏几乎每座寺院均绘制有精美的壁画，这些壁画不仅反映了佛教在西藏的发展，也是一部西藏发展的历史长卷。画师在创作壁画时严格地按照宗教仪轨，绘制壁画的同时也将自己的虔诚信仰附加上去，使壁画完全融入佛教艺术的汪洋之中。在数量众多、主题单一的表象下，永远只体现一个主题，即佛及理想佛国的世界格局。

在西藏历史上，佛教传入之前还有过原始的苯教信仰，他们对自然物以及鬼神的崇拜都催生了相应的艺术表达形式。藏区现已发现大量原始岩画，这些古老宗教信仰及原始绘画形式对藏传佛教及其艺术表现形式产生了重大影响。

藏传佛教发展历史来区分可分为前弘期（公元 629—841 年）和后弘期（公元 978— ）两个阶段。佛教正式传入西藏地区是在公元 7 世纪吐蕃王松赞干布时期，在其遗训秘籍《柱间史》中发现了观音菩萨、白度母以及《苏吉尼玛》等壁画，这些壁画被认为是西藏最早的壁画。到了 8 世纪中叶，赤松德赞大力扶持佛教，除从印度迎请莲花生、寂护等大师外，还从唐朝请来大批高僧，翻译佛教经典，传布教义，灭苯兴佛，建立了第一座具有佛、法、僧三宝的桑耶寺，首创

藏人出家为僧的先例，建立僧伽制度，广译经论，讲学修行，建立专修道场，佛教在藏区得以快速发展，形成西藏佛教“前弘期”的盛况。直至公元 9 世纪中叶，受唐朝会昌元年（公元 841 年）大肆灭佛的影响，吐蕃赞普朗达玛也兴苯教灭佛教，给早期兴建的寺庙和壁画珍品带来了灾难，这也成了“前弘期”结束的标志。公元 10 世纪后期，即宋代太平兴国三年（公元 978 年）时，被中断百年之久的佛教又分别由青海和西藏阿里地区传入，这也是藏族“后弘期”开始的标志。再兴的佛教因修行方式、传承体系不同而形成了不同的教派——如宁玛派、萨迦派等。13 世纪后期，在元朝扶植下，萨迦派的上层喇嘛开始掌握西藏地方政权，但各教派争权夺势的斗争仍很激烈。15 世纪初，宗喀巴进行宗教“改革”，创立格鲁派（黄教）。17 世纪中叶，格鲁派又在清政府的扶植下掌握了西藏的政教大权。

西藏作为佛教及其艺术传入我国的重要枢纽，糅合多重艺术风格形成了独具魅力的藏传佛教艺术，而寺院壁画是最普遍的一种表现形式。藏传佛教壁画是服务于藏传佛教且依赖于宗教的艺术，它的发展伴随着佛教的兴衰，也分为“前弘期”和“后弘期”两个历史阶段，尤其在“后弘期”既有对“前弘期”的继承，又在形式和内容上发生了很大的变化。此阶段，随着佛教势力的兴盛，寺院壁画艺术也得到了飞速发展，成就了大量杰出的壁画艺术家。佛教本身所具有的丰富文化属性，融合藏地特有的各类艺术元素，使得藏传佛教壁画兼收了浓郁的宗教气息和民族情趣于其中，在我国壁画艺术中独树一帜。

从壁画的社会功能看，壁画在执行宗教的职能进程中，不可避免地社会化，画师们为迎合信徒的心理，不断地丰富壁画的世俗化内容，执意地追求美学效果，这也影响到纯粹宗教内容的壁画。藏传佛教壁画在其发展中不断地世俗化，并吸收多方面的营养，从而形成了将民族传统和外部影响相融合、具有鲜明藏民族特点的艺术流派。

1.5 壁画组成及其基本功能

壁画构成有三个基本要素：以人工构建的建筑物为支撑、以彩色颜料为载体、以绘制技术为手段。因此，任何形式的古代壁画，其结构都是由基础支撑体、地

仗层、颜料层三部分组成，如图 1-2 所示。壁画类型不同，制作工艺就不同，所使用的材料和结构也不同。同时，结构体中任何一部分发生变化，最终都会影响到壁画整体的保存。

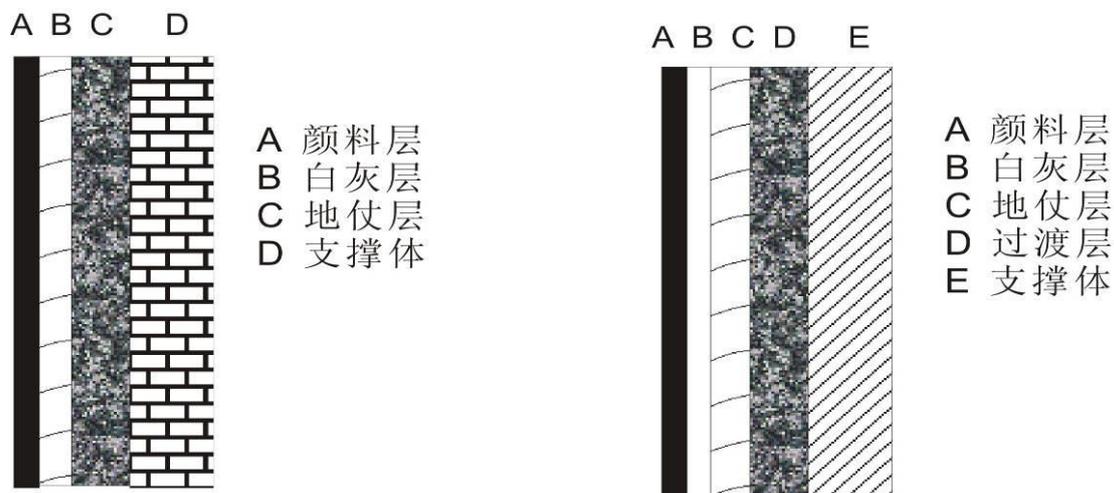


图 1-2 原址保存与馆藏壁画的结构示意图

1.5.1 壁画支撑体

壁画所依附的建筑物墙体即为支撑体。建筑物类型不同，壁画支撑体不同。此外，不同区域，或不同民族风格的建筑物，其壁画支撑体也不同。

1.5.2 壁画地仗层

壁画的地仗层下与支撑体粘接、表面又是颜料层的载体，地仗层性质的优劣，直接关系到壁画能否长期保存，许多壁画的损坏都是由于地仗层损坏而引起的，因此对壁画地仗层的研究是壁画保护中的重点。

寺观壁画地仗层制作在宋代已趋成熟，《营造法式》卷十三泥作制度画壁条有明确规定：“造画壁之制，先以粗泥搭络毕，候稍干，再用泥横被竹篾一重，以泥盖平，又候稍干，钉麻华以泥分披令均，又用泥盖平（以上用粗泥五重，厚一分五厘，若拱眼壁只用粗细泥各一重，上施砂泥，收压三遍）。方用中泥、细衬泥、上施砂泥。候水脉定，收压十遍，令泥光泽。”“凡和砂泥，每白砂二斤用胶土一斤，麻捣洗择净者七两。”

1.5.3 壁画颜料层

壁画颜料层是壁画结构中的最外层，也是壁画的精华部分，是体现古代壁画丰富内容的基本要素，因而颜料层是壁画的精华部分。壁画保护的最终目的就是

为了保存这层珍贵的颜料层。同时，历代应用大量鲜艳的颜料反映了我国古代对矿物、植物的综合应用水平，颜料使壁画艺术更加绚丽多彩，各种颜料形成的色彩、线条、图形展现出极为丰富的内容。此外，通过对颜料的研究不仅可揭示古代中西文化、贸易、科技交流方面的许多信息，还可通过对颜料的分析获取有关颜料的化学、物理性能，了解颜料产生病害的原因，为壁画保护提供可靠的依据。因此，壁画的历史、艺术、科学技术价值在很大程度上由颜料层的保存状况所决定。

2 壁画保护概要

2.1 壁画保护基本情况

2.1.1 中国壁画保护的发展历程及现状

自 20 世纪 50 年代起,我国在壁画保护领域作了大量的研究与修复工作,如原中国文物研究所(现更名为中国文化遗产研究院)对山西永乐宫壁画的整体揭取、迁移、复原,以及壁画修复材料和工艺的研究;陕西碑林博物馆和陕西历史博物馆对唐墓壁画的揭取、迁移、复原;四川考古研究所对整幅大面积壁画的揭取、迁移、复原;甘肃省博物馆在潮湿环境下的壁画保护研究;敦煌研究院围绕石窟壁画保护所开展的系列研究工作等。回顾近 70 年来我国壁画保护的研究与修复工作,其中既有许多成功经验,也有一些失败教训。总结这些经验和教训,明确今后的研究重点,对于壁画保护工作具有重要的现实意义和深远的历史意义。

(1) 壁画保存环境研究

壁画保存气象环境监测与分析研究是壁画保护中最基础、同时也是最重要的工作,它关系到上述石窟崖体加固工程所采取的工艺及材料、壁画修复材料及工艺筛选研究等许多方面。但遗憾的是,目前仅敦煌莫高窟等少数单位对此问题予以了应有的重视。同时,选择了壁画病害较为严重的洞窟进行微气象环境的监测研究,以便确切掌握窟区小环境对洞窟微环境的影响规律、环境因素对壁画的影响、壁画发生病害的环境原因、观众对洞窟微环境和壁画的影响等。

近年来,壁画受环境污染的损害渐趋明显,空气中大量的粉尘和酸性气体给壁画的保存带来很大的影响。尤其是石窟壁画,千余年来在自然界各种营力的作用下,石窟的风化现象十分严重,特别是近几十年来,由于石窟壁画保护区的自然环境发生了很大的变化,环境污染对石窟的威胁日益严重。

(2) 壁画病害机理研究

任何材料在环境因素作用下的老化变质是一种自然的客观规律。壁画由复合材料组成,同时壁画材料又长期处于一定的环境之中,壁画病害是材料与环境共同作用而发生老化变质所致。壁画保护研究就是针对这两个老化变质的原因进行

研究,以便找到科学合理的保护方法。因此,壁画病害机理研究应对壁画保存环境、壁画制作材料与工艺研究两个方面着手进行。壁画病害机理研究与壁画历史、艺术、科学技术价值的评估,以及壁画保存现状调查合称为壁画保护的前期研究。前期研究的目的是在对壁画价值进行充分认识的基础上,能够对壁画老化变质原因、速度、规律做出比较准确的判断,从而为科学有效保护修复壁画奠定坚实的理论基础。

我国在壁画病害机理研究方面,已完成比较系统、全面的研究有三项:古代壁画红色颜料变色机理研究、壁画酥碱病害机理研究、壁画起甲病害机理研究。

①壁画红色颜料变色机理研究

古代壁画中最常使用的红色颜料有铁红($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$,也称红土、土红)、朱砂(HgS)、铅丹(Pb_3O_4),研究表明铅丹是三种颜料中最易变色的。不仅如此,凡是含铅颜料在高湿度及光照环境条件下,都易发生变色。该项研究成功地找到了铅颜料变色的湿度条件,即 $\text{RH}>70\%$ 。

②壁画酥碱病害机理研究

它是壁画中最严重、对壁画危害最大、最难治理的一种壁画病害,俗称壁画“癌症”。研究表明壁画发生酥碱病害的原因是基础支撑体、地仗中的可溶性盐类遇水后溶解、移动,随着水分的蒸发,可溶性盐类在壁画结构体内重新结晶富集。当有新的水分时,这些盐类又重新溶解、水分蒸发后又重新富集,即这些可溶盐始终处于溶解—结晶—再溶解—最后结晶的变动之中,每次结晶时挤压周围黏土颗粒,同时结晶地点不同,造成壁画结构酥碱松动。

③壁画起甲病害机理研究

干壁画制作时常以一定浓度的动物胶作为黏合剂,在壁画的干燥过程中,胶液凝胶化过程受当时制作时的温度、湿度限制而达到一种平衡状态,颜料则填充于凝胶体的网络结构之中;当环境温度、湿度变化时,含有一定水分的网络状结构凝胶体平衡被打破,从外界环境中吸水膨胀或失水收缩,直至新的平衡状态;在此过程中,吸水膨胀或失水收缩速率常常不相等,当收缩力大于其凝胶体所能

承受的最大屈服点时，便开裂断裂为更小些的蛋白质分子，此时，凝胶体收缩内应力释放，达到一个新的平衡状态。当环境温度、湿度再次变化时，在动物胶未完全老化前，该平衡又被打破，向另一个更稳定状态发展，此过程的多次循环往复，最终导致了壁画起甲病害的发生。

(3) 壁画制作材料与工艺分析

目前，国内在壁画颜料分析方面的研究成果报道较多，这是由于考古研究和文物保护两方面的需要。在壁画考古研究方面，诸如不同时期壁画颜料及绘画技法的差异、壁画颜料的来源等问题，应用现代分析方法对颜料成分及结构进行研究，通过颜料中特征元素的分析，结合考古研究成果探索壁画的艺术渊源。对于壁画保护而言，许多壁画病害，诸如颜料变色、褪色、粉化、脱落等都与壁画颜料及胶结材料有直接关系。因此，壁画保护方案，例如揭取方案、选择修复材料及工艺时，首先要求对壁画颜料进行研究，以这些数据为基础，制定出科学、合理、经济、有效的壁画保护方案。

有关壁画颜料的研究历来受到文物保护界的重视。如 20 世纪 80 年代末期，敦煌研究院与化工部兰州涂料研究所合作，进行了“敦煌莫高窟壁画、彩塑用彩色颜料的剖析研究”课题研究，对莫高窟 11 个朝代的 44 个洞窟中的各色颜料采用 XRD 和 XRF 方法进行了全面系统的研究，为敦煌壁画、彩塑的保护奠定了基础。陕西历史博物馆对唐墓壁画颜料、河南博物院对西汉壁画颜料、秦兵马俑博物馆对彩绘俑颜料、西安文物保护中心对汉阳陵兵马俑彩绘颜料、甘肃省博物馆对酒泉魏晋墓壁画颜料的分析等等。所使用的现代仪器分析方法达十余种，目前在颜料分析方法上，比较一致的观点是采用 XRD 方法分析颜料的显色成分、矿相显微分析方法研究颜料的杂质成分、SEM 方法分析颜料的微观形态特征及其元素成分。

相对于壁画颜料分析研究而言，有关壁画颜料中胶结材料的分析则很少。

(4) 壁画保护修复材料研究

我国自 1957 年捷克壁画保护专家约瑟夫·格拉尔使用医用注射器注射黏合剂

方法对莫高窟第 474 窟起甲壁画的保护修复获得成功，1962 年在莫高窟应用聚乙烯醇和聚醋酸乙烯酯的水溶液进行试验，部分洞窟还采用了聚乙烯醇缩丁醛的乙醇溶液，并于 1979 年研究了聚乙烯醇和聚醋酸乙烯酯乳液的性能及在壁画保护中的应用。研究认为，聚乙烯醇和聚醋酸乙烯酯乳液具有很强的抗光老化性能，在洞窟较微弱的光照下，它们是非常耐老化的壁画修复黏合剂。苏伯民等人对聚醋酸乙烯酯乳液、聚丙烯酸酯乳液和 Paraloid B72 作加固材料对壁画颜料颜色的影响进行了研究，认为从壁画色度改变角度考虑，聚醋酸乙烯酯乳液和聚丙烯酸酯乳液作为敦煌壁画的加固材料较为理想，Paraloid B72 对壁画颜料色度改变较大，不宜使用。汪万福等人通过测定聚醋酸乙烯酯乳液、聚乙烯醇、Paraloid B72、AC-3444 等几种材料的原液固含量、pH 值、黏度、表面张力、冻融、高温稳定性、灰分、稀释稳定性、水可溶性、比重、密度等数据，认为聚醋酸乙烯酯乳液和聚乙烯醇在较寒冷的环境中不宜使用，而 ROY-6260 和 AC-33 具有较好的抗冻融性。聚醋酸乙烯酯乳液在水中浸泡 24 小时后，80% 以上溶解，因此在潮湿环境下不宜使用。范宇权等人对有机硅氧烷、水溶性环氧树脂、AC-33、AC-3444、聚醋酸乙烯酯乳液、Paraloid B72、硅酸锂对壁画颜料颜色影响进行了研究，认为聚醋酸乙烯酯乳液和丙烯酸乳液是目前较有效的壁画加固材料。2003 年，柳太吉等对麦积山石窟瑞应寺大殿内前室及帐内左、右山墙上壁画进行了保护，对颜料层泡状起甲部位以 3% 聚醋酸乙烯酯乳液与 2.5% 聚乙烯醇按 3:1 配制后进行了渗透回贴加固。表面用 2.5% 聚醋酸乙烯酯乳液涂刷封护。常亚平总结了山西寺观壁画龟裂起甲病害的修复方法，首先对龟裂起甲部位清尘，用气囊和自制小型吹尘器除去尘土；然后注射黏合剂粘接加固，黏合剂为 100（水）:2（明胶）:3（矾）（质量比）的胶矾水，脱脂棉压实，再贴压平实。敦煌研究院在西藏布达拉宫、罗布林卡及萨迦寺壁画修复中，针对西藏气候及壁画表面涂有清漆层的特点，采用了聚醋酸乙烯酯乳液、聚丙烯酸酯乳液和 AC-33 乳液进行加固，并在西藏地区推广应用。

综上所述，国内壁画常用的颜料层加固修复材料可分为两大类，一为传统的

动植物胶；二为合成高分子材料，主要有聚醋酸乙烯酯乳液、聚丙烯酸酯乳液和 Paraloid B72等。我国壁画因类型较多，分布地域广泛，各地壁画所处环境条件不同。在20世纪50年代，因适应墓室壁画揭取的需要采取临时加固措施，壁画颜料层保护材料以传统材料胶矾水为主。同时使用一些合成高分子材料，如聚醋酸乙烯酯乳液、聚乙烯醇、聚丙烯酸酯乳液等材料。在壁画保护领域，研究筛选新的、性能良好的壁画保护修复材料，如清洗剂、表面封护剂、加固剂、防霉剂等，是工作重点和难点之一。

（5）壁画的生物侵蚀研究

①微生物对壁画的危害。古代在制作壁画过程中，往往在地仗泥中添加草、麻、棉等纤维质材料以增加强度，同时在绘画过程中往往添加动、植物胶等蛋白质材料，自然界中几乎无处不在的微生物着生壁画上面后，很容易滋生蔓延。壁画表面的病害微生物以真菌为主，但为数不多的细菌在壁画材料劣化过程中也发挥着很大的作用。壁画中的有机质材料给异养微生物的生长繁殖提供了碳源，对壁画酥碱粉化、变色与褪色等病害也可能造成直接或间接的影响。

壁画千百年来不断风化，其影响因素除了化学和物理作用之外，还包括微生物的作用。例如，对位于黄河岸边的炳灵寺石窟进行地质调查时，经对石窟造像的红砂岩作分析，发现其胶结泥质中含有铁的氧化物，红砂岩实质上是硫酸盐还原细菌和铁细菌生长、繁殖的介质。这些菌类的还原作用会破坏砂岩的胶结剂，加速红砂岩的风化。

②昆虫对壁画的危害。我国古建筑壁画产生危害的主要是等翅目昆虫，即“白蚁”。白蚁的种类很多，全世界约有2000种以上，我国不少于150种。其中，能够危害古建筑物的白蚁主要是鼻白蚁的家白蚁、黄肢散白蚁、黑胸散白蚁等，它们很可能给古建筑物造成毁灭性的伤害。

此外，昆虫对壁画的危害还表现在以下两个方面：①昆虫落在壁画表面后，其触角和肢脚划伤画面、引起颜料颗粒脱落而造成壁画物理褪色。②昆虫将粪便等排泄到画面，污染画面的同时引起壁画颜料层局部胶含量过高，使壁画产生起

甲病害。

③植物对壁画的危害。不同植物具有差异很大的生活史和生长类型，其中一些植物根系可沿岩体或墙体裂隙生长，通过根劈作用使裂隙加宽，导致岩体或墙体稳定性显著下降乃至丧失，也有可能导致洞窟或古建筑内部渗水病害的加剧。另外，植物分泌的一些有机酸也会对石窟壁画和墓葬壁画造成负面影响，使壁画的劣化程度加深。

(6) 壁画的揭取、迁移、复原研究

壁画的揭取、迁移、复原是一项工艺技术比较复杂的不可逆操作过程，随后的加固修复更是一项原则性强、技术要求高，需要及时、细致、耐心进行的精细操作过程。由于壁画及其所依附的建筑物是作为古代艺术品的一个整体来看待的，因此一般情况下应尽量避免使用这种方法保护壁画，但确定采取其他任何方法都不能够使壁画在原地得到有效保护时，迫不得已而采取的一种保护的方法。如墓葬经发掘后，墓葬本身已无法或进行保护时代价太高，此时可采取揭取、迁移的方法保存墓葬壁画；再如古建筑因基本建设的需要而迁建或需要落架大修时，必须首先将壁画进行揭取、迁移，待整个建筑物修复后，再将壁画进行复原。还有石窟重层壁画，为使下面的壁画“重见天日”，进行揭取、迁移。

揭取、迁移、复原壁画的工艺一般可分为①揭取壁画。包括清除画面灰尘、污物；加固颜料层；分割画面；刷胶并贴布；揭取等步骤。②背面加固。包括清除杂物；加固背面颜料层或地仗层；复制背面地仗层（如果必要）；贴两层玻璃纤维布；安装木龙骨、角铁架、轻质铝合金框架或蜂窝铝板。③复原。包括软化表面贴布；揭取壁画表面贴布；清除壁画颜料层表面余胶；修复颜料层。

因壁画由支撑体、地仗层、颜料层三部分组成，揭取壁画时也有三种方法可供选择。即仅揭取壁画颜料层；壁画颜料层与地仗层一起揭取；颜料层、地仗层、部分支撑体一同揭取。

揭取壁画颜料层的方法适合于以下情况的壁画保护：①地仗层非常脆弱；②地仗层与颜料层黏合状况很差，不允许颜料层和地仗层一起揭取；③地仗层太薄

或根本没有地仗层；④壁画表面不是一个平面或表面凹凸不平；⑤希望揭取下的壁画重量较轻，易于迁移。该方法的优点是：适用范围广，原则上任何结构的壁画都能应用该方法揭取；揭取壁画的面积较大，可以充分考虑画面内容来确定分割方式；对不是平面的壁画尤其适用，对于无地仗层或地仗层很薄的壁画揭取保护只能采取这种方法。缺点是操作复杂；所需胶材料种类多；在表面贴布时需频繁用胶，势必增加了颜料层中现代胶的含量，为今后保护壁画埋下隐患。

壁画颜料层和地仗层一起揭取的方法适合于颜料层与地仗层黏合比较紧密，而地仗层与支撑体黏合较差的情况，是壁画揭取保护中最常用的方法。早期的揭取方法是將壁画分割成便于移动的小块，并表面贴布后拆除背面墙体或沿着地仗与墙体的结合处撬开，妥善固定剥离下来的壁画块，迁移到预定地点进行背面加固、修整，最后回贴到准备好的墙面上，并作接缝处的修补。随着壁画揭取技术的不断改进，壁画分割面积越来越大，甚至达到整幅壁画不分割，也有多幅壁画不分割而整体揭取的成功实例。同时，由于表面贴布不仅增加了工序、材料，而且在壁画复原时揭取画面贴布时对壁画颜料层影响较大，在壁画地仗层保存状况比较好、地仗层有较好的韧性（石窟壁画和多数建筑壁画中以麦草、棉麻为补强材料的泥质地仗）情况下，现在不使用表面贴布的方法揭取壁画。

揭取壁画颜料层、地仗层以及部分支撑体的方法适合于地仗层非常坚固，且与支撑体黏合非常紧密的情况。这种方法可以较多地保存壁画的历史文化信息，但因其操作工艺复杂、工程量大、工程预算大，现在一般很少使用。国内采取该方法揭取保护壁画的知名案例仅有两例，即山西永乐宫壁画的揭取和山东省济南市一座壁画墓的整体吊运。

（7）馆藏壁画保护修复研究

20世纪60年代，我国用生漆贴布作为馆藏壁画的过渡层。70年代开始采用环氧树脂和方管状铝合金型材框架作为支撑体。环氧树脂层厚度大约1mm，并与铝合金框架组成支撑体。1981年，对山东嘉祥山隋墓揭取壁画，采用桃胶加固灰泥层，在石膏中嵌入铁丝网作为壁画支撑体。1982年，对永乐宫揭取壁画复原性修

复，壁画经修整、加固后复原到建筑物的原位。1983年，对辽宁北票莲花山辽墓揭取的壁画，以加有三甲树脂的石膏作为支撑体。1990年，对北周李贤墓揭取壁画的修复，采用E44环氧树脂、3051聚酰胺树脂和玻璃纤维布制成1.5-2.0cm厚度支撑层。同一时期少林寺千佛殿壁画和芒砀山西汉柿园墓壁画的修复，也采用石棉纤维增强的环氧树脂+木龙骨框架作为支撑体。1993年，对青海省瞿坛寺揭取壁画的修复，采用环氧树脂粘接空心方钢管框架作为支撑体，并将壁画复原到建筑物的原位。1996年，唐墓壁画修复开始采用环氧树脂粘接铝合金型材框架作为支撑体。薛俊彦对嘉峪关魏晋壁画墓五号墓的壁画采用搬迁与半地下复原的方式保护。2003年对由玻璃纤维布增强环氧树脂+木龙骨框架支撑体的弯曲变形以及对揭取壁画的损坏机理进行了研究。

（8）壁画水害治理研究

水可以直接或间接引发任何材料的文物发生病变，文物保护中的防水、治水一直是文物保护的重点及难点。为防止水对壁画材料的劣化作用，总体思路是：对于馆藏壁画，应以壁画材料对湿度的反应机理为依据，采取控制湿度在某一限定范围内变化，最好是恒温恒湿保护。对于室外文物，则应以文物材料和文物所处环境特征为依据，在查明水分来源的基础上，因地制宜，制定出切实可行，能有效阻止水分劣化文物材料的治水方案，一般采取“堵”“盖”“导”“排”结合的综合治理方案。也正因为如此，才使得各地区壁画保护中治水、防水措施各具特色。如敦煌莫高窟窟前有许多绿化树木，每年4—10月需要频繁浇灌，浇灌量很大，距离洞窟又近。研究表明，莫高窟底层洞窟壁画酥碱病变正是这些浇灌窟前树木的地表水渗入洞窟围岩所造成。为了预防治理酥碱病害，但又不能砍伐这些窟前树木，现主要采取以滴灌代替大水浇灌、分阶段更新树木种类，以达到治水的目的。

2.1.2 壁画保护修复取得的主要成果

相对于其他材质的文物保护而言，壁画保护是较早开展研究的领域，但因壁画材料的多样性以及保存环境的复杂性，壁画保护也始终是我国文物保护领域中

的重点与难点。早在20世纪50年代，祁英涛先生对山西永乐宫壁画的揭取、搬迁、复原，以及对已揭取唐墓壁画的保护修复技术研究，20世纪60年代使用聚醋酸乙烯乳液和聚乙烯醇对敦煌莫高窟起甲壁画的加固技术研究，在莫高窟、榆林窟壁画保护修复中沿用至20世纪80年代，抢救了大批珍贵壁画。20世纪80年代末期，徐毓明先生使用聚乙烯醇缩丁醛对北周李贤墓壁画的揭取和修复技术研究等等。特别是“十一五”至“十二五”期间，中央财政用于文物保护的经费投入显著增长，抢救了大量珍贵壁画和彩画。以西藏三大重点文物保护维修工程——布达拉宫、罗布林卡、萨迦寺维修工程为例，是西藏古建筑、壁画保护维修史上投资最多、规模最大的文物保护修复工程。再如，新疆龟兹石窟壁画的保护修复、山西寺观壁画及其彩绘泥塑的壁画修复、高句丽墓葬壁画原址壁画工程、陕西馆藏壁画的保护修复等等。

科研方面也取得了丰硕成果，其中“应用高模数硅酸钾材料加固风化沙砾岩崖体”获得国家科学技术进步二等奖，“风化沙砾岩裂隙灌浆加固技术”“布达拉宫空鼓壁画加固技术”“敦煌壁画起甲壁画修复技术”“莫高窟220窟甬道壁画揭取技术”“云冈、龙门石窟崖体裂隙灌浆加固技术”“潮湿环境墓葬壁画加固技术”“西汉四神云气图壁画的保护修复”“莫高窟58窟壁画的保护修复”“墓葬壁画保护修复规范化研究”“敦煌莫高窟窟顶治沙研究”“高句丽墓葬壁画微生物病害的监测与控制”等获得文化部或国家文物局科学技术进步二等奖。为了建立文物保护科技创新体系，国家文物局于2003年启动行业重点科研基地建设，在已批准的20个基地中，设立了古代壁画保护、馆藏壁画保护2家壁画保护修复的科研基地。

自20世纪50年代开始直至现在，壁画保护修复始终是我国文物保护的工作重点，在人员、经费上持续不断投入，取得了一系列令人瞩目成果，初步形成了系统、综合的壁画保护修复技术体系，在科学研究、抢救性保护、援藏、援疆、人才培养等方面都取得了长足发展与进步。

（1）科学研究工作取得长足发展

“以科研成果支撑工程项目、以工程项目实践促进科学研究，力争实现文物

保护工程项目与课题研究的平衡发展”是我国壁画保护修复领域一贯坚守的原则，依托西藏哲蚌寺壁画抢救性修复、敦煌石窟壁画保护、高句丽墓葬壁画原址保护工程等国家重点、重大项目，积极开展科研工作，使得在壁画保护修复技术等方面的研究取得长足发展，部分研究成果居于世界领先水平。

自1962年胡继高先生在敦煌莫高窟应用聚醋酸乙烯乳液和聚乙烯醇溶液对起甲壁画修复成功以来，敦煌研究院围绕石窟壁画的保护开展许多研究，在应用高模数硅酸钾材料加固风化沙砾岩、壁画起甲壁画修复技术、石窟壁画揭取技术、沙砾岩裂隙灌浆加固技术等方面取得一系列成果。近年，围绕敦煌、龟兹石窟壁画的保护修复开展了系列研究工作。

以龟兹石窟壁画的保护为例，龟兹地区的佛教遗迹，在伊斯兰教取代佛教的过程中遭到历史性的破坏。20世纪初叶，一些外国探险家不择手段的切割盗取，壁画损毁状况十分严重。加之风沙、强阳光辐射、温湿度剧烈变化等环境因素的长期影响，使壁画出现支撑体风化、地仗层酥碱、壁画空鼓和大面积脱落、颜料层起甲、粉化等诸多病害，严重威胁着现存壁画的长期保存与展示。其中尤以支撑体风化、壁画空鼓、地仗层酥碱、颜料层起甲及粉化脱落病害最为严重。为此，针对壁画起甲好酥碱病害的修复，以病害机理研究为突破口，筛选适用于龟兹石窟壁画保存环境特征的材料，以及相适应的工艺。

（2）对大批珍贵文物实施抢救性保护

按照现代文物保护理念，从事任何一项文物保护修复工作，绝不将其仅仅看作是简单的技术工作，而是对保护对象的一次再认识过程。以西藏大昭寺和哲蚌寺壁画保护项目为例，首先对文献资料进行了全面梳理总结，以信息技术为手段，应用激光三维扫描、高清晰度摄影、红外光谱摄影记录、研究壁画表面颜料信息，结合壁画样品的实验室分析（包括X射线荧光、X射线衍射、扫描电子显微镜、剖面显微分析），对壁画价值进行重新认定和评估；以保存环境监测与地质环境调查、壁画制作材料与工艺研究成果为基础，进行壁画病害原因研究，并针对性地修复材料实验室筛选及现场适用性试验。在所有这些工作的基础上，依据《中

《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细则》《纪念建筑、古建筑、石窟寺等修缮工程管理办法》《国际古迹保护与修复宪章》（威尼斯宪章）、《中国文物古迹保护准则》等政策法规文件进行方案设计。

自成功山西永乐宫壁画保护实施以来，我国完成了许多寺观壁画的保护修复工作。其中较为典型的是四川成都武侯祠壁画保护修复项目。该项目不仅按照上述工作思路进行方案设计，而且通过保存环境监测数据分析，发现武侯祠博物馆内水系分布较多，地下渗水严重，展柜内湿度较大且变化幅度大，致使壁画下部有酥碱现象；空气中浮尘较多，塑像积灰严重；照明灯光有发热现象，塑像面部变色较多；接待高峰期游客容易扎堆长时间停留，改变局域小环境等，根据以上调查结果，对武侯祠壁画和彩绘泥塑的预防性保护提出了对策与建议。

在石窟及其壁画保护修复方面，20世纪60年代，原中国文物研究所（现中国文化遗产研究院）组织不同专业的技术人员对云冈石窟的保护进行全面研究，在石窟崖体裂隙灌浆加固技术、风化砂岩加固材料筛选、保护性窟檐设计等方面进行了卓有成效的研究。近年，以科研成果为依托，保护修复云冈石窟五华洞壁画、新疆龟兹石窟壁画，河北、山西等地大量寺观壁画。

中国文化遗产研究院虽然是开展馆藏壁画保护修复研究最早的单位，但近年保存馆藏壁画较多的单位，例如陕西历史博物馆、陕西考古研究院、河南古代艺术博物馆逐渐形成了自己的技术优势，但这些技术仅适用于某些特定地区出土、揭取的馆藏壁画。进入21世纪，随着“濒危馆藏壁画抢救性保护工程——馆藏壁画保护综合研究”课题的顺利完成，形成了普适性的研究成果，并以这些研究成果为支撑，积极开展新疆、内蒙古等地区的馆藏壁画保护修复工作，例如新疆库木吐喇石窟已揭取壁画的保护修复以及内蒙古赤峰地区馆藏壁画的保护修复。

（3）援藏、援疆工作成绩斐然

援藏方面，随着西藏文物保护三大工程的实施，以敦煌研究院和中国文化遗产研究院为代表的文物保护机构对西藏多处寺院的壁画进行了抢救性保护修复方案设计，一些重大、重点寺院的壁画保护修复工程逐步实施。援疆工作方面，

在石窟及其壁画保护修复中成效显著。

仅中国文化遗产研究院共计修复完成布达拉宫西印经院壁画400余平方米、大昭寺壁画4000余平方米、哲蚌寺壁画近1000平方米。尤其是哲蚌寺措钦大殿内转经道壁画的修复，依据古建筑维修设计方案，将古建筑墙体重砌的壁画进行揭取与原位回贴。因壁画地仗层极厚、极脆，墙体变形导致壁画开裂、错位、破碎严重，且存在大量不规则裂隙，同时受操作空间极为狭窄等多种因素的综合影响，使得该项工作的难度极高。最终，在自治区以及拉萨市文物局的大力支持下，在哲蚌寺管委会的大力支持与配合下，在全体工程技术人员共同努力下，将这些壁画全部安全地揭取下来，并最终实现了原位复原回贴，取得了圆满成功，得到了哲蚌寺广大僧侣赞赏，获得了良好的社会效益。

为响应党中央援助新疆的号召，为提高新疆地区古代壁画保护修复水平，中国文化遗产研究院与敦煌研究院分别在新疆设立“古代壁画保护工程技术研究中心”，负责新疆地区的壁画保护修复及其研究工作。

龟兹石窟中的克孜尔石窟、库木吐喇石窟、森木塞姆石窟，以及1999年新发现的阿艾石窟保存的壁画是整个石窟群中历史最早、价值最高的壁画。为了有效保护这些珍贵壁画，自2008年开始，对这些石窟的壁画进行了详细的现场勘查与研究，根据壁画病害实际情况分别编制了保护方案，并分批上报国家文物局。大部分方案已完成施工，为有效保护新疆壁画做出了应有贡献。

尤其是以新疆工作站的名义共同向国家文物局和自治区文物局申请研究课题和工程项目经费，共同承担了壁画保护修复工程项目，在项目实施过程中为新疆进行壁画保护修复人员培训，协助解决所需相关设备、材料。为新疆壁画的保护做出了应有贡献。

（4）壁画保护修复专业人才培养成效显著

在西藏大昭寺和哲蚌寺壁画保护修复工作开展过程中，西藏自治区各文物保护单位中选拔学员15名，举办“西藏壁画保护修复培训班”，学员经过一年时间系统的理论学习和壁画修复实践培训，能够独立承担西藏壁画的保护修复工作。在

承担的龟兹石窟壁画保护修复工程中，吸收了10名龟兹研究院保护研究院的年轻工作人员进行壁画修复，经过近5年时间的实践培训，现已能够独立承担石窟壁画的修复工作，业已成为新疆壁画保护修复的生力军。

山西是我国保存寺观壁画和彩绘泥塑最多的省份。其中唐代彩塑233尊，宋代彩塑274尊，辽金时代彩塑141尊，元代彩塑409尊，寺观壁画更多。明清时期彩塑佛像逐渐走向没落，此时期的彩塑佛像还是以山西省保存下来最多，明代彩塑8407尊，清代彩塑3230尊。由此可见，对新疆、甘肃地区以及山西地区彩塑佛像的研究，对于建立我国彩塑佛像的基本发展体系非常重要。近年，壁画和彩绘泥塑的保护受到山西省文物局的高度重视，举办“山西壁画和彩绘泥塑保护修复技术培训班”三期，选拔招收山西省文物博物馆系统人员20名，以山西省新绛县福胜寺彩绘泥塑保护项目为依托，学员经过一年时间系统的理论学习和彩绘泥塑修复实践培训，能够独立承担山西彩绘泥塑的保护修复工作。

2.1.3 壁画保护修复存在的主要问题

(1) 壁画保护的理念问题

文物保护是一门新兴的文理交叉并重的综合性学科，其内容是多方面的，对文物进行保护时的方法也不是唯一的，可以有多种选择，这就需要对文物保护原则有深入的理解。在文物保护领域，一直存在着有关美学、历史和艺术价值等方面的论战，但也达成了一些共同遵守的国际性协议。例如雅典宪章、国际古迹保护与修复宪章（通称威尼斯宪章）、保护世界文化和自然遗产公约，各个国家也制定了适合于本国国情的文物保护条例，例如澳大利亚的巴拉宪章。将我国执行的文物保护修复原则与上述国际性协议进行比较，多数原则，例如最低限度干预原则、历史可读性原则、可再处理性原则、与环境统一原则、修复前后的存档原则等都是与国际协议（例如威尼斯宪章）统一的。世界各国在文物保护方面，普遍同意的原则是：所有对文物的保护与修复都应有足够的研究资料为证，应该避免对文物材料有任何结构上和装饰上的改造。我国长期文物保护实践总结为不改变文物原状原则。同时，我国《文物保护法》中也明确规定了文物保护修复时必须

须坚持不改变文物原状原则。

在壁画保护过程中，对这一原则的理解和执行随着文物保护工作者的地域、种族、历史、文化、艺术及科学技术素质的不同而不同。如石窟壁画历代都有修缮，清代重修改装了大量壁画，什么是壁画的原状等问题一直困扰着壁画保护界。再如建筑壁画，古建筑在历史上大多经过多次维修，才流传下来。从其演变过程来看，一般可分为始建、重修和现存三个阶段，也就是存在始建时的原状、历史上某一维修阶段的原状和现存的原状。古建筑在历史上每一次维修都会增添新的信息，不同程度地改变着始建原状。从这层意义上讲，可以说古建筑的始建原状在客观上是不存在的，或者说是很难保留下来的。历史上经过多此维修的古建筑，其代表某一时代建筑特征的就是某一维修阶段的原状，记录了历史信息，反映了其演变过程。古建筑原状指的是什么？不能专指某一种原状，而应该包括古建筑三个阶段的原状，即始建的原状、维修的原状、现存的原状。那么，在壁画修复过程中如何来掌握原状呢？今后应如何研究？这是我国壁画保护工作者所共同面对的问题。

（2）壁画保护中的观念转变问题

文物保护的本质是保护其所蕴含的珍贵历史文化信息，而不是在保护文物材料自身。但因文物材料是珍贵历史文化信息的载体，通常是通过保护文物材料而达到保护历史文化信息这个本质目的。对于壁画而言，其历史文化信息和艺术价值是通过制作工艺与材料、绘画技法、所用颜料、建筑风格等反映出来的。因此，对壁画进行具体保护的过程中，应首先要求对这些珍贵历史文化信息不能扰乱和破坏。

（3）壁画保护修复材料的开发研究及更新问题

壁画颜料层起甲和粉化、地仗层酥碱、粉层起甲等是最常见的病害，必须使用适当的材料进行粘接修复。传统修复材料使用的是胶矾水，20世纪50年代初期，捷克和中国文物研究所专家在莫高窟进行现场实验，选定了聚乙烯醇和聚醋酸乙烯酯乳液作为起甲壁画的加固剂，并对加固工艺及工具进行了研究改进。此后，

20世纪90年代初期，敦煌研究院才对这两种材料的耐环境老化性能进行了测试，在半个世纪的时间里，竟然没有开发出适合于我国干壁画修复用的材料。

近年，我国文物保护工作者从国外引进了一种壁画修复材料Paraloid B-72，这种材料是针对欧洲壁画制作材料与工艺而研究开发的，是否适用于中国壁画则没有任何壁画保护研究单位进行过系统测试分析，但却已经在国内普遍使用。该材料因使用乙醇、丙酮、二氯甲烷、甲苯等有机溶剂，经笔者现场实验及应用，在修复中国的干壁画时主要存在以下问题：①溶剂挥发太快，加固剂渗透深度不够；②加固剂浓度低时，加固强度不够，但浓度高时加固剂的反迁现象致使颜料层板结，加固效果不理想；③浓度超过3%时，已引起可察觉的色变；④无法修复酥碱壁画；⑤溶剂多为易燃品，修复建筑壁画时风险较大；⑥当使用二氯甲烷、甲苯为溶剂时，虽然溶解性能很好，但毒性太大，不利于修复人员身体健康。

壁画修复用的材料虽然用量不大，但要求较高。为了解决这个问题，壁画保护机构必须与高分子科研部门通力合作，联合进行技术攻关。

（4）修复工艺及加固效果的无损检测与评价问题

理想的壁画保护修复材料应该是：①材料无色透明，加固后不引起颜料颜色发生变化；②修复工艺简单易行，并具有可再处理性；③材料稳定性好，耐酸碱腐蚀；④渗透性强，能保证壁画病害部位全部被渗透加固；⑤加固后的壁画抗环境风化能力强，并具有透气性；⑥加固后的壁画应有一定强度；⑦应具有较长的老化周期，至少20年不发生明显老化；⑧材料应具有一定的防腐、防霉、防生物老化性能。

目前，在对壁画修复材料性能检测方面，仅有修复材料是否引起了壁画颜料颜色改变能够做到无损分析（应用色度仪），其他性能只能在实验室进行，但其与现场修复壁画存在明显差异，其数据只能作为参考。对壁画进行保护处理时所用的技术方法，是否合理、是否有理论依据、是否有科学数据证实，这些都是保护方法是否具有科学性的重要判据。

科学评价壁画经保护处理后所获得的效果，一直是壁画保护中一项急需解决

的难题。以往对保护处理后的效果评价，有许多方面缺乏科学性。这并不是说在完成壁画保护工作后，拿不出检测的数据或检测数据不完善，而是指对效果评价的原则较为模糊，有些甚至是不科学的。因此今后应开展壁画保护修复材料现场无损分析检测方法的研究。

(5) 壁画颜料分析方面的问题

如前所述，由于壁画考古研究和文物保护两方面的需要。在壁画颜料分析方面的研究成果报道较多，主要集中在颜料化学或矿物成分方面。现有成果表明，我国古代壁画中使用的颜料绝大多数属于无机矿物颜料，因矿物颜料自身不具备黏接能力，绘画时必须调入胶结剂，因此一个完整的壁画颜料概念应该包括颜料成分和胶结剂成分。以前由于受分析方法的限制，壁画颜料中胶结剂的分析问题一直无法得到较好的解决，仅有的几篇报道，其分析结果也令人质疑。

近年有关建立古代壁画颜料数据库的问题已经提到某些文物保护单位的研究计划，如果没有颜料胶结剂的数据，则该数据库的科学价值将降低许多。同时，许多壁画病害都与胶结剂有直接的或间接的关系，许多壁画病害机理无法进行深入研究也与此有关，进而无法进行有效保护。随着分析仪器的快速发展，目前研究解决壁画颜料中胶结剂的成分分析这一困扰壁画保护研究的难题有望得到解决。

此外，由日本文物保护单位和仪器制造公司合作开发的，不需要取样而能够进行文物材料元素成分分析的全自动XRF仪器，已经用于壁画颜料的分析。以前，颜料不做XRD分析就无法研究其显色成分，但鉴于现在已有许多颜料XRD分析数据，如果能够了解颜料元素成分，即可推断其显色矿物成分。因此有必要引进这种无损分析设备，以使今后的壁画颜料分析真正做到不取样的无损分析。

(6) 壁画病害机理研究方面的问题

如前所述，有关壁画病害机理研究方面，目前仅壁画红色颜料变色和壁画酥碱病害的研究做得较为系统。在壁画红色颜料变色机理研究方面，虽然业已探明铅丹变色的环境条件，但在该条件下铅丹颜料为什么会变色则没有继续深入进行

研究。同时，按照我国现在壁画保护所遵守的“保护现状原则”，不允许对已变色壁画进行颜色还原。

关于壁画酥碱病害机理的研究，研究成果已被敦煌研究院等多家壁画保护单位应用到预防壁画发生酥碱病害的措施上，为我国壁画保护做出了一定的贡献。但该项研究存在一个明显的缺陷，即对于已经发生酥碱病害壁画的保护无任何现实意义。笔者曾在实验室中模拟出酥碱壁画，准备进行修复材料和工艺筛选研究，后因调离敦煌研究院，受实验条件和研究经费的限制，致使该项对壁画保护具有重大现实意义的工作没能继续进行下去。

（7）壁画保存环境监测与控制问题

壁画保存环境（包括气象环境和空气污染物环境）研究是进行壁画保护的必须数据，一般至少需要完整一年的监测数据，环境监测仪器系统是壁画保护单位最基础的设施。但壁画保存环境监测仪器系统（乃至整个文物保护领域中的环境监测问题）的研究开发，是始终没有解决好的一个重要问题。首先，壁画保存环境的监测要求数据记录密度较高；其次，监测项目很多；第三，监测数据精度要求较高。因此对监测系统的最基本要求是自动化（包括对监测数据的处理与分析）与高精度，但目前还没有开发出专门用于壁画保护（或文物保护）的全自动环境监测系统。壁画保护领域，乃至全国的文物保护单位都迫切需要一种能够满足文物保存环境研究的、价格较低廉的环境监测分析及环境控制系统。

（8）考古发掘现场的墓葬壁画保护问题

在考古发掘时经常会遇到这样的事情，当打开了一座古墓穴时，眼看着壁画颜料化成了灰而无能为力。这些变化是由水分变化所引起的。墓穴中没有风，温、湿度也非常稳定，这种高湿度和阴暗环境正是微生物生长、繁殖的良好条件，实际上生物腐蚀早已在墓穴中发生，由水分和其他因素引起的化学风化也早已作用在壁画材料上。即使没有其他任何形式的运动变化，壁画材料的强度也仅能维持本身的完整性。壁画的颜料层可能已失去任何有机黏着剂，而仅仅是机械附着于地仗层上。一旦墓穴被打开，外部的干燥空气涌入墓穴，形成了壁画材料的迅速

干燥，由于上述原因，这些材料在长期地下环境中已变得极其脆弱，其自身强度无法抵御这种剧烈的变化，造成壁画颜料层的灰化、粉化。如果干燥速度足够慢，就可防止上述过程的出现。同时，控制干燥速度缓慢时，对于那些含水量已经经历了基本变化的文物，可以进行严密的观察，如果干燥速度不过于迅速，在出现任何较大的危险之前，能够预测并制止它们的发生。

由于没有有效的考古现场环境控制方法及文物保护所需要的保护材料和技术的支持，而不得不使一些极为重要的遗物遗迹现象在绘图、照相之后遭受破坏，有的文物因现场保护不力和其他保护措施缺乏，给日后文物保护与修复工作带来不必要的麻烦。考古发掘现场的壁画保护，乃至所有材质文物保护的重要性越来越受到文物保护专家、考古学家的重视。应尽早开展课题研究，其研究成果对保护目前已出土的现场文物和今后考古发掘工作的进行具有重要的现实意义和深远的影响。

2.1.4 经典案例

(1) 永乐宫壁画保护

永乐宫，原名“大纯阳万寿宫”。元定宗二年（1247年）为奉祀“八仙”中的吕洞宾而建，是我国现存时代最早、规模最大、保存最完整的元代道教宫观，全真道三大祖庭之一。原址位于山西省永济市永乐镇。宫址坐北向南，松柏掩映。宫宇规模雄伟，布局疏朗，内外宫墙环峙，大殿布列中央，颇似宫廷布局之制。中轴线上，除山门外，还垂直排列着龙虎殿、(无极门)、三清殿(无极殿)、纯阳殿(混成殿)、重阳殿(七真殿)四座高大的殿宇，殿内四壁满绘精美的元代壁画，总面积(连同拱眼壁画1005.68平方米(拱眼壁画以单面计算)。其中龙虎、三清两殿为大型人物画，纯阳、重阳两殿为连环故事画。壁画美轮美奂，为我国现存元代寺观壁画之冠。1957年，黄河三门峡水库开始兴建，永乐宫处于工程淹没区。为保存这一珍贵的历史文化遗产，国务院决定整体搬迁永乐宫。

1956年治理黄河工程开始以后，永乐宫处于淹没区内。鉴于永乐宫在美术史、建筑史、宗教史上的重大价值，中央文化部决定整体搬迁永乐宫古建筑群，保护

这一弥足珍贵的文化瑰宝。经过1956年至1959年大量的前期研究、现场勘察，最终决定在山西省芮城县北侧三公里龙泉村附近作为永乐宫整体迁移新址。1956年永乐宫迁建工程启动，至1958年底开工前准备工作结束，1959年正式开工，至1965年底竣工，永乐宫迁建工程历时整整十年时间。

1957 制定搬迁方案，临摹三清殿壁画。

1958 临摹纯阳殿、重阳殿壁画。

1959 开始揭取壁画

1960 挖筑了宫门、龙虎殿基础和台基。

1961 挖筑了三清、纯阳、重阳三大殿基础和台基。同时修复了宫门和龙虎殿。

1962 修复了三清、纯阳、重阳殿木构屋架，并安龙虎殿壁画。

1963 修复了三清、纯阳、重阳殿瓦顶。

1964 修复并安装纯阳、重阳殿壁画。

1965 修复安装三清殿壁画

1966 油饰各大殿等扫尾工作

十几位国内专家研究制定了搬迁方案。参与永乐宫迁建工程的骨干力量，当年平均年龄不到30岁。凭借自己研究探索、规划设计和操作实施，大型元代建筑群异地重建和千余平方米壁画的揭取等史无前例的技术难题，在他们手中逐一解决。这股年轻的力量支撑了永乐宫的迁建工程，同样，永乐宫迁建工程也造就了一代古建筑大师。

永乐宫整体搬迁工程留下20000余页手写档案，工程涉及诸多学科，在保护理念、工程技术方面具有一定开创性，为古代建筑与壁画保护提供了极其宝贵的经验和教训，为中华人民共和国的文物保护事业培养了大量人才。该工程规模之大、技术之难、要求之严、速度之快、耗资之少、质量之高，对中国文化遗产保护事业具有划时代的非凡意义。

永乐宫整体搬迁保护工程是20世纪50年代我国古建筑整体搬迁的一个壮举。

该工程集全国之力，涉及多部门、多学科，无论从组织形式、保护理念、工程技术、工程管理诸方面均具有开创性，尤其是壁画揭取保护技术，为我国文物保护事业的发展奠定了基础，聚集了以祁英涛、陈继宗等一批我国文物保护先驱者的集体智慧，为文物保护工程技术的发展提供了宝贵的经验和教训。

就永乐宫搬迁后至今的保存状况来看，从选址、建筑、壁画、环境等方面都因为搬迁而得到相应的保护和改善，永乐宫迁建工程是1949年后成功的文物整体搬迁保护案例。70年后的今天，徜徉在被誉为“东方之瑰宝”的永乐宫，欣赏古代壁画的美妙神韵、赞誉木构建筑的精巧绝伦、领悟传统文化的博大精深时，您一定也会惊叹永乐宫搬迁工程的神奇伟大。

（2）西藏哲蚌寺壁画保护

哲蚌寺是藏传佛教格鲁派（黄教）最大的寺院，位于西藏拉萨市西郊约5km的根培乌孜山南坡山坳间，系格鲁派始祖宗喀巴弟子绛央曲杰 扎西班牙丹于明永乐十四年（公元1416年）所创建。2010年西藏自治区文物局拟对哲蚌寺殿宇建筑进行维修，其中的措钦大殿由于墙体变形严重，拟对该部分墙体进行整形与整体加固，这部分墙体主要集中分布在措钦大殿的龙布拉康殿四壁、三世佛殿四壁以及内转经道西壁内墙和北壁内、外墙等处。由于内转经道西壁内墙墙体变形最为严重，壁画中间部位空鼓达10cm，壁画必须采取加固、揭取，而后待古建筑墙体加固与整形维修完成后，再将壁画原位复原回贴。

由于壁画地仗层极厚、极脆，墙体变形导致壁画开裂、错位、破碎严重，且存在大量不规则裂隙，同时受操作空间极为狭窄等多种因素的综合影响，使得该项工作的难度极高。加之，为了尽量减少壁画揭取过程对壁画造成的不可逆损伤，以及考虑到后期壁画的整形、复位对接画面、原位回贴等工作，在划分壁画切割块时尽量选择壁画已有裂隙处，以减少切割缝，但随之而来的是壁画分割块极不规则，使得壁画揭取工作难上加难，并增加了后续壁画原位回贴工作的难度。

为此，基于哲蚌寺壁画地仗层材料分析结果，系统整理了国内目前对于传统灰浆材料的室内实验研究结果，针对哲蚌寺壁画地仗层使用材料的特点，选择与

原地仗层材料成分完全相同的烧阿嘎土作为裂隙修补及空鼓灌浆加固材料,进行实验研究。从阿嘎土的物理化学性质、微观结构入手,采用x射线衍射方法分析对不同温度下烧制的阿嘎土的主要矿物成分和相对含量进行测试分析,并选择国内外岩土文物广泛使用的欧洲水硬石灰NHL2、NHL3.5和NHL5进行比较研究。发现烧阿嘎土,700°C时,生成13.3% β -CaSiO₃和10.6% Ca₂Al₂Si₂O₈,无CaO生成。800°C时,生成32.1%CaO,从800°C~1100°C和从1100°C~1400°C时,CaO的生成量有所下降,从44.6%降至33.9%,生成 β -CaSiO₃和Ca₂Al₂Si₂O₈的速度有所增大, β -CaSiO₃从30.1%增至40.6%,Ca₂Al₂Si₂O₈从19.2%增至25.4%。最终选择1000°C烧阿嘎土分别掺加适量石英砂和粉煤灰制作40mm×40mm×160 mm和70mm×70mm×70mm的试块进行解结石体的物理力学性能测试及耐候试验,包括:结石体的收缩变形测试、结石体龄期强度测试、结石体不同龄期的含水率及孔隙率变化、固化温度对结石体强度的影响、结石体的水稳定性实验、结石体的安定性实验、结石体的耐碱性实验、结石体抗冻融实验、结石体的温湿度循环实验、结石体的崩解性实验,以及灌浆材料的力学性能试验,包括:抗压强度、静压受压弹性模量、剪切黏结强度。

在以上对灌浆材料基本物理力学性能测试分析的基础上,又经过大量室内筛选试验,试验结果表明砂浆试样的抗折抗压强度较高、吸水率较强、透水压力较低、收缩变形率很小。

内转经道壁画揭取后的修复、回贴均采用高温焙烧的阿嘎土为主要材料,既满足了补强壁画地仗层的作用,又不会造成修复材料和原壁画地仗层材料之间的差异排斥。此次壁画揭取回贴的成功实施,为今后藏区此类壁画的修复提供了典型范例。

(3) 高句丽墓葬壁画原址保护

受技术限制,目前墓葬壁画仍然以揭取保护方法为主,原址保护属国际性难题,在国内外没有成功先例。高句丽墓葬壁画病害原因复杂,原址保护工程涉及调查、针对不同壁画病害的修复技术研发、编制保护工程方案、实施保护工程、

壁画的预防性保护等内容，是一项集调查、研究、本体保护实施的综合性文物保护项目。为此，中国文化遗产研究院设立“高句丽墓室内外保存环境监测与评估”、“高句丽墓葬壁画制作材料工艺研究”、“生物因素对高句丽墓葬壁画的影响及评估”、“墓葬岩土结构调查与评价”等4个课题开展前期研究。

自2009年起，通过多年大量系统的调查、勘察、试验研究等前期工作，针对高句丽墓葬壁画存在的主要问题：墓葬封土渗水、墓葬内部凝结水、壁画地仗层大面积脱落、壁画颜料层起甲脱落、壁画表面有害微生物污染、可溶盐结晶等病害，重点开展墓葬保存环境控制技术研究、壁画本体保护修复材料与工艺筛选、壁画表面有害物质清除技术筛选等工作，取得了重要研究成果，为编制实施各类保护方案、为开展保护抢救工作奠定了坚实基础。同时，针对危害高句丽墓葬壁画的最主要病害——壁画表面微生物的清除与防治这一难题，积极组织申报并完成院基本科研业务费课题：“文保有机材料抗菌性研究——以高句丽五盔坟5号墓为例”，以高句丽墓葬壁画微生物病害研究成果为基础，推荐项目组成员成功入选国家文物局“文物保护科技优秀青年研究计划”，并成功申报课题“文物保护有机高分子材料生物老化性研究”。

（4）馆藏唐墓壁画保护

当建筑物和墓葬环境变动或结构危险时，通常将壁画揭取并收藏于博物馆保存和展览，从而形成博物馆收藏的古代壁画，称之为馆藏壁画。我国馆藏壁画数量巨大，主要分布在陕西、内蒙古、山西、河北、河南等地区。其中，陕西省的馆藏壁画最多，主要是唐朝墓葬壁画，仅陕西历史博物馆目前就收藏有壁画540余幅、1000余平方米。

古代墓葬壁画揭取之前已处于濒危状态，考古发掘时的抢救性揭取、包装运输、复原性修复等过程中又经历了保存环境突变及过多的人为干预，导致壁画产生新病变而面临加速损毁的危险。为抢救保护我国珍贵的馆藏壁画，为保护修复提供科学方法、理论依据和技术支撑，提高我国馆藏壁画保护和修复技术的整体水平，2007年，在财政部支持下，国家文物局批准了“濒危馆藏壁画抢救性保护

工程——馆藏壁画保护综合研究”课题。

该课题通过陕西、河北、山西、内蒙古、河南、四川、辽宁、吉林、新疆、西藏等地不同类型馆藏壁画保存现状调查，基本理清了我国馆藏壁画的整体保存状况以及保护修复中存在的主要问题，以陕西唐代墓葬壁画、内蒙古明代寺观壁画为重点，以河南东汉墓葬壁画、四川和西藏寺观壁画、新疆石窟壁画等作为辅助研究对象，依据馆藏壁画的特点，应用高清晰摄影、多光谱摄影、激光三维扫描及数据合成技术提取和研究馆藏壁画信息，开展了壁画保存现状调查、壁画价值评估、壁画制作材料工艺判定、壁画颜色评估、壁画保护技术优化等相关研究工作。同时，全面总结了我国自20世纪50年代至今的馆藏壁画保护修复技术，形成了系统的馆藏壁画保护修复技术，建立了基于GIS系统的馆藏壁画病害调查统计方法和基于数字化的馆藏壁画模拟修复技术，在馆藏壁画钙质土垢、残留胶以及霉菌清理方面取得了突破。示范性保护修复陕西、内蒙古、河南、新疆、四川等地不同类型濒危馆藏壁画40余平方米，课题成果以《馆藏壁画保护修复技术》出版。

2.1.5 多学科在壁画保护中的应用

壁画保护修复是文、理、工、艺术、管理交叉并重的综合性学科，涉及考古学、艺术史、物理学、化学、生物学、工程地质与水文地质、岩土工程、结构力学、材料科学、气象学、环境科学、法学、管理科学等方方面面的内容。

随着壁画保护研究的不断发展，现代科学技术越来越重要。为了对壁画进行检测分析，提供准确数据，不可避免地要应用现代科学技术。在对壁画实施修复养护时，都是采用传统技术的基础上加入现代新材料、新工艺。例如为避免各种自然因素的破坏，积极改善壁画保存环境；为避免各种形态水的侵蚀，在寺观或石窟顶部修建防渗层和排水沟，改变并疏通地表水的流向、窟前地面排水、降低地下水位、排除建筑内潮湿结露等措施，切断水与建筑的直接联系；为避免壁画受日光直射和风沙、酸性尘埃的危害，防止剧烈的干湿交替变化而修建保护性功能的现代轻型材料构件的窟檐等；为防止石窟崖体的崩塌和滑动而采取大型块石

砌体或浇灌混凝土挡墙，以阻止石窟崖体裂隙的发展，防止悬崖崩塌；同时采用化学材料灌浆加固；为了保持石窟崖体的原貌，采用喷锚加固技术，对多裂隙、较松弛、洞窟众多而岩石破碎的石窟崖体进行加固。最近，有些石窟的加固已不加混凝土钢筋网的罩面，而以化学喷涂材料代替。

(1) 工程与水文地质

我国石窟壁画绝大部分的支撑体为开凿于沙砾岩这种沉积岩中，从地质学观点出发，这绝非偶然，主要由以下4个条件所决定，即：①这类沙砾岩类一般都为厚至巨厚层产出，有良好的整体性和坚固性；人工不但易于开凿成型，而且有利于石窟的保存；②颗粒均匀岩性软，决定了开凿时可雕可塑，有利于造像时采用多种艺术表现手法；③石窟一般开凿在交通要道或枢纽附近，或是奇山异水处，或是比较僻静的地方。这样一是便于僧侣们精心修行，二是善男信女们或过往的商客、官吏朝拜，以扩大佛教的影响。沙砾岩类岩石分布广泛，随处可见，可以满足选择窟址的要求；④沙砾岩类岩石垂直节理发育，往往能形成陡峭的崖壁，为开窟造像提供了理想的天然场所，而不需要人工开拓，省时省力。

由上可看出，古人在开凿洞窟时，一般都选择完整性好，成层厚度大而又比较均一的岩体。此外有要求岩性不能过分坚硬，易于开凿，并具有良好的稳定性，未经构造变动。因此，大多数石窟是开凿在砂岩、沙砾岩等岩体中。此外，地质环境不仅决定着石窟造像的分布格局，它还决定着石窟艺术的表现手法。一般砂岩的结构比较致密、均一，适合精雕细刻。因此开凿于砂岩中的石窟采用以“雕”为主的艺术表现手法，如云冈石窟、乐山大佛、南北石窟等。砾岩与砂岩比较，质地粗糙，不适宜精雕细刻，因而开凿于砾岩中的石窟多采用“石胎泥塑”或壁画的艺术表现手法，如敦煌莫高窟、麦积山石窟等。至于龙门石窟，它既不开凿于砂岩中，但仍以精雕细刻而闻名海内外。这是由于它开凿于石灰岩中，石灰岩的主要成分是 CaCO_3 ，成分细腻均匀，具有良好的可雕性，抗风化能力好，是良好的石雕材料，因此龙门石窟仍采用雕刻的艺术手法。

石窟壁画保护中的重点是开窟崖体的稳定性，以及“风化”、“水患”和“盐害”。

因此，了解石窟壁画所处的地质环境对于石窟壁画的保护工作是相当重要的，如不及时了解石窟所处的位置的岩石条件，如果不了解地质环境对石窟壁画的影响因素，那么其他一切研究就等于徒劳。

（2）气象学

在壁画的保存与利用过程中，环境温度、湿度、光照是直接作用于壁画材料的最普遍环境因素。任何材料组成的文物都有它最适宜的温度和湿度条件界限，超过这一界限，文物就易发生病变，壁画也一样。

针对博物馆壁画库房、展示和运输等壁画保存环境中的有害因素，开展综合研究，形成壁画保存环境监测、评价、控制等系列技术标准及相关产品，切实提高壁画保护工作的科技含量。

研究表明，文物保存环境质量越佳，对文物保存越为有利。文物保存环境对文物的影响是一个缓慢的过程，环境监测是了解环境因素对馆藏文物的影响以及各种环境因素之间增效作用的必要措施，同时也是对文物实施预防性保护的首要前提。我国现行的环境评价监测技术手段和规范尚不能完全适用于壁画保存环境研究需要，无法对壁画保存微环境实施全面科学监测和分析，因此应尽快建立壁画保存环境质量技术监控体系，进行长期监测与评估，为预防性技术保护工作提供数据支撑；与此同时，开展相关基础研究，加强环境因素对馆藏壁画影响作用机理以及各种环境因素之间增效作用的研究。

（3）环境科学

我们周围的空气是由氮、氧和几种惰性气体组成的混合物，不含水蒸气和固体杂质的空气称为干燥清洁的空气，它在自然界的主要组成是基本不变的。但随着人类工业活动和交通运输业的扩大，每年要向大气中排放大量污染物，这样空气就变得不再纯净，各种硫化物、氮氧化物等有害气体和粉尘等空气污染物不但威胁着人类赖以生存的大气环境，而其对文物也造成了很大的危害，壁画也不例外。近年来，空气污染物对石窟壁画的影响越来越引起国内外文物保护专家的关注，并进行了卓有成效的研究。研究表明，空气污染物不但能使石窟围岩蜕变风

化,而且会引起壁画颜料变色、褪色等,其中尘埃往往是细菌、霉菌的良好载体,当空气中的降尘经常与湿气结合在一起降落在石窟表面时,便形成一层难以去除的外覆盖层,很适宜微生物的生长繁殖。

(4) 微生物学

在壁画中存在着许多无机矿物,还有少量的有机物。在潮湿环境下(相对湿度高于75%),微生物孢子附着在壁画上,很容易滋生蔓延,由于真菌比细菌更适应艰难环境,所以一般壁画上分离鉴定出的微生物多以真菌为主,细菌、放线菌的数量较少。但是这些细菌、放线菌在壁画生物腐蚀过程中却发挥着很重要的作用。壁画中的有机胶结材料作为培养基,一些微生物可将其分解利用。同时,已有研究显示,真菌的生长过程可以改变壁画保护高分子材料的某些性能,加速其老化。

(5) 实验室分析

据统计国内外约有30多个单位的文物保护工作人员从事过中国古代壁画颜料的分析工作,曾经使用的方法及仪器有10余种,包括湿化学分析法、发射光谱法、X射线荧光法、紫外—可见光谱法、红外光谱法、质谱法、X射线衍射法、光学显微镜及电子显微镜法、电子探针、质子X荧光法等等。在这里我不可能将所有方法都一一罗列,仅将目前国内比较常用的分析方法向大家做以介绍,为大家今后的研究工作打一个基础。壁画颜料的分析方法很多,一般可归纳为形态分析、成分分析、微区分析和结构分析四类。

准确的分析出古代壁画颜料中胶结材料的种类、数量、现存状态,对于壁画病害机理的研究、壁画保护技术和保护材料的研究将有重要意义。因此这种分析技术的选择,始终是文物保护工作者所极力探求的。但到目前为止,全国范围内对于壁画颜料层中胶结材料的定性分析研究非常少,因此长期以来对于胶结材料的认识只是停留在很初级的阶段,一般只凭传统绘画技法推断它的情况,缺乏足够的科学分析数据。

随着科学技术的不断发展,用来对颜料及其胶结物进行分析的科学方法越来越

越多。在保证颜料样品不受损坏的条件下，比较准确地掌握了古代颜料所携带的客观信息，以便对颜料的制作工艺、产地、变色规律等方面进行更进一步的研究。如何能够简便、快速、准确的分析出颜料样品的表面信息、晶体内部成分和结构、胶结物等信息，是不断探索的课题之一。

(6) 现场无损分析

文物无损（微损）分析（non-destructive/micro-destructive analysis of cultural heritage），即采用某种方法或技术获取文物的化学组成、组织结构、物理机械性能等特性，从而达到了解文物产地、工艺、年代等信息、评估文物材料劣化程度、评估保护修复效果。这些方法和技术在应用时可以不取样或取样量极少，对于文物不造成肉眼可以识别的破坏，不破坏文物的完整性和美学效果。

自二十世纪七十年代早期，离子束分析技术在欧洲开始应用于艺术品和考古材料的研究，随后自然科学领域的研究人员逐渐将各种应用于现代材料分析的分析方法应用于艺术品、考古材料的研究。我国自二十世纪八十年代开始开展文物的无损（微损）分析工作，主要研究对象包括陶瓷、玉器、颜料和玻璃器等。

常用的文物无损（微损）分析方法和技术包括（不限于）紫外光谱、X射线成像技术，电子显微技术，离子束微分析，X射线衍射，X射线荧光，X射线吸收光谱，X射线光电子能谱，俄歇能谱，激光剥蚀等离子体质谱，红外光谱，拉曼光谱，光纤光谱，二次离子质谱，气相-质谱等。

理想的文物无损（微损）分析方法和技术应当实现非破坏/非介入、原位分析，分析过程快速、灵敏、高效，具有普适性、多用途的，能够通过采用对文物最小破坏的方式获取有关文物最大的信息量。

2.2 壁画保护项目的要求

2.2.1 壁画保护的主要目的、任务

(1) 意义

一种艺术风格的产生，是由那个时代的社会形态所决定的，当时统治者的意

志加以支配和影响的。时代变了，艺术风格和题材也会随之改变。保护中国壁画的意义就在于：

①中国壁画艺术贯注了中华民族文化传统和中国独特的艺术风格，她以自己的民族形式改造了来自外部的影响，从而强烈的表现着自己的民族文化精神。保护我国古代壁画和彩塑就是保护我们民族多少年来千锤百炼的文化结晶。

②壁画作为一种艺术实体，具有非常丰富的历史、艺术和科学价值，所以是研究我国古代社会结构、人民生活与生产的珍贵实物资料。

(2) 目的

通过科学的保护措施，恢复壁画的安全性和稳定性，使之能够长期保存，并对其进行深入研究。

在壁画稳定的前提下，加强预防性保护措施，进行合理展示。

(3) 任务

壁画在漫长的历史岁月中，除受到人为的破坏，还受到自然因素的长期侵蚀。很多著名的石窟群壁画都存在着严重问题，有些石窟或古建筑地处强烈地震频繁活动区，损坏十分严重。如麦积山石窟、莫高窟等在历史上遭受过多次大面积的崩塌；克孜尔石窟崖顶纵横交错的冲沟严重威胁洞窟安全；云冈石窟、炳灵寺石窟的石刻、石雕风化剥蚀速度很快；大足石刻、响堂山石窟、北石窟等曾经遭受酸雨的严重侵蚀。保护石窟壁画，使其不受人为破坏和自然因素的侵蚀，将珍贵的古代艺术完好的保存下去，是我们当代文物保护工作者义不容辞的责任。

2.2.2 《中国文物古迹保护准则》中保护原则在壁画保护中的应用

文物保护的本质是保护其所蕴含的珍贵历史文化信息，而不是在保护文物材料自身。但因文物材料是珍贵历史文化信息的载体，通常是通过保护文物材料而达到保护历史文化信息这个本质目的。对于壁画而言，其历史文化信息和艺术价值是通过制作工艺与材料、绘画技法、所用颜料、建筑风格等反映出来的。因此，对壁画进行具体保护的过程中，应首先要求对这些珍贵历史文化信息不能扰乱和破坏。

《中国文物古迹保护准则》（以下简称《准则》）将文物保护修复工作分为

调查、评估、明确问题、确定目标与制订规划、实施规划、总结等六大步骤，如图2-1所示。

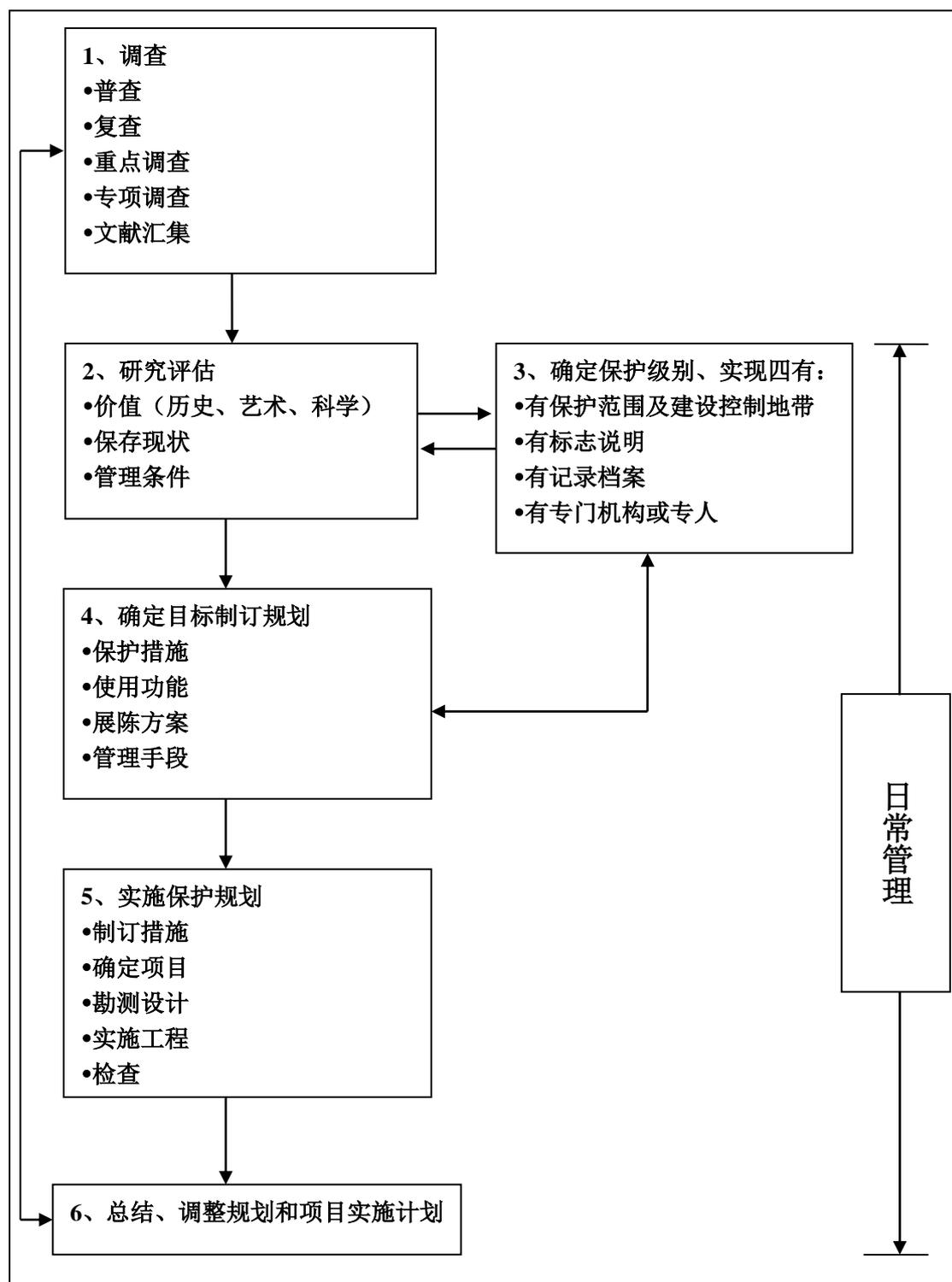


图2-1 文物保护修复工作六大步骤

文物保护工作程序中的6个步骤之间存在逻辑关系，保护工作须建立在对保护对象全面深入的评估之上，这关系到我们即将采取的保护管理措施是否恰当，没有全面充分的评估、深入细致的研究，想达到这样的要求是不可能的。评估的主要内容是壁画的价值，保存的状态和管理的条件，包括对历史记载的分析和对现状的勘察。评估必须以研究为基础、评估对象是实物遗存及其相关环境、评估要有明确的结论。

《准则》第6条明确指出，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。《准则》提出的工作程序的每一步都必须有研究作支撑。要准确落实《准则》提出的文物保护十原则：①必须原址保护；②尽可能减少干预；③定期实施日常保养；④保护现存实物原状与历史信息；⑤正确把握审美标准；⑥必须保护文物环境；⑦已不存在的建筑不应重建；⑧考古发掘应注意保护实物遗存；⑨预防灾害侵袭，⑩必须有研究作保证。

《准则》指出，日常管理要贯穿于古迹保护的全过程，日常监测是文物古迹日常管理的重要组成部分，而且可为科学的日常管理和及时的保养维护提供依据。日常监测不仅包括对自然环境的监测、文物本体和载体的稳定性监测，而且还包括社会环境的监测，如当地社会经济的发展、游客人数、游客行为等等。我们不能孤立地以某一因素，而是应该以长期的监测为依据，综合考虑影响古迹保护的各类因素，谨慎地做出保护决定。

文物古迹的修缮包括日常保养、防护加固、现状修整、重点修复四类工程。这里把日常保养放到了第一位，可见《准则》是极力推崇日常保养，作为及时化解外力侵害可能造成损伤的预防性措施，而且它适用于任何保护对象。日常保养通常是最实际、最经济、最有效的保护工作，它还能真真体现文物古迹最重要的保护原则——尽可能减少干预（最小干预原则）。连续的日常监测和保护档案纪录过程也应该作为日常保养维护的重要内容。所以《准则》总是把日常监测与日常保养维护放在一起加以阐述。

2.2.3 壁画保护项目的程序

根据《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细则》、《文物保护工程管理办法》、《国际古迹保护与修复宪章》（威尼斯宪章）、《中国文物古迹保护准则》等政策法规文件的规定，壁画保护项目的一般工作程序分为立项、前期调查与研究、方案设计、工程实施、结项验收、资料归档等步骤，如图2-2所示。

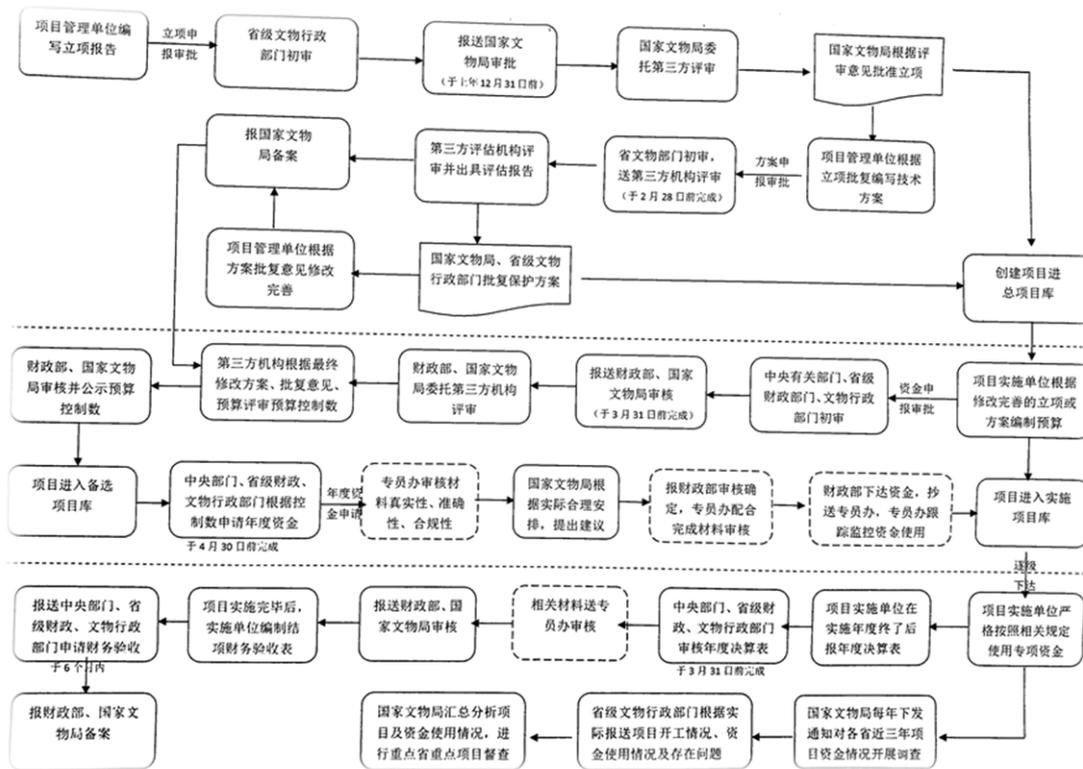


图2-2 壁画保护项目工作管理程序

按照《中国文物古迹保护准则》的要求，以及上述管理程序，壁画保护项目的技术工作可分为：全面调查保护对象；价值评估；壁画保存现状评估；确定壁画保存理想状态；确定壁画保护的现实目标；壁画保护方案比选；壁画保护材料、工艺筛选；保护方案详细设计；壁画保护修复实施；壁画保护修复档案建设；壁画保护项目评估；壁画长期监测和日常维护等十二个方面。

(1) 全面调查保护对象

包括（但不限于）文献资料、历史干预信息、考古资料等的收集；保存环境

与保存现状的初步调查与了解。

(2) 价值评估

依据现场调查资料，采用各种分析方法，将壁画的价值按照历史、艺术和科学价值进行详细评估。

(3) 壁画保存现状评估

利用照相机和测试仪器，对壁画进行摄影拼接成图后，进行壁画病害类型和分布调查；绘制壁画病害图；进行壁画制作材料与工艺的分析测试；初步分析病害成因；根据假设病害成因，布设环境监测设备和模拟试验；开展壁画病害机理研究，查明壁画病害成因。

(4) 确定壁画保存理想状态

综合以上调查和研究，确定出壁画保存理想状态，判断壁画是否需要干预。如果不需要干预，进入日程维护；需要干预进行下一步工作。

(5) 确定壁画保护的现实目标

壁画保存的状态往往一定的问题，达不到理想状态，因此必须采取一定的技术或管理手段实施干预，才能达到或接近我们认为的理想状态。对必须干预的保护对象就应该确定一个现实的保护目标，以使保护工作具有很好的可操作性，在确保稳定性的前提下，还要保证保护对象的真实性、完整性。

(6) 壁画保护方案比选

针对壁画存在的问题，提出多种可行的保护方案，并分析各种方案之间的优劣。

(7) 壁画保护材料、工艺筛选

针对拟定的初步保护方案，通过分析不同保护材料的性能，进行室内模拟试验，开展保护材料与工艺的筛选工作，优选出可行的保护材料。

(8) 保护方案详细设计

根据以上调查和研究成果，进行壁画保护实施设计，达到修复人员可完全按照设计方案开展壁画保护修复的设计深度。方案设计阶段的工作内容与流程如图

2-3所示。

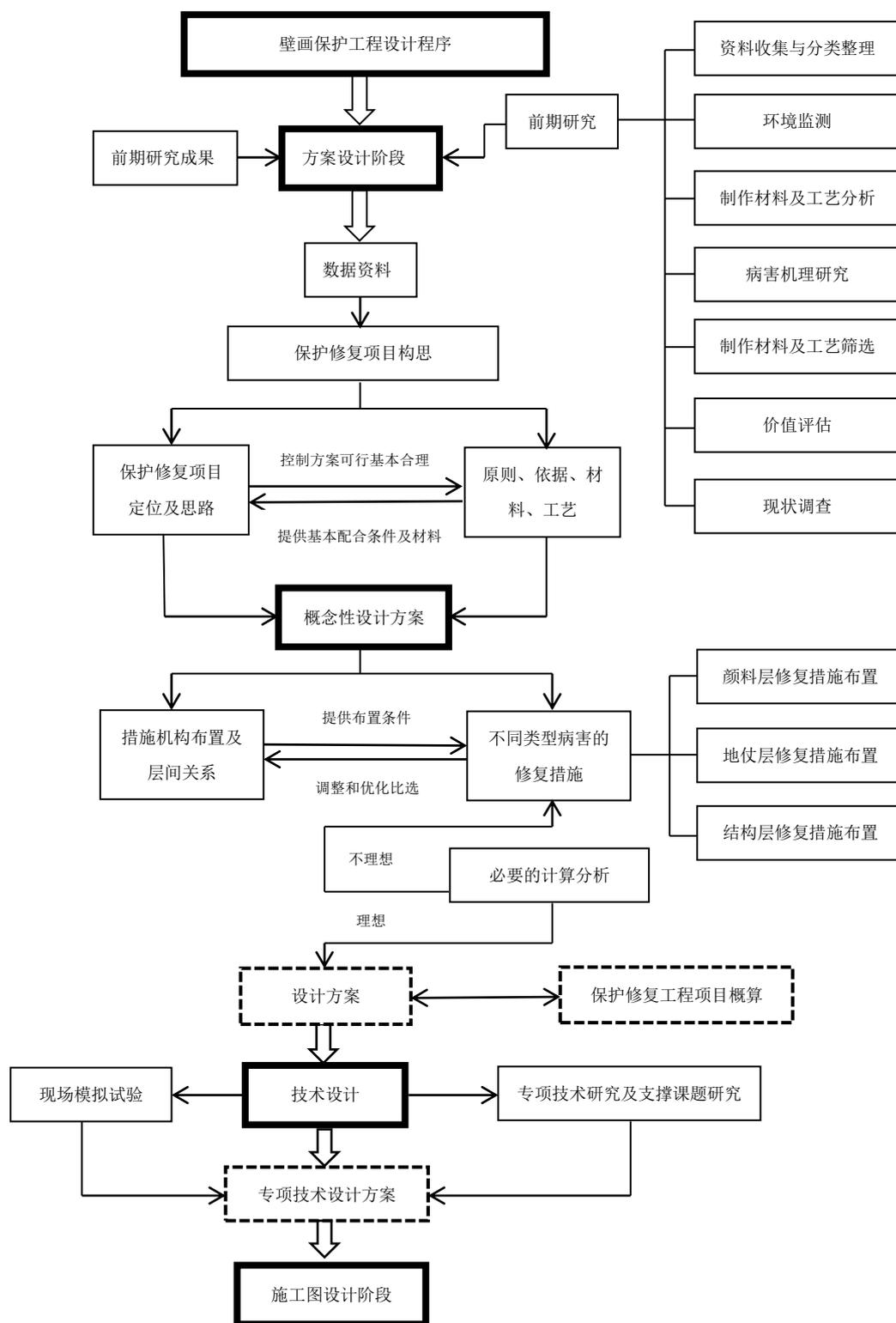


图2-3 壁画保护项目方案设计阶段的工作内容与流程

(9) 壁画保护修复实施

为保证项目质量和有序开展，首先进行施工图设计和施工组织设计，如

图2-4至图2-6所示；其次选择具有相应资质的机构和修复人员，承担壁画保护修复项目；在实施全程中设计人员应参与和指导。

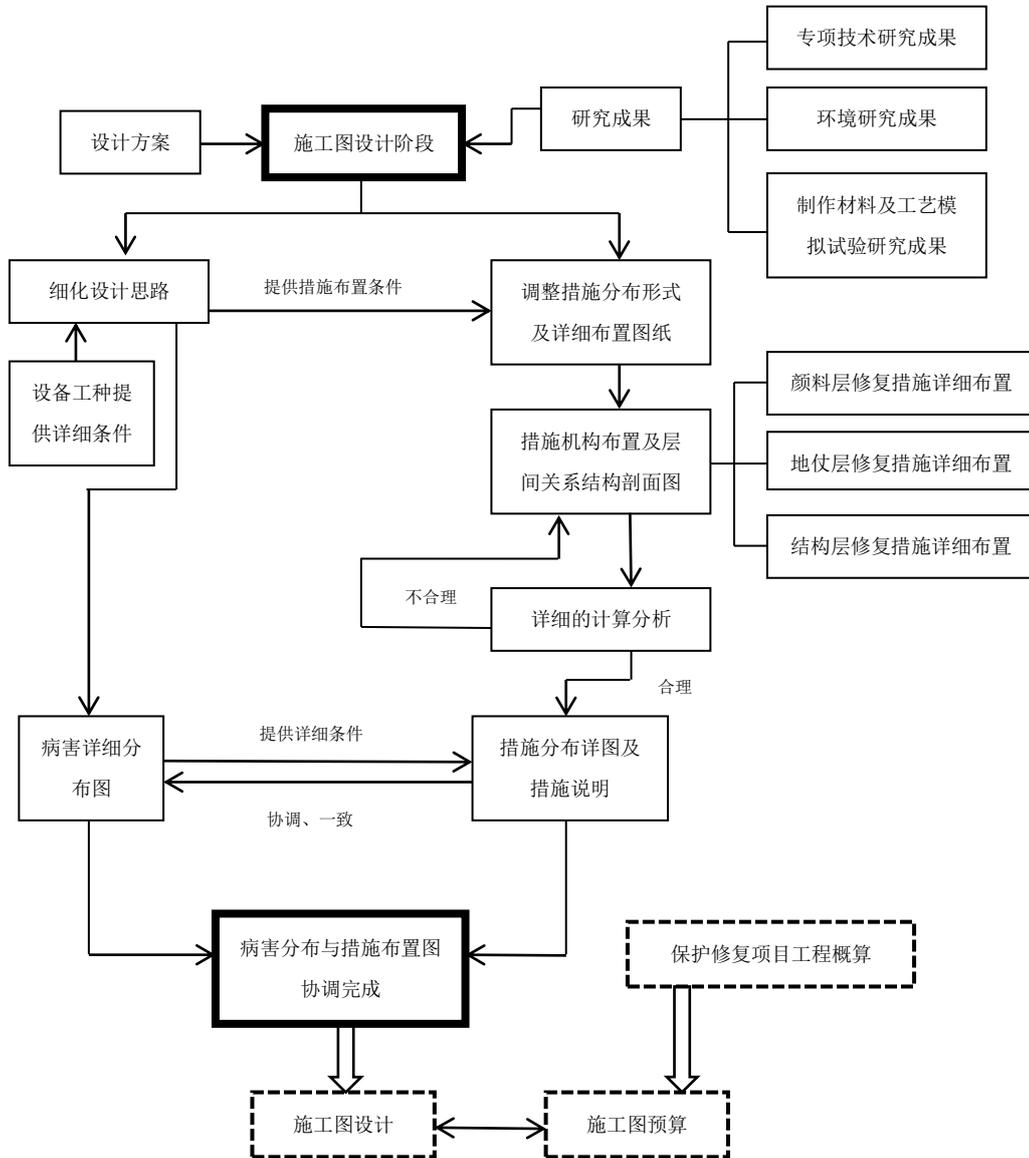


图2-4 壁画保护修复项目施工图设计阶段工作内容与程序

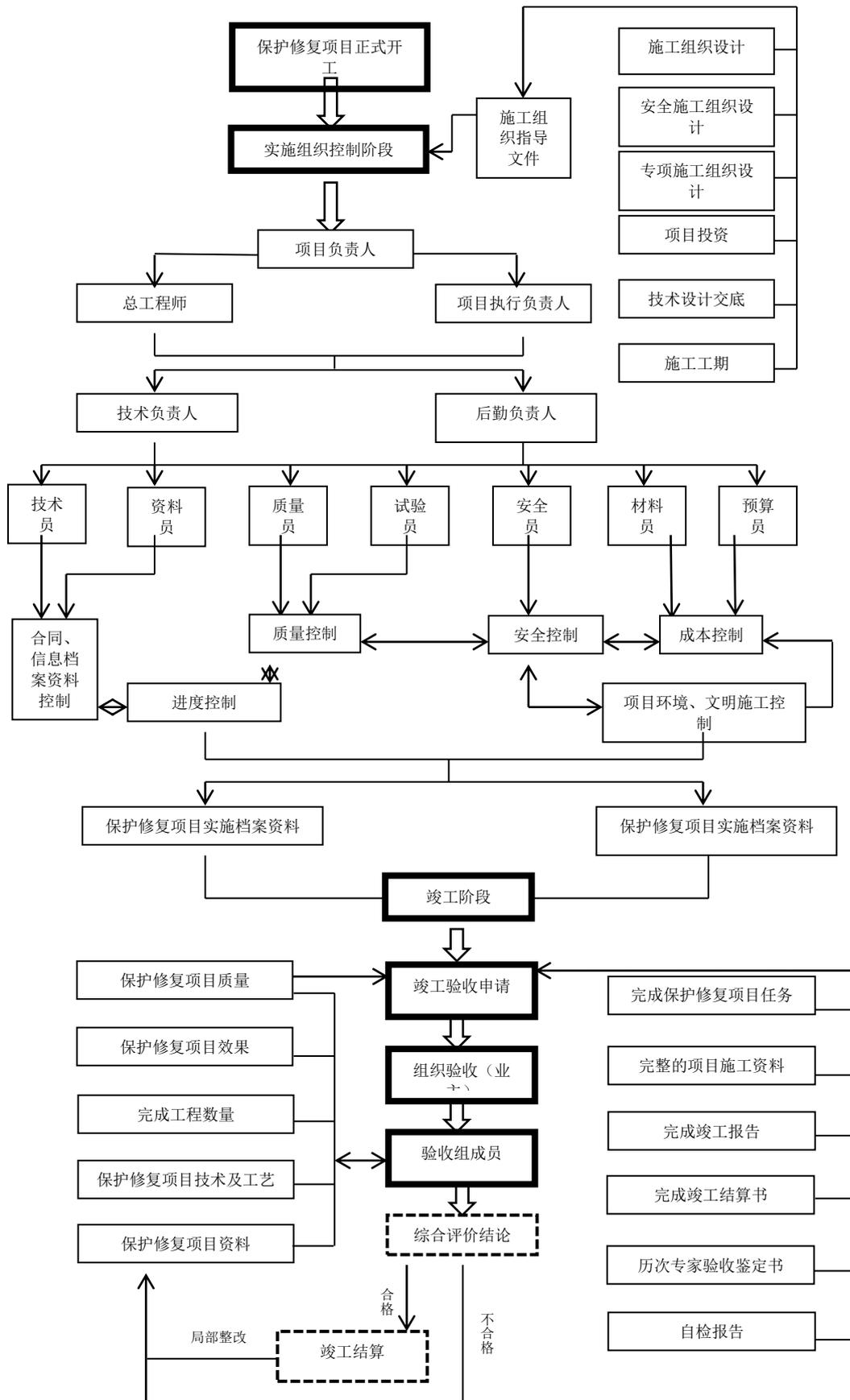


图2-5 壁画保护修复项目工程程序

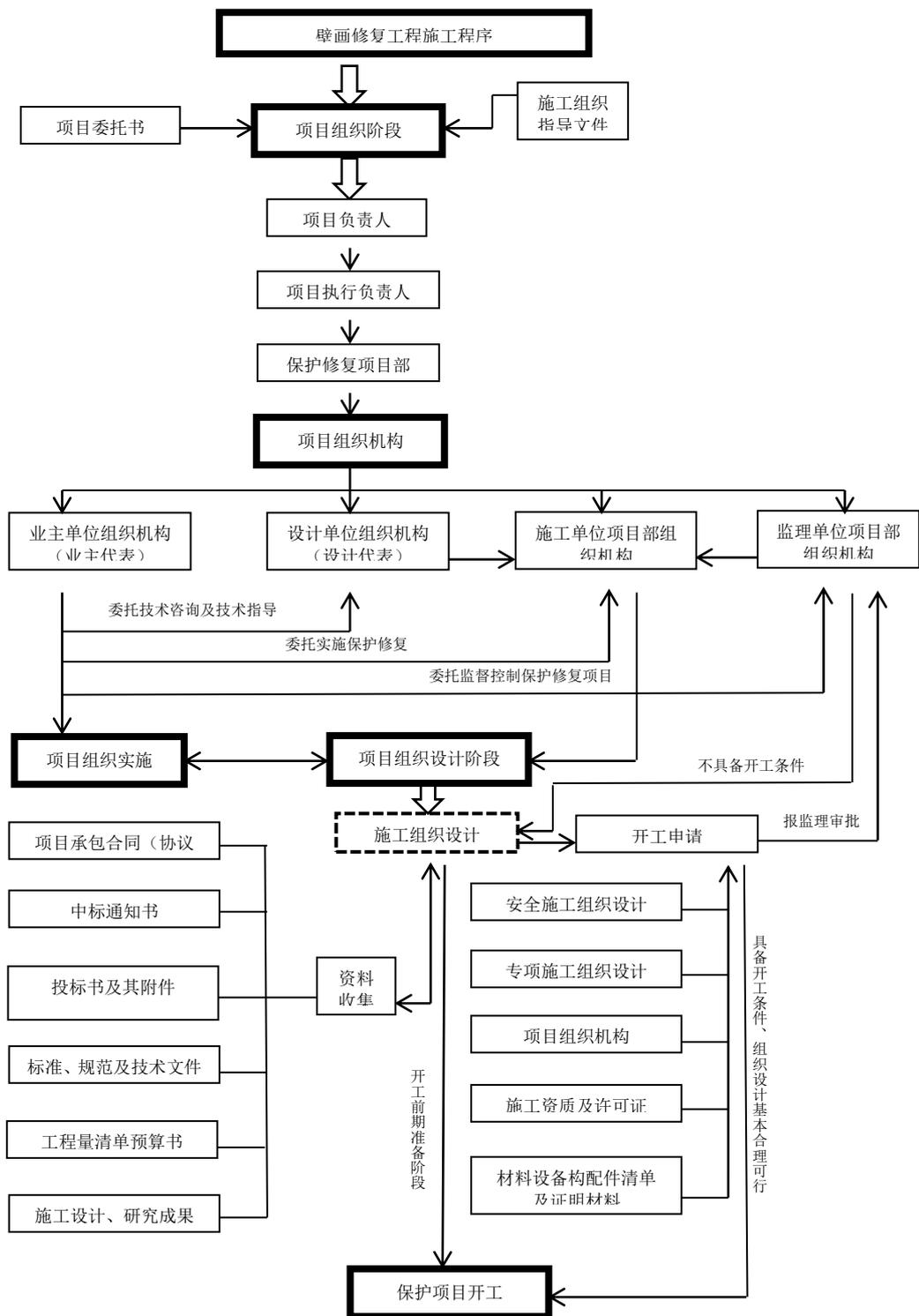


图2-6 壁画保护修复施工程序

(10) 壁画保护修复档案建设

在壁画保护修复过程中要做好修复档案的建设工作，为今后的保护和研究留下翔实

的资料。保护修复档案应当包括保护过程中所有的资料。

(11) 壁画保护项目评估

壁画修复过程中需进行多次保护项目的评估，发挥各学科专家的作用，确保保护措施的必要性和可操作性，利用最小的和适度的干预达到大家认为理想的保护状态。

(12) 壁画长期监测和日常维护

通过一次保护工程并不能解决所有的保护问题；保护工程的完工，并不是壁画保护工作的结束；长期监测和日常维护应贯穿壁画保护的全过程，是一种非常重要的预防性保护手段。

2.2.4 壁画保护项目的规范和技术要求

我国文物保护行业现已颁布的标准中，与壁画保护相关的标准主要有《古代壁画保护修复档案规范》（GBT 30235-2013）、《古代壁画保护修复方案编制规范》（GBT 30236-2013）、《古代壁画病害与图示》（GBT 30237-2013）、《古代壁画现状调查规范》（WW / T 0006-2007）、《古代壁画脱盐技术规范》（WWT 0031-2010）、《古代壁画地仗层可溶盐分析的取样与测定》（WWT 0032-2010）、《古代壁画可溶盐测定-离子色谱法》（WWT 0079-2017）、《古建筑壁画数字化勘察测绘技术规程》（WWT 0082-2017）等八个规范，其中国家标准三项，行业标准五项。

(1) GBT 30235-2013 古代壁画保护修复档案规范

规定了古代壁画修复档案记录的主要内容、档案记录使用材料与形式、档案书写要求、档案存档要求、档案封面格式等。其中，档案记录内容为核心部分，包括基本信息、现状调查资料、病害机理研究报告、保护修复材料和工艺筛选报告、设计（修复）方案及相关单位信息、保护修复过程记录资料、绘图资料、影像资料、自评估与验收资料、其他相关资料等。适用于我国古文化遗址、古墓葬、古建筑、石窟寺、近现代建（构）筑物的壁画以及馆藏壁画的病害调查和壁画保护修复工程。

(2) GBT 30236-2013 古代壁画保护修复方案编制规范

规定了古代壁画保护修复方案编写的基本信息、价值评估、前期调查与研究、保护

修复工作目标、保护修复技术路线及工艺措施、施工安全措施、工作量与进度安排、经费预算、保存条件建议、信息资料管理、方案委托及编制单位基本信息、各方签章。适用于我国古文化遗址、古墓葬、古建筑、石窟寺、近现代建（构）筑物的壁画以及馆藏壁画保护修复方案编制。

(3) GBT 30237-2013 古代壁画病害与图示

规定了古代壁画相关术语和病害的定义以及病害相对应的图示符号。适用于我国古文化遗址、古墓葬、古建筑、石窟寺、近现代建（构）筑物的壁画以及馆藏壁画的病害调查和壁画保护修复工程。

(4) WW / T 0006-2007 古代壁画现状调查规范

规定了古代壁画现状调查的工作内容、工作程序、工作方法和现状调查报告的相关格式。适用于我国古文化遗址、古墓葬、古建筑、石窟寺、近现代建（构）筑物的壁画以及馆藏壁画的保存现状调查和壁画保护修复工程。

(5) WWT 0031-2010 古代壁画脱盐技术规范

规定了酥碱壁画修复加固的脱盐工艺和空鼓壁画灌浆加固后的脱盐工艺。适用于古代壁画保护修复工程中关于酥碱壁画修复加固脱盐和空鼓壁画灌浆加固后的脱盐。

(6) WWT 0032-2010 古代壁画地仗层可溶盐分析的取样与测定

规定了古代壁画地仗层中可溶盐分析的取样和分析项目、分析方法。适用于古代壁画地仗层中可溶盐分析的取样和测定。

(7) WWT 0079-2017 古代壁画可溶盐测定-离子色谱法

规定了离子色谱分析在古代壁画主要可溶盐离子测定或脱盐效果评价中样品采集、处理和测定的方法。适用于古代壁画地仗中可溶盐种类及含量的离子色谱法测定。

(8) WWT 0082-2017 古建筑壁画数字化勘察测绘技术规程

规定了古建筑壁画数字化勘察测绘的基本规定、测绘工作、摄影工作、项目成果、质量验收等方面的要求。适用于以古建筑为载体的壁画的数字化勘察测绘工作。

3 壁画材料工艺与病害

3.1 壁画材料特性

3.1.1 支撑体

支撑体是壁画的骨架或支撑结构。壁画是建筑物的一部分，因此壁画的支撑体多决定于壁画的所属的建筑类型。

按照壁画所属建筑物的形式和用途可分为石窟寺壁画、寺观殿堂壁画和墓葬壁画。

- 石窟寺壁画

主要分布在我国丝绸之路沿线、西藏和其他石窟中。其支撑体是石窟的岩壁。我国石窟寺壁画的保存总量在各种类型壁画中是最多的。

石窟寺壁画的支撑体为各类崖体，但因地区不同，崖体岩石性能差别很大。即使支撑体同属砂岩，因胶结物含量、砂粒粒度和含量不同的不同引起的性能差异非常巨大。

- 寺观殿堂壁画

我国古代地上建筑如寺观、宫殿、民居中的壁画。这类壁画的支撑体为建筑物的墙体，如石墙、砖墙、土坯墙、夯土墙或荆条、竹片编织的隔截编道等。

- 墓葬壁画

装饰墓室和墓道墙壁的壁画。墓道壁画的支撑体一般为生土，而墓室壁画的支撑体为砖壁、石板壁或石条。

3.1.2 地仗层

在支撑体表面为绘画做准备的结构层，其作用是找平、防止开裂和为绘画的吸水、着色提供良好的表面。最常见的地仗是石灰地仗和草泥地仗。大多数墓室壁画采用的都是单层石灰地仗。石窟寺壁画和大部分寺观殿堂壁画多采用复合草泥地仗，即多重地仗。多重地仗一般由粗地仗和细地仗叠合而成。粗地仗起找平作用，其厚度不均，视支撑体表面情况不同而不同；细地仗的作用主要是防止开裂并为绘画提供良好的吸水和着色表面。细地仗可以有許多层。

石灰地仗和泥土地仗层中都加有植物纤维等补强材料防止地仗干裂，泥土地仗多使用谷物的秸秆、粗麻等，在靠近颜料层时也有用细麻、棉花等细纤维。石灰地仗一般只

用麻和棉等细纤维，而且用量少于泥土地仗。地仗层中加入的纤维种类及数量比例随壁画所处地区、制作年代、存在形态以及地仗层次部位不同而呈现出较大的差异，一般遵循“因地制宜、就地取材”的原则。

地仗的主要材料有以下几种：

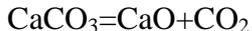
（1）黏土

黏土是世界上分布最广、使用最早、使用范围最广的建筑材料，也是壁画制作材料中最主要、最常见的材料。黏土本身既是填料又是黏合剂。黏土可以作为支撑体的主要材料，如土坯墙、夯土墙、墓道的生土、砖的生坯以及砌筑墙体时的砂浆；也可以作为地仗的主要材料，如草泥地仗、麻泥地仗；还可以作为颜料，如高岭土可以作为白色颜料使用。

（2）石灰与灰膏

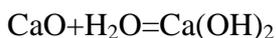
石灰是壁画材料中很常用的材料，仅次于黏土。

石灰是通过煅烧碳酸钙质的材料如石灰石、骨骼、贝壳等而成的：



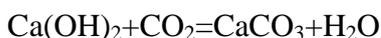
当碳酸钙被加热到850~900℃时发生以上反应，形成氧化钙，称生石灰。

生石灰加水变成熟石灰后才可以使使用。石灰加适量的水成为石灰粉（氢氧化钙），加过量的水成为熟石灰，俗称灰膏：



石灰粉与熟石灰化学成分相同，但工作性质却不同。石灰粉为固体，与填料混合后无法直接使用，需加水使之成为砂浆才可使用。而灰膏本身为膏体，易于与填料混合，使用方便；且由于水分子的存在，可排除石灰和填料之间的空气，使石灰和填料之间的结合更加紧密。

熟石灰吸收空气中的二氧化碳而硬化：



（3）石膏

我国新疆地区一些石窟附近存在石膏矿，因此这些石窟的壁画和地面装饰有一部分是以石膏为地仗的。

自然界的石膏有两种主要形式：透明石膏和硬石膏。透明石膏含有2个结晶水，比重 2.3kg/m^3 ，其天然状态为大片的像玻璃一样透明的晶片或密实的微小晶体形成的颗粒。硬石膏又称无水石膏，密度为 $2.8\sim 3.0\text{kg/m}^3$ ，呈密实的晶体或砂糖状。暴露在空气中的无水石膏缓慢吸收水分形成透明石膏，同时体积增加。市场供应的石膏是透明石膏经过焙烧失去结晶水成为粉末状半水石膏和无水石膏的混合物。在使用时需在混合物中加入一定量的水使其凝固，凝固过程中温度上升，体积膨胀。这种凝固过程形成的晶体小，排列秩序混乱，因此不透明。石膏本身既是填充物又是黏合剂。

(4) 纤维

古代壁画在制作过程中大都掺有有机纤维，一则减少开裂，二则增加透气性。有机纤维分为动物纤维和植物纤维，动物纤维主要成分为蛋白质，植物纤维主要成分为多糖。动物纤维中常用的有头发、羊毛等；植物纤维中常用的有麦草、稻草、麻、棉、纸等。我国壁画地仗中的有机纤维主要是植物纤维。

(5) 沙子

作为填料，其作用是提供地仗的体积，主要成分为二氧化硅，是典型的惰性材料。沙子不能单独使用，必须由黏合剂如黏土或石灰将其黏合在一起。沙子与黏合剂的比例是决定地仗性质的关键，比例过低则地仗容易开裂，过高则容易粉化。

3.1.3 颜料层

颜料层是壁画艺术中最精彩的部分，所用颜料按照来源可以分为天然无机矿物颜料、天然有机染料和人造颜料等；按颜色可分为红色、蓝色、绿色、白色、黄色、黑色、金色等。

(1) 红色颜料

古代壁画中常用的无机矿物红色颜料有赭石、铅丹、朱砂等，主要的有机染料有胭脂。赭石化学式 Fe_2O_3 ，又名土红、铁红等，呈暗红色，天然赭石一般含有大量白垩、石英、滑石、高岭土等伴生黏土矿物，在敦煌早期洞窟的壁画和彩塑中应用最多、最普遍，至晚唐五代以后赭石颜料已经可以从赤铁矿中大量制得。铅丹化学式 Pb_3O_4 ，又名红丹、红铅，橙红色，性质极不稳定，壁画中的铅丹容易变黑、变暗，是因为 Pb_3O_4 变

成棕黑色的二氧化铅（ PbO_2 ）。朱砂化学式 HgS ，是古代广泛使用的红色颜料，纯天然朱砂颜色鲜红，但因其含杂质，颜色呈褐红，光泽暗淡。

（2）蓝色颜料

古代壁画常用蓝色颜料有青金石、石青、群青等。青金石分子式 $((\text{Na,Ca})_{7-8}(\text{Al,Si})_{12}(\text{O,S})_{24}[\text{SO}_4,\text{Cl}_2(\text{OH})_2])$ ，是一种昂贵的天然矿物颜料，在我国许多石窟寺壁画如麦积山、炳灵寺、云岗、克孜尔石窟、云岗、敦煌壁画上都有使用青金石，有关文献资料记载我国还未发现青金石产地，古代的青金石颜料可能是从阿富汗、印度等国传入中国。石青分子式 $[\text{2CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2]$ ，又名蓝铜矿，是铜矿的次生矿物，常与孔雀石、赤铜矿、自然铜共生。群青分子式 $\text{Na}_6\text{Al}_4\text{Si}_6\text{S}_4\text{O}_{20}$ ，是人造矿物颜料，诞生于19世纪20年代，此后逐步取代稀缺的蓝铜矿作为蓝色颜料使用。除上述蓝色无机矿物颜料外，古代壁画中还常用到蓝色有机染料靛蓝，用蓼蓝以及菘蓝、木蓝、马蓝等含有吡咯酸成分的植物叶子发酵制成，分子式 $\text{C}_{16}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2$ 。

（3）绿色颜料

古代壁画常用蓝色颜料有石绿、氯铜矿、巴黎绿等。石绿分子式 $[\text{2CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2]$ 、产于天然矿物名孔雀石，是一种昂贵的天然矿物颜料。氯铜矿分子式 $[\text{CuCl}_2\text{3Cu}(\text{OH})_2]$ ，是铜矿的次生矿物，在自然界中常与石青、石绿共生在一起，且储量稀少，氯铜矿也是一种铜锈，在古代可通过铜生锈制得，也被画家称为铜绿。克孜尔石窟得绿色颜料通过分析应为人造的氯铜矿，说明在公元三世纪时，新疆地区已经开始使用人造氯铜矿作为绘画颜料。巴黎绿分子式 $[\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2\text{3Cu}(\text{AsO}_2)_2]$ ，是一种人工合成绿色颜料，1814年首先在德国合成，晚清传入中国，常见于清代以后建筑壁画或彩画。巴黎绿对酸、碱不稳定，遇 H_2S 变黑。

（4）黄色颜料

古代壁画常用黄色颜料有土黄，分子式 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{3Fe}(\text{OH})_3$ ，主要成分是 Fe_2O_3 和氢氧化铁 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，是褐铁矿被风化的黄色土状物，包在黄金石外面的土黄色。石黄又分为雌黄（ As_2S_3 ）和雄黄（ As_2S_2 ），雌黄呈柠檬黄，晶体形态常呈短柱状、板状或片状；雄黄呈橘红色，晶面为金刚光泽，断口显油脂光泽，透明到半透明。黄丹，分子式 PbO ，又名密陀僧，亮黄色颜料。

(5) 白色颜料

古代壁画常用到的白色颜料有：石膏分子式 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，通常为白色、无色，无色透明晶体，有时因含杂质而成灰、浅黄、浅褐等色，主要用于古代壁画的白色地仗颜料和与其他颜料的配色；硬石膏分子式 CaSO_4 ，呈透明、无色或白色，因含杂质而呈灰色，比石膏致密而坚硬；方解石分子式 CaCO_3 ，又名白垩，是无色透明或白色半透明柔软质感的白色无机颜料，从汉、魏以来主要作为壁画颜料使用；高岭土 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，多无光泽，质纯时颜白细腻，如含杂质时可带有灰、黄、褐等色，是岩石中的长石通过化学作用，被碳酸或水分解、风化的过程中形成。

(6) 黑色颜料

我国古代壁画中常见的黑色颜料有炭黑，是一种无定形碳，具有石墨的层状结构，但晶粒微小，层间排列无序，堆积不规则。

(7) 金色颜料

为了显示壁画的重要性或突出某些形象往往会在重要部位贴金或镶嵌宝石。这种情况在宗教壁画中十分普遍，寺观壁画中神、佛的脸部、皮肤许多都是贴金的，菩萨、飞天、侍女的钗环璎珞等装饰物品也有不少是沥粉贴金的，有时还镶有宝石等。隋代以后，壁画、彩绘上开始使用金箔、金粉以及“沥粉堆金”，使色调更为辉煌富丽。

(8) 颜料中的胶结材料

由于矿物颜料本身不具备黏结性，在作画时需要一定的展色剂和固色剂，以使颜色颗粒具有黏合性和附着性。因此，使用时必须与适量的胶水调和以使颜料颗粒相互黏结，并作为敷体附着于地仗层上。古代壁画使用的胶结材料分为动物胶和植物胶两大类。动物胶用马、牛、驴、猪、鱼等动物的皮、骨熬制而成。常见的动物胶有明胶、阿胶、皮胶、骨胶、鱼胶等，一般都含有胶原蛋白质。植物胶有淀粉糊、阿拉伯树胶、桃胶、大漆等，一般含有植物蛋白质。动物胶和植物胶都是天然的有机高分子化合物的混合物，其分子量大、分子结构复杂，具有易老化、易分解，热稳定性和光稳定性差等特点。

3.1.4 表面涂层

涂刷在画层表面的结构层，又称封护层，其作用一方面是保护壁画，另一方面是提

高壁画颜色的饱和度。

3.1.5 其他

为了显示壁画的重要性或突出某些形象往往会在重要部位贴金或镶嵌宝石。这种情况在宗教壁画中十分普遍。寺观壁画中神、佛的脸部、皮肤许多都是贴金的，菩萨、飞天、侍女的钗环璎珞等装饰物品也有不少是沥粉贴金的，有时还镶有宝石等。

3.1.6 绘画工艺

绘画的程序分为起稿、勾线、着色三个步骤。

(1) 起稿

北魏以来，壁画多先用土红打线定出画面范围或中线。之后，画师用柳木制成画笔，可在壁上直接画底稿或修改画稿。还有一种是利用“粉本”起稿的方法，一般称之为过稿。粉本又叫谱子，就是通常所说的画稿。这种过稿的方式在汉唐以来非常流行。粉本的制法，是把创作图案精确地眷在坚韧的白麻纸上，或羊皮上，顺着画面的墨线，用针扎成连续的小孔，俗称“扎谱子”。过稿时将粉本置于画壁上，再用白土粉或红土粉做成纱布包拓印，使画稿图案印于地仗层上。粉本的另外一种使用方法是拓稿。先用木炭条在粉本的背面依照线条勾描一遍，翻过来铺于墙壁上，用干布巾于正面用力抹，揭开粉本之后，画面的形象便印在壁面上了。

(2) 勾线

也称“落墨”。起稿经修改后，先用淡墨勾出初稿，再用墨笔勾线定稿。勾线是绘制壁画的重要技巧，各代著名画师都有自己独特勾线技巧和风格。

(3) 着色

勾线完成后，即按画稿拟订的色彩进行着色，完成壁画的绘制程序。一般壁画内容浩繁，构图宏大，一副大型壁画通常需要很多人同时参加绘制，基于这种需要，主画师就要统观全局，规定题材内容所应配备的色彩，在画面上的图案上标明所要着色的代号，以便帮助画工们填色。如“红”色用“工”字代替，绿色用“六”字代替等。这些简化了的符号是为了省去写繁体字的时间。这些代号是：工红、六绿、七青、八黄、九紫、十黑、一米色、二浅青、三色香（茶褐）、四粉红、五藕荷（浅紫）。此外，画师还将颜色由

深及浅划分为大、二、三等等。如深蓝为“大七”，正蓝为“七”，“二七”为浅蓝，再浅的蓝称为“三七”，以此类推。

(4) 沥粉贴金

是古代绘制壁画的另一种方法。它是用白垩粉、熟桐油、糯米汤调制成稀胶液装入特制的具伸缩性的袋状容器中，使用时挤压容器使胶液通过细铜管，沿画稿的轮廓线流出，待胶液稍干，贴上金箔或洒金粉末，则胶液所到之处即为金色线条。

3.2 壁画病害原理

壁画在长期保存过程中形成了多种多样的病害，这些病害的形成原因既有壁画自身的内部因素，也受外部环境和人为因素的影响。壁画自身结构和材料是壁画病害产生的内因，外部自然环境中的降雨、温湿度、太阳辐射，积尘、有害气体、可溶性盐、有害生物等影响加剧了壁画材料的损毁程度和速度，人类的破坏性活动也会给壁画带来程度不同的损害。

3.2.1 支撑体

支撑体（墙体）作为承载壁画的主要载体，是石、砖、土、木等多种材料的混合结构，常见支撑体类型主要包括砖墙、片石墙体、泥坯墙、竹篱笆墙体等，屋面形式与建筑构造是刚性屋面与弹性支撑结构的关系。

(1) 寺观壁画支撑体

寺观壁画墙体多为土坯墙，墙体内有木结构支撑，由于土坯自身材料的力学性能，其抗压强度较大，但其抗拉、抗剪强度均较小，土坯墙建筑屋面上的全部荷载均通过梁和檩条由屋顶沿墙体直到基础进入地基，靠近墙体基础的土坯受到自重的应力最大，基础部位容易产生裂隙，建筑内游客走动过程中产生的震动加剧墙面开裂。地震或人为活动震动引起的地基发生沉降后，墙体在厚度方向上的应力发生变化，致使墙体沿高度方向在平面范围内产生弯矩，造成墙体内凹或外鼓，引起墙体开裂、变形、坍塌等。

(2) 石窟壁画支撑体

洞窟围岩是壁画的天然支撑体，需要具备足够的力学稳定性。石窟岩体在活动性强烈的大构造及不同构造单元的交接带、大断裂带附近、褶皱轴部、各种软弱结构面易发

生岩体崩塌，崩塌的发生和发展多受水文地质条件控制，地下水与岩石之间发生的以溶解作用为主，并伴有水解、水合、氧化—还原等多种作用形式的化学反应，其结果是造成岩石微观结构变化，矿物成分的改变或流失，岩石结构疏松、空隙和裂隙发育、矿物颗粒破坏并“黏粒”化，导致沙砾的胶结结构破坏为破碎松散岩体。当大量雨水渗入岩体内，使岩体潮湿软化，抗剪强度降低，容重增大，润湿滑动面，从而诱发或促进崩塌的产生。地震力的反复振动冲击岩体原有的软弱面产生裂缝和断崖，从而助长了雨水渗透，促进了岩体裂缝的发育，导致围岩体破坏。

（3）墓葬壁画支撑体

墓葬壁画支撑体主要为原生土，水、可溶盐、微生物及植物等都会对墓葬壁画支撑体产生破坏。雨水、冷凝水或地下水通过微孔进入土体，温度降低后土体微孔中的水生成冰晶，水结冰后体积膨胀约百分之十，冰晶继续生长而形成的大冰柱，由此冰晶膨胀造成土体结构破坏。地下水中一般含有大量的可溶盐，随着土壤水活动运移到墙体表面，环境干湿循环的变化使其在微孔中形成盐结晶，结晶后体积增大产生应力破坏土壤微孔结构，重复的盐的溶解和结晶使墙体粉化。土体中存在大量的微生物，微生物代谢产物含有机酸，溶在水中会提高水的侵蚀性，从而消耗土壤矿物质促进分解。高大植物的根在地下分布深而广，形成庞大的根系，比地上的枝叶系统还发达。可谓“根深叶茂”“树大根深”，随着根系不断地长大，对土壤产生挤压直接造成墓葬壁画墙体应力破坏。

3.2.2 地仗层

壁画地仗层指支撑体和颜料层之间的部分，不同地域、不同时代、不同建筑制作壁画地仗层使用材料不同，如西藏壁画地仗层主要为土和沙子，含沙量较高，内地壁画地仗层一般分为三层即粗泥层、细泥层、白底层，粗泥层含有麦草，细泥层含有棉絮或毛发等物。

（1）地仗空鼓

墙体与地仗层局部剥离形成空鼓，形成空鼓的原因：一是最初制作地仗层时，地仗层与墙体收缩不一致形成的空腔，二是由于地震或人为震动造成地仗层与墙体分离，空鼓发生后，空鼓部位就会被脱落的墙体及地仗填充，随着脱落物的增加，空鼓面积不断向四周扩大，可能导致壁画整体脱落，造成不可修复的损害。

（2）地仗层酥碱

酥碱病害被称为壁画的“癌症”，盐作用包括结晶风化、结晶压力困、水合压力、吸湿膨胀和温升膨胀造成的应力。盐都有降解的基本趋向，尤其是水溶性盐。可溶盐的自

发结晶是浓度和温度的函数。盐水合后体积膨胀,会产生较大压力。如果温度变化较大,盐会温升膨胀,例如NaCl由20℃升到60℃体积膨胀0.8%。盐膨胀是地仗破坏最主要的因素,病害产生的原因主要是在水的作用下,壁画地仗中大量的可溶盐聚积,受相对温度、湿度的影响,不断地溶解、结晶,恶性循环导致地仗酥碱。地仗中可溶性的盐来源于壁画所依托的地质背景、土壤和制作壁画时所使用的材料,而盐分的活动既和壁画的制作材料和工艺有关,也与古建筑附存的环境状况密切相关。盐分引起的壁画病害往往是一种或几种盐的共同作用的结果,这些可溶盐因环境变化所发生的溶解和结晶伴随着一系列复杂的物理化学过程。

3.2.3 颜料层

(1) 褪色、变色

壁画大多采用天然矿物颜料,也使用少数天然植物颜料和人造合成颜料。植物颜料和合成颜料受太阳光中的紫外线照射发生老化引起颜料褪色,当紫外光照射到某物质时,带有能量的微粒或量子与物质中的电子相撞,将能量转移给电子,引起光化学反应。许多化学键键能及分子的基态与最低激发态之间的能级差都在紫外光具有的能量范围内,因此紫外光能引起许多物质的光化学反应。只有被物质吸收的光才能有效地引起光化学反应。铅白和铅丹吸收紫外光能量 $h\nu$ 变成了激发态分子,受激分子具有较高的能量,使Pb容易失去最外层的2个6s电子而被氧化成PbO₂。铅白和铅丹矿物颜料可与环境中的酸性气体H₂S发生反应生成新的蓝黑色的PbS。

(2) 疱疹状病害

壁画表面泡状突起,直径大的一般约3毫米,小的1毫米左右;高约1-2毫米不等。疱疹脱落后形成一个个小坑,对壁画造成很大的损伤。大部分疱疹盐结晶的主要成分以Na、Cl元素为主,少部分疱疹中含有Mg、Ca、S等元素。另外,疱疹中Na和Cl以及S和Ca元素具有良好的比例对应关系。莫高窟壁画疱疹中的无机盐主要由易溶盐NaCl构成,少量疱疹还含有CaCl₂、MgSO₄、CaSO₄等可溶盐或中溶盐。NaCl在地仗中原来的存在量较少,是由水的侵入而将大量的NaCl带入,水分蒸发后NaCl在壁画表层结晶析出将颜料顶起形成“疱疹”状。

(3) 起甲

壁画起甲是一个物理化学过程,以物理过程为主,影响的因素很多,最主要的是水分蒸发,而影响水分蒸发的因素有两点:一是壁画自身的材料成分,二是壁画所处的气

象环境（温度、湿度等），相对于湿度而言，温度变化更容易引起起甲病害，起甲壁画可分为四类——龟裂起甲、泡状起甲、片状起甲和酥碱起甲，前三种都是由于粉层或颜料层发生起甲，而酥碱起甲是由于地仗层酥碱脱落导致壁画颜料层失去支撑发生的起甲。壁画起甲的过程，热膨胀变形和受湿气膨胀同时发生，壁画在温度场中，受温差影响出现了明显的膨胀起甲现象，当起甲达到一定程度时，在外力作用下壁画就会出现脱落。

（4）人为破坏

人们在庙宇殿堂进行一些正常的佛事活动，燃香、烧纸产生的黑色烟雾富集在壁画表面。许多古建筑为集体所有，曾经作为学校、会议室、仓库、居住场所来使用。在作为学校的使用过程中，建造黑板和学生的日常活动对这些壁画带来了程度不等的人为损毁。壁画上被乱涂乱画，留下大小不等的孔洞。在用作居住场所的过程中，为了保持建筑内的整齐干净，使用扫帚、刷子对墙上的壁画用力刷除，使壁画颜料大部分被清除掉，留下了多道深深的划痕。农村中很多古建筑被用作仓库来堆放杂物，这些杂物在壁画上留下很多划痕。战争期间，古建筑被用作军事据点，发生了战争、火灾等极端人为损毁。

（5）动物粪便

古代壁画的颜料层一般为矿物颜料添加动物胶或者植物胶，动物胶是蛋白质胶黏剂中的一种，其分子结构是由多种氨基酸分子以肽键连接起来的高分子，其中主要的几种氨基酸是水溶性的，经聚合和交联，形成不易断裂的链状和网状结构，因而具有较高的机械强度，大部分不耐水、不耐菌虫腐蚀。植物胶以植物中的植物蛋白、纤维素、木质素、葡萄糖衍生物等为基体的胶黏剂，不耐水，遇水发生溶胀转变成粘稠的非牛顿型流体。鸟类在壁画所在墙体的上部筑巢，其粪便严重污染画面，粪便中水分和化学物质能溶解壁画颜料层的胶料。

3.3 壁画基本病害类型

3.3.1 壁画病害机理的研究方法

壁画产生的地仗空鼓、颜料层起甲、地仗酥碱等病害，与壁画的制作材料和工艺、壁画载体中的含水量、易溶盐种类及含量、壁画的保存环境等多重因素有关，通常是多种因素耦合的结果。病害机理的研究必须与现状调查、文物的保存环境、人为干涉等因素紧密结合，在研究中一般采用直接验证法。

直接验证法的特点是已知或假设壁画病害的发生、发展是由一种或多种因素的反复

变化所导致，而后设计试验装置进行模拟试验，制作与壁画材质相同或相近的模拟试块，提供与现存壁画相同的环境条件，设定一定循环周期，再现病害的发生和发展过程，实现与壁画现存病害相同或相近的结果。模拟过程中的监测与分析可确定哪些因素是诱发病害的主要条件，确定影响因素的临界值。

因此，在病害机理的研究过程中，在模拟试验前必须明确以下几个方面的内容。

1)壁画的结构和组成，不同层位的厚度，层与层间的结合方式、状况等。

2)壁画支撑体的结构、类型及特征，包括支撑体制作材料的物理化学组成，物理力学特性，支撑体的工程地质特性，支撑体中水分含量、易溶盐类型及含量等。

3)壁画地仗的结构、地仗土的类型及特征，包括地仗土制作材料的化学组成、物理力学特性（密度、颗粒密度、粒径、加筋材料的种类及含量、孔隙率、含水率、界限含水量、收缩性、膨胀性、力学强度等）。

4)壁画颜料的种类（有机颜料、无机颜料）和化学组成（矿物成分），胶结材料的类型及相对含量等。

5)壁画保存环境的周期性监测数据，如大气环境指标、区域温湿度监测数据、壁面温湿度变化的定期监测数据等，由此确定可能导致壁画发生病害的环境因子的阈值或诱发某类因素发生变化（如水汽运移、易溶盐的溶解与结晶过程等）的临界值。

6)历史上可能引起病害发生的重大事件（如洪水、地震、人为破坏），保护措施不当可能诱发某种病害的条件等。

3.3.2 壁画主要病害类型和成因

壁画病害的定义主要是针对病害的表现形式、外貌来确定的，其机理有时候作为补充说明。目前较为常见的壁画病害类型包括地仗脱落、空鼓、酥碱、起甲、盐霜、颜料层脱落、裂隙、霉变、泥渍、刻划、烟熏、动物损害、植物损害、微生物损害等。

1) 龟裂：壁画表面微小的网状开裂现象，通常由于壁画颜料层、底色层或地仗表面泥层内所含胶质材料过多，或因为地仗层的收缩变化等原因而引起。

2) 起甲：壁画的底色层或颜料层发生龟裂，进而呈鳞片状卷翘。

3) 泡状起甲：画颜料层、底色层呈气泡状鼓起、破裂和卷曲起翘。

- 4) 粉化：壁画颜料层由于胶结力丧失，呈颗粒状脱落的现象。
 - 5) 颜料层脱落：颜料层脱离底色层（依附层）或地仗层。
 - 6) 点状脱落：底色层脱离地仗层或颜料层脱离底色层呈点状（直径不大于2mm)脱落的现象。
 - 7) 疱疹：可溶盐在地仗层和颜料层间富集，并推顶颜料层呈疱状突起。
 - 8) 疱疹状脱落：疱疹病害发生后，将颜料层或底色层顶起形成的疱状突起产生脱落的现象。
 - 9) 裂隙：因地兵、卸荷、不均匀沉降等因素的影响，使支撑体失稳，致使壁画地仗开裂或错位、相互叠压或因为壁画地仗层自身的变化而产生缝隙、错位、相互叠压的现象。
 - 10) 划痕：外力刻划使壁画画面受到损害。
 - 11) 覆盖：壁画表面被其他材料（如石灰等）所涂刷、遮盖。
 - 12) 涂写：壁画表面上人为书写或刻画。
 - 13) 烟熏：壁画被烟火或香火熏污的痕迹。
 - 14) 盐霜：盐分在壁画表面富集形成的结晶，俗称“白霜”。
 - 15) 酥碱：壁画地仗中的可溶盐，随环境湿度变化而溶解、结晶，所产生的膨胀收缩反复作用使壁画地仗结构破坏而产生的疏松状态。
 - 16) 空鼓：壁画地仗层局部脱离支撑体，但脱离部分的周边仍与支撑体连接的现象。
 - 17) 地仗脱落：壁画地仗层脱离支撑体而掉落。
 - 18) 褪色：壁画颜料的色度降低，由鲜明变暗淡，由深变浅。
 - 19) 变色：壁画颜料色相的改变。
 - 20) 水渍：因水侵蚀在壁画表面留下的沉积物或痕迹。
 - 21) 泥渍：泥浆在壁画上留下的痕迹。
 - 22) 动物损害：虫、鸟、鼠等动物活动对壁画造成的各种破坏。
 - 23) 植物损害：植物的根系枝条进入壁画结构体内而对壁画造成的破坏。
 - 24) 微生物损害：微生物的滋生对壁画表面产生的伤害。包括“菌害”、“霉变”等。
- 根据不同病害发展趋势及其对壁画类文物稳定性的影响，将病害活动性质划分为：

a) 稳定病害：病害已经产生或存在且不再继续发展和蔓延，不会对文物稳定性产生影响的病害类型；

b) 活动病害：病害已经产生或存在且继续发展和蔓延，对文物稳定性产生影响的病害类型；

c) 可诱发病害：病害已经产生或存在且不再继续发展和蔓延，在外部条件（如保存环境改变）激发下可能导致文物病害发展，引发其他病害产生的病害类型。

病害活动性质划分见表3-1。

表3-1 壁画类文物病害活动性质划分

序号	病害名称	病害类型		
		稳定病害	活动病害	可诱发病害
1	龟裂		√	√
2	起甲		√	√
3	泡状起甲		√	√
4	粉化		√	√
5	颜料层脱落		√	√
6	点状脱落		√	√
7	疱疹和疱疹状脱落		√	√
8	裂隙		√	√
9	划痕	√		
10	覆盖			√
11	涂写	√		
12	烟熏	√		
13	盐霜		√	√
14	酥碱		√	
15	空鼓		√	√
16	地仗脱落			√
17	水渍	√		
18	泥渍			√
19	钙化土垢	√		√
20	变色		√	√

21	微生物损害		√	√
22	表面污染	√		√
23	磨损	√		
24	地仗层破碎		√	√
25	地仗层疏松		√	√
26	支撑体变形		√	√
27	石膏支撑体断裂	√		
28	木龙骨支撑体病害		√	√
29	开胶		√	
30	错位	√		

3.3.3 壁画支撑体和保存环境特性对壁画的影响类型和成因

壁画支撑体特性对壁画的影响类型和成因

支撑体和地仗层是壁画赖以存在的基础，影响壁画安全稳定的决定性因素之一。壁画根据其支撑体、地仗层的结构和制作方法不同可分为殿堂壁画、墓葬壁画、石窟壁画和馆藏揭取壁画。因支撑体的不同，壁画的保存状态、病害类型也各有差异。

(1) 殿堂壁画

殿堂壁画一般大都绘制在殿周墙壁上。支撑体墙身多用土坯（未烧制的砖坯）、块石或青砖砌筑，外摸泥皮，施以白粉然后作画。由于建筑整体结构的不均一性，长时间的自然风化造成建筑本体的沉降、变形、错位及坍塌漏雨等现象，进而影响建筑内壁画的保存。建筑的变形、沉降造成壁画的开裂、空鼓、地仗破碎及脱落等结构性病害；墙体的潮湿酥碱将直接引发地仗层的酥碱粉化及颜料层的脱落；坍塌漏雨现象则会造成建筑内壁画的表面水渍、泥渍等污染。

(2) 石窟壁画

石窟壁画即绘制在洞窟内的壁画，其支撑体多为石窟岩体。石窟壁画的病害发育，首先与石窟地质结构有直接关系。石窟地质病害是由于自然地质环境引起的病害，如裂隙切割掉块、渗水、风化等。

1) 裂隙病害

因地震、卸荷、不均匀沉降等因素的影响，使支撑体失稳，致使壁画地仗开裂或错位、相互叠压；或因壁画地仗层自身的变化而产生缝隙、错位、相互叠压的病害现象。

- a. 裂隙切割破坏。为渗水提供通道。石窟岩体内发育的裂隙有层面裂隙、构造裂隙、卸荷裂隙和风化裂隙。在大风、沙尘、降水、温差、干湿、冻融、地下水静水压力和地震等共同作用下，裂隙深度加深，裂隙间距张开变宽。裂隙相互交切，形成了具有贯穿性的切割面、滑动面、稳定性差的危岩体。有些裂隙已发育到龕窟内，使洞窟岩体产生开裂、变形、错位，甚至崩塌垮落，对壁画本体构成严重破坏。裂隙交切还构成了石窟岩体中的渗水网络，产生渗水病害。
- b. 岩体失稳造成的地仗脱落。由于石窟赋存的崖壁陡峻，岩体在重力作用下朝临空面产生位移变形。造成上部岩体拉裂，从而有失稳滑塌的趋势。

2) 石窟渗水

一般为季节性、临时性渗水，水源是大气降水。雨水沿层面裂隙、卸荷裂隙及构造裂隙交切形成的渗水网络通道下渗，在窟壁出露形成渗水病害。渗水的侵蚀方式有溶蚀、软化岩石强度、沉积覆盖及诱发微生物破坏等。水的存在或作用加剧了造像载体岩体的风化破坏。此外还包括洞窟下部接近地下水位，由于毛细上升作用使洞窟的中下部长期处于饱和潮湿状态，造成洞窟中下部的酥碱和严重风化。毛细水作用诱发盐类积聚、石窟载体强度壁画开裂垮塌等破坏。

3) 风化病害

是指地表或接近地表的坚硬岩石、矿物与大气、水及生物接触过程中产生物理、化学变化而在原地形成松散堆积物的病害现象。风化包括物理风化和化学风化。物理风化是指岩体受温差作用、干湿变化、风的磨蚀作用等的影响，产生大量的微裂隙，使表层变得疏松，或颜料呈粉末状剥落、剥蚀破坏。化学风化主要是指水溶液在与壁画中的矿物进行化学反应的过程中，使壁画的结构构造遭到破坏，成分受到改造，并产生一些在地表条件下稳定的新矿物。石窟的风化直接造成壁画龟裂、起甲、酥粉及脱落等问题。

(3) 墓葬壁画

墓葬壁画是绘制于古代墓室中的彩绘画面。根据墓室结构不同分为砖室墓壁画、土

洞墓壁画和石室墓壁画。由于墓葬壁画多沉封于地下，除结构变形外，环境单一稳定，受到最主要影响就是地下水的侵蚀，因此壁画多存在水渍泥渍污染及水盐腐蚀等破坏。

(4) 馆藏揭取壁画

目前大部分壁画由于各种原因无法进行原址保存而迁移揭取保护，馆藏壁画随之出现，近年来有关其支撑保护问题已成为馆藏壁画保护中的重要研究方向。

由于大部分墓葬壁画地仗为黏土材料，易吸收墓葬中的水分软化，丧失强度，在揭取之前已处于濒危状态；壁画经过抢救性揭取、迁移、修复，要经历许多人为干预过程，不同时期所用保护修复材料和工艺水平的局限，导致壁画在新的保存环境中又出现新的病变；其中最为典型的的就是壁画支撑体，由于其选用材料、制作工艺等方面的不当，使壁画出现了许多问题。

1) 石膏支撑体：质量大，不耐水，潮湿环境下易溶解；力学强度低，易产生断裂。

2) 木龙骨支撑体：质轻，吸水性强，易燃，易受菌类、昆虫和微生物的腐蚀，湿胀干缩性强，热膨胀系数大，在温湿度波动较大条件下会产生物理变形和开裂；抗弯抗压强度高。

3) 铝合金支撑体：质轻、耐腐蚀；各项力学强度高。

4) 蜂窝铝板支撑体：质量最轻、耐腐蚀、整体性好、使用方便。

壁画的支撑体起着承载壁画的作用，使壁画能够安全稳定的保存，它是壁画赖以存在的基础。壁画支撑体存在变化直接影响壁画病害产生及发展。

保存环境特性对壁画的影响类型和成因

壁画从制作之初就受其周边环境的影响，病害的产生是离不开其所处的环境特征的。环境对壁画的影响相对人为因素和自然灾害而言，是缓慢而复杂的，各种因素相互交织，共同造成壁画的病害。了解壁画保存环境特性对壁画的影响类型对于确定壁画病害产生的机理和从根本上治理病害是必不可少的。

(1) 温湿度

文物的老化、腐蚀主要是各种化学反应的结果，根据阿仑尼乌斯（Arrhenius）经验公式，每当温度升高 10°C ，反应速度增加2-4倍。温度的变化同时会引起文物的热胀冷缩，导致文物变形甚至崩裂。对于壁画这类多层复合材质而言，温度的变化波动必然造

成不同材质胀缩的差异,进一步造成分离和脱落。此外,温度的升高会增加生物活动性,加快霉菌滋生、昆虫繁殖速度,从而加快生物对壁画胶结材料(特别是有机质材料)的腐蚀。同时,文物存在于某一温度下有一缓慢的适应过程,若温度频繁波动,会使文物频繁热胀冷缩而引起疲劳老化。

湿度对文物的损害,有因其参与导致的化学变化,也有因其急剧变化,干湿交替引发的扭曲变形等物理影响。更有因其招致的二次污染,生物腐蚀虫霉的滋生。对于壁画而言,高的相对湿度将会引起其内部的可溶盐溶解迁移至文物表面,发生腐蚀作用,或者在文物内部结晶产生压力,迫使壁画表面开裂和剥落。

(2) 水环境

在各种环境因素中水对壁画的破坏作用最大。水能够溶解壁画中的可溶性材料如颜料层中的胶结材料,使壁画因脱胶而粉化;能够溶解地仗中的可溶性可溶盐或黏合剂,使地仗变得疏松,强度降低;水能够浸涨黏土地仗,使地仗疏松,强度降低;能够为微生物的生长提供条件,使地仗中的纤维和颜料层中的胶结材料等有机材料被微生物侵蚀;能够造成对画面的冲刷,使颜料层脱落;水的冻融能够造成酥碱;水是可溶盐造成酥碱的必要条件;水有助于各种空气污染物的沉降,有助于固定空气污染物于壁画表面;水的存在为化学反应创造有利条件,加速壁画老化。

水分的主要来源有四种:毛细作用、冷凝、潮解及其他。

1) 毛细作用

绝大部分传统建筑材料都是多孔的,内部大小不等的孔隙交织错落形成立体网状结构,因而遇水都会发生毛细现象。由毛细作用传播的水沿建筑物材料的孔隙向各个方向运动,可以在墙体中运移相当长的一段距离。寺观殿堂壁画中经常看到墙体的下部湿润,在湿润部分的顶端存在酥碱现象。这是因为毛细作用就像一个水泵,将地下水或地基附近的水不断带到壁画表面,当水分蒸发后就留下了盐的结晶,造成对壁画的破坏。

2) 冷凝或结露

冷凝或结露是气态水转变成为液态的一种过程。当绝对湿度达到饱和或相对湿度达到100%时就有可能发生冷凝或结露。冷凝或结露可以发生在壁画或墙体的任何地方。

3) 潮解

盐类从空气中吸收水分溶解自己的现象称为盐类的潮解现象。许多盐都有很强的从空气中吸收水分潮解的能力，如： NaCl 、 NaNO_3 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、 MgSO_4 等。可溶盐的潮解过程非常迅速，而反向过程却相对缓慢，这种特点对壁画的保存十分不利。

4) 其他形式的水的侵害

渗水对壁画的侵害是最直接的。由于屋顶破损致使雨水、雪水渗漏到墙体上，沿壁画表面流下是最常见的渗水形式；地表水通过墓室的裂隙、盗洞也可渗透到墓室。

(3) 光照

光是一种电磁波，在电磁波的波谱中红外、紫外光对壁画的影响很大。红外光产生的危害是间接的，主要产生的是热效应，能够提高壁画表面的温度，加速化学反应和生物生长。紫外光对壁画既有直接的又有间接的危害。紫外光是一种高能量的电磁波，可以打碎有机分子中的化学键，造成黏合剂的破坏、有机染料的褪色和颜料变色，这种危害是直接的；同时紫外光有助于光化学反应的进行，间接地对壁画造成破坏。

(4) 可溶盐

壁画的制作材料和所处的环境中都存在大量可溶盐。有些壁画在制作时所用的水中就含有可溶盐；有些壁画的地仗在制作时有意加入一定量的食盐以防止开裂；有些支撑体本身含有可溶盐；空气污染、附近农田中的化肥和农药都有可能成为可溶盐的来源。可溶盐可分为可溶性可溶盐、微溶性可溶盐和不溶性可溶盐。其中微溶性可溶盐对壁画造成的破坏作用最大。

可溶盐对壁画的破坏主要是通过溶解、结晶循环实现的，正如上面述及的酥碱病害。可溶性可溶盐由于溶解度大，结晶主要在壁画表面，因此对结构的破坏较小。不溶性可溶盐不存在溶解、结晶循环，因此基本上不造成破坏。微溶性可溶盐倾向于结晶在距离壁画表面1-2毫米处，有时更深，对画层和结构层都造成破坏。

(5) 空气污染

壁画完成之日起就暴露在环境中，劣化过程涉及物理、化学、机械、生物等各个方面。随着城市的扩展和工业的发展，空气中的污染物种类和浓度急剧升高，近年来壁画劣化的加剧与空气污染物的增加是分不开的。与壁画病害有关的污染物主要有硫的化合

物（SO₂、H₂S、硫酸气溶胶和雾）、氮氧化物、臭氧、氯化氢、氟化氢、CO₂、氨、和悬浮颗粒物。这些污染物与壁画材料的反应机理是十分复杂的，有的直接参与反应；有的作为催化剂或络合剂；有的为生物侵害提供便利条件，如提供营养等；有的为其他污染物的沉降创造条件。

（6）生物破坏

由生物造成的材料损坏称为生物劣化。造成劣化的生物种类有菌类、藻类、苔藓、地衣、蕨类、高等植物和动物。生物劣化包括物理和化学两种过程。

1) 物理过程：菌类菌丝的生长使壁画产生裂缝并加大缝隙，其所含的水会造成冻融损害。裂隙的存在利于化学反应进行，使雨水、风蚀更容易造成破坏，使空气污染物更容易沉积，也为微生物的侵害创造了有利条件。苔藓和地衣的叶状体在潮湿环境下十分舒展，当环境湿度降低时叶状体收缩，将下面的壁画表面物质拔起，造成破坏。蕨类及高等植物的根系生长对壁画造成物理破坏。此外，鸽子、蝙蝠、燕子对壁画可能造成机械损害如蹬踏、扑打等，飞翔时带起的风会吹落起甲的颜料层。鸟类及昆虫的排泄物落在壁画表面，对壁画造成污染。这些排泄物在干燥时收缩，将画层带起，造成起甲。其他动物如牛、羊、蚯蚓、老鼠、昆虫等也会造成损害。

2) 化学过程：生物新陈代谢产生有机酸/无机酸，这些酸能够直接与壁画材料进行化学反应，改变材料的化学性质。酸与壁画材料反应产生的可溶盐能够对壁画造成进一步的破坏。生物新陈代谢产生的络合物质可以与壁画颜料中的金属离子络合，夺取金属离子，从而改变颜料的化学性质。

文物是不可再生的，壁画更是相当脆弱的文物，其对于温湿度、光照、灰尘、震动等影响极其敏感，环境对于壁画保存来说是至关重要的，它包括壁画所处的空间环境及影响其保存的各种因素。不同的环境条件和因素对壁画的保存会产生不同的作用，环境的极端和骤变也会给壁画的保存带来与日俱增的伤害。因此，要保证古代壁画的长期稳定，必须从其赋存环境入手，控制壁画所处环境的温湿度、光照、灰尘污染物、有害微生物、有害昆虫以及人为不当干预等。

4 壁画保护技术与修复材料

4.1 空鼓壁画的保护修复技术与材料

空鼓是指壁画支撑体和灰泥层之间由于黏结性能丧失或减弱，导致地仗层局部脱离支撑体的现象。空鼓会引起壁画表面开裂鼓起，导致壁画大面积脱落，目前更换支撑体和灌浆锚固技术是世界范围内治理空鼓两种重要手段。若是空鼓壁画地仗本身机械性能较强，可采取灌浆治理、锚固治理或是灌浆和锚固相结合的治理；若是空鼓壁画地仗本身机械性能很弱，可采取更换支撑体的方法治理。

4.1.1 空鼓壁画更换支撑体修复

当壁画地仗层破碎较为严重、空鼓面积大于壁画总面积的三分之一，或是壁画结合了其他种类的病害的修复需要更换支撑体时，就应果断采取更换支撑体，防止因支撑体病害导致的壁画空鼓坠毁。

- 预加固

如壁画画面保存效果不佳，在更换支撑体前应先对画面预加固，可采取画层表面贴纸、贴纱布的方法，或是采用低浓度加固剂注射或是喷洒的方式进行。

- 画块分割

在必要的情况下，对壁画进行局部分割揭取，以便更换背部支撑体，具体分割方法同本章节4.5壁画的揭取、搬迁保护技术。

- 更换支撑体

对原支撑体进行测绘定位，根据原材料、原工艺更换新的支撑体。

- 复原画面

将分块的画面重新组装复原，具体复原方法同本章节4.6壁画的复原技术。

- 填补修整

对于画面分割缝应选用相同的地仗材料和矿物颜料，对修补裂缝进行填补和补色，做到远观一致，近观有别，以增强画面整体效果。

4.1.2 空鼓壁画的灌浆修复

灌浆是通过介入灌浆材料将空鼓壁画固着的处理方法。灌浆材料应以与原壁画材料

物理特性和化学组成接近，具有稳定的化学性质为筛选标准，通过对环境特征、制作材料、工艺及空鼓病害产生的机理等方面的综合研究,选择最优的灌浆材料。对于壁画顶部和上部的空鼓壁画，因重力作用的影响，应采用黏结强度较大的灌浆材料。

灌浆材料由一般由三部分组成：填料、黏结剂和添加剂。填料的作用时充实空鼓空间，为灌浆材料的主剂。黏结剂具有胶结固化的能力，把空鼓内表面与灌浆材料黏合在一起，并增强灌浆材料的机械强度。添加剂的作用是提高灌浆材料的工作性质和表现性质，包括固化剂，稳定剂等。常用的灌浆黏合剂材料有有机硅材料、改性环氧树脂、丙烯酸乳液、聚乙烯醇缩丁醛、聚醋酸乙烯酯等，常用填料为惰性材料，包括玻璃微珠、火山灰、粉土、浮石、粉煤灰等。

（1）预加固

将壁画空鼓背部破碎残块和沙土清理干净，采用低浓度加固剂，对表面有松散材料的内壁进行预加固，为灌浆材料的结合创造有利条件。

（2）支顶壁板

制作带有柔软脱盐吸水垫层材料的壁板,用可调节丝杠把壁板支顶到壁画表面,在对壁画支护的同时进行吸水脱盐处理。支顶板即可在灌浆时保护壁画安全，又可在灌浆后有需要时将壁画推回原位。

（3）钻孔装管

在壁画破损或线条不集中的部位，从支顶板穿过，钻开直径0.5cm-1.5cm的小孔，把柔软透明的塑料注浆管插入泥层的空隙中，注浆管的布设可根据空鼓的部位随时调整。同时在注浆部位附近开观察孔，可使用肉眼或内窥镜随时观测注浆情况，观察孔同时也是出气孔，使注浆过程中被压缩了的空鼓空间气体能够顺利逸出。

（4）灌注浆液

灌浆分为加压灌浆和常压灌浆，一般多采用人工常压注浆，用注射器将已配制好的灌浆材料顺注浆管压入空鼓部位，注射顺序为由下至上，在注射前应先用泥料封堵已有裂缝、漏洞，防止浆液泄漏。在注浆过程中，壁画地仗层会局部鼓起，应小幅度多次收紧丝杠，加大支顶板压力，将壁画尽量回推归位，增加灌浆材料与壁画结构的结合度，并使浆液流向细小的孔隙之中。每次注浆应间隔10-20分钟,以防壁画大面积潮湿坠落。

注浆前应使用蒸馏水或兼容性溶剂打湿灌浆面，使灌浆材料能够很好地与空鼓内壁两侧结合。在注浆过程中和结束后，多次采用内窥镜检查浆液流向和黏结效果，避免浆液空腔。

(5) 修补钻孔

干燥后取下支顶板，用和原地仗同样的材料修复注浆口和观察孔，并随色做旧，增强画面整体效果。

4.1.3 空鼓壁画的锚固修复

对于大面积空鼓，目前使用较广泛的做法是将灌浆回贴和锚杆加固结合修复，增强壁画内部拉固力。锚固是在注浆浆液干燥，取下支顶板后，通过锚杆固定壁画防止脱落的壁画空鼓修复技术。锚杆可选用竹木锚杆或是金属锚杆，根据壁画的体量、地仗厚度进行选择，以获得最佳的拉锚强度。

- 钻锚固孔

选取已开的注浆孔、观察孔，或在空鼓的适当位置另开一个直径为1~2厘米，深15~20厘米的圆孔。

- 灌注浆液

清理钻孔内松散沙土，用蒸馏水或兼容性溶剂湿润锚孔内壁，将配制好的浆液灌注入锚孔内。灌注前在周围画面蒙上塑料隔离膜，浆液不可太过稀薄，也不可太浓稠，防止插入锚杆时浆液大量涌出，或出现浆液空腔。

- 插入锚杆

置入锚杆，使锚杆头部低于表面约5毫米。使用加固剂对锚孔周边进行加固，然后用原地仗相同的材料抹平。如锚杆带有锚头，则应在此时安装锚头。

- 平整修补

选用相同的矿物颜料，对修补的注浆孔和裂缝进行补色，做到“修旧如旧”时亦应有所区别

4.2 起甲和粉化壁画的保护修复技术与材料

4.2.1 起甲壁画的保护修复

对于壁画颜料层起甲的部位,采用注射黏结剂回贴的办法,通过介入黏合材料重新建立壁画结构中层与层之间黏合力,增加颜料层的黏结力。修复顺序为从顶部、上部开始,顺序向下。黏结剂的基本要求是不改变壁画物化性质,具有良好的渗透性和流动性,具有较强的黏结力,不改变颜料色彩。常用黏结剂包括AC-33乳液、聚醋酸乙烯乳液、Paraloid B72丙酮溶液、有机硅改性丙烯酸乳液、桃胶、明胶等,低浓度1%~3%注射。具体回贴加固工艺为:

(1) 清除尘土

使用小型吸尘器配合兔毛笔、羊毛笔等软毛笔,将壁画表面的灰尘清理干净,用洗耳球将起甲壁画甲片下部尘土吹干净。有些起甲颜料层裂口较大,尘土落入裂缝中,经长时间沉积变得坚硬,毛刷和吸耳球不易除去,就先将起甲翘起边沿用宣纸封护,或是注射3%聚醋酸乙烯乳液,或是其他低浓度加固剂将起翘甲片边沿回贴固定,再在落入尘土的甲片下侧用小号手术刀切开一条小缝,从底部将沉积尘土掏出,再使用洗耳球吹干净。除尘工作应细心而谨慎,既保证加固面无尘土和杂质,又不能将起翘的甲片带下脱落。

(2) 预加固

如果壁画的地仗层已出现酥碱,应在除尘后使用1~1.5%的加固剂注射或喷洒酥碱地仗层,对地仗层进行预加固,增加泥层的强度,待干燥后再进行下一步修复。对于松散脆弱的甲片,在表面粘贴宣纸条临时固定作用,便于对甲片背面注射回贴,并在操作面下方放置一张白纸,收集回贴过程中不慎脱落的甲片。

(3) 黏合甲片

使用柔软绵纸糊敷,通过打湿棉纸使起甲部位回软,释放甲片的表面张力,避免将甲片推回原位时甲片断裂,如果黏合剂是溶剂性的,则采用兼容溶剂回软。将画面划分成若干小块(面积10平方厘米左右),采用注射器将配制好的低浓度黏合剂,按从上向下的顺序,沿起甲裂口处注射到起甲颜料层背部,使之与地仗黏结,每块画面视病害程度注射3~4遍,若黏合剂流淌在画面上,立即用哪个棉质吸附干净。由于颜料层起甲非

常薄，所以要求一次注射成功，否则起甲壁画遇到黏结剂后马上就会贴回地仗，不能进行二次注射。对于裂口出现鼓泡的颜料层，应将针头插入鼓泡内注射。对于起甲面积较大的，应在画面不重要的部位用注射器针头戳刺小孔，通过小孔注射回贴。

（4）回贴甲片

待黏结剂的溶剂被吸收或挥发后，用自制竹刀、木刀或不锈钢修复刀，将起甲层轻轻回贴到原位，再用包有脱脂棉的白色绸缎绑扎成的棉拓（直径5厘米左右），从未开裂口处向裂口处轻轻滚动，对起甲部位进行排压，使颜料层和地仗层进一步结合牢固。滚压的方向须为从未开裂口处向裂口处，防止画面出现气泡或褶皱。

（5）表面喷涂

采用小型空气压缩机或是喷雾器，距离画面30~40厘米垂直喷涂动物胶、骨胶或是聚醋酸乙烯酯等低浓度加固剂。一方面，由于壁画年代已久且起甲病害蔓延较快，即使现在还没有出现病害的部位，在外界因素的作用下也很容易继续产生起甲病变，所以表面喷涂处理是起甲保护修复必不可少的一道工序。另一方面，经表面喷涂后，已脱离画面预起甲的颜料层会软化鼓泡，可再次向鼓泡内注射回贴。

（6）平整修补

待表面喷涂加固剂七成干后，使用胶辊，垫隔白色绸缎碾压画面，即可使地仗层与颜料层结合紧密，又可使画面平整。碾压力度要适中，防止画面出现褶皱或碾痕，画面干燥程度不能超八成干，防止压裂或压碎画面使颜料层脱落。经注射加固后，有些地方会留有注射针眼，应用修复刀进行修补整平。

4.2.2 粉化壁画的保护修复

粉化部位加固通过介入黏合材料恢复壁画结构中颗粒物之间的聚合力的处理方法，目的是增强壁画表面颜料层的黏合能力。粉化壁画加固剂的选择应不改变壁画色彩，加固后的壁画物理性质与原壁画相同，化学性质稳定，具有良好的耐候性、渗透性和黏结力。常用的加固剂有：聚醋酸乙烯酯、硅酸乙酯、丙烯酸树脂系列、有机硅改性丙烯酸乳液、动物胶、骨胶等，根据不同情况，配制不同的比例，大多在低浓度1%~3%左右，采用喷涂或涂刷的方式加固。

使用小型吸尘器配合兔毛笔、羊毛笔等软毛笔，将壁画表面的灰尘清理干净。选择合适的加固剂，采用喷涂或涂刷的方式进行。涂刷是使用软刷浸透溶液涂刷，从低浓度溶液开始，逐渐到最终合适的应用浓度。这种方法对于减少湿气的影响，完成从树脂溶液涂层到溶剂层的转变非常有用。喷淋是采用小型空气压缩机或喷雾器，使加固剂通过毛细作用浸渍处理表面，喷头距离画面20~40厘米垂直均匀的喷洒，从喷头流出的加固剂的量必须被精确计量，避免过量使用，以保证逐步的、连续的吸收。喷洒后经过20分钟渗透，再使用和起甲壁画同样的棉拓轻柔的拍打画面，使粉化颜料和画面进一步结合牢固。

4.3 壁画脱盐的技术与材料

壁画的制作材料和所处的环境中都存在大量盐分，有些壁画在制作时所用的水中就含有盐分，有些壁画的地仗在制作时有意加入一定量的食盐以防止开裂。有些支撑体本身含有盐分，空气污染，附近农田中的化肥和农药都有可能成为盐分的来源。盐分可分为可溶性盐分、微溶性盐分和不溶性盐分，其中微溶性盐分对壁画造成的破坏作用最大。盐分对壁画的破坏，主要是通过溶解、结晶循环实现的。正如上面述及的酥碱病害，可溶性盐分由于溶解度大，结晶主要在壁画表面，因此对结构的破坏较小；不溶性盐分不存在溶解、结晶循环，因此基本上不造成破坏，微溶性盐分倾向于结晶在距离壁画表面1~2毫米处，有时更深，对画层和结构层造成破坏。

脱除壁画中的可溶盐是基于可溶盐赋存状态可随外界条件的不同而发生变化，使其从一种基质转移到修复材料中的这一特性来进行的。在不同条件（温度或溶质等）下的可溶盐存在着浓度梯度，盐分可由高浓度区域转移到低浓度区域。通过润湿修复材料，使结晶盐从壁画向修复材料转移，将盐溶解于吸水材料中，达到壁画本体脱盐的目的。为了使盐分运移速度更快，所用的敷贴脱盐材料应具有比基体更小的空隙。当敷料中的水进入多孔介质溶解盐分后，敷料的空隙应该比基质大，而在脱盐阶段，敷料孔隙应该比基质小，因此所使用的敷料就应该具有一系列宽泛且适合的孔隙大小分布。

依据文物保护行业标准《WWT 0031—2010古代壁画脱盐技术规范》，本节主要阐述空鼓壁画灌浆加固后的脱盐工艺和酥碱壁画修复加固的脱盐工艺。

4.3.1 壁画脱盐技术专业术语

(1) 脱盐

脱盐（desalination）是针对壁画盐害实施的一种去除盐分的技术措施。

(2) 脱盐垫

脱盐垫（desalination cushion）由壁画保护层、脱盐材料层、缓冲层三部分组合的，起保护壁画和吸收盐分作用的软垫。

壁画保护层接触壁画，一般采用一层棉纸，其作用是保护壁画不受损伤。脱盐材料层是高吸水性、高吸盐性材料，该材料对壁画不产生作用和影响。缓冲层一般用2厘米厚的海绵，其作用是防止在一定外力支顶下壁画表面受到损伤。

(3) 脱盐板

脱盐板（desalination board）是加载了脱盐垫的、带有透气孔的支撑板。如图4-1所示。

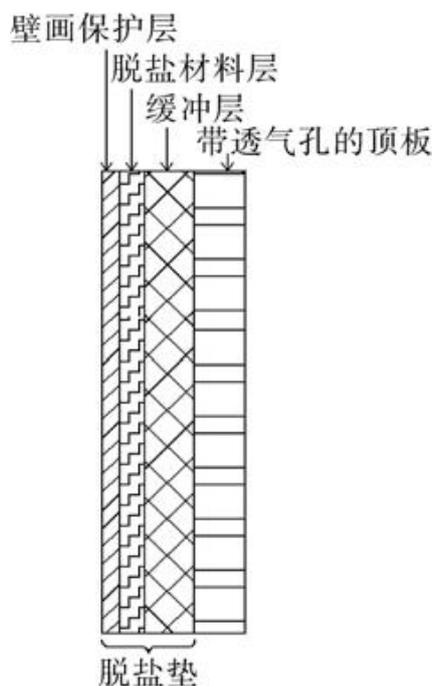


图4-1 脱盐板结构示意图

4.3.2 壁画脱盐工艺

壁画脱盐环境要求：气温应在15℃~35℃之间且相对湿度低于75%时可进行壁画脱盐。

(1) 脱盐工艺实施前提

脱盐工艺实施前提应是：

- 1) 在空鼓壁画灌浆加固后有可溶盐聚集时进行；
- 2) 在酥碱壁画修复加固后进行。

(2) 壁画脱盐工具

壁画脱盐工具由真空盒、脱盐板和真空泵组成。

壁画脱盐用的真空盒：图4-2、图4-3、图4-4分别给出了一种根据某壁画脱盐区域制作的真空盒平剖面示意图和真空盒带孔铝质隔板示意图。

以厚3毫米的铝板制成50cm×50cm、高度为1.2厘米的方形盒。在盒内放置9个5cm×5cm，厚度为7毫米铝制支撑架（见图4-2、图4-3）。在支撑架上放置厚度为3毫米带孔铝质隔板（孔直径为：5毫米，孔间距为：5毫米，见图4-4）。在铝盒的一侧设置两个直径为5毫米的铝制圆管，用做负压真空泵的抽气嘴。

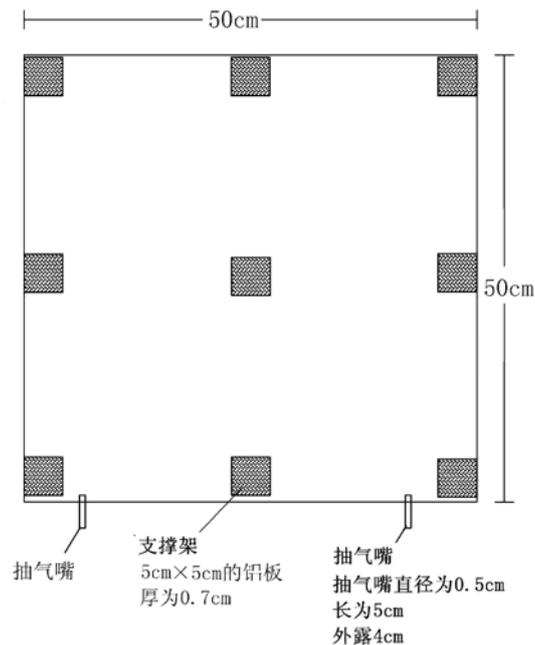


图4-2 真空盒平面示意图（未加带孔铝质隔板）

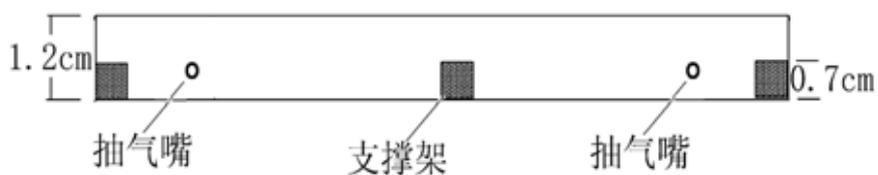
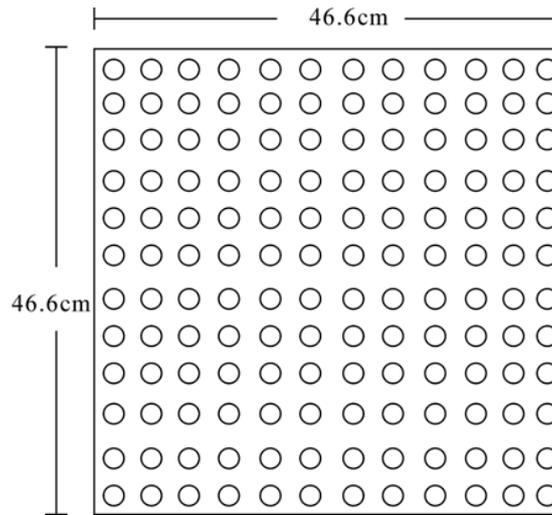


图4-3 真空盒剖面示意图（未加带孔铝质隔板）



隔板厚0.3cm，孔直径0.5cm，孔间距0.5cm

图4-4 真空盒带孔铝质隔板示意图

修复盐害壁画脱盐用的超声水蒸气雾化器：图4-5给出了一种修复盐害壁画时脱盐用的一种超声水蒸气雾化器样式。其输出水蒸气温度控制范围： $0^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ ；水蒸气输出量范围： $0\text{ml/h}\sim 260\text{ml/h}$ ；精度等级： $\pm 0.5\%\text{FS}$ ；仪表采样及控制输出周期： $\leq 0.5\text{S}$ ；喷头热电阻RTD： $\text{Pt}100(-199^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C})$ 。



图4-5 脱盐用超声水蒸气雾化器样式

- 1) 真空盒是放置脱盐板的盒子，其大小应与脱盐板相适应。真空盒使用时，带孔铝质隔板应放入真空盒隔板后，其上再放入脱盐板；
- 2) 真空泵抽气压力控制范围 $0\text{KPa}\sim -15\text{KPa}$ 。

(3) 敷设脱盐板

1) 将脱盐板放入真空盒中，用固定在脚手架上的支顶杆把放置有脱盐板的真空盒支顶到壁画上；

2) 脱盐板支顶力度应根据壁画情况选择适当的大小，支顶力度太大会伤害壁画，太小脱盐板易滑落且影响脱盐效果；

3) 每次脱盐区域不应过大，脱盐板的边缘比灌浆区域大出20~30厘米，以减少灌浆材料中的水分向加固区域外围扩散；

4) 抽气嘴接真空泵，调整抽气量，使真空泵负压压力处于-5KPa~-7KPa范围。

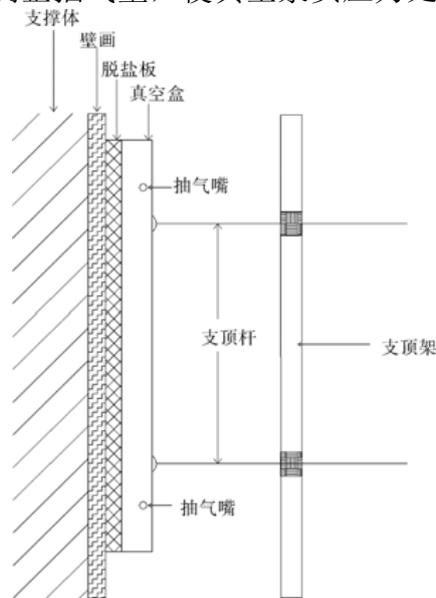


图4-6 真空脱盐板使用示意图

(4) 更换脱盐材料

1) 当壁画表面空气相对湿度大于60%时，应更换脱盐材料；当壁画表面相对湿度小于60%时，不用更换脱盐材料，但应继续支顶壁画，直至壁画表面相对湿度与周围环境相对湿度一致。取下脱盐板。

2) 当周围环境空气相对湿度大于60%时，若壁画表面空气相对湿度与空气相对湿度达到一致，每2天更换脱盐材料，更换4次后可取下脱盐板。

(5) 脱盐板内空气相对湿度的监测

将湿度指示卡放置于真空脱盐板后面，每次更换时记录湿度值。图4-7给出了一种测试脱盐板内部空气相对湿度指示卡的样式。指示卡指示点数：30%，40%，50%，60%，

70%，80%，90%。尺寸：38mm×114mm。

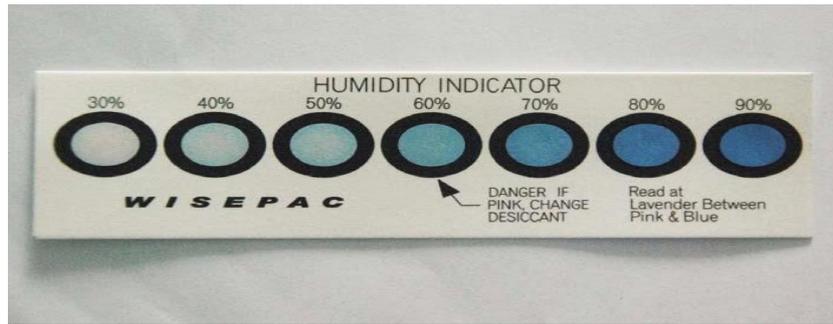


图4-7 湿度指示卡样式

(6) 二次脱盐

壁画经过脱盐板脱盐后，在凹凸不平的凹部还有可溶盐残留，这时应对壁画进行二次脱盐。采用超声水蒸气雾化器进行二次脱盐。附录C给出了一种超声水蒸气雾化器的样式及相关技术指标。

1) 用超声水蒸气雾化器产生的蒸汽将5cm×5cm吸水棉纸润湿敷贴在壁画表面，用软海绵轻压使纸块与壁画充分贴合，待纸块干燥后取下；

2) 蒸汽温度20℃，蒸汽流量根据处理的壁面面积适当调整；

3) 经过7~8次的排列式吸附，可达到清除壁画表面结晶盐的目的。

(7) 脱盐效果评价

依据文物保护行业标准《WWT 0032—2010古代壁画地仗层可溶盐分析的取样与测定》取样，依据文物保护行业标准《WWT 0079-2016古代壁画可溶盐测定离子色谱法》检测盐分含量。

为了考察空鼓壁画灌浆的加固和脱盐前后壁画中含盐量的变化和验证脱盐工艺是否适宜，选择微岩芯取样法、检测脱盐材料中含盐量的方法，分析脱盐壁画地仗中盐分含量的变化，并用纸条法检验脱盐的效果。所采用的分析测试仪器有氯离子选择电极和离子色谱仪。

灌浆加固前和脱盐后在试验区壁画颜料层脱落或地仗破损处，用微岩芯取样器对壁画不同深度做取样分析（依据WWT 0032—2010古代壁画地仗层可溶盐分析的取样与测定；《古代壁画可溶盐测定离子色谱法》WWT 0079-2016；进行分析检测）。

纸条法检验脱盐效果：用一定大小的、浸水的薄色谱专用的纸附于壁画表面，一定

时间后取下，水溶后测定其中的Cl-含量（ppm）。在洞窟盐害无壁画部位钻取表面2厘米深度的壁画地仗，分析地仗中Cl-百分含量。（研究纸条法检验脱盐效果的可靠性）

4.3.3 壁画脱盐材料

壁画脱盐材料和工艺的筛选研究，遵循《中国文物古迹保护准则》规定的保护程序、保护原则，并以壁画保存现状调查、病害机理研究的结果为依据，形成了古代壁画脱盐材料的保护修复材料和工艺筛选研究的科学体系。

（1）脱盐所用材料的技术要求

对脱盐材料的制备基于三个方面：

- 1) 不含腐蚀性、污染性物质，中性环境，不对壁画造成修复性损伤；
- 2) 选择吸收能力好，吸盐效率高，便于实际操作的材料；
- 3) 经济实用。

由于固体盐分无法直接以传质方式得到分离，只有转化为水溶液状态才能从壁画中去除，文物保护工作者利用吸附脱盐法有效脱盐。

吸附脱盐法是用吸附性能较好的吸附材料，如吸水纸、纸浆、脱脂棉、纱布、膨润土等做吸附材料，小心将蒸馏水注入文物盐害部位的微孔中去溶解可溶盐类，经过一段时间的溶解后，附上吸收材料。通过吸附材料的吸收作用，将文物中的盐以盐溶液的形式带出。脱盐材料只能利用水的运动作为吸收盐分的动力，因此脱盐材料的吸水、吸盐性能是脱盐能力的重要参数指标。

可选择吸水材料有KC-X70、KC-X60（纯木浆与无纺布交织在一起制作成的高吸水型材料）、细毛毯、脱脂棉、生宣纸、日本棉纸、M-F2001（合成纤维与聚酯树脂混合在一起，制作成的高吸水性材料）、镜头纸、粗羊毛毯、细羊毛毯、海绵表面负载淀粉接枝聚丙烯氨树脂（厚1厘米）、海绵空白（厚1厘米）、海绵中间负载淀粉接枝聚丙烯酰胺树脂（厚1厘米）、KC-X60两层中间负载淀粉接枝聚丙烯酰胺树脂等等。

脱盐垫筛选试验方法如下：

- 1) 把上述吸水材料切割成8.5cm×8.5cm的方块，并制成相应的黏土袋（垫）。
- 2) 将一块儿规格为19.5cm×24.5cm，细毛毯平铺于桌面均匀喷湿。

3) 分别称量吸水垫的干重或湿重, 将每一个吸水垫水平放在喷湿的细毛毯上, 盖金属版并加1000g的重物, 记录实验开始的时间。

4) 每15分钟称量一次吸水垫的重量, 至吸水垫重量不再增加为止。

5) 吸水能力评估方法。

吸水量= (吸水平衡后最大量-吸水前重量) /吸水前重量×100

吸水率= (吸水平衡后最大量-吸水前重量) /吸水平衡后总时间 (g/h)

结合实验数据和脱盐材料研制的室内试验数据选择吸水性能、总吸水量、吸水持续能力较强的脱盐材料进行现场脱盐试验。

(2) 脱盐工艺现场试验

前期对壁画现场易溶盐分布及含量进行调查, 检测易溶盐种类及含量, 选取试验区域 (选取壁画盐害典型但非主要画面的部位进行试验)、描述试验区病害特征 (包括空鼓、起甲、酥碱、裂隙、修复痕迹, 可溶盐成分检测等。)、修复历史研究 (了解所研究壁画的修复历史信息—历史加固材料, 灌浆填补材料等等)、灌浆加固材料 (主要组成成分, 各项技术指标—抗折、单轴抗压、干燥时间、线性收缩、含水率、透气性、比重、黏结力、抗剪切力等)、酥碱加固材料等。

按上述要求选择合适的试验区域, 进行现场脱盐试验, 步骤同本节脱盐工艺节所述。

可采用将湿度指示卡放置于真空脱盐板后面, 每次更换时记录湿度值。当壁画表面相对湿度大于60%时, 表示壁画处于潮湿状态; 如果相对湿度小于60%时, 可视为壁画基本干燥。

当壁画处于潮湿状态时, 需要及时更换脱盐材料; 当壁画相对湿度小于60%时, 吸水脱盐材料的脱盐能力降低, 但为了防止盐分在壁画表面聚集, 应继续对壁画支顶, 期间不再更换吸水脱盐材料, 直至壁画完全干燥 (湿度不在降低)。

为了考察壁画脱盐前后壁画中含盐量的变化和验证脱盐工艺是否适宜, 选择微岩芯取样法检测脱盐材料中含盐量的方法, 分析脱盐壁画地仗中盐分含量的变化, 并用纸条法检验脱盐的效果。根据试验结果最终选择最适合现场壁画应用的脱盐材料。

4.4 酥碱加固技术与材料

4.4.1 酥碱壁画专业术语

酥碱plaster disruption由于可溶盐作用导致壁画地仗层产生的疏松状态。（GBT 30237-2013《古代壁画病害与图示》）

加固是通过介入黏合材料恢复壁画结构中颗粒物之间的聚合力的处理方法。加固主要针对的病害是酥碱和粉化。

4.4.2 酥碱壁画加固技术

（1）理想的加固效果

理想的加固效果是：加固后的壁画物理性质与原壁画相同；化学性质稳定、抗劣化；加固处理不改变光学性质，即加固后的壁画看上去与原来没有差别；加固处理的结果不妨碍以后的保护。

（2）注意事项

1) 加固条件的问题。加固溶液的渗透深度取决于壁画的毛细作用。如果壁画材料的微孔中存在水，则溶液渗透效率降低甚至无法渗透，因此，加固应尽量选择干燥季节实施，如果环境或壁画比较潮湿，应采取措施如低温烘烤使其干燥。

2) 渗透深度的问题。一般情况下渗透深度越大越好，为了增加渗透深度，应该选择适当的溶质、溶剂并注意操作方法。加固剂应选用小分子材料，尽量采用溶液形式，溶剂最好选择非极性、低挥发性材料，便于将加固材料带到壁画结构深处。操作时可在加固部位临时覆盖一层塑料薄膜以延长渗透时间。

3) 加固强度的问题。传统的观念认为加固强度越高越好，但实践证明并非如此。加固强度越高，加固部位与未加固部分的物理性能差别越大，产生病害的可能性越大；另外，加固强度越高，病害越容易侵害未加固的部分，使壁画原材料成为牺牲材料，违背了加固的初衷。因此，加固强度并非越高越好，而是越亲近原材料的强度越好。

（3）酥碱壁画病害的治理要求

对于酥碱壁画病害的治理应满足以下要求：

- 1) 不能对壁画颜料色彩及表面形貌有影响；
- 2) 不能在壁画表面形成反光膜；

- 3) 加固剂必须有较好的渗透性和较强黏结力;
- 4) 加固材料必须具备良好的耐光、高温老化性能;
- 5) 加固剂失效后, 分解产物不能对壁画产生负影响。

根据以上要求, 经多次现场和实验室筛选, 确定加固材料。

(4) 酥碱壁画加固工艺

依据文物保护行业标准《WWT 0031—2010古代壁画脱盐技术规范》, 酥碱壁画修复加固的工艺进行修复。酥碱壁画加固技术如下:

1) 除尘

用洗耳球和小羊毛刷清除壁画表面尘土。当酥碱壁画颜料层非常脆弱、地仗层粉化脱落较多时, 除尘应掌握好力度, 既要清除粉尘, 又要注意保留粉化的地仗层。

2) 填垫泥浆

①若酥碱壁画地仗粉化脱落或缺失很少时, 用注射器将前期试验筛选出的黏结剂沿悬浮颜料层边沿注入颜料层的背部, 以2遍~3遍为宜。

②若酥碱壁画地仗粉化脱落或缺失较多时, 颜料层大片悬浮, 应填垫泥浆。具体方法是: 用较长针头的注射器将经筛选的低浓度加固材料少量多次注入地仗缺失部位, 使黏结剂向地仗里层渗透; 用较长针头的注射器或滴管将掺有细沙的稀泥浆(细沙和泥土使用前经过去离子水漂洗脱盐处理)均匀地平铺于地仗缺失部位。填垫泥浆的量要严格掌握, 防止影响颜料层的回贴效果。填垫的泥浆凝固后, 可注射黏结剂。

3) 注射黏结剂

用注射器将前期试验筛选出的黏结剂沿悬浮颜料层边沿注入颜料层的背部, 以2~3遍为宜。

4) 回贴颜料层

黏结剂被填垫的泥浆和地仗层吸收后, 用修复刀将悬浮的颜料层轻轻回贴原处。

5) 颜料层补胶

悬浮的颜料层回贴后, 对颜料层表面注射经筛选的黏结剂, 以1~2遍为宜。

6) 滚压

黏结剂完全渗入壁画后, 用棉球对衬有棉纸的颜料层从未裂口处向开裂处轻轻滚压。

实施过程中，要保持壁画表面平整，不应压出皱褶，不应产生气泡。

7) 压平壁画

用修复刀将垫有棉纸的壁画压平压实。实施时要掌握力度，不应在壁画表面留下刀痕。

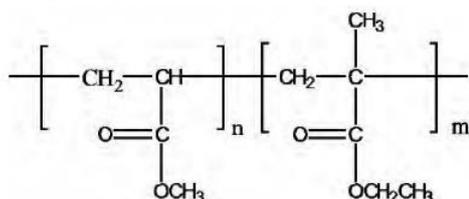
4.4.3 酥碱壁画加固材料

(1) 酥碱加固材料

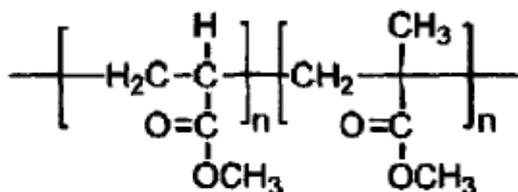
壁画酥碱病害修复材料和工艺的筛选研究，需遵循《中国文物古迹保护准则》规定的保护程序、保护原则，并以壁画保存现状调查、病害机理研究的结果为依据，形成古代壁画酥碱病害等的保护修复材料和工艺筛选研究的科学体系。

针对壁画的酥粉病害，酥粉部位的颗粒比较疏松，一般的无机加固试剂不能有效的加固壁画。根据文献资料，壁画颜料层加固效果较好的材料有聚乙酸乙烯酯乳液、聚乙烯醇缩丁醛、硅酸乙酯、聚乙烯醇、丙烯酸乳液（AC-33、PEOVAL）、Paraloid B72、PU乳液8种合成高分子加固材料，以及桃胶、明胶、胶矾水、熟桐油四种天然高分子材料。天然材料多用于壁画揭取时画面的临时性加固。壁画颜料层加固工艺有滴注、涂刷、喷雾三种。浓度（一般在2%~5%）、溶剂及外观有要求，溶剂用分析纯丙酮、分析纯无水乙醇、蒸馏水等。

丙烯酸树脂类是一类以丙烯酸为单体衍生的化合物，经过发生自聚合反应形成一种高分子聚合物；在这一类中，目前研究最多也关注最多应用最多的当属：Paraloid B72(简称B72)树脂材料，B72是由丙烯酸甲酯和甲基丙烯酸乙酯组成的共聚物，成分比例大约为1:2。B72是一种白色的类似于玻璃状结构的无色透明晶体，多数有机溶剂可将其溶解，该材料的优点是常温固化速度快，耐老化性能好，固化后机械强度高，并且有很好的耐光耐热性能，且热塑性良好：



Primal AC33（简称AC-33）是经丙烯酸甲酯和甲基丙烯酸甲酯在一定条件下发生共聚后得到的一种高分子聚合物,这种聚合为通常状态下为乳白色液体,为水溶性加固保护材料。AC-33的使用非常方便,常用乙酸乙酯、丙醇做溶剂,在常温下可以很快发生固化,其固化后,具有能承受一定的强光照射、酸碱腐蚀、温湿度变化及力学强度等作用的优良性质其结构式如下:



聚氨酯甲酸酯（简称聚氨酯、PU）是一种人工合成的高分子材料，涂膜具有良好的机械性能和耐候性、抗腐蚀性，对各种材料具有较高的黏结性能。聚氨酯是由多异氰酸酯与多羟基化合物聚合而成，是一种以氨基甲酸酯键为重复结构单元的聚合物。水性聚氨酯是一类含有氨基酸官能团结构的高分子物质,水乳液和水分散液组成的一种稳定的水分散混合体系。其固化后具有一定的柔韧性和透气性,此外水性聚氨酯具有制造成本廉价、被分解后无污染而且可以被其他试剂改性等优点,主要应用在文物中织物和纸层的黏合、植绒黏合等领域,现在也有人将其应用在文物加固领域,得到了较好的加固效果。

水性环氧分子是两性分子,因此具有亲水性和亲油性的双重性质,水性环氧树脂中含有大量的活性基团,这些活性基团能够与其他物质的分子发生物理化学作用,使得水性环氧材料具有一定的渗透性;还需要说明,构成水性环氧分子中的环氧基还能在固化剂的固化作用下发生交联聚合生成互为网络结构的更大的分子,并且这些分子本身有一定的内聚力,更增强了材料的力学性能。

有机硅材料是反应性树脂的材料,通常是由主剂和固化剂一起使用的,极高的键能,主链由Si-O-Si连接构成,一类物质由不同的有机基团连接硅原子的聚合物的总称。同时含有无机基团与有机基团的特殊结构形式,决定了有机硅树脂具有优良的热氧化稳定性,电气绝缘性能,并具有优良的耐候性。自20世纪50年代中期我国开始对有机硅产品进行研制,在文物保护行业多年的实验证明,在比较湿润的条件下,有机硅材料的加固效果有一定的

优势。

聚乙烯醇缩丁醛是通过将正丁醛加入聚乙烯醇(Polyvinyl Alcohol, 简称PVA)并在酸催化下进行缩合而得到的产物,其英文名称为: Polyvinyl Butyral, 简称PVB。它是一种水溶性环保型高分子聚合物。由于其优良的性能,被大量用于文物加固保护中。筛选加固材料时,要了解加固材料的主要组成成分,并了解包括抗折、单轴抗压、干燥时间、线性收缩、含水率、透气性、比重、黏结力、抗剪切力等各项技术指标。

(2) 酥碱加固材料筛选试验

1) 试验区的选择(试验区一般选择在壁画酥碱病害典型,但非主要画面部位完成。)

2) 试验区病害特征(包括空鼓、起甲、酥碱、裂隙、修复痕迹,可溶盐成分检测等。)

3) 修复历史(了解所研究壁画的修复历史信息——历史加固材料,灌浆填补材料等等)

4) 酥碱壁画加固材料(主要组成成分,各项技术指标——抗折、单轴抗压、干燥时间、线性收缩、含水率、透气性、比重、黏结力、抗剪切力等),在实验室可进行加固强度、透气性检测,检测加固剂的耐水、耐酸、耐碱试验。

(3) 加固效果评估

评价加固后壁画的色差,光泽度,壁画的粘接强度等。

1) 外观检测

对壁画进行修复保护时,需要坚持“修旧如旧”的原则,保持壁画的原始原貌。壁画在加固后,很可能与加固前相比有较明显的变化,以至于人的肉眼可以分辨出。所以,外观检测的方式主要是通过人的肉眼观察来评价加固剂的加固效果。

2) 色差检测

除了在壁画修复过程中保持壁画的宏观原貌外,在微观角度上也要尽可能地的保证壁画的原有形貌。壁画中的颜料层时最具吸引力的一层,在使用加固剂时,这就要求加固剂对颜料层的色差改变不宜过大。可以用色度计检测色差 ΔE ,色差值的计算公式为: $\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$, ΔE 值的大小反应颜色变化的程度, ΔE 值越大说明颜色改变越大,反之则说明颜色改变越小。

4.5 壁画的揭取、搬迁保护技术

壁画的揭取、搬迁是工艺复杂的工作。古代壁画保存到今天，极难存在完好如初的状态，绝大部分或多或少存在一些如前所述的病状，由于壁画本身及其所依附的建筑物是古代艺术品的整体，按文物保护法的原则，壁画应原址保护，因此一般情况下应尽量避免揭取、搬迁。但由于种种原因，有时需要对壁画进行揭取至异地复原保护。

4.5.1 壁画揭取、搬迁主要原因

(1) 无法抵御的自然灾害，如地震、地裂，地基下陷、水灾、火灾、风灾或其他因素导致的古建筑、墓室和洞窟坍塌等。

(2) 恶劣且又无法改变的环境条件，如太深的古墓，随着地下水位上升，墓室渗水甚至严重积水，致使墓室特别潮湿，霉菌滋生，或因灌溉、盗墓挖的盗洞使墓葬灌水或淤泥，使壁画无法在原地保存。

(3) 壁画所在的古建要落架维修，也要首先揭取古建筑内的壁画，进行加固修复，待建筑物修复好后，再将壁画回贴复原。如西藏布达拉宫、青海塔尔寺等古筑进行大规模落架维修时，都对建筑内的壁画进行了揭取处理。

(4) 国家重大工程项目，需要搬迁石窟、古建筑、墓室时，其中的壁画要揭取，搬迁工程完成后，将壁画加固修复好后回贴原处。三峡工程，三门峡工程等水利重大工程中搬迁的石窟、建筑物中的壁画。

(5) 为了便于管理、保护及展示，对一些壁画进行揭取、搬迁。

4.5.2 壁画的揭取

(1) 壁画揭取前的准备工作

1) 摄影、测量、临摹

壁画在揭取之前，必须进行摄影、录像、测量和临摹工作，详细准确地做好记录，以便在壁画分幅揭取、加固后，以原始记录为依据进行修整复原。

2) 清洁壁画画面的灰尘污物等

一般壁画泥层较牢固无脱胶和严重酥碱情况时，在临时加固前，应先用软毛刷轻轻清除壁画画面上的灰尘，用竹签等工具清除画面上的污泥、植物硬壳等，或用吸尘器吸去画面浮尘。黏附较牢的灰尘污迹，为防损伤画面，可先用水或有机溶剂或沉积合清洗

剂小心将其湿润软化后，以机械剔拨法轻轻将其剔除掉。

3) 加固壁画画面层

如果要揭取的壁画画面有脱胶、起甲、酥粉、裂缝等病害，或画面强度不够时，必须在揭取前采取临时加固措施。所谓临时，就是所使用的加固材料，必须具有“可逆性”以备修复中认为应该改进时可以重新处理。

脱胶的处理：墓葬内壁画，脱胶现象较普遍，可喷刷胶矾水1~2遍，湿度大时，可用红外灯烘干，温度在40℃~60℃之间，湿度过高易使颜色变化，灯光距离壁画面应在30厘米以外，所用药剂除胶矾水以外，还可用聚乙烯醇或聚乙烯醇缩丁醛等高分子材料。

泥屏酥碱处理：所用材料、方法与脱胶处理相同，但是所用材料的浓度加大，喷涂次数增多，个别情况如陕西永泰公主墓内甬道顶部天花壁画，表层为一层薄而脆的皮，里面的白灰酥松的似豆腐渣，单纯涂刷不见效，此种情况应采取打针的方法，将加固药剂，一针一针的注射进酥松层内。工作时一方寸一方寸的依次进行加固处理。所用药剂应先稀后浓。

裂缝加固的方法：视壁画的牢固程度和裂缝的大小而定，建筑物内砂泥壁，在较干燥的情况下，只对较大的裂缝粘贴纸条和布条，微细的裂缝，不是密集的情况可不作处理。为保证揭取时的安全，近年来对砂泥壁画也多采用整块贴布的方法。白灰壁，尤其是不掺和材料的素白灰壁，不论有无裂缝都按画面大小，整块的贴布保护。因为此种白灰壁，本身薄而脆，微裂缝较多，揭取过程中受震易碎，遇有较大裂缝处则需先贴布条，然后再全部贴布加固。布的上顶要长出固面 20~30厘米，以备揭取时临时固定在壁板上。加固的纸，必须是白色，以免因纸掉色污染画面。纸的表面麻平滑，有韧性，一般以拷贝纸为宜，加固用的布，以纱布为宜，经纬线密实的布与壁画面展往往粘接不牢，效果不好。贴纸和布的黏合剂，在较干燥的情况下，可用表国画用的团粉糨糊；在墓室内潮湿的情况下，通常用桃胶，但贴纸或布后需用红外灯烘干。如同时贴纸和布，必须将贴纸烤干后再贴布。

画面空臆处理：此种情况应视空鼓的程度而定。较轻微的，表面无裂缝时，不仅不需处理而且还是揭取的有利条件之一（在揭取方法中介绍），但空臆面积较大则需先进行加固，在无画或无主要线条的地方，挖小洞用干泥浆或干灰浆挤入画壁背后，使它与

墙面暂时粘住，此法称为“干泥铆固”。如遇有已局部脱落的壁画，应用干硬泥浆或灰浆沿脱落边缘勾抹，使部分泥浆条挤入壁画背面使它暂时粘牢。此法习惯称为“边缘加固”（这里所述干泥铆固和边缘加固是原地保护壁画时经常采用的加固措施。唯所用泥浆的材料强度较高）。

4) 画面分幅处理

面积小的壁画，有条件可以整幅揭取的壁画，这道工序自然可以省略。当壁画画面大且薄，难以一次性揭取时，可采取分幅揭取。分幅时要考虑画面分布，避免在人物面部、画面的精华部分分幅；尽量利用其自然裂缝，不开新缝；避免出现拱鼓断裂错位，也为防画面过碎而难以复原。

分块的大小：分块工作是和以后几道工序紧密相关的，在我国目前许多地区的现有条件下，分块的高度以 2~3米为宜，宽度1~1.5米为宜，最大不超过2米，每块画的面积一般为2~4平方米，最大不超过5~6平方米。

分块的方法：分块时首先要对整幅画的内容进行研究，例如两个神情密切相关的人物，最好不要分割在两块画面上。分块的界限不要触及人物的面部和手部，对于一些特殊的画题也应尽位避免分割。总之分块时既要考虑画面艺术的完整，又要考虑揭取、修复、运输等工作的方便。此项工作应该与美术工作者密切合作，共同协商决定。在一般情况下，由于必须考虑画面艺术的完整，它的尺寸就不能完全规格化，应依画面的实际情况，该大就大，该小就小。

画线的方法：根据画面的情况，大体上研究了分块的大小位置以后就可进行画线工作。用粉线包在画面上弹上白色或青色的粉线，初步决定画块的尺寸。一般情况要经过一次或两次复查，才能最后确定。

此外应附带说明的是，分块画线时采用直线、斜线和曲线的问题。从施工的角度来看，自然是直线方便，因此在画线过程中，只要不妨碍画面的艺术形象完整，就应尽量采用直线。有的画面形象比较复杂，在不可能完全用直线的情况下，也可采用斜线或曲线，但应尽量避免曲线，这样会给修复工作带来许多困难。

当整幅壁画分幅确定后，一定要准确、翔实记录整幅壁画及各分幅的尺寸、各位置及画面局部脱落的位置，最好绘一个壁画分幅位置示意图，编好分幅号，并将号码依照

示意图指示标在画面背面，以使修整复原时校核使用。

测量绘图，对于要揭取的壁画，事先必须进行测量绘图。壁面如果平直，要测量画面的总尺寸和绘出“分块尺寸图”。遇有画面凹凸不平或带弧线时，更应将这些特殊的情况测量准确。

为了保证在以后修复工作、复职工作中做到准确无误的符合原状，还应绘制“分块关系图”。

分块尺寸图，一般比例为1/20~1/100，在图中注明分块的四边尺寸和整幅的总尺寸，有弧线的应注明。

分块关系图，首先在各分块内找出形象突出，容易寻找的1~2个点，一般选在线条的转折点，然后将各分块中的“点”准确地用钢尺量出它们的互相距离尺寸，使整幅画中各个分块，形成一张注有尺寸的关系图。以后在复原工作中修复、安装时，依据图中所注关系尺寸，校核复原的画面，以保证复原的结果准确无误。此项工作中所用的钢尺，与分块和修复时应是同一个尺，以免因尺的刻度误差而影响复原的尺寸。

5) 制作托板

为了揭取较大的完整画面而又不致损伤壁画，应制作托板，当画面揭取下来以背面放一相应大小的保护板——托板，将壁画夹固于中间以便搬动和转移。

- 托板的制作材料及优缺点：

木质托板：过去多用木质托板，其缺点是：

韧性小：虽托板上垫有棉絮、纸张等作为保护层，但往往由于保护层难以铺导致画面受力不均而易造成损坏，因而不能进行较大壁画的揭取。

重量大：由于木板重量大，不便于操作搬运。

吸潮变形：木质托板遇到潮湿空气会吸潮变形而导致壁画画面受损。木板还会发霉而影响壁画画面发霉。

泡沫板托板：用聚苯乙烯泡沫塑料板（以下简称泡沫板）作托板，因泡沫体内含有空气，且为闭孔型结构，所以泡沫托板具有以下优点：

①强度较高；

②弹性好，且弹性适中，使壁画安全，不易折断，是一种较为理想的缓冲防震；

③密度小，用泡沫板制作托板比较轻，易操作易搬运；

④表面平，使壁画画面受力均匀而不易折断。

⑤防潮、耐酸、碱、盐的性能好。

⑥有自息性，使用安全。

由于泡沫板具有以上优点，因而目前国内已广泛采用。

- 泡沫托板的制作

托板的大小按壁画分幅面积计算，根据所需尺寸，用手锯或锋利刀具切割成。

(2) 壁画的揭取方法

壁画类型复杂，保存状况差别较大，揭取方法应根据具体情况而定，大致分为三类。

第一类：整体搬迁法，就是把整个壁画连墙壁一起切割下来，全部搬走。只有壁画的画面层、地仗层和墙体都结合比较牢固，壁画的机械强度也比较好的情况下，才能采取此类整体揭取搬迁法。此法已应用不多。

第二类：部分揭取法，即只将壁画的地仗层（或地仗层的一部分）与画面层一起揭取下来搬迁走的方法。当壁画的画面层和地仗层之间黏合很牢固可采取此法揭取。

第三类：画面揭取搬迁法，仅把画面层揭取下来搬迁走。当壁画的地仗层机械强度很差，或壁画只有画面层而没有地仗层时，采取此法揭取。

1) 整体搬迁壁画的方法

先将壁画紧紧用支架固定。壁画较大时可分块揭取。

当画面分割线按避开画面精华区、人物面部、尽量利用画面裂缝而少开新缝的原则，按先底线后两侧线的程序，用薄刀片顺线割开，切割所要揭取的壁画，使之与周围的墙面分离。

从壁画背面进行切割，使要揭取的壁画与周围的墙全部分离下来，并沿着支架，慢慢地放平，然后按分幅位置按原样拼接、修整和复原。

此法的优点是保存了原壁画的结构，不需在画面上贴布，保持各壁画的原貌，这点对考古研究有特殊意义。

砖墙壁画墓在拆迁时因每一块砖就有一幅画，拆前只要测量和记录下每块砖的位置，依次编好号，运到新址后，完全按原样复原即可。甘肃省博物馆曾成功完整地把一座嘉

峪关壁画墓搬迁到自己馆内。

如果搬运整个壁画墙，运输困难，又要毁坏壁画墙所依附的建筑物时，此法不可取。

2) 画面层与地仗层一起揭取的方法

壁画揭取前应采取有效加固措施，将画面予以加固，使画面上的彩绘得以保护，使画面层与地仗层之间牢固地结合成一个整体。

处在墓葬中的壁画，若过于潮湿，必须先予以烘干，然后加固。

壁画画面上如有裂缝、残缺时，可先贴以纸条或布条，若残缺面积较大、较深，在贴布加固之前应用制作壁画的泥土加合成树脂溶液，调成糊状后予以填充加固，使地仗层坚固、画面平整，最后再用聚乙烯醇糨糊，面团或桃胶作黏合画面予以贴布加固。注意贴布时画面与贴布间要平整，不要留气泡，待贴布干燥后再加固一遍。

当画面贴布加固层干燥后，将泡沫板平稳紧紧靠贴在画面贴布上，并把托板支撑固定，再将贴布上端及两侧预留部分向外反包于托板上固定牢，用贴布下端预留部分将画面底部包住，临时固定。这样可防止在揭取和运输过程中损伤画面。按照分幅线，用锋利的割皮刀或钢解剖刀沿分幅线开缝，先开底缝，再开边缝，最后再开顶缝。

3) 揭取壁画的具体方法

揭取壁画的方法很多，主要有拆取法、锯取法、震取法、撬取法和木箱套取法等。

拆取法：用托板托住壁画前面，在墙身外面拆除墙体支撑结构（砖块或土坯块），自上而下逐层拆除，每隔约50~70厘米再加上挡板，以防揭取过程中壁画灰泥层倾倒，当将墙体支撑结构拆除到底边时，迅速将托板连同壁画地仗层一起向内推到，平放在托板上。这种方法简单易行而且安全。

锯取法：这是当壁画背面的墙体不能拆除时采用的一种方法。基本操作方法是合适的锯条将壁画的泥层锯开，脱离原有的墙体。采取此种方法的先决条件是，壁画泥层应在二层以上（一层厚度在2厘米以上时才能采用），揭取时锯掉底层，保留表层，所用锯条一般用细而长，一端安柄，一端开齿，常常是用木工的锯条改制而成。小型的锯可用8#铝丝锤扁后开齿。

揭取时先安放好托板，再用纱布将画面与托板固牢，以免画面与地仗层脱开，然后用细而长的锯条，从壁画一边开始先由下而上的，这样锯比较安全，既可防止出现滑脱

现象又可防止锯下来的泥土进入画面背后而戳破画当锯到壁画最上边时要特别小心，在锯上下底边的同时，迅速将托板连同锯下的壁画推倒平放在地上。

震取法：此法与锯取法大致相同，如果壁画的地仗层和支撑结构之间结合得比较牢固又不易锯开时，可采用震动的方法。此法是先用钻子从壁画的地仗层一端打入灰泥层中间去，因在钻打过程中使周围的泥灰层受到强烈震动而与墙体分离开来。由于此法产生强烈震动，所以震取前一定要保护好画面。

撬取法：出现大面积空馱而画面层与地仗层强度比较好时，采用此法比较方便。操作是用一种带木柄的平铲，从壁画后面插入到地仗层与墙体脱离的空隙内，自上而下轻轻撬动，直到地仗层和墙体完全脱开，将壁画揭取下来。

木箱套取法：做一个与画面大小尺寸相同的木箱，在箱底垫上棉花或纸保护壁画画面，然后在壁画四周挖槽，将木箱套上去，直到木箱底接近画面时，从壁画背后将壁画与墙挖断，这时壁画便装入到木箱中，取下木箱，画面向下，在背面加盖，用木棍绞绑后，将画面向上，揭取完毕，即可运输。

4) 画面层的揭取方法

(1) 什么情况下采取揭取画面层的方法？

地仗层非常脆弱。

画面层与地仗层之间黏结状况很差，不允许颜料层和地仗层一起揭取。

地仗层太薄或根本没有地仗层。

壁画表面凹凸不平或不是一个平面。

希望揭取的壁画重量很轻，易于搬迁。

(2) 揭取画面层前的准备工作

• 清除壁画表面的灰尘、污物

用软毛刷清除整个画面上的灰尘，用水或有机溶剂软化画面上有碍操作的硬质泥土，污物或硬壳，然后用竹签等工具配合予以清除。

• 加固画面颜料层

如果壁画有起甲、粉化等病害，或强度较差，若画面过湿，可进行人工干燥后，用5%的聚乙烯醇缩丁醛乙醇溶液作加固剂，先在画面上涂胶贴布纱布或纸，通常第一层

使用棉纱或纸，所贴之布应比要揭取的壁画四周大几厘米，大出部分不刷胶，轻轻拉伸或挤压纱布或纸，将壁画与胶布之间的气泡全部消除。待第一层贴布干后，用2%~3%的聚乙烯醇缩丁醛乙醇溶液（胶稀可防止在画面上留下编织纹痕迹）涂刷贴布强度较大的棉布或麻布，如面积不大，也可以用纱布。

- 切割画面

依据画面的内容、结构、图案特点，在画面非精华区、非人物面部等处分割画面，尽量利用画面已有的裂隙，少开新分割线。切割时先用解剖刀沿壁画贴布边缘慢慢将画面切开，然后小心用解剖刀紧贴着墙壁背面的墙壁进行切割，千万不要伤及画面。切割深度以少许超过颜料层厚度为宜。

（3）揭取画面层

从下角开始均衡地向外拉扯贴布，并注意观察贴布是否将颜料层与地仗层剥离。

确认颜料层与地仗层剥离后，可缓慢均匀地拉扯贴布，进行揭取，随拉随卷，或使用卷筒，将粘有颜料层的贴布卷在卷筒上。

如果颜料层与地仗层局部结合紧密时，可使用手术刀等工具剔除障碍物。

揭取画面层时应注意：

加固壁画用的加固剂与粘贴纱或纸用的胶应因所用溶剂不同而不相容，如加固剂用水溶性加固剂，则贴布胶最好用有机溶剂黏合剂。

第一层贴布用胶浓度较高（以不在画面上太流动为宜）一方面为了防止纱布纹格印在壁画上，另一方面是防止胶干燥过程中收缩而对颜料层产生应力，以便于揭取。

第二层胶浓度较低，但贴布所用两道胶及溶剂应相同。

贴布干燥时间根据操作现场环境温湿度及壁画潮湿程度而定（干燥时间需要1~2天），如用有机溶剂，则干燥时间较短。另外，可使用红外灯照射等方法缩短干燥时间。

5) 揭取画面的新技术——干燥黏合剂揭取法

干燥黏合剂揭取壁画新技术的特点

近年来，国外发展了一种使用干燥黏合剂揭取壁画的新技术。因通常揭取壁画使用液体黏合剂，其缺点是可能壁画变暗、污染画面、使颜料褪色或形亮点等副作用。而干燥黏合剂揭取壁画的新方法，正好克服了上述缺点，具有不会弄湿画面，也不致伤害画

面，特别适宜于保护画面比较脆弱的壁画。

干燥黏合剂的配方

两份纯威尼斯松节油，三份浓丙烯酸树脂溶液，一份黏稠的克赛因胶和一份糊状花油混合而成。

上述树脂，掺入大量钛白粉搅拌，并用精馏的松节油调匀，得一种黏度相当高的混合物，可用来揭取较厚的画面层。

壁画揭取是一项工艺技术十分复杂，要求很严格、细致的操作，其中最关键的是壁画揭取前壁画加固与回贴所用材料的正确选择和应用操作，某种材料选择、使用不当，或某一步骤操作不当，都会带来危险，甚至毁灭性的损害。因此，如有条件或可创造条件能在现场保护的，尽可能不采取揭取搬迁的方法。

壁画原现场环境条件恶劣又无法改变的，则应采取正确的揭取和搬迁。由于揭取搬迁前后的环境差异是导致壁画产生各种病害的重要因素，因此，必须经常性的、定期的进行检查，及时发现问题、解决问题。

4.5.3 壁画的搬迁

(1) 壁画搬迁前的准备工作

搬迁壁画前，首先将必要的工具和材料准备齐全(如铲、刀、钻、凿、锯、木材、棉花、角钢等)，对木材的要求是木节少、木质松软、干燥等。木材的尺寸可根据壁画面积的大小轻重进行选择。

(2) 壁画的背面加固

当壁画揭取下来后，搬迁到较宽敞、明亮、干净的修复室，进行背面加固。

仔细清除壁画背面的杂物

将画面向下，背面向上平放在柔软的水平面上，用竹签、尖刀等工具剔除画面背面上仗层残片、灰泥等杂物，使壁画背面变成一个干净、平整的平面，操作时必须十分小心，不能损伤颜料层。

加固背面

用聚丙烯酸酯类溶液喷雾或涂刷画面层背部。画面背部加固材料应与正面贴的材料

不同，最好选用互不干扰的材料。

确定是否在背面复制地仗层或补作地仗层时，如果需要复制或补作地仗层好在复制时使用原地仗层材料制作，并用水溶性树脂和泥抹制，以增加地仗层强度。待地仗层快干时，抹压出现的裂缝，使地仗层平坦无缝。

在颜料层背面(如无地仗层)或复制了地仗层，均匀涂刷环氧树脂黏合剂，并贴上玻璃纤维布条，所用胶黏剂最好是干燥固化时没有收缩，且黏结力大。环氧树脂具有贴布所需的特性，贴布时一定要平展，不能在布与壁画之间有气泡。

待第一层胶完全固化干燥后，在第一层布上刷上一层环氧树脂，贴上第二层剥离纤维布。

壁画背面的底衬，也可用棉花和合成黏合剂来做成。国外也有用帆布或金属网做成的，还有人用水泥和石棉混合压制的薄片制得。

(3) 壁画的包装与运输

包装与运输工作都是搬迁壁画工作中的重要环节，万万不可忽视。揭取的效果虽然良好，如果因为包装不善或是运输中出了毛病，使揭取下来的壁画遇受损失，是非常可惜的。这是应该尽力避免的。

包装时一般是将壁画装入箱内，利用揭取壁画的壁板作为包装箱的底板，上面加一层盖板，或做成十字格式的框子上下用穿带、螺栓拧牢。四边垫板或木块。这样的包装箱是揭取后钉成的，在箱的空处垫以锯末包或用木丝、泡沫塑料块、旧棉花代替。

运输时一般用汽车，将包装箱平放垫牢，在车厢中如放二层以上时，隔层应用软垫。应特别注意的是行车速度，在路面情况不良时，车速须尽设放慢以防震动。

存放壁画的库房，必须干燥通风，最好单层摆放，需要重叠摆放时，应搭临时支架，使各层壁画不要互相挤压。

4.6 壁画的复原技术

复原壁画一般有三种方法：第一种是独立的支架，就是悬挂壁画的支架，不与建筑物的墙体相连，这是使支架完全脱离墙体的方案，在博物馆陈列整幅画面大多采用此种方案。复原安装在建筑物内的壁画，因为安装的位置需在原位，独立的支架占据了原

来墙体的位置。第二种是半独立的支架，这是复原安装中使用较多的式样，支架与墙体互相依附，一半砌墙，一半安支架。第三种是附在墙体的支架，此种支架砌在墙体上，二者成为牢固的整体，是被经济的方案。

以上三种方案各有优缺点，首先应该考虑的是支承壁画的支架与建筑物本身的关系问题，原来建筑物内壁画，绝大多数都是依附在建筑物的墙体上，考虑到常常由于建筑物中柱根下沉、墙体开裂或歪闪，致使壁画随之残毁的情况，当以第一种为佳。在博物馆内陈列壁画这是较好的方案。但在原来建筑物内按原位安装时，独立的支架必须占去墙体的全部或大部。一般地说古代木构建筑中的墙体不起承重作用，但它并不是可有可无的结构。实践证明，墙体对建筑物构架的刚度和抗震性能都有明显的作用，因而取消或大部分取消墙体，建筑物的安全就要受到一定程度的影响，为此，对建筑物的结构需另增添加固措施。

半独立性的支架和附在墙体的支架，最关键的问题是如何增加墙体的牢固程度，以减少由于墙体损坏影响复原后壁画的安全。采用这两种方案，在设计支架时，对墙体的加固措施应同时考虑在内。

其次考虑的问题是支架使用材料的选择，普通用的有钢架和木架两种，前者坚固、体重，造价较高，后者体轻造价低，二者各有优劣，设计时可根据当时当地的材料来源，经费情况结合考虑，选择使用。

4.6.1 复原壁画安装前的准备工作

(1) 支架制作与安装

钢支架或木支架的制作，应按设计图纸进行，首先要求尺寸准确，尤其是安装铁活子打的卯限，如稍有差错就会影响将来的画块对缝工作。钢支架与木支架应作防腐处理，砌在墙身内的横枋，对防腐处理更应注意，可采用环氧树脂等高分子材料稀释后浸泡加固。防腐处理的时间，最好在支架安装前进行，为减少防腐药膜的损伤，支架上安装铁活的卯眼应在防腐处理以前做好。

木支架在下肩墙上安装，凡立柱柱根应装柱础石。钢支架应在下肩墙顶部筑打一层钢筋混凝土板，并在立柱处预置螺栓以便安装。

（2）校对画面关系尺寸

安装前每面墙的全部壁画块（或某一段落），按照墙面的实际排列顺序，置于室内平整的地面上，依照揭取时所绘“壁画分块关系尺寸图”校对各块画面的关系，以验证粘接底托是否正确，并记录各块画面的开缝尺寸，以便预备安装时置于开缝处的垫块（薄硬木板或铁板）。这种做法等于一次“预安装”。以前曾因为忽略这一道工序，给安装工作造成一些本来可以避免的困难。

（3）搭架

其他准备工作完成后，开始在安装壁画处搭施工脚手架，条件允许也可制作活动脚手架，一般情况下，顶部的吊装设备需用固定架木，也可借助古建筑构件安置吊装的滑轮。

此外在安装前，如果条件允许，于壁画修复后分块照相记录，一方面与修复前作为对比资料，另一方面也可得到一套平时拍照时不易得到的好机会。拍照的各块壁画按墙面次序排列，拼成一整幅墙面壁画，可收到一般拍照所达不到的效果。

4.6.2 安装壁画

（1）安装工序

安装壁画一般习惯称为“挂画”，首先在即将复原安装的建筑物内，按施工顺序分成几个作业区，视人力设备、时间的要求逐区完成。每面墙的挂画顺序，一般情况自一端开始，如为两层或三层画块，则应先下层后上层，分条安装。修复后的画块，一般是每平方米需40~50公斤，每块画应为100~200公斤，所以挂画时应在画块顶部安装吊钩、滑轮将画块沿墙面吊起，对准取位后，将画块慢慢平均地推进与支架贴紧，基本对正后，先用铁活进行初步固定，再校核各块之间的关系，看尺寸是否相合，四面尺寸连同墙面收分校正无误后，最后固定铁活，至此安装工作完成。

（2）安装铁活

这是根据安装方法，加固壁画背面框子的质地式样，而专门设计制作的，每次施工都不可能完全一致，这里以永乐宫壁画的安装铁活为例，供设计参考。

永乐宫的安装铁活共分两类，一类是预置在木框内的称为“双连铁活”，分上下两部

分，底部为一块长方形铁块，两端各有一个螺栓，予安在木框棂条的背面，螺栓穿过棂条，上部亦为一块铁板，长宽与底板相同。正中螺栓两端打眼，以承底部螺栓。木框在做防腐处理过程中，就需将双连铁活安好在木框上。挂画时将上部正中的螺栓穿过木架的横撑，用方垫板固定在木支架上，此种构件在挂画中起到挂钩作用。

另一类称为“连结铁活”又称“拉扯铁活”。因使用位置不同分为三种，即底边铁活，平板钩和弯钩（又可分为左弯和右弯两种）。此类铁活都是用薄铁板制成，是固定壁画背面木框与木支架的主要构件，安装时都分布在画块的四角和周边，又可起到防止背面木框变形的作用。

4.6.3 修整壁画

（1）壁画锯缝修补

在修补锯缝前，首先将贴在壁画上的纸和纱布去除。如果贴布时所用胶黏剂是水溶性的，则用热水软化贴布，去除的方法是用温度 40℃左右的蒸馏水将纸和纱布润湿，停 5~10分钟，揭去纸和纱布，并将画面清理干净。如果是有机溶剂，则用有机溶剂软化贴布。操作时可用脱脂棉蘸取热水或有机溶剂后，敷贴或轻轻擦拭。

待表面贴布及黏合剂完全软化后，小心缓慢地将贴布揭取，操作时必须十分细心，贴布必须完全软后才能揭取，否则极易损坏颜料层。清除壁画表面余胶，用脱脂棉蘸取溶剂慢慢、轻轻、仔细地将壁画表面的余胶擦洗干净。

补缝用的材料均与原壁画地仗相同。补锯缝的第一步是向锯缝内注蒸馏水数次(切勿使水流淌在壁画表面，避免对壁画造成新的污染)，然后再分数次(与原地仗层相同)填补泥层，第一层泥基本干透后再补第二层泥。表面的泥层略低于原壁画面，补绘壁画后，锯缝与原壁面的高度才能统一。

（2）壁画补缺

揭取前的壁画，遇有残缺面积较大，复原安装时，应朴抹完整，根据遇到的实际情况，大体上有两种处理方法。一种是整幅墙面中，残缺面积较大。此种情况最好按原来做法砌墙抹灰或抹泥，于相邻墙面的壁画复原安装后，按壁画颜色的基调刷色作旧。另一种是整幅墙面中残缺面积较小，是揭取时的空白处，属于无编号的画块。复取安装中

又不适于砌墙，遇此种情况，通常是利用修复壁画中所用的木框，钉板条抹泥或抹灰，泥灰的和制应与原画画一致，干后与正式揭取修复的画块同时进行安装，然后刷色作旧。

（3）壁画补平

这里所说的补平，是指原画四周，主要是整幅墙面的顶部遇有参差不齐时，在修复中应予补平，最妥善的办法是在设计底托时，将最上层画块的高度进行适当调整，于修复画块时即可随同补抹平整。应注意调整尺寸时，只能增高不能减低，以不损伤原有壁画为准则。若因事先未注意到此项工作或是因其他原因，安装后整幅画面各块顶边不齐，应在安装墙顶时予以补平，抹泥材料与补缝相同，

相邻两面墙的交角，往往由于抹制不够准确，造成接缝的不够匀直，此种情况也应在制作底托时调整令直，补缝方法同前。

（4）修复壁画画面

待画面干燥后，修复和加固画面，首先观察颜料层是否有起甲、酥粉等现象，采取相应措施进行加固修复处理。

修补画面残缺和分幅线的缝隙，可用原壁画上铲下来的旧土或旧灰泥修补，这样既不易开裂，颜色也容易和原壁画协调。

（5）补线补色

修补的灰泥干燥后，根据临摹品的原始记录进行补色补线，但必须尊重作者原创壁画艺术品的原貌，不得擅自改动或加进修复者的臆想。补色工作是一项专业性较强的工作，必须具有一定美术专业基础的人员才能承担。另外补色用的颜料，根据复原洞窟壁画颜料分析结果，选用相同的矿物颜料。补色虽然是局部的，但是绘画程序应与制作壁画相同，否则做不出原壁画的效果。对壁画以前残缺和脱色部分，均不作修补，只有这样才能“修旧如旧”。

用传统的胶矾水或合成树脂如聚乙烯醇缩丁醛、聚甲基丙烯酸丁酯、丙酯、丙烯酸酯等进行一次表面封护加固。

4.7 壁画边缘加固技术与材料

4.7.1 壁画边缘加固技术

边缘加固是通过介入修补材料到缺损壁画的边缘以防止缺损部分继续扩大的处理方法。

边缘加固是防护性手段，其目的是防止壁画脱落范围的扩大。理想的加固效果是加固后的壁画物理性质与原壁画相同；化学性质稳定、抗劣化；加固处理不改变光学性质，即加固后的壁画看上去与原来没有差别；加固处理的结果不妨碍以后的保护。

边缘加固材料的选择应在充分了解壁画制作材料及所处环境的基础上进行，选择与原材料物化性质、颜色、纹理相同或相近的材料。修补和边缘加固材料应作为牺牲材料介入到壁画结构中。

操作过程：边缘加固的操作过程主要有清除操作面的杂物、预加固、打湿、介入材料进行修补和边缘加固。

1) 清除杂物。壁画破损或脱落部分的边缘经常残留一些松散的地仗材料，此外还经常有积尘、蜘蛛网、鸟粪等各种污染物。首先应该清除这些杂物。

2) 预加固。有时操作面材料疏松，无力抓住修补和边缘加固材料，此时应对操作面进行加固，使其恢复一定的机械强度。加固时应注意避免加固剂在表面形成一层膜，否则不利于修补和边缘加固材料的结合。

3) 打湿。为了使修补和边缘加固材料与壁画结合紧密，在进行修补和边缘加固时应将操作面打湿，降低壁画对修补和边缘加固材料中水分的吸收速率，确保结合质量。

4) 介入修补和边缘加固材料。修补和边缘加固材料不仅起到封护壁画残损面的作用，更重要的是对壁画有承托和锚固作用。因此，上述操作面不仅指壁画的残损面，而且还包括与之相邻的支撑体。实际操作时应该用力将修补和边缘加固材料压在壁画残损面和支撑体上，使其牢固结合。有时壁画存在一定程度的空鼓，此时应尽量向空鼓空间内塞入修补和边缘加固材料，然后将壁画尽量推回原位，再进行残破表面的修补或边缘加固。在材料干燥过程中应注意观察，防止开裂。如果开裂，可采用刷水后反复抹压的办法处理。注意表面纹理的处理，不要过于光滑，应与壁画表面的纹理相同或相似。颜色的调节可采用在材料中加入颜料或修补后再全色的办法，但原则是远观与壁画和谐，

近看与壁画有别。

5) 注意事项。

①干燥的问题。加固溶液的渗透深度取决于壁画的毛细作用。如果壁画材料的微孔中存在水,则溶液渗透效率降低甚至无法渗透,因此,加固应尽量选择在干燥季节实施,如果环境或壁画比较潮湿,应采取措施使其干燥。

②渗透深度的问题。一般情况下渗透深度越大越好。为了增加渗透深度,应该选择适当的溶质、溶剂、并注意操作方法。加固剂应选用小分子材料,尽量采用溶液形式,溶剂最好选择非极性、低挥发性材料,便于将加固材料带到壁画结构深处。操作时可在加固部位临时覆盖一层塑料薄膜以延长渗透时间。

③加固强度的问题。传统的观念认为加固强度越高越好,但实践证明并非如此。加固强度越高,加固部位与未加固部分的物理性能差别越大,产生病害的可能性越大;另外,加固强度越高,病害越容易侵害未加固的部分,使壁画原材料成了牺牲材料,违背了加固的初衷。因此,加固强度并非越高越好,而是越接近原材料的强度越好。

4.7.2 壁画边缘加固材料

(1) 颜料层加固材料

根据文献资料,壁画颜料层加固效果较好的材料有聚乙酸乙烯酯乳液、聚乙烯醇缩丁醛、硅酸乙酯、聚乙烯醇、丙烯酸乳液、Paraloid B72、PU乳液8中合成高分子加固材料,以及桃胶、明胶、胶矾水、熟桐油4种天然高分子材料。壁画颜料层加固工艺有滴注、涂刷、喷雾3种。

通过性能对比可知:

1) 当各类加固剂质量分数为2%时,加固效果较为理想。加固剂质量分数为1%时,加固强度较低,颜料颗粒易脱落。

2) 桃胶、明胶等有较好的透气透水性,对颜料颜色影响较小,但桃胶、明胶等天然材料黏结强度小,易受微生物侵染,可作为壁画颜料层临时性加固材料。

3) 聚乙酸乙烯酯乳液加固的壁画样品表面较为粗糙,光泽度降低,易吸附灰尘。对颜料层色度改变较大,不宜作为馆藏壁画保护修复加固剂。

4) PEOVAL对壁画颜料层颜色影响较小, 光泽度、防尘效果与透气性符合馆藏壁画加固修复要求, 质量分数为3%的PEOVAL效果最好。

5) AC-33对壁画颜料层颜色影响很小, 光泽度、进气性与防尘效果很好, 质量分数为3%的乳液较为合适。

6) 聚乙烯醇缩丁醛质量分数为3%时, 在壁画表面易形成一层光滑、致密且有一定光泽的薄膜, 影响壁画整体的透气性。建议使用质量分数为2%。

(2) 地仗层加固材料

综合分析壁画缺失地仗层修补材料的固化、干燥开裂、膨胀收缩、抗折强度数据, 用质量分数为1%的AC-33乳液调和沙子:石灰=1:1的材料可作为壁画缺失地仗层的修补材料。

壁画内部空鼓可注入5%-10%的AC-33乳液, 从低浓度到高浓度分别注入, 注入量根据空鼓程度及渗透深度控制。

地仗层酥碱部位选用质量分数为5%的AC-33乳液作为加固剂。

地仗层破碎, 用注射器滴渗质量分数为20%的AC-33乳液, 对地仗层加固。

(3) 画面裂缝修补技术与材料

用吸耳球将裂缝内的尘土吹净, 选用与壁画地仗层相同的材料, 用质量分数为2%的AC-33乳液调制成泥, 填补裂隙。裂隙填补处应低于壁画颜料层, 并依据画面内容适当补色。

4.7.3 地仗层修补技术与材料

缺失地仗层修补材料筛选

如果地仗层缺失, 可作适当的修补, 修补后的地仗层应低于壁画颜料层。针对壁画地仗特点, 试验不同比例石灰、沙子混合, 并添加一定量的AC-33或聚乙酸乙烯酯乳液制成的石灰泥作为壁画地仗的修补材料。

(1) 实验样品

选用石灰(发酵半年的饱水熟石灰)、沙子(粒径范围为0.25~0.1mm, 淘洗并晾干)、AC-33乳液、聚乙酸乙烯酯乳液。

将沙子与石灰分别以1:4、1:2、1:1、2:1的比例混合，总质量约为300g。每种比例制3个样品，分别为纯石灰样、质量分数为1%的AC-33、质量分数为1%聚乙酸乙烯酯乳液。

将2块长玻璃板放置在高密度板上，用游标卡尺确定其间距为5厘米，用胶带纸将玻璃板与高密度板固定。将调配好的样品在2块玻璃板之间均匀抹平，厚度与玻璃板等厚（5毫米）。待样品初步固化后，撤去玻璃板，用铲刀切出样品（长40厘米）。

(2) 实验结果

1) 固化干燥与产生裂隙情况

对样品固化干燥时产生裂隙情况定期观察记录，结果见下表。

表4-1 干燥过程中的裂隙情况

样品编号	材料配比	干燥1/2~1天裂隙发展状况	干燥后裂隙发展状况 (干燥时间4~5天)
1	沙子:石灰=1:4	出现若干条细小裂纹	
2	沙子:石灰=1:4 (质量分数为1%的聚乙酸乙烯酯)	出现若干条细小裂纹	开裂严重，裂隙贯穿整体，大多为横向裂隙
3	沙子:石灰=1:4 (质量分数为1%的AC-33)	出现若干裂纹，一条张开度为1mm，其余小于1mm	
4	沙子:石灰=1:2		开裂严重，裂隙贯穿整体，纵横交错
5	沙子:石灰=1:2 (质量分数为1%的聚乙酸乙烯酯)	未出现裂纹	开裂较少，有细裂纹2~3条
6	沙子:石灰=1:2 (质量分数为1%的AC-33)	出现两条细小裂纹	
7	沙子:石灰=2:1	未出现裂纹	未出现裂纹
8	沙子:石灰=2:1 (质量分数为1%的聚乙酸乙烯酯)	未出现裂纹	未出现裂纹
9	沙子:石灰=2:1 (质量分数为1%的AC-33)	未出现裂纹	未出现裂纹

10	沙子:石灰=1:1	未出现裂纹	开裂较少, 有细裂纹3~4条
11	沙子:石灰=1:1 (质量分数为1%的聚乙酸乙烯酯)	未出现裂纹	未出现裂纹
12	沙子:石灰=1:1 (质量分数为1%的AC-33)	未出现裂纹	未出现裂纹
13	纯石灰	——	开裂严重, 裂隙贯穿整体, 纵横交错

上表数据说明:

1) 石灰所占比例越大, 出现的裂隙越多, 开裂越严重; 纯石灰开裂最为严重; 沙子所占的比例越大, 出现裂隙越少。

2) 沙子比例较大时修补材料颜色深暗, 与原地仗差别较大。

3) 当沙子与石灰的比例是2:1时没有出现裂隙; 当沙子与石灰的比例是1:1时, 加入质量分数为1%的聚乙酸乙烯酯或质量分数为1%的AC-33时没有出现裂隙。

4) 加入质量分数为1%的聚乙酸乙烯酯的效果好于质量分数为1%的AC-33。

(2) 膨胀率测定

样品干燥后, 在两端及中间各取一点, 测其宽度, 求出平均值, 并与之前固定宽度5cm比较, 计算样品的膨胀率, 结果见下表。

表4-2 膨胀系数测定实验数据

样品编号	材料配比	干燥前宽度	干燥后宽度	膨胀率
		/cm	平均值/cm	/%
1	沙子:石灰=1:4	5	5.135	2.7
2	沙子:石灰=1:4 (质量分数为1%的聚乙酸乙烯酯)	5	5.128	2.6
3	沙子:石灰=1:4 (质量分数为1%的AC-33)	5	5.121	2.4
4	沙子:石灰=1:2	5	5.009	0.2
5	沙子:石灰=1:2 (质量分数为1%的聚乙酸乙烯酯)	5	5.027	0.5
6	沙子:石灰=1:2 (质量分数为1%的AC-33)	5	5.020	0.4

7	沙子:石灰=2:1	5	5.070	1.4
8	沙子:石灰=2:1 (质量分数为1%的聚乙酸乙烯酯)	5	5.019	0.4
9	沙子:石灰=2:1 (质量分数为1%的AC-33)	5	5.093	1.9
10	沙子:石灰=1:1	5	5.047	0.9
11	沙子:石灰=1:1 (质量分数为1%的聚乙酸乙烯酯)	5	5.109	2.2
12	沙子:石灰=1:1 (质量分数为1%的AC-33)	5	5.114	2.3
13	纯石灰	5	5.073	1.5

上表数据说明:

1) 样品膨胀率均比较小, 其中沙子:石灰=1:2和加入质量分数为1%聚乙酸乙烯酯沙子:石灰=2:1样品的膨胀率低于0.5%。

2) 当沙子所占比例较低时, 加入聚乙酸乙烯酯的膨胀系数较大, 当沙子所占比例较高时, 加入聚乙酸乙烯酯的膨胀系数较小。

3) 抗折强度的测定

切取5cm×5cm的样品块, 在5cm×2.5cm处水平固定, 另一部分悬空放置, 其上放一载玻片, 载玻片上递加砝码, 记录样块断裂时砝码总数, 测定结果见下表。

表4-3 抗折强度测定数据

样品编号	样品	剪切力
1	沙子:石灰=1:4	碎裂未测试
2	沙子:石灰=1:4 (质量分数为1%的聚乙酸乙烯酯)	碎裂未测试
3	沙子:石灰=1:4 (质量分数为1%的AC-33)	280g
4	沙子:石灰=1:2	碎裂未测试

5	沙子:石灰=1:2 (质量分数为1%的聚乙酸乙烯酯)	300g
6	沙子:石灰=1: 2 (质量分数为1%的AC-33)	400g
7	沙子:石灰=2:1	900g
8	沙子:石灰=2:1 (质量分数为1%的聚乙酸乙烯酯)	500g在2/3处断裂
9	沙子:石灰=2:1 (质量分数为1%的AC-33)	620g在2/3处断裂
10	沙子:石灰=1:1	920g
11	沙子:石灰=1:1 (质量分数为1%的AC-33)	600g在2/3处断裂
12	沙子:石灰=1:1 (质量分数为1%的聚乙酸乙烯酯)	750g
13	纯石灰	碎裂未测试

上表数据说明:

- 1) 石灰所占的比例越大, 抗折强度越低; 沙子:石灰=1:1样品抗折强度最高。
- 2) 当沙子与石灰的比例相同时, 加入质量分数为1%的AC-33样品的抗折强度高于质量分数为1%聚乙酸乙烯酯。
- 3) 沙子:石灰=1:1抗折强度较适宜馆藏壁画缺失地仗层的修补。

综合分析馆藏壁画缺失地仗层修补材料的固化、干燥开裂, 膨胀收缩、抗折强度数据, 用质量分数为1%的AC-33乳液调和沙子:石灰=1:1的材料可作为馆藏壁画缺失地仗层的修补材料。

破碎地仗层修补材料筛选

(1) 样品制备

将石灰研磨成不同粒度颗粒, 用筛子分成3级 ($D < 2\text{mm}$ 、 $2\text{mm} \leq D \leq 5\text{mm}$ 、 $5\text{mm} \leq D < 10\text{mm}$), 分别按照:

- 细碎颗粒模拟的破碎地仗。
- 较大颗粒模拟的破碎地仗。

- 大颗粒模拟的破碎地仗。
- 细颗粒与较大颗粒混合模拟的破碎地仗。
- 细碎颗粒、较大颗粒和大颗粒混合模拟的破碎地仗。

5种不同情况称取20g放置在统一大小的纸盒内。

选取以下6种材料，配制不同质量分数的加固剂，对破碎地仗进行加固实验。

AC-33 乳液（2%，4%，5%，10%，20%）；

- PEOVAL（2%，4%，5%，10%）；
- 聚乙酸乙烯酯乳液（2%，4%，5%，10%，20%）；
- 聚乙烯醇（2%，4%，5%，10%，20%）；
- 聚乙烯醇缩丁醛（2%，4%，5%，10%，20%）；
- 硅酸乙酯（2%，4%，5%，10%，20%）。

（2）模拟样品加固

采用10ml注射器进行滴注加固，加固时间以3~5分钟为宜。开始滴渗时记录时间，以寻求最佳的滴渗时间，一般滴渗完10ml加固剂需5分钟左右。

对于几种粒径范围配比的样品，加固剂沿小颗粒方向渗透较快。滴渗时石灰颗粒体积无明显变化。用6种加固剂分别加固样品A~F。加固后的样品在半天到一天内固化，颗粒之间虽无移动，但其加固强度很低，无法测试强度。

（3）结果分析

1) 加固剂固化时间

加固剂固化时间直接影响加固效果及加固剂的应用，固化时间太长，不利于壁画修复。AC-33、PEOVAL、聚乙酸乙烯酯、聚乙烯醇、聚乙烯醇缩丁醛在低浓度下固化需1~2天。

2) 加固剂流动情况

加固剂的流动性较差时，导致壁画地仗层局部加固强度较高，不利于壁画修复。加固剂在低浓度下易流动，有利于破碎地仗的均匀加固。AC-33、PEOVAL、聚乙酸乙烯酯、聚乙烯醇效果较好。

3) 强度测试

加固样品的强度是衡量破碎地仗加固效果的最主要指标。通过观察和用不同硬度铅笔测试,选择质量分数为20%的AC-33、质量分数为10%的PEOVAL、质量分数为20%的聚乙酸乙烯酯用于馆藏壁画破碎地仗层的黏结加固。

4.8 缺损壁画的修补技术与材料

依据壁画缺失地仗层修补材料筛选实验结果,用质量分数为1%的AC-33乳液调和粉砂:石灰=1:1修补材料,粉砂和石灰的粒度控制在150-300 μm 。其特点是容重小、透气透水性好、收缩率小、强度适中并且可调,修复工艺如下:

(1)清理画面灰尘,用质量分数为10%的桃胶将宣纸贴到壁画表面,对颜料层进行保护。

(2)在地仗层脱落处,用排刷、修复刀等将沙土、地仗碎残块清理干净。

(3)沿地仗层脱落处边缘,用注射器和专门用于壁画修复的大号加长针头滴渗质量分数为15%的AC-33乳液,对地仗层加固。

(4)用上述方法滴渗质量分数为5%的AC-33乳液,对灰泥层加固。

(5)将上述泥浆涂抹于地仗层缺失处,少量多次进行。

(6)修补材料表面应低于壁画颜料层。

(7)每天收压3~5次,直至修补材料完全干燥。

(8)依据画面内容适当补色。

4.8.1 破碎地仗层修补技术

(1)用洗耳球、修复刀将破碎地仗缝隙中的尘土和画面灰尘清理干净。

(2)依据资料拼接破碎壁画地仗层。

(3)沿破碎地仗层缝隙,用注射器滴渗质量分数为20%的AC-33溶液,对地仗层加固。

(4)如果缝隙较大,可用大号注射器注浆。

(5)修补材料表面应低于壁画颜料层。

4.9 壁画表面污染物清除技术与材料

4.9.1 表面污染物类型及清除原则

表面污染物类型

壁画揭取、加固、复原性修复中使用加固剂、黏结剂、封护剂等材料，一般在壁画上都有残留。馆藏壁画表面污染物主要有以下几个方面。

(1) 泥土及钙质土垢

我国馆藏壁画大部分揭取于墓葬，出土时的壁画埋藏在土中，抢救性揭取保护受时间等因素限制，较难彻底清除画面泥土；壁画经过加固、封护、贴纸、贴布，使用明胶、桃胶、乳胶、聚乙烯醇、Paraloid B72等材料加固，造成馆藏壁画画面的泥土及钙质土垢污染。

泥土及钙质土垢污染影响了壁画颜料层及壁画价值，应在不伤害壁画颜料层的前提下予以去除。

(2) 菌斑污染

馆藏壁画揭取时使用桃胶等材料，在潮湿环境下易滋生微生物污染画面，甚至对壁画地仗层材料产生破坏作用。

(3) 残留胶污染

从壁画揭取到复原性修复使用的加固、封护材料未清除干净，有时将画面泥土、灰尘等污染物加固在壁画上。残留胶主要有桃胶、明胶、聚乙酸乙烯酯、聚乙烯醇、丙烯酸树脂、Paraloid B72、环氧树脂等。

(4) 其他污染物

壁画保存过程中会受到人为因素的影响，如油漆、涂料、石灰覆盖、揭取时粉笔标记，以及人为写画等污染画面；还有鸟类、昆虫粪便等污染画面。

清除原则

(1) 清除目的

表面污染物清除是壁画修复的重点和难点，目的在于消除病变造成的后果，延长壁画保存和使用时间，尽可能还原壁画的历史价值、美学价值。

(2) 清除原则

壁画画面清除是不可逆过程，是迫不得已的直接干预行为。清除时既要去除污染物，又不能对壁画造成伤害。应满足以下要求：

1) 清除时必须对画面上存在的污染物类型、影响范围及程度、成因等进行全面分析评估，明确清洗部位、清洗程度及清洗材料、工艺。

2) 任何不当操作将造成无法挽回的损失，必须严格遵守文物保护修复原则和操作规程。

3) 清洗过程中的每一阶段应是可控的、渐进的、选择性的。清洗工作结束时不应在画面上留下有害物质，也不应在画面留下任何磨损和冲蚀痕迹。

4) 清除时准确把握“度”，修复人员的审美观、个人知识储备和技能等是重要的影响因素。

4.9.2 画面钙质土垢清除技术

以唐昭陵长乐公主墓揭取壁画表面硬质土垢为对象，研究馆藏壁画钙质土垢清除技术。

土垢成分

用手术刀剔取少量土样，应用全自动X射线衍射仪(日本Rigaku)、Quanta 200环境扫描电子显微镜(FEI公司)进行土垢矿物和化学成分分析，结果如下表所示。

表4-4 壁画钙质土垢成分分析结果(单位：%)(质量分数)

墓葬名称	C	O	Mg	Al	Si	Au	K	Ca
长乐公主	10.37	31.38	0.62	1.83	4.70	8.96	1.61	38.85
段简壁	18.59	40.58	0.81	3.96	25.40	—	1.40	7.19

长乐公主墓壁画表面土垢的主要成分为 CaCO_3 和 SiO_2 。 CaCO_3 虽然不直接危害壁画，但形成坚硬的土垢层后，难以去除。土垢中的 SiO_2 会随着水分的蒸发缓慢向壁画表面迁移，形成白色二氧化硅或硅酸盐的硬壳层，遮盖壁画颜料层。由表中数据可知，土垢中钙含量较高，说明长乐公主墓、段简壁墓壁画表面黏结大量的硬质土垢，是土中的钙、镁离子与空气中的 CO_2 结合生成碳酸盐硬质结壳，称为钙质土垢。

钙质土垢清洗剂浓度筛选

对于钙质土垢清洗剂，应满足以下要求：

- (1) 有很好的润湿能力，具有一定的渗透深度。
- (2) 不改变壁画颜料颜色。
- (3) 清除钙质土垢效果较好。

壁画钙质土垢常用清除材料和工艺

壁画钙质土垢常用的清除材料有：去离子水、离子交换树脂、六偏磷酸钠、乙二胺四乙酸二钠盐（EDTA）。

(1) 六偏磷酸钠

通常情况下，使用15%的六偏磷酸钠水溶液去浸润表面难溶解的盐，六偏磷酸钠会与难溶盐阳离子发生络合反应，这样就可以达到清洗难溶盐的效果。

一般的操作方法：

使用棉签直接清洗

多纤维纸张敷于难溶盐上

脱脂棉花敷于难溶盐上

(2) 乙二胺四乙酸二钠盐（EDTA）

与难溶盐的反应机理与六偏磷酸钠基本一样，都是通过络合反应实现，通常EDTA二钠盐不单独使用，配成溶液使用。

配方一：

水 1000ml，氢氧化钠 80g，三乙醇胺30ml，EDTA二钠盐 100g，苯磺酸钠表面活性剂 5℃
10g

可以将有难溶盐的陶瓷片放入以上溶液中加热至70℃~80℃，取出后用2%的醋酸溶液中和，最后用去离子水清洗

配方二：

水 1000ml，碳酸氢钠 50g，碳酸氢铵 30g，EDTA二钠盐 25g，Desogen（季铵盐）10ml，羟甲基纤维素 50g

调成糊状，采用塑料薄膜或铝箔覆盖敷法。其溶液的pH酸碱度为7.5。这里存在的两种碳酸氢盐，起清除作用，能溶解石膏盐。最后用去离子水清洗。

4.9.3 画面菌斑清除技术

菌斑污染了壁画表面，并对壁画产生侵蚀作用，减弱了壁画的视觉艺术效果。

馆藏壁画主要微生物种类及其危害

由于后期保护材料多为有机物，感染馆藏壁画的微生物以霉菌为主。霉菌是生长在营养基质上形成毛绒状、蜘蛛网状或絮状菌丝体真菌的统称，包括在分类学上不不同的许多真菌，如藻状菌纲、子囊菌纲和半知菌类等。霉菌具有发达的繁殖能力，因此广泛分布、高速生长于各种有机质或动植物残体上，并具有适应性强，易于变异等特点。

(1) 壁画常见霉菌种类

有关壁画表面常见霉菌种类，许多人做过研究，表4-5是依据文献调研成果统计的壁画常见霉菌种类。

表4-5 壁画表面常见的霉菌种类

属名	种名	属名	种名	
青霉属	桔青霉 <i>Penicillium citrinum</i>	青霉属	变灰青霉 <i>Penicillium canescens</i>	
	产黄青霉 <i>Penicillium chrysogenum</i>		托姆青霉 <i>Penicillium thomii</i>	
	白边青霉 <i>Penicillium italicum</i>		沙门柏干酪青霉 <i>Penicillium camemberti</i>	
	圆弧青霉 <i>Penicillium cyclopium</i>	曲霉属	黄曲霉 <i>Aspergillus flavus</i>	
	荨麻青霉 <i>Penicillium urticae</i>		黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i>	
	扩展青霉 <i>Penicillium expansum</i>		白曲霉 <i>Aspergillus candidus</i>	
	产紫青霉 <i>Penicillium purpurogenum</i>		构巢央霉 <i>Aspergillus nidulans</i>	
	微紫青霉 <i>Penicillium janthi nellum</i>		杂色曲霉 <i>Aspergillus versicolor</i>	
	筒青霉 <i>Penicillium simplicissimum</i>		焦曲霉 <i>Aspergillus ustus</i>	
	顶青霉 <i>Penicillium coryophilum</i>		黄柄曲霉 <i>Aspergillus flavipes</i>	
	短密青霉 <i>Penicillium brevicompactum</i>		淡黄曲霉群 <i>Aspergillus cremeus group</i>	
	土壤青霉 <i>Penicillium terrestre</i>		枝孢霉属	腊叶枝孢 <i>Cladosporium herbarum</i>
	萎地青霉 <i>Penicillium roqueforti</i>		交链孢霉	交链孢霉 <i>Alternaria sp.</i>
	常见青霉 <i>Penicillium frequentans</i>	葡萄状穗霉	黑葡萄状穗霉 <i>Stachybotrys atra</i>	
	斜卧青霉 <i>Penicillium decumbens</i>	筒梗孢霉属	筒梗孢霉属 <i>Chromosporium</i>	
	新西兰青霉 <i>Penicillium novae-zeelandiae</i>	头孢霉属	头孢霉属 <i>Cephalosporium</i>	
	黑青霉 <i>Penicillium nigricans</i>	根霉属	葡枝根霉 <i>Rhizopus stolonifer</i>	
	褶皱青霉 <i>Penicillium rugulosum</i>	毛霉属	林木毛霉 <i>Mucor silvaticus</i>	
	局限青霉 <i>Penicillium restrictum</i>	脉孢菌属	脉孢菌 <i>Neurospora</i>	

注：数据由《文物保护与考古科学》、《敦煌研究》、《考古与文物》、《文博》、《中原文物》、《北方文物》、《华夏考古》等自创刊至2006年壁画墓发掘报告或研究文章统计。

(2) 馆藏壁画霉变原因

空气中有大量霉菌孢子存在。霉菌的生长需有适宜的湿度和温度。温度范围很广，在7℃~43℃均可生长，在20℃~30℃时生长繁殖最快。霉菌生长要求相对湿度在60%~75%以上，相对湿度上升时，霉菌生长繁殖加快，在相对湿度为95%左右时极为旺盛。霉菌在pH为2~9的宽广范围内均能生存，但最适宜的pH是5.6。霉菌比一般微生物对苛刻环境具有更强的适应力。

古代壁画制作中在地仗层中添加草、麻、棉等纤维质材料以增加韧性和强度。颜料中添加动植物胶等有机材料，在揭取过程中使用的桃胶等有机材料，均为霉菌的生长提供了营养源。

(3) 霉菌对壁画的危害

有关霉菌对壁画的危害，冯清平等进行了较为深入的研究。霉菌对壁画的污染和侵蚀尤其严重，霉菌生长的同时会产生有机酸和色素，加快了地仗层的酥松和颜料层的脱落、变色，使壁画失去原本蕴含的许多历史信息及美学价值。即使霉菌孢子处于死亡或

休眠状态，也会留下难以去除的污痕，影响壁画整体面貌，破坏壁画艺术观赏效果。壁画颜料中的有机黏结剂是霉菌的生长基质之一，霉菌对该类基质的侵蚀直接导致了颜料中胶料的分解与流失，造成颜料间原本已残留不多的黏结力彻底消失，从而导致颜料的脱落。

此外，霉菌在其生长过程中产生的各种代谢产物，也会对壁画造成侵蚀。例如，曲霉属中的黄曲霉、黑曲霉能产生柠檬酸、草酸、苹果酸、葡萄糖酸等；青霉属中的桔青霉产生葡萄糖酸，产黄青霉产生葡萄糖酸、柠檬酸和抗坏血酸等；白曲霉有很强的蛋白质分解能力，葡萄状穗霉含有很强的纤维素酶，枝孢霉和交链孢霉是典型的腐霉等。有机酸能与白粉层中的 CaCO_3 发生反应，生成可溶性的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 致使壁画软腐。纤维素酶能分解地仗层中的麦草纤维、麻纤维或棉纤维。黑曲霉还具有很强的蛋白质分解能力，它们有可能分解颜料层的动植物胶。除此之外，霉菌是丝状菌，在用小刀取霉斑样时就发现菌丝不仅在表面生长，而且已伸入壁画层内，不容易除去，菌丝侵入壁画颜料层内也是造成颜料剥落的原因之一。

壁画霉斑清洗实验

(1) 模拟壁画霉变样品

壁画模拟样品是由块 $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ 涂刷各种颜料以及一块未涂刷颜料的空白样品组成，每块样品上用石灰、石膏模拟制作地仗层，并分为10个色区，涂刷10种不同颜料。

1) A组样品3块。涂刷国画颜料，颜色鲜艳且较深，分别为藤黄、花青、三绿、三青、翡翠绿、赭石、朱膘、曙红、胭脂、朱砂。

2) B组样品3块。涂刷明胶调和的矿物颜料，颜色较浅，分别为大红、赭石、胭脂、朱膘、曙红、石青、朱砂、土黄、石绿、深红。

3) 陕西历史博物馆曾用于揭取壁画(编号B临178)的棉纱，上面留有大量霉斑。

4) 有霉斑的馆藏壁画编号为B临194，由陕西历史博物馆提供。

将双层棉纱直接覆盖在壁画模拟样品表面，每块上喷洒孢子悬浮液20ml、少量质量分数为3%桃胶溶液，置于温度 28°C 的培养箱中观察，每日上午9:00~10:00喷菌孢子悬浮液、洒水各一次，以确保纱布的湿润度及含菌量，25天后观察到棉纱及模拟壁画样品的颜料层表面有霉菌生长，但模拟壁画样品上只有霉菌菌丝，未形成霉斑，约45天后有

霉斑出现。

(2) 测试内容及指标

壁画颜料层清洗前后的变化，清洗前后颜料色度的变化，棉纱清洗前后外观颜色及质地的改变。

测试条件：

在霉菌培养箱中模拟壁画样品发霉实验：温度为28℃，相对湿度大于80%，时间为45天，受试菌种为陕西历史博物馆壁画上采样分离出的霉菌菌种(高大毛霉、蜡叶芽枝孢霉、灰绿曲霉、焦曲霉、暗篮曲霉、棒曲霉)。

馆藏壁画霉斑主要清洗剂：

A质量分数为5%的胰蛋白酶+清洗剂稀释液(微量)。胰蛋白酶是一种丝氨酸蛋白水解酶，它能水解碱性氨基酸精氨酸及赖氨酸羧基所组成的肽键。酶本身很容易自溶，其作用的最佳pH为8.0~9.0。胰蛋白酶活性能被胰腺中的天然抑制剂所抑制，钙离子能延迟胰蛋白酶的自溶，并能促进胰蛋白酶的活性。胰蛋白酶水解的最适pH为8，在pH为7.5~8.5时稳定，最适作用温度为45℃，能被Mn²⁺、Ca²⁺、Mg²⁺激活。酶的活性中心含丝氨酸，属于内切蛋白酶，可切开羧基端为碱性氨基酸(如精氨酸、赖氨酸)的肽键，对蛋白质水解能力较强。

B质量分数为5%的中性蛋白酶+清洗剂稀释液(微量)。中性蛋白酶是经选育的枯草芽孢杆菌深层发酵培养后经先进的提取工艺精制而成的一种内切蛋白酶，在一定温度、pH下，将大分子蛋白质分解为多肽及氨基酸等产物。中性蛋白酶作为一种内切蛋白酶，具有纯天然、安全无毒、水解能力强、作用范围广等特点。中性蛋白酶可用于动植物蛋白的水解。最适温度50℃，最适pH为7.0。

C氨水。

D质量分数为70%的乙醇溶液。

E蒸馏水。

(3) 模拟馆藏壁画霉斑的清洗

用上述配制好的清洗剂分别清洗已发霉的壁画模拟样品表面霉斑，轻轻揭取已发霉的模拟壁画表面纱布，先用毛笔蘸去离子水冲洗表面霉菌孢子，然后用毛笔分别蘸取少

量A、B、C、D、E清洗剂，涂刷在有霉斑的部位，用纸巾紧贴于壁画表面，以吸附霉斑中的污物及色素，净置20分钟，然后用去离子水冲洗每个样块区域，再用纸巾吸附，反复操作3次，观察各种清洗剂的清洗效果，如图4-8和图4-9所示。结果表明，各种清洗剂均有效，清洗效果依次为C>D>A>E>B。

	清洗前	清洗后
翡翠绿		
三青		
三绿		
花青		

	清洗前	清洗后
藤黄		
朱砂		
胭脂		
曙红		
朱墨		
赭石		

图4-8 A组样块清洗前后对比

	清洗前	清洗后
曙红		
朱墨		
胭脂		

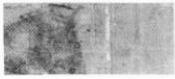
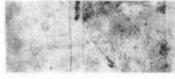
	清洗前	清洗后
赭石		
大红		
深红		
石绿		
土黄		
朱砂		
石青		

图4-9 B组样块清洗前后对比

(4) 霉变棉纱的清洗

为更准确地对比各种清洗剂的效果，采用陕西历史博物馆提供的曾包裹壁画并有霉斑的棉纱布作为预清洗研究对象。将棉纱布划分为6个大约10cm×10cm区域进行清洗对比实验，其中一块为空白对照样。清洗方法同上操作，反复操作3次，且每个样块重点清洗下半部分，以便与上半部分进行清洗对比。清洗后发现淡黑色霉斑都有不同程度的退化，其程度依次为C>D>A>B>E。如图4-10所示。

清洗剂	清洗前效果	清洗后效果
A: 质量分数为 5% 的胰蛋白酶 + 清洗剂稀释液 (微量)		
B: 质量分数为 5% 的中性蛋白酶 + 清洗剂稀释液 (微量)		
C: 氨水		
D: 质量分数为 70% 的乙醇溶液		
E: 蒸馏水		

图4-10 包裹壁画的霉变纱布清洗试验

(5) 清洗工艺讨论

上述清洗操作使用了两种清洗方法：一种直接用毛笔蘸取清洗剂清洗，静置后用去离子水冲洗，自然晾干；另一种为用毛笔蘸取清洗剂清洗，立即在其上覆贴两层纸巾，将表面的污物和色素吸附在纸中。观察对比两种方法的清洗效果，后一种方法清洗效率更高，吸附的更干净，而且对壁画表面的损害也小，建议在馆藏壁画霉斑清洗中使用第二种方法。

5 壁画保护勘察设计与研究

5.1 壁画保护项目勘察设计的主要内容

5.1.1 壁画保护项目勘察设计原则、依据与内容

(1) 壁画保护项目勘察设计的原则

对古代壁画保护所施行的一切工作必须以保护古代壁画历史信息的真实性、完整性和延续性为原则，壁画保护项目勘察程序与方法适用于古代石窟寺壁画、墓葬壁画、殿堂壁画的保护。

(2) 壁画保护项目勘察设计的依据

壁画勘察设计必须在《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》等相关法律法规的基础上制定。

壁画保护项目勘察设计的总体程序和具体方法主要依据相关国家和行业标准，包括：《古代壁画保护修复方案编制规范》GB/T30236-2013、《古代壁画病害与图示》GB/T30237-2013 和中华人民共和国文物保护行业标准《古代壁画现状调查规范》WW/T0006-2007、《古代壁画地仗层可溶盐分析的取样与测定》WW/T0032-2010、《可移动文物病害评估规程 壁画类文物》WW/T0062-2014、《古代壁画可溶盐分析 离子色谱法》WW/T0079-2017 等。

(3) 壁画保护项目勘察设计的主要程序和内容

壁画保护项目勘察设计的程序和内容主要包括现状调查、价值评估、赋存环境调查、病害调查与评估、制作材料与工艺分析、病害机理分析、修复材料和工艺筛选及针对主要问题的相关研究等。

5.1.2 壁画现状调查

现状调查也称为前期调查，是指通过实地调查、查询历史文献等手段对壁画及其依存环境有大致、全面的了解，对壁画保存现状的记录以及对壁画保存产生影响的各种因素，如壁画赋存环境条件、壁画结构与制作材料、人为干预历史等的前期考察和分析，现场调查方法通常有摄影调查、测绘调查等。

(1) 壁画现状调查的主要内容

- 1) 调查壁画及其支撑体的材质与结构；
- 2) 调查、了解壁画病害种类及其分布；

3) 调查壁画的自然和人为影响情况，壁画保存状况，壁画所在单位的开放、管理状况；

4) 调查、收集与壁画有关的历史文献、档案和照片。

(2) 壁画现状调查的主要方法

1) 壁画测绘调查内容与方法

a. 壁画测绘内容

壁画的测绘分为壁画所依托的建（构）筑物的平、剖（纵、横）面测绘；壁画各壁面展开图，以及壁画病害调查图，用于记录壁画依存环境关系、现存面积、现存状态、病害调查、修复记录等。

b. 壁画测绘方法及要求

采用控制测量、数字摄影测量、三维扫描技术等，通过小平板、红外测距仪、全站仪、三维激光扫描等设备实现测绘数据的采集，常用辅助测绘工具可以使用卷尺、激光测距仪、参照色标尺等，利用 GIS、CASS、GPS、Autocad 等软件进行数据采集和处理。测绘内容主要包括准确获取壁画所依附建筑的空间几何信息，如柱网、墙体、地基、梁架等结构情况；获取壁画所在环境的空间格局信息；获取壁画特定长宽高及现存状态几何特征尺寸和定量信息（壁画层面或扭曲现状的三维信息）。绘图比例要求一般采用比例尺 1:5 至 1:200 范围，平、剖（纵、横）面测绘图幅面的大小不应小于 A4 纸（297mm×210mm）幅面，各壁面展开图不宜小于 A4 纸幅面。对于较的空间内部可以用更大比例尺测绘，如 1:10 或 1:50；各测绘图应采用字号合适的宋体字标明该图的名称，必须有方向指示（平面图）、线段比例尺。图注框中应有测量单位、图名、项目名称、测绘人、校核人、审定人、图纸编号、测绘时间、数字比例尺等内容，字号、字体、字的编排以清晰明了为原则。

2) 壁画摄影调查内容与方法

a. 壁画摄影调查内容

壁画摄影调查内容分为：依存环境照片、壁画全景照片、壁面分幅照片、病害特写照片及价值照片。

依存环境照片是为修复及研究者提供整体、宏观的壁画依存环境影像。

全景照片，在拍摄距离、拍摄环境、取景范围条件容许的情况下拍摄的整幅壁画照片，为修复及研究者提供整体、宏观的壁画整体形象及现存状态，也可提供用于病害调查描述。根据行业标准 WW/T0082-2017 古代建筑壁画数字化测绘技术规程，壁画全景照

片可使用壁画泛光正摄影像（在均匀、漫射光线中生成的壁画数字正射影像图）。

分幅照片，是参照已有的全景照片，将大型壁画分幅拍摄的泛光正射影像；用于局部病害调查描述或因条件限制无法一次整幅拍摄时的壁画拼接。

病害特写照片，用于对壁画典型病害特写描述，拍摄可采用正面光、侧光等多种光照角度拍摄，用以描述病害特征及壁画层面特征。在条件允许的情况下，可采用多（高）光谱摄影调查。

价值照片，用于记录壁画中画面完整或具有一定艺术代表性、一定考古价值（如年代题记，建造者题记）及特殊形态等。

b. 壁画摄影调查方法

采用全画幅数字相机，像素不低于 2600 万像素，一般利用三脚架，条件允许的情况下可配备拍摄滑轨，采用闪光灯或色温 5600k 的光源，通过色标卡校色和比例参照。

根据行业标准 WW/T0082-2017 古代建筑壁画数字化测绘技术规程，现场严格遵守安全工作规，数据采集应使用非接触方式，不接触壁画本体，保证文物安全。拍摄能真实客观反映壁画图像色彩、保存状态、病害特征、艺术价值。

拍摄分幅照片时保持相机与壁面垂直，根据实际需求控制恒定的拍摄距离和恒定镜头焦距，距离及拍摄幅面计算公式为焦距/距离=图像/物宽=图高/物高。拍摄分幅照片时，照片左右、上下保持一定重叠，重叠度 5%-10%。

照片精度不低于 300dpi，图片存储格式为 RGB 色彩标准无损 raw 和 tif 格式。光源采用满足 CIE 国际照明委员会及 CY3-91 标准有关色评价与配色比色照明规定的 D65 标准光源，色温 6500k，相机设置自定义白平衡。使用孟赛尔色彩体系（Munsell color system）矩形彩色标板（如 Color Checker 24 色彩色标板）拍摄色彩校准文件，用于后期照片校色。

如无法一次拍摄全景照片可分幅拍摄，并用相关软件如 photoshop 将拍摄的分幅壁画拼接，拼接好的整幅照片以 X、Y 轴按一定比例划分整个照片的分割区域，用于图片的位置编号识别。

图片命名与记录用于图片档案的存储、归类、查询及检索。命名规则按照“拍摄地点_拍摄类别_拍摄时间_拍摄人”进行记录，工作类别以单个文件夹命名形式进行，文件夹命名包括：工作类别名称_遗址名称_时间。拍摄工作记录内容包括拍摄遗址名称、方位、拍摄类别、拍摄数量、拍摄时间，及具体拍摄参数，如：相机镜头与壁面的距离、照片重叠率、白平衡设置参数、镜头参数，光圈及快门速度等。

5.1.3 壁画价值评估内容与方法

(1) 价值评估的主要内容

根据中国文物保护准则的要求，古代壁画价值评估是指通过收集文献、现场调查、考古研究等方法综合研究保护对象的价值所在。古代壁画的价值包括历史价值、艺术价值、科学价值和社会人文价值。

壁画历史价值包括：

- ①因某种重要历史原因而绘制，并真实地反映了这种历史实际；
- ②真实反映某重要事件或重要人物活动的壁画；
- ③反映了某一历史时期的物质生产、生活方式、思想观念、风俗习惯等；
- ④可以证实、订正、补充文献的史实；
- ⑤年代和类型独特珍稀，或在同一类型中具有代表性；
- ⑥能够反映出壁画历史的发展变化。

壁画艺术价值包括：

- ①绘画风格独特，具有鲜明的地域性、阶段性、民族性等个性特征，或在同一类型中具有代表性；
- ②具有被当前或以往，或是部分区域内民众的审美要求和审美倾向所认可的审美效果；
- ③在年代、类型、题材、形式、工艺等方面具有创意的构思和表现手法。

壁画科学价值专指在科学史和技术史方面的价值，体现在：

- ①壁画中表现或记录了重要的科学技术资料；
- ②壁画结构、材料、工艺，以及它们所代表的当时科学技术水平，或科学技术发展过程中的重要环节。

(2) 价值评估的主要方法

开展古代壁画的价值评估，首先需要大量地收集资料，包括文献记载和考古材料，厘清古代壁画的时代背景、作者、材质、艺术风格等基本情况。第二，在评估过程中要引入综合的研究方法，结合历史、考古、艺术、宗教、哲学和社会学，乃至相关非物质文化遗产等学科的方法，通过与同类遗产、同时期遗产的系统比较，得出其价值内涵。第三，在价值评估过程中，应该注意价值是否具有正、负两面性，若存在正、负价值，应考虑其关联性、并赋予同等的关注。第四，应全面评估和判定某一古代壁画在历史、艺术和科学方面的综合价值，也要留意是否在其中任一方面具有突出价值，若在某一领

域中特别具有突出价值，即可将其认定为重要文物，而予以加强保护。第五，古代壁画本身是一类内涵丰富、形制多样、历史悠久、应用广泛的艺术体裁和文物类型，其价值评估必然需要较长的工作周期，也需要将日常监测、记录档案、学术研究和集中评估结合起来，经过严谨考证和研究，得出正确结论。

5.1.4 壁画赋存环境调查内容与方法

环境对壁画造成破坏的主要因素包括空气污染、光照、温湿度、霉菌和微生物等，但具体的影响程度取决于壁画本身的材质、周围环境的条件，以及环境条件的变异。

(1) 壁画赋存环境调查的主要内容

包括调查对象所在地理位置、地质概况、地形地貌、气候与气象、地表水环境、地下水环境、大气环境质量、土壤与水土流失及荒漠化、动植物与生态、社会经济、文物与景观等。

(2) 壁画赋存环境调查方法

壁画环境调查的方法主要采用收集文献资料、座谈、现场实地考察和监测等方法，但是具体调查方法由于调查内容的不同也有所差异。

1) 气象环境监测

气象环境监测主要通过建立气象全面监测遗址周围大环境。

2) 空气质量监测

通过设立观测站点，采用气溶胶采样仪采集 PM2.5 和 PM10 样品，对样品进行质量分析、元素分析、碳分析及无机离子等分析。

3) 地貌及周边环境调查

一般采用对比不同年份的卫星影像图来观察地貌及周边环境是否发生变化。

4) 风速、风向监测

应用全自动气象站来监测风速和风向，每 15 分钟采集一个数据，以文本格式输出储存。当有特殊天气情况时，采用便携式多路风速风向自动采集仪监测不同层位的风速、风向。

5) 水环境监测

主要包括河流流量与水质监测、绿化带灌溉水监测以及土壤水分监测等。

水量监测采用浮标法与三角堰法等两种方法；绿化带灌溉水监测使用高密度电阻率法；土壤水分监测采用烘干法与覆膜法等两种方法。

6) 小环境监测

监测方法是在微环境内部不同空间层位布设若干环境气象传感器，一般包括温湿度传感器和部分气体传感器，也可根据具体需要布设其他传感器，测量收集微环境数据，通过对所得环境数据的后期处理和分析工作，即可对被调查微环境现状及其变化规律做出准确评估。

5.1.5 壁画病害调查与评估

病害详细调查是在壁画现状调查的基础上，详细描述壁画病害的分布、种类、严重程度等情况，并且将这些情况以图形的形式表现出来。壁画病害调查与评估的主要内容和方法包括：

- (1) 采用矢量绘图软件作为病害数字化工具，以壁面数字摄影拼接图作为底图，嵌入相应的壁面展开图。数字化软件通常采用 Autocad 软件、GIS 软件等。
- (2) 对壁面展开图建立平面直角坐标系，原点位置的确定取决于是否较易测量和计算。
- (3) 以现场调查和计算机辅助的方式完成不同病害标注，每一种病害以规定的图例单独作为一个图层，完成病害标注后合成图层。
- (4) 壁画病害调查图中要标识图名、图例、线段比例尺、病害调查统计数据、图注等。
- (5) 须有能反映出壁画病害特征的清晰图片（图片应有全景图和局部特写图），图片应配有色卡、标尺。

5.1.6 壁画制作材料与工艺调查的内容与方法

(1) 壁画制作材料和工艺调查的基本内容

壁画制作材料和工艺的调查是相互交叉、同步进行的，所有调查手段和工作方法应有的基本原则是最小干预、最小限度破坏。调查的基本内容包括支撑、地仗层、颜料层等层位的材料组成和工艺结构，通过综合分析确定壁画整体的材料和工艺特点，在条件许可情况下，应进一步调查和分析壁画中的胶结材料的成分。

1) 壁画支撑体的分析，应测定支撑体的物理力学指标（密度、颗粒密度、孔隙率、含水量、界限含水量、收缩性、膨胀性、抗折强度、抗压强度等）及化学组成（化学全分析，可溶盐种类、含量及分布）。

2) 壁画地仗层的分析，应测定地仗层不同层位的厚度、加筋材料、物相组成、化学

组成和微结构特征以及物理力学性质，同时兼顾地仗层中可溶盐的种类、含量及分布。

3) 壁画颜料层分析，应解析壁画颜料层和不同层位的结构组成，测定颜料和粉层物中矿物的相组成和胶结材料的种类，颜料层和粉层的结合状况，表面存在表面涂层时，还需测定涂层的厚度和分布状况。

(2) 壁画制作材料和工艺的基本方法

1) 文献资料调查。

2) 现场调查和分析。尽可能采用非介入性（无损分析）分析方法，分析方法主要有光谱调查、便携式 X-射线荧光、红外光谱分析和拉曼光谱分析等。

3) 实验室分析。根据研究的需要和目的，可采取介入性取样分析，分析方法主要有光学显微镜、电镜-能谱、X-射线衍射、红外光谱、色谱及剖面等。

(3) 取样分析时，应遵循以下原则和方法：

取样应选择壁画的破损部位，以最小破坏为原则。取样过程要有规范的编号，同时还要详细准确的记录、拍照等，便于后续的分析 and 调查。

应针对不同的研究目的选择样品状态。颜料层取样选择片状或粉末状样品，壁画支撑体和地仗层采用微钻孔取样的方法。取样前根据壁画的保存现状，可采用适当物理方法清理壁画表面。

应严格限定调查和分析过程的样品量，粉末颜料样品量应低于 10mg，块状样品面积小于 2mm²，地仗样品量应低于 2g。

5.2 壁画保护研究

5.2.1 壁画制作材料及工艺研究

壁画制作材料和工艺地体现了特定历史阶段和地区的材料特点和工艺要求，从一个侧面反映了当时科学技术发展水平，具有一定的科学价值。材料和工艺的特点（特别是工艺方面）能够反映当时绘画艺术的特点，为美术史研究提供可靠的资料。同时，材料和工艺研究的结果也可以验证历史文献研究的结论，为历史研究提供支持。制作材料和工艺的研究也具有重要的现实意义，对壁画现状评价、病害机理研究、保护和修复等都可以提供支持和指导。

壁画制作材料和工艺研究是通过自然科学的研究方法来认识和还原壁画材料和工艺，是研究和认识壁画不可或缺的手段。一般情况下，根据壁画在层位结构上的特点将壁画分为支撑体、地仗层和颜料层作材料和工艺研究，逐层研究材料组成及其特征。

5.2.2 壁画保存环境研究

壁画保存环境是指壁画所在的空间中，直接或间接影响壁画状况的各种自然因素的总和，如温度、湿度、光线、环境大气污染和地质污染等。

控制环境是壁画保护的重要手段，也是研究保护技术的依据。防止或减缓各种有害因素的损害，研究并创造壁画保存的最佳条件，是通过监测与控制环境，延缓壁画的衰退是保护壁画的先决条件和必由之路。因此，加强壁画保存环境研究，不仅是壁画勘察设计的重要环节，也是壁画预防性保护和日常维护的重要依据，对壁画保护的实践至关重要。

5.2.3 壁画病害机理研究

壁画病害机理研究是壁画保护研究中的重要内容，是采用科学的分析方法（包括物理方法、化学方法、仪器分析方法等），以壁画的保存现状、病害特征及对壁画制作材料与工艺的分析为基础，结合壁画的保存环境，研究壁画不同类型病害发生和发展的过程。

掌握和了解病害发生和发展过程，综合判定病害产生的原因，阐述壁画病害形成的机理，为修复材料的选择、保存环境的改善，以及有效治理和防治措施的实施提供理论依据和支撑。

壁画地仗空鼓、颜料层起甲、地仗酥碱等病害，与壁画的制作材料和工艺、壁画载体中的含水量、易溶盐种类及含量、壁画的保存环境等多重因素有关，通常是多种因素耦合的结果。病害机理的研究必须与现状调查、文物的保存环境、人为干预等因素紧密结合，在研究中一般采用直接验证法。

直接验证法的特点是已知或假设壁画病害的发生、发展是由一种或多种因素的反复变化所导致，而后设计试验装置进行模拟试验，制作与壁画材质相同或相近的模拟试块，提供与现存壁画相同的环境条件，设定一定循环周期，再现病害的发生和发展过程，实现与壁画现存病害相同或相近的结果。模拟过程中的监测与分析可确定诱发病害的主要因素，并确定影响因素的临界值。

模拟实验必须建立在对壁画本体及其环境的科学认识基础上，因此，模拟实验开展前，一般需要明确以下信息：壁画的结构和组成，不同层位的厚度，层与层间的结合方式、状况等；壁画支撑体的结构、类型及特征，包括支撑体制作材料的物理化学组成，物理力学特性，支撑体的工程地质特性，支撑体中水分含量、易溶盐类型及含量等；壁画地仗的结构、地仗土的类型及特征，包括地仗土制作材料的化学组成、物理力学特性

（密度、颗粒密度、粒径、加筋材料的种类及含量、孔隙率、含水量、界限含水量、收缩性、膨胀性、力学强度等）；壁画颜料的种类（有机颜料、无机颜料）和化学组成（矿物成分），胶结材料的类型及相对含量等；壁画保存环境的周期性监测数据，如大气环境指标、区域温湿度监测数据、壁面温湿度变化的定期监测数据等，由此确定可能导致壁画发生病害的环境因子的阈值或诱使某类因素发生变化（如水汽运移、易溶盐的溶解与结晶过程等）的临界值；历史上可能引起病害发生的重大事件（如洪水、地震、人为破坏），保护措施不当可能诱发某种病害的条件等。

5.2.4 壁画保护材料及工艺研究

壁画保护修复材料的筛选，应当遵循保护修复程序和修复原则，材料筛选时应尽可能使用传统材料，首选该领域通过鉴定或已推广使用的材料，再以壁画保存现状调查、壁画制作材料与工艺研究、病害机理研究等成果为基础，分室内筛选研究和现场试验研究两个阶段进行。

针对空鼓壁画，筛选的灌浆材料应具备无毒无味、无腐蚀、密度小、透气性好、收缩率小、强度适中、流动性好等特点，浆液可灌性要好；需对主剂和填充料的物理化学性质（表面张力、密度、黏度、pH 等）开展评价与研究，也要对材料的物理力学性能进行测试（收缩变形性、抗折、抗压、抗拉性能）。在实验室研究的基础上，通过现场试验，确定修复材料的配方及对应的应用工艺。

针对壁画起甲，筛选的黏结材料应对于颜料层和地仗层等必须有良好的渗透性，使之经过渗透而重新成为一体；相对于地仗层开裂的颜料层必须有良好的黏结性；要保证修复后整体可以正常交换水汽，以避免产生不应有的作用力；对表层颜料影响较小，不会导致颜料层的变色；具有良好的耐久性。在实验室研究的基础上，通过现场试验，确定修复材料的配方及对应的应用工艺。

针对酥碱壁画，传统绘画材料明胶（动物蛋白型）可作为酥碱壁画的修复加固材料，这种材料具有无色无味、无毒无腐蚀、无眩光、透明度高、透气性好、黏结强度适中和兼容性好的特点，具备可再修复的条件。

附图：壁画的主要病害类型



龟裂



起甲



泡状起甲



粉化



颜料层脱落



点状脱落



疱疹



疱疹状脱落



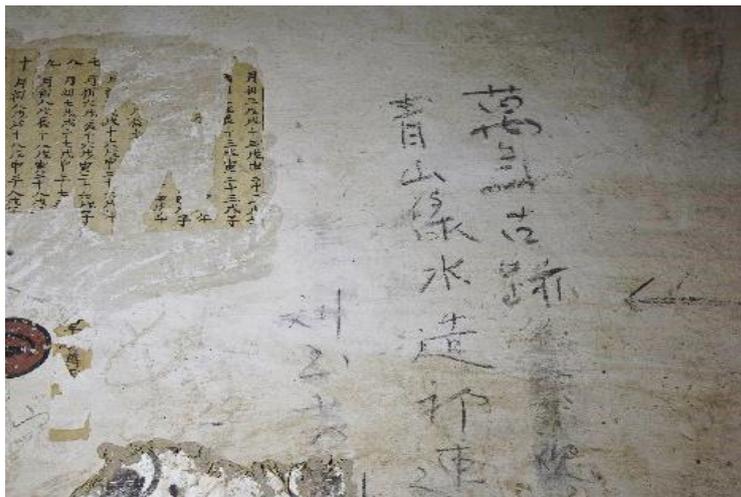
裂隙



划痕



覆盖



涂写



烟熏



盐霜



酥碱



空鼓



地仗脱落



变色



水渍



泥渍



凝结水



钙化土垢



动物损害



植物损害



微生物损害



低等植物损害

6 壁画保护项目勘察设计文件编制

6.1 壁画保护项目方案设计文件编制

壁画保护项目方案设计是指编制壁画保护项目的方案图纸、说明书及总概算投资等。方案设计的原则是指说明保护项目的基本设计思想和理念，如项目属于复原性设计、抢救性设计、还是一般的保护设计等。其实质是对保护对象从病害严重程度、修复选材、修复工艺等各方面，综合考虑各种因素后制定保护设计方案。方案设计的依据主要是借鉴和参考前人的研究成果、现有的法律法规、行业范围内的行规、保护项目方案设计前的研究结果等。

6.1.1 壁画保护项目方案设计文件编制的主要内容

根据《文物保护工程管理办法》第十五条规定及相关法律法规，勘察和方案设计文件包括：

- (1) 反映文物历史状况、固有特征和损害情况的勘察报告、实测图、照片；
- (2) 保护工程方案、设计图及相关技术文件；
- (3) 工程设计概算；
- (4) 必要时应提供考古勘探发掘资料、材料试验报告书、环境污染情况报告书、工程地质和水文地质资料及勘探报告。

结合壁画保护项目的特点，壁画保护项目方案设计文件编制的主要内容为：概况、价值评估、前期调查（保存现状调查与评估、环境调查及监测）、前期研究（制作材料及工艺研究、病害机理研究）、保护修复研究（保护修复原则、修复材料及工艺筛选）、保护修复实施（保护修复工艺措施、施工安全措施、日常保存与维护）、经费预算、保护修复档案的建设等内容。

6.1.2 壁画保护项目方案设计文件编制的工作程序

壁画保护项目方案设计文件编制的工作程序如图 6-1 所示。

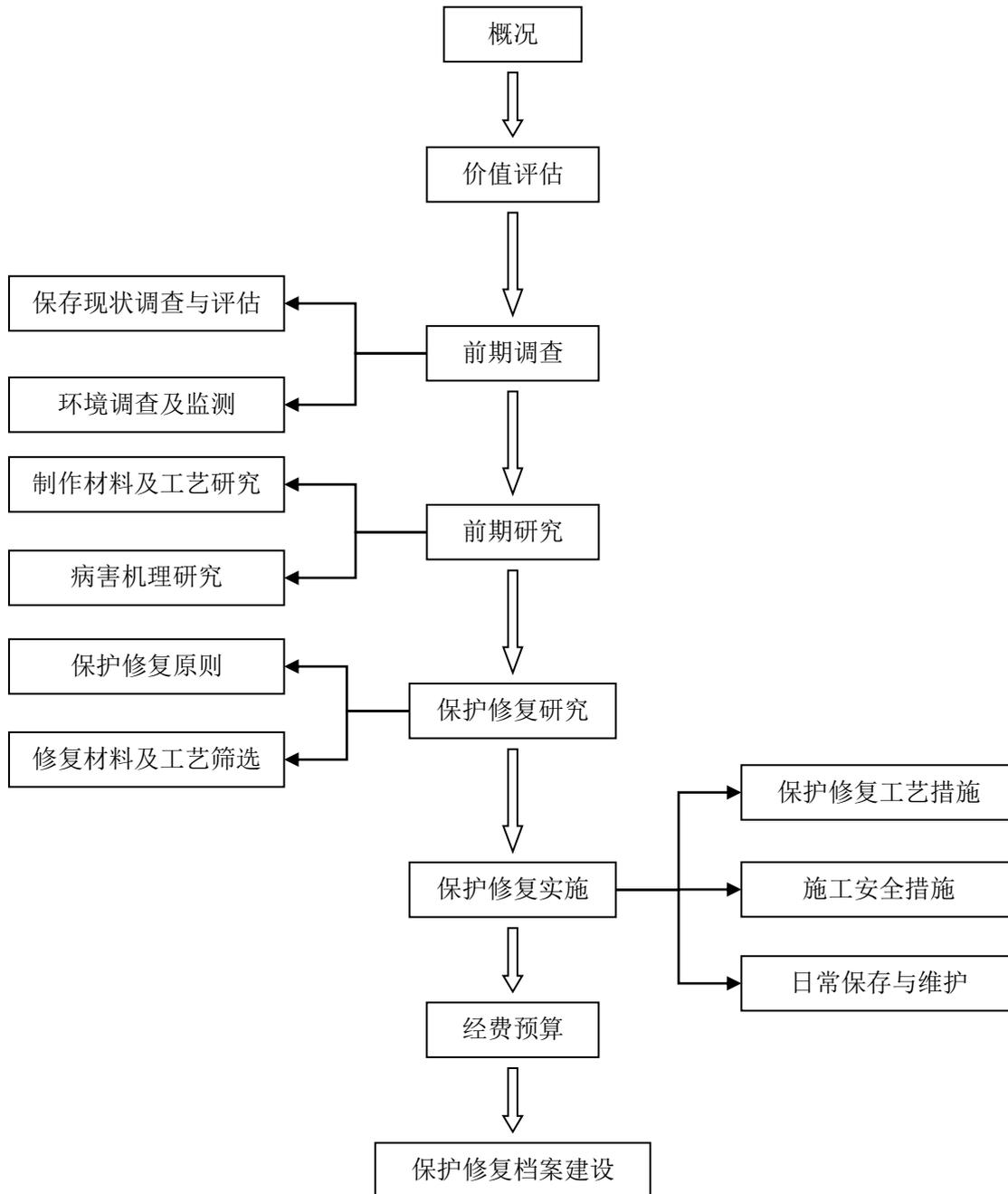


图 6-1 壁画保护项目方案设计文件编制的工作程序

(1) 概况

记述任务来源、立项过程、目的意义、任务要求等方面的内容，收集壁画所处地理位置及气候环境方面的资料、壁画的文献调研资料、壁画的保护修复史调查资料等基本信息。

（2）价值评估

对象的价值主要包括保护对象所在文物保护单位整体的价值及保护对象本身的价值，一般包括历史价值、艺术价值、科学价值、社会人文价值及利用价值等。评估壁画的历史价值、艺术价值和科学价值，应按照 WW/T 0006-2007《古代壁画现状调查规范》的 4.1 规定进行。

在对壁画艺术研究的延长线上，与科学研究和政治研究相交汇，开启后人对壁画文化内涵研究的新导向。通过壁画的内容故事、绘画风格和隐含的政治诉说，把历史与艺术融通，开启更加深入而开阔的认识空间。

（3）前期调查

1) 保存现状调查与评估

按照《古代壁画病害与图示》（GB/T 30237-2013）中对壁画病害进行分类统计，并按照《古代壁画现状调查规范》（WW/T 0006-2007）中 4.6 规定绘制病害现状调查图。

通过现场的调查和实测，查明壁画病害的种类、严重程度、分布现状、分布规律，绘制壁画病害图并统计壁画病害面积。从壁画保存环境、支撑体稳定性、地仗及颜料层病害等方面对壁画进行安全评估，确定壁画存在的主要问题。

2) 环境调查及监测

调查壁画所处的保存环境及诸因素对壁画的影响。保存环境应包括光、大气、水、土壤、浮尘、生物等。监测壁画所处环境的温度、湿度、降雨、风向及风速等的变化与壁画保存关系及现存或潜在的隐患。评估壁画所处的环境是否有利于壁画的保存。

（4）前期研究（详见第四章）

1) 制作材料及工艺研究

分析研究壁画结构、制作材料及工艺。

2) 病害机理研究

确定病害类型，分析病害产生的原因。

（5）保护修复研究

1) 保护修复原则

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，依据病害的表现特征和严重程度等实际情况，选择适宜的保护程序，依病害轻重程度分步保护。

2) 修复材料及工艺筛选

壁画保护修复材料及工艺的筛选必须建立在前期研究的基础上，根据保护修复经验及现场实际情况拟定比较合适的材料及工艺，通过实验室实验和现场试验两部分的研究结果，做可行性评估后，筛选出适合保护对象的材料及工艺。

根据室内试验的结果，需在现场进行保护修复试验，来进行保护效果的评估，以免在保护修复实施中出现严重错误。在现场试验时，要选择病害比较突出的部位，试验的区域不宜过大，以能证明保护实施设计的有效性为原则。

(6) 保护修复实施

根据前期调查与研究结果、保护工作目标，拟定技术路线，列出治理各类病害的具体工艺措施，并对保护修复对象的环境保存条件和日常维护条件提出建议。同时制定施工安全措施。

(7) 经费预算

保护修复施工设计主要包括保护修复工程概况、壁画病害的详细调查、详细的工程技术措施及工程预算等。具体内容包括施工设计的原则与依据；壁画价值评估；壁画病害现状调查；在保护方案设计的基础上对施工工艺、材料、施工组织、工艺技术标准进一步量化；绘制详细的施工图纸；提供准确的经费预算等。

(8) 保护修复档案的建设

文物保护修复档案是文物保护处理和文物保养过程中所做的文字记录和影像记录。建立完整翔实的文物保护档案是文物保护工作的一个重要方面。建立文物保护档案就是要将整个文物保护过程以及在保护过程中所发现的各种文物信息等内容准确、详细地记录下来，为进一步的科学研究提供资料。

保护修复档案建设应贯穿整个保护修复过程，内容包括：现状调查资料、病害研究技术资料、保护修复材料和工艺筛选技术资料、修复方案资料、保护修复日志、绘图资料、影像资料、验收资料以及其他相关资料。

6.1.3 壁画保护项目方案设计文本编制及要求

主要参考《古代壁画保护修复方案编制规范》（GB/T 30236-2013）中规定的方案设计文本内容和文本格式要求进行编制。

（1）文本内容

必须包含壁画保护项目方案设计文件编制的主要内容，重点是确定保护修复的指导思想、修复原则和基本理念，总体把握保护修复设计方案，把保护修复工艺流程、材料参数及辅助的保护修复措施等因素等考虑在内。在前期研究成果的基础上，提出保护修复建议，开展具体的保护修复项目的设计。

（2）文本格式要求

①方案名称一律为黑体三号字，正文字体一律为宋体小四号字。方案一级标题采用1、2、3等编号，宋体小三号粗体字；二级标题采用1.1、1.2、1.3等编号，宋体四号粗体字；三级标题采用1.1.1、1.1.2、1.1.3等编号，宋体小四号字，标题一般为三级。标题置于行首，无缩进。行距为1.5倍。目录采用两级标题。

②按照WW/T 0006-2007《古代壁画现状调查规范》要求绘制或拍摄相关图件。图应有编号、图题，图题位于编号之后，二者均置于图下。采用段落居中样式。图题字体为黑体五号字。

③表格应有编号、表题，表题位于编号之后，二者均置于表上。采用段落居中样式。表题字体为黑体五号字，表格内容的字体为宋体五号字。

④电子文档递交格式为pdf格式。

6.2 壁画保护项目施工设计文件编制

6.2.1 壁画保护项目施工设计文件编制的主要内容

保护修复项目施工设计是方案设计的进一步细化，其主要内容是以病害现状图纸为基础，根据现场的拟定实施方案，在不同类型区域内选用相应的材料及施工工艺，具体布设保护修复措施和措施数量，在室内试验和模拟试验的基础上进一步细化各种材料的配比及施工工艺，必要时采取相应的结构计算，确保保护修复项目结构的整体稳定。说明如下：

（1）结构稳定性计算

在拟定的保护修复项目基础上，对必要的结构通过结构计算的方式方法、提高结构稳定的可靠系数等具体确定采取保护修复措施。

（2）保护修复材料及修复工艺的细化

要求选用材料通过各种试验确定其相应的配比，明确修复程序和注意事项。

（3）图纸目录编排

应按图纸内容的主次关系、保护修复部位施工先后关系，有系统有规律地排列，排在前面的应是施工设计总说明及采取措施的通用图例，继而是壁画载体的结构平面图（标明方向和方位），必要时宜绘制载体的立面图，保护修复壁画的病害图、施工设计图和是壁画剖面图（标明壁画结构层理关系），最后是采取措施的机构详图。对不同结构体系的壁画应分别绘制结构剖面图。因故无法同时出图，迟出图或后出图的，均应在图纸目录中列出并在备注栏中加以说明，以示保护修复项目设计图纸的完整性。

（4）图幅控制及布图技巧

图纸目录的编排与图幅控制有关，图幅控制又与布图技巧有关，三者都必须具有逻辑性、科学性。施工图最理想、最方便使用的图幅为 3#（420×594）、2#（594×420）和 1#（840×594），应尽量避免使用 0#和加长图。如 1#图容纳不了，可通过缩小画图比例（由 1:100 改为 1:150 甚至 1:200）或分块绘制（分块绘制时需在图纸右下角以小比例图示出分块在总平面上的位置），使图幅控制在理想图幅之内。一张图的内容应布置得疏密有序，布图不能过于饱满，也不能太空旷。如平面相对狭长，宜病害图、施工设计图等各自布设一张图纸，而结构剖面图、措施结构详图等布设在一张图纸上。

（5）文字说明

包括保护修复项目总设计说明、工程措施施工工艺及每张图纸的特殊说明。设计总说明要概括性说明工程概况等相关内容，工程措施施工工艺要详细准确，能够进一步指导施工，具体图纸中的说明是特别说明，内容应简短，文字语法要简洁、准确、清晰，要特别注意其包容性。文字叙述的内容应是该图中极少数的特殊情况或者是具有代表性的大量情况。

（6）详细编制施工图预算

准确计算施工图工程量，依据工程量计算工程施工直接费，结合相关取费标准，计算项目预算总额。

6.2.2 壁画保护项目施工设计文件编制的基本工作程序

（1）收集已批复的勘察设计方案、批复文件、项目涉及的平剖面图、病害图和前期研究资料等；

（2）根据勘察设计方案，实际调查病害种类、病害严重程度及主要影响因素，实测核算项目工程量；

（3）实验细化项目施工工艺、材料及工艺技术指标；

（4）确定项目施工措施；

（5）绘制详细的施工图；

（6）确定施工方案；

（7）施工经费预算；

（8）施工安全注意事项。

6.2.3 壁画保护项目施工设计文本编制及要求

施工设计应依据《准则》要求的最小干预原则，保护修复设计人员应将最小干预原则谨记于心，其施工设计的主导理念应为：面对每一块需要保护修复的壁画，整体考虑每一步实施工序和结果对保护对象完整性的影响，在保证壁画本身安全的前提下尽量做到保持其原真性和完整性。

施工设计文件编制应达到下列要求：

（1）工程概述

1) 设计依据。批准的方案设计和批准文件。

2) 工程性质。明确工程的基本类型，即保养维护工程、抢险加固工程、修缮工程、保护性设施建设工程等。

3) 工程规模和设计范围。主要表述工程所涉及的范围和子项工程组成情况。

（2）设计说明

包括工程概述、技术要求和工程措施说明，其他有关的工程地质、水文地质勘查报告或结构勘察、材料检测评估报告应作为附件，编入设计说明文件。

（3）施工图设计文件

包括设计说明和图纸。图纸和设计文字说明必须完整、准确、清晰，名称、名词应采用行业通用术语。图纸应满足《古代壁画病害与图示》的要求。制图应符合规范标准，比例的确定以清楚表达测绘和设计内容为原则。

（4）技术要求和工程措施

着重表述技术措施、材料要求、工艺操作标准及特殊处理手段、施工时对场地文物遗迹的保护要求等方面的内容。

（5）试验报告

工程中所涉及的新材料、新技术或施工要求应做专项说明，应提供实验室试验数据和现场试验报告。

（6）施工图图纸

1) 总平面图

①反映文物的建（构）筑物的组群关系、场地地形、相关地物、坐落方向、工程对象、工程范围等内容。反映出工程对象与周围环境的相互关系；

②标注或编号列表说明工程对象明确的范围标示；

③指北针或风玫瑰图；

④比例一般为 1 : 200 ~ 1 : 2000。

2) 平面图

①反映空间布置及柱、墙等竖向承载结构和围护结构的布置，表述设计中拟添加的竖向承载结构布置，标明室内外各部分标高。

②轴线清晰，依序编号，包括：平面总尺寸、轴线间尺寸和轴线总尺寸。单体建筑有相连的、关系密切的建筑物时，平面图中要有表达，以明确二者的相互关系。

③以图形、图例、文字等形式表述设计采取的技术措施。

④比例一般为 1 : 50 ~ 1 : 100。

3) 立面图

①反映建（构）筑物的外观形制特征和立面上可见的工程内容。原则上应包括各方向立面，允许选择有代表性的立面图。立面图上应详细标注工程部位，标注必要的标高和竖向尺寸。

②立面图应标画两端轴线，并标注编号。立面有转折，而用展开立面形式表达时，转折处的轴线必须标明。

③用图形、图例、简注等形式表述能够在立面上反映的工程措施，明确限定实施部位。

④比例一般为 1 : 50~1 : 100。

(7) 施工图设计文件的编排顺序

1) 封面

写明工程名称、编制单位、编制时间。

2) 扉页

写明设计单位，并加盖单位公章和施工资质专用章。写明单位法定代表人、技术总负责人、项目主持人及专业负责人、审校人姓名，并经上述人员签署。

3) 目录

4) 施工图设计说明

5) 施工图图纸

6) 施工图预算

6.2.4 壁画保护项目实施过程中设计调整、变更的程序和要求

设计调整、变更是指项目自初步设计批准之日起至通过竣工验收正式交付使用之日止，对已批准的初步设计文件、技术设计文件或施工图设计文件所进行的修改、完善、优化等活动。设计调整、变更应以图纸或设计变更通知单的形式发出。

设计变更的原则应由监理部门会同建设单位、设计单位、施工单位、业主协商，经过确认后由设计部门发出相应图纸或说明，并由监理工程师办理签发手续，下发到有关部门付诸实施；应简要说明变更产生的背景，包括变更的提出单位、主要参与人员、时

间等；必须说明变更原因。

设计变更原因是修改工艺技术，包括设备的改变；增减工程内容；改变使用功能；设计错误、遗漏；提高合理化建议；施工中产生错误；使用的材料品种的改变；工程地质勘查资料不准确而引起的修改，如基础加深。由天气因素导致施工时间的变化。

(1) 变更的程序

1) 业主提出的变更：由设计方出技术施工图纸、业主审核批准、监理签认后交施工单位实施。

2) 设计提出的变更：业主批准、监理签认后交施工单位实施。

3) 施工单位提出的变更：经监理提出初步意见、设计审核同意、业主批准、施工方实施。

4) 监理提出的变更：经设计审核、业主批准、施工方实施。

5) 现场计量<或以变更图纸计量>随月进度付款。监理提出计量和付款的具体办法，经业主签认后执行付款。

(2) 变更内容要求

1) 在变更说明中写清楚变更的原因：不实施、不能实施、增加项目、减少项目等。

2) 变更要求：变更方案或细目必须安全、实用、经济、环保、准确。

3) 变更应明确的问题：变更名称、变更图纸、变更部位、变更内容、变更主要材料、设备、变更增加或减少的工程量、投资及工期、变更使用的单价等。

6.3 壁画保护项目概算、预算

目前，文物保护工程正处于发展阶段，好多方面还处于萌发阶段，开始趋向成熟、规范化发展的壁画、彩塑等保护修复工程的概预算程序、定额及相关的取费标准等并不完善。由于文物保护修复工程的特殊性及其多样性，现有的现代建筑概预算定额、安装工程概预算定额、古建筑保护维修工程等工程概预算定额和相关的取费标准并不完全适用于壁画保护项目概预算。为了更加系统、准确的按照国家相关规定和需求，本着为工程概预算方便的目的，在已有的相关的工程概预算的基础上，结合多年壁画、彩塑保护修

复工程的技术实践经验、拟定相对比较便捷、规范标准的工程概预算定额、取费标准及计算程序，供后续工程设计使用。

近年来，文物保护修复工程在逐步发展成熟，迫切需要有一套完整适合文物保护修复的预算定额、相关的取费标准及计算程序，有效的控制和指导工程施工。以前的工程费用完全是按照施工实际发生工程量进行估算，往往会出现过高估计或过低预算的情况，造成施工过程中的浪费和由于资金问题造成窝工或偷工减料的现象。施工资金的投资对工程施工控制比较滞后，基本起不到资金对工程施工的控制作用，从根本上没有解决现代化预算管理体制对企业的管理发挥作用，只能通过大量工程实践来估算工程发生的实际费用，并没有系统的进行工程施工概预算。

6.3.1 壁画保护项目概算、预算的基本框架和内容

根据我国文化遗产保护采用项目立项，三阶段设计以及壁画保护修复项目运行程序的要求及国建文物局出台相关文件的规定，我们壁画保护修复项目概预算按程序分为六算：

- (1) 立项或可研阶段的“投资估算”；
- (2) 方案设计阶段的“设计概算”和修正概算；
- (3) 施工图设计阶段的“施工图预算”；
- (4) 项目招投标阶段各个施工单位结合自身单位生产力水平完成的“施工预算”；
- (5) 项目竣工完成后施工单位结合项目实施情况完成的“竣工决算”；
- (6) 审计单位、业主单位、监理单位等共同参与并确认项目实施实际完成的最终“项目结算”。

古代壁画保护修复措施概预算是按照工程实际经验积累规定的基本计算方法与消耗额度，是人们共识的“质”和“量”技术范畴的统一，是根据各种不同需求对同一修复措施在包括人力、物力、资金、时间和价值尺度范围内质和量上的规定。其主要包括项目实施过程中工程直接费、工程间接费、利润、税金、规费和其他工程费组成，具体见图 6-2。其中工程直接费是壁画保护工程实践过程中所需费用，包括直接工程费、措施费、间接费规费、管理费、利润和税金等，具体见图 6-3。

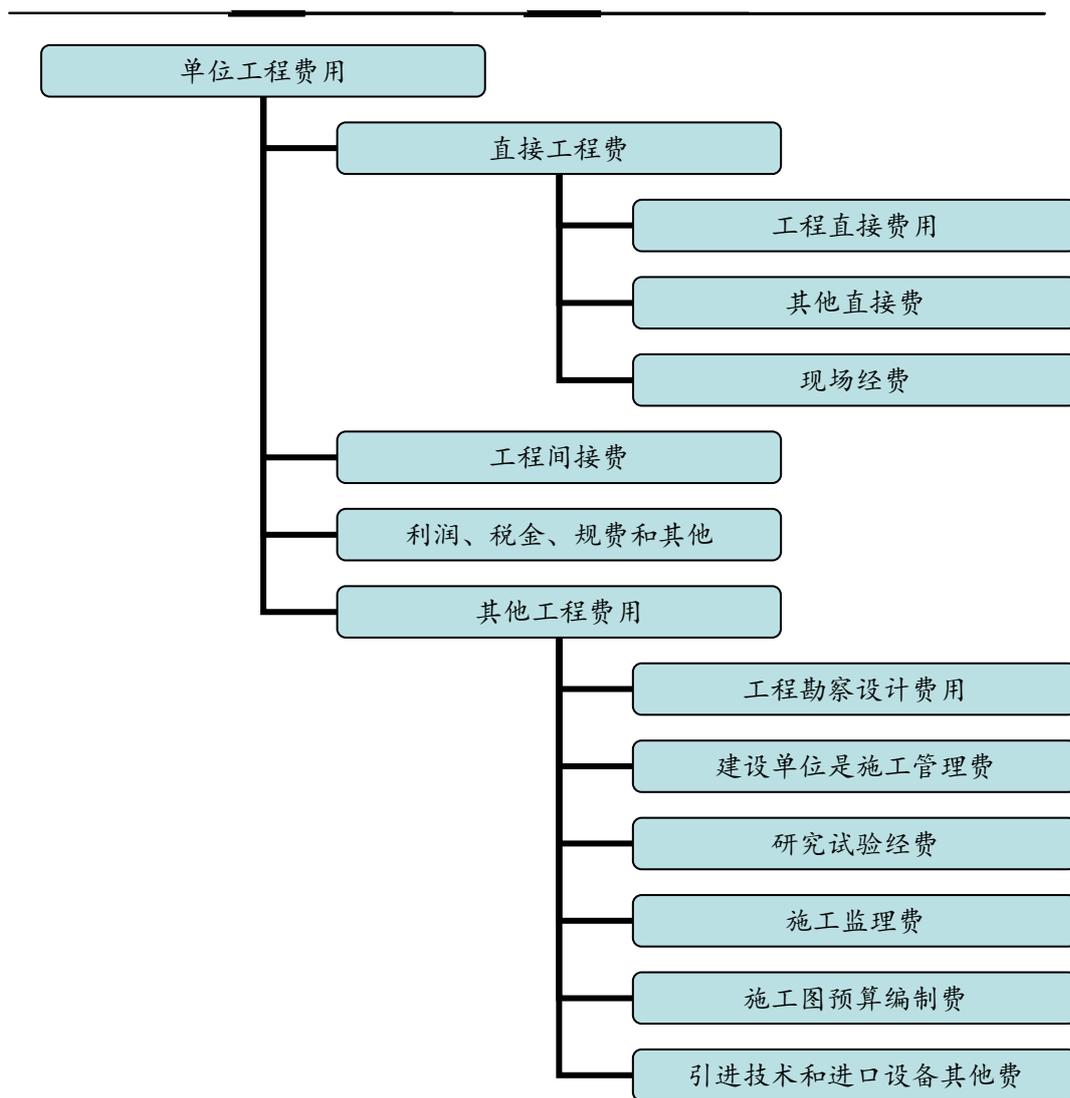


图 6-2 单位工程费用组成

(1) 直接费工程费

直接费是指按照项目施工过程中耗费的构成工程实体和有助于工程形成的各项费用。包括人工费、材料费、施工机械使用费。

$$\text{直接费} = \sum_{i=1}^n (\text{分项工程量} \times \text{相应项目预算定额基价})$$

1) 人工费

人工费是指列入预算定额，直接从事分项工程生产的工人、现场运输等辅助工人和附属生产工人的基本工资、辅助工资、工资性补贴、劳动保护费和职工福利费等费用的总称。

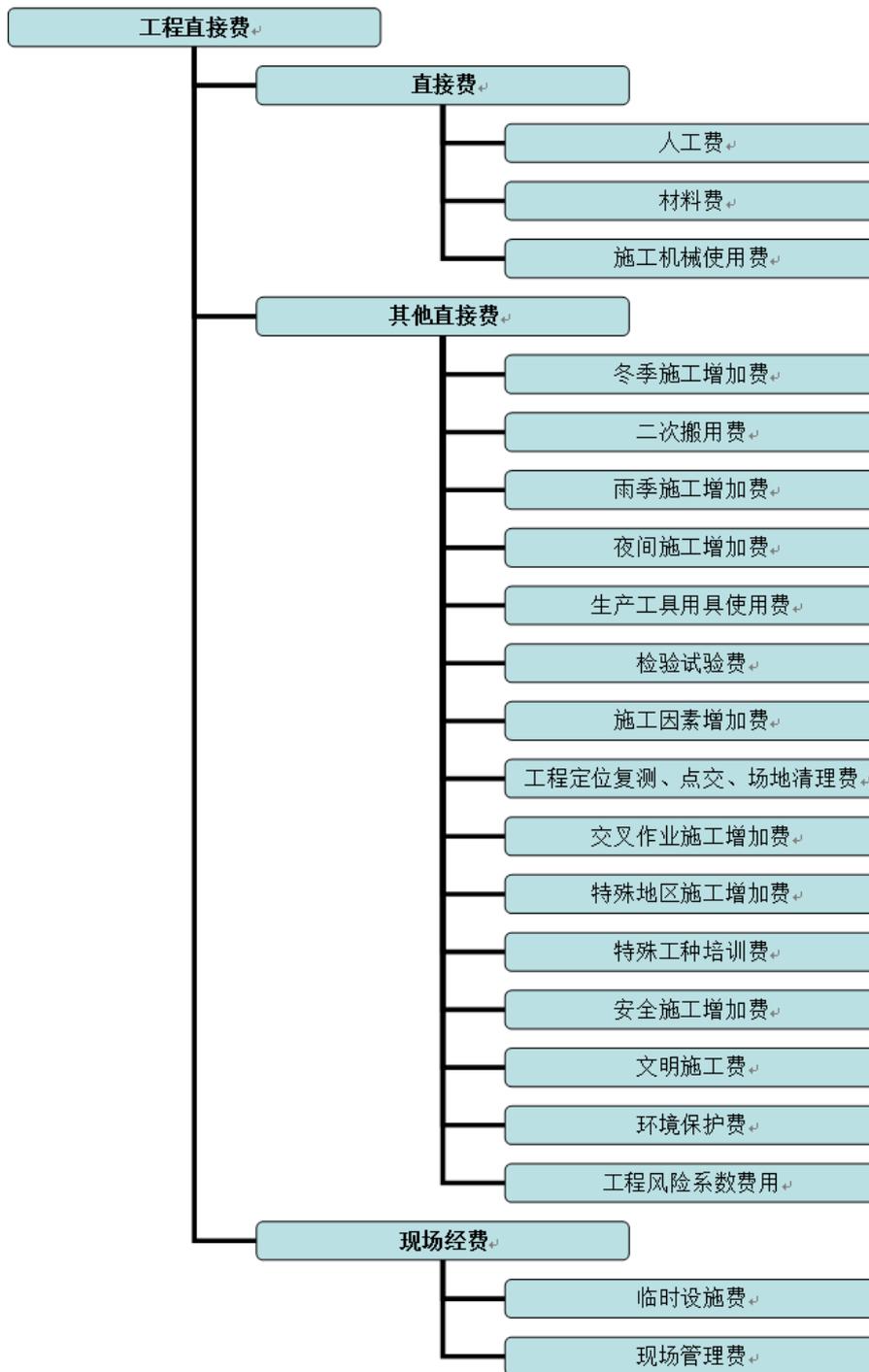


图 6-3 工程直接费组成

- ①基本工资；
- ②工资性补贴；
- ③生产工人辅助性工资；
- ④职工福利；
- ⑤生产工人劳动保护费。

人工费= $\sum_{i=1}^n$ (分项工程的工程量 × 相应项目预算定额基价中的人工费)

2) 材料费

材料费是指直接消耗工程生产构成工程实体的原材料、辅助材料、构配件、零件、半成品、成品的费用和周转性材料的摊销(或租赁)等费用的总称。

材料费= $\sum_{i=1}^n$ (分项工程的工程量 × 相应项目预算定额基价中的材料费)

3) 施工机械使用费

施工机械使用费是指在项目施工中使用施工机械作业所发生的机械使用费,机械安、拆费以及进出场费用等。其中内容包括:折旧费、大修理费、经常修复费、安、拆费及场外运输费、燃料动力费、人工费、运输机械养路费、车等运输工具使用税及保险费等。

施工机械使用费

= $\sum_{i=1}^n$ (分项工程的工程量 × 相应项目预算定额基价中的施工机械使用费)

(2) 其他直接费用

1) 冬季施工增加费

冬季施工增加费是指在冬季进行施工所增加的费用。包括材料费、人工费、保温设施费及加热养护费、人工室内外作业临时取暖费(包括炉具设施费)等。取费率为 0.95%~1.15%。

2) 二次搬用费

二次搬用费时指施工所用材料、成品、半成品由工地仓库、现场集中地点(或加工点)运到工程使用地点的水平或垂直运输所需人工、材料、机械台班费用。取费率为 0.95%~1.15%。

3) 雨季施工增加费

雨季施工增加费实质在于及施工采取相应的措施所增加的费用,包括防雨措施、排水和功效降低等费用。取费率为 0.95%~1.15%。

4) 夜间施工增加费

夜间施工增加费是指按照设计或施工验收规范、规程的要求正常作业而发生的定额以外的费用。包括照明设施安装、拆除、摊销费,夜餐补助费和工效降低费等费用。但不包括施工单位自行赶工发生的夜间施工费用、应在现场管理费用中开支的场地照明费、

值班人员夜班部贴费，对于建设单位为缩短工期，要求施工单位夜间施工增加的费用，应另行计算。取费率为 0.72%~0.92%。

5) 生产工具用具使用费

生产工具用具使用费是指施工生产所需不属于固定资产的生产工具及检查用具等的购置费、摊销费和修复费，以及支付给工人自备工具的补贴费。取费率为 0.65%~0.85%。

6) 检验试验费

检验试验费是指对保护修复材料、技术方法等进行一般性的鉴定、检查等发生的费用。包括的主要内容有：自设实验室进行试验所耗用的材料和化学药品等费用，技术革新和研究试制所需的实验费用。但不包括：新材料的实验费，建设单位要求具有出厂合格证明的材料进行检验的费用，对构件进行破坏项试验及其他特殊要求检验试验费用。取费率为 0.50%~0.70%。

7) 施工因素增加费

施工因素增加费是指具有工程特点，又不属于临时设施范围，并在施工前可预见因素所发生的费用。其内容包括：交叉处理的恢复措施、边施工边维持交通或旅游的措施费用等。取费率为 3%~5%。

8) 工程定位复测、工程点交、场地清理费

工程定位复测、工程点交、场地清理费用是指工程定位复测、工程验收以及 2 米以内的垃圾和 2 米以外因施工造成障碍物的清理。但不包括施工垃圾的场外运输。取费率为 0.20%~0.40%。

9) 交叉作业施工增加费

交叉作业施工增加费是指生产和施工在同一单项工程上进行时，互相妨碍，影响工效及需要采取的各项防护措施费。取费率为 0.40%~0.60%。

10) 特殊地区施工增加费

特殊地区施工增加费是指施工现场身处高原、沙漠、高寒及高温地区等特殊地区施工增加费用。取费率为 2%~4%。

11) 特殊工种培训费

特殊工种培训费是指承担某些特殊工种，新型的技术要求，根据相关规范要求对某

些特殊工种进行培训的费用。取费率为 1%~3%。

12) 安全施工增加费

安全施工增加费是指施工过程中对施工人员安全及文物本体安全进行防护、监督、处理等费用。取费率为 0.85%~1.05%。

13) 文明施工费

文明施工费是指由于文物保护修复工程的特殊性,针对其特殊情况及政府的相关文件超常规增加的文明施工措施费用。取费率为 0.48%~0.68%。

14) 环境保护费

环境保护是指施工过程中为保护周围整体环境而进行的辅助性措施增加的环境保护费用。取费率为 0.30%~0.50%。

15) 工程风险系数费用

工程风险系数费用是指在签订承包合同时,对保护修复造价包干的工程应考虑风险因素而增加的风险费用(由合同签订双方协商工程风险系数,一般在合同中约定)。取费率为 1%~3%。

(3) 现场经费

1) 临时设施费

临时设施费是指施工企业为进行施工所必需的生活和生产用的临时建筑物和其他临时设施费用等。取费率为 0.9%~1.1%。

临时设施包括:临时宿舍、文化福利及公用事业房屋与构筑物、仓库、办公室、加工场、食堂、厨房、厕所、诊疗所、临时围墙、施工用水水池、场内人行便道、架车道路、施工现场规定范围内建筑物或构筑物外边其 50 米以内的水管、电线、及其他动力管线、施工组织设计不便考虑得不固定水管、电线及其他小型临时设施。

2) 现场管理费

现场管理费是指项目部为组织施工现场生产经营活动所发生的管理费用。取费率为 2%~3%。其内容包括:

①现场管理人员的基本工资、工资性补贴、职工福利费、劳动保护费等。

②办公费。主要指办公用的文具、纸张、账表、印刷、邮电、书报、会议、水、电、

烧水和集体取暖等费用。

③差旅交通费。指职工因公出差期间的差旅费，住宿补助费，劳动招募费、职工离退休、退职一次性路费，工伤人员就医路费，工地转移费以及现场管理使用的交通工具的油料、燃料、养路费及拍照费。

④固定资产使用费。是指现场管理及试验部门的属于固定资产的设备、仪器等的折旧、大修理、修复费和租赁费等。

⑤工具用具使用费。是指现场管理使用的不属于固定资产的工具、器具、家具、交通工具和检查、试验、测绘、消防用具等的购置、修复和摊销费等。

⑥保险费。是指施工管理财产、车辆保险、高空、井下、水上作业等特殊工种安全保险等。

⑦工程排污费。是指施工现场按规定交纳排污费用。包括噪声和排污费。

⑧其他费用。

(4) 间接费用

间接费是指企业组织施工和管理工程施工所需要支出的一切费用。它不直接的构成工程实体，也不归属于母一分部（项）工程，只能间接地分摊到各个工程费用中去，为工程服务。其主要包括企业管理费和财务费两大部分。取费率为 3%~4%。

(5) 施工利润、税金、规费及其他

1) 施工利润

施工利润是指施工企业按照国家规定的利润率，在工程中应取得工程造价的利润。不包括施工企业由于降低工程成本而获得的经营利润。取费率为 2.9%~4.0%。

2) 劳动保险基金

劳动保险基金是指施工企业支付离、退休职工的退休金、价格补贴、医药费、异地案件补助费、职工退职金、六个月以上的病假人员工资、职工死亡丧葬补助费、遗属生活补贴、抚恤费，以及按规定支付离休干部的各项经费。取费率为 0.18%。

3) 税金

税收是国家财政收入的主要来源，它与其他相比，具有强制性、固定性和无偿性等特点。按照国家规定，由营业税、维护生产税和教育附加税三部分组成。取费率为 11%。

4) 规费

规费是指政府和有关部门规定必须缴纳的费用总和。取费率为2%~4%。主要包括：

①工程排污费。是指施工现场按照规定缴纳的排污费用。

②工程定额测定费。是指按照规定支付工程造价（定额）管理部门的定额测定费。

③养老保险统筹金。是指企业按规定向社会保障主管部门缴纳的职工基本养老保险（社会统筹部分）。

④待业保险费。是指企业按照国家规定缴纳的待业保险金。

⑤医疗保险费。是指企业按照规定向社会保障主管部门缴纳的职工基本医疗保险金。

5) 不可预见费（预备费）

不可预见费是指施工前对施工过程中有可能要发生或不知道是否发生的工程量投资的预备费，以保证工程安全顺利地进行。主要包括：基本预备费和工程造价调整预备费。取费率为3%~5%。

①基本预备费是指在设计变更、局部处理、一般自然灾害造成的损失和为了预防自然灾害所采取的措施费用或相应的增加费用，以及鉴定工程质量对隐蔽工程进行必要的破损检测或挖掘的费用和修复费用。

②工程造价调整费用是指由于各种工程资源价格等变化引起的工程造价变化的预测预留费用。

(6) 其他工程费用

其他工程费用是指上述费用以外的，根据设计文件要求和国家有关规定应在保护修复工程中投资支付的并列入保护修复工程项目总（概）预算或单项工程综合（概）预算的一些费用。他的特点是不属于保护修复的任何一个工程项目，而属于保护修复工程项目范围内的工程费用。保护修复工程其他费用由以下内容组成。

1) 勘察设计的费用

勘察设计的费用是指委托勘察设计的单位进行勘察设计的时，按照规定支付的工程勘察设计的费用，为本工程项目进行可行性研究而支付的费用。取费率为3%~10%。

2) 建设单位管理费

建设单位管理费是指保护修复项目从立项开始至竣工验收交付使用为止的保护修

复工程全过程中建设单位在项目保护修复管理中所需的费用。取费率为1%~2%。其内容包括：①建设单位开办费；②建设单位经费；③临时设施费；④工程保险费。

3) 研究试验经费

研究试验经费是指为本项目提供或验证设计数据、资料进行必要的研究试验，按照设计规定的施工过程中 ([要进行试验所需的费用，以及支付科技成果、先进技术和一次技术转让费。取费率为0.50%~1.50%。

4) 施工监理费

施工监理费是指在保护修复工程中由建设单位委托监理单位对施工单位的全部施工过程进行全方位的监督、检查等发生的实际工程费用。取费率为1.5%~4.0%。

5) 施工图预算编制费

施工图预算编制费是指在工程设计完成后对该 ([工程进行全方位的造价计算，预测投资和计划投资控制等组织编制和出版等的排版、打印审定等相关费用。取费率为0.30%~0.90%。

6) 引进技术和进口设备其他费

引进技术和进口设备其他费是指项目采用引进技术和进口设备所增加的除设备费用外而增加的其他费用。取费率为0.50%~1.50%。主要包括：①应聘外单位工程技术人员的生活接待费；②外单位设计和技术资料、专利和技术保密费、延期或分期付款利息、进口设备材料检验费；③引进技术和设备项目派出人员培训、 ([进行设计联络和设备材料检验所需的差旅费、生活费；④从外引进的成套设备时向保险公司投保或安装应缴付的保险费用等。

7) 环境监测费

环境监测是指在施工过程中为进一步研究或施工需要，对施工环境进行的全面监测，主要包括：现场温度、湿度、空气质量条件等一一列环境监测。取费率为0.50%~1.50%。

8) 档案建设费

档案建设是指施工前后对是壁画、彩塑保护修复过程的记录、整理等，通过现场整理按照一定规范归档处理，为后续工程或保护遗留翔实的资料档案。取费率为0.50%~1.50%。

6.3.2 壁画保护项目概算、预算的编制要求

壁画保护项目的设计概、预算分别是项目不同设计深度阶段对应的经济投资控制性文件，设计概算对应保护修复工程设计方案阶段，这一阶段可以有不同的设计方案对比，经济分析也是其中的一项指标。设计预算对应施工图设计阶段，这一阶段已经有完备的技术工艺、材料和质量控制指标，设计预算基本接近施工项目运行的投资。

(1) 设计概算

设计概算是指方案设计阶段，设计单位根据概算定额和取费标准，结合壁画保护修复对象所处地区自然、技术经济条件、管理条件和价值利用条件，综合评估基础上对保护修复项目从立项至交付使用全过程的经费的预计划文件。

1) 保护修复项目概算可以多个单位工程组成，一般以单个洞窟、建筑殿堂和墓葬为单位工程，总体要按照单位工程编制设计方案概算，单位工程可以作为独立的计算单元。

2) 设计概算由编制说明，工程概况，编制依据与原则，使用定额，工程量计算方法与依据，工程造价计算表等基本内容组成，对于技术措施独立、单位工程单元复杂、保护难度较大的项目可分为子单位工程分解编制。

3) 壁画病害工程数量计算严格按照已有定额及计算规则执行，单位要求统一，凡是定额范围内包括的内容不允许再单独列项，工程量计算应严格按照壁画病害面积绘制表分项列项，并整理留存以方便核查。

4) 概算顺序应严格遵守先结构后表面、先分部后分项、壁画、塑像分别计算规则，一般按照壁画病害类型为空鼓、起甲、酥碱、污染、地仗层剥落等顺序。

5) 概算表力求完整，一般应包括项目投资总额、工程项目其他费、工程专项汇总表、工程取费表、措施费、工程直接费计算表和单价分析表等。

(2) 施工图预算

施工图预算是指施工图设计阶段，设计单位根据概算定额和取费标准，在设计概算基础上，依据施工图纸计算详细工程量，深入了解壁画保护修复对象所处地区自然、技术经济条件、管理条件和价值利用条件等影响因素，形成的项目造价经济性文件。是施工图设计的重要组成部分；是业主单位招投标控制的重要依据；是项目实施进行“两算”

对比的基础；是平均先进水平的经济性评价文件。

施工图预算的组成部分与概算基本相同，唯一不同的是施工图预算是完全按照施工图设计土质要求和工程数量较为准确的预测项目投资额。工程数量的计算和单位严格按照现有定额执行，可以大大提高计算速度和质量。

1) 物理计量单位

物理计量单位，通常采用以下度量单位：长度用 m 或 mm,面积用 m^2 ,体积用 m^3 或 ml,质量用 kg 或 t.

2) 自然计量单位

自然计量单位，通常采用十进制自然数计算的自然单位，如个、根、点次、台、套和组等。

3) 工程单位的统一性

工程量单位的统一性，是工程量计算的重要环节，在工程量计算时，首先熟悉工程施工工序，按照分部分项工程查定额找并列项，按照定额确定单位来确定工程量计算单位，保持计算工程量与基价定额的统一性。如壁画注射黏结材料是以 ml 为单位还是以 m^2 作为计量单位。这应该以定额确定的工程量单位作为计量单位，不能随意确定工程量计量单位。同时也要按照定额所分施工分项工程统一排序并列项。

4) 分项工程量计算顺序

①不同分项工程

在计算工程量时，不仅要合理确定各个分部工程量计算程序，而且要科学安排统一分部工程内各分项工程之间的工程量计算顺序。为防止重算和漏算，尽量按照施工顺序计算；

②同一分项工程

为避免漏算防止重算，在同一分项工程内部各个组成部分之间，其工程量计算宜采用以下顺序：a.按顺时针方向计算;b.按横竖分割计算;c.按壁画病害种类编号计算;d.按图纸设计计算;e.按各单位（分部分项工程名称）工程计算；

③熟记预算定额说明和工程量计算规则；

④准确详细的前列工程设计内容；

⑤统筹主体兼顾其他相关工艺。

7 壁画保护工程项目管理

壁画文物保护工程管理包括工程立项、勘察设计、施工、监理及验收等；承担壁画文物保护工程的勘察、设计、施工、监理单位必须具有国家文物局认定的文物保护工程相关资质。

7.1 壁画文物保护工程类型

壁画文物保护工程指核定为文物保护单位的和其他具有文物价值的古墓葬壁画、石窟寺壁画、寺观壁画、馆藏壁画等保护工程，主要分为保养维护工程、抢险加固工程、保护修复工程、迁移保护工程等。

(1) 保养维护工程

保养维护工程指针对壁画文物的轻微损害所做的日常性、季节性的养护。

(2) 抢险加固工程

抢险加固工程指壁画文物突发严重危险时，由于时间、技术、环境、经费等条件的限制，不能进行彻底保护修复而采取具有可逆性的临时抢险加固措施的工程。

(3) 保护修复工程

保护修复工程指壁画文物本体所必需的表层及结构的保护加固和修复，包括结合结构加固而进行的局部复原工程。

(4) 迁移保护工程

迁移保护工程指壁画因载体或原保存环境等因素原址无法保证其安全性，所采取的将壁画整体或局部揭取搬迁、异地保护的工程。

7.2 壁画文物保护工程审批

7.2.1 保护工程立项审批

(1) 立项计划书内容

保护工程立项计划书按照文物保护单位级别实行分级申报和审批管理。项目立项计划书按文物行政主管部门规定文件编写，主要内容包括项目名称、项目性质、立项必要性、实施范围、项目周期、技术路线、经费估算等。内容应真实、准确、翔实。

（2）项目立项计划书审批

1) 全国重点文物保护单位壁画文物及重点馆藏壁画文物保护工程项目计划书，省级文物行政部门为申报机关，国家文物局为审批机关。

2) 省、自治区、直辖市级文物保护单位壁画保护工程以文物所在地的市、县级文物行政部门为申报机关，省、自治区、直辖市文物行政部门为审批机关。

市县级文物保护单位及未核定为文物保护单位的壁画文物保护工程的申报机关、审批机关由省级文物行政部门确定。

3) 审批机关收到立项项目计划申报文件 20 个工作日内，以集中会审的方式组织评估审核。

全国重点文物保护单位保护项目年度计划批复文件将明确项目的名称、工程性质、实施范围、工程分期、工程技术要求、工程经费估算等内容。暂不同意列入年度计划的项目也将明确后续工作的建议。

4) 经国家文物局批复同意列入年度计划的壁画文物保护项目，三年内未编制技术方案报送审批机关（省级文物行政部门）的，须重新报批。

7.2.2 保护工程设计审批

立项批复的壁画文物保护项目可申报勘察设计文件审批。

（1）勘察设计文件内容

按照壁画文物保护勘察设计相关规定文件编写，应注重前期勘察研究，坚持正确的文物保护理念，保护好其历史文化价值，遵循“不改变文物原状”等文物保护原则，保护并延续文物的真实性和完整性。

（2）勘察设计文件审批

壁画文物保护工程勘察设计文件按照文物保护单位级别实行分级申报和审批管理。

1) 经国家文物局批复同意列入年度计划的全国重点文物保护单位壁画文物保护项目，除国家文物局另有要求外，按照属地化管理的职责要求，其项目技术方案由省级文物行政部门审批。

2) 省、自治区、直辖市级壁画文物保护单位保护工程以文物所在地的市、县级文

物行政部门为申报机关，省、自治区、直辖市文物行政部门为审批机关

市县级文物保护单位及未核定为文物保护单位的不可移动文物的保护工程的申报机关、审批机关由省级文物行政部门确定。

3) 保养维护工程由文物使用单位列入每年的工作计划和经费预算，并报省、自治区、直辖市文物行政部门备案。

4) 突发抢险性和不涉及资金申请的壁画文物保护项目，管理机构可按照《文物保护法》有关规定编制技术方案，随时报相应审批机关审批。抢险加固工程中确因情况紧急需要即刻实施的，可在实施的同时补报。

7.2.3 施工技术文件审批

勘察设计文件批复的壁画文物保护项目可申报施工技术文件审批。

(1) 施工设计文件内容

主要包括施工图、施工设计说明、施工预算及相关材料试验报告及检测鉴定结果。

(2) 施工设计文件审批

施工技术文件按照文物保护单位级别实行分级申报和审批管理，参照当地文物保护单位工程管理办法执行。

7.2.4 工程设计变更审批

施工过程中如需变更或补充已批准的技术设计，由工程业主单位、设计单位和施工单位共同现场洽商，并报原申报机关备案；如需要变更批准的工程项目或方案设计中的重要内容，必须经原申报机关报审批机关批准。

7.3 壁画文物保护工程经费审批

设计文件批复的壁画文物保护项目的工程经费应当根据项目申报单位行政隶属关系和规定程序逐级申报。保护工程专项资金的申报单位应当保证申报材料真实、准确、完整；申报项目应当具备实施条件，明确项目实施周期和分年度预算计划，短期内无法实施的项目不得申报；不得以同一项目申报多项中央专项转移支付资金。

7.3.1 专项资金申报文件内容

- (1) 立项计划书及批复文件
- (2) 设计文件及批复文件
- (3) 工程经费申请表
- (4) 工程概算书

7.3.2 专项资金审批

国家文物局负责组织重点项目预算评审，省级文物行政主管部门负责组织一般项目预算评审。

(1) 国家文物局批复的保护方案项目

项目实施单位隶属于地方的，应当逐级报送至省级财政部门 and 省级文物行政主管部门共同审核汇总后，报财政部和国家文物局。其中，项目实施单位主管部门属于非文物系统的，应当由其主管部门审核同意后报送同级财政部门 and 文物行政主管部门，由财政部门 and 文物行政主管部门逐级申报。

(2) 省级及省级以下文物行政主管部门批复保护方案的项目

根据行政隶属关系和规定程序逐级报送至省级财政部门 and 文物行政主管部门。其中，项目实施单位主管部门属于非文物系统的，应当由其主管部门审核同意后报送同级财政部门 and 文物行政主管部门，由财政部门 and 文物行政主管部门逐级申报。

7.4 壁画文物保护工程施工阶段

保护工程必须遵守国家有关施工的法律、法规和规章、规范，保护材料、技术及工艺等应当符合文物保护工程质量的要求。保护工程施工分为准备阶段、实施阶段、验收阶段、保修阶段。

7.4.1 保护工程准备阶段

施工准备工作是工程施工顺利开展的基础与前提。施工准备工作主要包括资金、技术、材料设备、技术人员等。

（1）技术准备

搜集整理保护工程所需的技术资料及图纸资料等，编制施工组织设计、施工方案和施工预算；技术交底及图纸会审；办理开工申请等有关手续。

（2）材料设备准备

按照设计及施工技术文件中施工材料、工艺及检测方法等要求，准备施工材料、仪器及检测设备等。

（3）技术人员准备

根据保护工程规模、特点、复杂程度，建立项目组织机构，确定项目机构的组成、分工及职责等，配备专业技术人员和管理人员。

7.4.2 保护工程实施阶段

（1）工程施工

施工单位应当严格按照设计文件的要求进行施工，其工作程序为：

- 1) 施工人员进场前要接受壁画文物保护相关知识及设计文件内容的培训；
- 2) 按文物保护单位的要求作好施工记录、施工资料及保护修复档案；
- 3) 进行质量自检，对工程的隐蔽部分必须与建设单位、设计单位、监理单位共同检验并做好记录；
- 4) 提交竣工资料。

（2）工程监理

文物保护单位修复工程和迁移工程实行工程监理。在文物保护单位工程施工准备阶段、施工阶段、工程竣工验收阶段和工程保修期阶段，对工程质量、进度、费用控制、文物安全、信息收集进行监督和管理。

7.4.3 保护工程验收阶段

工程竣工后，由建设单位、设计单位、施工单位、监理单位对工程质量进行验评，并提交工程总结报告、竣工报告、竣工图纸、财务决算书及说明等资料，经原申报机关初验合格后报审批机关。项目的审批机关视工程项目的实际情况成立验收小组或者委托

有关单位，组织竣工验收。

7.4.4 保护工程保修阶段

保护工程保修期限自竣工验收之日起计算，除保养维护、抢险加固工程以外，不少于五年。

7.5 壁画文物保护工程准备阶段管理

7.5.1 保护工程开工审批

(1) 开工申请

施工单位按合同或招标文件编写开工报告申请开工，开工申请报告需附有以下资料：

- 1) 施工组织设计；
- 2) 材料、设备到场情况及材料试验及检测报告；
- 3) 施工组织机构及人员情况；
- 4) 技术交底及施工图会审记录。

(2) 开工审批

- 1) 施工单位向监理单位和建设单位提交开工申请报告申请开工。
- 2) 监理单位和建设单位审核开工申请报告，审查施工单位的开工申请资料是否符合开工要求，并签署意见。
- 3) 开工申请报告审查合格后，由监理单位通报建设单位后签发开工令。如开工申请报告及相关资料审查不合格，由施工单位完善后重新申报。
- 4) 开工申请报告报建设单位上级主管部门备案。

7.5.2 保护工程设计交底与图纸会审

(1) 设计交底与图纸会审目的

设计交底与图纸会审是保证壁画文物保护工程质量和顺利施工的前提和重要环节。设计交底与图纸会审目的是对施工单位和监理单位正确贯彻设计意图和图纸要求，保护材料、工艺、工序、技术性能及施工注意事项，使其加深对设计文件特点、难点、疑点、

关键点的理解，掌握保护工程关键技术和工艺要求，确保保护工程质量。

（2）设计交底与图纸会审会议的组织及程序

1) 会议组织

设计交底与图纸会审会议在保护工程开工前由监理单位决定开会时间并通知参会单位。会议由设计、施工、监理、建设等单位的项目及技术负责人参加。

会议由建设单位组织，由建设单位项目负责人主持或委托监理单位总监理工程师主持，参会单位分别编写会审记录，由监理单位汇总意见和起草会议纪要，总监理工程师对会议纪要进行签认，并提交建设、设计和施工单位会签。

2) 会议程序

设计单位介绍设计方案：设计单位负责人介绍工程概况、方案设计意图、工程范围、工程内容、技术措施、施工图纸等，重点介绍主要保护材料、技术及工艺要求及施工注意事项等。

各单位对方案及图纸中存在的问题进行质询：参会单位从各自角度校核方案设计说明与图纸相互之间是否存在矛盾和表述不清，容易产生歧义的情况；工程保护材料、工艺、工序及技术等是否缺少施工说明及是否具有可行性和可操作性。

设计单位答疑：设计单位对各方提出的问题答疑。各单位在核查施工图的基础上，将施工图中出现的错、漏、缺等问题在图纸会审中提出，由设计单位负责完善。

问题研究与协调：各单位针对施工过程中相关问题进行研究与协调，制订解决办法。监理单位负责书写设计交底和图纸会审纪要，并经建设、设计、施工三方签证。

（3）设计交底与图纸会审的重点

1) 设计方案及施工图是否完整，设计说明及图纸内容、表达深度是否满足施工需要，保护范围、工程内容、技术和工艺是否明确。

2) 保护材料及工艺等关键点

设计采用的保护技术、材料及工艺是否符合壁画文物保护相关规范的要求，技术应用、材料使用、工艺操作、质量标准等施工要求是否明确或合理，施工现场应用是否可行或具可操作性。主要保护材料来源有无正常保证，如无法保证能否通过代换来满足设计要求。

3) 保护效果及工程质量检测技术

壁画表面污染物清除及检测技术；残缺及脱落区域修补程度及检测技术；空鼓灌浆材料、工艺及效果检测技术；揭取及搬迁技术；起甲和酸碱粉化加固材料、工艺及效果检测技术等。

4) 设计是否存在通过常规方法不能实现或不便于施工过程控制的技术问题，有无导致质量与安全等方面的问题发生的可能性。

(4) 会议纪要与实施

1) 监理单位将设计交底与图纸会审会议各单位会审记录整理汇总并形成会议纪要。经与会各方签字同意后，该纪要即被视为设计文件的组成部分，发送建设单位和施工单位，抄送有关单位，并予以存档。

2) 如有不同意见通过协商仍不能取得统一时，应报请建设单位商定。

3) 对会审会议上决定必须进行设计修改的，由原设计单位按设计变更管理程序提出修改设计。一般性问题经监理单位和建设单位审定后，交施工单位执行；重大问题报建设单位及上级主管部门与设计单位共同研究解决。

7.5.3 保护工程施工组织设计

施工组织设计编写原则

壁画文物保护工程施工组织设计编制须遵守“不改变文物原状”“最低限度干预”文物保护原则，并符合下列要求：

(1) 符合施工合同或招标文件中关于壁画文物保护工程的进度、质量、安全等要求，重视保护修复工程的质量控制。

(2) 坚持科学合理的施工程序和施工工艺，科学配置资源，合理布置施工现场，提高施工的连续性和均衡性，实现文明施工。

(3) 坚持“原材料、原工艺、原结构”，采用成熟保护材料、工艺及技术，遵循保护材料与工艺技术要求安排施工时间。

施工组织设计编制依据

(1) 文物保护法律、法规和相关要求。

- (2) 壁画文物保护有关的标准、规范。
- (3) 文物行政主管部门批准的工程设计文件及批复意见文件。
- (4) 工程施工合同及招投标文件。
- (5) 类似壁画文物保护修复项目资料、经验和科研成果。
- (6) 工程施工范围内现场条件、工程地质及水文地质、气象等自然条件。

施工组织设计编制内容

(1) 工程概况

- 1) 工程项目简介：应包括工程项目类型、性质和地理位置，壁画文物整体保存现状、价值评估及保护修复史等；工程项目的建设和设计、监理等单位简介等。
- 2) 设计文件简介：应包括壁画文物类型、规模及现状，工程范围、内容、技术、材料及工艺，质量要求等。
- 3) 施工条件简介：应包括文物环境气象状况；水文地质情况；壁画文物载体建筑物、古墓葬及石窟寺等环境情况；实施地交通运输条件及供水、供电能力等。

(2) 工程特点、重点、难点分析及应对措施

- 1) 壁画文物因其结构、材料及工艺等特征属脆弱性文物，极易受环境因素和人为因素的影响而损坏。施工前应明确壁画文物结构、材料、工艺等特点及特征，调查分析文物病害类型、危害程度及病害机理等，便于科学精准施工。
- 2) 壁画文物保护工程重点是掌握影响工程质量和安全的关键材料、工艺、技术等要求。优先采用原材料、原工艺做法及合理措施，保存壁画文物的历代正确修复信息和价值。新材料和新技术必须经过前期试验证实长期有效后方可使用。

针对壁画文物不同病害类型，制作针对施工工艺流程样板，包括工序、材料、节点及步骤等，指导施工人员操作。

- 3) 壁画文物不同时代重绘或重修多次，施工过程应保护壁画不同时代的历史信息，避免或杜绝为展示某一特定时代特征而消除其他时代信息的做法。考虑到施工过程文物安全防护及墓葬壁画原址保护难度等问题，要提前做好预案或采取相应的措施进行事前控制。

(3) 施工部署

- 1) 工程组织机构：建立工程管理组织机构，确定管理人员的工作岗位及职责权限。
- 2) 工程管理目标：根据文物主管部门及施工合同等要求，结合工程项目特点制定工程项目的质量、进度、安全、文明施工等管理目标。
- 3) 施工阶段及顺序：根据工程性质及工程内容，划分施工阶段或施工程序，一般先结构加固后保护修复，确定施工顺序和工艺流程，便于保护程序和施工顺序间相互衔接。施工顺序应符合文物工艺要求，保证施工进度和工程质量。
- 4) 工程例会制度：制订工程（或监理）例会制度，重点解决项目存在的问题，确保工程质量。

（4）施工进度计划

- 1) 按施工合同、施工内容、施工顺序及起止时间进行编制；计划中关键控制点有开工日期、分段完成日期、竣工验收日期等。计划编制应考虑施工环境及天气对材料、工艺及养护时间的影响。
- 2) 采用网络图或横道图表示，并附必要的文字说明。

（5）施工准备与资源配置计划

1) 施工准备

施工准备主要包括技术准备、现场准备和资金准备。

技术准备包括施工所需技术资料的准备，主要材料检验、进场复检计划，文物保护样板制作及防护计划等；

现场准备根据现场施工条件和工程实际需要，编制施工现场平面布置计划；

资金准备是根据施工进度计划编制资金使用及保障计划。

2) 技术人员配置计划

根据工程量确定施工用工数量，根据施工进度计划编制各施工阶段人力配置计划，并编制技术工人岗前培训和持证上岗计划。

3) 材料设备配置计划

根据施工进度计划，确定各施工阶段所需主要材料、设备的种类、数量、使用部位及进场时间。优先选择传统工艺、技术、材料，传统工艺、技术、材料能够满足保护修复要求的，不得使用新技术、新工艺、新材料；使用新技术、新工艺时，应提出技术及

管理要求。保护修复质量检测与监测仪器设备配置计划。

（6）施工方案

- 1) 根据设计方案及施工图，按施工内容及施工顺序制定施工技术方案、施工方法和施工要求。
- 2) 针对重要施工高大的异形脚手架的搭设，应有专项设计方案。

（7）施工现场平面布置

1) 施工现场平面布置原则

平面布置科学合理，兼顾不同材料、设备、文物残块的存放；施工区域的划分应符合施工部署和施工流程要求，减少相互干扰；能够完好的保护壁画文物及其附属文物；符合施工现场安全文明施工的相关规定和要求。

2) 施工现场平面布置图内容

工程施工场地状况；拟保护文物的位置、范围、轮廓尺寸等；布置在施工现场的供电设施等；施工现场必备的安全、消防等设施；相邻的既有建（构）筑物等环境。

（8）文物保护与成品保护措施

根据工程内容、施工现场具体情况及项目特点，采用覆、盖、包、支等技术措施对未保护或已保护区域文物进行临时性保护措施，确保文物与成品安全的具体措施，防止施工过程中文物损坏、文物污染等。

（9）施工资料管理

- 1) 依据国家或地方有关规定进行编制，配备专职资料员，负责施工资料的收集、整理工作。
- 2) 施工资料应包括管理资料、技术资料、物资资料、质量验收资料等；施工资料应实行报验、报审管理。
- 3) 施工资料应实行科学信息化管理。

（10）主要施工管理计划

施工管理计划指在技术、经济和管理方面对保证工程质量、进度、成本、安全等目标而采取的方法和措施。主要包括进度管理、质量管理、安全管理、成本管理等，实际编制时可根据工程实际情况进行编制。

1) 进度管理

围绕施工进度计划编写，从组织、技术、经济等方面制定进度管理措施。建立进度管理组织机构，建立项目控制动态管理机制和控制措施，确定施工进度控制点，保证进度目标的顺利实现。

2) 质量管理

明确工程施工质量目标和管理要求，建立工程质量的组织机构，明确职责分工，制定现场质量管理制度、技术保障措施和质量预防控制措施，进行事前控制，保证工程质量目标的实现。

3) 安全管理

安全管理包括施工安全和消防安全等，明确工程安全管理目标，建立安全管理组织机构，明确职责分工。建立有针对性的安全施工管理制度和职工安全教育培训制度；制定施工安全、消防安全、文物安全、人员安全等保证措施，侧重事前控制。

4) 文明施工管理

明确项目文明施工管理目标，建立文明施工管理的组织机构，明确职责分工；针对工程项目特点而制定的文明施工与现场环境保护的控制措施。

(11) 施工组织设计审核

(1) 施工组织设计应由施工单位负责主持编制，施工单位技术负责人内部审核。

(2) 施工单位报监理单位审核，经总监理工程师审核同意后，报业主单位认可后实施。如有修改意见，监理单位签发书面意见并退回施工单位修改，修改后再申报审核。

(3) 重点、难点分部（分项）工程和重大专项工程应编制专项施工技术方案，由施工单位技术部门组织专家评审论证，并由施工单位技术负责人审核。

7.6 壁画文物保护工程施工现场管理

7.6.1 施工现场安全管理

安全管理目标

施工现场安全管理目标是消除和减少保护工程施工过程人员和文物安全事故，保证施工人员和文物的安全。主要包括消除和减少人员的不安全行为；减少和消除文物、材

料设备存在的不安全状态和隐患；控制影响施工人员和文物安全的因素及条件，避免因管理不当造成人员和文物安全受到影响。

安全管理控制措施

针对壁画文物保护工程的特点制定安全保证计划及安全技术措施，确保安全目标的实现。安全计划的内容包括：控制目标、组织机构、职责权限、规章制度、资源配备、安全措施等。

（1）人员安全管理

1) 上岗培训（技术及安全培训）

建立健全管理、技术及施工人员岗前管理、技术及安全教育培训管理制度。开工前进行岗前培训，持证上岗。制定岗前培训计划，明确培训内容、培训时间、授课人员、培训方式等。培训时间不少于 4 课时，内容应包括文物保护法律法规、文物保护基本理论原则、与工程相关的文物行业技术标准、规范和政策文件等；文物防火防盗、安全施工和文明施工要求；业主单位的特殊要求等。

2) 安全防护

采取有效的防护设施，为施工人员提供符合要求的防护用具、用品。施工现场应结合季节及环境特点，做好施工人员饮食卫生和防暑降温、防寒取暖、通风通气等各项工作。

（2）文物安全管理

施工过程对壁画文物进行防护、支护或预加固，接触面采用柔性材料，防止造成二次破坏；做好施工工序和工序安排，后道工序不得对后面工序造成影响。

（3）消防安全管理

施工现场消防安全工作应以“预防为主、防消结合”方针，健全防火组织，认真落实防火安全责任制。

1) 施工现场建立健全防火安全制度。

2) 施工现场应配备足够的消防器材。

3) 施工现场使用的电器及仪器设备必须符合防火要求，临时用电系统必须安装过载保护装置。严禁超负荷使用电器设备。

- 4) 施工现场材料存放、使用应符合防火要求，易燃材料应专库储存，并有严格的防火措施；易燃材料作业时，要有具体的防火要求和措施。
- 5) 施工现场使用的安全网必须符合防火要求，不得使用易燃、可燃材料。
- 6) 施工现场向施工人员进行消防安全教育和培训。
- 7) 消防器材配备要求：施工现场每 100 平方米配备 2 只 10L 灭火器；施工材料存放间每 25 平方米配备一只灭火器，材料应按性质分类分库存放。灭火器应摆放在明显和便于取用的位置。

(4) 安全检查管理

安全检查制度是清除隐患、防止事故、改善施工条件的重要手段，是安全施工工作的一项重要内容。通过安全检查可以及时发现施工过程中的危险因素，以便有计划采取措施，保证安全顺利施工。其安全检查的主要类型有：

- 1) 全面安全检查；
- 2) 经常性安全检查；
- 3) 专业或专职安全管理人员的专业安全检查；
- 4) 重点安全检查，主要查管理、查隐患、查整改、查事故处理。

7.6.2 施工现场文明施工管理

文明施工目标

文明施工是施工单位形象的直接反映，是项目组织管理能力的综合体现，是施工进度、质量、安全的基础保证。文明施工目标是严格执行文明施工管理标准，严格按照有关文明施工的规定实施，争创安全文明样板工地。

文明施工要求

- (1) 规范场容、场貌，保持施工环境整洁卫生。施工现场要做到工完场清、垃圾不乱弃，努力营造良好的施工作业环境。
- (2) 施工现场应当做到围挡、标牌标准化、安全设施规范化、施工人员文明化。
- (3) 现场实施封闭或开放管理。
- (4) 施工现场明显处设置“五牌一图”，即工程概况牌、管理人员名单及监督电话、消防保卫牌、安全施工牌、文明施工牌和环境保护牌及施工现场总平面图。

7.6.3 施工现场进度管理

进度管理目标

施工进度管理是一个动态管理过程，进度管理的目标是通过控制措施以实现工程的进度目标。

进度控制措施

在保护修复项目计划执行过程中，由于组织、管理、经济、技术、资源、环境和自然条件的影响，往往会造成实际进度与计划进度之间的偏差，如果不能及时纠正偏差，将影响进度目标的实现。因此，在项目实施过程中，可根据实际情况控制调整项目进度，以达到预定进度目标。

(1) 施工进度控制的组织措施

组织是目标能否实现的决定性因素，为实现工程的进度目标，应充分建立健全工程项目管理组织机构，由专人组织负责进度控制，根据实际需要调整资源配置。

(2) 施工进度控制的管理措施

建立施工进度动态管理机制，及时纠正施工过程中的进度偏差。进度计划必须严谨分析和考虑各个施工阶段及工序间的逻辑关系，寻找关键点及关键路线，实现进度控制的科学化和信息化。

(3) 施工进度控制的经济措施

资金需求计划和人力、物力的需求计划反映了工程实施各阶段所需的资源。通过分析资源需求，可发现编制进度计划实现的可能性。因此，经济措施是进度控制的主要措施。

(4) 施工进度控制的技术措施

针对工程施工进度计划，按施工内容划段分析，确定关键节点，确保完成阶段性目标计划和最终工期目标。针对不同施工阶段的工艺特点、难点、重点，制定专项施工方案和施工方法，保证项目施工进度目标。

进度检查与调整

(1) 施工进度检查

施工进度的检查应按定期检查和不定期检查，主要检查工程量完成情况、检查工作时间的执行情况、检查资源使用及进度保证情况、检查前次进度计划检查提出问题的整改情况等。

（2）施工进度的调整

根据检查存在的问题，在确保工程质量和安全的前提下，调整施工进度计划，主要包括施工工序、施工方法、资源配置等。

7.6.4 施工现场质量管理

建立健全质量目标和质量保证组织检查机构，对施工过程影响工程质量的各种因素进行全面的动态控制，重点是施工材料、施工技术、施工工艺、施工工序等全过程控制和检查。

质量管理目标

施工质量目标是“达到国家现行施工质量验收规范合格标准”。制定严格的质量控制措施、文物保护措施，做到“精心组织、精心施工”。

质量控制措施

（1）施工材料质量控制

施工材料的质量直接影响到整个工程的质量，在施工过程中严把材料质量关。

1) 材料进场检查

按设计要求购置材料，进场材料或产品要严检质量合格证、检测报告等。如设计方案中的施工材料购买不到或者已经停产，则可通过设计变更经过确认后更换为文物保护中常用的且在同类项目中效果较好的保护材料，经确认后方可实施。主要材料检验、进场复检工作计划应根据国家规范、设计要求及工程规模、进度等实际情况制定。

2) 材料使用质量控制

对材料性能、质量标准、使用范围和对施工方法要充分了解。现场配制的材料，应严格按照施工图或方案要求进行配置，经试配检验合格后才能使用。

重要结构或部位的材料，由专人核对及认证材料的品种、规格、型号、性能等，是否适合工程特点和满足设计要求等。

3) 施工过程中材料质量检验

施工过程中材料检测项目和指标应根据国家现行相关标准、设计文件和施工质量控制的需要确定。施工过程中材料质量检测试样，除按施工工艺制作模拟试样检测外，可从施工现场相应施工部位抽取自检或送检。材料抽检样应具代表性，检验方法应符合相应的材料质量标准与管理规程。

如修补材料密度、收缩性、强度等物理力学性质；灌浆材料的粘度、流动性、固结性、收缩率、强度等物理力学性质；加固材料色差、渗透性、加固强度等性能指标。

(2) 施工技术质量控制

1) 施工技术控制

施工方案和施工技术严格按照设计文件、施工图细化编制及相关国家行业施工技术、规范施工。施工过程中严格执行质量要求系列行准，确保质量。

2) 施工工艺控制

施工工艺质量控制是施工阶段质量控制的重点。施工工艺细化到每道工序、每个部位，分项、分部工程及单位工程用质量。通过技术交底和学习，施工管理和技术人员充分熟悉和熟练施工工序和工艺，确保工程质量。控制手段主要有检查、测试、试验、跟踪监督等。

质量检查控制

(1) 质量检查

实行定期工程质量检查制度，消灭质量隐患。质量自检、互检、专检，隐蔽工程检验、质量事故（隐患）报告处理制度等，并贯穿于施工全过程，使工程质量始终处于受控状态。

(2) 质量检测

配备先进的试验、测量设备仪器，加强质量试验、测量复核制度。

7.7 壁画文物保护修复档案管理

规定了壁画文物保护修复档案构成、记录方法及记录格式。保护修复档案包括保护工程施工过程中形成的有价值的文件、记录数据、影像等各种形式的资料。

7.7.1 档案构成

(1) 基本信息

基本信息内容应包括：保护单位名称（或其单体名称）、保存地点、时代、面积或数量、制作材料与工艺、干预历史、照片、文物内容描述、价值简述等。原地保存的墓葬壁画基本信息应包括发掘时间、发掘时状况等信息。馆藏壁画还应包括：收藏单位、编号、来源、收集时间、重量、级别、支撑体类别以及收集时的其他相关信息等。

(2) 现状调查资料

按照 WW/T0006-2007 要求的内容、格式做出的现状调查报告。

(3) 病害研究技术资料

包括古代壁画研究涉及的分析检测、模拟实验等相关数据、照片、结论等资料。

(4) 保护修复材料与工艺筛选技术资料

包括保护修复材料的性能试验、材料筛选试验、与材料相适应的保护修复工艺筛选试验相关数据、照片、模拟实验、结论等。

(5) 设计（修复）方案资料

记录保护设计（修复）方案正式文本、保护设计（修复）方案的批复文件。

(6) 保护修复日志

-应对保护修复全过程作详细记录。主要包括文物单位名称或其单体名称、编号、保护修复人员、修复日期、工作区域、工作内容、使用材料、工艺、操作条件、现状描述、工作小结、存在问题、保护修复照片等。由保护修复人员根据实际工作情况填写，可连续单独附加多页。

-使用材料主要记录成分、商品名称、生产商、生产日期、特性、用途和曾经使用过的实例；工艺主要记录技术方法和操作步骤；操作条件主要记录仪器设备和操作环境的温度湿度等。

-在保护修复过程中，如遇到方案设计时需技术变更的情况，应详细记录其现象和原因。

(7) 绘图资料

-按照 WW/T0006-2007 中 4.4 的要求绘制的平、纵（横）剖面测绘图以及壁画所依托的各壁画展开图。

-按照 WW/T0006-2007 中 4.6 的要求绘制的壁画病害图。

(8) 影响资料

-记录在壁画保护修复工作中对清理、加固、脱盐、黏结、灌浆及锚固补强、支撑体更换等技术实施过程，以及修复前原状与修复后现状所采集的影像资料。包括视频照片等。

-影像资料可以数字载体形式提供，并注明格式和调取方法。

(9) 验收资料

包括工作报告、技术报告、自评估报告、验收意见（含验收专家组名单）。

(10) 其他相关资料

应记录与古代壁画的保护修复、试验、监测及施工质量控制文件、保护修复工程监理等相关资料。

7.7.2 记录使用材料与形式

(1) 纸质文件

-记录用纸的幅面为 A4。

-图表和数据资料等应按顺序附在记录文本的相应位置，或另行整理装订成册并加以编号。

-档案各项记录内容应保持完整，不应缺页或挖补；如有缺页、漏页，应详细说明原因。

(2) 电子文件

使用数码相机、数码摄像机、三维数字扫描仪等电子设备所得到的照片、图纸和相关资料的电子数据，应编制索引目录，注明电子资料的编号。

7.8 壁画文物保护工程竣工验收

工程竣工后，由业主单位会同设计单位、施工单位、监理单位对工程质量进行验评，并提交工程总结报告、竣工报告、竣工图纸、财务决算水及说明等资料，经原申报机关初验合格后报审批机关。项目的审批机关视工程项目的实际情况成立验收小组或者委托有关单位，组织竣工验收。对工程中发现的质量问题，有业主单位及时组织整改。

7.8.1 竣工验收申请

验收条件

- (1) 完成工程设计方案批复及合同约定的各项内容；
- (2) 有完整的施工管理资料和施工技术档案资料；
- (3) 通过了建设单位、设计单位、施工单位、监理单位的四方验评和工程项目原申报机关组织的初验，并对初验中提出的意见已全部整改完毕。

验收申请

(1) 工程竣工验收按由国家文物局统一管理，由审批工程技术方案的文物行政部门（以下简称竣工验收部门）组织实施。对具有重大社会影响的重点项目，国家文物局可以自行组织实施竣工验收。

(2) 省级文物行政部门应督促工程业主单位于工程竣工一年后 3 个月内提交工程竣工验收申请。对于一次勘察设计、分期完成的保护工程，建设单位可以对已完成并符合竣工验收条件的部分保护工程提出分期竣工验收申请。

(3) 省级文物行政部门在接到工程竣工验收申请后，对由本级批复实施的工程项目应尽快组织实施竣工验收；对由国家文物局批复实施的工程项目，应及时上报验收申请，国家文物局根据申请组织实施竣工验收。

工程竣工验收可由竣工验收部门直接或委托专业机构开展。

7.8.2 竣工验收内容

工程竣工验收主要包括工程审批与管理、工程质量与效果、工程档案资料三部分内容。

工程程序管理资料

(1) 方案申报与审批

查看方案上报、审批的规范性；方案审批意见落实整改情况；方案变更手续的规范性等。

(2) 招投标管理

设计、施工、监理招投标程序的规范性。

(3) 合同管理

设计、施工、监理合同签订程序的规范性。

(4) 施工组织管理

工程开工批复规范性；施工组织设计的科学性；文物防护措施的落实效果；施工人员安全和文物安全教育及措施；施工现场管理的规范性；工程经费使用与管理的规范性

(5) 项目初验

工程阶段性验收意见及整改情况；初步验收意见及整改情况。

工程质量与效果

(1) 工程效果

工程实施后外部观感效果；传统工艺、做法；新技术新材料。

(2) 工程质量

按批准的方案和施工图施工情况；文物保护原则遵守情况；材料与工艺相关试验；分部、分项质量验收记录；隐蔽工程验收记录。

工程资料

根据《文物保护工程文件归档整理规范》（WW/T0024-2010）的规定，工程资料可分为：设计资料、施工资料、监理资料和竣工资料。

(1) 设计资料

设计方案、施工图设计、设计变更、试验或检测报告等内容是否完整、规范。

(2) 施工资料

施工技术交底、施工组织设计、施工日志、图纸会审、施工变更记录、材料报验等内容是否完整、规范。

(3) 监理资料

监理大纲、日志、报告、隐蔽工程验收记录等内容是否完整、规范。

(4) 竣工资料

竣工申请、竣工报告、竣工图等内容是否完整、规范。

(5) 工程经济资料

施工预算书、决算书等。

(6) 影像资料

工程照片、工程录像等。

7.8.3 竣工验收程序

- (1) 根据工程性质和内容，组建验收专家组。专家组成员应为不少于 3 人的奇数。
- (2) 应制订验收计划,并将验收时间、地点、内容、程序等书面通知业主单位，由其协助安排竣工验收事宜。
- (3) 组织现场查验时，业主、勘察设计、施工、监理单位相关负责人需在现场接受验收专家组质询。
- (4) 召开验收会议。听取业主、勘察设计、施工、监理单位工程情况汇报；调阅业主、勘察设计、施工、监理单位的工程档案资料；验收专家发表意见。
- (5) 根据现场查验、情况汇报及专家意见，形成竣工验收报告。验收报告由工程基本情况、工程竣工验收情况及结论、工程竣工验收总结及建议三部分内容构成。

7.8.4 竣工验收结论及备案

(1) 竣工验收结论

竣工验收部门应在验收结束后及时向业主单位出具工程竣工验收意见。

(2) 竣工验收备案

由省级文物行政部门组织竣工验收的，应同时将验收意见和验收报告报国家文物局备案。

文物保护工程未经初验或者初验不合格的，不得投入使用；工程竣工验收不合格的，应立即停止使用，并依照工程竣工验收意见在期限内完成整改，并重新履行工程竣工验收程序。

7.8.5 工程资料归档与移交管理

资料归档要求

- (1) 归档文件须完整、准确、系统，能够反映文物保护工程项目实施的全过程。文件材料的质量符合标准 WW/T0024-2010 关于工程文件的质量要求。
- (2) 归档的文件必须经过分类整理，并应组成符合要求的案卷。
- (3) 勘察、设计单位应当在任务完成时，施工、监理单位应当在工程质量竣工验收前

将各自形成的工程文件立卷后向项目委托单位提交。

资料移交程序

- (1) 施工单位向建设单位已经按规定整理完成的施工资料；
- (2) 监理单位向建设单位移交整理完成的监理资料；
- (3) 建设单位向文物行政主管部门移交整理完成工程竣工档案。

7.9 壁画文物保护工程保修期管理

按合同约定负责保修，保修期限自竣工验收之日起计算，除保养维护、抢险加固工程以外，不少于五年。

制定科学、合理的修复后壁画保存内外环境、各类病害及本体的长期监测内容和监测方法。

8 壁画预防性保护

8.1 内涵阐释

8.1.1 文物预防性保护背景

预防性保护（Preventive Conservation）是我国文化遗产保护领域重要的指导思想，已经发展到涵盖遗产保护、监测预警、防灾减灾、环境调控等诸多方面，目前在一系列行业规范中对预防性保护的内涵进行了阐释，近年来被纳入了文物保护事业发展国家战略的高度。

2015年版《中国文物古迹保护准则》第12条规定“最低限度干预：应当把干预限制在保证文物古迹安全的程度上。为减少对文物古迹的干预，应对文物古迹采取预防性保护。”其中将预防性保护定义为“通过防护和加固的技术措施和相应的管理措施减少灾害发生的可能、灾害对文物古迹造成损害、以及灾后需要采取的修复措施的强度。”

2017年国家文物局印发的《国家文物事业发展“十三五”规划》将预防性保护相关内容作为整体，明确强化了不可移动文物领域的预防性保护原则，提出“推动文物预防性保护常态化、标准化，出台日常养护、岁修、巡查和监测工作规范。”2018年中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《关于加强文物保护利用改革的若干意见》将预防性保护的重要性进一步强化，要求“支持文物保护由抢救性保护向抢救性与预防性保护并重、由注重文物本体保护向文物本体与周边环境整体保护并重转变”。

8.1.2 壁画预防性保护定义

壁画为我国不可移动文物中主要类型之一，通常依附于古建筑、石窟、古墓葬等建筑形式而存在，由于自身赋存环境、结构特征、材料组成等因素影响，病害发育程度普遍较为严重，壁画的安全保存面临多种自然和人为风险因素的威胁。壁画预防性保护，即通过有效的管理、监测、评估、调控等措施，尽量减轻或延缓各种人为和自然风险因素对壁画的破坏作用，保证壁画及载体的安全。现阶段壁画预防性保护主要包括管理维护和技术防控两个方面，具体内容包括风险监测、保养维护、防护加固等。

8.1.3 壁画预防性保护原则

(1) 预防为主，防治结合

旨在采取有效的措施尽量减轻或延缓各种人为和自然风险因素对壁画的破坏作用，既包括及时采取防护措施减轻或避免新的破坏发生，也包括针对已经出现的破坏或病害进行有效的治理。

(2) 兼顾管理措施与技术防控

管理措施与技术防控共同服务于壁画预防性保护，有效的管理措施是壁画预防性保护的重要保障，包括管理制度科学建设、管理人员专业培训、管理工作落实监督等方面；科学的技术防护是壁画预防性保护的主要手段，即采用监测预警手段对壁画保存环境、安全状况、本体病害等进行风险因素的识别、分析和评价，在此基础上针对性地指导壁画保养维护、防护加固等措施的实施。

(3) 突出重点，分级施策

壁画预防性保护实施过程中应当突出重点问题，兼顾一般问题。通常对于严重威胁壁画安全的诸如载体结构失稳、突发地质灾害等问题进行专项加固或防治，对于直接影响壁画保存的本体活动性病害进行及时保护修复，对于可能造成壁画破坏的环境因素进行实时监测预警。

8.2 风险监测

针对壁画保存产生不利影响的各种风险因素进行监测，通过监测数据统计分析、监测评价体系构建、监测结果科学评估和监测预警联动响应等程序，为风险处理提供决策依据，该过程主要涵盖了风险识别、风险分析、风险评价等环节。对于寺观殿堂壁画、石窟壁画和墓葬壁画，由于赋存环境、结构材料及病害特点的差异性，各自面临的风险因素存在一定区别，但是整体上监测内容包括壁画保存环境、安全状况、本体病害三个方面。

8.2.1 保存环境监测

(1) 气象环境

指直接影响壁画保存的古建筑、石窟、古墓葬等建筑形式区域或微区的气象环境，一般包括空气温度、相对湿度、降雨量、蒸发量、风向、风速、光照度、紫外辐射强度、

悬浮颗粒物（PM_{2.5}、PM₁₀）、有害气体（二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳）等指标。由于不同类型壁画依附建筑形式的体量规模、形制结构、空间特征等不同，监测内容及测点布置存在一定差异，其中空气温度和相对湿度为基本监测指标。

（2）人为活动

指人为有意识或无意识活动对壁画产生的不利影响，主要包括偷盗侵扰、刻划触碰、电气火灾、烟熏污染、表面覆盖、车辆震动、施工爆破等。考虑到人为活动影响的随机性和复杂性，监测内容宜根据具体对象受人为活动影响情况进行选择。

（3）地质灾害

指壁画依附古建筑、石窟、古墓葬等建筑形式所在地质体由地质活动或地质环境异常变化为主要原因产生的灾害，对壁画的破坏往往具有突发性和毁灭性，例如地震导致古建筑墙体倾倒，滑坡、泥石流、崩塌等导致石窟崖体或洞室失稳，地面沉降、塌陷导致古墓葬墓室坍塌等。通常地质灾害破坏范围广和程度大，对壁画及其依附的古建筑、石窟、古墓葬等均会产生严重影响，一般应对壁画及其依附建筑实施整体监测，监测内容宜根据具体对象受地质灾害影响情况进行合理选择。

8.2.2 安全状况监测

（1）载体稳定性

指直接影响壁画安全保存的载体稳定性进行监测，主要由承托壁画荷载的支撑体稳定性确定。由于不同类型壁画支撑体结构特征不同，其载体稳定性监测的内容存在差异，一般寺观殿堂壁画主要监测壁画依附古建筑墙体的倾斜、歪闪、开裂、鼓胀等，石窟壁画主要监测壁画依附洞窟岩壁的危岩（石）、裂隙、空鼓、表层剥落等，墓葬壁画主要监测壁画依附墓室岩土体、砖石构件等的结构性病害。由于壁画载体稳定性往往受多种因素影响，且与依附的古建筑、石窟、古墓葬等建筑整体结构稳定性密切相关，一般应对壁画及其依附建筑实施整体监测，监测内容宜根据具体对象的结构构造特征、结构安全问题、稳定性评估结果及失稳发展趋势等进行合理选择。

（2）水害

指对壁画安全保存影响明显的赋存水环境中水的危害进行监测，主要包括地表水、地下水、毛细水、冷凝水等。不同类型壁画赋存水环境各异，水害监测的内容侧重点也不同，一般寺观殿堂壁画主要监测壁画依附古建筑墙体受屋顶雨水渗漏、墙体下部毛细

水运移等，石窟、墓葬壁画主要监测壁画依附洞窟或墓室壁面受地下水出渗、毛细水运移、冷凝水结露等。由于壁画水害影响机制复杂，且与依附的古建筑、石窟、古墓葬等建筑赋存水环境中水的危害密切相关，一般应对壁画及其依附建筑实施整体监测，监测内容宜根据具体对象的赋存水环境特点、水害类型、影响程度、变化情况等合理选择。

（3）其他

指对壁画安全保存影响较大的其他风险因素监测，主要为针对载体稳定性、水害以外其他影响壁画安全状况的风险因素实施的专项监测。南方地区某些寺观殿堂壁画依附古建筑墙体为编竹夹泥墙结构，支撑体木竹骨架极易因白蚁蠹虫危害导致材料糟朽劣化威胁壁画安全，需要对白蚁蠹虫风险进行专项监测。

8.2.3 本体病害监测

指对壁画本体保存构成严重威胁的主要病害进行监测。一般在病害现状调查和评估的基础上，选择代表性区域的典型病害进行定期监测，往往以活动性病害（裂隙、空鼓、酥碱、颜料层起甲等）为主，通过对病害种类、分布范围、发育程度等监测结果的对比分析，了解壁画病害现状和发展趋势，为后期保养维护、防护加固等措施的实施提供依据。

8.3 保养维护

保养维护是壁画预防性保护中的基础性工作，即根据风险监测结果，针对壁画保存产生轻微或缓慢不利影响的风险因素，主要从管理维护方面采取的日常性、长期性的保护措施。壁画依附于古建筑、石窟、古墓葬等建筑而存在，因而壁画保养维护大多是结合各类建筑的保养维护工作而进行的，参考《古建筑保养维护操作规程》（国家文物局2015年3月）等相关内容，壁画保养维护可从检查记录、应急处置、日常保养、管理维护等方面实施。

8.3.1 检查记录

（1）巡视检查

壁画管理使用单位、人员或其委托的专业技术人员，对壁画保存环境、安全状况、本体病害等风险监测的结果进行检查，也可根据实际情况通过观察或观测进行检测，巡

视检查包括日常巡视检查、定期巡视检查和专项巡视检查。

如果巡视检查过程中发现严重威胁壁画安全的情况，应立即上报主管部门并加强巡视检查，同时尽快在专业技术人员的指导下采取临时支护等必要措施进行抢救性防护加固。

（2）记录

巡视检查过程中对壁画保存环境、安全状况、本体病害等监测结果及预警情况进行记录，也可根据实际情况对观察或观测结果进行记录，成果形式包括文字、照片、影像、图纸等形式，并汇总形成巡视检查报告及时存档。定期对巡视检查报告进行汇总，分析壁画保存现状、安全状况、病害程度及发展趋势，提出结论及建议。

8.3.2 应急处置

巡视检查过程中针对可能对壁画安全产生不利影响的地质灾害、气象灾害、人为灾害等，应当建立壁画排险应急处置预案，并与当地应急管理、地质、水文、气象、公安、消防等相关部门建立联动响应和协同处理机制，提高壁画保护应急管理水平。

8.3.3 日常保养

（1）环境治理

巡视检查过程中如发现壁画周围环境中存在不利于壁画保存及展示的情况，例如泥沙堆积掩盖、垃圾杂物堆放、燃烧香烛纸钱、排水系统不畅、鼠蚁频繁活动、树木杂草滋生等，应当由壁画管理使用单位、人员或其委托的专业技术人员对壁画周围环境进行治理。

（2）壁画清洁

巡视检查过程中如发现壁画本体存在轻微不利于壁画保存及展示的情形，例如浮尘、积沙、蛛网等，应当由壁画管理使用单位、人员在专业技术人员的指导下或其委托的专业技术人员对壁画进行适度清洁。

8.3.4 管理维护

(1) 开放管理

对于开放参观的壁画，应当加强游客管理，明确游客承载数量，控制参观人员流量，设置必要隔离屏障，制定应急疏散预案，确保壁画及游客安全。

(2) 设施维护

对于壁画保护性设施、安全防范装置、陈列展示设备等，应定期进行检查维护，确保设施设备正常使用，不对壁画安全产生隐患。

8.4 防护加固

防护加固是壁画预防性保护中的主要工作，即根据风险监测结果，在保养维护工作无法满足壁画保护要求的条件下，针对壁画保存产生严重或突发不利影响的风险因素，主要从技术防控方面采取的针对性、专业性的保护措施。根据防护加固对象、目的及方法的不同，大致可分为主动性防护和被动性加固两类，前者主要通过三防工程、地灾防治、载体加固、水害治理、环境调控等环境控制手段减轻壁画环境风险源的不利影响，后者则通过保护修复及结构补强消除或减缓壁画本体病害风险的破坏。

8.4.1 主动性防护

(1) 三防工程

对于壁画依附的古建筑、石窟、古墓葬等建筑面临的人为破坏、火灾、雷击等风险，分别通过安防、消防、防雷三项专项措施进行防范。

(2) 地灾防治

对于壁画依附的古建筑、石窟、古墓葬等建筑面临的地质灾害（滑坡、泥石流、崩塌、地面沉降、塌陷等），应通过地质灾害防治专项措施进行防治。

(3) 载体加固

对于壁画载体结构安全问题，例如寺观殿堂壁画依附古建筑墙体倾斜、歪闪、开裂、鼓胀等，洞窟依附岩壁危岩（石）、裂隙、空鼓、表层剥落等，墓葬壁画依附墓室岩土体、砖石构件等结构性病害，应通过载体结构加固补强措施进行防护，通常可采用锚杆

（钉）锚固、裂隙注浆、空鼓加固、构件连接等方法。由于壁画载体稳定性往往受多种因素影响，且与依附的古建筑、石窟、古墓葬等建筑整体结构稳定性密切相关，一般应对壁画及其依附建筑实施整体结构加固。

（4）水害治理

对于壁画赋存水环境中水的危害问题，例如寺观殿堂壁画依附古建筑墙体受屋顶雨水渗漏、墙体下部毛细水运移等，石窟、墓葬壁画主要监测壁画依附洞窟或墓室壁面受地下水出渗、毛细水运移、冷凝水结露等，应通过水害治理措施进行处理，通常可采取地面保护性建筑（防雨棚）、地表防渗和截排水、地下阻排水、空气除湿等方法。由于壁画水害影响机制复杂，且与依附的古建筑、石窟、古墓葬等建筑赋存水环境中水的危害密切相关，一般应对壁画及其依附建筑水害实施同步治理。

（5）环境调控

对于壁画区域或微区不利于其保存的环境因素，例如高温潮湿、温湿度频繁波动、紫外光照射、降尘、空气霉菌孢子等，有条件应通过环境调控措施进行处理，通常可采取空气温湿度调控设备（空调）、去紫外光源、杀菌防尘风幕等方法。

8.4.2 被动性加固

相对于主动防护，被动性加固主要指针对壁画本体已经出现的病害，尤其是活动性病害（裂隙、空鼓、酥碱、颜料层起甲等），应通过保护修复及结构补强消除或减缓病害风险的破坏。该内容同“第6章壁画保护技术与材料”。

9 壁画数字化

9.1 概述

9.1.1 关于壁画数字化的基本概念

我国文化遗产保护工作逐步进入信息化时代,对于文化遗产保护、管理、监测档案、研究以及展示利用都面临向数字动态化的转变过程中。尤其对于壁画这类信息密集、保存状态脆弱的文物,结合科学勘察对其进行数字记录成为当前这类文物保护工作的重要基础任务。我们保护文化遗产的核心,是保护文化遗产的价值,从某种角度来讲,世界上不存在永远不消亡的文化遗产。任何文化遗产都在每时每刻地发生着变化,只是变化的程度与速度不同。我们从事文化遗产保护,就是在减缓这种变化的发生,但却不可能完全阻止。然而,我们却可以将文化遗产所承载的历史信息记录下来,将它们永远留存下去。因此,从这方面角度来说,文化遗产作为历史信息的载体,它们所承载的历史信息与文化遗产本身具有同样重要的价值。而对文化遗产历史信息的提取和记录,就是对它们进行档案记录的过程,这一过程贯穿文化遗产保护的全过程。因此,在我们国家遗产保护的行业准则中就明确指出:文物古迹的记录档案也是它们价值的载体,真实、详细的记录文件在传递历史信息方面与实物遗存具有同等重要的地位。在当前的技术环境下,数字化工作是做好文化遗产档案记录的相当重要的一环,特别是针对像壁画这一类脆弱而信息量丰富的遗产类型。

完整的档案资料是科学保护的前提。建立完整的保护档案是壁画保护工作中一项非常重要的基础性工作。有关壁画的历史资料、发表物、历史照片、历史上影响到壁画保存状况的大事记、壁画价值评估、现状评估、管理评估、病害调查资料、制作材料和制作工艺的研究资料、保护处理的方法、材料的记录、处理前后状况的对比资料、环境监测数据、日常维护工作记录、详尽的保护报告等都要收录到保护档案中。壁画保护档案是一个不断充实的信息资料库,需要保持其完整性和时效性¹。而这些档案资料之中,针对壁画的测绘资料是这些档案的基础,在壁画的保护程序中,从评估到编制保护方案到实施保护方案,以及保护完成以后的监测和展示,均需要以测绘资料作为工作的前提条件。

¹摘自《中国文物保护与修复技术》第九章,中国文化遗产研究院编。

壁画的勘察测绘，是指对壁画的形状、大小、空间位置、纹理、画面、色彩、病害分布等外在信息进行数据测定，对壁画的材料、结构、层次、工艺、改易情况等内在信心进行取样采集，对环境影响因素进行勘察测定，对病害原因进行研究分析，并以二维图纸、三维模型及数据列表等多种形式进行表达的过程。壁画的勘察测绘是编制保护方案、实施保护干预的前提，也是对壁画进行长期监测的基础，其成果在文化遗产展示利用中帮助人们更深入的认识壁画的价值和现状，建立更为一致的保护共识具有重要作用。

传统的测量测绘方式针对对象信息的采样率是相当有限的，我国早期以保护为目的针对壁画进行的测绘，主要是通过简单的手工测绘工具量取轮廓尺寸，再加以手绘临摹绘制而成的图纸。随着摄影技术的发展与普及，摄影记录很快被应用到壁画的测绘记录工作中来。在相当长一段时间内，摄影技术仅仅是作为图像留存及展现需要应用在测绘中，而较为精确的摄影测量技术是在近十年来才逐步应用到壁画的测绘实践中，而且发展相当迅速。与此同时，各类精细测量工具的发展也推动了壁画的测绘记录水平，从平板仪、测距仪到全站仪，各类测绘工具的应用均带来一次次壁画测量测绘的革新，特别是计算机技术的普及以及近年三维激光扫描和摄影测量技术的应用，将壁画测绘带入数字化时代。如果说传统的测量测绘方式是一种针对对象信息的抽样调查，采样率相对较低，而数字化测绘方式则是针对对象信息的全样本采集。也就是说，传统的测量测绘方式形成的测绘成果在很大程度上依赖于测绘人的认识水平和测绘记录水平，成果深度也因为采样率有限而注定存在较多的遗漏信息；而数字化测绘在有一定精度和采样率指标标准控制下，测绘成果相对比较统一，接近全样本的采样率也使得测绘成果信息丰富，不容易遗漏测绘信息。

当下数字化勘察测量技术的发展日新月异，近景摄影测量、光栅三维扫描、三维激光扫描的飞速发展注定将为壁画的勘察测绘带来一个新的时代。而要做好壁画的数字化工作，首先需要对一些概念有基本的认识。

（1）数字化（Digitalization）

数字化是将许多复杂多变的信息转变为可以度量的数字、数据，再以这些数字、数据建立起适当的数字化模型，把它们转变为一系列二进制代码，引入计算机内部，进行统一处理，这就是数字化的基本过程。简单而言即把信息以数字形式进行描述、记录、

存储和利用。对于壁画而言，需要记录的客观信息包括了壁画的空间形态、几何尺度、画面纹理、材质组成、结构构造、工艺做法、病害状态等等，壁画数字化则是将这些客观信息用数字进行描述和记录的过程，传统上我们将对壁画信息进行描述和记录的过程称为测绘，而壁画数字化则是在当前计算机和测量测绘技术快速发展下，主要针对壁画空间形态、几何尺度、画面纹理等信息在大大提高了采样率以后的一种测绘方式。

（2）采样率（Sampling Frequency）

采样率是通讯与信号处理学科中的一个概念，通俗地讲是指计算机每秒钟采集多少个信号样本。对于壁画数字化而言，采样率是指对壁画形态和纹理信息的采集密度。在针对壁画形态采用三维扫描的信息采集中，采样率指在某一标准尺度内的测量采样点数量，即点云密度。在针对壁画纹理采用摄影技术进行拍摄的采集中，采样率指在某一标准尺度内的拍摄像素点数量，即与壁画实物相同尺度下的图像分辨率。在数字化测绘记录中，采样率决定了采集的精细程度（注意不是精度），是影响数字化工作量的重要指标。

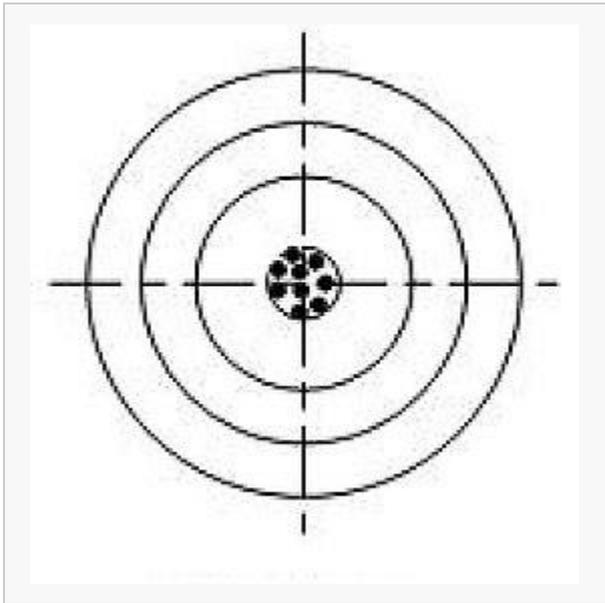
（3）测量精度（Accuracy and Precision）

测量精度是衡量测量结果的真实性与可靠性的指标，通常包含精确度、精密度、准确度及正确度等含义。其中，精确度被认为是由准确度和精密度组合而成，用于衡量观测结果与其真值之间的接近程度；准确度指测量值的数学期望与真实值之间的接近程度，反映了测量过程中系统误差的大小；精密度指测量值与其数学期望之间的离散程度，反映了测量过程中偶然误差的大小。因此，精确度反映了偶然误差和系统误差的联合影响。

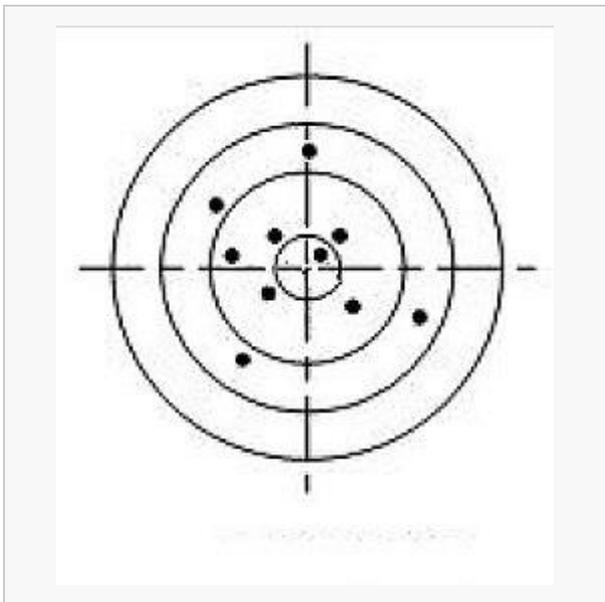
我国测绘学领域规范性文件《测绘基本术语》（GB/T 14911-2008）中对“准确度”与“精密度”作出了定义：

准确度（accuracy）：在一定测量条件下，对某一次的多次测量中，测量值的估值与其真值的偏离程度。

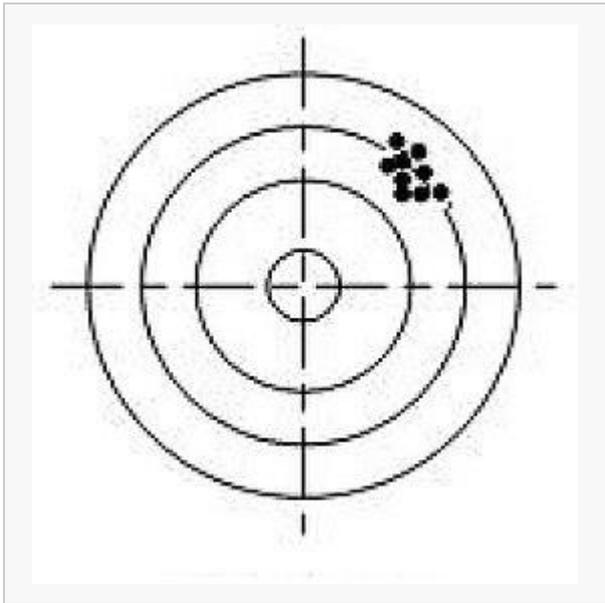
精密度（precision）：在一定测量条件下，对某一次的多次测量中，各测量值间的离散程度。



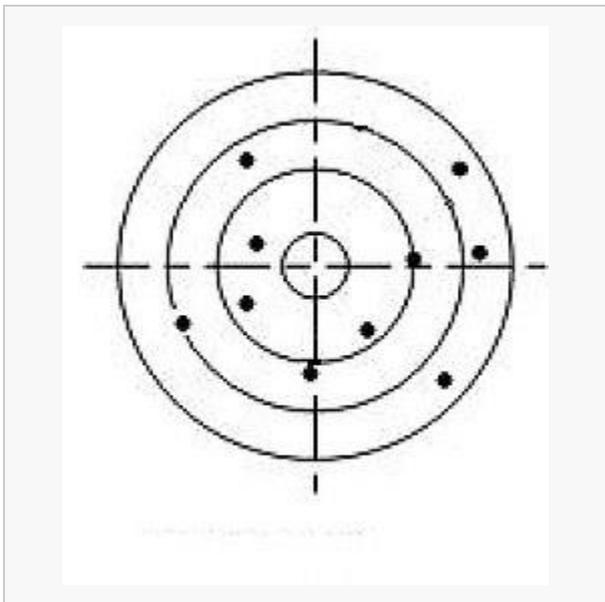
高准确度，高精密



高准确度，低精密



低准确度，高精密度



低准确度，低精密度

在数字化测绘记录中，测量精度决定了采集的准确程度，是衡量数字化工作质量的重要指标。

(4) 壁画数字化 (Wall Painting Digitalization)

壁画数字化在当前的认识概念上，是指采用一系列测量测绘技术和数字记录技术的综合，应用于壁画的数字化信息保存工作，主要针对壁画的物质特性，采集壁画在形貌方面的几何形态特征和材质方面的表面纹理色彩特征，利用计算机算法进行匹配加工，为壁画建立真实、完整、便于传播的三维数字模型档案，应用于文物保护及阐释的各个

方面。

9.1.2 当前壁画数字化工作的主要技术手段

文物数字化保护是在计算机技术和测量技术发展有一定阶段提出的保护概念，当前的数字记录技术能够将文物的形貌特征和色彩纹理特征相对客观、真实的采集转化为数字记录档案，并以各类输出技术将文物的三维模型呈现在人们面前。文物数字化记录是在二十世纪七十年代以后，随着计算机技术的产生与普及，以及数字化测绘设备的逐步广泛应用而逐渐成熟的。数字化技术应用于文物保护已有数十年历史，而在我国的文物保护工作中的探索应用，主要是在近十年间三维激光扫描技术和数字摄影测量技术的迅速发展，整个行业对于文物数字化的实践应用都有较高的期待。数字化技术具有客观性、即时性、稳定性、精确性等多方面的优势特点，而且由于其在各个行业均有广泛应用，技术发展速度十分迅猛，在文物保护行业中应用前景广阔。目前壁画数字化主要使用的技术有数字扫描与摄影、三维扫描、数字摄影测量等技术类型。

(1) 数字扫描与摄影

主要用于采集平面型文物和其他形状文物表面纹理、色彩等图形信息。对包括壁画、彩画、书画、文献、织物等类型文物，采用数字影像记录设备，将文物表面的图案、文字、色彩等信息的影像转化成数字图像文件，并通过计算机设备进行处理和存储。与传统影像记录或绘图记录方式相比，数字扫描与摄影采集的二进制数字图像文件，其质量经长久保存也不会发生变化；存储占用的实体空间较少；成果档案的查询、统计和处理更为方便快捷。

数字影像记录设备利用光电转换系统将影像转换成数字信号，存储为多个 RGB（红绿蓝）像素纵横排列组成的平面矩阵图像文件。根据光电转换装置的不同，分为数字扫描和数字摄影两种工作方式。数字扫描应用线阵光电转换装置（如扫描仪、扫描式数字后背）对文物影像逐行扫描形成数字图像文件。早期数字化工作中，数字扫描成果质量相对较好，但其因设备体积较大、对环境要求高、采集时间长且扫描过程必须对文物进行持续照明，故多用于可移动文物和展馆内文物影像采集。数字摄影使用面阵（矩阵）光电转换装置（数字相机、矩阵式数字后背）通过单次曝光成像形成数字图像文件，随

随着技术进步，数字摄影成果质量已经接近数字扫描成果，由于数字摄影设备体积较小、对环境要求低，采集时间短，可使闪光光源工作，故更适应壁画、墓葬等局限性环境下文物影像采集。

数字扫描与摄影用于客观、精细、准确地记录文物平面纹理和色彩信息。为保证记录成果的准确性，采集设备、照明设备的性能、参数必须符合相关要求，多次采集时需保持前后一致，图像采集、处理、存储过程要进行色彩管控。为保证采集成果的透视变形最小，采集过程中扫描/摄影设备光轴应垂直于被采集平面（尽量避免使用偏转移轴成像）。为保证采集成果的完整和精细度，如文物尺度较大，单次扫描/摄影可能难以完整采集或采集精度不足，此时应将被采集文物分为若干个区域，保证每个区域与相邻区域有一定比例重叠，然后分别采集每个区域的数字图像文件，最后在计算机中将各区域数字图像文件按顺序拼合，形成能完整、高精度地记录文物表面纹理、色彩信息的数字图像文件。

（2）三维扫描技术

应用在文物上主要采用的是结构光扫描和激光扫描两类非接触式扫描方式。结构光扫描是将光栅连续投射到物体表面，摄像头同步采集图像，然后对图像进行计算，并利用计算技术还原两幅图像上的三维空间坐标，从而实现对物体表面三维轮廓的测量。激光扫描是利用激光测距的原理，通过记录被测物体表面大量的密集的点的三维坐标、反射率和纹理等信息，可快速复建出被测目标的三维模型及线、面、体等各种图件数据。

三维扫描技术可以精确获取文物表面三维信息并永久保存，同时建立的三维数据库可以最大限度地减少研究过程对文物的直接接触，数字信息便于传递和交流。20世纪90年代开始，三维激光扫描技术便成为空间数据获取的一种重要技术手段，并在意大利被率先应用到文物保护领域。美国的斯坦福大学利用此技术对米开朗基罗雕像进行了数字化，使艺术雕像得到了更好的展示与保护；为收集文物、艺术画廊的原始数据，加拿大开发了NRC's 3D Imaging系统；文物保护工作者还利用三维激光扫描设备对世界名画蒙娜丽莎进行扫描，记录油画现状，分析油画表面残损。

21世纪初，我国逐步在古代建筑、石窟和壁画保护工程中使用三维激光扫描技术，一些博物馆也不同程度地对馆藏珍贵文物进行了三维数据采集工作。2001年，在建设三

峡水利工程的过程中，发现了古建筑、遗址和大量的出土文物，为了保护和保存好这些珍贵的古文化遗产，采用了三维激光扫描技术来进行三维扫描，将考古挖掘的现场进行了数字勘察记录，并进行了古遗址的三维重建；在 2006 年，使用三维激光扫描仪对北京的故宫进行了数据扫描，在获取的古建筑内部空间数据的基础上绘制出了故宫的梁架平面图等数据，并与原有图纸作对比，从而得出量化的残损变形评估。2010 年后，龙门石窟、云冈石窟、杭州西湖南山造像等石窟寺（摩崖造像）等重要石窟类文化遗产保存地，都投入了三维数字化技术来对彩塑壁画进行记录、测绘、展示。

（3）数字摄影测量

数字摄影测量是基于数字影像与摄影测量的基本原理，应用计算机技术、数字影像处理、影像匹配、模式识别等多种学科的理论与方法，提取所摄对象用数字方式表达的几何与物理信息的摄影测量学的分支学科。近年来，数字摄影测量也越来越多被应用到国内外古文物保护中。例如为了对安丙家族墓的进一步考古研究和文物遗迹的保护设计提供必要的基础信息资料，利用数字摄影测量技术对安丙家族墓获取数据，内业数字化测图。还有利用数字摄影测量技术获取乐山大佛等值线图，对其进行建模等。国外文物保护工作者也将此项技术应用到水下遗址、岩画、馆藏塑像勘察记录等领域，也有将数字摄影测量技术与三维激光扫描技术相结合，发挥各项技术优势，记录成果更加全面和完善。

9.1.3 壁画数字化工作的意义

近年来，随着计算机技术的不断发展，将数字技术运用于文化遗产的保护成为热门研究课题。数字化技术为文物保护、考古、古人类学的研究开辟了新的途径，推动了文化遗产保护的科学化、现代化进程，为文化遗产保护、开发与展示提供了新的发展契机，同时也改变了传统的文化遗产保护方式，是一次由科技发展带来的技术变革。用传统的测量方式，很难获得彩塑壁画完整的几何、色彩以及表面残损等信息，同时在测量过程中，频繁接触彩塑壁画表面容易对文物造成二次伤害。三维激光扫描结合近景摄影采用非接触式的测量记录方式，具有快速、准确、多方位、“所见即所得”等特点，可以既忠实又安全的精确获取彩塑壁画表面三维信息并永久保存，数字化的基础数据可以最大限

度地减少研究过程对文物的直接接触，数字信息便于传递和交流，还可以使用虚拟复原让展览。

(1) 壁画保护工作的基础需要

对壁画进行数字化测绘是开展其保护、研究、展示工作的基础。由于壁画相比其他不可移动文物非常脆弱，而其中所蕴含的历史信息却又是特别丰富和集中，针对壁画开展的所有保护、研究以及展示利用等工作均需要借助记录媒介来完成。传统的勘察测绘手段所形成的成果由于其勘察目的不同，均带有较强的主观信息选择，往往不同的工作目的所开展的勘察各不相同，形成对这些脆弱的珍贵文物的多次重复勘察，对于壁画文物本体的保护不利。而借助三维激光扫描、数字近景摄影技术、多光谱摄影技术以及紫外荧光摄影技术相结合的壁画数字化将再很大程度上改变这一现状，数字化形成的成果具有客观、准确、无差别化信息提取等多重特点，其测绘成果将成为壁画各项工作的最为重要的基础资料。

(2) 为彩塑壁画监测与修复提供相应数据

壁画类遗存不同于其他文物，各类破坏因素对其导致的残损发展是慢性的、渐进的。当人们观察到壁画的残损出现时，其病症的发展往往已经经过了很长的周期，出现了整体性的衰变。故亟须对壁画进行定期的科学监测，以类似于 CT 监测人体病变发展的客观监测记录手段，利用三维激光扫描、数字近景摄影技术、多光谱摄影技术以及紫外荧光摄影等技术相结合的方式建立壁画当前客观的现状记录档案，并为今后长期的壁画健康状况监测提供比对依据。利用不同时间进行的数字化记录可对壁画进行监测，尽早对可能发生或已经发生的病害进行干预。

对于在近期有可能需要对壁画实施保护干预工作的对象，数字化测绘将为其提供最准确的原始信息记录。壁画十分精美，价值极高，对其采取的任何直接干预措施均需要有充分的勘察研究基础。对其进行数字化的勘察测绘所形成的成果，可以为壁画的保护干预提供极为重要的可靠的基础依据。只有系统的、科学的记录档案和勘察手段，才能保障获取这些壁画的准确信息，并为其后的修复工程实施以及更为长期的监测提供准确的原始状态档案资料。

(3) 数字化展示和相关产品的开发

当前，我国绝大部分壁画仍然停留在直接开放展示的阶段，这为文物本身以及参观者、研究者等各方面均带来了不利因素：一方面，由于大多数遗产地地理位置原因，尽管其中的壁画十分精美但前来直接参观的人数十分有限，相关专家在进行研究时也非常不便；另一方面，出于对壁画的保护，参观人流不宜过量。在当前数字技术飞速发展的时代，借助数字化勘察测绘与展示，上述文物保护与教育研究之间的悖论可以得到妥善解决。通过壁画的数字化工作，可以将文物信息最大化地保留，不限地域，不限次数地进行展示以及共享资料信息。在对壁画进行数字化展示的过程中，还可带动数字博物馆、壁画复制品、纪念品等相关产业的发展。

9.2 壁画数字化技术流程

9.2.1 测绘

(1) 测绘工作要求

- 应准确获取壁画表面三维信息。
- 应准确获取壁画特定病害的几何特征和定量信息，如病害三维信息。
- 应准确获取壁画所依附建筑的空间几何信息，如柱网、墙体、地基、梁架等结构情况。
- 可获取壁画所在建筑环境的空间格局信息。

(2) 主要技术手段

- 可采用的主要技术包括三维扫描技术、数字摄影测量和控制测量等技术。
- 主要使用设备包括三维扫描设备、全站仪和数码相机以及相关配件等设备。
- 应根据测绘对象的测量范围和测量精度不同，合理选择设备种类和型号。

(3) 测绘工作技术流程

测绘工作分为现场工作和内业工作两部分。现场工作包括了控制测量和三维扫描，内业工作包括了控制测量数据处理、三维扫描数据处理和局部精细三维数据处理。

控制测量：

- 控制点测量：测区踏勘，制定控制测量方案；布设控制点，建立坐标系，测

量控制点。误差不低于二级导线测量要求。

- 根据实际情况布设标靶点，依次测量各标靶点。

三维扫描：

- 建筑环境三维扫描：使用地面三维扫描设备进行建筑环境三维扫描，采集建筑环境三维信息，如院落地面、墙体、相关建筑的三维点云数据。
- 壁画所在建筑三维扫描：采用地面三维扫描设备进行建筑本体三维扫描，全面记录壁画所在建筑的三维信息，重点关注对壁画产生影响的建筑台明、墙体、柱网、梁架结构。若后期需对壁画进行多次扫描比对，应布设后续测量使用控制点。
- 壁画本体三维扫描：壁画本体三维扫描包括壁画整体三维扫描、壁画局部精细三维扫描；壁画整体三维扫描可采用地面三维扫描设备，也可结合数字摄影测量与三维扫描获取数据；采用地面三维扫描设备工作时，扫描入射角大于 30° ；点间距不大于 3mm ；配置有内置彩相机的设备，应使用拍摄彩色影像模式；无内置相机的设备，需补充拍摄；采用数字摄影测量技术拍摄时，如拍摄环境光较暗，应以冷光源补光；拍摄的原始数据应采用 RGB 色彩标准无损 RAW 格式文件存储，影像采样分辨率不低于 75DPI；局部精细三维扫描可采用误差小于 0.1mm 的高精度三维扫描系统，针对壁画局部或病害局部进行三维扫描，扫描点间距不大于 0.3mm 。

控制测量数据处理

- 对外业数据进行平差解算，计算得出每一个控制点及标靶点坐标。

三维扫描数据处理

- 拼接方法包括标靶拼接、点云约束拼接、特征点拼接。应优先采用标靶拼接和点云约束拼接方法。若现场数据采集条件有限，可采用特征点拼接方法。
- 拼接误差不大于 3mm ；多站点云数据重叠位置做点云数据切片，检查是否出现数据分层。
- 数据坐标与控制测量坐标系一致；
- 删除三维数据中人员、仪器、脚手架、杂物、空间中噪声点等无关数据。

- 采用摄影测量方法获取壁画三维数据，应使用色彩校准管理系统校准计算机工作站软硬件环境；检查每一幅参与计算图像是否失焦、变形；使用现场拍摄的色彩校准文件校准对应影像。

局部精细三维数据处理

- 应使用标靶或特征点拼接各站数据。
- 手动删除与软件自动选择与删除相结合，剔除与壁画无关的数据。
- 局部精细三维扫描数据可设独立坐标系。

(4) 测绘成果数据指标

测绘成果数据主要包括三维点云数据、壁画点云正射影像图。

三维点云数据精度要求

- 建筑环境三维点云数据应反映完整的建筑落间空间关系及各单体建筑基本三维信息，点间距不大于 5cm，点位精度优于 5cm。
- 壁画所在建筑本体三维点云数据，点间距不大于 2cm，点位精度优于 2cm。
- 壁画本体三维点云数据，点间距不大于 3mm，点位精度优于 2mm。
- 壁画本体局部精细三维点云数据，点间距不大于 0.3mm，点位精度优于 0.1mm。

三维点云数据内容及格式要求

- 应包含三维扫描原始单站数据和拼接后完整数据，并保留数据拼接误差相关信息。
- 提交数据格式应包含原始数据格式和通用格式。
- 记录工作日期、数据采集人员、数据处理人员、设备型号、相关参数、数据文件编号等。

壁画三维点云正射影像图

- 应包含单幅壁画完整画面及壁画四角、边框等重要几何特征。
- 应能表现壁画主要纹理特征。
- 文件格式应为无损压缩的通用格式。

9.2.2 摄影

(1) 摄影工作要求

- 应准确表现壁画本体与赋存建筑现状。
- 应准确反映壁画色彩纹理信息。
- 应清晰表现壁画表面病害残损信息。

(2) 主要技术手段

- 可采用矩阵式高清晰数字摄影法，即正直多基线高清晰数字摄影法，精确采集色彩纹理，结合壁画点云正射影像图校准尺寸。
- 主要使用设备包括：感光器尺寸不低于 24mm×36mm 的数码相机、照明光源、测量设备。

(3) 摄影工作技术流程

摄影工作分为现场工作和内业工作两部分。现场工作是通过矩阵式高清晰数字摄影法，即正直多基线高清晰数字摄影法，获取文物和环境的影像信息；内业工作是校准、裁剪、拼接获取的影像信息，输出为数字影像成果。

现场工作技术流程

- 划分采集区块。依水平和垂直方向将被采集壁画分隔为相同大小若干个采集区块，相邻采集区块间有 30% 以上面积重合。区块大小根据所用数码相机影像传感器的有效像素数和采集分辨率确定。根据公式 (1) 计算采集区块对应长度 L。

$$L \leq A/P \times 25.4 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

A——数码相机影像传感器单边有效像素数；

P——采集分辨率 (DPI) ；

L——采集区块对应边长度(mm)。

- 编号并确定采集顺序。按每个采集区块所处行、列位置编号，确定采集顺序，按序分别采集每个区块的正射影像。
- 调整数码相机的位置和角度。数码相机影像传感器侧倾角与水平面应成 0°，数码相机光轴垂直于壁画表面，或垂直于成像中心区域壁画表面切面，光轴

- 垂直对准第一个采集区块中心，保证采集区块影像充满数码相机取景范围。
- 调整灯光。拍摄泛光影像时，被摄采集区块应被泛射光均匀照亮，区块内各点亮度差异小于 10%；拍摄侧光影像时，光照方向与壁画的夹角应小于 25°。
 - 调整数码相机曝光参数。数码相机 ISO 感光指数应不大于 100，保证在 AdobeRGB 色彩空间中，影像上白块的 R、G、B 各通道数值不大于 240，黑块的 R、G、B 各通道数值不小于 30。如数值超出范围，应调整灯光或数码相机相应曝光参数。
 - 色彩校准。将相机文件的色彩空间调整为 AdobeRGB 色彩空间，标准色卡贴近在采集区块表面，拍摄用于色彩校准的标准色卡影像文件。影像质量应符合对应标准色卡的校准需求。
 - 拍摄影像。拍摄被采集区块数字正射影像，记录数码相机拍摄参数、与被摄画面的角度和距离关系；平移拍摄平台，使数码相机的光轴垂直对准下一个采集区块中心，再次进行拍摄采集；拍摄前应确认数码相机拍摄参数、与被摄画面的角度和距离关系与上一区块相同，按顺序拍摄每一个区块；如需要改变数码相机拍摄参数或与被摄画面的角度和距离关系，则应按照本条以上三条流程要求，重新调整设备，再顺序拍摄；拍摄每行或每列的中间采集区块、整幅壁画中心采集区块、四个角落采集区块时，应先拍摄标准色卡；壁画本体被严重遮挡，或其正面空间不具备采集条件时，应采集尽可能接近正射角度的影像。
 - 记录信息。记录该幅壁画采集过程中的起始和结束文件编号、镜头、焦距、光圈、曝光速度、ISO、色温、色彩校准文件编号、灯光信息、设备型号、时间、人员信息等。
 - 采集过程参数。使用孟赛尔色彩体系（Munsell color system）矩形彩色标板（如 Color Checker 24 色彩色标板）拍摄色彩校准文件；场拍摄原始数据应采用 RGB 色彩标准无损 RAW 格式文件存储，文件中 RGB 每通道色彩深度不低于 12Bit；采集时使用拍摄光源应具有高显色性（CRI 大于 96），亮度输出一致性高（多次输出亮度差异小于 2%），光照色温稳定在 5500K±550K

以内；数码相机影像传感器中的有效像素应为矩形排列，每个 RGB 像素为正方形，配用镜头焦距对应 135 全画幅等效焦距 35mm 至 200mm 以内，镜头光轴垂直于影像传感器。

内业工作技术流程

- 使用色彩校准管理系统校准计算机工作站的软硬件环境，与采集过程使用统一的色彩管理体系；
- 使用现场拍摄的色彩校准文件校准对应的影像记录文件；
- 检查每一幅图像是否变形、模糊、失真；
- 按采集顺序分别拼接泛光正射影像和侧光正射影像，检验拼接结果，手工调整拼接错误；
- 通过软件透视校正，生成近似正射影像和校正影像。校正影像可用于拼接壁画高清正射影像图，但使用校正影像拼接部分应予以标注和说明；
- 利用点云生成的壁画正射影像图进行几何校准，生成可量测的泛光正射影像图和侧光正射影像图。

(4) 摄影成果数据指标

壁画数字正射影像图（泛光与侧光）

- 壁画数字正射影像图内可显示现场使用的标准彩色标板，提供色彩信息。
- 壁画数字正射影像图采样分辨率分三个等级标准：
 - 一级：采样分辨率不低于 300DPI，每米至少包含 11811 个像素，每平方米至少包含 1.39 亿个像素。
 - 二级：采样分辨率不低于 150DPI，每米至少包含 5905 个像素，每平方米至少包含 3487 万个像素。
 - 三级：采样分辨率不低于 75DPI，每米至少包含 2953 个像素，每平方米至少包含 872 万个像素。
- 提供采样分辨率为 50DPI 的壁画数字正射影像图等比例缩略图。
- 提交壁画泛光正射影像图（包括缩略图）和壁画侧光正射影像图（包括缩略图）。使用无损彩色位图 TIFF 格式或 PSB 格式，和 JPEG 格式文件分别存

储，文件中 RGB 色彩每通道深度不小于 12Bit。

- 提交全部现场采集的未拼合壁画影像单张原片的 RAW 格式原始数据，校正后影像文件的无损压缩通用格式数据。

现场工作记录照片

- 反映古建筑及院落等文物环境、壁画空间分布位置、与历史照片相对应的现状记录照片。
- 反映现场所采用设备、工作过程的记录照片。

9.2.3 人员和设备要求

(1) 人员要求

- 技术负责人应具备五年以上壁画保护或数字化勘察测绘工作经验。
- 人员应具备壁画摄影和测绘工作能力与经验。

(2) 设备要求

三维扫描设备

- 三维扫描设备主要包括地面三维激光扫描仪和工业级高精度三维扫描设备。项目使用的三维扫描设备应在精度检定有效期内，或有相关资质单位出具的当年设备维护校准证书。使用前应进行全面检验后方可投入使用。
- 用于大范围测绘的地面激光三维扫描仪。测距范围从几十米到几百米；主要分为相位式地面三维激光扫描仪和脉冲式地面三维激光扫描仪两种；相位式地面三维激光扫描仪的测距范围通常在 300m 以内；脉冲式的地面三维扫描仪的测距范围通常大于 300m；地面三维扫描设备的单点测距误差 25m 处不超过 $\pm 2\text{mm}$ ；地面三维扫描设备可内置彩色数码相机，获取彩色点云；没有内置相机的设备，需另配置单反数码相机。
- 用于小范围精细测量的工业级高精度三维扫描设备。测绘范围几米以内；仪器测距精度优于 0.1mm。

摄影设备

- 数码相机具体要求：为降低噪音干扰，保证准确记录壁画的纹理信息，数码

相机的影像传感器尺寸应不小于 24mm×36mm；为保证准确还原壁画色彩，数码相机应支持 R、G、B 每通道色彩深度大于 12 Bit，影像传感器 ISO 感光指数最低能够达到 ISO100；当采样分辨率要求高于 150DPI 以上时，数码相机影像传感器的 RGB 有效像素数应大于 2000 万个。

- 灯光设备的具体要求：为保证文物安全，封闭空间内连续照明光源应使用 LED 或荧光灯类高光效冷光源；为保证拍摄成果的一致性，拍摄用光源的色温应为 5500K±10%；拍摄光源的发射亮度应一致，24 小时内任意两次拍摄时，灯光输出的面积和亮度差异小于 10%；为保障光源稳定性，每两次闪光之间输出能量差距不大于 1/50 挡光圈。色温应在 5000 开尔文±10%，且使用同功率输出情况下，要求每两次闪光之间色温浮动不大于 200 开尔文；闪光灯作为光源，型号、参数相同时，闪光灯输出的面积和亮度差异小于 5%；闪光灯应具备紫外线过滤功能，以减少闪光灯发出的紫外线对文物造成损伤；闪光灯电源箱和灯头应支持智能风扇主动散热，根据环境温度改变散热效果。同时为避免不当用电环境对设备造成损坏，设备应能根据电源环境自适应电压，设备充电速度应具备可调节功能。

其他设备

- 全站仪。应具有双轴补偿功能，精度不低于 2 秒。如对精度有更高要求，应使用精度为 1 秒或 0.5 秒的全站仪。全站仪及反光镜必须具有检验资格的检测部门出具的检验合格证书，证书有效期不超过一年。
- 数据处理工作站。可选择配置为 Windows7 操作系统（或以上）、Intel7 处理器（或以上）、16G 内存（或以上）、独立专业显卡 1G 显存（或以上）、硬盘 1T（或以上）的工作站。

9.3 壁画数字化成果及质量评定

9.3.1 工作成果

(1) 工作报告

- 报告内容。应包括项目背景、项目地点、工作时间、参与人员、技术路线、

技术参数、工作总结等。

— 报告相关附件

测绘摄影工作所用主要设备及相关参数、数据表格、工作场记等。

使用设备的合格证书。

三维扫描数据说明。对原始单站数据进行详细说明，可采用表格形式，表格内包括数据文件名、扫描参数、数据量大小、主要扫描内容、三维点云数据截图等。

控制测量说明。内容应包括控制点平面分布图、坐标数据表等。

(2) 测绘数据

三维数据成果内容及要求见上节。

(3) 摄影数据

摄影成果数据内容及要求见上节。

(4) 工作成果整理要求

工作报告、测绘成果数据、摄影成果数据应根据 WW/T0006 整理在完整的古建筑壁画数字化勘察测绘项目成果内容中。

壁画数字化勘察测绘项目成果包括项目报告和数字档案两项内容。项目报告为打印版本，内容包括报告文本、报告图册和相关附件。其中报告文本与报告图册应提交 A3 幅面（或以上）彩色打印本。数字档案为电子版本，内容包括该项目所有成果电子版，应拷贝在电子文档存储设备（如数据硬盘）中提交。

(5) 项目报告文本内容

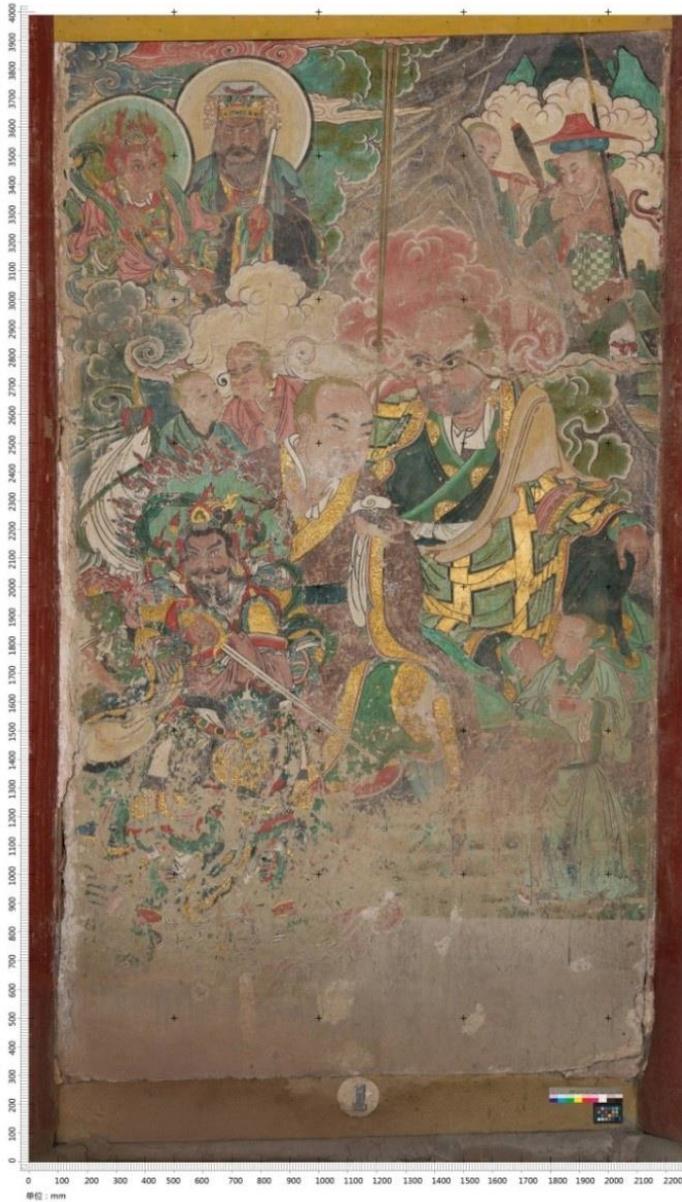
- 项目信息。内容应包括委托单位、承担单位、项目负责人、主要参加人员等。
- 项目概况。应包括工程目标、工程任务、工程性质、工程范围、工程内容、技术路线等内容。
- 基本概况。应包括古建筑历史及建筑格局，使用管理情况，修缮历史，壁画年代、内容、幅数、面积、分布位置，主要病害残损情况等内容。
- 勘察测绘结论及保护建议。应综合历史研究和价值分析结论、文物保存环境和壁画本体勘察结果、壁画病害量化分析结果等，综合论断壁画病害问题，

归纳勘察测绘结论。根据勘察测绘结论，提出壁画保护、修复、监测、展示及数字化产品开发等方面的措施建议。

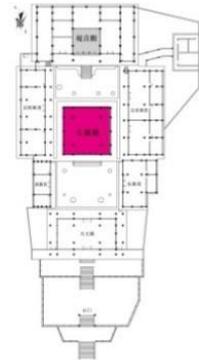
- 价值评估。结合文献调查和现场调查分析、研究壁画的历史价值、艺术价值、科学价值，明确价值载体。
- 本体勘察。应包括壁画的绘制历史、制作材料、制作工艺、色彩等分析内容。
- 保存环境。应包括壁画所在地区的地理位置、气候情况，壁画所在空间为期一年的环境监测数据。
- 病害调查。应针对壁画载体和本体病害，调查病害残损原因，量化分析勘察数据，科学判断识别病害发展趋势。应根据壁画测绘、摄影数字档案，详细描述病害分布范围、类型、程度等，并将这些情况以图形表现，并统计分析病害量。

(6) 项目报告图册内容

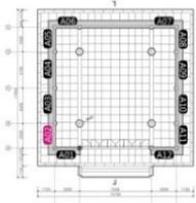
- 壁画数字正射影像图；
- 壁画本体及载体勘察分析图；
- 壁画病害数字分布图。



大雄殿 A02 正射总图



壁画总体分布图



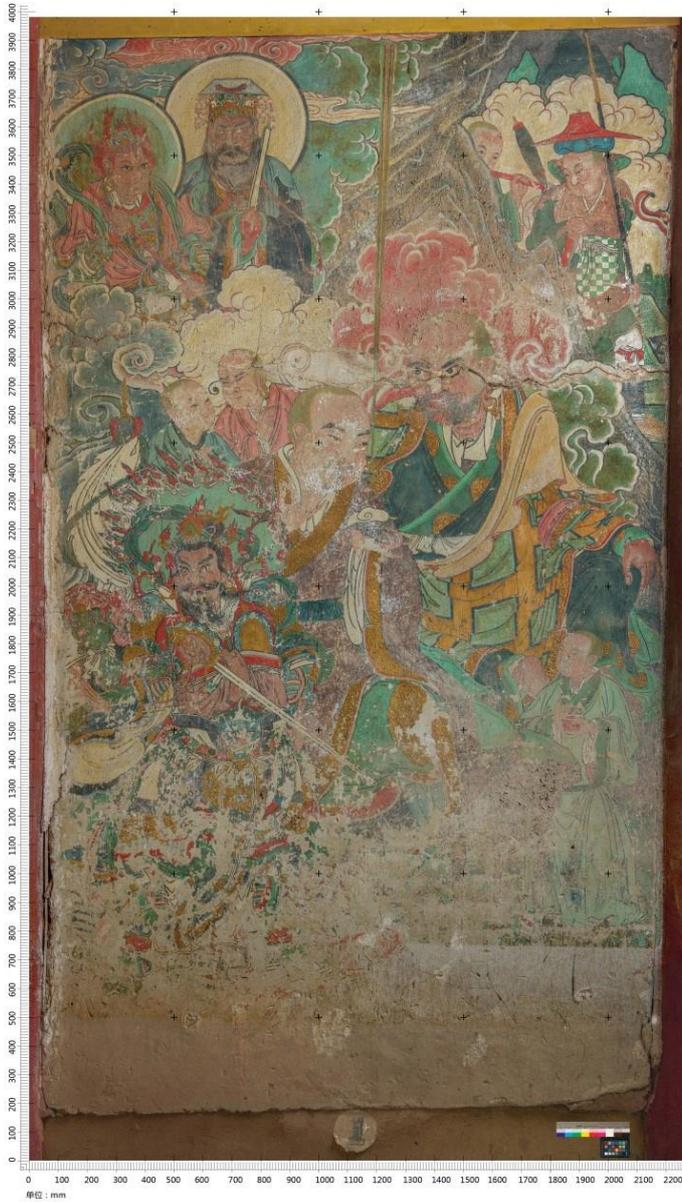
大雄殿壁画分布图

项目名称:	项目负责:	勘察:
审定:	审核:	校对:
		测绘:

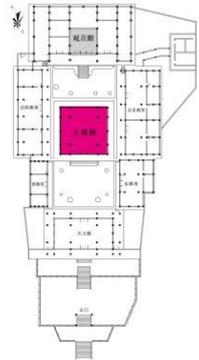
图 9-1 壁画泛光正射影像图总图示例



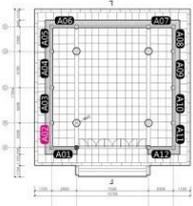
图 9-2 壁画泛光正射影像图局部放大图示例



大雄殿 A02 侧射总图



壁画总体分布图



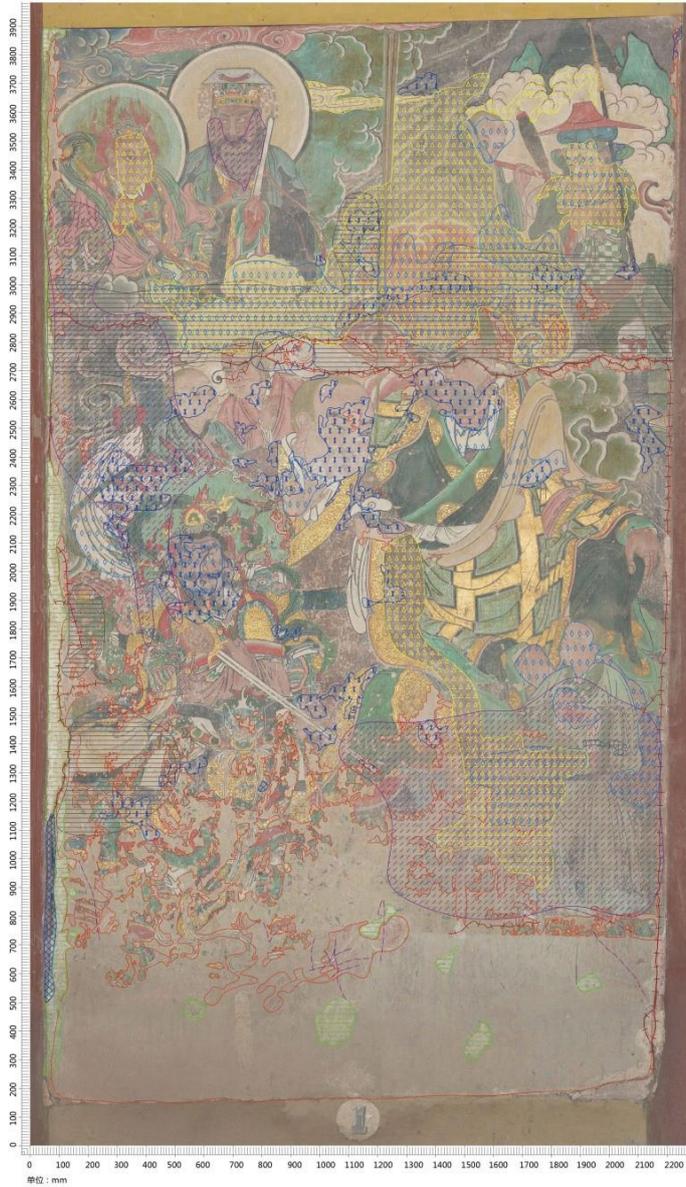
大雄殿壁画分布图

项目名称:	项目负责:	勘察:
审定:	校对:	测绘:
审核:		

图 9-3 壁画侧光正射影像图总图示例

大雄殿 A02 议赴佛会

图片名称: A02 病害总图



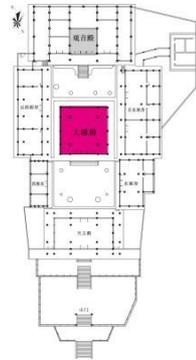
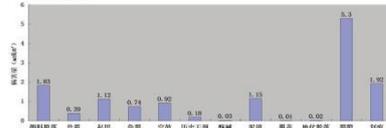
单位: mm

大雄殿 A02 病害总图

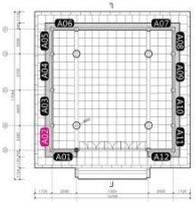
病害图例:



病害统计图



壁画总体分布图



大雄殿壁画分布图

小结:

A02 壁画共计存在 12 种病害,且各类病害相互叠压发生,病害量和发生区域存在很大差异,统计情况如下:
 1 除裂缝和划痕外,颜料层脱落占壁画总面积的 24.14%,多集中在壁画 1.4m 以下的范围内;
 2 起甲、龟裂、盐霜面积分别占到壁画总面积的 14.78%、9.76%、5.15%,龟裂和起甲集中在发生在颜料层较薄的肉红色、黄色、褐色区域,盐霜多沿颜料层存在裂纹处发生;
 3 壁画空鼓面积占壁画总面积的 12.14%,集中分布在横向裂缝以上 0.35m 范围内;
 4 泥渍占到 15.17%,其余酥碱、地仗脱落、纸张覆盖合计约占 0.79%。

项目名称:	项目负责:	勘察:
审定:	校对:	测绘:
审核:		

图 9-4 单幅壁画病害分布总图示例

(7) 项目报告相关附件内容

- 勘察测绘所用主要设备说明；
- 测绘及摄影数据采集与处理报告；
- 壁画相关勘察及检验工作报告。

(8) 数字档案内容

- 应包括项目报告、三维点云数据文件、壁画影像文件的电子版。

9.3.2 质量验收

(1) 质量评定指标

质量评定指标见表 9-1。

表 9-1 质量评定指标

评价对象		评价内容	评价标准
三维点云数据	★	与实际壁画及建筑空间、院落实际情况的符合性	内容与要求不符
		三维模型精度的符合性	成果误差大于规定值
		三维模型点云点间距的符合性	成果误差大于规定值
		同一古建筑壁画数字模型内部亮度差异、外部亮度差异的符合性	成果误差大于规定值
壁画数字正射影像图	★	与实际壁画的幅数、内容、面积的符合性	内容与要求不符
		图面透视变形程度的符合性	成果误差大于规定值
		同类壁画正射影像图画面之间亮度差异的符合性	因亮度差异不符合要求,导致不同壁画间亮度不均匀,同色位置 R、G、B 色彩差异大于 20%
		图面分辨率的符合性	因分辨率不符合要求,导致图上重要影像模糊失真,细节缺失
		壁画原始正射影像文件分辨率符合性	因现场拍摄过程不符合要求,导致壁画原始正射影像文件影像模糊失真,细节缺失
		壁画原始正射影像文件之间亮度差异符合性	同一幅壁画的各原始正射影像图曝光亮度差异较大,同色位置 R、G、B 色彩差异大于 20%
		壁画原始正射影像文件的透视符合性	原始正射影像文件存在严重透视变形
	图面色彩信息的准确性	色彩校准文件、彩色标板 R、G、B 值中任一项与标准值相差超过 10%	

	图像拼接的准确性	图像拼接误差大,接边处错误超过每幅画面4处
--	----------	-----------------------

(2) 评定方法

- 验收工作完成后, 应提供验收意见。
- 验收意见应根据质量评定指标, 综合评定验收内容, 提出验收结论和修改意见。
- 验收工作成果时, 首先验收带★内容, 任意一项带★内容不符合要求, 验收结论为不合格; 其他内容三项以上(不含三项)不合格, 验收结论为不合格。

参考文献

法律、法规、准则

1. 《中华人民共和国文物保护法》,2002年10月28日,2007年12月29日修订。
2. 国家文物局. 全国重点文物保护单位文物保护工程申报审批管理办法(试行)
3. 文化部. 文物保护工程管理办法. 2003.
4. 国际古迹遗址理事会中国国家委员会. 中国文物古迹保护准则. 北京: 文物出版社, 2015.
5. 国际古迹遗址理事会(ICOMOS). Principles for the preservation and conservation/restoration of wall paintings. www.international.icomos.org/charters/wallpaintings-e.htm. 2003.
6. English Heritage. The Production of Wall Painting Conservation Documents., 2002.

标准、规范

1. GB/T30235-2013 古代壁画保护修复档案规范
2. GB/T30236-2031 古代壁画保护修复方案编制规范
3. GB/T30237-2013 古代壁画病害与图示
4. GB/T 14911-2008 测绘基本术语
5. GB/T 18316-2008 数字测绘成果质量检查与验收
6. WW/T 0006-2007 古代壁画现状调查规范
7. WW/T0031-201 古代壁画脱盐技术规范
8. WW/T0032-2010 古代壁画地仗可溶盐分析的取样与测定
9. WW/T0079-2017 古代壁画可溶盐测定离子色谱法
10. WW/T0082-2017 古建筑壁画数字化勘察测绘技术规程
11. WW/T 0024-2008 文物保护工程文件归档整理规范
12. CJJ/T 8-2011 城市测量规范

13. CH/Z 3017-2015 地面三维激光扫描作业技术规程

图书、论文

1. 郭宏,马清林.馆藏壁画保护技术.北京:科学出版社,2011.
2. 李最雄.敦煌研究文集·石窟保护篇·上.兰州:甘肃民族出版社,1993.
3. 李最雄.敦煌研究文集·石窟保护篇·下.兰州:甘肃民族出版社,1993.
4. 李最雄.丝绸之路石窟壁画彩塑保护.北京:科学出版社,2005.
5. 刘广社主编.摄影测量.郑州:黄河水利出版社,2006:4-13.
6. 王惠贞.文物保护学.北京:文物出版社,2009.
7. 王旭东,苏伯民,陈港泉,汪万福.中国古代壁画保护规范研究.北京:科学出版社,2013
8. 张学昌.逆向建模技术与产品创新设计.北京:北京大学出版社,2009:74-112.
9. 中国文化遗产研究院.中国文物保护与修复技术.北京:科学出版社,2009.
10. 马德.敦煌莫高窟史研究[M].兰州:甘肃教育出版社,1997.
11. Schmid W. Graphic documentation System in mural painting conservation. ICCROM, 2000.
12. 康红卫.敦煌壁画脱盐材料的制备研究[D].兰州大学,2009.
13. 苏伯民.中国古代壁画颜料和胶结材料的分析研究[D].兰州:兰州大学,2002.
14. 徐勇.敦煌壁画的材料研究[D].兰州:兰州大学,2007.
15. 胡可佳.陕西安康紫阳北五省会馆壁画制作工艺及材质分析研究[D].西安:西北大学,2013.
16. 于宗仁.敦煌石窟元代壁画制作材料及工艺分析研究[D].兰州:兰州大学,2009.
17. Cottfredsen F. Construction Materials-Basic Properties. In: Conservation of cultural heritage Polytekniskforlag. Nielsen A, 1997.
18. He L, Nie M Q, Giuseppe C. Pyrolysis gas chromatography-mass spectrometry applied in identification of oils in ancient paintings. Geology and Exploration, 2007, (04) .

19. Mcarland K, Rogers J C.佛殿：修复还是保持原状？一关于中国壁画和 17 世纪中式隔扇修复保护方法的回顾.孙延忠译.文物科技研究(第五辑).北京：科学出版社，2007：158-168.
20. Pique F. A protocol for graphic documentation In GraDoc-Graphic Documentation System in Mural Painting Conservation. ICCROM, 2000： 30-42.
21. Rivea A B, Rainer I, Vagts L.走出本土：Awatovi 和 Kawaika-a 地区古代霍皮人壁画的发掘和保护.宋燕译.文物科技研究(第五辑).北京：科学出版社，2007.
22. Sharon Cather, ‘Conservation research at Dunhuang: the pivotal role of Cave 260 for conservation education and policy’ (with Xudong Wang, BominSu, S. Rickerby, L. Shekede and Xiaowei Wang) in An Unbroken History: Conserving East Asian Works of Art and Heritage (Contributions to the IIC Hong Kong Congress, 22-26 September 2014; Studies in Conservation, 59, Supplement 1), London 2014, 17-20.
23. Sharon Cather, ‘Choices and judgment: the professional conservator at the interface’, in Conservation of Ancient Sites on the Silk Road (Proceedings of the Second International Conference on the Conservation of Grotto Sites, Mogao Grottoes, Dunhuang, People’s Republic of China, June 28-July 3, 2004), ed. N. Agnew, Getty Conservation Institute, Los Angeles 2010, 22-32.
24. 樊再轩,李最雄,王旭东,等.西藏拉萨布达拉宫空鼓壁画现场灌浆加固试验.敦煌研究, 2005, (04) : 36-34.
25. 樊再轩,斯蒂文·里克比,丽莎·舍克德,等.敦煌莫高窟第 85 窟壁画修复技术研究.敦煌研究, 2008, (06) : 20-21.
26. 付有旭,牛贺强,马竞,等.敦煌莫高窟第 98 窟壁画的保护与修复.石窟寺研究,2016, (6) : 431-433.
27. 付有旭,牛贺强,杨金礼,等.云冈石窟五华洞第 13 窟壁画泥塑抢救性保护修复研究.石窟寺研究, 2019, (09) : 293-294.
28. 侯晓斌.从材料的使用和制作工艺看中国古代壁画的变化与发展.文

- 博,2001,(04):59-64.
29. 黄志义,方云,周伟强,等.贡嘎曲德寺空鼓壁画修复试验研究.文物保护与考古科学, 2014, 26 (02) : 46-50.
 30. 黄志义,方云,周伟强.贡嘎曲德寺空鼓壁画修复试验研究.文物保护与考古科学, 2014, (02) : 48-53.
 31. 李娜,于宗仁,善忠伟,等.永乐宫壁画制作材料及工艺的初步调查分析.文物保护与考古科学,2019,31(05):65-74.
 32. 李最雄.布达拉宫壁画的保护研究.文博,2009,(03):160-164.
 33. 李最雄.敦煌莫高窟唐代绘画颜料分析研究.敦煌研究,2002,(04):11-18.
 34. 刘亨发.炳灵寺石窟第93窟壁画加固修复研究.丝绸之路,2016,(02):69-70.
 35. 刘乃涛,凡小盼.延庆辽代墓葬壁画制作工艺及其颜料的物相鉴定.文物保护与考古科学,2007,19(02):47-50.
 36. 阮章魁.福州碧泉庵壁画加固修复.文物保护与考古科学,2006,(06):443-444.
 37. 邵安定,付倩丽,孙周勇,等.陕西神木县石茆遗址出土壁画制作材料及工艺研究,考古, 2015,(06):109-120.
 38. 苏伯民,陈港泉,樊再轩,马建太,康红卫,李茸.新型合成脱盐材料在治理莫高窟盐害壁画中的试验研究.文博,2009(06):175-183.
 39. 苏伯民,李最雄,马赞峰等.克孜尔石窟壁画颜料研究.敦煌研究,2000,(01):65-75.
 40. 铁付德,孙淑云,王九一.已揭取壁画的损坏及保护修复.中原文物,2004,(01): 81-86.
 41. 铁付德,张恒.西汉柿园墓壁画的变形分析.北京科技大学学报,2002,24(06): 633-637.
 42. 铁付德.西汉早期柿园墓四神云气图壁画保护研究(一)——历史与现状调查.文物保护与考古科学,2004,16(01):47-51.
 43. 仝艳锋.山东地区古建筑壁画病害形成机理.齐鲁艺苑,2014,(01):59-65.
 44. 汪万福,马赞峰,李最雄等.空鼓病害壁画灌浆加固技术研究.文物保护与考古科学,

- 2006, 18 (1) : 52-56.
45. 王伟锋,李蔓,夏寅,等.中国古代墓葬壁画制作工艺初步研究.文博,2014,(05):88-93.
 46. 夏寅,郭宏,王金华等.内蒙古阿尔寨石窟壁画制作工艺和颜料的分析研究.文物保护与考古科学, 2007,19(02):41-46.
 47. 徐淑青.莫高窟第 98 窟现状调查报告.敦煌研究, 2005, (5): 75-77.
 48. 徐永明,叶梅,王力丹,等.库木吐喇石窟第 56 窟空鼓及起甲壁画的抢救性保护修复.石窟寺研究, 2016, (05) : 158-164.
 49. 徐毓明.北周李贤墓壁画的揭取和修复新技术.文物保护与考古科学, 1990, 2 (01): 26-31.
 50. 严静,刘呆运,赵西晨,等.唐韩休墓壁画制作工艺及材质研究.考古与文物,2016,(02):117-127.
 51. 杨文宗.古代壁画加固工艺.文博, 1996, (01): 99-104.
 52. 于宗仁,赵林毅,李燕飞,等.马蹄寺、天梯山和炳灵寺石窟壁画颜料分析.敦煌研究,2005,(04):67-70.
 53. 岳永强,王通玲,付文伟.麦积山石窟空鼓壁画的修复.中国文化遗产,2016, (02):75-78.
 54. 岳永强,王同玲,付文伟,等.麦积山空鼓壁画的修复.中国文化遗产,2016,(02):75-78.
 55. 张群喜.唐墓壁画保护的与环境问题研究与探讨.见: 陕西历史博物馆馆刊(第十辑).西安: 三秦出版社.2003: 108-112.
 56. 郑清森.河南永城柿园汉墓壁画浅析.中原文物, 2002, (06): 63-66.

壁画（工程师）样题

一、单项选择题

1. 壁画按绘画工艺可分为（ ）。
 - A. 干壁画、湿壁画、岩画
 - B. 干壁画、湿壁画、油画
 - C. 壁画、岩画、蛋彩画
 - D. 干壁画、湿壁画、镶嵌壁画
2. 壁画保护工程验收内容不包括（ ）。
 - A. 工程立项与勘察
 - B. 工程审批与审理
 - C. 工程质量与效果
 - D. 工程档案与资料
3. 近景摄影测量解析法点位中，高精度测量误差是（ ）。
 - A. 5mm 以内
 - B. 3mm 以内
 - C. 2mm 以内
 - D. 1mm 以内
4. 下列描述中，对壁画变色病害定义正确的是（ ）。
 - A. 壁画颜料色彩饱和度逐渐降低、颜色由鲜明变暗淡、由深变浅的现象。
 - B. 壁画颜料色相改变的现象
 - C. 壁画表面由于烟熏或者其他污染导致画面颜色变化的现象
 - D. 由于过度清洗导致壁画颜色变浅的现象
5. 古代壁画常用的颜料中，石青的化学分子式是（ ）。
 - A. $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
 - B. $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
 - C. $3\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
 - D. $4\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
6. 我国第一部规范壁画病害分类体系的国家标准是（ ）。
 - A. 《古代壁画保护修复档案规范》
 - B. 《古代壁画现状调查规范》
 - C. 《古代壁画病害与图示》
 - D. 《古代壁画保护修复方案编制规范》
7. 古建筑壁画数字化过程中，影像采样分辨率是指（ ）。
 - A. 单位长度内壁画实物采集的像素点个数
 - B. 单位面积内壁画实物采集的像素点个数
 - C. 单位体积内壁画实物采集的像素点个数
 - D. 单位重量内壁画实物采集的像素点个数
8. 下述对壁画支撑体定义正确的是（ ）。
 - A. 壁画附着的基体
 - B. 支撑壁画的基体
 - C. 为壁画提供支撑的墙体
 - D. 为壁画提供支撑的墙体、岩体，以及揭取壁画的人工支撑体
9. 酥碱壁画脱盐前，应首先进行的操作是（ ）。
 - A. 扫除壁画疏松的部分以减少脱盐量和脱盐处理的重复次数
 - B. 用蒸汽喷在壁画表面，促使盐分富集在壁画表面，提高脱盐效率

- C. 贝壳
D. 石英
E. 砂砾岩
44. 下列材料中,属于我国古代壁画中常用的蓝色矿物颜料有()。
- A. 青金石
B. 石青
C. 靛蓝
D. 氧化砷
E. 密陀僧
45. 下列材料中,属于古代壁画地仗中添加的纤维有()。
- A. 毛发
B. 麻
C. 蚕丝
D. 麦草
E. 碳纤维
46. 古代壁画常用的红色颜料有()。
- A. 朱砂
B. 二氧化铅
C. 三氧化二铁
D. 胭脂
E. 硫化汞
47. 按照建筑物类型和用途,可将壁画分为()。
- A. 石窟壁画
B. 寺观壁画
C. 馆藏壁画
D. 油饰彩画
E. 墓葬壁画
48. 造成壁画地仗酥碱的可溶盐有()。
- A. 氢氧化钡
B. 氢氧化钠
C. 芒硝
D. 氯化钠
E. 氟化钠
49. 壁画艺术价值包括()。
- A. 绘画风格独特,具有鲜明的地域性、阶段性、民族性等个性特征,或同一类型中具有代表性
B. 年代和类型独特珍稀在同一类型中具有代表性
C. 具有被当前或以往,或是部分区域民众的审美要求和审美倾向所认可的审美效果
D. 真实反映某重要事件或重要人物活动的壁画
E. 在年代、类型、题材、形式、工艺等方面具有创意的构思和表现方法
50. 壁画日常维护保养的正确做法有()。
- A. 每天清扫地面,并洒水,防止尘土沉积到壁画上
B. 每天开门通风,防止室内潮气积累
C. 每隔一段时间对壁画进行擦洗,清除灰尘
D. 每天检查室内外监测仪器的工作状态
E. 随时回贴起甲的颜料层

壁画（工程师）参考答案

01 D	02 A	03 D	04 B	05 B
06 C	07 A	08 A	09 D	10 B
11 C	12 A	13 A	14 A	15 A
16 B	17 C	18 B	19 C	20 B
21 A	22 C	23 A	24 A	25 D
26 D	27 B	28 B	29 B	30 C
31 C	32 C	33 B	34 B	35 C
36 B	37 B	38 C	39 B	40 B
41 ABCD	42 ADE	43 AC	44 AB	45 ABD
46 ACDE	47 ABE	48 CD	49 ACE	50 BD

33. 酥碱壁画治理的主要工作内容是：① 除尘；② 回贴颜料层；③ 填垫泥浆；④ 注射黏结剂；⑤ 再次注射黏结剂；⑥ 压平壁画；⑦ 滚压；⑧ 敷贴和更换吸水脱盐垫；⑨ 二次脱盐。下列修复酥碱壁画工艺排序正确的是（ ）。
- A. ①②④③⑤⑥⑦⑧⑨
B. ①③④②⑤⑦⑥⑧⑨
C. ①③②④⑥⑤⑦⑧⑨
D. ①④③⑤②⑦⑥⑧⑨
34. 正确的空鼓灌浆工艺步骤是（ ）。
- ① 保护颜料层；
② 加固液软化并加固地仗；
③ 清理空鼓背面的杂物；
④ 补色和做旧；
⑤ 干燥后灌浆回贴加固。
- A. ③④⑤②①
B. ①③②⑤④
C. ①③④②⑤
D. ③①②④⑤
35. 壁画预防性保护内容不包括（ ）。
- A. 风险监测
B. 保养维护
C. 揭取搬迁
D. 防护加固
36. 根据《全国重点文物保护单位文物保护工程进度监管暂行规定》，业主单位应及时组织勘察设计公司按审批意见进行修改完善技术方案，省级文物行政部门修改后的技术方案进行核准报送国家文物局备案，一般不应超过（ ）。
- A. 10 个工作日
B. 20 个工作日
C. 30 个工作日
D. 40 个工作日
37. 对壁画地仗层影响最为严重的病害是空鼓、酥碱和（ ）。
- A. 污染
B. 起甲
C. 裂隙
D. 脱落
38. 壁画保护修复材料的筛选，首选（ ）。
- A. 强度适中的材料
B. 通过鉴定或已推广使用的材料
C. 强度较高的材料
D. 强度较低的材料
39. 国际古迹遗址理事会通过的《壁画保护、修复和保存原则》中强调壁画应实施“预防性保护”及“干预应在最小的范围内进行”等原则，并鼓励使用（ ）。
- A. 新型材料
B. 复合材料
C. 传统材料
D. 纳米材料
40. 下列图纸不属于壁画保护设计阶段的图纸是（ ）。
- A. 病害现状图
B. 方案设计图
C. 施工图
D. 竣工图

二、多项选择题

41. 评估壁画价值的方法包括（ ）。

- A. 全面收集资料
B. 比较研究
C. 代表性研究
D. 综合价值与突出价值研究相结合
E. 同等关注正负价值
42. 我国古代壁画中红色颜料主要有（ ）。
- A. 铁红
B. 朱砂
C. 铅丹
D. 雌黄
E. 雄黄
43. 壁画理想的加固效果是：加固后的壁画物理性质与原壁画相同、化学性质稳定、（ ）。
- A. 抗劣化
B. 不改变光学性质
C. 不妨碍以后的保护
D. 强度适中
E. 防水并且不透气
44. 下列因素中，与壁画病害有关的是（ ）。
- A. 壁画制作材料与工艺
B. 保存环境
C. 水与可溶盐
D. 壁画制作时的历史背景
E. 不当的保护处理
45. 造成壁画劣化的主要自然因素有（ ）。
- A. 气压
B. 有机挥发物（VOC）
C. 凝结水
D. 微生物与虫害
E. 震动
46. 在发掘古墓葬时，有时可明显看到壁画颜料在短时间内逐渐失去色彩的现象，造成该现象的原因包括（ ）。
- A. 盐分重结晶
B. 温度变化
C. 生物腐蚀
D. 光照
E. 湿度变化
47. 壁画中人物画的“四家样”是（ ）。
- A. 张家样：南朝张僧繇创
B. 曹家样：北齐曹仲达创
C. 顾家样：东晋顾恺之创
D. 周家样：唐末周昉创
E. 吴家样：唐代吴道子创
48. 我国绘有壁画的石窟绝大部分的支撑体开凿于沉积砂岩或砂砾岩中，一般都选择完整性好、成层厚度大而又比较均一的岩体，是因为（ ）。
- A. 这类砂砾岩类一般都为厚至巨厚层产出，有良好的整体性和坚固性
B. 人工不但易于开凿成型，而且有利于石窟的保存
C. 颗粒均匀岩性软，决定了开凿时可雕可塑，有利于造像时采用多种艺术表现手法
D. 石窟一般开凿在交通要道或枢纽附近，或是奇山异水处，或是比较僻静的地方。这样一是便于僧侣们精心修行，二是善男信女们或过往的商客、官吏朝拜，以扩大佛教的影响
E. 砂砾岩类岩石垂直节理发育，往往能形成陡峭的崖壁，为开窟造像提供了理想的天

然场所，而不需要人工开拓，省时省力

49. 自 20 世纪 50 年代开始直至现在，壁画保护修复始终是我国文物保护的工作重点，在科研方面取得了丰硕成果。下列项目获得国家文物局科学技术进步奖的有（ ）。
- A. 布达拉宫空鼓壁画加固技术
 - B. 敦煌壁画起甲壁画修复技术
 - C. 潮湿环境墓葬壁画加固技术
 - D. 西汉四神云气图壁画的保护修复
 - E. 高句丽墓葬壁画微生物病害的监测与控制
50. 根据《中国文物古迹保护准则》，日常监测是文物古迹日常管理的重要组成部分，可为科学管理和及时保养维护提供依据。壁画日常监测有（ ）。
- A. 赋存自然环境监测
 - B. 壁画本体和载体稳定性监测
 - C. 社会环境监测（社会经济的发展、游客人数、游客行为等）
 - D. 保护修复效果监测
 - E. 日常维护监测

壁画（设计师）参考答案

01 B	02 D	03 C	04 C	05 B
06 B	07 C	08 C	09 B	10 A
11 A	12 C	13 D	14 A	15 D
16 C	17 A	18 B	19 D	20 B
21 A	22 B	23 C	24 D	25 A
26 D	27 D	28 C	29 D	30 B
31 C	32 A	33 B	34 B	35 C
36 A	37 C	38 B	39 C	40 D
41 ABDE	42 ABCE	43 ABCD	44 ABCE	45 CDE
46 BDE	47 ABDE	48 ABCE	49 ACDE	50 ABCD