

四川马尔康市甲扎尔甲山洞窟壁画 结构材料分析

谢振斌 赵 凡 刘建成 (四川省文物考古研究院)

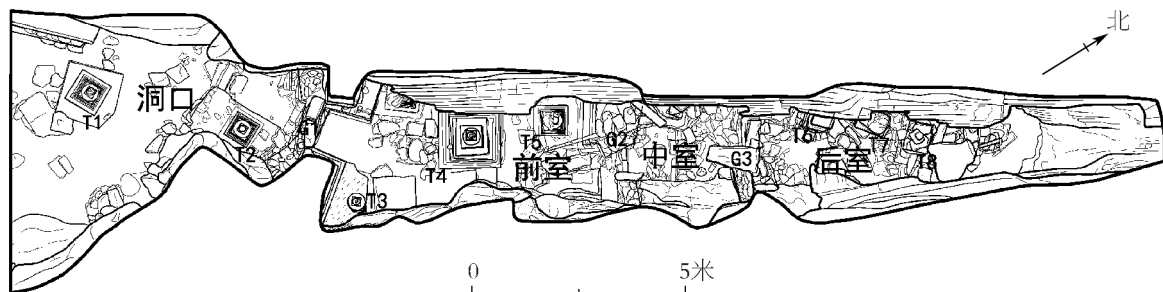
摘要：甲扎尔甲山洞窟壁画是四川一处较为重要的藏传佛教遗存，2016年四川省文物考古研究院对洞窟壁画保存现状及环境进行了调查勘察，并采用超景深三维显微镜、X射线衍射仪（XRD）、拉曼光谱仪等方法对壁画结构、材料组成及制作工艺进行分析研究，结果表明，壁画结构差异明显且无规律性分布，壁画制作时随意性较大；地仗层材料为粉土或黏性土并掺和了一定的石灰、砂粒及植物根茎等，壁画颜料主要有白、黑、和红，白色颜料为高岭石，黑色颜料为墨，红色颜料为朱砂，壁画色彩较单一，制作工艺较简单。此工作为甲扎尔甲山洞窟壁画的保护与研究提供了第一手资料。

关键词：甲扎尔甲山洞窟壁画；壁画现状；壁画结构；壁画材料

甲扎尔甲山洞窟壁画位于四川阿坝藏族羌族自治州马尔康市白湾乡大石函村甲扎尔甲山南侧中上部，地理坐标为北纬 $31^{\circ}48'20.6''$ ，东经 $101^{\circ}54'6.4''$ ，洞口高程为 2471.92 米。洞内现存壁画遗迹约 28.6 平方米，壁画内容以密集排列的千佛方式绘画密教的本尊神、显教的释迦牟尼佛和少量的五方佛、大持金刚以及西藏的祖师像，该洞窟壁画作为四川阿坝州区域内较为重要的藏传佛教遗存，2013 年公布为第七批全国重点文物保护单位。本文在现状调查和结构材料分析基础上对壁画制作工艺特征进行了探讨。

一 甲扎尔甲山洞窟壁画遗迹概况

甲扎尔甲山洞窟原为山体断层破碎带岩石差异风化形成的天然岩洞，后期经人工简单修整，洞口朝向西南，洞内深 19.7 米，最高处 8.8、最宽处 3.6 米，三道片石砌筑隔墙将洞窟划分为洞口、前室、中室和后室四部分（图一），现存 8 座藏式佛塔分布于洞窟各处（仅有四座为早期遗存，其余为近现代新修），壁画分布在早期佛塔、隔墙、洞口西壁（大部分为后期补绘）及洞内东侧崖壁上。



图一 甲扎尔甲山洞窟平面布局图

(一) 洞口

洞口为洞窟上方崩塌岩石和风化碎屑堆积形成的狭小平台，平面大致呈喇叭状向外张开，长约 7.2、开口处宽约 6.7 米。洞口地表凹凸不平，两侧为陡倾崖壁，前缘为陡崖。洞口东侧崖壁上有一幅壁画（大部分为后期补绘）和一处藏语文字题刻。

(二) 洞身

洞身平面呈长条形，外宽内窄，洞窟长约 19.7、宽约 2.3~3.6 米，隔墙将洞内空间分为前室、中室和后室。洞内地面凹凸不平，地表由外向内呈斜坡或台阶抬升，洞内顶面整体由外向内升高，起伏很大。东西两侧立面均为崖壁，高度差异明显，最高处 8.8 米，最低处仅 2 米，崖壁中下部陡倾，上部逐渐倾斜至顶面交汇。

(三) 隔墙

洞窟有三道隔墙，墙体由片石砌筑，大部分为直接干砌，少数由草拌泥浆砌，片石规格差异较大，一般长约 0.2~0.4、宽约 0.2~0.3、厚约 0.1~0.2 米，就地取材于洞窟附近崩塌的岩石碎片。隔墙砌体表层大多数抹泥层作为壁画地仗，表面绘制壁画装饰。由外向内第一道隔墙整体长约 3.9 米，中间留有门道。第二道隔墙位于前室后端陡然抬升形成的台基上，整体长约 2.6 米，门道位于隔墙中部偏东侧。第三道隔墙整体长约 2.4 米，西段空缺形成门道，东段被岩柱自然分割为两部分，其平面均呈长方形。

(四) 佛塔

现存藏式佛塔 8 座，其中 4 座为早期遗存，其余为近代新修，散乱分布于洞口、前室和后室。佛塔大小差异明显，最大者位于前室后端，塔基长约 0.8 米，塔高约 2.5 米，最小者位于后室中部，残损严重，塔基残长约 0.25~0.4、残高约 0.7 米。早期佛塔主体结构由片石直接垒砌，佛塔砌体表层敷抹泥层并找平抹面，其表面以各色颜料绘制壁画，局部采用泥质材料或石灰塑型作建筑装饰。新修佛塔主体结构由片石直接垒砌或草拌泥浆砌，表面直接采用石灰抹面或局部采用石灰塑型作建筑装饰。

(五) 壁画

甲扎尔甲山洞窟壁画根据支撑体类型可分为崖壁壁画、隔墙壁画和佛塔壁画三类，整体上壁画分布较为零散。崖壁壁画总面积 14.74 平方米，仅有 1 幅位于洞口西侧崖壁，其余都在洞内东侧崖壁，壁画依崖壁表面断续相连呈片状分布。隔墙壁画总面积 8.05 平方米，壁画单独分布于隔墙立面。佛塔壁画总面积 5.75 平方米，早期佛塔表面均有分布（表一）。

崖壁壁画直接以洞窟崖壁为支撑体，表面平整度较差，大多凹凸不平，局部裂隙发育。崖壁表面大多顺势随形或经简单整平后直接在崖面上做地仗层，地仗层厚度差异较大，一般厚约 0.5~2 厘米，均为泥质地仗，泥土颗粒较细、均匀，未见植物纤维。地仗层表面以白色颜料作底色层或采用各色颜料直接绘制图案作画层，颜色以白、黑、红等为主，仅洞口西侧崖壁后期补绘的壁画颜料层发现有蓝色和绿色（该铺壁画的主尊被后期绘的释迦牟尼佛覆盖）。

隔墙和佛塔壁画表面平整度相对较好，局部片石棱角凸出。隔墙墙体或佛塔塔身砌体表面做泥质地仗层，地仗层厚度差异较大，一般厚约 2~5 厘米，局部凹坑和缝隙中的泥层可达 8 厘米。隔墙和佛塔壁画地仗层多数由粗泥层和细泥层组成，粗泥层泥土颗粒较粗、粒度不均，部分夹杂有细小砾石颗粒。细泥层泥土颗粒细小、均匀，部分粗泥层和细泥层夹杂植物纤维作加筋。地仗层表面以白色颜料作底色层或采用各色颜料直接绘制图案作颜料层，颜色为白、黑、红三色。

表一 洞窟壁画面积统计表

壁画类型	分布区域	数量 (幅)	面积 (m²)	类型面积 (m²)	总面积 (m²)
崖壁壁画	B- E (东壁)	10	13.27	14.74	28.57
	B- W (西壁)	1	1.46		
隔墙壁画	G1 (隔墙 1)	5	2	8.05	
	G2 (隔墙 2)	11	4.2		
	G3 (隔墙 3)	4	1.86		
佛塔壁画	T4 (塔 4)	8	3.57	5.78	
	T6 (塔 6)	3	0.91		
	T7 (塔 7)	2	0.98		
	T8 (塔 8)	2	0.32		



二 甲扎尔甲山洞窟壁画保存现状

(一) 壁画病害

甲扎尔甲山洞窟壁画现存病害有：地仗层脱落、裂隙、颜料层脱落、泥渍、人为破坏（覆盖、烟熏、油污、划痕）及动物破坏等，主要病害为地仗层脱落、裂隙、颜料层脱落。

1. 地仗层脱落

地仗层脱落是该洞窟壁画最主要的病害，壁画地仗层与后背支撑体脱离后，地仗层剥落导致壁画全部或局部消失（图二），该类病害分布范围广泛，对壁画损伤大。调查表明，崖壁壁画约 30% 以



图二 崖壁壁画地仗层脱落

2. 裂隙

裂隙类型包括结构性裂隙和收缩缝隙，该类病害普遍发育，严重破坏壁画的结构和强度，造成壁画破碎散乱。结构性裂隙主要发生于隔墙壁画和佛塔壁画上，此类裂隙宽度较大，一般在 5 毫米以上，贯通性好，常将壁画整体切割得较为破碎，多与地仗层脱落病害伴生，其



图四 结构性裂隙

上因地仗层脱落而消失，主要发生在崖壁表层岩石风化严重、崖壁表面转折及各幅壁画的边缘处，这既与壁画地仗层和支撑体崖壁之间因材料自身劣化导致界面连接减弱有关，又受崖壁岩石表层风化、壁画自身局部应力变化、人为扰动、温湿度变化等因素影响。隔墙壁画和佛塔壁画约 20% 以上因地仗层脱落而消失，主要发生于隔墙或佛塔砌体结构严重变形区域，其主要原因是隔墙或佛塔由片石直接干砌，自身结构稳定性较差，且砌体表面平整度差，导致隔墙或佛塔与壁画地仗层之间结合较弱，依附于砌体表面的壁画地仗极易因片石的分离、移位、歪闪变形而脱落（图三）。



图三 隔墙壁画地仗层脱落

主要原因是隔墙或佛塔砌体结构局部变形导致壁画地仗层开裂、错位（图四）。收缩缝隙在三类壁画上均有发生，此类裂隙多为细小裂缝，宽度常不足 2 毫米，缝隙之间相互连接将壁画表层切割成网状，多与颜料层脱落病害伴生（图五），这是由于壁画地仗层长期随温湿度变化变形收缩而形成。



图五 收缩缝隙

3. 颜料层脱落

该类病害大多数表现为颜料层完全脱离地仗层，少数表现为表层颜料与底色层脱离（图六），其分布较为广泛，一般呈片状分布，严重破坏画面信息的完整性，大大降低了壁画的观赏性。现场调查发现，颜料层脱落在前室各处壁画上发育较为严重，而中室和后室相对较轻，这与前室壁画保存的温湿度稳定性较差、人为扰动较大等因素有关。



图六 壁画颜料层脱落

4. 人为破坏（覆盖、烟熏、油污、划痕）

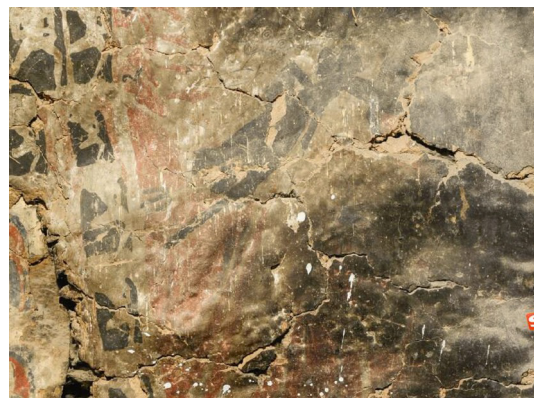
部分佛塔壁画被后期信众修复佛塔时掉落的水泥砂浆覆盖（图七），或是后期修建佛塔时表面直接采用石灰抹面和局部采用石灰塑型作建筑装饰时，因未对壁画进行防护，导致石灰浆液直接溅到壁画表面形成一些线状或斑点状流痕。有些隔墙壁画局部被黑色烟熏污染物覆盖（图八），这是早期修行僧人居住或信众在此生火做饭所致。另外，中后室的多幅壁画表面有油污和划痕（图九）。



图七 水泥覆盖



图八 烟熏



图九 人为划痕

5. 泥渍

东侧崖壁壁画局部有泥渍，这是由于洞窟内空间狭小且相对密闭，加之人为活动频繁，壁画表面覆盖较厚的降尘，当洞窟顶部或崖壁有裂隙渗水时，渗水便将裂隙中的泥土和壁画表面灰尘溶解形成泥浆沿壁画表面流淌而形成（图一〇）。



图一〇 泥渍

（二）壁画保存现状评估

根据壁画病害类型、病害程度及分布面积，对每类壁画各种病害的严重程度进行了定性分

析，在此基础上对每类壁画各种病害程度的面积进行统计，对每类壁画的整体保存现状做出了综合评估，结果如下所示（表二）：

表二 壁画病害严重程度及保存现状评估表

壁画类型		崖壁壁画	隔墙壁画	佛塔壁画
病害严重程度	地仗层脱落	◆◆◆	◆◆◆	◆◆◆
	裂隙	◆◆◆	◆◆◆	◆◆◆
	颜料层脱落	◆◆◆	◆◆◆	◆◆
	覆盖	◆◆	◆◆	◆
	烟熏	/	◆◆	/
	油污	◆◆	◆◆	◆
	泥渍	◆◆◆	◆◆	◆◆
保存现状评估	划痕	/	/	◆
	总面积（m ² ）	14.7	8.05	5.75
	好	0	0.32	0.44
	较好	0.85	1.05	1.13
	较差	4.98	2.73	2.26
	差	8.91	3.95	1.92
	综合结果	差	差	较差

注：（1）病害严重程度：◆◆◆—严重；◆◆—较严重；◆—轻微；/—无。

（2）评估标准：①保存好：未有各类病害发生；②保存较好：存在少量如泥渍、油污等对壁画破坏相对轻微的病害；③保存较差：存在大量如划痕、烟熏、覆盖等对壁画破坏较轻的病害或存在部分如地仗层脱落、裂隙、颜料层脱落等对壁画破坏严重的病害；④保存差：存在大量如地仗层脱落、裂隙、颜料层脱落等对壁画破坏严重的病害。

现场调查与室内统计评估表明，甲扎尔甲山洞窟壁画中崖壁壁画保存好和较好的面积约为 0.85 平方米，占 6%，保存差和较差的面积约为 13.89 平方米，占 94%，整体保存现状差；隔墙壁画保存好和较好的面积约为 1.37 平方米，占 17%，保存差和较差的面积约为 6.68 平方米，占 83%，整体保存现状差；佛塔壁画保存好和较好的面积约为 1.57 平方米，占 27%，保存差和较差的面积约 4.18 平方米，占 73%，其保存现状较差。

三 甲扎尔甲山洞窟壁画结构特征与材料组成分析

（一）分析内容及样品

为详细了解甲扎尔甲山洞窟壁画结构与制作材料，通过现场调查取样和室内检测分析，对该壁画的结构形态和材料组成进行了分析，主要内容包括两方面：（1）壁画的结构和形态特征分析，重点针对剖面结构、颜料层表面形态、地仗层显微结构、地仗层纤维等进行细观或微观观

察；（2）壁画地仗层和颜料层的材料组成特点分析，重点针对地仗层矿物成分、颗粒分布、纤维含量和颜料矿物成分、胶料种类进行测试分析。检测分析样品如下（表三）：

表三 样品清单

序号	样品编号	取样壁画编号	取样位置	样品类型	样品特征
1	MJB- B- 1	B- E- 1	左侧下部	掉落样	片状，地仗层仅有细泥层，颜料层白色、黑色
2	MJB- B- 2	B- E- 6	中间下部	原状样	片状，地仗层仅有细泥层，颜料层白色、黑色、红色
3	MJB- B- 3	B- W- 1	左侧中部	掉落样	片状，地仗层包括粗泥层、细泥层，颜料层白色、红色
4	MJB- G- 1	G1- 2	中间下部	掉落样	块状，地仗层包括粗泥层、细泥层，颜料层白色
5	MJB- G- 2	G2- 5	左侧下部	掉落样	块状，地仗层包括粗泥层、细泥层，颜料层白色
6	MJB- G- 3	G3- 1	隔墙底部	掉落样	块状，地仗层包括粗泥层、细泥层，颜料层白色、黑色、红色
7	MJB- G- 4	G3- 3	隔墙顶部	掉落样	块状，地仗层包括粗泥层、细泥层，颜料层白色、黑色、红色
8	MJB- T- 1	T4- N- 2	中间上部	原状样	块状，地仗层包括粗泥层、细泥层，颜料层白色、黑色、红色
9	MJB- T- 2	T7- S	佛塔底部	掉落样	块状，地仗层包括粗泥层、细泥层，颜料层白色、黑色、红色

（二）分析测试方法

根据拟定分析内容和样品特点，本次检测综合采取多种分析测试方法对壁画样品的结构形态和材料组成进行分析。（1）采用超景深三维显微镜和高清数码相机对壁画样品的剖面结构、颜料层表面形态、地仗层纤维进行观察；（2）采用扫描电子显微镜对壁画样品地仗层进行微观观察；（3）采用 X 射线衍射仪（XRD）对壁画样品地仗层泥土颗粒的矿物组成及相对含量进行分析；（4）采用激光粒度仪对壁画样品地仗层泥土的颗粒分布进行分析；（5）采用烧失法对地仗层中有机纤维的含量进行分析；（6）采用 X 射线衍射仪（XRD）与拉曼光谱仪（Raman）相结合对壁画样品的颜料矿物成分进行分析；

(7) 委托浙江大学文物保护材料实验室采用酶联免疫吸附测定法 (ELISA) 对壁画样品颜料层胶料种类进行分析。

(三) 分析结果

1. 壁画结构

通过超景深三维系统对壁画样品剖面观察, 崖壁壁画大多以细泥层作地仗, 隔墙壁画和佛塔壁画以粗泥层和细泥层作地仗。粗泥层为地仗层的主体部分, 厚度差异明显, 大多数厚约 2~5 厘米, 结构较致密, 局部有裂隙或孔洞分布, 泥土颗粒较粗、均匀性较差, 少数呈团聚体, 部分可见细小砾石、云母碎片等包含物, 大多数夹杂有植物纤维。细泥层厚度相对均匀, 一般厚约 1~3 毫米, 结构致密, 泥土颗粒细小、均匀性较好, 局部夹杂有植物纤维。

大多数壁画地仗层表面直接绘制颜料层, 少数壁画地仗层表面先作底色层后再绘制颜料层, 有无底色层在三类壁画中无明显分布规律。壁画颜料层均有不同程度的颜料脱落, 大多数表现为颜料层或底色层整体片状或斑点状脱落, 导致下层泥质地仗裸露, 少数表现为颜料层表面呈颗粒状脱落, 导致颜料层颜色减淡或底色层裸露。壁画样品 MJB-B-1 和 MJB-B-3 颜料层表面局部明显可见脱落的黑色颜料线条下层仍有白色颜料存在, 壁画样品 MJB-T-1 颜料层表面局部也可见脱落黑色颜料线条下层有白色和红色颜料存在, 说明部分壁画的黑色颜料线条是绘制于白色或红色底色层之上的, 这与壁画剖面结构观察结果基本一致。有些壁画的颜料层表面局部覆盖黄褐色污物, 严重影响壁画外观。

崖壁壁画地仗层局部偶见植物纤维, 隔墙壁画和佛塔壁画样品地仗层明显可见植物纤维, 分布均匀性差, 这与现场勘察结果总体一致。粗泥层中夹杂植物纤维主要为草本植物的根、茎、叶, 大多经过简单的筛选和处理, 植物纤维较细小, 长度较长, 部分经过揉捻处理。细泥层中夹杂植物纤维主要为草本植物的茎叶, 加工成小段或碎渣状, 大小不一。

壁画地仗层样品表面喷 Pt 处理, 采用

JSM-7100F 场发射扫描电子显微镜对典型区域进行观测, 结果表明, 粗泥层泥土颗粒较粗, 均匀性较差, 显微照片明显可见粗泥层含有大量粒径较大、磨圆度较差的颗粒, 之间填充细小颗粒, 少数呈团聚体, 结构较致密, 局部有细小孔洞分布; 细泥层泥土颗粒较细, 均匀性较好, 显微照片明显可见大小颗粒之间相互嵌合, 结构也较致密, 局部有细小孔洞和裂纹分布。壁画样品地仗层显微照片与超景深显微镜观察一致。

2. 地仗层材料成分检测

壁画样品地仗层泥土颗粒经研磨、过筛后压片法制样, 采用日本理学公司的 D/max-2500 型 X 射线衍射仪进行测试, 结果利用 K 值法进行半定量分析。地仗样品 XRD 分析结果如表四所示。取壁画地仗层的粗泥层和细泥层泥土颗粒, 采用济南微颗粒仪器股份有限公司的 Winner2308A 激光粒度仪对样品进行颗粒分析。

表四 地仗层 XRD 分析结果

样品编号	样品类型	矿物成分及相对含量 (%)				
		石英	钠长石	绿泥石	白云母	方解石
MJB-B-2	细泥层	57.5	26.2	7.1	5.7	3.5
MJB-B-3	细泥层	52.9	12.7	5.3	4.3	24.8
MJB-G-1	粗泥层	62.6	21.0	4.7	5.1	6.6
MJB-G-1	细泥层	68.1	19.6	6.8	5.5	
MJB-G-2	粗泥层	52.8	19.0	3.9	4.4	19.9
MJB-G-3	粗泥层	50.9	24.4	5.1	5.0	14.6
MJB-G-4	粗泥层	52.3	32.7	5.2	4.3	5.5
MJB-G-4	细泥层	63.4	21.3	6.3	5.2	3.8
MJB-T-1	粗泥层	74.2	16.0	3.7	6.1	
MJB-T-2	粗泥层	55.2	17.2	5.5	6.3	15.8
MJB-T-2	细泥层	60.9	21.9	7.6	6.0	3.7

分析结果表明, 壁画泥土颗粒主要矿物成分为石英、钠长石, 其次为绿泥石、白云母、方解石。各样品的矿物成分和相对含量除方解石外其他相差较小, 部分样品未含方解石, 而有些样品 (MJB-B-3 细泥层、MJB-G-2 粗泥层、MJB-T-2 粗泥层) 的方解石相对含量高达 15% 以上, 推测方解石含量较高的样品是人为添加的石灰等来优化地仗层性能。对比分析本地粉土或黏性土矿物成分, 地仗层泥土矿物组成与本地粉土或黏性土矿物组成基本相同。

壁画样品地仗层中泥土颗粒粒径组成基本一

致，地仗泥土为粉土或黏性土，均以粉粒为主，砂砾次之，部分含有少量黏粒，细泥层和粗泥层之间粒径组成存在一定程度的差异，细泥层样品中 95%以上为粉粒，粗泥层除主要组成粉粒外，大多还有 5%~20%的砂粒，这与壁画显微结构观察结果一致。另外佛塔壁画的粗泥层样品中砂粒含量为 15%以上，比隔墙壁画和崖壁壁画粗泥中的砂粒含量都高。

3. 地仗中有机纤维含量分析

取含植物纤维的壁画地仗，采用烧失法对样品中的植物纤维含量进行分析。方法如下：首先取地仗层约 30g，碾散后置于已知质量坩埚中，在 105℃烘箱中烘干 12 小时，取出立即放入干燥器中冷却称重，然后将坩埚转移至马弗炉中，升温至 550℃灼烧 5 小时后，放入干燥器中冷却至室温，称重，根据样品烧失前后质量差和质量比值，计算植物纤维相对含量。每个样品平行三组，取平均值，求标准差（表五）。

表五 地仗层中的植物纤维含量

样品编号	样品类型	植物纤维含量 (%)				
		1#	2#	3#	平均值	标准差
MJB- B- 1	细泥层	2.8521	2.6419	2.9326	2.8089	0.2123
MJB- B- 2	细泥层	2.6516	3.1783	2.5539	2.7946	0.4750
MJB- B- 3	粗泥层和细泥层	3.1175	2.6543	3.1368	2.9695	0.3863
MJB- G- 1	粗泥层	6.4556	7.5979	5.3652	6.4729	1.5789
MJB- G- 2	粗泥层	5.6421	6.3752	6.0075	6.0083	0.5184
MJB- G- 3	粗泥层	3.4268	3.8975	3.9633	3.7625	0.4138
MJB- G- 4	粗泥层	5.6782	5.1265	4.8731	5.2259	0.5822
MJB- T- 1	粗泥层	5.1118	4.3134	5.2369	4.8874	0.7085
MJB- T- 2	粗泥层	3.9784	4.5632	3.3186	3.9534	0.8806

分析结果表明，壁画地仗层中的植物纤维含量差异明显，崖壁壁画地仗层的植物纤维含量约为 2.5%，数据相对集中，隔墙壁画和佛塔壁画地仗层的植物纤维含量为 3%~7%，数据离散程度大，这与壁画地仗层纤维形态结构观察结果一致。

4. 颜料层材料组成分析

(1) XRD

取壁画颜料样，研磨、过筛后压片制样，采用日本理学公司的 D/max- 2500 型 X 射线衍射仪进行检测（因洞口西壁壁画后期补绘干扰较大，本次未将分析结果列入），结果如下所示（表六）：

表六 颜料层 XRD 分析结果

样品编号	样品类型	主要矿物成分	显色矿物	显色矿物化学式
MJB- B- 1	白色颜料	石英、白云母、高岭石、钠长石	白云母、高岭石	$KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH,F)_2$ $Al[Si_4O_{10}](OH)_8$
MJB- G- 1	白色颜料	石英、高岭石、白云母、钠长石	高岭石、白云母	$Al[Si_4O_{10}](OH)_8$ $KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH,F)_2$
	黑色颜料	石英、高岭石、白云母、钠长石	推测为墨	C
MJB- G- 4	黑色颜料	石英、钠长石、白云母、绿泥石	推测为墨	C
MJB- T- 2	白色颜料	石英、白云母、钠长石、高岭石	白云母、高岭石	$KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH,F)_2$ $Al[Si_4O_{10}](OH)_8$
	黑色颜料	石英、白云母、高岭石、钠长石	推测为墨	C
	红色颜料	朱砂、石英、白云母、高岭石	朱砂	HgS

根据现有的古代壁画颜料分析成果进行推断，^[1]白色显色矿物为高岭石，石英、钠长石为地仗层的矿物干扰物，白云母是有意添加到白色颜料中还是地仗层中的矿物干扰需进一步研究；黑色颜料未检出显色矿物，推测可能为墨，而石英、钠长石、白云母、高岭石或绿泥石等为地仗和底色矿物干扰；红色颜料显色矿物为朱砂，石英、白云母、高岭石等矿物成分为地仗层和底色层的矿物干扰。

(2) 拉曼光谱分析

采用 Renishaw invia 激光显微共聚焦拉曼光谱仪对壁画样品的颜料区域进行测试，结果如下所示（表七）：

表七 颜料层 Raman 分析结果

样品编号	样品类型	拉曼结果	显色矿物化学式
MJB- B- 2	白色	-	-
	红色	朱砂	HgS
MJB- T- 1	白色	-	-
	黑色	-	-
	红色	朱砂	HgS
MJB- T- 2	白色	-	-
	黑色	炭黑 *	C
	红色	朱砂	HgS

注：- 为未检出，* 为特征峰不明显。

本次分析的 3 个壁画样红色颜料的拉曼光谱特征峰在 254cm⁻¹ 和 344cm⁻¹ 处与朱砂的特征

峰重合，其结果 XRD 分析结果相同，可以确定红色颜料显色矿物为朱砂。仅一个壁画样品的黑色颜料拉曼光谱出现微弱的炭黑特征峰，其他壁画样品白色颜料和黑色颜料均未出现该显色成分明显的拉曼光谱特征峰，这可能与颜料自身结晶度不良及各类污染物影响等有关。

(3) 胶料分析

委托浙江大学文物保护材料实验室采用酶联免疫吸附测定法 (ELISA) 对壁画颜料层胶料种类进行分析。首先采用考马斯亮蓝化学法初步检测样品中是否含有蛋白质，然后对可能含有蛋白质的样品做 ELISA 分析，检测结果如下 (表八)：

表八 颜料层胶料分析结果

样品编号	蛋白质初步检测	胶料种类		
		色素	蛋白	动物胶
MJB- T- 2 SC- 1	-	-	-	-
MJB- T- 2 SC- 2	-	-	-	-
MJB- T- 2 SC- 3	++	-	-	-
MJB- G- 2 SC- 4	++	-	-	+
MJB- G- 4 SC- 5	+	+++	-	++
MJB- B- 2 SC- 6	+	-	-	+
MJB- B- 3 SC- 7	-	-	-	-
MJB- T- 3 SC- 8	+	-	-	+

注：(1) - 为阴性，+ 为弱阳性，++ 为阳性，+++ 为强阳性。

本次分析的 8 个颜料样品中有 5 个蛋白质初步检测结果呈阳性或弱阳性，其中 3 件检出动物胶呈弱阳性，1 件检出动物胶呈阳性、色素呈强阳性，1 件未检出胶料。由此可见，壁画颜料层胶结材料主要为动物胶，个别样品的颜料层中色素是作为胶结材料还是后期人为污染需要进一步研究。

四 结果与讨论

1. 经过壁画样品的超景深三维显微镜、描电子显微镜分析和观察,甲扎尔甲山洞窟壁画结构存在很大差异，大多数壁画只有地仗层和颜料层，少数壁画有地仗层、底色层和颜料层。不同支撑体壁画的地仗层结构也存在很大差异，佛塔和隔墙壁画地仗大多包含粗泥层和细泥，粗泥层厚度差异明显，最薄的约 2 厘米，最厚的达 8 厘米，而崖壁壁画仅有细泥层。粗泥层结构较致密，局部有裂隙或孔洞分布泥土颗粒较粗、均匀

性较差，少数呈团聚体，部分可见细小砾石、云母碎片等包含物；细泥层厚度相对均匀，结构致密，泥土颗粒细小、均匀性较好。壁画结构的明显差异与无规律性分布说明该洞窟壁画不是同一个 (批) 人按统一规范完成的，而是多人或多批次完成，制作时随意性较大。

2. 地仗层泥土颗粒主要矿物成分为石英、钠长石，次要成分为绿泥石、白云母、方解石，其材材为粉土或黏性土并在其中掺和了一定的石灰、砂粒及草本植物的根、茎、叶等，分析检测表明，地仗层泥土矿物组成与本地粉土或黏性土矿物组成基本相同，说明其制作材料可能取自于当地。壁画颜料主要有白、黑、和红，白色颜料为高岭石，黑色颜料为墨，红色颜料为朱砂，与其它区域藏传佛教寺庙壁画相比，^[2]甲扎尔甲山洞窟壁画色彩较单一。

3. 从壁画制作工艺相看，佛塔壁画和隔墙壁画以片石垒砌体为支撑体，片石之间的凹坑或缝隙没有抹平处理，而是直接在砌体表面抹粗泥层，崖壁壁画也直接在崖面顺势随形抹细泥层，整个壁画地仗层厚薄不一、表面凹凸不平。白底层在三类壁画中无分布规律，即使在同类壁画中有些有底色层有些又没有，而且制作壁画所使用的泥土、植物纤维等材料都没有经过精细加工，这些说明壁画在制作前没有经过精心设计和统一规划，制作工艺相对较粗糙和简易。^[3]藏区寺庙壁画制作工艺大多为：先在支撑墙表面抹粗沙泥作底层，底层干后再抹掺有动物纤维或植物纤维的细泥层作中层；中层干后，在其表面覆一层本地土层作地仗表层；待地仗半干，用光滑鹅卵石反复磨压使泥皮表面平整光滑，便于作画；地仗全干后再刷一层白色打底层，称为“白粉层”，然后绘制画层，画层绘制包含“先布、吉热…介、存、当”等十余道工序，壁画绘制完成后在表面刷一层牛胶、桐油或清漆作为保护层，与此相比，甲扎尔甲山洞窟壁画的制作工艺要简单得多。

4. 以往对壁画颜料层胶料种类分析常采用热裂解气相色谱—质谱技术、高效液相色谱、反



相高效液相色谱等方法，^[4]本次工作采用酶联免疫吸附测定法（ELISA）对壁画颜料层胶料种类进行分析，与其它方法相比，酶联免疫吸附测定法所需要样品量更少，检测灵敏度更高，有利于颜料中残余胶结物的检出，该技术为今后壁画和石窟彩绘的胶结物分析研究提供了新的方法。

甲扎尔甲山洞窟是一个修行洞兼礼拜用的经堂，洞内空间虽然狭小，但具备隐修最基本的要素，长期以来属于普通信众礼佛之场所。洞窟壁画制作就地取材，制作过程缺乏统一规划，制作工艺相对粗糙和简易，画层色彩较单一，其制作工艺反映了该地区同时期民间手工艺的真实水平。甲扎尔甲山洞窟壁画的保存现状差，保存较好的壁画仅占现存壁画总面积的 13%，病害损伤已严重威胁到壁画的价值与保存。

注释：

- [1] a.李最雄：《丝绸之路石窟壁画彩塑保护》，第 14～49 页，科学出版社，2005 年；
b.王蕙贞：《文物保护学》，第 298～301 页，文物出版社，2009 年；
c.郭宏：《馆藏壁画保护技术》，第 57～69 页，科学出版社，2011 年。
- [2] a.李最雄等：《西藏布达拉宫壁画保护修复工程报告》，文物出版社，2009 年；
b.李春华等：《四川康定县清代古经堂壁画颜料分析研究》，《四川文物》2013 年第 3 期。
- [3] a.王乐乐等：《西藏拉萨大昭寺转经廊壁画制作工艺研究》，《文物保护与考古科学》2014 年第 4 期；
b.许君魁：《西藏寺院壁画的制作步骤与方法》，《西藏艺术研究》1993 年第 2 期。
- [4] a. [1] c；
b.李最雄：《丝绸之路石窟壁画彩塑保护》，第 149～168 页，科学出版社，2005 年。

（上接第 50 页）

- [11] 刘阳等：《市文保所赴朝阳考察宋代摩崖题刻 新发现并确认两组石穴岩画》，《连云港日报》2014 年 3 月 14 日 A02 版。
- [12] 廖奔：《〈骷髅幻戏图〉与傀儡戏》，《文物天地》2002 年第 12 期。
- [13] 康保成：《补说〈骷髅幻戏图〉——兼说“骷髅”、“傀儡”及其与佛教的关系》，《学术研究》2003 年第 11 期。
- [14] （宋）刘黻：《蒙川遗稿》卷三《贵溪道中》，清同治光绪间永嘉丛书本。
- [15] （宋）李焘：《续资治通鉴长编》卷二六七“熙宁八年八月庚寅”条引《买马记》，第 6540～6541 页，中华书局，2004 年。
- [16] 张遇春：《阜新县志》卷二《地理·古迹》，第 41 页 b，奉天正文斋印刷局，1935 年。
- [17] 《金史》卷二四《地理志上》，第 559、560 页，中华书局，1975 年。
- [18] 余蔚：《中国行政区划通史·辽金卷》，第 662 页，复旦大学出版社，2012 年。
- [19] 冯永谦：《辽宁绥中县金代“来宾县里堠”碑考》，《考古》1983 年第 3 期。
- [20] 原著录者将“碑”字误释成“牌”字。
- [21] 赵占华主编：《中国赤城历代碑匾刻辑录》，第 8 页，化学工业出版社，2011 年。
- [22] 《金史》卷二四《地理志上》，第 567 页。
- [23] 武有平、闫卫星：《方山发现元代“里程碑”》，《山西晚报》2014 年 6 月 13 日。
- [24] 其失误原因因此不赘述，参见《元史》卷五八《地理志一》第 52 条校勘记，第 1390 页，中华书局，1976 年。
- [25] 《元史》卷五八《地理志一》，第 1377 页。
- [26] 《金史》卷二六《地理志下》，第 632 页。
- [27] 刘浦江认为“从此段前后文义来看，末句‘旧里堠’与‘新里堠’恐系倒植。”所论甚是。参见刘浦江：《宋、金治河文献钩沉——〈河防通议〉初探》，北京大学中国古代史研究中心编：《舆地、考古与史学新说——李孝聪教授荣休纪念论文集》，中华书局，2012 年。
- [28] 薛华：《古黄河堤防分段管理维修的界标实物——汲县古河堤埽堠碑》，《中原文物》2011 年第 1 期。
- [29] 刘仰洲：《我国古黄河堤上的埽碑在卫辉市柳卫村出土》，《河南水利史料》1993 年第 1 期。
- [30] a.同 [28]；
b.杨国顺：《汲县古黄河河堤埽堠碑解读与制作年代考》，《黄河史志资料》1998 年第 3 期。
- [31] 《金史》卷二六《地理志下》，第 653 页。
- [32] 《金史》卷五《海陵纪》，第 110 页。
- [33] 姬乃军：《陕西吴旗出土金与西夏划界碑》，《文物》1994 年第 6 期。