

文章编号:1005-1538(2013)02-0031-08

# 新疆阿斯塔那唐墓出土彩塑的制作工艺和颜料分析

郑会平<sup>1,2,3</sup>, 何秋菊<sup>4</sup>, 姚书文<sup>5</sup>, 王 博<sup>5</sup>, 宋国定<sup>1,2</sup>, 杨益民<sup>1,2</sup>, 王昌燧<sup>1,2</sup>

- (1. 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 北京 100044;
- 2. 中国科学院大学科技史与科技考古系, 北京 100049;
- 3. 中国科学院上海高等研究院文物保护实验室, 上海 201210;
- 4. 首都博物馆文物保护修复中心, 北京 100045;
- 5. 新疆维吾尔自治区博物馆, 新疆乌鲁木齐 830091)

**摘要:**新疆阿斯塔那古墓群出土了大量的彩塑, 为了解其制作工艺与彩绘颜料成分, 采用显微激光拉曼光谱, 结合剖面观察和能量色散 X 射线荧光光谱等科技手段, 对出土于唐墓的 6 个样品进行了分析鉴定。结果表明, 泥胎表面先用硬石膏做打底层, 再施以彩绘, 且彩绘颜料厚薄有异。所使用的红、黄、黑、白和绿色颜料有铅丹、密陀僧、朱砂和土红、雌黄、炭黑、硬石膏及氯铜矿等无机颜料, 而粉色彩绘是由铅丹(或铅丹和密陀僧的混合物)与硬石膏调和而成, 且密陀僧作为彩绘颜料在新疆是较早的发现。其最为重要的发现是蓝色彩绘为植物性染料——靛蓝。这一研究结果, 为进一步的彩塑修复与保护方案的制订提供了有价值参考。

**关键词:**彩塑; 颜料; 显微激光拉曼光谱; 能量色散 X 射线荧光  
**中图分类号:** G262; K854.2      **文献标识码:** A

## 0 引言

素有“地下博物馆”之称的阿斯塔那古墓群, 位于新疆高昌古城西北郊的戈壁荒滩上, 距离吐鲁番市约 40km, 是古代高昌王国城乡官民的公共墓地, 墓地长约 5km, 宽约 2km。1959 年始, 考古工作者曾先后对阿斯塔那墓群进行了多次考古发掘, 清理发掘了近 500 座古墓葬, 根据出土遗物分析, 推测其年代为西晋至唐代中叶<sup>[1~4]</sup>。由于该地区气候干旱炎热, 古墓中出土了上万件文书、墓志、绘画、泥俑、陶、木、金银、石等器物以及古代钱币和棉毛、丝织物等珍贵文物, 其色彩艳丽如新, 为研究我国古代西域政治、经济、科技、军事和文化交流等内容, 提供了极为丰富的实物材料。

在众多珍贵的出土文物中, 有大量造型优美、神态生动的彩绘泥塑, 它们是由古代工匠以纯熟的技巧、高度的概括能力和丰富的想象力, 将泥塑和彩绘巧妙地结合起来塑造而成。彩塑是以黏土加上纤维

物、河沙和水, 揉合成胶泥后, 在木制的骨架上进行形体塑造, 阴干后填缝、打磨, 再着色描绘制成作品。一般说来, 根据彩塑的摆放位置与使用范围, 可将其分四类, 即: 石窟彩塑、庙宇彩塑、陵墓彩塑和民俗彩塑<sup>[3]</sup>。阿斯塔那古墓群大量彩塑文物的出土, 不仅有助于了解西晋至唐中叶西部地区的彩塑制作工艺, 更可为古代彩绘颜料的使用与文化交流等提供了重要的实物资料。然而, 由于种种原因, 关于这批文物的科技分析工作以及彩塑的制作工艺等信息, 至今未见相关报道。

本研究主要以考古发掘收集的彩塑颜料残块为研究对象, 利用激光共焦显微拉曼光谱, 显微镜及能量色散 X 射线荧光光谱分析等科技手段, 分别对残块上的红、黄、蓝、绿、黑及白色等 6 种颜色进行了成分分析与剖面观察, 旨在明确这些颜料样品的种类与组成, 初步判断其来源与彩绘工艺, 为进一步考虑修复保护方案以及同类样品的科技分析与研究提供参考。

收稿日期: 2012-01-09; 修回日期: 2012-05-06

基金项目: 国家自然科学基金资助(41172164)、中国科学院战略性先导科技专项资助(XDA05130303)、中国科学院研究生院院长基金资助(095101DY00)

作者简介: 郑会平(1983—), 女, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所博士研究生, 主要从事文物保护与科技考古方面的研究。  
E-mail: zhenghuip07@mails.ucas.ac.cn

通讯作者: 杨益民, E-mail: yimin yang@ucas.ac.cn

1 样品与实验条件

1.1 样品

阿斯塔那古墓群出土了大量的彩塑文物,出土后,部分泥塑出现了颜料脱落与肢体断裂等现象。为探讨这批彩塑文物的制作工艺,从墓 72TAM187 选取了若干具有代表性颜色的泥俑彩绘残块,包括 2 块动物彩塑残块和 4 块人物彩塑残块,基本可涵盖该墓各种色调。具体有:红(橘红、粉红、暗红和红棕色)、黄、蓝、绿、白、黑等 6 类颜色。样品状况及颜色分布见图 1 和表 1。分析其随葬文书,可判断其年代为公元 687-745 年。



图 1 彩塑残块

Fig.1 Picture of samples

表 1 样品描述

Table 1 Description of all samples

| 编号    | 分析部位  | 颜色描述                                       |
|-------|-------|--------------------------------------------|
| mt-1  | 马头部   | 蓝色,白色,黑色,黄色                                |
| mt-2  | 马腿部   | 粉红色(显微镜下可见白色颗粒),红色(红点),白色                  |
| ny-3  | 泥俑胳膊  | 橘红色                                        |
| nfy-4 | 泥佛俑头部 | 粉红色(显微镜下可见白色颗粒),红棕色,白色,蓝色(横向宽条纹),黑色(纵向细条纹) |
| nfy-5 | 泥佛俑上部 | 白色、暗红、绿色                                   |
| nfy-6 | 泥佛俑下部 | 粉色(显微镜下可见白色颗粒)                             |

1.2 仪器及实验条件

实验所用仪器及测试条件:

- 1) VHX-600 系列超景深数码显微镜(日本基恩士):×200。
- 2) XGT-5000 II 能量色散 X 射线荧光光谱仪(日本堀场)。测试条件:端窗铑(Rh)靶 X 射线管,真空光路,光管电压 50kV,电流 0.5mA,测试时间 300s。

3) LabRAM-HR800 型激光共焦显微拉曼光谱仪(法国 JY 公司)。分别采用两种不同波长的激发光源: $\lambda_0=532\text{nm}$ (YAG 激光器), $\lambda_0=785\text{nm}$ (半导体激光器);样品表面的激光功率 2~3mW,信号采集时间 10~200s,累加次数 1~2 次,光栅 600;狭缝宽度 100 $\mu\text{m}$ ,仪器分辨率 2 $\text{cm}^{-1}$ ,光斑尺寸 1 $\mu\text{m}$ ,采用单晶硅片校准,光谱范围 4000~70 $\text{cm}^{-1}$ 。

2 结果与讨论

2.1 剖面观察研究

为了解彩塑的制作工艺,对起翘脱落部分的颜料层取样,通过树脂埋封、镶样、打磨并抛光样品断面,置于 VHX-600 超景深数码显微镜下进行剖面观察,并利用显微镜自带测量软件,对断面分层进行厚度测量。图 2 是样品断面照片,剖面观察结果见表 2。除绿色颜料层较厚,达到 140~190 $\mu\text{m}$ 外,其余样品颜料层的厚度一般从 10~80 $\mu\text{m}$ 不等。从图 2 中可清楚地看到,在各样品的泥胎与颜料层之间,存在一个较为明显的白色“过渡层”,厚度约 20~190 $\mu\text{m}$ 不等。显微拉曼光谱分析得出,白色“过渡层”为无水硫酸钙(硬石膏)(图 3)。由此可见,彩塑制作是先 在泥胎表面涂上一层硬石膏作为打底层,再施以彩绘。

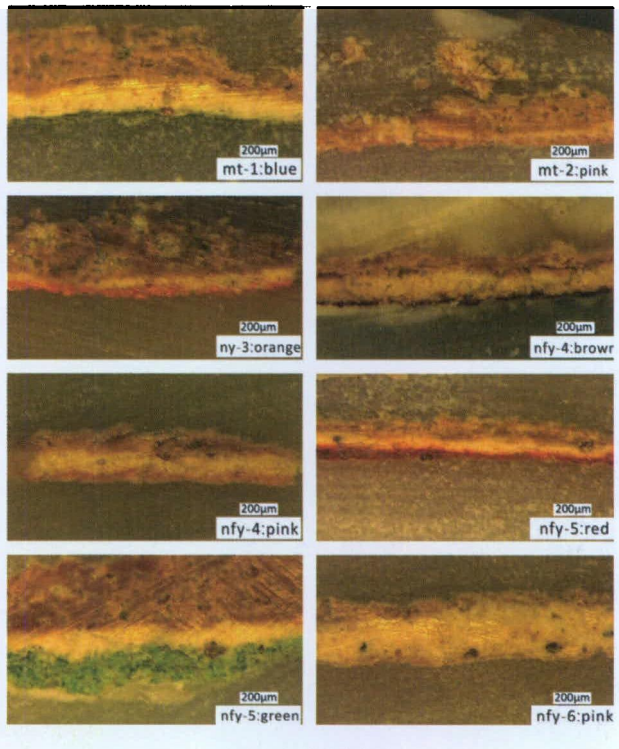


图 2 样品剖面

Fig.2 The cross-section of the samples

| 表2 样品剖面显微分析结果                                    |                                       |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Table 2 The results of cross-section observation |                                       |
| 样品编号                                             | 剖面观察结果                                |
| mt-1 蓝色                                          | 两层,蓝色层+白色层,蓝色层约10~15μm,白色层约120~150μm。 |
| mt-2 粉色                                          | 两层,粉色层+白色层,粉色层30~40μm,白色层20~30μm。     |
| ny-3 橘红色                                         | 两层,橘红色层+白色层,橘红色层30~50μm,白色层50~70μm。   |
| nfy-4 粉色                                         | 两层,粉色层+白色层,粉色层30~50μm,白色层90~100μm。    |
| nfy-4 红棕色                                        | 两层,红棕色层+白色层,红棕色层30~40μm,白色层130~150μm。 |
| nfy-5 绿色                                         | 两层,绿色层+白色层,绿色层140~190μm,白色层90~140μm。  |
| nfy-5 暗红色                                        | 两层,红色层+白色层,红色层30~80μm,白色层40~70μm。     |
| nfy-6 粉色                                         | 两层,粉色层+白色层,粉色层20~30μm,白色层150~190μm。   |

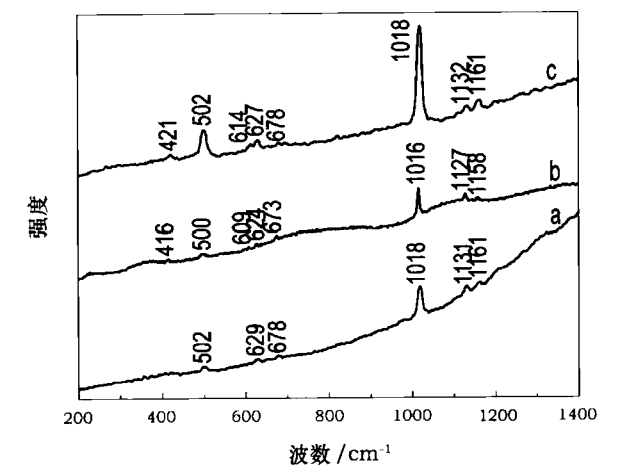


图3 白色颜料的显微拉曼光谱图  
Fig.3 Micro-Raman spectra of the white

2.2 显微激光拉曼光谱分析

采用显微激光拉曼光谱,对泥俑中使用的红、白、黑、黄、蓝、绿色等六种彩绘进行了激光拉曼原位分析。

2.2.1 白色颜料 图3为样品 mt-1 中“过渡层”(a)、mt-2 表面(b)以及粉色颜料中白色颗粒(c)的 Micro-Raman 谱图。不难发现,拉曼峰 421、502、614、627、678、1018、1132 和 1161cm<sup>-1</sup> 与文献[5]中硬石膏的拉曼特征峰(416、498、608、626、675、1018、1130 和 1161 cm<sup>-1</sup>)较为匹配,其中,1016 或 1018cm<sup>-1</sup>处为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(ν<sub>1</sub> 振动模式)的强吸收峰。因此,可判断“过渡层”、样品表面以及粉色颜料中混合的白色颗粒为硬石膏(Anhydrite, CaSO<sub>4</sub>),它的

成分为无水硫酸钙,与石膏(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)的不同之处在于它不含结晶水。

2.2.2 黑色颜料 图4为样品 mt-1 中黑色颜料的 Micro-Raman 谱图。图中的 1358 和 1596cm<sup>-1</sup>处出现了明显的双峰,其与文献[6,7]中炭黑(Carbon Black, C)的拉曼特征峰位(1355 和 1592cm<sup>-1</sup>)颇为吻合,据此可确定黑色颜料为炭黑。

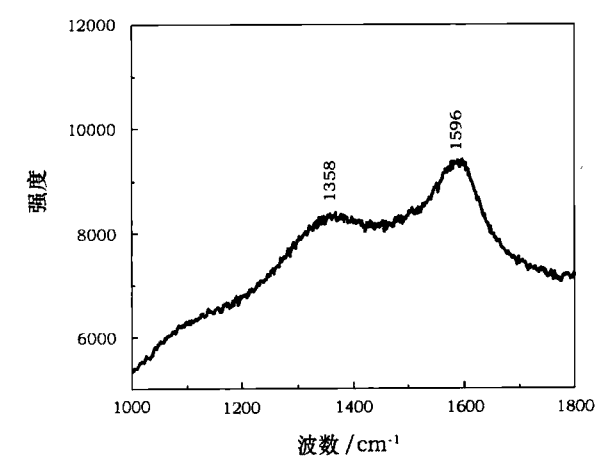


图4 黑色颜料的显微拉曼光谱图  
Fig.4 Micro-Raman spectra of the black

2.2.3 黄色颜料 图5为样品 mt-1 表面黄色颗粒的 Micro-Raman 谱图。图中的拉曼峰 198、288、306、351、378cm<sup>-1</sup>与文献[5]中雌黄(Orpiment, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)的拉曼特征峰值(203、294、308、353、384cm<sup>-1</sup>)十分接近,据此,判断黄色颜料为雌黄。

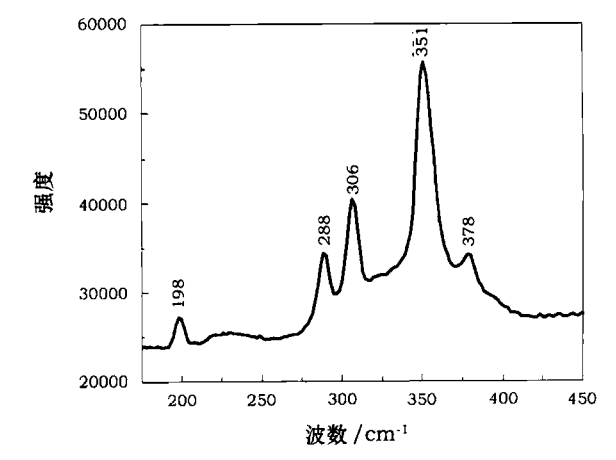


图5 黄色颜料的显微拉曼光谱图  
Fig.5 Micro-Raman spectra of the yellow

2.2.4 红色颜料 彩塑中使用的红色颜料较多,有橘红色、暗红色、粉红色以及红棕色。分析结果如下。

图6(a)为样品 mt-2 上红点的 Micro-Raman 谱图。图中的拉曼峰 254、285 和 343cm<sup>-1</sup>与文献

[6]中朱砂(Cinnabar,  $\text{HgS}$ )的拉曼特征峰( $253$ 、 $284$ 和 $343\text{cm}^{-1}$ )完全符合。据此可确认该红点的颜料为朱砂。

图6(b)为样品ny-3中橘红色颜料的Micro-Raman谱图。图中的拉曼峰 $223$ 、 $313$ 、 $386$ 、 $474$ 、 $545\text{cm}^{-1}$ 与文献[7]中铅丹(Red Lead,  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ )的拉曼特征峰( $223$ 、 $315$ 、 $390$ 、 $480$ 、 $550\text{cm}^{-1}$ )基本一致,完全可确定这里的橘红色颜料为铅丹。

图6(c)为样品nfy-4中红棕色颜料的Micro-Raman谱图。图中的拉曼峰 $224$ 、 $289$ 、 $402$ 、 $495$ 、 $607\text{cm}^{-1}$ 与文献[8]中赤铁矿(Haematite,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )的

拉曼强峰( $226$ 、 $292$ 、 $410$ 、 $498$ 、 $611\text{cm}^{-1}$ )基本吻合,故推断红棕色颜料为赤铁矿。

图6(d)为样品nfy-5中暗红色颜料的Micro-Raman谱图。图中的5个拉曼峰 $120$ 、 $224$ 、 $312$ 、 $389$ 、 $549\text{cm}^{-1}$ 与文献[5]中铅丹(Red Lead,  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ )的拉曼特征峰( $122$ 、 $223$ 、 $313$ 、 $391$ 、 $550\text{cm}^{-1}$ )一致,剩余峰(2个),即 $141(\text{S})$ 和 $288(\text{S})\text{cm}^{-1}$ ,则与文献[5,8]中密陀僧(Massicot,  $\text{PbO}$ )的拉曼特征峰[ $143(\text{S})$ 和 $289(\text{S})\text{cm}^{-1}$ ]吻合,因此,可判断样品nfy-5中暗红色颜料由铅丹与密陀僧混合组成。

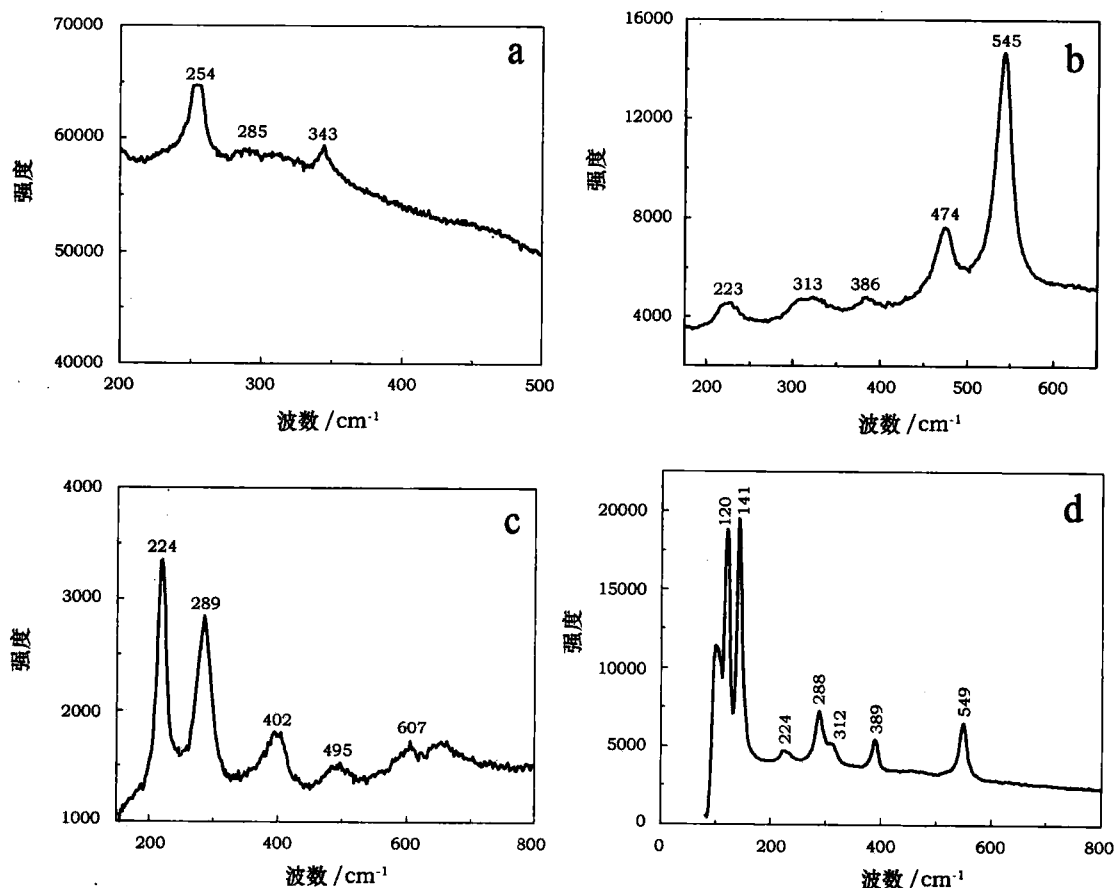


图6 红色颜料的显微拉曼光谱图

Fig. 6 Micro-Raman spectra of the red/orange

**2.2.5 粉色颜料** 图7为样品mt-2、nfy-4、nfy-6中粉色颜料的Micro-Raman谱图。图中拉曼峰 $123$ 、 $229$ 、 $314$ 、 $393$ 、 $553\text{cm}^{-1}$ 与文献[5]中铅丹(Red Lead,  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ )的拉曼特征峰( $122$ 、 $223$ 、 $313$ 、 $391$ 、 $550\text{cm}^{-1}$ )一致,说明均含有铅丹。而样品nfy-4除上述拉曼峰外,还剩两个强峰,即 $146(\text{S})$ 和 $292(\text{S})\text{cm}^{-1}$ ,其与文献[8]中密陀僧(Massicot,  $\text{PbO}$ )的拉曼特征峰[ $143(\text{S})$ 和 $289(\text{S})\text{cm}^{-1}$ ]吻

合,说明该样品还含有密陀僧;此外,粉色颜料样品中通常夹杂大量的白色颗粒,如前文拉曼分析所示,这些白色颗粒为硬石膏(Anhydrite,  $\text{CaSO}_4$ )。由此可见,这些粉色彩料应由铅的氧化物与硬石膏混合而成。为进一步确认这一推断,对样品mt-2、nfy-4、nfy-6进行了XRF分析,分析结果见表3。XRF分析的结果表明,粉色样品中铅与钙的含量均较高,说明粉色彩绘确为铅丹或密陀僧与硬石膏调和而成。

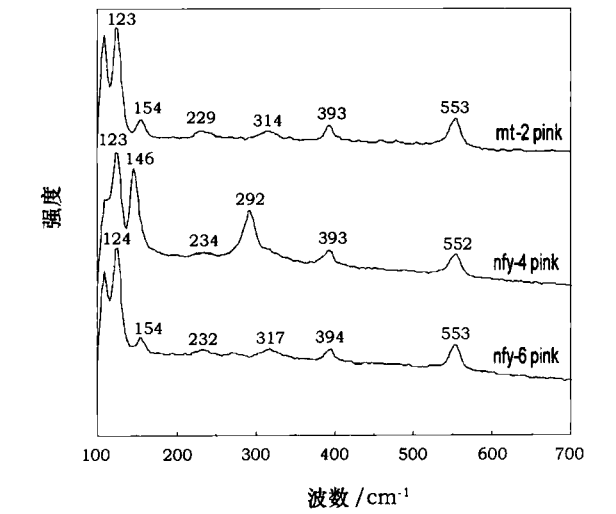


图 7 粉色颜料的显微拉曼光谱图  
Fig. 7 Micro - Raman spectra of the pink

表 3 粉色颜料的 XRF 分析结果  
Table 3 XRF results of the pink (wt%)

| 元素      | Al    | Si     | K     | Ca     | Fe    | Pb     |
|---------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| mt - 2  | 1. 63 | 23. 86 | 1. 62 | 28. 32 | 7. 25 | 36. 88 |
| nfy - 4 | 2. 36 | 14. 96 | -     | 52. 48 | 3. 59 | 26. 61 |
| nfy - 6 | -     | 12. 37 | -     | 40. 67 | 1. 78 | 45. 18 |

新疆克孜尔石窟壁画使用的红色颜料以铅丹和朱砂最为普遍,土红较少<sup>[9,10]</sup>。然而,这次的分析发现,新疆阿斯塔那出土彩塑的红色颜料有所不同,其土红与朱砂的使用均较少,而主要采用铅丹作为红色颜料,因保存较好,至今依然鲜艳如新。此外,根据文献研究,我国使用密陀僧作为壁画颜料,最迟不晚于公元 5 世纪。密陀僧在唐代作为绘画颜料已很普遍,如,陕西乾县唐懿德太子墓壁画,敦煌莫高窟盛唐第 205 窟壁画中均发现有此颜料<sup>[11]</sup>。然而,密陀僧作为绘画颜料在新疆地区使用是较早的发现,且均是与铅丹混合使用,值得进一步探讨该颜料的重要性。

**2.2.6 绿色颜料** 图 8 为 nfy - 5 中绿色颜料的 Micro - Raman 图谱。样品在 509、817、911 和 976cm<sup>-1</sup>处有较强的吸收,它与文献[5,12]中氯铜矿[Atacamite, Cu<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>Cl]的拉曼特征峰位(510、819、910 和 974cm<sup>-1</sup>)完全吻合,据此可判定这里的绿色颜料为氯铜矿。以天然氯铜矿制作的绿色颜料,中西交流的物品,是中国古代壁画常用的颜料之一。“铜绿”的记载以新疆吐鲁番和敦煌莫高窟藏经洞文书记载为早<sup>[13,14]</sup>。早在公元三世纪,新疆克孜尔石窟壁画所用绿色颜料全是氯铜矿<sup>[9]</sup>。唐代以来,敦煌、新疆等石窟壁画所用绿色颜料主要是氯

铜矿<sup>[14]</sup>。显然,该结果符合新疆等西部地区在唐代时期绿色颜料的使用情况。

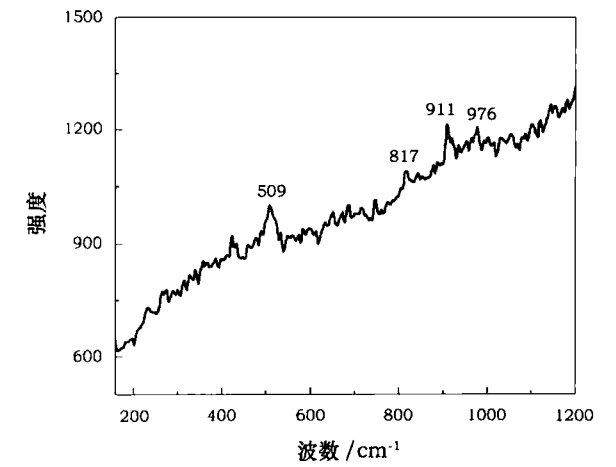


图 8 绿色颜料的显微拉曼光谱图  
Fig. 8 Micro - Raman spectra of the green

**2.2.7 蓝色染料** 图 9 为样品 mt - 1、nfy - 4 中蓝色彩绘的 Micro - Raman 图谱。图上的拉曼峰 548、600、1147、1315、1364、1460、1587、1628 和 1700cm<sup>-1</sup>与文献[7,8,15]中靛蓝(Indigo, C<sub>16</sub>H<sub>10</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)的拉曼特征峰(546、599、1191、1310、1363、1461、1584、1626 和 1701cm<sup>-1</sup>)颇为吻合,因此,确定蓝色染料为靛蓝。需要说明的是,由于样品 mt - 1 中的蓝色颜料层很薄,而其下层用硬石膏打底,故而在 1018cm<sup>-1</sup>拉曼峰处出现了 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的特征吸收峰。靛蓝是从蓝草,如菘蓝、蓼蓝、木蓝等植物中提取的一种天然植物染料。在我国,靛蓝使用的历史悠久,名句“青出于蓝而胜于蓝”源自《荀子·劝学》,这里的“蓝”,即提取靛蓝的蓝草,而“青”即靛蓝。

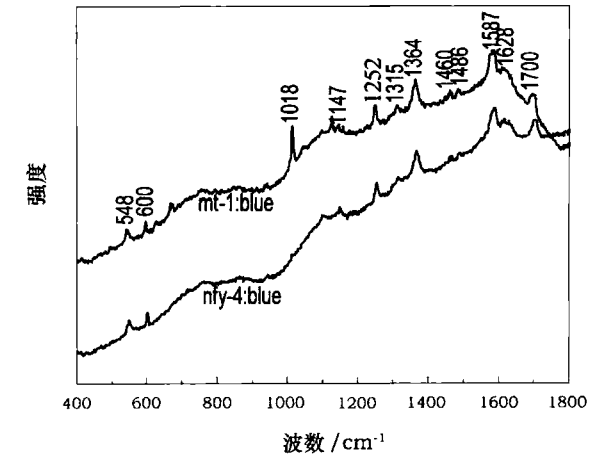


图 9 蓝色染料的显微拉曼光谱图  
Fig. 9 Micro - Raman spectra of the blue

靛蓝多用于纺织品的染色,如,我国新疆扎滚鲁克墓群出土西周时期的蓝色毛织品<sup>[16]</sup>,马王堆汉墓

出土的蓝色麻织物<sup>[17]</sup>,新疆山普拉墓群出土两汉时期的蓝色毛织品<sup>[18]</sup>,新疆营盘墓地出土魏晋时期的蓝色纺织品<sup>[19]</sup>等皆由靛蓝染成。至唐代,靛蓝在丝织品上的使用已十分普及,靛蓝与其它染料相结合,染出了各色精美的丝绸织品。然而,石窟壁画及彩塑的蓝色颜料通常皆为石青、青金石等无机颜料,使用靛蓝染色的极少。例如,我国早期石窟壁画的代表——新疆克孜尔石窟,其使用的蓝色颜料全部是青金石<sup>[9]</sup>。不过,20 世纪 30 年代,美国哈佛大学福格博物馆的 Gettens,分析华尔纳窃取的敦煌壁画时,曾发现敦煌壁画的蓝色颜料除蓝铜矿外,还有靛蓝<sup>[20,21]</sup>;据科学分析,除敦煌古代壁画,在绢画及彩塑颜料中也发现了靛蓝的使用<sup>[22-24]</sup>。尽管如此,仍不难认识到,靛蓝在新疆阿斯塔那泥塑彩绘中的使用,这一发现确具有十分重要的意义。

**2.2.8 阿斯塔那彩塑颜料的使用特点** 根据以往的研究,新疆克孜尔石窟唐代壁画彩塑颜料的使用特征为,红色颜料以朱砂和铅丹最为广泛,且黑色均为铅丹的变色产物  $PbO_2$ ;蓝色颜料全是青金石;绿色颜料均为氯铜矿;白色颜料和地仗层为石膏( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ )<sup>[9]</sup>。而敦煌莫高窟唐代绘画和彩塑颜料的特点为,红色颜料主要为朱砂,其次是铅丹,少量土红,较多地使用铅丹与朱砂或铅丹与土红的混合红色颜料;蓝色颜料主要为石青;绿色主要为石绿和氯铜矿;棕黑色也是铅丹的变色产物  $PbO_2$ ;白色颜料主要为方解石,其次是滑石和云母等<sup>[10]</sup>。因此,新疆阿斯塔那的唐代彩塑所用颜料与克孜尔石窟和敦煌莫高窟有较大区别,红色大量使用铅丹,且保存完好,未发现黑色颜料中有铅丹的变色产物,其中还出现了密陀僧的使用,较多地使用了铅丹(或铅丹和密陀僧)与硬石膏的混合粉色颜料;绿色颜料的使用与克孜尔石窟相同;特别的是蓝色彩绘均为有机靛蓝,极大地区别于克孜尔石窟和莫高窟的蓝色颜料使用情况;此外,硬石膏不仅大量地应用于白色颜料与地仗层,还与其它颜料混合使用。

### 3 结 论

本研究采用显微激光拉曼光谱技术、显微镜以及能量色散 X 射线荧光光谱技术,对阿斯塔那唐墓出土彩塑进行了科学分析,结果表明,彩塑制作工艺为先以硬石膏在泥胎表面打上白色底层,再施以彩绘。泥俑彩绘所用的颜料以矿物颜料为主,包括铅丹、密陀僧、朱砂和土红、雌黄、炭黑、石膏及氯铜矿,其多处粉色颜料由铅丹(或铅丹和密陀僧的混合物)与硬石膏混合而成,基本符合唐代颜料的使用

特征,并且密陀僧作为彩绘颜料在新疆地区是较早的发现。然而,蓝色彩绘为植物性有机染料靛蓝,这一发现颇为重要,值得深入探讨。

致谢:本次实验分析中得到了中国国家博物馆刘薇女士和张然先生的帮助,在此表示感谢!

### 参考文献:

- [1] 新疆维吾尔自治区博物馆. 新疆吐鲁番阿斯塔那北区墓葬发掘简报[J]. 文物, 1960, (6): 13-21.  
Museum of the Sinkiang Uighur Autonomous Region. Excavation of ancient tombs in the North of Astana in Turpan, Sinkiang[J]. Cult Relics, 1960, (6): 13-21.
- [2] 新疆维吾尔自治区博物馆. 吐鲁番县阿斯塔那-哈拉和卓古墓群清理报告[J]. 文物, 1972, (1): 8-29.  
Museum of the Sinkiang Uighur Autonomous Region. Excavation of ancient tombs at Astana and Karakhoja in Turpan[J]. Cult Relics, 1972, (1): 8-29.
- [3] 新疆维吾尔自治区博物馆. 吐鲁番县阿斯塔那-哈拉和卓古墓群发掘简报[J]. 文物, 1973, (10): 7-27.  
Museum of the Sinkiang Uighur Autonomous Region. Excavation of ancient tombs at Astana and Karakhoja in Turpan, Sinkiang 1963-1965[J]. Cult Relics, 1973, (10): 7-27.
- [4] 新疆维吾尔自治区博物馆, 西北大学历史系考古专业. 1973 年吐鲁番阿斯塔那古墓群发掘简报[J]. 文物, 1975, (7): 8-26.  
Museum of the Sinkiang Uighur Autonomous Region and Archaeology Section of History Department, Northwest University. Excavation of Ancient Tombs at Astana in Turpan, Sinkiang in the Autumn of 1973[J]. Cult Relics, 1975, (7): 8-26.
- [5] Lucia B, Robin J H C. Library of FT-Raman spectra of pigments, minerals, pigment media and varnishes, and supplement to existing library of Raman spectra of pigments with visible excitation [J]. Spectrochim Acta Part A, 2001, 57(7): 1495-1496.
- [6] Pérez-Alonso M, Castro K, Martínez-Arkarazo I, et al. Analysis of bulk and inorganic degradation products of stones, mortars and wall paintings by portable Raman microprobe spectroscopy [J]. Anal Bioanal Chem, 2004, 379(1): 42-50.
- [7] Susan B, Rory L, John F, et al. The examination of the Book of Kells using micro-Raman spectroscopy[J]. J Raman Spectr, 2009, 40(8): 1043-1049.
- [8] Chaplin T D, Clark R J H, Jacobs D, et al. The Gutenberg bibles: analysis of the illuminations and inks using raman spectroscopy [J]. Anal Chem, 2005, 77(11): 3611-3622.
- [9] 苏伯民, 李最雄, 马赞峰, 等. 克孜尔石窟壁画颜料研究[J]. 敦煌研究, 2000, (1): 65-75.  
SU Bo-min, LI Zui-xiong, MA Zan-feng, et al. Study on the wall-painting pigments of Kezier [J]. Dunhuang Res, 2000, (1): 65-75.
- [10] 李最雄. 敦煌莫高窟唐代绘画颜料分析研究[J]. 敦煌研究, 2002, (4): 11-18.  
LI Zui-xiong. Pigment analysis on tang dynasty murals at the Mogao Grottoes[J]. Dunhuang Res, 2002, (4): 11-18.

- [11] 王进玉. 密陀僧的早期发现和应用[C]//远望集——陕西省考古研究所华诞四十周年纪念文集, 下卷. 西安:陕西人民美术出版社, 1998: 843-848.
- WANG Jin-yu. Earlier discovery and usage of the Massicot[C]// Wait-and-see collections—The corpus for the 40th anniversary of the Institute of Archaeology in Shanxi Province, Vol. 2. Xian: Shanxi People's Fine Arts Publishing House, 1998: 843-848.
- [12] Castro K, Pessanha S, Proietti N, et al. Noninvasive and nondestructive NMR, Raman and XRF analysis of a Blaeu coloured map from the seventeenth century[J]. Anal Bioanal Chem, 2008, 391(1): 433-441.
- [13] 王进玉, 王进聪. 西北少数民族对铜绿颜料的应用与制造[C]//第四届中国少数民族科技史国际学术讨论会论文集. 广西民族学院学报(自然科学版), 1999, (增刊): 141-143.
- WANG Jin-yu, WANG Jin-cong. The application and production to the verdigris pigment in the northwest minority[C]// The Corpus of 4th International Symposium on Scientific History of Chinese Minority. J Guangxi Univ Nat (Nat Sci Ed), 1999, (suppl): 141-143.
- [14] 王进玉, 王进聪. 敦煌石窟中铜绿颜料的应用与来源研究[J]. 敦煌研究, 2002, (4): 23-28.
- WANG Jin-yu, WANG Jin-cong. Study on the application and source of the verdigris pigment in Dunhuang Grottoes[J]. Dunhuang Res, 2002, (4): 23-28.
- [15] Claude C, Gérard S, Pascale Gorguet-Ballesteros. Raman spectroscopic investigation of blue contemporary textiles [J]. J Raman Spectr, 1997, 28(2-3): 85-89.
- [16] 陈元生, 解玉林, 熊樱菲, 等. 新疆扎滚鲁克墓群出土的毛织品上蓝色染料的分析研究[C]//上海博物馆集刊, 2000, (8): 677-683.
- CHEN Yuan-sheng, XIE Yu-lin, XIONG Ying-fei, et al. The identification of blue-green dye on wool textiles from Zhagunluke tombs in Xinjiang [C]// Journal of Shanghai Museum, 2000, (8): 677-683.
- [17] 上海纺织科学研究院, 上海市丝绸工业公司文物研究组, 上海市丝绸工业公司. 长沙马王堆一号汉墓出土纺织品的研究[M]. 北京: 文物出版社, 1980: 85-88.
- Shanghai Textile Science Research Institute, The archaeological research group of the Shanghai Silk Industry Corporation and the Shanghai Silk Industry Corporation. A study of the textile fabrics unearthed from Han tomb No. 1 at Ma-Wang-Tui in Changsha [M]. Beijing: Cultural Relics Press, 1980: 85-88.
- [18] 陈元生, 解玉林, 熊樱菲, 等. 山普拉墓群出土毛织品上蓝色染料的分析研究[J]. 文物保护与考古科学, 2000, 12(1): 15-21.
- CHEN Yuan-sheng, XIE Yu-lin, XIONG Ying-fei, et al. The identification of blue-green dye on wool textiles from Shanpula tombs in Xinjiang [J]. Sci Conserv Archaeol, 2000, 12(1): 15-21.
- [19] LIU Jian, GUO Dan-hua, ZHOU Yang, et al. Identification of ancient textiles from Yingpan, Xinjiang, by multiple techniques [J]. J Archaeol Sci, 2011, 38(7): 1763-1770.
- [20] Warner L. Buddhist wall-Paintings, A study of a ninth-century grotto at Wan Fo Hsia [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1938: 9-11.
- [21] 罗瑟福·盖特斯著, 王进玉, 江致勤译. 中国颜料的初步研究报告[J]. 敦煌研究, 1987, (1): 98-103.
- Rutherford G e. d., WANG Jin-yu, JIANG Zhi-qin trans. Report of pilot study on pigment from China [J]. Dunhuang Res, 1987, (1): 98-103.
- [22] 王进玉. 漫步敦煌艺术科技画廊[M]. 北京: 科学普及出版社, 1989: 120-121.
- WANG Jin-yu. A ramble over the gallery of Arts and technology in Dunhuang [M]. Beijing: Popular Science Press, 1989: 120-121.
- [23] 王进玉. 敦煌石窟艺术与颜料化学[C]//吴嘉丽, 周湘华主编. 世界华人科学史学术研讨会论文集. 台北: 淡江大学历史学系、化学系, 2001: 75-85.
- WANG Jin-yu. Arts and pigments chemistry of Dunhuang Grottoes [C]// WU Jia-li, ZHOU Xiang-hua. The Corpus of Symposium of Overseas Chinese Scientific History. Taipei: Departments of History and Chemistry in Tamkang University. 2001: 75-85.
- [24] 王进玉主编. 敦煌石窟全集·科学技术画卷[M]. 香港: 商务印书馆(香港)有限公司, 2001: 175.
- WANG Jin-yu. The Dunhuang Grottoes Corpus · Volume of Technology [M], Hongkong: The Commercial Press (H. K.) Ltd., 2001: 175.

## Analysis of techniques and pigments used for colored clay sculptures excavated from the Tang Tomb at Astana, Xinjiang

ZHENG Hui - ping<sup>1,2,3</sup>, HE Qiu - ju<sup>4</sup>, YAO Shu - wen<sup>5</sup>, WANG Bo<sup>5</sup>, SONG Guo - ding<sup>1,2</sup>,

YANG Yi - min<sup>1,2</sup>, WANG Chang - sui<sup>1,2</sup>

(1. *Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Laboratory of Human Evolution, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044, China;*

2. *Department of Scientific History and Archaeometry, Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

3. *Shanghai Advanced Research Institute, Laboratory of Cultural History Conservation, the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201210, China;*

4. *Centre for the Conservation and Restoration of Cultural Heritage, Capital museum, Beijing 100045, China;*

5. *Museum of the Xinjiang Uighur Autonomous Region, Urumchi 830091, China)*

**Abstract:** The Astana graveyard is located in the Gobi Desert in the Turpan basin, Xinjiang, China, and is believed to have been the public cemetery for ancient Gaochang Country dating to a period between the Western - Jin and the mid - Tang Dynasty. Large amounts of clay sculptures with multicolored painted patterns, including warriors, horses, tigers, etc, have been unearthed from the graveyard. In order to illuminate the pigments and techniques used for the polychrome on the clay sculptures, micro - Raman spectroscopy analysis along with microscopy observation and EDXRF were used to analyze six clay figure shards selected from a Tang Dynasty tomb dated to A. D. 687 ~ 745. Cross - sectional observation revealed that the thickness of the pigment layer among samples varied and that in one case the white ground underlayer was anhydrite, which suggested the influence of mural painting tradition. Some pigments were identified, including red/orange (cinnabar, red lead or massicot), brown (haematite), yellow (orpiment), black (carbon black), white (anhydrite), green (atacamite) and pink (anhydrite + red lead or anhydrite + massicot/red lead). This appears to be the earlier report of the use of massicot as a pigment in Xinjiang. Furthermore, the blue pigment was identified as indigo, which is an essential discovery. These identified pigments reflect the diversity and complex palette of ancient peoples. The investigation of pigments and ground layers will provide reference for the restoration and conservation of these precious artworks.

**Key words:** Clay sculpture; Pigment; Micro - Raman spectroscopy; EDXRF

(责任编辑 潘小伦)