

文章编号:1005-1538(2018)01-0018-07

山西忻州九原岗北朝墓葬壁画颜料及颜色变化分析

石美风¹,任建光²,张秉坚³,黄继忠⁴,霍宝强¹

(1. 山西博物院文物保护中心,山西太原 030024; 2. 云冈石窟研究院,山西大同 037000;
3. 浙江大学化学系,浙江杭州 310027; 4. 山西省文物局,山西太原 030001)

摘要:出土彩绘文物在环境突发剧烈变化的情况下常有变色或褪色现象,影响文物的安全及其艺术展示。为了解山西忻州九原岗北朝墓葬壁画发掘出土后色彩的变化规律,跟踪监测了该墓葬壁画红色、黄色、蓝色和黑色绘画区域的色度及相应的表面水含量,同时对颜料进行拉曼光谱分析。研究表明:该墓葬壁画所用颜料红色为 HgS ,黄色为 $\text{FeO} \cdot \text{OH}$,蓝色为 $(\text{Na}, \text{Ca})_{7-8}(\text{Al}, \text{Si})_{12}(\text{O}, \text{S})_{24}[\text{SO}_4, \text{Cl}_2(\text{OH})_2]$,黑色为 C ;壁画出土后轻微的褪色现象主要与环境湿度有密切关系。新出土壁画表面湿度较高,颜色鲜艳。随着画面干燥,壁画表面含水量的降低导致颜色饱和度降低,壁画色彩变浅。盐结晶的析出以及颜料颗粒脱落导致画面色彩饱和度降低,也可能导致壁画色彩变浅。

关键词:色度;表面水含量;变色;盐结晶

中图分类号:K867.4 **文献标识码:**A

0 引言

九原岗墓葬群位于山西省忻州市东北处,其中于2013年春发现的北朝壁画墓是目前发掘出土的最大一座。该墓葬墓室壁画缺失严重,但墓道壁画保存完好,内容丰富、颜色艳丽,具有极高的艺术价值。经统计,该墓葬壁画的色彩有蓝色、红色、黄色、熟褐色、黑色、绿色、灰色、橙色和白色。其中,蓝色、红色和黄色的使用最为广泛。

以往的考古发掘中发现,某些彩绘文物刚出土时色彩艳丽如新,但一经暴露,在极短的时间内即迅速褪色或变色。九原岗北朝墓葬壁画在初期发掘过程中,现场工作人员发现,出土后的壁画颜色越来越暗淡,在视觉上明显的褪色现象。为详细了解壁画颜色的褪色原因,在随后的壁画发掘过程中,采用全自动色差计跟踪检测了壁画表面几种典型色彩的色度情况,并对壁画残块颜料进行了科学检测^[1]。

1 研究方法

1.1 色度检测

色差计以光的三原色为基础,根据CIE色空间的Lab原理,Hunter表色系统,通过测量标准样品与被测样品的明度指数差 ΔL 、色品指数差 Δa 、 Δb 和

色差 ΔE ,可以定量表示各种颜色,使颜色的表示更加准确、客观,常用于彩绘文物的保护和修复。CIE Lab均匀色空间由直角坐标 L^* 、 a^* 、 b^* 构成(图1)。 L^* 为垂直轴,代表明度,其值从底部0(黑)到顶部100(白); a^* 、 b^* 为水平轴, a^* 代表红绿轴上颜色的饱和度,其中 $-a^*$ 为绿, $+a^*$ 为红; b^* 代表蓝黄轴上颜色的饱和度,其中 $-b^*$ 为蓝, $+b^*$ 为黄。2个颜色之间的总色差 $\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ 。

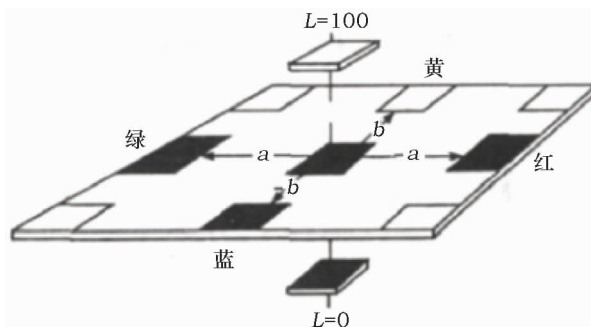


图1 色调的颜色空间模型

Fig. 1 The color space model of tonal range

1.1.1 仪器参数 国产SC-80C型显色差计,测量孔径:反射 $\phi 15\text{mm}$,灵敏度:近似于CIE1964等色函数,校正基准:国家基准白板校正板基准;重复精

收稿日期:2016-06-29;修回日期:2016-10-17

作者简介:石美风(1981—),女,2011年硕士毕业于复旦大学考古学及博物馆学系,山西博物院文物保护技术中心,从事石质、彩塑壁画类文物的保护研究工作,助理馆员,研究方向为文物保护,E-mail: fangfeirenjian@163.com

度: $\Delta Y \leq \pm 0.3$, $\Delta E \leq \pm 0.3$ 。

1.1.2 检测区域的确定 选择九原岗北朝墓葬刚出土的壁画上,色相明显、色调均匀、面积适合(检测区域满足仪器孔径 15mm)的图案显示为红色(图 2)、黄色(图 3)、蓝色(图 4)和黑色(图 5)的区域,进行这 4 种颜色的检测。在每个区域检测三个点



图 2 红色颜料
Fig. 2 Chrominance detection on the red



图 3 黄色颜料
Fig. 3 Chrominance detection on the yellow



图 4 蓝色颜料
Fig. 4 Chrominance detection on the blue



图 5 黑色颜料
Fig. 5 Chrominance detection on the black



图 6 壁画表面色度检测
Fig. 6 Chrominance detection on the mural



图 7 壁画表面水含量检测
Fig. 7 Water content test of the mural

1.3 颜料鉴定

法国 HoRIBA 公司生产的 XpLORA 共焦显微拉曼光谱仪:532nm 氩离子激光器,物镜为 50 ×;光斑尺寸为 1μm;光栅 1200;采用 5 × 10s 扫描频次。用钨针仔细挑取发掘过程中收集的壁画表面的颜料颗粒置于载玻片上,于激光拉曼光谱仪下进行激光扫描检测。

2 检测结果与讨论

2.1 各色彩区域色度检测

2.1.1 红色区域 对刚出土的壁画表面流云处(图 1)的红色颜料进行检测,结果如表 1。

表 1 红色颜料的色度检测结果
Table 1 Chrominance detection results of the red area

检测日期	检测时间	表面水含量	ΔE	L^*	a^*	b^*
2013 年 10 月 30 日	15:43	10.7	69.00	57.50	24.00	29.50
	15:53	10.6	67.59	57.30	22.00	28.00
	16:03	10.0	68.50	57.90	23.00	28.00
	16:23	9.6	69.00	58.70	23.00	27.00
	16:58	9.7	68.00	58.70	21.70	26.80
	17:20	9.5	68.00	58.60	22.00	26.90
2013 年 10 月 31 日	8:49	8.9	69.66	60.63	22.70	25.40
	9:58	9.0	68.86	59.43	21.00	27.00
	11:07	8.5	67.94	58.12	22.00	27.33
	11:59	7.7	67.42	57.78	21.00	27.00
	15:48	7.5	67.80	59.24	20.00	25.35
	16:45	7.6	68.14	59.81	20.00	25.51
2013 年 11 月 1 日	10:52	8.5	68.02	59.94	21.00	24.21
	12:07	8.7	68.38	60.28	21.00	24.17
2013 年 11 月 2 日	9:39	7.6	67.41	58.96	20.00	25.38
2014 年 11 月 27 日	—	4.0	65.76	58.44	14.59	22.42

以上数据显示,该处红色颜料刚出土时,表面水含量值达 10.7,而其色度情况 ΔE 值为 69, L^* 为 57.5, a^* 为 24, b^* 为 29.5;约 100min 后, ΔE 值降低 1 个单位, L^* 增加 1 个单位, a^* 降低 2 个单位, b^* 降低 3 个单位,其色度情况变化不明显;3 天后,该区域的表面水含量值降低至 7.6,与此同时,该区域的色彩也有明显的变化, ΔE 降低 1.5 个单位, L^* 增加 1.5 个单位, a^* 减少 4 个单位, b^* 减少 4 个单位;壁画干燥 1 年后,该区域表面含水量降低为 4.0, ΔE

降低约 3 个单位, L^* 增加约 1 个单位, a^* 减少 9 个单位, b^* 减少 7 个单位。

根据 CIE Lab 均匀色空间表色系统,在视觉上, ΔL 增加体现为颜色的明度增加,颜色由暗变亮; a^* 减小体现为红色减弱; b^* 减少体现为黄色减弱,蓝色增强; ΔE 降低体现为颜色色差减小。总体上,该区域红色在视觉上体现为变浅变淡。

2.1.2 黄色区域 对刚出土的壁画表面人物头冠(图 2)的黄色颜料进行检测,结果如表 2。

表 2 黄色颜料的色度检测结果
Table 2 Chrominance detection results of the yellow area

	检测时间	表面水含量	ΔE	L^*	a^*	b^*
2013 年 10 月 30 日	9:40	10.5	65.92	52.68	11.3	37.75
	10:05	10.6	69.63	54.76	11.7	41.25
	11:02	11.6	68.71	54.34	10.7	40.51
	11:52	11.7	69.90	55.17	10.7	41.44
	14:16	11.4	68.68	56.46	12.7	36.77
	15:53	9.8	68.88	55.69	10.7	38.92
	16:51	10.2	68.55	56.69	10.0	37.03
2013 年 10 月 31 日	9:20	10.6	67.19	56.84	11.7	33.68
	11:00	10.2	68.09	57.86	11.3	33.83
2013 年 11 月 1 日	11:57	10.3	68.12	58.10	12.0	33.33
2013 年 11 月 2 日	9:50	10.6	67.78	58.18	10.1	33.32
2014 年 11 月 27 日	—	5.1	61.96	55.10	10.88	34.90

以上数据显示,该处黄色颜料刚出土时表面水含量值达 10.5,而其色度情况 ΔE 值为 65.92, L^* 为 52.68, a^* 为 11.3, b^* 为 37.75;20min 后, ΔE 值增加 3.7 个单位, L^* 增加 2 个单位, a^* 增加 0.4 个单位, b^* 增加 3.5 个单位,颜色有明显的变化;3 天后,

ΔE 值增加 1.9 个单位, L^* 增加 5.5 个单位, a^* 增加 1.2 个单位, b^* 增加 4.4 个单位,颜色有明显的变化;1 年以后,该区域表面水含量值降低为 5.1, ΔE 降低 3.96 个单位, L^* 降低 2.4 个单位, a^* 减少 0.5 个单位, b^* 减少 2.85 个单位。

根据 CIE Lab 均匀色空间表色系统,对于黄色区域的色彩变化情况,在视觉上, ΔL 增加体现为颜色由暗变亮, b^* 减少体现为黄色减弱, a^* 减少体现为红色减弱。 ΔE 降低体现为颜色色差减小。总体上,该区域黄色在视觉上体现为变浅变淡。

2.1.3 蓝色区域 对刚出土的壁画表面水波纹蓝色(图 3)的蓝色颜料进行检测,结果如表 3。

表 3 蓝色颜料的色度检测结果
Table 3 Chrominance detection results of the blue area

日期	检测时间	表面水含量	ΔE	L^*	a^*	b^*
2013 年 10 月 31 日	9:40	10.7	64.67	63.75	1.40	10.74
	10:02	11.1	63.72	62.74	1.21	10.85
	11:00	10.2	64.67	63.61	1.22	11.57
	11:51	10.1	65.25	64.53	0.25	9.35
	14:13	10.0	67.08	66.23	2.43	10.30
	14:49	9.2	66.05	65.42	0.15	9.01
	16:49	8.8	66.15	65.26	0.79	10.51
2013 年 11 月 1 日	9:18	10.3	66.52	65.90	1.93	8.90
	10:54	9.9	66.36	65.62	1.79	9.49
	11:50	9.5	66.57	65.82	2.33	9.60
2013 年 11 月 2 日	—	9.7	66.29	65.84	0.24	7.62
2014 年 11 月 27 日	—	4.7	67.40	66.10	2.37	6.93

以上检测结果显示,对于九原岗壁画表面的该处蓝色颜料,刚出土时,该区域较为潮湿,表面水含量值达 10.7,而其色度情况 ΔE 值为 64.67, L^* 为 63.75, a^* 为 1.4, b^* 为 10.74;20min 后,色度变化不明显。

经过约 3 天的画面干燥,该区域的表面水含量值为 9.7,而其色度情况 ΔE 值为 66.29, L^* 为 65.84, a^* 为 0.24, b^* 为 7.62。可见,壁画出土 3 天后,该区域的表面含水量减少 1 个单位。与此同时,该区域的色彩也有明显的变化, ΔE 增加 1.6 个单位, L^* 增加 2 个单位, a^* 减少 1 个单位, b^* 减少 3 个单位。

1 年后,该处表面含水量值为 4.7,较刚出土时, ΔE 增加 2.7 个单位, L^* 增加 2.3 个单位, a^* 增加 1 个单位, b^* 减少 3.8 个单位。根据 CIE Lab 均匀色空间表色系统,对于蓝色区域的色彩变化情况,在视觉上, L^* 增加体现为颜色由暗变亮, b^* 减小体现为蓝色加深。综合以上参数变化,该区域的蓝色,色彩由暗蓝色变划为亮蓝色,视觉上应体现为颜色变艳丽。

2.1.4 黑色区域 对刚出土的壁画表面马鞍带饰(图 5)黑色颜料进行检测,结果如表 4。

表 4 黑色颜料的色度检测结果
Table 4 Chrominance detection results of the black area

	检测时间	表面水含量	ΔE	L^*	a^*	b^*
2013 年 10 月 30 日	17:00	14.13	38.73	35.96	0.09	14.34
	17:30	13.20	39.20	36.13	-2.40	14.90
2013 年 10 月 31 日	8:58	12.01	39.88	37.67	4.50	12.14
	10:14	10.55	34.67	32.01	-3.00	12.94
	11:17	10.83	36.98	33.61	-1.33	15.27
	12:00	10.75	36.62	32.68	-4.60	15.86
	16:03	9.37	38.54	36.39	-3.13	12.26
	17:02	9.95	41.63	39.57	-2.50	12.60
2013 年 11 月 1 日	11:35	10.03	39.25	38.48	1.40	7.62
2013 年 11 月 2 日	9:45	9.37	40.73	38.98	-2.70	11.50
2014 年 11 月 27 日	—	4.60	45.47	38.57	1.74	13.40

以上检测结果显示,对于九原岗壁画表面的该处黑色颜料刚出土时,该区域较为潮湿,表面水含量值达 14.13,而其色度情况 ΔE 值为 38.73, L^* 为 35.96, a^* 为 0.09, b^* 为 14.34;经过约 3 天的画面干燥,该区域的表面水含量值为 9.37,而其色度情况 ΔE 值为 40.73, L^* 为 38.98, a^* 为 -2.7, b^* 为

11.50。可见,壁画出土 3 天后,该区域的表面水含量值减少 4 个单位。与此同时,该区域的色彩也有明显的变化, ΔE 增加 2 个单位, L^* 增加 3 个单位, a^* 减少 3 个单位, b^* 减少 3 个单位。一年后, ΔE 增加 6.7 个单位, L^* 增加 2.6 个单位, a^* 增加 1.65 个单位, b^* 减少 1 个单位。根据 CIE Lab 均匀色空间表色系统,对于黑色区域的色彩变化情况,以 ΔE 、 L^* 的变化为参考点,该区域的黑色在视觉上的表现为颜色变亮。

对壁画表面各种色彩区域的颜色检测结果显示,九原岗北朝墓葬壁画刚出土时的色彩与 3 天后的色彩有明显的不同,其红色、黄色、蓝色和黑色的 ΔE 值均超过 1.5 的变化量,达到人眼可识别的范围^[2]。同时,随着壁画的干燥, ΔE 的变化更加明显,1 年后壁画基本干燥后,各区域的颜色明显较刚出土变浅。在跟踪监测过程中,湿度的反复变化与当天天气阴晴状况有密切的关系。

2.2 颜料矿物鉴定

采用显微激光拉曼光谱对九原岗北朝墓葬壁画

残块表面的红、黄、蓝、黑颜料进行激光拉曼原位分析。

2.2.1 红色颜料 红色颜料的 Raman 谱图(图 8)中的拉曼峰 254.5cm^{-1} 、 289.5cm^{-1} 、 345.5cm^{-1} 与标准谱库中朱砂的特征峰 (253cm^{-1} 、 284cm^{-1} 、 343cm^{-1}) 基本吻合,可知该红色颜料是朱砂。

2.2.2 黄色颜料 黄色颜料的 Raman 谱图(图 9),其主要峰位置为: 290cm^{-1} 、 377cm^{-1} 、 469cm^{-1} 、 545cm^{-1} 、 676cm^{-1} ,与标准图谱中针铁矿 ($\text{FeO} \cdot \text{OH}$) 的峰位置相对应,可知该黄色颜料为针铁矿。

2.2.3 蓝色颜料 蓝色颜料的 Raman 谱图(图 10),其主要谱峰位置为: 244.5cm^{-1} 、 535.6cm^{-1} 、 803cm^{-1} 、 1086.7cm^{-1} 、 1634cm^{-1} ,与标准图谱中青金石 ($(\text{Na},\text{Ca})_{7-8}(\text{Al},\text{Si})_{12}(\text{O},\text{S})_{24}[\text{SO}_4,\text{Cl}_2(\text{OH})_2]$) 的峰位置相对应,可知该蓝色颜料为青金石。

2.2.4 黑色颜料 黑色颜料的 Raman 谱图(图 11),其主要谱峰位置为: 1324cm^{-1} 、 1614cm^{-1} ,于标准图谱中碳(C) 峰的位置相对应,可知该黑色颜料是炭黑。

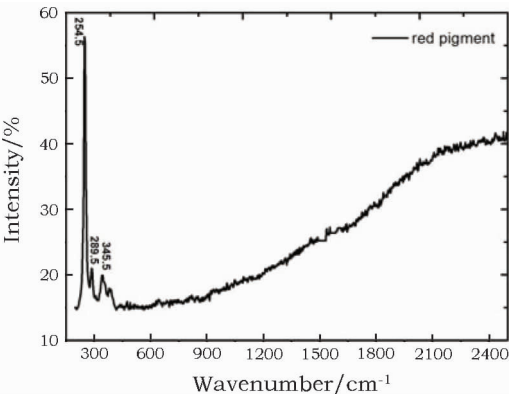


图 8 红色颜料的 Raman 谱图
Fig. 8 Micro - Raman spectra of the red

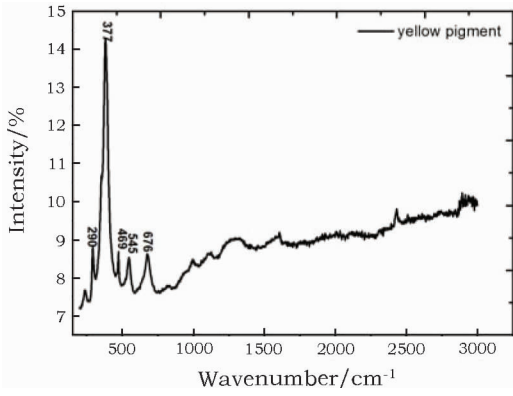


图 9 黄色颜料的 Raman 谱图
Fig. 9 Micro - Raman spectra of the yellow

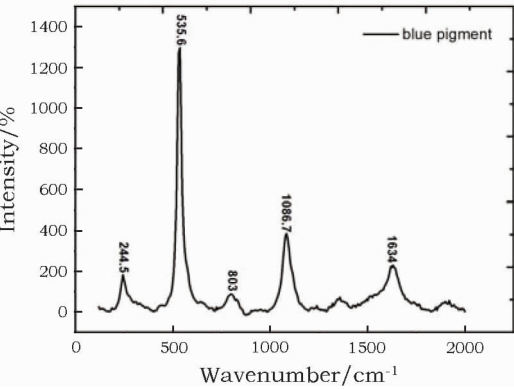


图 10 蓝色颜料的 Raman 谱图
Fig. 10 Micro - Raman spectra of the blue

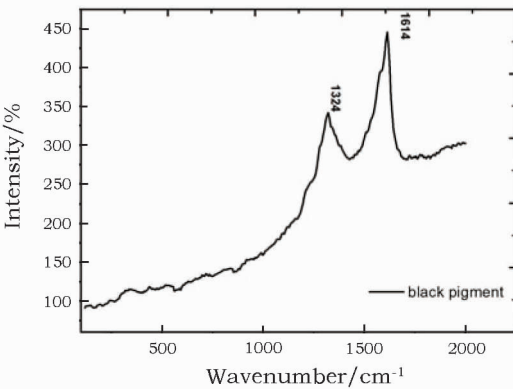


图 11 黑色颜料的 Raman 谱图
Fig. 11 Micro - Raman spectra of the black

检测结果显示,九原岗北朝墓葬壁画采用了红色的朱砂、黑色的炭黑、蓝色的青金石、黄色的针铁矿等性质稳定的矿物颜料进行壁画彩绘。此类颜料在自然条件下不易变色、褪色,可以持久保持鲜艳的色泽。壁画颜料褪色主要受到环境因素的影响^[3,4]。光辐射、高湿度和空气污染物中的酸性气体等是颜料褪色的主要因素^[5]。九原岗北朝墓葬壁画保存于彩钢结构防护棚内(图 12),受到环境中光照的影响较小。此外,该墓葬处于忻州地区野外自然环境中,当地空气质量较好,远离工业区,空气污染物中酸性气体的影响较小,故壁画



图 12 九原岗北朝壁画墓墓道及防护棚

Fig. 12 Protective casing of the mural tomb

壁画在干燥过程中,壁画地仗层内的可溶性盐结晶逐渐向画面迁移(图 14),最后聚集在壁画表面,进一步降低了画面色彩的饱和度。

此外,在水分的蒸发过程中,可溶性盐结晶体积膨胀或收缩;壁画在保存环境中,表面温度变化

在出土初期的色彩变化主要受到环境湿度的影响。

经检测,在进行壁画发掘保护的过程中 3 个月中,九原岗北朝墓葬壁画防护棚内的湿度始终高达 75% 以上(图 13)。高湿度的壁画保存环境导致壁画表面水含量极大。表面水含量检测结果显示,新出土壁画表面的水含量值达 10.5 以上,干燥约半个月后,湿度最低可降至 4.0 左右。而随着壁画表面水含量的降低,各种颜色的 ΔE 也有较大的变化,体现在壁画色彩的显示上,可以达到人眼可以明显识别颜色变化的程度。



图 13 墓道东壁中端温湿度监测

Fig. 13 Temperature and humidity testing on the east side of the tomb passage

导致颜料层材料热胀冷缩,颜料胶结材料老化,均可能导致颜料颗粒脱落^[6],最终导致壁画色彩饱和度降低^[7],也可能会导致壁画色彩在视觉上变浅。总体上,壁画湿度降低从根本上导致壁画色彩变浅。



A 区域为壁画脱盐后; B 区域为脱盐前

图 14 壁画表面盐结晶

Fig. 14 Salt crystals on the mural

3 结 论

忻州九原岗北朝墓葬壁画采用中国古代传统矿物颜料进行绘制,此类颜料在埋藏环境中性质稳定,不易变色、褪色。出土后壁画画面色彩的变化,主要是壁画表面湿度的变化所致。新出土的壁画,由于长期处于埋藏于土壤环境中,表面潮湿,水分的作用导致矿物颜料对光的反射增强,从而显示出较为鲜艳的色彩。壁画出土后,随着画面的干燥,壁画表面水含量降低,颜料对光线的反射减弱,色彩变浅。

参考文献:

- [1] 胡可佳,白崇斌,马琳燕,等. 陕西安康紫阳北五省会馆壁画颜料分析研究[J]. 文物保护与考古科学,2013,25(4):65-72.
HU Ke-jia, BAI Chong-bin, MA Lin-yan, et al. A study on the pigments on murals of the five Northern Province Assembly Hall in AnKang[J]. Sciences of Conservation and Archaeology,2013,25(4):65-72.
- [2] 田金英,王春蕾,王允丽,等. 古建筑油饰表面防紫外线涂料的功效试验研究[J]. 文物科技研究,2004,16(2):136-145.
TIAN Jin-ying, WANG Chun-lei, WANG Yun-li, et al. The functional experiment & research of the Ultraviolet-radiation Prevention Coatings for the surface of priming paint of ancient architectures[J]. Scientific and technological research on cultural Herit-
- age,2004,16(2):136-145.
- [3] 郭宏,韩汝芬,赵静. 广西花山岩画颜料及其褪色病害的防治对策[J]. 文物保护与考古科学,2005,17(4):7-14.
GUO Hong, HAN Ru-bin, ZHAO Jing. Pigment and the prevention of its fading on Petroglyphs of the Flower mountain[J]. Sciences of Conservation and Archaeology,2005,17(4):7-14.
- [4] 李最雄. 光和湿度对土红、朱砂和铅丹变色的影响[J]. 敦煌研究,1989(3):80-93.
LI Zui-xiong. Effects of light and humidity on red earth, cinnabar, red lead[J]. DunHuang Research,1989(3):80-93.
- [5] 孙延忠,王志良. 广西花山岩画颜料脱落和褪色原因分析[J]. 文物保护与考古科学,2011,23(2):13-17.
SUN Yan-zhong, WANG zhi-liang. Analysis of the flaking and fading of pigments in the Huashan rock-painting[J]. Sciences of Conservation and Archaeology,2011,23(2):13-17.
- [6] 郑利平,王丽琴,李库,等. 汉阳陵彩绘陶俑颜料成分分析及其病因探讨[J]. 考古与文物,2000,12(3):81-84.
ZHENG li-ping, WANG li-qin, LI Ku, et al. Analysis on the paint layer of the terra-cotta figures from the Han Yangling. Archaeology and cultural relics,2000,12(3):81-84.
- [7] 孙延忠,王志良,魏书亚. 广西宁明花山岩画颜料胶结材料分析研究[J]. 文物保护与考古科学,2012,24(2):38-43.
SUN Yan-zhong, WANG Zhong-liang, WEI Shu-ya. Analyses of the pigment binding media in the rock painting of the Huashan Mountain,China[J]. Sciences of Conservation and Archaeology,2012,24(2):38-43.

Studies on the color changes and pigments of the tomb murals of the Northern Dynasties in Jiuyuangang, Shanxi

SHI Mei-feng¹, REN Jian-guang², ZHANG bing-jian³, HUANG Ji-zhong⁴, HUO Bao-qiang¹

(1. Cultural Relics Protection Center of Shanxi Museum, Taiyuan 030024, China; 2. Yungang Grottoes Institute, Datong 037000, China; 3. Department of Chemistry, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 4. Shanxi Culture Relics Bureau, Taiyuan 030001, China)

Abstract: Newly excavated colored cultural relics often suffer color fading or changes when their environments change suddenly, which affects both their safety and artistic qualities. In order to study the various factors that affect tomb murals after they are exposed to the external environment, site monitoring was conducted to measure chromatic aberration and surface water content in the tombs. Identical red, yellow, blue and black colored areas of the tomb murals were studied. The results show that the color change is closely related to the surface water content. The micro-Raman spectrum results show the red pigment is HgS, the yellow is α -FeOOH, the blue is $(\text{Na}, \text{Ca})_{7-8}(\text{Al}, \text{Si})_{12}(\text{O}, \text{S})_{24}\text{SO}_4$ and the black is C. We found that the color change of the tomb murals was caused by the water: during the early excavation stage, the humidity of the murals was high and the colors were bright; but with the drying of the murals, the color saturation degraded and the murals became lighter in color. At the same time, migration of salts onto the surface also caused the murals to become paler in color.

Key words: Chromatic aberration; Water content; Color fading; Salt crystal

(责任编辑 潘小伦)