

敦煌莫高窟唐代绘画颜料分析研究

李最雄

(敦煌研究院, 甘肃 敦煌 736200)

内容摘要:本文通过现场调查和大量绘画颜料试样分析,介绍了敦煌莫高窟唐代壁画彩塑颜料的分析结果。又与莫高窟早期及新疆克孜尔石窟绘画颜料对比研究,论述了莫高窟唐代绘画颜料的特征及应用规律。同时,通过大量的模拟试验和对壁画变色颜料试样的分析,研究了莫高窟壁画颜料的稳定性,特别研究了铅丹的变色机理。最后还论述了防止壁画颜料变色的问题。

关键词:莫高窟;唐代;绘画颜料

中图分类号:K854.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-4106(2002)04-00011-08

莫高窟现存唐代洞窟 282 个,其中初唐洞窟 47 个,盛唐洞窟 97 个,中唐洞窟 56 个,晚唐洞窟 70 个,另外 12 个洞窟年代不明。

唐代是我国历史上封建社会经济、政治、文化发展的高峰,莫高窟唐代时期的壁画和彩塑,在现存的有壁画的 492 个洞窟中居有突出的地位,数量多,延续时间长(近 300 年),艺术水平高,可以称作莫高窟艺术史上的黄金时代。

一 壁画彩塑颜料分析

20 多年来,我们分析了敦煌莫高窟各个时代的 100 多个洞窟中的不同颜色的壁画及彩塑颜料试样约 600 个。从分析结果中可以看出,敦煌莫高窟各个时期洞窟中的壁画和彩塑颜料,具有明显的规律和特点^{[1][2]}。依这种规律

和特点,把莫高窟壁画和彩塑颜料划分为三期:即早期,包括十六国、北魏、西魏和北周;中期,包括隋、唐(初、盛、中、晚唐)和五代;晚期,包括西夏、宋代、元代和清代。各个时期壁画和彩塑颜料分析结果如表 1。

为了研究莫高窟唐代绘画颜料的特点,我们在此再将莫高窟唐代壁画彩塑颜料分析结果另列表 2,并与新疆克孜尔石窟壁画颜料的分析结果稍做对比。

新疆克孜尔石窟是我国早期石窟的代表,遗存洞窟 236 个,但大都残破,较完整的洞窟 74 个,保存壁画约 10,000 多平方米。克孜尔石窟分为四期:第一期为东汉后期,第二期为西晋时期,第三期为南北朝到隋代,第四期为唐宋时期。

收稿日期:2002-05-06

作者简介:李最雄(1941~),男,甘肃省兰州市人,1964 年毕业于西北师范大学化学系,1991 年获日本东京艺术大学保存科学博士学位。现任敦煌研究院副院长、研究员,中国文物保护技术协会副理事长,国际岩石力学学会遗址保护专业委员会委员。

表 1 敦煌莫高窟壁画彩塑颜料分析结果

时期	朝代	颜 料	含 量
早期	十六国北魏西北周	红 色	大量为土红,极少量是朱砂,朱砂+铅丹极少量,土红+铅丹极少量
		蓝 色	大量为为青金石,少量是石青
		绿 色	大量为氯铜矿,少量是石绿
		棕黑色	主要为 PbO ₂ ,其次是 PbO ₂ +Pb ₃ O ₄
		白 色	主要为高岭土,其次是滑石,少量是方解石、云母和石膏
中期	隋代初盛唐中晚五代	红 色	主要为朱砂,其次是铅丹,少量是土红、朱砂+铅丹、土红+铅丹
		蓝 色	主要为石青和青金石
		绿 色	主要为石绿,其次是氯铜矿
		棕黑色	大量为 PbO ₂ ,极少量是 PbO ₂ +Pb ₃ O ₄
		白 色	主要为方解石,其次是滑石、高岭土、云母、石膏,极少量是氯铅矿和硫酸铅矿
晚期	西夏宋代元代清	红 色	主要为土红,其次是土红+铅丹、朱砂+铅丹,少量是雄黄+铅丹
		蓝 色	主要为群青(人造青金石),少量是石青
		绿 色	绝大量为氯铜矿
		棕黑色	主要为 PbO ₂ ,少量是 PbO ₂ +Pb ₃ O ₄ ,极少量是铁黑
		白 色	主要为石膏,其次是方解石,少量是滑石、云母、氯铅矿和硫酸钙镁石

注:清代在莫高窟无新开凿洞窟,只对前期洞窟中的彩塑进行了重塑、重绘。

表 2 敦煌莫高窟唐代壁画彩塑颜料分析结果

时期	颜 料	含 量
初唐	红 色	主要为朱砂,少量铅丹
	蓝 色	主要为石青,其次石青+石绿、石青+氯铜矿
	绿 色	主要为石绿,其次石绿+石青、石绿+氯铜矿
	棕黑色	大量为 PbO ₂ ,少量 PbO ₂ +铅丹
	白 色	主要为方解石,其次是滑石、石英、云母
盛唐	红 色	主要为朱砂,少量朱砂+铅丹
	蓝 色	主要为石青,少量(+角铅矿)
	绿 色	主要为绿铜矿,其次石绿+氯铜矿
	棕黑色	主要为 PbO ₂
	白 色	主要为分解石,其次滑石、云母
中唐	红 色	主要为朱砂,少量土红、土红+铅丹
	蓝 色	主要为石青,少量青金石
	绿 色	主要氯铜矿,少量石绿+氯铜矿
	棕黑色	主要为 PbO ₂
	白 色	主要为方解石+滑石,少量云母
晚唐	红 色	主要为土红
	蓝 色	大量为青金石,其次为石青+氯铜矿
	绿 色	大量为石绿,其次为石绿+氯铜矿
	棕黑色	大量为 PbO ₂ ,少量 PbO ₂ +铅丹
	白 色	大量为滑石,其次为解石、石膏、云母

克孜尔石窟壁画使用的红色颜料以朱砂和铅丹最为广泛,而铅丹绝大部分已变色。敦煌莫高窟,特别是早期壁画中,大量使用的红色颜料土红,克孜尔石窟壁画使用很少。克孜尔石窟壁画中的蓝色颜料全是青金石,但敦煌莫高窟壁画中没有发现大量使用石青。克孜尔石窟壁画中的绿色颜料也全是氯铜矿,敦煌壁画中没有发现大量使用石绿。克孜尔石窟壁画中的棕黑色颜料绝大部分是 PbO_2 , 少量 $\text{PbO}_2 + \text{Pb}_3\text{O}_4$, 这和莫高窟壁画中的棕黑色颜料相同。白色颜料主要是石膏^[3]。

二 莫高窟唐代壁画彩塑 颜料特征及应用规律

2.1 红色颜料

莫高窟唐代壁画和彩塑的红色颜料,在初唐、盛唐和中唐时期,都以朱砂为主。但是,从初唐到中唐,铅丹的应用逐渐增多,初唐时期铅丹的使用非常少,盛唐、中唐时期,铅丹的使用明显增多,而且较多地使用了铅丹和朱砂、铅丹和土红的混合红色颜料。晚唐时期,壁画彩塑的红色颜料又以土红为主。土红是莫高窟壁画及彩塑的红色颜料中应用最多、最普遍的一种,差不多每个时期的壁画和彩塑都大量使用了土红。特别在早期洞窟的壁画彩塑中,即十六国、北魏、西魏和北周,使用土红更多、更普遍。到了唐代,随着朱砂和铅丹的大量应用,土红应用越来越少。到了晚唐,土红的应用又多起来。这一方面说明,当时土红已经从河西地区出产的赤铁矿中大量制得;另一方面说明,唐代经济高度发展,绘画艺术发展到了光辉灿烂的时期,颜料的应用更为丰富。

莫高窟唐代壁画、彩塑富丽堂皇,其原因是大量使用红色颜料中色泽艳丽的朱砂和铅丹。这与莫高窟早期壁画中大量应用土红不一样,因早期朱砂很稀少,非常昂贵不易得到,这与克孜尔石窟不同。克孜尔石窟,不论早期、中期或晚期的壁画中,使用土红很少,始终以朱砂和铅丹为主。这进一步说明土红是敦煌本地出产的颜料,不是从中亚传入的。新疆克孜尔地区可

能不出产土红,因此,一直使用从中亚传入的朱砂和铅丹。到了中、晚期,朱砂在中原地区有了较多的生产,价格也较便宜,因此就开始大量应用。这一点从莫高窟与克孜尔石窟壁画颜料的对比研究中看得非常明显,克孜尔石窟早于敦煌莫高窟,印度的石窟又早于克孜尔石窟,佛教的传入是从印度到新疆,再从新疆到敦煌的。朱砂和铅丹从克孜尔石窟早期的壁画中就开始大量应用。因此,敦煌莫高窟早期壁画中的朱砂和铅丹应该是从印度、阿富汗等中亚国家传入新疆,再传入敦煌。

铅丹在敦煌莫高窟特别是唐代和新疆克孜尔石窟的早、中、晚期壁画中应用都较多,而且绝大部分的铅丹都已变成棕黑色的二氧化铅(PbO_2)。同时对莫高窟和克孜尔石窟不同时期大量的黑色颜料 X 射线衍射分析及颜料层的横切面(Cross-Section)分析,充分证明棕黑色 PbO_2 是橘红色 Pb_3O_4 的变色产物。因为在棕黑色颜料中,都能或多或少地找到下层未变色的铅丹。有人推测棕色 PbO_2 是铅白的变色产物,这是无根据的,因为在莫高窟和克孜尔石窟的壁画颜料中,既没有在白色颜料中找到铅白,也没有在棕黑色颜料的下层找到未变色的铅白。

2.2 蓝色颜料

莫高窟壁画、彩塑的蓝色颜料,早期以青金石为主,到了中期随着石青的应用,青金石逐渐减少,这个时期蓝色颜料总的是以石青为主。到了晚期又开始大量使用群青(人造青金石)。可是,克孜尔石窟的壁画中,每个时期全都使用青金石,这就明显地看出,敦煌莫高窟壁画中的天然青金石是从阿富汗、印度等国传入新疆,再传入敦煌的。另外,据有关资料证明,中国还未发现青金石产地的记载。唐代莫高窟壁画彩塑中的蓝色颜料,基本全是石青,少量是青金石,偶尔在石青中掺加少量石绿、氯铜矿或青金石。石青可能出产于敦煌附近的祁连山一带(即蓝铜矿)。当时,可能是河西地区的祁连山一带找到了制造石青的蓝铜矿,也可能中原生产的石青颜料传入了敦煌,逐渐代替了昂贵的天然青金石。到了晚期的西夏、宋、元代时,青金石在壁画中应用非常少,仍以石青为主。到清代,全

部采用群青,这时已经能人工制造大量的群青,价格也非常低廉,因此群青就开始广泛使用。这个时期的壁画中,再也找不到昂贵的天然青金石了。

2.3 绿色颜料

敦煌莫高窟壁画中的绿色颜料,早期以氯铜矿为主,少量石绿。初唐时期,绿色颜料以石绿为主,到了盛唐、中唐时期,又以氯铜矿为主,但是,晚唐又以石绿为主。克孜尔石窟壁画中的绿色颜料,每个时期全都是氯铜矿。这说明敦煌莫高窟壁画中的绿色颜料中的氯铜矿,早期也是从阿富汗等国传入新疆,再传入敦煌的。到了唐代,氯铜矿可能在敦煌地区已有生产,也可能继续由上述地区继续传入。可是,到了唐代,可能已经用河西祁连山一带出产的孔雀石生产石绿,也可能从中原传入石绿,所以这个时期莫高窟的壁画中氯铜矿和石绿应用都很普遍。

2.4 棕黑色颜料和白色颜料

莫高窟壁画彩塑中的棕色颜料,在早期、中期和唐代,全是二氧化铅。到了晚期,也几乎全是二氧化铅,但在清代第 321 窟龕内发现了极少量的铁黑(Fe_3O_4)。克孜尔石窟壁画中的棕黑色颜料,每个时期也全是棕黑色的二氧化铅,这就说明在中国古代石窟的壁画、彩塑中,普遍应用了铅丹。铅丹易变色,因此莫高窟和克孜尔石窟各个时期壁画、彩塑中的橘红色铅丹已完全变成棕黑色的二氧化铅。莫高窟壁画、彩塑中,还未发现真正的棕黑色颜料,而全是铅丹的变色产物 PbO_2 ,只有极少量的铁黑。莫高窟和克孜尔石窟壁画、彩塑的白色颜料种类很多,但基本以高岭土、方解石、石膏为主,另外还有滑石、云母和极少量的氯铅矿,硫酸铅矿和硫酸钙镁石等。只不过莫高窟早期壁画、彩塑的白色颜料以高岭土为主,唐代以方解石为主,晚期以石膏为主。克孜尔石窟中的白色颜料,各个时期基本以石膏为主,其次是方解石和石英,其主要原因是白色颜料矿物到处都有生产,同时易加工,估计是就地取材。

三 壁画彩塑颜料的稳定性

经过大量的分析研究证明,敦煌壁画、彩塑的颜料大都是无机矿物颜料,而且大都为天然矿物颜料,如红色颜料中的朱砂、土红,蓝色颜料中的青金石、石青,绿色颜料中的石绿、氯铜矿(包括天然生成的铜锈),白色颜料中的高岭土、方解石和石膏等,黑色颜料中的铁黑。一部分无机颜料是人工制造的,如用炼丹术(铅氧化)制成的铅丹、人工合成的群青等。据有关报道,中国古代石窟壁画和彩塑的颜料中有极少量的植物性的有机颜料,如红色颜料胭脂,黄色颜料藤黄等,随着分析方法的改进和仪器精度的提高,这方面的研究工作正着手进行。

天然矿物颜料,在通常条件下都比较稳定,因此敦煌莫高窟的壁画、彩塑中的红色颜料土红、朱砂,蓝色颜料青金石、石青,绿色颜料石绿、氯铜矿、白色颜料高岭土、方解石、石膏等,在历经千百年沧桑后基本未变色。朱砂有不同程度的变暗,色彩及明亮度不如原来艳丽,但色相未变。人造的矿物颜料群青也比较稳定,唯独人造无机颜料铅丹发生严重变色。

3.1 红色颜料的稳定性

敦煌莫高窟壁画、彩塑中的红色颜料主要有三种,即土红、朱砂和铅丹。经大量的现场调查和室内实验研究证明,这三种红色颜料最稳定的是土红,其次是朱砂,最不稳定、易变色的是铅丹^{[4][5][6]}。

模拟莫高窟壁画制作材料和结构,制作这三种颜料的壁画试样,置于不同的湿度条件下,进行模拟光照变色实验。结果表明:土红是最稳定的一种红色颜料,不论是高湿度条件下,还是特别干燥条件或光照下,照度 1500lux 的荧光光源照射 210 天后,几乎看不出任何变化。在分光谱图中,土红以照射 210 天后的谱线和未照射试样的谱线几乎重叠在一起(图 1)。从它的化学特性也可以预料到这一点。过去对莫高窟壁画颜料的分析研究和现场调查的结果也是这样,莫高窟各个时期洞窟中的土红,即使处在不同环境,如黑暗潮湿洞窟壁画中的土红和露

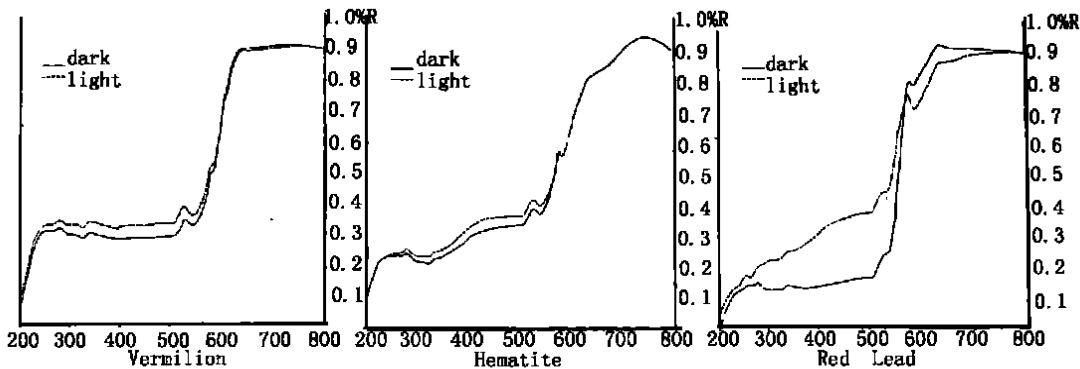


图 1 朱砂、铁红、铅丹在 RH90%、光照 210 天后的份光谱图

天常年曝晒壁画中的土红,都看不出他们之间的区别,X 射线衍射分析的结果也几乎一致。但是,掺加在颜料中的胶结材料经千百年老化而失去胶结性,颜料层粉化脱落,颜色变浅。潮湿的画面完全干燥后,色调也会变浅。胶结材料老化变色也会影响土红色调的变化。但所有这些变化中土红的化学成分并没有发生变化,也就是没有发生变色现象。

长时间的光照会使朱砂颜料的色彩变暗,是因为朱砂经光照后,部分红色的朱砂结晶发生变化,生成黑色黑辰砂的结晶。过去一些学者的研究和我们这次试验的结论是一致的,但变色比较缓慢。过去一些研究还认为,当有白色颜料和胶结材料存在时会加速朱砂变色。我们通过试验也证明了一点,朱砂的光照变暗几乎不受湿度变化的影响。在莫高窟壁画中,朱砂的变暗也是明显的,但比起铅丹轻微得多。

实验证明铅丹在高湿度(RH90%)下,荧光照射变暗速度非常快,这是红色的铅丹氧化变成棕黑色二氧化铅的缘故。在干燥(RH0%~RH48%)条件下,铅丹对光是稳定的。进一步实验表明,在碱性的地仗,当相对湿度达 RH70%时,铅丹产生明显的变色,不超过这个湿度时,铅丹相对稳定。实验还证明,掺加在铅丹中的有机胶,当其老化前,对铅丹的变色起阻滞防护作用,一旦有机胶老化后,就会加快铅丹的变色^{[7][8][9]}。另外,试验还证明,铅丹掺加朱砂和铅丹掺加土红的混合红色颜料相对稳定,其原因正在探索之中^{[10][11][12][13]}。

莫高窟壁画中铅丹的变色非常严重,但是,洞窟温湿度调查结果表明,绝大多数洞窟的相对湿度长期在 30%左右,有些洞窟有时早晨上升到 70%左右,但时间很短。一般洞窟的照度最小仅几 lux,最大数百 lux,这些条件对铅丹继续变色的影响都是非常小的^{[14][15][16]}。

通过这个试验可以推断,莫高窟壁画中的铅丹颜料,在造窟当初的一段时间内已变色。那时窟内湿度较大,主要受山体和地下水的影响,又因为洞窟一般开挖较深,洞窟中空气不流通,新开挖的洞窟短时间内一定很潮湿。另外砾岩崖面凹凸不平,制作壁画地仗时要在崖面上敷约 5cm 厚的泥层,窟内不通风,这又是洞窟小环境在较长时期内潮湿的因素之一。据记载,窟前大泉河的水流量当年也较现在大得多,洞窟周围小环境湿度也较后来大,此段时间壁画地仗较潮湿,加之大部分的壁画地仗上涂刷石灰的白粉层,壁画地仗就呈碱性。在高湿度和碱性条件下,铅丹在壁画绘制好后,很快变色。以后随着洞窟小环境变得干燥,变色的速度大大减缓。这就说明高湿度是铅丹变色的关键因素,光对铅丹的变色影响非常小。在很深、很暗的洞窟中,铅丹严重变色也可证明这一点。另外,在潮湿环境中霉菌繁衍代谢过程中所产生的过氧化氢也可使铅丹氧化变色^{[17][18]}。

3.2 蓝色和绿色颜料的稳定性

首先对莫高窟各个时期代表性洞窟壁画的蓝色颜料和绿色颜料做 X 射线衍射分析,分析

结果:蓝色颜料是青金石、石青和群青,绿色颜料是石绿和氯铜矿。然后对进行过X射线衍射分析壁画颜料中的蓝、绿色颜料再进行色度测定,再选定标准的青金石、石青、石绿、氯铜矿的原生矿颜料和标准的群青颜料,分别测定色度,并做出如下历代各种颜料色差图(图2、3、4),分析各种颜料的稳定性。

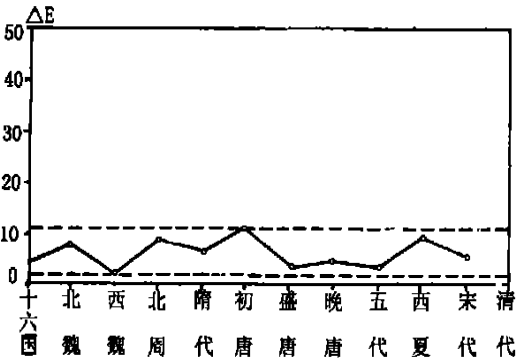


图2 历代壁画绿色颜料色差图

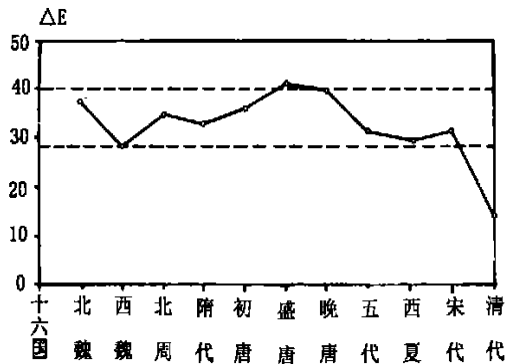


图3 历代壁画蓝色颜料色差图

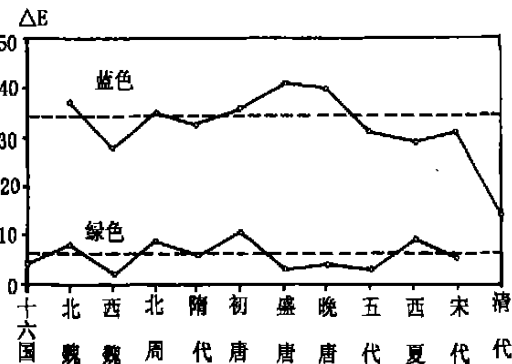


图4 历代壁画绿色、蓝色颜料色差图

从上述实验结果绘制的历代颜料色差图中

看出,莫高窟每个时代洞窟壁画中的蓝、绿色颜料基本是稳定的。相比之下,蓝色颜料的色差变化较绿色颜料色差变化大。这是一种基本的用对比分析方法研究颜料的相对稳定性,实际上影响颜料色差的因素很多,又十分复杂,一个是现代制作的标准色,一个是经历了千百年各种自然因素侵蚀的古老颜色。再如颜料含水量不同,色度差别大,长期灰尘污染对色度影响也非常明显。特别是经历千百年后,绘制壁画时掺加在颜料中的有机胶早已老化变色,这对壁画颜料色度的影响更大。

莫高窟各个时期洞窟壁画、彩塑蓝、绿色颜料的现场调查也证明了这一点,如处在阴暗、潮湿洞窟中和露天常年经太阳暴晒的,以及不同时代壁画中的蓝、绿色颜料,其色度看不出明显的区别,X射线衍射等分析结果也基本一致^{[19][20]}。

四 防止壁画彩塑颜料的变色

现场调查和实验研究证明,莫高窟壁画中的天然矿物颜料基本是稳定的,唯独人造无机颜料铅丹容易在高湿度和碱性环境中发生变色。朱砂受光的照射色调变暗,但不会变色。因此,壁画所处的洞窟环境中的诸因素,是引起壁画颜料变色的关键因素。

4.1 湿度

高湿度是引起铅丹变色的关键因素,但是,莫高窟洞窟内的环境经过千百年后,基本与窟区大环境趋于平衡和稳定。通常情况下,洞窟内的相对湿度在RH30%左右,这不会引起铅丹的变色。偶然降雨时,个别洞窟内湿度可上升到RH70%左右,但这是暂短的,也不会引起铅丹变色。另外,现场调查和分析研究证明,莫高窟壁画、彩塑的铅丹,不论哪个时期的都已产生严重变色,很难找到未变色的铅丹,也就说明莫高窟壁画、彩塑中的铅丹早已变色,生成的二氧化铅现在处于稳定状态。但是,由于高湿度引起的可溶盐的移动和局部富积会污染破坏壁画

彩塑的颜料,还有霉菌生长过程中的代谢产物及死菌体也会对壁画、彩塑的颜料层造成严重污染和破坏。由高湿度引起的以上两种对壁画颜料层的污染和破坏目前日趋严重,而且也较普遍,几乎对每种颜料都会产生影响。这也可以视为一种严重的壁画颜料受污染而致变色的现象。因此,防止高湿度仍是防止莫高窟壁画、彩塑颜料变色的关键。

首先要治理环境中的水,其主要途径有,研究查找水的来源,通过一定的工程措施,如裂隙灌浆、帷幕灌浆、做防渗墙、沟,薄顶洞窟加固等,防止水的渗入,以降低洞窟内湿度。另外,改善洞窟的通风,洞窟内放置吸湿剂或吸湿器等,也是降低洞窟内湿度的一些主要途径。

4.2 光

通过实验和现场调查证明,在通常状况下,矿物颜料对光是稳定的,即就是铅丹,在较干燥的环境下对光也是稳定的。莫高窟和炳灵寺第178窟的露天壁画,经千百年太阳曝晒,仍颜色艳丽,这充分说明光不是引起莫高窟绘画颜料变色的主要因素,也就是说在通常状况下,除朱砂和有机颜料外,光不会引起壁画、彩塑颜料化学结构的变化,即变色。但光很容易引起掺加在绘画颜料中有机胶的老化,使其变色而导致颜料变色。有机胶老化失去胶结性时会引起颜料颗粒剥落,颜色的饱和度下降(即褪色)。

现在,莫高窟洞窟中的照度最小的几个lux,最大数百lux,这对壁画、彩塑是安全的,但是最近提出了一个洞窟中安装灯的计划,这就必须进行科学的监测和实验研究,确定最安全的照度和光源。

4.3 观众(水、CO₂)

在莫高窟,大量观众进入洞窟造成洞窟内小环境的破坏日趋严重,因此,引起对绘画颜料的破坏和污染也越来越明显。为了监测和研究观众对洞窟壁画、彩塑颜料所造成的影响,我们做过这样的实验。

选莫高窟下层中型开放洞窟第323窟(初

唐),该窟主室的空间为143m³,由40名学生在窟内滞留37分钟,观众滞留时洞窟门敞开,观众离开洞窟后,关闭窟门,以模拟平时参观时观众对洞窟环境的影响。从观众进入洞窟后就监测窟内的温度、相对湿度、墙体表面温湿度、窟内二氧化碳的浓度。监测采用最现代的微环境监测技术。监测实验得出如下结论:

1. 每人每小时呼出水汽的67%,约21克水,呼出二氧化碳的52.3%,约4.7升,在观众离开洞窟后将留在窟内,结果使窟内二氧化碳比原来增大了6倍,相对湿度提高了10%;

2. 窟内空气温度、相对湿度和二氧化碳浓度的半衰期分别是0.25小时、1小时和3小时,它们的比例为1:4:12,这样,窟内相对湿度恢复到原状需4小时,二氧化碳恢复原状需12小时。由于二氧化碳浓度的衰减几乎完全依靠空气交换,其半衰期的结果表明,窟内外空气交换条件差,特别是旅游旺季,洞窟将处于长时间得不到恢复的疲劳状态。莫高窟的壁画颜料是矿物颜料,如果在洞窟内有大量二氧化碳和水汽存在,所产生的酸性水汽肯定会引起颜料的变色。可以想象,如果在一个中等大小的洞窟里,观众接连不断进入,由于洞窟中通风差,这样二氧化碳浓度和水汽就会在洞窟内大幅度叠加上升。二氧化碳是一种酸性气体,在高湿度条件下会与石青、石绿、氯铜矿、铅丹等颜料发生作用,使这些颜料变色。另外,人呼出的大量水汽可使壁画地仗中的可溶盐溶解向壁画面移动、富积,当洞窟内干燥时,可溶盐又在壁画颜料层上结晶,这样使颜料受到严重污染和破坏。同时,在一定的温湿度条件下,壁画易产生霉菌,而霉菌生长代谢过程中的产物及死菌体会严重污染壁画和使颜料变色^[21]。

因此,防止壁画颜料变色,最根本的是控制环境。这需要作两方面的工作:一是控制各种自然界因素对洞窟小环境造成的影响,二是控制过多的观众进入洞窟对洞窟小环境造成的破坏。从目前的调查和监测证明,观众对洞窟环境造成的影响越来越严重。随着旅游业的发展,莫高窟的观众日益增多,应尽快地监测和研

究观众对洞窟环境造成的影响,即进行游客最大承载量的实验,科学控制每天每个洞窟参观的人数,以利于壁画和彩塑的保护。

参考文献:

- [1]徐位业,周国信,李云鹤·莫高窟壁画、彩塑无机颜料的X射线剖析报告[J].敦煌研究:创刊号,1983.
- [2]段修业·对莫高窟壁画制作材料的认识[J].敦煌研究,1988,(3).
- [3]苏伯民,李最雄等·克孜尔石窟壁画颜料研究[J].敦煌研究,2000,(1).
- [4]S. Givoannini, M. Matteinia and A. Moles, "Studies and Development Concerning the Problem of Altered Lead pigments in Wall Painting". Studies in Conservation, Vol. 35, P21~25, 1990.
- [5]R. J. Gettens, R. L. Feller and W. T. Chase, "Vermilion and Cinnabar", Studies in Conservation, Vol. 17, P.45~67, 1972.
- [6]C. W. Bailie, R. M. Johnston-Feller and R. L. Feller, "The Fading of Some Traditional Pigments as a Function of Relative Humidity".
- [7]Toshiko Kenjo, "Discoloration of Red Colors Irradiated with Some Monochromatic Lights", Science for Conservation, No.26, P.31~34, 1987.
- [8]Gustav A. Bergre, "Testing Adhesives for the Conservation of Paintings", Studies in Conservation, P173~193, 1973.
- [9]Raymond H. Lafontaine, "Decreasing the Yellowing Rate of Dammar Varnish Using Antioxidants", Studies in Conservation, P.14~22, 1979.

- [10]李最雄·敦煌壁画中混合红色颜料的稳定性研究[J].敦煌研究,1996,(3).
- [11]Elisabeth West Fitzhugh, "Red lead and Minium", Artists Pigment, P.109~140.
- [12]"Toshiko Kenjo, "Deterioration of Glues and Pigments Discoloration", Science for Conservation, No.12, P.83~95, 1984.
- [13]Toshiko Kenjo "Basic Experiment Concerning Deterioration of Glues and Discoloration of Pigments and Discussion on the Actual Condition of Wall Panel Paintings on the Basis of Their Relics", Science for Conservation, No.12, P.83~94, 1974.
- [14]李最雄, Stefan Michalski·光和湿度对土红、朱砂和铅丹变色的影响[J].敦煌研究,1989,(3).
- [15]李最雄·敦煌壁画中胶结材料老化初探[J].敦煌研究,1990,(3).
- [16]盛芬玲,李最雄,樊再轩·湿度是铅丹变色的主要因素[J].敦煌研究,1990,(4).
- [17]李最雄·铅丹、朱砂和土红变色研究的新进展[J].敦煌研究,1992,(4),
- [18]李最雄·莫高窟壁画中的红色颜料及其变色机理探讨[J].敦煌研究,1992,(3).
- [19]李铁朝,向晓梅·敦煌壁画中绿色蓝色颜料分析及稳定性[A].敦煌研究文集·石窟保护篇:下[C].兰州:甘肃民族出版社,1993.
- [20]王进玉·敦煌石窟合成群青颜料的研究[J].敦煌研究,2000,(1).
- [21]张拥军,前川信·观众对洞窟环境影响的实验分析[A].敦煌研究文集·石窟保护篇:上[C].兰州:甘肃民族出版社,1993.

Feature Articles

Master Plan For The Conservation and Management of The Mogao Grottoes

FAN Jin-shi

The Master Plan for the Conservation and Management of the Mogao Grottoes is the first draft on the conservation and management on ancient sites. It has observed strictly the principles and process laid down in the 'Principles for the Conservation of Heritage Sites in China' proclaimed by China ICOMOS. First of all investigation and assessment of the values and existing condition of Mogao Grottoes was undertaken, and in accordance with the conclusions of assessment, the general goals and principles for their implementation were drawn up. Finally the individual objectives for conservation, research, visitor management and interpretation, and operations and management were drawn up. The Master Plan comprehensively outlines the conservation of the cultural significance and historic information of the Mogao Grottoes and its setting and rational scientific application of the principles to conservation and management of the sites.

Pigment Analysis On Tang Dynasty Murals at The Mogao Grottes

Li Zui-xiong

After the analysis of a large number of pigment samples, which were collected from the murals of Tang Dynasty at Mogao Grottoes, the conclusion was drawn. And by comparing those pigment samples, which were collected from the wall paintings of earlier period of Mogao Grottoes and Kyzil Grottoes, the feature of the pigments and the rule that was obey in Tang Dynasty at Mogao Grottoes were concerned by this paper. Meanwhile, through a great quantity tests, the stability of the pigments of the murals at Mogao Grottoes were probed into, particularly the mechanism of the discoloration of red lead. Additionally, the problem was discussed that how to preventing the pigments of the wall paintings from changing color.

Pigment Analysis On The Pigments Found At The Site of Huo-Shao-Gou Ditch of Yu Men, Gansu Province

SU Bo-min, MA Qing-lin, Zhou Guang-ji, Wang Hui

The culture of Huo-Shao-Gou belongs to Bronze Culture of Ancient China which have $3590 \pm 100 \sim 3340 \pm 100$ years of long history according to the result by ^{14}C analysis. There are six kinds of pigments which in form of lumpy, dumpling and powder. The results of analysis of microscope and XRD had showed that those are hematite, sulfur, cinnabar and gypsum. Besides, FT-IR also revealed that organic group was contained in two kinds of pigments, so we need to verify that if the bind media was used in pigment.