

敦煌莫高窟的彩绘泥塑及其保护

前言

敦煌莫高窟的492个洞窟中,保存着从北凉(公元4世纪)到元代(公元14世纪)十一个朝代、延续一千多年的2000多身彩绘泥塑。

这些彩绘泥塑其制作工艺大体分两类,其中小型彩塑,先以木料制做骨架,再做泥塑,大型彩塑以石胎为骨架。

莫高窟的泥塑全部敷彩。泥塑敷彩在各个时代都具有不同的特征,十六国、北魏等早期的敷彩比较简朴沉着,颜料主要用土红、石绿、石青、白、黑等。隋唐时代,莫高窟的泥塑敷彩发展到了光辉灿烂的时期,敷彩富丽堂皇,许多部位装金。特别是盛唐时期,彩塑的肤色大量应用了铅丹(Pb_3O_4),由于铅丹的严重变色,这个时期彩塑的肤色全已变成深棕色或深咖啡色。五代、宋代等时期,彩塑的敷彩比较清雅。到了清代,将早期的彩塑进行了重塑和重绘,敷彩的白色颜料大部分采用石膏,兰色颜料为群青,红色颜料为朱砂。

千百年来,由于受温、湿度的变化,降水、岩体渗水、岩体和泥层中可溶盐的活动等环境因素的影响,莫高窟的彩绘泥塑不同程度的产生了各种病害。主要有彩绘颜料的变色、褪色;彩绘颜料层的龟裂起甲;彩绘层的酥碱粉化;木骨架遭朽而引起的塑像肢体断裂或塑像倾倒;石胎岩体风化而造成的泥层剥离等。

对彩绘泥塑的保护修复采取了如下的方法和措施,倾倒地彩塑的扶正、定位、加固;遭朽木骨架脱胎换骨修复;风化石胎岩体加固;酥碱、起甲颜料层加固修复;以及洞窟环境的治理,如薄顶洞窟窟顶加固及岩体裂隙灌浆以防渗漏雨水。进行观众参观时对壁画、彩塑造成影响的环境监测和分析研究,控制每个洞窟参观人数,以免洞窟中 CO_2 和水份的剧增造成对彩绘颜料的影响。

1. 莫高窟彩塑的制做工艺

莫高窟的彩塑有的高达30多米,小的只有10多公分。其中小型彩塑,先以木料制做骨架,然后在木骨架上捆扎芨芨草或芦苇草做成人像的大体结构形像(彩图XVI, 1),再敷粗草泥,最后在表面塑以细质薄泥。而大型塑像,不做木骨架,而是在开凿洞窟时,预留塑像石胎,将石胎凿成塑像的大体形状,然后在石胎上凿孔插椿,再在上面敷粗草泥,最后在表面塑以细质薄泥(彩图XVI, 2)。

莫高窟塑像的木骨架是用本地的胡杨、杨木或柳木做成的,因为这是本地最普遍的几种树种,木质较坚硬。塑造用的粘土是附近河床的沉积粘土或山洪暴发后在低洼地沉积的粘土。这种粘土细腻,大部分的可溶盐已被漂流,吸水性小。粗泥中掺加的草主要是麦草,细泥中掺加的纤维主要是麻或棉。

2. 泥塑的彩绘

莫高窟的泥塑全部敷彩。泥塑敷彩在各个朝代都具有不同的特征,特别是敷彩所用的红色颜料,更具有鲜明的时代特征。十六国、北魏、西魏及北周等早期的敷彩比较简朴沉着,红色颜料主要以土红(Fe_2O_3)为主(彩图XVI, 4)。土红在红色颜料中是最稳定的一种,千百年来,这些彩塑的土红颜料没有发生变色,只是处于不同环境中的彩绘层中因含水不同,或者由于掺加在颜料中的胶结物老化程度不同,而颜料的亮度、彩度有所差异。

早期彩绘所用的兰色颜料主要是石青($2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$)和青金石($(Na, Ca)_8(AlSiO_4)_6(SO_4, S, Cl)_2$);绿色颜料主要是石绿($CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$)和氯铜矿($Cu_2(OH)_3Cl$)。这些兰色颜料和绿色颜料其化学性能较稳定,和上述相同的原因,其亮度和彩度有差异。彩绘的白色颜料主要是方解石($CaCO_3$),高岭土($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)、滑石($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$)。

隋唐时代,莫高窟泥塑的彩绘发展到了光辉灿烂的时期,敷彩富丽堂皇。彩绘所用的红色颜料主要是朱砂(HgS)和铅丹(Pb_3O_4),土红颜料明显减少。

朱砂是一种较稳定的红色颜料,由于长期受光照的作用,朱砂的结晶状态产生了变化,部分由原来鲜红色的朱砂变成暗红色的黑辰砂。这仅仅是一种物理状态的变色,色相没有变化,亮度和彩度却发生非常明显的变化。但是,由于受湿度的影响,特别是开挖洞窟的初期,以及塑像刚做成后高湿度的环境作用,彩绘的铅丹基本已变成棕黑色的二氧化铅(图1)。因此,这个时期的彩塑,凡用铅丹的部位,主要是肤色,基本已变成棕红色或棕黑色的二氧化铅(彩图XVI, 3,5),很难找到未变色的铅丹。这个时期彩绘所用的兰色颜料,绿色颜料以及白色颜料和早期彩绘所用的兰、绿、白颜料基本相同。另外,这个时期彩塑的服饰、菩萨项链等部位装金,以显富丽。

五代、宋代等晚期,莫高窟泥塑的彩绘比较清雅,这个时期彩绘所用的红色颜料除土红外,大量采用了土红与铅丹、或朱砂与铅丹等的混合红色颜料。铅丹与土红、或铅丹与朱砂混合后具有较稳定的化学性质。混合红色颜料中的铅丹基本未变色,其原因不清楚,正进行化学机理的研究(图2)。这个时期彩绘所用的兰色颜料、绿色颜料和白色颜料基本与早期和隋唐时期所用的兰、绿、白色颜料相同。

清代,莫高窟的彩塑大部分被重塑和重绘。重塑的泥塑十分粗糙,重绘的颜料也是对比非常强烈的大片红色、兰色、白色,完全破坏了早期彩塑的优美形象和艺术性(彩图XVI, 6)。

彩绘所用的红色颜料主要是人造朱砂、朱砂与铅丹、或土红与铅丹的混合红色颜料。所用的白色颜料主要是石膏。

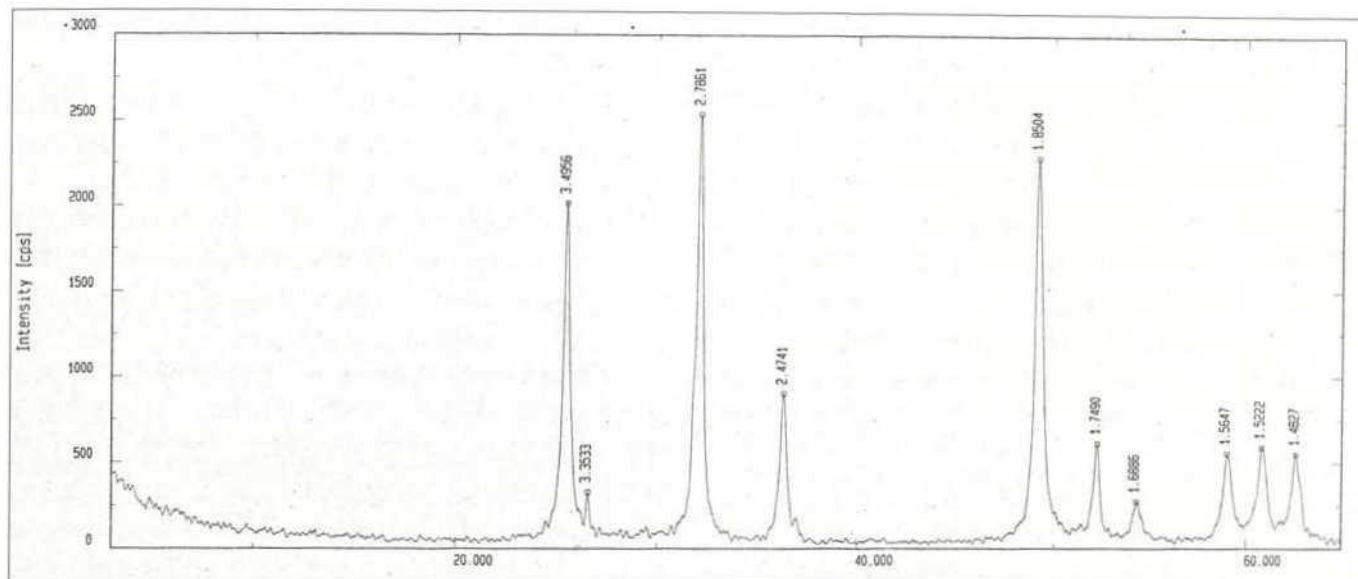


Fig. 1. The altar, left side, Funhuang, cave 205, a Bodhisattva, Tang Dynasty, its polychromo was changed. X-ray diffraction spectrum of the brown black pigment sample (from the right armpit of the Bodhisattva), mainly PbO_2 .

图 1. 莫高窟第205窟佛台左侧, 唐代已变色菩萨塑像右腋下, 棕黑色颜料试样的X衍射谱图, 主要是 PbO_2 。

3. 彩塑的主要病害

3.1. 彩绘颜料的变色、褪色

由于莫高窟的彩塑, 敷彩大量应用了红色颜料中的铅丹, 特别隋唐时期, 不论是彩塑还是壁画, 铅丹是应用量最大, 最普遍的红色颜料。由于铅丹在高湿度环境中, 当遇到碱性条件, 是很容易变色的, 由桔红色的 Pb_3O_4 变成棕黑色的 PbO_2 。经调查研究证明, 新开挖的洞窟湿度很大, 又由于砾岩中有许多碎石, 岩面凹凸不平, 以石胎为骨架的泥塑上面要敷很厚的泥层。木骨架的泥塑泥层也很厚。这样厚的泥层在通风不良的洞窟中不容易干透, 加上新开挖的洞窟本身湿度也很大。许多彩塑、壁画的地仗又涂刷一层石灰, 然后再进行彩绘。因此, 彩塑上的铅丹是塑像完成不长的时间已经变色。彩绘应用的另一种红色颜

料朱砂, 长期受光照的影响, 也已变暗。由于莫高窟的洞窟开凿在南北走向的崖面上, 过去没有门, 早晨太阳直射洞窟, 这样的环境朱砂的变暗也很快。另外, 由于莫高窟的彩绘颜料是矿物颜料, 矿物颜料敷彩时必须掺加适量的植物胶或动物胶。这些有机胶结物, 千百年来基本已老化失去胶结作用, 使彩绘颜料层粉化掉落, 颜料的密度大大降低, 因而颜料彩度变淡, 这就叫彩绘颜料的褪色。

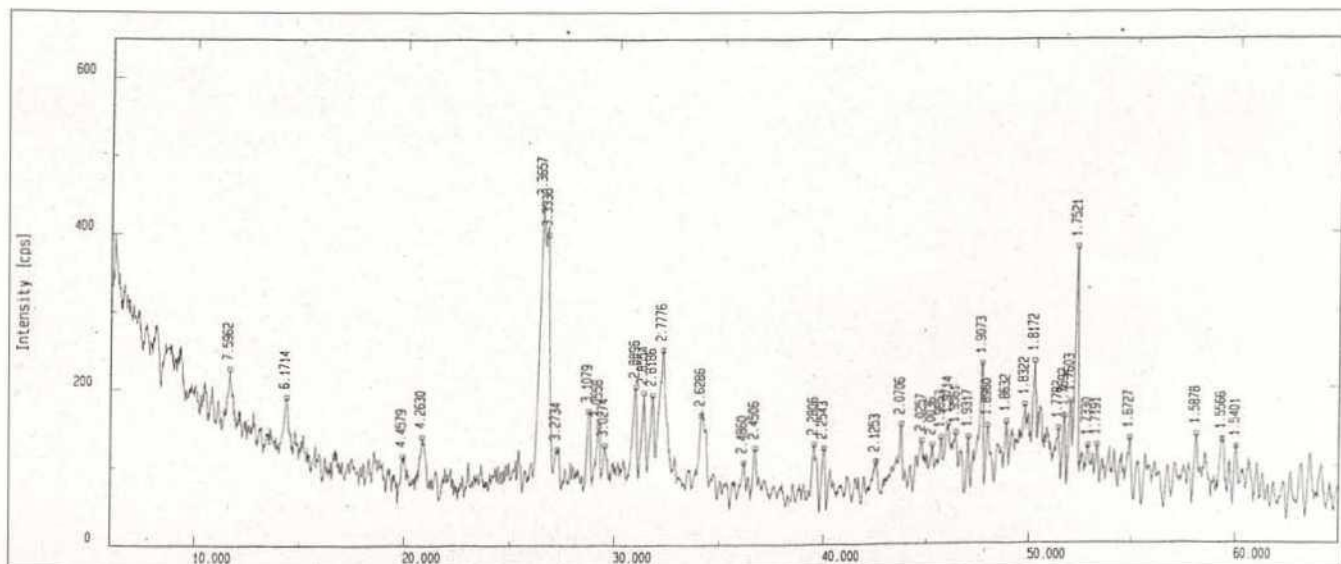
3.2. 彩绘层龟裂起甲

由于彩绘颜料中加胶过量, 或胶的浓度过大, 使颜料层强度高、结壳、龟裂、甚至起甲剥离。

与壁画的起甲相比, 莫高窟彩塑颜料层的起甲没有那么严重。

Fig. 2. Cave 334, Dunhuang, X-ray diffraction spectrum of the red pigment (from the lotus petal of the chief Buddha which in the Qing Dynasty was painted again), the main composition is Pb_3O_4+HgS .

图 2. 莫高窟第334窟, 龕内被清代重绘主佛莲花瓣上红色颜料的X衍射谱图, 主要成份是 Pb_3O_4+HgS 。



3.3. 彩塑表面的泥层酥碱

莫高窟的彩塑虽然应用了河床或洪水沉积的粘土,但这种粘土中还是含有少量的可溶盐,主要是芒硝(Na_2SO_4)和石盐(NaCl)。大型塑像的石胎岩体中,可溶盐的含量就更高。当湿度急剧变化时,这些可溶盐时而吸水膨胀,又时而失水收缩。这样反复的胀缩使彩塑表面的泥层风化,严重者酥碱,使颜料层受到严重破坏。另外,莫高窟的岩体为松散、孔隙率很大的砾岩,过去,部分上层洞窟窟顶很薄,常有雨水渗漏。也有相当一部分下层洞窟被潮湿的沙子埋在里面,这些上层渗漏雨水和下层埋在潮湿沙子中的彩塑早已酥碱。

3.4. 彩塑泥层剥离肢体断裂及倾倒

以石胎为骨架的大型塑像,由于受水的作用所引起的可溶盐活动的影响,岩体风化,造成彩塑的泥层大块剥离。以木料做骨架的小型塑像,长期受潮湿环境的影响,捆扎在木骨架上的芨芨草和芦苇草遭朽,而导致彩塑泥层剥离。

彩塑的肢体断裂,主要是由于木骨架遭朽断裂所引起的。塑像的倾倒主要是由于塑像本身承重过大,受地震等因素的影响,塑像的重心外移而造成的。另外,立像都是在地面上凿孔,将塑像的骨架固定在地面的岩体中,倚墙的立像将塑像腰中的木骨架固定在墙面岩体中预埋的木楔上。当固定的木骨架遭朽断裂,或固定的岩体风化而固定点松动,都会造成塑像倾倒而遭受严重破坏。

4. 彩塑的修复保护

对于起甲、酥碱彩塑的修复,采用与起甲、酥碱壁画基本相同的修复材料和方法。由于莫高窟环境比较干燥,多年来用聚醋酸乙烯乳液和聚乙烯醇修复壁画、彩塑起甲颜料层,取得了很好的修复效果。其工艺方法是,将2~3%的聚醋酸乙烯乳液,或2.5%聚乙烯醇:1%聚醋酸乙烯乳液=4:1的混合胶结剂,用注射器注入颜料层下的地仗层和起甲的颜料层。待起甲颜料层稍软化具有一定柔性后,用丝绸包扎棉花做成的纱包将起甲颜料层微微按下,粘复在地仗上。近年来,我们对丙烯酸乳液和ParaloidB-72修复起甲

壁画、彩塑进行了实验。从观察短期效果还比较好,但最终的效果有待进一步观察和监测。

目前,酥碱壁画、彩塑的修复还是一个难题。过去也用修复起甲壁画的材料修过部分酥碱壁画,但过几年后,修复过的部位又开始酥碱,修复效果不佳。5年前,我们采用日产化学工业公司生产的7.5的硅酸锂(商品名称:(スノーテウス)在榆林窟进行过酥碱壁画的修复试验。从目前初步观察,这种材料对酥碱壁画修复效果较理想,但有待做进一步的深入研究。

对于泥层剥离的彩塑的修复,分两种类型进行。以石胎做骨架的大型彩塑,首先加固风化岩层。对莫高窟这种环境较干燥的风化砂砾岩,以高模数的硅酸钾(即PS)加固风化岩体,其效果比较理想。待岩体加固好后,将剥离的泥层用稍加胶合剂的泥浆粘合复原。如果剥离的泥层体量较大,或在立面上承重较大,再用适当的锚杆锚固,当然锚杆要做的隐蔽,最后进行裂隙灌浆和修复。以木制骨架的小型彩塑,要更换遭朽的木骨架,或捆扎在木骨架上的芨芨草和芦苇草,这就是进行脱胎换骨的修复。对倾倒的塑像进行扶正,定位和重新固定加固。

对酥碱和颜料变色的防止,我们正通过环境监测和变色机理的研究,采用工程措施进行预防性保护,如对薄顶洞窟的窟顶加固,岩体裂隙进行化学灌浆,以防雨水渗入洞窟内。对地下渗水的部位进行帷幕灌浆等工程措施,切断渗水。另外适度的通风,对防止壁画彩塑颜料层变色、酥碱也有较好的效果。

大量的游人进入洞窟,所排出的 CO_2 和水汽也是引起壁画、彩塑地仗酥碱和颜料变色的因素之一。过去我们和美国Getty保护研究所合作,做过这样的试验,40个人进入空间为 141m^3 的洞窟中37分钟,结果是洞窟中的 CO_2 比原来升高6倍,温度和相对湿度也急剧升高,但 CO_2 排出却非常缓慢。可以想象,如果在一个中等大小的洞窟中,成天大量观众不断进入,窟内的 CO_2 和湿度就会叠加升高,真是一个令人担忧的问题。虽然这个研究有必要进一步进行,但对中、小型洞窟的开放进行适当的控制,对防止壁画、彩塑地仗酥碱和颜料变色肯定会有好的作用。

Coloured Clay Sculptures and their Protection at Mo Kao Grotto at Dunhuang

In the 492 caves of the Mo Kao Grotto at Dunhuang more than 2,500 clay sculptures, from Beiliang (4th century AD) to the Yuan Dynasty (14th century AD), covering 11 dynasties in all are kept.

The technology of making these coloured clay sculptures falls into two categories. The first kind of technology is for those medium-sized and small sculptures. One ties elders and reeds around the complete wooden framework to form man-like structures, whose height reaches 20-30 meters. Instead of wooden frames, stone bases are left when caves are dug. On the bases holes are cut to put in stakes on which rough and coarse grass clay is applied. The application of fine clay completes the sculptures.

All the clay sculptures of Mo Kao Grotto are coloured, but their colours vary from dynasty to dynasty. In the Sixteen States Period and the Northern Wei Dynasty, the colours were simple, ranging from earth red, mineral green, azurite, white to black. In the Sui and Tang Dynasties, the colours became bright and brilliant with many sculptures inlaid with gold. Especially at the zenith of Tang Dynasty, minium (Pb_3O_4) was used extensively. The skin colour of the sculptures became dark brown or dark coffee due to the big change of minium. In the Five Dynasties

Period and the Song Dynasty the colours tended to be light and elegant. In the Qing Dynasty, the sculptures were remoulded and repainted with gypsum as the white pigment, ultramarine as the blue pigment and cinnabar as the red pigment.

Due to centuries of dampness, changes of temperature, rainfall, rock percolation, the activity of soluble salt in the rock body and between rock layers, and other natural factors, the coloured sculptures have extensively suffered showing fading, colour change, cracking of the pigment layer, alkaline pulverisation, broken limbs and collapse caused by the decaying wooden frames, the dropping of clay caused by the weathering of stone bases, etc.

To protect and repair the sculptures we have taken measures such as setting up and reinforcing the collapsed figures, replacing or repairing the wooden frames, strengthening the weathered stone bases, repairing the pulverised pigment layers, thickening the cave roofs to prevent leakage and other environmental improvements. With the environmental monitor and analysis, we have control over the number of visitors in the caves so as to avoid the impact of CO_2 and moisture on the sculptures. *See colour plate XVI.*