

莫高窟壁画修复初探

李云鹤

一、莫高窟地理概况

敦煌位于甘肃省河西走廊的最西端，莫高窟开凿在敦煌东南的鸣沙山与三危山之间的断崖上，距敦煌 25 公里。断崖崖体是由大小不等的石子及沙子、土粒和钙质物混合凝结而成，属酒泉系砾岩（亦称第四纪岩层），由于地质结构酥松，极易风化剥落，加之窟前是大泉河（古时称岩泉），虽然河水流量不大，但水中含有大量的水溶盐，因此对岩体的破坏极大。

敦煌地处西北戈壁沙漠腹地，降雨量少，气候干燥，温差大，多风。从 1937 年有气象记录资料以来，最高降雨量 95.4 毫米，最低降雨量 8.6 毫米，风力年平均在 2.7 ~ 2.8 级之间，最大风力 7 ~ 9 级，全年季候风多集中在春秋两季。气温最高 38.4℃，最低零下 18.4℃，最高气温出现在 8 月，最低气温出现在 1 月。每年从 10 月初开始结冰，第 2 年 3 月底解冻，空气相对湿度平均 29%。

从以上地质和气候条件来看，对保护莫高窟文物除气候干燥是较好的条件外，其他基本都是不利因素。

二、莫高窟的文物现状

莫高窟创建于前秦建元二年（公元 366），它已经过了 1600 多年历史，至今还保留有十六国至元代的洞窟 492 个，唐、宋所建的木结构窟檐五座，莫高窟现存壁画 45000 多平方米，彩塑 2400 多身。随着历史的进展，莫高窟的壁画、彩塑、古代建筑经千余年来风吹、日晒、雨淋、地震以及人为的刻划、烟熏等破坏。在自然损坏方面有：大面积脱落、粉层起甲、地仗酥碱、壁画褪色、变色、发霉、虫蛀等不同病害。人为的损害有：剥取、烟熏、重层、刻划、油渍、磨损、穿洞损坏等不同情况。其中以大面积脱

落、起甲、酥碱、烟熏、发霉、变色等六种为主要壁画病害。目前除变色病害面积未作详细统计外，前五种病害受损洞窟总数 251 个，受损面积 4245.74 平方米（表 1）。

表 1 莫高窟各类残损壁画统计表

名称	窟数（个）	面积 m ²	占壁画总数	占残损壁画总数
莫高窟壁画总数	492	45000		
各类壁画残损总数	251	4245.74	9.4%	
大面积脱落壁画	65	832.03	1.9%	20%
起甲壁画	106	1246.05	2.8%	29%
酥碱壁画	37	786.49	1.8%	19%
烟熏壁画	36	1237.15	2.8%	29%
发霉壁画	7	144.02	0.3%	3%

三、莫高窟壁画病害产生原因的分析

1. 莫高窟壁画制作方法的初步分析根据

根据表上所列：从壁画地仗制作分析结果得知，除各时代地仗的层数多少及用料配比不尽相同外，所用材料不外乎是：澄板土、麦草、麻刀、棉花、蒲绒、沙子等。这些均取材于敦煌本地，如澄板土，是由窟前大泉河雨季洪水所带来的上游泥土沉淀而成的细泥土，俗称澄板土，现在，它仍然是我们修复壁画、塑像不可缺少的优质黏土。它的优点是：色白、黏性大、含沙量少。使用澄板土时，再掺麦草或麻刀、棉花等纤维物质，以增强壁画地仗的抗拉、抗压、抗磨等性能，地仗内所用麦草、麻刀、棉花等材料，也是敦煌所产。壁画地仗的用料因地制宜，就地取材，这不仅限于敦煌一地，如新疆库车县是牧区，所以在昭枯厘大寺遗址保存的壁画地仗内就掺有大量羊毛。

莫高窟壁画地仗制作，一般是石窟开凿好以后，在石壁上先抹一层草泥，只压实不抹光，若壁画还不平整，趁第一层草泥未干，再抹一层草泥（第二层）。从剖析结果看，有的朝代就在草泥层表面施色作画，有的朝代，还在草泥层表面抹掺有麻刀或棉花的泥层，然后，刷白粉层施色作画。因地仗制作时代不同，用料不同，制作方法不同，所以，壁画保存现状也有一定区别。

总之，莫高窟的壁画地仗制作，大致可分三种不同类型：十六国至北周时期，地仗层只用黏土和麦草调泥，抹两层即成；唐代以后，不但用料种类增多，而且地仗层，也由早期两层发展到 3~4 层；五代时期的露天壁画（窟外崖面上的壁画），地仗是先抹草泥两层，再抹麻刀灰（石灰）一层，从对早期壁画的分析情况看，泥层之间结合紧密，泥内麦草配比少，地仗表面出现的裂纹多，壁面较粗糙。多数早期壁画施色前未涂底色，在这种地仗上绘制的壁画，不易起甲剥落。唐代以后的壁画，先在地仗层表面涂刷

一层比蛋壳还薄的白粉,再起稿施色作画。这种方法制作的壁画,起甲剥落病害严重。露天壁画,表层不涂白粉,直接将壁画绘制在石灰层上,日久后,灰层表面聚集了一层碳酸钙,形成了一种自然保护层,对风吹、沙蚀、日晒、雨淋等有较高的抵抗力,故莫高窟的露天壁画至今虽过千年,但存留尚好。

2. 壁画颜料成分的分析

这项分析工作,是请化工部涂料工业研究所协助我进行的。几年来对敦煌莫高窟的十六国、北魏、西魏、隋、唐、五代、宋、西夏、元的 41 个洞窟中的红、蓝、绿、白及棕黑色等颜料进行了分析。剖析结果见《敦煌研究》第三期。

3. 壁画起甲的几种主要原因

1) 壁画的颜色和白粉层由某原因造成龟裂并起翘成无数鳞状小片——我们称之起甲,如高窟 161 窟的晚唐壁画,就是典型的起甲壁画。这种类型的粉层起甲病害产生的原因,经我们调查分析,主要是地仗表面制作光滑,后涂白粉层与地仗结合不牢固:白粉层内用胶量少,而此窟又高出地面近 30 米,日照时间长,气候变化剧烈,在这种条件下,促使白粉层内的胶质老化,失去黏结强度,从而白粉层脱离地仗起甲。

2) 重层壁画的起甲,莫高窟的重层壁画有两种:一种是晚期在早期壁画表面重抹草泥或麻泥一层,然后,在表面再涂白粉层施色作画;另一种是在早期壁画直接涂刷白粉层施色作画,造成新旧两层壁画分离、起翘剥落。

3) 某种颜色层起甲。在一幅壁画中,其他几种颜色保存尚好,唯独一种颜色因用胶量过大而起甲。

4) 特殊情况的壁画起甲。制作壁画地仗用料粗糙,使很多未溶开的生石灰粒和黏土粒混合于泥中,以后因壁画受潮,石灰粒和黏土粒体积膨胀,引起壁画开裂起甲。

4. 壁画大面积脱落病害产生原因

壁画因受某种影响,地仗层离开崖壁,大片地脱落,我们称壁画大面积脱落。大面积脱落基本属一种类型,但由于产生原因和泥层制作方法不同,所以损坏程度也有差别。据我们分析有三个方面的原因:

1) 壁画部分地仗与崖壁脱离,只有四周或某一点,与崖壁还黏结在一起,但轻轻敲击时,它即发出咚咚的空鼓声。这种情况的壁画,若受到较大震动时就可以立即脱落,莫高窟 94 窟甬道壁画就是这种现象。此窟原建是晚唐,后经宋代重修,重修的办法是在原有壁画表面抹麻泥一层。为了使新旧两泥层结合牢固,在原壁表面,刻划许多刀痕,这样原壁画就受到了较大的震动和破坏,加之新泥层内的水分,大部分被原有的

底层壁画吸收,经过吸水、干燥、胀缩等变化,因崖壁与壁画地仗构成材料不同,它们的物理变化也不相同,再加上壁画因重层重量增大,致使壁画地仗与崖壁的黏结力降低,故而稍有震动或者长期对岩石的自然风蚀,便会产生壁画与崖壁分离空鼓。

2) 洞窟的崖体产生裂隙,壁画也随之开裂,年深日久,尘土、细沙不断乘虚而入。这种裂隙又是昆虫和飞禽作巢的好地方。产生了一种把壁画向外挤压脱离崖体的重力,逐渐使壁画大面积脱落。

3) 开凿洞窟形制不合理,也是造成壁画大面积脱落的原因之一。例如,有些窟型是下大上小,四壁均有不同程度的前倾,越往上倾斜越甚,窟顶壁画则更是如此。这种情况的壁画,本身就有一种下坠的重力,由于物质在不断老化,各方面强度降低,如遇震动,壁画地仗很容易脱离崖壁而空鼓,严重者大片脱落,如莫高窟 130 窟壁画就是此种大面积脱落的典型例证。

四、壁画病害的修复试验

自新中国成立以来,党和国家十分重视莫高窟的科学保护工作。但是,由于我们底子薄、水平低,所以 1957 年曾由中国政府邀请捷克斯洛伐克文物修复专家约瑟夫·格拉尔先生来莫高窟做修复试验。但试验结果很差,三年后试验壁画不仅重新起甲,而且注入黏结剂的壁画也开始变色发暗,再加上他们要求的工作、生活条件和工资待遇太高,无法予以满足,故而没有达成协议。这样,才促使我们走自力更生的道路。自那时起,我们就开始摸索适合于敦煌壁画保护、修复的科学方法工作。

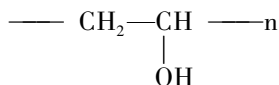
我所的文物修复工作,是由简到繁,由浅而深逐步开展起来的。1949 年以后,最初也做过一些简单的壁画边沿加固和塑像的扶正加固,但文物修复工作提上工作日程,还是从 1957 年开始的,从修复材料的选择到修复工艺、工具改进等方面,反复进行试验。在此基础上,我们根据壁画病害的轻重及危害性大小,分清轻重缓急,首先对壁画大面积脱落、起甲、酥碱等病害进行了抢修试验。近些年来也初步摸索到了一点文物修复方法,经过修复的文物也收到了较好的效果。下面就我们的试验修复工作做一简要介绍。

1. 修复壁画构料的选择

在选择黏合材料方面,我们对材料的要求为:无毒、无臭、无色透明,有较好的黏结强度、稳定性好、材料老化后对壁画无害等。

我国古代壁画颜料中,使用的胶质不外乎是天然水溶性材料,在化学上属中性。这样的材料,对颜料没有其他不良反应。所以,修复壁画仍采用这种胶质,不致产生壁画变质问题,如我们先后用广胶、鹿胶(软、硬性两种),龙须胶、鱼鳔胶、桃胶等材料进行了黏结壁画试验。试验结果为:5%的广胶,8%~12%的鹿胶,5%~10%的龙须胶,2%~8%的鱼鳔胶,3%~6%的挑胶等不同配比的水溶液,性能比较稳定、无变色、无重新起翘现象,达到了修复要求。但以上几种性质的材料,最大的弱点是使用期间容易腐败变质,也不耐老化。因此,我们一方面参考国外文物修复资料,同时也得到有关单位,如文物保护科学技术研究所,特别是胡继高同志的具体指导,以聚乙烯醇、聚醋酸乙烯乳液、聚乙烯醇缩丁醛、乙基纤维素、聚甲基丙烯酸甲酯等,根据莫高窟的地理气候及壁画病害的具体情况,进行了材料的黏结强度、稳定性、物理和化学变化等对比试验。试验结果表明,有的溶液不是无色透明,用后有污染壁画现象,另一方面有几种合成材料都是用有机溶剂稀释,窟内通风条件差,挥发物不易散发,这样不但空气受到污染,影响人体健康,而且对保护壁画也是不利因素。因此,我们重点对水溶剂的聚乙烯醇、聚醋酸乙烯乳液,进行了比较系统的试验。在试验中我们考虑到古代壁画用的都是水溶性胶质,所以现在还是用水溶剂的合成材料较为合适。从产品介绍得知,它们的化学分子式和性能等分别为:

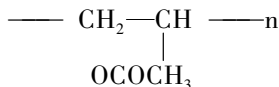
聚乙烯醇化学式:



它是一种白色细颗粒的粉状固体,溶于水无毒、无臭、强度大、成膜性好,成膜无色透明。

它的缺点是:不耐水, pH 7 ~ 9

聚醋酸乙烯乳液化学式:



它是一种乳白色均匀的稠厚液体,溶于水、无毒、无臭、强度大、成膜性好,成膜无色透明、耐水。

它的缺点是: pH 3 ~ 5。

根据以上两种材料的性能,分别在壁画残片上进行了试验,同时又进行了混合配比试验。试验结果见表2~表5。

表 2 不同浓度聚乙烯醇树脂实验效果

名称	浓度	涂刷次数	有无变色	有无光泽	牢固情况	备 注
聚 乙 烯 醇 树 脂		未涂	原色	无光泽	脱落	
	1%	1	无变色	无光泽	脱落	
		2	无变色	无光泽	脱落	
	2%	1	无变色	无光泽	不脱落	
		2	无变色	无光泽	不脱落	
	3%	1	无变色	无光泽	不脱落	
		2	无变色	无光泽	不脱落	
	4%	1	无变色	无光泽	不脱落	
		2	有变色	有光泽	不脱落	
	5%	1	有变色	有光泽	不脱落	
		2	有变色	有光泽	不脱落	

表 3 不同浓度聚醋酸乙烯乳液实验效果

名称	浓度	涂刷次数	有无变色	有无光泽	牢固情况	备 注
聚 醋 酸 乙 烯 乳 液		未涂	原色	无光泽	脱落	
	1%	1	无变色	无光泽	不脱落	
		2	无变色	无光泽	不脱落	
	2%	1	无变色	无光泽	不脱落	
		2	无变色	无光泽	不脱落	
	3%	1	有变色	有光泽	不脱落	
		2	有变色	有光泽	不脱落	
	4%	1	有变色	有光泽	不脱落	
		2	有变色	有光泽	不脱落	

表 4 不同混合剂涂刷一遍实验效果

名称		比例	浓度	涂刷次数	有无变色	有无光泽	牢固情况	备注
混合剂一	聚乙烯醇	4	1.5%	1	无变色	无光泽	不脱落	
	聚醋酸乙 烯乳液	1	1%					
混合剂二	聚乙烯醇	4	2.5%	1	无变色	无光泽	不脱落	
	聚醋酸乙 烯乳液	1	1%					

表 5 不同混合剂涂刷二遍实验效果

名称	比例	浓度	涂刷次数	有无变色	有无光泽	牢固情况	备注
混合剂一	聚乙烯醇	4	1.5%	2	微变色	无光泽	不脱落
	聚醋酸乙 烯乳液	1	1%				
混合剂二	聚乙烯醇	4	2.5%	2	有变色	无光泽	不脱落
	聚醋酸乙 烯乳液	1	1%				

因我们对修复古代壁画的要求是：不改变原有壁画色彩、无炫光、修复效果均能达到牢固的程度。经以上对比试验，结果证明以下几种黏合剂的配比，比较适用于修复壁画。

- (1) 1%~3% 聚乙烯醇；
- (2) 1%~1.5% 聚醋酸乙烯乳液；
- (3) 1.5% 聚乙烯醇:1% 聚醋酸乙烯乳液 = 4:1；
- (4) 2.5% 聚乙烯醇:1% 聚醋酸乙烯乳液 = 4:1。

另外，近几年化工部涂料工业研究所又为我所提供了苯丙乳液（苯乙烯和丙乙酸共聚）、乙丙乳液（醋酸乙烯与丙烯酸共聚）和醋顺共聚乳液（醋酸乙烯和顺丁烯二酸二丁共聚乳液）。经室内试验后，在莫高窟 431 窟的起甲壁上作了现场试验，目前处于观察阶段。

2. 修复材料稳定性试验

在缺少设备的情况下，我们利用大自然的气候变化，对修复材料作了不同配比的稳定性试验。将涂过修复材料（每块均有未涂部分）的壁画残片，放置在莫高气象站观察场内，任其自然的日晒、夜冻、夜露。经过三个多月的考验后，可以明显看出，凡涂过修复材料部分，颜色、光泽等仍保持原状，未经处理部分，白粉层和颜色变化比考验前暗淡、粉化，用手轻摸即可脱落。由此可以证明，使用的黏结材料对壁画起到了一定加固作用，也没有产生不良影响。所以同样的材料、同样的配比，使用到光线较弱的洞窟内保存的时间会更久。关于材料老化问题，我们曾请教过广州老化研究所的同志，根据他们的介绍，聚乙烯醇和聚醋酸乙烯乳液，在大陆性气候的光线暗淡的洞窟内，使用小比例，即使经过若干年黏合材料老化后，它也不会产生有损壁画的后果，并且还可以重新注射黏合剂修复。

3. 修复壁画工具的试验

修复大面积脱落壁画，有两种工具是根据试验自己加工制作的。一种是采用拉铆方法，就要透过壁画层在崖壁上凿眼，壁画上的眼又怎么凿法？将壁画凿取，既对空鼓壁画不安全，凿取的壁画又会失去作试块的作用。为了解决以上矛盾，我们自制了一种筒锯，使用者既可将壁画的眼钻通，钻下的壁画又可留作试块。另一种是泥浆如何灌到空鼓壁画的内部，当时也无处寻找压浆工具，通过试验我们自制了一种人工压浆器，在修复大面积空鼓壁画中，也起了一定的作用。

修复起甲壁画，最关键的是如何将黏合剂注射到起甲壁画的内部。以前曾试验过多种方法，总不够理想，后来受到捷克格拉尔先生的启发，用医用注射器注射黏合剂，使用也较方便，注射效果也较理想。但其缺点是，若修复窟顶壁画，因医用注射器压力小，黏合剂不等注射到起甲壁画内部就顺针头而下。后来我们又改制成橡皮球注射器，装满黏合剂注射效果好，但只剩一半时，就又出现医用注射器压力不足的缺点。在总结以上试验的基础上，我们又改制成气压注射器，既能经常保持注射时需用的均衡压力，又能不断地提供所需的注射黏合剂，使用这种注射器操作方便，工作效率高，修复效果好。从目前来看，这是修复起甲壁画比较理想的一种注射器。

五、修复壁画的工艺

在开始修复工作之前，必须对要修复的壁画进行详细的文字记录和摄影记录，必要时还要作测绘记录。修复前所作这些壁画原版记录是为了：①可以作为修复前的工作资料；②将来可以据此对照检查修复过程中有无变化及修复效果等。这项工作，是修复壁画或者说修复任何文物不可缺少的一个环节。

1. 壁画大面积脱落的修复工艺

对壁画大面积脱落的修复，因病害情况不同，所以采用的方法也不相同，如对壁画边沿脱离崖壁的修复，是采用 15% 的聚醋酸乙烯乳液水溶剂与黏土、麦草调制成泥，填塞到空鼓壁画的边沿，将壁画贴紧候干，再在草泥面上抹一层掺有麻刀的石灰（内掺少量澄板土求得灰层与壁画色调一致）。另一种大面积脱落现象，是壁画四周未脱离崖壁，只有中间部分地仗离开崖壁发生空鼓。对这种空鼓壁画，我们采用粘贴和铆固相结合的修复方法，如空鼓面积在 1 米² 左右，可只采用灌浆粘贴。灌浆粘贴工艺包括如下。

1) 钻取观察孔。为了观察浆液在空鼓壁画内的浇灌，首先在壁画的次要部位，钻取 0.5 ~ 1 厘米直径的观察孔，观察孔内埋入 20 厘米长的胶管，此胶管是防止浆液流在

壁画上。

2) 支顶壁板。按照修复壁画面积,制作托壁画的壁板,同时在壁板上留有穿胶管的孔,壁板用棉花和光滑及柔性的纸衬面,然后牢固地支顶到壁画上,以防灌浆时滑动。

3) 浇灌黏合剂。用人力压浆器将浆液压入空鼓壁画内部,顺序是由下当上。发现胶管流出浆液时,立即将胶管临时堵塞,待全部胶管流出浆液为止。

4) 回贴。回贴壁画时,将堵塞的胶管适当放开数根,贴壁画过程中,多余的浆液从胶管溢出,空鼓壁画是用螺杆或千斤顶(数量视情况而定)压贴。

5) 修复观察孔。壁画干燥后,拆除壁板,用与壁画地仗相同的材料修复观察孔,达到修复后的壁画与壁画原貌相近为止。

6) 以上是小面积空鼓壁画的修复,若空鼓面积较大,我们采用粘贴和拉铆相结合的方法修复。因空鼓壁画面积大,目前又没有很好的修复方法。为了使修复后的壁画更加牢固,我们就在壁画的适当位置,选择拉铆位置,再就是在拉铆点的崖石上凿孔、灌浆,埋设拉杆,崖孔深约 30 厘米,拉杆是 $\phi 12$ 钢筋,长 30 厘米,拉杆上固定壁画的十字形,钢板厚 0.5 厘米,宽 5 厘米,长 25 厘米。拉杆用水泥沙浆固定,候干透再灌浆回贴壁画(方法同前),然后用螺帽将十字形钢板固定在拉杆上,直至使空鼓壁画贴紧为止。最后将十字钢板遮挡的壁画,照原样复制在钢板上,莫高窟 130 窟的 320 多平方米大面积脱落壁画,在 1965 年用此方法抢修。

以后,我们考虑用有机玻璃作十字形固定壁画,这样既能起到拉铆的作用,又能透过有机玻璃见到壁画原貌。我们也曾在 85 窟作了试验,修复效果比较理想。以上就是我们修复大面积脱落壁画的方法。

铆钉加固大面积脱落壁画的缺点是:①在壁画上打孔;②夹板遮住壁画,但是这种方法施工快,可以作为一种抢修方法,为进一步加固创造条件。

2. 壁画起甲病害的修复工艺

修复起甲壁画的工艺,大致可分五个过程。

1) 清除壁画起甲内、外的灰尘与积沙,在工具方面我们采用的手提式小型吸尘器。只要操作得法,完全可以达到安全除尘的目的。

2) 注射黏合剂。注射黏合剂的部位,一般在壁画起甲的裂口处。但遇到起甲面积比较大,只靠裂口处注射黏合剂,达不到渗透起甲壁画的目的。这时就需在适当部位新刺针眼,注射黏合剂。注射黏合剂过程中:一方面黏合剂不要流在壁画表面;另一方面谨防起甲壁画坠落,如果遇到此种情况,一定想办法将它贴回原处。每一处(10 厘米见方)注射黏合剂 2~3 遍,待黏合剂水分定收,用竹、木或不锈钢刀,将起甲壁画贴

回地仗层。

3) 用棉球排压起甲壁画。已注射过黏合剂的壁画,就要用棉球压实。棉球是用质地细而白的绸缎包脱脂棉绑扎而成,大小直径一般以五厘米左右为宜,用纱布或粗布纹的布,在排压过程中,会把布纹印在壁画上,用塑料布,则因不透气,又太光滑,容易把壁画吸下来。捷克格拉尔先生就是用纱布压壁画,壁画上留有許多布纹,所以,粗布纹的布和塑料布都不适用。在排压壁画时,要注意棉球的起落方向,最好是从壁画未裂口处向裂口处轻轻滚动,这样能将起甲内的空气排出,不会出现气泡,另一方面,壁画也不会被压出折皱。

4) 注射时加固后的壁面表面再喷涂黏合剂。这一工序有两种作用:其一,对壁画表面修复加固,特别是壁画未起甲部分更为重要。其二,检查起甲壁画有无未注射黏合剂的遗漏处,因有些起甲壁画虽已脱离地仗层,但未有起翘现象,所以从外表不易发现。待表面喷涂黏合剂后,很快出现一鼓泡,若发现此类情况,再按以上第二工序进行修复加固。喷涂工具我们采用的小型空气压缩机,喷涂压力一般是 1.5 ~ 2 个大气压,在喷涂过程中只要距离、方向、速度合适,喷涂效果是比较理想的。它的优点是工作效率高,均匀,操作方便。

5) 滚压。喷涂的黏合剂达到 70% 的干燥程度后,将白绸(与包棉球材料相同)铺在壁画上,用软胶辊滚压,滚压时用力均匀,以防壁画上出现滚痕。(注:滚压必须在喷涂黏合剂干燥达 70% 以后进行,以免滚压时将壁画粘在白绸上。滚压时干燥度也不能超过 80%,以免粉皮干燥,滚压时脱落。)

以上工序进行完毕,也就是起甲壁画已经修复。莫高窟 161 窟壁画原来普遍起甲,摇摇欲坠,脱落严重,1962 年我们用聚乙烯醇和聚醋酸乙烯乳液的混合剂,采用以上工序进行修复,经过修复的壁画已转危为安。目前它已经接受了 20 多年的考验,还未发现退色、变色及重新起翘等不良现象,当然,修复后的时间,比起它自身的历史来还是短暂的,需要让它在大自然中继续进行考验。

(原刊于《文物保护技术》辑刊 1987 年第五辑第 49 ~ 64 页)