



奇迹天工

——文物背后的科技故事

北京文博交流馆 编

北京出版集团公司
北京美术摄影出版社



奇迹天工

——文物背后的科技故事

北京文博交流馆 编

北京出版集团公司
北京美术摄影出版社

图书在版编目(CIP)数据

奇迹天工：文物背后的科技故事 / 北京文博交流馆
编. — 北京：北京美术摄影出版社，2012. 1

(文物背后的故事)

ISBN 978-7-80501-414-2

I. ①奇… II. ①北… III. ①文物保护—科学技术—
中国—普及读物 IV. ①K87-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第043386号

文物背后的故事

奇迹天工

——文物背后的科技故事

QIJI TIANGONG

北京文博交流馆 编

出版：北京出版集团公司

北京美术摄影出版社

地址：北京北三环中路6号

邮编：100120

网址：www.bph.com.cn

总发行：北京出版集团公司

印刷：北京同文印刷有限责任公司

版次：2012年1月第1版第1次印刷

开本：787毫米×1092毫米 1/16

印张：6.75

字数：64千字

印数：1—3 200

书号：ISBN 978-7-80501-414-2/K·39

定价：28.00元

质量监督电话：010-58572393

树丰碑于青史 发潜德之幽光



编者的话

中华民族历史悠久，文化灿烂；

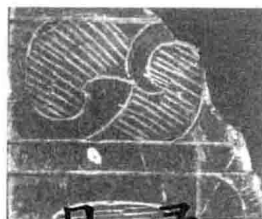
华夏文明源远流长，一脉相承。

在悠悠几千年的中华民族发展进程中，我们的祖先创造了无数人类文明的杰作。这些人类文明杰作既包括了如繁星般点缀在华夏大地上的那些宏伟壮丽的古建筑，也包括曾深藏于皇宫大内和豪宅深院的那些小巧玲珑的国粹精品、书画文玩。它们历经沧桑、几经浩劫流传至今，都已是弥足珍贵，使人需仰视而得见。它们是我们民族兴衰荣辱的实物见证，既记载了我们祖先的光荣与梦想，也烙印了我们民族的屈辱与迷茫。保护、传承这些历史文物，普及文物知识、历史知识，是当今文物工作者的职责和历史使命。

现在，当一般观众走进博物馆中观赏那些陈列于高大展柜内的古代文物时，当普通游客跋山涉水不远万里来到那些古建筑面前时，常常是惊叹、敬畏之情，多于亲近喜爱之情。但是，一般

文物书籍和讲解，大多是向人们介绍文物的历史、科学和艺术价值。而隐藏在这些文物背后的故事，这些文物历经千百年流传至今，所经历的艰难险阻、沧海沉浮，是大多数观众和游客参观时不能了解的。今天，我们编写这套丛书，就是想为读者撩开罩在文物面庞上的神秘面纱，讲述它们身后的那些曲折的故事，让读者走近文物、亲近文物。让读者走进文物所产生的那个时代中，走进与这些文物息息相关的那些人的曲折人生中，与文物一起重温发生在它们身上的善恶美丑、悲欢离合，以此来呼唤人们更加热爱我们祖国灿烂的文化，更加珍爱祖先留给我们的这些宝贵的文化遗产。

舒小峰



目 录

北京城墙与考古遥感	1
智化寺智化殿壁画探源及保护	6
“千疮百孔”的大昭寺神碑 与天花病的消亡	11
能打出食盐的千米深井 ——四川自贡井盐的奇迹	16
从大葆台汉墓“黄肠题凑” 看北京的环境变化	21
永乐大钟与中国古代梵钟铸造	30
神秘的八角星纹与王母娘娘的发饰	35
古人的环保杰作 ——长信宫灯	42

浑仪

——追寻日月星辰的轨道·····47

中西合璧的清代天文仪象·····50

乐山大佛的排水系统·····55

中国古代青铜器表面的镀锡技术·····58

铜壶点滴漏不尽 岁月时刻无停歇

——记北京鼓楼的铜壶滴漏·····69

冶炼铜华清而明

——精美神奇的楚、汉铜镜·····74

琢石成器

——中国古代玉雕工艺品背后的故事·····85

北京戒台寺

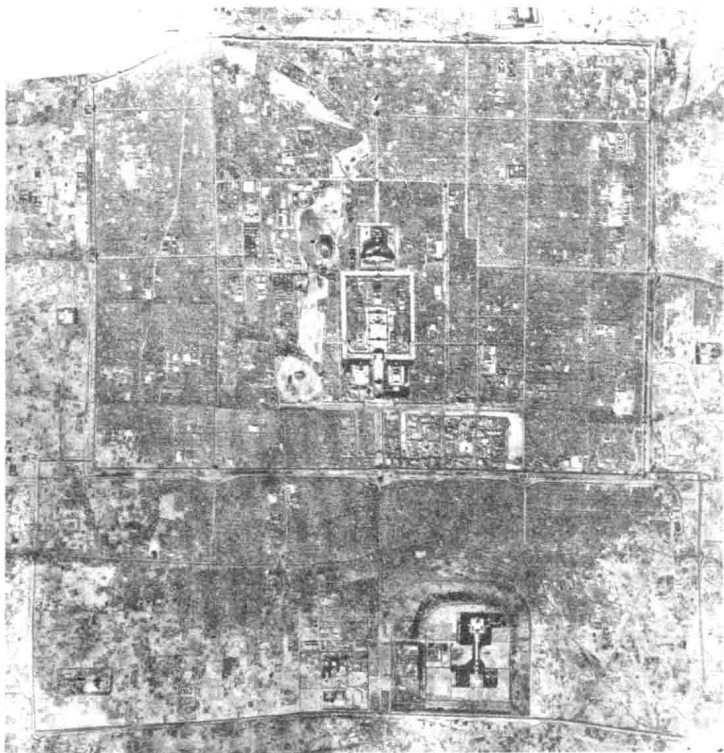
——“锅山”背后的故事·····91

北京城墙与考古遥感

北京具有悠久的历史 and 丰厚的文化底蕴，处处展现着恒久的魅力。然而让人们非常遗憾的是，始建于明朝的明清北京城在30多年前多被拆除，仅剩下正阳门城楼、正阳门箭楼、德胜门箭楼、东南角楼以及崇文门以东、宣武门以西拐角两处的残垣断壁。

那么明清北京城的构造究竟如何呢？从目前能够收集到最早的20世纪40年代北京城航空影像上，可以看出其明显的“凸”字形城垣。

南部的外城建有7座城门，正南面有右安门、永定门、左安门，东面是广渠门，西面有广宁门（清朝时改称广安门），东北和西北与内城城垣会合处分别有东便门和西便门。内城四面有正阳门、崇文门、宣武门、朝阳门、东直门、安定门、德胜门、西直门和阜成门9座城门。内城和外城的城门原来都有城楼、瓮城和箭楼，但影像上很多城门已经被毁，内城只有崇文门、西直门和阜成门的瓮城保存较为完好，其中崇文门为圆角方形，阜成门近乎半圆形，西直门为方形，而且西直门的城楼和箭楼都非常完整。外城的瓮城较小，很



20世纪40年代北京城航空影像图



1959年西直门及其周边地区
航空影像图

多城门都比较完整。西直门直到1959年仍然具有完整的结构。

航空影像上北京内城城墙有很多的缺口，如现在的建国门、和平门、复兴门、新街口豁口等处，而且环城铁路也以圆弧形线路穿过城墙的东南角和东北角。由此可见，这个时期的北京城墙已经残缺，永定门以西的城墙破损严重。北京城内也有很多大的建筑群，如天坛、故宫、景山、北海，以及一些王府等。影像上的景山公园宛如一尊盘腿打坐的佛，端庄安详，其面部特征非常明显，双手合于胸前，不知是当年设计者绝妙的安排，还是偶然的巧合，直到现在拍摄的航空影像或卫星影像上，景山公园还像是一尊栩栩如生的坐佛。而城内的中南海、北海、前海、后海、西海等水体相互连接，宛若翻腾于云海的蛟龙，盘踞在紫禁城右侧，中南海中的小岛则成了点睛之笔。

这种通过航空影像提取有用信息的技术称为遥感，即“遥远感知”的意思。遥感技术是利用某种系统装置，在不直接接触有关目标物或现象的情况下，收集有关电磁波等辐射能量的信息，并对其进行处理、分析和识别，最后提取和应用有关目标物或现象的特征信息，为生产和科研工作服务。现代遥感技术的基本作业过程是：在距地面几千米、几百千米甚至上千米的高度上，以飞机、卫星等为观测平台，使用光学、电子学和电子光学等探测仪器，接收目标物反射、散射和发射来的电磁辐射能量，以图像胶片或数字磁带形式进行记录，然后把这些数据传送到地面接收站。最后将接收到的数据加工处理成用户所需要的遥感资料产品。

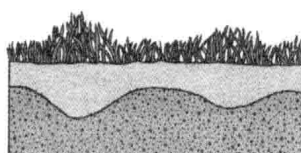
考古遥感就是从航天飞机、卫星等不同空间位置上，运用摄影机、扫描仪、雷达等成像设备，获取考古遗址的影像资料，然后运用计算机图形图像处理技术，对这些影像进行增强和处理。同时，根据遗址范围内的表现状态和光谱成像规律等的相互关系，对影像的色调、纹理、图案及其时空分布规律进行研究，判定遗迹或现象的位置、分布、形状、深度等特征，进行遗址探索、考古测量、古地貌和古遗址复原等工作，为考古研究和遗产保护提供重要

数据。根据十三陵的地形图与航空影像生成的三维模型图，可以从不同的角度对整个陵区或单个陵墓进行观察和研究，能够清楚地看出每个陵墓与山脉的密切关系，即每个陵墓后面都会有一条蜿蜒的山脉，展现出当时皇家陵园中的“风水”特征。



十三陵地区三维模型图

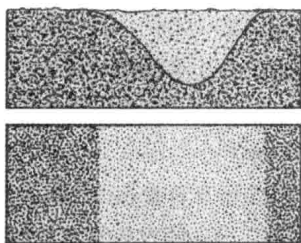
考古遗迹或现象以其独特的方式存在于自然环境之中，对周围环境也会产生一定的影响。遗址中的路土、夯土、填土、淤土等与自然土壤的色泽、结构、湿度、致密度等不一样而产生的差别，在一些遥感影像上也能清晰地显示出来，被考古遥感工作者利用，成为判读一些遗迹的土壤标志。而残存于地面之上的遗迹总会呈现出一定地貌特征，它们在倾斜太阳光线的照射下，其阴影的明暗、形状、大小和组合方式，能够清晰地反映出遗迹的残存状况、分布、范围等特征，在遥感影像上形成遗迹的阴影标志。地下埋藏的考古遗迹或现象往往会产生土壤的板结与疏松、肥沃与贫瘠、含水量多少等差异，从而会导致树木与灌木丛生长与分布情况发生异常，或者会使农作物与野草的高度、密度和色彩出现差异，这些差异



正向植被标志



负向植被标志

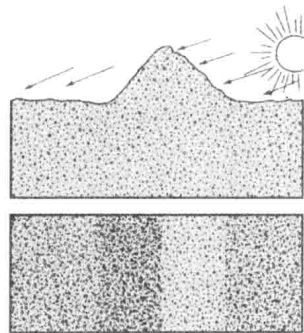


正常土壤颜色 扰动土壤颜色 正常土壤颜色
土壤标志

剖面图

剖面图

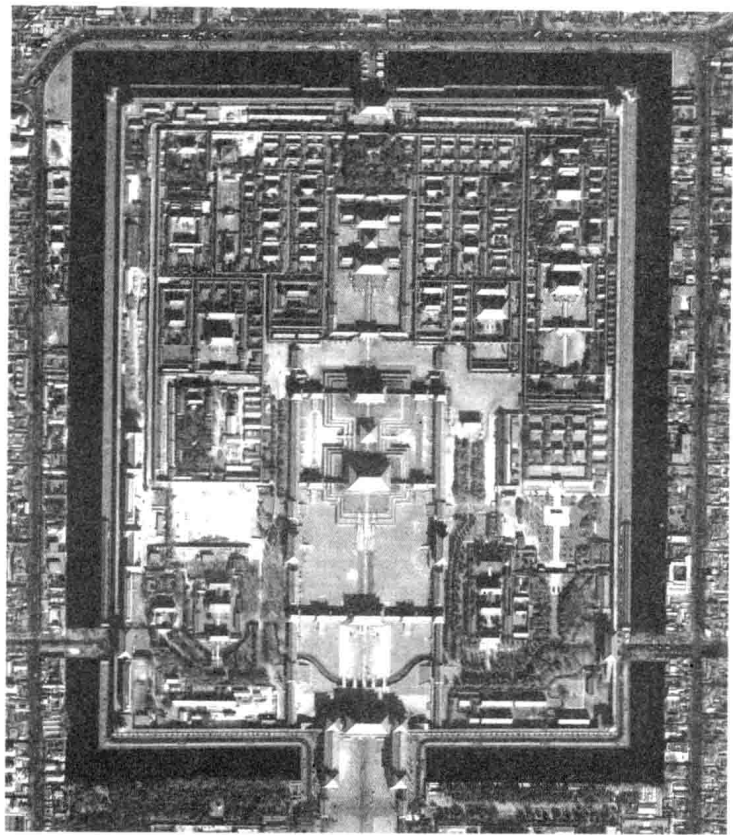
空中景观



正常 阴影 明亮 正常

阴影标志

考古遥感中常见影像标志



故宫高分辨率卫星影像图

在遥感影像上都有各自的表现特征，从而成为判断地下遗迹或现象的植被标志。遗迹的土壤、阴影和植被标志是考古遥感影像上最基本的影像特征，掌握了这些特征就可以对遥感影像进行正确的解译和分析。

卫星影像往往能够接收可见光、近红外、中红外乃至热红外等不同光谱波段的地面反射信息，具有丰富的光谱特征。在地表土壤干燥而裸露的季节，地下的夯土基址、古河道等考古遗迹，能够在卫星影像上形成较为明显的遗迹标志，特别是中红外波段卫星影像对地表土壤的干湿差异有很好的反

映效果，能够反映出地下遗迹的总体布局特征，非常适合于考古勘探方面的应用。现在商用卫星影像的全色波段分辨率达到0.6米，成像成本很低，成像周期很短，在考古研究和遗产保护中的应用前景很好。短周期的高分辨率卫星影像可以对文化遗产进行严密的监测和预警，时刻掌握文化遗产的保存情况，避免人为或自然原因对文化遗产造成的损坏。

现在小卫星技术发展迅速，小卫星由于重量和体积大大减小，研制周期缩短，成本大幅下降，随着高性能传感器的发展，探测技术相当先进，受到很多领域的密切关注。2005年10月27日在俄罗斯普列谢斯克（Plesetsk）卫星发射场成功发射了北京一号小卫星，为国内外遥感应用用户提供了大量多光谱和全色遥感影像产品。

考古遥感技术能够从不同的空间角度，利用多种地面信息，运用计算机图像处理技术，对古代遗址作全方位的分析研究，速度快，周期短，方法灵活多样，能节省大量的人力、物力和时间，为考古研究和遗产保护提供科学而合理的数据支持。考古遥感技术在古城等大型遗址的研究中作用尤为明显，特别是在地表残存一定的遗迹的情况下效果很好。遥感影像记录的是成像瞬间的信息，所以早期的遥感影像上往往可以判读出现在已经毁坏的重要考古遗迹。

北京地区有天坛、十三陵、长城等大量的重要文化遗产，遥感技术将会在这些遗产的研究和保护中提供各种各样的数据和信息，发挥越来越重要的作用。

小贴士

1. 光谱

光谱是复色光经过色散系统（如棱镜、光栅）分光后，被色散开的单色光按波长（或频率）大小而依次排列的图案。

2. 遗迹

遗迹是古代人类通过各种活动遗留下来的痕迹。包括遗址、墓葬、灰坑、岩画、窑藏及游牧民族所遗留下的活动痕迹等。其中遗址又可细分为城堡废墟、宫殿址、村址、居址、作坊址、寺庙址等，还包括当时的一些经济性的建筑遗存，如山地矿穴、采石坑、窑穴、仓库、水渠、水井、窑址等；防卫性的设施如壕沟、栅栏、围墙、边塞烽燧、长城、界壕及屯戍遗存等也属此类。

（刘建国 □文）

智化寺智化殿壁画探源及保护

在我国古代建造的石窟、建筑和陵墓的墙壁上，常常会有精美的绘画，被称作壁画。中国古代壁画的制作方法多种多样，是文化、艺术和技术的结合体，是历史悠久的重要文化遗产。在北京东城区禄米仓胡同，有一座建于明代的佛教寺院智化寺。根据《明史》和保存在智化寺内的碑刻记载，明朝正统八年(1443年)，大太监王振舍宅建寺；第二年建成后，皇帝英宗赐名“智化禅寺”。

智化寺是北京地区保存不多的明代建筑群的代表，名气很大。画在主殿智化殿佛像后面、板壁背面的壁画《地藏菩萨说法相》，更是因为独特的题材和特殊的绘制技术而蜚声海内外。

绘制《地藏十王图》在中国唐代末期和五代时期非常盛行。现今所存的最古老的范例是甘肃敦煌出土的一整幅《地藏十王图》，绘制于唐代。在《图画见闻志》卷二有



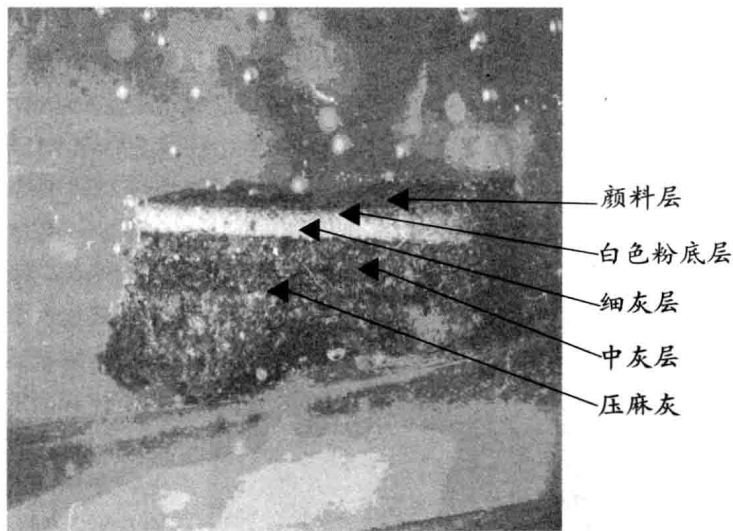
壁画

关五代王乔士一条的记载中，也曾经提到。从现存资料看，这一时期的《地藏十王图》壁画构图基本相同，都是在画面中央绘有地藏菩萨坐像，两边排列着冥府十王、童子、判官、道明和尚、金毛狮子等，地藏王的身后，画有象征着六道的六朵云彩或者是六道的众生相。到了元代后期，在这一构图基础上，把十王分别画为10幅相对独立的小画面，形成新的画面形式。

智化殿的《地藏菩萨说法相》壁画没有采用元代末期以后常见的《地藏十王图》形式，而是选用唐宋时期的构图，在宽4.7米、高3.1米、总面积为14.57平方米的画面中央绘制了坐在狮背连台中的地藏菩萨，左右有闵长者、道明和尚和辅助地藏菩萨救度众生的冥府十王，这在继承此类题材古代构图方面，是一个不多见的范例。

中国古代寺观壁画一般是首先在用砖或土坯砌筑的殿堂墙体上涂抹掺有植物纤维的粗泥层和细泥层，也就是制作壁画的地仗层，在地仗层的上面还要涂一道白粉层，然后才会用矿物质颜料在白粉层上进行壁画创作。北京周边的古代寺庙壁画基本是采用这种制作方式。但是，智化寺壁画却不同。它以木板为壁画的支撑体，在木板的表面使用了古代建筑油饰彩画地仗，也就是麻灰地仗的制作工艺制作壁画的地仗层。

长期以来，对智化寺这幅壁画使用的材料和制作工艺研究很少，对它的地仗结构和支撑体结构更是缺少了解。2003年，文物保护工作者开始借助一些现代分析仪器，对智化寺壁画进行检测。他们利用实体显微镜、X射线荧光分析仪、X射线衍射分析



壁画中的颜料层

仪、扫描电子显微镜、红外光谱分析仪分析壁画样品的成分和结构，利用便携式X射线探伤仪对壁画支撑结构进行探测，还利用环境监测设备，检测了壁画的保存环境。通过调查和分析检测，基本查明了智化寺壁画的结构、制作材料、制作工艺和保存环境，发现了一些隐藏在画面背后的秘密和表面看不到的病害，对今后的保护、修复工作提供了有力的证据。

通过对破损部位的观察和取样分析发现，壁画地仗是

按照中国明清官式建筑油饰彩画的两麻六灰地仗工艺制作的，也就是在木板上使用六道用桐油、砖灰调制的油灰和两层麻布制作地仗。在记录古代建筑彩画制作工艺的文献中提到，各道油灰层采用的砖灰的粗细并不相同，靠近壁画表面的灰最细。通过显微镜观察智化寺壁画，证实了这一点。

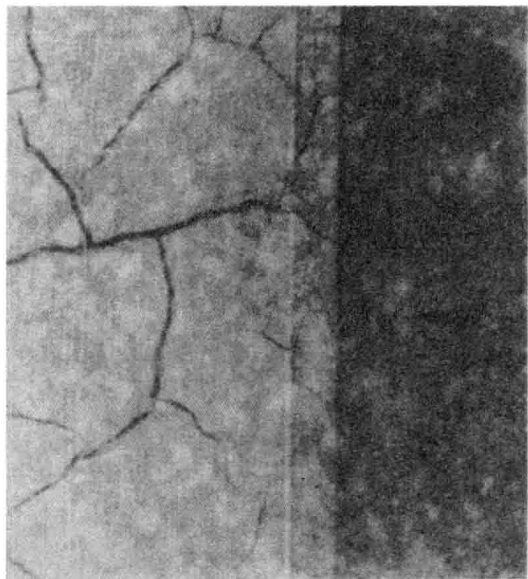
X射线探伤技术在我们生活中并不陌生，医院中的X光胸透检查就是应用了这种技术。近年来，文物工作者把这个技术引入文物保护，用来观察从表面看不到的文物内部情况。关于智化寺壁画的木板支撑体情况，目前还没有可信的记录，壁画背面现在又被大块的石膏板遮盖，外面还有展架和展板，所以无法了解壁画背部结构。为了解木板结构及木板拼接情况，使用了X射线探伤技术的无损检测进行调查，发现壁画支撑体由竖着的木板拼接而成，每块板子宽约25厘米。通过X光照片还发现，壁画的灰地仗有大块干裂现象，应属于靠近木板的头道灰层干燥收缩而成。

壁画所处环境对壁画的保存有直接影响。影响壁画长期保存的原因有很多，而日光中的紫外线、环境温度和湿度是至关重要的。所以，保护智化寺壁画也必须掌握它的

保存环境和智化殿周边环境状况。

这幅壁画保存在智化殿北面的抱厦中，为了让观众能够欣赏壁画，常常要打开北侧的大门，户外强烈的光线会直接照射在壁画上；冬季的北风直吹到壁画表面，对壁画保护非常不利。通过调查，确认问题后，打开了智化殿正门与抱厦间的通道，封闭北门，还给殿内照明灯增加声控功能，有效地防止了紫外线对壁画的破坏。

温度和湿度的大幅度变化对壁画的保存有很大影响，高湿度会导致壁画酥碱、起甲等病害的发生。利用小型气象站测定了智化殿周围的气温、相对湿度、风速、风向、小时降雨量和全天日射量，使用小型温湿度监测器在壁画的正下方和右侧监



壁画灰地仗开裂现象

测温湿度发现，殿内温湿度随着殿外的温湿度变化而波动，说明殿外天气变化直接影响到殿内的环境变化，特别是湿度变化已远远超出文物保护环境的要求。智化殿壁画常年都有人参观，白天不关殿门，殿内与外界空气、尘灰随时都在流动。根据客观条件，在还不能完全控制殿内温湿度变化的情况下，保护工作者提出了随天气变化开关殿门的建议，也就是在降雨或殿外湿度过高时关闭殿门，在晴天湿度较低时，打开殿门通风换气，保持殿内湿度的稳定。

通过全面的、科学的调查、检测和研究，对智化寺壁画的保存现状、病害有了更准确的了解，对传统壁画制作工艺有了更深的认识，为壁画的保护和修复提供了科学依据，奠定了坚实的基础。

小贴士

1. 壁画

人类在岩石和壁面上作画已有很长的历史，古代壁画艺术是人类最早的文明表现形式之一，同样壁画艺术也是世界上分布最广、年代最早的艺术形式之一。所谓壁画，就是指在建筑物墙壁上的绘画，是绘画中有代表性的表现形式，是人类艺术创造和文明发展的标志之一。

壁画不同于一般的绘画。作为建筑的装饰画，它也有自己的特点，即壁画具有建筑性和装饰性。壁画虽然依附于建筑物，但并不是建筑物的附属品，而是建筑物不可分割的一部分；同时壁画还具有装饰建筑、宣传思想、教育观众及作为宗教崇拜的对象等功能。装饰性是由建筑性决定的，反过来装饰性又体现了建筑性。

我国壁画按照建筑形式可分为：建筑壁画、墓葬壁画和石窟壁画。

建筑壁画：是指绘于寺观建筑和普通殿堂中的壁画，这些壁画主要起到对建筑物的装饰作用，寺观中的壁画还具有宗教传播、宣传等功能。

墓葬壁画：是指绘于古代墓葬的墓室和墓道墙壁上的壁画，这些壁画的内容多是体现墓主人生前的生活以及对死后生活的向往。从绘画的内容上可以推断墓主人的身份，对于历史研究具有非常重要的史料价值。

石窟壁画：是指绘于石窟中的壁画，这些壁画主要分布在我国甘肃敦煌地区，壁画的内容有佛像、佛经故事、动物、山水、树木、装饰图案和供养人像，是我国壁画艺术的一大宝库。按照制作工艺可分为：干壁画和湿壁画。

干壁画是世界上历史最悠久、分布最广、保存量最大、技术成熟最早的壁画形式。干壁画的颜料层绘制在干燥的地仗表面。我国目前现存的壁画全部都是干壁画。

湿壁画是壁画颜料用石灰水或石灰调和后画在潮湿的地仗上。这种壁画多存在于西方壁画中。

2. 酥碱

酥碱是壁画病害中最为严重、对壁画危害最大，也是最难治理的病害。因此，文物保护工作者将之称为壁画的“癌症”。壁画酥碱是由可溶盐引起的，壁画地仗中的可溶盐以及地仗附着岩体或墙体中的可溶盐随水迁移并富积在壁画地仗表层。当壁画所处的环境湿度增大时，可溶盐溶解并连同地仗层膨胀，当环境湿度变小时，可溶盐结晶收缩，这样可溶盐始终处于反复溶解—结晶—再溶解—再结晶，即反复膨胀—收缩—再膨胀—再收缩的循环状态。这一过程对壁画画面造成非常严重的破坏，致使壁画酥碱。酥碱病害有两种状态：一种是连片状酥碱，另一种呈点状，称为疱疹状酥碱。

3. 起甲

壁画的颜料层或颜料层连同白粉层一起从地仗层上以小片(状似鱼鳞)状翘起，称为壁画起甲。

(陈 青 □文)