

基于STEAM教育理念“化-史-艺融合教学”在化学类通识课程中的运用 ——以文物系统性保护和弘扬为例

吴佳琳, 蒋子璇, 章鹏飞, 徐伟明*

杭州师范大学材料与化学化工学院, 杭州 311121

摘要: 文物作为文化和自然遗产的一部分, 对建设中国式现代化具有积极意义。其系统性保护涉及化学化工、材料科学、检测分析、历史考古、美术鉴赏等学科领域, 其弘扬和传承与强调科学、技术、工程、艺术与数学等学科交叉融合的STEAM教育理念相一致。鉴于此, 本文以出水陶瓷、出土青铜和再现壁画为切入点, 通过化学-历史-艺术融合教学的模式, 让学生在文物系统性保护的实际过程中, 先了解相关化学知识, 串联传统文物系统性保护中蕴含的历史知识与艺术价值开展教学, 提升学生对中华传统文物的了解和对中华文化的归属感, 增强学生科技和文化自信, 从而培养学生的综合素质和能力。

关键词: 文化和自然遗产; 文物系统性保护; STEAM教育理念; 化学-历史-艺术融合教学; 科技文化自信

中图分类号: G64; O6

Application of the STEAM Education Concept in General Chemistry Courses: Integrating Chemistry, History, and Art through Systematic Protection and Promotion of Cultural Relics

Jialin Wu, Zixuan Jiang, Pengfei Zhang, Weiming Xu *

College of Material, Chemistry and Chemical Engineering, Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121, China.

Abstract: Cultural relics, as an integral part of cultural and natural heritage, play a significant role in the construction of Chinese-style modernization. Their systematic protection spans multiple disciplines, including chemistry and chemical engineering, materials science, testing and analysis, historical archaeology, and art appreciation. This aligns with the STEAM education philosophy, which emphasizes the interdisciplinary integration of science, technology, engineering, art, and mathematics. This paper focuses on unearthed ceramics, bronze artifacts, and reproduced wall paintings as case studies. Through a teaching model that integrates chemistry, history, and art, students are guided to understand relevant chemical knowledge while engaging in the systematic protection of cultural relics. The approach connects historical knowledge and artistic value embedded in traditional cultural relics, aiming to enhance students' understanding of Chinese cultural heritage, foster a sense of belonging to Chinese culture, strengthen their confidence in science, technology, and culture, and cultivate comprehensive qualities and abilities.

Key Words: Cultural and natural heritage; Systematic protection of cultural relics; STEAM education philosophy; Chemistry-history-art integrated teaching; Confidence in science and technology culture

收稿: 2024-12-11; 录用: 2025-02-24; 网络发表: 2025-08-19

*通讯作者, Email: wmxu@zju.edu.cn

基金资助: 杭州师范大学课程教改项目(化学类专业大衔接教育探索研究); 国家级大学生创新创业训练计划(2021213102056)

1 引言

2024年7月26至27日,在印度新德里召开的联合国教科文组织第46届世界遗产大会上,“北京中轴线——中国理想都城秩序的杰作”“巴丹吉林沙漠——沙山湖泊群”和“中国黄(渤)海候鸟栖息地(第二期)”成功列入《世界遗产名录》,这不仅为中国式现代化进程中物质文明和精神文明和谐并进、人与自然共生共荣的愿景注入了强劲动力,同时也为世界文明的多彩画卷添上了浓墨重彩的一笔^[1]。作为中华民族的文化瑰宝和自然珍宝,文化和自然遗产如璀璨星辰般熠熠生辉,镌刻着世代相传的基因图谱,保护文化和自然遗产功在当代、利在千秋。

文化和自然遗产的整体性、系统性保护涉及化学化工、材料科学、检测分析、历史考古、美术鉴赏等,文物作为文化和自然遗产的一部分,其系统性保护和弘扬的知识,也需要多学科融合教学,这与STEAM教育理念完美契合。STEAM教育是2006年美国佛罗里达大学教授格雷特·亚克门及其团队在STEM教育的基础上新增了艺术,形成了融合科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)、艺术(Arts)和数学(Mathematics)的一种超越传统教育模式的新型教育理念,旨在使学生在跨学科的基础上,学习较高层次的思维和技能,锻炼逻辑思维能力、问题解决能力、同伴之间的合作实践能力,培养学生的综合素养^[2]。

大学通识类课程鼓励学生打破专业壁垒,去接触和了解不同领域的知识,实现专业知识、人文素养、科学素养、艺术素养等全面发展;同时,帮助学生增强社会责任感和公民意识,培养学生成为有担当、有责任感的创新性人才^[3]。本文以文物系统性保护为例,基于STEAM跨学科教育理念,利用“化学-历史-艺术融合教学”方法,在大学生化学通识教育课程中阐述文物系统性保护,引导学生以综合的方式认识我国古代陶瓷器、青铜器等珍贵文物的历史和艺术价值,培养学生的美感素养和文化底蕴,增强学生对历史文物的敬畏之心、对中华文化的归属感^[4]。

2 “化-史-艺融合”在化学通识课程中的意义

2.1 五育并举:弥补传统教育下美学知识的缺失

美国发展心理学家霍华德·加德纳(Howard Gardner)的多元智能理论将人类智能分为语言智能、数理智能、空间智能、运动智能、音乐智能、社交智能、自省智能、自然观察智能和存在智能等九种相互独立的类型^[5]。教师要帮助学生开发多种智力类型组合并发现他们独特的智能优势,这与STEAM教育理念相契合。随着素质教育的改革,教育部制定的《义务教育小学科学课程标准》^[6]以及《普通高中课程方案(2017年版2020年修订)》^[7]中都强调了跨学科发展的重要性,渗透了STEAM教育的理念。然而在中、高考应试压力下,学校对跨学科融合的落实欠佳,大学理科教学也常忽略艺术能力培养。

2.2 融通育人:激发创新提升科技文化自信

爱因斯坦说:“伟大的科学家也常常是伟大的艺术家^[8]。”重视逻辑思维的和注重形象思维的艺术之间看似存在着不可逾越的分界线,实则相互交融。化学是一门蕴含美的学科,物质的微观世界、化学反应、实验现象等都体现着化学世界的无尽魅力。艺术不单指我们平时了解的精致艺术,它涵盖着肢体艺术、语言艺术、人文艺术、美感素养等方面。历史能提供知识起源、发展和形成过程等信息。因此教师在课堂中通过将三者融合开展教学,能拓宽学生认知,激发学生创新思维和创造力,提高科学和人文素养,培养学科融合思维。

2.3 由理及法:探究“化-史-艺融合教学”途径

从学生角度看,不少大学生修读过历史、艺术等通识类课程,通过博物馆、互联网等途径对文物系统性保护已有一定的认知和兴趣。学校开设化学、艺术、历史融合的文物系统性修复和保护类通识课程,预计会进一步提升社会对文化遗产保护关注度,使得文物修复不再冷门,有利于学生素养提升与价值观塑造。

从学校角度讲,文物系统性保护涉及多个学科。普通综合性高校历史底蕴深厚、艺术资源丰富,可整合校内外资源建立文物电子资料库,方便学生自主探索。还可组建“化-史-艺融合教学”教师团

队，邀请STEAM教育和文物修复专家担任顾问，培养专业综合能力过硬的教师团队，借鉴国内外经验构建课程框架、制定标准、明确教学目标和评估方法，开发相关通识类课程，助力文物系统性保护和弘扬。

3 文物焕新颜：科教与艺术的融合之旅

在文物的系统性保护过程中，化学技术的运用是首要的。当一个文物残缺时，我们首先就会想到用化学方法去修补好。但为了保证文物的原真性，运用什么材料填，填补后的颜色、线条、纹路应该是怎么样的，如何能让修复后的文物能还原中华民族的历史等都是文物修复过程中需要思考的问题。也正是因为这些问题，文物修复师被要求必须具备相关历史和艺术素养，不仅要会修，更要会鉴、会赏，要走进文物去与古人对话，由此再选择恰当的科学手段将蕴含其中的价值体现出来，并赋予文物灵性。本文以出水陶瓷、出土青铜和再现壁画为例，探讨其系统性保护过程中蕴含的“科教与艺术的融合”。

3.1 出水陶瓷：水上航运繁盛的历史见证

近年来，随着水下探测技术和打捞技术的不断发展，“南海I号”“南澳I号”“华光礁I号”“长江口二号”等沉船相继被发现。这些沉船的载船文物均以陶瓷器为主，还包括铁器、铜器、钱币、金、银等。

出水陶瓷究其年代都属于传统陶瓷，传统陶瓷是陶器和瓷器的总称，其主要成分都是铝硅酸盐，伴有少量的 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 CaO 、 MgO 等。我们都知道陶瓷是烧制而成的，在烧制的过程中，由于原料和烧制过程的不同，陶瓷器内部存在或烧成过程中生成了气体，使得陶瓷器形成多孔隙的结构特点^[9]。随着海水中化学、物理和生物的相互作用，陶瓷器的表面或内部孔隙中均黏附有铁质器、碳酸盐、有机物等物质。沉积物的黏附不仅遮挡住了陶瓷面貌，难除去的沉积物更是加大了陶瓷的修复难度。为了更好的展示和后期的保存，出水的陶瓷器都需要进行清洗。

从化学的角度来看，判断有无清洗干净的标准是玻璃仪器内部无污染物、无残留，内壁附着的水应既不聚成水滴也不成股流下，倒置时水流出后器壁不挂水珠。然而，出水陶瓷器的清洗却不然，并不是越干净越好，而是要先进行分析判断。

了解制瓷可以回到宋代，宋代是我国海上贸易的兴盛时期，制瓷业在这一时期得到了迅猛发展。装烧是瓷器生产中必不可少的一环，如何将生坯装入窑内，使用何种器具进行支撑和保护，对于瓷器的成品率和质量都十分重要。“南海I号”出水陶瓷中有运用支钉叠烧法制成的瓷器^[10]，支钉叠烧法是先在内钵内放置一垫饼，在垫饼上仰放器物，在器物内底放一圈由耐火粘土制成的支钉，支钉上面继续叠放坯体，依次反复叠放，以实现量产。以此方法制得的瓷器内部往往有黄色钉痕。景德镇青白釉碗底烧制时使用的垫饼是含铁量较高的耐火材料，烧制后碗底留下了黄褐色的斑块；闽清义窑青釉碗装烧时，在碗内用涩圈垫烧以提高产量，碗内也留下了沙砾。这些乍一看貌似是与瓷器本体格格不入的“杂质”，实则是古时造烧过程中造成的缺陷，而这缺陷蕴含着宝贵的历史资料，蕴含着古人在制瓷过程中用到的原料、技艺之美，甚至对于宋代整个陶瓷业的研究都具有重要的价值。倘若简单认为就应该洗干净洗光滑，利用超声或溶剂清洗等手段将其全部清洗除去，那么历史的痕迹就被抹去。

对于物理方法无法去除的沉积物，需要运用化学方法。为避免陶瓷器不受损伤，一系列温和型试剂被研究出来。例如，钙质沉积物可用有机酸如草酸、醋酸除去，对于铁质沉积物，可使用具有络合作用的螯合型清洗剂，如乙二胺四乙酸(EDTA)二钠盐、 $(\text{NaPO}_3)_6$ 等，沉积物中的 Fe^{3+} (Fe^{2+})与清洗剂中的阴离子形成可溶性螯合物，阴离子与清洗剂中的阳离子(如 Na^+)形成可溶盐，从而快速除去。所以，在文物系统性修复和保护中，简单的清洗也是一个有奥秘的步骤，修复师需要根据相关化学试剂和史料知识对沉积物的实质进行判断，再选择恰当的化学方法对其进行清洗和保护。此时对于陶瓷器来说，无暇并不是真正的美，有所缺陷和保留，才能真正守护住中华悠久历史及文化之美。

“南海I号”沉船是目前沉船中年代最久远、船体最大、文物储存最多的海上丝绸之路商船。其发掘出水的商品中生活用品居多，如碗、盘、壶等。《东西洋考》卷四记载“初盛食，以蕉叶为盘。及通中国，乃渐用磁器^[11]。”自从与中国有贸易交往后，东南亚国家才开始使用陶瓷器皿代替蕉叶盛装食物，瓷器的输入改变了其民众长久以来的饮食习惯，大碗、大盘备受欢迎，反映了我国陶瓷器对海外市场产生了深远影响。“南海I号”出水的陶瓷器种类繁多，主要有江西景德镇窑、浙江龙泉窑、泉州窑、德化窑等。

图1为藏于中国国家博物馆的“南海I号”出水的两个瓷盘，当陶瓷器有破损或断裂部位时，需要使用粘接剂将其重新粘合为一个整体。根据所学化学知识，我们知道可以使用环氧树脂等高分子材料，或者用硅酸盐类如水玻璃($\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$)来粘接陶瓷碎片。器物破损部位常存在残缺不存的现象，此时需要通过补配来复原。环氧树脂是一种热固性树脂，其分子结构中的环氧基能够与陶瓷表面的羟基等活性基团发生开环反应形成化学键，从而实现牢固的粘接；水玻璃在粘接过程中，会发生水解和缩聚反应，在陶瓷碎片表面形成一层坚固的硅酸盐网络结构，将碎片粘接在一起。随着材料化学的不断发展，当前的补配材料主要是纳米氢氧化钙($\text{Ca}(\text{OH})_2$)、二氧化钛(TiO_2)、二氧化硅(SiO_2)、碳酸钙(CaCO_3)以及氢氧化钡($\text{Ba}(\text{OH})_2$)等。面对多样化的化学材料，为保持陶瓷器的原真性，在实际修复过程中，文物修复师需要充分了解陶瓷文物的本体特征，根据其状态筛选合适的粘接剂和补配填料。



图1 南宋景德镇窑青白釉印花口盘(a); 南宋龙泉窑青釉菊瓣纹盘(b)

景德镇窑胎体轻薄、胎质细白透明度较高，应使用粘合力较大的粘接剂，使用透明度较高的滑石粉、玻璃微珠等补配调料。滑石粉主要成分是含水硅酸镁，其化学性质稳定，与环氧树脂等粘接剂有较好的相容性，能在保证粘接效果的同时，维持瓷器的外观质感；玻璃微珠具有良好的流动性和填充性，能使补配部位更加平整，且其高透明度有助于保持瓷器的原有视觉效果。

龙泉窑胎体较厚、胎质色深，可选用粘合力适中的粘接剂配合透明度不高的补配填料(石膏粉、钛白粉等)修复^[12]。石膏粉主要成分是硫酸钙，其具有一定的硬度和填充性，能较好地适应龙泉窑瓷器较厚的胎体特点。钛白粉是一种白色颜料，化学性质稳定，添加到补配填料中可以调节颜色，使其与龙泉窑瓷器较深的胎质相协调。

补配后，为了弱化后期修复的痕迹，使其修复后的色彩在视觉上与原物大致一致，修复师还需利用矿物颜料对补配填料的颜色和透明度进行调节处理，再结合仿釉、作旧、上光等一系列技术，完成陶瓷器修复的小工程。在调节过程中，需要根据陶瓷器的原有颜色和色调，精确控制矿物颜料的用量和配比，以达到最佳的修复效果。仿釉过程中，需要运用化学知识调配出与原瓷器釉面相似的化学成分和物理性质的釉料，通过烧制等工艺使其附着在陶瓷表面，恢复瓷器的原有光泽和质感。作旧和上光技术则是利用化学试剂和物理方法，模拟陶瓷器在历史岁月中所经历的自然老化和磨损过程，使修复后的陶瓷器更加逼真。这个过程不仅需要化学知识的储备，还需要对色彩等的审美把握，对古代不同陶瓷器胎体、胎质等信息的全面了解，才能赋予陶瓷器新生。

教师可以通过向学生提出出水陶瓷如何清洗和陶瓷碎片如何拼接和补配这两个问题，引导学生

思考如何将所学的化学知识应用到解决生活的实际问题中，再向学生阐述其中蕴含的历史和人文价值。通过将化学和艺术的知识进行跨学科整合，引导学生以创新综合的方式认识陶瓷器、认识世界，能够将所学的知识回归生活，全面提升学生的综合素质和能力。

3.2 出土青铜：陆地文明辉煌的岁月印记

三星堆遗址位于四川省广汉市鸭子河南岸，是一座由众多古文化遗存分布点所组成的庞大的遗址群。目前三星堆遗址已经发现了8个祭祀坑。因三星堆遗址较为庞大，其中的文物多种多样，发掘出土的有大量金、贝、陶、石、玉、铜、骨等材质的珍贵文物，其中最具特色和代表性的是青铜器。

首先何为青铜，青铜一般是红铜和锡的合金，常含有少量的铅，锡含量的高低会直接影响其颜色，含量越高，青铜器越呈现现金黄色，因此古代刚刚铸造完的青铜器颜色通常接近金，呈现金灿灿的黄色，故商周时期称青铜为“金”或“吉金”。随着时间的流逝，青铜器与空气中的氧气、水、二氧化碳等反应生成碱式碳酸铜($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$)，这是青铜器表面为青绿色的主要原因。

“三星堆青铜器的修复如同开盲盒一般。”文物修复师打趣道。埋藏于地下数年的青铜器，受地质作用、相关腐蚀的影响，有的出土时形态较为完整，有的已经是有着巨大的变形和破坏，还有的上面裹挟有厚重的泥土、锈蚀、象牙等其他物质，更有的已经残缺不全，得到的仅是一堆碎片。三星堆的文物通常是被砸碎成碎片，然后分别埋藏在不同的坑中，这就导致相关文物的修复不能轻举妄动，而是应当尽量集齐相关碎片，对其成分、断裂口进行详细分析，找到吻合的碎片或原件后再进行。

“一号青铜神树”作为全世界最大的单件青铜文物，出土时破损极其严重。考古工作者们花费了近10年的时间，才将数百片碎片拼接组合。从凌乱的残片到引人不禁为之驻足的神树，它究竟是如何一步一步被完整拼接的？修复师们考察了古蜀人的传统工艺。

范铸法^[13]是三星堆青铜器铸造时常用到的工艺，也是青铜时期最早的铸造方式。“范”即浇筑所用的模子，最早使用的是石头即“石范”，但因石头重量大、难以加工，随着制陶业的发展，泥范逐渐代替石范成为铸造青铜器的主流。范铸法主要分为五个步骤：① 塑模，即制作器型泥膜；② 翻范，在泥膜上制出外范并雕刻出青铜器所需的纹饰，同时制作好内范，内外范之间的间隙即为青铜器的厚度；③ 烘烤，将内、外范置于烘窑中烘烤，使其脱水、定型；④ 浇筑，将高温熔化后的青铜液倒入泥范，待其冷却凝固后，将内范与外范打碎，从中取出所铸青铜器；⑤ 打磨，将所筑好的青铜器进行后期处理，通过抛光、打磨等工序使青铜器外表光滑流畅。在铸接技术上，古蜀人还运用了金属垫片、定位泥芯撑技术等，例如通过相关技术分析可知，神树上待连接组件的对口位置中间放有泥芯，泥芯中还创造性加入了铜和木材质的芯骨，以提高泥芯的贯穿和支撑作用，接口外面套了一个外范，再次浇筑形成了一个铜外套管(图2)，至此两个组件也完成了机械连接，一系列的工艺都体现了古蜀人民青铜器铸造工艺之精湛。

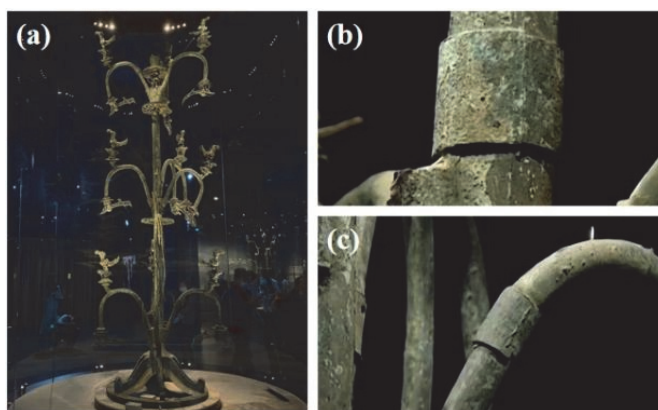


图2 一号青铜神树(a)；“铜外套管”铸接(b、c)

在现代修复过程中，整棵树的修复将传统工艺与现代工艺相结合，同时研发了铆接、灌注等方法。修复人员给神树打上铆钉，铆接中间插有一根铜管，最外面用螺丝拧起，以此将断裂的部件连接起来，为了不使铆接处的铆钉被大家察觉，修复师还对铆钉上色做旧，使其从肉眼上看能与整棵神树融为一体。为了进一步增强整棵树的平衡性和对称性，修复师还在树座、空心树干内增加了铜管等加固件。为了保护其尽量免受空气污染物的侵蚀，使用苯并三氮唑与铜及其盐类能形成稳定络合物封闭腐蚀层。随着现代数字化技术的发展，三维技术和建模技术在青铜器修复中得到了广泛应用，修复师可以利用虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术进行虚拟修复和仿真，以此构建出最优的修复模型。

修复后的神树屹立于三星堆博物馆，通高3.96 m，神树由底座、树、龙三部分组成，神树底座铸有三个拱形，象征连绵起伏的三座神山，树干分为三层，每层指向三个方向，分别伸出三根枝条，每根枝条上都有一个果实和站着一只昂首翘尾的小鸟。精美的镂空花纹、柔和下垂的枝条，这株集神龙、果实、神鸟等多元素的“神树”，在修复师的手中得以复原，为世人所见。一号神树的顶端的部件至今仍破损遗失，虽然在史书中找不到相关确切记载，但是学者猜测顶端缺失的部分是一只神鸟，因《山海经·海外东经》^[14]中曾描述：“汤谷上有扶桑，十日所浴，在黑齿北。居水中，有大木，九日居下枝，一日居上枝。”全树的小鸟代表太阳，树上常年住着十个太阳，每天只有一个太阳出去工作，其余九个在枝头休息。每个太阳由东向西，日复一日。山海经中也曾描述过另一种神树，即建木。《山海经·海内经》^[14]中描述：“有木，青叶紫茎，玄华黄实，名曰建木。”无论这棵神树是太阳神树中的扶桑还是通天神树中的建木，都是学者根据出土的其他青铜神树和相关神话做的猜测，都体现了古蜀人民对于天地之间相互联系和交流的信仰，对自然和神灵的崇敬。

无论是目前仍有残缺的青铜神树，还是一个个面容凝重严肃的青铜面具，三星堆青铜器的修复从来都不是简单的拼接，既不能破坏原有纹饰，又要尽可能恢复整个文物的器型，一代又一代的修复师们怀着对古蜀文化的敬意，深入古蜀文明的世界，结合古蜀工艺和当代科技去钻研去修复，使得三星堆以“沉睡数千年，一醒惊天下”之势展现在世人面前。将青铜器系统性保护中体现的化学技术与古蜀工艺、古蜀文明融合，可激发学生对于古蜀文明的好奇心和持续深入了解的兴趣，引导学生多角度思考问题，将所学习到的知识应用到生活之中，更好培养学生的综合素养。

3.3 再现壁绘：敦煌艺术不朽的时空画卷

坐落于河西走廊西端的敦煌是连接东西方贸易的咽喉要道，是丝绸之路上的一颗明珠。它以精美绝伦的壁画和造像闻名于世，被誉为“世界上最大的艺术宝库”。

从公元4世纪到公元14世纪，492个带有壁画彩塑的洞窟、约4.5万平方米的壁画被保留了下来。受到地理位置和环境因素的影响，不同窟中的壁画都或多或少受到了一些侵蚀，发生了变色和褪色，还产生了起甲、空鼓、酥碱等病害(图3)。

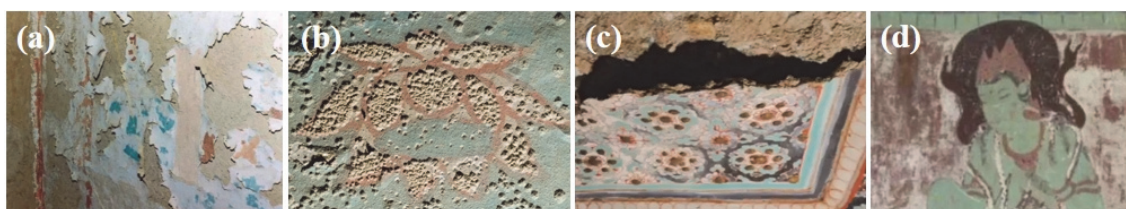


图3 壁画的主要病害：起甲(a)、疱疹(b)、空鼓(c)、酥碱(d)

这些病害的出现都与可溶盐和壁画内部结构中的水有关。在莫高窟壁画结构中，支撑体、崖体和地仗层均含有一定盐分，我们知道当壁画的内部结构中有水时，水会从低浓度处向高浓度处渗透，遵循渗透原理，这便会导致壁画结构中的可溶性盐被溶解，而后迁移到含水量少的地仗层或壁画表面，可溶性盐随着窟内温度、湿度以及地仗层中水分含量的变化频繁地溶解、结晶，从而破坏壁画

结构,造成病害。起甲是壁画底色层或颜料层(图4)的胶结材料老化,两层之间的粘贴性减弱而发生的龟裂、卷曲起翘或颜料层脱落现象。胶结材料通常是一些有机高分子化合物,随着时间的推移和环境的影响,这些高分子化合物会发生降解反应,导致其黏结性下降,出现空鼓,空鼓的继续发展会导致整个地仗层的掉落。酥碱被称为是壁画的“癌症”,它主要表现为地仗层分层酥碱,加剧颜料层的脱落,严重者会导致壁画画面和地仗层大片分离。其形成与可溶盐的结晶膨胀密切相关,尤其是硫酸钠(Na_2SO_4)等盐类,在结晶过程中会吸收一定量的水分子形成结晶水合物,体积显著增大,对周围的地仗层结构产生巨大的压力,导致地仗层酥松、分层。

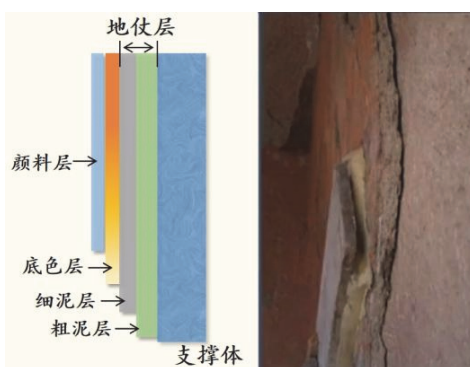


图4 壁画结构示意图

如何对这些壁画进行修复呢?以莫高窟第98窟为例^[15],修复工作中采用的是注射1.5%明胶修复颜料层壁画起甲。明胶是一种大分子亲水胶体,其分子结构中含有大量的亲水基团,如氨基($-\text{NH}_2$)、羧基($-\text{COOH}$)等,这些基团能够与水分子形成氢键,具有无色无味、无毒无腐蚀、透明度高、透气性好、黏结强度适中等一系列优良性能,能够有效将起甲的壁画颜料层重新黏结到地仗层上。针对酥碱壁画的修复,选用的是注射浓度为1%明胶和0.2%甲基纤维素(体积比为4:1)混合成的加固材料,甲基纤维素是通过醚化在纤维素中引入甲基而制成的,具有优良的润湿性、分散性、粘接性和成膜性等性能。注射胶黏剂的量也至关重要,过少不牢固,过多胶体溢出形成胶痕影响美观,因此修复师通常是少量多次注射,而后再向地仗层缺失部位平铺经脱盐处理的稀泥浆,稀泥浆的主要成分是黏土矿物,如高岭土、蒙脱石等,这些黏土矿物具有较大的比表面积和离子交换能力,能够吸附和固定一些盐分,减少盐分对壁画的进一步破坏。最后对渗透加固过的颜料层进行回贴。在回贴过程中,一粒芝麻大小的颜料层都需要贴回,这些对于普通人来说看似微不足道的小点,却保留着原始壁画的信息,为后续的修复提供了重要的依据。当然,这并不意味着修复的完成,完成回贴操作后,还需要对修复区域进行脱盐处理,利用合成纤维、聚丙烯酰胺树脂等制备高吸水脱盐性能的材料进行脱盐,岩体中的易溶盐主要以 Na_2SO_4 、 MgSO_4 、 NaCl 、 KCl 为主,脱盐过程中需要对脱盐材料上的相关离子采用离子色谱法、原子吸收光谱法等现代分析技术进行监测,准确测定脱盐材料中钠离子(Na^+)、镁离子(Mg^{2+})、氯离子(Cl^-)等的含量,从而判断脱盐的程度。

敦煌壁画艺术从诞生至今已经跨越千年,由于年代久远,多数壁画已经斑驳变色。历经褪色、变色的壁画原本是什么颜色?由于壁画修复的宗旨是不在原壁画上去动原作,因此为了还原壁画色彩,延续日渐衰退的壁画的生命,临摹复原成为了一种重要的保护手段。首先是画出线稿,修复师对每根线条的粗细、距离等细节都会不断描画,以无限接近原作,确定好相关线条之后,再画到正稿上。接着就是上色阶段,莫高窟壁画中的颜料大多来自矿物原料,例如红色可能来自朱砂(HgS)、丹铅(Pb_3O_4)、赭石(Fe_2O_3),绿色来自石绿($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$)、氯铜矿($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$),蓝色来自石青($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$),黄色来自雌黄(As_2S_3)等。为了解色块颜料的组成成分,X射线衍射分析等系列便捷高效的现代科学检测技术被创新发展出来,让修复师可以较好地判断某区域所用的颜料的种类与

成分；有关图像的数字模型不断被发掘出来，提高了修复的效率，减少了对文物本体的破坏。以莫高窟254窟的《降魔成道图》(图5)为例^[16]，画中人物皮肤因铅被氧化成 PbO_2 而呈棕黑色，不易变色的颜料在铅粉的作用下发生变化，导致整体色调呈灰黑色。在复原过程中，修复师将人物形象中因铅丹而全部变深的皮肤颜色复原为白色和浅色，还还原了红色和黄色。壁画描述的是释迦牟尼即将成道前，天魔波旬率领三个女儿和魔军们企图破坏释迦成佛的故事。复原的画面中魔怪身上的颜色主要是用石青、石绿、铅丹等，让魔军们看起来变化莫测、奇怪少见，画面整体细节分明，通过红色和蓝色这对冷暖对比强烈的色调，突出了居于画面正中的释迦，体现了释迦在躁动环境中的泰然自若，突出了“降服”这一主题。



图5 《降魔成道图》复原前(a)、复原后(b)

在复原过程中，修复师并不能完全依附于化学测验。仪器能测验出颜料的成分，但却测不出色相，色相只能依靠修复师的艺术修养去判断。严格按照仪器测出颜料铅含量的比例使用铅丹，虽然做到了科学上的准确，但在艺术上却是不准确的，艺术并不是一加一等于二。古人在使用铅丹时可能混用了赭石等其他颜料，铅丹上面可能又压了某些色彩，让整幅画面显得稳而不艳、自然和谐，这些都不是科学仪器能够告知我们的。壁画的临摹复原从来不是简单的照猫画虎，而是应走进石窟不断观察、不断进行“同时代”对比、深入壁画背后去探访古人作画时所表达的思想，才能真正做到传达情谊，为壁画赋魂，让这一艺术瑰宝焕发出新的活力与价值。通过将褪色、变色的化学原理知识和临摹过程中体现的艺术和相关历史故事进行跨学科组合，培养学生解决问题的创新能力，引导学生以综合的方式认识古代文化瑰宝，培养学生从知识到社会和生活的认知方式，全面提升学生的综合素质和能力。

4 “化-史-艺融合”，助推文物保护和弘扬

陶瓷、青铜器、壁画、书画、玉器等，无一不是中华民族的文化瑰宝，它们携带着历史的记忆，但这些记忆却随着时间的流逝渐渐被岁月侵蚀。文物修复就是这样一项有意义和价值的工作，运用化学手段除去其表面的遮挡、填补残缺，用艺术赋予文物灵魂，化学与艺术的融合串联起历史和现代两个时空，一点一点找回遗失的记忆，让无数的世人和后人得以一眼窥见万年。当然，文物修复工作中不止有化学和艺术，还依托于数字、工程等(图6)。从前，由于修复技术和仪器的落后，三星堆的工作人员们“不敢挖”，秦兵马俑正是因为没有做好环境保护，才导致其出土后迅速被氧化，失去了其原有的色彩。为了保护文物形态在修复过程中不受太大影响，一系列环境友好型试剂和高精仪器被研究和开发出来，激光、干冰清洗让文物的清洗变得高效；恒温、恒湿模拟舱让文物残段得以长期安全保存；激光拉曼分析仪(Raman)让文物成分、年代、产地等关键信息的分析成为可能；文物本体的材质分析、色彩调配不断进步、文献检索日益便捷……文物修复能够在最小干预的基础上

越来越做到最大还原。在科学技术蓬勃发展的今天，倘若只用科学手段修复文物，那么文物只会是放在橱窗中冷冰冰的物体，唯有艺术和情感才能赋予其灵魂，让其真正“活”起来。两学科彼此需要、相辅相成，为残破的文物注入新生，为中华文明的传播与发展注入源源不断的动力。

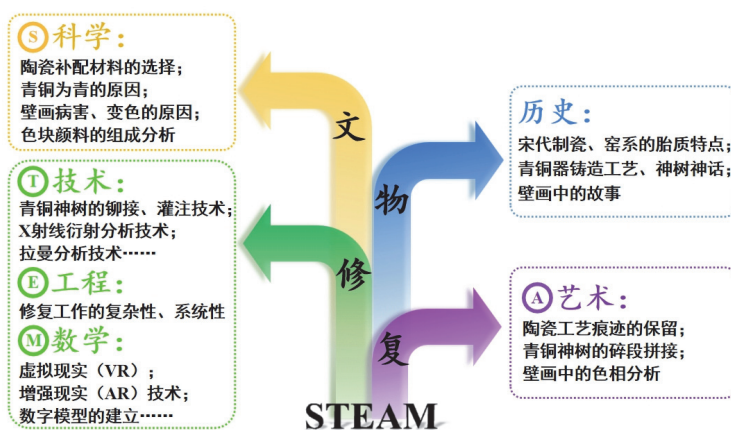


图6 STEAM理念下文物修复中的“化-史-艺”融合教学

教育具有保存和传递文化的功能。本文从文物修复工作展开，借助出水文物中的陶瓷器、出土文物中的青铜器和敦煌壁画，基于STEAM教育理念，向学生们引入文物中所蕴含的历史价值。通过“化-史-艺”融合开展教学，帮助学生在文物修复的问题解决过程中扩宽学生对文物瑰宝的认知，激发学生对中华传统文物了解的兴趣，让学生能够在学习化学知识的同时将知识回归生活，全面提升学生的综合素养，同时加强学生的思想政治导向，增强学生对历史文物的敬畏之心，对中华优秀传统文化的归属感。

参 考 文 献

- [1] 李佳轩, 邹培杰, 陈晗菝, 黄又举, 张鹏飞, 徐伟明. 大学化学, 2022, 37 (10), 2109083.
- [2] 彭敏, 朱德全. 远程教育杂志, 2018, 36 (2), 48.
- [3] 李晨瑶, 潘钺柠, 章鹏飞, 徐伟明. 大学化学, 2025, 40 (1), 7.
- [4] 陈璐瑶, 朱祉翡, 李晨瑶, 黄又举, 徐伟明. 大学化学, 2023, 38 (9), 6.
- [5] Gardner, H. *Intelligence Reframed*; Basic Books: New York, 2000; pp. 27–46.
- [6] 中华人民共和国教育部. 义务教育小学科学课程标准. 北京: 北京师范大学出版社, 2017.
- [7] 中华人民共和国教育部. 普通高中课程方案(2017年版2020年修订). 北京: 北京师范大学出版社, 2020.
- [8] 于尔根·奈佛. 爱因斯坦传. 北京: 中央编译出版社, 2018.
- [9] 王昱璐, 张茂林, 袁枫, 陈洪梅. 中国陶瓷工业, 2023, 30 (3), 38.
- [10] 熊海堂. 东南文化, 1991, No. 6, 85.
- [11] 张燮. 东西洋考. 上海: 中华书局, 2000.
- [12] 耿苗. 文物鉴定与鉴赏, 2019, No. 13, 92.
- [13] 牛道德. 经济, 2019, No. 3, 128.
- [14] 袁珂. 山海经校注. 成都: 巴蜀书社, 1992.
- [15] 付有旭, 牛贺强, 马竞, 樊再轩, 武发思, 赵林毅, 朱万煜, 汪万福. 石窟寺研究, 2015, No. 00, 424.
- [16] 朱林涛. 莫高窟254窟《降魔成道图》色彩复原研究[硕士学位论文]. 北京: 中国艺术研究院, 2024.