

## 跨越九百年的青山绿水：从化学视角解密《千里江山图》

黄伟<sup>1</sup>, 陈伟伟<sup>2</sup>, 汤永兴<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>南京理工大学化学与化工学院, 南京 210094

<sup>2</sup>中国传媒大学图书馆, 北京 100024

**摘要:** 《千里江山图》作为中国的十大传世名画之一, 不仅代表了青绿山水画艺术的发展历程, 更是中国古老文明的缩影。该画作流传久远, 历时九百余年依旧绚烂多彩, 与其材质、颜料、胶结材料密切相关。本文从化学视角出发, 分析《千里江山图》使用的颜料与胶结材料, 并以拟人化的方式逐个介绍它们的性格与特点, 如“石墨大哥”“赭石阿姨”“青绿兄弟”“砗磲姑娘”和“明胶叔叔”。探讨他们的化学成分与理化性能, 揭示这些惊艳的颜料共同打造《千里江山图》辉煌的秘诀。通过激发古典艺术与现代科技的思考, 促进艺术鉴赏与科技创新的融合。

**关键词:** 文化遗产; 颜料; 碱式碳酸铜; 明胶

中图分类号: G64; O6

## Green Mountains and Blue Waters Spanning Nine Centuries: Decrypting “The Picture of a Thousand Miles of Rivers and Mountains” from a Chemical Perspective

Wei Huang<sup>1</sup>, Weiwei Chen<sup>2</sup>, Yongxing Tang<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210094, China.

<sup>2</sup> Library, Communication University of China, Beijing 100024, China.

**Abstract:** “The Picture of a Thousand Miles of Rivers and Mountains” stands as one of China’s ten great masterpieces, symbolizing not only the evolution of green landscape painting but also encapsulating a microcosm of ancient Chinese civilization. Handed down through centuries, this painting continues to radiate vibrancy and color, intricately intertwined with its materials, pigments, and binding agents. This article adopts a chemical perspective to meticulously analyze the pigments and binding agents employed in “The Picture of a Thousand Miles of Rivers and Mountains”, personifying them as “Brother Graphite”, “Aunt Ochre”, “Brothers Green and Blue”, “Miss Agate”, and “Uncle Gelatin”, elucidating their distinctive personalities and characteristics. Furthermore, it delves into their chemical components and physical properties, unveiling the magnificent secret behind the creation of “The Picture of a Thousand Miles of Rivers and Mountains” by these remarkable pigments. By provoking contemplation on the amalgamation of classical art and modern technology, this article strives to foster the convergence of art appreciation and technological innovation.

**Key Words:** Cultural heritage; Pigments; Basic copper carbonate; Gelatin

建设美丽中国的“必答题”，绘出美丽中国“千里江山图”是我们国家构建生态环境文明的重要任务。《千里江山图》(图1)，不仅代表了青绿山水发展的历程，更是我国古老文明的缩影。这幅

收稿: 2023-12-24; 录用: 2024-01-12; 网络发表: 2024-07-10

\*通讯作者, Email: yongxing@njut.edu.cn

基金资助: 国家一流本科专业建设点(教高厅函[2022]14号); 江苏省品牌专业建设点(苏教高函[2022]10号)

图是北宋时期绘画天才王希孟在18岁时创作的一副青绿山水绢本设色画。该画作从宏观上展示了我国北宋时期泱泱大国的气势恢宏，从微观上展示出中华民族在绘画工法与技术上的细致入微。咫尺千里，五色备焉，为什么跨越九百余年，《千里江山图》依旧能历久弥新，绚丽多彩？接下来，我们将从化学的角度来解开这个谜题。



图1 千里江山图(局部)

## 1 绢本画

将书画绘制在绢、绫或丝织物上，被称为绢本。《千里江山图画》是双股丝绢材质，其经纬密度较高，是当时较为出色的蚕丝纤维材料。蚕丝纤维是由蚕分泌的黏液形成的纤维，由大量氨基酸组成，属于蛋白质材料。中国是蚕丝的发源地和全球最主要的生产国之一，蚕丝产量位居世界首位。早在西汉时期，丝绸产品就通过著名的丝绸之路远销世界各地。蚕丝纤维会随着时间老化，导致绢画机械强度降低、光泽消失以及颜色变黄等现象。蚕丝纤维老化的原因可以分为物理因素、化学因素和生物因素。化学因素包括温度、湿度、酸碱度、光照等，这些因素可能引起蚕丝纤维晶体结构或构象的改变，分子氧化、分子键断裂，甚至导致内部化学键的断裂或新键的形成<sup>[1]</sup>。因此，采用适当的加固措施，延缓老化的保存技术以及先进的修复技术，都是保护这幅艺术瑰宝的必要手段。

## 2 宝藏无机矿物质颜料

中国的山水画可以分为两个门类，分别是以《千里江山图》为代表的青绿山水画和以《清明上河图》为代表的水墨山水画。在青绿山水画中，又有大青绿和小青绿两种风格。大青绿主要使用矿物质颜色，如石青和石绿，而小青绿则使用更为浅淡透明的植物色。植物系颜料的主要成分为有机物，容易受细菌和氧气分解或发生其他化学反应的影响，导致变色现象。相比之下，无机矿物质颜料结构简单，化学性质非常稳定。因此，在绘画中使用无机矿物质颜料可以确保其颜色像矿石一样保存数千年而不发生变色。下面我们来逐个介绍《千里江山图》中所用的矿物质颜料。这些颜料各自具有独特的颜色、质感和氛围，能够通过创作者的手表达出不同的情绪和意象，在绘画和艺术创作中起着重要的作用。《千里江山图》使用双股丝绢为画布，经过五次上色，首先是线稿打底，然后绘墨稿，接下来第二层采用赭石上色，第三层和第四层使用石绿上色，第五层石青上色，最终再

通过白色砗磲粉点缀，最终绘制而成。

## 2.1 水墨

首先登场的是颜料中的重要人物——石墨。石墨出生于庞大古老的碳家族，家族中血统最纯且最出名的就是石墨和他的同卵双胞胎金刚石(如图2所示)。当碳原子整齐排列时，可见光可以全部通过，而成为无色透明的金刚石，金刚石性格坚定，脾气非常刚硬，不能容忍任何瑕疵的存在，是个完美主义者。当碳原子其以片层状结构形成混合型晶体，就诞生了石墨。石墨拥有深黑色的外表，性格沉稳、富有深度和神秘感，但他本人非常单纯，易于和他人沟通。在绘画中，石墨扮演着非常重要的角色，他用笔触勾勒出山川、河流、村庄等轮廓，绘制明暗变化的阴影，为《千里江山图》构成了骨架。



图2 金刚石(a)与石墨(b)

在石墨中，碳原子通过 $sp^2$ 杂化轨道与其他三个碳原子形成共价键。六个碳原子在平面内形成稳定的正六边形，并不断扩展形成平面结构。空闲的 $p$ 轨道垂直于平面且互相平行，形成类似于金属键的离域大 $\pi$ 键。 $\pi$ 电子可以在晶格内自由移动，就像金属晶体中的自由电子一样，因此石墨呈现出金属般的光泽。正因为石墨是由共价键连接的碳原子构成，所以他沉稳而坚定，化学性质非常稳定，能够长时间存在。这也是千年来《千里江山图》等墨宝能够流传下来的重要原因之一。

## 2.2 赭石

在《千里江山图》中，第二层使用赭石进行上色，描绘出大地、山脉和人物的形象。赭石是一种古老的天然红色颜料，也是中国绘画中最古老的颜色之一。赭石的主要成分是赤铁矿(图3a)，我国著名的赭石产地之一是辽宁鞍山。“赭石阿姨”像东北阿姨一样热情、朴实和亲切，为《千里江山图》增添了一丝温暖的红棕色。赭石的化学成分为 $Fe_2O_3$ ，铁原子的外层电子组态是 $3d^64s^2$ ，其中 $d$ - $d$ 电子跃迁在红光和红外区域出现两个弱的吸收带(660、850 nm)，同时还有来自 $O^{2-} 2p$ 到 $Fe^{3+} 3d$ 的配位体-金属荷移跃迁，在可见光区域，赭石在750 nm有明显的吸收谷，使其呈现红色。赭石存在多种晶型( $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\varepsilon$ 、 $\gamma$ )，其中最常见的是菱形晶型的 $\alpha$ - $Fe_2O_3$ (如图3c所示)。不同晶型之间的转变流程为 $\gamma$ -到 $\varepsilon$ -、到 $\beta$ -，最后到 $\alpha$ - $Fe_2O_3$ 。图3b展示了不同的晶粒尺寸下各个晶型的吉布斯自由能(G)，能量越低表示该晶型越稳定。不同晶型的稳定区间对应不同的尺寸范围，可以看出其中 $\alpha$ - $Fe_2O_3$ 相是吉布斯能最低，也就是最稳定的结构形式<sup>[2]</sup>。

“赭石阿姨”有一个非常显著优点，就是她具有极强的耐光性。颜料的颜色会受到光照、温度、湿度以及细菌等多种因素的影响而发生变化，颜料对于抵挡这些外界因素的干扰能力被称为耐气候性<sup>[3]</sup>。其中，对抗光照的性能被称为耐光性，通常与颜料的熔点相关，熔点越高则耐光性越强。 $Fe_2O_3$ 的熔点高达1565 °C，即使面对太上老君的炼丹炉也毫不畏惧，因此，赭石的耐光性极好。 $Fe_2O_3$ 化学性质非常稳定，只有在高温状态下才会与氧气、一氧化碳等发生反应，常温下通常不会发生化学反应。正因为赭石阿姨的存在，使得《千里江山图》散发出了人间烟火的温暖气息。

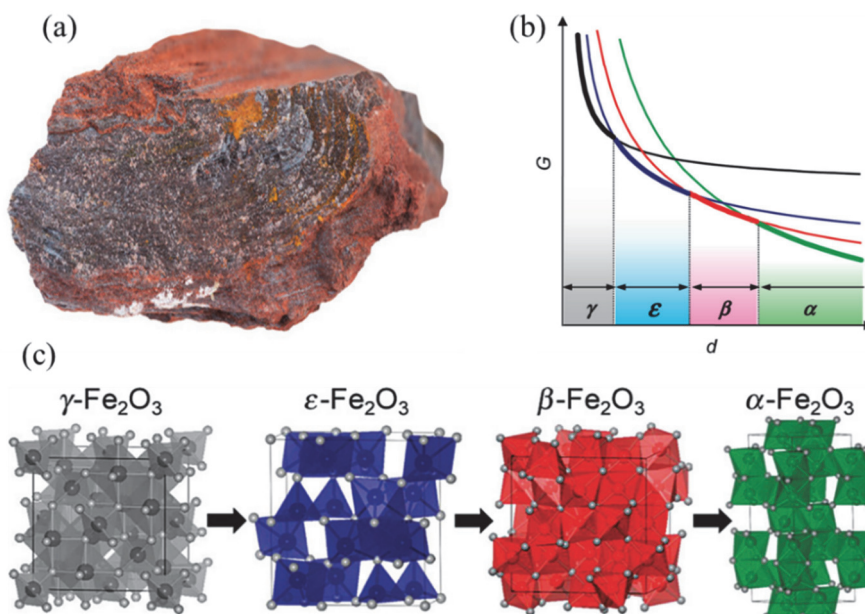


图3 (a) 赤铁矿石; (b) 吉布斯自由能( $G$ )与颗粒直径( $d$ )的定性图;

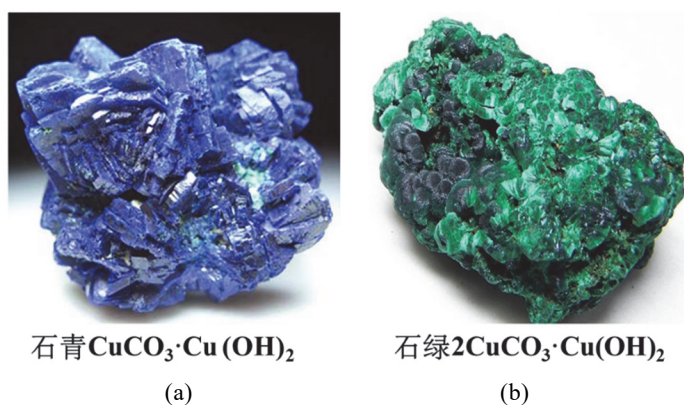
(c)  $\gamma$ -、 $\epsilon$ -、 $\beta$ -和 $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 晶体结构的图形表示<sup>[2]</sup>

图(b)中灰色、蓝色、绿色和红色线分别代表 $\gamma$ -、 $\epsilon$ -、 $\beta$ -和 $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的 $G$ 值;

粗实线表示在相应尺寸范围内最稳定的 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 相

### 2.3 石膏与石绿

《千里江山图》的第三层和第四层都使用石绿上色，第五层则使用石膏。石膏和石绿(图4)是一母同胞的两兄弟，他们的主要成分都是碱式碳酸铜。石膏哥哥冷静平和，颇为冷峻、静谧，给人以深思熟虑的成熟感，为《千里江山图》带来广阔的空间感和清冷的氛围感。石绿弟弟则更加活泼，欢快且充满活力，为《千里江山图》增添了灵动和自然感。石膏和石绿两兄弟共同构成了《千里江山图》的血肉，也是青绿山水的灵魂。石膏来自蓝铜矿石(Azurite)，呈现出蓝色，其化学成分为 $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ <sup>[4]</sup>。石绿来源于矿物质孔雀石(Malachite)，呈亮绿色，其化学成分为 $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ 。石膏和石绿的感情非常要好，经常互伴而生，形成共生矿。他们的共生现象与《千里江山图》的青绿色互相交错，相得益彰，体现了科学、自然与艺术的和谐之美。它们的存在为作品赋予了深远的意义，使观者感受到了大自然的神奇和艺术的魅力。



石膏 $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$

(a)

石绿 $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$

(b)

图4 石膏(a)与石绿(b)矿石与分子式





族细致入微的匠人精神。在欣赏文化瑰宝之余，如何根据其本身的特性，进一步提升无损检测技术和修复保存技术，是化学工作者需要进一步探索和实践的方向。利用化学知识和技术手段，为保护和传承经典文化遗产贡献一份力量，将是化学工作者的一份崇高的荣耀与使命。

#### 参 考 文 献

- [1] 张晓梅, 原思训. 文物保护与考古科学, **2003**, No. 2, 1.
- [2] Sakurai, S.; Namai, A.; Hashimoto, K.; Ohkoshi, S. *J. Am. Chem. Soc.* **2009**, 131, 18299.
- [3] 惠淑娟. 中国传统颜料的性能及技法[硕士学位论文]. 太原: 山西师范大学, 2010.
- [4] 王中旭. 收藏, **2018**, No. 8, 17.
- [5] Wayman, C. *Soil Sci.* **1963**, 95 (2), 134.
- [6] 周欣, 李小军. 应用化工, **2016**, 45 (2), 245.
- [7] Brown, I. W.; Mackenzie, K. J.; Gainsford, G. *Thermochim. Acta* **1984**, 74, 23.
- [8] 银洪, 杜晓东, 黄海立. 中国宝玉石, **2008**, No. 6, 44.
- [9] 宋玉兰. 文物鉴定与鉴赏, **2019**, No. 14, 86.