

大学课堂的色彩——探索过渡元素的美

周宇恒*

重庆大学环境与生态学院, 重庆 400044

摘要: 色彩不仅是日常生活中的核心元素, 而且它承载着丰富的意义和情感。在化学中, 色彩的形成依赖于各种化学物质, 如纳米颗粒、有机染料和金属复合物, 尽管它们可能呈现视觉上的相似色彩, 其生成色彩的化学原理却大相径庭。本研究通过精确的化学实验, 合成了三种不同的无机颜料: 钴蓝、铁红和钴黄, 并对其进行了紫外-可见光谱和色度的详细分析。通过这些实验, 本文旨在提供一个实践的桥梁, 帮助本科学生直观理解通常感觉枯燥和抽象的化学理论, 从而在化学教学中激发学生的兴趣和学习动机。

关键词: 色彩理论; 化学合成; 紫外-可见光谱学; 色度分析

中图分类号: G64; O6

Colorful Chemistry in University: Exploring the Beauty of Transition Elements

Yuheng Zhou *

The School of Environment and Ecology, Chongqing University, Chongqing 400044, China.

Abstract: As a fundamental element of daily life, color embodies profound symbolic meanings and emotional resonance. Within chemical systems, chromatic manifestations arise from diverse substances including nanoparticles, organic dyes, and metal coordination complexes. While these materials may exhibit comparable hues, their underlying coloration mechanisms differ substantially in chemical principle. Through precision-controlled synthesis of three distinct inorganic pigments (cobalt blue, iron red, and cobalt yellow), this investigation systematically examines their optical characteristics using ultraviolet-visible spectroscopy and chromaticity analysis. The experimental protocol establishes an experiential framework that bridges theoretical concepts with practical applications, enabling undergraduate students to intuitively comprehend seemingly mundane chemical theories. This pedagogical approach demonstrates significant potential for enhancing student engagement and motivation in chemical education through tangible chromatic phenomena.

Key Words: Color theory; Chemical synthesis; Ultraviolet-visible spectroscopy; Chromatic analysis.

1 背景与导论

化学实验是普通大学本科化学教育的核心部分, 通常与课堂授课同步进行, 目的在于帮助学生更加深入地理解课本中的理论知识^[1]。然而, 随着新高考模式“3+3”的实施, 学生获得了更多的选择权, 导致不少学生放弃化学而选择其他理科类课程^[2]。在这种背景下, 如何利用现代科学教育的理念结合富有吸引力的展示实验来吸引和留住未来一代化学家, 激发他们对化学的热情, 显得尤为

重要^[3]。

色彩是日常生活中不可或缺的元素，涉及从天然物质到人工合成产品(如服装和艺术品)的各个方面。颜色的形成基于光与物质之间的微观相互作用，这些复杂的相互作用可以通过本科化学课程中讲授的概念进行解释^[4,5]。将化学知识与色彩及其应用相结合，不仅可以激发学生的学习兴趣，还提供了一种极好的教学工具，使学生能够探索颜色的科学基础及其与自身生活的联系^[6,7]。虽然本科化学教育历来强调理论与实践的结合，但如何更有效地激发学生的参与热情和深化他们对化学和色彩之间关系的理解，仍有待进一步探索和改进^[8]。

此外，纳米颗粒、有机染料和金属配合物作为传统彩色玻璃、纺织品和宝石中的常见色彩来源，在生产视觉上相似的颜色时涉及到各不相同的生色机理，这些机理背后的科学原理涵盖了量子化学的许多方面。本文将通过实验室里可操作的实验药品和简化的实验步骤，运用紫外-可见光谱法来分析和对比不同颜料的色度。本实验作为精心设计的教学实验，旨在引导学生深入探究化学原理，同时在跨学科交融的环境中塑造正确的科学观念。通过这一过程，我们期望显著提升学生的科学素养与动手能力，实现教学成效的显著突破，并进一步激发他们对化学与艺术结合领域的浓厚兴趣^[9,10]。

2 课程思路设计

本课程设计旨在通过趣味性和实践性，激发学生的学习兴趣，而不仅仅是为了应对考试。我们通过创建轻松且富有吸引力的学习环境，鼓励学生探索和实践，帮助他们在动手过程中深化对化学知识的理解和应用(表1)。同时，为了培养学生的社会责任感，本课程特别注重将绿色化学理念融入实验设计，使用低毒性化学品，减少环境影响，帮助学生认识到科学创新在环保中的重要性。

表1 颜料色彩与光谱课程的教学提纲

活动编号	活动的内容	时间分配(min)
1	视频介绍与演示	30
2	实验室合成钴蓝、铁红和钴黄	60
3	颜料的沉淀、过滤和干燥	30
4	紫外-可见光谱和色度基础知识介绍	30
5	使用水彩粘合剂均匀化处理颜料	20
6	完成简易绘画与实验经验总结	20

此外，课程还通过介绍钴蓝、铁红、钴黄等颜料的历史和应用，展示了化学在文化发展中的作用，从而帮助学生理解科学与社会的深层联系。在课程开始之前，学生需查阅相关文献，了解颜料的基本属性及应用，为实验部分打好理论基础。课程通过网上现成的科普视频向学生介绍颜料的历史、发展及其广泛应用，特别是紫外-可见光谱分析在现代科学中的重要性。

另外，课程设计还结合了对环保与可持续发展问题的讨论，进一步培养学生的社会责任感。我们鼓励学生思考如何运用化学知识来应对现实中的挑战，从而提升他们的跨学科思维和社会关注度。这一教学方法使学生不仅掌握了化学知识，还认识到化学在推动社会与环境改善中的重要作用。

最后，学生将使用自己合成的颜料创作个人的绘画作品，通过这一过程，不仅加深了他们对颜料物理和化学属性的理解，还为他们提供了展示个人创意和实验技能的平台。通过绘画和实验总结，学生在实际操作中体验到了科学的魅力，进一步增强了他们的学习动力和探索科学的热情。

3 学习目标和实验危险性

本课程旨在通过交叉学科的丰富内容激发学生对传统化学概念的兴趣，主要包含以下三个部分。一是概念介绍与应用：学生将了解无机颜料的基础概念，并学习如何合成包括钴蓝、铁红和钴黄在

内的三种基本颜料。二是技术应用：课程将教授学生如何使用紫外-可见吸收光谱法对合成的颜料进行详细表征，并通过专用软件计算颜料的RGB色度，使学生能够将化学和光谱分析技术与实际生活相结合。三是预备学习：学生需在实验前阅读实验手册，准备详尽的实验笔记，并完成必要的预习，这包括光的基本物理知识及光与物质的相互作用。

在大学化学教育中，社会责任感和可持续发展意识同样重要。实验通过实践活动激发学生兴趣，同时引导他们思考化学对环境和社会的影响。我们有意识地选择环保材料，避免使用有毒物质，帮助学生理解科学研究不仅要关注结果，也要践行绿色化学理念，减少环境负担。

课程还通过讨论绿色化学的概念，如减少污染和合理使用化学品，帮助学生认识到化学创新对环保和社会进步的贡献。这种讨论将化学知识与现实结合，培养学生的责任感和应用化学解决实际问题的能力。

此外，学生在实验过程中还学习到跨学科思维方式。通过颜料合成和光谱分析，我们鼓励他们思考这些技术在艺术、工业和环保领域的应用，拓宽知识面并增强创新能力，使他们能够更好地应对未来的挑战。

为确保实验安全，学生必须穿戴适当的个人防护装备，如防护眼镜和丁腈手套，以防化学物质污染或灼伤。课程还强调安全教育，包括正确使用化学物品和设备的训练，实验室也配备了急救包、安全淋浴和眼洗站等应急设施，以应对可能的紧急情况，保证学生的安全。

4 颜料的合成和分析方法

本课程选择钴蓝、铁红和钴黄颜料作为学习对象，不仅因为它们在艺术界有着悠久的历史，可追溯至3000年前，而且它们的光致发光特性在众多国内外化学文献中都有广泛讨论。为了方便学生理解和操作，我们简化了颜料的合成步骤，并尽量减少了学生接触有害化学品的机会。

4.1 钴蓝的合成

合成钴蓝的过程开始于将2.91 g的六水合硝酸钴和1.88 g的九水合硝酸铝溶解于100 mL去离子水中。随后，加入过量的尿素并在设定温度下搅拌，以形成均匀的混合溶液。通过滴加碳酸钠饱和溶液调整pH值，并在70 °C下进行共沉淀反应以得到沉淀物。最后，将沉淀物在120 °C的氧化气氛中烘干，继而在400 °C下煅烧1 h，制得钴蓝颜料粉末，待自然冷却后离心、干燥并研磨备用。

4.2 铁红的合成

铁红的合成过程中，首先将2.70 g的六水合氯化铁溶于100 mL去离子水中，并迅速加入20 mL浓氨水，在超声波搅拌下进行20 min，以得到氢氧化铁悬浮液。随后，将悬浮液转移到坩埚中并在250 °C下煅烧1 h。冷却、离心、洗涤后的铁红颜料通过干燥、研磨和过筛后备用。

4.3 钴黄的合成

在钴黄的制备中，2.0 g亚硝酸钾和10.0 g硝酸钴分别溶解在50 mL去离子水中，并加入少量浓硝酸进行酸化处理。调节pH至4.0–6.0后，向硝酸钴溶液中滴加0.5 mL过氧化氢溶液，再加入亚硝酸钾溶液，生成黄色沉淀。混合物充分搅拌后离心、洗涤、干燥并研磨，得到亮黄色六硝基钴酸钾产品。

4.4 颜料的粘合和均匀化处理

合成的无机化合物颜料与预配置的聚乙二醇凝胶按1:2的体积比混合，用以制备水彩画颜料。利用研钵将混合物研磨均匀，并根据需要调整颜料或粘合剂溶液的量，以达到适宜的稠度。学生分组合成不同颜色的颜料，并通过分发的色轮手动调配，以获得理想的色调。

4.5 紫外-可见光谱

紫外光波长通常在10–400 nm范围内，而可见光波长则在400–760 nm之间。这两种光谱都属于分子光谱，主要通过分子内部价电子的能级跃迁来产生。许多色素具有独特的光物理属性，能吸收特定波长以外的色光，并将特定波长的光反射至我们的眼中，形成可见的颜色。我们合成的钴蓝、钴黄和铁红颜料展示了这种光学特性，这些颜料在古代艺术中有着广泛的应用。在本实验中，我们使

用了赛默飞Evolution-220紫外光谱仪配合ISA-220积分球和专用色度软件进行色度测定, 这些设备使用可调光源并通过优化的固体样品池和比色皿进行光路的精确控制, 特定的传感器负责捕捉200–800 nm范围内的紫外-可见光, 并根据设定的实验条件对吸收误差进行矫正。

4.6 朗伯-比尔定律和固体色度(RGB)的测定

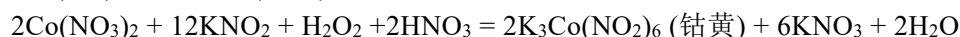
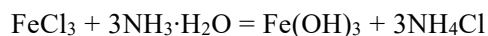
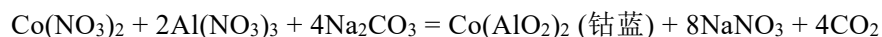
朗伯-比尔定律是描述光吸收的基本法则, 适用于几乎所有形态的吸光物质, 包括气体、液体和固体。该定律指出, 物质吸收的光量与其路径中光吸收分子的数量成正比, 其数学表达式为 $A = \lg(1/T) = Kbc$, 其中 A 是吸光度, c 是吸光物质的浓度, b 是光通过的路径长度, K 是吸光系数。在本研究中, 我们应用这一原理来精确测定我们合成的钴蓝、钴黄和铁红颜料的吸光特性。

国际照明委员会根据人类的平均色觉特性, 定义了色度坐标 X, Y, Z 来标准化光谱色度值。如果两种光谱的颜色完全相同, 它们的色度坐标也应相同, 且显示的色度与物体在最大吸收波长 λ_{\max} 处的吸光度呈一定的线性关系。虽然我们认识到样品照片能够为读者提供直观的颜色感觉, 但由于实验样品的保存条件和颜色在不同光线下可能的变化, 我们选择了通过色度软件计算色度, 以确保提供更为精确和一致的颜色信息。

通过色度软件, 我们能够根据特定条件下的吸光度和浓度等参数计算出色度, 这是判断色度的基本方法和原理。这种方法不仅避免了照片质量或显示设备差异导致的颜色误差, 而且能够通过科学的数据分析, 为读者展现样品的真实色彩。我们的目标是确保读者能够基于准确的数据获得对样品颜色的深入了解, 从而增强文章的科学性和可靠性。

5 结果和讨论

在本课程中, 我们通过实际操作来探究了相关无机化学颜料及其在美术领域的应用特性。这些颜料由于其合成过程简单、成本低廉、反应条件温和, 因此具有悠久的历史应用。钴蓝、铁红和钴黄的合成反应可以通过以下化学方程式描述:



在我们的课程中, 通过持续的讨论并结合实践经验, 我们引导不同的实验小组调整原料配比、浓度和反应条件(如pH和煅烧温度), 以便学生们可以比较各组的产量结果。这样做不仅使学生能观察到化学参数如何影响反应动力学, 还鼓励他们通过实验变化及其结果探索因果关系, 从而促进独立思考能力的培养。由于这三种颜料分别代表了基本的三原色, 学生们也能通过将把这些颜料在色轮中混合, 创造出多种颜色, 满足他们对色彩的好奇心。

与此同时, 课程融入了社会责任感的培养。在合成过程中, 我们特别选用了环保材料, 避免使用有害化学物质, 借此引导学生思考绿色化学的理念——在追求科学创新的同时, 减少对环境的影响。这一教学设计让学生认识到科学研究不仅仅是获取结果, 更应关注其对社会和环境的长期影响, 从而增强他们的环保意识和责任感。

我们还对学生们最终的合成结果进行了统计分析。与理论产量相比, 蓝、红、黄三种颜料的最终质量损失率分别为11.4%、8.6%、和10.2%, 均控制在了预期范围内。通过这种实践, 学生们不仅加深了对各种化学反应类型, 如酸碱反应、沉淀反应和氧化还原反应的理解,

而且这种深入的理解远比机械记忆枯燥的化学基本概念更为有效和有益。这种教学方法有效地提高了学生的学习积极性和科学思维能力。

无损检测在艺术界扮演着至关重要的角色, 尤其是在知名的美术品和文化遗产的鉴定与分析中。保护这些珍贵物品在检测过程中不受损害是极为重要的。因此, 无损光谱分析技术, 如拉曼光谱、光致发光谱和紫外-可见吸收光谱等, 成为了鉴定艺术品的色彩和成分的重要手段。特别是紫外-可

见光谱，它不仅操作简单、成本低廉，还是最普遍使用的检测方法之一。在我们的研究中，通过测量并比较三种不同颜料的紫外-可见吸收光谱，我们清晰地观察到了三个独特的吸收峰，这些吸收峰直接反映了光能在特定波长处被颜料吸收的现象(见图1)。

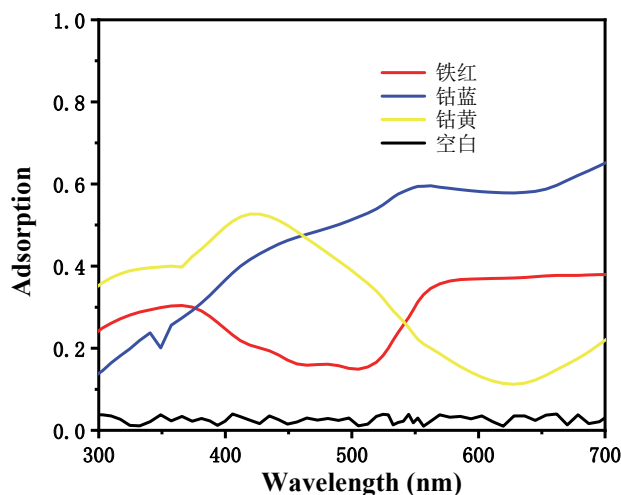


图1 三种不同颜料的紫外-可见光谱

通常，过渡金属化合物的颜色来源于过渡金属离子与负电荷配体或氧离子在成键过程中的相互作用，这些相互作用导致 d 轨道分裂，从而产生非简并的 d 轨道。当这些非简并 d 轨道中的电子吸收与其能级相匹配的可见光能量时，会发生能级跃迁，未被吸收的光则被反射，这些反射的光进入人眼，使得配合物和氧化物展现出多种颜色。这次实验有助于学生深刻理解这些复杂的化学概念，具有重要的教育意义。

然而，需要注意的是，尽管本次实验中合成的三种颜色颜料显示出独特的光物理特性，并且可以通过紫外-可见光谱进行检测，但这并不意味着紫外-可见光谱适用于探测所有类型颜料中电子振动过程产生的吸收特征。每种情况都需要进行具体分析。此外，虽然实验中的光谱数据收集过程快速且直接，它为学生们提供了宝贵的实践经验，不仅让他们掌握了光谱分析技术，还加深了对教科书中知识的理解，满足了不同学习层次的需求。实验中得到的紫外-可见光谱峰值 λ_{\max} 可用于与光谱数据库中的结果比对，从而定性评估样品的纯度(表2)。

为了深入理解颜色与浓度之间的关系，我们使用了紫外-可见光谱仪的内置软件来测试样品的色度，并比较了在添加聚乙二醇粘合剂前后的色度差异。实验结果表明，聚乙二醇的添加不仅影响了颜料的粘度和触感，而且也导致了颜料RGB色度的明显变化(见表3)。这一发现强调了颜料制备过程中添加剂选择对最终产品色彩属性的重要影响。

针对上述实验内容，我们可以根据学生的实际水平灵活调整课程内容和进度。通过简单而有趣的互动和实践活动，确保学生真正掌握所需知识，避免了传统教学中常见的浅尝辄止和机械记忆。

表2 三种不同颜料的紫外-可见光吸收峰值与标准值对比

样品	实验测得的 λ_{\max}	标准的 λ_{\max}
空白	无	无
钴蓝	562.3	564.6
铁红	365.7	368.4
钴黄	419.2	412.3

表3 三种不同颜料的紫外-可见光吸收峰值与标准值对比

与粘合剂的比例	颜料	RGB值
空白	无	无
1:1	钴蓝	(0, 0, 255)
1:1	铁红	(128, 0, 0)
1:1	钴黄	(255, 215, 0)
1:2	钴蓝	(30, 144, 255)
1:2	铁红	(178, 34, 34)
1:2	钴黄	(255, 255, 0)
1:3	钴蓝	(0, 191, 255)
1:3	铁红	(220, 20, 60)
1:3	钴黄	(255, 255, 0)

这种教学方法让学生通过实际操作解决问题，从而深化理解并巩固知识。我们还通过讨论颜料合成和光谱分析技术在艺术、工业和环保领域的广泛应用，鼓励学生培养跨学科思维。这种结合不仅拓宽了他们的知识面，还增强了他们解决复杂问题的创新能力，帮助他们将化学知识灵活运用于多领域实践。

在实验设计和实施过程中，我们还严格确保了每个步骤的科学性和可重复性。通过多个小组的反复操作和结果验证，我们不断优化实验方法，确保了数据结果的准确性。这种严谨的态度保证了学生能够在多次实验中观察到化学反应的细微变化，并理解反应条件对结果的影响。

6 学生的反馈

课程结束后，学生们给予了极为积极的反馈，许多人表达了对这种互动式和实验中心的课程模式的喜爱。一位学生表示：“看到现实生活中颜色与化学之间的联系非常有趣。”另一位学生则指出：“这门课程不仅让我们深刻理解了化学在生活中的应用，而且提供了一个具体的方法来掌握那些看似枯燥和抽象的化学概念，使其变得生动有趣。”通过本课程，学生们不仅学习了无机化合物的相关知识，还掌握了紫外-可见光谱和色度的基本概念和原理，学会了如何将所学知识综合运用于解决实际问题。许多学生在课后主动与老师讨论他们的疑问和新的想法，显示出他们对深入了解化学的强烈求知欲。成功的教学在于学生的接受度和他们对课程内容的积极反馈，从这些反馈来看，我们的课程极具成效。

7 结语

本课程通过教师与学生的紧密合作，深入探索了常见的三原色颜料的合成方法，并通过简化复杂概念，使其容易理解，从而获得了学生的广泛好评。这种教学方式不仅体现了新课程标准下的创新教育理念，而且激励学生积极探索现代科学知识，逐步拓宽了他们的思维视野。

展望未来，我们计划在以下几个方面对该实验进行拓展和深化。

(1) 深化跨学科融合：在现有基础上，进一步融入材料科学、环境科学等领域的知识，增设环保颜料合成与应用的探究环节，以引导学生深入理解绿色化学与可持续发展的核心理念。

(2) 引入尖端分析技术：计划引入拉曼光谱、X射线衍射(XRD)等先进分析技术，以提升学生对颜料结构和成分的解析能力，丰富他们的实验技能库，并深化他们对化学反应机制的理解。

(3) 强化实际应用链接：通过案例研究，让学生探索颜料在涂料、纺织品或3D打印等现代工业领域的实际应用，强化理论与实际的联系，提升学生的应用能力和创新意识。

(4) 优化实验参数与数据分析: 鼓励学生系统分析不同反应条件对颜料质量和光学性能的影响, 并借助数据建模进行量化研究, 有效培养他们的数据分析能力和科学问题解决能力。

(5) 推行开放式探索实验: 在现有实验框架内, 引导学生自主设计实验, 选择不同金属或反应条件, 探索新颜料的合成路径, 培养他们的自主实验设计和创新能力。

(6) 融合虚拟实验平台: 利用虚拟实验技术, 为学生提供更多实验模拟机会, 以弥补实际实验在时间和资源上的限制, 提升实验的灵活性和学生的动手能力。

未来我们也将引入更多的化学实验, 并结合其他学科知识, 以进一步激发学生对化学的兴趣, 发掘他们在化学探索和自我认知方面的潜力。

参 考 文 献

- [1] 朱玉军, 王香凤. 化学教学, **2017**, No. 8, 10.
- [2] 钟启泉. 全球教育展望, **2016**, *45* (1), 3.
- [3] 邓记华, 吴新世, 钟地长. 大学化学, **2024**, *39* (10), 1.
- [4] 孙佳林, 黄坤林, 付文升, 刘玺, 许应华, 曹书梅. 化学教育(中英文), **2023**, *44* (12), 53.
- [5] 耿毅, 薛勇军, 王伟群. 化学教育, **2021**, *42* (7), 27.
- [6] 王新梅. 课程教育研究, **2017**, No. 29, 176.
- [7] 曹碧云. 化学教与学, **2021**, No. 15, 40.
- [8] 沈明祥. 化学教育, **2020**, *41* (9), 57.
- [9] 马莹, 刘刚, 王芬, 张恒, 宋其圣, 苑世领. 大学化学, **2021**, *36* (1), 2005010.
- [10] 石雷, 赵国虎, 缙浩. 山东化工, **2021**, *50* (2), 191.