

强基背景下硫酸铜系列趣味实验的创新设计

彭小平^{1,2} 李桂林³ 台外库力·吐尔洪²

1. 上海市古美高级中学, 上海 201101
2. 上海师范大学附属喀什实验中学, 新疆 喀什 844000
3. 上海市莘庄中学, 上海 201199

[摘要] 兴趣是最好的老师, 激发学生对科学的兴趣, 在学生时代种下科学的种子尤其重要。实验像魔术一样能吸引学生的注意。激发学生对科学的兴趣, 还可以探究事物的本质。本研究以硫酸铜为主体, 设计了六个有关硫酸铜的系列趣味实验: 蛋白的变色实验、制作心形硫酸铜晶体、铁树生花、人造细胞、硫酸铜的变色。这些实验让学生惊叹科学之美, 科学之力量。先培养学生的志趣, 再培养学生的志向。

[关键词] 硫酸铜; 趣味实验; 人造细胞

DOI: 10.33142/fme.v6i1.14975

中图分类号: G633

文献标识码: A

Innovative Design of Fun Experiments on Copper Sulfate Series under the Strong Foundation of Engineering Integration

PENG Xiaoping^{1,2}, LI Guilin³, TAIWAIKULI Tuerhong²

1. Shanghai Gumei High School, Shanghai, 201101, China
2. Kashgar Experimental High School Affiliated to Shanghai Normal University, Kashgar, Xinjiang, 844000, China
3. Shanghai Xinzhuang Middle School, Shanghai, 201199, China

Abstract: Interest is the best teacher, inspiring students' interest in science and planting the seeds of science during their student years is particularly important. Experiments can attract students' attention like magic. Stimulating students' interest in science can also explore the essence of things. This study focuses on copper sulfate and designs a series of interesting experiments related to copper sulfate: protein color change experiment, making heart-shaped copper sulfate crystals, iron tree flowering, artificial cells, and color change of copper sulfate. These experiments amazed students with the beauty and power of science, first cultivating their interests, and then cultivating their aspirations.

Keywords: copper sulfate; fun experiment; artificial cells

2020 年 1 月 13 日, 为了深入贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中全会精神, 落实全国教育大会精神, 服务国家重大战略需求, 加强拔尖创新人才选拔培养。教育部决定自 2020 年起, 在部分高校开展基础学科招生改革试点(也称“强基计划”), 旨在选拔培养有志于服务国家重大战略需求且综合素质优秀或基础学科拔尖的学生。招生专业方面, 要突出基础学科的支撑引领作用, 重点在数学、物理、化学、生物及历史、哲学、古文字学等相关专业招生。强基计划的核心目标之一是提高学生的创新能力, 创新思维是创新人才的智力结构的核心。需要采取一系列措施来培养基础学科学生的创新能力。

化学创造性思维培养与实验的联系紧密, 借助化学实验培养学生的化学创造性思维得到研究者的广泛认可。但很少有研究针对怎样在高中生的课外活动中, 设计相应的环节, 对学生进行创新思维的培养。化学实验能够帮助学生获取化学基础知识和基本技能, 激发学生的兴趣、启迪

学生的科学思维、培养学生严谨求实的科学态度和创新能力, 是其他任何教学手段都无法与之比拟的。

1 先培趣, 认知冲突激发探究激情

在高中学习中, 醛基的检验是一个学生实验, 实验成功率高, 硫酸铜和氢氧化钠不仅可以检验醛基还可以检验蛋白。

实验一: 蛋白的检验

材料准备: 试管, 鸡蛋, 氢氧化钠, 硫酸铜

实验步骤:

①在小烧杯中加入 10mL 水, 再加入鸡蛋清 1mL 后搅拌, 制成鸡蛋清溶液。

②取 2mL 鸡蛋清溶液于试管中, 然后加入 2mL 10% 氢氧化钠溶液, 待充分混合后, 再加入 3-4 滴硫酸铜溶液, 并充分振荡。

实验现象: 无色的蛋清溶液变成紫色, 还有一些颗粒大的白色的蛋白, 混合在一起, 犹如紫天白云, 甚是好。如图 1 所示。



图 1 蛋白变紫

实验原理：鸡蛋蛋白是由氨基酸组成的球蛋白，它在碱性条件下发生水解，生成多肽等物质，这些物质中的肽键遇 Cu^{2+} 发生络合反应，呈现蓝色或者紫色。

实验二：鸡蛋传密信

①取一只鸡蛋，洗去表面的油污，用铅笔在鸡蛋壳上写好字，或者画好图形。

②用吸管吸取少量浓盐酸，在鸡蛋壳上用盐酸临摹。

③等盐酸溶解蛋壳后，擦干表面的气泡，把鸡蛋放在稀硫酸铜溶液里煮熟。

④待蛋冷却后，剥去鸡蛋壳，蓝色的字迹清晰地印在洁白的鸡蛋蛋白上，详见图 2~图 7。



图 2 画个心 图 3 用盐酸腐蚀蛋壳 图 4 在硫酸铜溶液中煮

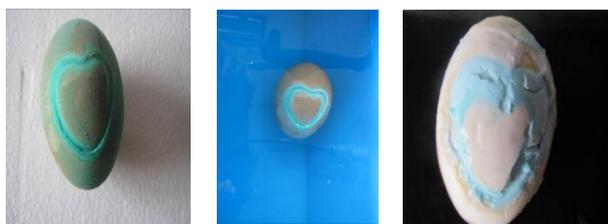


图 5 鸡蛋煮熟 图 6 放到冷水中 图 7 剥壳后的鸡蛋

实验原理：蛋壳的主要成分是碳酸钙。碳酸钙能跟盐酸发生复分解反应。盐酸溶解蛋壳后，少量渗入蛋白内。鸡蛋蛋白是由氨基酸组成的球蛋白。它在弱酸性条件下发生水解，生成肽等物质。它们都含有肽键，遇 Cu^{2+} 发生络合反应，呈现蓝色。

实验设计意图：趣味实验能激发学生的兴趣，兴趣是最好的老师。把这两个趣味实验放在一起，实验现象进行对比，引发学生思考，都是鸡蛋蛋白与硫酸铜的反应，为啥颜色是不一样的呢？激发学生进一步研究的热情。学生用化

学探究的方法寻找答案的过程，提高学生学习化学的激情。鸡蛋蛋白与硫酸铜的反应，实验条件不一样，产生的实验结果不一样，实验一是碱性环境中，产生的紫色溶液；实验二是酸性环境中，加热，蛋白变为蓝色。量变引起质变，条件改变，即便反应物相同，产物完全不同。在轻松有趣的实验中，渗透了化学学科素养，培养了学生创新思维，化学思维能力。

2 利用经典实验培养学生的创新能力

硫酸铜晶体的结晶实验是一个经典实验，实验成功率 100%。硫酸铜晶体通常为规则的几何形状，属于三斜晶系。让学生查阅不同温度下硫酸铜的溶解度，发现结晶与温度有关，除了温度，在硫酸铜晶体结晶时还能做哪些创新呢？

实验三：制作心形硫酸铜晶体

准备材料：回形针、棉线、培养皿、玻璃棒、水浴加热装置、温度计、烧杯、白纸、 80°C 饱和硫酸铜溶液、蒸馏水。

实验步骤：①用两根回形针制作一个心形环，并用棉线把整个心形环缠绕起来，放在培养皿中，如图 8 所示。



图 8 心形环

②在烧杯中加入 200mL 的 80°C 热饱和硫酸铜溶液，在心形环顶端系上一根棉线，将心形环浸入溶液，使其保持悬挂状态，将烧杯放在 80°C 水浴中，再一起慢慢冷却到室温，100 分钟后取出心形环。

实验现象：可以看到心形环上面结晶出细小均匀的晶体，形成完整的心形晶体，如图 9 所示。



图 9 心形硫酸铜晶体

实验原理：因为棉线上有大量细小的纤维，所以结晶时晶核增多，硫酸铜可以均匀地附着在心形环的周围，在棉线表面均匀地结晶出来，形成均匀细小的硫酸铜晶体。

实验设计意图：晶体的结晶不仅与温度有关，还与晶核中心的多少及分布、结晶的时间长短有关。本实验使用棉线缠绕的方法，改变晶核的多少与分布，制作出了美丽的心形晶体，该实验为其他晶体的模型制备提供了一种创新思路。

3 利用趣味实验，模拟生产生活中的现象

锂离子电池主要依靠锂离子在正极和负极之间的来回移动而工作，负极为层状石墨材料，正极为含锂的化合物。充电时，正极材料发生氧化反应， Li^+ 从正极脱嵌，经过电解液，穿过隔膜，到达负极发生还原反应，插入层状石墨中，负极由贫锂状态到富锂状态。放电过程与充电过程相反。但在充电过程中存在自燃的危险。锂枝晶生长是影响锂离子电池安全性和稳定性的根本问题之一。锂枝晶的生长会导致锂离子电池在循环过程中电极和电解液界面的不稳定，破坏生成的固体电解质界面（SEI）膜，锂枝晶在生长过程中会不断消耗电解液并导致金属锂的不可逆沉积，形成死锂造成低库伦效率；锂枝晶的形成甚至还会刺穿隔膜导致锂离子电池内部短路，造成电池的热失控引发燃烧爆炸。

实验四：铁树生花

实验材料：烧杯，两块透明板，锌片，玻璃棒，滴管，硫酸铜，橡皮筋 2 根，滤纸，剪刀。

实验步骤：

- ①倒入少量硫酸铜到杯子，再加入少量水，用玻璃棒搅拌均匀。
- ②用剪刀将锌片剪成你喜欢的形状。
- ③在一片塑料板上先放滤纸，再放锌片。
- ④用滴管将硫酸铜溶液滴到滤纸上，直到整张滤纸潮湿为止，注意溶液不要直接滴到锌片上。
- ⑤再叠放一块透明塑料板，将超出透明板的滤纸剪掉。
- ⑥用橡皮筋扎住透明板两边，用密封袋装好，观察变化。

实验原理：首先，因为锌的活泼性高于铜，所以，锌片遇到硫酸铜溶液时会发生置换反应，生成金属铜。这会产生两方面的影响，一方面，生成的金属铜因为与锌接触，二者构成原电池。因为锌失去电子的趋势比铜大，所以，电子会从锌片流向新生成的铜。另一方面，由于生成了金属铜，所以，锌片附近的铜离子浓度会减小，从而与周围的环境形成浓度差，使得铜离子发生扩散。铜离子在扩散的过程中，一旦遇到之前生成的铜，就会获得电子，发生沉积聚在一起，因此铜会不断地生长。由于实验装置中使用了滤纸，而滤纸吸水之后可以创造一个近似二维的生长环境。因此，铜会形成二维的树状结构（见图 10），而且这种结构具有分形的特征。生成树状结构的过程可以用 DLA(Diffusion-limited

aggregation) 模型进行模拟。

纸上生花实验把锂电池枝晶实验现象变得具象化，帮助学生理解锂电池枝晶的形成过程。纸上生花的趣味实验，是以往化学实验未曾见到过的实验现象模式，这个实验能更好地帮助学生理解锂电池枝晶的形成。学生进一步研究此实验的影响因素是否能够探究锂电池枝晶的影响因素，从而解决锂电池因为枝晶而引发的安全隐患。



图 10 纸上生花

4 化学仿生学——链接科学捕捉灵感

必修教材 2 第 85 页提到化学仿生学，是一门横跨化学与分子生物学领域的交叉科学，模拟生物体内的化学反应过程、模拟生物体内的物质输送过程，以及模拟生物体内的能量转换等是其研究内容。简单来说，仿生学就是模仿生物的某些特性和机理，来创造新技术和新产品。仿生学为技术革新提供了新的思路和方法。

实验五：人造细胞

材料准备：3% CuSO_4 ，亚铁氰化钾，培养皿，药匙

- 实验步骤：
- ①配制 3% CuSO_4 溶液。
 - ②拿出培养皿，加入大约一半的硫酸铜溶液。
 - ③往溶液中一粒一粒地加入亚铁氰化钾颗粒（见图 11）。



图 11 亚铁氰化钾漂浮在硫酸铜上

实验现象：几分钟后，你会看到培养皿中产生的“细胞”（见图 12）。

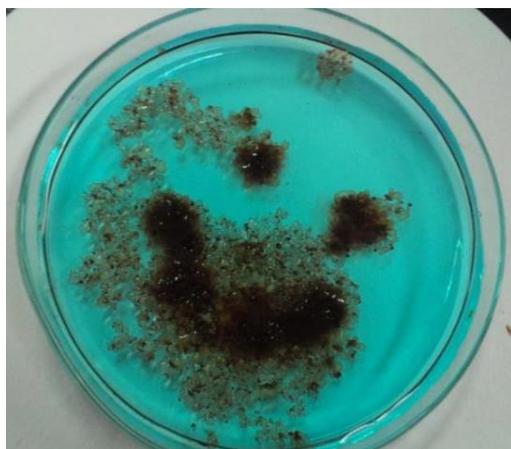


图 12 产生“细胞”

实验原理：在亚铁氰化钾晶体与硫酸铜溶液接触的地方，生成了囊状的亚铁氰化铜薄膜： $K_4[Fe(CN)_6] + 2CuSO_4 = Cu_2[Fe(CN)_6] \downarrow + 2K_2SO_4$ 。这层薄膜把亚铁氰化钾晶体包了起来。在人工的半透膜中，亚铁氰化铜的薄膜具有很好的半透性即水分子能够自由地透过亚铁氰化铜薄膜，但 K^+ 、 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 、 CN^- 和 SO_4^{2-} 离子则不能通过薄膜。这样硫酸铜溶液内的水分子不断进入囊状薄膜内，使膜内产生了很大的渗透压力，压力增大到一定程度，这层薄膜就被胀破，于是亚铁氰化钾溶液就从膜内钻出来，它遇到硫酸铜溶液，又会发生反应，生成一层新的囊状亚铁氰化铜薄膜。这样，老的薄膜不断破裂，新的薄膜不断产生，使人造细胞不断长大。最后在培养皿内生成了一个褐色的半透明的人造细胞，飘浮在溶液中，犹如在显微镜下看到的一个个活细胞。

仿生通过模仿自然界中生物体的结构、功能和行为，为创新提供了丰富的灵感来源。生物体经过亿万年的进化，形成了许多独特且高效的解决方案，这些解决方案往往超出了人类传统思维的范畴。因此，仿生能够激发人类的创新思维，帮助我们找到新的解决问题的方法。

5 设计趣味实验，促进学生对化学知识的理解

选择性必修 2 教材中生产、生活中的配位化合物， Cu^{2+} 小分子或离子（如 H_2O 、 NH_3 、 Cl^- 、 F^- 等）形成配合物。我们通常说的铜离子呈蓝色，实际上是 $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ 呈蓝色，往蓝色溶液中加入含有氯离子的溶液，是否会生成 $[CuCl_4]^{2-}$ 呢？

实验六：硫酸铜的变色

硫酸铜溶液水是蓝色的，里面加入氯化钠晶体，溶液颜色有何变化呢？

实验材料：烧杯，玻璃棒，电子天平，食盐，硫酸铜

实验步骤：配制 1% $CuSO_4$ 、2% $CuSO_4$ 、5% $CuSO_4$ 的溶液，分别往里面逐渐加入氯化钠固体，记录加入固体的质量与溶液的颜色。

表 1 不同浓度的硫酸铜溶液加入氯化钠固体后颜色变化表

加入氯化钠 的量 颜色	1% $CuSO_4$	2% $CuSO_4$	5% $CuSO_4$
	浅蓝	0~8.350	0~5.604
浅蓝绿		7.640~10.250	7.170~8.610
淡绿	32.840	14.863~15.852	9.950~14.030
绿色		19.010~20.203	15.950~20.503

实验现象：蓝色硫酸铜溶液中加入氯化钠，溶液颜色由蓝色变为蓝绿色最终变为绿色（见图 13）。



图 13 硫酸铜溶液加入氯化钠后颜色变化

实验原理：

实验中得出硫酸铜的溶液呈蓝色，这是因为硫酸铜溶液中铜离子和水分子络合形成蓝色的水合铜离子 $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ 。而 $CuCl_2$ 的水溶液中存在 $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ 和 $[CuCl_4]^{2-}$ 两种络离子， $[CuCl_4]^{2-}$ 离子呈黄色， $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ 络离子呈浅蓝色。根据光学原理我们知道，蓝色和黄色的混合色为绿色，所以一般浓度的 $CuCl_2$ 溶液中 $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ 和 $[CuCl_4]^{2-}$ 络离子共存。 $CuCl_2$ 溶液就呈绿色。两种有色离子在一定条件下可以相互转化，平衡及转化关系如下： $4Cl^- + [Cu(H_2O)_4]^{2+} = [CuCl_4]^{2-} + 4H_2O$ 在很浓的 $CuCl_2$ 溶液中， Cl^- 的浓度很大，上述平衡向右移动，黄色 $[CuCl_4]^{2-}$ 络离子占优势，此时溶液呈现出黄绿色或深绿色。当加水稀释时，水分子取代了 $[CuCl_4]^{2-}$ 中的 Cl^- 使电离平衡向左移 $[CuCl_4]^{2-}$ 离子减少， $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ 离子增加，绿色向蓝色变化。当溶液相当稀时，几乎均为 $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ ，所以 $CuCl_2$ 的稀溶液显蓝色。

本创新实验，能把定量实验变为趣味实验，学生能具体感知量变引起质变，帮助学生理解颜色变化现象背后的本质是铜离子形成的配合物中配位体的改变。

强基背景下，提出了对学生培养的更高要求，培养学生的创新能力，发展学生的创新思维品质，教师的创新能力是制约学生创新思维发展的关键因素，本研究展示了一个由硫酸铜为线索，由点到线，由线到面的实验

设计思路。

[参考文献]

[1]张婷. 镁与硫酸铜溶液反应产物的研究[J]. 化学教育, 2015, 36(21): 70-72.

[2]张兆伟. “铜树”实验的探析与启示[J]. 化学教育, 2005(2): 55.

[3]李晓月, 李珂卿, 丁伟. 基于过程可视化的“铜树”标本制作[J]. 教育与装备研究, 2020, 36(10): 50-54.

作者简介: 彭小平(1969—), 女, 汉, 籍贯: 湖北省天门市, 学历: 大学本科, 工作单位: 上海市古美高级中学, 职称: 中学高级教师, 研究方向: 实验创新和调动学生非智力因素有效提高学习成绩。