

·教育与教学·

## 科研反哺教学:基于Hofmeister效应的亲水性海绵的 制备实验探索与推广

江献财<sup>1</sup> 魏锶琦<sup>1</sup> 石竞晗<sup>1</sup> 陈朋达<sup>1</sup> 祝淑颖<sup>2\*</sup>

(福州大学<sup>1</sup>化工学院<sup>2</sup>化学学院 福州 350108)

**摘要:**为响应教育部“科研反哺教学”的号召,解决本科教学中有机高分子多孔材料实验普及度低的问题,本研究依托课题组前期成果,将基于Hofmeister效应的高性能海绵制备技术转化为本科实验教学项目。在该实验中以聚乙烯醇(PVA)为原料,甘油、氯化钙、柠檬酸钠为助剂,借助多组分协同作用实现PVA溶液溶胶-凝胶转变,成功制备亲水性多孔海绵。该实验原理直观,操作难度适配本科生理论知识和操作水平,现象鲜明且拓展性强,在福州大学化学工程与工艺专业“综合型实验”课程中成功实施。教学实践表明,学生能完整完成材料合成至性能测试全过程,不仅深化了对相关理论知识的理解,提升了综合实践能力,还激发了科研兴趣与创新意识,为构建科教融汇的新工科实验课程体系提供了有益范例。

**关键词:** Hofmeister效应; 聚乙烯醇; 海绵; 科研反哺教学; 新工科实验教学

## Research Feeding Back into Teaching: Experimental Exploration and Promotion of Hydrophilic Sponge Project Based on Hofmeister Effect

JIANG Xian-cai<sup>1</sup>, WEI Si-qi<sup>1</sup>, SHI Jing-han<sup>1</sup>, CHEN Peng-da<sup>1</sup>, ZHU Shu-ying<sup>2\*</sup>

(<sup>1</sup>School of Chemical Engineering, <sup>2</sup>School of Chemistry, Fuzhou University, Fuzhou 350108)

**Abstract:** In response to the Ministry of Education's call for "research feeding back into teaching" and to address the low prevalence of experiments on organic polymer porous materials in undergraduate teaching, this study leverages the research group's preliminary achievements to transform the high-performance sponge preparation technology based on the Hofmeister effect into an undergraduate experimental teaching project. In this experiment, we used poly(vinyl alcohol) (PVA) as the raw material and glycerol, calcium chloride, and sodium citrate as additives, achieving the sol-gel transition of PVA solution through the synergistic effects of multiple components, successfully producing hydrophilic porous sponges. The experimental principles are intuitive, the operational difficulty aligns with the theoretical knowledge and skill levels of undergraduates, and the phenomena are distinct with strong extensibility. It has been successfully implemented in the "comprehensive experiments" course for chemical engineering and technology majors at Fuzhou University. Teaching practice demonstrates that students can complete the entire process from material synthesis to performance testing, not only deepening their understanding of relevant theoretical knowledge and enhancing their comprehensive practical abilities, but also stimulating research interest and innovative thinking, providing a valuable model for building a new engineering experimental curriculum system that integrates science and education.

**Keywords:** Hofmeister effect; Poly(vinyl alcohol); Sponge; Feeding back of research into teaching; New engineering experiments

2026-03-04 收稿, 2026-03-30 录用

\* 通信联系人: 祝淑颖, E-mail: syzhu@fzu.edu.cn

doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2026.26.040

引用: 江献财, 魏锶琦, 石竞晗, 陈朋达, 祝淑颖. 科研反哺教学: 基于 Hofmeister 效应的亲水性海绵的制备实验探索与推广. 高分子通报, doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2026.26.040

Citation: Jiang, X. C.; Wei, S. Q.; Shi, J. H.; Chen, P. D.; Zhu, S. Y. Research feeding back into teaching: experimental exploration and promotion of hydrophilic sponge project based on hofmeister effect. *Polym. Bull.* (in Chinese), doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2026.26.040

多孔材料凭借其独特的三维孔道结构与高比表面积特性,在水质净化<sup>[1]</sup>、环境降噪<sup>[2]</sup>、能源催化<sup>[3]</sup>、生物医药<sup>[4]</sup>等诸多领域展现出极大的应用价值与广阔的产业化前景,已成为材料科学领域的研究热点之一。为匹配行业发展需求与人才培养目标,教育部在2017年发布的《化学类专业化学实验教学建议内容》中,明确将“多孔材料的制备与性能表征”列为化学类专业核心实验模块,要求学生掌握多孔材料的制备方法;2018年出台的《普通高等学校本科专业类教学质量国家标准》(化工与制药类、材料类)进一步细化要求,强调需通过实验教学帮助学生建立“材料结构—制备工艺—功能应用”的逻辑关联,为后续从事相关领域研究或工程实践奠定基础。

然而,当前化工和材料类的本科实验教学中,有机高分子多孔材料相关实验的普及仍面临瓶颈:传统制备方法(如致孔剂法<sup>[5]</sup>需多步溶剂洗脱、冷冻干燥法<sup>[6]</sup>依赖特殊真空设备)往往涉及复杂的反应流程、严苛的操作条件或昂贵的仪器,难以适配本科实验的课时限制与资源条件,也易因操作门槛过高导致实验成功率低;现有实验多聚焦于“合成—表征”的单一环节,缺乏与前沿研究的衔接,使得学生难以接触该领域“绿色制备”“功能改性”等热点方向,无法充分理解材料研发的实际价值。在此背景下,2019年,教育部印发的《教育部关于深化本科教育教学改革全面提高人才培养质量的意见》中,明确提出“推动科研反哺教学,将高校高水平科研成果转化为优质教学资源”的核心要求,为解决上述教学痛点提供了关键思路——通过将成熟、低门槛的前沿科研技术转化为本科实验项目,既能降低实验实施难度,又能让学生在实践中接触学科前沿,实现“基础教学”与“科研创新”的有机融合。

无机盐是学生容易接触和熟悉的化学试剂,如氯化钠、氯化钙等。大学生在本科阶段也接触到了较多的涉及无机盐的化学现象和原理应用,如本科阶段接触到的加盐蛋白质变性和沉析、特殊精馏中的加盐精馏等。这些现象的核心原理都

是霍夫迈斯特效应(Hofmeister效应)。Hofmeister效应是由德国化学家Franz Hofmeister于1888年首次提出的,描述了不同盐离子在水溶液中通过与水分子及溶质相互作用,改变水的状态,从而调节溶质的溶解度和聚集状态的现象。如能合理利用和发展Hofmeister效应,基于无机盐的Hofmeister效应来制备功能性材料,则能极大地激发学生的化学兴趣。

PVA亲水性海绵是人们生活中常见的一类高分子材料,可用于家用的海绵吸水拖把和医用的止血海绵等,具有吸水性强,负压导流自动吸水等特性。但其常规制备方法较为复杂,难以作为本科生实验开展。在我们课题组前期的研究工作中,提出一种基于盐析效应来制备PVA海绵的简便方法。据调研,国内外暂无在本科生教学中开展PVA海绵制备的先例。因此,根据我们课题组前期研究工作中提出的基于盐析效应制备得到亲水性聚乙烯醇(PVA)多孔海绵的方法<sup>[7,8]</sup>,进一步将其转化为一项适合本科教学的实验项目。该实验以PVA为基础原料,以甘油(Gly)、氯化钙(CaCl<sub>2</sub>)和柠檬酸钠(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub>)为功能性助剂,制得了一种PVA多孔海绵材料,并对其进行了结构表征和应用探索,使学生完整体验从材料合成到性能测试的全过程。本实验能够充分培养学生的动手能力,极大地激发学生的创新意识和对科学研究的热情。

## 1 实验部分

### 1.1 实验原理

柠檬酸钠的强盐析效应会导致溶液中的PVA聚合物大分子链纳米纤维化;刚性纳米纤维堆砌在一起会形成多孔海绵结构的材料。通过该原理制备得到多孔海绵的关键在于溶液中纳米纤维的高浓度化以实现其自组装。

### 1.2 试剂与仪器

聚乙烯醇(PVA, CAS: 9002-89-5, 聚合度为2000, 醇解度为99%)购自安徽皖维集团有限责任公司(中国合肥)。CaCl<sub>2</sub>由阿拉丁化学试剂有限公司

提供。Gly和 $C_6H_5Na_3O_7$ 由天津致远化学试剂有限公司提供。所有试剂未经进一步纯化直接使用。整个实验均使用蒸馏水。

电子天平(型号FA2004N,上海精密科学仪器有限公司),恒温水浴锅(型号DF-101S,巩义市予华仪器有限公司),万能材料试验机(型号UTM4503,深圳三思纵横科技股份有限公司),和接触角测量仪(型号SDC-200S,晟鼎精密仪器有限公司)。

### 1.3 实验步骤

实验流程图见图1,具体实验步骤如下:

(1)取1 g PVA,0.2 g  $CaCl_2$ ,2.8 g Gly和7.2 mL的去离子水倒入带有机械搅拌的烧杯中,将烧杯放置在磁力加热搅拌器中,在95 °C下加热搅拌溶解4 h,直到形成均匀的溶液,在加热过程中使用冷凝水冷却回流。

(2)再称取1.2 g  $C_6H_5Na_3O_7$ 倒入另一烧杯中,并加入2.8 mL的蒸馏水加热搅拌溶解。然后将溶解好的 $C_6H_5Na_3O_7$ 溶液用滴管滴入步骤(1)中制备的PVA溶液中,此过程要将PVA溶液放置磁力加热搅拌器中并维持在95 °C,与此同时 $C_6H_5Na_3O_7$ 溶液要缓慢滴加以防止溶液中出现团聚,滴完 $C_6H_5Na_3O_7$ 溶液后,将烧杯再次用保鲜膜封口,搅拌30 min。

(3)将步骤(2)中得到的溶液倒入合适的模具中,并将模具放置在常温下12 h,使其凝胶化。凝胶化过程中,水分会逐渐挥发,形成海绵,再将固化后的海绵采用自来水进行清洗,去除残留的柠檬酸钙( $CaCl_2$ 和 $C_6H_5Na_3O_7$ 相遇生成不溶的柠檬酸钙)等不溶物,最后将洗净的海绵放置在通风处

进行自然干燥1天以上。

(4)对制备的脱水干燥前、后的海绵进行表征,包括拉伸测试,压缩测试和水接触角测试。并鼓励学生将所制备样品带回去做长时间的观察。

### 1.4 实验结果分析

我们在福州大学化学工程与工艺专业2022级学生的综合型实验中,成功开设了此实验。在该实验课程中所有学生小组均成功制备出具有一定机械强度的块状PVA海绵材料。样品呈乳白色、不透明状,质地柔软且富有弹性(图2a)。通过简单的刀片切割可观察到其内部为均匀的白色多孔结构。为更直观地演示其亲水性与吸附特性,部分学生引入了染色剂对海绵染色。将少量甲基橙(或其他水溶性染料)溶于水后,再将制备好的PVA海绵浸入其中,海绵能迅速且均匀地被染成亮黄色(图2b)。当将未染色的海绵接触水面时,它能被水迅速且完全地浸润,并在极短时间内自主吸水下沉(图2c)。通过接触角测量仪对PVA海绵亲水性进行表征(图2d),水滴在海绵表面仅用33 ms就瞬间铺展并渗入。这一现象表明,PVA海绵具有超亲水的润湿性能,水能够极快地在其表面铺展且被快速吸收。进一步地,PVA海绵在吸水前后的力学性能也表现出显著差异。如图2e所示,干态PVA海绵具有较高的杨氏模量(Young's modulus)和韧性(toughness),而吸水后的湿态海绵模量和韧性均明显下降,说明其柔软性和变形能力增强(结果列于图2f)。循环压缩实验(如1、5、10次循环)(图2g)也表明材料具有良好的回弹性和耐久性。这些性能为其在吸水、过滤、缓冲等应用提供了良好的机械基础。

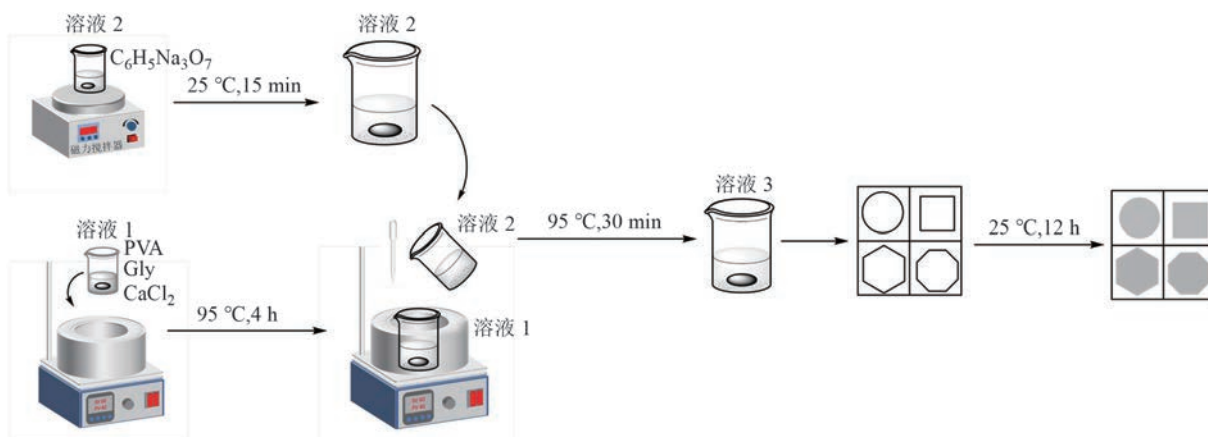


图1 PVA海绵制备流程图

Figure 1 The flowchart of the preparation process of PVA sponge

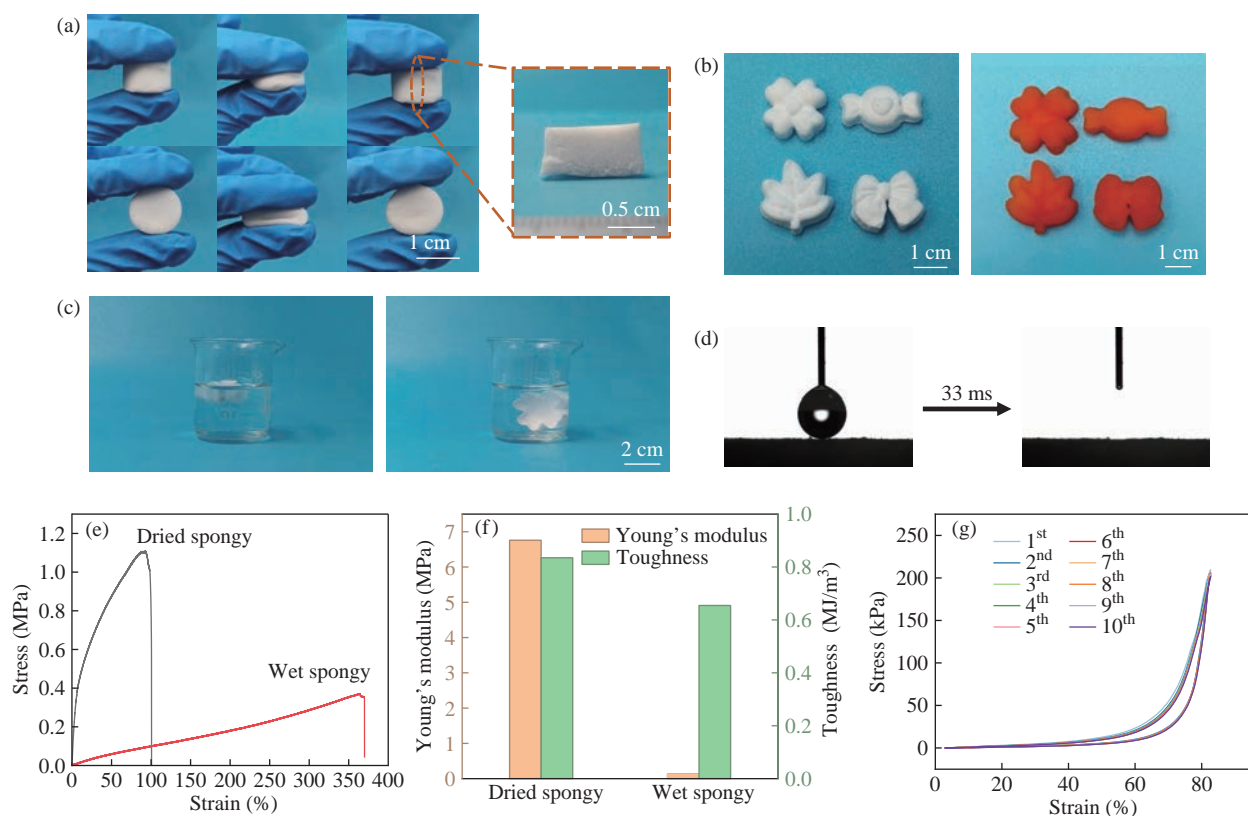


图2 PVA海绵的物理特性与性能表征: (a)宏观形貌、弹性及内部多孔结构; (b)染料吸附效果; (c)自主吸水过程; (d)水滴铺展行为(33 ms); (e)干燥与湿润状态下的拉伸应力-应变曲线; (f)对应状态的杨氏模量与韧性; (g) 10次循环压缩曲线

**Figure 2** Physical properties and performance characterization of PVA sponge: (a) Macroscopic morphology, elasticity and internal porous structure; (b) Dye adsorption effect; (c) Autonomous water absorption process; (d) Water droplet spreading behavior (33 ms); (e) Typical tensile stress-strain curves under dry and wet conditions; (f) Young's modulus and toughness under corresponding conditions; (g) 10 cycles compression curves

## 2 教学总结与存在的问题分析

该实验教学项目整体上取得了预期的良好效果,其优势主要体现在以下几个方面:

(1) 实验以“盐析效应”这一核心概念为底层逻辑,创新性关联高性能多孔材料制备这一前沿研究领域,构建“基础理论→实际应用”的完整认知链条。盐析效应也是学生在生活中能经常接触到的一种常见化学现象,如蛋白质的变性,蒸鸡蛋过程中放入盐,烹制牛肉时要最后放盐等,都是涉及盐析效应。该实验中学生主要是使用无机盐柠檬酸钠的盐析效应来实现PVA海绵的孔结构的形成,通过该实验不仅可引导学生对理论知识进行调研和理解,更是给学生植入了“基础概念如何解决工程化制备问题”的思维方法,打破了理论学习与实践应用的壁垒。

(2) 操作难度适中,兼具规范性与挑战性。实验流程设计较为合理,适合本科生的操作水平。

其中,需控制 $C_6H_5Na_3O_7$ 溶液的加入速度以防止局部团聚,这也是该实验的关键步骤之一。这一环节有效训练了学生细致、规范的实验操作习惯和解决突发问题的能力。

(3) 实验成果具备“宏观可感、微观可辨”的特点。学生既可直接观察到完整三维结构的PVA海绵(宏观),也可通过显微镜清晰地观察到材料内部均匀分布的多孔结构(微观),且最终制备的海绵产品无明显缺陷、结构稳定性良好。这种“从宏观形状到微观结构”的可视化成果,让学生清晰地感知通过自己实验操作制备得到的PVA多孔海绵,增强了学生的实验成就感,进一步激发了学生对实验课程的学习兴趣。

在福州大学化学工程与工艺专业的“综合型实验”课程中,本实验得到了成功实施。教学实践表明,在教师指导下,学生均能顺利完成从材料合成到性能测试的全过程,成功制备出形状较规整的PVA海绵。学生对亲手制备的PVA海绵材

料表现出较大的兴趣，并对其应用前景展开了讨论。从实验完成度、学生的参与热情及反馈来看，该实验成功地将前沿科研成果转化为高质量的教学内容，提升了综合实验课程的教学效果，达成了培养学生动手实践能力与增强创新意识的预期目标。

存在的主要问题如下：

(1) 学生背景调研不足，因此难以深入理解实验原理，初期对实验的兴趣度也较低。因此，在以后的实验工作中将要求学生在实验前进行充分的文献调研，调研的关键词是“聚乙烯醇海绵”和“盐析效应”。并要求学生在淘宝网站上调查聚乙烯醇海绵的商用产品及其用途。

(2) 实验周期较长。在该实验中，PVA 海绵物料的称取和溶解需要 3 h，然后溶液需要静置 6 h 以上。制备得到的海绵干燥过程也需要较长时间(室温下放置需要 2~3 天)。因此需要教师合理安排好实验时间。可将实验分为两大部分，教师主要负责实验步骤中的(1)和(2)，指导学生进行 PVA 溶液的配制和往 PVA 溶液中加入 Gly、CaCl<sub>2</sub> 和 C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub>。得到 PVA/Gly/CaCl<sub>2</sub>/C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub> 溶液后，可由学生负责溶液放置成海绵的过程和海绵的干燥过程。

### 3 结语

该实验立足于课题组在盐析诱导凝胶化领域的最新研究成果，成功将一种基于盐析效应制备高性能 PVA 海绵的新型工艺路线转化为本科实验教学项目。以此为核心内容，我们面向化学工程与工艺、高分子材料与工程等专业本科生，设计并开设了题为“高强度亲水性海绵的制备及性能评价”的综合型实验课程。该实验不仅完整再现从高分子溶液到多孔材料的制备全过程，更是集材料制备与性能表征于一体的教学模式。教学实践表明，该课程增强了学生对“盐析效应”“材料制备”和“结构与性能关系”等理论知识的理解，

提升了学生在材料制备、仪器操作与数据分析等方面的综合实践能力，激发了学生的科研兴趣与创新意识，为推进科研反哺教学、构建科教融汇的新工科实验课程体系提供了新的范例。

### 参考文献

- 1 Sun, Q.; Aguila, B.; Song, Y. P.; Ma, S. Q. Tailored porous organic polymers for task-specific water purification. *Acc. Chem. Res.*, **2020**, 53(4), 812–821.
- 2 Hu, E. Y.; Zhu, Y. W.; Li, H. Y.; Deng, C.; Cui, B.; Zhao, L.; Wu, J. H.; Wang, X. M.; Zhu, M. F. Superior broadband sound absorption in hydrophobicity and mechanical enhancing poly(urethane-imide)/melamine aerogels via ambient drying. *Chem. Eng. J.*, **2025**, 503, 158391.
- 3 Du, C.; Li, P.; Zhuang, Z. H.; Fang, Z. Y.; He, S. J.; Feng, L. G.; Chen, W. Highly porous nanostructures: rational fabrication and promising application in energy electrocatalysis. *Coord. Chem. Rev.*, **2022**, 466, 214604.
- 4 Zhang, J. X.; Pan, Y. F.; Dong, S. D.; Yang, M. H.; Huang, Z.; Yan, C. J.; Gao, Y. T. Montmorillonite/agarose three-dimensional network gel sponge for wound healing with hemostatic and durable antibacterial properties. *ACS Appl. Nano Mater.*, **2023**, 6(18), 17263–17275.
- 5 吕嵩. 多孔碳结构调控的研究及其在超级电容器电极材料上的应用. 武汉大学博士学位论文, **2021**.
- 6 Sun, L. F.; Zhou, J. Y.; Lai, J. Y.; Zheng, X.; Zhang, L. M. Multifunctional chitosan-based gel sponge with efficient antibacterial, hemostasis and strong adhesion. *Int. J. Biol. Macromol.*, **2024**, 256, 128505.
- 7 Chen, M. D.; Wang, Y. H.; Yang, M. H.; Zhang, L.; Wang, K.; Ye, D. Z.; Zhan, Y. H.; Li, X.; Zhang, W. Y.; Jiang, X. C. Hydrophilic amphibious open-cell macroporous sponge by Hofmeister effect induced nanofibrils. *J. Mater. Chem. A*, **2024**, 12(27), 16350–16360.
- 8 Yang, M. H.; Wu, Y. W.; Chen, M. D.; Wang, Y. H.; Zhang, L.; Deng, Y. X.; Ye, D. Z.; Zhan, Y. H.; Xiao, G.; Jiang, X. C. Hofmeister effect-assisted facile fabrication of self-assembled poly(vinyl alcohol)/graphite composite sponge-like hydrogel for solar steam generation. *Small*, **2024**, 20(43), 2402151.