

# 超疏水材料的制备及其去除水中污染物性能的研究进展

赵 霞, 李亚斌, 李 响, 胡 涛, 张 航

(兰州理工大学 石油化工学院, 甘肃 兰州 730050)

[摘要] 综述了金属基超疏水材料和聚合物基超疏水材料的制备及其去除水中污染物性能的研究进展, 并从污水处理的角度展望了超疏水材料的发展方向。指出, 超疏水材料在污水处理领域中的发展方向主要为: 低成本、高效能且环境友好的超疏水材料及其制备工艺的开发; 持久(永久)性超疏水净水材料的制备; 超疏水材料对水中有毒金属离子的去除及其机理研究; 超疏水材料水中抑菌性的深入研究及其应用; 超疏水材料对水中药物和个人护理品(PPCPs)以及纳米污染物的去除。

[关键词] 超疏水材料; 接触角; 油水分离; 污水处理

[中图分类号] X523

[文献标志码] A

[文章编号] 1006-1878(2018)01-0013-06

[DOI] 10.3969/j.issn.1006-1878.2018.01.003

## Research progresses in preparation of superhydrophobic materials and their removal capabilities to contaminants in wastewater

Zhao Xia, Li Yabin, Li Xiang, Hu Tao, Zhang Hang

(School of Petrochemical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou Gansu 730050, China)

**Abstract:** The research progresses in preparation of metal-and polymer-based superhydrophobic materials and their removal capabilities to contaminants in wastewater were summarized. The development trends of superhydrophobic materials were proposed from the point of view of wastewater treatment. The directions for development of superhydrophobic materials in wastewater treatment were pointed out, such as: development of low cost, high efficiency and environmentally friendly superhydrophobic materials and their preparation processes; preparation of durable or permanent superhydrophobic decontamination materials; removal of toxic metal ions in water on superhydrophobic material and research of the mechanism; further research on antibacterial property of superhydrophobic materials in water and their application; removal of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) and nano-pollutants from water on superhydrophobic materials.

**Key words:** superhydrophobic material; contact angle; oil-water separation; wastewater treatment

近年来, 人们在生产生活中排放的有机污染物的种类和数量越来越多, 加之油品泄漏等环境事故的发生, 使水中混入油或其他有机物, 如石油醚、氯仿、四氯化碳、硝基苯、甲苯、苯等, 对水环境造成了严重的污染<sup>[1-2]</sup>。因此, 水中有机污染物的去除及油水分离已成为人们亟待解决的环境问题之一。一些传统的污水处理材料因其表面亲水, 在去除有机物时可吸附水, 导致其对有机污染物的吸附减少, 限制了对水中有机污染物的去除效能;

而具有超疏水性的吸油材料可以在水中除油的同时保持疏水性, 从而提高对有机物的去除效能。因

[收稿日期] 2017-04-14; [修订日期] 2017-09-26。

[作者简介] 赵霞(1977—), 女, 甘肃省兰州市人, 博士, 教授, 电话 13993184112, 电邮 zhaoxia@lut.cn。

[基金项目] 国家自然科学基金项目(21667017); 甘肃省自然科学基金项目(1506RJZA102); 国家级大学生创新创业训练计划项目(201510731005)。

此, 新型超疏水环境功能材料的开发及其去除水中污染物性能的研究引起了人们的关注。

超疏水表面与水接触时呈现出较大的接触角 ( $>150^\circ$ ) 和较小的滚动角 ( $<10^\circ$ )<sup>[3-5]</sup>。固体表面的粗糙度和化学成分是决定其超疏水性能的两个因素。据此, 制备超疏水表面应遵循两个原则, 即利用超疏水材料构造粗糙表面以及利用低表面能物质修饰粗糙表面<sup>[6]</sup>。常见的低表面能物质有聚丙烯腈、聚烯烃、聚酯、熔融石蜡、有机硅树脂等<sup>[7]</sup>。制备超疏水材料的方法有异相成核法<sup>[8]</sup>、等离子体法<sup>[9]</sup>、刻蚀法<sup>[10]</sup>、溶胶-凝胶法<sup>[11]</sup>、气相沉积法<sup>[12-13]</sup>、电化学法<sup>[14]</sup>、模板法<sup>[15]</sup>、自组合法<sup>[16]</sup>等。超疏水材料可应用于固体表面自清洁<sup>[17-18]</sup>、防尘<sup>[19]</sup>、防腐<sup>[20-21]</sup>、油水分离<sup>[22-23]</sup>、污水处理<sup>[24]</sup>、管道防垢<sup>[25]</sup>、防滑<sup>[26]</sup>、减阻<sup>[27-28]</sup>等领域。按照其基底和主要成分的不同, 常见的超疏水材料主要有金属基超疏水材料、聚合物基超疏水材料等, 其制备方法和去除水中有机污染物的机理也不尽相同。

本文综述了金属基超疏水材料和聚合物基超疏水材料的制备及其去除水中污染物性能的研究进展, 并从污水处理的角度展望了超疏水材料的发展方向。

## 1 金属基超疏水材料

金属基超疏水材料是指基底为金属或主要成分为金属(或金属氧化物)的超疏水材料, 金属基超疏水性材料对污染物的去除机理主要是催化降解。

Gao等<sup>[29]</sup>以采用TiO<sub>2</sub>在铜基底上制备了具有双层结构的过滤网, 上层过滤网为TiO<sub>2</sub>所修饰的具有微纳米结构的TiO<sub>2</sub>基网膜, 下层过滤网为磷酸正十八酯(ODP)修饰的TiO<sub>2</sub>基网膜, 如图1所示。上层TiO<sub>2</sub>基网膜亲水; 用低能物质ODP修饰后的TiO<sub>2</sub>基网膜则表现出优异的超疏水性/超亲油性, 其与水及油的接触角分别为 $165^\circ$ 和 $0^\circ$ , 且其超疏水性可保持30 d。当该网膜的超疏水性丧失时, 含有机污染物的液滴可顺利通过双层网膜, 则无法完成对有机污染物的去除, 因而限制了其使用寿命。当引入紫外光照射时, TiO<sub>2</sub>可降解修饰在其表面上的ODP, 从而使该层由超疏水性转变为超亲水性。以化学需氧量(COD)为指标评价有机物的去除效果, 当紫外光波长为365 nm、初始COD为365 mg/L、反应时间为120 min时, 该双层网膜对亚甲基蓝模拟废水的COD去除率高达95%。Gao等制备的

TiO<sub>2</sub>过滤网不仅表现出良好的油水分离能力, 而且在紫外光的照射下展现出优异的COD去除效能。其去除COD的机理可能是: TiO<sub>2</sub>的能带包括价带、禁带和导带, 在引入光照(能量 $\geq$ 禁带能量)的TiO<sub>2</sub>体系中, 价带上的部分电子获得能量受激发而跃迁至导带, 并在价带与导带上分别产生光致空穴( $h^+$ )与光生电子( $e^-$ )<sup>[30-31]</sup>, 水中溶解氧捕获 $e^-$ 产生 $\cdot O_2^-$ 后进一步生成 $HO_2\cdot$ ,  $h^+$ 获得水中羟基的电子生成具有强氧化性的 $\cdot OH$ , 从而将有机物降解<sup>[30]</sup>。

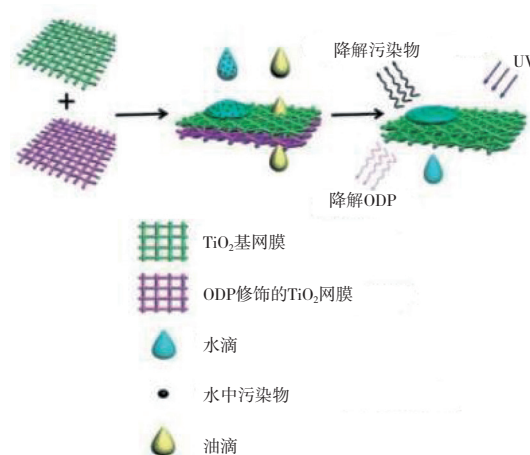


图1 TiO<sub>2</sub>基双层网膜对水中污染物的去除机理

Lee等<sup>[24]</sup>将超具有疏水性能的聚二甲基硅氧烷(PDMS)包覆在纳米二氧化硅表面, 制得了超疏水二氧化硅(PDMS-SiO<sub>2</sub>), 与水的接触角为 $157^\circ \pm 2^\circ$ , 并于一定条件下将PDMS-SiO<sub>2</sub>与氮掺杂TiO<sub>2</sub>(N-TiO<sub>2</sub>)混合分散于玻璃底板上, 制得了同时具有超疏水性和光催化降解性能的PDMS-SiO<sub>2</sub>/N-TiO<sub>2</sub>复合材料。同时也证实该材料的纳米和微米结构是决定其表面超疏水性的主要因素, PDMS、PDMS-SiO<sub>2</sub>以及附着在N-TiO<sub>2</sub>上的有机物对该材料表面的超疏水性均起到了积极效果。该超疏水材料可减少对水的吸附, 从而提高对水中目标污染物的去除效率。以亚甲基蓝和二甲基异茨醇为目标污染物, 研究了PDMS-SiO<sub>2</sub>/N-TiO<sub>2</sub>对有机物的降解性能, 发现: N-TiO<sub>2</sub>的比例越少, 复合材料的催化降解性能越低; 当N-TiO<sub>2</sub>的含量为50% (w)时, 该超疏水材料在可见光和紫外光下对二甲基异茨醇的降解率分别为80%和82%, 且对亚甲基蓝和二甲基异茨醇的降解过程均符合一级动力学规律。

Pi等<sup>[32]</sup>采用化学沉淀法在铜基板上成功制得了Cu<sub>2</sub>S@Cu<sub>2</sub>O膜, 再经PDMS溶液浸渍制得了具有

超疏水/超亲油性的 $\text{Cu}_2\text{S}@\text{Cu}_2\text{O}$ 膜(制备过程见图2), 水与超疏水 $\text{Cu}_2\text{S}@\text{Cu}_2\text{O}$ 膜表面的接触角和滚动角分别为 $156^\circ \pm 1.1^\circ$ 和 $2^\circ$ 。Pi等还用所制得的超疏水 $\text{Cu}_2\text{S}@\text{Cu}_2\text{O}$ 膜分离含亚甲基蓝污水-油、正己烷-水、辛烷-水、石油醚-水、氯仿-水、食用油-水等混合体系, 研究了其在含油污水中的油水分离效能, 结果表明其分离效率均高于94%。

Zhang等<sup>[33]</sup>在铝锂合金基板上成功制得了接触

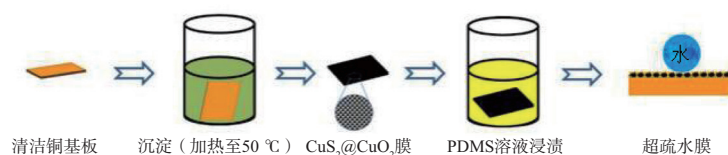


图2 超疏水/超亲油 $\text{Cu}_2\text{S}@\text{Cu}_2\text{O}$ 膜在铜基板上的制备过程

综上, 金属基超疏水材料主要利用的金属有铜、钛、铝、锌及少数合金等, 种类较少; 超疏水性持续时间有限, 限制了其使用寿命; 研究的目标污染物种类较为单一。因此, 开发更多具有超疏水性的金属基体、制备持久性(永久性)超疏水材料、拓展超疏水材料可去除的污染物种类均应成为该领域的研究重点。

## 2 聚合物基超疏水材料

聚合物基超疏水材料是指基底为聚合物或者主要成分为聚合物的超疏水材料。聚合物基超疏水性材料对污染物的去除机理主要是吸附作用。

Li等<sup>[37]</sup>成功制备了一种具有机械、化学和环

境稳定性的聚氨酯海绵材料( $\text{PU}@\text{P-DA}@\text{Ag}@\text{DM}$ ), 并对其表面湿润性、耐久性和油水分离性能进行了研究。该聚氨酯海绵材料具有优良的超疏水性(接触角为 $155^\circ$ , 滚动角为 $3^\circ$ )和超亲油性(接触角为 $0^\circ$ ), 能快速去除水中的油和其他有机物污染物, 而且对目标污染物表现出了良好的选择性和优异的吸附性。此外, 该聚氨酯海绵材料还可去除密度比水大的有机物, 对目标有机污染物(有机溶剂)的吸附容量在18~43 g/g, 其中对四氯化碳的吸附容量高达43.0 g/g, 具体见表1。并且, 经过5次吸附-解吸的循环过程, 该聚氨酯海绵材料的吸附容量并未衰减, 证明了该材料具有良好的循环稳定性。

表1 聚氨酯海绵材料对有机溶剂的吸附容量

									g/g
柴油	汽油	原油	石油醚	豆油	乙醇	正己烷	丙酮	甲苯	四氯化碳
19.6	18.4	18.0	19.6	22.0	21.0	20.0	33.0	28.0	43.0

Li等<sup>[38]</sup>在上述研究基础上制得了银基双层超疏水性聚酯材料(DL-PET), 并在紫外光照射下研究了DL-PET对水中油、亚甲基蓝及罗丹明B的去除效果。DL-PET由上层的超亲水/超亲油层(聚酯纤维@聚多巴胺@ $\text{Ag}@\text{Ag}_3\text{PO}_4$ )和下层的超疏水/超亲油层(聚酯纤维@聚多巴胺@ $\text{Ag}@\text{十二烷基硫酸}$ )组成。油水混合物置于DL-PET上表面时, 油则快速地通过上下两层材料, 而水及其中可溶性染料则被超疏水层阻挡, 在可见光的照射下水溶性的有机物被快速分解。该研究还发现, 100 mL罗丹明B(1 mg/L)和亚甲基蓝(5 mg/L)在30 min内基

本完全被聚酯纤维@聚多巴胺@ $\text{Ag}@\text{Ag}_3\text{PO}_4$ 层(5 cm × 5 cm)降解, 而4组对照实验(空白; 聚酯纤维层; 聚酯纤维@聚多巴胺层; 聚酯纤维@聚多巴胺@ $\text{Ag}$ 层)中目标污染物的浓度未见明显变化, 证实了起光催化降解作用的主要是聚酯纤维@聚多巴胺@ $\text{Ag}@\text{Ag}_3\text{PO}_4$ , 展现了其对罗丹明B和亚甲基蓝优异的降解性能。

Li等<sup>[39]</sup>分别以1, 3, 5-三乙炔基苯和1, 4-二乙炔基苯为原料通过偶联聚合成功制备了超疏水共轭微孔多聚物材料HCMP-1和HCMP-2, 并研究了其对水中有机物的去除性能和油水分离性能。



HCMP-1和HCMP-2的比表面积分别为955 m<sup>2</sup>/g和928 m<sup>2</sup>/g, 与水的接触角分别为167°和157°, 滚动角分别为2.1°和2.8°, 而且都表现出了良好的亲油性。以油和非极性有机溶剂(植物油、泵油、十二烷、癸烷、辛烷、正己烷、苯)为目标污染物时, HCMP-1和HCMP-2的吸附容量分别为7~10 g/g和6~10 g/g, 以极性有机溶剂(甲苯、乙苯、硝基苯、氯仿、1, 2-二氯苯、苯酚、二甲基甲酰胺、二甲基亚砷、四氢呋喃、甲醇、乙醇、丙酮)为目标污染物时, HCMP-1和HCMP-2的吸附容量分别为7~15 g/g和6~23 g/g。在此基础上, 该课题组先将海绵浸泡在氯仿分散的HCMP-1混合体系中, 再用低压蒸汽去除氯仿后制得了HCMP-1处理的超疏水性海绵, 并用同样的方法获得了HCMP-2处理的超疏水性海绵。两种超疏水性海绵对辛烷的吸附容量分别为23 g/g和33 g/g, 展现了其良好的吸附性能。

Sun等<sup>[40]</sup>采用化学气相沉积法将PDMS修饰在KOH处理的活性炭上, 成功制得了超疏水活性炭(与水的接触角为163.6°), 并将该超疏水活性炭包覆在海绵上制得超疏水性海绵(与水的接触角为150.2°, 与辛烷的接触角为0°)。该超疏水性海绵对油和有机溶剂(癸烷、辛烷、四氯化碳、苯、氯仿、煤油、二氯苯、硝基苯、乙醇、丙酮、四氢呋喃、正己烷)的吸附容量在26.95~85.86 g/g之间。其中: 对二氯苯的吸附容量为69.30 g/g, 对苯和硝基苯的吸附容量分别超过了51 g/g和70 g/g, 表现出了良好的吸附性; 而对高密度有机溶剂氯仿和四氯化碳, 其吸附容量高达76.64 g/g和85.86 g/g。

与金属基超疏水材料相比, 聚合物基超疏水材料表面能更低, 制备工艺简单, 制备成本低廉, 而且表现出更优异的去水中污染物的性能。在石油泄漏清理和污水处理方面, 聚合物基超疏水材料是一种优异的可选材料, 但是对其工业化应用以及对水中有毒金属离子去除的研究少有报道。因此, 聚合物基超疏水材料的工业化应用、去除水中有毒金属离子及其机理以及新型超疏水聚合物材料的制备及工艺开发均应成为该领域的研究课题。

### 3 展望

超疏水材料具有自清洁、抗氧化、防腐蚀等特点, 同时在污水处理方面表现出了潜在的应用价值, 因而引起了研究者的关注。近年来, 超疏水材料虽然在理论研究、制备工艺、原料开发等方面取

得了较大进展, 但因制备成本高、工艺繁琐、超疏水性持续时间短等原因大多数研究仍然处于实验室研究阶段, 并未付诸于实际应用。通过对大量文献的分析研究, 笔者认为超疏水材料在污水处理领域中的发展方向主要应在以下几方面:

- a) 低成本、高效能且环境友好的超疏水材料及其制备工艺的开发;
- b) 持久(永久)性超疏水净水材料的制备;
- c) 超疏水材料对水中有毒金属离子的去除及其机理研究;
- d) 超疏水材料水中抑菌性的深入研究及其应用;
- e) 超疏水材料对水中药物和个人护理品(PPCPs)以及纳米污染物的去除。

### 参 考 文 献

- [1] 孟娟, 郑西来, 王玉华, 等. 石油污染海岸线生物修复技术研究进展[J]. 化工环保, 2016, 36(2): 143-150.
- [2] 殷惠民, 张辉, 李玲玲, 等. 水环境中石油类物质分析方法探讨[J]. 化工环保, 2017, 37(1): 25-30.
- [3] Hao Pengfei, Yao Zhaohui, Zhang Xiwen. Study of dynamic hydrophobicity of micro-structured hydrophobic surfaces and lotus leaves[J]. Sci China Phys Mech Astron, 2011, 54(4): 675-682.
- [4] 张娟芳, 吴永民, 余江龙. 超疏水材料的应用状况和市场前景分析[J]. 经济师, 2014(10): 265-266, 270.
- [5] Lin Yungtsan, Chou Junghua. Fabricating curved superhydrophobic surfaces greenly using recycled polypropylene[J]. Int J Plast Technol, 2016, 20(1): 1-10.
- [6] 邱文莲, 贾伟灿, 徐都, 等. 超疏水材料制备及其在油水分离中的应用研究进展[J]. 材料科学与工程学报, 2016, 34(3): 508-512.
- [7] 徐蕊, 马英子, 肖新颜. 仿生超疏水涂层材料研究新进展[J]. 化工新型材料, 2009, 37(12): 1-4.
- [8] 江雷, 冯琳. 仿生智能纳米界面材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 1-283.
- [9] Jafari R, Asadollahi S, Farzaneh M. Applications of plasma technology in development of superhydrophobic surfaces[J]. Plasma Chem Plasma Process, 2013, 33(1): 177-200.
- [10] Guo Huaxi, Jia Huiying, Zeng Jianbo, et al. Characterization and wettability of ZnO film prepared by

- chemical etching method[J]. *CRCU*, 2013, 29(2), 333 – 337.
- [11] Tadanaga Kiyoharu, Kitamuro Kaori, Matsuda Atsunori, et al. Formation of superhydrophobic alumina coating films with high transparency on polymer substrates by the sol-gel method[J]. *J Sol-Gel Sci Technol*, 2003, 26(1/3): 705 – 708.
- [12] Kim Bora, Kim Daehan, Kim Youngdok. Superhydrophobic, flexible and gas-permeable membrane prepared by a simple one-step vapor deposition[J]. *Korean J Chem Eng*, 2016, 33(5): 1743 – 1748.
- [13] Shang Qianqian, Fu Baosong, Liu Hu, et al. Facile creation of superhydrophobic surface with fluorine-silicon polymer under ambient atmosphere[J]. *J Coat Technol Res*, 2012, 9(5): 589 – 595.
- [14] Song Jinlong, Liu Xin, Lu Yao, et al. A rapid two-step electroless deposition process to fabricate superhydrophobic coatings on steel substrates[J]. *J Coat Technol Res*, 2012, 9(5): 643 – 650.
- [15] Victor J J, Facchini D, Erb U. A low-cost method to produce superhydrophobic polymer surfaces[J]. *J Mater Sci*, 2012, 47(8): 3690 – 3697.
- [16] Song Yong, Nair R P, Zou Min, et al. Superhydrophobic surfaces produced by applying a self-assembled monolayer to silicon micro/nano-textured surfaces[J]. *Nano Res*, 2009, 2(2): 143 – 150.
- [17] Dey T, Naughton D. Cleaning and anti-reflective (AR) hydrophobic coating of glass surface: A review from materials science perspective[J]. *J Sol-Gel Sci Technol*, 2016, 77(1): 1 – 27.
- [18] Vasiljević J, Gorjanc M, Tomšič B, et al. The surface modification of cellulose fibres to create superhydrophobic, oleophobic and self-cleaning properties [J]. *Cellulose*, 2013, 20(1): 277 – 289.
- [19] Fathi M, Abderrezek M, Friedrich M. Reducing dust effects on photovoltaic panels by hydrophobic coating [J]. *Clean Technol Environ Policy*, 2017, 19(2): 577 – 585.
- [20] 钱鸿昌, 李海扬, 张达威. 超疏水表面技术在腐蚀防护领域中的研究进展[J]. *表面技术*, 2015, 44(3): 15 – 24, 30.
- [21] Wang Enqun, Wang Huaiyuan, Hu Yue, et al. Corrosion-resistant engineering superhydrophobic and superoleophilic bulk materials with oil-water separation property [J]. *J Mater Sci*, 2017, 52(12): 7130 – 7139.
- [22] Wang Qing, Yu Mingguang, Chen Guangxue, et al. Robust fabrication of fluorine-free superhydrophobic steel mesh for efficient oil/water separation[J]. *J Mater Sci*, 2017, 52(5): 2549 – 2559.
- [23] Zhang Wenbo, Zhai Xianglin, Xiang Tianhao, et al. Superhydrophobic melamine sponge with excellent surface selectivity and fire retardancy for oil absorption [J]. *J Mater Sci*, 2017, 52(1): 73 – 85.
- [24] Lee Juha, Park Eunji, Kim Daehan, et al. Superhydrophobic surfaces with photocatalytic activity under UV and visible light irradiation[J]. *Catal Today*, 2016, 260: 32 – 38.
- [25] Ferrari M, Benedetti A. Superhydrophobic surfaces for applications in seawater[J]. *Adv Colloid Interface Sci*, 2015, 222: 291 – 304.
- [26] Wang Fajun, Yu Shan, Ou Junfei, et al. Anti-icing performance of transparent and superhydrophobic surface under wind action[J]. *J Sol-Gel Sci Technol*, 2015, 75(3): 625 – 634.
- [27] 郭瑞生, 魏强兵, 吴杨, 等. 材料表面润湿性调控及减阻性能研究[J]. *摩擦学学报*, 2015, 35(1): 23 – 30.
- [28] Wang Chunze, Tang Fei, Hao Pengfei, et al. Experimental study on the drag reduction effect of a rotating superhydrophobic surface in micro gap flow field[J]. *Microsyst Technol*, 2017, 23(8): 3033 – 3040.
- [29] Gao Changrui, Sun Zhongxue, Li Kan, et al. Integrated oil separation and water purification by a double-layer TiO<sub>2</sub>-based mesh[J]. *Energy Environ Sci*, 2013, 6(4): 1147 – 1151.
- [30] 张鹏会, 王九思, 韩迪. TiO<sub>2</sub>光催化降解有机污染物研究进展[J]. *化工技术与开发*, 2009, 38(7): 51 – 54, 64.
- [31] 张雪峰, 李会容, 闫珉, 等. TiO<sub>2</sub>可见光光催化的研究进展[J]. *电子元件与材料*, 2008, 31(9): 40 – 44.
- [32] Pi Pihui, Hou Kun, Zhou Cailong, et al. Superhydrophobic Cu<sub>2</sub>S@Cu<sub>2</sub>O film on copper surface fabricated by a facile chemical bath deposition method and its application in oil-water separation[J]. *Appl Surf Sci*, 2017, 396: 566 – 573.
- [33] Zhang You, Liu Jiahua, Li Yingdong, et al. A facile approach to superhydrophobic LiAl-layered double hydroxide film on Al-Li alloy substrate[J]. *J Coat Technol Res*, 2015, 12(3): 595 – 601.
- [34] 王晨玥, 杨文秀, 张洪敏, 等. 纯钛基体长效超疏水表面的低成本制备[J]. *材料工程*, 2015, 43(11):

- 13 - 18.
- [35] 赵坤, 杨保平, 张俊彦. 铝合金基体上超疏水表面的制备及其性能[J]. 材料科学与工程学报, 2010, 28(3): 448 - 452.
- [36] 孙巧珍, 邵鑫, 赵利民, 等. 锌基底上超疏水表面的制备[J]. 聊城大学学报: 自然科学版, 2009, 22(4): 48 - 50.
- [37] Li Bucheng, Li Lingxiao, Wu Lei, et al. Durable superhydrophobic/superoleophilic polyurethane sponges inspired by mussel and lotus leaf for the selective removal of organic pollutants from water[J]. Chem Plus Chem, 2014, 79(6): 850 - 856.
- [38] Li Bucheng, Wu Lei, Li Lingxiao, et al. Superwet-
- ting double-layer polyester materials for effective removal of both insoluble oils and soluble dyes in water [J]. ACS Appl Mater Interfaces, 2014, 6(14): 11581 - 11588.
- [39] Li An, Sun Hanxue, Tan Dazhi, et al. Superhydrophobic conjugated microporous polymers for separation and adsorption[J]. Energy Environ Sci, 2011, 4(6): 2062 - 2065.
- [40] Sun Hanxue, La Peiqing, Zhu Zhaoqi, et al. Hydrophobic carbon nanotubes for removal of oils and organics from water[J]. J Mater Sci, 2014, 49(20): 6855 - 6861.

(编辑 魏京华)

## 《石油化工》(月刊)征订启事

国内刊号: CN 11-2361/TQ 国际刊号: ISSN 1000-8144

国内邮发代号: 2-401 定价: 35元/册 全年420元

《石油化工》为技术性期刊,由中国石化集团资产经营管理有限公司北京化工研究院和中国化工学会石油化工专业委员会联合主办,公开发刊,月刊,每月15日出版。报道我国石油化工领域的科技成果,介绍石油化工的新技术、新进展及科技、生产动态,并承办国内外广告业务。本刊由北京报刊发行局发行,可在当地邮局订阅。

本刊主要栏目包括:特约述评、专题报道、研究与开发、精细化工、工业技术、石油化工新材料、环境与化工、分析测试、进展与述评等。

《石油化工》是中文核心期刊,是美国化学文摘(CA)、美国Scopus数据库、中国期刊网、万方数字化期刊群等数据库的来源期刊,曾荣获“第二届国家期刊奖提名奖”和“中国石化集团公司科技期刊评比一等奖”。被评为“中国精品科技期刊”和“RCCSE中国权威学术期刊”。欢迎大专院校的师生、企事业单位的科研与工程技术人员投稿、订阅。

### 欢迎订阅! 欢迎投稿! 欢迎刊登广告!

编辑部地址:北京市北三环东路14号,中国石化北京化工研究院院内

通讯地址:北京1442信箱《石油化工》编辑部 邮政编码:100013

电 话:010-64295032

电 邮:syhg.bjhy@sinopec.com

广告联系:010-59202216

网 址: <http://www.shiyouhuagong.com.cn>