

# 西北油田采出液破乳剂的优选

张菁<sup>1</sup>, 钟齐斌<sup>2\*</sup>

(1. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 中国石油大学(华东)储运与建筑工程学院, 山东 青岛 266580)

**摘要:**以西北油田某联合站原油为研究对象, 确定了原油乳状液最佳制备条件: 搅拌转速 900 r/min, 搅拌时间 10 min。通过瓶试法进行了 7 种水溶性破乳剂与 7 种油溶性破乳剂的初选与复配实验, 最终确定最佳的破乳剂为 BC-01。考察了预脱水剂与破乳剂的协同作用, 结果表明, 预脱水剂的加入能提升油溶性破乳剂的脱水性能。最后通过药剂浓度与脱水温度优化, 确定了两种药剂的最佳质量浓度破乳剂为 70 mg/L、预脱水剂为 15 mg/L; 最佳脱水温度为 70℃。现场应用结果表明, 优选出的破乳剂与脱水条件可使乳状液获得较好的脱水效果。

**关键词:**采出液; 瓶试法; 破乳剂筛选; 浓度优化; 现场应用

中图分类号: TE39

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2022)S2-0132-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2022.S2.028

## Optimization of demulsifier for produced fluid in Sinopec Northwest Oilfield

ZHANG Jing<sup>1</sup>, ZHONG Qi-bin<sup>2\*</sup>

(1. Sinopec Northwest Oilfield Branch Company, Urumqi 830011, China; 2. College of Pipeline and

Civil Engineering, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China)

**Abstract:** Taking crude oil from a central processing station in Sinopec Northwest Oilfield as the research object, the optimal preparation conditions for emulsion are determined as follows: stirring speed is 900 r·min<sup>-1</sup> and stirring time is 10 min. The primary selection and compounding experiments on seven water-soluble demulsifiers and seven oil-soluble demulsifiers are carried out through bottle test method, and finally BC-01 is determined as the best demulsifier. The synergetic effect of pre-dehydrant and demulsifier is also considered. Experimental results show that the addition of pre-dehydrant can improve the dehydration performance of oil-soluble demulsifier. Through the optimization experiment on reagent concentration and dehydration temperature, the optimal concentrations of two reagents are determined as follows: demulsifier concentration is 70 mg·L<sup>-1</sup>, pre-dehydrant concentration is 15 mg·L<sup>-1</sup>, and the optimal dehydration temperature is 70℃. The optimized demulsifier and dehydration conditions are applied in the field, which makes the emulsion get better dehydration effect.

**Key words:** produced fluid; bottle test method; screening demulsifier; concentration optimization; field application

随着油田进入高含水时期, 原油开采难度不断增大, 使得三次采油技术逐渐被广泛应用<sup>[1]</sup>。三次采油是在二次采油的基础上借助物理、化学和生物等方法对油藏进一步开发, 以提高原油采收率<sup>[2]</sup>。采用三次采油技术能有效提高原油的采收量, 对于保持原油的稳定生产及油田的正常运营具有重要意义<sup>[3]</sup>。但这种技术在提高油田经济效益的同时, 使油田采出液的性质发生较大变化, 为原油的后续工艺处理增加了难度<sup>[4]</sup>。

西北油田是中国石化第二大油田, 油藏所产原油性质较稠。随着三次采油技术的广泛应用, 大量

表面活性物质和聚合物用于驱油, 使西北油田的采出液成分相较于常规采出液更为复杂, 油水乳状液体系稳定性较强, 导致原油的破乳脱水难度较大<sup>[5-7]</sup>。在原油输送过程中, 乳化水会导致管道设备腐蚀、催化剂中毒和增加泵送成本等多种问题, 所以在原油外输前必须对其进行脱水处理<sup>[8-9]</sup>。在原油脱水过程中添加化学破乳剂能有效提高脱水效率, 尤其是对类似西北油田采出液这种油水分离较为困难的稠油。因此, 对多种破乳剂进行筛选并优选出一种合适的破乳剂对原油脱水工作显得尤为重要<sup>[10]</sup>。

收稿日期: 2022-04-29; 修回日期: 2022-06-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(51774311)

作者简介: 张菁(1976-), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为油气田集输技术、设备完整性技术, 10271575@qq.com; 钟齐斌(1999-), 男, 硕士生, 研究方向为油气田集输技术, 通讯联系人, 929853395@qq.com。

现有的破乳剂筛选评价方法主要包括瓶试法、表征破乳剂法、介电常数法和测定界面张力与HLB值法等,破乳剂的筛选过程比较复杂,由于油田性质不同,破乳剂的筛选方法并不固定,往往需要根据实际情况进行相应改变<sup>[11-12]</sup>。由于瓶试法具有操作简单方便、结果直观和使用地点不受限制等优点,目前破乳剂筛选最常用的还是这种方法<sup>[13]</sup>。

本文以西北油田某联合站原油为研究对象,由于采出液性质越来越复杂,经现场破乳剂作用的脱水原油含水率常常达不到外输原油含水率低于3%的要求,因此有必要开展对于现场原油的破乳剂筛选工作。目前该联合站的脱水工艺参数为:分离器出口原油含水率39.5%、脱水温度75℃、破乳剂浓度80 mg/L、预脱水剂浓度15 mg/L、沉降时间10 h。采用瓶试法进行了7种水溶性破乳剂与7种油溶性破乳剂的筛选实验,以联合站脱水工艺参数为基础确定室内脱水实验参数,通过大量的初选与复配实验确定了最佳破乳剂,在考虑预脱水剂与破乳剂共同作用的前提下,得到最佳的破乳剂与预脱水剂浓度组合,最后对脱水温度进行优化,得到最佳的脱水温度。

## 1 实验部分

### 1.1 实验材料与仪器

实验油样(西北油田某联合站,含水率<70%,质量分数);实验水样(西北油田采出水,矿化度10 485 mg/L);二甲苯(化学纯);预脱水剂HS-1;水溶性破乳剂:SHK-P5、SHK-F5、4050、4050-50、DCF-07、SL-31、BH-29;油溶性破乳剂:SL-H3、SHK-F6、SC、BH-7、BC-01、TB-41、TDH-80。100 mL容量瓶,100 mL锥底比色管,电子分析天平[赛多利斯(上海)贸易有限公司,BSA224S],全自动脱水仪(泰州市奥普特分析仪器有限公司,DWY-6),石油密度计(河北威尔仪表厂,SY-05),乳化机(上海精密仪器仪表有限公司,SAI-3),黏度计(德国哈克公司,HAAKE Viscotester 550),恒温水浴(上海昌吉地质仪器有限公司,HWY-501A)。

### 1.2 实验方法

依据GB/T 1884—2000《原油和液体石油产品密度实验室测定法(密度计法)》<sup>[14]</sup>测定油样的密度随温度的变化关系;依据SY/T 0520—2008《原油黏度测定 旋转黏度计平衡法》<sup>[15]</sup>测定油样的黏度随温度的变化曲线;依据SY/T 5280—2018《原油破

乳剂通用技术条件》<sup>[16]</sup>对破乳剂进行筛选评价。

## 2 结果与讨论

### 2.1 原油的基本物性

由于现场原油含水率较高,因此采用全自动脱水仪对其脱水处理后再进行实验。原油密度随温度的变化如图1所示,拟合出原油密度随温度的变化关系式为: $\rho = 0.986 - 0.0008T$ ,计算得到20℃时原油的密度为0.97 g/cm<sup>3</sup>,依据SY/T 5280—2018《原油破乳剂通用技术条件》<sup>[15]</sup>中按照密度对原油的分类,实验所用油样属于重质原油。根据斯托克斯定律,油水密度差较小,导致原油脱水时水滴沉降困难<sup>[17]</sup>。

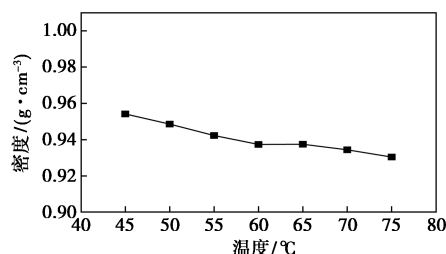


图1 原油密度随温度的变化

原油的黏温曲线如图2所示。从图2可以看出,实验油样属于稠油。稠油黏度高的特性同样会造成油水乳状液脱水困难,温度对原油的黏度具有较大影响,前期升温可使原油黏度大幅下降。

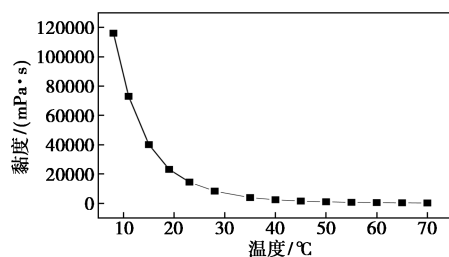
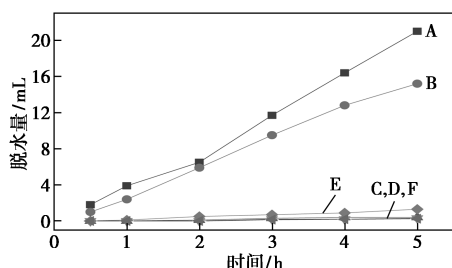


图2 原油的黏温曲线

### 2.2 乳状液的制备

原油乳状液的稳定性对其破乳脱水特性具有显著影响,所以配制出较为稳定的原油乳状液是进行破乳剂筛选的前提条件。为了确定含水率为39.5%的稳定乳状液的制备条件,使用乳化机制备了A、B、C、D、E 5种不同类型的乳状液,转速和搅拌时间分别为:600 r/min、10 min,600 r/min、20 min,900 r/min、10 min,900 r/min、20 min,1 200 r/min、15 min;与现场乳状液F一起在75℃下进行静置沉降脱水实验,6种乳状液脱水结果如图3所示。从图3中可以看出,C和D两种乳状液稳定性优于其

他 3 种乳状液,与现场乳状液脱水状况接近,沉降一段时间后脱出水量都较少。由于 C、D 乳状液转速相同但 C 乳状液搅拌时间较短,因而选择 C 乳状液的制备条件作为最佳乳化条件,即转速 900 r/min、搅拌时间 10 min。

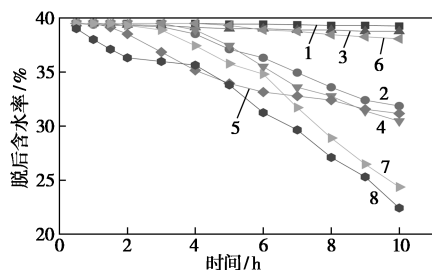


A—600 r/min, 10 min; B—600 r/min, 20 min;  
C—900 r/min, 10 min; D—900 r/min, 20 min;  
E—1 200 r/min, 15 min; F—现场乳状液

图 3 不同乳状液沉降脱水情况比较

### 2.3 水溶性破乳剂的初选

由于现场沉降罐罐容的原因,原油沉降时间为固定,因此水溶性破乳剂初选的实验参数为:乳状液含水率 39.5%、脱水温度 75℃、破乳剂浓度 80 mg/L、脱水时间 10 h,对 7 种原油破乳剂进行了脱水性能对比,实验结果如图 4 所示。从图 4 中可以看出,水溶性破乳剂脱水效果表现一般,仅 SL-31 与 BH-29 两种破乳剂脱水后原油含水率降至 30% 以下,但都未达到外输含水率低于 3% 的要求。



1—空白;2—SHK-P5;3—SHK-F5;4—4050;5—4050-50;  
6—DCF-07;7—SL-31;8—BH-29

图 4 水溶性破乳剂的脱水效果比较

为了考察预脱水剂对破乳脱水效果的影响,在水溶性破乳剂初选实验参数的基础上添加 15 mg/L 的预脱水剂,实验结果如图 5 所示。从图 5 可以看出,添加预脱水剂对大部分水溶性破乳剂的破乳性能具有抑制作用,与未添加预脱水剂的乳状液相比,添加预脱水剂后乳状液的脱后含水率上升,因此,不建议采用水溶性破乳剂进行实验原油乳状液的破乳脱水。

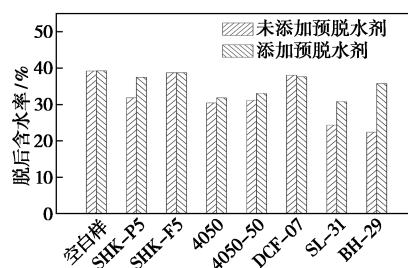
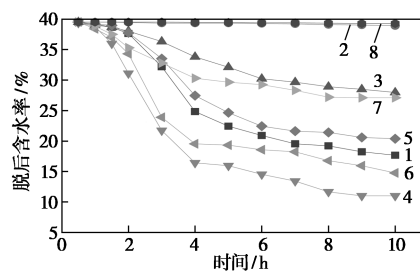


图 5 预脱水剂对水溶性破乳剂脱水效果的影响

### 2.4 油溶性破乳剂的初选

油溶性破乳剂初选实验参数与水溶性破乳剂初选实验参数一致,对 7 种油溶性破乳剂进行了脱水性能对比,其中 SC 为现场破乳剂,实验结果如图 6 所示。添加了预脱水剂的实验结果如图 7 所示。从图 6 可以看出,多数油溶性破乳剂脱水效果较好,最低脱后含水率能降至 15% 以下,但都未达到原油外输含水率要求,因此考察了向乳状液继续添加预脱水剂后原油的脱后含水率情况。从图 7 可以看出,添加预脱水剂能有效提高油溶性破乳剂的脱水效果,其中脱后含水率下降幅度较大的是分别添加了 SL-H3、SC、BH-7、BC-01、TB-41 和 TDH-80 的乳状液,但是添加了现场破乳剂的乳状液脱后含水率为 3.68%,不满足外输原油含水率要求,其余 5 种破乳剂中选择一种用于实验油样乳状液的破乳脱水。



1—SL-H3;2—SHK-F6;3—SC;4—BH-7;5—BC-01;  
6—TB-41;7—TDH-80;8—空白

图 6 油溶性破乳剂的脱水性能比较

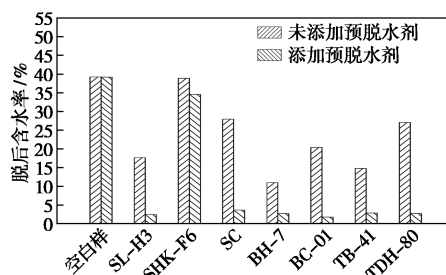


图 7 预脱水剂对油溶性破乳剂脱水效果的影响

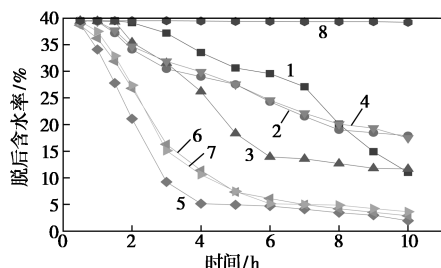
破乳剂的评价指标除了原油乳状液脱后含水率外,还需观察乳状液脱水后油水界面和脱出水颜色等,脱水后乳状液状况如表1所示。SL-H3与BH-7这两种破乳剂脱水后油水界面不齐且脱出水较为浑浊,不建议采用;其余3种破乳剂(BC-01、TB-41、TDH-80)脱水状况较好,其中BC-01脱水状况最好,油水界面齐且脱出的污水较为清澈。因此,对这3种油溶性破乳剂进行复配实验,以确定最佳的破乳剂组合。

表1 脱水后乳状液状况

药剂组合	油水界面状况	脱出水颜色
SL-H3+预脱水剂	油水界面不齐	浑浊
BH-7+预脱水剂	油水界面不齐	浑浊
BC-01+预脱水剂	油水界面齐	清澈
TB-41+预脱水剂	油水界面齐	较清澈
TDH-80+预脱水剂	油水界面齐	较清澈

## 2.5 破乳剂的复配

对BC-01、TB-41和TDH-80进行破乳剂的复配实验,考虑4种复配情况,即3种破乳剂的等质量两两组合以及全包含组合。实验参数为:乳状液含水率39.5%、脱水温度75℃、破乳剂总浓度80 mg/L、预脱水剂浓度15 mg/L、脱水时间10 h。脱水实验结果如图8所示。从图8中可以看出,3种破乳剂单独作用都比其他复配组合作用的破乳脱水效果更好,由于BC-01破乳剂作用的乳状液脱后含水率最低,为1.79%,且脱后油水界面齐且脱出水颜色清澈,因此将其作为最终优选出的最佳破乳剂。



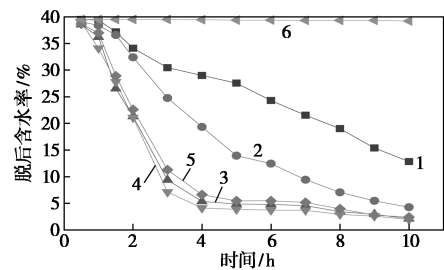
1—BC+TB; 2—BC+TDH; 3—TB+TDH; 4—BC+TB+TDH;  
5—BC-01; 6—TB-41; 7—TDH-80; 8—空白

图8 破乳剂的复配效果对比

## 2.6 药剂质量浓度的优化

对优选出的破乳剂BC-01进行浓度的优化,选出最佳的破乳剂浓度。实验参数为:乳状液含水率39.5%、脱水温度75℃、预脱水剂浓度15 mg/L、脱水时间10 h,对比了5个浓度下的乳状液脱水情况,

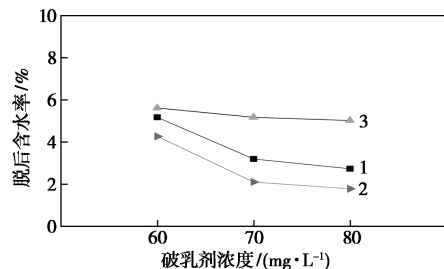
结果如图9所示。从图9可以看出,添加破乳剂后乳状液前期脱水较快,后期脱水速率减慢并逐渐稳定。随着破乳剂浓度的增加,乳状液脱后含水率出现了先降后升的情况,原因是油水界面上的破乳剂分子达到了饱和,随着破乳剂浓度的继续增加破乳剂分子争相吸附在膜上,从而抑制了水滴的聚结,便会出现脱水率下降的现象<sup>[18-20]</sup>。破乳剂浓度为70和80 mg/L时乳状液的脱后含水率分别为2.1%和1.79%,都低于外输含水率要求的3%且数值相差无几,由于较低浓度的破乳剂能节约成本,因此优选出的最佳破乳剂浓度为70 mg/L。



1—50 mg/L; 2—60 mg/L; 3—70 mg/L; 4—80 mg/L;  
5—90 mg/L; 6—空白

图9 不同浓度破乳剂BC-01的脱水效果对比

随后对比不同预脱水剂质量浓度对乳状液脱水效果的影响,优选出最佳的预脱水剂浓度。实验参数为:乳状液含水率39.5%、脱水温度75℃、脱水时间10 h,实验结果如图10所示。从图10中可以看出,无论在多少破乳剂浓度下,预脱水剂添加浓度为15 mg/L时乳状液的脱后含水率都为最低。当预脱水剂添加浓度为15 mg/L时,破乳剂浓度为60 mg/L的乳状液脱后含水率明显高于破乳剂浓度为70和80 mg/L的乳状液脱后含水率。因此,综合破乳剂浓度和预脱水剂浓度优化实验结果,破乳剂和预脱水剂的最佳浓度分别为70 mg/L和15 mg/L。



预脱水剂质量浓度: 1—10 mg/L; 2—15 mg/L; 3—20 mg/L

图10 不同质量浓度预脱水剂的脱水效果对比

## 2.7 脱水温度的优化

确定了最佳的药剂浓度后,需要对脱水温度进

行优化。实验参数为:乳状液含水率 39.5%、破乳剂浓度 70 mg/L、预脱水剂浓度 15 mg/L、脱水时间 10 h,进行 5 个不同脱水温度下乳状液脱水情况的对比,结果如图 11 所示。从图 11 中可以看出,前期随着脱水温度的增加,乳状液脱后含水率降幅较大,但温度升至 70℃后,随着温度的增加乳状液脱后含水率降幅明显减小。由于 70℃时乳状液脱后含水率为 2.44%,已达到外输原油含水率低于 3%的要求,因此,为了降低能耗,选择 70℃作为最佳脱水温度。

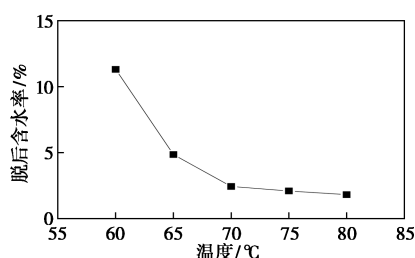


图 11 不同脱水温度下的脱水效果

### 3 现场实验

为了确定优选出的破乳剂与脱水条件的实际脱水效果,将破乳剂 BC-01 应用于联合站现场,在破乳剂浓度为 70 mg/L、预脱水剂浓度为 15 mg/L、脱水温度为 70℃的条件下进行现场脱水实验,考察连续应用 30 d 的乳状液脱后含水率情况并与现场上个月的乳状液脱后含水率情况做对比,结果如图 12 所示。从图 12 中可以看出,与现场上月乳状液脱水情况相比,实验条件下的乳状液整体脱后含水率更低且波动较小,月平均乳状液脱后含水率为 2.6%,说明所选的破乳剂与脱水条件能有效改善现场原油乳状液的脱水效果。

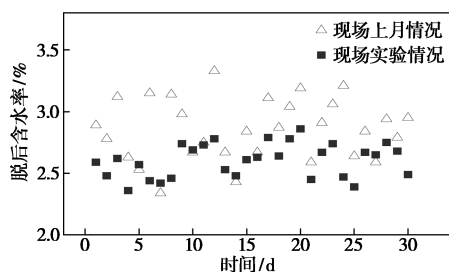


图 12 现场实验脱水结果

### 4 结论

(1)以西北油田某联合站原油为研究对象,确定了制备原油乳状液的最佳条件为:转速 900

r/min,搅拌时间 10 min。通过水溶性破乳剂与油性破乳剂的初选实验,发现油性破乳剂更适合实验油样的破乳脱水。

(2)通过油性破乳剂初选实验得到 3 种脱水性能较好的油性破乳剂:BC-01、TB-41 与 TDH-80,对这 3 种破乳剂进行复配实验后发现这些破乳剂之间具有相互抑制作用,单独作用的脱水效果要优于复配作用的脱水效果,因此优选出了脱水性能好且脱后油水界面齐、脱出水颜色干净的破乳剂 BC-01。优选出最佳破乳剂后,通过药剂浓度与脱水温度的优化实验,确定了实验油样破乳脱水的最佳药剂浓度为破乳剂浓度为 70 mg/L、预脱水剂浓度为 15 mg/L,最佳脱水温度为 70℃。

(3)将优选出的破乳剂与脱水条件应用于现场进行 30 d 的实验,结果表明,原油乳状液的脱水效果得到了明显的改善,与前一个月现场条件下的乳状液脱后含水率相比,实验条件下的乳状液脱后含水率更低且波动较小。优选出的脱水条件与原脱水条件相比,破乳剂浓度降低了 10 mg/L,脱水温度降低了 5℃。因此,采用优选出的脱水条件能提高油田的经济效益。

### 参考文献

- [1] 贾冰.油田三次采油驱油技术的应用[J].化学工程与装备, 2021,(9):35-36.
- [2] 刘圃源.三次采油驱油技术[J].化学工程与装备,2021,(9):75-76.
- [3] 姜大明.三次采油技术分析与发展趋势[J].化学工程与装备, 2021,(4):94-95.
- [4] 王志华,许云飞,戚向东,等.乳状液稳定性影响因素及其分子动力学模拟研究进展[J].油田化学,2021,38(2):360-367.
- [5] 付丽霞,付亚荣,马永忠,等.聚驱原油采出液脱水低温破乳剂的开发与实践[J].石油与天然气化工,2017,46(1):67-69,75.
- [6] 何巍杨,刘勇,毛应涛,等.西北油田联合站中采出水余热回收工艺设计与应用[J].石油石化节能,2019,9(12):5-9.
- [7] 汪庐山,冯逸茹,徐闯,等.聚醚低温破乳剂的合成及性能评价[J].油田化学,2020,37(3):490-494.
- [8] Liu Yucheng,Zhang Bo,Zhang Yinlong, et al. Electrochemical polarization study on crude oil pipeline corrosion by the produced water with high salinity[J]. Engineering Failure Analysis, 2016, 60:307-315.
- [9] Yonguep Edith,Chowdhury Mahabubur.Optimization of the demulsification of crude oil-in-water emulsions using response surface methodology[J].South African Journal of Chemical Engineering, 2021,36:105-117.

(下转第 141 页)

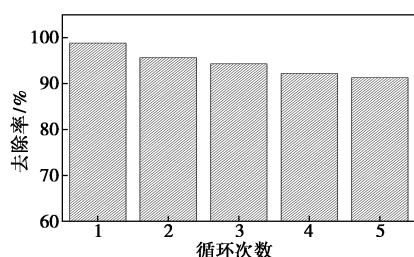


图 9 0.5 Ni-STiO<sub>2</sub> 光催化降解 Rh B 循环利用实验

### 3 结论

使用硝酸镍溶液处理的烟梗丝作为模板,得到 Ni 掺杂的 TiO<sub>2</sub> 材料。Ni 的掺杂不仅可以使材料禁带宽度变窄、增强可见光响应,还使其比表面积增大,在可见光条件下表现出了优异的光催化活性。

#### 参考文献

- [1] Miao Y, Zhai Z, He J, *et al.* Synthesis, characterizations and photocatalytic studies of mesoporous titania prepared by using four plant skins as templates[J]. *Materials Science & Engineering C*, 2010, 30:839-846.
- [2] He J, Chen D, Li Y, *et al.* Diatom-templated TiO<sub>2</sub> with enhanced photocatalytic activity: Biomimetics of photonic crystals[J]. *Applied Physics A*, 2013, 113:327-332.
- [3] Chen Y, He J, Li J, *et al.* Hydrilla derived ZnIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> photocatalyst with hexagonal-cubic phase junctions: A bio-inspired approach for H<sub>2</sub> evolution[J]. *Catalysis Communications*, 2016, 87:1-5.
- [4] 李振杰,王钰田,蒋昆明,等.烟梗丝模板制备 TiO<sub>2</sub> 及其光催化降解尼古丁的研究[J]. *安全与环境学报*; DOI: 10.13637/j.issn.1009-6094.2021.0867.
- [5] 马瑾,王新海.金属掺杂改性纳米二氧化钛对废水中有机物催化降解的研究进展[J]. *能源化工*, 2020, 41(4):7-13.
- [6] 欧玉静,石俊青,赵丹,等.金属离子掺杂 TiO<sub>2</sub> 光催化剂及其表征技术的研究进展[J]. 2021, 2(52):2018-2024.
- [7] Park B G. Photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub>-doped Fe, Ag, and Ni with N under visible light irradiation[J]. *Gels*, 2022, 8(1):14.

- [8] Mathew S, John B K, Abraham T, *et al.* Metal doped titanium dioxide for environmental remediation, hydrogen evolution and sensing: A review[J]. *Chemistry Select*, 2021, 6(45):12742-12751.
- [9] Sun S, Zhang J, Gao P, *et al.* Full visible-light absorption of TiO<sub>2</sub> nanotubes induced by anionic S<sub>2</sub><sup>2-</sup> doping and their greatly enhanced photocatalytic hydrogen production abilities[J]. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2017, 206:168-174.
- [10] Ubonghonlakate K, Sikong L, Tontai T, *et al.* P. aeruginosa inactivation with silver and nickel doped TiO<sub>2</sub> film coat on glass fiber riving[J]. *Advanced Materials Research*, 2011, 150-151:1726-1731.
- [11] Sharma S D, Singh D, Saini K, *et al.* Sol-gel-derived super-hydrophilic nickel doped TiO<sub>2</sub> film as active photo-catalyst[J]. *Applied Catalysis A: General*, 2006, 314(1):40-46.
- [12] Sajjad A K L, Shamaila S, Zhang J. Tungstate/titanate composite nanorod as an efficient visible light photo catalyst[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2012, 235:307-315.
- [13] Lopez T, Moreno J, Gomez R, *et al.* Characterization of iron-doped titania sol-gel materials[J]. *Journal of Materials Chemistry*, 2002, 12(3):714-718.
- [14] Zou M, Feng L, Ganeshraja A S, *et al.* Defect induced nickel, nitrogen-codoped mesoporous TiO<sub>2</sub> microspheres with enhanced visible light photocatalytic activity[J]. *Solid State Sciences*, 2016, 60:1-10.
- [15] He J, Wang J, Chen Y, *et al.* A dye-sensitized Pt@UiO-66 (Zr) metal-organic framework for visible-light photocatalytic hydrogen production[J]. *Chemical Communications*, 2014, 50(53):7063-7066.
- [16] Chen C, Zhao W, Lei P, *et al.* Photosensitized degradation of dyes in polyoxometalate solutions versus TiO<sub>2</sub> dispersions under visible light irradiation: Mechanistic implications[J]. *Chemistry-A European Journal*, 2004, 10(8):1956-1965.
- [17] Wang Q, Chen C, Zhao D, *et al.* Change of adsorption modes of dyes on fluorinated TiO<sub>2</sub> and its effect on photocatalytic degradation of dyes under visible irradiation[J]. *Langmuir*, 2008, 24(14):7338-7345.
- [18] Chen Y, Huang R, Chen D, *et al.* Exploring the different photocatalytic performance for dye degradations over hexagonal ZnIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> microspheres and cubic ZnIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> nanoparticles[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2012, 4(4):2273-2279. ■

(上接第 136 页)

- [10] Pradilla Diego, Ramirez Jeferson, Zanetti Fabio, *et al.* Demulsifier performance and dehydration mechanisms in colombian heavy crude oil emulsions[J]. *Energy & Fuels*, 2017, 31(10):103699-10377.
- [11] 钟铮,呼文财,戴俊峰,等.油田破乳剂评价方法研究综述[J]. *化学工程与装备*, 2021, (6):222-223.
- [12] 曾丽华,亓树成,冯金城,等.介电常数法在原油破乳剂脱水性能评价中的应用[J]. *石油化工*, 2015, 44(3):366-369.
- [13] 徐程,施帅帅,郭礼荣.油田破乳剂的研究与应用进展[J]. *广州化工*, 2021, 49(12):18-20.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 1884—2000 原油和液体石油产品密度实验室测定法(密度计法)[S]. 北京:中国标准出版社, 2000.

- [15] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. SY/T 0520—2008 原油粘度测定 旋转粘度计平衡法[S]. 北京:石油工业出版社, 2008.
- [16] 中华人民共和国国家能源局. SY/T 5280—2018 原油破乳剂通用技术条件[S]. 北京:石油工业出版社, 2018.
- [17] 王光卿. 稠油脱水效率影响因素的分析研究[J]. *中国石油和化工标准与质量*, 2018, 38(7):33-34.
- [18] 张国伟,崔蕊,刘芳.一种混合原油破乳剂的筛选与评价[J]. *当代化工*, 2020, 49(12):2791-2794.
- [19] 檀国荣,刘伟,蒋珊珊,等. DW 原油破乳剂的性能及在渤海油田的矿场应用技术[J]. *油田化学*, 2016, 33(3):532-536.
- [20] 王志锋,吴仲岩,邓军,等.高效破乳剂的合成、性能研究和现场中试[J]. *现代化工*, 2014, 34(10):116-119. ■