

# UV 光聚合丙烯酸酯胶的性能影响因素研究

马一鸣<sup>1</sup>, 钱军<sup>1\*</sup>, 石一峰<sup>2</sup>

(1. 华东理工大学材料科学与工程学院, 上海 200237; 2. 上海宏顶房科技有限公司, 上海 200237)

**摘要:**以丙烯酸辛酯(2-EHA)和丙烯酸(AA)为单体共聚体系,安息香双甲醚(BDK)及三甲基苯甲酰基-二苯基氧化膦(TPO)为光引发剂,分别在中压汞灯及 UV-LED 辐照下使单体发生光引发自由基聚合。考察了引发剂、光照能量及光强对光聚合单体转化率的影响。在此基础上,向单体中添加丙烯酸酯类光敏低聚物及多官能团交联单体,进一步探究混合体系聚合反应的转化率及凝胶率的变化规律。制备了在汞灯下光照固化的 UV 光聚合丙烯酸酯胶,并分析组分变量所产生的力学性能差异。结果表明,对于光聚合,引发剂质量分数(相对于单体质量)存在最佳值,但过量可使转化率下降;在同辐射剂量下,低光强长时间照射可使转化率更高;添加低聚物后,高单体比例下的转化率较高但凝胶率较低。

**关键词:**光聚合;光固化;单体转化率;丙烯酸酯压敏胶;力学性能

**中图分类号:**TH3

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2025)04-0208-05

**DOI:**10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2025.04.035

## Study on influencing factors for properties of UV photo-polymerized acrylate adhesive

MA Yi-ming<sup>1</sup>, QIAN Jun<sup>1\*</sup>, SHI Yi-feng<sup>2</sup>

(1. School of Materials Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China; 2. Shanghai Hongdingfang Technology Co., Ltd., Shanghai 200237, China)

**Abstract:** Taking isooctyl acrylate (2-EHA) and acrylic acid (AA) as monomers for co-polymerization, benzoin dimethyl ether (BDK) and trimethylbenzoyl-diphenyl phosphine oxide (TPO) as photo-initiators, the free radical polymerization between monomers is performed, which is photo-induced under the irradiation of medium pressure mercury lamp and UV-LED, respectively. The influences of initiator, illumination energy and light intensity on the conversion of photopolymerization monomers are explored. On this basis, acrylate photosensitive oligomers and multi-functional groups cross-linked monomers are added into the monomers, and the conversion rate and gel rate of photopolymerization of the mixed system are further investigated. UV photo-polymerized acrylate adhesive cured under the irradiation of mercury lamp is prepared, and the changes of mechanical properties, caused by the variation of components, are analyzed. Study results show that as for photopolymerization, there exists the best value for initiator content (relative to monomers mass percentage), and the excess initiator can reduce the conversion rate. Under the same radiation dose, the irradiation for a long time at low light intensity can make the conversion rate higher. With the addition of oligomers, the conversion rate becomes higher but the gel rate becomes lower at a high monomer ratio.

**Key words:** photopolymerization; light curing; monomer conversion rate; acrylic pressure sensitive adhesive; mechanical property

近年来,紫外光固化技术发展迅速,由于该技术节能环保、符合绿色化学的发展要求,在涂料、油墨及胶黏剂等领域具有广泛地应用<sup>[1]</sup>。其中,紫外光固化压敏胶作为一种重要的无溶剂胶黏剂,具有污染较小、固化速度快且固化温度较低、有利于自动化生产且对于固化设备要求远小于传统热固化等优点<sup>[2-3]</sup>。

UV 光固化压敏胶一般由低聚物、单体活性稀释剂、光引发剂体系以及增黏树脂等其他添加剂所组成<sup>[4-5]</sup>。在紫外光的辐照下,各组分可通过光聚合反应以达到聚合交联固化的目的。通常光聚合反应由光引发剂受到辐照转化为活性分子开始,然后

经过链增长、链终止等过程<sup>[6]</sup>。郭瑞林等<sup>[7]</sup>利用自制光交联剂合成了系列光固化压敏胶,并研究照射条件对光固化压敏胶性能的影响,结果表明,在总能量固定的条件下,单次能量越大,胶的固化程度越高。低聚物(预聚物)在配方中所占比例较大,对压敏胶制品的性能及特点影响显著,主要有聚氨酯丙烯酸酯、环氧丙烯酸酯、聚酯丙烯酸酯等。光引发剂在固化效率及程度方面起关键作用,其引发效率与入射光强度、样品厚度、摩尔吸光系数和光引发剂浓度等相关。活性稀释单体作为体系中小分子参与聚合过程,其种类与结构对固化效果及制品性能有调控作用<sup>[8]</sup>。陈毅鹏等<sup>[9]</sup>选择多种单官能度活性稀

收稿日期:2024-06-11;修回日期:2025-02-06

作者简介:马一鸣(1998-),女,硕士生,研究方向为丙烯酸酯类压敏胶,1029457628@qq.com;钱军(1965-),男,博士,教授,研究方向为高分子材料、胶黏剂、涂料的开发和研究,通讯联系人,qianjun@ecust.edu.cn。

释单体制备系列光固化压敏胶,并从压敏胶的  $T_g$ 、表面能等特性角度,探究了活性稀释剂单体结构对压敏胶多种应用性能的影响。

综上所述,光聚合反应体系受多重因素的综合影响,从而会使光固化压敏胶的各种性能产生差异。笔者以丙烯酸异辛酯(2-EHA)及丙烯酸(AA)为主要单体聚合体系,在汞灯及UV-LED 2种辐射光源下,以安息香双甲醚(BDK)、三甲基苯甲酰基-二苯基氧化膦(TPO)作为光引发剂引发聚合,探究引发剂含量、交联单体、光强对光聚合中单体反应程度的影响。并探究在混合低聚物体系下,各因素对单体聚合及体系交联程度的影响,进而研究光固化压敏胶性能的变化规律。

## 1 材料试剂与仪器

### 1.1 材料及试剂

丙烯酸异辛酯(2-EHA)、丙烯酸(AA)、三羟甲基丙烷三甲基丙烯酸酯(TMPTMA),化学纯,国药集团化学试剂有限公司生产;安息香双甲醚(BDK)、三甲基苯甲酰基-二苯基氧化膦(TPO),分析纯,上海阿拉丁生化科技有限公司生产;丙烯酸酯共聚物A-015,上海宏顶房科技有限公司生产。因为是工业项目研究,所用单体均不进行提纯处理而直接使用。

### 1.2 仪器

A10002型电子天平,上海电子仪器设备有限公司生产;RM300SA3型高速混合机,绵阳世诺科技有限公司生产;B-260型中压汞灯,广东科建仪器有限公司生产;UV1800-PC型紫外-可见分光光度计,上海元析仪器有限公司生产;UV-LED光固化设备线光源,上海宏顶房科技有限公司生产;CW-5200型水冷式冷水机,广州市特宇机电有限公司生产;KJ-1065A型拉力试验机、KJ-6031型环形初粘试验机、KJ-6012A型烘箱型保持力试验机,广东科建仪器有限公司生产。

## 2 实验方法

### 2.1 聚合单体混合液的制备

以BDK或TPO为光引发剂、2-EHA与AA为单体共聚体系、TMPTMA为交联单体。固定2-EHA与AA的单体质量比为9:1,将原料混合均匀,混合均匀后的胶液以相同质量加入PET盒中,避光保存。

### 2.2 压敏胶带样条的制备

根据实验配方将低聚物、单体稀释剂及光引发

剂混合,制备出100%无溶剂的均匀胶液;利用自动涂布机将其均匀涂在PET膜上,调节中压汞灯参数后,对胶膜进行光照固化,制成药45 g/m<sup>2</sup>的干胶膜,并用离型纸覆盖;按照GB/T 2792—2014标准制成200 mm×25 mm的测试样条,待测。

## 3 测试与表征

### 3.1 单体转化率测试

真空高温下可去除体系中的未反应单体,通过真空减重法计算单体聚合的转化率。分别称量光聚合前后聚合物与单体的质量并计算单体聚合的转化率:

$$X(\%) = \left( \frac{\text{光照后聚合物质量}}{\text{光照前单体质量}} \right) \times 100$$

### 3.2 凝胶率测试

通过索氏抽提法测定凝胶率。将样品放于定量滤纸并包好,用乙酸乙酯作为溶剂进行索氏抽提,抽提时间为12 h。根据抽提前后滤纸上胶的质量变化计算出胶样的交联度,从而判断光固化的程度。

### 3.3 力学性能测试

(1)初黏强度参照标准GB/T 31125—2014中所述方法进行测试。

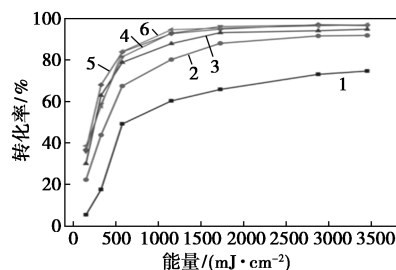
(2)180°剥离强度测试:180°剥离强度测试参照标准GB/T 2792—2014中所述方法进行测试。

(3)持黏强度测试:参照标准GB/T 4851—2014中所述的方法进行持黏强度测试。

## 4 结果与分析

### 4.1 光引发剂含量对光聚合反应的影响

首先以汞灯为照射光源,考察在不同BDK光引发剂质量分数下,2-EHA与AA单体共聚体系中转化率随汞灯光照能量的变化,结果如图1所示。



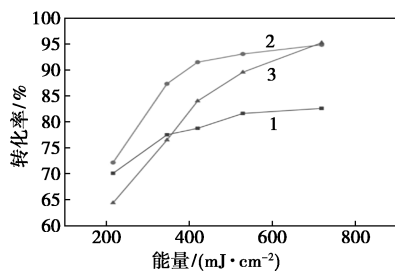
1—0.1%; 2—0.5%; 3—1%; 4—2%; 5—3%; 6—5%

图1 光引发剂BDK浓度对单体转化率的影响

由图1可知,通过汞灯辐照下的光聚合反应,随着能量的增长单体转化率表现为先快速增加后趋于稳定。在575 mJ/cm<sup>2</sup>以下的光照能量时,每条曲线

都有明显的攀升,单体转化率增长速率快;能量大于  $575 \text{ mJ}/\text{cm}^2$  时,曲线逐渐平缓,转化率增长速度下降,并逐渐趋于稳定。当光引发剂质量分数由 0.1% 增至 0.5% 时,聚合反应的最大单体转化率有显著提升,增长近 10%,但在 0.5% 下进一步增加光引发剂质量分数,最大转化率增长幅度变小,在 2% 质量分数下达到饱和,在此基础上进一步增加光引发剂质量分数,对反应速率及转化率无显著影响。说明光引发剂质量分数的适当增加能够提升反应程度和转化率,但过量的光引发剂,除了增加成本,并不会体现对聚合的促进作用。

同样丙烯酸酯单体体系,以 UV-LED 为发射光源(395 nm)、TPO 为适配光引发剂,单体在  $550 \text{ mW}/\text{cm}^2$  光照强度下发生聚合反应,其转化率随能量变化趋势如图 2 所示。



1—1%; 2—3%; 3—5%

图 2 光引发剂 TPO 质量分数对单体转化率的影响

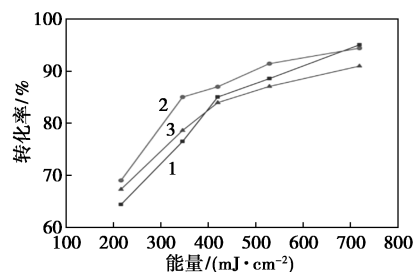
由图 2 可知,在 UV-LED 下,光引发剂质量分数从 1% 增至 3%,转化率同样增长,但和上文汞灯照射相比,并未出现明显更高的反应速率和转化率,当引发剂质量分数为 5% 时,转化率增长速度下降,反应速率降低。根据朗伯比尔定律,当光引发剂质量分数增加时,被上层光引发剂吸收能量后的剩余光强呈指数函数形式递减。所以光引发剂质量分数过高时,近表面的光引发剂会吸收大量辐照能量,并进行反应,到达较深层处的光强反而减少,导致较深层的光引发剂产生的自由基数量和速度下降,使整体反应速度下降,因而需要更多能量来促进深层聚合反应的发生,所以表现为转化率降低,且在更高能量处达到转化率最大值。

可见纯单体体系的光聚合效果与光引发剂的质量分数以及辐照能量相关。

#### 4.2 多官能团单体质量分数对光聚合反应的影响

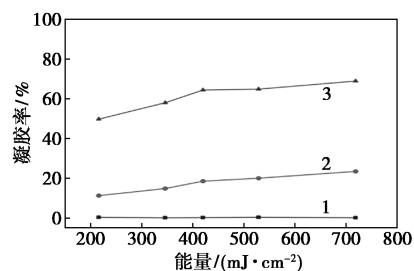
多官能团单体 TMPTMA 中具有 3 个不饱和双键,在聚合体系中可提供交联位点,形成交联网络。在包含 5% TPO 光引发剂的单体体系中分别添加

1%、3% 的 TMPTMA,于 UV-LED 光源下照射,并与未添加的单体体系进行对比。添加不同质量分数 TMPTMA 后,聚合体系转化率及凝胶率的对比结果分别如图 3 及图 4 所示。



1—0% TMPTMA; 2—1% TMPTMA; 3—3% TMPTMA

图 3 多官能团单体质量分数对单体转化率的影响



1—0% TMPTMA; 2—1% TMPTMA; 3—3% TMPTMA

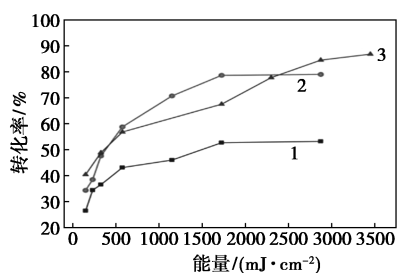
图 4 多官能团单体质量分数对凝胶率的影响

由图 3 可知, TMPTMA 的加入对单体转化率的促进作用较小,当添加 1% TMPTMA 时,转化率有小幅度提升,继续增加 TMPTMA,转化率会出现下降。在一定光引发剂质量分数下, TMPTMA 可增大双键浓度,使反应的聚合速率提升,转化率增大,但当交联单体 TMPTMA 质量分数超过某一限度,会导致转化率反而降低,显示该交联单体位阻效应明显,反应活性不高。由图 4 可知, TMPTMA 毕竟是交联单体,显著提升体系的交联度,并且随着质量分数的增多可使凝胶率增长幅度更大。

多官能团单体的加入可以明显提高凝胶率或交联度,但加入过多后依然会出现不利于转化率提高的现象。

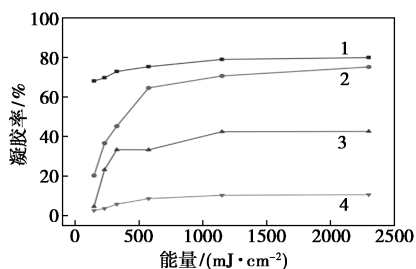
#### 4.3 低聚物与单体质量分数对光聚合反应的影响

在低聚物与单体混合的体系中,经过光源辐照,低聚物可吸收能量,对整体单体聚合将产生影响。光引发剂 BDK 质量分数为 1%,添加低聚物使单体质量分数分别为 25%、50%、75% 时,光聚合体系的转化率及凝胶率的变化趋势如图 5 及图 6 所示。



1—25%; 2—50%; 3—75%

图 5 单体质量分数对单体转化率的影响



1—0%; 2—25%; 3—50%; 4—75%

图 6 单体质量分数对凝胶率的影响

由图 5 可知,在 25% 单体质量分数下,单体转化率最低,反应前期体系中一部分单体快速发生自由基聚合,之后单体间双键转化率增长速度降低,最大转化率达到 53.23%。单体质量分数增加至 50% 及 75% 时,最终转化率也分别提升至 78.65% 与 87.51%。当体系中单体质量分数减小,光引发剂质量分数相对于包含低聚物的混合单体体系降低,相对于整个体系来说,单体质量分数和光引发剂质量分数明显降低,导致反应速度降低,转化率下降。由图 6 可知,随着预聚物的增加,体系的凝胶率逐渐增大,在 25% 单体质量分数下,最大凝胶率接近单一低聚物的凝胶率的最大值(0% 的曲线)。

#### 4.4 光功率对光聚合反应的影响

以 UV-LED 灯为辐射光源时,通过改变辐射光的功率及改变光源辐射时间两种方式达到一定的能量。光源功率为 30% 时,光强为 213 mW/cm<sup>2</sup>;光源功率为 50% 时,光强为 360 mW/cm<sup>2</sup>;光源功率为 80% 时,光强为 550 mW/cm<sup>2</sup>。以 3% 的 TPO 作为光引发剂并在 UV-LED 下辐射单体体系发生聚合,当光源功率作为变量时,通过相同时间照射后得到的不同能量下的单体转化率,如表 1 所示。

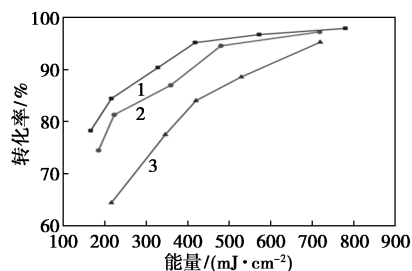
由表 1 可知,在同一辐照时间下,增大功率能使转化率提高,并且在较短时间照射下,功率增大使转化率增长幅度较为明显。在相同照射时间下,功率增大使辐射剂量增大,能够同时使更多的光引发剂

表 1 同一照射时间下不同功率下的单体转化率

照射时间/s	光源功率/%	转化率/%
0.46	30	55.23
	50	64.78
	80	72.17
0.71	30	63.58
	50	75.71
	80	85.33
1.35	30	86.23
	50	88.94
	80	93.07
2.02	30	94.76
	50	95.76
	80	95.78

被激发为活性自由基引发聚合,促进反应效率及程度。

为进一步探究相同辐射能量下光功率对聚合的影响,在不同光功率下通过改变照射时间达到相近的光照能量,聚合体系与表 1 相同,光功率对单体转化率的影响如图 7 所示。



1—30%; 2—50%; 3—80%

图 7 光功率对单体转化率的影响

由图 7 可知,同辐照能量下,功率与转化率的变化相反,即功率越大得到的转化率反而较低。光照能量是光功率与曝光时间累积的结果,说明在某一能量值,相比于功率较大但照射时间短的光照条件,功率较小但照射时间长可使单体反应程度更高,即增加照射时间对转化率的提升更显著。

#### 4.5 低聚物与单体质量分数对压敏胶力学性能的影响

低聚物与单体活性稀释剂在体系中的质量分数对聚合程度及凝胶率产生直接影响,因此,影响 UV 光固化压敏胶的力学性能。

以 3% 的 BDK 为光引发剂,添加低聚物使单体质量分数分别为 25%、50%,在汞灯下光照固化。随能量增长,UV 胶的初粘力、剥离强度的变化情况分别如图 8~图 9 所示。

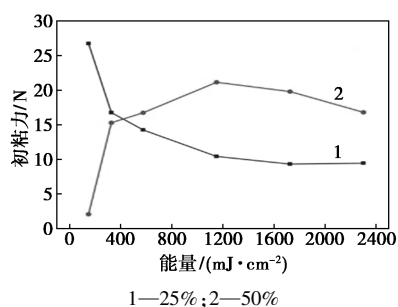
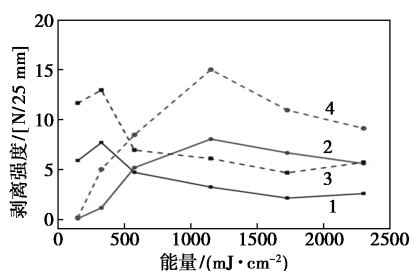


图 8 不同单体质量分数下 UV 胶的初黏力变化



1—25%、20 min; 2—50%、20 min; 3—25%、24 h; 4—50%、24 h

图 9 不同单体质量分数下 UV 胶的剥离强度变化情况

由图 8 可知,对于 25% 单体质量分数的 UV 固化胶,其初黏力随着照射能量增加而持续降低。在低能量照射下,胶膜内分子链间的交联使体系内具有一定的内聚强度,体系中丙烯酸酯类单体未反应完全,小分子的存在可使胶膜更易润湿钢板表面,所以其润湿性与内聚强度具有比较好的平衡,使初黏力偏大。随着光照能量的提升,胶层交联密度增加,润湿性下降,初黏力变小。

对于 50% 单体质量下的 UV 固化胶,初黏力表现为先增大后降低。这是由于其表观黏度更低,初始交联度很低,经过能量照射,聚合程度增加,初黏力在该阶段有增长。到达某一能量之后,聚合程度过大,使胶层与基材的润湿效果下降,降低了二者短时间接触下的相互作用力,从而使初黏力下降。

由图 9 可知,随着能量的增大,2 种质量分数胶样的剥离强度均出现先增大后降低的情况。在 25% 单体质量分数下,剥离强度的极大值出现在较低能量;50% 单体质量分数下,剥离强度的极大值在较高能量。在极大值前的破坏模式表现为内聚破坏,即压敏胶的内聚强度低于与被贴物间的粘接力,胶层出现断裂,剥离后钢板上有残留胶;在极大值后表现为粘接破坏,即胶膜与被粘物在接触面处产生分离,没有留有残胶。适当交联可提升内聚强度,进而增强压敏胶抵抗脱粘附的能力,但交联过度会使剥离强度下降,所以在 2 种单体质量分数下,剥离强

度均表现为先增大后减小。当单体质量分数为 25% 时,单体固化速率较快,凝胶率增长速度也较快,故在较低能量便能达到剥离强度变化的临界点。对于 24 h 剥离强度均高于 20 min 剥离强度,这是因为粘合时间延长使胶膜与钢板接触更紧密,从而需要更大的作用力剥离。

UV 固化胶的持粘力随能量增大的变化趋势如图 10 所示。

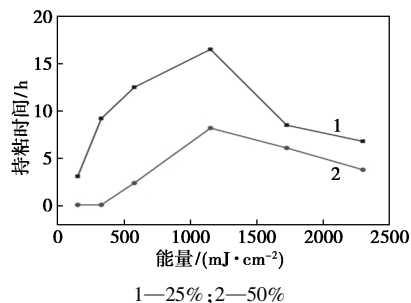


图 10 不同单体比例下 UV 胶的持粘时间变化

由图 10 可知,50% 单体质量分数下的 UV 胶持粘时间普遍较低,而随着低聚物质量分数的增多,持粘时间有明显的提升。通常,聚合物中分子质量低的部分与初黏力及剥离强度相关度较高,而分子质量较高的部分与持粘力相关。对于 25% 单体质量分数的 UV 固化胶,聚合反应使分子链增长及交联可提升相对分子质量,另外,该体系具有更高的凝胶率,故持粘时间更长。但在较长时间辐照下,持粘时间下降主要是因为胶膜硬度过大,对钢板的附着力下降,无法承受剪切应力。

## 5 结论

(1) 对于光聚合反应,引发剂存在最佳浓度值,过量添加引发剂,在增大成本的同时,聚合程度不会持续增加,甚至会导致单体转化率降低。

(2) 多官能团单体可作为交联单体使光聚合体系的凝胶率显著增大,在一定引发剂质量分数下 TMPTMA 可增大双键密度,使转化率小幅提升。

(3) 在同辐照时间下,增大光功率可使光照能量增加,从而使单体转化率增大;在能量一定的条件下,低光功率长时间照射可得到相对更高的单体转化率。

(4) 在添加低聚物的单体混合体系中,单体质量分数较低时单体转化率较低,但凝胶率较高。对于不同单体质量分数的 UV 固化压敏胶,随着能量增大,25% 单体质量分数下的压敏胶初黏力持续降低,50% 质量分数下表现为先增长后下降。此外,25% 单体质量分数下的压敏胶具有更大的持粘力。

(下转第 217 页)

法获得高效的双功能电解水催化剂。通过对比发现,沉积的铁纳米片层具有高度有序的 3D 开放网络结构,为后续铜沉积提供了稳定的附着点,这种特殊的复合结构提高了铜铁材料的协同催化效应,保障了复合材料的高催化活性和高稳定性。测试结果证明 Cu/Fe/NF 催化剂不论在 OER 还是 HER 过程都表现出最好的催化效果和稳定性。此外,二电极测试证实 Cu/Fe/NF 是一个性能优良的双功能水分解催化材料。

### 参考文献

- [1] Quan L, Jiang H, Mei G, *et al.* Bifunctional electrocatalysts for overall and hybrid water splitting[J]. *Chemical Reviews*, 2024, 124(7):3694–3812.
- [2] 贾飞宏, 卫学玲, 包维维, 等. TMSs 催化剂用于电解水制氢技术的研究进展[J]. *功能材料*, 2022, 53(11):11037–11045.
- [3] Sun H, Xu X, Kim H, *et al.* Advanced electrocatalysts with unusual active sites for electrochemical water splitting[J]. *InfoMat*, 2024, 6(1):e12494.
- [4] Wang J, Yang G, Jiao Y, *et al.* Subtle 2D/2D mxene-based heterostructures for high-performance electrocatalytic water splitting[J]. *Small Methods*, 2024, 8(2):2301602.
- [5] 董美君, 张超, 郝敏彤, 等. 过渡金属磷化物的制备及电催化性能研究进展[J]. *现代化工*, 2023, 43(12):69–73, 82.
- [6] Gaikwad M A, Burungale V V, Malavekar D B, *et al.* Self-supported Fe-based nanostructured electrocatalysts for water splitting and selective oxidation reactions: Past, present, and future[J]. *Advanced Energy Materials*, 2024, 14(15):2303730.
- [7] Zang Y, Lu D Q, Wang K, *et al.* A pyrolysis-free Ni/Fe bimetallic electrocatalyst for overall water splitting[J]. *Nature Communications*, 2023, 14(1):1792.
- [8] Zhang Y, Wu J, Guo B, *et al.* Recent advances of transition-metal metaphosphates for efficient electrocatalytic water splitting[J]. *Carbon Energy*, 2023, (12):005.
- [9] Zang Z, Guo Q, Li X, *et al.* Construction of a S and Fe co-regulated metal Ni electrocatalyst for efficient alkaline overall water splitting[J]. *Journal of Materials Chemistry A*, 2023, 11(9):4661–4671.
- [10] Li Y, Du H, Su Y, *et al.* Construction of Heterostructured NiS/NiSe<sub>2</sub> and their application in electrocatalytic water splitting[J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2024, 66:286–293.
- [11] Li B, Zhao J, Wu Y, *et al.* Identifying Fe as OER active sites and ultralow-cost bifunctional electrocatalysts for overall water splitting[J]. *Small*, 2023, 19(37):2301715.
- [12] Xu S, Chen C, Shen J, *et al.* The bifunctional 3D-on-2D FeCo/Ni(OH)<sub>2</sub> hierarchical nanocatalyst for industrial-level electrocatalytic water splitting[J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2023, 48(47):17882–17893.
- [13] Duan J, Guo K, Li H, *et al.* Electrochemical water splitting by a low crystallinity CeO<sub>x</sub>@Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> heterostructure[J]. *Applied Surface Science*, 2023, 615:156361.
- [14] Ding X, Yu J, Huang W, *et al.* Modulation of the interfacial charge density on Fe<sub>2</sub>P-CoP by coupling CeO<sub>2</sub> for accelerating alkaline electrocatalytic hydrogen evolution reaction and overall water splitting[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2023, 451:138550.
- [15] Zhang W, Chen Y, Ma Z, *et al.* Challenges and strategies of transition metal phosphides applied in oxygen evolution reaction of electrocatalytic water splitting: A review[J]. *Fuel*, 2024, 369:131741.
- [16] 陈俊池, 张培立. 电沉积 CoCuP 催化水氧化性能研究[J]. *现代化工*, 2021, 41(3):170–174.
- [17] Liu F, Shi C, Guo X, *et al.* Rational design of better hydrogen evolution electrocatalysts for water splitting: A review[J]. *Advanced Science*, 2022, 9(18):2200307.
- [18] Huang C L, Lin Y G, Chiang C L, *et al.* Atomic scale synergistic interactions lead to breakthrough catalysts for electrocatalytic water splitting[J]. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2023, 320:122016.
- [19] Shi Y, Zhou S, Liu J, *et al.* An integrated amorphous cobalt phosphoselenide electrocatalyst with high mass activity boosts alkaline overall water splitting[J]. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2024, 341:123326.
- [20] Wang P, Luo Y, Zhang G, *et al.* Interface engineering of Ni<sub>3</sub>S<sub>2</sub>@MnO<sub>x</sub>H<sub>y</sub> nanorods to efficiently enhance overall-water-splitting activity and stability[J]. *Nano-Micro Letters*, 2022, 14(1):120. ■
- [1] 杜鹏, 高双之. 光固化涂料行业前沿发展趋势[J]. *中国涂料*, 2021, 36(9):26–32.
- [2] Kneissl M, Seong T Y, Han J, *et al.* The emergence and prospects of deep-ultraviolet light-emitting diode technologies[J]. *Nature Photonics*, 2019, 13(4):233–244.
- [3] 李建波. UV 光固化胶粘剂的研究进展[J]. *中国胶粘剂*, 2023, 32(4):54–67.
- [4] Fei J, Rong Y, Zhu L, *et al.* Progress in photocurable 3D printing of photosensitive polyurethane: A review[J]. *Macromolecular Rapid Communications*, 2023, 44(18):2300211.
- [5] 黄成尚, 肖思浩, 梅唯, 等. 紫外光/湿气双重固化改性聚氨酯丙烯酸酯胶粘剂[J]. *中国胶粘剂*, 2023, 32(12):1–6, 18.
- [6] Ossowicz-Rupniewska P, Bednarczyk P, Nowak M, *et al.* Sustainable UV-crosslinkable acrylic pressure-sensitive adhesives for medical application[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, 22(21):11840.
- [7] 郭瑞林, 钱军, 石一峰. 照射条件对 UV 光固化丙烯酸酯压敏胶性能的影响[J]. *中国胶粘剂*, 2022, 31(6):8–13.
- [8] Xiao T, Geng L, Dai Y, *et al.* UV-cured polymer aided phase change thermal energy storage: Preparation, mechanism and prospects[J]. *Journal of Energy Storage*, 2023, 64:107066.
- [9] 陈毅鹏, 童杰祥, 皮峻逸, 等. 活性稀释单体对 UV 固化压敏胶性能的影响[J]. *涂料工业*, 2022, 52(12):37–43, 52. ■

(上接第 212 页)

### 参考文献