

检测标准：采用电位滴定法进行每批次取样检测，要求取样3次取平均值，偏差控制在 $\leq 0.05$  mgKOH/g。建立酸值变化趋势监控体系，及时发现潜在问题。

### 5.3 密度范围：0.89–0.91 g/cm<sup>3</sup> (20°C)

油水两相的密度匹配是静态自混合过程的重要动力来源，密度偏差会导致混合效率下降：

密度 $> 1.4$  g/cm<sup>3</sup>时，油相流动性差，静态混合时与水相分层速度加快，造成乳化不均匀；

密度 $< 1.3$  g/cm<sup>3</sup>时，油相过轻，容易浮于水相表面，无法形成连续包裹。

密度控制需要通过精炼工艺和组分调节来实现，确保每批次产品的一致性。

## 6 复合油相与静态敏化的协同作用机制

在中低温静态敏化环境中，复合油相不仅需要为气泡生成提供场所，更需要通过适宜的流变性质和界面特性来稳定气泡结构，这是一个复杂的多因素协同过程。

### 6.1 促进敏化剂均匀扩散

复合油相在敏化温度下的流变特性对敏化剂扩散具有决定性影响：

黏度稳定在4–6 mm<sup>2</sup>/s范围内是最佳选择。黏度过高会阻碍敏化剂扩散，造成局部气泡过多或过少，爆速波动可达 $\pm 300$  m/s；黏度过低则使敏化剂扩散过快，气泡迅速生成后又快速逸出，难以形成稳定的气泡结构。

实际操作中建议：每批次油相在使用前进行小规模试验，在60°C恒温条件下加入0.4%亚硝酸钠，30分钟后取样检测，要求气泡平均粒径 $\leq 10$  μm，且分布均匀，才能投入正式生产。

### 6.2 增强气泡界面包裹稳定性

通过添加0.5%–1%的聚异丁烯功能性助剂，可以显著提高油相界面膜的弹性和机械强度：

聚异丁烯的加入改变了界面膜的流变特性，使其从单纯的粘性体转变为粘弹性体，能够有效抑制气泡在中低温环境下的热聚合倾向；

验证方法：敏化后的乳胶体在标准条件下静置24小时，要求气泡保留率 $\geq 90\%$ ，爆速下降不超过5%。这一指标确保了产品在储存期间的性能稳定性。

## 7 全链条质量溯源体系的构建

由于静态工艺对原料批次一致性极为敏感，必须建立从供应商到终端用户的全过程质量追踪机制，这是确保产品质量稳定的重要保障。

### 7.1 强化供应商管理

优先选择具备静态工艺专用油相生产经验的供应商，要求其提供完整的黏度-温度曲线、HLB值测试报告及小试验证结果。建立供应商质量评价体系，定期对供应商进行审核和评估，确保原料质量的持续稳定性。

### 7.2 完善生产过程记录

为每批油相设定唯一批次号，详细记录其使用时的静

态乳化温度、敏化温度及投料量等关键工艺参数。建立电子化质量档案，实现过程参数的可追溯性，为质量问题的分析和改进提供数据支持。

### 7.3 建立客户反馈闭环

系统收集产品储存期（要求 $\geq 6$ 个月）和爆炸性能数据，建立完善的质量反馈机制。若出现分层、性能下降等问题，及时回溯至对应油相批次的稳定剂添加量与60°C黏度数据，通过数据分析持续优化配方和工艺参数。

## 8 实际应用效果

通过实施上述复合油相质量控制措施，某乳化炸药生产企业的静态工艺生产线取得了显著成效：

生产工艺稳定性大幅提升：静态乳化合格率由85%提升至99%，水相团聚现象基本消除。生产过程中的质量波动明显减少，产品一致性显著改善。

产品性能指标优化：产品爆速稳定在4400–4800 m/s范围内，波动范围缩小至 $\pm 100$  m/s。殉爆距离稳定性提高，爆炸性能可靠性增强。

储存性能显著改善：产品储存8个月后无分层现象，爆速衰减 $\leq 3\%$ ，完全满足商业炸药储存期要求。客户投诉率降为零，市场竞争力显著提升。

经济效益明显：由于质量稳定性提高，产品返工率降低，生产成本得到有效控制。同时，产品优良的性能赢得了客户信任，市场份额稳步提升。

## 9 结语

在静态乳化-静态敏化工艺中，复合油相是决定产品质量的核心材料。基于工艺无机械扰动的特点，需要重点优化组分配比以增强自乳化能力与低温稳定性，严格管控水分、酸值与密度等理化指标，强化油相与敏化剂的协同效应，并构建覆盖原料-生产-应用全链条的质量溯源体系。

本研究通过系统分析复合油相在静态工艺中的关键作用，建立了完整的质量控制体系，为乳化炸药生产企业提供了可行的技术实施方案。实际应用结果表明，该体系能够有效提升产品质量稳定性和储存性能，具有重要的推广应用价值。

未来研究方向应包括：开发专用功能油相，进一步提高工艺适配性；深入研究界面膜形成机理，为配方优化提供理论指导；建立智能化质量监控系统，实现生产过程的精准控制。通过这些努力，将进一步推动静态工艺乳化炸药向更高质量、更安全、更高效的方向发展。

### 参考文献

- [1] 周康波. 乳化炸药的敏化技术与安全性[C]//中国兵工学会民用爆破器材专业委员会. 爆破器材——2013年民爆技术论坛论文集. 湖南金能科技股份有限公司, 2013: 29–32.
- [2] 吴红波, 高郁凯, 李鹏, 等. 乳化炸药的高原环境适应性研究[J]. 爆破器材, 2021, 50(05): 34–38.
- [3] 王尹军, 黄文尧, 汪旭光. 乳化炸药压力减敏作用与敏化气泡含量的关系[J]. 爆破器材, 2005, (06): 13–16.

# Discussion on the application of hydrogen peroxide in organic chemical synthesis

Wenli Ma

Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei, 071000, China

## Abstract

The rapid development of the economy and society, coupled with continuous improvements in human literacy, has made the green transformation of the chemical industry a focal social issue. The effective application of hydrogen peroxide in organic chemical synthesis not only meets reaction requirements but also reduces environmental damage and resource consumption. This approach demonstrates advantages such as eco-friendliness, controllable oxidation capacity, mild reaction conditions, and readily available raw materials. Hydrogen peroxide can be applied in hydroxylation, epoxidation, and oxidative coupling reactions. By rationally utilizing hydrogen peroxide according to the practical needs of organic chemical synthesis, we can lay a solid foundation for the sustainable development of the chemical industry, thereby better implementing the development philosophy of "gaining both economic prosperity and ecological sustainability."

## Keywords

hydrogen peroxide; organic chemical synthesis; application path; low-carbon environmental protection

## 过氧化氢在有机化工合成中的应用相关探讨

马文丽

河北农业大学, 中国·河北保定 071000

## 摘要

经济社会的迅速发展以及人们素养的不断提升,使得现阶段化工行业绿色转型成为了倍受关注和重视的社会焦点话题,而过氧化氢在有机化工合成中有效应用则可以在满足反应需求的同时降低对环境的破坏和资源的损耗,具有环境友好性、氧化能力可控性、反应条件温和性和原料易得性等相应优势。可应用于羟基化反应、环氧化反应、氧化偶联反应当中,应结合有机化工合成的实际需求合理应用过氧化氢,为化工行业的可持续发展奠定良好的基础和保障,更好地践行既要金山银山又要绿水青山的发展理念。

## 关键词

过氧化氢; 有机化工合成; 应用路径; 低碳环保

## 1 引言

在双碳目标与绿色化工发展战略推动下,传统有机合成中高锰酸钾、氯气、铬酸盐等相应高污染、高风险氧化剂面临淘汰,开发出环境友好型的氧化体系成为了化工行业转型发展的实际需求。而过氧化氢的反应物仅为水,无有害废弃物生成且氧化能力可调,成为了化工行业发展过程中较为常用的绿色氧化剂。明确其反应特性优势、合理应用于有机合成中是十分必要的。

## 2 过氧化氢在有机合成中的反应特性与优势

过氧化氢的分子结构中有两个氧原子,既可以作为氧化剂提供氧原子,也可以在特定条件下成为还原剂。相较于

传统氧化剂,过氧化氢在有机合成中的应用优势主要体现在如下几个方面。首先,为环境友好性。过氧化氢在有机合成中应用的唯一副产物为水,并不会产生氯化氢、重金属离子等相应的污染物质,这符合于绿色化工转型的需求。其次,为氧化能力可控性,可以通过调节反应体系的pH值、催化剂类型和温度来实现精准控制,满足不同的反应需求,柔性化程度较高,适配性较强。再次,为反应条件温和性,多数过氧化氢参与的有机反应可以在常温常压下实现,这就意味着在其反应的过程中对于设施设备的依赖性相对较低,可以降低设备购买成本。同时常温常压条件下反应也可以更好地保障反应安全。最后,为原料易得性,工业级过氧化氢的生产技术较为成熟且价格较为稳定,在存储和运输上难度也相对较低,具备普及应用的基础<sup>[1]</sup>。

而在反应机制上过氧化氢氧化作用主要通过两种路径来实现,一种是作为氧化剂直接参与反应,另外一种则是作

【作者简介】马文丽(2004-),女,中国河北沧州人,本科,从事制药工程和精细化工研究。

为催化剂在过渡金属离子、分子筛、酶等相应作用下生成羟基自由基、过氧自由基等相应活性物种，进而提升反应速度和反应选择性。

### 3 过氧化氢在有机合成反应中的应用

#### 3.1 羟基化反应

羟基化反应是向有机分子中引入羟基的关键反应，多应用于酚类、醇类、羧酸等中间体的合成当中。过氧化氢羟基化反应中可实现苯环、烯烃、烷烃等底物的高效羟基化，较具代表性的则是苯环羟基化和烯烃羟基化。在苯环羟基化中，过氧化氢体系可在催化剂的影响下完成苯向苯酚的转换。例如可以将钛硅分子筛作为催化剂，过氧化氢作为氧化剂，在保障温度条件为 50~710℃ 的基础之上，使苯的转化率达到 15%~20%，苯酚选择性可以达到 95%。相较于传统磺化-碱熔法，其步骤更少且污染影响更低，污染物排放量可以减少 80% 以上，同时可以在常压状态下完成反应。

而在烯烃羟基化中过氧化氢可以在硫酸钾等相应酸性条件作用下与烯烃反应生成邻二醇，将环氧化-开环两步整合在一起。例如在乙烯氢氧化物合成乙二醇中可以将钨酸作为催化剂，过氧化氢的过量系数可以为 1.2—1.5，反应温度可以设置在 60℃~80℃ 之间，这样其乙二醇的收率可以达到 85%~95%，并不会产生氯代副产物，其综合成效是强于传统氯乙醇法的<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 环氧化反应中的应用

环氧化反应是合成环氧乙烷、环氧丙烷等相应环氧化物过程中十分重要的一环，作为高分子材料和医药中间体的关键原料，环氧化物的市场需求是相对较高的，而过氧化氢在氢氧化物中可以直接作为氧源，可以在催化剂作用下将烯烃中的碳碳双键转换为环氧键，其选择性强且副产物较少。就现阶段来看，在工业生产的过程中丙烯环氧化合成环氧丙

烷的需求量是相对较高的，而过氧化氢则可以在该过程中作为氧化剂，在温度和压力分别控制在 40~60℃、0.5~1Mpa 下丙烯转化率达到 98%，在反应过程中环氧丙烷的选择性超过 99%。相较于传统技术方法该种技术方法并不需要使用氯气，且废水排放量和能源损耗量分别减少了 90% 和 30%，因此也成为了环氧丙烷生产过程中的主流工艺<sup>[3]</sup>。

除此之外，在不饱和脂肪酸甲醇中过氧化氢的环氧化反应也起到了至关重要的影响，可以作为环氧植物油增塑剂合成的重要原料之一。可以将乙酸等相应有机酸作为助催化剂，然后缓慢滴入过氧化氢。保障环境温度在 50~610℃ 即可以满足环保增塑剂的要求。

#### 3.3 氧化偶联反应中的应用

氧化偶联反应是将两个有机分子通过氧化作用生成新的化学键，多应用于联苯类、联酚类化合物制作当中，而过氧化氢在其中则可以作为重要的氧化剂。在过氧化氢作用下低价金属会转换成高价态，实现底物偶联。在苯胺类化合物氧化偶联反应中氢氧化氢也可以在复合催化剂的影响下实现苯胺向联苯胺的转化，其选择性超过 80%，有效规避了传统技术方法所带来的重金属污染<sup>[4]</sup>。

## 4 过氧化氢在有机合成中的工艺参数与应用对比

#### 4.1 不同反应类型的工艺参数对比

就现阶段来看过氧化氢在羟基化环氧化氧化偶联反应中关键工艺参数和催化剂选择都存在一定的差异，同时为了更好的保证反应效果，在反应过程中的反应温度、过氧化氢浓度和反应压力都会存在较大的差异，如表 1 是不同反应类型工艺参数的对比，希望可以为相关人员的工艺优化提供参考。

表 1: 不同反应类型的工艺参数

不同反应类型的工艺参数					
反应类型	催化剂类型	反应温度(℃)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 浓度(质量分数)	反应压力(MPa)	目标产物选择性(%)
苯羟基化	钛硅分子筛(TS-1)	50-70	30%	0.1(常压)	≥95
乙烯羟基化	钨酸	60-80	30%-50%	0.1-0.3	85-90
丙烯环氧化	钛硅分子筛(TS-1)	40-60	30%-50%	0.5-1.0	≥99
不饱和脂肪酸甲酯环氧化	有机酸(乙酸)+硫酸	50-60	30%	0.1(常压)	80-85
2,6-二甲基苯酚偶联	CuCl <sub>2</sub>	30-40	30%	0.1(常压)	≥85
苯胺偶联	Fe <sup>3+</sup> /TiO <sub>2</sub>	40-50	27.5%	0.1(常压)	80-85

#### 4.2 过氧化氢与传统氧化剂的应用优势对比

相较于传统氧化剂，过氧化氢的应用优势是较为鲜明的，具体可以从环境影响、反应条件、产物纯度和成本能耗四个维度来展开分析。相较于传统的高锰酸钾、铬酸盐、氯气等相应的氧化剂，过氧化氢在有机合成中的绿色优势显著，如表 2 所示。

## 5 过氧化氢在有机合成应用中的挑战与优化策略

尽管在过氧化氢在有机合成中应用的优势较为显著，但仍面临着较多的挑战，具体体现在如下几个方面。

#### 5.1 主要挑战

首先，为催化剂效率和稳定性不足，就现阶段来看 TS-1 分子筛催化剂的制作成本是相对较高的，且在投入使