

探析非离子型表面活性剂的合成方法与市场发展前景

●郭晓锋 耿 丽



[摘要] 表面活性剂在现代工业和人们日常生活中占据重要地位,非离子型表面活性剂因独特性能被广泛应用。本文深入探讨非离子型表面活性剂的合成方法,包括聚氧乙烯型、多元醇型和烷基酚聚氧乙烯醚型,分析原料、反应条件等对产物性能的影响及各方法的优缺点。同时,剖析其市场发展前景。目前,非离子型表面活性剂的市场需求受多种因素的推动呈增长态势,但面临环保等挑战。非离子型表面活性剂合成技术的创新聚焦绿色环保技术和高性能产品研发,前者注重可再生原料和降低能耗,后者致力于提升活性剂的表面活性、稳定性和生物降解性等指标。这种高性能产品在高端领域需求旺盛,对行业发展意义深远。

[关键词] 非离子型表面活性剂;合成方法;市场前景;绿色环保技术;高性能产品

表面活性剂在现代工业和日常生活中扮演着重要角色,其种类繁多,其中非离子型表面活性剂因其独特性能备受关注。它在乳化、分散、润湿等方面表现出色,且在较宽 pH 值范围和不同水质条件下稳定性良好,在日化、工业等众多领域广泛应用。然而,随着各个行业发展和环保要求的不断提高,非离子型表面活性剂面临新的挑战与机遇。一方面,市场对其性能和品种需求不断变化,企业需提升研发和生产能力;另一方面,环保法规促使行业寻求绿色可持续发展路径。因此,深入研究其合成方法与市场发展前景具有重要意义。

❶ 非离子型表面活性剂的合成方法

(一)聚氧乙烯型合成方法

以脂肪醇聚氧乙烯醚为例,原料选择至关重要。脂肪醇如常见的月桂醇、12-14 碳伯醇、12-14 碳仲醇等,其碳链长度及结构不同,会使合成的脂肪醇聚氧乙烯醚性能各异。月桂醇聚氧乙烯醚价格低廉,生产工艺成熟,然而乳化和分散效果相较部分其他醇醚略逊一筹,长期储存还会出现分层现象。仲醇聚氧乙烯醚在低温环境下仍能保持流动性,渗透性能要比 AEO 伯醇系列优越,但其成品中未反应的仲醇残留量高,使产品在乳化、除油、净洗等功能上较弱。环氧乙烷作为另一种重要原料,其纯度和添加量对合成产物性能影响明显。

反应条件的控制是合成过程的关键环节。温度、压力

以及催化剂的选择需精准把握。在典型合成工艺中,先将脂肪醇置于反应釜搅拌,把氢氧化钾(KOH)配制成溶液加入后继续搅拌,并对反应釜进行气体置换。温度升至 50℃ 到 90℃,在搅拌下减压脱水 0.5h 到 3h,这一过程的温度控制和脱水时长对后续反应进程影响较大。之后继续升温至 130℃ 到 200℃,缓慢通入环氧乙烷,严格控制釜内温度在 130℃ 到 200℃、压力控制在 0.1MPa 到 0.9MPa。环氧乙烷进料后,降压至负压并维持,再进行降温等后续操作。以 KOH 为催化剂时,用量一般为异壬醇用量的 0.01% 到 0.5%,其用量不仅影响反应速率,还对产物性能产生作用。KOH 作为碱性催化剂,具有价格优势、原料供应充足、操作简便且对设备损害小,较适合脂肪醇聚氧乙烯醚的工业化生产与应用。

工艺流程包含多个步骤。首先是原料预处理与加料,如上述脂肪醇和催化剂的加入及相关处理。其次是环氧乙烷的通入反应阶段,此环节需严格控制各参数。最后是未反应原料的处理以及后续提纯等步骤。例如,环氧乙烷进料结束降压后,抽出未反应的环氧乙烷,向反应釜加入乳酸搅拌。还有提纯工艺,取一定量样品溶解在乙酸乙酯溶剂后,分批次倒入漏斗,每次加入适量 25% 氯化钠水溶液,摇晃混合、静置分层,将上层乙酸乙酯倒入旋蒸瓶,在 50~130℃ 温度条件下旋蒸得到最终产品。

环氧乙烷加成数对产物亲水性起着关键作用,加成数越多,亲水性越强,在水中的溶解性等性能也会相应改变。

该合成方法优势明显，能通过调节原料比例、反应条件等合成性能多样的产品，满足不同行业和应用场景需求，且原料来源广泛，有助于规模化生产。但也存在局限性，环氧乙烷生产对工业装置和工艺条件要求较高，成本影响产品成本。部分工艺存在废气、废水排放及有机溶剂使用问题，若处理不当会给环境带来压力，且部分产物自然降解性能有待提高。

（二）多元醇型合成方法

多元醇型非离子型表面活性剂通常以多元醇和脂肪酸为主要原料。在原料选择上，多元醇的羟基数量与位置对最终产物性能和结构影响显著。脂肪酸的碳链长度和饱和度同样关键，长碳链脂肪酸合成的表面活性剂亲油性更强，适用于油包水型乳化体系。不饱和脂肪酸赋予产物更好的柔韧性及低温流动性，在对温度敏感的应用场景更具优势。

此合成方法基于酯化反应构建分子结构，反应需在适当温度和催化剂存在下进行。温度一般控制在 150℃ 到 250℃，该区间可使反应速率适宜，避免原料或产物因温度过高而过多分解。催化剂常选用对甲苯磺酸、浓硫酸等酸性催化剂，能有效降低反应活化能，加速酯化反应。以山梨醇和硬脂酸合成司盘为例，将山梨醇、硬脂酸和适量对甲苯磺酸催化剂加入带搅拌、加热和冷凝回流装置的反应釜，搅拌下缓慢升温至反应温度，反应中通过分水器除水促使反应正向进行，反应结束后经中和、水洗、减压蒸馏等后处理得到目标产物。多元醇型非离子表面活性剂在食品、医药等对安全性要求高的领域适用性独特。在食品工业中，像蔗糖脂肪酸酯这类多元醇型表面活性剂，由于其具有良好的乳化、分散性能，且无毒、无异味，对人体无害，符合食品添加剂的相关标准，常被用作乳化剂应用于饮料、乳制品、糕点等众多食品中，有助于使油脂均匀分散在体系内，改善产品的口感与质地。在医药领域，一些多元醇型表面活性剂可以作为药物的增溶剂，提高难溶性药物的溶解度，利于药物在体内的吸收与发挥药效，同时其相对温和的性质也减少了对人体的刺激性。

从产品性能方面来看，多元醇型表面活性剂乳化稳定性良好，分子结构中多元醇与脂肪酸酯部分协同作用，能在油水界面形成稳定吸附层，阻止乳液滴聚并使乳液长时间稳定。如化妆品乳液配方中使用此类表面活性剂作为乳化剂，可确保产品储存和使用时不分层。但该类型也存在不足，如部分产品生物降解性有限，在自然环境中难被微生物完全分解，可能造成环境污染，不符合环保要求。在应用范围方面，虽在特定领域作用不可替代，但相比聚氧乙烯型等，受成本和性能局限影响，其在工业清洗等大规模应用场景使用量较少。

（三）烷基酚聚氧乙烯醚型合成方法

烷基酚聚氧乙烯醚型非离子型表面活性剂合成通常以烷基酚和环氧乙烷为主要原料。烷基酚作为亲油基提供者，其碳链结构和长度对产物亲油性影响突出，且烷基酚化学稳定性良好，在合成及应用中耐受性良好。环氧乙烷赋予产物亲水性，其加成数量可调节，使合成的烷基酚聚氧乙烯醚适用于不同油水体系环境。

合成工艺中，反应原理是烷基酚在催化剂作用下与环氧乙烷发生加成反应。先将烷基酚投入反应釜，加入适量碱金属氢氧化物等催化剂，升温至 120℃ 到 180℃，逐步通入环氧乙烷发生气体反应。反应温度的精确控制至关重要，此温度区间利于反应平稳进行，过高易导致副反应增多，过低则反应速率过慢。压力控制在 0.2MPa 到 1.0MPa 之间，确保环氧乙烷在液相与烷基酚充分接触反应。

在参数控制方面，催化剂用量占烷基酚质量的 0.1% 到 1.0%，用量过多会使产物杂质增多影响质量，过少则反应速率不理想。环氧乙烷通入速度需综合反应釜容积、搅拌速率和温度等因素，保证均匀参与反应，使产物分子量分布窄，性能稳定。

烷基酚聚氧乙烯醚型表面活性剂在工业清洗领域表现出色，乳化、渗透性能良好，能有效去除油污，对金属、陶瓷等材质表面污垢清洁效果佳。在机械制造业清洗零部件时，可快速润湿表面，分散乳化油污，便于漂洗。在纺织印染方面，作为匀染剂、润湿剂，帮助染料均匀分散于染液，使织物染色均匀、色泽鲜艳。

然而，其环保性能存在问题。生物降解性差，在自然环境中难被微生物快速分解，易在水体、土壤等环境介质积累，长期可能危害生态系统。部分烷基酚聚氧乙烯醚生物降解代谢物有内分泌干扰效应，如壬基酚聚氧乙烯醚降解产生的壬基酚是致癌物。在安全性方面，因环境残留和对生物体不良影响，部分国家和地区限制其使用量，我国洗衣粉国标已禁止部分烷基酚聚氧乙烯醚的使用。

Q 非离子型表面活性剂的市场发展前景

（一）市场需求趋势

随着生活水平的提高，人们对高品质日化产品消费能力和意愿有所增强，个人护理领域对非离子型表面活性剂需求从量到质改变，中高端产品市场份额扩大。我国制造业大国地位促使众多工业领域发展，催生大量需求。如电子工业对高精度清洗、无腐蚀性的非离子型表面活性剂需求凸显。新能源领域随着锂电池产业的发展，相关表面活性剂应用不断拓展。虽然市场需求变化带来了机遇，但同时也带来了挑战。增长的需求为企业提供了广阔市场，促使企业加大研发投入，开发多元产品推动行业技术进步。但不同领域性能要求差异大，对企业研发和生产能力要求更高，

企业需精准把握需求特点布局。同时,环保要求严格使企业在满足需求的同时,还要更加注重绿色环保的可持续性,如此便会增加研发和生产成本,从而考验企业的资金实力和技术创新能力。

(二)技术创新方向

1.绿色环保技术

(1)从环保法规方面来看,各国加紧制定政策限制污染物排放,提高产品环保指标。促使企业寻求绿色发展路径,否则面临市场淘汰风险。绿色合成工艺研发多方向推进。采用可再生原料是趋势,如以天然油脂、淀粉等合成表面活性剂,以植物油氢化产物高级脂肪醇与葡萄糖合成烷基糖苷,原料可再生,生态安全性、表面活性、复配性能和生物降解性良好,是新型绿色表面活性剂的代表。还有以天然可再生资源为原料,经自制催化剂多步合成反应,制备的非离子表面活性剂成本低、效果好,在工业清洗剂和纺织助剂应用良好。实现工业化生产和商品化应用,且生产无废弃物排放,符合环保要求。

(2)绿色环保型产品开发和市场应用方面,生物基表面活性剂前景广阔。以烷基糖苷为例,在日化行业用于洗发水、沐浴露、护肤品等个人护理产品,满足消费者绿色环保需求;在工业清洗领域,凭借乳化、去污能力和环境友好性,逐步替代传统产品。随着市场对环保产品认知度的提高和消费的升级推动,其市场份额有望扩大,未来有望在更多领域推广应用,成为主流产品之一。

2.高性能产品研发

为满足高端领域严苛性能要求,高性能产品研发成为行业焦点,核心是通过多种技术途径提升关键性能指标。

(1)提高表面活性方面,分子结构设计至关重要。如在脂肪醇烷基化物中引入氧化苯乙烯结构,研发的新型表面活性剂在去污、除油、乳化能力强的同时,低温流动性提高、泡沫降低,综合应用性能提升。能够合理调节亲水基与亲油基比例及结构,也能改变表面活性,使其在低浓度发挥良好乳化、分散作用。

(2)稳定性提升方面,新型催化剂的应用是比较关键的一步。如乙氧基化反应合成聚氧乙烯型非离子表面活性剂时,选用特定碱性催化剂,活性强、能在温和条件下高效催化反应,有助于合成分子量分布窄、稳定性高的产品,在不同环境下性能稳定,不易分解失效。

(3)增强生物降解性方面,除选天然可再生原料外,分子结构改性有效。如针对烷基酚聚氧乙烯醚型表面活性剂生物降解性差问题,通过引入易降解官能团改变分子结构,

使其在自然环境下易被微生物分解,降低生态危害,保留原有性能优势。

(4)高性能非离子型表面活性剂在高端市场应用前景广阔、竞争优势显著。航空航天领域,飞行器表面清洗、防护和特殊材料加工处理,都需要高稳定性、低腐蚀性且能在极端环境下工作的表面活性剂。高性能的产品不但能满足要求,而且还可保障设备性能安全。在电子领域,电子元件的高精度清洗要求表面活性剂溶解性好、低残留、对电子材料无损害,而只有高性能产品才可有效去除污垢杂质,避免影响电子元件,助力电子产业高质量发展。随着高端制造业和高新技术产业进步,对高性能非离子型表面活性剂需求持续增长,市场潜力巨大,推动行业向高性能、高质量创新发展方向。

Q 结束语

总体来说,非离子型表面活性剂行业处于关键发展阶段。非离子型表面活性剂的合成方法各有特点与局限性,需优化改进。虽然市场需求增长带来了发展机遇,但也使企业面临性能和环保方面的挑战。绿色环保技术是发展的必然趋势,而可再生原料应用和绿色合成工艺研发能够推动行业的可持续发展。由此可以看出,生物基表面活性剂的发展前景非常可观。通过高性能产品研发可以满足各行业的高端需求,提升企业竞争力。在此情况下,行业企业应紧跟趋势,加大研发创新投入,在满足市场需求的同时注重环保,推动行业向高性能、绿色化发展,以更好地适应市场变化,促进企业实现长远发展。

参考文献

- [1]赵永杰,裴鸿.2020年中国表面活性剂行业原料及产品统计分析[J].日用化学品科学,2021,44(06):1-8.
- [2]花昌林,张锐,饶信权,等.PEG-Bola型非离子表面活性剂的合成与性能研究[J].中国新药杂志,2021,30(08):754-759.
- [3]汪侠.非离子表面活性剂烷基多苷的合成和应用研究[J].当代化工研究,2022(19):170-172.
- [4]胡毅,焦提留,霍月青,等.几种聚氧乙烯醚化非离子表面活性剂的性能研究[J].应用化工,2021,50(07):1812-1815.

作者简介:

郭晓锋(1980—),男,满族,辽宁朝阳人,硕士,工程师,联泓(江苏)新材料研究院有限公司,研究方向:聚醚的合成工艺。

耿丽(1979—),女,汉族,黑龙江牡丹江人,硕士,工程师,江苏威检测有限公司,研究方向:环境检测。