

# 阴离子表面活性剂的应用与创新

徐星喜

(上海喜赫精细化工有限公司, 上海 201620)

**【摘要】**阴离子表面活性剂是表面活性剂家族中的一大类别,在工业、农业以及民用产品中应用广泛。文章重点介绍了常用阴离子表面活性剂的特点、生产工艺以及在农业、纺织业、建筑业、石油、日化洗涤用品及化妆品中的应用,并展望了阴离子表面活性剂的发展前景。

**【关键词】**阴离子表面活性剂;生产;应用;发展趋势

近年来,中国的表面活性剂工业发展迅速。根据中国洗涤用品工业协会表面活性剂专业委员会的统计数据,2010年全国主要生产企业阴离子表面活性剂的总产量为68万吨,其中LAS为34.42万吨,占50.62%;AES为23.39万吨,占34.4%;AOS为4.8万吨<sup>[1]</sup>,占7%,其他(快T、磷酸盐、羧酸盐等)有5.38万吨,约占7.9%<sup>[1]</sup>。

目前,我国表面活性剂工业已有相当大的生产规模,设备和技术已越来越接近国际水平,产品数量、种类和质量都有大幅度增长和提高<sup>[2]</sup>。本文主要介绍表面活性剂中产量最大、用途最广的阴离子表面活性剂的现状和发展趋势。

## 1. 阴离子表面活性剂的市场与现状

阴离子表面活性剂目前已经投入生产和使用的主要品种有十二烷基苯磺酸(LAS)、脂肪醇醚硫酸钠(AES)、脂肪醇硫酸钠(AS)、脂肪醇(醚)硫酸铵(铵盐,AESA,LSA)、-烯基磺酸钠(AOS)、脂肪酸甲酯磺酸盐(MES)、脂肪酸甲酯乙氧基化物磺酸盐(FMES)、醇醚羧酸盐(AEC)、磺基琥珀酸盐、氨基酸盐等<sup>[3]</sup>。其它还有如重烷基苯磺酸盐、石油磺酸盐、萘磺酸盐、木质素磺酸盐等阴离子表面活性剂,但这些表面活性剂特用于某些工业应用领域,实际生产和消耗量较小。

在阴离子表面活性剂中,磺酸盐、硫酸盐类表面活性剂占据了绝对主要的市场地位和产销量,这类表面活性剂的现状和发展趋势大致也代表了阴离子表面活性剂的现状和发展。在众多的磺化、硫酸化类阴离子表面活性剂中,烷基苯磺酸钠LAS和醇醚硫酸钠AES作为传统的表面活性剂依然保持着主要的市场份额<sup>[4]</sup>。脂肪酸甲酯乙氧基化物磺酸钠FMES凭借其均衡的各项性能而取得迅速发展,应用日益广泛<sup>[5]</sup>。AESA、LSA铵盐主要应用于中高档的个人洗护用品中,但受市场的限制,其发展速度平缓,市场规模也较小<sup>[6]</sup>。仲烷基磺酸钠SAS由于净洗性能较差,产量和市场占有率

不断减小<sup>[7]</sup>。

### 1.1 十二烷基苯磺酸钠 (LAS)

2010年国内LAS的总产量约为34万吨,是表面活性剂中产销量最大的品种,市场供需基本处于平衡状态。国内LAS的产销主要控制在金桐、南烷、抚顺洗化、天津三智、安阳兴亚等专业生产厂手中,南风、白猫、浪奇等企业以自己配套生产磺酸为主的洗涤剂厂也瓜分了部分市场份额。国内市场上的原料烷基苯主要由中石化金陵烷基苯厂、南京金桐和中国石油抚顺洗化厂这三家企业提供。近年来,由于石油价格居高不下,致使生产磺酸的原料烷基苯的价格一路上扬,导致国内磺酸价格也涨到了近11800元/吨,给下游的化工生产厂家造成了很大的成本压力。

十二烷基苯磺酸及其钠盐具有很强的脱脂能力,泡沫高,渗透力好,适用范围广。其存在的缺陷是不耐硬水,在使用十二烷基苯磺酸钠的同时往往需要复配一些软水类物质,如磷酸盐、EDTA等。另一个缺陷是使用烷基苯磺酸复配的产品浓度不宜太高,否则容易分层<sup>[8]</sup>。

### 1.2 脂肪醇醚硫酸钠 (AES)

AES具有良好的去污性能和泡沫性能,而且配伍性、耐硬水、低温水溶性等综合性能均十分优异,是继LAS之后产量居第二位的阴离子表面活性剂。AES的起始原料是脂肪醇。根据脂肪醇的来源,AES可分为油脂基、石油基和煤基三大类。目前国内主要有两种类型的AES产品:一种以合成醇为原料(2EO-AES);一种以天然月桂醇为原料(3EO-AES)。AES是醇系表面活性剂中最重要的品种,国内主要应用于民用洗涤剂(洗衣液、餐具洗涤剂)、个人护理用品(香波、浴液、洗手液)等领域,另

外还可应用于工业清洗、纺织、石油等多个工业领域。近年来,以天然油脂为原料的脂肪醇及其衍生产物发展迅速,也促进了醇系表面活性剂的发展<sup>[9]</sup>。

近年AES每年保持10%左右的增长。经过几年来的激烈竞争,AES市场格局有所改变。原先由洗涤剂厂生产的产品在市场上所占份额已逐步萎缩,如西安南风、安庆南风、辽宁白猫等;而一些专业生产企业如中轻物产、浙江赞宇等公司在近几年得到了快速发展。现在,活跃在AES市场上的主要供应商为浙江赞宇、中轻化工、湖南丽臣、吉化电石厂等。

AES同时具有乙氧基和磺酸基团,因此同时具有阴离子和非离子的特性,AES具有优良的耐硬水和乳化能力,并且易于无机盐增稠,特别受日化领域的青睐。尤其是AES对皮肤温和,在防皮肤干裂粗糙方面表现好。但其缺点是在酸性介质中的稳定性稍差,使用条件必须控制pH值大于4,否则去污力会大打折扣<sup>[10]</sup>。

### 1.3 烯基磺酸钠 (AOS)

-烯基磺酸钠是由-烯烃经SO<sub>3</sub>磺化、中和、水解反应得到的一种阴离子表面活性剂。它具有良好的起泡性、抗硬水性和生物降解性,去污力好,是一种适于生产洗衣粉、复合皂、餐具洗涤剂、香波、浴液等日用洗化产品的理想原料,也可应用于造纸、石油、工业清洗等领域。

AOS国内最早由中国日化院开发,并于1997年在轻工化工实施了产业化。南风化工于2000年开始生产AOS,曾经是国内产量最大的AOS生产企业,生产的AOS产品主要用于自产洗衣粉中。之后,浙江赞宇、湖南丽臣、安徽全力和广州浪奇等单位先后实现了AOS的工业化生产。到目前

为止,已有近20套磺化装置配套建有AOS生产系统,全国AOS的总生产能力已超过40t/h<sup>[11]</sup>。

AOS最大的优势是易于干燥喷粉。相对于直链烷基苯磺酸来说,其优点是抗硬水性较好,洗净力较好,生物降解性好,因此目前在各种粉状净洗剂中仍然占据一席之地。

然而,在洗衣液中应用时,AOS具有强烈的降黏作用,会导致产品变稀。此外,由于其原料-烯烃的价格持续见涨,导致AOS行情急转直下,消耗量也逐年下降,从供不应求到需求疲软<sup>[12]</sup>。

### 1.4 脂肪酸甲酯磺酸钠 (MES)

MES一直是表面活性剂研究及洗涤剂行业的一个热点。对MES的研究已有几十年的历史,国内中国日化院、江南大学、大连理工大学等都曾经进行过MES的研究。另外,山东金轮、广州浪奇等都在积极推动MES的产业化。

目前,所有企业都在众口一词地赞扬MES的优越性能,如MES基于天然原料、性能温和、低毒、配伍性和生物降解性良好等。MES在国内产业化比较晚的主要原因有二:第一是MES在生产技术上仍存在难点或瓶颈,如MES在生产过程中对反应温度敏感,容易生成颜色较深的副产物二钠盐,影响MES成品的色泽与外观;另外,过多的二钠盐也会导致MES的洗涤力大幅下降,使用过程中出现盐析现象。第二是MES的净洗性能与传统的LAS等相比差距甚远,因此MES基本上不能用于工业清洗<sup>[13]</sup>。

### 1.5 脂肪酸甲酯乙氧基化物磺酸钠 (FMES)

由于净洗性能不能达到工业清洗的要求,MES始终无法规模化应用。为了提高MES的净洗性能,适应工业

清洗的应用,用石油衍生物硬脂酸代替天然椰油酸或棕榈酸,然后与7mol的环氧乙烷乙氧基化,制得EO数为7的乙氧基化的脂肪酸甲酯,最后将其磺化得到磺酸盐FMES。

与MES相比,FMES具有乙氧基结构,其净洗与去污能力得到大大提升,具有极佳的分散力,是一种乳化、净洗、耐碱各项指标均衡的全能型表面活性剂。FMES是目前在阴离子类表面活性剂中除油脱脂与去污力最高的产品,特别适用于硬表面清洗和纺织品的前处理<sup>[14]</sup>。

FMES虽然不属于绿色表面活性剂的范畴,但凭借其高效的净洗效果,近年来获得迅速发展。如位于美国加州的阿纳达科石化,2008年的产量仅为1.3万吨/年,2010年的产量已高达4.1万吨。墨西哥喜赫石化FMES的产量也在逐年快速增长,每年产量维持在12万吨以上<sup>[15]</sup>。

#### 1.6 仲烷基磺酸钠(SAS)

仲烷基磺酸钠是上世纪八十年代快速发展的一种产品,是磺酸基连接在仲碳位置,并具有对称结构的磺酸盐。它对环境特别友好,泡沫丰富,适用于家庭洗涤领域。尤其值得注意的是,与非离子表面活性剂复配后,SAS的泡沫会急剧增加。

仲烷基磺酸钠的亲水性基团——磺酸基团一定在中间的位置。该产品的渗透力极佳,但是净洗能力较差,尤其对于油脂或蜡几乎没有净洗能力。因此,主要用于轻垢对象的洗涤<sup>[16]</sup>。

随着洗涤行业对表面活性剂除油脱脂能力的要求越来越高,仲烷基磺酸钠在洗涤领域的使用量逐渐减少,这也导致Sasol公司宣布关停其SAS生产线,Clariant公司也宣布未来几年的持续减产。鉴于这一现实,SAS将逐

渐被其他表面活性剂所取代。

#### 1.7 脂肪醇(醚)硫酸铵(AESA,LSA)

铵盐具有泡沫丰富、细腻,对皮肤温和,刺激性低,黏度可调节性好等优点。其pH值与皮肤接近,特别适用于配制中高档洗发香波,还可用于洗面奶、沐浴液、洗手液等洗衣液。铵盐面市以来,一直走中高端市场,对产品品质等各方面的要求较高。国内铵盐生产企业最多时有10多家,经过近几年的发展,其生产呈现越来越集中的趋势,应用市场也主要集中在广东等南方省份。现国内主要生产企业有北京罗地亚、湖南丽臣、中轻化工、浙江赞宇等<sup>[17]</sup>。

#### 1.8 其他阴离子型产品

脂肪醇醚羧酸盐类(AEC)产品具有类似于AES的结构与性能。与AES相比,AEC的泡沫更加丰富细腻,更具有持久性,对皮肤更加温和,特别适用于作为洗面奶、沐浴露等亲肤日化产品以及化妆品<sup>[18]</sup>。AEC类产品的生产工艺比AES复杂很多,如何提高目标产物得率、减少副反应和残留醇是制约脂肪醇醚羧酸盐大面积推广的主要阻力。另一方面,醇醚羧酸盐泡沫高且持久稳定、渗透性差,价格较贵,也限制了其在工业清洗领域的发展。

磷酸酯类(AEP)表面活性剂种类繁多,大致分为两类:一种为脂肪醇直接磷酸酯化类产品,具有低泡与增溶特点,其耐碱与净洗力较差;另一种为脂肪醇聚氧乙烯醚的磷酸酯产品,其耐碱性能出众,可以显著提高其他表面活性剂的耐碱性能。

磷酸酯类表面活性剂还具有其他很多独特的优点,如抗静电、柔软、清爽等。因此,它也被应用于一些有特殊要求的工业领域,如皮革脱脂、塑料抗静电、酸性缓蚀剂等。

## 2. 阴离子表面活性剂的发展趋势

### 2.1 总体用量将持续稳定地增长

随着我国经济社会的高速发展和人民生活水平的不断提高,与人民生活密切相关的洗涤剂、化妆品及表面活性剂等行业都将得到快速的发展。另外,表面活性剂在各个工业应用领域的拓展,大大增加了其市场需求,刺激了表面活性剂的创新和发展。与此同时,随着中国经济综合实力的提高和全球经济一体化进程的加快,中国产品的国际竞争力将得到进一步提高,表面活性剂的出口量也将快速增长。因而,我国表面活性剂的生产 and 消费在今后将得到持续、稳定增长,总体市场前景看好。

### 2.2 新产品将不断涌现

近年来,传统阴离子表面活性剂产品的竞争愈演愈烈。出于因应行业发展和技术进步的需要,同时迫于竞争压力,表面活性剂生产企业必将更加注重技术创新和新产品开发<sup>[19]</sup>。因而,未来几年新型表面活性剂将不断涌现,产品结构将进一步优化,性能优良或独特的新产品将得到更多的开发和应用。

在开发和使用时,企业将更加注重产品的性价比,更加关注产品的安全性、资源的可再生性、环境的友好性。因此,采用天然可再生资源为原料生产的性能优良、具有价格竞争优势的表面活性剂将受到格外重视,并得到快速发展。从总的发展趋势来看,以天然油脂、淀粉、蛋白质、糖等原料替代石油化工原料生产新型表面活性剂不仅已成为可能,而且已经是一种必然的趋势和方向。

### 2.3 生产专业化、规模化

2000年以前,我国的表面活性剂生产企业大多依附于洗涤剂厂或日化厂。很多以配套自用为主,规模较

小、布局分散。近年来,表面活性剂生产逐步向专业化、规模化方向发展,目前已经涌现出如南京金桐、抚顺洗化、湖南丽臣、中轻物产、浙江赞宇、吉林石化等规模较大或专业性较强的生产企业。全国投入运转的磺化装置曾一度多达130套,总产能达到220t/h以上。如浙江赞宇科技在嘉兴投资新建的工厂,一个车间内就规划了四条生产线,单个车间的磺化生产能力就达13t/h。而且,单套磺化装置也向大型化发展,从前几年的1t/h至2t/h为主,发展到现在的3.8t/h至5.0t/h为主<sup>[20]</sup>。

#### 2.4 产能过剩、激烈竞争将不可避免

虽然我国阴离子表面活性剂总体用量将持续稳定地增长,但生产企业产能扩张速度更快,导致目前出现产能过剩的情况,预计两三年后产能过剩还将更为严重。由于表面活性剂生产企业间的竞争将更趋激烈,因此行业重组、洗牌将不可避免。不断地开发新产品、改进生产工艺和产品质量,同时强化企业内部管理,降低成本和消耗,提高企业的综合竞争力,将成为表面活性剂生产企业能否在竞争中脱颖而出的决定因素。

### 3. 阴离子表面活性剂的应用

阴离子表面活性剂具有生产工艺成熟、原料易得、适用范围广等诸多优点。因此,广泛应用于农业、工业清洗、纺织印染、日用化学品等诸多领域。

#### 3.1 农业

大多数农药都是油溶性有机物,不能直接使用。为了安全、经济、有效地使用,必须将农药与表面活性剂等助剂按配方加工成制剂产品,如制成乳油、悬浮剂、可湿性粉剂等。这样,农药用水稀释后大面积在农作物

上均匀喷洒,可以促进其活性组分渗透入植物内部。

现在,用阴离子与非离子的复配物作为农药乳化剂,可以使乳化剂的用量由20%~40%下降为3%~10%。这有利于提高农药的化学稳定性,同时降低成本、减少污染,提高了药效利用率<sup>[21]</sup>。此外,在杀虫剂、除锈剂、植物生长调节剂中常加入烷基苯磺酸盐、木质素磺酸盐等作乳化剂和润湿剂,可用于改良土壤。

#### 3.2 建筑业

混凝土是建筑业中广泛使用的材料。在制备混凝土砂浆时,一般要加入一定量的表面活性剂以改善混凝土的性能,如木质素磺酸盐系列用作减水剂、引气剂,十二烷基磺酸盐及复配物用作砂浆塑化剂等。

在建筑用涂料中,表面活性剂主要起润湿、乳化、分散、稳定和防静电作用。如用作分散剂的亚甲基双茶磺酸钠、聚丙烯酸盐等阴离子活性剂,可以降低乳化系统中的界面张力,阻止絮凝,打碎胶团,改善涂料的遮盖力、流动性和流平性,同时减少涂料的发花现象和颜料的沉降现象等。多数涂料含有固体颗粒,如体质颜料作为分散的第一步,要充分地润湿,向水和涂料中加入阴离子表面活性剂可降低固-液表面张力,产生稳定的不相溶混合物<sup>[22]</sup>。如果缺少合适的润湿剂,涂料会絮凝和沉降,分散时间将延长,涂层会失去光泽。

#### 3.3 化妆品工业

阴离子表面活性剂在化妆品中的应用越趋广泛,其主要作用是作乳化剂、增溶剂、润湿剂和有效组分增效剂。阴离子表面活性剂在这一领域获以广泛应用的最重要考虑是其药理学和毒理学上的安全性。如单烷基磷酸酯盐,由于在皮肤和毛发洗涤用

品中被大量使用,成为日本花王公司的一个得意品种,并在菲律宾花王子公司内部专门生产此品,商品牌号为MAP。MAP的钠盐、钾盐具有良好的发泡性和乳化性、适度的洗净力以及特有的皮肤亲和性,因而能满足毛发洗净剂的要求,已在不少洗面奶、沐浴露以及婴幼儿洗涤用品中使用<sup>[23]</sup>。

美国PPG公司于1986年开发了Avanel系列阴离子表面活性剂,这是一种羧酸盐类阴离子表面活性剂。由于其结构式中的疏水基和乙氧基聚和度可以调节,因而可以人为地控制其某些性质以适合实际需要。Avanel既耐酸又耐碱,其发泡性能不受硬水的影响,可完全被生物降解,适于制家用清洁剂。例如,它对皮肤非常柔和,可用于护肤膏霜类化妆品;对皮肤和眼睛的刺激性低,故适于调理香波,且具有持久的保湿作用;它还可用于药物香波和去头屑香波,其抗活性过氧化物和药物的能力促进了产品的稳定性,且产生的泡沫易于漂洗。

国内多年来一直沿用至今的“209”表面活性剂是油酰基甲基牛磺酸钠,也是一种阴离子表面活性剂。它多用于对皮肤温和的洗涤剂、洗发香波产品中,在一定pH值下不仅有软化、调理头发的功效,而且可以防止头皮发痒<sup>[24]</sup>。上个世纪80年代初,日本的资生堂与东邦化学合作开发了椰油酰基甲基牛磺酸钠(净洗剂201),并在高档香波、沐浴露和洗面奶中加以应用,产品具有抗水、抗油、对皮肤附着力好等特点。

#### 3.4 石油工业

石油工业上也在广泛使用表面活性剂。据估计,用于油田开发的阴离子表面活性剂约占工业用量的17%。在钻井中,用阴离子表面活性剂配制钻井液,可以湿润、冷却钻井工具。

目前钻井液中大量用到磺酸盐类表面活性剂：如木质素磺酸盐用作稀释分散剂，石油磺酸盐用作破乳剂，烷基芳基磺酸盐用作润滑剂<sup>[25]</sup>。

在强化采油方法中，利用表面活性剂驱油是一种主要方法。例如，烷基酚聚氧乙烯醚磺酸钠可用于高含盐量高温地下岩层的三次采油，而且若与烷基苯磺酸混用，可以改进地下岩层（含酸溶性组分）的渗透性和孔隙度，提高石油采出率；与烷基酚聚氧乙烯醚同时使用，可用于含盐度高的水矿层，也可用渗透变化性大的岩层进行三次采油。

### 3.5 纺织工业

纺织印染工业中许多工序都需要用到大量的表面活性剂。比如，在前处理过程中会用到大量的具有清洗作用的阴离子表面活性剂，在染色与后整理过程中会用到渗透作用的阴离子表面活性剂。另外，一些功能性产品如匀染剂、固色剂等，有些结构也是阴离子类型的。

渗透剂：在纺织印染工艺中，用到的阴离子型渗透剂主要有三种，快T、仲烷基磺酸钠以及耐碱的磷酸酯类渗透剂<sup>[26]</sup>。

净洗剂：纺织印染用到的阴离子净洗剂主要有十二烷基苯磺酸钠LAS、仲烷基磺酸钠SAS和脂肪酸甲酯乙氧基化物磺酸钠FMES。LAS和SAS渗透性能较好，主要用以提高净洗剂的渗透性；FMES则侧重于乳化净洗性能，用以提高净洗效果，如毛效和退浆率。在一些碱性工艺中，也会使用磷酸酯类阴离子表面活性剂以提高耐碱性能<sup>[27]</sup>。

染色助剂：多为具有分散性能的阴离子表面活性剂。它对染料具有

较强的增溶和分散能力，对织物和颜料有较强的亲和力，从而减慢上染速度，对具有阴离子结构的染料起到匀染的作用<sup>[28]</sup>。

### 3.6 日用化学工业

阴离子表面活性剂在日用化学品中的应用较多，最常见的肥皂即是阴离子型表面活性剂，其主要成分是硬脂酸钠。阴离子产品具有泡沫高且细腻、价格较低等特点，可以降低洗衣液、洗洁精等产品的成本、并能提高产品透明度。一些粉状的阴离子产品如AOS、LAS等，也可以直接应用于洗衣粉配方中<sup>[29]</sup>。

## 4. 结束语

在表面活性剂的生产中，阴离子表面活性剂是产量最大、品种最多的一类。它既是日化产品洗涤剂、化妆品的主要活性组分，在其他诸多工业领域也有广泛用途。无论是在工业领域还是民用领域，阴离子表面活性剂均可以发挥重要的作用。

### 参考文献

- [1] 程宁. 2010年度全国表面活性剂原料及产品产销统计分析[J]. 日用化学科学, 2011 (4): 1-3.
- [2] 杨开宗, 徐慧兰. 表面活性剂的复配及其在工业清洗中的应用[J]. 日用化学工业, 2007 (3): 17-19.
- [3] 张明伟. 表面活性剂在农业制剂和农药中的应用[J]. 日用化学工业, 2003(6): 121-123.
- [4] 杨海天. 国内近期异辛醇磷酸酯表面活性剂合成与应用研究现状及发展趋势[J]. 精细化工, 2009(5): 28-33.
- [5] 孙蓓云. 脂肪醇聚氧乙烯醚在涂料工业中的应用[J]. 涂料工业, 2006(2): 19-28.
- [6] 徐光前. 阴离子型表面活性剂的生产与应用[J]. 日用化学工业, 2008, 7: 32-36.
- [7] 韩巨岩, 等. 烷基苯基聚氧乙烯醚磺酸盐[J]. 日用化学工业, 2007, 11: 11-13.
- [8] ARONSTEIN B N, ALEXANDER M. Effect of a nonionic surfactant added to the soil surface on the biodegradation of aromatic hydrocarbons within the soil[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 1993, 39: 386-390.
- [9] 程凤侠, 杨宗逵. 表面活性剂在纺织工业与羊

- 毛净洗生产中的应用[C]. 表面活性剂在改造传统产业及高新领域的应用战略研讨会论文集(扬州), 2002: 62.
- [10] ABDUL A S, GIBSON T L, RAI D N. Selection of surfactants for the removal of petroleum products from shallow sandy aquifers[J]. Groundwater, 1999, 28: 920-926.
- [11] 马建忠, 郑巨孟, 杨宗逵. 国内外造纸用表面活性剂的新进展[J]. 造纸化工, 1998.1.
- [12] KAWAI F, HANADA K, YOSHIKI T, et al. Bacterial degradation of a water-insoluble polymer (polypropylene glycol)[J]. Journal of Fermentation Technology, 1997, 55, 89-96.
- [13] 刘会娟, 马传国, 苗海卿, 等. 脂肪酸甲酯磺酸盐MES的研究进展[J]. 中国油脂2011(7): 54-57.
- [14] 王金平, 孙磊磊. 喜赫石化推出新型表面活性剂-脂肪醇聚氧乙氧基化物磺酸盐FMES性能介绍[C]. (第10届)中国日用化学工业研讨会论文集, 2009.6.
- [15] K. Soder. Production of FMEE and FMES: Introduction of pemex-chemicals[J]. Word Organic, 2007, 8(2): 187-191.
- [16] 王蕊, 张炳卓, 米振瑞. 仲烷基磺酸钠的研究进展[J]. 河北轻化工学院学报, 1997(1): 53-55.
- [17] 姚志钢. 氨基磺酸法合成十二烷基硫酸铵[J]. 表面活性剂工业, 1997 (3): 20-22.
- [18] 夏良树. 脂肪醇聚氧乙烯醚羧酸盐的合成、表面活性及应用性能研究[D]. 南华大学硕士论文, 2005.
- [19] 魏世林. 制革工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.1.
- [20] 孙明和, 胡建品. 我国三氧化硫磺化技术的最新进展[J]. 日用化学科学2010(9): 1-4.
- [21] BURY S J, MILLER C A. Effect of micellar Microbiology on biodegradation rates of hydrocarbons[J]. Environ Science Technology, 1993, 27: 104-110.
- [22] 魏群. 水性涂料界面活性分散剂的开发[J]. 中国涂料, 2008(11): 44-46.
- [23] TIEHM A. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the presence of synthetic surfactants[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1994, 60: 258-263.
- [24] 张邦全, 王绍政, 陈欣. 椰油酰基甲基磺酸钠的泡沫特性应用探讨[J]. 口腔护理用品工业, 2011(2).
- [25] GRAVES D, LEAVITT M. Petroleum biodegradation in soil: the effects of direct application of surfactants[J]. Remediation, 1991: 147-166.
- [26] Arved Datyner(澳大利亚). 表面活性剂在纺织染加工中的应用[M]. 北京: 纺织工业出版社, 1988.12.
- [27] 米贤明. 关于印染助剂的现状以及其研究方向的探讨[J]. 山东化工, 2011 (7).
- [28] 江兰玉, 吴洁, 等. 毛纺工艺学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 1997.6.
- [29] 相建强. 我国口腔护理用品工业发展回顾与展望[J]. 日用化学科学 2011(01): 1-2.