

文章编号:1002-1124(2005)04-0045-05

综
述

微乳化切削液及其进展

冯君茜¹, 胡德栋², 乔爱武¹, 黄安生³(1. 山东省警察学院 科技系, 山东 济南 250014; 2. 山东大学 材料科学与工程学院, 山东 济南 250061;
3. 中石化济南分公司, 山东 济南 250101)

摘 要:微乳化切削液是一种集乳化液和合成液优点于一体并具有良好极压性的新一代切削液, 其主要由表面活性剂、润滑剂、防锈剂、稳定剂、低粘度矿物油、杀菌剂和水等组成的透明液。本文介绍了这种微乳化切削液的性能、特点, 特别是微乳化液各种添加剂的研究应用情况, 同时介绍了微乳化切削液的作用机理和配制方法。指出这类产品的优越性及发展前景。

关键词:金属加工微乳液; 润滑性; 防锈性; 作用机理; 制备

中图分类号:TG174.42 **文献标识码:**A

Micro-emulsion as cutting fluid and its development

FENG Jun-qian¹, HU De-dong², QIAO Ai-wu¹, HUANG An-sheng³

(1. Scientific and Technological Department of Shandong Police Institute, Jinan 250014, China;

2. College of Materials and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;

3. Jinan Subsidiary, SINOPEC, Jinan 250101, China)

Abstract: Micro-emulsion cutting fluid is a new type cutting fluid, which includes the advantages of both emulsion and synthetics. It consists of surfactant, lubricant, antirust additive, stabilizer, mineral oil with low viscosity, biocide and water etc. In this paper, the properties and characters of transparent were presented, especially the research and the application of kinds of additives which micro-emulsion cutting fluid included. Meantime, preparation and acting mechanism of micro-emulsion cutting fluid were also introduced. Its advance and future were described.

Key words: metalworking micro-emulsion; lubricity; antirust ability; acting mechanism; preparation

金属加工液在国外称作 Metalworking fluid, 是指用于金属及其合金在切削、研磨、冲压、轧制和拉拔等各种加工过程中所使用的润滑剂, 在国内习惯称工艺用油。当今, 金属加工液按使用特性分为金属切削液和金属成型液(含拉拔、轧制、锻压等)两大类。每一品种再按介质状况分为油基型(Straight oil)和水基型(Water fluid)。油基型, 主要成分通常是矿物油(也有植物油或其他合成材料), 并加入少量的油溶性防锈剂、油性剂和含硫、氯、磷的极压剂。油基液润滑性能和防锈性能较好, 但存在易产生油雾, 易着火等缺点, 特别是还面临“能源危机”这样的难题。水基液主要由水组成, 具有良好的冷却性能和清洗性能, 成本较低, 其润滑性和防锈性液随着水溶性抗磨极压剂和防锈剂的不断合成而得到快速的改善, 并且, 该类符合“可持续发展”的社会要

求。水基型又分为可溶性油、半合成液(亦称为微乳液)和合成液。乳化液是矿油中加入乳化剂溶于水后形成的; 半合成液是由油、水、表面活性剂、助表面活性剂、和各种添加剂形成的透明油状液体; 合成液则完全不含油, 是一些化合物直接加入水后形成的透明液体。

微乳化切削液是一种介于乳化油和合成切削液之间的新型金属加工液产品, 它既具有乳化油的润滑性, 又有合成切削液的清洗性, 逐步发展为乳化油和合成液的换代产品。

发达国家已走过了从乳化液向合成液, 再向微乳化液发展的过程, 微乳化也得到了广泛的应用。我国目前仍以乳化液为主, 机械行业在 80 年代出现了研制生产和应用合成液的热潮, 从 90 年代才比较普遍地注重微乳化液的研制和应用。随着国外先进机械装备的不断引进, 必须随机引进大量微乳切削液产品, 因国产切削液性能不过硬, 满足不了工艺要求。进口微乳化液价格昂贵, 几乎是国产切削液价格的十倍左右。因而, 大力开发研究并试制这种新产品是发展我国机械工业所必须解决的问题。

收稿日期: 2005-02-26

作者简介: 冯君茜(1969-), 女, 讲师, 1992年毕业于石油大学炼制系, 2001年于山东大学获理学硕士学位, 在国内外已发表论文多篇。

胡德栋, 山东大学材料科学与工程学院, 博士。

微乳化液又分为两种:普通型和极压型,极压型在更为苛刻的条件下使用。极压微乳切削液,主要是在微乳化液产品的基础上,引入合适的极压添加剂,从而提高产品的使用性能,减少切削阻力,提高切削效率,并解决加入极压添加剂后,对微乳液防锈性、稳定性等性能产生的影响。此外,也对产品的气味、透明度等外观性能做合理调配,使产品更具商业价值。

1 微乳化液(半合成液)

1.1 微乳化液的性质

微乳化液是由水、油、表面活性剂(surfactant)和助表面活性剂(cosurfactant)在适当的比例下自发形成的透明或半透明、各向同性的热力学稳定体系。与普通乳状液相比,他无需激烈搅拌、超声均化等强乳化过程即可自发形成,无需外功,因而形成时所需的设备少、能耗小。对微乳化液与常规乳化液的一些性质的简略比较见表1。

表1 微乳化液与常规乳化液的性质比较

性质	微乳液	常规乳液
透光性	半透明至透明	不透明
分散性	液滴大小在5~10nm,分布均匀,普通显微镜下不可见	液滴大小多在0.1~2 μ m,有一定的分布,普通显微镜下可见
稳定性	热力学稳定体系,离心亦难以使之分层	热力学不稳定,易离心分层
乳化剂	用量多,常需辅以相当量的脂肪醇或醚等助乳化剂	用量相对少,不必添加助乳化剂
与油、水混溶性	与油、水在一定范围内可混溶	O/W型与油不混溶,W/O型与水不混溶

从表1可以看出,微乳液与乳状液的本质区别表现为两个方面:(1)微乳液是热力学稳定体系,而乳状液只是动力学意义上的稳定;(2)微乳液小球的粒径小于10nm,所以微乳液呈透明或半透明;而乳液小球的粒径为100~500nm,故体系是浑浊的。

1.2 微乳化油的组分选择及作用

微乳化油中包括了油、水、表面活性剂、防锈缓蚀剂、油性剂、极压剂、防霉杀菌剂等成分。

(1)油相和水相 微乳化油含量一般为10%~30%,油不仅有润滑作用,而且是油溶性添加剂的载体。微乳化油中的水分最高含量为45%,大量水的存在是有别于乳化油的一个主要特征。这不仅是偶和表面活性剂的需要,也为各类水溶性添加剂的使用提供了必要条件。从环境和健康出发,要求油中

芳烃的含量小于10%;从与添加剂的配伍性出发,石蜡基与环烷基的基础油较好。

(2)表面活性剂 微乳化液中分散相的高度细化和体系的稳定性是依靠表面活性剂的润湿、分散、乳化、增溶等作用实现的。在乳化油中,表面活性剂的用量为20%~25%,而在微乳化油中,其用量可高于40%,以保证分散相油滴细化,使体系保持高度稳定性。

表面活性剂是使油和水乳化的关键性物质,一般分为3种类型:阳离子型表面活性剂、阴离子型表面活性剂和非离子型表面活性剂。阳离子型表面活性剂通常使乳液显酸性,使乳液容易腐败变质,故极少用。阴离子型表面活性剂的特点是乳化性能好,并有一定的清洗和润滑性能,但抗硬水能力差,并易起泡。常与非离子型表面活性剂配对使用。非离子型表面活性剂在水中不电离,其亲水基主要是由具有一定数量的含氧基团(一般为醚基和羟基)构成,不宜受强电解质无机盐类存在的影响,也不易受酸碱的影响,与其它类型的表面活性剂相溶性好,能很好地混合使用,但由于在溶液中不电离,故在一般的固体表面上不易发生强烈的吸附,另外,随温度的升高,很多非离子型表面活性剂溶解度降低甚至不溶,这样会造成乳液浑浊。所以,通常通过调整阴离子型表面活性剂和非离子型表面活性剂的配比,使HLB值与分散相匹配,以获取最佳的分散、乳化效果,这是能否获得一个均一、稳定的体系的关键。大量表面活性剂的参与使微乳化液的渗透、清洗能力比乳化液大大增强,有利于保持刀具刃面和砂轮的锋利以及切削加工面的清净度,从而提高了切削效率和加工精度。

据文献报道^[1],唑啉类化合物在微乳液中可用作乳化剂、防腐剂、pH调整剂,并具有低泡沫性。另有文献报道称^[2],聚乙二醇具有高效润滑作用。乳化剂也在朝多效性发展。

(3)防锈缓蚀剂^[3,4] 为了保护机床、刀具及工件不受乳液的侵蚀,要在切削液中加入防锈缓蚀剂,以期在金属表面形成保护膜,或者形成钝化膜。

防锈添加剂主要由水溶性防锈剂和油溶性防锈剂两大类。水溶性添加剂有亚硝酸钠、苯并三氮唑、硼酸、三乙醇胺、磷酸盐、铬酸盐、植酸、苯甲酸钠、钼酸钠和无水碳酸钠等。他们与金属发生作用,并在金属表面生成不溶性的致密的氧化膜,阻止金属的电化学腐蚀。这类防锈剂多是电解质,用于乳液时,用量不易过大,以免发生电解现象而破坏乳液。油

溶性防锈剂主要有磺酸盐、高分子羧酸及其金属皂盐类、酯醇类、胺类、磷酸酯等。他们是极性很强的化合物,能优先吸附在金属表面或与表面化学反应生成保护膜,抑制氧及水对金属的接触,因此,它会与极压剂在金属表面的吸附发生竞争,使乳液的极压性下降。

亚硝酸钠有致癌作用,在西方发达国家,和一些发展中国家已为禁用产品。二乙醇胺的含量也不应超过 1%,因其在空气中容易氧化成致癌物质。常用的环境友好缓蚀剂如脂肪酸衍生物、胺类、咪唑啉类及三唑类^[5]。

(4)油性剂 为了保护刀具,提高加工质量,此类添加剂是微乳化油中不可缺少的组分。这类添加剂主要有动植物油脂,聚合脂肪酸及其皂,脂肪醇及多元醇,硫化油脂,酮类,胺类等有机物。它们是具有极性基的分子,能在金属表面形成定向吸附膜。在金属加工中,此膜能减少工件、切削、刀具之间金属的直接摩擦,降低工件表面粗糙度,提高工件精度并延长刀具使用寿命。

(5)极压剂 极压剂是含硫、磷、氯等元素的化合物,这些化合物在高温下与金属表面发生化学反应,生成化学吸附膜。化学吸附膜与物理吸附膜相比,耐较高的温度,故可用于极压润滑摩擦状态。

国内广泛采用氯化石蜡、硫化脂肪油、硫氯化棉子油、亚磷酸二丁酯、磷酸三乙酯、ZDDP 等作为极压剂。在磷类极压剂中引入 N、S、B 等元素形成的极压剂效果不错。P-N 具有较高的承载能力^[6,7];S-P-N 型磷元素在低速高扭矩条件下效果最好,在高速冲击负荷下效果很差,但硫元素在高冲击下对提高极压性能却最为有效,此外,由于胺的存在抑制了酸性磷酸酯的化学腐蚀磨损,所以该类极压抗磨添加剂具有较好的极压性、防锈性和抗氧化性^[8,9];B-P-N 型则具有良好的抗铜腐蚀性和优良的极压抗磨性能^[10,11];其他含 Zn 的磷类水溶性极压剂,也是近期研究的热点之一^[12],近期另一个研究热点是硼类极压剂^[13-16]。

该类添加剂具有良好的减摩抗磨性能和抗氧化性,对摩擦材料无腐蚀;有机硼酸酯分子中引入活性元素硫和磷则具有多种性能,除了增强抗氧化和减摩作用外,其抗磨性和摩擦改性均变好;若引入氮元素,可明显提高承载能力和抗磨性能。据文献报道^[17,18],有机钼化合物作为极压抗磨添加剂,不仅具有优良的抗磨、减摩、抗极压性能,而且还有防腐蚀性能。二聚酸及其衍生物是水基金属加工液良好

的添加剂^[19],与水相溶而生成透明的水溶性润滑液。其油性基团具备良好的减摩抗磨作用,在极压条件下,二聚酸与摩擦表面反应生成二聚酸金属盐皂膜起极压抗磨作用,此外,还能提供防锈性。其可用于多种金属材料加工,包括含铁和非铁金属,如钛、镁、黄铜、铜、青铜或其它相类似的易于被污染的金属的加工。由于油基产品向水基产品发展,水溶性极压剂的研究也越来越受到人们的重视^[20]。这类产品有脂肪酸的有机硫磷酸盐、壬基酚聚氧乙烯醚磷酸酯,烷基氧乙烯醚有机磷酸胺盐等。最近发现,高碱值磺酸盐在重金属加工中用作惰性极压剂(PEP),能在金属表面形成物理覆盖的碳酸盐保护膜,具有低剪切强度,在金属加工中具有优异的极压润滑性能,与含硫极压剂复合使用有显著的协同效应,对多数金属没有腐蚀,且具有防锈作用,对人和环境基本无害,符合工业卫生和环保要求。还能改善表面光洁度,有极好的防锈能力,对大多数金属不腐蚀,安全并无环境污染。

(6)防霉杀菌剂 微乳液容易滋长微生物,使加工液变质,使用寿命变短。常用的杀菌剂有甲醛释放剂、酚类化合物、水杨酸类、杂环化合物等。目前,我国常用的为三丹油。

(7)其他 微乳化液中使用的辅助添加剂还有消泡剂、偶和剂、pH 调整剂、金属离子掩蔽剂等。消泡剂常用的为硅油类,其不溶于水,分散于水中,不能加多,否则,体系易浑浊。偶和剂用来增加体系的稳定性,其性能取决于自身的亲水-亲油之间的平衡。体系 pH 值应保持在 8~10 之间,pH 值过低,易滋生细菌霉变;pH 值过高,铝腐蚀严重。金属离子掩蔽剂能络合水中的钙镁离子。这些添加剂如何使用,应根据具体情况而定。

2 微乳化液作用机理

2.1 润滑作用

润滑作用的好坏,直接关系到刀具、模具的使用寿命、工件的表面粗糙度和精度。若加工液润滑作用好,则可延长刀具、模具的使用寿命,降低工件的表面粗糙度和提高工件的精度。反之,则相反。要减少工件、切屑、刀具、模具之间界面的直接摩擦和粘结,首先要求加工液有较强的渗透能力,能很好的渗透到工件、刀具、模具的界面上。这就要求加工液具有很好的润湿性。润湿性就是指液体对固体的粘附能力,它随液体间的及液体与固体间的分子吸引力而变化。当微乳化液中加入某些表面活性剂时,

由于某些表面活性剂对金属表面有很大的亲和力,容易吸附于金属表面,使加工液易于在金属表面粘附和展开,从而增加微乳化液的润湿性。此外,微乳化液的润湿性还与它的粘度有关,只有低粘度的加工液,才能很快地渗入工件、切屑、刀具、模具之间界面接触区的空隙内。所以粘度和表面活性剂是使微乳化液具有良好润湿性的重要因素。另一方面,要使微乳化液具有优良的润滑性能,还必须在工件、切屑、刀具、模具之间界面接触区的金属表面上形成一层牢固的吸附滑膜,同时,这层润滑膜还应有较高的强度,也就是说在高压、高温、与激烈的摩擦作用下不至于破裂。只有这样才能防止和减少工件、切屑、刀具、模具之间的金属表面直接接触,达到减少摩擦及粘结的目的,即起到润滑的作用。

2.2 冷却作用

在金属切削加工过程中,所消耗的功,绝大部分(90%以上)都转变成切削热,如工件、切屑、刀具、模具之间摩擦产生的热,加工变形区的变形所产生的热。加工区域产生的大量切削热,不但是刀具、模具容易磨损,而且使工件容易产生局部烧伤、退火或发暗,影响工件的表面粗糙度和精度,进而影响产品的加工质量。因此,必须及时而迅速的降低加工区域的温度。降低加工区域的温度,可以从两个方面着手:一方面是减少工件、切屑、刀具、模具之间界面金属表面的直接摩擦,以减少切削热的产生;另一方面,是将已产生的热从加工区迅速带走。实践证明,后者是降低切削热的主要手段。微乳化液冷却作用的好坏,取决于微乳化液的热导率、质量热容、汽化热、汽化速度、加工液流量和流速。而加工液的汽化速度、流量、流速与加工液注出的压力有关,注出的压力越高,加工液的冷却作用越好。另外,加工液冷却作用的好坏,还与加工液作用时所生成的泡沫有关,工作时生成的泡沫越多,冷却作用越差。因为泡沫内是空气,而空气的导热性能比液体导热性能差得多。所以,必须设法消除或减少工作时所产生的泡沫(添加抗泡剂)。

2.3 清洗作用

金属切削加工过程中,经常产生一些细小的切屑、金属粉末及砂轮沙粒灰末等。为了防止这些细小的切屑及粉末互相粘结或粘结在工件、刀具、模具上,影响工件的表面粗糙度和精度、刀具的使用寿命,因此,要求微乳化液具有良好的清洗作用。一是减少细小切屑及粉末的粘附以利清洗;二是利用微乳化液的清洗作用将这些切屑和灰末冲走。微乳化

液的清洗作用好坏与其渗透性、流动性、粘度、使用压力等有关。而渗透性和流动性与微乳化液组成成分有关。

2.4 防锈作用

微乳化液必须具有防锈且无腐蚀性,对各种材料,如工件材料、刀具材料、各种金属、管材和机床表面的镀层和油漆等不产生腐蚀。金属加工液中必须加入防锈添加剂。

微乳化液除了以上4种功能外,还应具有良好的储存稳定性、抗菌防腐性以及抗硬水能力,对人体和环境无害,便于回收、排放等。

3 微乳化液的配制方法

(1)剂在水中法 乳化剂溶于水,在激烈搅拌下将油相加入,可得O/W型乳液。

(2)剂在油中法 乳化剂溶于油相,再加水,直接制得W/O型乳液。继续加水至变型,可得O/W型乳液。这样制得的O/W型乳液粒度小,稳定性高。

(3)轮流加液法 将油和水轮流加入乳化剂中,每次少量。

(4)瞬间成皂法 制备用皂稳定的乳液,可将脂肪酸溶于油相,将碱溶于水相。在剧烈搅拌下将两相混合,在界面上瞬间形成脂肪酸皂,从而得到稳定的乳液。

(5)界面复合物生成法 采用复合乳化剂时,将亲油性强的乳化剂溶于油相,将亲水性强的乳化剂溶于水相。两相混合时,界面上二种乳化剂形成复合物,从而使乳状液稳定。

(6)自发乳化法 不需要机械搅拌,把油、水和乳化剂加在一起自发地形成乳状液。

4 微乳化油的发展方向

(1)长效微乳化油的开发与生产 延长了微乳化油使用寿命,有效的减少排放次数,从而达到减少废液排放量。其中防霉剂、防锈剂是延长金属加工液使用寿命的重要添加剂。

(2)开发研究性能优良,易于排放处理的添加剂 微乳化油使用的添加剂有油性剂、极压剂、防锈剂、防霉剂、抗泡剂、乳化剂等。金属加工液性能的好坏决定于这些添加剂的性能,它的废液处理及难易,对环境空气的污染和对工人皮肤的刺激作用也取决于这些添加剂的性能,所以,开发研究加工性能

好,使用时间长,有易于排放处理,对空气无污染作用,对工人皮肤无刺激作用的添加剂将是今后的研究重点。

参 考 文 献

- [1] Thomas L. Johnson. A Novel Oxazoline Compound for Use in Metalworking Fluid Formulations[J]. Lubrication Engineering, 1990, 46(5): 279 - 284.
- [2] 杨太礼. 聚乙二醇油性剂在水基冷却液中的添加量研究[J]. 润滑与密封, 1998, (1): 53.
- [3] Vukasovich, Mark S, Robitaille, Dennis R. . Using molybdates to inhibit corrosion in water - based metalworking fluids[P]. U. S. : 4313837, 1982 - 02 - 02.
- [4] Wilfried J. Bartz. Ecological and Environmental Aspects of Cutting Fluids[J]. Lubrication Engineering, 2001, 57(3): 13 - 16.
- [5] 巩清叶, 余来贵. 环境友好润滑剂及其添加剂的摩擦学研究现状[J]. 润滑与密封, 2000, (5): 65 - 68.
- [6] Kollar, John. Method of producing polyhydric compounds[P]. U. S. : 3968175, 1976 - 07 - 06.
- [7] Nally, Phillip L. Symmetrically arranged, hemispherical ball rebounding elements[P]. U. S. : 3968967, 1976 - 07 - 13.
- [8] Hoke, Donald I. Phosphorus and sulfur containing amides and thioamides[P]. U. S. : 4282171, 1981 - 08 - 04.
- [9] Hoke, Donald Irvin. Phosphorus and sulfur containing amides and thioamides as lubricating oil additives and lubricating oil compositions containing same[P]. U. S. : 4032461, 1977 - 06 - 28.
- [10] Papay, Andrew G, Hartley, Rolfe J. Oil - soluble phosphorus antiwear additives for lubricants[P]. U. S. : 4857214, 1989 - 08 - 15.
- [11] Mendelson, Leah T. Lubricating compositions[P]. U. S. : 4892670, 1990 - 01 - 09.
- [12] 王飞镒, 邱清华. 二烷基二硫代磷酸盐的制备及抗磨性能[J]. 润滑与密封, 1998, (5): 38 - 42.
- [13] Donofrio, John R, Farnig, Liehpao O, Horodysky, Andrew G. Hydroxyaryl/phosphonate - derived aminoalkanol borates as multifunctional antiwear/EP load - carrying additives[P]. U. S. : 5514290, 1996 - 05 - 07.
- [14] Cardis, Angeline B, Farnig, Liehpao O, Horodysky, Andrew G, Okorodudu, Abraham O. M. Borated dihydrocarbyl dithiocarbamate lubricant additives and composition thereof[P]. U. S. : 5370806, 1994 - 12 - 06.
- [15] Dong J. X, Chen L. G, et al. Study on Performance and Antiwear Mechanism of B - N Antiwear Additive, proc. Int. Symp. Of Tribochemistry, Lanzhou, China, 1989, 166 - 168.
- [16] Liu W M, Xue Q J, et al. The Performance and Antiwear Mechanism of Tridodecyl Borate as on Oil Additive[J]. Lubrication Engineering, 1992, (48): 475 - 479.
- [17] Pan, Wie - Hin, Stiefel, Edward L. (Disulfido)tris(N, N - substituted dithiocarbamate)Mo(V) complexes[P]. U. S. : 4588829, 1986 - 05 - 13.
- [18] Horodysky, Andrew G, Kaminski, Joan M. Friction reducing additives and compositions thereof[P]. U. S. : 4406802, 1983 - 09 - 27.
- [19] 周灿丰, 薛龙, 等. 水 - 乙二醇液液压液极压抗磨添加剂二聚酸钾的研究[J]. 润滑与密封, 2001, (3): 31 - 32.
- [20] Beiswanger J P G, et al. Phosphate Ester Acides a load - carry Additives and Rust Inhibitions for Metalworking Fluids[J]. ASLE Trans., 1964, (7): 398 - 405.

(上接第 26 页)

表 1 方法的线性范围、检出限(LOD)和相关系数

化合物	检测限 LOD/ng·L ⁻¹	线性范围 /ng·L ⁻¹	相关系数
土味素	0.8	3~100	0.997
2-甲基异冰片	1.0	5~100	0.998

2.5 水样的分析试验结果和回收率

在淮河水污染时期,采集的水样有明显的土腥味,对原水水样和出厂水水样进行分析,结果见表 2。

表 2 水样的分析试验结果和回收率

水样	土味素		2-甲基异冰片	
	测得值 /ng·L ⁻¹	回收率 /%	测得值 /ng·L ⁻¹	回收率 /%
污染期淮河原水	65.2		56.8	
污染期淮河原水 + 10.0ng·L ⁻¹ 标准液	75.5	103	65.8	92
出厂水	10.1		12.0	
出厂水 + 20.0ng·L ⁻¹ 标准液	29.7	98	32.5	97.5

3 结论

本文采用 SPME - GC - MS 方法对饮用水中的嗅、味化合物进行分析,方法简便,检出限低,并打出最佳的检测条件:萃取头涂层为 Carboxen;顶空萃取法的萃取量为浸入式的 2 倍;萃取平衡时间 30min;搅拌速度为 1500r·min⁻¹;pH 值为 5.0~7.0;温度为 60℃。

参 考 文 献

- [1] Lu G, Fellman JK, Edwards CG, Mattinson DS. [J]. Agric Food Chem. 2003, 51(4): 1021 - 5.
- [2] GB5749 - 85 生活饮用水卫生标准.
- [3] S. Lalezary, 马淑英. 水中嗅、味化合物的空气萃取法[J]. 国外公用科技, 1987, (5): 3.