



切削液技术讲座7

——环境友好切削液

讲演人：刘 镇 昌

董事长、技术总监

(原山东大学教授、博士生导师、工学博士)

济南**库伦特**科技有限公司

0531—88878187, 135 7310 6279

济南市高新区舜华路750号大学科技园

网址：www.kulunte.cn, 金属切削液

切削液技术的新进展

——环境友好切削液

- 一、问题的由来——绿色制造与可持续发展
- 二、新形势下切削液技术的发展方向
- 三、干式切削技术
- 四、半干式切削----微量切削液加工技术
- 五、环境友好切削液
- 六、应用实例

一、绿色制造与可持续发展概念

1. 绿色制造

1) 绿色设计方法

综合考虑产品全寿命周期的环境效应、资源消耗以及产品性能、质量、成本等因素对产品进行综合优化设计。包括绿色材料和能源的选择、产品绿色度评价、绿色设计成本分析、绿色产品结构设计、绿色包装设计等。

2) 绿色工艺技术

(1) 节能降耗的工艺技术：如优化工艺系统和工艺参数、节省材料和能源消耗，少无切屑工艺技术、精密毛坯制造技术、低能耗加工技术等；

(2) 少无污染的工艺技术：如无毒电镀技术、无污染清洗工艺、气体淬火新工艺、洁净化加工技术等。

(3) 废物循环利用的工艺技术：如零部件拆卸、分解、回收和再利用技术、废物转化再生技术等。

2. 可持续发展概念

可持续发展（Sustainable Development）是上世纪八十年代提出的概念。1987年世界环境与发展委员会在《我们共同的未来》报告中第一次阐述了可持续发展的概念，得到了国际社会的广泛认同。

可持续发展是指人类要发展、要不断满足自身的需求，但决不以损害后代人的需求为代价。换句话说，就是指经济、社会、资源和环境保护要协调发展，它们是一个密不可分的系统，既要达到发展经济的目的，又要保护好人类赖以生存的大气、淡水、海洋、土地和森林等自然资源和环境，使子孙后代能够永续发展和安居乐业。

二、新形势下切削液技术的发展方向

1. 切削液面临的社会压力

切削液废液、油雾等对生态环境、劳动卫生等构成一定危害

→ 环保法规日趋严厉

→ 企业劳动保护措施、废液排放开支增加

→ 使用切削液的间接成本提高

近十余年来有关切削液技术的研究和进展大都围绕着纠正其负面影响这一主题。

2. 解决切削液环境卫生问题的三条路线

- 1) 干式切削
- 2) 半干式切削（微量切削液加工技术）
- 3) 环境友好切削液

三、干式切削技术

1. 优点：可彻底避免切削液的负面影响；

2. 缺点：放弃了切削液所能带来的好处。主要问题是：

1) 切屑形成过程中润滑性差，导致刀-屑、刀-工界面上摩擦剧烈，能耗大，发热多，加上冷却不力，因而刀具损耗快、工件热变形等等；

2) 加工过程中的冲洗、排屑等问题需要特殊处理；

3) 机床工艺系统的锈蚀和工件的工序间防锈问题。用干式（包括冷风、液氮）切削后，通常需要增加机床和工件的防锈处理以及之后的清洗处理，特别是在高温、潮湿的地区和季节。其结果是减少了切削液却增加了防锈液、清洗液；从总体上看，有时并不能有效地达到减轻环境负荷的目的。

3. 前景：干式切削的发展依赖于刀具材料、工件材料、机床技术和切削技术的进步。目前还只能在一小部分加工领域中应用，有较大的局限性。

四、半干式切削技术

半干式切削主要指微量切削液加工，是一种技术上的折衷，既能部分保留湿式切削的优点，又可大大减轻其负面影响。已经在一些加工领域取得了较好的应用效果，是目前洁净化加工技术的研究热点之一，有广阔的应用前景；但也存在着油雾污染问题以及在某些加工场合润滑冷却不足之类的烦恼。

干式切削技术

半干式切削技术

环境友好切削液

优势互补，共同发展。



五、环境友好切削液（湿式切削）

1. 环境友好切削液的含义
2. 环境友好切削液的界定
3. 环境友好切削液的基础油
4. 环境友好切削液的添加剂
5. 环境友好切削液的研究课题

1. 环境友好切削液的含义

环境友好切削液（Environmentally Friendly Cutting Fluid, **EFCF**）指满足使用性能和生态环境效应双重要求的切削液。这里所指的生态环境效应包括：

- 切削液及其耗散与废弃产物的毒性（Toxicity）和生态毒性（Eco-toxicity）
- 毒性的生物累积性（Bioaccumulation）
- 耗散及废弃产物的生物可降解性（Biodegradability）
- 资源可再生性（Resource Renew-ability）

简言之：**EFCF**既能满足切削加工的使用要求，切削液本身及其耗散与废弃产物对生物和生态环境又不构成危害，或在一定程度上为生态环境所容许，资源可循环利用或容易再生。

远景目标：绿色切削液（Green Cutting Fluid）



2. 环境友好切削液的界定

1) 德国“蓝色天使”环境标准有关润滑剂部分要点
对申请授权“蓝色天使”环境标志的要求如下：

(1) 适用范围：在应用中可能发生润滑剂损耗并且在正常使用情况下绝大部分进入环境的润滑剂，如：
道岔和轨道润滑剂，用于敞开式轴承、导向或密封的润滑剂；玻璃工业的润滑剂、建筑模型的混凝土模板脱模油。

(2) 最终产品：①生理毒性和生态毒性必须符合有关法规；②不得含有任何**有机卤素**或**亚硝酸盐**化合物。

(3) 基础物质：至少70%必须是可生物降解的。

(4) 添加剂：①只具有潜在可生物降解性的成分的质量分数不得超过5%；②当添加剂是非生物降解的聚合物时，如果其水溶解度小于1mg/L并且相对分子质量 ≤ 1000 g/mol的组成物所占的百分比小于1%，需要证明它的非移动性；当其为溶解聚合物时，需要证明其不溶解的有效成分的非移动性；③不得含有生态毒性可疑物。



2) 界定环境友好切削液的参照基准

“蓝色天使”环境标志基本标准的2007年4月版本中：

- ①UZ 48----适用于动力锯链润滑剂；
- ②UZ 64----适用于润滑剂和模型油；
- ③UZ 79----适用于液压液。

它们对最终产品的生理毒性、生态毒性和基础物质的生态毒性、生物降解性的要求基本相同，添加剂条款的严厉程度不同：① > ② > ③

切削液与液压液更为接近，它们之间有更多的可比性：

- (1) 产品类型可比，切削油与液压油比、水基切削液与水基液压液比；
- (2) 使用寿命可比，在严格的管理下，同类型、同档次的切削液的使用寿命与液压液大致相当；
- (3) 耗散情况可比，切削液虽为循环使用，也会不时地被工件少量带走；而液压油常被用于移动装置，其耗散物和废液也有常有机会直接进入环境；
- (4) 切削液对大气环境是全开放的，对大气环境的影响比液压液大些。

建议：欲与国际接轨、以“蓝色天使”环境标志的基本标准为参照基准，环境友好切削液的生态环境指标应该接近于UZ79、介于UZ79和UZ 64之间。



3. 环境友好切削液的基础油

1) 植物油

菜籽油、大豆油、棉籽油、米糠油、棕榈油、蓖麻油、橄榄油等。

优缺点：润滑性能优良，黏温特性和黏度指数较高；对生物和环境几乎没有危害；其生物降解性能优异，且资源丰富，可循环再生；氧化稳定性、低温流动性、润滑性等都需要进一步改性和提高。

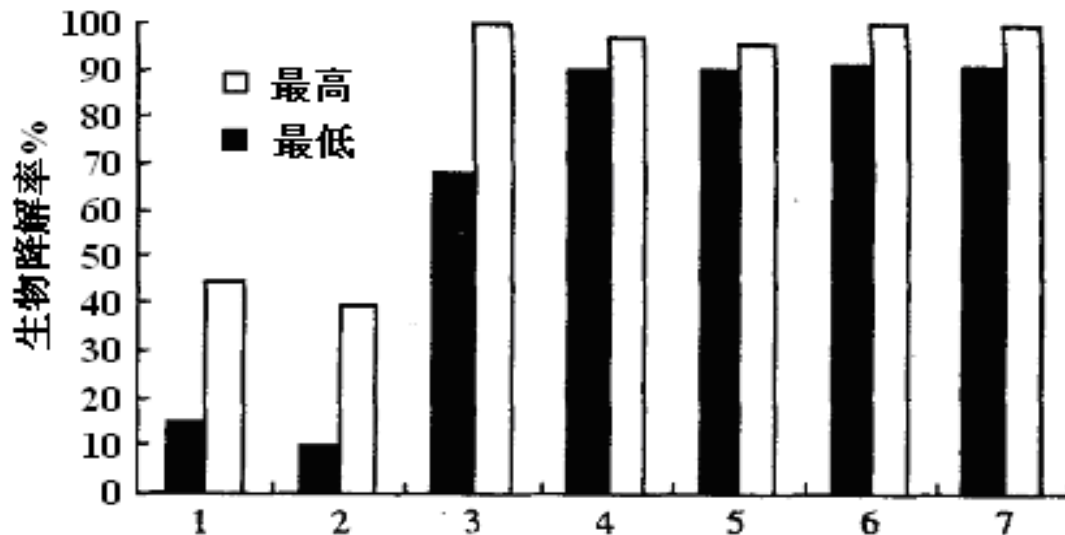


图9.2 各种基础油的生物降解性比较

1-矿物油 2-白油 3-合成酯 4-花生油 5-棉籽油 6-菜籽油 7-蓖麻子油

2) 合成酯

(1) 概述

合成酯分子结构中含有活性较高的酯基基团，易于吸附在金属表面形成牢固的润滑膜，润滑性优于矿物油；能与矿物油、多数合成油及油溶性添加剂混溶。其缺点是水解安定性较差，水解后生成有机酸腐蚀性产物；此外，价格较贵。

根据分子中酯基的多少和位置，合成酯可分为双酯、多元醇酯和复酯等类型。

(2) 毒性和生物降解性

合成酯毒性较低，可视为无毒化合物，对皮肤的刺激性低于一般油脂；具有较好的生物降解能力。双酯及多元醇酯的21d生物降解能力为70%~100%，是环境可接受的液体。

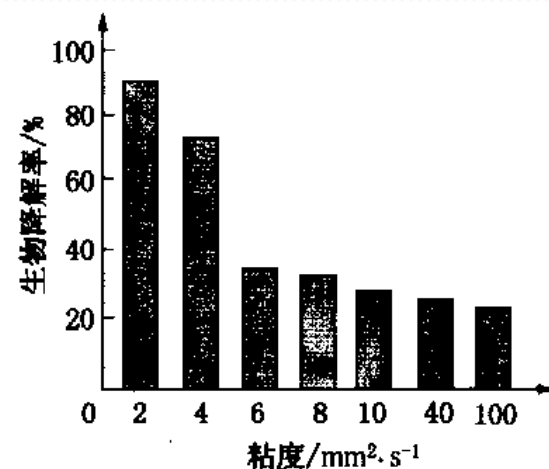
3) 合成烃（聚 α -烯烃, Poly-Alpha Olefins, PAO)

(1) 概述

聚 α -烯烃如PAO2、PAO4、PAO6、PAO8、PAO10、PAO40和PAO100。价格较低，资源丰富，闪点高、燃点高、倾点低、黏度指数较高，且具有优异的热氧化安定性和水解安定性，对橡胶或塑性密封材料的影响小。但聚 α -烯烃的极性较小，润滑性不如酯类油和矿物油。

(2) 毒性和生物降解性

经加氢处理的聚 α -烯烃对皮肤和黏膜无刺激性，口服LD50>15g/Kg，对水生动物无毒性影响，其生物降解性随黏度增大而变差。PAO6以上的牌号生物降解性较差；PAO2和PAO4在21d后即可分解90%以上，适合于作环境友好切削液的基础油或添加成份。



4) 聚醚

(1) 概述

聚醚分子极性很强，几乎在各种润滑状态下都能形成稳定的具有较大吸附力和承载能力的润滑膜，润滑性能优于同黏度的矿物油、聚 α -烯烃和双酯，但不如多元醇酯。水溶性聚醚在水中有逆溶性，即随温度升高其溶解度下降，当超过其浊点时析出。这一性质使其在金属加工液和淬火液中获得广泛应用。

(2) 毒性和生物降解性

聚醚的口服急性毒性很低，环氧乙烷-环氧丙烷共聚醚的LD₅₀值为5~10g/Kg，高分子聚醚的LD₅₀值为20~30g/Kg。聚醚引起皮肤刺激和过敏的可能性很小。其生物降解性取决于相对分子质量的大小和支链化程度。含80%环氧乙烷的聚醚，其生物降解率可达80%。

5) 环境友好切削液基础油的发展趋势

以植物原料生产的油品对水生和陆地有机物的毒性比矿物油低5~10倍；按照CECL33A94试验方法，植物油和多元醇酯、双酯用作基础油的生物降解性率都可达100%。但是，合成基础油的原料和生产过程并不一定都是环境友好的；而植物油是可再生资源，产油植物的生长吸收太阳能和二氧化碳，有利于缓解大气的温室效应，产油植物的栽种与繁殖也有利于水土保持。

可以认为，植物油以其良好的润滑性、优异的可生物降解性和可持续生产性重新替代矿物油，是当前环境友好润滑剂发展的主流趋势。



4. 环境友好切削液的添加剂

1) 润滑添加剂

(1) 改性植物油润滑添加剂：采用氧化、硫化、硼氮化、磷氮化、羟基化等方法改性的菜籽油，硼氮化蓖麻油，硼化植物油等。

(2) 有机硼酸酯类添加剂：不挥发，无毒无臭，具有优良的抗磨减摩性，兼有一定的防腐蚀和防腐败功能；硼酸酯可生物降解，原料来源丰富，成本较低，受到日益广泛的重视。

2) 防锈添加剂

无机防锈剂：钨酸盐、钼酸盐及其复配物。

有机防锈添加剂包括某些有机胺、醛、咪唑啉、聚合物等。

3) 防腐杀菌剂

新型防腐杀菌剂应具有高效、价廉、无污染等特性。据日本专利介绍，选用油酸、硬脂酸等羧酸制取的铜盐，具有1年以上的抗腐败能力。据美国资料介绍，柠檬酸铜也具有较好的抗菌效果，添加量为 $300\mu\text{ g/g}$ 。

4) 可用于环境友好切削液的传统添加剂

表9.3 部分传统添加剂的水污染等级和生物降解率*

添加剂	化学物质	水污染等级	生物降解率/%	评价方法
极压剂	硫化脂肪酸(10%硫)	0	> 80	CEC L - 33 - T82
	硫化脂肪酸(18%硫)	0		
防锈剂	二烷基苯磺酸钙	1	60	CEC L - 33 - T82
	琥珀酸衍生物	1	> 80	CEC L - 33 - T82
	无灰磺酸盐	1	50	CEC L - 33 - T82
	苯三唑	1	70	OECD 302B
抗氧化剂	2,6 - 二叔丁基对甲酚	1	17(28d) 24(35d)	MITI II
	烷基二苯胺	1	9	OECD 301D

* Fessenbecker A , Roehrs I, Pegnoglou R. Additives for environmentally acceptable lubricant *NLGI Spokesman*. 1996, 60 (6) : 9~25



5. 环境友好切削液的研究课题

近二十年来，环境友好切削液的开发研究始终围绕“无毒害、低污染、长寿命、高性能”蓬勃开展。

上世纪八十年代开始的亚硝酸盐代用品的开发研究已经取得了很大成绩。

在此基础上，围绕环境保护这一主题，切削液今后的开发研究课题可以归纳为去氯、减氮、抑菌、抗雾、兼用、复合等几方面。

1) 去氯

氯化石蜡用于切削液有很好的加工效果和长期的使用实绩。但是，1984年美国NTP用含氯58~60%的C12氯化石蜡和含氯40~43%的C23/24氯化石蜡进行了动物经口喂食试验。研究确认，含氯58~60%以上的C12氯化石蜡呈阳性反应；而含氯40~43%的C23/24氯化石蜡的试验结果不确定。因此，将含氯60%的C12氯化石蜡分类为可疑致癌物。此后，国际癌症研究机构将C10~C12短链氯化石蜡划归入“可能有致癌性的物质B类”。

因此，日本于2000年将含氯切削液从JIS标准中删除；欧盟于2004年对含有短链氯化石蜡1%以上的金属加工润滑剂（包括切削液）实行管制使用。含硫添加剂或磺酸盐添加剂可以作为氯系添加剂的代用品。

2) 减氮

水基切削液中大量使用含氮化合物。其中烷基醇胺类物质在维持切削液的碱性、防锈性、防腐败性等方面都起着重要作用。但是，参考文献【63】认为，由于含氮化合物大都有高的亲水性，难于与水分离，成为水体污染和富营养化的重要原因之一。此外，烷基醇胺类物质还存在着安全卫生隐患，如一乙醇胺的皮肤刺激和二乙醇胺的亚硝胺疑虑等。从长远来看，切削液中减少含氮化合物有正面的环境卫生效应。

【63】日本切削油技术研究会. 切削油剂ハンドブック. 東京：株式会社工業調査会. 2004. 10

3) 抑菌

微生物是引起水基切削液腐败变质的重要原因，对切削液有诸多不良影响。

抑制微生物生长繁殖的手段：

①添加防腐杀菌剂可以在很大程度上解决微生物繁殖问题，但是有诸多副作用，尤其是对环境的负面影响很大；

②加强切削液现场管理；

③从原料入手配制抗菌能力强的切削液——研究重点。

配方原则：避免使用能够成为微生物营养源的物质；使用具有抗微生物能力的水溶性化合物，如：环氧丙烷加成到胺化合物中形成的胺类衍生物、环氧化物加成型氨基酸化合物、羟基化动植物油脂，以及苯胺类、环烷基胺类物质等。

4) 抗雾

(1) 存在问题

切削油用于在高速或严酷的切磨削加工，水基切削液用于重负荷切磨削加工，尤其在高压供液、喷雾供液的场合，经常产生过量的油烟、油雾、油蒸汽，污染车间空气，恶化作业环境。长期在这样的环境下工作可能引起呼吸器官损害。

(2) 有关油雾的标准

(3) 抑制油雾的方法

①使用油基切削液场合，选择挥发性低、闪点高、黏度指数高、深度精制的油品；在切削油泵的允许能力范围内换用黏度高较的切削油；**推荐使用含油雾抑制剂的切削油；**

②即时清除切削油中的油污，可减少油雾发生量；

③改变供液方法、增大供液量以降低切削温度；

④安装油雾吸收和分离装置，并设置防止雾气飞散的覆盖物或隔离物；

⑤安装空气循环装置，改善整个车间的换气系统。



JB/T 9879—1999 《金属切削机床油雾浓度测量方法》推荐值：5mg/M3

美国有关金属加工液的空气污染物法定极限值和几种推荐值：

发布指标的部门	空气污染物		容许极限浓度 /(mg/m ³)	暴露时间
OSHA（职业安全与卫生管理局），现行	矿物油雾		5（法定）	加权平均8h/d
	未分类的微粒， 适用于所有其它 金属加工液①	可吸入 部分②	5（法定）	加权平均8h/d
		总微粒	15（法定）	加权平均8h/d
NIOSH（国立职业安全与健康研究所），1992			5（推荐）	加权平均10h/d、40h/w
	矿物油雾		10（推荐）	15min短期接触
ACGIH（美国政府工业卫生学家协商会）1994			5（推荐）	加权平均8h/d、40h/w
	矿物油雾		10（推荐）	15min短期接触，不超过4次/d，每次间隔时间不少于60min
NIOSH，1998	胸部微粒②		0.4（推荐）	加权平均40h/w、10h/d
	或总微粒		0.5（推荐）	
OSHA金属加工液顾问委员会，1999	胸部微粒		0.4（推荐）	加权平均40h/w、8h/d
	或总微粒		0.5（推荐）	

①原文出处：<http://www.osha.gov/SLTC/metalworkingfluids/>。

②可吸入部分与胸部微粒均指平均粒径小于10μm、可吸入肺部的微粒。



5) 兼用

(1) 问题的由来：机床润滑系统、液压系统和切削液系统使用着不同成分的液体介质，需要避免相互渗透与混合。这给机床设计和维护造成麻烦。目前多数机床的导轨润滑油等使用后直接流入切削液箱，使油基切削液添加剂浓度下降；对水基切削液而言成为浮油并影响其稳定性。

(2) 兼用型切削液：一种至少可同时兼作润滑油和切削液的油性介质。对于非水溶性体系，可互相掺混；对于水溶性体系，切削液先做润滑油用，漏损的部分进入切削液箱后，被积极乳化，成为切削液的补给成分。

意义：①可减少油品种类，有利于企业管理；

②能实现废油再利用，减轻环境负担。

问题：需要隔绝切削液对机床润滑部件的渗透，浓度管理困难等。

(3) “单一流体”构想：一种同时满足切削系统、润滑系统、液压系统要求的三位一体的油性流体。这种构想成为了德国农业部的资助研究项目；并且已经在德国汽车发动机厂的生产线上显示出优良的效果。

6) 复合

(1) 所谓“复合”，是指在切削液配方设计时，将大部分切削液添加剂（如油性剂、极压剂、防锈剂、表面活性剂等）与基础油（或水）分开，另外集中配制成复合剂（浓缩液），作为商品销售给切削液生产厂家。切削液生产厂家买回复合剂后只需要按照一定的比例用基础油（或水）稀释，就得到切削液产品（原液）。

(2) 复合剂实际上是基础油脂化工原料和切削液产品之间的中间产物。生产切削液复合剂的单位一般是切削液研发或添加剂生产企业，他们掌握着切削液的配方技术和生产工艺，把工艺技术浓缩进复合剂中，从而使切削液的生产变得简便易行和相对规范。

(3) 近几年来，切削液复合剂的生产、销售已形成一种趋势。这种趋势将引起切削液行业的又一次细分。

六、应用实例

---- (1) 环境友好铝合金切削液的开发应用

1. 工厂提出的问题及原因分析

- 1) 有皮肤刺激——pH值较高 (9.3) , 使用浓度过高 (15%以上) ;
- 2) 攻螺纹时, 牙面不光洁、不饱满、常有缺损——极压润滑效果差;
- 3) 工作液发粘, 附着在工件上, 带走损失较大, 且清洗性较差——估计是硅酸盐缓蚀剂含量较多、工作液浓度过高所致。

2. 解决思路

- 1) 选用深度加氢精制的矿物油, 保证气味小、安全卫生、无皮肤刺激;
 - 2) 以合成油代替部分矿物油, 提高润滑性和生物降解性;
 - 3) 减少基础油含量、增加表面活性剂含量, 以提高清洗性能, 并积极吸收、利用杂油, 降低工作液配制浓度, 节约资源;
 - 4) 不用硅酸盐类铝合金缓蚀剂, 控制pH值在铝合金钝化区以抑制腐蚀。
- 按以上思路研发出**KR-4铝合金专用切削液**, 解决了工厂提出的上述问题。

该产品已在山东推广应用。

六、应用实例

---- (2) 环境友好切削液复合剂的开发应用

1. 乳化油复合剂KR系列：含合成脂、油性剂、极压剂、阴离子表面活性剂、非离子表面活性剂等。

配方：复合剂30~35%+基础油70~65%+N652适量

2. 合成切削液复合剂KH系列：含油性剂、硼系极压剂、防锈剂、表面活性剂等。

配方：复合剂25~30%+稀释水75~70%+ N652适量

3. 极压切削油KY1和轻质切削油KY2系列（略）

4. 两点说明：

1) 采用复合剂可以在一定程度上规范切削液的配方和品质，减少切削液对环境的影响；

2) 切削液千差万别，复合剂就一成不变吗？No！它应随基础油（或稀释水）性状的不同和加工条件的差异而有所调整。



敬请各位专家指教!

济南库伦特科技有限公司

0531—88878187, 135 7310 6279

济南市高新区舜华路750号大学科技园

网址: www.kulunte.cn, [金属切削液](#)