

# 金属加工液 基础与应用

关子杰 编著



中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

## 内 容 提 要

本书从金属加工中发生的摩擦行为出发,介绍对金属加工液的性能要求,水基和油基金属加工液的组成以及它们在金属切削和成形加工中的应用。同时,叙述了用于金属加工液的添加剂组合及一些配方研究的实例,最后介绍了用于金属加工液的分析评定方法。

本书适用于从事金属加工液研究、生产的技术人员以及销售和使用金属加工液的人士使用与参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

金属加工液基础与应用/关子杰编著.  
—北京:中国石化出版社,2006  
ISBN 7-80229-027-9

I. 金… II. 关… III. 金属加工-润滑剂  
IV. TE626.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 039522 号

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: [press@sinopec.com.cn](mailto:press@sinopec.com.cn)

北京精美实华图文制作中心排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

\*

850 × 1168 毫米 32 开本 6.25 印张 160 千字  
2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月第 1 次印刷  
定价:18.00 元

## 前 言

尽管我国推出了“通用机床润滑油”(即国际标准组织的 ISO-HL), 代替了沿用多年的“机械油”用于金属机械加工的大部分场合, 是全面的机械加工用油质量的升级换代。但是各金属加工工艺中所用的润滑剂, 尤其是较苛刻的金属切削和成形润滑剂, 由于通用性差, 每个具体品种需求量少, 研制难度大, 缺乏模拟筛选手段。因而并未引起有关部门重视, 往往由机械部门或个别小规模生产厂解决, 规范性很差。

改革开放后经济发展迅猛, 大型现代化的高速金属加工母机大量涌现, 各种高品质的金属加工液需求大增, 引起多方面的重视。但长期从事内燃机油、工业用油的研制和生产的润滑油行业人员对金属加工乃至金属加工润滑剂并不熟悉, 只有熟悉和掌握这方面的知识, 才能对金属加工润滑剂的发展发挥作用。本书就是适应这种需求而撰写的。

本书从金属加工过程发生的摩擦学入手, 进而联系到要解决这些摩擦学问题, 就需要了解金属加工润滑剂的性质和组成, 希望读者能从书中较完整地了解到所关心的某类金属加工润滑剂的相关内容。

由于金属加工润滑剂的共性少而个性多, 因此经验是至关重要的, 本书对于每类金属加工液的组成除了叙述有关原则配方组成外, 尽量收集一些近几年在技术杂

志或研讨会上发表的论文中有关配方研制的内容，这些研制的润滑剂大多表明已成功地用于金属加工中。这些内容中不可能包含具体配方，但从配方研制过程中可给读者提供研制的思路及经验，从而起到一定的启发作用。

金属加工润滑剂本身分类较为凌乱、分散，规律性不强，再加上作者水平所限，存在错误在所难免，希望有识者多多指教。

在本书撰写过程中，钟光飞、俞冰、林亮智几位同仁参与部分内容写作、修改和讨论，并承蒙多位朋友为本书提供有关资料及宝贵意见，深表感谢！

关子杰

# 目 录

## 第一章 绪 论

- 一、发展中的金属加工液····· ( 1 )
- 二、本书的特点····· ( 2 )
- 三、目前认识金属加工液适逢其时····· ( 3 )

## 第二章 金属加工液的分类和市场

- 第一节 分类····· ( 4 )
  - 一、ISO分类····· ( 4 )
  - 二、我国分类····· ( 6 )
  - 三、美国分类····· ( 7 )
  - 四、日本分类····· ( 8 )
  - 五、分类评论····· ( 10 )
- 第二节 市场····· ( 11 )

## 第三章 金属加工摩擦学

- 第一节 摩擦学基础····· ( 13 )
  - 一、摩擦与润滑····· ( 13 )
  - 二、磨损····· ( 17 )
- 第二节 金属加工中的摩擦学····· ( 19 )
- 第三节 刀具有规定几何形状的切削····· ( 21 )
  - 一、基本变形区(I区)····· ( 21 )
  - 二、刀-屑接触区(II区)····· ( 22 )
  - 三、刀-工件接触区(III区)····· ( 22 )
  - 四、滞流层、积屑瘤和鳞刺····· ( 22 )
  - 五、切削温度····· ( 24 )
  - 六、刀具磨损和损坏····· ( 24 )

第四节	刀具无固定几何形状的切削·····	( 28 )
第五节	金属成形加工·····	( 29 )

## 第四章 金属加工液的功能、性能和组分

第一节	金属加工液的主要功能·····	( 31 )
一、	润滑·····	( 31 )
二、	冷却·····	( 32 )
三、	冲洗·····	( 32 )
四、	防锈·····	( 33 )
第二节	金属加工液应具有的性能·····	( 33 )
一、	良好的润滑性能·····	( 33 )
二、	良好的冷却性能·····	( 33 )
三、	良好的润湿性和渗透性·····	( 34 )
四、	防锈性·····	( 35 )
五、	抗泡性·····	( 35 )
六、	防霉性·····	( 35 )
七、	低油雾·····	( 35 )
八、	清洗性·····	( 36 )
九、	退火清净性·····	( 36 )
第三节	金属加工液的组分·····	( 36 )
一、	基础油·····	( 36 )
二、	添加剂·····	( 38 )

## 第五章 油基金属加工液

第一节	基础油·····	( 51 )
第二节	极压抗磨添加剂·····	( 52 )
一、	极压添加剂的复合和优化·····	( 53 )
二、	油性添加剂的应用·····	( 56 )
三、	抗磨添加剂·····	( 58 )
四、	极压抗磨添加剂在不同工作温度下的作用·····	( 58 )

五、极压抗磨剂的作用机理简介	(60)
第三节 其他功能的添加剂及降低油雾方案	(61)
第四节 油基金属加工液配方模式	(63)

## 第六章 水基金属加工液

第一节 水基金属加工液组分	(66)
一、水质	(67)
二、乳化剂及乳化性	(69)
三、水溶性防锈剂	(72)
四、极压润滑性添加剂	(73)
五、水溶性极压剂 PACs	(74)
六、基础油	(77)
七、水基增稠剂	(77)
八、配制水基金属加工液的考虑要点	(79)
第二节 乳化油的配制	(80)
一、规格	(80)
二、配制实例	(81)
三、小结	(83)
第三节 微乳化油的配制	(84)
一、机械行业标准 JB/T 7453—1994	(84)
二、配制实例	(85)
三、小结	(90)
第四节 化学水溶液型金属加工液的配制	(91)
第五节 水基金属加工液的使用和在使用 中的降解和维护	(93)
一、微生物腐败	(94)
二、氧化降解	(96)
三、添加剂消耗	(96)
四、水基金属加工液的长寿命及使用维护	(97)

第六节 废水金属加工液的排放处理	(100)
一、蒸发法	(100)
二、化学法	(101)
三、薄膜分离	(102)
第七节 在部分加工中以油基代水基的趋势增强	(103)

## 第七章 金属切削及其润滑技术

第一节 切削工艺简述	(106)
第二节 切削液的配方考虑要点	(107)
一、加工方法苛刻度	(107)
二、操作苛刻度	(108)
三、工件材质	(110)
第三节 典型切削液的组成及配方技术	(113)
一、配制实例	(113)
二、小结	(119)
三、加工中水基与油基的选择要点	(119)

## 第八章 金属塑性成形及润滑技术

第一节 塑性成形摩擦学特点	(123)
第二节 挤压	(128)
一、挤压坯料预处理	(129)
二、纯油挤压用的润滑油	(130)
第三节 拉拔	(131)
一、干法	(133)
二、湿法	(134)
第四节 轧制	(137)
一、轧制的摩擦特点	(137)
二、钢板热轧用润滑剂	(139)
三、薄板轧制用冷轧制润滑剂	(141)



四、有色金属轧制液·····	(146)
第五节 金属板料面积成形·····	(157)
一、金属板料面积成形及润滑特点·····	(157)
二、金属板料面积成形润滑剂典型例子·····	(160)
三、小结·····	(171)

## 第九章 金属加工液的部分评定方法及讨论

第一节 水基金属加工液的试验方法·····	(172)
一、水的硬度测定·····	(172)
二、防锈性试验·····	(173)
三、抗菌性试验·····	(174)
四、抗泡性试验·····	(175)
五、pH值测定·····	(175)
六、腐蚀性试验·····	(175)
七、乳化安定性试验·····	(176)
第二节 金属加工液极压润滑性能的评定·····	(176)
一、认识四球机·····	(176)
二、简易攻丝扭矩测试方法·····	(180)
三、拉深润滑模拟评定试验机·····	(181)
四、法莱克斯(Falex)销与V形块试验·····	(183)
五、建立相关的模拟试验是发展金属 加工液的关键所在·····	(183)
参考文献·····	(185)

# 第一章 绪 论

## 一、发展中的金属加工液

回顾各类润滑油的发展过程，都是从解决各个具体润滑问题而研制某种润滑油开始，称为“××”润滑油，如用于解决卷烟机齿轮润滑的油称“卷烟机油”，用于榨糖机齿轮润滑的称“榨糖机油”，用于双曲线齿轮的称“双曲线齿轮油”等，品种越来越繁杂，然后统一为齿轮油类，按各齿轮对润滑油的要求特点和苛刻度分类，同时发展这些性质的评定方法，最后统一在产品规格标准上，品种简单明晰，不管什么设备的什么齿轮，都可以从这分类中找到合用的品种，给产品的使用、采购、生产提供方便。内燃机油、齿轮油、液压油等大品种已完成了这个发展过程，反观金属加工液目前则处于这个发展过程的初级阶段。

在润滑剂的大家庭中，金属加工液是极具特点的一员，它有别于其他工业用润滑剂的特点是：

① 它的形态多种多样，有矿物油加上各种添加剂的油型，又有水-油混合的乳化液和微乳液，还有纯水溶液，固体和液固混合物等。

② 它的通用性差，往往一种润滑剂仅解决一个或若干个加工问题，而一种加工类型可用多种类型的润滑剂解决问题，形成的品种繁杂、规律性不够明朗。

③ 虽有分类，但这些分类着重于按润滑剂的形式和组成而不是按功能或苛刻性作分类，因而对研制、生产、采购和应用的指导性不强。

④ 现成的一些模拟手段较少，试验结果与实际使用效果的一致性规律不大，很多要依赖实际使用才能判定其效果，因而产品规格也难于制定。

⑤ 理论与产品配方研究严重脱节，许多金属加工的摩擦学研究着重于繁琐的高等数学公式计算，联系实际的润滑剂性能要求不紧密，对金属加工液的配方研究指导性不大，仍依赖于经验和实践，这一切与其他大部分润滑剂大不相同。

虽然金属加工液在整体润滑剂总量中占的比例并不多，但由于它的品种繁杂，共性少而个性多，也形成了它在生产和市场上的特点：

① 品种多而单个品种的需求量少。

② 无需大规模生产，基本上由适应品种生产转换灵活的中小型生产厂生产。

③ 适宜对终端用户直销，便于服务到位，尽快传递用户使用情况，及时修正配方。

④ 生产企业应是研究、生产及销售服务一体化，并有较高的技术素质。

⑤ 由于所用的部分添加剂生产规模也很小，因而在金属加工液的生产中控制添加剂质量的稳定性更为重要。

⑥ 市场高低档泾渭分明，低档金属加工液较多的是粗制滥造斗价格，适用于高苛刻度高要求的高品质金属加工液技术含量高，价位高。

## 二、本书的特点

事物的发展总是从简到繁，再从繁到简。面对比较杂乱的金屬加工潤滑劑產品品種，比較雜亂的開發各潤滑劑的配方思路，能否通過對各機械加工過程分析和前人開發金屬加工潤滑劑已有的豐富經驗，理出一些規律，悟出一些道理，使以後的工作少走彎路，無需每開發一個新潤滑劑都要從頭做起，更進一步逐漸走向標準化。按照這種思路本書從以下兩方面討論：一是從了解各加工方法的摩擦學着手，加工中發生的摩擦行為直接與採用的潤滑劑性能息息相關，不同的摩擦行為要採用不同組分的潤滑劑與之相適應；二是注意加工變形區的溫度狀態，不同加工方法和同一方法不同部位的工件與工具間的不同摩擦行為必然有不同溫

度，而不同类型极压润滑添加剂在工作中产生活性(分解)的温度范围各不相同，在做配方时应根据各摩擦时的温度去选择相应的产生活性温度的添加剂，使在该部位下的温度正好在润滑剂中某添加剂的活性温度范围内，才能充分而合理解决问题，回顾过去很多成功的配方和有增效作用的添加剂复合，事实已经遵循着这一规律，本书也遵循这一规律。

### 三、目前认识金属加工液适逢其时

市场上内燃机油约占一半，加上齿轮油和液压油，已占了大半壁江山，各润滑油公司都把它们作为主力产品，随着时间的推移，他们面临一个不得不考虑今后的发展问题，因为一是这块大市场已供过于求，利润空间越来越小，往日的风光不再；二是添加剂公司以复合剂的形式进入市场，使这几类产品生产简化，无技术含量可言，助长了更多生产者参与，生产成本也更为透明，竞争更为激烈。精明的企业家把眼光转向还在发展中的金属加工液，它目前尚有较好的利润空间，有较高的技术含量，更主要的是我国的工业发展迅速，金属加工设备升级换代快，对高档金属加工液的需求不断增长。但原来生产内燃机油等产品的人员对金属加工液较生疏，需知识更新，本书希望能在这一时刻助其一臂之力。

本书以产品品种为纲，以应用为主，希望尽量给读者一个简明的了解，尽量做到摩擦学的特点与配方联系。但到目前为止，这类润滑剂在研制和应用上仍充满很多有待探讨的未知数，因此本书仅作为加深认识的读物，让我们一起来边实践边认识。

金属加工润滑剂还处于发展的初级阶段，在此阶段内经验是最可贵的，本书收集了近几年有关会议报告和杂志中金属加工液研究和应用、研究成果等资料，尽量使知识较新，给读者以更为具体的借鉴和启发，目的是起抛砖引玉的作用，也正因为发展阶段，再加上本人知识和水平有限，欢迎有识之士提出宝贵意见。

有很多著作作为本书提供了帮助，在此表示感谢，也谢谢很多专家和朋友提供的帮助。

# 第二章 金属加工液的分类和市场

## 第一节 分 类

金属加工液与其他润滑剂一样，各有关组织对其也作了分类，如前言所述，这些分类立足于按形式和组成描述较多，与功能和应用场合的联系较笼统，因此对研制、应用、采购的指导作用不如内燃机油及大品种工业润滑剂强。因而很多从事金属加工液行业人员并不按分类去研制和生产金属加工液产品，也不按此分类去选用和采购，甚至不知道有这些分类，本书介绍几大组织的分类。

### 一、ISO 分类

1986年国际标准化组织 (ISO) 公布了金属加工液分类 ISO 6743/7, 见表 2-1~表 2-4。

表 2-1 金属加工液分类 ISO 6743/7

类别符号	总应用	特殊应用	具体应用	产品类型(或)最终使用要求	符号	应用实例	备注
M	金属加工	用于切削, 研磨, 放电等金属去除工艺; 深拉, 压延, 强力旋压拉拔, 冷锻和热锻, 挤压, 模压, 冷轧等金属成型工艺	首先要求润滑性加工工艺	具有抗腐蚀性的液体	MHA	见附录 A	使用这些未经稀释液体具有抗氧性, 在特殊成型加工中可加入填充剂
				具有减摩性的 MHA 液体	MHB		
				具有极压性 (EP) 而无化学活性的 MHA 液体	MHC		
				具有极压性有化学活性的 MHA 液体	MHD		
				具有极压性无化学活性的 MHB 液体	MHE		
				具有极压性有化学活性的 MHB 液体	MHF		
				用于单独使用或用 MHA 液体稀释的脂、膏和蜡	MHG		
				皂, 粉末, 固体润滑剂等或其混合物	MHH		

类别符号	总应用	特殊应用	具体应用	产品类型(或)最终使用要求	符号	应用实例	备注
M	金属加工	用于切削, 研磨, 放电等金属除去工艺; 深拉, 强力旋压, 冷拔, 热锻, 模压, 冷压, 冷轧等金属成型工艺	首先冷却工艺 要求性加工工艺	与水混合的浓缩物, 具有防锈性乳化液	MAA	见附录 A	使用时, 这类乳化液会变成不透明
				具有减摩性的 MAA 型浓缩物	MAB		
				具有极压性 (EP) 的 MAA 型浓缩物	MAC		
				具有极压性 (EP) 的 MAB 型浓缩物	MAD		
				与水混合的浓缩物, 具有防锈性半透明乳化液 (微乳化液)	MAE		
				具有减摩性和(或)极压性 (EP) 的 MAE 型浓缩物	MAF		
				与水混合的浓缩物, 具有防锈性透明溶液	MAG		
				具有减摩性和(或)极压性 (EP) 的 MAG 型浓缩物	MAH		
	润滑脂和膏与水的混合物	MAI	对于特殊用途可以加填充剂				

## 1. 按使用范围分类的 M 组产品品种分类表(参考件)

表 2-2 列出了按金属加工润滑剂主要组别提出的一般的, 不很详细的应用范围, 专业用户可参考此表得到通常应用的主要产品总体情况, 本表为按使用范围进行分类提供分类基础。

表 2-2 按使用范围的 M 组产品品种分类<sup>①</sup>

品种	切削	研磨	电火花加工	拉薄拉伸旋压	挤压	拔丝	锻造模压	轧制
L-MHA	○		○					○
L-MHB	○			○	○	○	○	○
L-MHC	○	○		○		●	●	
L-MHD	○			○				
L-MHE	○	○		○	○			
L-MHF	○	○		○				
L-MHG	○			○		○		

续表

品种	切削	研磨	电火花加工	拉薄拉伸旋压	挤压	拔丝	锻造模压	轧制
L-MHH						○		
L-MAA	○			○				●
L-MAB	○			○		○	●	○
L-MAC	○			●		●		
L-MAD	○			○	○			
L-MAE	○	●						
L-MAF	○	●						
L-MAG	●	○		●			○	○
L-MAH	○	○					○	
L-MAI				○		○		

①○—主要使用；●—可能使用。

## 2. 按性质和特性的 M 组产品品种分类表

为了对金属加工润滑剂的实际使用提供帮助，表 2-3 和表 2-4 列出了油基型和水基型分类的概要说明，并对上述两种产品性质和特性进行比较。

表 2-3 按性质和特性的 M 组产品品种分类表第 1 部分：油基型

产品类型和主要性质							
项目	符号	精制矿物油 <sup>①</sup>	其他	减摩性	EP <sup>②</sup> (cna) <sup>③</sup>	EP <sup>②</sup> (ca) <sup>④</sup>	备注
油基型	L-MHA	○					
	L-MHB	○		○			
	L-MHC	○			○		
	L-MHD	○				○	
	L-MHE	○		○	○		
	L-MHF	○		○		○	
	L-MHG		○				润滑脂
	L-MHH		○				皂

①—或合成油；②—极压性；③—无化学活性；④—有化学活性。

## 二、我国分类

1988 年我国制定了金属加工润滑剂分类标准 GB 6731.5，完全参照 ISO 6743/7，内容完全相同，即表 2-1~表 2-4。

表 2-4 按性质和特性的 M 组产品品种分类表第 2 部分:水基型

产品类型和主要性质								
项目	符 号	乳化液	微乳化液	溶液	其他	减摩性	极压性	备 注
水 基 型	L-MMA	○						润滑脂膏
	L-MAB	○				○		
	L-MAC	○						
	L-MAD	○				○		
	L-MAE		○					
	L-MAF		○			○	○	
	L-MAG				○			
	L-MAH				○	○	○	
	L-MAI							

### 三、美国分类

ASTM 于 1973 年制定金属加工液及有关产品的分类标准, 1983 年第三次确认为 ASTM D2881—73(83), 见表 2-5。

表 2-5 ASTM D2881—73(83)

	矿物油	分 类
油 和 油 基 液 体	脂肪油	(1) 纯脂肪油 (2) 含氯脂肪油 (3) 含硫脂肪油 (4) 含氯、含硫脂肪油
	复合油	(1) 矿物油复合脂肪油 (2) 矿物油复合硫化脂肪油或硫化非脂肪油 (3) 硫化或氯化矿物油 (4) 矿物油复合氯化脂肪油或氯化非脂肪油 (5) 矿物油复合硫化氯化脂肪或硫化氯化非脂肪油 (6) 复合(2)、(4)的矿物油 (7) 矿物油或脂肪油复合含磷含氮润滑剂或固体润滑剂
乳 化 液 和 分 散 型 液 体	水包油型 (溶解油)	(1) 矿物油型乳化液 (2) 矿物油复合脂肪乳化液 (3) 重负荷或极压乳化液
	油包水型	(1) 矿物油型乳化液 (2) 矿物油复合脂肪乳化液 (3) 重负荷或极压乳化液



	矿物油	分 类
乳化液和分散型液体	胶体乳化液	(1) 普通型乳化液 (2) 脂肪型乳化液 (3) 重负荷或极压乳化液
	分散型	(1) 物理法分散型(液体) 乳化液 (2) 物理法分散型(固体) 乳化液
化学溶液	有机型	水溶液有机物低表面张力透明溶液
	无机型	
固体润滑剂	混合型	(1) 高表面张力( $> 45 \times 10^{-5} \text{N}$ ) (2) 中表面张力 $[(36 \sim 44) \times 10^{-5} \text{N}]$ (3) 低表面张力( $< 35 \times 10^{-5} \text{N}$ )
	粉状	(1) 晶体型石墨、PdS、云母、 $\text{MoS}_2$ 、CaO、 $\text{CaCO}_3$ 、ZnO、ZnS (2) 聚合物聚乙烯、PTFE (3) 无定形皂蜡 (4) 上述(1)、(2)、(3) 混合物
	透明膜	(1) 硼化合物 (2) 玻璃 (3) 磷酸盐
	脂和糊状物	
	干膜	(1) 粒状涂层 (2) 树脂涂层 (3) 透明涂层, 盐和玻璃类
	化学转化涂层	(1) 磷酸盐 (2) 草酸盐
其他	氯化非油状物 硫化非油状物 上述磷酸盐和草酸盐的混合物 有机物: 醇、乙二醇、聚乙二醇、醚、磷化物、其他固体材料	

#### 四、日本分类

1980年日本对金属加工液(切削液)分成水不溶性切削油剂和水溶性切削油剂两类,是为JIS K2241—1980,后来撤销含亚硝酸钠的水溶性切削液W3,为K 2241—1997。近来又取消了含氟极压剂,现行的规格为K 2241—2000。如表2-6、表2-7、表2-8、表2-9。