



CRC Press
Taylor & Francis Group

Metalworking Fluids, 2nd Ed.

金属加工液

原著第二版

[美] 杰里·P·拜尔斯 主编

(Jerry P. Byers)

傅树琴 组织翻译



化学工业出版社



CRC Press
Taylor & Francis Group

Metalworking Fluids, 2nd Ed.

金属加工液

原著第二版

[美] 杰里·P·拜尔斯 主编

(Jerry P. Byers)

傅树琴 组织翻译



化学工业出版社

· 北京 ·

主 编 简 介

杰里·P. 拜尔斯 (Jerry P. Byers) 是美国俄亥俄州辛辛那提市米拉克龙公司新美科产品 (Cimcool) 的研发经理。他监管合成液、半合成液、乳化油和纯油产品的实验室开发。这些产品广泛应用于金属、玻璃、塑料、陶瓷和其它材料的加工。他最初加入公司的客户服务实验室部门，在获得现任职位之前，是冲压产品和拉拔产品的开发部主管。

杰里在鲍尔州立大学获得化学学士学位，在辛辛那提大学获得化学硕士学位。他是摩擦学家和润滑工程师协会 (STLE) 一名极其活跃的成员，也是 STLE 认证的金属加工液专家。作为 STLE 董事会成员，杰里在 STLE 辛辛那提分部任多项职务 (包括主席)。他还是 STLE 出版社的副主编、STLE 金属加工液教育课程的教师。他是一个无氯金属加工润滑剂复合包专利的持有人，发表多篇期刊论文，并出版了第一版《金属加工液》 (马塞尔·德克尔出版社，1994)。

作者名录 (Contributors)

Carolina C. Ang
General Motors R&D Center
Warren, Michigan

Giles J.P. Becket
Milacron Global Industrial Fluids
Cincinnati, Ohio

Robert H. Brandt
Brandt & Associates, Inc.
Pemberville, Ohio

John M. Burke
Houghton International
Valley Forge, Pennsylvania

Jean C. Childers
Consultant
Naperville, Illinois

James B. D'Arcy
General Motors R&D Center
Warren, Michigan

Jean M. Dasch
General Motors R&D Center
Warren, Michigan

James E. Denton (Ret.)
Cummins Engine Company
Columbus, Indiana

Raymond M. Dick
Milacron Global Industrial Fluids
Cincinnati, Ohio

Gregory J. Foltz
Milacron Global Industrial Fluids
Cincinnati, Ohio

William A. Gaines
Ford Motor Company
Dearborn, Michigan

John K. Howell
D.A. Stuart Company
Warrenville, Illinois

Lloyd J. Lazarus
Honeywell FM&T, LLC
Kansas City, Missouri

William E. Lucke
Compoundings (ILMA)
Cincinnati, Ohio

C.G. Toby Mathias
Group Health Associates
Cincinnati, Ohio

Jeanie S. McCoy
Consultant
Lombard, Illinois

Frederick J. Passman
Biodeterioration Control Associates, Inc.
Princeton, New Jersey

Stuart C. Salmon
Advanced Manufacturing Science & Technology
Rossford, Ohio

Cornelis A. Smits
Tech Solve
Cincinnati, Ohio

Kevin H. Tucker
Oak International division of Milacron, Inc.
Cincinnati, Ohio

Eugene M. White
Milacron Global Industrial Fluids
Cincinnati, Ohio

翻译组人员名录（按姓名拼音排序）

陈云东

新美科工业产品（上海）有限公司
技术研发经理

程宇君

新美科工业产品（美国）有限公司
润滑工程师，硕士

冯军勇

巴索国际贸易（上海）有限公司
北方区技术服务经理，硕士

傅树琴

中石化润滑油上海研发中心
首席工程师，教授级高工

巩清叶

嘉实多中国技术中心
研发工程师，理学博士

洪 泾

上海路博润国际贸易有限公司
工业添加剂亚太区技术经理

李 谨

中石化润滑油上海研发中心
金属加工油室主任，高级工程师

李子阳

福斯润滑油产品管理部
产品经理，硕士

刘 刚

上海宏泽化工有限公司
总经理

刘 钢

上海工具厂有限公司
技术中心副主任，工学博士

刘 煜

济南库伦特科技有限公司
生产部长，工学博士

刘镇昌

济南库伦特科技有限公司
技术部长，原山东大学教授，博导

潘传艺

广东工业大学
工学博士

任天辉

上海交通大学化学化工学院
教授，博士生导师

唐宏琴

禾大（CRODA）中国上海分公司
润滑业务中国区销售经理

王靖宇

中石化润滑油上海研发中心
研发工程师，工学博士

王 颖

上海路博润国际贸易有限公司
金属加工产品业务发展经理

韦利行

雅富顿化工科技（上海）有限公司
中国区技术经理，工学博士

吴茨萍

科莱恩化工（中国）有限公司
金属加工液销售/市场经理，硕士

夏崎峰

新美科工业产品（上海）有限公司
制造部经理

肖 剑

巴索国际贸易（上海）有限公司
市场部经理

杨京俊

联合生化（沈阳）有限公司
首席代表，工学博士

曾拥军

巴索国际贸易（上海）有限公司
华东区客户服务经理，硕士

张二水

原中石化石油化工科学研究院
教授级高工

张 鸣

科莱恩化工（中国）有限公司
金属加工液技术经理，硕士

张璐熠

马斯特（上海）化学有限公司
化学工程师，硕士

郑春燕

中石化润滑油上海研发中心
研发工程师，硕士

翻译组工作分工

组织策划：傅树琴

翻译兼一审（按章节顺序排列）：

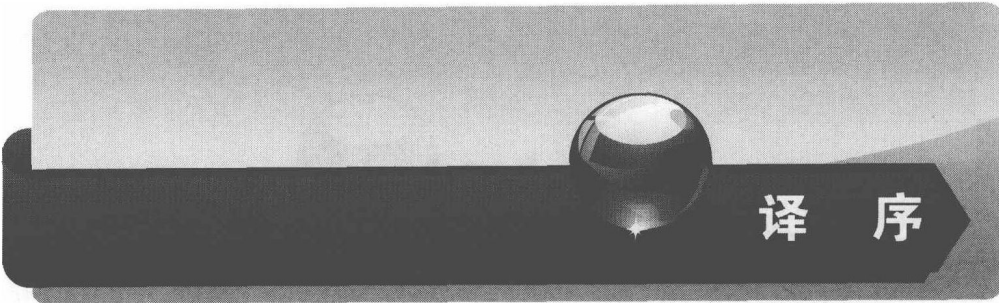
刘镇昌 刘 钢 张璐熠 吴茨萍 张 鸣 韦利行 陈云东
程字君 夏崎峰 巩清叶 潘传艺 李子阳 洪 泾 唐宏琴
曾拥军 刘 刚 王 颖 肖 剑 郑春燕

二审、三审、四审：

张二水 傅树琴 王靖宇 刘 煜 李 谨 冯军勇 曾拥军

技术顾问：张二水 杨京俊 任天辉

总 审 校：傅树琴 程字君



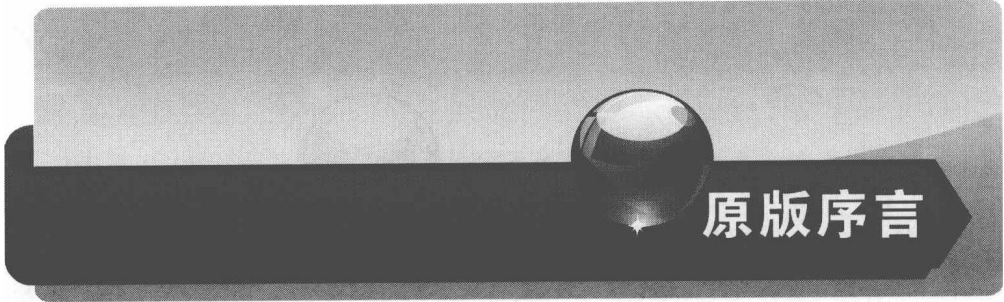
译 序

很高兴借此机会向读者们推荐这本书，因为在我的阅读范围内，我认为这是一本内容丰富、实用而又写得相当精彩的金属加工液方面的专著。此书由多位专家执笔，现在又由我国相关专业的多位专家译成中文。这样，在我国将会有更多的人阅读、参考。

此书是英文版第二版的中文译本，与原书 1994 年第一版相比，第二版的篇幅并未增加太多，但许多章节都做了较大变动，不但在内容上吸收采纳了 1994 年以来金属加工液技术的新进展，而且实用性也更强。新版还对相关的法律法规进行了系统的梳理和介绍，对我国读者也很有参考价值。可以预测此书中文版的发行将对我国金属加工液知识的普及和技术进步起到积极的作用。因此，此书中文版的出版发行是我国金属加工液行业中一件非常有意义的事。

按 ISO 6743/7（我国等效采用的标准是 GB 7631.5）的分类标准，金属加工液包括金属切削（磨削）液和成型加工（轧制、冲压、拉拔、锻造等）润滑剂两类产品。切削液（磨削）液是金属加工液各类产品中需求量最大、应用最广泛的品种。本书将重点放在切削液方面是很自然的事。通常金属加工液的市场需求量只占有润滑油市场份额的 3%~4%，按数量来说，金属加工液只是润滑油行业的一个“小玩意”，但金属加工液的品种却非常多，这些产品广泛应用于许多工业部门。由于各部门的加工工艺、被加工材质差别巨大，很多品种的通用性很差，所以至今除了有分类标准外，尚未能制定出通用的产品质量标准。可以说，衡量金属加工液产品质量优劣的唯一指标就是用户的满意度。由于没有通用的产品标准，所以给产品研发和技术服务带来一定的困难。正因为如此，也给产品研发和技术服务人员提供了许多改进产品质量、发展新技术的机会，所以令许多人感到从事金属加工液方面的工作是一种非常有趣的事。笔者从事金属加工液研发工作多年，每当工作有新的发现，或在阅读文献资料时获得启发，都感到十分快乐。我祝愿所有从事金属加工液工作的人员都能趣味盎然地工作，并在攻克一个又一个技术难关中得到乐趣。是为序。

张二水



原版序言

第一版《金属加工液》发表于十多年前，已经成为主要工业参考书之一，常被誉为金属加工行业的“圣经”。之所以能获得如此地位，原因之一是该书是少数覆盖了金属加工行业大量重要主题的参考书之一，这些主题包括：金属加工液技术、应用、维护、试验方法、健康与安全、政府法规、循环利用以及废液处理等。的确，摩擦学家和润滑工程师协会（STLE）金属加工认证委员会，在其“知识体系”中把这本书列为主要参考书，作为准备“合格金属加工液专家”认证考试的红宝书，而且是认证试题来源之一的同行评审文件。

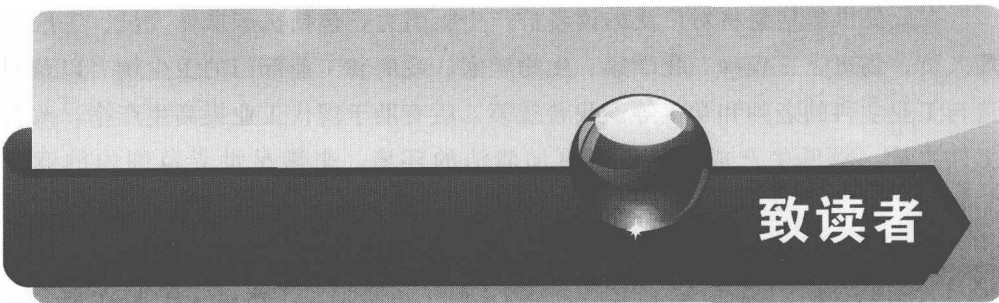
自《金属加工液》第一版发行至今，一些领域已经取得了重大的技术进步，第二版正好反映了这些技术发展。例如，人们更加深刻地理解了金属加工液微生物学及其对金属加工液性能、工人健康与安全的影响。此外，废液处理部分已经彻底地更新，由于第一版的政府法规章节也已经过时，所以第二版进行了重新编写。第二版以当今金属加工业界为目标，完全取代了第一版作为 STLE 合格金属加工液专家认证程序的“知识体系”。

事实上，当今的金属加工液是高尖端材料。金属加工液需要为高速条件下零部件的切削或成型加工提供必要的润滑、冷却和腐蚀抑制，在满足加工精度和表面光洁度的同时，获得最长的刀具寿命、最短的停机时间以及最低的工件次品率。这部优秀作品给人留下深刻的印象，她全盘地考虑问题，特别强调特定加工时对使用价值的影响，涉及油雾控制、遵守法规、工人健康与安全以及废液处理等方面的成本。

第二版《金属加工液》是对金属加工行业感兴趣人士的首选推荐书目。对有基本技术背景的人而言，本书容易阅读且易于理解，这正是该书的风格所在。所以，机床操作人员、工厂管理人员、领班、工程师、化学家、生物学家和卫生学者都会发现，本书不仅引人入胜，而且信息丰富。每章后面的众多参考文献和本书后面的三百多个专业术语尤其重要。

在此提供的信息将对广泛的读者群产生吸引力，包括机床操作人员、工厂管理人员、领班、工程师、化学家、生物学家、政府和工业部门的卫生学者以及制造与工业学科的老师和学生等。我希望第二版有助于现代工业提高生产率，改善工件质量，降低生产成本，创造更加清洁的环境，来满足世界范围内的竞争需要。

杰里·P. 拜尔斯
(Jerry P. Byers)



致读者

亲爱的读者：

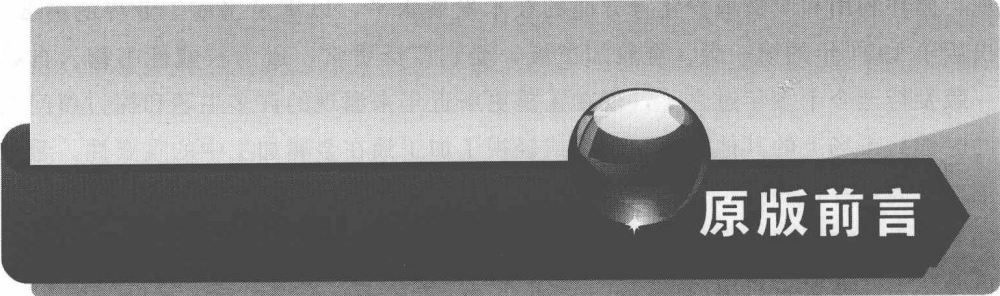
《金属加工液》（第一版）于 1994 年在美国出版以后，就成为了金属加工行业的主要参考资料之一。时至 21 世纪伊始，显然有必要发行第二版以反映金属加工行业发生的变化。因此，第二版已于 2006 年出版。它立即成为美国摩擦学家和润滑工程师协会（STLE）培训合格金属加工液专家的主要参考书目。于是我开始收到中国同行的来信，得知在中国迫切需要中文版本，因为中国的金属加工行业发展迅速，但缺少类似的参考资料。和世界各地该行业的人们一样，中国同行渴望在以下方面获得指导：用于各种场合的加工液类型、加工液化学、加工液维护、过滤工艺、微生物学、问题的解决、健康与安全、各种类型的实验室测试、循环利用和废液处理以及未来的发展方向。

2009 年，北美和欧洲的工业生产和润滑油行业受到国际金融危机的严重影响。然而，在同一时期，中国正加速工业化进程以跟上汽车和其他生活消费品快速增长的需求。因此，中国对金属加工液的需求，以及对更有效地使用金属加工液的信息需求持续增长。

遗憾的是，部分中国人不会阅读英文，特别是技术文献，而我不会用中文写作！因此，我谨向那些有着丰富金属加工经验，并通过辛勤努力来促成此中译本的技术人员致敬。

我希望《金属加工液》（第二版）中译本能够满足中国同行的需求，并能回答关于金属加工液——这一有助于提高生产率的重要工具的很多问题。

杰里·P. 拜尔斯
(Jerry P. Byers)



原版前言

人类切削金属的历史有多久，使用加工液的历史就有多久！水可能是第一种用到的液体，紧随其后的是动物脂肪、植物油、矿物油、水包油乳化液，近年来则是清澈透明的合成化学溶液。现今，许多金属加工冷却剂和润滑剂继续成为世界各地制造工艺的关键组成部分。

在职业生涯的早期，我开始强烈地意识到金属加工液的重要性。一次，我走在工厂的主干道上，路过一台正在干式加工铸铁的车床。突然，一大块冒着滚滚热烟的金属切屑从车床飞出，正好落在我的鞋和脚之间，在脚上烫出了一个大洞。虽然几周后就痊愈了，但却给我留下了永恒的回忆。我想知道比我更加靠近车床的操作工人，是如何避免受到更严重的伤害！虽然传统的观点认为，由于含有石墨成分，因而铸铁加工不需要润滑液，但是在加工过程中采用加工液，可以防止这种伤害、净化空气中的金属粉尘并防止零部件的闪蚀。

至今，尚有一些人仍然认为所有金属切削应该以干式方式完成。然而，只要花些时间去加工厂看看，就会经历许多不同的情形：机床在生产出合格部件时会出现问题，这与能够正确选用加工液或更好地应用加工液的加工方式有着天壤之别！再者，大多数可干式加工的工艺，改用合适的加工液之后，可极大地提高零部件的质量和生产率（交接班时已加工的零件总数）。经验显示采用加工液加工零件比不用加工液更加便宜。

用“油”或“切削油”泛指所有金属切削液虽然普遍，但很不准确。许多金属切削液根本不是油！本书使用术语“金属加工液”（MWF），包括金属切削液（MRF）和金属成型液，前者用于切削和磨削工艺，后者用于弯曲、变形和拉伸金属。据估计，全球金属切削液用量约为 3.40 亿加仑^①，金属成型液用量约为 1.85 亿加仑（美国总用量大致在 2.10~2.25 亿加仑之间）。

本书论述了金属加工液技术、应用、维护、试验方法、健康与安全、政府法

① 1gal=3.78541dm³，下同。

规、循环利用和废液最少化等方面的技术发展水平，以满足当前工业界的需要。出版于 1994 年的第一版《金属加工液》受到广泛赞赏，成为权威性书籍。自第一版发行至今十多年过去了，现在正是更新近年来涌现的许多主题和探讨新问题的時候！市场上的其他书籍，忽略或轻视了加工液在金属加工中的重要性。希望第二版能填补这些空白，并增添新的内容。本书的作者们是相应领域令人尊敬的知名人士，包括配方设计师、内科医生、大学教授、加工液用户、工业咨询专家以及化学品与设备供应商。

修订扩充后的第二版共有 19 章，总结了与金属加工液开发、评定和应用相关的多方面技术。第二版大多数章节已经更新，并增加了一些新的章节和新的作者。

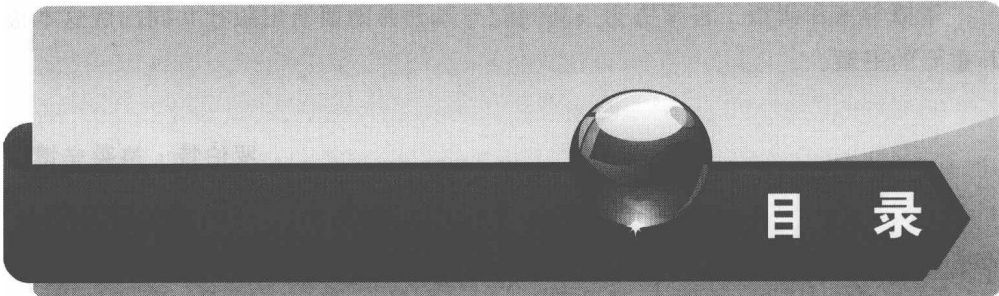
第 1 章追溯了金属加工润滑剂的发展历史。由于金属加工液用来加工各种金属合金，所以第 2 章论述了黑色金属和有色金属冶金学。第 3 章、第 4 章和第 5 章分别描述了金属加工液在金属切削、磨削和成型方面的应用。第 3 章关于金属切削部分是全新内容。第 6 章解释了纯油、乳化油、半合成液和合成液（不含油）化学。第 7 章让读者熟悉评定加工液性能的试验方法，同时添加了许多新内容。

金属加工液腐蚀控制和微生物控制两方面性能及其评定既重要又复杂，因此分别于第 8 章和第 9 章进行单独讨论。关于微生物控制的第 9 章已经重写，以反映业界最新的技术进展。第 10 章、第 11 章和第 12 章讲述了加工厂金属加工液的处理，主题分别为金属加工液的过滤、金属加工液的管理与问题的解决、金属加工液的循环利用。金属加工液在经历长时间使用后需要进行处理，第 13 章讲述了废液处理过程。经过重新修订的第 13 章涉及从水中去除某些有机废物的新技术，而这些处理在过去非常昂贵。该技术刚刚问世，令人振奋。

第 14 章和第 15 章关注的是机床操作工人的身体健康，分别讨论了接触性皮炎和健康与安全。尽管关于皮肤保护的基本内容并未改变，但第 15 章作了一些修改，增加了新的健康和安全问题。全新的第 16 章由金属加工液最终用户编写，调查了工作场所的空气质量 and 液雾状况。第 17 章引导读者进入错综复杂的美国政府法规迷宫中，解释了它们对工业的影响。这些法规影响金属加工液的生产和使用。新增加的第 18 章同样是由金属加工液终端用户完成的，讨论了使用金属加工液的成本和收益，纠正了在工业界一些部门流传的不准确的加工液费用的信息。最后，第 19 章提供了金属加工液及相关工业的四百二十多个术语的名词解释。这些术语及其解释由各个章节的作者提供。

摩擦学家和润滑工程师协会很高兴能与泰勒弗朗西斯出版社共同出版这本极其重要的书籍。

罗伯特·格莱辛博士
摩擦学家和润滑工程师协会职业发展部主任
伊利诺伊州帕克里奇市



目 录

第 1 章 金属加工液的发展简史 1

1.1 什么是金属加工液?	1
1.2 美国(20 世纪)90 年代金属加工液的使用状况	1
1.3 润滑剂的历史:金属加工液的早期使用证据	2
1.4 技术发展史	3
1.4.1 希腊和罗马时代	3
1.4.2 文艺复兴时期(公元 1450~1600 年)	3
1.4.3 第一次工业革命前期(公元 1600~1750 年)	3
1.5 机床的演化与金属加工液	5
1.5.1 金属加工液在机床上的早期使用	6
1.5.2 金属加工液用量的增长	7
1.5.3 第二次工业革命时期(公元 1850~1900 年)	7
1.5.4 金属加工液的早期实验	9
1.5.5 1900~1950 年金属加工液的状况	11
1.6 金属加工液的现状	16
参考文献	18

第 2 章 冶金学基础及表面形貌测量简介 21

2.1 引言	21
2.2 金属结构	21
2.3 金属性能	25
2.3.1 物理性能	25
2.3.2 力学性能	25

2.4 纯金属与合金	29
2.5 黑色金属	30
2.5.1 碳素钢与合金钢	31
2.5.2 硬度和淬透性	32
2.5.3 工具钢	32
2.5.4 不锈钢	34
2.5.5 铸铁	35
2.6 强化机理和钢铁微观结构	36
2.6.1 微观结构	37
2.6.2 钢的热处理	37
2.7 有色金属材料	40
2.7.1 铝	40
2.7.2 铝合金热处理	42
2.7.3 铜和铜合金	43
2.8 表面形貌的测量	44
2.8.1 术语	45
2.8.2 概念和参数	47
2.8.3 工程符号解释	48
参考文献	49

第3章 金属切削过程 51

3.1 背景	51
3.1.1 钻孔	54
3.1.2 攻丝	55
3.1.3 车削	56
3.1.4 铣削	58
3.1.5 拉削	60
3.2 切屑和热量的产生	60
3.3 切削过程的对比	61
3.4 切削液的作用	62
3.4.1 带走切屑	62
3.4.2 防止重复焊接	63

3.4.3 腐蚀保护	63
3.4.4 降低能源消耗	63
3.4.5 延长刀具寿命及提高生产力	64
3.4.6 产生确定类型的切屑	64
3.4.7 冷却作用	64
3.4.8 润滑作用	65
3.5 切削液的应用	67
3.6 关于湿式加工和干式加工的讨论	71
3.7 表面完整性和光洁度	72
3.8 刀具磨损的模式	74
3.8.1 硬质点磨损	74
3.8.2 黏结磨损	75
3.8.3 化学磨损	75
3.8.4 疲劳磨损	76
3.8.5 沟槽磨损	76
3.9 刀具涂层	77
3.10 高速切削加工	77
3.11 金属切削的未来走向	78
参考文献	79

第4章 磨削系统中的金属加工液 80

4.1 引言	80
4.2 金属加工液（磨削液）是整个磨削系统的组成要素之一	81
4.3 金属加工液（磨削液）的性能	83
4.3.1 生产效率	84
4.3.2 砂轮寿命	85
4.3.3 能耗	86
4.3.4 加工质量	86
4.4 磨削参数与金属加工液（磨削液）的相互关系	87
4.4.1 磨削效果图解	88
4.4.2 砂轮对磨削效能的影响	89
4.4.3 金属加工液（磨削液）对磨削效能的影响	89

4.5 金属加工液（磨削液）在磨削区的应用	93
4.5.1 滴流喷嘴	93
4.5.2 加速区域喷嘴	94
4.5.3 消防水龙头喷嘴	96
4.5.4 射流喷嘴	97
4.5.5 环绕式喷嘴	98
4.5.6 金属加工液（磨削液）在超硬磨料磨削上的应用	98
4.6 过滤系统的选择	100
4.7 保持金属加工液（磨削液）冷却	102
4.7.1 蒸发和对流	103
4.7.2 用空气冷凝器冷却	103
4.7.3 强制蒸发冷却	104
4.7.4 制冷和换热器冷却	105
4.7.5 金属加工液（磨削液）温度对树脂结合剂砂轮磨削参数的 影响	105
参考文献	107

第5章 金属成型加工工艺及润滑剂的应用 108

5.1 引言	108
5.2 影响金属成型润滑剂要求的因素	109
5.2.1 金属成型润滑剂的种类	109
5.2.2 金属成型润滑剂中使用的润滑添加剂	110
5.2.3 金属成型润滑剂的物理性质	110
5.2.4 金属成型润滑剂的功能	111
5.2.5 润滑的种类	112
5.2.6 应用金属成型润滑剂的方法	114
5.2.7 清除金属成型润滑剂的方法	115
5.2.8 金属成型前处理工艺	115
5.2.9 金属成型后处理工艺	116
5.3 金属成型工艺	116
5.3.1 冲裁	116
5.3.2 拉深	118