军事装备润滑剂应用技术



王煊军　曹小平　张有智　汪元贵　编著

國防工業出版社
National Defense Industry Press

需要全本请访问 www.ertongbook.com

TE66
1
66/68

军事装备
润滑剂应用技术

王煊军　曹小平　张有智　汪元贵　编著

学院图书馆
藏书专用章

国防工业出版社
·北京·

内容简介

本书共分九章，主要内容包括：军事装备润滑油的应用，军事装备润滑脂的应用，军事装备固体润滑剂的应用，军事装备特种液的应用，军事装备润滑剂的选择与更换，军事装备润滑剂质量分析、鉴别方法和储运管理，废军事装备润滑剂的处理与再利用，外军装备润滑剂的应用现状和发展趋势等。

本书可作为军事装备管理及技术人员的参考书，同时也可作为高等军事院校本科生教材或研究生和教师的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

军事装备润滑剂应用技术/王煊军等编著．—北京：国防工业出版社，2005.9

ISBN 7-118-04103-3

Ⅰ．军… Ⅱ．王… Ⅲ．武器装备—润滑剂 Ⅳ．TE626

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 091650 号

国防工业出版社出版发行

（北京市海淀区紫竹院南路 23 号）

（邮政编码 100044）

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 19¼ 364 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月北京第 1 次印刷

印数：1—3000 册 定价：45.00 元

（本书如有印装错误，我社负责调换）

国防书店：(010)68428422 发行邮购：(010)68414474

发行传真：(010)68411535 发行业务：(010)68472764

前　言

高技术条件下的局部战争是未来战争的基本形式，大量高技术武器装备投入使用，不仅导致战略战术、作战样式、部队编制和指挥手段等的“革命”，同时还引起部队装备保障的深刻变化。军事装备润滑剂在战争中的地位与作用毋庸置疑，然而高技术战争下润滑剂保障的新特点、新要求更应高度重视。军事装备润滑剂在装备维修中有着广泛应用，是“维持机械正常运转的血液”。正确选择和使用润滑剂，对于保证军事装备处于良好状态、充分发挥装备功能、延长装备使用寿命，具有十分重要的作用。

随着国民经济的发展和我军装备的更新换代，我国军事装备润滑剂的发展经历了几个重要阶段。新中国建立初期，一部分是苏联配方的仿制品，另一部分则依赖进口；20 世纪 60 年代后期，随着我国石油工业的发展，开始研究适应我军装备的润滑剂；20 世纪 80 年代以后，一批性能优良的润滑材料相继问世，逐步形成了“国产为主、进口为辅”的格局。

为满足军事装备不同部位的润滑、能量传递、冷却、减震、防水、除霜等特殊需要，润滑剂的类别及品种繁多。军事装备润滑剂品种多，一个型号装备所用的润滑剂品种多达几十甚至上百种；技术标准复杂，有国家标准（GB）、国家军用标准（GJB）、部门标准（SH）、专业标准（ZBE）、企业标准（Q/SH）等；市场油品型号更新变化快，旧品种不断淘汰，新品种不断出现；使用范围广、不同装备用量各异、使用环境千差万别。各军兵种在装备维修中普遍存在着润滑剂筹措、供应、储备、使用、管理难等实际问题，极不利于装备保障，严重影响和制约着武器装备战斗力的形成和发挥。

与世界先进军事大国相比，我军装备润滑剂在质量、使用和管理等方面都存在一定差距。如：美军车辆汽油机油的质量领先我军两三个等级，柴油机油的质量领先三四个等级；为减少润滑剂使用对环境造成的污染，美军开始研制可生物降解的润滑材料，并且进展迅速。美军装备润滑剂应用技术代表着当今世界军事技术最高水平，一是发展热氧化安定性高、低温性能好的润滑油，二是选用通用油以简化润滑油品种，这对我军装备润滑剂的使用和管理都是很好的借鉴。

为提高军事装备润滑剂保障能力，方便装备生产部门、科研单位、使用与管理人员正确选择和使用润滑剂，保障军事装备发挥其应有的战术技术性能，我们在汲

取国际、国内最新研究成果和总结我军装备润滑剂管理、使用实际经验的基础上，结合我们多年从事教学、科研及装备润滑剂管理工作的实践，编著了《军事装备润滑剂应用技术》一书。本书全面、系统地介绍了军事装备润滑剂应用技术知识，突出反映了当前军事装备润滑剂的最新进展，同时也著述了我们在军事装备润滑剂新旧型号代用难题上经过多年研究的成果，这对促进军事装备润滑剂筹措、储备和使用的标准化、制度化，避免盲目采购、供需脱节和积压浪费等意义重大。本书可作为军事装备管理及技术人员的参考书，同时也可作为高等军事院校本科生教材或研究生和教师的参考用书。

本书在编写过程中，得到了中国人民解放军总后勤部、总装备部及第二炮兵装备部、第二炮兵化学计量站、第二炮兵工程学院等单位领导、专家的大力支持和帮助。部分内容参考和引用了国内外有关研究人员的部分成果，在此向他们表示诚挚的谢意。

由于作者水平，资料所限，书中错误与不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

2005 年 5 月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

第 1 章　绪论 …… 1

1.1　军事装备润滑剂的发展简史 …… 1

1.1.1　古代军事装备润滑剂 …… 1

1.1.2　近代军事装备润滑剂 …… 2

1.1.3　现代军事装备润滑剂 …… 2

1.2　军事装备润滑的基本概念 …… 4

1.2.1　摩擦与润滑的概念 …… 4

1.2.2　摩擦 …… 5

1.2.3　润滑的类型 …… 6

1.3　军事装备润滑剂的特点及其质量要求 …… 9

1.3.1　军事装备润滑剂的特点 …… 9

1.3.2　军事装备润滑剂的基本功能 …… 11

1.3.3　军事装备润滑剂的质量要求 …… 11

1.4　军事装备润滑剂的分类及典型应用 …… 12

1.4.1　润滑剂和有关产品(L 类)的分类 …… 12

1.4.2　军事装备润滑剂的分类及典型应用 …… 13

第 2 章　军事装备润滑油的应用 …… 19

2.1　润滑油的制备过程 …… 19

2.1.1　基础油的精制过程 …… 19

2.1.2　润滑油添加剂 …… 22

2.2　润滑油的基本性能 …… 24

2.2.1　物理性能 …… 24

2.2.2　化学性能 …… 28

2.2.3　热性能 …… 29

2.2.4　低温性能 …… 30

2.2.5　电性能 …… 31

2.2.6 安全性…… 32
2.3 军事装备润滑油技术指标…… 34
2.3.1 全系统损耗用油…… 34
2.3.2 液压油…… 35
2.3.3 齿轮油…… 48
2.3.4 内燃机油…… 55
2.3.5 航空发动机润滑油…… 67
2.3.6 压缩机油、冷冻机和真空泵油 …… 74
2.3.7 主轴、轴承油和导轨油 …… 81
2.3.8 暂时保护防腐蚀用油…… 85
2.3.9 电器绝缘油…… 91
2.3.10 汽轮机油 …… 93
2.3.11 汽缸油 …… 97
2.3.12 其他 …… 97
第3章 军事装备润滑脂的应用…… 104
3.1 润滑脂的作用和组成 …… 104
3.1.1 概述 …… 104
3.1.2 润滑脂的作用 …… 105
3.1.3 润滑脂的组成 …… 106
3.2 润滑脂的基本性能 …… 112
3.2.1 锥入度 …… 112
3.2.2 滴点 …… 112
3.2.3 相似黏度(表观黏度) …… 113
3.2.4 机械安定性 …… 114
3.2.5 胶体安定性 …… 114
3.2.6 氧化安定性 …… 115
3.2.7 蒸发性 …… 115
3.2.8 润滑性能 …… 115
3.2.9 防护性能 …… 116
3.2.10 抗水性能…… 116
3.2.11 橡胶相容性…… 116
3.2.12 其他性能…… 117
3.3 军事装备润滑脂技术指标 …… 117
3.3.1 皂基润滑脂 …… 117

3.3.2 烃基润滑脂 …… 126
3.3.3 无机润滑脂 …… 128
3.3.4 有机润滑脂 …… 130
3.3.5 合成油脂 …… 132

第4章 军事装备固体润滑剂的应用 …… 145

4.1 固体润滑剂的特点及使用 …… 145
4.1.1 固体润滑剂的特点 …… 145
4.1.2 固体润滑剂的应用范围 …… 146
4.1.3 固体润滑剂的使用方式 …… 147
4.2 固体润滑剂的种类和特性 …… 149
4.2.1 固体润滑剂的种类 …… 149
4.2.2 固体润滑剂的特性 …… 152
4.3 固体润滑剂的基本性能 …… 154
4.3.1 粉末状固体润滑剂 …… 154
4.3.2 覆膜状固体润滑剂 …… 156
4.4 军事装备固体润滑剂技术指标 …… 159
4.4.1 粉末状固体润滑剂 …… 159
4.4.2 覆膜状和自润滑固体润滑剂 …… 163

第5章 军事装备特种液的应用 …… 165

5.1 制动液 …… 165
5.1.1 概述 …… 165
5.1.2 制动液的作用 …… 165
5.1.3 制动液的工作条件 …… 167
5.1.4 制动液的主要性能要求 …… 167
5.1.5 制动液的分类及技术指标 …… 168
5.1.6 制动液的使用与管理 …… 178
5.2 冷却液 …… 179
5.2.1 概述 …… 179
5.2.2 军用全寿命冷却液 …… 181
5.2.3 军用长效防冻液 …… 182
5.2.4 乙二醇-水冷却液 …… 182
5.2.5 酒精-水冷却液 …… 185
5.2.6 甘油-水冷却液 …… 185
5.3 减震液 …… 186

5.3.1 减震液的主要特性 …… 186
5.3.2 减震液的组成及技术指标 …… 186
5.4 防冰防霜液 …… 188
5.4.1 飞机座舱盖防冰液 …… 188
5.4.2 飞机螺旋桨防冰液 …… 189
5.4.3 汽车防霜液 …… 189
5.5 罗盘油 …… 189
5.5.1 罗盘油的主要性能 …… 189
5.5.2 飞机罗盘油 …… 190
5.5.3 舰艇罗盘油 …… 190
5.6 洗涤油 …… 190
5.6.1 洗涤油的分类及性能要求 …… 191
5.6.2 典型洗涤油技术指标 …… 191

第6章 军事装备润滑剂的选择与更换 …… 194

6.1 典型军事装备润滑剂的名称和用途 …… 194
6.2 军事装备润滑剂的选择 …… 200
6.2.1 军事装备润滑油 …… 200
6.2.2 军事装备润滑脂 …… 203
6.2.3 军用车辆润滑剂 …… 206
6.3 军事装备润滑剂品种的简化 …… 212
6.3.1 军事装备润滑剂 …… 212
6.3.2 军用车辆润滑剂 …… 219
6.4 军事装备润滑剂的更换 …… 225
6.4.1 军事装备润滑剂更换的原因及依据 …… 225
6.4.2 发动机润滑油的更换 …… 226
6.4.3 军用车辆齿轮油的更换 …… 228
6.4.4 工业闭式齿轮油的更换 …… 229
6.4.5 液压油的更换 …… 230
6.4.6 轻负荷喷油回转式空气压缩机油的更换 …… 231
6.4.7 舰艇主要润滑油的更换 …… 232
6.4.8 军用车辆润滑脂的更换 …… 233
6.4.9 军用车辆特种液的更换 …… 233

第7章 军事装备润滑剂质量分析、鉴别方法和储运管理 …… 234

7.1 润滑剂性能常规分析方法 …… 234

7.1.1 润滑油 …… 234
7.1.2 润滑脂 …… 242
7.1.3 固体润滑剂 …… 246
7.2 润滑剂性能质量简易鉴别方法 …… 247
7.2.1 润滑油 …… 247
7.2.2 润滑脂 …… 248
7.3 军事装备润滑剂的储运管理 …… 249
7.3.1 军事装备润滑剂储运基本要求 …… 250
7.3.2 军事装备润滑剂的保管 …… 251
7.3.3 供应及包装形式的改进 …… 253
7.3.4 军事装备润滑剂的安全管理 …… 254
第8章 废军事装备润滑剂的处理与再利用 …… 258
8.1 军事装备润滑剂的变质和处理 …… 258
8.1.1 润滑油 …… 258
8.1.2 润滑脂 …… 259
8.2 军事装备润滑剂再生技术 …… 260
8.2.1 润滑油 …… 260
8.2.2 润滑脂 …… 263
8.3 废军事装备润滑剂处理的环境问题 …… 264
8.3.1 润滑剂对环境的影响 …… 264
8.3.2 废润滑剂处理的环保问题 …… 265
第9章 外军装备润滑剂的应用现状和发展趋势 …… 267
9.1 美军装备润滑剂的应用与发展 …… 267
9.1.1 车用发动机油 …… 267
9.1.2 航空涡轮发动机润滑油 …… 269
9.1.3 舰船柴油机油 …… 270
9.1.4 航空润滑脂 …… 271
9.1.5 防冻液 …… 273
9.1.6 合成制动液 …… 274
9.1.7 干膜润滑剂 …… 275
9.1.8 可生物降解润滑脂 …… 277
9.2 俄军装备润滑剂的应用与发展 …… 280
9.2.1 地面装备润滑剂 …… 280
9.2.2 航空发动机油 …… 283

9.2.3 舰船柴油机油 …… 286
9.3 日军装备润滑剂的应用与发展 …… 286
9.3.1 日军地面装备润滑剂的种类 …… 286
9.3.2 日军地面装备润滑剂的使用标准 …… 286
9.3.3 日军特种液的应用状况 …… 288
附录 …… 289
附录1 运动黏度与恩氏黏度换算表 …… 289
附录2 黏度换算表 …… 290
附录3 对应于运动黏度的 L、D 和 H 值 …… 291
参考文献 …… 296

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第1章 绪 论

军事装备润滑剂是指用于军事装备润滑，以减少机械摩擦，降低磨损，延长装备使用寿命的润滑材料。

军事装备润滑剂保障是装备维修保障的一项重要任务，对保证军事装备处于良好状态、充分发挥装备功能、延长装备使用寿命，具有十分重要的作用。深入研究军事装备润滑剂，对于正确认识、指导军事装备润滑剂的使用和管理，具有重要意义。

1.1 军事装备润滑剂的发展简史

军事装备润滑剂是伴随着社会的进步和战争的需要而出现的，并随着战争规模的扩大，交战双方现代化武器装备的大量运用，军事装备润滑剂得到了迅速的发展。纵观军事装备润滑剂的发展历史轨迹，大致经历了古代军事装备润滑剂、近代军事装备润滑剂和现代军事装备润滑剂三个历史阶段。

1.1.1 古代军事装备润滑剂

人类使用润滑剂的历史可以追溯到人类文明诞生的初期，很早人们就已经懂得使用动物脂肪和植物油作为润滑剂，用于降低运输工具和机械的摩擦力，如我国周代中期(公元前1066年—570年)就有关于润滑的记载，《诗经》卷二邶风，泉水三章中就有把膏脂涂在车轴进行润滑的记载，那时人们已经懂得使用膏脂润滑车轴。

当然膏脂更多的是用于古代战车(马车或牛车等)使用，这就是最原始的军事装备润滑剂。

由于战争需要大量的粮食、兵器及草料等，古代一些军事家极为重视军事物资的储存和运输。当时作战物资的运输开始主要是畜力运输，后来为了提高运输速度和负荷量，制造了专门的运输工具。如在《史记》中有描述战车载运士兵的情景；在《诗经》中也记载了公元前823年，周宣王北伐时用4匹高头大马拉着战车载运士兵服装的情景；到了明代，战车数量更可观、种类更多，公元1410年明成祖北伐时，就命工部监造战车三万辆。为了降低运输工具和机械的摩擦力，古代人们就采用动植物膏脂涂抹于车辆的车轴上，提高了运输速度和负荷量；为了不使刀枪生

锈，也采用动植物油进行防锈，这就是古代军事装备润滑剂的应用。

1.1.2 近代军事装备润滑剂

虽然在公元 450 年—1450 年的中世纪，润滑剂的使用有了缓慢发展，但直到公元 1750 年—1850 年的工业革命之前，润滑剂的作用仍仅限于降低摩擦和磨损。

18 世纪下半叶蒸汽机的发明，导致了产业革命。从 19 世纪初开始，蒸汽机先后应用于船舶和铁路，于是机动船和机车问世了，开辟了近代交通的新纪元。与此同时，新科技的运用，促进了武器装备的发展，火炮、火枪和装甲车逐渐成为战争制胜的法宝，从而对润滑材料提出了更高的要求。

随着人类开采石油历史的发展，在 18 世纪末至 19 世纪初，第一次出现了矿物油润滑剂商品。随着 19 世纪中期美国、俄国、罗马尼亚等国钻探开采石油取得巨大成功，炼油厂也在这些国家纷纷建立。1876 年俄国人在俄国巴拉罕建立了世界上第一个润滑油工厂，1878 年在巴黎举行的世界博览会上推出了世界上第一批矿物润滑油样品，在当时曾引起巨大轰动，但世界范围矿物润滑油工业直到 19 世纪末期才真正建立，至于生产工艺的现代化则是近几十年才完成的。

1.1.3 现代军事装备润滑剂

1. 矿物润滑油的发展

两次世界大战、军事工业的迅速发展以及现代工业生产，对润滑油的品种、品质提出了新的更高要求，促进了军事装备润滑剂应用的大发展。首先 20 世纪 20 年代，管式减压蒸馏工艺的应用，使从重油中大量获取重质润滑油成为可能，与此同时人们开发出选择性溶剂精制润滑油的工艺技术，于 1923 年建立第一套用液态 SO_2 精制润滑油的工厂，1928 年世界第一套酚精制润滑油装置在加拿大帝国石油公司的萨尼亚炼油厂投产。脱蜡工艺的研究也取得重大进展，1927 年第一套酮苯溶剂脱蜡装置在美国印第安纳炼油公司投入运营，突破了润滑油加工中最困难的一步。1930 年氯代烷溶剂脱蜡工艺在德国实现工业化，1933 年德士古公司开发了糠醛精制润滑油工艺获得成功，1936 年第一套具有卧式提取器的丙烷脱沥青装置在美国投产，使残渣润滑油的生产成为可能，并形成世界矿物油工业现代大发展阶段。

20 世纪 30 年代，人们开始研制各种润滑油改性添加剂，把这些添加剂调入经过良好加工的矿物油中，使其性能得到极大改善。添加剂的使用使人类摆脱石油天然性能的限制以更大的自由度来满足现代工业和军事装备发展对润滑油提出的新要求，这也是矿物润滑油工业进入现代化发展的新阶段的标志。

2. 合成润滑剂的发展

由于矿物油在高于 100℃的温度下会逐渐氧化，而在低于 −20℃的温度下流动性大为降低。这种性能已完全不能适应 20 世纪发展起来的机械化军事装备的

需要，如在第二次世界大战的斯大林格勒战役中，由于矿物润滑油低温性能差，使德国的战车、飞机无法启动，使“伟大”的德意志和“伟大”的希特勒从此走上了失败的道路。为了适应对润滑剂的这种特殊要求，人们从20世纪30年代开始用化学合成的方法研制合成润滑剂。

1942年，美国海军研究室的W. A. Zisman为满足海军飞机和武器的润滑而寻找具有低黏度、高黏度指数、低倾点并且与矿物油相容的液体时，发现癸二酸(2-乙基己基)酯具有高黏度指数和低倾点的特点。至1947年，美国航天局批准在海军航空发动机实验室的涡轮螺旋桨和涡轮喷气发动机上对癸二酸双酯和壬二酸双酯进行试用并取得成功，从而使酯类油发展成为产量较大的一种合成润滑剂。

为了研制原子弹，在第二次世界大战中美国研制了氟油，用于六氟化铀气体扩散设备的润滑，保证了研制原子弹的“曼哈顿计划”的实现。

1949年至1953年，壳牌公司研究用有机磷化合物作为合成油和液压油，发现芳基磷酸酯可作为难燃液压油，先应用于民用飞机，后来被应用于工业液压设备和海军舰艇上，使磷酸酯成为又一种重要的合成润滑剂。

与矿物油相比，一般合成润滑油具有优良的黏湿特性和低温性能，良好的高温性和热氧化稳定性，良好的润滑性和低挥发性，因而能满足矿物油不能满足的使用要求，但由于合成润滑剂价格较高，目前主要用作航空、航天和军事领域的特殊润滑材料。

3. 固体润滑剂的发展

近30年来，摩擦学的研究重点发生了明显的变化，即从润滑和润滑系统转向材料科学和技术的研究。由于现代军事装备的发展，特别是航空工业、空间技术的发展，它们的许多工况条件已经超过了润滑油(脂)的使用极限，这就促使人们去寻求新的润滑材料。

20世纪50年代初，美国制定了二硫化钼的第一个军用标准(WIL-7866)，并将其作为军事机密；1957年苏联人造卫星的发射成功，揭开了人类进入宇宙时代的序幕，并把固体润滑剂的研究推进到一个引人注目的新阶段。

20世纪60年代，陶瓷黏结二硫化钼膜和金属自润滑复合材料的开发，使得超音速飞机RS-70问世飞行时，机上约1000个部位实现了固体润滑；随后，二硫化钼溅射膜和离子镀膜相继出现，氟化石墨研制成功。在以后发射的气象卫星、国际通信卫星、宇宙飞船等航天工程中，大量使用了各种各样的固体润滑材料。

固体润滑剂克服了液体润滑剂的一些缺点。例如，润滑油、润滑脂蒸气压都较高，不能在10^{-1}Pa以上的高真空条件下长时间工作，而人造卫星运行的宇宙空间环境绝对压力达(10^{-3}～10^{-2})Pa，必须采用蒸气压很低的固体润滑剂。

运载人造卫星的火箭推进剂如果采用煤油和液氢作为燃料、液氧作为氧化剂，液氢和液氧沸点分别是－253℃和－183℃的超低温流体，在将它们从储罐加压输

送到燃烧室的涡轮泵支架轴承上不能使用润滑油，只能采用固体润滑剂来润滑，因为液氧一旦与润滑油接触就会发生爆炸。

金属基自润滑复合材料具有机械强度高、导电性和传热性能好、摩擦系数低和耐磨寿命长的优点，因而在大气中和超真空条件下可作为润滑轴承和电接触材料，应用于军事装备、航空航天工业迫切需要解决润滑问题的地方。

陶瓷耐磨润滑材料可以大幅度提高内燃机的热能利用率，是世界上近年来研究比较热门的材料之一，如关键技术得以攻克，将产生显著的军事效果和经济效益。

1.2 军事装备润滑的基本概念

军事装备润滑就是在相对运动的摩擦接触面之间加入润滑剂，使两接触面之间形成润滑膜，变干摩擦为润滑剂内部分子间的内摩擦，以达到减少摩擦、降低磨损、延长军事装备机械设备使用寿命的目的。

1.2.1 摩擦与润滑的概念

当两个紧密接触的物体沿着它们的接触面作相对运动时，会产生一个阻碍这种运动的阻力(图 1-1)，这种现象叫摩擦。这个阻力就叫摩擦力。摩擦力与垂直载荷的比值叫摩擦系数。

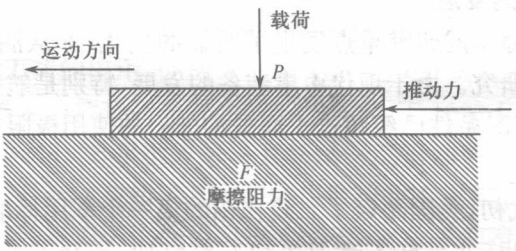


图 1-1 摩擦及摩擦力示意图

(1)摩擦力与法向载荷成正比：$F \propto P$。

(2)摩擦力与接触面积大小无关。

(3)摩擦力与表面滑动速度的大小无关。

(4)静摩擦力(有运动趋向时)F_s大于动摩擦力 F_k，即 $F_s > F_k$。

摩擦定律公式：

$$F = fP$$

或

$$f = \frac{F}{P}$$

式中 F——摩擦力；

P——法向载荷，即接触表面所受的载荷；

f——摩擦系数，它与接触表面材料、表面粗糙度和润滑等因素有关。

机械中凡是互相接触和相互之间有相对运动的两个构件组成的联接称为“运动副”(也称为“摩擦副”)。如机床里的滑块与导轨，滚动轴承里的滚珠与套圈，火车的车轮与铁轨等。任何机械的运转都是靠各种运动副的相对运动来实现的，而相对运动时必然伴随着摩擦的发生。摩擦首先是造成不必要的能量损失，其次是使摩擦副相互作用的表面发热、磨损乃至失效。

摩擦是运动副表面材料不断损失的现象，它引起运动副尺寸和形状的变化，从而导致损耗。例如，轴在轴承内运转，轴承孔表面和轴径逐渐磨损，间隙逐渐扩大，发热，使得机械精度和效率下降，伴随着产生冲击负荷，摩擦损失加大，磨损速度加剧，最后使得机械失效。

润滑是在相对运动部件相互作用表面上涂有润滑物质，把两个相对运动表面隔开时运动副表面不直接发生摩擦，而只是润滑物质内部分子与分子之间的摩擦。

所以，摩擦是运动副作相对运动时的物理现象，磨损是伴随摩擦而发生的事实，润滑则是减少摩擦、降低磨损的重要措施。

1.2.2 摩擦

1. 产生摩擦的原因

对于接触表面作相对运动时产生摩擦力这一现象有各种各样的解释，综合起来有以下几点：

(1)机械上发生相对运动的部位一般都经过加工，具有光滑的表面。但实际上，无论加工程度怎样精密，机件表面都不可能“绝对”平滑，在显微镜下看来，都是有高有低、凸凹不平的，如图 1-2 所示。

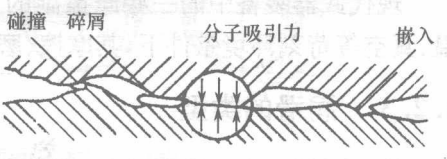


图 1-2 摩擦及摩擦力示意图

如果摩擦表面承受载荷而又紧密接触，两个表面上的突起和陷下部分就会犬牙交错地嵌合在一起，两个接触表面作相对运动时，表面上的突起部分就会互相碰撞，阻碍表面间的相对运动。

(2)由于两个摩擦表面承受载荷并紧密接触，表面是由若干突起部分支撑着的，支撑点处两表面之间的距离极小，处于分子引力的作用范围之内，表面作相对运动时，突起部分也要跟着移动，因此就必须克服支撑点处的分子引力。

(3)由于碰撞点和支撑点都要承受极高的压力，这就使这些地方的金属表面发生严重的变形，一个表面上的突起就会嵌入另一个表面中去。碰撞和塑性变形都会导致产生局部瞬间高温，而撕裂黏结点要消耗动力。

以上各点综合起来就表现为摩擦力。

2. 摩擦的分类

摩擦有许多分类法。

1)按摩擦副运动状态分

(1)静摩擦:一个物体沿着另一个物体表面有相对运动趋势时产生的摩擦,叫做静摩擦。这种摩擦力叫做静摩擦力。静摩擦力随作用于物体上的外力变化而变化,当外力克服了最大静摩擦力时,物体才开始宏观运动。

(2)动摩擦:一个物体沿着另一个物体表面相对运动时产生的摩擦叫做动摩擦。这时,产生的阻碍物体运动的切向力叫做动摩擦力。

2)按摩擦副接触形式分

(1)滑动摩擦:接触表面相对滑动时的摩擦叫做滑动摩擦。

(2)滚动摩擦:在力矩作用下,物体沿接触表面滚动时的摩擦叫做滚动摩擦。

3)按摩擦副表面润滑状态分

(1)干摩擦:指既无润滑又无湿气的摩擦。

(2)流体摩擦:即流体润滑条件下的摩擦。这时两表面完全被液体油膜隔开,摩擦表现为由黏性流体引起。

(3)边界摩擦:指摩擦表面有一层极薄的润滑膜存在时的摩擦。这时,摩擦不取决于润滑剂的黏度,而是取决于接触表面和润滑剂的特性。

(4)混合摩擦:属于过渡状态的摩擦,包括半干摩擦和半流体摩擦。半干摩擦是指同时有边界摩擦和干摩擦的情况。半流体摩擦是指同时有流体摩擦和干摩擦的情况。

现代武器装备中的一些摩擦副的工作条件是复杂的,如处于高速、高温或低温、真空等苛刻环境条件下,其摩擦、磨损情况也各有不同的特点。

1.2.3 润滑的类型

按照摩擦副表面润滑状态,润滑类型分为:流体润滑、边界润滑、混合润滑,如图 1-3 所示。

1. 流体润滑

在两摩擦面之间加有液体润滑剂,润滑油膜把两摩擦面完全隔开,变金属接触干摩擦为液体内摩擦,这就是流体润滑,如图 1-4 所示。

流体润滑的优点是摩擦系数小,通常为 0.001～0.01,只有金属直接接触时的几十分之一。

实现流体润滑的条件:

(1)摩擦表面间必须有相对运动;

(2)顺着表面运动的方向,油层必须成楔形;

(3)润滑油与摩擦表面必须有一定的附着力(与油性有关),润滑油随摩擦表面

需要全本请访问 www.ertongbook.com