

润滑技术及应用



RUNHUA JISHU JI YINGYONG

黄志坚 编著



化学工业出版社

润滑技术及应用



RUNHUA JISHU JI YINGYONG

黄志坚 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统且简明扼要地介绍了润滑技术理论方法的应用。本书共分4章。第1章介绍各类润滑材料的技术特点及适用范围。第2章介绍各类润滑方法、润滑装置的结构原理及应用。第3章介绍润滑系统的维护管理及故障分析与排除方法。第4章介绍典型机械设备的润滑技术及管理要点。

本书有以下特点：①既介绍一般的润滑技术知识，也收入了润滑工作实例，以利读者既掌握润滑工作要领，又通过实例掌握具体的方法。②尽量体现润滑新技术的应用，书中部分资料是本领域新成果的总结，以利本领域的技术创新与进步。③体现润滑工程的学科交叉。现代润滑工程涉及机械、化工、流体力学、自动控制等学科，本书力求体现这些学科在润滑系统的具体应用。

本书的读者主要是广大工矿企业一线设备管理维修人员。本书可作为高校机电类专业师生的教学参考书，也可作为润滑专业技术培训的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

润滑技术及应用/黄志坚编著. —北京：化学工业出版社，2015.5
ISBN 978-7-122-23292-2

I. ①润… II. ①黄… III. ①润滑-基本知识
IV. ①TH117.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 049700 号

责任编辑：黄 滢
责任校对：王素芹

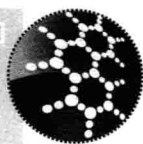
文字编辑：闫 敏
装帧设计：王晓宇

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）
印 装：北京云浩印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张17 字数407千字 2015年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：78.00 元

版权所有 违者必究



前言

润滑的目的在于：预防设备润滑故障，减少机械设备停机造成的损失；提高生产率与产品质量；节约保养劳务费和减少零件更换，延长设备的使用寿命；节能降耗；保护环境，防止污染；保证安全生产；减少润滑剂的消耗量，节约购买润滑剂的费用；减少固定资产投资与流动资金占用量。

润滑技术与管理是现代设备系统技术与管理活动的重要组成部分，是设备正常润滑与正常运行的重要保证，是企业提高经济效益的重要途径。

润滑的基本任务是：正确地选择、使用好润滑剂，采用合适的润滑方法，及时、合理地润滑设备，防止设备发生润滑故障，使设备润滑系统经常处于良好的工作状态。

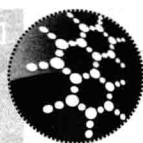
为帮助广大润滑专业技术人员更好地掌握润滑知识与方法，特编著了本书。

本书系统且简明扼要地介绍了润滑技术理论方法的应用。本书共分4章。第1章介绍各类润滑材料的技术特点及适用范围。第2章介绍各类润滑方法、润滑装置的结构原理及应用。第3章介绍润滑系统的维护管理及故障分析与排除方法。第4章介绍典型机械设备的润滑技术及管理要点。

本书有以下特点：①既介绍一般的润滑技术知识，也收入了润滑工作实例，以利读者既掌握润滑工作要领，又通过实例掌握具体的方法。②尽量体现润滑新技术的应用，书中部分资料是本领域新成果的总结，以利本领域的技术创新与进步。③体现润滑工程的学科交叉。现代润滑工程涉及机械、化工、流体力学、自动控制等学科，本书力求体现这些学科在润滑系统的具体应用。

本书的读者主要是广大工矿企业一线设备管理维修人员。本书可作为高校机电类专业师生的教学参考书,也可作为润滑专业技术培训的教材。

编著者



第1章 润滑材料及应用

1

- 1.1 润滑材料概述 / 1
 - 1.1.1 润滑材料的作用 / 1
 - 1.1.2 润滑材料的分类 / 2
 - 1.1.3 润滑材料的选用 / 3
- 1.2 润滑油及应用 / 4
 - 1.2.1 润滑油概述 / 4
 - 1.2.2 润滑油理化性能指标 / 5
 - 1.2.3 润滑油模拟试验项目 / 10
 - 1.2.4 润滑油的选用 / 16
 - 1.2.5 润滑油的代用 / 17
 - 1.2.6 润滑油的混用 / 18
- 1.3 润滑脂及应用 / 19
 - 1.3.1 润滑脂概述 / 19
 - 1.3.2 润滑脂的质量指标及其使用的意义 / 21
 - 1.3.3 润滑脂的分类 / 28
 - 1.3.4 润滑脂的品种与特点 / 29
 - 1.3.5 润滑脂的选用与更换 / 32
- 1.4 合成油脂(S组)及应用 / 33
 - 1.4.1 合成油脂概述 / 33
 - 1.4.2 合成润滑材料的应用 / 36
- 1.5 固体润滑剂及应用 / 39
 - 1.5.1 固体润滑剂概述 / 39
 - 1.5.2 固体润滑剂及自润滑材料的类型及特性 / 41
 - 1.5.3 固体润滑剂的使用方法 / 42
- 1.6 油润滑技术与材料的发展进步 / 43
 - 1.6.1 油润滑技术与材料的发展 / 43
 - 1.6.2 润滑技术进步路线 / 45

第2章 润滑装置与润滑系统

47

- 2.1 润滑方法及装置 / 47
 - 2.1.1 常用润滑方法及装置 / 47
 - 2.1.2 润滑油过滤器具 / 52
 - 2.1.3 润滑系统的指示装置 / 54

- 2.1.4 循环润滑系统的润滑装置 / 56
- 2.1.5 润滑工具 / 56
- 2.2 稀油集中润滑系统 / 57
 - 2.2.1 稀油集中润滑概述 / 57
 - 2.2.2 回转活塞泵供油的集中循环润滑系统 / 59
 - 2.2.3 齿轮油泵供油的循环润滑系统 / 63
 - 2.2.4 油雾集中润滑系统及应用 / 69
- 2.3 干油(润滑脂)润滑系统 / 71
 - 2.3.1 干油集中润滑系统概述 / 71
 - 2.3.2 手动干油集中润滑站 / 72
 - 2.3.3 自动干油集中润滑系统 / 74
 - 2.3.4 单线供脂的干油集中润滑系统 / 82
 - 2.3.5 多点干油泵与单线片式给油器联合使用的干油集中润滑系统 / 85
 - 2.3.6 PLC控制的通用型自动干油润滑系统 / 92
 - 2.3.7 集中润滑智能控制系统应用实例 / 94

第3章 润滑系统维护诊断与监测

98

- 3.1 设备润滑的检查与换油 / 98
 - 3.1.1 润滑系统的检查 / 98
 - 3.1.2 润滑系统的冲洗净化和换油 / 99
 - 3.1.2.1 润滑系统的冲洗净化 / 99
 - 3.1.2.2 冲洗换油的基本步骤 / 101
 - 3.1.2.3 润滑油的更换周期 / 101
- 3.2 设备润滑系统的维护 / 107
 - 3.2.1 污染的防治 / 108
 - 3.2.1.1 润滑油污染的分类 / 108
 - 3.2.1.2 润滑油污染的危害 / 108
 - 3.2.1.3 润滑油污染的控制 / 109
 - 3.2.1.4 油液清洁度标准及测定方法 / 110
 - 3.2.1.5 液压润滑管道的酸洗与钝化 / 113
 - 3.2.2 泄漏的防治 / 114
 - 3.2.3 防止空气进入系统 / 116
 - 3.2.4 防止水分进入 / 118
 - 3.2.5 防治油温过高 / 119
 - 3.2.6 润滑装置与系统常见故障及维修 / 120
- 3.3 油液的测试分析与监测 / 130
 - 3.3.1 润滑油常规指标变化 / 130
 - 3.3.2 光谱分析法 / 131
 - 3.3.3 润滑油光谱分析技术应用于柴油机故障诊断实例 / 136
 - 3.3.4 铁谱分析法 / 138

- 3.3.5 磨损颗粒分析 / 142
- 3.3.6 机油压力监测 / 144
- 3.3.7 润滑油消耗量的监测 / 145
- 3.3.8 几种机油分析及在线监测方法 / 146
- 3.3.9 传感器型在线直读油质变化仪表的应用 / 149
- 3.3.10 大型工程机械液压油污染与温度在线监测实例 / 151

第4章 典型设备润滑技术及应用

153

- 4.1 金属切削机床润滑技术及应用 / 153
 - 4.1.1 机床润滑的特点 / 153
 - 4.1.2 机床润滑剂的选用 / 154
 - 4.1.3 机床常用润滑方法 / 155
 - 4.1.4 高速加工机床电主轴润滑技术 / 156
 - 4.1.5 机床高速主轴油雾润滑技术应用实例 / 157
 - 4.1.6 数控机床智能润滑控制应用实例 / 160
 - 4.1.6.1 润滑控制功能 / 160
 - 4.1.6.2 信号采集与窗口功能应用 / 160
 - 4.1.6.3 宏功能的应用 / 163
 - 4.1.6.4 润滑油压力检测分析 / 163
- 4.2 内燃机润滑技术及应用 / 164
 - 4.2.1 内燃机的工作特点 / 164
 - 4.2.2 内燃机油的基本性能 / 165
 - 4.2.3 内燃机油的分类 / 166
 - 4.2.3.1 黏度分级 / 166
 - 4.2.3.2 质量分级 / 167
 - 4.2.4 内燃机油的选用 / 170
 - 4.2.5 多缸内燃机润滑系统故障及原因分析 / 172
 - 4.2.5.1 机油压力异常 / 172
 - 4.2.5.2 机油消耗过多的原因分析和解决措施 / 173
 - 4.2.5.3 减少润滑系统故障的途径 / 173
 - 4.2.6 内燃机气缸套磨损因素及预防措施 / 173
 - 4.2.6.1 气缸套磨损的原因分析 / 174
 - 4.2.6.2 气缸套异常磨损可预防的措施 / 174
 - 4.2.7 活塞环的抗磨与固体润滑技术应用 / 175
- 4.3 空气压缩机润滑技术及应用 / 176
 - 4.3.1 压缩机的润滑及对润滑油的要求 / 176
 - 4.3.1.1 往复式压缩机的润滑特点 / 176
 - 4.3.1.2 回转式压缩机的润滑特点 / 178
 - 4.3.1.3 速度型压缩机的润滑特点 / 179
 - 4.3.2 压缩机油的选用 / 179

4.3.3	压缩机润滑管理维护	/	181
4.3.4	空气压缩机润滑故障及对策-方法与实例	/	182
4.3.5	螺杆压缩机润滑油路分析及维护实例	/	184
4.3.5.1	螺杆压缩机系统	/	184
4.3.5.2	日常维护和故障处理	/	186
4.4	冷冻机润滑技术及应用	/	187
4.4.1	冷冻机的类型及润滑方式	/	187
4.4.1.1	往复式(活塞式)冷冻机	/	187
4.4.1.2	回转式(螺杆式)冷冻机	/	188
4.4.1.3	离心式冷冻机	/	188
4.4.2	冷冻机油的性能要求	/	188
4.4.3	冷冻机油的选择	/	190
4.4.4	合成冷冻机油	/	192
4.4.4.1	冷冻机油的发展趋势	/	192
4.4.4.2	冷冻机油标准发展趋势	/	194
4.4.5	冷冻机润滑管理维护	/	195
4.4.5.1	冷冻机润滑管理	/	195
4.4.5.2	冷冻机润滑系统的故障及维护	/	196
4.4.6	冷冻机组油分离器技术改造实例	/	196
4.5	汽轮机润滑技术及应用	/	199
4.5.1	汽轮机油及应用	/	200
4.5.1.1	汽轮机油的作用	/	200
4.5.1.2	汽轮机油的性能	/	200
4.5.1.3	汽轮机油的选择及使用管理	/	202
4.5.2	汽轮机润滑油压过低的原因分析及解决实例	/	202
4.5.3	汽轮机润滑油水分超标的分析与治理实例	/	204
4.5.3.1	润滑油水分严重超标的危害	/	205
4.5.3.2	润滑油水分超标原因分析	/	205
4.5.3.3	采取的措施	/	206
4.5.3.4	小结	/	207
4.6	起重运输机械润滑技术及应用	/	208
4.6.1	起重运输机械润滑概述	/	208
4.6.2	典型起重运输机械的润滑	/	209
4.6.3	输送装置的润滑	/	210
4.6.3.1	带式输送机的润滑	/	210
4.6.3.2	板式输送机的润滑	/	211
4.6.3.3	辊道的润滑	/	212
4.6.4	起重运输机械润滑注意事项	/	212
4.6.5	堆料机润滑系统改造实例	/	213
4.7	轧钢机润滑技术及应用	/	214

4.7.1	轧钢机对润滑的要求	/	214
4.7.2	轧钢机润滑采用的润滑油、脂	/	215
4.7.3	轧钢机常用润滑系统	/	215
4.7.4	轧钢机常用润滑设备的安装维修	/	218
4.7.5	轧钢机械润滑系统的维护管理措施	/	218
4.7.6	动静压油膜轴承润滑系统的低温启动调整实例	/	220
4.7.7	高线精轧机组油膜轴承烧损分析实例	/	221
4.7.8	轧钢机给脂润滑过程清洁控制实例	/	223
4.7.9	油气润滑技术在冷轧机的应用	/	225
4.7.9.1	油气润滑系统的原理	/	225
4.7.9.2	轧钢油气润滑系统	/	226
4.7.9.3	油气管路	/	226
4.7.9.4	自动控制系统	/	227
4.7.9.5	应用效果	/	227
4.8	船用机械润滑技术及应用	/	228
4.8.1	船用机械润滑技术要点	/	228
4.8.2	大型低速船用柴油机新型电控气缸注油润滑技术应用实例	/	229
4.8.2.1	传统机械式注油器润滑系统	/	229
4.8.2.2	开发新型电控气缸润滑系统的意义	/	230
4.8.2.3	系统组成与关键部件	/	230
4.8.2.4	系统的技术方案、工作过程与特点	/	234
4.8.2.5	系统台架试验	/	236
4.8.2.6	结论	/	237
4.8.3	舵机液压油乳化分析与改进实例	/	237
4.9	锻压设备润滑技术及应用	/	238
4.9.1	机械压力机的润滑	/	238
4.9.2	螺旋压力机的润滑	/	240
4.9.3	锻锤的润滑	/	240
4.9.4	锻造压机双线脂集中润滑系统设计实例	/	242
4.10	矿山设备润滑技术及应用	/	245
4.10.1	矿山机械对润滑油的要求	/	245
4.10.2	矿山机械油品选用	/	245
4.10.3	矿山机械液压油污染在线监测实例	/	247
4.11	轻纺机械润滑技术及应用	/	248
4.11.1	塑料机械润滑技术及应用	/	248
4.11.1.1	混炼机的润滑	/	248
4.11.1.2	注塑机的润滑	/	248
4.11.2	纸浆造纸机械润滑技术及应用	/	249
4.11.3	纺织机械润滑技术及应用	/	251
4.11.4	食品机械润滑技术及应用	/	252

4.12 办公机器及家电润滑技术及应用 / 256

4.12.1 办公机器润滑技术及应用 / 256

4.12.2 家用电器与机械润滑技术及应用 / 257

参考文献

第1章



润滑材料及应用

1.1 润滑材料概述

凡是能降低摩擦力的介质都可作为润滑材料，润滑材料亦称润滑剂。必须合理选择和使用润滑材料，采用正确的换油方法，才会延长设备的寿命周期，减少设备维护费用，节约能源，减少环境污染。

1.1.1 润滑材料的作用

使用润滑剂是为了润滑机械的摩擦部位，减少摩擦抵抗、防止烧结和磨损、减少动力的消耗，以及减振、冷却、密封、防锈、清净等，归纳如下。

(1) 减少摩擦

在摩擦面之间加入润滑剂，能使摩擦因数降低，从而减少了摩擦阻力，节约能源的消耗。在流体润滑条件下，润滑油的黏度和油膜厚度对减少摩擦起到十分重要的作用。随着摩擦副接触面间金属—金属接触点的增多，出现了边界润滑条件，此时润滑剂的化学性质（添加剂的化学活性）就显得极为重要了。

(2) 降低磨损

机械零件的黏着磨损、表面疲劳磨损和腐蚀磨损与润滑条件很有关系。在润滑剂中加入抗氧、抗腐剂有利于抑制腐蚀磨损，而加入油性剂、极压抗磨剂可以有效地降低黏着磨损和表面疲劳磨损。

(3) 冷却作用

润滑剂可以减轻摩擦副的摩擦，由此减少发热量。润滑剂也可以吸热、传热和散热，因而能降低机械运转摩擦所造成的温度上升。

(4) 防腐作用

摩擦面上有润滑剂覆盖时，就可以防止或避免因空气、水滴、水蒸气、腐蚀性气体及液体、尘土、氧化物等所引起的腐蚀、锈蚀。润滑剂的防腐能力与保留于金属表面的油膜厚度有直接关系，同时也取决于润滑剂的组成。采用某些表面活性剂作用为防锈剂能使润滑剂的防锈能力提高。

(5) 绝缘作用

精制矿物油的电阻大，可在变压器及开关等电气装置中作绝缘材料（如变压器油等）。

电绝缘油的电阻率是 $2 \times 10^{16} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (水是 $0.5 \times 10^6 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)。一些金属材料浸在变压器油中, 不仅可提高绝缘强度, 而且还可免受潮气的侵蚀。

(6) 力的传递

油液可以作为静力的传递介质, 例如汽车、起重机、机床等液压系统中的油。油液也可以作为液力系统的传递介质, 例如液力耦合器、自动变速机的油。

(7) 减振作用

润滑剂吸附在金属表面上, 本身应力小, 所以, 在摩擦副受到冲击载荷时具有吸收冲击能的本领。如汽车的减振器就是油液减振的 (将机械能转变为流体能)。

(8) 清洗作用

通过润滑油的循环可以带走油路系统中的杂质, 再经过滤器滤掉。内燃机油还可以分散尘土和各种沉积物, 起着保持发动机清净的作用。

(9) 密封作用

润滑剂对某些外露零部件形成密封, 防止水分或杂质的侵入。在内燃机或空气压缩机气缸和活塞间起密封作用, 建立起相应的压力并提高热效率。

1.1.2 润滑材料的分类

设备所使用的润滑剂按形态分为: 液体润滑剂 (润滑油), 包括石油系润滑油和非石油系润滑油 (动植物油和合成润滑油); 半固体润滑剂 (润滑脂), 包括皂基润滑脂和非皂基润滑脂; 气体润滑剂; 固体润滑剂 (石墨、二硫化钼等)。其中, 液体润滑剂 (润滑油) 是最常用的润滑剂。

国际标准化组织 (ISO) 发布了《石油产品和润滑剂的分类方法和类别的确定》及其系列标准。我国等效或参照 ISO 的有关标准 ISO 6743—99: 2002 制订了润滑材料的系列国家标准。GB/T 7631.1—2008《润滑剂、工业用油和有关产品 (L 类) 的分类第 1 部分: 总分组》根据应用场合将润滑剂分组。分组情况见表 1-1 所示。

表 1-1 润滑剂和有关产品 (L 类) 的分组

组别	应用场合	已制定的国家标准编号
A	全损耗系统	GB/T 7631.13
B	脱模	—
C	齿轮	GB/T 7631.7
D	压缩机 (包括冷冻机和真空泵)	GB/T 7631.9
E	内燃机油	GB/T 7631.17
F	主轴、轴承和离合器	GB/T 7631.4
G	导轨	GB/T 7631.11
H	液压系统	GB/T 7631.2
M	金属加工	GB/T 7631.5
N	电器绝缘	GB/T 7631.15
P	气动工具	GB/T 7631.16
Q	热传导液	GB/T 7631.12
R	暂时保护防腐蚀	GB/T 7631.6
T	汽轮机	GB/T 7631.10

⑥ 根据工作环境和温度。有水或潮湿环境下工作的机械，应选用油性好、防锈、抗乳化性能好的润滑油或润滑脂。工作温度高，应选用闪点高、黏度大、氧化安定性好和耐高温的润滑油或锥入度较小、滴点高和耐高温的润滑脂。工作温度低应选用倾点低、黏度小的不含水的润滑油或锥入度大、耐低温和润滑脂。温度变化大应选用黏度指数大、倾点低的润滑油或温度适用范围广的润滑脂。有腐蚀性介质的工作环境下工作的机械，应选用抗腐防锈性能好的润滑材料。化肥工业和有氨气存在的环境下工作的机械应选用抗氨性能好的润滑油。食品加工机械应选用对人体无害的适用食品机械润滑的润滑油和润滑脂。

⑦ 根据润滑装置选用耗损性。人工注油的油孔、油嘴油杯应选用黏度适宜的润滑油；利用油线、油毡吸油的润滑部位，应选用黏度较小的润滑油。稀油循环润滑系统应选用黏度较小，氧化安定性好的润滑油。集中干油润滑系统应选用锥入度较大的润滑脂。

(2) 常用摩擦副和设备的润滑材料选择

各种机械设备的操作维护说明书都推荐了适宜的润滑材料。原则上要按所要求的品种、牌号使用。在解决口设备用油国产化 and 一时性缺少代用以及改善润滑效果时，要结合原使用润滑材料的性质和设备润滑的要求，选择性能相当或较其更优良的材料。

1.2 润滑油及应用

1.2.1 润滑油概述

润滑油是用在各种类机械设备上以减少摩擦，保护机械及加工件的液体润滑剂，主要起润滑、冷却、防锈、清洁、密封和缓冲等作用。

润滑油一般由基础油和添加剂两部分组成。基础油是润滑油的主要成分，决定着润滑油的基本性质，添加剂则可弥补和改善基础油性能方面的不足，赋予某些新的性能，是润滑油的重要组成部分。

(1) 润滑油

基础油主要分矿物基础油、合成基础油以及生物基础油三大类。

矿物基础油应用广泛，用量很大（95%以上），但有些应用场合则必须使用合成基础油和生物油基础油调配的产品，因而使这两种基础油得到迅速发展。

矿物基础油由原油提炼而成。润滑油基础油主要生产过程有：常减压蒸馏、溶剂脱沥青、溶剂精制、溶剂脱蜡、白土或加氢补充精制。矿物基础油的化学成分包括高沸点、高分子量烃类和非烃类混合物。其组成一般为烷烃（直链、支链、多支链）、环烷烃（单环、双环、多环）、芳烃（单环芳烃、多环芳烃）、环烷基芳烃以及含氧、含氮、含硫有机化合物和胶质、沥青质等非烃类化合物。

生物基础油（植物油）正越来越受欢迎，它可以生物降解而迅速的降低环境污染。由于当今世界上所有的工业企业都在寻求减少对环境污染的措施，而这种“天然”润滑油正拥有这个特点，虽然植物油成本高，但所增加的费用足以抵消使用其他矿物油、合成润滑油所带来的环境治理费用。

根据原油的性质和加工工艺分类分为石蜡基基础油、中间基基础油、环烷基基础油。

(2) 添加剂

添加剂是近代高级润滑油的精髓，正确选用合理加入，可改善其物理化学性质，对润滑油赋予新的特殊性能，或加强其原来具有的某种性能，满足更高的要求。根据润滑油要求的质量和性能，对添加剂精心选择，仔细平衡，进行合理调配，是保证润滑油质量的关键。

一般常用的添加剂有：黏度指数改进剂，倾点下降剂，抗氧化剂，清净分散剂，摩擦缓和剂，油性剂，极压剂，抗泡沫剂，金属钝化剂，乳化剂，防腐蚀剂，防锈剂，破乳化剂，抗氧抗腐剂等。

1.2.2 润滑油理化性能指标

(1) 液体的密度

液体单位体积内的质量称为密度，即 $\rho = m/V$ ，密度的单位是 kg/m^3 。

液压油的密度 ρ 随压力的增加而加大，随温度的升高而减小。一般情况下，由压力和温度引起的这种变化都较小，可将其近似地视为常数。

(2) 液体的黏性

液体在外力作用下流动（或有流动趋势）时，分子间的内聚力要阻止分子相对运动而产生一种内摩擦力，这种现象叫做液体的黏性。液体只有在流动（或有流动趋势）时才会呈现出黏性，静止液体是不呈现黏性的。

流体黏性的大小用黏度来衡量。常用的黏度有动力黏度、运动黏度和相对黏度。

① 动力黏度 如图 1-2 所示，动力黏度（简称黏度） μ 的物理意义是：液体在单位速度梯度 du/dy 下流动时，液层间单位面积上产生的内摩擦力 τ ，即

$$\mu = \tau / \frac{du}{dy}$$

单位： $\text{Pa} \cdot \text{s}$ （帕·秒）或 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。

② 运动黏度 运动黏度没有明确的物理意义。因在理论分析和计算中常遇到动力黏度 μ 与液体密度 ρ 的比值，为方便而用 ν 表示，其单位 (mm^2/s) 中有长度和时间的量纲，故称为运动黏度，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

③ 相对黏度（条件黏度） 相对黏度是以液体的黏度与蒸馏水的黏度比较的相对值表示的黏度。因测量条件不同，各国采用的相对黏度也各不相同。我国、俄罗斯、德国等采用恩氏黏度，美国采用赛氏黏度，英国采用雷氏黏度。

(3) 油的可压缩性

液体受压力作用而使体积缩小的性质称为液体的可压缩性。可压缩性用体积压缩系数表示，并定义为单位压力变化 Δp 下的液体体积 $\Delta V/V_0$ 的相对变化量，即

$$\kappa = -\frac{1}{\Delta p} \times \frac{\Delta V}{V_0}$$

(4) 黏度—温度特性

润滑油的黏度对润滑的效果影响很大。而温度则是影响黏度的一个最重要的参数。温度变化时，润滑油的黏度也随着变化，温度升高则黏度变小，温度降低则黏度变大。为了使机器得到良好的润滑，就需要润滑油在机器的工作温度范围内保持合适的黏度，因此希望润滑油的黏度受温度的影响尽可能地小。

润滑油的黏度随温度变化而变化的程度就是所谓的黏温性能。通常，润滑油的黏度随温度变化而变化的程度小谓之黏温性能好；反之，则谓之黏温性能差。

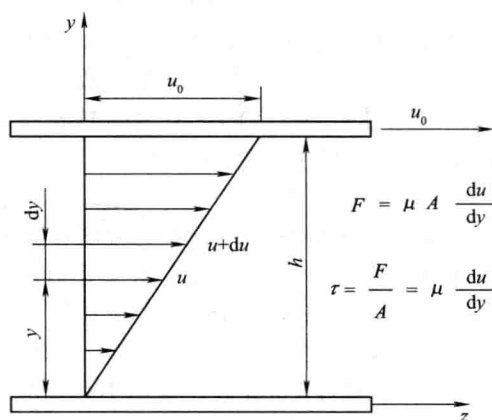


图 1-2 液体黏性示意图

润滑油的黏温性能与其组成有关,由不同原油或不同馏分或不同精制工艺制得的润滑油黏温性能不相同,一般环烷基油的黏温性能差,石蜡基油的黏温性能好,而加氢裂化油的黏温性能更好。

石油产品黏度与温度的经验公式关系为:

$$\lg \lg(\nu + 0.6) = n - m \lg T$$

式中 ν ——运动黏度 (T 时), mm^2/s ;

T ——热力学温度, K;

n, m ——与油品温度有关的常数。

测定某一油品在两个不同温度下的黏度,代入上式,即可解得 n, m 值。 n, m 值确定以后,即可由上式求得该油品在任何一温度下的黏度。但应注意,低温下的黏度不能用此公式计算,尤其是含有黏度指数改进剂的油品。

评价油品的黏温特性常采用黏度指数(简写 VI),这是润滑油的一项重要质量指标。黏度指数越高,表示油品的黏度受温度的影响越小,其黏温性能越好。

黏度指数是用黏温性能较好 ($VI=100$) 和黏温性能较差 ($VI=0$) 的两种润滑油为标准油,以 40°C 及 100°C 的黏度为基准进行比较而得出。黏度指数的求取方法是通过石油产品黏度指数算法 GB/T1995—2004 中求取。

这里需要说明的是,黏度指数也不是一个完美的表征油品黏温特性的参数。例如它只能表示润滑油从 40°C 到 100°C 之间黏温曲线的平缓度,不一定能说明实用上极为重要的 40°C 以下、 100°C 以上的黏温特性。

(5) 凝点及倾点

油品的凝固和纯化合物的凝固有很大的不同。纯化合物的凝点是一个物理常数,而油品是由多种烃及少量氧、硫、氮等化合物组成的混合物,并没有明确的凝固温度,所谓“凝固”只是作为整体来看失去了流动性,并不是所有组分都变成了固体。

油品凝点按 GB/T 510—2004 法测定,在规定的条件下将油品冷却到预定温度,将试管倾斜 45° ,经过 1min 后,液面不移动时的最高温度即是油品凝点。

油品倾点按 GB/T 3535—2006 法测定,在规定的条件下冷却油品,每隔 3°C 将试管取出,水平放置观察试样液面有无流动,直至 5s 试样液面不流动时的温度再加上 3°C 即为油品的凝点。

油品失去了流动性是由两个原因引起的,因此也分为两类原因的凝点。

① 石蜡凝点。油品中含有石蜡,随着温度的降低,蜡结晶析出,结晶形成网状结构,使处于液态的油品被包含在其中,从而使油品的整体不能流动,失去流动性。石蜡基润滑油的凝固就属于此类原因。通常可以通过脱蜡及加入降凝剂来改善其低温流动性。

② 黏度凝点。温度降低时,黏度变得很大,油品变成无定形的玻璃状物质,当黏度增大到约 $300000\text{mm}^2/\text{s}$ 时,油品即失去流动性。高黏度油品(尤其是含有大量高分子稠环烃的油品)的凝固就可能属于此类原因。对于此类“凝固”,降凝剂的作用也不明显。

润滑油的倾点(凝点)是表示润滑油低温流动性的一个重要的质量指标。对于生产、运输和使用都有重要意义。倾点高的润滑油不能在低温下使用。相反,在气温较高的地区则没有必要使用凝点低的润滑油,造成不必要的浪费。因为润滑油的倾点越低,其生产成本越高。

一般说来,润滑油的凝点应比使用环境的最低温度低 $5\sim7^\circ\text{C}$ 。但是特别还要提及的是,在选用低温的润滑油时,应结合油品的凝点、低温黏度及黏温特性全面考虑。因为低倾点的油品,其低温黏度和黏温特性亦有可能不符合要求。

(6) 低温特性

对于在室外低温环境下工作的机械所用的油品如发动机油和车辆齿轮油等,凝点或倾点

还不能确切地表征其低温使用性，常常需测定其低温黏度等性能。下面简单介绍其中的一些测试方法。

① 发动机油的冷启动黏度 如果发动机油在启动温度下太黏稠，将会使运动部件黏滞，使发动机曲轴转动达不到启动的转速而无法启动。一般要求发动机油在 $-5\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的温度下启动时，其黏度在 $6000\sim 3250\text{mPa}\cdot\text{s}$ (cP) 范围内。该黏度的测定方法（即 CCS 法，GB/T 6538—2010，与 ASTM D5293 等效）概要：将试样加在转子与定子之间，用直流电动机驱动一个紧密装在定子里的转子，通过调节流经定子的制冷剂流量来维持试验温度。转子的转速是黏度的函数，由标准曲线和测得的转子转速来确定试油的黏度。

② 发动机油的边界泵送温度 如果发动机油在低温下油泵供油速度和供油量不足，就会出现发动机启动后摩擦表面长时间得不到充分的润滑而导致磨损增加。机油的泵送失败是因为其在低温下黏度太大或出现蜡结晶或含有高分子聚合物等所致，简言之是由于泵入口处机油的屈服应力过大。一般认为发动机油的屈服应力小于 35Pa 或黏度小于 $30000\text{mPa}\cdot\text{s}$ 才能保证油泵正常的供油量。因此，在发动机油规范中把出现临界屈服应力（ 35Pa ）或临界黏度（ $30000\text{mPa}\cdot\text{s}$ ）时的最高温度作为边界泵送温度，该温度即是能保证油泵入口处得到足够机油的最低温度。该项目的测定方法（即 MRV 法，GB/T 9171，与 ASTM D4684 等效）概要：将发动机油试样在 10h 内以非线性程序冷却速率把油样冷却到试验要求温度，恒温 16h ，然后在旋转黏度计上逐步施加规定的扭矩，观察并测定其转动速度，用于计算该温度的屈服应力和表观黏度。由三个或三个以上试验温度所得结果，确定该试油的边界泵送温度，或者为了满足某些规格指标的要求，只测定边界泵送温度低于某个规定温度即可。

③ 齿轮油的低温表观黏度 汽车后桥齿轮油的表观黏度与其低温流动性有关。一般认为，齿轮油的动力黏度小 $150000\text{mPa}\cdot\text{s}$ (cP) 时，汽车方能正常起步。该方法（即布氏黏度计法，GB/T 11145—2014，与 ASTM D2983 等效）概要：将试油在规定温度的冷浴中冷却 16h ，然后在布氏黏度计中测定其表观黏度，或者测定试油表观黏度达到 $150000\text{mPa}\cdot\text{s}$ 时的温度。

④ 齿轮油的成沟点 为了保证在低温下汽车启动时，后桥齿轮能得到最低限度的润滑，通常需要齿轮油有较低的成沟点。该方法（SH/T 0030，与 FS 791 B 3456.1 等效）概要：将试油在规定的温度下存放 18h ，用金属片把试油切成一条沟，然后在 10s 内测定试油是否流到一起并盖住试油容器底部。若在 10s 内试油流回并完全覆盖容器底部，则报告试油不成沟；反之则报告油样成沟，此温度就是成沟点。

(7) 闪点

将油品在规定条件下加热使温度升高，其中一些成分蒸发或分解产生可燃性蒸气，当升到一定温度，可燃性蒸气与空气混合后并与火焰接触时能发生瞬间闪火的最低温度叫闪点，单位是 $^{\circ}\text{C}$ 。

根据测定方法和仪器的不同，闪点又可分为开口闪点（GB/T 267 法）和闭口闪点（GB/T 261 法）。通常，开口杯法用于测定重质润滑油或者深色石油产品的闪点，闭口杯法用于测定挥发性较大的燃料和轻质润滑油（一般闪点在 150°C 以下）的闪点。

闪点是表示油品蒸发性的一项指标。油品的馏分越轻，蒸发性越大，其闪点也越低。反之，油品馏分越重，蒸发性越小，其闪点也越高。同时，闪点又是表示石油产品着火危险性的指标。油品的危险等级是根据闪点划分的，闪点在 45°C 以下为易燃品， 45°C 以上为可燃品，在油品的储运过程中严禁将油品加热到它的闪点温度。在黏度相同的情况下，闪点越高越好。因此，用户在选用润滑油时应根据使用温度和润滑油的工作条件进行选择。一般认为，闪点比使用温度高 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，即可安全使用。