

张澄清 李庆德 编著

润滑脂 应用指南

中国石化出版社

润滑脂应用指南

张澄清 李庆德 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书主要阐述润滑脂的应用。全书共分十四章,比较系统地综述了我国各工业部门如钢铁、汽车、铁路、工程机械、航空及船舶、轻纺化工机械等行业长期应用润滑脂润滑所积累的经验,推荐了新的润滑脂品种,介绍了正确的选脂用脂和先进的润滑方法,目的是提高润滑脂润滑技术水平,维护机械的正常运转,延长设备的使用寿命,以及合理利用资源,节约能源。本书为《润滑脂生产》一书的续篇。

本书可供各工矿企业、交通运输、各油脂生产厂及贮运销售部门从事有关润滑工程技术的人员使用。并可作为培训教材,也可供大专院校、科学研究部门有关专业参考。

2052/68

图书在版编目 (CIP) 数据

润滑脂应用指南/张澄清,李庆德编著.北京:中国石化出版社,1997重印
ISBN 7-80043-271-8

I.润… I.①张 ②李… II.润滑脂-应用-指南 IV.
TE626.4-62

中国版本图书馆CIP数据核字 (97) 第03288号

*

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外小黄庄32号

邮编:100011 电话:(010)64241850

社长:周培荣

海丰印刷厂排版

北京市银祥福利印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

850×1168毫米 大32开本 20 $\frac{1}{8}$ 印张 513千字 印5001—7000

1993年8月北京第1版 1997年3月北京第2次印刷

定价:30.00元

序

《润滑脂应用指南》的作者们将长期在各行业使用润滑脂所累积的经验和收集到的一些选脂、用脂等方面的有关技术资料，整理写成参考工具书，供现场使用，做了一件有益的事。

本书按钢铁、铁路、汽车、农机、仪器仪表、航空及船舶、工程机械和机床，以及水泥、纺织、煤矿、造纸、石油工业、食品等有代表性的行业，分门别类加以介绍，资料详尽具体。不仅对润滑工程技术人员有用，对机械设计人员也是很有用的，所以，我愿欲推荐出版。

希望生产部门在现场工作的工程界同仁能从各个角度提出意见来充实这本书；也希望学术界同仁能针对应用提出理论指导，使本书更臻完善。

郑林庆

出版前言

本书为《润滑脂生产》的续篇。我们编著的《润滑脂生产》于1986年6月由烃加工出版社出版发行，此书问世后，承读者来信，对我们工作提出了中肯的意见，并期待有关润滑脂应用技术方面的书籍面世。鉴于读者的要求，考虑润滑工程科学的发展，继续编写了《润滑脂应用指南》一书。目的是研究润滑脂应用领域的一些基本问题，借以普及和促进润滑脂生产，提高润滑技术水平。

润滑脂是润滑剂的一大类。润滑脂与润滑油相比，各有其特点，使用时有区别，虽然它们都是优良的润滑材料，却不能完全互相代替。这一点是绝不可忽视的。但是，润滑脂因其本身固有的性质，决定了它有着优良的使用性能，在许多工作条件下，用润滑脂代替润滑油后所带来的优点与好处也是不可否认的。

润滑脂的品种、牌号很多，其性能也各不相同。为了防止机械设备的早期磨损，必须选择适宜的润滑脂品种、牌号。即针对机械摩擦部位的使用条件，如温度、速度、负荷等，研究决定润滑性质的因素，选择满足其条件的润滑脂。同时，还要有巧妙的润滑方法。两者恰当的结合，才能保证机械的正常运行。

在整理编写此书过程中，得到了许多高等院校，科学研究单位和有关工业部门的工程技术人员的大力支持和协助。清华大学摩擦学研究所郑林庆教授对本书进行审阅，并为之写序，石油化工科学研究院高级工程师杨正宇同志审阅了全书，并提出了宝贵意见；铁道科学研究院副研究员蒋秋芝同志审改本书第七章，交通部公路科学研究所高级工程师董仲同志审改本书第八章，天津汉沽石油化学厂研究所李更新同志编写本书第三章，上海、沈阳

润滑设备厂提供了宝贵的资料，谨此一并表示谢意。

由于理论和实践经验的限制，书中缺点和错误在所难免，敬请广大读者赐教。

编 者

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 摩擦学的意义.....	1
第二节 摩擦、磨损	3
第三节 边界润滑.....	8
第四节 润滑与润滑技术.....	16
第二章 润滑脂的组成及性质	20
第一节 润滑脂的组成.....	20
第二节 润滑脂的结构.....	33
第三节 润滑脂的流动性.....	40
第四节 润滑脂的主要性质.....	53
第三章 润滑脂的分类及选择	67
第一节 润滑脂的分类.....	67
第二节 润滑脂的性能及用途.....	79
第三节 润滑脂的选择.....	97
第四节 固体润滑剂.....	124
第四章 润滑脂供脂系统和设备	141
第一节 润滑方式的分类.....	141
第二节 单件润滑设备.....	142
第三节 润滑脂集中给脂装置.....	152
第四节 集中供脂润滑系统及元件.....	162
第五章 轴承用润滑脂	186
第一节 滑动轴承用润滑脂.....	186
第二节 滚动轴承用润滑脂.....	190
第三节 滚动轴承的润滑管理.....	201

第四节	电动机用润滑脂	211
第六章	钢铁机械设备用润滑脂	222
第一节	钢铁设备润滑的特点	222
第二节	钢铁设备用润滑脂主要品种	225
第三节	压延设备用润滑脂	242
第四节	传动齿轮用半流体润滑脂	273
第五节	干式拉拔用润滑剂	284
第七章	铁路用润滑脂	293
第一节	铁路机车车辆对润滑脂的要求	293
第二节	铁路滚动轴承用润滑脂	302
第三节	铁路制动缸用润滑脂	311
第四节	铁路牵引齿轮与轮轨用润滑脂	319
第五节	铁路机车车辆滚动轴承化的发展	331
第八章	汽车用润滑脂	338
第一节	汽车轮毂轴承用润滑脂	338
第二节	汽车底盘用润滑脂	351
第三节	前轮驱动汽车用润滑脂	367
第四节	汽车用润滑脂与节能	377
第九章	精密机器用润滑脂	383
第一节	合成油润滑脂	383
第二节	仪器仪表用润滑脂	396
第三节	光学仪器用润滑脂	401
第四节	电位器阻尼用润滑脂	406
第五节	机电一体机用润滑脂	418
第十章	航空飞机及船舶用润滑脂	426
第一节	航空机械用润滑脂	427
第二节	航空机件、仪表润滑脂	439
第三节	航空保护、密封润滑脂	447
第四节	国外航空润滑脂简介	454

第五节	船舶机械用润滑脂·····	464
第十一章	工程建设机械、农机、石油钻井机械用润滑脂·····	472
第一节	工程建设机械用润滑脂·····	472
第二节	农机用润滑脂·····	496
第三节	石油钻井机械用润滑脂·····	510
第十二章	轻纺化工机械用润滑脂·····	516
第一节	纺织机械用润滑脂·····	516
第二节	造纸机械用润滑脂·····	528
第三节	食品机械用润滑脂·····	531
第四节	化肥机械用润滑脂·····	536
第五节	石油化工机械用润滑脂·····	540
第十三章	水泥、采煤、电力设备及机床用润滑脂·····	546
第一节	水泥机械设备用润滑脂·····	546
第二节	采煤机械用润滑脂·····	564
第三节	电力设备用润滑脂·····	578
第四节	精密机床用润滑脂·····	583
第十四章	润滑脂的管理·····	598
第一节	润滑脂的贮存与管理·····	598
第二节	润滑脂的劣化及分析·····	603
第三节	润滑脂包装的标准化·····	614
附录·····		618
参考文献·····		632

第一章 绪 论

润滑脂产品的应用是一门实用科学，它涉及了润滑脂生产与使用、润滑脂性能与设备、润滑与润滑方法之间的关系，它为合理选脂，节约用脂提供了科学依据。它的研究对国民经济的发展有着重要意义。

第一节 摩擦学的意义

润滑脂产品的应用离不开摩擦学。自60年代中期，摩擦学问世以后，润滑脂就作为一种重要的工程元件，在摩擦磨损润滑系统内，确立了应有的地位。

摩擦学是研究物体表面摩擦行为的科学与技术。摩擦、磨损和润滑三者是密切相关联的，在整个过程中，发生着一系列的物理、化学及力学等方面的变化，包括了科学和技术的极其广泛的专业领域，它涉及到机械工程学、物理学、化学、材料科学等学科。因此，摩擦学是一门综合交叉的边缘科学。

摩擦、磨损和润滑作为一种现象，大量地存在于所有的工程部门、交通部门、工农业部门以及人们生活的各方面。可以说，没有摩擦就没有世界。

摩擦、磨损的现象，作为工程技术方面的特例，有时是有利的，如在磨合时，磨损过程在技术上还是受欢迎的；机车车辆的制动装置，就是利用接触面间的摩擦力。许多机器和运输机械的效能，生产率，可靠性和安全性的提高，也是利用结合面之间的摩擦力来实现的。

然而，在技术领域中，磨损一般是不符合人们愿望的，或者说它是无价值的。因为各种摩擦要消耗能量，并且摩擦热可能造

成烧伤。由于磨损而缩短了机器的使用寿命，甚至早期报废。从这些意义上讲，摩擦磨损是技术工作者之敌，解决这类问题的科学和技术，通常则称为润滑工程或润滑技术。

世界各国都十分注重摩擦学技术领域研究，从1973年在英国伦敦召开第一届国际摩擦学会议，而后每隔4年召开一次，出席1985年第四届国际摩擦学会议的就有30个国家，500名代表，宣读论文105篇。

英国对于摩擦领域的研究起步较早，从1966年公布的乔斯特(H. P. Jost)的报告认为，由于适当应用摩擦学知识，可以为英国每年节约5.1亿英镑，而其花费的费用仅占所节约费用的0.2%。据近年资料介绍，英国实际每年节约额可达7~10亿英镑。在美国，有关摩擦学研究，仅就美国机械工程师学会(ASME)和美国摩擦学及润滑工程师学会(STLE)两学会而言，一年总共有500~700页的论文杂志和500~1000页的特刊出版物。其他学会如美国金属学会(ASM)、美国汽车工程师学会(SAE)及美国润滑脂学会(NLGI)，一年刊载200~300页文章。近年来，美国机械工程师学会学报、摩擦杂志，一年有600~700页的出版物，其中ASME/STLE在摩擦学国际会议发表的论文一年约40篇。日本从1975~1984年10年中，润滑工程师学会(JSLE)会志登载的论文为500多篇。

我国自从1979年机械工程学会(CMES)成立了摩擦学学会以来，全国建立了30多个摩擦学研究机构。现在，不仅是机械工业、航天航空工业、石油化学工业，而且，在运输、通讯、医学等行业也建立许多的研究机构。从1979年以来，摩擦学学会不仅在国内开展学术交流活动，还参加国际学术交流活动。1985年，我国摩擦学会加入了国际摩擦学理事会(ITC)。

近年，由于现代机械设备的功率、速度、精度等参数日益提高，生产的连续性和自动化水平迅速发展，特别是要求高度的可靠性，这使摩擦、磨损和润滑问题显得更为突出，因此，世界各

国不遗余力地发展这门科学。

第二节 摩擦、磨损

所谓摩擦,是指当两个相对运动表面,在外力作用下发生相对位移时,存在一个阻止物体相对运动的作用力,这种现象称为摩擦。这个作用力叫做摩擦力。而两个成对的接触面,叫做摩擦副。

摩擦现象的种类很多,按摩擦副的运动状态可分为:

外摩擦:当两个相互接触物体发生相对运动时,阻碍相对运动所产生的摩擦称为外摩擦。这种摩擦只与物体接触部分表面相互作用有关,而与物体的内部状态无关。或者说,外摩擦是指两个相接触物理表面作相对运动时,在实际接触的分界面上所产生的摩擦。

内摩擦:当某一物体内部诸部分间发生相对运动时,阻碍相对运动所产生的摩擦称为内摩擦。一般说,内摩擦这个概念只适于流体;主要还是指液体。

按摩擦副的运动形式可分为:

滑动摩擦:当接触表面间相对移动时的摩擦。

滚动摩擦:物体在力矩作用下沿接触表面滚动时的摩擦。

按摩擦副表面润滑状况可分为:

干摩擦:是指摩擦副直接接触时发生的摩擦。即当二摩擦面间没有润滑剂的情况下,所表现的动摩擦和静摩擦的总和,其摩擦系数一般在0.3~0.7之间。

边界润滑摩擦:是指摩擦副表面被润滑剂的分子膜所覆盖。即两物体表面被一种具有分层结构和润滑的边界膜分开的摩擦,叫做边界润滑摩擦(边界润滑)。边界润滑的摩擦系数一般为0.1~0.01,其油膜薄到 $0.3\mu\text{m}$ 。边界润滑中,油脂与摩擦面的性质对摩擦系数和磨损有极大的影响,而润滑剂的极压性(或油性)起决定作用。

流体润滑摩擦：是摩擦面间存在一定厚度的完全油膜使摩擦面间的固体摩擦转变为液体摩擦，并使摩擦面间的压力由液体膜所承受，称为流体摩擦（流体润滑）。其摩擦系数一般在0.005～0.01以下，摩擦阻力小。

混合润滑摩擦：半干摩擦和半流体摩擦，叫做混合摩擦。半干摩擦是指在摩擦面上同时存在着干摩擦和边界摩擦的情况；半流体摩擦是指在摩擦表面同时存在着流体摩擦和边界摩擦的情况。

摩擦是一个非常复杂的过程，对产生摩擦的机理迄今还没有统一的见解，目前较普遍接受的是“粘着-变形”摩擦理论，这种理论认为，产生摩擦力的基本原因是：在摩擦面的实际接触外，由于实际压力很高，远远超过其弹性极限达到塑性变形，而使摩擦面的基体直接接触产生了强烈的“粘着”；当摩擦面相转移时，粘着点被剪切撕裂，称为“滑溜”。“粘着”和“滑溜”相互交替，形成了磨损过程，这个过程所消耗的力统称为粘着力。同时，由于表面凹凸不平互相啮合时，形成的变形阻力，这两部分力组成了摩擦力。即：

$$F = F_{\text{粘}} + F_{\text{变}}$$

用摩擦系数表示，则：

$$f = f_{\text{粘}} + f_{\text{变}}$$

对于金属-金属的摩擦副来说，由于表面不平度产生的机械啮合所形成的变形阻力不大，占总摩擦力的百分之几，一般可以忽略，此时摩擦系数为：

$$f = F/P$$

式中 P ——外加负荷；

F ——摩擦阻力。

摩擦决定于表面状态，当摩擦表面不平度增大时，摩擦随之增大；反之，摩擦表面较平滑时，摩擦力则小。但达到一定值后，因接触塑性变形，而摩擦力开始增大。摩擦还决定于物体材

料，当表面状态相同时，摩擦力又决定于构成摩擦副的材质和金相结构。两种不同材质所构成的一对摩擦副，摩擦状况又不相同。

摩擦系数是表示摩擦材料特性的主要参数之一，它与材料的表面性质，介质或环境等因素有密切关系。在大多数情况下，摩擦总是小于摩擦零件上的载负，即摩擦系数都小于1。有关轴承的摩擦系数如表1-1所示。

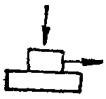
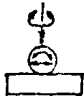
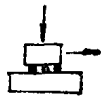
表 1-1 轴承的摩擦系数(有润滑)

轴 承 名 称	摩 擦 系 数
滚动轴承	
单列向心轴承	径向0.002 (轴向0.004)
单列向心推力轴承	径向0.003 (轴向0.005)
单列圆锥滚柱轴承	径向0.008 (轴向0.002)
双列向心球面轴承	0.0015
短圆柱滚子轴承	0.002
长圆柱或螺旋滚子轴承	0.006
滚针轴承	0.008
推力轴承	0.003
双列向心球面滚子轴承	0.004
滑动轴承	
液体摩擦轴承	0.001~0.01
半液体摩擦轴承	0.01~0.1
半干摩擦轴承	0.1~0.5
轧辊轴承	
滚动轴承(滚子)	0.002~0.005
层压胶木轴瓦	0.004~0.008
青铜轴瓦(用于热轧辊)	0.07~0.1
青铜轴瓦(用于冷轧辊)	0.04~0.08
特殊密封的液体摩擦轴承	0.003~0.005
特殊密封的半液体摩擦轴承	0.005~0.01

所谓磨损，是指两个表面相对运动时，物质从物体的动作面逐步损失，这种现象称为磨损。

有关磨损区域的划分, 由于工业技术上出现的磨损过程是多种多样的, 因而对磨损区域进行逻辑一致的划分是比较困难的。可参考德国标准DIN50320-79进行划分如表1-2所示。

表 1-2 磨损区域按摩擦应力种类的划分

系统结构	摩擦应力	磨损类型	作用机理 (单独的或组合的)			
			粘着 磨损	磨料 磨损	疲劳 磨损	腐蚀 磨损
固 体 — 中间材料 (完全油膜分 离) — 固体	滑 动 滚动 冲击 				×	×
固 体 — 固体(干摩 擦、边界摩擦、 混合摩擦时)	滑 动 	滑动磨损	×	×	×	×
	滚 动 动 压 	滚动磨损 滚压磨损	×	×	×	×
	冲 击 	冲击磨损	×	×	×	×
	摆 动 	振动磨损	×	×	×	×
固 体 — 固体和颗粒	滑 动 	犁沟磨损		×		
	滑 动 	颗粒滑动磨损		×		

续表

系统结构	摩擦应力	磨损类型	作用机理 (单独的或组合的)			
			粘着 磨损	磨料 磨损	疲劳 磨损	腐蚀 磨损
固体 一固体和颗粒	滚压 	颗粒滚动磨损		×		
固体 一含颗粒的 液体	流动 	冲洗磨损 (磨蚀)		×	×	×
固体 一含颗粒的 气体	流动 	滑动流磨损 (磨蚀)		×	×	×
	冲击  	冲击流磨损 倾斜流磨损		×	×	×
固体 一液体	流动 振动 	材料气穴现 象气蚀			×	×
	冲击 	点蚀			×	×

有关磨损机理, 根据目前所了解的情况, 主要分为以下四种:

粘着磨损: 当摩擦表面有相对运动时, 由于焊合接触表面的材料从一个表面转移到另一个表面的现象, 称为粘着磨损。

磨料磨损: 由硬面的突起部分或由硬的颗粒在摩擦过程中引起物体界面材料脱落的现象, 称为磨料磨损。

腐蚀磨损：是指在磨损过程中物体表面与周围环境的化学或由化学反应起主要作用的磨损现象，称为腐蚀磨损。

表面疲劳磨损：由于交变应力使表面材料疲劳而产生物质的转移，称为表面疲劳磨损。其磨损状态如表1-3所示。

表 1-3 主要磨损机理的典型磨损状态

磨 损 机 理	磨 损 状 态
粘着磨损	咬死、空穴、凸峰、脱皮、材料转移
磨料磨损	刮痕、划痕、犁沟、皱纹
疲劳磨损（表面破裂）	裂缝、麻点
腐蚀磨损（摩擦化学反应）	摩擦化学反应生成物（膜层、颗粒）

磨损现象是复杂的，而影响各种磨损形态的因素很多，如载荷与速度（主要的）、材料种类及性质、摩擦方式（滑动还是滚动）、表面形貌及润滑状态（温度、湿度、气体介质）等。由于磨损条件不同，所产生的影响也不一样。

第三节 边 界 润 滑

所谓边界润滑是指在边界润滑情况下，摩擦界面上存在着一层与介质的性质不同的膜，这种膜具有良好的润滑性能，这种润滑状态称为边界润滑。边界润滑中起着润滑作用的膜，称为边界膜（工业上俗称润滑膜）。

但是，润滑剂油膜的形成和保持是有条件的，由于机械的工况，润滑条件的不同，油膜在摩擦界面的分布以及润滑状况也不一样，随着润滑剂油膜厚度的变化，磨损量也要变化。若摩擦表面上的载荷增大，温度增高，润滑剂的粘度减小时，油膜厚度也减小。如果在摩擦面间的油膜继续减薄，进而发生破裂，形成局部干摩擦，磨损现象即迅速剧增。

边界膜的作用，实际上是由油性剂部分的活性基在金属面产