

冶金部钢铁企业设备管理与维修技术交流中心润滑组 编

冶金设备润滑 技术基础知识



— 中国石化出版社 —

冶金设备润滑技术基础知识

冶金部钢铁企业设备管理与

维修技术交流中心润滑组

编

中国石化出版社

(京)新登字048号

内 容 提 要

本书是为全国冶金企业普及设备润滑基本知识编写的。全书共分：摩擦、磨损、润滑基本原理；润滑油；润滑脂；合成润滑油脂；固体润滑材料；添加剂；齿轮和蜗杆蜗轮的润滑；润滑油品的选择；润滑方式及装置选择和设备润滑管理等10章。

本书除了概括地阐述了摩擦、磨损、润滑机理外，重点介绍了润滑油、脂（含润滑装置）的性能、技术标准和选择方法，齿轮润滑油品的选择，以及设备润滑管理经验等。

本书主要供冶金企业设备维修和润滑工人技术培训用，其内容丰富、有较强的实用性。也可供设备维修技术人员、科研院所、设计单位和工科大专院校有关人员工作参考，还可供石油商品供销和使用部门的工程技术人员和业务人员参考。

冶金设备润滑技术基础知识

冶金部钢铁企业设备管理与
维修技术交流中心润滑组 编

中国石化出版社出版

（北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码：100029）

海丰印刷厂排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本14¹/₂ 印张2 插页328 千字 印1—5100

1991年11月北京第1版 1991年11月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-204-1/TE·035 定价：7.15元

编写说明

《冶金设备润滑技术基础知识》一书系根据冶金企业统一培训教材的需要，在冶金部钢铁企业设备管理与维修技术交流中心润滑组多次润滑技术培训班讲义、教材和各种技术交流资料的基础上，并补充润滑技术最新内容和润滑油、脂的新标准选编而成。

本书由冶金部钢铁企业润滑组负责组织编写，其中第一、六、七章由首都钢铁公司刘彦玉高级工程师编写；第二、三、四、五章由重庆钢铁公司王铁虹工程师编写；第十章由上海市冶金工业局吴海华工程师编写；第八、九章和全书审校、修改、定稿均由北京科技大学陈田才副教授完成。

本书在编写过程中得到冶金部有关领导和各钢铁企业的关怀和支持，冶金部机动司李永富高级工程师、首钢机械工程公司谢有润总工程师对内容选择和定稿做了具体指导，在编写过程中还得到北京科技大学机械系有关同志的帮助，在此一并表示衷心感谢。

由于时间紧迫，漏误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 摩擦、磨损、润滑的基本知识	1
第一节 概 述	1
第二节 摩 擦	6
一、摩擦与摩擦力	6
二、摩擦的分类	7
三、摩擦机理与发展的学说基础及摩擦定律	10
四、摩擦和生成热	14
五、摩擦系数	15
第三节 磨 损	16
一、摩擦是磨损的起因	16
二、磨损的过程	18
三、磨损的分类	19
四、磨损的机理	21
五、影响磨损的因素	30
第四节 润 滑	38
一、简 述	38
二、斯特里贝克曲线	41
三、润滑的作用	43
四、润滑的分类	43
五、润滑的机理	50
第二章 润滑油	74
第一节 润滑油生产工艺流程	74
第二节 润滑油的质量指标	77
第三节 润滑油主要品种简介	98

一、石油产品分类	98
二、润滑剂和有关产品的分类和工业用润滑油粘度分类	100
三、钢铁企业常用润滑油品种简介	106
第三章 润滑脂	189
第一节 润滑脂的特性、组成、分类及生产工艺流程	189
第二节 润滑脂的主要质量指标及其性能评价	200
第三节 润滑脂的主要品种简介	207
第四节 润滑脂的选用	230
第五节 润滑脂的使用和保管	236
第四章 合成油脂	241
第一节 概 述	241
第二节 合成油的特点及分类	241
第三节 合成油简介	246
第四节 合成润滑油脂的主要产品系列及用途	250
第五章 固体润滑材料	255
第一节 固体润滑和润滑剂	255
第二节 对固体润滑材料的要求及固体润滑材料 的种类	256
第三节 常用的几种固体润滑材料的性能	258
第四节 固体润滑剂的使用方法	261
第六章 添加剂	267
一、清净分散剂	267
二、抗氧剂及抗氧抗腐剂	268
三、增粘剂	269
四、降凝剂	271
五、极压抗磨剂	272
六、油性添加剂	273
七、防锈剂	273
八、抗泡剂	275

第七章 齿轮传动装置的润滑	287
第一节 齿轮传动的分类及润滑特点	287
第二节 渐开线闭式齿轮传动的润滑	290
一、渐开线齿轮润滑的条件	290
二、齿轮润滑方式的选择	296
三、润滑油的选取	301
四、轧钢机齿轮传动的润滑	316
五、船用透平齿轮的润滑	318
第三节 圆弧齿轮的润滑	319
第四节 蜗轮传动的润滑	323
第五节 双曲线齿轮的润滑	332
第六节 开式齿轮传动的润滑	333
第八章 润滑油品的选择和更换	337
第一节 润滑油的选择	338
第二节 润滑油的更换	357
第九章 润滑方式及装置	371
第一节 概 述	371
第二节 稀油润滑方式及装置	382
第三节 干油润滑方式及装置	392
第四节 油雾润滑和射喷润滑	405
第五节 组合式集中润滑系统示例	417
第十章 设备润滑管理	419
第一节 设备润滑管理的目的与任务	419
第二节 设备润滑管理体制	420
第三节 润滑管理制度	424
第四节 润滑管理岗位职责	437
第五节 设备润滑“五定”内容	442
第六节 润滑工应知应会	445
第七节 润滑管理资料与表式	449

第一章 摩擦、磨损、润滑的基本知识

第一节 概 述

润滑技术对于科学、工艺、工程实用方面都具有重大意义，日愈受到重视，并且在研究和实际应用上取得到很大成果。润滑技术既是古老的又是新兴的技术，这已由国内、外科学技术发展的历史所证实。

自从润滑技术被归并纳入到摩擦学的学科领域，正是适得其位，从而得到更好的科学进展和实际应用，受到广大工程技术人员、操作工人和管理干部的重视。为此我们必须从摩擦学的知识领域来更新对润滑技术的认识。

(一) 摩擦学的定义和领域

摩擦学的全称是摩擦、磨损、润滑学，作为一门新兴学科名称已被大家所接受，但是对摩擦学所研究的对象、中心问题和内容，特别是摩擦学在国民经济中的作用，不少人的认识还很不明确。自1966年著名的英国乔斯特报告中第一次阐明了摩擦学的定义：

摩擦学是研究在相对运动中相互作用着的表面的摩擦、磨损和润滑的科学与技术实践。目的是详尽地了解表面的相互作用，而后在特定的应用中提出改进方法。摩擦是相互接触并相互作用发生相对运动或存在相对运动趋势但尚未开始运动之前的常见的一种客观现象；磨损是摩擦的结果；润滑是为了减少摩擦、降低磨损的重要措施。

事实上,摩擦学的领域更为广泛,它是建立在高度发展的现代数、理、化、力学、流变学、材料学、机械工程学的基础上,并包含涉及有关物质表面接触、相互作用并相对运动的可靠性、工作特性等庞大而复杂的领域的一门多学科、跨学科的,且具有自身独立科学体系的边缘性学科。

(二) 摩擦学的研究与应用

近20多年来,国外在摩擦学的研究与应用方面取得了巨大的经济效益,引起了世界各国的注意。有关资料调查表明,80%的机械事故是由摩擦、磨损所致。而机械设备能耗的 $1/3 \sim 1/2$ 是用于摩擦消耗,必须引起注意。

早在20世纪60年代初我国就已开始摩擦学的研究与应用。1982年3月在北京召开全国摩擦学调研会议。1983年9月在大庆召开了“摩擦学工业调查现场会议”,起草通过了“全国摩擦学工业调查提纲”,并明确了调查的工作方式和重点调查的负责单位,调查工作由点向面全面铺开,并纵深发展,由对一个企业的调查发展到按地区、按行业进行调查。

1. 冶金工业系统的摩擦学调查

1985年7月冶金工业部正式下文,要求进行全行业普查工作。组织动员了3600余人,截止到1985年年底,据对37个大中型钢铁企业316万吨设备的调查结果分析:

(1) 可以避免的事故停机 37个企业全年共8738小时,不计直接损失费,造成减产损失达3亿元。

(2) 设备漏油损失 37个企业每年412吨,费用达150万元。

(3) 推广应用新油品 31个企业每年获利达5577万元。

(4) 推广应用摩擦学新技术 32个企业,每年获利1680万元。

(5) 降低各种消耗 37个企业每年9480万元,除去其它降低消耗因素按50%计算,每年节约4740万元。

(6) 加强润滑管理使企业获利 37个企业每年2130万元。

以上6项合计4.423亿元。

2. 大庆油田摩擦学工业调查

大庆油田是全国重点能源生产联合企业。在册的机械设备2.6万余台,每年消耗电能约28亿度,消耗汽、柴油7.6万余吨,润滑油(脂)约4千余吨。

自1982年开始成立摩擦学工业调查组。普查了占总数量91.5%的大部分机械设备,重点解剖了83台典型设备,取得了1.3万余个数据。经分析研究,应用已有摩擦学知识,提高机械效率,节约机械配件,延长运行周期,节约润滑油脂,全年可获得经济效益达1.4余多亿元。倘按大庆油田的石油产量为全国总产量的1/2推算,则石油工业系统每年可节约2.8亿元。

3. 煤炭工业系统的摩擦学调查

根据对淮南、大同、徐州、北京、开滦等12个矿区、24个煤矿的调查分析,煤矿机械可分为钻孔、掘进、采煤、装载、运输、提升、通风、排风、压风、洗选等10大类全国统配煤矿机械近100万台,其中95%以上是在井下作业,工况条件异常恶劣,因此,煤矿机械的摩擦、磨损比其它行业更为严重。

其中,由淮南矿务局曾应用摩擦技术、加强技术管理等措施,其合综效益是全局每年节电1900万度;节约润滑油429

吨；节约钢材、铜材1918吨，合计价值652.8万元。这些行之有效的经验在全国统配煤矿推广应用，每年可节约电力8.4亿度；节约润滑油1.4万余吨，节约钢、铜材约10.41万吨，合计价值达近4亿元。

4. 对铁道运输业的调查 从改进轴承，改善润滑，合理选用摩擦材料等措施中，每年可节约4亿多元。

根据对我国冶金、石油、煤炭、铁道运输、机械五大行业的调查，经过初步测算，应用已有的摩擦学知识，每年可以节约几十亿元，经推算，1984年我国工矿企业在摩擦学方面的节约潜力可达上百亿元，到2000年应用摩擦学技术在工矿企业中的节约潜力每年可达几百亿元。应当指出三点：一是我国的起点较低，摩擦学知识远未普及，机械设备的寿命短，油脂消耗、能源消耗偏高，企业管理、维修水平也不高，所以百分比数字偏高是符合实际情况的；二是调查的内容还不完整、不全面，因而在测算中没有包括如乔斯特报告中所列关于修理停工损失、延长了机器寿命节约的资金和提高设备效率而增加的效益等项；三是结合改革开放深入发展，应进一步改进、贯彻并制定出一整套适合我国实际的、严格而周密的、行之有效的企业管理、维修、挖潜的规章制度和见于行动的有力措施。可见，以上测算的数字是比较保守的。

国际摩擦学学会主席乔斯特，在1979年和80年代先后来中国访问、调查后认为，中国如果能通过摩擦学知识与技术实践来防止能源、资源的浪费，到本世纪末，每年可节约400亿元人民币是完全可能的。

因此，我们必须做好摩擦学研究与应用的培训和教育工作，同时调动科研和企业单位的积极性，重点放在挖潜、革

新、改造、管理、双增、双节和对摩擦的应用实践上，以取得尽量大的经济效益，适应我国国民经济发展的需要。

(三) 摩擦学的任务

在科学和生产技术高速发展的今天，人们几乎可以随心所欲地使用现代润滑材料和润滑手段对付各种复杂的摩擦副表面的摩擦、磨损问题，只要把有关相互作用表面的全部知识，应用于一个多元系统中常出故障的组件上，就能满意地解决其中的许多直至全部的问题。但实际上还留下不少问题没有解决。如添加剂的有效应用，用什么办法减少汽车轮胎在湿路面上的打滑，在高速公路加速时能使驱动轮消除打滑现象，怎样设计出最佳的假肢？用什么更有效的办法对废弃的工业溶剂、切削液、冷却液进行再生、回收处理，防止水源污染；能否设计和制造出既是价廉易得又能耐高温、高压条件下的润滑材料和相应的轴承或摩擦副……等，都迫切需要继续研究解决。

技术上的高速发展和进步，要求大量开展对摩擦表面的研究工作，明显的措施是适宜的加油方式、高效的润滑油、脂及合理的润滑方法与严格的润滑技术管理与维护。传统的润滑技术涉及到：

- (1) 按标准规范评价润滑剂；
- (2) 配制出能满足新情况要求的润滑剂；
- (3) 确定润滑剂如何适应特殊工况环境的要求，以及对润滑材料的反应；
- (4) 采用相应可靠的润滑方式及装置，保证润滑剂按要求供应到润滑点。

大量与摩擦表面有关的技术，目前仍处于上述传统的润滑技术之中。到本世纪50年代，大多数机械设备主要是用矿

物润滑油和矿物润滑脂来润滑，润滑剂选用大多数是凭经验进行。自本世纪60年代以来，合成润滑材料、固体润滑材料、自润滑材料、复合材料等已获得日愈增多的使用，同时还要求进行大量的技术研究，以满足日愈强化和苛刻条件下的润滑以及复杂系统如核潜艇、宇宙飞船、核工业等的关键润滑问题。不断发展的技术促使着必须对摩擦表面有关的每个方面加以研究，这就是摩擦、磨损、润滑学的任务和在今天生产实践中起着越来越大的作用。

第二节 摩 擦

一、摩擦与摩擦力

在自然界中，一切物体的运动都是和另外一种物体（包括周围液体或气体介质）互相接触的，这种接触对运动着的物体有减慢其相对速度和促使其逐渐停止的现象，称为摩擦。因此两个相互接触的物体作相对运动时，接触表面之间就必然产生一种妨碍运动的阻力，这阻力称为摩擦力（或摩擦阻力）。这种现象发生时就会产生热量，称为摩擦热。这种现象的结果将导致接触摩擦表面的材料脱落或转移，称为磨损。可见摩擦力是摩擦现象的力学特性；摩擦热是摩擦过程中能量转换的形式；磨损是摩擦的结果。

(1) 摩擦阻力正比于滑动表面的法向负荷，也就是说物体的摩擦力 F 与作用在摩擦表面的垂直压力 R 成正比；两者的比值 F/R 用摩擦系数 f 表示，物体重量为 W ，摩擦角或静止角是 θ ，用数学式表示则有：（如图1-1所示）

$$F = W \sin \theta$$

$$R = W \cos \theta$$

$$f = F/R = \operatorname{tg} \theta$$

而当 $\theta=0$ 时则 $f = F/R = F/W$ 。如果摩擦力 F 是开始滑动的阻力, 则 f_s 是静摩擦系数; 如果摩擦力 F 是保持常速滑动的阻力, 则 f_k 是动摩擦系数。摩擦力作用在相对运动的表面处, 作用方向与物体运动的方向相反。

(2) 摩擦系数与表观(或投影的)接触面积无关。实际上摩擦系数随速度有少许变化, 但是只要摩擦热可忽略不计时, 在一个宽的速度范围内接近于常数(图1-2)。

我们可以把速度 $V=0$ 的摩擦系数看成 f_s 静摩擦系数,

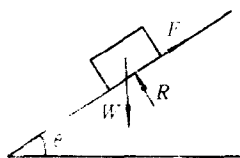


图 1-1 物体在斜面上滑动时的摩擦力与摩擦角

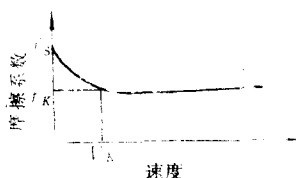


图 1-2 f 与 V 的关系

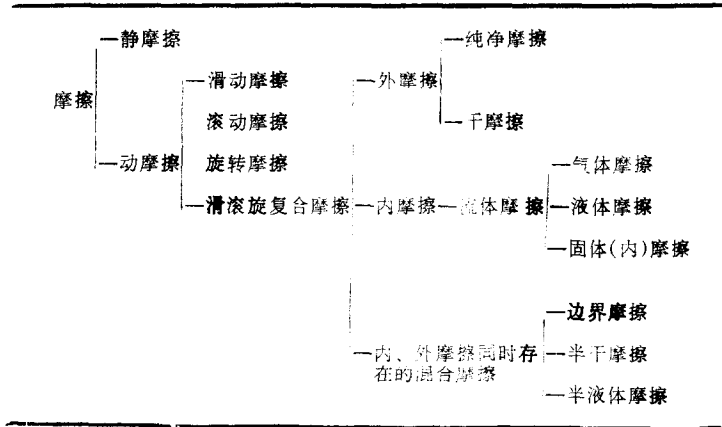
当速度增加达到稳定临界速度 V_k 时的动摩擦系数以 f_k 表示。这段时间是极小的(0.1秒以下), 曲线是近于水平的, 这时的摩擦系数, 我们可以看成是一个常数。

(3) 摩擦系数取决于相对运动时两相接触面的材料性质和表面粗糙度。当在两摩擦表面间加有润滑剂的条件下, 摩擦系数可达0.02或更小, 而某些金属表面直接接触综合的摩擦系数可超过1.0或更大。

二、摩擦的分类

对摩擦研究的依据不同则分类也不同。在表1-1中表示主要的几种摩擦的分类。

表 1-1 摩擦 的 分 类



(1) 根据摩擦发生在同一物体之中或两个物体之间的特征, 可以分为内摩擦与外摩擦。

内摩擦 指同一物体中诸分子间的相对移动而产生的摩擦。如流体本身分子之间诸部分间容易发生相对移动的摩擦, 固体如石墨、 MoS_2 、 WS_2 等固体润滑剂也很容易发生相对滑移。因此, 内摩擦应包括流体摩擦。另外对钢材的轧制、锻压、冲压等, 是钢材分子间的相对运动, 也属于内摩擦。

固体中的内摩擦是其本体内部分子间强迫运动的结果, 引起材料内部的剪切、滑移、位错等, 并导致内部发热, 通常用阻尼能量、损失角正切或正切模数来表示内摩擦, 就液体和气体来说, 内摩擦大小用绝对粘度和运动粘度来表示。

外摩擦 指两个相互接触物体在相对运动时发生的摩擦。它仅与两个物体接触部分表面的相互作用有关, 而与物体内部状态无关。严格的讲, 只有当固体间不存在润滑膜层的

情况下，两个物体才能直接接触，也就是说才会产生外摩擦。因此外摩擦应该包括纯净摩擦和干摩擦。

(2) 为更好地解决生产实际问题，可以把机械中各种摩擦归纳为几个基本类型。根据物体位移大小及其切向力的关系，物体的摩擦可分为动摩擦和静摩擦。

动摩擦 两个物体的表面在作运动过程中的摩擦，称之为动摩擦。

静摩擦 静止物体开始运动，在刚好足以使负荷作用下的两个物体开始作相对运动之前的临界状态时，界面处的切向阻力，亦即由静止状态向运动状态开始过渡之前的一瞬间的摩擦，称为静摩擦。

在条件相同的情况下，静摩擦一般大于动摩擦。

(3) 动摩擦按运动学的特征又可分为滑动摩擦、滚动摩擦和旋转摩擦。

滑动摩擦 一个物体在另一个物体作滑动时发生的摩擦，我们称之为滑动摩擦。

滚动摩擦 圆柱形或球形物体在另一个物体表面上滚动时产生的摩擦，称之为滚动摩擦。

旋转摩擦 圆柱形或球形物体在呈圆柱形腔或半球形腔内作旋转运动时的摩擦，称之为旋转摩擦。

复合摩擦 同时存在滚动和滑动或两种以上的摩擦称为复合摩擦，如齿轮啮合。

(4) 在动摩擦的情况下，又可根据其表面状态和是否有润滑剂而分为：

纯净摩擦（物理干摩擦） 两个物理表面上均无其他介质（吸附膜，化合物膜和其他加入物），并在表面发生显著塑性变形时形成的摩擦，称为纯净摩擦。这时可裸露出纯净

的金属表面，纯净金属的摩擦会产生表面粘着。

干摩擦（无润滑下的摩擦） 两个物体接触表面在没有任何润滑剂的条件下，所发生的表面直接摩擦，称为干摩擦，干摩擦的摩擦系数很高，如钢-钢为 $0.7\sim 0.8$ ，但实际上由于摩擦有热和塑性变形的发生，使金属和周围介质发生化学变化，如氧化，则会使摩擦系数降低，此时钢~钢为 0.15 左右，所以一般干摩擦的概念可认为是在大气条件下无润滑剂的摩擦。

液体摩擦 两个物体的摩擦表面间有一层连续的油脂类润滑剂薄膜隔开时发生的摩擦，称为液体摩擦。如果隔开物是固体润滑材料，则为固体膜（内）摩擦。如果气体也包括在内，则统称为流体摩擦。

混合摩擦（中间形式的摩擦） 包括边界摩擦、半干摩擦和半液体摩擦。其特点是摩擦表面有一层很薄（ ≤ 0.1 微米）的介质或介质层只盖住了一部分表面。

边界摩擦 摩擦表面被一层极薄的油性分子层隔开，即将进入到干摩擦之前的临界状态。

半干摩擦 摩擦表面上同时存在着干摩擦和边界摩擦情况下的摩擦。

半液体摩擦 摩擦表面间一部分为液体摩擦，另一部分润滑膜被破坏，致使局部接触表面出现边界摩擦和干摩擦。

三、摩擦机理与发展的学说基础及摩擦定律

最光滑的表面，从微观的尺度来看还是粗糙的，早期的研究工作者认为，摩擦是由于表面凹凸之间的相互作用，摩擦功就是从表面粗糙部分一个位置升到另一个位置上所