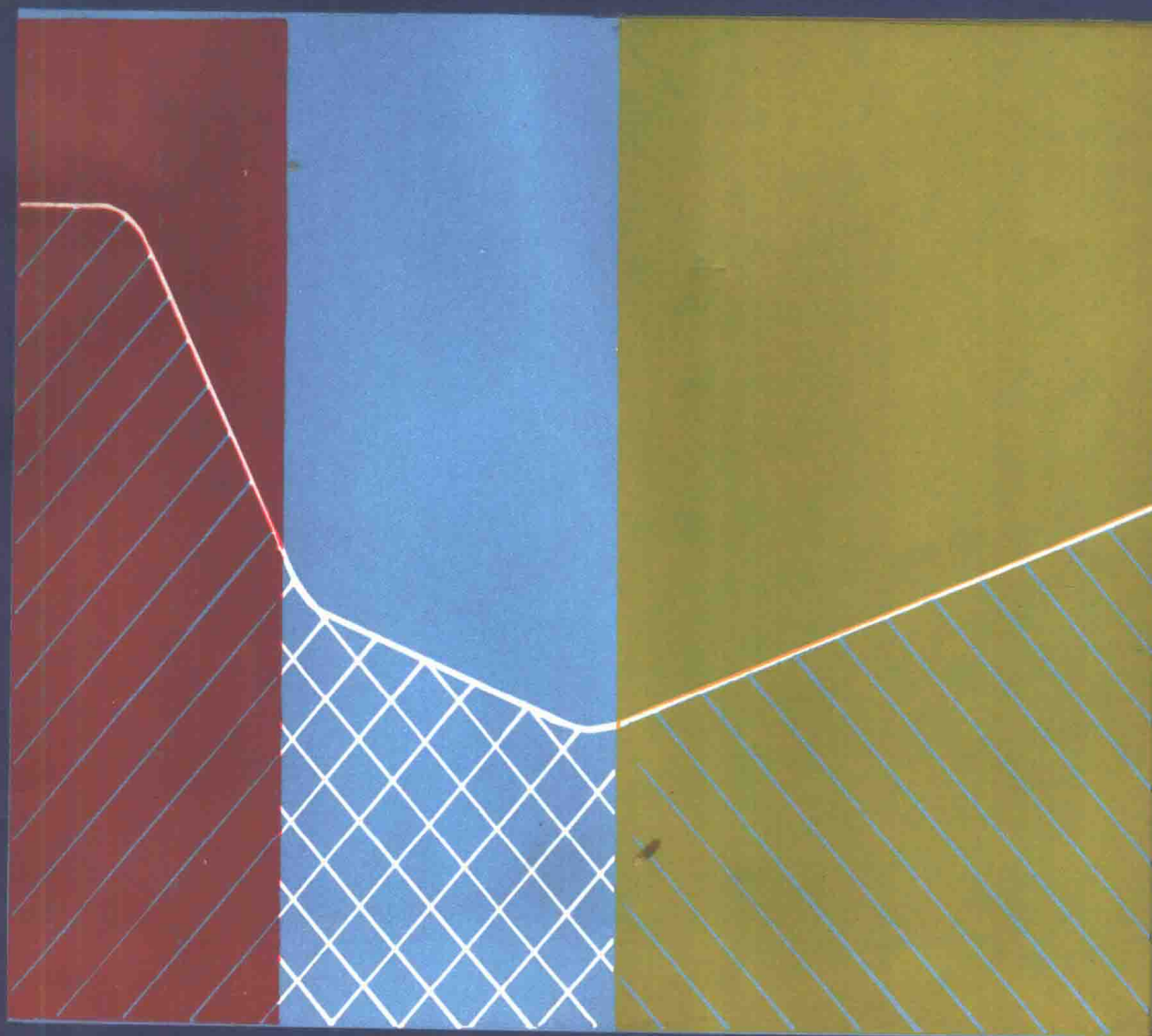


润滑工程

中国机械工程学会摩擦学学会《润滑工程》编写组



机械工业出版社

润 滑 工 程

中国机械工程学会摩擦学学会《润滑工程》编写组



机 械 工 业 出 版 社

本书是机械工程学会摩擦学学会为普及润滑知识而组织编写的一本中级读物。内容包括一般摩擦、磨损与润滑理论知识；润滑油、脂与固体润滑；摩擦学测试技术；零部件的润滑；润滑方法与润滑系统；设备的润滑管理；废油回收再生等。

本书可供机械设计、使用、维护、管理技术人员、中高级技工、大专院校师生参考。

润 滑 工 程

中国机械工程学会摩擦学学会

《润滑工程》编写组

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $22\frac{1}{4}$ · 字数 534 千字

1986年10月北京第一版·1986年10月北京第一次印刷

印数 0,001—4,350 · 定价5.30元

*

统一书号: 15033 · 5867

前 言

任何机器的运转,都依赖其构件在约束条件下的相对运动来实现,而相互作用的表面之间,在相对运动时必然会产生摩擦与磨损。润滑是减少摩擦降低磨损的最为有效的措施。因此,摩擦、磨损与润滑三者是密切相关的。许多工业国家通常使用的“润滑工程”一词,往往包括了摩擦、磨损和润滑三部分的内容。

现在摩擦、磨损与润滑问题已成为许多技术部门日常遇到的最普遍、最重要的问题之一。有人估计:世界上目前消耗的能源约有三分之一到二分之一表现为各种形式的摩擦损失。在某些机器设备中甚至还远远超过此数,例如纺织机械的各种摩擦损失即占整个功率消耗的百分之八十左右。由于机器零件磨损所造成的直接与间接损失亦十分惊人。磨损使零件的配合间隙增大,导致机器的精度下降、效率降低,最后使机器丧失工作能力。机器的早期失效或突然事故,常会引起工厂全部或局部停产,造成巨大的经济损失。而机器在服役期间需要更换其磨损零件,则直接消耗材料与工时。据统计我国在一九七五年用于生产拖拉机和内燃机的钢材约二十四万吨,而生产维修配件耗用的钢材数量,也约略相等。由此可见,机器零件的摩擦与磨损,实是构成能源与材料大量损耗的主要因素。

人类采用润滑的方法以减少接触表面上的摩擦与磨损,已有几千年的历史。但真正科学地深入研究润滑技术,还是在工业革命中出现了精密制造的金属零件之后。润滑技术的研究内容颇为广泛,除了应该连带地研究摩擦与磨损的机理以外,主要包括润滑理论、润滑方式与润滑系统、润滑剂的选用配制与评价、以及润滑工作的组织管理等等。近百年来世界工业国家的润滑技术发展迅速,这是由于它所提供的成就正适应工业发展的迫切需要,特别是在节约材料与能源方面起着十分重要的作用。

在著名的乔斯特“润滑报告”中曾经提到:在英国的企业中如能普遍重视润滑问题并更好地应用润滑技术知识,则每年可以节约五亿多英镑。这几年的实践证明这一估计还是偏于保守的。我国国内对某些钢铁工业和机械工业企业的调查也表明,当前企业中大多数的摩擦学问题,只要对问题作认真的系统研究并运用现有的润滑技术知识,就能满意地得到解决,从而取得巨大的经济效益。这里,就向我们提出了一项任务:必须作出更大的努力,用一种易于被接受的方式去普及现有的润滑技术知识——大力开展润滑工程人员的培训工作,这将对加速我国的社会主义现代化建设,作出重大贡献。有鉴于此,中国机械工程学会摩擦学学会委托它的教育与培训委员会及时组织力量,编写两本润滑人员的培训教材,《润滑工程》与《润滑工》,以适应当前企业中亟待广泛开展的职工培训的需要。

《润滑工程》的主要读者对象是工矿企业中从事润滑工作和设备维修工作的工程技术人员,也可供企业中的机械设计人员与研究试验人员、以及高等院校中有关专业的师生参考。本书各章分别由广州机床研究所的汪德涛(第一、二、三章);石油部石油化工研究院的阎邱提均、武巨波、胡性禄、张二水(第四章);中国科学院兰州化学物理研究所的周国民、党鸿辛(第五、六章);广州机床研究所的刘明森(第七章)、陈锦华(第八章);洛阳矿山机器厂的陆宾和黄汉璋、上海石油加工厂的潘宗政、河南省商业科研所的荆恒恩(第

九章);广州机床研究所的董武、骆玉琼(第十章)等同志编写。全书最后由广州机床研究所的汪德涛、西南交通大学的吴鹿鸣和武汉工学院的肖祥麟三位同志负责整理与统稿。西南交通大学的刘钟华教授和笔者一起,负责全书的审校工作。

本书在编写之初曾对全书的结构和各章内容的广度与深度等问题,广泛征求了各方面的意见。初稿完成后有部分章节曾在全国摩擦学师资培训班上作为教材试用。但由于本书各章的作者人数较多,文笔上不可避免地有一定的差异,所幸各章基本上是自成起建的,因此可望不致对读者造成很大不便。笔者还深信书中必然还存在不少欠缺甚至错误的地方,迫切希望国内从事摩擦学工作的同志,对本书提出宝贵意见,以便今后加以修改,使之成为一本合用的培训教材。

黄文治于武汉工学院
一九八二年十二月

常用符号

A	面积	N	法向载荷
	功热当量		转数
A_0	名义接触面积	n	转数
A_r	真实接触面积	P	压力
a	O形圈拉伸量		载荷
	接触区半径	P_a	微凸体峰顶接触时产生的压力
B	宽度	P_e	犁沟阻力
b	宽度		弹性流体动压润滑油膜的动压力
C	阻尼	P_r	单个微凸体摩擦接点的平均压力
	径向间隙或半径间隙	P_0	轴承空载时油腔压力
D	直径		最大赫兹压力
d	直径	P_1	油腔入口压力
d_c	毛细管直径	P_2	油腔出口压力
d_0	节流小孔直径	P_s	供油压力
	O形圈断面直径	p	轴颈上的比压 (单位投影面积上的负荷)
E	弹性模量	Q	流量
E'	复合弹性模量或当量弹性模量	Q_1	密封圈泄漏量
e	偏心距	Q_{c0}	空载时通过节流器流入支承一个油腔的流量
F	摩擦力或切向阻力	R	等效曲率半径或换算曲率半径
F_d	动摩擦力		轴颈半径
F_N	法向载荷	R_{max}	微观不平度最大高度
F_s	静摩擦力	R_a	轮廓的平均算术偏差又称中心线平均值
F_x	运动方向的牵引力	R_z	微观不平度平均高度
F_y	横向牵引力	$R.M.S$	微观不平度的平均平方根偏差
G	材料参数	$\bar{R}$	表面粗糙度综合值
H	波纹高度	R_e	雷诺数
	硬度	R_{ec}	临界雷诺数
h	平均油膜厚度	r	曲率半径
	间隙宽度		轴颈半径
h_0	最小油膜厚度	S	轴承特性系数 (又称索莫菲尔德数)
	轴承半径间隙	T	牵引力
J	热功当量		温度
K	粘附磨损系数; 滚动阻力系数	t	链条节距
	弹簧	U	速度参数
K'	磨损系数		流速
L	长(宽)度		轴颈速度
	行程长度	u	速度
l	基本长度或取样长度	V	速度
	油腔长度		材料体积或气体体积
	接触长度或宽度	V'	单位滑动长度内的磨损体积
l_c	毛细管长度	v	速度或轴颈圆周速度
M	摩擦力矩	W	负载
M_z	自调直力矩		载荷参数
m	质量	$C.L.A$	中心线平均值
	轮廓中线	dn 值	速度系数 = 轴承内径(毫米) × 转数(转/分)

OK值 油膜破裂负荷

α 油的压粘系数

材料拉压时的滞后损失系数

传热系数

小孔流量系数

α_c 滑动时的滞后损失系数

β 节流比

抗磨损系数

接触角

γ 刀具前角

δ O形圈压缩量, 相对蠕滑

ε 偏心率 = $\frac{e}{c}$

迟滞损耗百分比

η 动力粘度

η' 塑性粘度

λ 润滑剂膜厚度与表面粗糙度综合值的比

值 = $\frac{h}{R}$

导热系数

μ 摩擦系数

绝对粘度

ν 运动粘度

泊松比

ρ 密度

σ_s 剪切强度或法向应力

σ_t 塑性挤压压力

σ_p 屈服极限

σ_{sy} 压缩屈服极限

τ 剪应力或剪切强度

剪切阻力

τ_b 剪切强度极限

τ_f 自然污染膜的剪切强度极限

τ_0 表明分子粘附的剪切阻力

φ 锥顶半角

ψ 间隙比 = $\frac{c}{r}$

ω 角速度

$\frac{dp}{dx}$ 压力梯度

$\frac{du}{dz}$ 剪切率

目 录

前言

常用符号

第一章 绪论 1

第一节 概述 1

第二节 机械设备润滑的重要性 2

第三节 摩擦学发展动态 4

参考文献 8

第二章 摩擦与磨损 10

第一节 摩擦表面的特性与接触过程 10

一、表面几何特性 10

二、表面接触的物理与化学特性 12

三、表面接触过程 13

第二节 摩擦 14

一、滑动摩擦定律 14

二、摩擦分类 15

三、关于摩擦理论的研究 16

四、滚动摩擦 21

第三节 磨损过程及类型 25

一、什么是磨损 25

二、磨损的类型 25

三、磨损机理 26

四、关于磨损形式的转化 33

五、解决摩擦学问题的一般方法 33

参考文献 35

第三章 润滑理论基础 36

第一节 绪论 36

一、润滑的作用 36

二、润滑的类型 37

第二节 流体动压润滑 37

一、概述 37

二、推导雷诺方程的假设 40

三、流体柱流动的连续性 40

四、微元体的平衡 42

五、三维雷诺方程 43

六、雷诺方程的简化 43

七、无限长轴承 44

八、无限短轴承	45
第三节 流体静压润滑	46
一、概述	46
二、流体静压润滑系统的基本类型	47
三、流体静压润滑油膜压力的形成	47
四、因压力降而产生的粘性流体的缝隙流动	49
五、流体静压支承的常用计算公式	50
第四节 弹性流体动压润滑	51
一、概述	51
二、弹性流体动压润滑基本方程	52
三、弹性流体动压润滑理论的实际应用	56
第五节 混合润滑	56
第六节 边界润滑	57
一、边界润滑的特点	57
二、边界润滑膜的性能	58
三、形成边界膜的物理—化学过程	60
四、“爬行”现象	60
第七节 气体润滑	62
一、概述	62
二、气体润滑基础	62
第八节 润滑脂润滑	63
一、概述	63
二、润滑脂的流变性能	63
第九节 润滑的极限	64
一、流体润滑的极限	65
二、润滑作用的失效	65
参考文献	66
第四章 润滑油脂	68
第一节 润滑油	69
一、润滑油的组成和基础油的加工和性质	69
二、润滑油的粘度及其有关性质	73
三、润滑油的氧化和变质	78
四、润滑油的润滑性能	81
五、润滑油添加剂	83
六、润滑油物理化学性能的测试和分析方法	91
第二节 合成润滑油	94
一、概述	94
二、合成润滑剂的种类及特性	95
三、脂肪酸酯	96
四、合成烃	99
五、磷酸酯	102
六、聚乙二醇及其衍生物	104

七、硅酮	105
八、硅酸酯	107
九、聚苯醚	108
十、氟油	109
十一、结语	111
第三节 润滑脂	111
一、概述	111
二、润滑脂的制备	120
三、润滑脂的评价	121
四、润滑脂的分类及作用	125
第四节 切削液	132
一、概述	132
二、金属切削过程的润滑特点	132
三、切削液的作用	134
四、切削液的组成和类型	139
五、切削液的选用	141
参考文献	144
第五章 固体润滑	145
第一节 概述	145
一、研究固体润滑的意义	145
二、固体润滑剂的定义及分类	145
三、固体润滑剂的优缺点及主要用途	146
第二节 几种常用的固体润滑剂	148
一、石墨	148
二、二硫化钼	150
三、聚四氟乙烯 (PTFE)	152
四、尼龙	155
五、氮化硼	156
六、聚酰亚胺	157
七、氟化石墨	159
八、聚对羟基苯甲酸	164
第三节 固体润滑剂的使用方法	164
一、作成整体零部件来使用	164
二、作成各种覆盖膜来使用	165
三、制成组合(复合)材料来使用	168
四、直接使用粉末固体润滑剂	170
第四节 特殊工况条件下的摩擦与润滑	171
一、高温下的摩擦与润滑	172
二、高速下的摩擦与润滑	174
三、高真空下的摩擦与润滑	176
四、低温下的摩擦与润滑	178
参考文献	178

第六章 摩擦学测试技术	180
第一节 概述	180
第二节 摩擦与磨损测试方法简介	181
一、关于摩擦的测定	181
二、关于磨损的测定	186
第三节 常用的摩擦磨损试验机	188
一、试样接触形式的选择	188
二、常用的摩擦磨损试验机简介	189
第四节 表面分析测试技术简介	196
一、表面形貌的研究	196
二、表面组成与晶体结构分析	197
第五节 润滑剂分析方法概述	201
一、润滑油脂的组成分析	201
二、润滑油脂(包括添加剂)中微量金属的分析	202
参考文献	202
第七章 通用机械零部件的润滑	204
第一节 概述	204
第二节 润滑剂的选择	205
第三节 滑动轴承的润滑	207
一、概述	207
二、滑动轴承的类型和一般性能	207
三、滑动轴承设计计算的一般原则	209
四、滑动轴承润滑的计算	210
五、滑动轴承润滑脂的选择	217
第四节 滚动轴承的润滑	218
一、滚动轴承润滑剂的选择原则	219
二、滚动轴承润滑油的选择	219
三、滚动轴承润滑脂的选择	221
第五节 齿轮和蜗轮副的润滑	227
一、概述	227
二、齿轮润滑油的选择	228
三、开式齿轮传动润滑油的选择	231
四、蜗轮传动润滑油的选择	231
五、齿轮和蜗杆的润滑方法	232
第六节 导轨的润滑	234
一、导轨润滑剂的选择	234
二、导轨润滑油的使用及润滑方法	237
三、导轨的维护保养	237
第七节 离合器和联轴器的润滑	238
一、离合器的润滑	238
二、联轴器的润滑	238
第八节 链条和钢丝绳的润滑	239

一、链条的润滑	239
二、钢丝绳的润滑	240
参考文献	241
第八章 润滑方法和润滑系统	242
第一节 润滑方法	242
第二节 润滑装置	242
一、油润滑装置	243
二、润滑脂润滑装置	249
三、固体润滑装置	250
四、气体润滑装置	250
第三节 润滑系统	250
一、油润滑系统	250
二、脂润滑系统	255
三、润滑系统实例	256
第四节 结束语	260
参考文献	260
第九章 设备的润滑管理	261
第一节 设备润滑管理的意义	261
第二节 设备润滑管理工作的基本任务	261
第三节 设备润滑管理工作的组织机构	263
一、管理组织机构	263
二、润滑人员配备	263
三、设备润滑管理工作人员的职责	264
第四节 设备润滑图表的编制	265
第五节 设备润滑的“五定”管理	268
第六节 机械设备换油周期	269
一、润滑油脂物理化学性能变化与换油标准	269
二、其他确定换油周期的方法	272
第七节 润滑与清洗材料的消耗定额	272
一、润滑剂消耗定额	273
二、清洗材料消耗定额	274
第八节 废油回收再生	277
一、润滑油回收再生的意义	277
二、废油的回收再生工艺	278
三、基础油炼制具体工艺简介	284
四、废油再生中的污水处理	285
参考文献	287
第十章 密封技术	288
第一节 概述	288
第二节 密封件的分类	288
第三节 密封材料的主要品种及特性	289
第四节 密封件的结构形式	291

X

一、挤压形密封圈	297
二、油封	297
三、唇形衬垫	301
四、其他密封	302
第五节 机械防漏密封胶	304
一、概述	304
二、液态密封胶	304
三、厌氧密封胶	311
第六节 密封带	313
参考文献	314
附录 A 国内外润滑油脂对照表	315
附录 B 柴油机油的分类和使用性能	340
附录 C 汽油发动机润滑油的分类和性能	341
附录 D 国产合成油产品	342

第一章 绪 论

第一节 概 述

两个相互接触的物体发生相对运动或具有相对运动趋势时,在接触面间阻碍切向运动的现象称为摩擦。所产生的阻力称为摩擦力。摩擦过程带有复杂的物理-化学、机械、电、冶金与热等方面的综合特性。由于摩擦,运动过程和系统动态特性受到影响或干扰,机械所传递的一部分能量在克服摩擦阻力的过程中消耗掉,同时,机械发热、表面层产生磨损。人们在实践中认识到,为了减少摩擦阻力和磨损、节约所消耗的能量并降低机械发热,可以选用摩擦系数较小和抗磨性较好的材料或是在对偶表面间使用润滑剂,也可以改变物体运动时的摩擦形式,例如用滚动摩擦代替滑动摩擦等等来达到这一目的。概括起来说:“一切作相对运动的接触表面间都存在摩擦现象,磨损是摩擦产生的后果,而润滑则是改善摩擦状态、减少磨损的重要措施”〔1-1〕。

另一方面,我们也可以利用摩擦来为人类服务。有些机械和加工工艺是利用摩擦原理工作的,如摩擦压力机、带传动、摩擦离合器以及摩擦焊接和切削等。运动中的机械制动装置,必须选用高摩擦阻力的材料来制造。

摩擦磨损与润滑对人类的物质生产和生活有着深远的影响,据中国历史博物馆资料介绍,我国二、三万年前的柳江人、河套人和周口店山顶洞人已初步掌握了穿孔和磨削技术。可能已经学会取火了。由此可见,我国在应用摩擦取火方面的历史是很悠久的。大约在公元前4000年至公元前2000年间的仰韶文化时期已经使用陶轮(或称制陶旋盘)来修饰陶器表面。在这种原始机具上已应用了滑动轴承。据说在外国近东乌尔王朝时期也开始应用这类陶轮〔1-2〕、〔1-3〕。

作为摩擦形式改变的一例是使用车辆作为交通工具来搬运重物,把重物对地面的滑动摩擦转化为车轮对地面的滚动摩擦,依靠比较光滑的车轮轮毂轴承孔支承车轴作滑动摩擦,这样,作同样的工作却可以节省力。而我国至少在商代(约公元前1711~1066年)就已有马车出现〔1-4〕。另外我国故宫中的一块长16.5米、宽3米、厚1.7米、重约二百多吨的大石雕,在清乾隆二十六年(公元1761年)由房山县大石窝运来时,是在沿途每隔一里挖一口井,在冬季汲水泼成冰道,用旱船拉运来的。

在我国古书中最先出现“润滑”这个名词的是《淮南子》“夫水所以能成其至德于天下者,以其淖润滑也”〔1-5〕。我国周代中期(约公元前1066~570年)的《诗经》卷二邶风,泉水三章中记载了使用脂进行润滑的诗篇:“载脂载鞶,还车言迈,遄臻于卫……”。

(“鞶(音狭xiá)就是车轴的古字。大意是说:“用脂膏涂在车轴上进行润滑,让车快跑到卫地去”。

在陕西宝鸡市发掘出的西周时期的马车上已有一种称为“𨾏”(音管,guān)的零件,就是车毂孔端面用铜包裹套在车轴上的圆管状部分。它与车毂端面相摩擦,起着止推支承面

的作用。提高了车轴的耐磨性。到汉代时已采用了铁的滑动摩擦面。称为“钲铜”。在许慎(汉)的《说文解字》中说:“铜,车轴铁也,从金”,“钲,车毂中铁也”。毕源的《释名疏证》说:“铜”间也,间钲轴之间使不相摩也”〔1-6〕、〔1-7〕,由此可见,古代的钲和铜就是原始轴承副。而轴承的概念在我国汉代以前已经形成。我国古老的天文仪器“简仪”上使用圆柱作为支承。公元1276年元朝郭守敬在造仪法中写道(见《元史》卷四十八“天文志”):“……百刻环内广面卧施圆轴四,使赤道环旋转无涩滞之患。”

在古代埃及,约公元前2400年的墓中的浮雕上刻有搬运雕像时有人在底板下面加润滑剂的情景,据说是第一个有记录可查的润滑工。公元前850至公元前700年时,亚述古都尼尼微的浮雕上则刻有奴隶们在搬运人头牛身石像。在底板长梁下加圆柱滚子将物体运动时的滑动摩擦转换成滚动摩擦。在尼米湖附近出土的公元44~52年罗马的文物中有铜球、圆柱以及木制圆锥滚子轴承〔1-8〕。

以上只是对早期摩擦学发展过程中的一些大事作简略叙述。进入二十世纪以后。特别是第二次世界大战以后。随着机械工业的迅速发展。这门科学成为所有机械制造、使用和维修部门经常注意的大问题,成为一门跨学科的边缘科学。它包括的内容有:机械摩擦、磨损与润滑的理论及其实践、转子动力学、机械设计、表面物理与化学、润滑材料、润滑方法和润滑系统、润滑管理、耐磨材料及材料表面处理、摩阻材料等。涉及到数学、物理学、化学、材料学、冶金学、流变学、石油与化学工程、机械工程等学科。

1964年以英国乔斯特(H. P. Jost)为首的一个小组,受英国科研与教育部的委托。调查了润滑方面的科研与教育工作的现状以及工业企业在这方面的需要,于1966年提出了一项调查报告。这项报告提到,通过加强摩擦学的科研和教育,充分运用摩擦学的原理与知识,就可以使英国工业每年节约五亿一千五百万英镑(包括延长机械寿命、减少故障维修与易损件的更换、节约润滑材料与投资、节约人力与动力、降低摩擦损失等等方面的得益),相当于英国国民经济总产值的1%〔1-9〕。这项报告引起了英国政府和工业部门的重视。同年,英国开始将摩擦磨损润滑及有关的科学技术问题归并成一个新学科,称为“摩擦学”,并取希腊字“Tribos”(摩擦)为字头,组成一个新字“Tribology”来表示。同时规定其定义是“研究作相对运动相互作用的对偶表面的理论和实践的一门科学技术”。也就是研究作相对运动的对偶表面在接触、滚动、滑动时的摩擦、磨损与润滑方面的科学技术。以后其它一些国家相继采用这个新字。在这些国家中成立了相应的学会组织,如英国在机械工程师协会下设立了摩擦学学组。国际间成立了国际摩擦学学会。1979年3月,我国也在中国机械工程学会下成立了摩擦学学会。除了学会组织以外,一些国家逐步建立和形成了研究中心(包括工厂试验研究中心(室))、培训中心,在大专院校中开设专业课程,学术活动十分频繁。现在,摩擦学在我国已成为发展最快和最年青的学科之一〔1-10〕。

第二节 机械设备润滑的重要性

机械设备是企业生产的主要要素之一,一个工厂要持续、全面、均衡地完成生产计划,设备必须经常处于良好的技术状态。这就需要生产厂在机械产品设计阶段正确进行结构和润滑系统设计,选择好摩擦副材料及表面处理工艺,在生产过程中注意提高设备制造质量,认真检验与考核设备性能,对设备进行妥善的防锈与包装,而用户在使用期间则必须重视设备

的维护保养,合理而完善地进行润滑。只有这样才能控制摩擦,降低磨损,减少传动机构中消耗的能量,延长产品寿命,减少设备损坏与故障,使设备经常处于良好的技术状态,降低维修费用等。因此设备润滑直接关系到节约能源、材料、人力、提高机械产品的质量、可靠性、寿命与安全性,更多地创造物质财富。特别是现代化机械设备正在向超大型化、高速运行、高度自动化、高生产效率、高精度保持性、长寿命的方向发展,有的机械还需要能够适应各种类型的工作环境。这对设备维修和润滑工作提出了一系列新的课题。例如对于一个现代化连续生产的钢厂,一个轧钢机轴承的失效可能造成全厂停工,一个电站发电机组轴承失效,不但造成电站本身停工损失,还会使一系列工厂停工,引起连锁反应。这就要求深入了解机械零件的性能极限和磨损过程,以便预测及确定其安全工作的界限,在工作过程中对机械的工作性能进行监测,诊断出可能发生的故障和事故,及时加以预防等等。此外,还需要注意维护轴承和摩擦副,加强润滑工作,抓好设备润滑的“定人、定点、定时、定质、定量”,最大限度减少或消灭零件的不良润滑点,从而作到“预知维修”或“免除维修”,以保持设备安全持续运转。

有人估计世界能源的1/3以上是在各种机械传递能量过程中最终以各种形式表现为摩擦损失。此外,由于对偶表面的磨损,造成设备损坏,需要更换磨损零件而造成的损失十分惊人。配件生产净值和所耗用的钢材量,往往几乎和主机生产相等。据文献介绍,英国国民经济总产值的30%用于更换磨损与腐蚀所造成的损坏件(包括机械、日常生活用品、以及其他方面的磨损)。又例如,英国在1966年时汽轮发电机组消耗在克服机组轴承中不必要的液体紊流摩擦的能量约为发电能力的0.8~1.0%,即机组每发电一百万千瓦,损耗的动力为八千至一万千瓦,这样每年要多烧掉二万吨煤或损失四十万英镑[1-13]。后来经过研究,改进了轴承结构设计,减少了摩擦损耗(目前这个损耗指标的国外先进水平约为0.3~0.5%)。从这些例子可见,由于摩擦与磨损所造成的损失是十分惊人的。

据文献[1-12]介绍,汽车动力的30%消耗为摩擦损失,而涡轮喷气发动机则只有约1.5%的动力消耗为摩擦损失。因此,从改善摩擦学技术出发来节约能源也是大有可为的。这样,除了使内燃机保持较高的热效率以外,同时还可节约原材料和动力消耗,提高机器可靠性和使用寿命,延长服役时间,减少维修费用,从而最终反映到节约能源上来。

加强机械润滑工作,对于提高摩擦副对偶表面耐磨性和机械可靠性,延长关键件使用寿命,降低维修费用,减少机械故障都有着重要意义。根据分析约有40%以上的设备故障是由于润滑不良所引起。例如:某些汽车的安全使用寿命可达到运行三十万公里不需大修的先进水平;内燃机车关键件使用寿命可达到运行一百万公里的水平。检修率仅为3~6%。但是,尚有大量汽车与内燃机车还达不到这个水平。究其原因,除了设计因素以外,常常是由于不注意维护保养和润滑工作所造成的。

我们应当看到,机械设备的正确润滑,涉及到许多问题,不能单纯地看成只是加润滑油问题。采用什么润滑方式和润滑系统,使用什么润滑材料,如何实施润滑管理,都有着重大关系。例如,我国各地汽车轮毂轴承的润滑,曾推广采用空毂润滑技术[1-14](即只在轴承内装满润滑脂,在轮毂空腔内只涂1/3至1/2容积的润滑脂,不像过去那样采取满毂)。由于采用空毂润滑,使轮毂易于散热,降低了轮毂和轴承温度,减少润滑脂流失,同时还避免了润滑脂漏到制动鼓和蹄片上而使制动失灵。因此,既可节约大量润滑脂,又有利于行车安全。采用空毂润滑技术后,一辆解放牌汽车,换一次脂可节约1.5~2.5公斤,一百万辆汽车就

可节约 1500~2500 吨润滑脂,由此可见合理润滑的作用很大。

为了挖掘设备潜力,提高劳动生产率,对旧机床的摩擦副及润滑系统进行技术改造有着十分重要的意义。特别是重型机床、精密机床和高效率自动化机床,常常由于轴承、导轨及重要摩擦副存在缺陷,发生故障,或是达不到所要求的加工精度,生产效率降低,以致长期无法使用。近几年来,由于在一些旧机床中推广应用流体静压润滑系统,取得了较好的效果。例如:一台成批加工丝锥、螺纹塞规等工、量具的螺纹磨床,由于砂轮架主轴轴承存在缺陷,长期无法使用。经过改装成静压轴承以后,不但能正常运转,而且提高了机床刚度和加工精度,既能粗磨,又能精磨。使近于报废的机床重新投入生产,像这样的精密机床,每年可为国家创造大量财富,经济效果是十分显著的。

由此我们可以看到,机械设备的润滑是一件非常重要的工作,涉及的面很广泛,有着广阔的发展前途,值得我们重视。

第三节 摩擦学发展动态

近年来摩擦学的发展十分迅速,在这个学科领域内每年发表的论文平均约 8000 篇[1-15]。内容涉及到人类生产活动和日常生活的各个方面。它的总目标是使机械制造厂和用户能够更好地设计、使用和维修机械,使机械运动副的摩擦与磨损受到控制,功率损耗与发热降低,使寿命、可靠性与安全性提高,维修工作量和费用降低,特别是使能源与材料得到节约,近几年来年的发展动态有以下几方面。

1. 磨损机理的研究

为了进一步掌握摩擦系统的特性,解决工业生产中存在的零件磨损和寿命问题,研究人员的目标是进一步探讨材料磨损机理和摩擦副对偶表面在摩擦过程中的物理化学性能,以便更好地控制和预知磨损过程。

对磨损机理的研究已经取得了巨大的进展,目前已经对粘附磨损、磨料磨损、接触疲劳磨损、腐蚀磨损、微动磨损、浸蚀磨损、气蚀等等的磨损过程进行深入研究,了解其磨损机理。近几年来在磨损颗粒分析技术方面上也取得了进展,已经能够对单一类型磨损机理较好地说明。但由于实际摩擦副的对偶表面与亚表面的状况较为复杂,而且磨损过程往往受到两个或更多类型的磨损机理同时作用,有时也可能由一种机理转换为另一种。这种复杂的相互作用,增加了磨损研究和预测的复杂性[1-16],因此目前许多学者提出了各自的磨损理论。例如:泰伯(D. Tabor)强调粘附的作用;阿恰尔德(J. F. Archard)描述了粘附磨损理论;拉宾诺维奇(E. Rabinowicz)则着重于考虑转移的磨损碎片中所释放的表面能与材料硬度比值的作用;克拉盖尔斯基(И. В. Крагельский)的理论重点是接触表面相互渗透的程度与失效特性;希尔斯特(W. Hirst)考虑了由轻微磨损向严重磨损的过渡过程;苏(N. P. Suh)则提出了磨损的剥层理论;斯科特(D. Scott)考虑了滚动轴承中疲劳的作用;钦钦那齐(A. B. Chichinadze)则用一系列使人迷惑的无因次参数来表述磨损;萨拉孟(G. Salomon)与契可斯(H. Czichos)等尝试将整个磨损过程用系统工程理论来进行分析;冯(I-Ming Feng)考虑了相互接触的微凸体处发生的塑性流动。

由于降低磨损可以有效地节约材料与能源,因此今后将继续探讨磨损的机理,加强研究控制与防止磨损的方法,设计更合适的结构,选择最适当的材料与正确地润滑,以便保