



SHIYONG
实用
MOOCAXUE
摩擦学

〔日〕日本摩擦学研究会 编
汪一麟 等译

上海科学技术出版社

实用摩擦学

[日] 日本摩擦学研究会编

汪一麟 等译

上海科学技术出版社

内 容 简 介

这是日本摩擦学研究会把成立十年来所发表的论文、报告、演讲和资料加以整理精选而编成的一部摩擦学专著，由桜井俊男等三十二位著名学者执笔。本书的取材偏重于摩擦学的基本原理和摩擦学在工业生产上的实际应用，其中反映了日本在摩擦学方面的最新科研成果。本书分摩擦学现状、金属表面的疲劳、弹性流体动力润滑和边界润滑、轧制中的润滑、冲压加工中的润滑、切削和磨削中的润滑、脂润滑、摩擦和磨损、润滑管理等九章。在书末汇编了常用的摩擦学名词术语(汉英对照)近五百条，并附有定义和解释。本书可供从事摩擦学研究和实践的工程技术人员使用，也可供高等工业院校有关专业的教师和研究生参考。

实 用 摩 擦 学

【日】日本摩擦学研究会编

汪一麟 等译

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 18.5 字数 443,000

1984 年 5 月第 1 版 1984 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—8,600

统一书号: 15119·2312 定价: (科五) 2.50 元

译 序

摩擦学是近十多年来发展起来的一门边缘学科。它是关于作相对运动的相互作用表面的理论和实践的一门科学技术。摩擦学的研究范围很广,包括机械学、冶金学、力学、物理学、化学等方面的内容。

世界各国的学术界和工业界已日益认识到摩擦学这门学科对发展国民经济和科学技术的重大作用。近年来,国外已纷纷成立了有关摩擦学方面的研究机构,大量出版了摩擦学方面的著作和刊物。目前,摩擦学已成为世界上发展最快的应用科学之一。

本书是日本摩擦学研究会把成立十年来所发表的论文、报告、演讲和资料加以整理精选而编成的一部摩擦学专著。本书的取材偏重于摩擦学在工业生产上的实际应用,其中反映了日本在摩擦学方面的最新科研成果。我们认为,把这本书译出,也许能向国内从事摩擦学研究和实践的工程技术人员提供一些关于摩擦学原理和应用的参考资料,为我国早日实现四个现代化作出一点贡献。

本书由樱井俊男等三十二位学者撰写(详见目录)。译校分工如下:蒋兆龙译第一和第九章、陈耕译第二和第八章、朱永明译第三章、穆承席译第四和第五章、许焕章译第六章、唐晋丰译第七章,全文由汪一麟总校和统稿。书末的摩擦学名词术语由汪一麟汇编。

限于我们的理论知识和业务水平,译文中定有错误和不当之处,恳请读者批评指正。

1983年10月

目 录

第一章 摩擦学现状	1
1.1 摩擦学研究现状(桜井 俊男)	1
1.2 欧洲的摩擦学(T. I. Fowle)	9
第二章 金属表面的疲劳	16
2.1 金属表面的结构和化学(玉井 康勝)	16
2.2 金属表面发生摩擦时的特性变化(中島 耕一)	24
2.3 材料的表面和疲劳(考虑环境的影响)(北川 英夫)	32
2.4 金属的表面强度和润滑油(遠藤 吉郎)	55
2.5 润滑油对金属表面疲劳的影响(桜井 俊男, 広中 清一郎)	70
第三章 弹性流体动力润滑理论和边界润滑	81
3.1 流体动力润滑机理(青木 弘)	81
3.2 弹性流体动力润滑理论的概要(平野 富士夫)	83
3.3 弹性流体动力润滑的界限(平野 富士夫)	86
3.4 往复运动中弹性流体动力润滑的界限(平野 富士夫)	89
3.5 从微观角度看弹塑性的影响(平野 富士夫)	90
3.6 不完全弹性流体动力润滑中的切向力(平野 富士夫)	94
3.7 边界润滑的根据(平野 富士夫)	99
第四章 轧制中的润滑	101
4.1 轧制中的摩擦和润滑(鈴木 弘)	101
4.2 高速轧制中的润滑(戸田 龍, 才木 孝, 豊田 洋民, 山崎 公三)	105
4.3 冷轧带材用轧辊的磨损(沢井 繁之)	114
4.4 热轧中润滑油的应用(大庭 半次)	120
第五章 冲压加工中的润滑	130
5.1 冲压加工的润滑机理(河合 望)	130
5.2 冲压加工汽车车身零件时的润滑现状(森本 毅)	138
5.3 冲压润滑钢板(島田 昌治)	142
第六章 切削和磨削中的润滑	149
6.1 切削机理和切削油的作用(益子 正巳, 白井 英治)	149
6.2 磨削机理和磨削油的作用(楢崎 進)	165
第七章 脂润滑	181
7.1 润滑脂的性能(桜井 俊男)	181
7.2 密封球轴承的几个问题和润滑脂的润滑特性(鈴木 利郎)	189
7.3 润滑脂的性能试验和滚动轴承的寿命(森内 昭夫)	194
7.4 通用合成油润滑脂(中西 幸夫)	198

第八章 摩擦和磨损	203
8.1 磨损的“基础理论”(木村 好次).....	203
8.2 润滑剂对磨损的影响(樱井 俊男, 中山 景次).....	209
8.3 齿轮的磨损和刮伤(成濑 長太郎)	214
8.4 齿轮的点蚀(橋本 誠也)	219
8.5 硬质合金刀具的磨损(中村 裕道)	227
第九章 润滑管理	236
9.1 润滑技术和润滑管理(山近 純一郎)	236
9.2 钢铁厂中的各种润滑问题及其解决办法(福永 一朗)	253
参考文献	258
摩擦学名词术语	267

第一章 摩擦学现状

1.1 摩擦学研究现状

摩擦学(Tribology)一词是由英国 H. P. Jost 所主持的润滑工程工作组于 1966 年提出的,现在牛津辞典中已把摩擦学定义为:“研究作相对运动的相互作用表面的科学技术及其有关的各种实际问题”,它在欧洲已获得了广泛的应用。自摩擦学一词出现以来,各行各业的科研人员已共同对摩擦学作了研究,新的研究方法不断涌现。

1.1.1 教育和学会活动

(1) 摩擦学教育 英国比欧洲大陆其它许多国家拥有更多的科学家和工程技术人员。1966 年,英国工业部想建立摩擦学教育和进修委员会来促进教育,立刻得到了英国各大学和学会的协助,因而其教育活动就立刻活跃起来了。

英国把摩擦学教育分成如下四个等级:

- (a) 对工人的教育;
- (b) 对制图人员或设计技术人员的教育;
- (c) 对大学生的教育;
- (d) 对研究生的教育。

此外,就摩擦学教育的方式来说,有的由工业界主办,有的按大学和研究生院的水平进行。

(2) 学会活动 为什么要成立摩擦学学会?它又是怎样发展起来的呢?对这些本质问题,必须加以考虑。关于润滑技术,有机械方面的学会,关于润滑剂,有应用化学和石油方面的学会,由它们分别进行处理。摩擦学是一门边缘学科,为了要想发展技术,必须由与此有关的科学家和工程技术人员通力协作来共同研究这门学科。英国机械工程师学会(IME)于 1973 年就开始举办了“润滑问题讨论会”。可以说,这开拓了英国摩擦学的历史。

目前,英国已发行了如下三种刊物:

Tribology News 由英国机械工程师学会出版,每年 4 期。

Tribology (杂志) 从 1969 年起发行。

Tribos (文摘) 从 1969 年起发行。

美国润滑工程师学会(ASLE)成立以来已有三十多年了。从 1944 年起发行了 Lubrication Engineering(现为月刊),从 1959 年起发行了论文集,即 ASLE Transaction。有关润滑方面,还有如下几种刊物:

ASME Trans., SAE Journal, ACS(美国化学学会)的分科会 Chemistry of petroleum 论文集和 NLGI Spokesman。

此外,还有东德出版的 Schmieretechnik(杂志)和欧洲大陆早就出版的 Wear(杂志,从 1956 年起发行)。

作为润滑会议, ASLE年会(5月上旬)和ASLE/ASME联合会议(10月中旬)每年举行一次。作为引人兴趣的会议, Gordon摩擦学研究会议每隔一年在风景优美的New Hampshire举行一次。

英国有Cameron教授主持的称为“Limits of Lubrication Conference”的非正式会议,从1969年起每隔一年在伦敦的帝国学院(Imperial College)举行一次。

西德有以国立材料科学研究所(BAM)为中心的摩擦学学组,荷兰、意大利、丹麦、瑞典等国也有小型的摩擦学学组。全欧有经济合作发展组织国际研究小组(OECD IRG)每年召开一次的研究会。关于这些研究活动,将在后面进行介绍。

1.1.2 研究活动

(1) 世界各国对摩擦学研究的贡献 目前,摩擦学的研究活动正在走向国际性。日本也有很多研究人员应邀赴欧美交流学术论文和参加讨论。研究活动与各国在政治和经济方面的发展相关联。

摩擦学研究活动的难题是,这些研究成果很少能直接用于工业方面,即使能用,其反应也不够。工业上的革新常常是保密的,往往只能通过专利而间接了解其成果。在力求改变这种倾向的同时,为使摩擦学科研得到发展,充实摩擦学研究人员和技术人员的队伍是相当重要的。

(2) 英国的研究 如上所述,英国以工业部为中心而推动研究工作。在英国,如下四个研究所的活动是引人注目的:

(a) 国家工程实验室(NEL),位于East Kilbride,从事工业方面的研究;

(b) 国家摩擦学中心,位于Risley,有从事特殊工况下摩擦学研究的许多优秀研究人员;

(c) 摩擦学研究所,设在Leeds大学机械工程系内,目前也在进行生物工程(生物摩擦学)的研究;

(d) 工业摩擦学研究所,设在Swansea大学内。

(c)和(d)的研究机构是附属于大学的,但独立地进行研究。它们与工业界取得充分联系而专门研究实际问题。在大学中,Salford大学有较大的研究组,在广泛地开展着研究。

(3) 美国 麻省理工学院(MIT)有一个从事润滑方面研究的表面实验室(Surface Laboratory),附属于机械工程系。这里有Rightmire教授和Rabinowitz教授在进行活动。

关于化学方面,Klaus教授(宾夕法尼亚州立大学)和Furey教授(弗吉尼亚综合性工学院)在进行研究。在国家航空和航天管理局(NASA)Lewis研究中心,R. L. Johnson博士(机械)和Buckley博士(化学)的活动是引人注目的。在Lewis中心,正根据作表面研究用的所有研究设备和美好的规划进行着磨损研究,此外还在生物工程方面进行着人工关节的研究。

在政府机关研究所和私营企业中,有很多第一流的研究人员,他们在进行着国际性的交流活动。

(4) 德意志联邦共和国 西柏林有著名的材料科学研究所(BAM),它建立于十九世纪。在材料科学研究人员中,有因Striebeck曲线(图1.1)而闻名的Striebeck教授。该研究所最近重建,目前约有1000名工作人员。流变学和摩擦学的领导人是K. Kirschoke教授。

这里有文献中心,也出版有关摩擦学方面的书籍和德国规范,它不仅对德国工业界,而且对全世界也作出了贡献。这里拥有很多优秀的研究人员,但是关于研究成果只举得出国际研究小组(IRG)方面的项目。

Spengler 等人从事有关合成润滑剂润滑的研究,查明了聚苯基醚型合成润滑油具有优越的高温性能^[3]。Wellinger 等人经过1956~1968年的长期研究,搞清了材料的摩擦学性能^[4]。

(5) 德意志民主共和国 东柏林有德意志科学院物理化学研究所,它建立于1956年,Thiessen 教授直到最近还任所长要职。他开拓了新的摩擦化学领域,其成果已概括在《摩擦化学原理》一书中。该书是 K. Meyer 和 G. Heinicke 合著的,由以下几个项目组成。

(a) 摩擦机械过程的物理化学研究(Thiessen):机械化学是包括技术方面和生物学方面的过程在内的广义术语,摩擦化学是与摩擦物理相对应的。引用稀糊等离子体模型,把机械冲击贮存在微小的体积内,那里必须考虑亚微观等离子体范围。在这种不平衡的“冲击等离子体”中,热力学已经不能适用了。只是在等离子体四周的壁上还可能用,因而提出等效温度的概念来说明在微小空间内随着温度而发生的变化。

(b) 摩擦机械过程中的能量激励状态(Meyer):使钢的微粒冲向结晶表面,而把螺型位错问题与温度效应区别开来进行研究。

(c) 摩擦化学过程的物理化学研究(Heinicke):用八十来个实例研究摩擦机械过程中的化学反应,追查了摩擦、润滑和磨损中的反应作为与此有关的反应。关于这些反应的详细情况,作者在以前曾作了介绍^[5]。

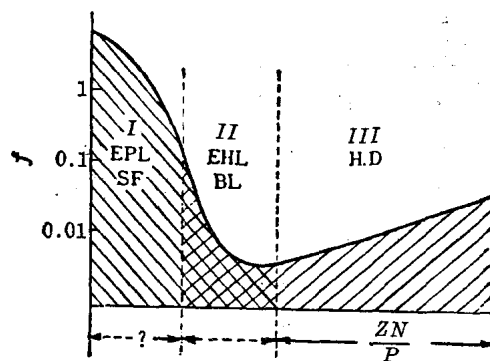
1969年在东柏林召开的“磨碎中的化学反应”讨论会上,Rehbinder, Derjaguin, Tabor, Salomon 都参加了会议,并进行了热烈的讨论。

(6) 荷兰 现任 IRG 主席的 Salomon 站在领导的立场上指出,荷兰在摩擦学方面的损失每年是 9000 万日元(英国大约是 350 亿日元),他认为这是由于润滑和润滑剂不充分所致。关于研究成果,在 IRG 一项中介绍。

此外,在法国,法国石油公司(IFP)和 Courtel 教授在进行研究;在南斯拉夫,以 Solaja 教授为中心进行研究。

(7) 欧洲经济合作发展组织关于工程材料磨损的国际研究小组(OECD IRG) 它的成立要追溯到1962年,1969年起隶属于 OECD,它的第一次会议于1970年4月在 Delft 举行。日本摩擦学研究会的磨损研究部门与 IRG 有联系。

一开始致力于出版一本摩擦学术语和定义汇编,该书已于1969年发行,但与国际标准化组织(ISO)的用词还有分歧,直到现在还在继续致力于这项工作。自从隶属于 OECD 以后,一开始由 Johnson 博士(美国 NASA)任主席,1974年起,改由 G.Salomon 博士任主席。



I-极压润滑与固体摩擦(滑动材料表面的性状)
II-弹性流体动力润滑(EHL)与边界润滑
III-流体润滑

图 1-1 Stribeck 曲线和研究领域

IRG 的研究观点是, 只有“怎样把材料的磨损和寿命的研究反映到工业界”的研究尚未完成。例如, 即使用实验室规模的摩擦试验机, 也以“怎样才能模拟实际机械”作为共同的课题而进行研究。

下面想介绍一下到现在为止获得的研究成果和正在继续进行的项目。

A. 滚动轴承钢的寿命

D. Scott(现任 Wear 主编) 以主席的身份领导七个研究机构共同进行了研究。其成果已发表在 ASLE Trans. 和 Wear 杂志上。

使用了下面两种不同处理方法的材料:

- (1) 酸性平炉钢;
- (2) 碱性电炉钢。

(1) 的寿命比(2)的寿命长 1~2 倍, (1) 中的含硫量很重要, 而钢中的硫化锰和硫化铁非常有利。这里也考虑了气蚀和滚动弯曲疲劳的结果。

关于钢球寿命的共同研究, 目前还在继续进行中。在 1973 年的 IRG 会议上, Scott 发表了以下的研究经过: 把同样材料和同样表面光洁度的钢球委托 20 个研究所, 用同一种润滑油进行 B₂₀ 和 B₅₀ 的寿命研究, 结果表明, 任何一个研究所所得出的结果都是材料(1)比材料(2)好得多。

B. 薄膜润滑条件下的润滑膜破坏界限

有关 IRG 的另一项课题是“润滑膜破坏界限”, 这项课题是从 1971 年起持续进行的。不同的研究机构分别用不同的摩擦试验机, 化了很大的代价和力量作磨损—运转时间关系曲线。实验必须具备如下的必要条件:

- (1) 用同样的钢材 EN 31(52100), 并经过同样的热处理;
- (2) 用同一种润滑油(参考油): (a)SAE 10(石蜡基), (b)SAE 60(环烷基), (c)和(d)同一制造厂制造的二酯合成油(双乙己基癸烷二羧酸酯和双异壬基癸烷二羧酸酯);
- (3) 经过同样的运转时间, 而且材料经过同样的表面加工。载荷、速度、油温的界限, 即使试验设备不同, 也要分别决定。

试验设备可用四球摩擦试验机(FBM)和销-环摩擦试验机(PRM), 前者是以 Ozichos(BAM)为主进行研究的, 后者是以 Begelinger(TNO)为主进行研究的。

对于“怎样使这些实验模拟实际问题”, 可重新选择条件。这是与油膜破坏界限和弹性流体润滑区内大幅度变化有关的问题。

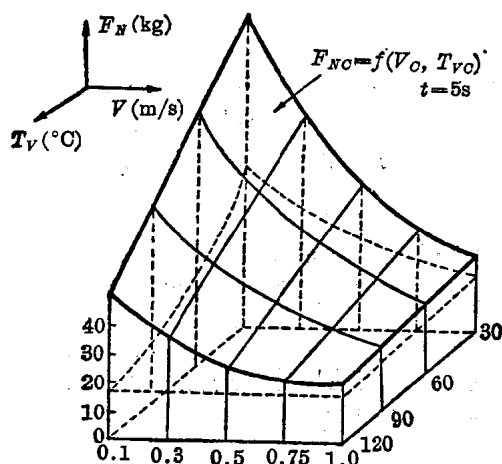
解决这些问题的一个条件是, 要注意(a)油膜破坏温度、(b)表面损伤和(c)咬粘临界载荷。

四球试验机试验: 根据 Ozichos 的试验进行实验。在 5 秒钟时间内改变滑动速度、温度和载荷, 而用三维图表示发生表面损伤的界限, 如图 1.2 所示。

刮伤温度的计算是不固定的, 而用临界输入能一词表示润滑界限。

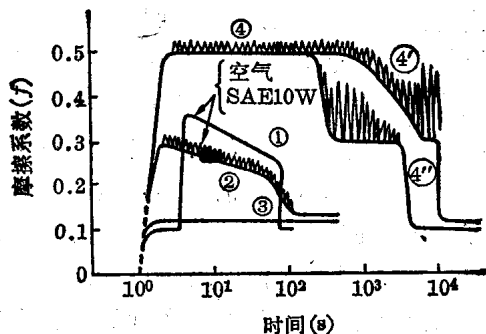
销-环试验机试验: 即使接触部位的状态不同, 如果取同一个时间标尺进行试验, 也能指望产生同样的摩擦现象。图 1.3 中考虑到这一点而把这些结果与四环摩擦试验机(FMB)的试验结果作了比较。

图 1.2 上用三维图表示法向载荷 F_N (kg)、滑动速度 V (m/s)、油温 T_T (°C)之间的关系, 即



钢为 105 Cr2, 润滑油为矿物油 460 cP/100° F

图 1.2 粘度对油膜破坏的影响



① FBM, 在 5 秒内把 F_N 从 0 增加到 500 N, ② PRM, $F_N=500$ N, ③ PRM, $F_N=400$ N, ④ PRM, Ar+0.1% O₂, ④' 药用白油, ④'' SAE10W

图 1.3 四球摩擦试验机(FBM)与销-环摩擦试验机(PRM)的比较

$$F_{NC} = f(V_C, T_{VC})_*$$

下标 C 表示各自的临界值。图 1.2 所示的表面上方表示超过油膜破坏的临界值。在该图中, 也能置换 T_V 而计算 T_S (表面温度)。此外, 以上式的 $F_N \times V$ 作为衡量机械输入能的尺度。

图 1.3 中, 取时间对数为横轴, 取摩擦系数 f 为纵轴, 把 FBM 和 PRM 作了比较。

FBM 的曲线 ① 是在 5 秒内使 F_N 从 0 增加到 500 N 的实验结果, 而 PRM 的曲线 ② 是在 0.2 秒内使 F_N 增加到 500 N 的实验结果。这里表示一开始为明显的粘附磨损, 但可以看出曲线 ② 与曲线 ① 十分相似。也就是可以认为, 即使试验设备不同, 如果取同一个时间标尺, 也具有同样的摩擦特性。同时在 PRM 中, 如果设 $F_N=400$ N, 就得曲线 ③, 在受到污染的氩气 (Ar+0.1% O₂) 中, 就呈现完全不同的特性, 如曲线 ④ 所示。这些实验结果可考虑如下。

在 PRM 的曲线 ② 上所看到的明显粘附磨损时期, 将出现表面疲劳现象, 在发生明显的磨损后不久, 就形成表面保护膜 (氧化膜) 而达到一个稳定状态。与氩气中的实验 (曲线 ④) 相比显而易见, 在供给氧气后才能达到磨损少的稳定状态。用 SAE10W (环烷基芳族化合物) 作为润滑油的情况与药用白油 (环烷基) 的情况 (曲线 ④') 相比, f 迅速降低, 这与金属表面是否容易氧化有关, 可见, 形成氧化膜的难易对摩擦特性有很大的影响。很明显, 形成金属氧化物的问题也与有机硫化物极压添加剂的作用机理相关联^[10]。

图 1.3 只是把 FBM 和 PRM 的实验结果作了比较, 其结果是引人兴趣的, 不仅是方便, 而且还可以按时间标尺在理论上正确地说明这些关系。

至今还散乱着的许多数据, 即使在图 1.3 的摩擦过程型式上有些差别, 也是能取得一致的。

作者的数据^[11] 也与此相符, 因而支持了 OECD IRG 的数据^[12]。控制摩擦和磨损的化学过程大多具有可测定的活化能, 即使说化学反应决定着如下事项, 也不过分。

这就是: (1) 开始违反 Amontons 定律和初期的润滑油膜开始发生破坏; (2) 高摩擦状态

下运转时间的长短; (3) 开始向边界摩擦的稳定状态转化(第二转化)。也就是说, 只要大气中有氧气, 就可以把磨损看作是化学反应过程。从上述情况可知, OECD IRG 是怎样研究在具有润滑油的条件下的摩擦和磨损问题的。“怎样才能模拟实际的润滑条件”是一个重要问题。从以前的实验也可知道, 即使是同属于烃油, 作为空气中氧的载体的难易以及油是否容易氧化, 对金属表面的化学反应也具有直接影响, 对其它问题也作了很多研究^[13]。在我们的学会活动中, 也有同样的观点, 这也许是必然的。

如上所述, IRG 的活动不仅是研究活动, 还出版了润滑用语辞典, 并计划对它作进一步修订, 以便在国际上统一用语。它的主编是 G. W. Rowe 教授, 其方针是以 Tribos index 为依据, 预定补充词汇而用包括日语在内的六国语言出版。

如上所述, IRG 把结合实际的问题作为科研项目, 脚踏实地地持续进行研究活动, 不仅从理论上完成研究, 而且与材料生产技术人员和润滑技术人员保持密切联系而进行研究, 这种科研态度是令人敬佩的。

1.1.3 生物摩擦学或生物工程

近年来, 作为生物工程的人体股关节或其它有关关节的摩擦学研究已蓬勃展开。特别是在西德和英国, 由于与医生进行协作, 已取得了显著的进展。对于有关置换关节的相互滑动材料, 要求具有如下的机械性能。

- (1) 在滑动条件下具有很好的耐磨性, 而能维持长寿命;
- (2) 具有很低的摩擦系数, 而能使所需的运动力达到最小;
- (3) 能承受相当大的压缩力, 而不致发生低温流动和点蚀;
- (4) 与骨的弹性模量相同, 即在本质上具有很低的弹性模量。

目前, 置换总关节的材料是 20 年前就已采用的 AISI 316 L 不锈钢, 置换金属部分的材料是钴铬钼合金, 作为高分子材料的高密度聚乙烯(HDPE)是唯一可靠的材料。

为了满足上述要求, 不仅材料性能很重要, 表面状态也很重要。一般认为, 经过长年累月后会发生磨粒磨损和疲劳磨损。

M. Ungethüm 博士(西德慕尼黑大学)设计了股关节模拟机, 能逼真地模拟非匀速运动, 能用试验机再现一般的步行、跑步、跳跃、登阶梯等一切动作。材料用 Al_2O_3 , 可得到良好的效果。

进行材料研究时, 往往使用销-圆盘式摩擦试验机。Dowson 教授(英国里兹大学)等人用三销-圆盘式试验机对高密度聚乙烯进行了研究, Walker 等人(美国特种外科医院)指出, 超高分子量聚乙烯(UHMWPE)是卓越的材料, 再加碳纤维后能得到进一步强化。

可以指望今后研制成功更好的材料和设计出更好的模拟机。

1.1.4 摩擦学系统的地位

系统的组成, 自古以来就在我们人类活动中出现并存留下来了。但是, 也可以说一般系统理论(GST)和工程系统分析(ESA)最近才开始。这就是运筹学(OR)和生命科学与物理学的合成, 还有宇宙技术的发展等等。

G. Salomon 把一般系统理论用于摩擦学, 而以“在 Boulding 的系统分类中应抓在何处?”作为重要的课题来进行研究, 根据其地位来探讨应该怎样发展摩擦学。

(1) 系统的分类体系 Boulding^[14] 按照如下的方法表明系统的分类体系。这就是:

- ① 系统能根据不同等级的复杂性进行分类;

- ② 适用于低级系统的一切规律也适用于高级系统;
- ③ 等级越高,未知因素就越多,而未发现的规律就越发增加。

表 1.1 根据 Boulding 的系统分类

等 级	系统的型式	根据 Boulding 的名称	一 般 实 例	摩擦学中的实例
IV	开式动态系统	活细胞	火焰型式 摩擦学系统	摩擦磨损过程 非直接摩擦
III	控制论系统	恒温器	控制任意的平衡状态	Amonton 定律
II	闭式动态系统	钟表机构	机械学	工程系统分析中的摩擦
I	闭式静态系统	框架结构	制作地球的地图 植物的循环系统 结晶型式	磨损型式

等级 V: 植物, VI: 动物, VII: 人类, VIII: 人类社会, IX: 宗教和哲学

表 1.1 表示 Boulding 的系统分类。

在表 1.1 中列出了等级 I~IV。对于等级 V 以上,简单地记在表下。此表中,复杂性按 I~IV~IX 的顺序递增。

表 1.1 中的等级 I 为闭式静态系统,在最简单的情况下,它不是依赖于时间的状态变量。随着等级的提高,复杂性逐渐增加。在等级 IV 的开式动态系统中,和环境发生相互作用。在四个等级中,有最复杂的等级。这里不但有周围介质,而且还含有许多参数。属于很多工程学的学识和技术可以列在等级 I~II(III)中。

现在来谈一谈轮胎和道路的摩擦问题。作为与此有关的环境,必须考虑汽车驾驶员+道路交通状态+气象。由于其中包括了驾驶员的心理方面问题,所以与高等级具有相互作用。我们可以自由选择环境和系统的边界位置,但是,如取太多的变量,将使问题的解决越发困难。

(2) 摩擦学系统 由表 1.1 也可知道,摩擦学系统是很复杂的。如图 1.4 所示,一定的输入进入摩擦学系统,经过摩擦学系统而成为输出。整理了输入方面的变量并选择了数学模型后,就有可能计算初始状态。一般认为,关于这些问题,具备工程系统分析的知识是很重要的。

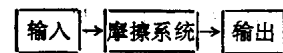


图 1.4 摩擦学系统

对技术人员来说,重要的是要知道不同的轴承材料的耐磨性顺序,还要知道润滑油的质量顺序,但仅知道这些是不够的。现在进行轴承设计时,必须把这许多数据积累起来。

自从 Dowson 提出弹性流体动力润滑(EHL)理论以来,已进行了很多研究,在其理论成果中有值得注意的成就。但遗憾的是,目前这个理论还没有直接用于轴承设计。随着今后数据的积累,这个问题也许能用于实际。轴承中油膜内的温度分布和摩擦化学也许会对它起一定的作用。

那是因为在应力水平不同的摩擦面上化学反应不同的缘故。例如,只要是在弹性范围内,取决于添加剂种类的反应性就随着应力水平的不同而不同^[5]。

如 Salomon 所说,现在把青年技术人员所熟悉的系统语言翻译成关于材料摩擦学性能的信息是很有用的,也许会愈来愈需要。据 Planck 说:“新的理论和它的发展是在老教授们去世后才被社会所接受。”这是值得深思的。

1.1.5 摩擦学与日本

日本自从成立润滑学会以来,到1975年已经是20周年了。尽管摩擦学对日本工业界的贡献很大很广,但会员人数很少,而且增长率也很低。

这是因为工业界对摩擦学的经济意义认识不足,而且过去学会的科研课题对工业界的贡献不够,这是一个原因。如上所述,OECD IRG对于材料的磨损是以怎样模拟实际情况作为重要课题。关于这一点,是应该深思的。幸而在最近二十多年来,日本的摩擦学研究成果有显著的发展,虽然论文的数量比先进国家少,但这些论文的内容达到国际水平的日益增多。

日本的工业正在不断地迅速发展,这几年来正在全力制定解决环境保护问题的方法,这时却遭遇了石油危机,这使日本工业界受到很大的震动。必须把节能和节约资源的问题与环境保护问题联系起来,同时必须作更大的努力去解决这些问题。这是为了国民和全人类的生存所必须做的事。

目前在日本,所谓节能的问题只局限于节约石油能这方面。摩擦学家应该大力宣传有效地利用摩擦学系统中的能量,并努力使之反映到社会上和国家政策上。怎样把图1.4中的输入有效地转换成输出的问题,首先需要有一个摩擦学系统。

在摩擦学系统中,摩擦系数的大小是直接衡量动力消耗的尺度,系统中摩擦部分的磨损关系到系统的可靠性。怎样减少功率损耗,使磨损达到最小限度和如何提高摩擦学系统的可靠性,是摩擦学家的重要任务,也是摩擦学家应负的责任。

遗憾的是,这样的事往往得不到重视,而常常被看作是普通工程的一个领域。

正如我们人类对空气和水的恩惠不太重视那样,对摩擦学系统的问题也常常同样看待。但是,随着研究的积累,这个问题定能受到更深更广的恩惠。

随着今后的研究和发展,可更多地节约能量,而且能提高系统的可靠性,这里就无需重复了。

1.1.6 摩擦学与未来

在回顾摩擦学研究和摩擦学技术的历史时,往往对其进展缓慢的历程产生疑问。

这一点也是国际性科学技术的特征。这是因为,摩擦学是各有关领域的科学水平提高之后才发展起来的。目前,各领域的研究人员正在通力协作和用各种高水平的研究手段进行摩擦学研究而不断获得显著的进步。例如,用①低速电子衍射法(LEED)、②俄歇电子能谱(AES)、③场电子发射显微镜(FEM)和场离子显微镜(FIM)、④X射线显微分析仪(EPMA)、⑤化学分析用电子能谱学(ESCA)等等作为研究表面的手段来观察表面而获得了很多信息。

图1.5表示与摩擦学密切相关的学科领域。

图1.1中Stribeck曲线的区域III主要是机械工程学,区域II和I与机械工程学、材料科学、物理学和化学密切相关。为了发展摩擦学,各领域间的通力协作和交流情报是很重要的。此外,为了有效地开展摩擦学研究,

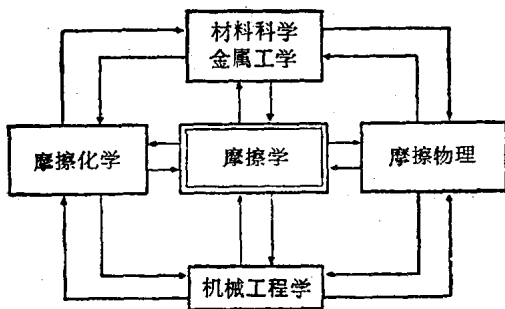


图1.5 与摩擦学相关的学科领域

还必须把工程系统分析和材料研究结合起来。希望摩擦学这门科学技术日益发展而为提高人类的福利作出更大的贡献。

1.2 欧洲的摩擦学

首先谈一下摩擦学在欧洲的重要性。根据在英国政府的资助下所作的调查可知,由于改善了润滑管理,每年大约能节约经费5亿英镑,对国民生产总值来说,这占了很高的比率。即使根据其它的一样调查也可证实,这种经费是不能忽视的。为了节约这笔经费,完全可以不进行特别投资而通过妥善地维护和管理现有的设备来达到。

如果工业水平大致相同,则那里所发生的问题就很快传播出去,而且技术革新成绩显著的工业界,也很快获得情报。其结果往往是某国所掌握的新技术知识比别国发展得快,例如,美国和苏联在工业上有很大差距,但在宇宙工程方面的技术却大致相同。现考虑上述情况而就摩擦学问题谈一谈(1)学会活动、(2)教育活动和(3)研究和发展这三方面。

1.2.1 学会活动

首先,作为一个基本问题来讨论一下是否应该成立摩擦学的专门学会。很明显,如果现有的学会包括不了摩擦学的内容,则必然会出现其它学会。英国机械工程师学会(IME)就曾碰到过这个问题,因为对润滑寄予很大的关心,所以在1937年召开了“润滑问题的一般讨论会”,这就跨出了摩擦学历史的第一步。当时英国机械工程师学会(IME)组织了独立团体,取名为“Lubrication”,后来成为“Lubrication and Wear”。直到最近,才把润滑、磨损、摩擦三者之间的相互关系定名为“TRIBOLOGY”。第二次世界大战前,IME有3~4个小组,分别处理内燃机、蒸气发电和教育。战后,这类学组有所增加,现在有14个学组,其中一个就是摩擦学学组。而且特别委员会还讨论了包括出版刊物在内的全面规划。

这样,尽管摩擦学学组取得了显著的进展,但其对象仍局限于IME的会员,关心润滑问题的人们,即冶金、化学、物理、石油等方面的技术人员,如果不是IME的会员,就不能参加会议。因此,利用改为“TRIBOLOGY”的机会,修改了IME的内部规定,从而使其它学会中的合格会员,只要是关心摩擦学的人都能参加摩擦学的活动。同时,对爱好摩擦学而无资历的人也收少量的费用而让他参加学组活动,还让他领取出版的刊物。

摩擦学在英国润滑方面处于主导地位,但在其它学会中也成立了研究摩擦学的专门小组,而在该领域内起很大的作用。例如,英国流体力学研究会(BHRA)很早就对密封问题进行了研究而起主导作用,今后还将继续进行研究。而且IME即使取得了一般的主导地位,也在特定的领域内与其它学会进行协作。

与英国的这类活动相对照,西德和美国也成立了专门学会。在西德,尽管矿物油和煤炭化学学会(DGMK)有一个部门研究摩擦学,还是成立了润滑技术学会(GTS)。例如,DGMK在1969年的会议上提出了48篇论文,但关于摩擦学的论文连一篇也未通过。为弥补上述不足,DGMK在其内部成立了关于“润滑剂及其应用”的专门小组,与GTS和其它团体通力协作而进行研究。这个共同组织的第一项工作就是在组织上准备进行关于西德的摩擦学教育。

在法国,石油学会长期处于主导地位。而在意大利、丹麦、挪威、瑞典等国,也有小型摩擦学学组。此外在美国,ASTM在摩擦学领域内起着主导作用,但最近成立了另一个团体

ASLE。今后,这两个团体必须通力协作而举行联合会、讨论会等会议。

1.2.2 教育活动

遗憾的是,摩擦学至今还不是公认的机械技术人员资格考试的必修课,而是选修课。但是在英国,目前已有十多所大学把摩擦学作为理工方面的必修基础课程。还有不少大学把它作为大学课程中的选修课。关于英国的实际情况,可参看1970年4月在Leeds大学召开的“Teaching Tribology”会议的报告集。

特别是积极地进行工作的德意志民主共和国,有七所工业大学每周进行2小时的摩擦学教育,还有些大学设置润滑工程的学位课程。他们的政府很早就认识到摩擦学的重要性,1964年下令规定,超过一定规模的工厂要负责雇佣一定数量的摩擦学方面的专业人员。

很多欧洲国家和美国在大学和研究生院里设有选修课,如有兴趣,还能上短期课程。这种课程的时间从一天到二周不等,内容从概论到专门技术不等。例如有静压轴承、轴承的设计和选择、金属加工中的润滑和路面对滑动的影响等等。

再来谈德意志民主共和国的情况,长期从事润滑技术的人员有资格接受函授教育,如果在最后考试中合格,则授予润滑工程师称号。此外,对预备工和半熟练工也开设短期课程。现以某大工厂的课程为例列举如下:

润滑基础理论 3小时

润滑剂 12小时

润滑技术(滑动轴承的润滑、滚动轴承的润滑、润滑剂使用方法) 6小时

润滑剂补充和使用方法(现场的润滑剂试验、润滑剂的贮藏、润滑规划、废油处理)7小时

切削油 2小时

防止操作中的事故 1小时

在美国,ASLE在每年一次的年会期间成功地开出了三天一期的基础课和各门专业课。专业课主要讲授最近的研究和发展项目,为了使这两种课程都能持久进行,每年更换其内容。

至于整个工业界的教育,石油公司很早就起了很大作用。主要是以讲演、课程、文献等形式进行教育,特别是在文献方面,有很高的水平和美观的插图等,因而获得了好评。而且很多发展中国家的石油公司是提供这方面高深专门知识的唯一来源。

应该把机械设计人员和机械制造人员作为重要的教育对象。一般认为,如果把上述轴承设计之类的课程扩大到这些人员,则对他们的工作将有所帮助。其它的方法同帝国化学工业公司在本公司中所用的方法一样,要求机械新产品的设计书中应用优良的摩擦学设计。

1.2.3 研究和发展

关于润滑和摩擦学的科学技术,是在实践和理论的发展中发展起来的。就早期铁道方面的润滑来说,实际发生的问题对研究人员也是很有价值的。把基本原理应用于实践而对其经验进行解释,这将对以后的研究和发展作出更大的贡献。

英国大约有20所大学在进行摩擦学研究。欧洲各国和美国也具有同样的比例。这些研究大多是在政府和企业的资助下进行的,但是研究课题必须在2年左右的时间内完成,因此研究人员即使所作的努力超过其它学科,也很难取得学位。这就感到对摩擦学研究有所限制。但是,这对有效地进行研究不一定起阻碍作用。例如,剑桥大学的Bowden和Tabor

教授一派的研究就是。

现在,在较大的机构内由专家组成的一个科研组在进行着很多研究,英国历史上著名的研究所有皇家飞机研究所(Royal Aircraft Establishment),最近这个研究所进行了关于超强化碳纤维的重要研制,以此作为自润滑轴承用材料。此外,政府机关的国家工程实验室(National Engineering Laboratory)也以摩擦学作为它的研究课题之一。英国政府在三年前还设立了三个专门研究摩擦学的研究所,为工业界进行技术商谈、解答问题、试验、设计等项目。这些研究所位于西南部的 Swansea、西北部的 Risley 和东北部的 Leeds, Swansea 研究所处理钢铁方面的摩擦学问题, Risley 研究所与附近的原子能机构合作而处理高温和原子能反应方面的摩擦学问题, Leeds 研究所处理轴承和密封问题,这些研究所都已专门化了。

目前在其它国家,似乎还未成立同类型的摩擦学研究机构。美国有一种独立的研究所,如 Battelle, Franklin, S/W Research 等,英国打算筹建比它规模更小的研究所。西德还想把从事摩擦学研究的三个研究所合并起来。这些研究所一旦合并后,将成为实力非常强的研究所。

大型汽轮机制造厂长期来一直对摩擦学作出了贡献,图 1·6 表示其研究的一例。图 1·6 表示点蚀形式,可以看出,船用汽轮机中斜齿轮表面的点蚀发生在节线以下。

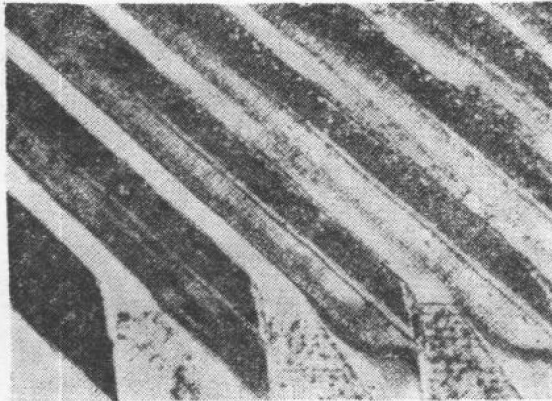


图 1·6 齿轮的点蚀

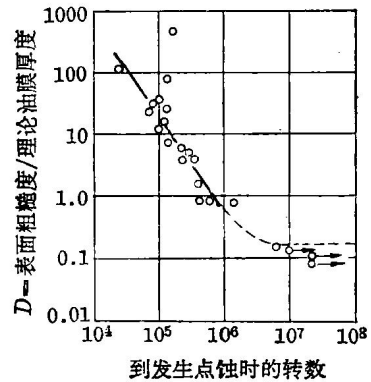


图 1·7 表面粗糙度对疲劳点蚀的影响

图 1·7 为联合电气工程公司 (Associated Electro-Engineering Industries) 所说明的齿面粗糙度对用弹性流体力学算得的理论油膜厚度之比值与点蚀的关系曲线。这一研究实例是体现摩擦学国际性的典型例子。油膜厚度的理论最初是苏联于 1950 年前后进行研究的,后来英国从 1960 年到 1964 年通过实验作了验证。接着美国又把它应用于实践,后来这些研究成果全部由日本公开发表。

图 1·8 同样表示该公司的研究成果,这是所谓纤维丝型破坏的实例。在主轴材料含铬量较多时容易发生,据称,由于发生这种破坏,英国火力发电业每年损失 75 万英镑。

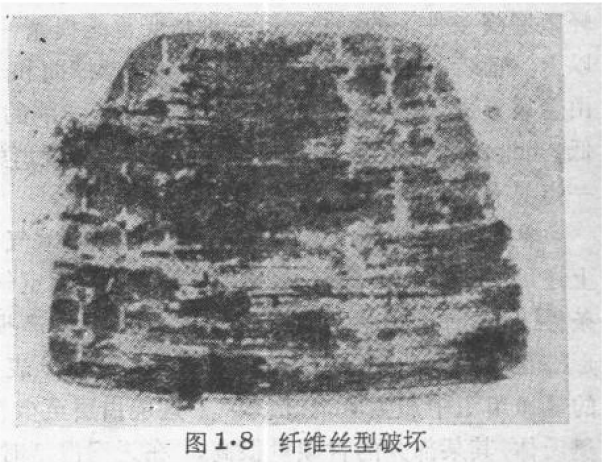


图 1·8 纤维丝型破坏