

磨损控制手册

(美) M. B. 彼得森

W. O. 怀纳

主编



机械工业出版社

磨损控制手册

〔美〕 M. B. 彼得森 主编
W. O. 怀纳

汪一麟 主译

机械工业出版社

061084

(京) 新登字 054 号

内 容 简 介

本书由美国机械工程师学会润滑委员会润滑研究委员会组织编写。本书汇集了为预测和控制磨损所需要的各种资料。内容包括磨损的机理与鉴别、抗磨材料选择与抗磨工艺、控制磨损的设计、预测磨损的磨损系数、各种零部件的磨损等。涉及专业广泛、资料丰富，是一部有价值的工具书。

本书可供工程技术人员使用和供科研人员参考。

Wear Control Handbook

Edited by M. B. Peterson and W. O. Winer

* * *

磨 损 控 制 手 册

[美] M. B. 彼得森 主编
W. O. 怀纳
汪一麟 主译

*

责任编辑：郑 铨 丁文华 版式设计：霍永明
封面设计：郭景云 责任校对：肖新民
责任印制：路 琳

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码：100037

(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 787×1092¹/₁₆·印张 55·插页 2·字数 1360 千字

1994年4月北京第1版·1994年4月北京第1次印刷

印数 001—950·定价：76.00元

*

ISBN 7-111-03569-0/TH·417

译 者 的 话

本手册由美国机械工程师学会 (ASME) 润滑研究委员会 (RCL) 组织编写。美国机械工程师学会将出版该手册作为学会成立一百周年的研究项目。手册是为机械设计和设备维修工程师编写的, 书中汇集了为预测和控制磨损所需的各种资料, 内容包括磨损的机理与鉴别、抗磨材料选择与抗磨工艺、控制磨损的设计、预测磨损的磨损系数、各种零部件的磨损等。涉及专业广泛, 资料、数据丰富, 不失为一部有价值的工具书。

原书的附录包括经济合作和发展组织 (OECD) 编订的《摩擦学名词术语》, 共651条, 并附有8种文字对照和索引; 《关于摩擦和磨损的工程标准》; 《国际单位 (SI) 制单位与摩擦学中常用单位的换算》。本译本中只节译了《摩擦学名词术语》, 标以中英文对照, 以汉字笔划为序排列, 便于查阅。

我们希望本书的翻译出版将能对提高我国的摩擦磨损与润滑学的技术水平, 对在机械设计与设备维护方面普及磨损控制知识, 将能有所裨益。

参加本书翻译的有: 朱安仁(一、二、三、十五、十六、十七章)、张永清(四~九章)、郑铨(十~十四章)、骆宏(十八、二十一章)、余康临(十九、二十、二十八章)、颜思健(二十三章)、徐浣玲(二十四章)、汪子祥(二十五、二十六章)、吴柏青(二十七、二十九、三十章)、王亦民(三十一章)、邵本述(三十二章)、邵智智(三十三章)、汪一麟(其余章节)。全书由汪一麟统稿和总校, 由吴柏青和郑铨处理出版中需译者处理的问题。

本书篇幅大, 涉及知识面广, 参与译者较多, 虽然译者多为摩擦学方面的教授、专家、学者, 但译文中难免存在不妥之处, 恳望读者指正。

译 者

1987年5月

原 序

本手册是美国机械工程师学会 (ASME) 润滑研究委员会 (RCL) 所拟定并执行的一个项目的成果。

润滑研究委员会是 ASME 最早成立的常设研究委员会。它在1980年十一月举行了它的64周年纪念仪式。该委员会的职责是:

(1) 提出、推动、支持和协调 ASME 所主办的润滑研究项目。

(2) 阐明并传播这方面能实际应用的研究成果。

研究委员会的委员是在委员会的推荐下由 ASME 的会长任命的。

润滑研究委员会已成功地制定了好几项重大的联合主办的研究规划。这些规划包括在1953年完成的著名压力-粘度规划^[1]和在1969年出版的全世界边界润滑文献评论^[2]。在1970年, 润滑研究委员会制定了一项关于接触疲劳中化学效应的研究规划。这项规划的成果已发表在1975年十月于佛罗里达州的迈阿密召开的 ASME-ASLE 润滑会议的专题讨论会上^[3]。后来在1977年二月, 润滑研究委员会召开了一次专题讨论会, 作为一个针对通过摩擦学保存能量而制订研究和开发计划的项目一部分。这项研究是根据 ASME 与海军研究办事处签订的合同进行的, 其经费来自能量研究和开发管理处 (现在的能源部)。这项研究的报告已于1977年出版^[4]。

在1975年, 磨损控制手册的构思首次提交给润滑研究委员会, 当时该委员会的主席是 D. F. 海斯 (Hays)。润滑研究委员会批准了这个项目, 条件是手册必须以设计工程师在预测和控制磨损时能便于使用的形式收集和发表资料。为了管理这个项目, 挑选了一个顾问委员会来提建议和从企业与政府募集经费。资助的形式是财力支持或章节编写。第一笔捐款是于1976年4月收到的。

在1977年6月, 在主席塞奇·格拉奇 (Serge Gratch) 领导下的 ASME 研究理事会应政策委员会的要求, 拨款50000美元给磨损控制手册项目, 并将该项目定为 ASME 一百周年研究项目, 而手册以在1980年 ASME 一百周年期间出版作为目标。学会的这种支持大大地促进了努力工作, 并使企业界的资助者相信该项目确实是有生命力的。来自我们同事的这种支持也鼓励了从事这项工作的人员。

作为该项目的一项起始工作, 在马里兰州盖瑟斯伯格的国家标准局研究所进行了磨损方面的文献评介。对所引用的总共约66000篇参考文献作了评论, 而将其中36000篇有用的参考文献按照48个主题进行了分类, 其中19个主题符合于所提出的本手册章名。这些参考文献传给了有关的作者, 而由主编为润滑研究委员会合订成一部永久性文件。

各章的作者是由主编选定而由顾问委员会批准的。各章的内容是各作者在主编和委员会所制定的方针下负责编写的。

本手册是第一次试图收集能用于机器设计和维护的磨损数据。在某种程度上, 这个目标已经达到; 但是还需要继续努力以期完全达到目标。某些资料是现有的文献中所没有的, 必须加以说明。最值得指出的是, 磨损机理必须较清楚地查明, 而使它们存在的场合必须摘

清。附加的磨损系数必须通过明确的实验室试验按照对机器设计具有重要意义材料-润滑剂组合来测定。更重要的是,磨损系数应该根据各个零件的现场使用情况来确定。有了这些数据,就可以可靠地预测磨损。在许多方面,手册的内容远比原先提出的内容多,而令人遗憾的是,原先提出的某些主题因种种原因而未列入。

因有助于这项工作而值得感谢的人员名单的确很长,而要完全罗列他们所作的所有努力是永远不能成功的。特别要对润滑研究委员会的委员、手册顾问委员会、项目的经济资助者、各章作者和参与人的支持和帮助表示感谢。

马歇尔 B.彼得森
沃德 O.怀纳
利普戴

1980年

参 考 文 献

- [1] *ASME Pressure-Viscosity Report*, Vols. I and II, 1953.
- [2] *Boundary Lubrication: An Appraisal of the World Literature*, Ling, F. F., Klaus, E. E., and Fein, R. S., (Eds.) ASME, 1969.
- [3] "Chemical Effects of Lubrication in Contact Fatigue,"
 "Part I: The Test Program, Data and Metallurgical Observations," Howes, M. A. H., Battacharya, S., Slok, F. C., and Harikh, N. M.
 "Part II: The Statistical Analysis, Summary and Conclusions," Battacharya, S., Bock, F. C., Howes, M. A. H., and Parikh, N. M.
 "Part III: Load-Life Exponent, Life Scatter and Overall Analysis," Littmann, W. E., Kelley, B. W., Anderson, W. J., Fein, R. S., Klaus, E. E., Sibley, L. B., and Winer, W. O.
- [4] *Transactions of ASME, Journal of Lubrication Technology*, Vol. 98F, No. 2, 1976, pp. 286-318. *Strategy of Energy Conservation through Tribology*, Pinkus, O., and Wilcock, D. F., ASME, 1977.

目 录

第一篇 绪论	1	第十七章 控制磨损的过滤措施	375
第一章 磨损控制概述	3	第五篇 零部件的磨损	427
第二章 磨损过程的分类	9	第十八章 轴套	429
第三章 磨损问题的系统分析	14	第十九章 有润滑活塞环与汽缸筒的磨损	447
第二篇 磨损基本原理	29	第二十章 无润滑活塞环	490
第四章 磨损理论与磨损机理	31	第二十一章 滚动轴承	514
第五章 油膜厚度、接触应力和表面温度	65	第二十二章 密封的磨损	536
第六章 有润滑的磨损	110	第二十三章 齿轮的磨损	557
第七章 气蚀和液体冲蚀	125	第二十四章 齿轮联轴器	614
第八章 液体和固体颗粒冲蚀	177	第二十五章 制动器材料的磨损	622
第九章 磨损机理的鉴别	217	第二十六章 岩石钻孔工具	633
第三篇 材料	241	第二十七章 切削工具的磨损	656
第十章 耐磨材料	243	第二十八章 工具材料	686
第十一章 耐磨钢铁材料的冶金学	253	第二十九章 耕作工具的磨损	729
第十二章 耐磨镀层与耐磨处理	265	第三十章 链条的磨损	738
第十三章 硬面层材料的磨损系数	281	第三十一章 选矿机械中的磨损	746
第十四章 摩擦学用的新镀层工艺	289	第三十二章 电刷的磨损	777
第四篇 磨损设计	309	第三十三章 冲击磨损的分析与应用	811
第十五章 有效控制磨损的设计依据	311	第六篇 附录	841
第十六章 金属的磨损系数	351	摩擦学名词术语	843

第一篇 绪 论

第一章 磨损控制概述(M. B. 彼得森)

第二章 磨损过程的分类(M. B. 彼得森)

第三章 磨损问题的系统分析(H. 契柯斯)

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHILIP H. KATZ

PROFESSOR OF POLITICAL SCIENCE

AND

第一章 磨损控制概述

磨损可定义为无用的材料脱落，是一门人人皆知且有体验的课题。它对国民经济和大多数人的生活方式具有强烈影响。尽管如此，人们对这一课题尚未开展大量的科学研究，也未制定出任何一种普遍适用的磨损控制方法。本手册试图收集技术文献中的资料，加以应用，以改变这种状况。同时，还试图建立能有效控制磨损的基本体制，以指导今后的研究、开发和数据积累。为此，必须对磨损作适当的透视、进行磨损分类和搞清有关的基本过程。这些不同的目标已在各章的编排上反映出来。前面几章介绍编排方式、分类、研究方法和理论。后面几章介绍个别零件的磨损，从而将“学到的知识”以某种方式投入实际应用。因此，本手册旨在介绍磨损控制技术的概貌。

磨损透视

图1表示一种简便的“磨损”透视方法。磨损，或出现在制成品中，或出现在自然现象中。

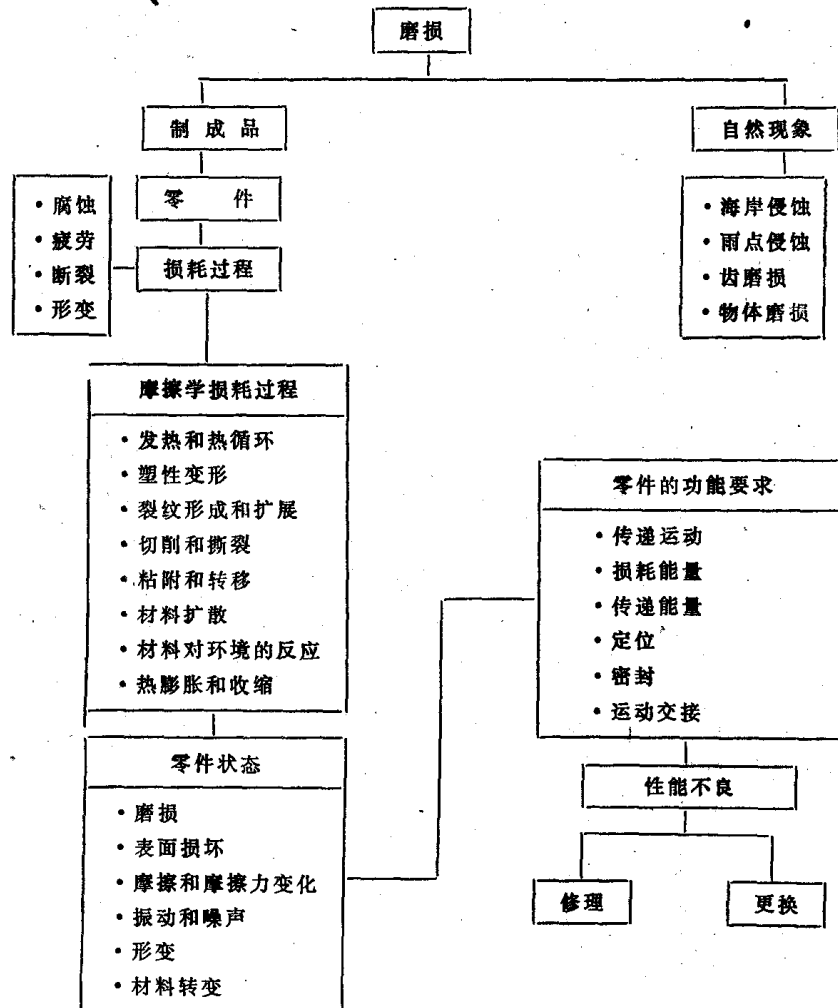


图1 磨损透视

本手册主要讨论制成品中的磨损而不是自然现象中的磨损。

制成品是由具有一定功能要求（如密封和定位）的零件所组成。工作时，这些零件经受各种各样的损耗过程，最终导致性能不良。这样一种损耗过程可称为“摩擦学过程”，它与两接触表面间的运动效应有关。如图1所示，这种运动会使界面上出现各种各样的损耗过程。这些过程会产生阻碍零件完成其功能的各种各样状态。当它们起阻碍作用时，一般认为性能不良，而零件需要更换或修理。

被定义为材料脱落的磨损就是这样一种状态。它可以由各种各样的过程所引起，而且可以根据所研究的不同零件及其不同的功能要求而产生不同的效果。从理论观点看，需要知道损耗过程如何引起磨损。从实用观点看，磨损对零件性能的影响是重要的研究领域。

磨 损 后 果

通常认为，磨损是使用的必然结果，即一般认为，某种程度的磨损是正常的，无需设法改善这种状况。在某些应用场合，这种论断可能是正确的，但在另一些应用场合，经济损失可能很大。下面来讨论磨损的一些后果。

磨损耗费

从国家的观点看，磨损所造成的经济上耗费非常大。在美国国会技术鉴定管理处最近主持的一次专题会议^[1]上，通报了各类设备由磨损造成的耗费。例如（按1975年美元计）：海军飞机每飞行一小时耗费243.87美元，海军飞机的轮胎每年耗费1853200美元，海军军舰每航行一小时耗费38.92美元，切削刀具磨损每年耗费9亿美元。据估计，汽车的维修费用每年为400亿美元，其中大部分可归因于磨损。据美国麻省理工学院拉比诺维茨（Rabinowicz）教授估计，全美的磨损耗费总共为1000亿美元。据美国国家标准局最近的报告^[2]估计，由腐蚀造成的耗费为700亿美元，而由磨损造成的耗费为200亿美元。据彼得森（Peterson）^[2]估计，以战斗机和军舰为例，磨损每年的耗费约为燃料耗费的三分之二。上列数字表明，磨损的耗费很大，国家应该致力于减少耗费。

但是，上列数字对个体用户或设计人员在制定磨损控制方法时没有什么意义。从单个零件看，磨损的耗费最少可达到零件更换费，最多可达到设备租赁费。如果可停用设备而不付费给物主，就用零件更换费，而租赁费就是短期更换费或维修费。当然，在很多情况下，磨损的耗费可能随着磨损后果的恶化而增多。若磨损造成设备损失，就必须估计总的耗费。

这些耗费是由磨损造成的直接耗费，还要考虑间接耗费，例如生产损失、产品赔偿、不能完成某种重要任务或者备件维护费。备件维护费包括必须随时等待出问题所花的人工费和零件库存费。零件库存费很高，今后将日益得到重视。大多数公司要其各部门每年支付库存品总值10%到20%的利息。这将随着投资费的增加而增加。这笔费用只是投资费，必须加上保养、登记和更换库存品的劳工费。

材料利用率

材料与能源面临着同样的问题，即减少国家资源和依赖于进口。某些最重要的金属主要用于控制磨损（铬、钴、钨），最近发表的美国国会报告^[3]指出，研制改良的非金属耐蚀和耐磨涂层能大大节约金属。

磨损会缩短产品的寿命。这些产品所用的材料大多数不能靠再循环而得到恢复，因而精炼金属和制造产品所消耗的能量是不能回收的。由于材料和能源日益短缺，因此更加需要延

长产品的寿命和提高耐磨性。

磨损是一种失效原因

磨损不仅是一种失效形式，而且也是一种引起二次失效的主要原因。磨损零件导致振动和疲劳加剧，产生冲击载荷和不同心，这一切都加大了设备失效的可能性。此外，磨屑会造成其他零件发生咬粘或剥落破坏。

即使未发生破坏，磨损也会造成性能变坏。在内燃机中，能量损失是由磨损和漏气引起的。泵和压缩机的效率随着抽吸件和密封发生磨损而降低。这种效率降低很可能是主要的磨损耗费。

要解决的磨损问题

工程技术人员在设计和操作机械设备时，会碰到许多与磨损有关的问题。这些问题列于表1。

表1 磨损问题

选择耐磨材料	评定外购产品的质量
搞清润滑剂作用	估计维护和检修要求
预测零件寿命和设计折衷方案	解决试验和使用中所出现的磨损问题
确定磨损极限和磨损后果	

虽然这些问题都含有某种关于磨损预测的环节，但它们都是在产品“使用”周期中不同时期出现的相当独特的问题。

选择材料

在设计过程的早期，必须确定磨损问题的严重程度，并选择具有足够耐磨性的材料。当然，要综合考虑耐磨性与材料所需的其他一切性能（强度、耐蚀性、匹配热膨胀、尺寸稳定性、可焊性、可切削性、经济性等）和相应失效形式（疲劳、腐蚀、断裂、蠕变、咬粘等）的重要性。作这样的综合考虑时，必须具有各种各样标准材料的磨损性能。有了这种资料和其他性能方面的数据，就可“折衷选择”合适的材料。对于某几类磨损，在一个标准试验设备得到通用时通常具有这样的数据。没有这样的资料时，可考虑材料在类似应用场合（已知磨损类型相同或条件相似时）的用途而导出材料顺序表。对于某几类磨损，也可根据基本的机械性能（例如，对于磨粒磨损为硬度，对于腐蚀磨损为耐蚀性，对于疲劳磨损为抗疲劳性）导出材料顺序表。

搞清润滑剂作用

在设计中，润滑剂起下列几种作用：降低摩擦、冷却、形成流体膜而把两表面隔开和减少磨损。选择润滑剂时，要综合考虑这些作用，并搞清如温度、周围环境和润滑剂供应系统等工况。设计人员通常不能改进润滑剂，但必须选择能符合其特定目的的最佳润滑剂。他必须搞清润滑剂的变化对磨损的影响。不论在购买时（种类、粘度或添加剂成分）或在设计时，最重要的是他能在某种程度上控制那些变化。润滑剂配制人员需要与那些在一组已知条件下产生最小磨损的分子形式相关的更详细资料，更重要的是，在组成一种工业用润滑剂时各种分子形式相互间如何起作用。润滑剂供应厂应向设计人员和用户提供磨损特性和润滑剂的极限

条件。

预测零件寿命和拟定设计折衷方案

对于任何已知的磨损状况规定合适的材料和润滑剂只是磨损控制过程中的第一步。这样就能选择最好或最佳的材料，但没有说明可以达到的磨损寿命。如果规定了材料的磨损率并提供了一种方法使这些磨损率与使用条件相适应，就可作寿命估算。这种方法的实际优点是，可拟定设计折衷方案以改变零件寿命。然后，设计人员可自行根据设计或产品成本用除材料外的参数来优化磨损。这些参数包括：

1. 需要润滑的程度；
2. 需要过滤的程度；
3. 需要密封以防污染的程度；
4. 零件的尺寸、形状和结构；
5. 安装系统的刚性；
6. 零件的压力和温度。

为了应用这种方法，必须根据这些可调整的设计参数求得材料或零件的磨损率。这些数据最好根据使用中的磨损数据求得。

确定零件的磨损后果

设计人员必须知道某零件在必须更换前可能达到的磨损量。由于制造厂必须建议设备的更换时间和检修时间，所以它必定能确定每个零件的磨损率，而且还能确定何时发生足够大的磨损以致该零件不能再用。这个极限可以考虑如转子-定子间隙或不稳定振动所容许的安装误差极限等直接尺寸来确定。它也可以考虑如齿轮磨损引起的噪声等间接尺寸或根据横截面因磨损而大大缩小时发生的折断来确定。泄漏是用于密封和环的另一个主要磨损极限。在某些情况下，磨损极限可根据操作不当来确定。例如，连杆在具有一定的磨损量后可能发生弯曲。当然，某零件所能容许的磨损量与应用场合有关。同一个轴承在两种不同的应用场合容许有不同的磨损量。显然，对于每个零件，需要估计或能够估计这样的数据，更重要的是要讨论如何通过改变设计方案来改变这些极限。

评定外购产品的质量

产品采购人员常常要评定能完成相同功能的不同设计方案。例如，一种设计方案可用滚动轴承，而另一种设计方案可用滑动轴承。采购人员必须回答的一个问题是，哪一种方案最能满足其特定应用场合的使用要求和寿命要求。原设计人员已根据一组可能不同的条件（或综合考虑各种条件）选择了设计方案。最重要的是，用户必须知道对磨损影响最大的使用条件。这些条件是：污染程度（灰尘、水、盐水、润滑油变质产物、其他腐蚀剂和磨屑）；可提供的维护程度（更换润滑剂、更换零件、对准、清洗、锁紧等）和运转严重程度（温度、载荷、负荷循环）。除了这些因素外，所需的数据与设计人员所需要的数据相同。

估计维护和检修要求

与上述问题密切相关的另一个问题是制定零件维护和更换要求。这时必须知道磨损极限，而临界状态下的磨损极限通常是由制造厂提供的。此外，必须采取一些措施来确定现有的磨损程度。最简单的方法是拆卸设备和测量磨损。这不一定能办到，而且通常是一个很花钱的过程。在许多应用场合（例如制动器），能安装磨损测量仪来连续测量尺寸变化。常用的是间接测量法，例如油分析、铁谱术或测量如压力、温度、运动或噪声等工作参数的变

化。不能用直接或间接测量法时，必须用某种预测法来估计尺寸变化。其中最简便和最常用的一种方法是测量工作小时。这就需要由零件制造厂或设备使用者所积累的使用数据。没有这样的数据时，可用较复杂的磨损预测法。这种方法能否奏效，取决于使用中所能估计的各参数影响磨损的程度。

使用中常出现的一个问题是要确定在具有某些规定的条件时特殊维护的要求。例如，轴承在暴露于盐水环境中，后是否要更换或还要加以检查？如果燃料中含有水份，阀的磨损是否会加剧？如果用户不愿意更换特定发动机中的润滑油，磨损损失如何？超过设计载荷后运转的影响如何？这些问题和其他一些问题都是天天遇到的非常重要的维护问题。这里提出的基本问题涉及到环境和工况对磨损率的影响。

因此，为维护起见，工程技术人员需要知道所研究的特定零件的磨损极限。此外，他还需要知道：

1. 磨损的直接和间接测量方法；
2. 一种可靠的零件磨损预测方法；
3. 环境参数和工作参数对磨损的影响。

有效控制磨损的方法

为了控制磨损，能用两种通用方法。

1. 第一种方法是通常根据过去的经验选择最耐磨的材料，并做成可以更换的零件。提供足够的备用零件以及一种合适的供应和维护制度，以保证达到所需的任何程度的性能和使用连续性。需要改进时，可改变材料直到获得最佳特性为止。

2. 第二种方法是充分了解一台设备的使用条件和工作参数，以便可用现有的磨损技术来选择材料和改进设计，从而达到所需的性能水平。

第一种方法显然是许多工业部门目前实际采用的方法。这种方法无选择余地，但需加以改进，因为远在磨损方面无任何资料可供使用之前，就需要建造设备。因此，磨损控制已成为一个逐步改进的过程，需要时引入新技术以满足新的使用要求和条件。既然这种解决磨损问题的“材料”方法过去曾相当见效，那就要问现在是否有任何理由去设法改成一种更具有“预测性”的方法。在过去二十年间，在磨损方面已发表了许多新资料。D. R. 斯特塞(Stacer)为《磨损控制手册》撰写的一篇文献综述指出，全部磨损文献的75%是在1965年以后发表的。这篇文献可作为改变抗磨损方法的基础。当然，目前还没有足够的资料可以100%“预测”和控制磨损（也许永远不能），然而，现在已有足够的资料建立一种更合理的磨损控制方法。执行这种方法所需的资料包括：

1. 根据相对磨损率得出的适合于各类磨损的材料顺序表；
2. 适合于各种润滑剂的磨损率数值，其中包括粘度和添加剂成分的影响；
3. 润滑剂量变化、滤清程度、密封效果、几何形状、刚度、压力和温度对磨损的影响；
4. 各种零件的磨损极限和影响磨损极限的因素；
5. 磨损的直接或间接测量方法；
6. 一种可靠的在事前或事后预测磨损的方法；
7. 确定磨损类型或表面损伤原因的表面和微粒分析方法；
8. 关于零件在不同环境和工况下磨损率的知识。

上列资料载于本手册各章中。然而，在收集这些资料时，显然存在着许多空白。有希望的是，人们即将作出更大的努力以取得另外的数据。最需要的数据是从实验室试验中和工况明确的使用中得到的，适合于不同材料-润滑剂组合的材料和零件磨损率。

参 考 文 献

- [1] Devine, M. J., "Proceedings of a Workshop on Wear Control to Achieve Product Durability," Washington, D.C., 23 Feb. 1976, Office of Technology Assessment, U.S. Congress.
- [2] Bennett, L. H., "Economics Effects of Metallic Corrosion in the United States," a Report to Congress, National Bureau of Standards, March 1978.
- [3] Peterson, M. B., "Technical Options for Conservation of Metals. Case Studies of Selected Metals and Products," Congress of the United States, Office of Technology Assessment. Washington, D.C., 1978.

第二章 磨损过程的分类

概 述

在磨损控制方面最常见的错误是，不认识磨损具有许多不同形式而各种形式必须分别加以考虑。对一种磨损形式来说是良好的设计方案或材料，对另一种磨损形式来说就可能是不良的设计方案或材料。搞清磨损过程要从适当进行分类开始。一般来说，磨损已用各种各样的名称来命名（表1），对于不同的人来说，其意义往往不同。实质上，它们是指一种可以定义的具体过程。例如，金属-金属磨损是由于一种金属相对于另一种金属滑动（通常在无润滑状态下）而产生的磨损。对于冶金学家，尤其是从事选矿工作的人，特别重要的是按高应力磨粒磨损、低应力磨粒磨损和碰撞进行分类。高应力磨粒磨损是指某微粒在两运动表面间压碎时产生的磨损过程。若该微粒没有破碎而仅仅擦伤或磨掉配对表面，则产生低应力磨粒磨损或擦伤。碰撞是指在捣碎过程（例如挖掘岩石）中产生的磨损。

表1 磨损过程

粘附磨损	金属-金属磨损
腐蚀磨损	微动磨损
二体磨粒磨损	气蚀
三体磨粒磨损	流体侵蚀
疲劳磨损	固体侵蚀
冲击磨损	电侵蚀
低应力磨粒磨损	撞击
变应力磨粒磨损	微粒侵蚀
碰撞	侵蚀腐蚀
拉丝	雨滴侵蚀
剥层	变形

表1中的名称各表示一个不同的过程，因而是该特定过程（通常在具体应用场合）的独立研究结果。此外，还有很大的重叠，某些不同的名称表示相同的过程。这里不打算定义这些名词（见本手册附录1），而想充分考虑是否能提出某种搞清磨损过程的通用方法。

既然磨损是两接触物体作相对运动的结果，就应该首先查问何种物体和何种运动最常产生磨损。

按相对运动进行磨损分类

一种可能的通用分类法将磨损分成单相磨损和多相磨损两大类。这种分类法是由密执安大学哈密特（Hammit）教授最先提出的。图1表示有关的物体和运动。箭头表示导致材料从磨损表面上脱落的固体、液体或气体（或多相磨损中的固体、液体或气体微粒）的运动方向。

在单相磨损中，相对于滑动表面运动的固件、液体或气体导致材料脱离磨损表面。相对运动可以是滑动、往复运动、滚动或冲击。固件-固体相互作用表示具有光滑表面的法向分

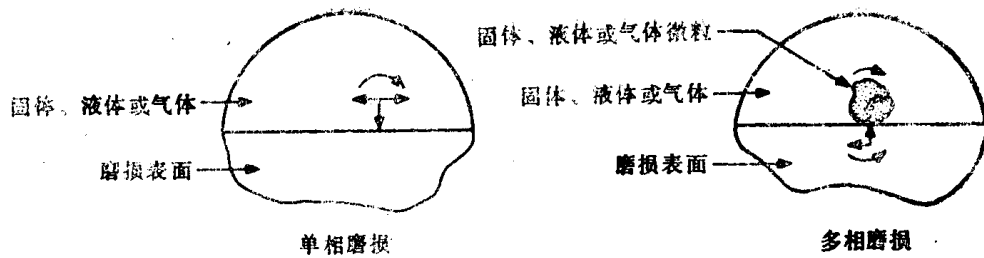


图1 磨损接触体的型式

磨损。(光滑表面是指不存在由表面微凸体的犁沟作用引起的磨粒磨损,这可视为多相磨损)。固体-液体和固体-气体相互作用表示流体或气体侵蚀(曾用过其他各种名称,如撞击、拉丝、侵蚀、腐蚀等)。这时,重要的运动是表面上的流动或者冲击。

多相磨损还包括流过磨损表面的固体、液体或气体;然而这时,它充当实际上产生磨损的第二相(微粒、微凸体、液滴、气泡)的载体。载体和磨粒可视为与充当环境的载体一起运动。对于多相磨损,需要加以区别(在某些情况下)微粒在运动(滚动、滑动、冲击),还是磨损表面在运动(滚动、滑动、冲击)。

最重要的损坏情况见表2。该表中以对角线表示磨损表面,而以黑点表示微粒。运动方向则以箭头表示。载体列于表中各行,而微粒列于表中各列。可见有十二种不同的接触体型式,各具有不同的运动型式,总共有26种基本的磨损过程。其中一些非常相似,例如冲向表

表2 磨损过程

载体 ↓	单相磨损	多相磨损					
		固体微粒		液体微粒		气体微粒、蒸气微粒	
		磨损表面在运动	载体和微粒在运动	磨损表面在运动	载体和微粒在运动	磨损表面在运动	载体和微粒在运动
固体	1	4	5	10	11	16	17
液体	2	6	7	12	13	18	19
气体	3	8	9	14	15	20	21