

摩擦学研究的发展概况与趋势

薛群基 党鸿辛

(中国科学院兰州化学物理研究所固体润滑开放研究实验室, 兰州 730000)

摘 要 本文简要地综述了近年来摩擦学研究(包括摩擦与磨损的机理、润滑力学、材料与润滑剂、表面技术与工程和摩擦学设计等方面)取得的进展,并就摩擦学研究各领域的发展趋势作了预测。作者特别强调在今后的摩擦学研究中应当注意下述几个方向:摩擦学研究已从传统的力学向材料科学与技术转移;适合于高温应用的或具有低摩擦长寿命的摩擦学材料和润滑剂;磁记录和微型机械的微观摩擦学及纳米级材料摩擦学;摩擦学设计和摩擦学知识的转移。

关键词 摩擦学研究, 润滑力学, 材料与润滑剂, 表面技术与工程, 摩擦学设计

1. 前 言

摩擦学是科学和工程学中最重要的领域之一,因为它既具有提高产品的可靠性、延长其使用寿命及节约材料和能源的意义,又是当今最活跃的交叉科学领域之一。它涉及流体力学、固体力学、化学、物理、材料科学、数学和机械工程等学科,其所研究的对象复杂,要求多学科配合进行。摩擦学研究的多样性,加上它对工业的重要性,迫使我们要注意其发展概况和趋势,以便因势利导使摩擦学研究在经济建设中发挥更大的作用。

从 1966 年英国的调查报告发表以来,许多国家对有效利用摩擦学知识可能带来的经济效益进行了再调查,多数结果表明可占国民经济总产值的 1.1—1.8%。摩擦学领域的投资与可能取得的效益之比约为 1:30 到 1:76,平均为 1:50。也就是说,如果一次性投入 100 万元,则 2 年之后每年平均就可节约 5000 万元^[1]。

为保证摩擦学研究继续朝着正确的和富有成效的方向发展,笔者于 1991 年 11 月应邀赴日本讲学和参加日本润滑学会固体润滑分会恳谈会期间,与日本摩擦学界进行了摩擦学研究发展趋势的讨论;1991 年 11 月底固体润滑开放研究实验室学术委员会及《摩擦学学报》编委会在兰州召开期间,来自全国的各种专业的摩擦学专家又对这个问题进行了讨论。本文是以这些讨论为基础,并参阅了英、美等国摩擦学专家的有关论述加以整理而成,谨分发展概况

1992-08-11 收到初稿, 1992-11-04 收到修改稿。本文通讯联系人薛群基。

和趋势两部分予以阐述。希望能引起摩擦学界的注意,使摩擦学研究获得更多更大的效益。

2. 摩擦学研究的发展概况

近年来,摩擦学研究在世界范围内得到了很大的发展,几乎所有的工业化国家都有摩擦学的专业杂志、独立的学会和研究所;在各国提供研究基金的机构中摩擦学均已得到承认和资助;不少国家已制定了摩擦学发展规划;在学术性学会中与摩擦学研究有关的人员数目在不断增加;许多工业部门已经认识到摩擦学的重要性;世界各国在摩擦学方面的交流也得到了加强。

20多年来,在摩擦学研究方面已经取得了许多重要的科技成果^[1,2]:

A. 原理与基础方面

- a. 对低压润滑,加深了流体动静压轴承的空穴现象及其对轴承中润滑剂的流量和高速重载下转子稳定性影响的了解;
- b. 对高压润滑及在光滑面上线点和接触时的牛顿流体和非牛顿流体的弹流润滑也加深了认识;
- c. 应用多重网格法将实际表面粗糙形貌作为计算时的输入数据,提高了对粗糙表面润滑的理解;
- d. 考虑表面形貌特征,能更好地预测用不同加工方法制得的润滑表面粗糙峰的行为;
- e. 对弹流润滑接触条件下的摩擦和附着与润滑剂分子结构的关系的理解取得了明显的进展;
- f. 用来测定润滑剂极限剪应力和剪应变的高压流变仪的开发;
- g. 由于加深了微弹流的了解,对流体润滑和边界润滑之间的混合润滑状态已可作出估计;
- h. 单晶材料的内聚力与附着力的研究取得了进展;
- i. 加深了对磨损机理的理解,尤其在表面断裂方面;
- j. 对表面接触的理解取得了进步;
- k. 发现了电子转移对固体润滑表面的影响;
- l. 通过粘着和摩擦中化学作用的研究,得出了高真空(10^{-7} Pa)中Ta、W、Nb、Ti等过渡金属粘着现象的规律;
- m. 加深了表面形貌对磨损率和润滑效果影响的认识;
- n. 提高了对滑动润滑失效机理的理解;
- o. 闪发温度的预计和测定方法的开发;
- p. 根据原子间作用力分析摩擦力的起源;
- q. 纳米级摩擦学的发展,包括对极薄(10^{-8} m)的润滑膜和同样厚度的边界膜的研究;
- r. 加深了对磁性存储器中极薄空气膜流体动力润滑机理的认识;
- s. 提高了对接触温度与本体温度关系的认识。

B. 润滑剂和润滑方面

- a. 弄清了润滑剂中混入粒子对弹流接触表面磨损速度和耐磨寿命的影响,计算含粒子润滑剂所产生的剪切力可预测润滑表面的耐磨寿命;

b. 弹流润滑和材料技术(净化钢)的研究,使滚动轴承的疲劳寿命大幅度延长(达25年),凸轮和齿轮也有了同样的进步;

c. 弄清了聚合物基复合材料的性能与结构对润滑性的影响,以及环境因素的影响,如PTFE在有水时难以发挥作用;

d. 开发了合成烃,如聚 α -烯烃(PAO),适用于汽车、飞机及其它工业部门;

e. 抗磨添加剂的组成和相互作用,以及温度的分解效应的研究取得了进展;

f. 开发了既适用于烃类,又适用于水系润滑剂的异极添加剂;

g. 发展了金属-有机系润滑化合物;

h. 稀土金属化合物摩擦学性能的研究已取得添加 LaF_3 能使粘结干膜的耐磨寿命提高2—4倍和使润滑脂的承载能力提高10—100%的结果;

i. 加深了润滑剂和大气环境在切削和磨削过程中的作用的了解。

C. 材料与表面处理方面

a. 耐磨表面涂层技术的开发,特别是减摩、耐磨的物理气相沉积(PVD)、化学气相沉积(CVD)及离子注入技术的开发;

b. 开发了切削刀具用的极薄的TiN、TiAlN、TiBN及其它涂层的涂膜方法,广泛应用于从机械制造的金属切削工具到土木工程用挖掘机前铲齿的大量机械中,使生产效率大大提高;

c. 开发了高温下摩擦学应用的强韧性整体陶瓷;

d. 开发了固体润滑填充聚合物及聚合物-金属复合材料;

e. 发展了人造卫星摩擦部件空间真空用干膜润滑剂(铅膜和 MoS_2 膜)的涂膜工艺,制成了在真空中极长寿命的铅膜润滑球轴承(典型的达到 10^9 转);

f. 类金刚石膜涂膜技术的开发;

g. 自润滑轴承材质的改良,使其在高速高负荷条件下的运转成为可能;

h. 激光表面改性和溅射技术;

i. 为降低摩擦,开发了Pb-Sn-Cu三组元涂层;

j. 发展了CBN和硅胶磨料。

D. 设计和运转方面

a. 开发了电磁式磁悬轴承,不仅用于宇宙飞船、工业泵和马达,而且用于涡轮发电机(直径1m)和高速研磨机;

b. 空气轴承的开发;

c. 发展了永磁磁悬轴承;

d. 铁粉流体动力密封和轴承的开发;

e. 核反应堆摩擦学的发展;

f. 医疗工程中股关节、膝关节及心脏瓣膜的摩擦学研究和摩擦学材料的应用;

g. 在小型非氟利昂(non-CFC)冷冻机中摩擦学知识的优选应用;

h. 对滚动轴承进行了显著的改进,使其在高 DN 值下的运转成为可能;

i. 用“磨损图”进行材料磨损分类取得了进展;

j. 对制动材料的改良,使飞机和汽车制动系统的制动性能和使用寿命都得到了提高。

以上所列并不是摩擦学研究取得的全部科研成果,尤其是一些针对性很强的研究成果,由于各国的竞争机制和商业上的保护主义,大都是严格保密的。但从上列各项成果大致可以看

出20多年来摩擦学研究的发展概况。

Jost^[1,2]还认为,20多年来摩擦学在研究重点和研究投资两方面都有了明显的转变。在研究重点方面是从润滑与润滑系统向材料科学与技术(包括表面工程)的研究转变,这种转变在高度发达的工业化国家尤其显著。在研究投资方面的转变则是指在摩擦学创立初期,政府部门认识到控制摩擦、降低磨损在经济和技术上的重要性,为鼓励摩擦学专家的工作而投资进行摩擦学研究。这种研究的针对性不强,研究成果要摩擦学界对企业界进行宣传介绍,使之能够采用。最近,宇宙开发、核辐射环境和高温发动机等高技术对高聚物、陶瓷、合金等摩擦学材料提出了新的要求,使一些摩擦学专家进行了某些针对性很强的研究,而且是有关企业进行投资要求摩擦学专家进行的研究。尽管这些领域还不够宽,但对摩擦学界来说,已开始从“卖方”市场转变为“买方”市场^[1]。

总之,这些年来摩擦学的概念在全世界不仅已逐步得到学术界、产业界及政府有关部门的承认,而且摩擦学学科本身也取得了许多成果。有的企业已充分认识到摩擦学所能带来的经济、技术和环境保护的利益,已开始注意进行摩擦学的设计,或主动要求进行针对性很强的研究。尽管摩擦学研究已取得了很大的进展,但其在应用方面的进展不快,效益也不够理想,在机械设计中真正进行摩擦学设计的更少,研究成果转化为生产力也远没有达到应有的水平。关键可能在于摩擦学的教育远没有普及,许多企业对摩擦学的作用认识不够,再加上摩擦学的研究课题并非都是企业所急需的。本文的目的之一就是通过讨论摩擦学研究的发展趋势,使未来的摩擦学研究朝着更适合于实际需要和更富有成效的方向发展。

3. 摩擦学研究的发展趋势

对未来的预测是困难的,尤其是对摩擦学这样的跨多门学科的边缘学科更是如此。幸好,Jost最近已发表了这方面的预测资料^[1,2]。他列出了以下几个方面的未来摩擦学的重要研究课题:

A. 摩擦学材料和润滑剂方面

- a. 可用于500—700℃、摩擦系数为0.001—0.0001且能形成流体动压润滑或弹流润滑的液体润滑剂的研制;
- b. 在高辐射条件下能长期可靠运转的润滑剂或润滑材料;
- c. 突破现有的温度和压力(包括真空)适用范围的润滑剂的研制;
- d. 发展与生物相适应的润滑剂;
- e. 符合环保要求和操作要求的热锻工艺用润滑剂的开发;
- f. 适用于热轧和冷轧轧钢机轧辊润滑的润滑剂的开发,以提高控制摩擦的程度;
- g. 发展令人满意的陶瓷用润滑剂;
- h. 研制摩擦学特性良好且无腐蚀的全氟聚烷基醚(PFPE)及其它合成润滑剂;
- i. 发展自润滑聚合物;
- j. 为减少维修甚至可不维修的齿轮、轴承、密封和传动机构等主要摩擦学零部件开发高强度的材料;
- k. 发展复合材料,特别是具有优异热稳定性、高导热导电性及高强度的复合材料;
- l. 先进的聚合物基复合材料的开发;

- m. 在液氮、液氧和液氢这样的极端操作条件下可使用的气体和液相润滑剂的开发;
- n. 大大延长耐磨寿命的摩擦材料的研制。

B. 表面处理方面

- a. 发展改善摩擦学特性的新的表面处理方法;
- b. 开发以更好地了解摩擦化学和弹流界面特性为依据的摩擦化学技术;
- c. 进一步发展激光表面改性和离子注入技术, PVD、CVD 和离子镀技术, 以及极薄层表面改性工艺;
- d. 发展高耐磨涂层和固体润滑涂层, 尤其是用于无液体润滑的操作条件下滑动和滚动部件的涂层;

C. 摩擦学系统方面

- a. 进一步发展用于悬浮和极低摩擦下操作的磁和电磁支承系统;
- b. 发展切削和加工成型摩擦学, 包括卡咬摩擦学 (Seizure tribology), 以提高材料切削和加工成型的效率, 并获得加工表面合适的应力状态, 例如有压应力而不是拉应力;
- c. 研究和发展能识别摩擦变形和破坏的摩擦学原因的系统, 并建立合适的摩擦磨损模型;
- d. 发展和建立用以预告和优化摩擦副材料设计的定量公式、设计准则和设计方法;
- e. 摩擦化学系统, 象低磨损或零磨损的“选择性转移”那样的自我修复系统的开发;
- f. 开发改进的密封系统, 特别是用于化工和生物化工设备的密封系统;
- g. 发展可适应机械电子学和纳米技术高速发展需要的摩擦学系统;
- h. 改善摩擦学监控系统, 特别是在线监控, 包括计算机控制的监控系统和尖峰效率监控;
- i. 摩擦副状态监控技术的开发;
- j. 发展声诊断和电子诊断的方法和设备;
- k. 开发用液化固体的润滑系统。

D. 更广泛的任务

开发为提高摩擦学水平和科学交叉性的基础研究和应用研究, 以保证获得先进的和有新远景的技术, 要特别注意以下几个方面的课题:

- a. 更加重视摩擦学系统的环境适应性, 包括摩擦学材料的再生利用;
- b. 对边界润滑进一步研究, 弄清被普遍接受的边界润滑的定义;
- c. 更广泛地开发空气轴承和磁悬轴承技术;
- d. 进一步研究电子摩擦学, 包括对计算机信息存储的磁盘、磁带录像机 (VCR) 的磁头与磁带的摩擦磨损研究, 以适应下一代电子设备的需要。

美国国家科学基金会 (NSF) 为确定未来摩擦学研究的方向, 曾经召开了一次专题讨论会, 邀请国际公认的摩擦学专家 (表 1) 进行讨论。为了向摩擦学界宣传有关信息, 3 个月后美国机械工程师学会 (ASME) 和美国润滑工程师学会 (ASLE) 又联合举行了一次摩擦学会议 (1986 年 10 月 20—22 日), 邀请有关科学家和工程师提供对摩擦学研究的要求及其工业前景。以这两次会议上所作的报告和进行的讨论为基础, 美国国家科学基金会摩擦学规划局的 Jahanmir 博士综合提出了以下的几个课题领域: 摩擦的本质、磨损的机理和过程、润滑化学、摩擦学过程的模拟、摩擦系统的模拟、摩擦材料和润滑剂、新型实验技术和诊断技术, 以及试验中

表 1 应邀到会的摩擦学专家

Table 1 Tribological experts were presented by invitation

D. H. Buckley	T. E. Fischer	H. Okabe	N. P. Suh
H. S. Cheng	M. Godet	C. H. T. Pan	A. Z. Szeri
H. Czichos	S. M. Hsu	M. B. Peterson	D. Tabor
D. Dowson	E. E. Klaus	D. A. Rigney	W. O. Winer
N. S. Eiss	K. C. Ludema	A. W. Ruff	

的重要问题,并列出了69个重要课题。在所讨论的这些研究课题中,强调4个特殊领域是需要立即注意的:(1)摩擦磨损和破坏的预报模型;(2)润滑的微观和化学观点;(3)微观层次上磨损的机理和预防;(4)高温应用的材料和润滑剂。到会者表达了一种观点,即非常需要把基础研究成果传递到工业用户的手中⁽³⁾。

鉴于上述情况,笔者认为当前摩擦学研究的发展趋势主要是:

A. 研究重点有从流体动力润滑转向材料科学与技术(含表面工程)的趋势

这就是前面已经提到过的两个明显转变之一。Heshmat 和 Pinkus 在讨论摩擦学研究的未来方向时曾用图 1 形象地表示了这种趋势⁽⁴⁾。他们对这种发展趋势是很担心的,因为还有以下的流体动力润滑问题尚待研究:(1)混合润滑问题;(2)流变流体的研究;(3)流体薄膜中负绝对压力的问题;(4)动态条件下的空穴作用;(5)二相流润滑问题;(6)热问题,包括温度和油槽中的三维润滑流动的混合问题;(7)表面粗糙度的影响;(8)金属加工润滑问题;(9)生物摩擦学问题。他们最后还声明:“没有意思说把重点放在固体润滑、陶瓷和涂层等上

是错误的,只不过是说平衡被严重地破坏了。”

B. 强调高温用的自润滑材料和润滑剂

在未来的技术发展中需要更高的效率。为此,已提出能适应更高温度的润滑材料和润滑剂的需求,迫切要求发展新一代耐高温抗磨材料、先进的陶瓷和相适应的润滑材料,以及新型耐高温润滑剂^(3,5,6)。可能的应用对象包括低热损失的内燃机、高温喷气发动机、涡轮增压器、航天飞机的方向舵轴承和控制装置表面摩擦密封、火箭燃气轮机叶片与壳体的密封、燃气配气阀、热锻工艺和热轧轧钢机轧辊轴承等。

C. 强调以磁记录为中心的微观摩擦学

磁记录包括录音录像的磁带系统以及计算机中的磁盘系统。据 Lemke 称⁽⁷⁾:

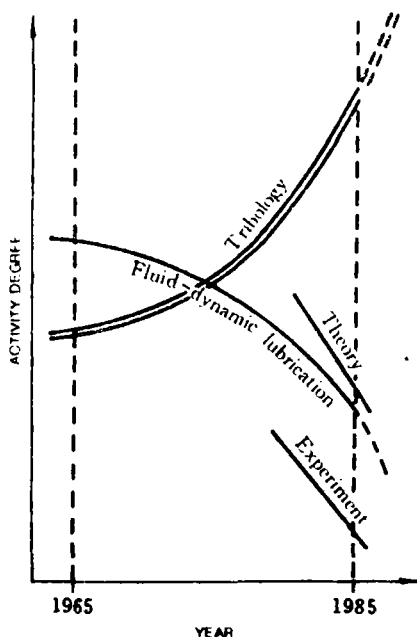


Fig. 1 The tendency of tribological study

图 1 摩擦学研究的趋势

“在目前磁记录的信息存储密度方面,更大的进展将来自其摩擦学问题更好的解决,而不是来自任何推荐的先进磁介质或交换器。”要提高信息存储密度必须增加磁头-介质界面的接触程度,磁头的间隙长度也要相应减小;为保持效率还必须减小间隙深度,当然也要提高加工精度。例如,对于高密度记录的磁盘,其最大表面粗糙度必须小于10nm。问题的实质就是要解决超薄润滑问题,也称微观摩擦学^[8]。目前,对于所有磁记录的界面了解得极少;由于其令人感兴趣的尺寸太小,使测量技术也出现了难题。有迹象表明,某些摩擦聚合膜、MCA与具有官能团的PFPE的复合润滑剂、F-Si-AC膜(碳膜用含氟硅处理)^[9],以及LB膜都在改善磁记录介质的减摩耐磨性能上起着重要的作用^[10-15]。解决磁记录的摩擦学问题,将导致信息存储密度的惊人进展^[7]。况且生物工程、分子器件、微电子技术和空间技术的迅速发展,对微观摩擦学的需求也日趋迫切^[16]。所以,美、日、英等发达国家都在竞相开展这方面的研究。

D. 强调超低摩擦和特长寿命的研究

长期以来,为优化机械性能,大都要求摩擦部件降低摩擦磨损和延长使用寿命。因为减少摩擦功耗可由节约能源取得经济效益,更重要的节约能源来自节约材料,延长易损件的使用寿命以减少维修中的更换,这是节约材料和能源的一个极重要的方面^[17]。最近,之所以强调超低摩擦和特长寿命的研究,可能是由于空间技术发展的迫切要求^[6]。要精确定点的卫星和飞船都特别要求摩擦部件的超低摩擦(ULF)、低转矩噪声和低转矩干扰^[18]。美国将于1995年建造太空太阳能发电站和西欧计划于1995年发射的Columbus空间站都有这样的要求,而且使用寿命要求长达10—30年^[19]。预期下一轮的产业革命将从宇宙开发来引发^[20],故世界各国都在竞相研究以适应这些要求。概括起来,大致是从PVD复合固体润滑膜^[21-31]及其与自润滑材料的复合作用^[32]、开发新型减摩剂并优化润滑剂储存器(含防爬阻挡层)^[19]、多层复合硬质耐磨涂层与低蒸气压润滑剂的复合作用^[19,33]、自我修复的摩擦化学体系^[34,35],以及磁悬轴承^[36]和气体轴承等几个方面来探索达到超低摩擦和特长寿命的目的。据文献[6]报道,这几方面的工作都已经取得了一定的进展。

4. 结 束 语

在预测科学研究的发展趋势时,必须注意区别科学带动的研究和技术带动的研究。对于前者,技术发展是在特殊的科学取得突破之后;而对于后者,则是科学研究跟随着一个即将来临的技术发展。摩擦学研究是一个技术带动的领域。其过去的许多贡献都是出现在某些技术发展受阻或需要重大改进的时候。如铁路运输和水力发电技术中需要更好的润滑,引起了流体动力润滑的发展;内燃机引起了润滑添加剂的发展;涡轮发动机的润滑需要产生了弹-流润滑和发展了合成润滑剂;宇宙飞行中的特殊润滑要求引起了固体润滑的发展;需要延长金属高速机加工中切削工具的使用寿命又引起了耐磨硬涂层的发展。当前,先进的内燃机、燃气轮机系统、计算机工业的磁记录系统、空间技术中的空间站和太空发电站系统,以及机器人装置和生物医学工程,都属于摩擦学能够和应该起重要作用的领域。尽管这些技术领域每一个均有其独特的要求,但其基础问题是类似的,汇集起来形成了上述摩擦学研究的发展趋势。换句话说,笔者在综合各方面意见的基础上认为,跟着这些趋势开展摩擦学研究有可能导致这些技术领域的大发展,摩擦学本身也会获得长足的进步。当然,这是带有预测性的,“在任何领域里进行预测都可能有差错”^[5],然而即使是“没有把握的预测也比从来没有预测要好”^[37]。

参 考 文 献

- [1] Jost, H. P., *Journal of Japanese Society of Tribologists*, **37**(1992)2.
- [2] Jost, H. P., *Tribology: The First 25 Years and Beyond—Achievements Shortcomings and Future Tasks*, 8th International Colloquium “TRIBOLOGY 2000”, 1992, 1, 14—16, Bundesrepublik Deutschland.
- [3] Jahanmir, S., *Trans. ASME, J. of Tribology*, **109**(1987)207.
- [4] Heshmat, H. and Pinkus, O., *Trans. ASME, J. of Tribology*, **109**(1987)213.
- [5] Sliney, H. E. 著, 林子光, 黄文治, 孙希桐等编译, 八十年代摩擦学, 航空工业出版社, 北京, 1988, p. 395—407.
- [6] 党鸿辛, 高金堂, *摩擦学学报*, **12**(1992)1, 105.
- [7] Lemke, J. U., *Trans. ASME, J. of Tribology*, **109**(1987)211.
- [8] Tripathi, K. C., *Studies in Micro-Tribology of Magnetic Data Storage Systems*, 8th International Colloquium “TRIBOLOGY 2000”, 1992, 1, 14—16, Bundesrepublik Deutschland.
- [9] Kaneko, R., *Journal of Japanese Society of Tribologists*, **36**(1991)587.
- [10] Ginnai, T. et al., *Thin Solid Films*, **180**(1989)277.
- [11] 国外科技消息, **8**(1989)17.
- [12] JP 89103681.
- [13] JP 89304080.
- [14] JP 89240598.
- [15] Seto, J. et al., *Thin Solid Films*, **134**(1985)101.
- [16] 张军, 薛群基, *摩擦学学报*, **12**(1992)97.
- [17] 谢友柏, *机械工程*, 1991, 5: 21.
- [18] Roberts, F. W., *Thin Solid Films*, **181**(1989)461.
- [19] Wyn-Roberts D., *Tribology Int.*, **23**(1990)149.
- [20] 宇宙工学委员会(日), *日本机械学会志*, 1991, 6: 470; *中国机械工程*, 1992, 3: 44.
- [21] Briscoe, H. M., *Tribology Int.*, **23**(1990)67.
- [22] Kuwano, H. and Nagai, K., *J. Vac. Sci. Technol.*, **A4**(1986)2993.
- [23] Boving, H., Hintermann, H. E. et al., *Proc. 3rd European Space Mechanisms and Tribology Symp.*, Madrid, ESA-SP-279 (1987)155.
- [24] Spalvins, T., *J. Vac. Sci. Technol.*, **A5** (1987) 212.
- [25] Colligon, J. S., *Vacuum*, **36** (1986) 413.
- [26] Colligon, J. S., *Vacuum*, **37** (1987) 35.
- [27] Chevallier, J. et al., *Appl. Phys. Lett.*, **48** (1986) 876.
- [28] Kobs, K., *Appl. Phys. Lett.*, **49** (1986) 496.
- [29] Mikkelsen, N. J. et al., *Mater. Sci. Eng.*, **A115** (1989) 344.
- [30] 王其明, 徐锦芬, 党鸿辛, *固体润滑*, **10** (1990) 84.
- [31] Kobs, K. et al., *Mater. Sci. Eng.*, **90** (1987) 281.
- [32] Roberts, W. H., *Tribology Int.*, **19** (1986) 295.
- [33] Hintermann, H. E., *Tribology Int.*, **13** (1980) 267.
- [34] 聂明德, 党鸿辛等, *固体润滑*, **11** (1991) 21.
- [35] Nishimura, M., *Tribology Int.*, **23** (1990) 143.
- [36] Vihersalo, J., *The Selective Transfer Effect in Mechanical Engineering*, 8th International Colloquium “TRIBOLOGY 2000”, 1992, 1, 14—16, Bundesrepublik Deutschland.
- [37] Tabor, D. 著, 林子光, 黄文治, 孙希桐等编译, 八十年代摩擦学, 航空工业出版社, 北京, 1988, p. 1—13.

Developing Situation and Tendency of the Tribological Research

Xue Qunji Dang Hongxin

*(Laboratory of Solid Lubrication, Lanzhou Institute of Chemical Physics,
Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)*

Abstract The main achievements of tribology research, including the progresses in mechanism of friction and wear, lubrication mechanics, materials and lubricants, surface technique and engineering, as well as tribology system and design, are briefly reviewed in this paper. Also, future tendency for tribology study has been predicted. Following research areas are particularly emphasized: tribology study has transferred from the traditional mechanics to material science and technology; the tribology materials and lubricants for high temperature application or with low friction and long service life; the micro-tribology in magnetic recording system and micro-machinery as well as nanometer materials tribology; tribology design and the tribology knowledge transfer.

Key words tribology research, lubrication mechanics, materials and lubricants, surface technique and engineering, tribological design