

我国摩擦学研究的现状与发展*

温诗铸

(清华大学摩擦学国家重点实验室 北京 100084)

摘要: 总结了自中国机械工程学会摩擦学分会成立 25 年来我国摩擦学研究的发展, 论述了在流体润滑理论与设计、微观摩擦学、材料磨损机理与控制、表面工程与耐磨材料、润滑材料以及磨损状态监测等方面的主要成就。在此基础上提出了今后值得关注的研究方向, 如减摩抗磨技术、制造过程摩擦学、生态摩擦学、仿生技术与生物摩擦学等。

关键词: 摩擦学研究 进展 展望

中图分类号: TH117.1

0 前言

20 世纪 60 年代中期, 英国教育科学研究部在对工业部门广泛调查的基础上, 发表了《关于摩擦学(Tribology)教育和研究报告》, 首次提出将摩擦学作为一门独立的边缘学科加强研究和教育工作。这对于促进国民经济持续发展具有战略意义, 随即得到世界各国的认同和重视。此后, 摩擦学得到迅速的发展, 并成为机械、材料等学科中活跃的研究领域之一^[1]。

由于多方面的原因, 我国摩擦学的发展起步较晚。虽然在 20 世纪 50 年代, 为数不多的学者进行过磨损和润滑研究, 但是作为一门独立的学科从事摩擦学研究和教育工作是在 20 世纪 80 年代以后才逐步开展起来。

1979 年中国机械工程学会摩擦学分会成立。经过过去 25 年来各方面的共同努力, 我国摩擦学学科取得了突飞猛进的发展。摩擦学知识得到了广泛的普及; 形成了一支从事摩擦学研究的专门队伍, 包括长江学者、杰出青年基金获得者等中青年学术骨干; 建立了国家级或者省部级的研究基地; 创办了专业学术刊物, 出版了 10 余部学术专著和科技图书; 在相关的学会组织推动下, 召开了各种全国或地区性学术会议, 讨论和交流研究成果; 国际学术活动频繁, 在我国召开多次国际学术会议, 并成功举办了一届亚洲摩擦学国际会议。同时, 我国学者也活跃在国际摩擦学学术舞台。应当强调指出, 我国摩擦学研究的发展历程与国民经济建设紧密结合, 因此, 有力地推动了现代化建设, 促使我国机电产品的摩擦学性能得到普遍和迅速的提高。

通过长期的实践, 我国摩擦学工作者在解决工程实际问题中, 还注意提高研究工作的深度和拓宽研究领域。我国摩擦学研究发展的总趋势可归纳为: 从面向机械产品的维修过渡到新产品的摩擦学设计; 从单纯跟踪研究过渡到加强创新研究; 从局部目标的单一学科研究向着针对摩擦学系统的多学科综合研究; 从宏观特性考察深入到揭示微观机理, 建立摩擦学现象的构性关系; 推动摩擦学与相关学科交叉, 努力开辟新的研究领域, 如微观摩擦学、生物摩擦学和生态摩擦学等。

1 进展

1.1 流体润滑与滑动轴承研究

基于流体润滑理论的低副机构(面接触)摩擦副如滑动轴承、密封装置等的润滑设计是现代机械设计的重要问题。对于汽轮机组、涡轮压缩机等叶片机械的高速径向滑动轴承的润滑设计进行了系统研究, 包括椭圆轴承、多油楔轴承和可倾瓦轴承等。主要研究内容有: 在计及热效应和冷热变形影响的静态(承载量、流量、摩擦功耗)、动态(动力学参数: 刚度系数、阻尼系数)性能计算; 分析静、动态性能与结构参数、工况参数的相关性; 以汽轮发电机组为背景, 进行轴承-转子系统动力学分析, 提出转子失稳条件和判断准则, 并对汽轮发电机组发生动力学失稳导致的原因进行分析论证^[2]。在此基础上, 提出针对汽轮发电机组多跨转子系统的设计专家系统。

以精密机床主轴为应用背景的静压轴承研究取得进展。提出了浅腔静动压复合轴承的设计, 获得比常规结构优越的润滑性能^[3]; 将静压轴承用于改造磨床主轴支撑以提高回转精度得到较大规模推广应用, 经济效益显著。

* 为纪念中国机械工程学会摩擦学分会成立 25 周年而作。20040909 收到初稿, 20040922 收到修改稿

气体静压润滑轴承在高速主轴等装置中研制成功；特别是所研制的以气体动压为基础的各类螺旋槽密封装置性能优良，已经形成产业化，行销国内外。

对内燃机问题进行了广泛研究，包括各个摩擦副的材料结构和润滑设计，大幅度提高其性能；针对内燃机各摩擦副组成的整机系统，提出摩擦学智能设计理论与方法，并建立相应的软件系统^[4]。

1.2 弹流润滑及其应用研究

高副机构(点、线接触)摩擦副诸如齿轮蜗杆传动、滚动轴承等的润滑设计的基础是弹性流体动力润滑(简称弹流润滑)理论，在此领域取得一系列重大成就。针对工程实际影响因素，相继发展了考虑热效应的热弹流；考虑润滑剂非牛顿特性的流变弹流；考虑变工况运行的非稳态弹流等理论。在此基础上，通过推导并求解普适性最高的润滑方程组，从而建立了可同时考虑各实际因素综合影响的工程模型的弹流润滑理论，被国外学者称为是当今完备的全膜润滑理论^[5,6]。在应用研究中，对铁路机车滚子轴承挡边润滑结构进行优化设计，大幅度提高轴向承载能力；应用于卫星滚动轴承润滑分析，建立乏油和干涸润滑状态判断准则，成倍地延长轴承的服役寿命；将弹流理论与啮合原理结合，对蜗杆传动改进设计，提高了承载能力等。

针对齿轮传动中三维共轭曲面接触，发展了非赫兹接触的弹流润滑理论，包括扁椭圆接触、卷吸速度与主平面方向不重合以及带旋转运动的接触等，并应用于曲齿锥齿轮传动的润滑分析。

提出零卷吸速度热弹流具有承载能力即温度楔承载的观点，经过理论分析与试验验证，可望为高速的无保持架滚动轴承设计提供理论依据。

对于工程实际中长期关注的润滑膜失效问题，进行了一些有价值的基础研究。例如，在粗糙峰微观弹流润滑研究的基础上，实现了真实粗糙表面接触的混合润滑求解；在流变弹流润滑研究中，针对粘塑性流变模型，揭示出润滑膜滑移、屈服进而丧失承载能力的机理，表明润滑油极限剪应力对润滑失效的重要作用；根据粘弹性流变模型和材料变形响应速度的弹流润滑分析，论证了全膜润滑条件下产生磨损的可能性和磨屑形成条件。

在试验研究中，研发了一系列弹流润滑膜性能测试技术。例如，光干涉测膜厚和变形场、红外辐射测温场、薄膜传感器测油压分布，以及研制的高压粘度测量装置等均达到国际先进水平。此外，利用光强原理研制的纳米级膜厚测量仪属首创。

1.3 微观摩擦学研究

以超精密机械和微机电系统(MEMS)为应用目标的微观摩擦学研究在我国起步较早，成绩显著^[7]。

对于纳米量级膜厚为特征的薄膜润滑研究作出开创性的重要贡献。通过系统的试验研究，考察了表面效应对薄膜润滑行为的相关性；提出纳米膜含吸附膜、有序液体膜和粘性液体膜的物理模型；建立薄膜润滑向边界润滑和弹流润滑状态转化关系；研究了介于纳米间隙中约束流体的流变特性，包括壁面效应、固化和相变等^[8]；采用多种微流体模型对薄膜润滑性能进行了探索性的数值分析，为建立考虑润滑膜内部微结构的润滑理论提供依据。应用薄膜润滑概念初步研制成功自密封自润滑滑动轴承，在不补充润滑剂条件下实现高速运行。

通过对光滑表面接触摩擦副界面物理与化学行为及纳米磨损规律的深入研究，在超精密纳米平面加工技术中取得重大进展。所研发的计算机磁头、磁盘抛光和改性技术其性能指标达到国际先进，部分指标处于国际领先，并已应用于规模生产。

我国有序分子膜润滑研究进展显著，开发出多种自组装膜，分子沉积膜等^[9]。在分子膜增强、提高耐温抗湿性质、增加承载能力，以及纳米粒子改善常规添加剂性能等方面进行了有效的探索。

微摩擦磨损是制约微机电系统研究的关键问题。关于该领域的研究在理论与试验上都十分困难。首先研制成功多种适应于微摩擦磨损研究的试验装置和测试系统；建立以分子动力学为基础的理论分析方法。进而在原子、分子尺度上研究了干摩擦界面上的表面行为与变化；粘着、粘附以及滑动过程中的粘滑等与表面能密切相关的现象与抑制技术；试验论证实现近零摩擦超滑技术的可行性^[7]。

由于微摩擦与表面形貌密切相关，为此，针对微机械常用的高能密度束加工的表面，研究了其生成的微观形貌特征，以及微摩擦与形貌的相关关系，以期通过表面形貌设计和修饰达到控制微摩擦的目的。通过外加电场、磁场控制摩擦磨损性能也取得积极进展。

表面涂层是提高纳米摩擦学性能的另一途径。关于金刚石膜、类金刚石膜和碳氮膜等超硬纳米涂层，以及软、硬相间多层膜的研究也初步取得应用成果。

1.4 金属材料磨损研究

关于金属材料的磨损研究，我国在磨粒磨损、微动磨损和腐蚀磨损等领域取得重要成果。

磨粒磨损与耐磨材料是最活跃的研究领域之一^[10]。由于磨粒磨损在冶金、建材、煤矿和农机中

是最重要的磨损类型，在我国每年造成的钢材消耗达百万吨以上，经济意义很大，促使生产部门与研究机构紧密结合，共同攻关。在中国机械工程学会材料分会下属专业委员会的组织下，先后召开了近10次全国耐磨材料及磨损失效分析学术交流会议，还组织了全国性的球磨机磨球、破碎机齿板等耐磨性能评优和选材的交流活动，以及地区之间的耐磨材料协作网^[11]。这些活动对大幅度提高耐磨材料的质量，发展新材料及工艺，深入研究磨粒磨损机理起了推动作用。

我国学者对微动磨损的机理与防护作出了系统的贡献^[12]。包括：提出表征微动过程的微动图，将微动区域划分为滑移区、部分滑移区和混合区；揭示出微动损伤机理中裂纹萌生和扩展方式；微动磨损与微动疲劳的关系；考察了材料表面强化和润滑对微动损伤的防护等。应用这些理论对高空电缆和斜拉桥钢索的微动损伤失效分析和防护都取得显著效果。

腐蚀磨损是力学与化学相互作用造成材料流失的一种严酷损伤形式，有别于一般磨损和一般腐蚀现象，因此是摩擦学中难度较大而又起步较晚的研究领域。我国腐蚀磨损研究的开展与生产实际结合，针对水田耕作机件、石油化工料浆循环泵、煤矿运输轻轨和燃煤锅炉管道等的防护研究取得了显著成效。在基础研究方面的重要进展包括：腐蚀磨损装置和性能测试研制；腐蚀磨损机理；耐腐蚀磨损合金设计和新材料开发；表面涂层耐腐蚀性能等。腐蚀磨损研究在我国已形成相当规模，1996年召开了第一届腐蚀磨损学术会议，2003年出版了专著《金属的腐蚀磨损》，从磨损与腐蚀交互作用出发全面阐述了这种损伤形式^[13]。

1.5 非金属材料摩擦学研究

除了陶瓷材料、金属塑料复合弹性材料水轮机轴瓦等研究以外，我国非金属材料摩擦学研究的主要成果有橡胶磨损研究和水润滑非金属轴承的研发及其产业化。

橡胶作为特殊的摩擦学材料在车辆、石油工业中获得广泛应用。然而，迄今有关橡胶摩擦学研究报告尚不多见。我国学者针对橡胶磨损中的磨粒磨损和侵蚀磨损进行了系统的研究。分别考察了干磨粒、油性磨粒和湿磨粒三种磨粒磨损形成特征；研究橡胶侵蚀磨损机理，提出磨粒侵蚀磨损模型；并对天然橡胶、丁晴橡胶、氟橡胶和聚氨酯等磨粒侵蚀中的表面力化学效应进行了分析^[14]。

目前我国拥有各种船舶共计200多万艘，每年船舶推进系统泄漏润滑油达百万吨以上，造成严重

的水环境污染。传统的合成橡胶或铁犁木水润滑轴承通常功耗大、寿命短。我国自主研发的非金属复合材料水润滑轴承结构具有良好的使用性能，已实现产业化，行销国内外，产生了巨大的经济效益和社会效益。

1.6 表面工程及其应用研究

自从1987年在伦敦召开的摩擦学国际会议强调表面工程的重要性以来，受到我国学者的广泛关注。从此，表面改性和表面涂层技术的应用研究成为我国摩擦学最活跃的领域之一，并取得丰硕成果，使得我国为数众多的机械零件的摩擦磨损性能得以普遍的提高，创造了可观的经济和社会效益。

表面工程是利用物理、化学或机械的方法使表面层获得适当的成分、组织结构和性能的技术，包括表面热处理和化学热处理、电镀和电沉积、堆焊和热喷涂、高能密度处理以及气相沉积等^[15]。可以说，所有这些技术及其应用研究在我国都有开展，难以一一叙述。近年来还发展了多种技术结合而形成的复合型表面，以及开发出了先进的超声速热喷涂技术等^[16]。

1.7 润滑材料研究

润滑材料与技术是摩擦学的重要组成部分。随着科技的发展，特别是润滑化学的发展，近25年来性能优越的新型润滑材料不断涌现。

我国幅员辽阔，地域环境差别较大，而工农业和国防各部门对润滑材料的性能要求多种多样。为适应实际需求，我国学者结合国情研制出类别繁多的新型润滑材料，包括稀土元素和液晶润滑材料^[17]。应当强调指出，在以航空航天为应用背景的高温或恶劣工况固体润滑研究领域，我国学者作出了突出贡献，达到很高的水平。

颜志光教授主编出版的《新型润滑材料与润滑技术实用手册》，汇集国内外研究成果，全面阐述了润滑材料和技术的性能、标准、测试和应用实例^[18]。

1.8 铁谱技术与磨损状态监测研究

实践表明，铁谱技术作为机器磨损状态监测和故障诊断的一种有效手段已为不少工业部门认同。

油分析技术起源于20世纪40年代，采用光谱仪分析润滑油中所含磨损的微量元素，以检测磨损状态。20世纪70年代检测磨粒形态的铁谱仪问世，使得油分析技术更加完善。

我国在1983年和1985年相继研制成功分析式铁谱仪和直读式铁谱仪，并开始批量生产和应用，使我国迅速成为拥有铁谱仪数量较多的国家。

将铁谱仪应用于柴油机、齿轮箱、液压系统的磨损状态监测已经取得不少成功的经验，积累了大

量的资料。例如,根据 229 台铁路内燃机车和其他设备的监测得到的 1 600 余个油样铁谱分析和 2 500 余张照片,从中精选出典型磨粒的铁谱照片,进而编制出系统的磨粒图谱,标志着我国应用铁谱仪的油分析技术达到相当成熟的程度^[19]。此外,为更全面地判断磨损状态,还发展了基于铁谱分析、光谱分析以及油理化分析的多信息融合技术,以及建立计算机故障诊断专家系统的框架。

2 展望

摩擦学作为技术基础学科必然同时受到来自现代科技和经济建设两方面的驱动。因此,一方面吸收相关学科的先进技术,充实本学科内容和改进研究方法;另一方面面向经济建设的需要,为提高产品的摩擦学性能作出切实的贡献,这些始终是我国摩擦学工作者的任务。从这个任务出发,作者认为,我国摩擦学工作者除对已经取得研究成果的诸方面进一步充实提高之外,今后应关注以下的研究领域的发展^[21,22]。

2.1 减摩抗磨技术研究

摩擦学研究的重要意义在于是以节约能耗,降低材料损失,延长机械装备的服役寿命和提高工作可靠性为目标。特别是当今人类为追求国民经济可持续发展所面临的节约资源的战略任务,摩擦学研究就更加重要。

虽然经过近 25 年的努力,我国机械装备的摩擦学性能有了大幅度的提高,然而,长期存在的能耗大、寿命短的问题并未得到根本改变^[20]。总体说来,当前我国机械装备特别是基础零部件的摩擦学性能与先进国家相比仍然存在较大的差距。对于量大面广的常规机械,通过摩擦副材料合理匹配、表面形态的优化设计、表面改性和涂层以及先进的润滑材料和润滑方法等措施,进一步提高摩擦学性能,仍将是今后长期的研究方向。

2.2 生态摩擦学研究

国民经济可持续发展的另一项战略任务就是保护人类的生存环境。为此,摩擦学工作者也面临许多新的课题。例如,研究可生物降解的绿色润滑材料,代替含多种有害元素的以矿物油为基础的润滑油添加剂;开发不含石棉而性能优异的摩阻材料;研制不含氯的制冷设备用润滑材料,以及研究经济上可行的废油再生技术等都具有重要意义。

此外,由于摩擦的不稳定性,特别是低速时的粘滑现象所激发的摩擦振动是机械设备噪声的重要来源。目前有关摩擦噪声的机理和抑制的研究都很

不够。

2.3 超常规(高参数)机械摩擦学研究

随着人们不断提高生产率,机械装备单机容量和工况参数日益升高。据统计,在过去的半个世纪,机械运行的速度、载荷、精度和环境温度等有的几倍或十几倍的增加。

在超常规机械的研制中提出了一系列新的摩擦学问题有待于研究。例如,超精密摩擦副通常处于分子状态接触,实际接触面积趋近于表观接触面积,导致粘着能和摩擦力剧增,而且要求严格限制磨损;超高速摩擦中的热效应加剧表面粘着损伤,而超低速滑动的爬行和颤动造成运动不稳定;超重载荷接触表面的压溃和塑性流动也是严重的失效形式;高低温摩擦副的材料和润滑尚待进一步研究。

2.4 特殊地理环境摩擦学研究

英国著名摩擦学专家 D.Tabor 曾经说过:我们通常是构造一个特定的条件来进行研究,然后得到相应的结论。显然,这种排除环境影响的实验室研究是研究结论不尽符合实际应用的重要原因。

人们已经认识到摩擦学性能是整个系统的综合表现,因此环境条件是不可避免的影响因素。然而,迄今对于特殊自然环境下的摩擦学研究还很不充分,应当受到重视和大力加强。从国情出发,我国地理和气候条件变化大,特别是提出发展农业和西部大开发战略,更需要广大摩擦学工作者积极投入作出贡献。例如,对于农业、林业、矿山和石油开采和运输等野外作业的机械;以及西部高寒和沙漠地区、亚热带和高湿度地区以及海洋等环境工作的机械都具有特殊的摩擦学问题需要研究。

2.5 制造过程摩擦学研究

根据我国现行的学科组成,机械工程分为机械制造和机械设计两个分支,而摩擦学通常归入机械设计的分支学科。因此,摩擦学研究就很少涉及制造过程中的问题。

金属成形加工包括锻造、拉拔和轧制中的摩擦学研究,在 20 世纪 40 年代以后由于航空航天技术和电子工业的要求才得到迅速发展。在金属成形过程中,模具与工件之间的摩擦行为与控制、良好的润滑材料和方法对于工件表面品质和模具寿命具有重要影响。由于成形过程的条件复杂、迄今尚存在许多疑难问题。

切削加工中的摩擦学行为也是影响工作表面品质和使用寿命的关键因素。在磨削、研磨等精加工过程中发生在界面上的现象,从本质上说,就是滑动表面的磨损过程。因此,从摩擦学角度研究磨削过程将有助于控制加工质量。

2.6 大型成套机械系统磨损失效监控研究

提高大型成套机械系统运行的可靠性,阻止发生因磨损导致的重大事故,无疑是具有巨大经济和社会意义。

应当指出,目前在铁谱技术和磨损状态监测研究所取得的成就尚未达到可靠的状态监测和预报磨损失效的技术水平。今后的任务应着力于:提高现有的以各类铁谱仪为基础的监测仪器的可靠性和现场实用性;加强多信息融合技术,建立磨损状态判断准则;经过较长时期的数据积累,充实故障诊断专家系统等。

2.7 仿生技术与生物摩擦学研究

摩擦学发展的显著特点是与其他学科交叉而形成新的研究领域,生物摩擦学就是其中之一。

人体内存在各种摩擦现象,如关节摩擦、管腔(血管、气管、消化道、排泄道)内摩擦,以及运动时产生的肌肉与肌腱间的摩擦等。摩擦可以引发许多生理变化和疾病,为保证人类健康,这些问题受到人们的关注。此外,生物体具有许多特异的摩擦学性能,如自润滑、粘附、脱附和耐磨性等^[23]。因此,研究掌握这些性能的形成机理,移植到机械装置的所谓仿生技术也引起人们极大的兴趣。

我国学者在人造关节研制、血液流变性能测定和牙齿磨损性能等方面进行了有成效的研究。有的学者还研究了生物体与土壤的脱附机理。然而,该领域的研究还需要进一步深化和扩展。

2.8 颗粒摩擦学研究

20世纪90年代初提出的颗粒(粉体)摩擦学是研究颗粒物质的密集、流动和与界面的交互作用,也称密集科技。堆积的颗粒物质在颗粒之间以及与界面之间都存在粘着和摩擦,在运动中构成特殊的摩擦学系统。颗粒摩擦学研究应用于粉末冶金、陶瓷等的成形工艺,以及颗粒物质(如粮食、煤粉等)堆积和输送,水土流失,海岸和堤坝建设等。可喜的是我国力学工作者已开始该领域的研究,而从摩擦学角度来看该研究尚属空白。

3 结论

摩擦学作为一门实践性很强的技术基础学科,它的形成和发展与社会生产的要求和科学技术的进步密切相关。回顾过去25年的历史,我国摩擦学研究得以迅速发展的重要原因也在于研究工作与生产实际需要的紧密结合。今后,我国摩擦学工作者仍需要本着理论联系实际的原则,为我国国民经济的发展作出重要贡献。

参 考 文 献

- 1 温诗铸,黄平. 摩擦学原理(第2版). 北京:清华大学出版社,2002
- 2 虞烈,刘恒. 轴承-转子系统动力学. 西安:西安交通大学出版社,2001
- 3 池长青. 流体力学润滑. 北京:国防工业出版社,1998
- 4 Zhang X J, Gui C L. An Intelligent Systems for Tribological Design in Engines. The Netherlands: Elsevier, 2004
- 5 温诗铸,杨沛然. 弹性流体动力润滑. 北京:清华大学出版社,1992
- 6 杨沛然. 流体润滑数值分析. 北京:国防工业出版社,1998
- 7 温诗铸. 纳米摩擦学. 北京:清华大学出版社,1998
- 8 Luo J B, Wen S Z. Measuring technique and characteristics of thin film lubrication. in Mechanical Tribology, Totten & Liang ed., Marcel Dekker. Inc. 2004
- 9 薛群基,张军. 分子有序体系超薄膜及其在摩擦学中的应用. 沈阳:辽宁科技出版社,1995
- 10 刘家浚. 材料磨损原理及其耐磨性. 北京:清华大学出版社,1993
- 11 磨损失效分析及预防专业委员会,清华大学摩擦学国家重点实验室主编. 耐磨材料及磨损失效分析. 北京:机械工业出版社,1993
- 12 周仲荣,朱旻昊. 复合微动磨损. 上海:上海交通大学出版社,2004
- 13 姜晓霞,李诗卓,李曙. 金属的腐蚀磨损. 北京:化学工业出版社,2003
- 14 张嗣伟. 橡胶磨损原理. 北京:石油工业出版社,1998
- 15 徐滨士,朱绍华. 表面工程的理论与技术. 北京:国防工业出版社,1999
- 16 徐滨士. 纳米表面工程. 北京:化学工业出版社,2004
- 17 董浚修. 润滑原理及润滑油. 北京:烃加工出版社,1987
- 18 颜志光. 新型润滑材料与润滑技术实用手册. 北京:国防工业出版社,1999
- 19 杨其明. 磨粒分析—磨粒图谱与铁谱技术. 北京:中国铁道出版社,2002
- 20 周仲荣,谢友柏. 摩擦学设计. 西安:西安交通大学出版社,2000
- 21 温诗铸,黎明. 机械学发展战略研究. 北京:清华大学出版社,2003
- 22 温诗铸. 世纪回顾与展望——摩擦学研究的发展趋势. 机械工程学报,2000,36(6): 1~6
- 23 谢尔格 M, 戈尔博 S. 微/纳米生物摩擦学. 李健,杨膺,顾卡丽,等译. 北京:机械工业出版社,2004

EXISTING STATE AND DEVELOPMENT OF TRIBOLOGY RESEARCH IN CHINA

Wen Shizhu

(State Key Laboratory of Tribology, Tsinghua
University, Beijing 100084)

Abstracts: Main achievements of tribology research in China during the past 25 years were summarized, including hydrodynamic lubrication theory & design, micro/nano tribology, material wear mechanism & control, surface engineering, wear-resisting materials, lubrication materials and wear state

monitoring technology. Several promising research fields are suggested accordingly, including friction-reducing and anti-wear technologies, manufacture tribology, ecologic tribology and bio-tribology, etc.

Key words: Tribology research Existing state

Future research fields

作者简介: 温诗铸, 男, 1932 年出生。中国科学院院士, 清华大学摩擦学国家重点实验室教授。主要从事润滑理论、摩擦磨损机理、纳米摩擦学以及微机械学等方面的研究。出版著作《摩擦学原理》、《弹性流体动力润滑》、《耐磨损设计》和《纳米摩擦学》4 部, 发表论文 400 余篇, 获国家自然科学二等奖等国家级、省部级科技奖励以及全国优秀科技图书奖 18 项。

E-mail: wensz@pim.tsinghua.edu.cn