

中国工程院 国家自然科学基金委员会

工程前沿

第2卷

摩擦学科学与工程前沿

谢友柏 主编



高等教育出版社

工程前沿

第2卷

摩擦学科学与工程前沿

谢友柏 主编

高等教育出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

摩擦学科学与工程前沿. 第2卷 / 谢友柏主编. — 北京: 高等教育出版社, 2005. 9

(工程前沿)

ISBN 7-04-018224-6

I. 摩... II. 谢... III. 摩擦学-学术会议-文集
IV. 0313.5-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 106284 号

策划编辑 王国祥 张海辰
封面设计 张楠
责任印制 杨明

责任编辑 赵天夫
版式设计 李杰

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	北京蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	国防工业出版社印刷厂		http://www.landaco.com.cn
开 本	850 × 1168 1/32	版 次	2005 年 9 月第 1 版
印 张	9.25	印 次	2005 年 9 月第 1 次印刷
字 数	230 000	定 价	23.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 18224-00

探讨工程前沿 展望未来发展

在过去的 20 世纪,世界工程科技迅速发展,极大地提高了劳动生产效率和人民生活质量,同时也改变着国家间的综合实力对比。历史充分证明,一部近代世界社会生产力的发展史,是由科学发现、技术革命、产业革命相互作用而推进的。工程科学技术的发展架起了科学和产业之间的桥梁,在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。

“工程前沿”研讨会正是在这种国内外发展的大背景下,由中国工程院和国家自然科学基金委员会联合发起、组织的。中国工程院是我国工程科技界的最高荣誉性、咨询性学术机构,有 650 多位院士,整个工作的重点和主体是院士。院士们作为我国一千多万名工程科技人员的杰出代表,作为新生产力的重要创造者和新兴产业的积极开拓者,他们以国家振兴为己任,在把握国家科学和工程技术发展方向,参与国家重大建设项目的决策咨询和培养年轻科技人才等诸多方面积极工作,成效显著。国家自然科学基金委员会是管理国家自然科学基金的国务院直属事业单位,主要任务是根据国家发展科学技术的方针、政策和规划,按照与社会主义市场经济体制相适应的自然科学基金制运作方式,运用国家财政投入的自然科学基金,资助自然科学基础研究和部分应用研究,发现和培养科技人才,发挥自然科学基金的导向和协调作用,促进科学技术进步和经济、社会发展。

“工程前沿”研讨会主要由院士主持,邀请工程技术方面的专家、学者参与,根据国家的需求,结合国情实力,共同探讨工程前沿学术问题。通过营造宽松自由的学术交流环境,促进基础应用学科的交叉融合,激发技术知识创新,带动产业发展,为发展国民经

济、建设现代化强国服务。其主题主要包括国家重大工程技术领域的关键问题及重要工程研究的前沿问题。每个主题中包括:报告并讨论在工程科技领域最新取得重大突破的研究与成就;交流新的学术思想、方法;探讨工程前沿、展望未来发展趋势。

“工程前沿”研讨会提倡学术平等、百家争鸣。鼓励学科交叉、促进科技创新。每次会议围绕主题设若干个中心议题。会期一般为两天。与会人员约 40 人左右。“工程前沿”研讨会实行执行主席负责制。执行主席可由在会议主题领域有高深造诣和卓越成就的著名专家、学者,经会议组委会聘请的方式担任。执行主席的任务是:按照会议主题确定 3~4 个左右的中心议题;邀请有权威性的评述报告人;与组委会共同遴选专题报告人与报告题目;组织和引导会议的讨论。会议通过执行主席推荐、组委会确定的方式遴选与会人员。与会人员是与会议主题相关并在该领域具有突出成就或作用的专家、学者及管理人员。与会人员应包括相当一部分不同学科崭露头角的杰出青年学者。每次“工程前沿”研讨会后,由高等教育出版社结集出版研讨会论文。

刘德培

中国工程院副院长

2004 年 10 月

前 言

“摩擦学工程科技论坛——润滑应用技术”和“摩擦学科学与工程前沿研讨会”是中国工程院在 2004 年发起组织的关于摩擦学的两次全国性学术会议。这是根据徐匡迪院长 2004 年年初在工程院机械与运载工程学部主持的一次关于摩擦学问题的座谈会上确定的。前者由机械与运载工程学部和上海市中国工程院院士咨询与学术活动中心承办,于 2004 年 6 月 20 日在上海科学会堂进行,是一次工业界与学术界交流的聚会。后者则是由中国工程院和国家自然科学基金委员会共同主办,于 2004 年 12 月 25—26 日在北京香山饭店进行,是关于摩擦学前沿的研讨会,会后出版了这本论文集。会议检阅了我国在摩擦学科学和工程前沿的研究成果,检讨了存在的问题和差距,特别讨论了如何应用这些前沿成果来应对我国在建设小康社会进程中面临的能源、材料和环境的挑战。

论文集总共收集了列入会议正式议程报告的 20 篇论文。会议还用了很多时间进行学术讨论,讨论中有许多非常精彩的发言。由于发表这些发言有一些整理上的困难,而且整理过程往往会丢失讨论发言所特有的生动表达。所以没有把讨论中的发言整理进论文集,而是将录音的记录作为数据文件保存在有关方面,需要时可以查看。从报告和讨论的内容看,可以归纳出以下几点。

(1) 摩擦学是一个充满了高技术的领域。会议本身就是一次对我国摩擦学科学和高技术研究成果和国际前沿的检阅。摩擦学行为无处不在,所有高技术系统都需要摩擦学的高技术来解决与此相关的问题。我国的航天工业很多方面难以依赖引进技术,解决这些高技术问题就产生相应的高技术成果,所以会议上这方面

的成果特别丰富。

特别需要强调的是,单元技术非常重要。解决问题依靠什么?靠单元技术。某个摩擦副的服役条件特殊,就需要特殊的结构、特殊的摩擦学材料、特殊的润滑剂来解决问题。我国许多产品缺乏国际竞争力,分析下来最终往往是单元技术过不了关。众多前沿的单元技术在这个会议上得到了检阅。从会议的报告和讨论发言揭示:我国自己研发的装备与经济发达国家相比,还有差距。表现在采用的技术,包括摩擦学技术,还缺乏竞争力。而且越是前沿的装备,越是需要前沿的单元技术包括摩擦学的高技术。会议认为,我国摩擦学科学技术的水平在许多方面,与国际上差距不大。在有些方面还是领先的。在经济全球化的今天,若干方面有差距并不奇怪,你用人家的技术,人家也可以用你的技术。问题是,一方面是不是具有自己的前沿技术,如果所有的前沿技术都不掌握,那就不行。另一方面,是不是很多会被别人卡住脖子的技术,还没有掌握。以及第三方面,已经掌握或有一定研究基础的高技术,是不是得到了合理的应用。

(2) 摩擦学对能源、材料、环境、生命质量从而对国民经济可持续发展有重大影响。但是我国的摩擦学发展和摩擦学知识应用的现状,与能够产生这样的影响还有很大距离。这次会议也是对我国摩擦学领域存在问题的一个检讨。为了弄清楚情况,会前专门组织了调查。从为数不多有针对性领域的调查中可以看到存在很多问题,特别是在最后一个议题中所讨论的那些问题。把存在的问题和已有的高技术成果对照起来看,摩擦学应当可以对解决我国面临最严重挑战的许多方面做出贡献。会议希望,要鼓励充分利用高技术而不是一般的办法去对付面临的问题,目的是使在建设小康社会的进程中,在应对能源、材料、环境的挑战中,和在自己研发的工业产品成为技术密集、国际上有竞争力的目标中,能从摩擦学的发展和摩擦学知识的应用中得到尽可能多的支持。同发达国家比较,我国的 GDP 产出中,资源消耗多,环境污染严重。

这是因为我国经济依靠的主要是资源消耗型产业。

那么已有的高技术,包括摩擦学的高技术为什么不能进入自己的产品呢?问题还是在于产品设计水平非常低。因为摩擦学高技术进入产品,使产品能以高性能到国际市场竞争,主要依靠产品设计环节,其中包括摩擦学设计。如果产品设计不能引入自己已有的、包括国际上已经有的前沿技术,那么就出现了会议上热烈讨论的产品技术含量低下和高技术成果无用武之地的矛盾。

(3) 摩擦学问题具有系统依赖性的特点。摩擦学技术的系统依赖性,使得不同行业、不同设备对象、不同摩擦副、以及相同摩擦副在不同的服役条件下,需要不同的技术。虽然会议选了尽量多的报告,所涉及的技术是海量的,但在与目前正在运用和需要运用的技术相比,还只是其中比较少的一部分。

由于多种摩擦学措施都可以解决问题,设计时可以从各个方面的协调中找到最优解决方案。产品一经制造出来,到维护的时候,只能面对已经形成的局面,无论如何改造都很难实现最优。例如用不用流体润滑技术?流体润滑的作用,一是润滑,一是带走摩擦热。如果没有“带走摩擦热”这个需要,设计时就可以有许多其他更少资源消耗和更加环境友好的选择。可以用固体润滑、电磁悬浮、空气润滑等等。系统依赖性这个特点要求设计师必须针对具体产品的性能需求来选择最佳的摩擦学技术。有一个报告讲到,外国替中国设计的很多产品并不很理想。原来讲外来的和尚好念经,现在发现外来的和尚常常也不好念经,就是因为摩擦学这个系统依赖性的特点。中国有中国特点,如果外国技术不考虑中国与摩擦学有关的国情,设计出来的产品就会不行。

(4) 摩擦学系统的性能具有时间依赖性特点。如果不是“全生命周期”设计,很多技术问题本来是不考虑的。但是顾及产品“全生命周期”的表现时,就必须弄清楚任何一个技术应用与时间的依赖关系。不掌握摩擦学系统的结构以及其性能随时间变化的规律,就不能使产品在整个生命周期中具有满意的表现,就可能会

过早地磨损,过多地消耗能源、污染环境,就必然会失去市场竞争力。今天,高性能产品的设计,必须考虑摩擦学的时间依赖性特点。

(5) 摩擦学还有一个非常重要特点,就是它的行为受多学科行为耦合的支配。会议讨论中常常谈到摩擦学问题十分复杂,很多学科的行为都会影响摩擦学过程。如何解决这个问题?国际上比较前沿的认识是要依靠分布式智力资源,即依靠外源。企业解决问题必须要有一个与过去不同的观念,不是什么事情都依靠自己。另外一方面,摩擦学工作者要把自己所专长的东西,也就是前面所说的单元技术,真正做好,而解决整个摩擦学系统的问题则依靠集成。所以一方面要把单元技术真正做上去,做成前沿高技术,另一方面则要把知识和技术做成可集成的,这种可集成性首先表现在设计阶段能为设计方案提供可集成的仿真评估,即能提供一个可集成到产品数字样机中的数字模型,通过仿真技术,经受对产品全生命周期各种要求的测试。如果成果不能集成,企业在设计时就很难应用过去没有用过的知识和技术。从手册上查摩擦系数的时代已经远远过去了。设计准则也不再可能是一个简单的公式或若干系数。经过再制造的产品性能为什么会比原来的好?有两种可能性:一种情况是产品使用很长时间后,技术有了新的发展,再制造的时候,已经有更新的技术。用新技术,使产品性能比原来更好。更多情况是设计时用的就是落后技术,没有用世界上的前沿技术,再制造的时候把产品改造了。问题是设计时为什么不用最先进的技术?答案常常是企业自己的力量不够,不知道前沿技术或不敢采用前沿技术,又不愿意依靠外源。无论哪一种情况,一种技术是不是能够应用于正在设计或再制造对象,都需要在可集成的前提下经受在数字样机中的测试。这样说并不是排斥试验,但是如果一切都只能通过试验,从单元技术试验、零部件试验、台架试验到样机试验,摩擦学知识和技术的应用目前或多或少就是这种状况,那么产品就会因为开发时间过长而失去竞争力。

从会议的报告和讨论中,提出几点个人看法,供参考。摩擦学现在非常需要理论研究。不是单项技术的理论研究,而是整个摩擦学本身的理论研究。今天需要摩擦学的高技术,但是更需要摩擦学理论。会上为什么出现了许多不同的“摩擦学”?如陶瓷摩擦学、金属摩擦学、塑料摩擦学、橡胶摩擦学、切削摩擦学、振动摩擦学、生物摩擦学、空间摩擦学等等。这种情况说明,摩擦学还没有形成自己完整的理论体系。这是一个非常严重的问题,如果摩擦学在某一点上的研究成果只能用在这一点,由于系统依赖性和时间依赖性的原因,它不能用在另外一个点上,那么研究投资的回报和效率就会很低。即使投入很多关于摩擦学的研究经费,如果某一个项目的研究结果不能用在更多方面,于是在另外一个方面又要投资。因为系统依赖性和时间依赖性的原因,无法不重新研究。不像力学当中的非线性问题,它是独立于系统的。因为对非线性的认识,已经上升到理论的高度。所以摩擦学需要有它自己的理论,根据理论产生的服役条件转换算法,可以让一个点上得到的结果用到另外相似的问题上,一个系统条件和时间条件下的结果用到另外相似的系统条件和时间条件上去。如果这个问题逐步得到解决,不仅研究投资的效率会大大提高,对摩擦学的发展也是很大贡献。从对近十年的文献分析看,国外在这方面研究的发展速度,出人意料。讲跨越式发展,如果没有理论研究,要出大问题。现在研究技术,容易得到支持。技术研究,总要做成一件事,有闪光点。理论研究结果,看不出解决什么具体问题。但是技术是在正确的理论指导下发展的,这是理论真正的价值。错误理论产生的技术也可能是未来发展的障碍,美国国家研究委员会(National Research Council)在它的关于先进工程环境(advanced engineering environment)的研究报告(1999—2000)中讲过类似的话。

会议希望得到具体成果。这本论文集就是非常重要的成果,它用文字将会议所产生的信息变成可以广为流传的书卷,广大摩擦学者和其他读者可以从中看到这些来自摩擦学和非摩擦学的各

行各业的科学家和工程师们是怎么看摩擦学的,怎么看待摩擦学近年的成果和差距,怎么认识摩擦学在国家应对能源、材料、环境和可持续发展的挑战中可以发挥的作用,怎么做才能使摩擦学起到更大的作用,也可以看到这些人对于应当如何研究摩擦学、向什么方面发展摩擦学的见解。

当然不能对一次会议寄予过大的希望。不过作为由中国工程院发起组织的,得到国家自然科学基金委员会支持的,关于摩擦学这样一个应用基础和应用学科领域的系列讨论之一,它是良好的开端。在这之后,还需要进行更多的努力,才能使摩擦学的发展更快和发展中的问题得到真正的解决。相信论文集能够推动后续努力不断加强。

最后,要感谢为组织这次会议做出努力的中国工程院学部工作局、机械与运载学部办公室、国家自然科学基金委员会工程及材料学部,要感谢承担了主要会务工作的中国机械工程学会摩擦学分会,要感谢为论文集出版付出艰辛劳动的同志们,包括所有参加撰稿、审稿、编辑的同志,要感谢全程指导和支持论文集出版的中国工程院出版委员会,没有他们的卓有成效的工作,这本论文集的出版是不可能的。

谢友柏

中国工程院院士

2005年3月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

主 题 报 告

摩擦学科学与工程的发展与展望 张嗣伟 (3)

高新技术发展中的摩擦学挑战

空间摩擦学 刘维民, 翁立军, 孙嘉奕, 薛群基 (23)

微纳制造中的摩擦学问题 雒建斌, 温诗铸, 钟 掘 (33)

人体生物摩擦学的问题与挑战 葛世荣 (46)

型号装备与航空发动机中摩擦学问题的挑战和对策

..... 王黎钦 (58)

摩擦学与生命质量 王成焘, 张文光, 陈 铭 (74)

装备制造发展中的摩擦学设计

高速切削加工过程中刀具的摩擦与磨损 艾 兴 (97)

铁路运输工程中的摩擦学设计

..... 周仲荣, 金学松, 刘启跃, 朱旻昊, 沈志云 (118)

动力设备中的摩擦学问题 陈 渭 (134)

摩擦学系统的状态辨识的现状与趋势

..... 严新平, 赵春华, 白秀琴, 袁成清, 萧汉梁 (141)

润滑、摩擦与耐磨新材料

高性能润滑材料的研究概况和发展展望

..... 陈建敏, 薛群基 (161)

高速铁路用摩擦材料的发展及对策	姚萍屏, 黄伯云 (175)
能源工业领域的耐磨新材料	
..... 陈华辉, 邢建东, 王得国, 高义民, 李学伟, 李 卫 (187)	
车辆摩擦副复合材料应用研究与展望	
..... 高诚辉, 张茂勋, 林有希 (200)	

摩擦学与资源、环境和可持续发展

军用装备的摩擦学基础研究及其应用	
..... 徐滨士, 马世宁, 朱 胜, 王海斗 (213)	
钢铁企业的摩擦学问题与可持续发展	陈祥斌, 赵 源 (231)
我国的水力发电与摩擦学问题 ... 李 健, 高万振, 卢进玉 (239)	
提速后铁路系统存在的若干关键摩擦学问题及对策	
..... 张永振, 戴宝林, 熊 伟 (250)	
润滑油新技术与中国经济的可持续发展	
..... 付兴国, 徐小红, 周旭光 (259)	
建设节约型社会要加强摩擦学教育	林福严, 任建华 (272)

主题报告

摩擦学科学与工程的发展与展望

张嗣伟

中国石油大学,北京,100083

swzhang@sohu.com

摘 要 大力发展摩擦学是我国建设循环经济与生态文明的需要。文章在简要回顾摩擦学产生的背景和阐明摩擦学的定义、内涵与学科特征的基础上,评述了在一般机械工程领域中的节能摩擦学和生态/环境摩擦学、在超常规的尺度或工况的极端领域中的微/纳摩擦学与极端工况下的摩擦学以及在非机械工程领域中的生物摩擦学/人体摩擦学的主要进展与发展趋势;从宏观上和战略上展望了我国摩擦学的发展前景,提出了我国摩擦学发展的新的历史使命,即:要成为我国节约资源、能源、保护生态环境、实现可持续发展的生态科技领域中的一支重要方面军。最后提出了8条促进我国摩擦学发展的对策和建议。

关键词 摩擦学科学 摩擦学技术 进展 对策

一、前言

1. 摩擦学产生的背景

(1) 社会背景^[1]。

1964年12月22日,H. P. Jost博士受英国教育与科学国务大臣Bowden勋爵的委托组成工作组,经过11个月的调查,查明了英国润滑教育和研究的现状,并就工业对这方面的需求提出了建议,所完成的报告(Jost报告)于1966年2月公开发表。报告的主要结论是:①重视润滑技术,每年在工业上可节约5亿英镑,并可大