

中国工程院咨询研究项目

摩擦学科学及工程 应用现状与发展战略研究

——摩擦学在工业节能、降耗、减排中地位与作用的调查

主 编 谢友柏

副主编 张嗣伟

 高等教育出版社

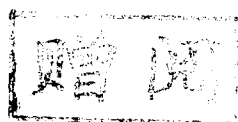
中国工程院咨询研究项目

摩擦学科学及工程 应用现状与发展战略研究

——摩擦学在工业节能、降耗、减排中地位与作用的调查

主 编 谢友柏

副主编 张嗣伟



 高等教育出版社

内容提要

中国工程院机械与运载工程学部于2006年立项进行“摩擦学科学及工程应用现状与发展战略研究”，参加咨询项目的有16位院士和全国许多院外专家。按现状调查和发展战略研究两个方面，分成11个分组对选定的8个工业行业开展工作。调查显示，2006年我国消耗在摩擦、磨损和润滑方面的资金估计为9500亿元，如果正确运用摩擦学知识，通过节能、降耗和减排，估计可以节省人民币3270亿元，占2006年我国国内生产总值（GDP）的1.55%。项目针对存在的主要问题研究提出了相应的发展战略目标、对策和建议。

本书包括一篇总报告和九篇分报告（详细摘要）以及项目组成资料。中国机械工程学会摩擦学分会于1982—1985年间曾经组织过一次全国摩擦学工业应用调查，当时，该调查报告没有正式出版，现作为本书附录出版。

图书在版编目(CIP)数据

摩擦学科学及工程应用现状与发展战略研究：摩擦学在工业节能、降耗、减排中的地位与作用的调查/谢友柏主编. —北京：高等教育出版社，2009.3

ISBN 978-7-04-026378-7

I. 摩… II. 谢… III. 摩擦学-研究 IV. O313.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第026889号

策划编辑 沈 俐 责任编辑 杜惠萍 封面设计 刘晓翔 责任绘图 尹 莉
版式设计 王艳红 责任校对 杨雪莲 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京市白帆印务有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 8.25
字 数 160 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2009年3月第1版
印 次 2009年3月第1次印刷
定 价 28.00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 26378-00

编委会名单

主 编 谢友柏

副主编 张嗣伟

编 委 林福严 高万振 王海斗

序

中国工程院咨询研究项目《摩擦学科学及工程应用现状与发展战略研究》(简称“咨询项目”,下同)是中国工程院机械与运载工程学部 2006 年的一个咨询项目,前后历时两年。咨询项目产生了一个总报告和 9 个分报告。这期间先后参加咨询项目工作的有中国工程院 16 位院士和中国机械工业联合会专家委员会主任朱森第、中国机械工程学会摩擦学分会理事长张嗣伟等许多院外专家。咨询项目按调查和战略研究两个方面,分成 11 个分组针对选定的 8 个工业行业开展工作。调查中得到被调查单位和包括中国机械工业联合会副会长陆燕荪等在内的许多同志的鼎力支持,所有参加研究的同志在这两年中都进行了艰难但是卓有成效的合作,没有这些支持与合作,就不可能有这本书。所以,这里首先要对大家所给予的支持与合作表示衷心的感谢。

摩擦学科学及工程应用涉及非常广泛的领域,咨询项目从一开始就将研究重点集中在装备制造和使用中摩擦学与举国关注的工业节能、降耗、减排之间的关系,同时也关注其对高新技术、国防实力和人的生活质量发展和提高的影响。对节能和降耗的后果折算成人民币以资比较,对排放的后果目前难以作出量化的估计。

调查显示,2006 年全国消耗在摩擦、磨损和润滑方面的资金估计为 9 500 亿元,其中如果正确运用摩擦学知识可以节省的人民币估计可达 3 270 亿元,占国内生产总值 GDP 的 1.55%,也就是说存在着巨大的节约潜力。这个结果是在调查之前没有料想到的。

近年来,各有关部门和全国摩擦学工作者做了很大努力,支持国家工业和高新技术、军事装备以及摩擦学科学本身的发展,也取得了令人瞩目的成果,但是如此巨大的潜力没有变成现实的经济效益和社会效益,存在问题明显的。主要有以下方面:

1. 全社会缺乏关于摩擦学的知识和摩擦学知识应用的意识。
2. 摩擦学的一些单元技术与工业发达国家相比差距较大。
3. 摩擦学设计没有真正进入各个工业领域,先进的技术不能得到应用。
4. 国民的摩擦学教育日益削弱,摩擦学教育体制缺失没有得到关注。

只要有运动的地方就有摩擦学。摩擦不仅消耗能量而且还产生磨损导致材料损失。润滑是解决摩擦磨损问题的一个重要技术手段,不正确地使用会造成润滑材料的过度消耗和一些其他后果。生产置换被磨损零件的材料(含失效的润滑材料)同样会消耗能量,增加排放。但所有这些都是随时发生并分散在许多不同的部门和地区,因而不像某些问题可以通过几项政策和少数几个部门就可以解决,而需要依靠全民的觉悟和行动。当然,这种觉悟和行动需要通过体制、政策和教育来逐步提高。

对此，项目组提出如下建议：

政府应当提高对摩擦学科学及其工程应用的重视，责成并督促主要有关部门在体制、政策、标准、研究重点，特别是在摩擦学教育上采取有效措施解决上述存在的问题。其中包括：

1. 建议国家发改委与科技部：

将摩擦学工程应用列入下一轮十大节能工程，将摩擦学作为重要的支撑和战略共性技术，列入科技支撑计划，并加大应用研究的投入。

在发改委节能司和科技部的有关部门增加有关摩擦学工业应用与科技管理的职能。

在能源消耗大的行业（如冶金、汽车等行业）建立以大型企业为主体，以节能、降耗和减排为主要目标的产学研一体化摩擦学国家工程中心。

在现有的清华大学摩擦学国家重点实验室和中国科学院兰州化学物理研究所固体润滑国家重点实验室的基础上，组建以摩擦学为方向的、与依托单位具有相对独立的运行机制的国家实验室。

选择和培植一两个企业，通过摩擦学技术的应用，提高企业在摩擦学工业应用方面的创新能力与管理水平并实现企业效益，以期达到典型示范效应。

采取措施使摩擦学学会成为政府部门的助手，联系和联合社会上的其他组织形成完善的、为企业服务的技术支撑与咨询、培训服务体系。

2. 建议国家发展和改革委员会和国家质量监督检验检疫总局：

建立在工业中必须应用摩擦学知识和技术，以实现节能、降耗、减排的政策和相应的法规，包括制定车辆和设备润滑油方面的政策和标准。

明确规定成套技术或产品引进时必须包括相关的摩擦学应用的最新知识和关键技术。

凡是在国内加工、销售与使用，并直接与节能、节材和环境保护有关的量大面广的产品或重大装备的研制与开发项目，必须经有关行业主管部门组织专家进行摩擦学设计的审查。

3. 建议教育部：

加强摩擦学的学历教育和继续教育，培养层次合理的摩擦学专门人才。

选定若干所大学设立摩擦学继续教育中心，定期对企业中的各级管理、技术人员和技工进行继续教育和岗位培训，以普及和更新摩擦学知识，强化摩擦学意识。

将摩擦学列为大专院校机械类和材料类专业的必修课（专业基础课）；引导和鼓励某些非机械类专业（如生物、医学、环境、化工等专业）学生选修摩擦学课程；将摩擦学设为“机械工程”一级学科中的二级学科。

摩擦学科学及工业应用的调查是一项很困难而复杂的工作。因为许多被调查单位根本没有所需要的数据，或虽然有一些数据但是不愿意提供。由于时间和经费的限制，咨询项目只能根据很小的样本进行推算。为了既不夸大问题又不缩小问题，咨询

项目参加人员对推算作了长时间认真反复的核对、讨论和研究。我们并不怀疑会有对调查结果和推算的质疑，但这已是我们目前所能达到的较为满意的结果。

咨询项目完成后，报告已经由中国工程院上报国务院，并得到国务院有关领导殷切的关注和批复。

为了让更多同志能够通过咨询项目产生的成果深入了解我国摩擦学科学和工程应用的现状，从而更积极地推动它们的发展，扩大咨询项目成果的影响，决定将研究成果编成本书出版。全书分两个部分：第一部分是总报告；第二部分是各个分报告的详细摘要。书后附录为 20 多年前的一个调查报告。

咨询项目立项之前，根据中国工程院徐匡迪院长的倡议，已经做过许多前期工作。其中包括 2004 年 6 月 20 日中国工程院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在上海科学会堂举办的“摩擦学工程科技论坛——润滑应用技术”工程科技论坛，2004 年中国工程院和国家自然科学基金委员会在北京香山举办的“摩擦学科学与工程前沿研讨会”。为给香山会议准备资料，武汉材料保护研究所于 2004 年 7—11 月间专门组织了一次部分工业行业的摩擦学调查，由于其中一些资料不能公布，调查报告没有发表。但是在咨询项目报告中，多处引用了调查的结果。香山会议论文集由高等教育出版社作为中国工程院《工程前沿》系列丛书第二卷于 2005 年出版。

需要提到的是，中国机械工程学会摩擦学分会在 1982—1985 年间曾经组织过一次历时 4 年的全国摩擦学工业应用调查，调查报告没有发表。咨询项目进行过程中曾经研究过这个报告，认为报告具有重要的历史价值。了解当时情况和对中国摩擦学科学和工程应用发展有一个历史的对比，有助于研究咨询项目的成果，所以将这个报告作为附录放在本书最后。感谢中国机械工程学会摩擦学分会同意我们发表这个报告。

希望一代又一代中国摩擦学人孜孜不倦的精神能够吸引更多年轻的科学家和工程师参加到这支队伍中来，把摩擦学科学及其工程应用推向一个又一个新的高潮。

谢友柏
2008. 11. 27

目 录

第一部分 总报告	1	3 我国摩擦学教育的现状	23
前言	3	与分析	23
1 我国摩擦学工业应用现状	4	3.1 大学的摩擦学教育	23
与分析	4	3.2 教师队伍和人才培养	24
1.1 摩擦学在冶金工业中的		3.3 教材建设	25
应用现状	5	3.4 继续教育和培训	25
1.2 摩擦学在铁道行业中的		3.5 主要成就与不足	26
应用现状	6	4 我国摩擦学科学与工程	26
1.3 摩擦学在汽车行业中的		发展战略	26
应用现状	8	4.1 摩擦学是节能、降耗、减排	
1.4 摩擦学在能源化工行业中的		的重要手段	26
应用现状	10	4.2 我国摩擦学发展的战略	
1.5 摩擦学在农业装备中的		目标	28
应用现状	13	4.3 关于我国摩擦学发展的	
1.6 摩擦学在船舶行业中的		对策和建议	29
应用现状	14	参考文献	31
1.7 摩擦学在军事装备中的		附录 项目组成员	33
应用现状	15	第二部分 分报告详细摘要	37
1.8 摩擦学在空天行业中的		冶金组调查报告	39
应用现状	16	1 现状调查	39
1.9 工业部门应用摩擦学的		1.1 摩擦学在冶金工业中的战略	
节约潜力	17	地位和重要贡献	39
1.10 摩擦学工业应用现状的		1.2 摩擦学在冶金工业中的	
总体评价	18	应用现状	40
2 我国摩擦学研究的现状	20	2 发展战略研究	43
与分析	20	2.1 总体思路	43
2.1 发展历程	20	2.2 战略目标和战略方向	43
2.2 国家自然科学基金对摩擦学		2.3 对策和主要措施	43
研究的支持	21	能源化工组调查报告	45
2.3 主要成就与贡献	22	1 研究现状	45
2.4 存在的问题和差距	22		

1.1 摩擦学在石油化工装备中的 应用现状	45	1.1 摩擦学对我国汽车节能的 影响	54
1.2 摩擦学在煤炭装备中的 应用现状	46	1.2 摩擦学对我国汽车寿命周期 的影响	54
1.3 摩擦学在电力装备中的 应用现状	46	1.3 摩擦学对我国汽车排放污染 控制的影响	54
2 摩擦学在能源化工装备中的 技术应用趋势	47	1.4 我国汽车工业与国外的差距 和存在的主要问题	54
2.1 摩擦学在能源化工行业比较 成熟且应该推广的技术	47	2 摩擦学技术在我国汽车工业 中的应用和现状分析	55
2.2 摩擦学在能源化工行业值得 研究并具有推广价值的 项目	47	2.1 新标准体系的应用推动汽车 摩擦学水平的提高	55
2.3 摩擦学在能源化工行业应该 投入并将会对国民经济产生 较大影响的项目	48	2.2 汽车设计过程中摩擦学技术 的应用	55
铁道机车组调查报告	49	2.3 汽车材料选择中摩擦学技术 的应用	55
1 摩擦学在我国铁路行业中的 地位和作用	49	2.4 汽车摩擦副制造过程中摩擦 学技术的应用	56
1.1 我国铁路发展现状和 发展趋势	49	2.5 我国的汽车工业应用先进的 摩擦学技术预计可产生的 效果分析	56
1.2 摩擦学在铁路行业中的地位 和作用	49	2.6 教育和培训对汽车摩擦学 的促进	58
2 铁道机车关键摩擦副的摩擦 学现状调查与分析	49	3 汽车摩擦学的研究结论和 发展战略建议	58
2.1 机车车辆轮轨摩擦副	49	3.1 汽车摩擦学的战略目标和 战略方向	58
2.2 电力机车弓网系统 摩擦副	50	3.2 汽车摩擦学的总体思路	58
2.3 内燃机车柴油机摩擦副	50	3.3 汽车摩擦学的对策和 主要措施	58
2.4 制动系统摩擦副	51	空天组调查报告	59
2.5 转向架摩擦副	51	1 调研方式及过程	59
2.6 铁路装备的润滑	52	1.1 网上调研	59
3 研究的初步结论与建议	53	1.2 问卷调研	59
4 结束语	53	1.3 现场询问调研	59
汽车组调查报告	54	2 调研结果	59
1 摩擦学在我国汽车行业中的 地位和作用	54	2.1 现状	59

2.2 发展战略思考	61	1.1 摩擦学在农业装备中的 战略地位和主要贡献	71
船舶组调查报告	62	1.2 摩擦学在农业装备中的 应用现状	72
1 现状调查	62	2 发展战略研究	74
1.1 摩擦学在船舶行业中的 战略地位和重要作用	62	2.1 战略目标和战略方向	74
1.2 摩擦学在船舶行业中应用的 现状	62	2.2 总体思路	74
2 发展战略研究	64	2.3 对策和主要措施	74
2.1 战略目标和战略方向	64	摩擦学教育调查报告	75
2.2 总体思路及主要措施	65	1 引言	75
军事装备组调查报告	66	2 主要调查结果	75
1 研究现状	66	2.1 招生情况的调查统计	75
1.1 摩擦学在军事装备中的战略 地位和重要作用	66	2.2 教师队伍统计	76
1.2 摩擦学在军事装备中的 应用现状	67	2.3 调查结果的普遍性估计	76
2 军事装备摩擦学的 发展战略	69	3 相关问题分析	77
2.1 战略目标	69	3.1 专业建设问题	77
2.2 总体思路	69	3.2 人才队伍问题	78
2.3 对策或主要措施	69	4 结论	79
农业装备组调查报告	71	附录	81
1 摩擦学在农业装备中的 应用现状调查	71	1986 年中国机械工程学会摩擦学 分会组织完成的《全国摩擦学 工业应用调查报告》	81

第一部分

总 报 告

前言

摩擦学 (tribology) 是研究作相对运动的、相互作用的表面上的各种现象 (主要是摩擦、磨损、润滑及其相关的现象) 产生、变化和发展的规律及其应用的一门科学和技术。它既是以自然界中普遍存在的摩擦、磨损和润滑现象为主要研究对象的一门涉及面很广的基础学科, 也是一门以节约资源、能源, 保护生态环境, 提高生命质量为主要研究目标的实用性很强的应用学科。目前, 它已成为许多科学、技术和工程领域的重要科学基础与技术支撑。

凡是有相对运动的地方就存在摩擦与磨损。国外统计资料表明: 摩擦消耗掉全世界 1/3 的一次性能源, 约有 80% 的机器零部件都是因为磨损而失效, 而且 50% 以上的机械装备的恶性事故都是起因于润滑失效和过度磨损。美、英、德等发达国家每年因摩擦、磨损造成的损失约占其国民生产总值 (gross national product, GNP) 的 2% ~ 7%^[1], 而在工业中应用摩擦学知识可节约的费用约占 GNP 的 1.0% ~ 1.4%^[2]。国外的经验表明, 大力开展摩擦学研究与应用可显著地节约能源和资源, 改善生态环境, 消除安全隐患, 提高生命质量。因此, 在全球面临日益加剧的资源、能源和环境问题的严峻形势下, 摩擦学的研究和工业应用受到发达国家的高度重视。

早在 20 世纪 80 年代中期, 在国家有关部委的支持下, 中国机械工程学会摩擦学分会曾对冶金、石油、煤炭、铁道运输和机械等 5 个摩擦与磨损损失较严重的行业进行过摩擦学应用调查。结果表明: 采取一系列技术和管理措施, 改善机械装备的摩擦学状态, 降低摩擦、磨损, 可取得明显的经济和社会效益, 1984 年, 我国工矿企业在摩擦、磨损和润滑方面的节约潜力约占 GNP 的 1.37%, 而其投入回报率高达 1:50^[3]。

20 多年过去了, 我国国民经济快速增长, 经济结构、装备总量和管理模式都发生了巨大变化, 各行业摩擦磨损造成的损失也相应增大, 参照欧美工业国家关于摩擦磨损造成的损失占其 GNP 的百分数的统计数字, 取其平均值 (4.5%), 按我国 2006 年国民总收入 (gross national income, GNI, 原称国民生产总值, 即 GNP) 211 808.0 亿元^[4] 估算, 我国 2006 年摩擦磨损造成的损失约 9 500 亿元。因此, 在当前国家的能源缺口越来越大, 装备制造业在国民经济中的作用越来越强的情况下, 大力开展摩擦学的工业应用, 对我国走新型工业化道路, 建设循环经济, 实现节能减排的发展战略具有十分重要的现实意义。为此, 必须尽快摸清我国工矿企业摩擦学工业应用的现状。

近年来, 中国工程院对摩擦学非常重视。2004 年初, 徐匡迪院长亲自主持召开了关于润滑方面的座谈会, 在他的倡议下, 当年又先后组织了两次关于摩擦学的全国性学术会议, 即在上海召开的摩擦学工程科技论坛和在北京召开的第二次摩擦学科学与工程前沿研讨会 (香山会议)。对一个学科的发展如此频繁地进行研讨, 在中国工

程院的历史上是极为少见的。正是在此背景下,2005年初,根据徐匡迪院长的倡议,谢友柏、薛群基、徐滨士三位院士建议将“摩擦学科学及工程应用现状与发展战略研究”列为中国工程院咨询项目,同年获中国工程院咨询委员会批准。此项目的研究目的是:以装备制造和使用中的节能节材为中心,了解摩擦学的工程应用情况,提出存在的问题及解决问题的建议。

本项目由徐匡迪院长担任顾问,机械与运载工程学部主任张彦仲院士任组长,谢友柏、薛群基、徐滨士院士任副组长,来自全国各高等院校、研究院所、大型企业和军事部门的33个单位的16位院士、63名专家直接参加调研工作,还有200余位在各个行业中的摩擦学专家、教授、工程技术人员和管理人员参加部分调研工作。项目组按照调研对象(行业)成立了冶金、能源化工、铁道机车、汽车、空天、船舶、军事装备、农业装备等8个课题组和负责全局数据综合分析的综合组以及策划组和秘书组。策划组主要协助项目组长组织项目的实施,此外,还承担了大专院校摩擦学教育现状的专题调研(即教育组的任务),并负责项目总报告的起草工作。

调研工作参照国外经验,并结合我国实际,采用面上调查和典型事例相结合的方法,选择若干有代表性、专业人员基础较好、统计资料较完整的企业,通过问卷调查、组织座谈和专题讨论,以及深入现场收集资料实地调查等多种方式开展调研工作。

项目于2006年1月正式启动,2007年10月结束,最后完成总报告1份,分报告9份。

通过调研,基本上摸清了我国冶金、铁道等8个行业的摩擦学工业应用的现状和存在的主要问题。根据本次调研数据测算,2006年我国工业领域应用摩擦学知识的节约潜力为3270亿元,占2006年我国国内生产总值(gross domestic product, GDP)的1.55%。为了充分发挥摩擦学在我国国民经济中的重要作用,在对调研数据进行深入分析的基础上,通过研究,提出了我国摩擦学发展的战略目标和若干建议。

本项目的完成得到了有关政府部门、军队机关、工矿企业、科研院所和大专院校的有关领导和专家的热心支持和帮助,中国机械工程学会摩擦学分会在整个项目的实施期间也做了大量工作,特此致谢。并向为完成本项目而无私奉献的全体项目组成员及其所在单位表示诚挚的谢意。此外,在项目总报告和部分分报告中引用了2004年武汉材料保护研究所为香山会议做准备而组织有关单位进行的部分工业行业摩擦学调查的数据,为此,谨向其表示衷心的感谢。

1 我国摩擦学工业应用现状与分析

从这次对冶金、铁道、汽车、能源化工、农业装备、船舶、军事装备、空天(即航空航天)等行业进行的调查结果得知,将摩擦学知识应用于实际生产中,通过

改善润滑、减小摩擦和磨损，不仅可取得显著的经济效益，而且对我国的经济安全、生态安全和国家安全都具有巨大作用。

1.1 摩擦学在冶金工业中的应用现状

冶金工业是我国国民经济的重要基础产业。2006 年，我国粗钢产量达到 4.2 亿吨，钢材产量达到 4.7 亿吨^[4]。2007 年 1 月，我国粗钢产量占世界总产量的 35.6%，已成为世界第一钢铁大国，为我国经济的快速发展做出了重要贡献。

但是，冶金工业也是能耗大户，近 10 年来，钢铁工业的能源消费量占全国总能源消费量的比重一直维持在 12% ~ 15%，单位增加值能耗是全部工业平均水平的 3 倍以上。

与摩擦学直接相关的能耗主要体现在以下三个方面：

第一，由于摩擦副磨损造成设备维修和备件消耗费用高（见表 1）。表 1 中 1999—2003 年的数据是根据 2004 年钢铁企业调查报告的统计结果，并在此基础上推算出 2005 年的数据。

表 1 由于磨损造成的设备修理及备件消耗费

年份	统计 企业数	钢材产量 /万吨	设备修理费 /亿元	备件消耗费 /亿元	吨钢修理费 /(元/吨)	吨钢备件消耗费 /(元/吨)
1999	61	10 773	135.68	99.6	125.94	92.45
2000	58	11 167	146	119.27	130.74	94.12
2001	57	12 285.8	148	105.1	120.66	85.11
2002	57	14 632.9	167.62	115.15	114.55	78.69
2003	54	15 889.3	174.63	121.61	109.9	76.53
2005	全国	37 000	406.63	283.16	取 2003 年值	取 2003 年值

第二，由于摩擦损耗造成润滑油（脂）消耗费用大。据 2003 年调查统计，我国钢铁工业生产每万吨钢需润滑油（脂）8 吨左右，其中国外油脂占润滑油（脂）实际消耗量的 21.2%，个别企业达 65.1%。依此推算，2005 年，我国钢铁企业需润滑油（脂）29.6 万吨左右，按吨价 4 000 ~ 7 000 元计，折合人民币 11.84 ~ 20.72 亿元。

第三，由于复杂的摩擦学过程造成轧辊辊耗高，事故率高。我国自行研制的冶金轧辊辊耗平均为 2.46 kg/t，是发达国家的 2.46 倍。

通过摩擦学的应用，对冶金工业的节能降耗做出了显著贡献。2003 年，我国钢铁行业的吨钢修理费为 109.9 元/吨，而 1999 年为 125.94 元/吨，即五年间吨钢修理费平均每年下降 3.21 元/吨；2003 年的吨钢备件消耗为 76.53 元/吨，而 1999 年为 92.45 元/吨，即五年间吨钢备件消耗平均每年下降 3.18 元/吨（见表 1）。

与此同时，冶金工业通过润滑油（脂）的升级换代和采用新润滑技术，创造了巨大的节能降耗效益。例如，2001 年，鞍钢大方坯连铸机采用油气润滑装置，以新研制的 YBS150 合成油气润滑油替代原来的两种进口油和一种国产脂，使轴承寿命提高 10~25 倍，最高达 34 倍，年效益达 600 余万元。国产 RY-M 环保型热轧油在鞍钢 1700 热轧机组试用 108 天，油耗降至 70~80 g/(吨·架)，轧制力降低 15%~20%，电耗降低 10%~15%，辊耗降低 25%~50%，产量提高 10%~30%。宝钢 2030 冷连轧机油膜轴承迷宫式密封系统升级再造，G1、G2、G3 机架支承辊油膜轴承密封改型，一次性节约资金达 81.6 万元，仅此项每年可节约资金 237.49 万元。

根据 2006 年我国钢材产量 4.7 亿吨计算，如果吨钢修理费降低到 100 元/吨，备件消耗费用降低到 75 元/吨，我国钢铁企业设备修理费用仍然高达 470 亿元，备件消耗费也高达 352.5 亿元，两项总计约 822.5 亿元。根据冶金行业的实践经验，通过应用摩擦学知识，使设备维修费和备件消耗降低 5% 是完全可能的，这样则一年就节约将近 41.13 亿元。由于我国钢铁企业用润滑油（脂）的水平差异较大，通过润滑油（脂）的升级换代和采用新润滑技术，将目前生产每万吨钢需消耗润滑油（脂）8 吨的全国平均水平降低 8% 是完全可能的，按 2006 年钢材产量 4.7 亿吨计，估计一年可节约润滑油（脂）3 万吨，按润滑油（脂）市场价格 0.4~0.7 万元/吨计算，折合人民币 1.2~2.1 亿元，今取其下限，即 1.2 亿元。我国自行研制的冶金轧辊辊耗平均为 2.46 kg/t，与发达国家的辊耗（1 kg/t）相比有较大差距，按 2006 年我国钢材产量 4.7 亿吨计算，辊耗比发达国家高出 68.62 万吨，折合人民币约 343.1 亿元。可见降低辊耗对于我国冶金工业节能降耗的潜力极大，如果将我国轧辊辊耗降低 10%，即达到 2.214 kg/t（仍大大高于发达国家的辊耗），2006 年全年即可挽回辊耗损失约 57.81 亿元。

此外，通过在冶金行业推广先进摩擦学技术，可以进一步发挥摩擦学对于节能降耗的作用。例如，若在全国新建的 45 条连铸机上推广鞍钢大方坯连铸机采用的油气润滑装置，可获年效益 2.7 亿元；鞍钢东烧厂通过对 360 m² 烧结机系统不同工况的润滑脂的配伍研究，对其关键设备滑道的润滑改用 SM 烧结机脂，前后代替轧机润滑脂、高温轧机润滑脂、极压锂基脂，设备生产能力提高 4 t/h，滑道滑板使用 31 个月，磨损轻微。其他装备也进行合理配伍，年获 330 万元的直接效益，全国 360 m² 以上烧结机有 30 余台，若采用此项技术每年可获经济效益将近 1 亿元。

综上所述，我国冶金工业通过摩擦学应用可以节省的费用估计为每年 103.84 亿元。

1.2 摩擦学在铁道行业中的应用现状

铁路运输是我国国民经济的大动脉。截至 2005 年底，我国铁路总里程达到 7.5 万公里。机车、客车和货车分别达到 17 473 台、41 974 辆和 548 368 辆。到 2010 年，

我国铁路网营业里程将达到 8.5 万公里，其中高速客运专线约 5 000 公里，铁路将采购 1 000 组动车组和 3 000 台内燃、电力机车，其中主要技术装备要达到或接近国际先进水平；到 2020 年，全国铁路营业里程将达到 10 万公里，其中高速客运专线 1.2 万公里。

据铁道部安检司调查，2003 年全年因车轮和钢轨损伤而更换所需的材料费及人工费用分别约为 34 亿元和 50 亿元。其中，钢轨的摩擦学失效（压溃、侧磨、波磨和剥离）占钢轨损伤量的 80% 以上，即 40 亿元以上。“十五”期间，我国钢轨用材基本维持在 110 万吨/年，其中用于大修和维修的钢材约 70 ~ 80 万吨/年。调查表明，淬火钢轨发生波磨较少，轨面打磨也可延长波磨钢轨寿命 50% 以上。如采用淬火钢轨、侧面涂油和适时的钢轨打磨等已成熟的技术，仅钢轨材料一项每年就可节约费用 20 亿元。如果加上减少钢轨更换的人工费，则通过摩擦学应用每年可节省钢轨更换费用 28.05 亿元。

车轮/轮箍摩擦副是铁路机车车辆的重要走行部件。运行中，车轮滚动，踏面和轮缘会不断发生磨耗，车轮在钢轨上滑动，还会造成踏面擦伤。目前，我国铁路机车、客车和货车共有 500 万只车轮/轮箍在运营中。仅 2006 年就消耗新轮 63.1 万只，平均以 0.5 万元/只计算，约 31.55 亿元。据北京铁路局丰台机务段统计，由于旧轮更换或镟轮维修，该机务段仅人工和材料费平均每台机车每年就需 5.2 万元。按 2005 年机车保有量 17 500 台推算，更换旧轮与镟轮维修费用达 9.1 亿元。若采用磨耗型车轮 [可节约 1.5 万元/(台·年)]、轮轨润滑装置 [可节约 1.0 万元/(台·年)] 及径向转向架 [可节约 5.8 万元/(台·年)] 等摩擦学技术，同样按机车保有量 17 500 台推算，每年可取得直接经济效益 14.53 亿元。

在内燃机车中，机械摩擦损失约占总损失的 70%，其中以活塞 - 气缸摩擦副最为突出，其次是曲轴 - 轴颈摩擦副。北京铁路局丰台机务段的调研表明：280 型和 240 型柴油机，每台的缸内摩擦副更换费用（含材料、人工费）分别为 15.18 万元和 10.38 万元。按全路约 1 500 台 280 型柴油机和 10 500 台 240 型柴油机推算，平均 1.5 年修一次，则柴油机缸内摩擦副一年的更换费用为 8.79 亿元。全国铁路系统的生产厂与科研单位合作，采用软氮化缸套 + 镀铬环 + 钢顶铝裙活塞和铸铁缸套 + 喷钼环 + 钢顶铝裙活塞两组摩擦副优化配副方案，使 DF8 型和 DF11 型机车走行公里数分别延长了 20 万公里和 25 万公里；活塞寿命从原来的 30 万公里，提高到 60 万公里。由于缸套、活塞和活塞环使用寿命的延长，每年每台车可节约材料与维修费用 1.42 万元。按 2005 年全国的内燃机车保有量推算，每年可节约 1.7 亿元的材料与维修费用。由于使用寿命的提高，满足了铁道部提出的内燃机车“一中一大”的修制改革的要求，如果全路 12 000 台内燃机车都实行“一中一大”的修制，那么在一个大修期内（平均按 4 年计）就可节省一次中修。平均中修费用按 25 万元计算，则每年可节约费用 7.5 亿元，这还未计及由于不进行中修增加运营时间所带来的收益。

在机车转向架摩擦副中摩擦损失最大的是抱轴机构，通过采用滚动抱轴取代滑动