

NSFC 机械工程学科表面工程领域科学 基金资助情况浅析

王国彪, 赖一楠, 宋建丽

(国家自然科学基金委员会 工程与材料科学部, 北京 100085)

摘要: 作为机械表面/界面科学的核心内容, 表面工程是机械工程学科较为基础和重要的研究领域之一。文中统计了国家自然科学基金委员会(NSFC)机械工程学科(E05)2013 年度表面工程领域的申报情况以及自 1986 年 NSFC 成立以来面上项目、青年科学基金和地区科学基金 3 类项目(以下简称“3 类项目”)的资助情况; 分析了表面工程领域基础研究资助特点及相关问题, 并提出相应建议。

关键词: 国家自然科学基金; 机械表面/界面; 表面工程

中图分类号: G311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9289(2013)05-0006-06

Review on NSFC Project of the Surface Engineering Research Field on Mechanical Engineering Discipline

WANG Guo-biao, LAI Yi-nan, SONG Jian-li

(Department of Engineering and Materials Science, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085)

Abstract: As a core content in mechanical surface/interface science, surface engineering is an important research field in mechanical engineering discipline. According to the data of accepted and funded three types of projects (General Program, Young Scientist Fund and Fund for Less Developed Regions) in 2013 and funded projects since 1986 in NSFC Mechanical Engineering Discipline(E05) of NSFC. This review analyzed the funding characteristics and related problems of fundamental research in surface engineering area, and some related suggestions were proposed.

Key words: National Natural Science Fund; mechanical surface/interface; surface engineering

0 引言

“上帝创造了物质, 魔鬼给了一个表面”。1945 年诺贝尔物理奖获得者 Pauli 的名言形象地说明了表面工程领域研究的复杂性和重要性。随着现代工业的发展, 对机械产品和装备的功能、极端环境适应性、精度与性能等提出了越来越高的要求, 表面工程研究成果在促进装备制造业产品结构的创新和功能的完善, 提高高端装备零部件及仪器仪表的性能和质量, 以及节能减排等方面都发挥了越来越大的作用^[1]。

自 1983 年表面工程的概念被首次提出, 中国

表面工程学科从无到有, 发展迅速。如图 1 所示, 1988 年我国《表面工程》创刊; 2000 年徐滨士院士提出“纳米表面工程”的概念; 2010 年 NSFC 在十二五规划中将“机械摩擦学”扩展为“机械表面界面科学与摩擦学”, 将摩擦学与现代表面工程相结合, 通过发现和阐明各种条件下表/界面现象的规律和原因, 建立能够描述其因果关系的普适性数理模型, 标志着表面工程基础研究进一步向深度和广度扩展^[2]。

作为材料学、摩擦学、物理学、化学、界面力学和表面力学、材料失效与防护、金属热处理学、焊

接学、腐蚀与防护学等交叉领域的综合研究领域,表面工程基础研究在 NSFC 诸多学科都有资助,如金属材料学科(E01)中二级代码“金属材料表面科学与工程(E0110)”、力学学科(A02)三级代码“表面、界面与薄膜力学(A020310)”、以及物理化学学科等。文中主要对表面工程研究领域2013年度在机械工程学科(E05)申请情况及1986年以来的科学基金资助情况进行统计分析,从基础研究角度剖析目前该领域研究特点,为未来该领域科学基金资助布局提供一定的参考。

NSFC expanded the “Mechanical Tribology” research field to “Mechanical Surface and Interface Science and Tribology” in the 12th Five-Year Plan.

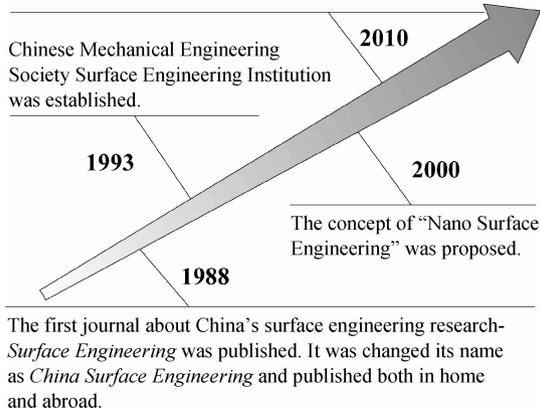


图1 中国表面工程领域发展历程

Fig. 1 Development history of surface engineering in China

1 2013年度评审简介

2013年度 E05 代码共接收 3 类项目申请 4 652 项。其中,面上项目申请 2 544 项(含青年一面上连续资助项目申请 33 项),比 2012 年度减少 21.02%;青年科学基金项目 1 816 项,同比增长 4.5%;地区科学基金 292 项,申请量同比增长 23.2%,增幅较大。

经同行评议和会评专家投票,共资助 3 类项目 1 053 项,资助经费 56 316 万元。其中,面上项目 521 项(包括青一面上连续资助项目 12 项),资助经费 41 682 万元,资助率 20.5%,平均资助强度 80 万元/项;青年科学基金 478 项,资助经费 11 950 万元,资助率 26.3%,平均资助强度 25 万元/项;地区科学基金 54 项,资助经费 2 684 万元,资助率 18.5%,平均资助强度 49.7 万元/项。

综合研究内容、方法和工艺等特点,可将在 E05 代码下表面工程领域申请的 220 个项目分为如下 12 类:①物理和化学气相沉积薄膜;②电化

学沉积、微弧氧化等液相表面处理;③喷涂及自动化表面工程;④化学表面热处理(渗氮/渗碳等);⑤三束表面改性、堆焊/熔覆等;⑥功能薄膜(光、电、磁);⑦表面织构;⑧分子薄膜/微纳表面工程;⑨摩擦、磨损与润滑;⑩表面腐蚀与防护;⑪生物/仿生表面工程;⑫交叉及其它(加工/测试等)。

按照上述分类方法,2013 年度表面工程领域申请/资助项目情况如表 1 所示。其中,三束表面改性、堆焊/熔覆、摩擦、磨损与润滑以及加工/测试等研究领域是面上项目的研究热点;分子薄膜/微纳表面工程、生物/仿生表面工程和表面织构是青年科学基金申请较多的方向。

为了进一步揭示表面工程领域的研究热点,对出现频率较高的关键词进行了统计,如表 2 所示。2013 年度表面工程领域的申请累计填报了 975 个关键词,其中“摩擦”、“涂层”、“纳米”、“润滑”出现频率最高,其次是“薄膜”、“织构”、“刀具”、“界面”等。可见大多数申请项目以涂层制备及其摩擦磨损、润滑性能等为研究内容,表面织构、刀具的表面性能及设计研究等也是研究较多的方向,微纳表面工程领域的研究受到越来越多的关注。

除了 3 类项目,2013 年度与表面工程领域相关的其他科学基金项目申请中,有 3 项申请国家杰出青年科学基金,1 项获批(吉林大学韩志武);6 项申请优秀青年科学基金,2 项获批(清华大学陈皓生、中国科学院兰州化学物理研究所王立平);7 项申报重点项目,2 项获批(中国科学院宁波材料技术与工程研究所薛群基、清华大学雒建斌)。

2 总体资助情况分析

2.1 3 类项目资助情况

1986~2013 年,E05 代码下表面工程领域 3 类项目的资助情况见图 2。可见自 NSFC 成立的第 2 年,即 1987 年起,就有表面工程类的项目获得资助。到 2013 年度,累计有 271 个项目获得资助。其中,面上项目 197 项、青年科学基金 61 项、地区科学基金 13 项。值得一提的是,青年科学基金近两年增长迅速,2012、2013 年分别有 10 项、24 项获得资助。从资助经费方面来看,随着我国基础研究经费的增长,表面工程领域的经费也快速增长,1986~2013 年间累积批准经费超过 1.07 亿元。特别是近 3 年资助的项目数量和经费都有大幅增长,分别占历年资助总量的 44.3%和 64.3%。

表 1 2013 年度表面工程领域 3 类项目申请/资助情况
Table 1 Projects application and fund of Surface Engineering in 2013

No.	Research	Accepted number/Funded number		
		General Program	Young Scientist Fund	Fund for Less Developed Regions
1	Physical and chemical vapor deposited film	10/3	5/1	0/0
2	Electrochemical deposition, liquid-phase micro-arc oxidation surface treatment	8/0	6/2	1/0
3	Spray surface engineering	4/0	4/3	1/0
4	Chemical surface treatment (nitriding / carburizing)	4/0	2/2	0/0
5	Three-beam surface modification, welding/cladding etc.	21/3	6/1	0/0
6	Functional film (optical, electrical, magnetic)	9/3	10/1	1/1
7	Surface texture	9/4	11/4	1/0
8	Molecular film/micro-nano surface engineering	8/4	16/4	2/1
9	Friction, wear and lubrication	12/1	10/3	3/3
10	Surface corrosion and protection	6/1	2/1	2/1
11	Biology/bionic surface engineering	10/2	15/3	2/0
12	Interdisciplinary and other (processing / test)	12/3	5/0	2/0
	Total	113/24	92/25	15/6

表 2 高频词排名及频次

Table 2 Rank and frequency of high frequency words

Rank	Key word/frequency	Rank	Key word/frequency
1	Wear/72	9	Ceramic/15
2	Coating/60	10	Corrosion/13
3	Nano/43	11	Laser cladding/10
4	Lubrication/30	11	Bionic/10
5	Film/26	11	Self-lubrication/10
6	Texture/22	14	Hydrophobic/8
7	Tool/20	15	Solid lubrication/6
8	Interface/19	16	Coupling bionic/5

图 3(a)所示为历年获资助项目按学科代码分布情况。从二级代码分布来看,机械摩擦学与表面技术(E0505)共有 138 项,占 50.9%;零件加工制造(E0509)共有 50 项,占 18.5%;零件成形制造(E0508)共有 35 项,占 12.9%;这 3 个代码合计占资助项目总数的 82.3%。可见摩擦学研究是表面工程类项目的一个重要的内容,这缘于表面工程研究的主要目的之一改善机械表面界面的摩擦、磨损和润滑性能。另外,零件加工制造和零件成形制造的项目合计占总数的 31.4%,说明表面工程基础研究与制造科学结合日趋紧密,应用范围不断扩大。

图 3(b)所示为历年获资助项目按研究内容分布情况。其中三束表面改性、堆焊/熔覆、摩擦、磨损与润滑、物理和化学气相沉积薄膜、生物/仿生表面工程等方面获资助项目较多。

2.2 依托单位分布

1986~2013 年,共有 93 个单位获得表面工程领域科学基金资助。其中,有 6 个单位获 3 类项目数量在 10 项以上,累计达 97 项,占项目总数的 35.8%,有 5 家单位的资助经费超过 500 万元,见表 3。

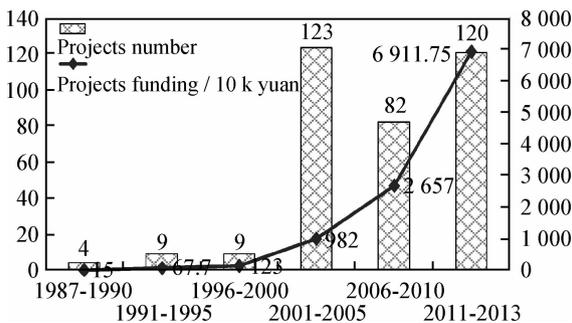
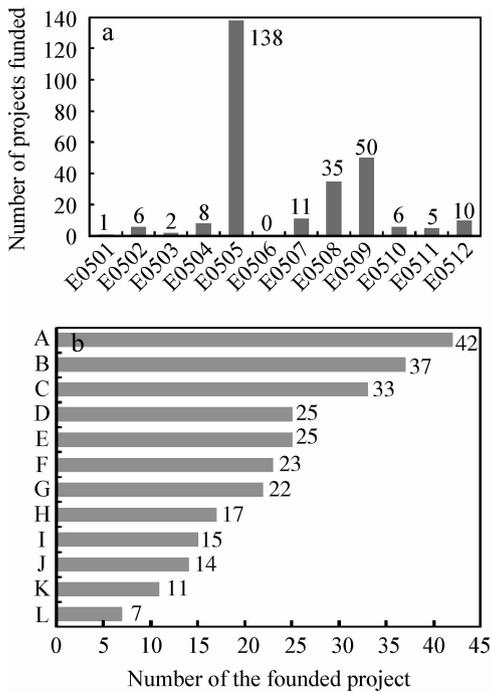


图 2 历年资助项目数目及资助金额分布

Fig. 2 Funded project number and fund over the years



A. Three-beam modification, welding/cladding etc. B. Friction, wear and lubrication C. Interdisciplinary and other (processing/test) D. Physical and chemical vapor deposited film E. Biology/bionic surface engineering F. Molecular film/micro-nano surface engineering G. Surface texture H. Functional film (optical, electrical, magnetic) I. Spray surface engineering J. Chemical surface treatment (nitriding/carburizing) K. Electrochemical deposition, liquid-phase surface L. Surface corrosion and protection

(a) Discipline code (b) Research content

图 3 历年获资助项目情况

Fig. 3 Funded projects distribution over the years

其中,排在前三名的 3 个研究单位在表面工程研究上各有特色和侧重。依托摩擦学国家重点实验室,清华大学在摩擦/磨损与润滑、薄膜/微纳领域的基础研究及应用基础研究方面实力雄厚;依托固体润滑国家重点实验室,中国科学院兰州化学物理研究所在薄膜材料和耐磨润滑表面改性技术的基础研究与军工固体润滑工程应用方面成果突出;在装备再制造技术国防科技重点实验室的支持下,装甲兵工程学院采用表面涂覆/表面改性或表面复合处理技术,在再制造基础理论和关键技术方面成绩斐然。

2.3 资助特点

(1) 前沿交叉领域发展迅速

随着表面工程新技术在信息技术、生物技术、

表 3 获资助项目数在 10 项以上的单位 (1986~2013)

Table 3 Organizations obtained projects over 10 (1986-2013)

Rank	Unit	Number of projects	Funding (10 k yuan)
1	Tsinghua University	20	586.2
1	Lanzhou Institute of Chemical Physics, CAS	20	804.0
	Armored Force		
3	Engineering Institute, PLA	16	601.0
	Nanjing University		
4	of Aeronautics and Astronautics University	15	631.0
5	Shanghai Jiaotong University	14	551.0
6	Harbin Institute of Technology	12	311.5

纳米科技等前沿领域的应用,表面织构分子薄膜/微纳表面工程和生物/仿生表面工程等方面的研究成为近年来新兴的热点方向。以 2013 年批准项目为例,分子薄膜/微纳表面工程,表面织构研究分别在面上项目和青年科学基金各获得 4 项资助。融合纳米材料与表面工程的纳米表面技术,兼具表面设计、加工背景的表面织构研究具有明显的学科交叉特征,也越来越受到学界的重视。另外,生物/仿生表面工程领域的申请和批准数目也占有较大的比重。几个资助项目较多的研究方向特点如表 4 所示。

(2) 摩擦学相关理论提供了重要基础保障

摩擦学是表面工程的重要基础理论之一,从已资助项目来看,表面工程研究一般从材料性能的角度解决结构的表面问题;摩擦学研究则注重摩擦副的功能,减少或增加界面的摩擦磨损,这两方面在很多研究方向中得到了很好的融合,例如薄膜、镀层、涂覆层方面的研究。此外,表面工程领域 50.9% 的获批项目集中在“机械摩擦学与表面技术(E0505)”这一申请代码。

(3) 具有研究优势的单位比较集中

从整体情况看,表面工程领域在科研院所研究队伍的布局不均。以近 5 年(2009~2013 年)获得资助的 169 个项目为例,有 78 个单位获得资

表 4 热点研究方向资助特点

Table 4 Features of funded projects in typical research area

Direction	Features and hotspots	Research
Nano surface engineering	(a) Nanotubes, nano-particles and other nanostructures synthesis and characterization. (b) Micro - Nano Film/Coating preparation and properties. (c) Nano surface, texture.	Multilayer DLC/chalcogenide solid lubrication film, Hydrophobic/super - hydrophobic organic thin films, Micro - and nano textured surface, Wear - resistant antifriction nanocrystalline composite layer, Copper thin films, MoSi ₂ nanocrystalline composite coatings, Modified nano graphene composite ionic liquid membrane materials, Nano - ceramic thermal barrier coatings, CrAlSiN nanocomposite coating, Electrodeposition of cobalt - based nano - alloy films
Coating/Film	(a) The research changes from the single coating to the composite coating. (b) Research about carbon, carbon - based thin films increased. (c) More researches focus on tool coating.	Metal/ceramic matrix composite coatings, Thin film composite multilayer with gradient, Solid - liquid compound lubricating film, Multi ceramic/alloy composite layer, DLC, Carbon - based multi - composite film coated carbide derived carbon gradient
Bionic/Biological surface engineering	(a) The researches about artificial joint interface increase. (b) More research focus on the structural design of biomimetic coatings.	MEMS functional surfaces, Biomimetic surface morphology increase friction layer, Wear - resistant composite biomimetic polymer coatings, Biomimetic polymer matrix amphiphobic, Composite coating, Bionic functional surface fine structure with multi - scale, Micro - osteoporotic femur interface / nano structure, Biological wear, flexible coupling surface crack arrest

助,平均每个单位获得资助 2.17 项,有 45 家单位近 5 年来仅获得 1 项资助。排名前 8 单位共获得 57 个项目,占项目总数的 33.7%,这说明部分具有研究优势的单位仍然是该领域的主力军。

(4)形成了一支老、中、青相结合的科研队伍

在国家自然科学基金的支持下,培养了一大批高素质表面工程基础研究领域科技人才,已成长为我国表面工程研究领域的领军人物或学术骨干,组成了一支以院士为带头人、中青年为主导的多学科结合、结构比较合理的研究队伍。

以机械工程学科为例,1986~2013 年度,学科共资助了创新研究群体 7 个,其中有 2 个来自表面工程相关领域,分别是中国科学院兰州化学物理研究所刘维民负责的“空间润滑材料与技术研究”群体(2004 年批准)和清华大学雒建斌负责的“微纳制造中的表面/界面行为与控制技术”群体(2007 年批准)。有 14 位与表面工程研究领域相关的学者获得国家杰出青年科学基金资助,占学科资助总数的 20.6%;自 2012 年设立国家优秀青年科学基金起,已有 3 名年轻学者获得资助,

占学科资助总数的 13.6%。

3 年度进展与成果

2012 年度共有 17 个涉及表面工程基础研究项目结题。其中,面上项目 12 项、青年科学基金项目 3 项、地区科学基金项目 2 项。3 类项目发表会议论文 91 篇,期刊论文 208 篇,其中 SCI 检索 111 篇(平均每个项目发表 SCI 期刊论文 6.5 篇);申请发明专利 31 件,获得发明专利授权 13 件。无论是论文还是专利,2012 年的结题项目相对于 2011 年在学术成果上有较明显的增长。这里介绍 2 个成果较突出的项目。

中国科学院兰州化学物理研究所薛群基院士负责的国家自然科学基金重点项目“界面减阻与表面行为机理(项目编号:50835009)”于 2013 年 1 月进行了结题验收,与会专家一致评价为优秀。该项目针对水下航行体阻力、噪声及海生物污损等问题,在疏水/超疏水涂层表面特性及特殊形状结构与流体阻力、流噪声及海生物粘附间的关系规律研究、疏水/超疏水表面流场数学模型建立及具有工程应用价值的流体界面减阻降噪防污的技

术和方法等方面取得了重要进展,突破了兼具减阻、降噪、防污功能的表面涂层技术的应用瓶颈,为提高我国在流体减阻、降低流噪声、海洋防污和防腐等方面的技术水平提供了很好的理论基础和技术支持。

南京理工大学熊党生完成的面上项目“聚乙烯表面仿生聚合物刷的构建及其生物摩擦学特性研究(项目编号:50975145)”,研究模仿天然关节软骨表层滑膜腔的刷型结构与功能,在人工关节摩擦材料—聚乙烯表面构建具有“再生”能力的聚合物刷,研究聚合物刷的摩擦学行为,优化聚合物刷构建工艺,丰富了仿生人工关节的技术和理论。项目共发表SCI论文8篇,出版专著1部,申请专利7件,培养硕士、博士研究生10名。

4 问题与建议

4.1 项目申报偏离学科资助范围

表面工程相关研究在不同的学科均有资助,一些研究内容主要为材料表面的组织、结构和性能,材料表面的性能及涂层等方面的项目,每年都有大量申请在机械工程学科进行申报。在此特别强调E05代码的项目申请一定要以机械设计与制造中的科学问题为载体,突出表面工程在机械工程领域的创新与应用。

4.2 盲目跟踪,创新乏力

不少项目研究内容是对国内外热点的盲目跟进。例如,随着纳米表面工程成为当前较热研究方向,在2013年表面工程申请项目中,题目含有“纳米”的申请项目有41项。但大部分申请集中在材料表面涂层制备、改性及其性能表征,模仿和跟踪研究多,属于原创性的研究少。项目的学术思想、研究方法和技术路线创新不足,盲目追求高、新技术,或是将一些看似先进、时髦的研究方法换一个地方而已。

建议申请者一定要正确把握自身所处的实际科研条件和自身的实力,结合自己的兴趣找准方向,切忌去为了创新而创新。

4.3 工程特点突出,科学问题提炼不足

作为机械表面/界面科学的核心内容,传统的表面工程理论以工程表面摩擦学、金属腐蚀学及机械零件失效分析方法等技术科学为基础,注重工程表面的性能和失效理论,但缺乏体现表面工程特征的表面/界面形成的物理、化学原理描述及

其数学表达,理论基础及其体系有待深入探索。体现在项目申请上,往往表现为申请书过多关注具体工程背景的技术细节,没有提炼出普遍科学意义的问题,绝大多数基金项目的选题局限在特定的研究对象或工况下,项目名称以“基于……的研究”居多。同样,在其他学科,如金属学科申请的项目也有类似的问题^[3]。

5 结语

在科学基金的资助下,我国表面工程基础研究领域在继承中创新,在创新中发展。瞄准当今的科学前沿,与信息、航空航天技术相关的机械表面/界面科学技术处于快速发展期;与其它学科交叉开辟新方向,纳米和生物表面工程研究不断向纵深推进;近年来我国学者更是显示出强大的研究实力和水平,在国际上已占有重要位置。但是作为是现代制造技术的重要组成与基础工艺之一,表面工程基础研究必须与各学科与技术领域紧密结合,才能发挥其支撑作用。目前,对表面界面的基本科学规律的认识和掌握还处于初级层次,还未形成完备的表面工程基础理论体系,表面工程基础研究的发展还任重道远。

未来几年在表面工程基础研究领域,学科将继续加大对基础好、基础研究能力强的中青年骨干的资助;注重与物理、化学、生物等学科的实质交叉;注重理论与实验研究间的协调;推进减摩、抗磨、绿色和环境友好的表面工程设计理论和单元技术创新发展;配合国家其它重大科技计划,着重解决重大装备和系统发展中面临的关键表面/界面科学和技术问题。

参考文献

- [1] 徐滨士. 神奇的表面工程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [2] 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部. 机械工程学科发展战略报告(2011~2020)[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [3] 郑雁军, 车成卫. 表面工程领域自然科学基金项目的申请和同行评议情况分析[J]. 中国表面工程, 2012, 25(1): 11-15.

作者地址: 北京市海淀区双清路83号

100085

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部

Tel: (010) 6232 8356

E-mail: laiyn@nsfc.gov.cn