

· 管理纵横 ·

国家自然科学基金工程与材料 领域重大项目回顾与体会

王国彪*

(国家自然科学基金委员会工程与材料科学部, 北京 100085)

[摘要] 重大项目是国家自然科学基金的重要资助类型,通过汇聚创新力量、开展多学科交叉研究,对解决事关国民经济建设、社会可持续发展和科技进步中关键科学问题,进一步提升我国基础研究源头创新能力都具有战略意义。重大项目一直伴随着国家自然科学基金委员会(以下简称“NSFC”)的成长而发展。本文以工程与材料科学部(以下简称“DoEMS”)历年来批准的71项重大项目数据为基础,详细分析了这些重大项目所涉及的主要研究议题、项目负责人及依托单位的基本分布、资助特点等,给出了其中几项主要研究进展与突出成果。最后,对重大项目的良性发展谈了三点体会。

[关键词] 科学基金;重大项目;工程与材料;回顾;体会

自然科学基金重大项目(以下简称“重大项目”)是国家自然科学基金的重要资助类型,面向国民经济建设、社会可持续发展和科技发展的重大需求,汇聚创新力量,开展多学科综合研究和交叉研究,解决具有战略意义的关键科学问题,充分发挥导向和带动作用,进一步提升我国基础研究源头创新能力^[1]。这类项目最初来源于原国家科委、原国家教委和中国科学院(以下简称“CAS”)推荐的一批综合性强、学科交叉明显的联合申请项目^[2]。“六五”期间,原国家科委新技术局针对我国经济建设中亟待解决的能源、化工、材料、生物技术等领域的重大科学技术问题组织了20项跨学科、跨部门的基础性联合研究项目^[3]。CAS原基金局以发挥多学科联合研究优势形成拳头为目标,提出组织22项重大综合性基础研究项目。为适应这类项目组织管理的需要,1986年NSFC成立后,设立了重大项目类别。重大项目的设立顺应了国家目标需要和基础研究发展趋势的要求,成为将科学家自由探索研究活动引导到服务国家整体、长远目标的重要举措,成为科技支撑经济社会可持续发展的重要引擎,成为引领我国基础研究重要前沿方向和解决经济社会发展中的重大科学问题的重要支撑。同时,重大项目的设立加大了对

战略性基础研究的支持力度,凝聚了科研力量,培养和锻炼了优秀科技人才,促进了科技成果转化^[4]。

1 资助概况

1.1 数据来源及说明

1986—2000年的数据来源由NSFC计划局组织撰写出版的《国家自然科学基金重大项目简介》(1986—2000)^[5-7]和文献[8];2001—2005年的数据来源于文献[9];2006—2017年的数据来源于NSFC年度报告^[10],同时参考“科学基金网络信息系统(<http://isisn.nsf.gov.cn/egrantweb/>)”数据。经费数据是指当年NSFC的批准经费,不包括项目追加经费和与其他部门联合资助的研究经费,其中2014年以后为直接经费(不包括间接经费)。医学科学部成立于2009年^[11],从2010年开始才有其独立的申请代码,在此之前批准的重大项目均归属生命科学部的统计数据中。

1.2 NSFC 重大项目资助概况

据统计,重大项目自设置至今,NSFC已累计批准项目434项,课题2166个,批准经费近40亿元,如表1所示。其中,近十年来(2008—2017),共批准重大项目203项,课题833个,批准经费超过30亿元,占总批准经费的77.94%。

收稿日期:2018-04-19;修回日期:2018-07-31

* 通信作者,Email: gbwang@nsfc.gov.cn

在这些批准的项目中,涉及工程与材料领域的重大项目71项,批准经费约5.9亿元,分别占比16.36%和14.90%,如表2所示。批准项目数量同生命科学部相当,并列NSFC 8个科学部之首。

1.3 DoEMS 重大项目资助概况

NSFC成立以来,DoEMS共批准重大项目71项,

课题389个,分布于其所属的9个学科(表3),平均每个课题经费为151.86万元。其中,材料领域3个学科共批准31项,177个课题,批准经费23636.55万元;工程领域6个学科共批准40项,212个课题,资助经费35436.00万元。材料领域3个学科在批准项数和批准经费占比高于工程领域6个学科。近十年

表1 NSFC 重大项目资助概况一览表

年限	批准项数	课题数量	批准经费(万元)
七五(1986—1990) ^[5]	87	575	12 299.60
八五(1991—1995) ^[6]	38	217	9 730.00
九五(1996—2000) ^[7]	63	328	32 840.00
十五(2001—2005) ^[8]	43	213	32 610.00
十一五(2006—2010)	44	164	44 000.00
十二五(2011—2015)	96	400	164 513.81
十三五(2016—2017)	63	269	100 490.28
合计(1986—2017)	434	2 166	396 483.69
近十年合计(2008—2017)	203	833	309 004.09
近十年占比(%)	46.77	38.46	77.94

表2 NSFC 重大项目各科学部占比一览表

科学部名称/代码	批准项目		资助课题		批准经费	
	数量	比例(%)	数量	比例(%)	数量(万元)	比例(%)
数理/A	64	14.75	321	14.82	56 090.75	14.15
化学/B	66	15.21	394	18.19	63 156.59	15.93
生命/C	71	16.36	274	12.65	50 783.00	12.81
地球/D	66	15.21	307	14.17	65 955.30	16.64
工程与材料/E	71	16.36	389	17.96	59 072.55	14.90
信息/F	59	13.59	317	14.64	54 575.75	13.76
管理/G	17	3.92	82	3.79	17 098.00	4.31
医学/H	20	4.61	82	3.79	29 751.75	7.50
合计	434	100.00	2 166	100.00	396 483.69	100.00

表3 DoEMS 重大项目资助数据

领域	学科名称/代码	1986—2017				2008—2017			
		批准项数		批准经费(万元)		批准项数		批准经费(万元)	
		数量	比例(%)	数量	比例(%)	数量	比例(%)	数量	比例(%)
材料	金属材料/E01	13	18.31	8 847.15	14.98	4	12.90	5 357.15	12.13
	无机非金属材料/E02	9	12.68	7 428.00	12.57	4	12.90	5 588.00	12.65
	有机高分子材料/E03	9	12.68	7 361.40	12.46	4	12.90	5 561.40	12.59
工程	冶金与矿业/E04	7	9.86	5 394.00	9.13	3	9.68	3 944.00	8.93
	机械工程/E05	8	11.27	6 291.00	10.65	3	9.68	4 491.00	10.17
	工程热物理与能源利用/E06	7	9.86	6 866.00	11.62	4	12.90	5 566.00	12.60
	电气科学与工程/E07	6	8.45	6 710.00	11.36	4	12.90	6 060.00	13.72
	建筑环境与结构工程/E08	5	7.04	4 280.00	7.25	2	6.45	3 000.00	6.79
	水利科学与海洋工程/E09	7	9.86	5 895.00	9.98	3	9.68	4 595.00	10.40
合计	71	100.00	59 072.55	100.00	31	100.00	44 162.55	100.00	

来,DoEMS 共批准重大项目 31 项,课题 130 个,批准经费 44 162.55 万元。其中,材料领域 12 项,每个学科 4 项,批准经费 16 506.55 万元;工程领域 19 项,平均每个学科 3.2 项,批准经费 27 656.00 万元。截至 2017 年底,已结题的重大项目 50 项,在研重大项目 21 项(材料领域在研 8 项,工程领域在研 13 项)。

2 DoEMS 资助情况分析

2.1 批准项目与经费年度分布

1986—2017 年 32 年间,DoEMS 批准的重大项目年度分布情况如图 1 所示,年批准项数为 2.2 项。其中,1987 年为 6 项,2017 年为 7 项,是批准项数最多的两年;“七五”和“十二五”期间,每年都批准重大项目。但由于种种原因,有七年(1991 年、1995—1996 年、2001—2002 年、2006—2007 年)未批准重大项目。

2.2 依托单位分布

工程与材料领域批准的 71 项重大项目分布在 43 个依托单位。其中,高等院校 44 项,项数占比 61.97%;CAS 系统 21 项,项数占比 29.58%;其他 6 项,项数占比 8.45%。按批准经费排序前 10 个依托单位如表 4 所示。这 10 个依托单位的批准项数和批准经费分别占总批准项数和批准经费的 43.66% 和 47.53%。

从课题依托单位的分布来看,清华大学、CAS 金属研究所和西安交通大学承担的课题数量排名前三。说明这三家单位在工程或材料领域具有较强的基础研究实力和广泛的领域分布。

2.3 项目负责人平均年龄分布

71 项重大项目有 66 位项目负责人,除叶恒强承担 3 项,曹楚南、胡壮麒、孙元章均为 2 项外,其他项目负责人均只承担 1 项重大项目。他们均具有教授或研究员职称。其中,两院院士 3 人(师昌绪、严东升、侯祥麟),中国科学院院士 22 人,中国工程院院士 18 人;拥有博士学位 45 人,占比 68.18%。批准当年科学部重大项目负责人的平均年龄为 59.28 岁,其中最大年龄 80 岁、最小年龄 36 岁。项目负责人

表 4 DoEMS 重大项目批准经费排名前 10 的依托单位

序号	项目依托单位	批准项数	课题数量	批准经费(万元)
1	CAS 金属研究所	11	27	5 830
2	清华大学	5	52	3 650
3	中国科学技术大学	2	3	3 088
4	北京航空航天大学	2	4	3 066
5	东北大学	2	4	2 598.9
6	CAS 长春应用化学研究所	2	2	2 300
7	上海交通大学	2	10	2 291
8	西安交通大学	2	23	2 060
9	中山大学	2	2	1 600
10	中国农业大学	1	2	1 595

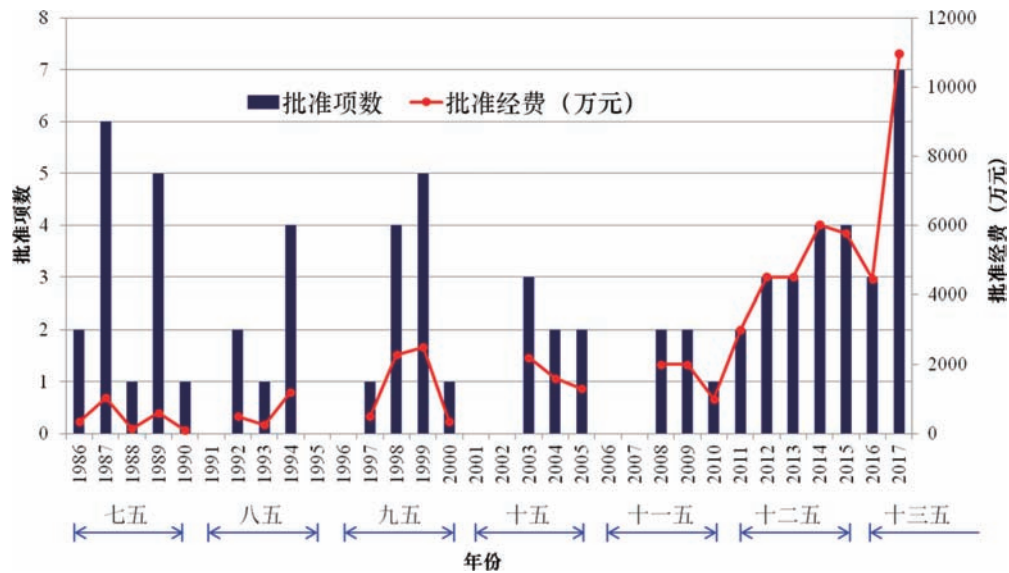


图 1 DoEMS 批准的重大项目年度分布

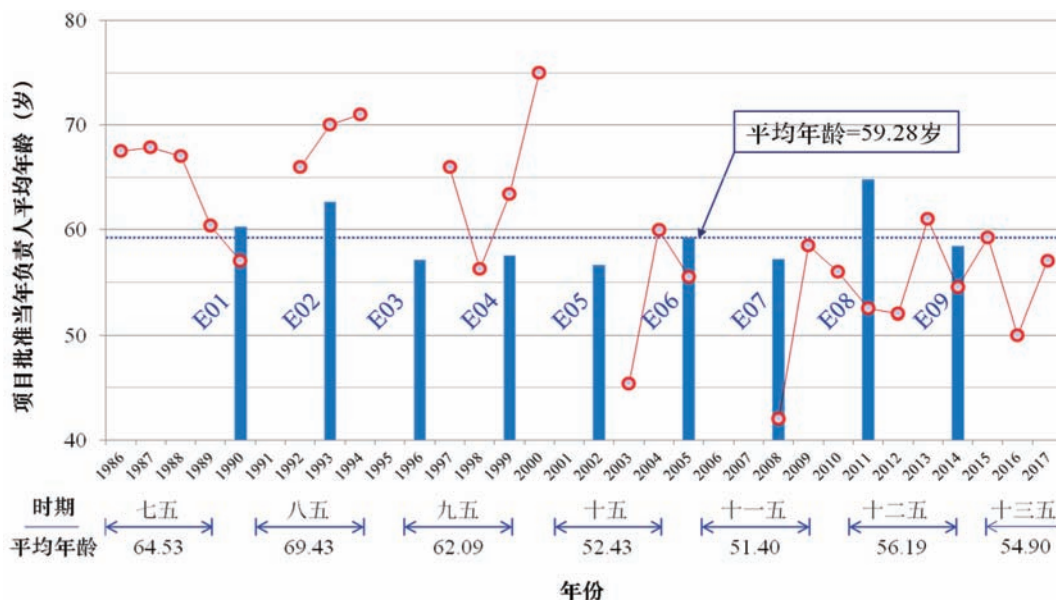


图2 负责人平均年龄分布

平均年龄分布如图2所示。图中,柱状图表示各学科项目负责人的平均年龄,折线图表示批准当年项目负责人的平均年龄。有3个学科(E01、E02、E08)超过了平均年龄,机械工程学科(E05)项目负责人平均年龄最小(57.11岁),工程热物理与能源利用学科(E06)项目负责人平均年龄同科学部重大项目负责人平均年龄相当,建筑环境与结构工程学科(E08)负责人平均年龄最大(64.80岁)。“九五”之前的项目负责人平均年龄普遍较高,“九五”之后,除2004年、2013年外,其他年份的项目负责人平均年龄都低于科学部重大项目负责人的平均年龄,并呈年轻化趋势。近十年来,DoEMS批准的重大项目负责人的平均年龄为55岁。

2.4 资助强度

随着国家财政对科学基金经费投入的增加,以及重大项目平均课题数量的减少,重大项目平均资助强度和课题平均资助强度也在逐年增加(图3)。一方面,项目平均资助强度由“七五”期间的不足150万元/项,增加到2017年的1500万元/项,增长10倍;课题平均资助强度由“七五”期间的不足20万元/项,增加到2017年的360万元/项,增长18倍。另一方面,重大项目平均课题数由“七五”期间的近8个/项,下降到2017年的4个/项,减少近一半。由于重大项目的批准经费最终是分配到各个课题上,这样,在保证重大项目资助强度的同时,通过减少课题数量,提高课题的资助强度,有利于更加聚焦项目研究内容和研究目标。“十一五”以后,课题平均资助强度就超过了200万元/项。

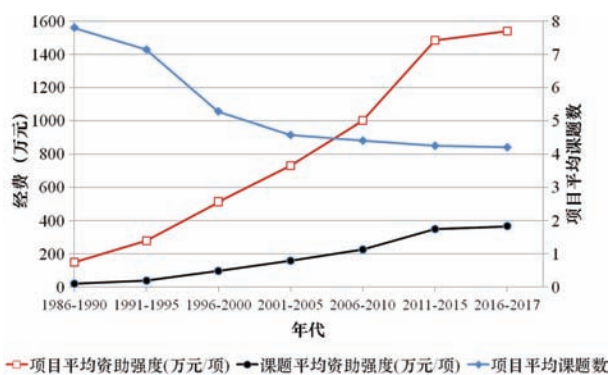


图3 平均资助强度变化趋势图

2.5 主要研究对象和研究内容

体现国家重大需求是重大项目立项的基本点之一。针对国家急需的一些战略需要和制约经济、社会发展的关键瓶颈和“卡脖子”技术,近十年来,DoEMS及时启动了一批涉及材料与工程领域前沿探索和应用需求的重大项目,其主要研究对象和研究内容如表5所示。

2.6 交叉研究趋弱

一方面,重大项目是针对国家急需的一些战略需要,侧重支持一个科学部解决不了的学科交叉问题研究;另一方面,工程与材料领域的基础研究严重依赖数学、物理、化学等基础学科的知识支撑,同时与信息和管理学科亦存在深度交叉。在重大项目立项过程中,NSFC有意识地将不同学科领域的科学家组织在一起,为交叉学科研究与发展创造条件。如在“九五”期间组织的50项重大项目中就有23项为跨科学部交叉研究项目^[12]。近20年(1998—

表 5 近 10 年来 DoEMS 各学科立项资助的重大项目涉及主要研究对象和研究内容

学科代码*	研究对象	研究内容
E01	① 金属材料;② 界面结构;③ 永磁材料;④ 轻合金	① 多尺度设计,亚埃尺度结构与性能表征,强韧化机制;② 亚埃分辨,电磁性能,催化性能,力学性能;③ 多主相混合可控制备,相结构,晶体结构,内禀磁性,磁结构,磁畴结构;④ 薄带连铸,亚快速凝固,非平衡相变,组织性能一体化调控
E02	① 透明激光陶瓷材料;② 二维原子晶体;③ 热障涂层;④ 钙钛矿	① 材料设计,微结构,性能调控;② 材料制备,物理和化学特性,光电特性,光电器件;③ 损伤机制,寿命预测,设计与制备技术;④ 磁、电和光多功能特征,电磁耦合,铁电光电效应,多态存储
E03	① 有机/无机复合半导体材料;② 生物医用高分子材料;③ 响应性高分子材料;④ 大型航空轮胎	① 分子设计与简易制备,聚集态微结构和界面电子结构调控,薄膜晶体管,太阳能电池;② 纳米药物载体,抗肿瘤;③ 结构调控,检测诊断,信号放大,超分子自组装;④ 纳米复合和纤维增强复合,结构设计,成型制造
E04	① 钒钛资源;② 页岩油气;③ 电磁冶金	① 强化迁移,有效分离,综合利用;② 钻井,渗流,储层改造;③ 凝固组织演化,固态相变,形核,晶体生长
E05	① 微创手术器械;② 高性能电子装备;③ 航天薄壁构件	① 交互作用,仿生界面,精确制造,服役性能;② 功能形面,结构设计,电性能,机电耦合,精度分析;③ 材料—结构一体化设计与制造,材料—结构匹配设计,形性协同制造,性能精确调控
E06	① 新型低温制冷;② 气固湍流燃烧;③ 太阳能利用;④ 航空轴流压气机	① 交变流动制冷,热驱动制冷,混合工质制冷,能量转换机制,新工质及先进制冷循环;② 燃料颗粒,多尺度特性,多尺度耦合,动力学特性;③ 全光谱利用,太阳能吸收与转换,能量耦合原理;④ 气动布局,非正常涡升力,对转激波增压压气机,流动稳定性,流动控制技术
E07	① 大规模风电网;② 大容量电力电子装置和系统;③ 高功率密度电机系统;④ 超高功率 Z 箍缩驱动源	① 大规模风电接入,随机—确定性耦合,预测与建模,稳定性机理,运行与控制;② 混杂系统,多时间尺度,动力学行为,建模、分析与设计方法;③ 多物理场分析,综合设计,可靠与高品质运行;④ 脉冲功率技术,高功率脉冲,快直线型变压器驱动源,总体设计与参数优化
E08	① 饮用水;② 超低能耗建筑	① 复合污染,毒理效应,风险控制,工艺基础;② 极端热湿环境,建筑热工设计,强辐射场,高耐久性混凝土
E09	① 工程水文;② 大型深海结构;③ 西北内陆干旱区规模化节水灌溉	① 变化环境,水文过程变异,水文频率计算,风险分析;② 大幅表面波,内波流场,流固耦合,水动力学特性;③ 水盐运移,作物水盐响应,节水控盐灌溉,暗管排盐,灌排协同调控

* E01-E03 为材料科学研究领域;E04-E09 为工程科学研究领域

2017)来,DoEMS 共立项资助了 49 个重大项目,设置了 227 个研究课题。如图 4 所示,这些项目分别与数理(A)、化学(B)、地球(D)、信息(F)和管理(G) 5 个科学部相关学科进行交叉,DoEMS 内部相关学科也设置了交叉研究课题,如图中实线所示。与此同时,数理(A)和信息(F)科学部立项资助的重大项目同工材科学部(E)相关学科开展了交叉研究,如图中虚线所示。如 1998 年,CAS 物理研究所(申请代码 E01)的两位专家承担了数理科学部立项资助的“巨磁电阻的物理、材料研究及其在信息技术中的应用(批准号:19890310)”重大项目;1999 年,西安交通大学朱均(申请代码 E0505)承担了数理科学部立项资助的“大型旋转机械非线性动力学问题(批准号:19990510)”重大项目;CAS 半导体研究所刘忠立

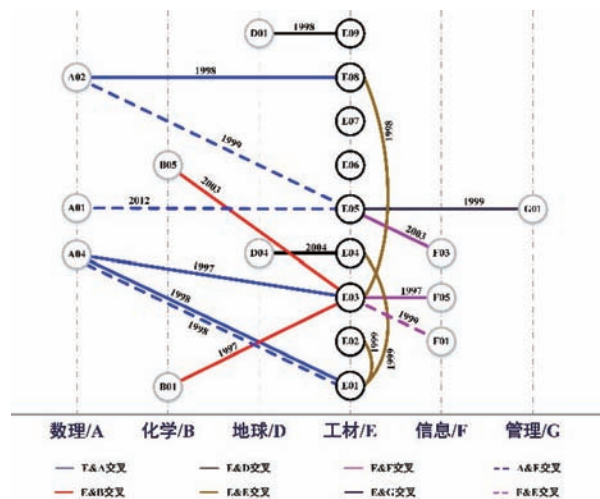


图 4 近 20 年来工程与材料科学部重大项目交叉研究示意图

(申请代码 E03)承担了信息科学部立项资助的“WDM 全光网基础研究(批准号:69990540)”重大项目。

2005年之后,由于重大项目立项流程的变化,导致重大项目交叉研究趋弱。近十年来,除2012年机械工程领域(申请代码 E0510)的两位专家承担了数理科学部立项资助的“基于流线场共轭映射的复杂曲面高精度数控加工新方法(批准号:11290140)”重大项目两个课题外,DoEMS批准的重大项目设置的130个课题,没有一个课题选择其他科学部的申请代码。这与以往相比,在某种程度表明重大项目的交叉研究存在趋弱现象。

3 典型成果与突出进展

在项目组的努力工作下,DoEMS立项资助的重大项目都按计划要求完成了研究任务,研究工作促进了我国工程与材料领域学科发展、科技进展、人才培养和队伍建设^[13-18],在此仅列举几项典型研究成果。这些研究成果既提升了我国基础研究源头创新能力,又在解决了具有战略意义的关键科学问题的同时,充分发挥了科学基金导向和带动作用。

材料腐蚀问题每年都给人类社会带来巨大的经济损失。材料在自然环境中的腐蚀数据积累及腐蚀与防护研究工作,是经济建设中不可缺少的一项长期的基础性工作,有明确的应用前景和重大的经济效益。在NSFC原副主任、著名材料学专家师昌绪院士等科学家的积极倡导与推动下,从“七五”到“十五”期间,通过与CAS、原冶金工业部、原化工部等多个部委联合资助,几十所研究单位及高等院校共同承担了一批重大项目“材料在大气、海水、土壤环境中腐蚀数据积累及腐蚀与防护研究”(批准号:9587001)、“金属腐蚀与防护机理若干问题的研究”(批准号9587004)、“我国自然环境材料腐蚀积累及基础研究”(批准号:59290900)、“材料在我国自然环境中的腐蚀数据积累及规律性研究”(批准号:59899140)、“材料自然环境腐蚀规律与行为预测研究”(批准号:50499330),持续开展材料腐蚀规律和腐蚀基础数据积累的研究。通过几十年的研究与积累,建设了我国材料自然环境试验研究基地,积累了大量的基础数据,建立了材料自然环境腐蚀数据库。研究成果不仅在经济和国防建设中发挥作用,如直接为三峡工程建设及“西气东输”工程等众多大型工程建设提供科学依据,而且培养了一大批中、青年科技骨干。组建的全国材料环境腐蚀试验站网(以下简称“腐蚀站网”)挂靠在NSFC并得到了科学

基金项目的长期稳定资助与支持。2009年,腐蚀站网被纳入科技部国家科技基础条件平台建设项目,成为我国最完善的自然环境腐蚀研究平台。在前期研究基础上,以北京科技大学李晓刚团队为代表的研究队伍继续开展此项研究工作^[19],提出了腐蚀大数据原创性概念以及利用腐蚀信息学或腐蚀基因组工程建立基于物联网的腐蚀学科新模式。腐蚀数据共享、腐蚀大数据规律研究,将有可能配合方兴未艾的材料基因组计划研究,不仅能更好地设计材料,也能更好地控制材料的服役和失效,为人类更好地服务。

金属材料作为人类很早就开发使用的材料不仅有悠久的历史而且仍然在不断发展进步之中。不仅国家基础建设对金属材料有量大面广的需求,航空航天和国防等尖端科技对高性能关键金属材料也提出了更高要求。金属材料的强韧性是所有材料中最高的而且目前看来无法被替代。强韧性问题是金属材料永恒的主题。CAS金属所张哲峰负责的重大项目“金属材料强韧化的多尺度结构设计及制备(批准号:50890170)”的实施顺应了这样的潮流,为古老的金属材料带来了新的面貌和生机。该项目选择三种典型结构组织的金属材料体系,即片层组织、梯度组织和混合组织结构金属材料作为研究对象,通过多尺度多层次结构设计,在金属材料中实现强度与韧性同时提高,突破金属材料强度与韧性不可兼顾的瓶颈。该项目在材料制备、微观结构表征、变形与断裂机制及计算模拟等方面也取得新的进展^[20]。项目执行期间,总计发表SCI论文230余篇,其中包括*Science*论文3篇、*Nature*、*Prog. Mater. Sci.*、*PNAS*、*Sci. Reports*论文各1篇、*Acta Mater.*论文41篇、*Scripta Mater.*论文54篇,并培养多名优秀人才。

功能晶体是信息时代的物质基础,晶体功能性质及应用与其对称性有密切关系。晶体材料研究在向低维化、复合化发展的同时,低对称性晶体强烈的各向异性及其应用前景是一个亟待开发的广阔研究领域。在重大项目“功能晶体的低对称性特性、生长规律研究及其应用探索(批准号:50590400)”的资助下,山东大学王继扬和CAS理化技术研究所陈创天等人在深紫外非线性光学氟硼铍酸钾(KBBF)晶体生长和应用研究方面获得突破,使KBBF晶体成为我国第一个向西方国家“禁运”的高技术产品^[21],首次获得有效深紫外激光输出,并开发了多种深紫外科学仪器,为我国相关高技术产业奠定了基础。他

们还将激光自倍频晶体硼酸钙氧钷钆推向实用,这是国际上低对称晶体和复合晶体应用的首例。*Nature* 期刊对此发表专评认为^[22]:这是一块完美的晶体,它确实可以使整个领域向前发展,其他国家晶体生长研究,目前看来还无法缩小与中国的差距。

探索先进手术器械创新设计与仿生制造的科学原理是引领手术模式变革的重要手段。天津大学王树新负责的重大项目“精准微创手术器械创成与制造基础(批准号:51290290)”以微创手术器械为载体,将精(安全接触、精确制造)与准(准确定位、灵活操作)融入手术器械设计与制造之中,深入开展微创器械设计理论与制造新原理研究,为医工结合基础研究奠定了良好的科研基础。项目组研制的国产手术机器人“妙手 S”系统已顺利完成了胃穿孔修补术、阑尾切除术、胆囊切除术、右半结肠癌根治术等多例手术,创造出适合微创手术环境的微创手术器械,将其应用于微创手术机器人以及经自然腔道微创手术系统中,并进行相关动物实验。项目执行期间,在具有影响力的国际会议上作特邀报告 19 次;发表论文被四大检索系统(即 SCI、EI、ISTP、ISR)收录 145 篇;已申请国家发明专利 41 件(其中 PCT 专利 4 件),已授权 26 件;创办了英文学术期刊 *Biosurface and Biotribology*;团队成员 21 人次获得国家或省级人才培养计划支持。需要特别说明是,该项目组在 *Science* 和 *Nature* 期刊上各发表 1 篇研究论文^[23,24],这也是机械工程学科(E05)资助项目在 *Science* 或 *Nature* 期刊上发表研究论文零的突破。

饮用水安全是中国乃至全球性的重大环境与健康问题,而复合污染控制则是解决这一问题的难点。现有关于饮用水安全保障的理论和方法都是基于对有限指标的控制,因而不能从本质上反映水质的健康风险水平。CAS 生态环境研究中心曲久辉负责的重大项目“饮用水水质复合污染过程与调控原理(批准号:51290280)”以我国饮用水水源复合污染特征为基础,突破有限指标的局限,建立了以毒理效应为主要因子的水质评价方法学体系,系统研究了低剂量复合污染物的联合毒理效应及风险因子识别、水处理过程中水质复合污染调控机制、基于复合污染风险控制的水质净化工艺原理等关键科学问题,阐明了典型水处理工艺中水质的复合污染过程、特征与形成机理,攻克了典型复合污染水质净化的关键技术,创新了基于复合污染及健康风险控制的饮用水水质安全保障的科学理论和工艺基础。研究成果为

更加安全的饮用水生产工艺提供了可供选择的化学、毒理学管控指标,为通过危害评估和风险筛查方法确定需要优先控制的污染因子提供了一个新的思路,为推荐采用比较风险评估方法确定重点关注污染物人群健康风险水平做了前期储备。项目执行期间,共发表论文 234 篇,其中 SCI 论文 203 篇,申请/授权发明专利 53 项,培养了一批从事饮用水污染控制的青年专业人才,项目组成员获国家自然科学基金二等奖 2 项,以及国家技术发明奖二等奖、中国专利优秀奖、国际水协东亚区项目发明荣誉奖及环保部自然科学二等奖各 1 项。

党的十九大报告明确提出“加快建设海洋强国”。走向深海大洋既是我国保障能源安全和拓展战略空间的必然选择,深远海工程技术的突破与发展又是我国争取战略主动、维护国家安全与利益的迫切需求。深海工程开发面临着深海极端工程环境、大型浮式结构物运动响应、超细长柔性结构物动力响应及其耦合作用机理等科学问题急需解决。中国海洋大学李华军负责的重大项目“大型深海结构水动力学理论与流固耦合分析方法(批准号:51490670)”以大型深海结构系统与工程环境的相互作用为核心,针对深海极端动力环境、非线性极端波浪与大型浮体结构的耦合作用、水下超细长柔性结构的动力响应开展系统研究,创立了高效层析海浪理论,自主开发了海洋动力环境数字化模拟分析软件,突破了准确模拟、预报极端海浪的瓶颈问题;研究建立了理论完备的非线性波浪对深海系泊结构作用的分析方法,从根本上解决了现有方法中存在的理论缺陷;发展超长细比、超柔性结构的流固耦合响应分析理论和实验技术,实现了对涡激振动机理认识的新突破。前期研究成果为中国南海深水油气开发装备的安全设计和运行提供理论指导、技术支撑和参考依据,对推进我国深海资源开发进程、实现海洋强国战略具有重要意义。

4 讨论与建议

4.1 突出国家意志,组织优势队伍,服务国家重大战略需求

1986 年 NSFC 成立之初就设立了重大项目,其初衷是将科学家自由探索研究活动引导到服务国家整体、长远目标需求上,为解决经济社会可持续发展中遇到的关键科学问题提供理论基础和科技支撑。实践证明,结合我国自然条件资源和现实需求,列入自然科学基金重大项目,组织跨部门、跨地区多学科专家

联合开展基础性、试验性研究工作或关键技术研发是十分必要的。这对促进我国基础研究与国家经济建设和社会发展的紧密结合具有十分重要的意义^[25]。重大项目研究应进一步突出国家意志,组织优势队伍,服务国家重大战略需求。关键技术的“卡脖子”源于基础研究的“无根基”,在关键科学问题没有彻底解决的情况下,发展技术必然缺少竞争力。

4.2 强化顶层设计,注重学科交叉,进一步简化立项流程

“七五”期间,根据国家经济建设的需要、基础性研究特点及其发展趋势和国家科技发展规划的要求,重大项目立项基础主要是基于原国家科委、原国家教委、CAS等部门在其以往工作基础上推荐,同时也接受科学家直接建议。“八五”期间,重大项目主要来源于科学家直接建议,但要求必须是联合申请。针对科学界希望提高重大项目组织工作透明度的反映,增加了指南发布环节,公开受理申请,以创造平等竞争机会。“九五”期间,重大项目主要来源于NSFC“九五”优先资助领域和科学家的建议。申请者根据《项目指南》公布的内容和目标要求,既可对整个项目组织联合申请,也可对项目所属课题进行单独申请。总之,2002年之前,重大项目都是跨学科、跨单位、跨部门的联合研究,是一种定向研究课题^[26]。2002年,按“统一规划、分批立项、指南引导、定向申请”的方式启动重大项目,并首次正式列入年度《项目指南》^[27]。“十一五、十二五”期间,采取统一规划、分批立项的方式,根据国家自然科学基金优先发展领域,在深入研讨和广泛征求科学家意见的基础上提出重大项目立项领域^[28],跨科学部重大项目的立项领域建议应由两个以上(含两个)科学部联合提出。2016年开始,为顺应科学基金发展的需要,根据科学基金发展规划、优先发展领域、基金资助工作评估报告和科学部专家咨询委员会意见确立重大项目立项领域并制定年度项目指南^[29],重大项目领域立项权下放到科学部。尽管如此,一个重大项目还是要经过专家调研与论证、立项领域建议、科学部专家咨询会答辩与决策、指南行文与发布等诸多环节,立项过程相当冗长,不利于重大项目对前沿探索与国家需求的快速响应。科技改革的关键点之一是要在保证程序公正的前提下,进一步简化立项过程。

交叉研究最有可能产生引领性原创成果或颠覆性技术。李静海主任在NSFC八届一次全委会工作报告^[30]中指出,学科交叉融合是推动科学突破的重

要途径,但在科学基金评审管理中,学科交叉研究项目,尤其是跨学部层面的交叉研究项目,目前还没有特别有效的项目遴选机制,亟待改革和发展。NSFC应大力鼓励重大项目围绕关键科学问题,而不是研究内容和研究队伍的简单拼凑,开展真正意义上的学科交叉研究而不是形式上的交叉,并在项目指南、项目申报和评审等过程中,加以明确要求。

4.3 贯彻新发展理念,聚焦研究目标,引导高质量发展

十九大报告指出,我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段。科学基金重大项目经过30多年的探索与发展,在新时代必须贯彻新发展理念,根据国家经济、社会、科技发展的需要,在深入研讨和广泛征求科学家意见的基础上,重点选择具有战略意义的重大科学问题,组织多学科交叉研究和综合研究,提升源头创新能力,这也是NSFC成立之初设置重大项目类别的初衷。但由于未能建立有效的协调、监督机制,在重大项目具体实施过程中,也存在一些不尽如人意的地方。如个别重大项目批准后,课题各自为政,研究成果无法集成,甚至不同课题间存在重复研究的现象^[31]。同时,不同课题之间缺乏顺畅的学术交流和研究成果共享机制,有时很难实现立项预定的研究目标。根据以往的管理经验,建议重大项目不设置课题,只以一个项目为研究单元。这样,既可以保证单个项目的资助强度,聚焦研究目标,又便于减少项目负责人协调各课题研究的时间和精力,一心一意地从事研究工作,从而提高重大项目的研究质量。

致谢 感谢国家自然科学基金委员会工程与材料科学部相关学科处的支持。

参 考 文 献

- [1] 国家自然科学基金委员会. 2007年度工作报告. <http://www.nsf.gov.cn/nsfc/cen/ndbg/2007ndbg/qy.htm> 2008-03. [2018-04-18]
- [2] 梁栋材. 关于重大项目、重点项目工作报告. 中国科学基金, 1991, 6(3): 4—9.
- [3] 陈于果. 基金重大项目工作的回顾与思考. 中国科学基金, 1994, 9(4): 289—292.
- [4] 刘云, 杨雨, 郑永和, 等. 基于知识生产函数的科学基金重大项目绩效测度研究. 预测, 2011, 30(1): 30—34.
- [5] 国家自然科学基金委员会. 国家自然科学基金重大项目简介(1986—1990). 北京: 科学出版社, 1991.
- [6] 国家自然科学基金委员会. 国家自然科学基金重大项目简介(1991—1995). 北京: 科学出版社, 1996.

- [7] 国家自然科学基金委员会. 国家自然科学基金重大项目简介(1996—2000). 北京: 科学出版社, 2001.
- [8] 夏民. 科学基金重大项目资助产出系统分析与绩效评估研究【学位论文】. 合肥工业大学, 2004
- [9] 王岐东, 何鸣鸿, 孟宪平, 等. 国家自然科学基金“十五”重大项目实施情况的分析. 中国科学基金, 2007, 21(4): 231—234.
- [10] 国家自然科学基金委员会. 年度报告. <http://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab535/>. [2018-04-18]
- [11] 国家自然科学基金委员会编著. 2010年度国家自然科学基金项目指南. 北京: 科学出版社, 2009.
- [12] 师昌绪. 基础研究实行基金制要重视学科交叉. 中国科学基金, 1997, 11(1): 56—58.
- [13] 高瑞平. 国家自然科学基金重大项目“新型功能陶瓷材料的制备科学及其关键基础性问题”通过结题验收. 中国科学基金, 2003, 17(5): 319.
- [14] 张胜利. 国家重大自然科学基金项目“黄河流域环境演变与水沙运行规律”研究取得较大进展. 人民黄河, 1992, 9: 021.
- [15] 柯伟. 材料自然环境腐蚀规律与行为预测研究—国家自然科学基金重大项目介绍. 腐蚀与防护, 2005, 26(2): 65—66.
- [16] 曹楚南, 靳达申, 车成卫, 等. “九五”基金重大项目“材料在我国自然环境中腐蚀数据积累及规律性研究”取得重要进展. 中国科学基金, 2003, 17(6): 323—325.
- [17] 雷源忠, 黎明, 王国彪. “支持产品创新的先进制造技术中的若干基础研究”取得重要进展. 中国科学基金, 2003, 17(6): 345—346.
- [18] 纪军, 刘涛, 郭烈锦, 等. 重大项目“能源动力中多相流热物理基础理论与技术研究”取得重要进展. 中国科学基金, 2005, 19(1): 33—34.
- [19] Li X, Zhang D, Liu Z, et al. Materials science: Share corrosion data. Nature News, 2015, 527(7579): 441—442.
- [20] 卢柯, 张哲峰, 卢磊, 等. 国家自然科学基金重大项目“金属材料强韧化的多尺度结构设计与制备”结题综述. 中国科学基金, 2013, 27(2): 70—74.
- [21] 堵开源. 多年努力, 美国打破中国激光晶体封锁, 然而中国新一代晶体已经成功. http://www.guancha.cn/Science/2016_02_14_351018.shtml. [2018-07-18]
- [22] Cyranoski D. Materials science: China's crystal cache. Nature News, 2009, 457(7232): 953—955.
- [23] Chen Y, Peng R, You Z. Origami of thick panels. Science, 2015, 349(6246): 396—400.
- [24] Chen H, Zhang P, Zhang L, et al. Continuous directional water transport on the peristome surface of *Nepenthes alata*. Nature, 2016, 532(7597): 85—89.
- [25] 王光雍. 结合我国自然条件的基础性研究列入基金重大项目具有重要意义. 中国科学基金, 1994, 8(4): 299—301.
- [26] 国家自然科学基金委员会. 2001年度国家自然科学基金项目指南. 北京: 原子能出版社, 2000.
- [27] 国家自然科学基金委员会. 2002年度国家自然科学基金项目指南. 北京: 科学出版社, 2001.
- [28] 国家自然科学基金委员会. 2013年度国家自然科学基金项目指南. 北京: 科学出版社, 2012.
- [29] 国家自然科学基金委员会. 2017年度国家自然科学基金项目指南. 北京: 科学出版社, 2016.
- [30] 李静海. 构建新时代科学基金体系 夯实世界科技强国根基. 中国科学基金, 2018, 32(4): 345—350.
- [31] 黎明, 何鸣鸿. 德意志研究联合会特殊研究领域及国家自然科学基金重大和重点项目资助方式探讨. 中国科学基金, 2001, 15(6): 364—365.

Review and experience of major programs of natural science foundation in engineering and materials

Wang Guobiao

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

Abstract Major program is an important type project funded by the National Natural Science Foundation of China (NSFC for short). By pooling innovative forces and carrying out interdisciplinary research, major programs can solve the major needs and key scientific problems of national economic construction, social sustainable development and scientific and technological development. It is of strategic significance to further improve the innovation ability of our country's basic research. Based on the data of 71 major programs approved by the Department of Engineering and Materials Sciences (DoEMS for short), NSFC, this paper analyzed in detail the research issues involved in these major programs, the basic distribution of principle investigators and supporting units, and the characteristics of funding, etc. Some of the main research progress and outstanding results are given. Finally, three suggestions on the development of major program are discussed.

Key words NSFC projects; major program; engineering and material fields; review; experience