

· 管理纵横 ·

国家自然科学基金科学仪器项目实施与管理模式探讨——以力学科学处为例

白坤朝^{1*} 詹世革¹ 马少鹏² 仇巍³

(1. 国家自然科学基金委员会数理科学部, 北京 100085;

2. 北京理工大学宇航学院, 北京 100081; 3. 天津大学机械工程学院, 天津 300350)

[摘要] 先进的科学仪器是发现新现象、揭示新机理、获取新数据、发现新规律的重要手段,是科学技术发展的重要“工具”,科研仪器的创新研制已经成为现代科学进步的重要主题。国家自然科学基金委员会自1998年开始相继设立了多种科学仪器项目类型支持创新仪器的研制工作。为探索科学仪器类项目的管理模式和资助成效,我们对数理科学部力学科学处推荐并获批的相关项目进行了跟踪研究与专项研讨,深入分析该类项目资助的成效和特点,并针对改进仪器类项目的资助、实施及验收等过程提出政策和管理建议。

[关键词] 科学仪器项目;项目实施;项目管理;力学

“工欲善其事,必先利其器。”现代科学发展中的重大突破越来越依靠先进的科学仪器,特别是基于新原理、新方法研制的,能够超越现有仪器指标的新型科学仪器的创新性发展。事实上,对于大多数学科,拥有创新的科学仪器,就一定程度上掌握了学科发展的主动权或制高点。为了对我国基础研究的发展提供强有力的工具和手段,国家自然科学基金委员会(以下简称基金委)于1998年设立了科学仪器基础研究专款项目(以下简称仪器专款项目)。随后,为进一步加强对创新性科研仪器研制工作的资助力度,着力支持原创性重大科研仪器设备研制,在2011年设立了国家重大科研仪器设备研制专项,并于2012年起将该专项分为部门推荐申请和自由申请两种模式。2014年,进一步优化和整合资助结构,将原仪器专款项目合并至自由申请的国家重大科研仪器设备研制专项,从而形成了现行的科学仪器类项目格局,即:支持力度在1000万元以下的自由申请类国家重大科研仪器研制项目(以下简称自由申请仪器项目)和支持力度在1000万元以上的部门推荐类国家重大科研仪器研制项目(以下简称部

门推荐仪器项目)。

为探索科学仪器项目管理模式和资助成效,结合管理工作的发展需要,我们对科学仪器项目设立以来数理科学部力学科学处推荐并获得资助的项目进行了跟踪研究,在对科学仪器项目的资助成效和特点进行分析的基础上,对科学仪器项目资助工作提出相应的政策与管理建议。

1 力学科学处在科学仪器项目管理中的实践

1.1 力学科学处资助项目情况

直到2005年,仪器专款项目设立7年后,力学科学处推荐的仪器类项目才开始获得第一个资助,截至2018年8月,力学科学处共接受科学仪器类项目申请累计153项,其中33个项目获得资助,其中仪器专款项目12项,自由申请仪器项目19项,部门推荐仪器项目2项。由于2项部门推荐仪器项目刚刚启动(分别于2016年和2017年获批),因此本文的调研和讨论主要集中在前两类的31个项目中(表1)。

收稿日期:2018-09-26;修回日期:2018-11-06

* 通信作者,Email:baikc@nsfc.gov.cn

表1 力学科学处各二级学科方向资助情况

动力学与控制	固体力学	流体力学	生物力学	爆炸与冲击动力学	合计
2	22	2	2	3	31
6.45%	70.97%	6.45%	6.45%	9.68%	100.00%

表1给出了获批的31项仪器项目按力学各二级学科方向的分布情况。从表中可见,固体力学以22项(占总获批项数71%)占绝对优势,但其中实验固体力学(A020316)方向获批项目数为20项。如果扣除实验固体力学方向的项目,则力学各二级学科获批的项目比较均衡,均为2—3项。这说明,在力学各方向中,兼具仪器研制意愿与能力的研究人员基本均衡。从研究人员数量上讲,固体力学是力学学科中最大的二级学科方向,因此实验固体力学可以算作是力学学科中开展实验和仪器研究的最主要群体,获批仪器项目数占绝对优势符合目前该学科方向的研究特点与工作积累水平。

31个获资助项目由24位不同的负责人承担,其中1人(东南大学何小元教授)获得3次资助,5人(中国科学技术大学伍小平教授、中国人民解放军国防科技大学于起峰教授、北京工业大学何存富教授、北京航空航天大学樊瑜波教授、中国工程物理研究院流体物理研究所赵剑衡研究员)分别获得2次资助。

31个获资助项目共由18个不同依托单位承担,除以上6位重复获得资助负责人所在单位外,另有天津大学获得2次资助。这说明以上单位是力学科学仪器研究的优势单位,其他单位在仪器项目的研究上实力比较均衡。

统计显示,从获批时负责人年龄分布看,40—45

岁、46—50岁、51—55岁三个年龄段都7人占比22.58%,56—60岁、60岁以上两个年龄段都5人占比16.13%,各年龄段分布比较均衡;项目获批时负责人的平均年龄为52.42岁,与力学处同期重点项目负责人平均年龄(52.94岁)相当,高于同期国家杰出青年科学基金项目负责人年龄(42.08岁),其负责人最小年龄是40岁。

力学科学处各年度科学仪器项目平均资助强度与当年面上项目和重点项目平均资助强度的比较结果表明(图1),仪器专款项目平均资助强度是同期面上项目资助强度3.8倍左右,是同期重点项目资助强度的80%左右;自由申请仪器项目是同期面上项目资助强度9.7倍左右,是同期重点项目资助强度2.2倍左右。

1.2 资助项目的管理实践

为了深入了解科学仪器项目的成效,以及项目实施过程中存在的问题,力学科学处对获资助的科学仪器项目进行了跟踪管理,主要通过以下3种途径进行:

(1) 分析进展和结题报告,跟踪结题答辩,全面了解项目进展情况。对2017年以前获资助科学仪器项目的进展报告和结题报告进行了认真分析。对进展报告,主要考察和分析分年度的研究进展与项目计划书中对应研究计划的匹配度,以及研究中存在的问题。对结题报告,主要分析项目所研究仪器的完成度,特别是仪器指标与计划的匹配度;针对结题报告考察项目结题的其他成果形式,包括论文、专利等;尽量从结题报告中分析参加项目的各研究小组的合作情况。同时,笔者还尽可能地参加力学处推荐获批的仪器类项目的中期和结题答辩,听取并

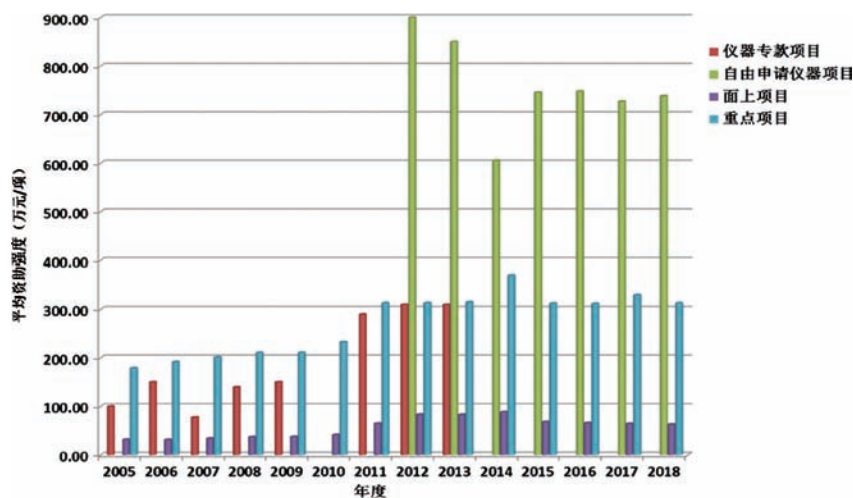


图1 仪器类项目、面上项目、重点项目资助强度对比图

分析检查和验收专家对项目的意见和反馈。

(2) 从多种渠道了解负责人的成果产出,分析资助效果。对所有仪器项目负责人在承担仪器项目后的其他类别项目的申请书、进展和结题报告进行深入分析,对负责人在信息系统中提交的成果产出进行分析,从中总结与所承担仪器项目相关的成果进行统计。在学术会议期间,针对少数仪器项目负责人进行非正式访谈,听取负责人自己的总结和感受。

(3) 专门组织会议研讨项目执行中存在问题。2018年5月10—11日,由基金委数理科学部资助,北京理工大学承办了力学领域仪器类项目实施与管理研讨会,邀请了30余位科学仪器项目的评审专家、项目负责人、申请人,以及相近领域的高水平研究人员参会。通过报告交流和发言讨论,与会代表深入交流了科学仪器项目的作用与意义、研究中存在的问题及可能的改进方案。2018年8月6—9日,由中国力学学会实验力学专业委员会和基金委数理科学部主办的第十五届全国实验力学大会专门设立了科学实验仪器研制与学科交叉分会场,参会代表在会议期间也对上述问题进行了深入交流。

2 科学仪器项目的资助成效分析

通过对历年资助的科学仪器类项目进展情况进行分析,归纳和总结,笔者认为科学仪器类项目的资助成效主要体现在以下几个方面。

2.1 有利于引导并支持研究人员形成系统的、领先的研究方向

科学仪器项目的研究目标是面向前沿的,性能先进的仪器设备。因此,科研人员在合格完成科学仪器项目后,将会拥有一件本领域的“独门武器”。除此之外,在仪器的研究实践中,科研人员不可避免地需要深入到相关实验研究的新原理、新方法探索中,因此非常有利于发现本领域一些重要的新问题、新现象。以上两方面都可有力促进研究人员在仪器项目相关领域继续深入,做出有影响的工作,并形成系统的、领先的研究方向。

以东南大学何小元教授为例。何小元教授长期从事光测力学方法研究,2007年获得1项科学仪器专款项目,从事三维动态数字图像相关(DIC)仪器的研制,之后又于2013年获批第2项科学仪器专款项目,继续从事相关仪器研制。在这两个仪器项目的支持下,何小元教授逐渐形成了稳定而系统的研究方向。一方面,为满足固体力学领域中有关材料

与结构力学性能研究的需求,研制了多种高性能非接触变形测量仪器,解决了20多家科研单位的难题,同时还主持完成“十二五”国家科技支撑计划项目,成功研发了“突发灾害后桥梁水下结构快速检测装备”,为灾后水下结构的安全检测提供了有效手段。2018年,何小元教授又一次获批自由申请仪器项目,继续挑战三维动态变形的高精度测量难题。另一方面,在仪器项目研究过程中,何小元教授团队发现了制约DIC方法在实际应用中的关键难题,即方法的标准化和校准问题,并以此为主题获批2016年国家自然科学基金重点项目。目前,项目研究进展顺利,并取得初步成果。2018年8月,何小元教授领衔在实验力学专业委员会下面成立了DIC方法标准化小组,准备将相关的研究成果应用于实际。此外,基于仪器类基金资助的数字图像相关测量仪器研制方面积累的丰富经验,何小元教授课题组还为新兴工业测量仪器公司——PMLab提供了完整的技术方案,实现了从科研到产业的成功转化。

在科学仪器项目的支持下,何小元教授课题组在十余年时间内形成了方法—设备—应用—转化的全链条的系统研究方向,为多个领域和多个单位提供了相关难题的解决方案,同时也为实验力学相关方向发现了若干新的增长点。

2.2 有利于支持关键技术突破,形成解决国家重大需求的能力

科学仪器项目的一个主要功能在于实现并验证一个创新性测量原理,突破某项关键技术,并将原理和技术转化为一个实际可用的,且具有展示度的测量仪器。因此,以科学仪器项目为起点,有利于形成解决重大需求的能力。

以国防科技大学于起峰院士为例。于起峰院士在国际上创新提出了折线光路相机链位姿传递摄像测量的概念和方法,并于2007年获批科学仪器专款项目。在该项目及后续基金项目的持续支持下,于起峰教授解决了传统摄像测量方法无法完成的两个或多个不通视物体间或超大视角物体间相对位置、姿态及其变化量的测量问题,相关成果填补了国际国内空白。在此基础上,于起峰院士将相应技术成功应用于航母工程、武器装备试验测试、大型风电叶片力学性能测试等领域,成功解决了大型舰船变形测量及受力分析、武器系统姿态传递对准、隧道围岩监测等国防和工业领域的重大问题。

目前,以相关科学仪器项目成果为核心的大型结构变形测量和大尺度运动测量方面的技术积累已

成为提升我国国防现代化战斗力、加强我国工程技术国际影响力的关键、核心技术。

2.3 有利于促进大型实验研究平台的建设

科学仪器项目成果的主要体现形式为先进的实验仪器。以此仪器为核心,可以建设系统的实验研究平台。

以方岱宁教授课题组为例:2005年,方岱宁教授申请了项目“电—磁—热—力耦合加载与自动测量系统”,研发了一系列力—电—磁—热耦合多轴加载试验测试仪器,相关指标国际领先,为铁电、铁磁等材料在多场耦合作用下变形和断裂行为表征提供了强有力的手段,发现了一批新的实验现象。由于项目取得了重要的研究成果,基金委决定给予延续资助。2010年,方岱宁教授在上述项目研究工作的基础上,申请了项目“动态力—电—磁—热耦合实验系统”和“层状电磁复合材料的本构关系和测试表征方法”,将研究对象扩展到了层状电磁复合材料,研发了国际首台力—电—磁耦合微纳米压痕仪器和国际首台力—电—磁多场耦合鼓泡测试仪器,发展了一系列层状电磁复合材料多场耦合行为的测试表征方法。以航空航天领域的国家重大需求为牵引,2012年,方岱宁教授申请了项目“超高温极端环境下材料性能测试设备研制”,研发了国际首台1800℃有氧环境力学性能测试仪器、国际首台多氛围快速升温力学性能测试仪器、2300℃惰性环境超高温力学性能测试仪器、2200℃氧化、热冲击一体化测试仪器等科学仪器,发展了一系列热—力—氧耦合环境下材料力学性能测试技术与表征方法,积累了大量的材料超高温力学性能数据。

在基金委项目的持续资助下,方岱宁教授发展了先进材料多场多轴加载和测试技术与实验方法,突破了系列热—力—氧耦合环境下材料性能测试技术与测试仪器,初步建立起了多场多氛围环境下材料力学行为高通量评价大科研平台,编制了多项测试技术规范,填补了国家行业标准空白。自主研发的十余种科学仪器已推广应用到国内外高校、科研院所和工程单位,产生显著的经济与社会效益及国际影响;利用研发的仪器已为高超声速飞行器及航空发动机等国防装备的设计与研制提供了重要的数据支持和实验验证,填补了我国在超高温氧化极端环境下多项测试技术方法的空白,对重大科技工程和关键技术攻关起到了重要的支撑作用。相关研究成果被整理成论文百余篇,发表在 *Rev. Sci. Instrum.*、*J. Mech. Phys. Solids*、*Int. J. Solids*

Struct. 等国内外著名的仪器和力学刊物上,被引用千余次,授权国家发明专利30余项。

3 科学仪器项目的特点及资助管理模式建议

3.1 科学仪器项目特点及现状分析

科学仪器项目与其他类别基金项目最主要的区别在于项目产出形式(或成果)不同:仪器类项目以实物(仪器)为主要产出,而大多数基金项目以高水平论文(理论、方法)为产出。成果形式的特性导致科学仪器项目在验收与评价、组织与实施,以及项目积累与申请等方面与其他基金项目相比应该存在重要的不同之处。但是,由于科学仪器项目设立的时间较短,不管是研究人员还是管理人员,仍然习惯沿用其他基金项目的模式,这导致仪器项目的实施与管理与其特点有众多不适应之处。

(1) 项目验收与评价。基金委其他重点类项目的学术产出主要是方法、理论、模型等,对于这一类项目,科技论文、专著是理想的项目成果的载体。因此,这一类项目验收以现场答辩与文字意见的形式结题,主要审核与项目密切相关的论文、专著的数量与质量。仪器项目的学术产出主要体现为仪器及其所实施技术流程、方法标准等,其核心是功能完整的、独立运行的、指标稳定的、可共享的仪器装备(样机)。目前仪器专款项目和自由申请仪器项目的结题方式同重点项目基本相同,尚缺少对项目所研制仪器的整体性、运行独立性与稳定性,以及关键技术指标实现情况的现场考核,不能很好的体现资助该类项目的初衷。除此之外,由于仪器无法像论文、专著等方便地传播、共享,而目前仪器项目考核中又缺少对后续使用效益的评估,缺少对后续应用研究工作和推广普及工作的专项支持,导致项目研制的仪器结题后使用率往往不高、普及率通常较低。

(2) 项目组织与实施。基金委其他重点类项目以自由探索为主要的研究方式,通常由多个参与人或团队合作完成,合作者的学科领域和研究方向一般比较集中,团队成员之间主要在理论、方法的层面进行合作和对接,研究工作的开展一般为“并行”,团队之间的合作可以相对比较松散,对接方式也具有“高容错”的性质。相比之下,仪器类项目普遍以实现研制目标与技术指标为导向,研究过程须密切围绕预期的测试功能与技术指标;团队成员之间必须具有严密的分工和组织,甚至需要集中人、财、物力进行专项攻坚,团队成员之间的工作对接要紧密、无

错配;项目的组织工作方式多是串行或串并联合的上下游关系;为实现做出一个可运行的仪器,必须将力学与机—光—电—算等多学科交叉、多领域协作。总之,相对于其他项目来说,科学仪器项目团队的组织力、执行力是项目执行效果的关键。

(3) 研究积累与基础。相对于其他类别基金项目来说,仪器类项目不但需要负责人对仪器所应用领域前沿方向与瓶颈问题具有较深刻的认识,还要有仪器学、控制学等领域的相关知识背景与工作经验,同时在相应仪器研制方面具有较多的技术积累,甚至仪器的原理可行性均要经过验证,有较为清晰的技术路线。这些要求使得仪器类项目的研究工作比普通的理论、方法、算法研究等更需要“内力”,需要更长时间的“修炼”,通常是资深的科研工作者才能胜任。此外,仪器项目的研制不仅需要足够的实体空间以实现搭建,而且需要各类成熟的软硬件平台予以配合,以完成仪器研制过程中核心器件制备、系统整体装配、仪器功能测试等一系列必不可少的环节,这就要求项目负责人所在单位具有很强的研究基础条件及相关的配套支撑。仪器项目研制过程既有学术前沿,也涉及人、财、物、外协、采购、场地等,是一个系统过程,既有学术层面的也有管理层面的,验收标的是明确的,因此对负责人各方面的要求都很高,需要长期的积累和摸索,前面数据分析中的一个现象——年轻人不容易获批仪器项目的原因也可以从这一点得到部分解释。

3.2 资助和管理建议

基于以上对科学仪器类项目特点及现状的分析,我们针对此类项目今后的资助与管理提出以下建议:

项目资助建议。为深入推进中国基础研究从“跟跑”到“并跑”和“领跑”的转变,为全面提高我国科学研究原始创新能力,从基金委层面逐年增加对科学仪器研制项目资助的整体力度符合国家核心利益与科学发展规律。目前,仪器相关的研究从面上项目(百万量级)直接跨越到自由申请仪器项目(千万量级),其间的跨度过大,导致存在两方面的问题:一方面,申请者现有积累与所申请仪器项目的需求之间可能存在不匹配的情况,在项目获批后,可能影响项目的执行效果,也可能存在申请者“过度包装”项目,导致经费浪费的情况;另一方面,此种跨度,使得竞争异常激烈,导致年轻人很难获得仪器项目资助。

(1) 为加大对创新仪器培育过程的支持,鼓励

科研人员对新原理、新方法、新技术的探索性研究,以及项目负责人在重大仪器研制过程中对关键技术和方法的验证,有机与现有重大仪器项目相辅相成,建议在具体的资助模式上,或者设立额度为300—400万元的科学仪器项目,或者在各科学处的重点项目中增加一些名额,专门用于仪器项目资助。

(2) 项目遴选建议。建议加强仪器项目的遴选工作,可能的情况下制定有针对性的仪器项目遴选标准。仪器项目必须立足于先进指标和先进技术,瞄准学科前沿和国家需求的重大科学问题,以科学目标为导向,服务共性需求,鼓励学科交叉融合,为科学研究提供更新颖的手段和工具,以全面提升我国的原始创新能力,因此在项目遴选过程中,首要重视仪器的科学性、先进性;其次因为仪器项目最终是实际运行的仪器或样机,因此可行性或可实现性必须特别关注。并且,仪器研制过程是一个复杂的项目管理过程,涉及方方面面,要特别重点考核申请人的研究基础与研究团队:一方面,研究团队需要通过若干年的预先研究获得技术积累,证明仪器研制原理正确,形成较为清晰的技术路线和较强可行性的研制方案后再申请仪器项目;另一方面,研究团队的组成要合理,项目申请前团队成员最好已经开展过联合研究工作。此外,仪器研制需密切围绕独立的仪器实体,并在申请书、计划书、预算书中相关位置着重论述仪器设计的平台基础与共享条件,明确所研制设备建在哪儿、怎么建,支撑条件如何配套,应用环境需求等。其中需要特别明确的是,设备建设地点、产权以及经费必须集中,以确保结构完整、功能独立的仪器“样机”研制。对于项目申请是否要强调以下两点:一是仪器研制工作原则上应从器件水平出发,或对已有大型仪器核心模块的改造,而非采购整套大型仪器并仅作小规模改进或补充;二是所研制的仪器原则上是一体化且功能完整的“样机”,而非若干功能相对独立的仪器组合。

(3) 项目日常管理、中期检查和结题验收建议。针对仪器类项目的特点,建立与之相适应的项目管理与检查流程,主要体现在以下几个方面:首先,为每个仪器项目建立技术委员会,技术委员会负责监督项目研制过程,考核项目研究成果;其次,加强仪器项目中期、结题验收的规范化管理,增加现场检查和验收环节;最后,将项目任务书中提出的技术参数作为仪器项目结题验收时最重要甚至是唯一的指

标,量化现场验收考核成绩;此外,有必要将定期的项目内部交流会作为预算与考核内容。

(4) 项目后续管理及支持建议。仪器研制完成后的项目结题并不代表项目研究的结束,而是仪器走向应用和共享的开始。为了进一步提高仪器的使用率,十分有必要对其后续效益进行评估,对考核优异者进行持续资助。后续资助的方式可分为两类,

一类采用大科学装置思路,着重于所研制仪器的共享。采用共享仪器平台的资助方式,通过对使用所研制仪器的经费支持,反推仪器研制发挥成效以及团队的后期培育;另一类与科技部现有的通用仪器类项目对接,实现从“实验室样机”到“半成熟产品”的深入研发,推动其真正走向产业化、服务国家科技事业的道路。

Discussion on the implementation and management of the scientific instrument project funded by NSFC-Taking the Mechanics Division as an Example

Bai Kunchao¹ Zhan Shige¹ Ma Shaopeng² Qiu Wei³

(1. *National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085;*

2. *Beijing Institute of Technology, Beijing 100081;*3. *Tianjin University, Tianjin 300072*)

Abstract Advanced scientific instruments are an important means to discover new phenomena, reveal new mechanisms, acquire new data, and discover new laws; and are important “tools” for the development of science and technology. The innovation of research and development of scientific instruments has become an important theme of modern scientific progress. Since 1998, NSFC has set up a variety of scientific instrument project types to support instruments development. In order to explore the management and effectiveness of scientific instrument projects, we analyze the effectiveness and characteristics of such projects through conducting follow-up research and special seminars on related projects recommended and approved by the Mechanics Division of Department of Mathematical and Physical Sciences, NSFC, and make suggestions on the processes of funding, implementing and checking.

Key words scientific instrument projects; implementation; management; mechanics