

· 管理纵横 ·

国家自然科学基金项目光学学科的科学问题属性剖析

张诗按 姜向伟 张立春 倪培根* 董国轩

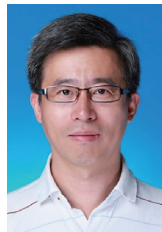
国家自然科学基金委员会 数理科学部, 北京 100085

[摘要] 国家自然科学基金委员会从 2019 年开始试点实行科学问题属性分类的项目资助导向, 该项改革举措不仅为项目申请者规范了课题类别和撰写要点, 还为项目评审专家明确了评审要点和评判标准, 在项目遴选和资助管理过程中起到了积极引导作用。本文以数理科学部物理一处光学学科为例, 分析了科学问题属性分类资助政策执行以来的现状, 讨论了科学问题属性的特点以及在执行中存在的问题, 并从申请者、评审专家和管理者多个视角对科学问题属性提出了一些建设性的意见, 同时基于科学问题属性对光学学科的未来发展提出了建议。

[关键词] 分类评审; 科学问题属性; 光学学科; 自然科学基金

1 自然科学基金科学问题属性设置的初衷和内涵

国家自然科学基金委员会(以下简称“自然科学基金委”)自 1986 年成立以来始终坚持以支持基础研究为主线, 注重人才培养和学科交叉, 为全面培育我国源头创新能力做出了重要贡献, 成为我国支持基础研究的主要渠道。基础科学是以自然现象和物质运动形式为研究对象, 探索自然界发展规律的科学。基础科学是科技创新的源泉, 纵观近代科技发展史, 从爱因斯坦的狭义相对论, 到后来海森堡、薛定谔的量子力学以及费米、泡利的量子统计学, 这些基础科学研究成果为后来核能、激光、半导体、超导体、超级计算机和网络等创新科技做了重要支撑。当前, 新一轮科技革命和产业变革正在蓬勃兴起, 自然科学奥秘探索加速演进, 不同学科交叉融合更加紧密, 一些基本科学问题研究最终可能孕育出重大技术突破。近年来, 我国高度重视基础科学研究, 研究经费投入大幅度增长, 科研力量和研究条件极大改善, 不断涌现出具有国际影响性的重大创新成果。但与建设世界科技强国的要求相比, 我国基础科学研究短板还依然比较明显: 一是重大原始创新性成果不多, 引领性工作偏少; 二是投入偏低, 基础研究经费占科研总经费比例远低于发达国家和一些发展



倪培根 博士, 研究员, 国家自然科学基金委员会数理科学部综合与战略规划处处长。



张诗按 博士, 华东师范大学研究员, 精密光谱科学与技术国家重点实验室副主任、实验室建设与管理委员会副主任。2020 年 4 月至 2022 年 2 月担任国家自然科学基金委员会数理科学部物理一处流动项目主任。主要从事先进光学成像研究, 包括超快成像、超分辨成像和计算成像。以第一/通讯作者发表 SCI 学术论文 120 余篇, 获中国发明专利授权 11 项、美国专利授权 1 项, 计算机软件著作权 1 件。主持包括国家自然科学基金重大研究计划重点项目、上海市科委基础研究重点项目等国家级或省部级科研项目 10 余项。获得上海市自然科学奖一等奖、上海市青年科技启明星、上海市优秀学术带头人等多项荣誉奖项。

中国家; 三是有些领域研究队伍缺乏, 有些科研单位重技术开发轻基础研究, 有些领域仍然存在追热门现象; 四是评判不合理, 对所有项目使用统一的评审体系和评价标准, 基础研究项目的特殊性未能得到充分体现。

自然科学基金委深入分析了我国基础研究和科学基金发展面临的新形势、新任务和新要求, 在经过

反复研究并广泛征求意见的基础上,形成新时代科学基金的改革思路,并于2018年6月确立了四类科学问题属性分类的资助导向,具体涵盖:鼓励探索、突出原创(属性 I);聚焦前沿、独辟蹊径(属性 II);需求牵引、突破瓶颈(属性 III);共性导向、交叉融通(属性 IV)。四类科学问题属性的内涵是^[1, 2]:属性 I 是指科学问题源于科研人员的灵感或者新思想,且具有鲜明的首创性特征,旨在通过自由探索产出从无到有的原创性成果;属性 II 是指科学问题源于世界科技前沿的热点、难点或新兴研究领域,且具有鲜明的引领性或开创性特征,旨在通过独辟蹊径取得开拓性成果,引领或拓展科学前沿;属性 III 是指科学问题源于国家重大需求或经济主战场,且具有鲜明的需求导向、问题导向或目标导向特征,旨在通过解决技术瓶颈背后的核心科学问题,促使基础研究成果走向实际应用;属性 IV 是指科学问题源于多学科领域交叉的共性难题,具有鲜明的学科交叉特征,旨在通过交叉研究产出重大科学突破,促进分科知识融通发展为知识体系。根据这四类科学问题属性,旨在建立与资助导向相适应的评审方法,实现评审专家与项目申请的科学匹配。一方面,引导申请者根据要解决科学问题的属性,更好地凝练科学问题,进一步提升项目申请质量;另一方面,鼓励评审专家根据申请项目的属性,按照与之相应评审标准更加精准地遴选资助项目,进一步提高资助项目质量。

2 科学问题属性在光学学科执行以来的数据梳理

自然科学基金委自从2019年执行科学问题属性分类资助导向以来,既为项目申请者规范了课题类别和撰写要点,又为项目评审专家明确了评审要点和评价标准,在整个基金项目遴选和资助管理过程中发挥了积极引导作用。数理科学部物理一处作为自然科学基金委第一批开展分类评审试点的处,积累了丰富的实践和管理经验。本文以数理科学部物理一处光学学科为例,整理了2019至2021年期间青年科学基金项目 and 面上项目相关数据,并对四类科学问题属性所涉及的数据进行了全面梳理和统计分析。

近三年来,光学学科的青年科学基金项目和面上项目申请量都在逐年小幅度增加,2021年青年科学基金项目申请数量已经接近600项了,而面上项目申请数量已经超过650项。图1给出了青年科学

基金项目和面上项目的申请量占比和资助量占比按照四类科学问题属性统计情况,这里占比是指这四类科学问题属性的项目数量占总项目数量的百分比,例如:属性 I 类申请量(或资助量)占比指属性 I 类项目申请(或资助)数量占项目申请(或资助)总数量的百分比。可以看出,在申请量占比方面,无论是青年科学基金项目还是面上项目,属性 II 类的占比明显高于其他类型项目,三年来都超过50%以上,尤其是面上项目更是高达60%以上,然后占比依次排序是属性 III 类、属性 I 类和属性 IV 类。此外,属性 II 类和属性 III 类申请量占比三年来呈现出上升的趋势,除了2020年青年科学基金项目的属性 III 类比2019年稍微有一点点下降之外,而属性 I 类和属性 IV 类下降明显。在资助量占比方面,类似于申请量占比,属性 II 类也明显高于其他类型项目。然而,相比于申请量占比,属性 II 类资助量占比明显上升,但是其他类型项目(例如属性 I 类、属性 III 类和属性 IV 类)都有不同程度下降,除了2019年青年科学基金项目之外,属性 III 类和属性 IV 类略有所提升,这种现象表明,相比于属性 I 类、属性 III 类和属性 IV 类,属性 II 类的项目不仅申请数量大,而且申请质量高。

图2给出了青年科学基金项目和面上项目的资助率按照四类科学问题属性统计情况,这里资助率是指这四类科学问题属性的资助项目数量占相对应申请项目数量的百分比。显然,无论是青年科学基金项目还是面上项目,三年来属性 I 类的资助率都明显低于平均资助率,属性 II 类的资助率都高于平均资助率,而属性 III 类和属性 IV 类的资助率除2019年青年科学基金项目略微高于平均资助率之外,其他都是明显要低很多。从统计概率来看,申请属性 II 类项目获得资助的概率要高得多,而申请属性 I 类、属性 III 类和属性 IV 类项目获得资助的概率偏低。因此,如何鼓励科研人员积极开展原创类研究,注重解决国家需求,是下一步科学问题属性分类资助导向实施过程中需要解决的问题。

自然科学基金委执行科学问题属性分类资助导向政策刚刚试点三年,部分项目申请者和评审专家对科学问题属性具体内涵的理解还不充分,尤其是青年科研工作者对政策的把握还不够深入,这也对近三年的数据统计分析产生了一定不确定因素的影响。此外,目前的数据量还不是非常充足,前面这些数据统计分析中得到的规律还未能被充分展现,后续累积更多数据将做进一步归纳和总结。

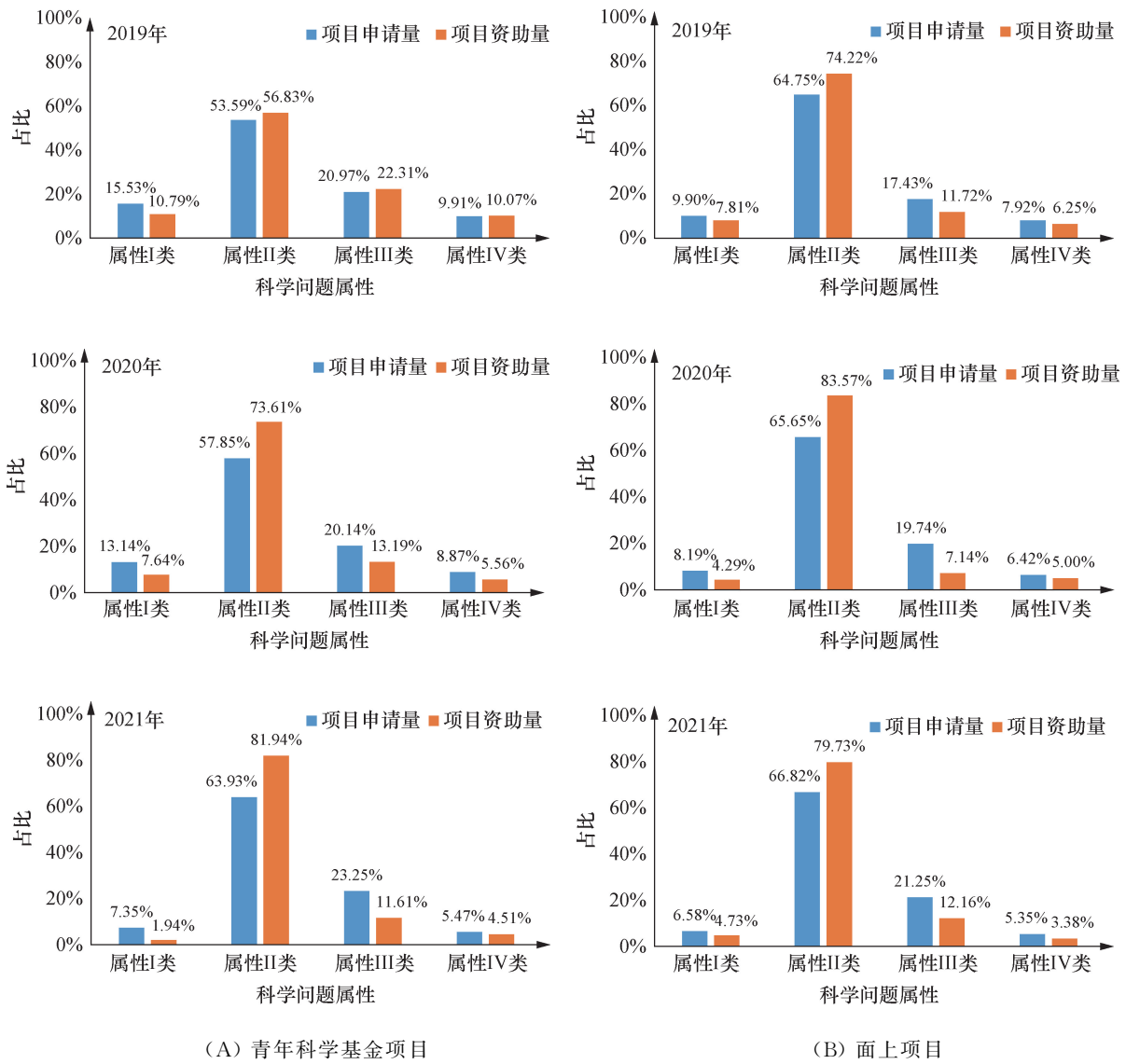


图 1 光学学科青年科学基金项目 and 面上项目申请量占比和资助量占比按照四类科学问题属性统计情况

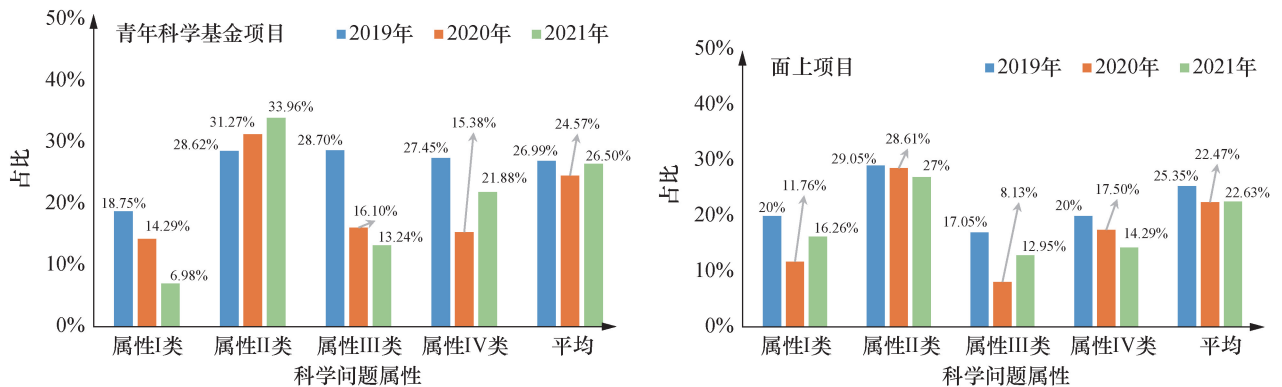


图 2 光学学科青年科学基金项目和面上项目的资助率按照四类科学问题属性统计情况

3 科学问题属性在光学学科执行以来的现状剖析

青年科学基金项目 and 面上项目属性 II 类的申请量占比和资助量占比都要远远高于其他类型,这主要跟数理科学部物理一处光学学科特点有直接的关系。目前,光学领域的研究主要分布在数理科学部和信息科学部,其中数理科学部主要侧重是光学基础研究,而信息科学部更加侧重光学应用研究。数理科学部物理一处光学学科下设十个研究领域^[3],分别是光的传播、探测与成像;光与物质相互作用;光场调控与非线性光学;超快超强光物理;光量子物理和量子光学;微纳光学与光子学;光谱学与固体发光;光学材料与器件物理;新波段光学与新型光源和与光学相关的交叉领域。

通过分析数理科学部物理一处光学研究方向特点可以很好地解释属性 II 类申请量占比和资助量占比高的原因。一方面,这些光学研究方向的基础理论一般相对比较成熟,原理性突破或者原创技术突破工作偏少,大部分研究都是基于已有的知识体系架构,因此申请项目就集中在属性 II 类,而申请属性 I 类则较少;另一方面,在这些光学研究方向的应用或交叉方面,很大一部分科研工作者在信息科学部或医学科学部申请,例如光学成像、非线性光学、量子光学、微纳光子学等领域,也有一部分科研工作者转去申请数理科学部物理一处新设置学科代码—量子调控,因此,申请属性 III 类和属性 IV 类的项目也相对较少。

出现属性 II 类高申请量占比和资助量占比的现象与现阶段学术圈科研氛围也有一定关系,大部分科研工作者不敢去尝试创新或开拓性的研究课题,一方面是因为这些课题本身研究难度大,短期内难以出科研成果,常常无法完成工作单位现有制度的科研考核;另一方面是因为这些新学术思想还是由原来学术领域的专家来做出评价,有时候难以打破学术惯性,在同行评议中容易产生分歧。

此外,无论是青年科学基金项目还是面上项目,属性 II 类的资助率显著高于比其他类型,这主要与项目申请和专家评审相关。

在项目申请方面,申请书内容填写是评审专家判断课题研究价值和预期成果的主要依据,这决定了项目能否得到好的评价。对于原创性的项目,通常是提出一个新的科学理论,并没有现有成熟的理论作为依据,研究方法和技术路线也通常不太成熟,

这类申请撰写难度大,而且从基金项目评议要点要求中也能看出,专家对原创类项目评议时标准也较高;对于交叉性的项目,试图拓展到一个新的学科研究领域,所以前期积累也会相对比较薄弱,因此,项目可行性和前期研究基础方面也常常会受到质疑。

在项目评审方面,自然科学基金委主要采用同行评审(包括函评和会评),通过同行评审支持最具创新性的科研人员开展最具创新性的科学研究。同行评审被认为是目前为止进行资源分配时的一种最有效的决策手段。对于递进式创新,例如属性 II 类,核心知识领域内同行专家的意见往往具有高度一致性,能够最大限度地保证项目遴选中科学和公正;对于革命性或开拓性创新,例如属性 I 类和属性 IV 类,这种创新思想不易被同行普遍接受,申请项目涉及到尚未被涉足的领域时,评审专家也容易产生非共识的现象^[4,5],即专家评审意见出现两极化。

对于属性 III 类资助率比较低的一个原因与数理科学部物理一处光学学科是以基础研究为主有关,部分评审专家关注项目的创新性,而有部分评审专家看重前期的研究积累。因此,对于国家应用需求牵引的研究课题评判标准不一致,这需要一个逐渐统一认识的过程。

4 对科学问题属性在光学学科资助导向中的建议

从目前实施效果来看,四类科学问题属性分类资助导向在数理科学部物理一处光学学科项目遴选和资助管理中起到了积极引导作用,但同时也存在一些问题。从近三年申请量占比和资助量占比来看,项目申请和资助存在越来越集中在某一类型科学问题属性的趋势,尤其是属性 II 类;在项目评审过程中,四类科学问题属性项目评判标准差异较大,但是不少评审专家还没有完全突破传统科研创新的评价体系,没有适应科研范式变革的要求。为了更好发挥四类科学问题属性在项目管理中的功能作用,建议在以下几个方面可以做进一步改进,包括:

(1) 进一步加强科学问题属性的宣传,定期组织各个高校和科研院所基金管理人员参加培训,详细讲解四类科学问题属性的具体内涵和项目申请和评审过程中应该注意的细节,请各个高校和科研院所基金管理人员在单位内部加大力度宣传,尤其是

对刚入职的青年科研工作者,避免由于一些非必要因素而导致项目申请失败。同时,扩大不同类型案例库的数量,供申请者参照。

(2) 建议自然科学基金委对外公布四类科学问题属性项目评审要求和标准,指导申请者(评审专家)按照评审要求撰写(评判)申请书内容,申请书栏目设计务必要与评审要求和标准相匹配,满足评审专家能够获得足够信息充分评判课题研究价值,避免评审专家打分的随意性。

(3) 针对光学学科四类科学问题属性项目资助率不均衡问题,建议加强属性 I 类、属性 II 类和属性 IV 类的资助引导,提高这三类项目资助率,优化光学学科的资源配置,强化光学学科各个研究方向均衡发展,充分发挥光学学科在解决国家重大需求和其他学科交叉融合的独特优势。此外,从一些发达国家项目资助和管理政策来看,例如美国^[6,7],也都高度重视这四类科学问题属性项目资助的引导,尤其是具有高创新性和风险性的项目。为了促进我国各个学科在广度和深度上全面发展,同时也为了更好地面向世界科技前沿和国家重大战略需求,建议这四类科学问题属性保持均衡资助率是比较合适的。

(4) 针对属性 I 类项目资助率低的问题,国家高度重视原创性科学研究,鼓励年轻科研工作者开展创新理论探索,自然科学基金委也专门设置了专家推荐类和指南引导类的原创探索项目,建议可以进一步扩大资助力度和资助额度,吸引更多科研工作者积极申请。同时,建议自然科学基金委在项目的会议评审或组织的学术会议中进一步加强原创类项目的宣传力度,并明确这类项目评审的条件和要求,有利于评审专家逐渐形成原创类项目的评审共识。此外,从长远利益来看,给予属性 I 类项目更加宽松的研究探索和宽容失败的科研环境,并且长期不断提高属性 I 类项目资助力度,是解决我国目前重大原始创新成果不多和引领性工作偏少问题的一个重要的举措。

(5) 建议在通讯和会议评审前,请评审专家务必认真阅读科学问题属性的具体内涵并签字,让评审专家深知不同科学问题属性的评判标准和资助导向;同时,在通讯和会议评审后,邀请评审专家反馈科学问题属性分类在项目评审中的功能作用以及需要改进的地方。

(6) 开展问卷调查,做好数据统计分析,深入了解广大科研工作者对四类科学问题属性的想法和诉求,同时广泛征求基金管理领域的专家意见,解决科

学基金管理中存在的问题并针对性地改进措施,让四类科学问题属性更好地服务科学基金管理。

5 基于科学问题属性的学科发展建议

光学是研究从微波、红外线、可见光、紫外线直到 X 射线和伽马射线的宽广波段范围内的电磁辐射的产生、传播、接收和显示,以及与物质相互作用的一门科学^[8]。光学不仅是物理学的一个重要组成部分,更是与光学工程技术相关学科的基础。光学对科学发展、技术创新、社会进步和人类文明等产生了巨大的影响,同时还在不断改变人们的生活方式。光学在我国的化学、信息、生命、医学、材料、能源、通信、遥感、工业、空间科学、国家安全以及军事国防等交叉领域发挥着越来越重要的作用,成为新器件与新应用的创新源泉。近年来,我国在光学学科已有较好的研究积累和人才储备,形成了自己的特色,并在国际学术界产生重要影响,在一些方向已经处于领先地位。但是,整体上与国际顶尖水平尚有些差距,尤其是引领性的原创工作。

目前,我国光学学科各个研究方向发展不均衡,这主要跟当前国际光学领域研究发展趋势和国内光学科研群体分布密切相关。图 3 给出了 2019—2021 年青年科学基金项目 and 面上项目的平均申请量占比和平均资助量占比按照光学学科研究方向统计情况。在平均申请量占比方面,无论是青年科学基金项目还是面上项目,微纳光学与光子学、量子物理与量子光学和光谱学与固体发光排在前三位,而超快超强光物理、光学材料与器件物理和新波段光学与新型光源排在后三位。由此可见,不同研究方向差异还是比较明显。平均资助量占比在各个研究方向的分布情况基本跟平均申请量占比保持一致。为了促进光学学科各个研究方向均衡发展,一方面可以进一步加强对超快超强光物理、光学材料与器件物理和新波段光学与新型光源研究方向的申请动员,例如发布项目专题指南或组织召开专题会议,防止一些冷门研究方向慢慢萎缩;另一方面可以适当降低微纳光学与光子学、量子物理与量子光学和光谱学与固体发光研究方向的资助量占比,同时提高超快超强光物理、光学材料与器件物理和新波段光学与新型光源研究方向的资助量占比,提高科研工作者申请这三个研究方向项目的积极性,避免在某个或某几个热门研究方向出现扎堆现象。

此外,围绕开创科学前沿领域和服务国家战略需求两个基本点,充分发挥光学与其他学科交叉和

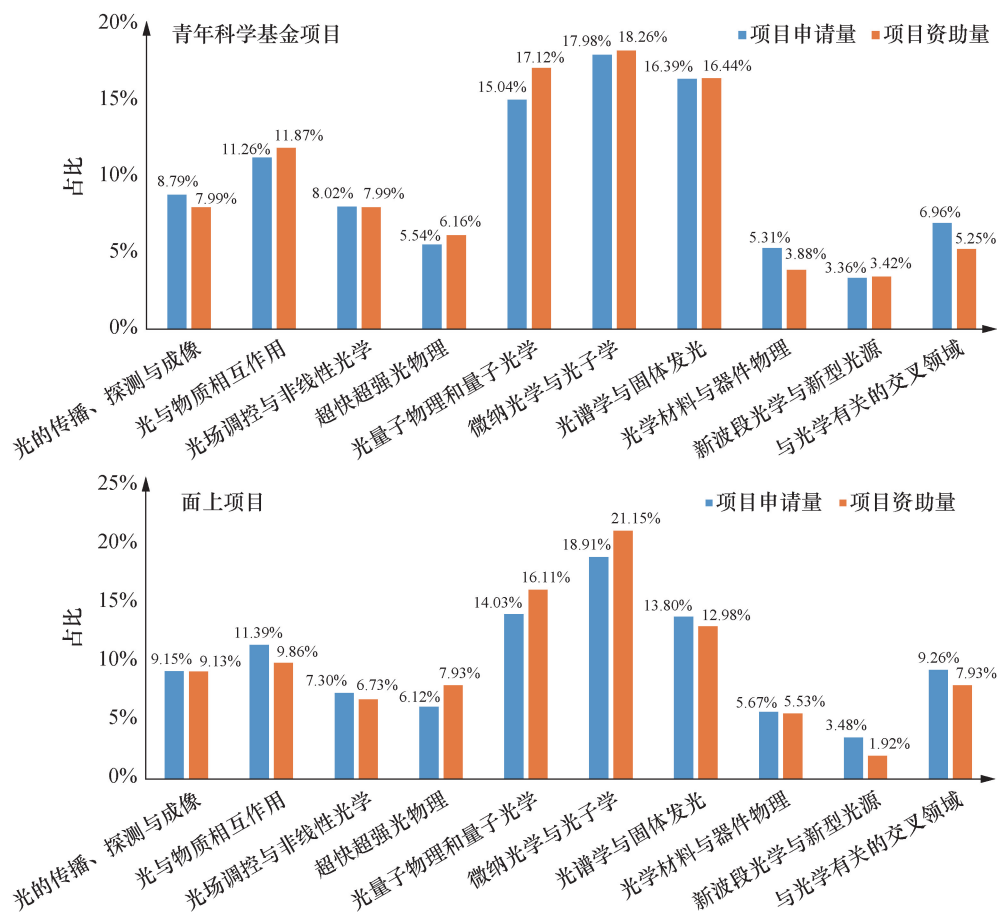


图3 2019—2021年青年科学基金项目 and 面上项目的平均申请量占比和平均资助量占比按照光学学科研究方向统计情况

融合的综合优势,力争实现若干重大突破和重要应用。通过四类科学问题属性建立项目分类资助管理模式,优化国家自然科学基金资源配置和资助布局,孕育具有开创性和引领性的重大科研成果,解决前沿重大基础科学问题和国家重大战略需求;同时,也可以通过四类科学问题属性来整合相同或相近研究领域相关团队的力量,以解决重要科学问题或发展关键技术为目标导向,进行稳定支持、开展长期攻关,引导中国科研工作者敢于并且善于解决相关研究领域中的关键问题和难题,从而在光学学科领域形成自己的学术观点和研究风格。考虑到光学学科研究的若干领域已在国际学术界产生重要影响,建议在以下三个研究领域进行优化布局和资助导向。在超快和超强光物理领域,建议进一步探索与发展超快超强激光新原理与新方法,创造更快更强的极端光物理条件,探索高通量和亚阿秒脉冲的产生机制和超快阿秒物理的创新研究方法;同时利用新型超快超强激光与物质相互作用,开展实验室天体物理、等离子体物理、强场乃至真空腔量子电动力学效应、核物理、高能量密度物理等重大物理前沿研究以及超快超强激光与特殊形态物质(例如固体材料和微纳

结构材料)的相互作用研究,进一步探索新的物理效应和应用。在微纳光子学领域,建议通过对光场的多个自由度的联合调控,获得集成多种光学功能的微纳光子器件和片上系统,实现对光场的精准构筑和探测;同时通过与其他学科和应用领域交叉融合,发挥微纳光子结构光场调控优势,开展光与物质相互作用的量子操控、腔量子电动力学、光力学研究及后续材料量子特性研究。在量子光学领域,建议在量子水平上,探索光子-原子相互作用的新机制,发展光子、原子(离子)的精密量子操控新方法与新技术,重点布局量子腔光力学、超强耦合腔量子电动力学、混合量子系统、高能光子量子光学和超冷里德堡原子气体等研究方向。

6 总结与展望

明确资助导向是新时代国家自然科学基金改革的核心任务之一,通过开展基于四类科学问题属性的分类申请和评审,为建立项目分类管理机制奠定了坚实基础。本文以数理科学部物理一处光学学科为例,按照四类科学问题属性分别梳理了青年科学基金项目和面上项目申请量占比、资助量占比和资

助率相关数据,分析总结了科学问题属性在光学学科执行三年来的特点和规律,并对科学问题属性在光学学科资助导向中提出了建设性意见和发展规划。本文中数据梳理和剖析方式方法在其他学科也同样适用,对于总结科学问题属性在各个学科的执行情况并发现问题解决问题具有非常重要的科学意义和应用价值。此外,数理科学部物理一处也会在总结科学问题属性改革试点经验的基础上,继续推进新时代科学基金资助导向政策的实施,引导广大科研工作者凝练和解决科学问题,持续提升科研选题和项目申请质量,同时积极引导评审专家积极并负责任地参与项目评审工作,进一步提升项目评审质量,充分发挥科学问题属性分类资助导向在物理自然科学基金项目管理中的作用。

参 考 文 献

- [1] 国家自然科学基金委员会. 2019 年度国家自然科学基金项目指南. (2018-12-19)/[2022-01-20]. <https://www.nsf.gov>.
- [2] 刘益宏,高阵雨,郝艳妮,等. 新时代国家自然科学基金资助导向下项目科学问题属性分布现状梳理及有关思考. 中国科学基金, 2019, 33(5): 508—514.
- [3] 国家自然科学基金委员会. 2021 年度国家自然科学基金项目指南. (2021-01-15)/[2022-01-20]. <https://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab938/info79479.htm>.
- [4] 王勇,汪华登,唐成华. 非共识项目的评审机制探讨与建议. 中国科学基金, 2012, 26(2): 74—78.
- [5] 丁厚德,刘求实,王玉堂. 同行评议中“非共识”认识的处理. 中国科学基金, 1995, 9(1): 58—61.
- [6] 董高峰. 美国国家科学基金会加强对创新性研究的支持. 中国基础科学, 2007, 9(5): 45—47.
- [7] 樊春良. 美国国家科学基金会会对学科交叉研究的资助及启示. 中国科学基金, 2005, 19(2): 122—124.
- [8] 杨国桢. 物理学词条: 光学//《中国大百科全书》总编委会. 中国大百科全书. 北京: 中国大百科全书出版社, 2009: 194—196.

Exploring the Attribute of Scientific Issues under the Funding Categories of National Natural Science Foundation of China of Optics Subject

Shian Zhang Xiangwei Jiang Lichun Zhang Peigen Ni* Guoxuan Dong
Department of Mathematics and Physics, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085

Abstract The National Natural Science Foundation of China began to perform the funding orientation based on the attribute of scientific issues from 2019, this reform measure not only standardized the subject categories and writing points for project applicants, but also clarified the review points and criteria for project reviewers, which has played a positive guidance in the project selection and funding management. In this article, we took Optics subject at Physics Division I of Department of Mathematics and Physics as an example, analyzed the status after the implement of the the attribute of scientific issues, discussed the characteristics and problems of the attribute of scientific issues, put forward some constructive suggestions on the attribute of scientific issues from multiple perspectives of applicants, reviewers and managers, and finally gave some ideas for the future development of optics subject based on the attribute of scientific issues.

Keywords classification evaluation; attribute of scientific issues; optics subject; National Natural Science Foundation of China

(责任编辑 崔国增 张强)

* Corresponding Author, Email: nipg@nsfc.gov.cn