

国家自然科学基金光学和光电子学学科项目申请资助分析和规划展望(特邀)

唐华*, 张丽佳

国家自然科学基金委员会信息科学部, 北京 100085

摘要 本文从国家自然科学基金申请与资助的角度, 总结回顾了自“十三五”(2016—2020年)以来至“十四五”开局之年(2021年)期间国家自然科学基金委员会信息科学部光学和光电子学学科(F05)自由探索类项目、引导类项目以及人才类项目的申请资助情况, 从项目数量、资助额度、依托单位、学科领域等角度分析了该领域基金资助的总体特征、结构性变化以及发展趋势, 依据这一时期的优秀科研成果分析了基金资助的成效, 并结合“十四五”发展规划对光学和光电子学学科未来的优先发展领域与基金管理工作进行了展望。

关键词 光学和光电子学; 资助趋势; 优化布局

中图分类号 O43 文献标志码 A

DOI: 10.3788/CJL231404

1 引言

光学和光电子学是现代科学技术中一门发展迅速、影响广泛的学科。它既包含对基本科学规律的探索, 又与物理、化学、生物、医学等众多学科相交叉, 涉及众多应用领域。它涵盖从理论、方法、技术到系统的各个层面, 在整个科学体系中占据重要地位。2015年以来, 随着《中国制造2025》、《国家信息化发展战略纲要》、《“十三五”国家科技创新规划》、《工业和信息化部等六部门关于推动能源产业发展的指导意见》、《“十四五”国家信息化规划》等国家战略文件的出台^[1-5], 光学和光电子学技术面临着前所未有的发展机遇。作为新一代信息技术和众多新场景应用的基础与核心, 光学和光电子学对人工智能、物联网、大数据、云计算、区块链等新兴数字技术的加速创新具有重要的推动作用, 是“数字经济”、“宽带中国”等国家战略的重要支撑, 在国家总体学科发展布局中占有重要的基础性地位。

国家自然科学基金是我国为推动自然科学基础研究发展而设立的国家级资助基金, 旨在支持我国基础研究、促进基础学科建设、培养优秀科技人才与队伍, 由国家自然科学基金委员会(以下简称“自然科学基金委”)负责管理与监督工作。光学和光电子学学科(申请代码F05)的国家自然科学基金项目管理工作主要由自然科学基金委信息科学部四处负责。由于光学和光电子学具有基础性和交叉性的学科特点, 其学科领域涵盖的研究方向较为丰富。随着学科代码的调整优化,

F05目前共包含16个二级学科代码, 主要资助光子学、光电子学、光谱信息学、应用光学等领域的基础研究。为探究近年来光学和光电子学学科的基金资助情况与发展趋势, 也为科研工作者申报与开展相关领域的项目研究提供有益借鉴, 本文以F05代码下国家自然科学基金项目的申请与资助为基础数据信息, 重点分析“十三五”开局之年(2016年)至“十四五”开局之年(2021年)期间, 光学和光电子学学科不同定位的自然科学基金项目申请与资助的总体特征, 总结本学科基金资助的变化趋势, 并结合“十四五”规划的整体布局对本学科的发展趋势与未来的基金管理工作进行展望。

2 自由探索类项目的申请与资助情况

在国家自然科学基金资助体系中, 面上项目、青年科学基金项目(以下简称“青年项目”)、地区科学基金项目(以下简称“地区项目”)这三种类型的项目定位于“自由申请、自定题目、自主研究”, 可以统称为自由探索类项目(以下简称“自由类项目”)^[6]。自由类项目具有资助量占比较大、覆盖面较广的特点, 是国家自然科学基金项目的主体。因此, 其申请与资助数据的统计分析结果能很好地反映光学和光电子学学科基金资助的总体特征以及发展趋势。笔者将从基金项目数量、依托单位分布、学科代码分布及其随时间的演变等方面对2016年至2021年期间F05代码下自由类项目的数据进行系统分析与总结。

2.1 项目申请量、资助量与资助额度分析

图1(a)给出了2016年至2021年期间, 光学和光

收稿日期: 2023-11-14; 修回日期: 2023-12-10; 录用日期: 2023-12-15; 网络首发日期: 2023-12-30

通信作者: *tanghua@nsfc.gov.cn

电子学学科面上项目、青年项目、地区项目的申请量以及自由类项目的申请总量随时间的演变。总体而言,自由类项目的申请总量呈现出稳步增长的态势,从2016年的2117项逐年增加至2021年的3215项,年平均增长率为10.4%。其中,2018年的申请量较2017年增长了500项,这一增幅占据这一时期申请量增幅的首位。面上项目的申请量随时间演变的特征在2020年之前与自由类项目的演变特征基本一致,但是自2020年开始,面上项目的申请量基本保持稳定。由于青年项目获得资助后不得再次申请,故而大部分年份其申请量略低于面上项目,但近年来青年项目申请量一直保持稳步增长的趋势,并于2021年反超了面上项目67项。由于区域的限制,地区项目的申请量较少,但在这一时期同样保持增长的态势,但其增速于2020年开始放缓。总体而言,上述不同类型的自由类项目申请量的演变趋势差异较小,三类项目的申请量在自由类项目申请总量中的占比未发生显著变化,表明光学和光电子学学科的基金项目申请情况较为稳定。

随着自由类项目申请总量的逐年增加,其资助总量也呈现出增长趋势。如图1(b)所示,自由类项目的立项数由2016年的505项增加至2021年的668项,总

增幅为32.3%。然而,面上项目资助量在这一时期呈现出相对稳定的态势,除2020年有一定的减少以外,整体呈现少量增长的态势。青年项目资助量随时间的演变与面上项目形成鲜明对比,其在这一时期的立项数呈现大幅度稳定增长的态势,资助量也从2016年的253项增长至2021年的381项(增长率为51%),占自由类总增量的79%。地区项目虽然总资助量偏少,但在2016年至2019年间呈现出显著的增长趋势,并于2020年开始逐渐趋于稳定。由上述分析可知,在2016年至2021年期间,自由类项目资助总量的增长其实主要源于青年项目。这三类项目资助趋势的差异使得自由类项目的资助在“十三五”至“十四五”时期发生了结构性变化。如图1(c)所示,青年项目资助量在自由类项目总资助量中的占比从2016年的50%增长至2021年的57%,而面上项目的占比从2016年的47%减小到2021年的40%。自由类项目的这种结构性变化表明自然科学基金委在这一时期加强了对青年科技工作者的支持,高度重视青年科技工作者的培养。这种对青年科技工作者的大力资助得益于“十三五”规划对科学基金工作的布局,其中的重要任务之一就是培育人才队伍,加大对从事基础研究的青年科技工作者的资助力度^[7]。

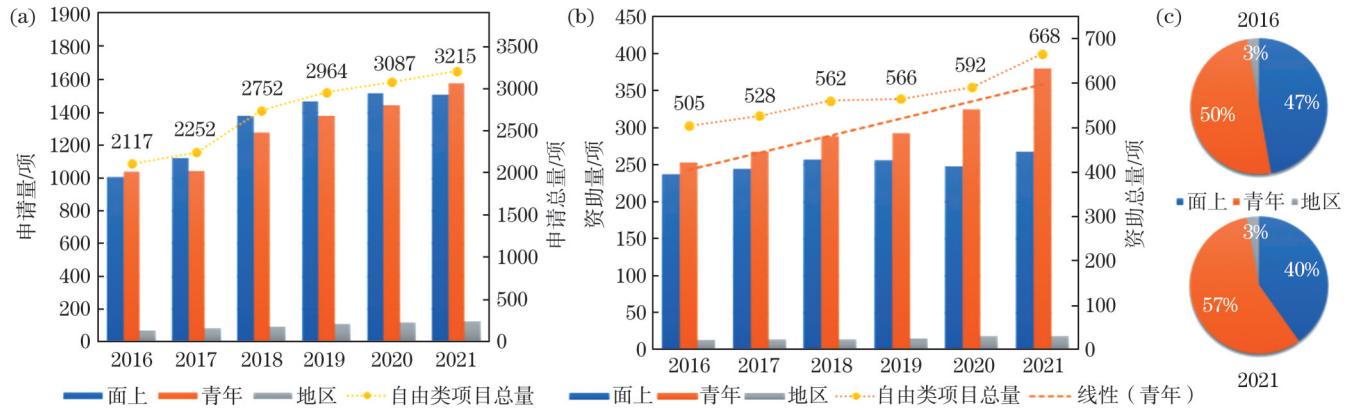


图1 光学和光电子学学科相关项目的申请量与资助量随时间演变的趋势。(a)自由类项目申请量;(b)自由类项目资助量;(c)面上项目、青年项目、地区项目资助量的占比

Fig. 1 Number of proposals and grants over time in the field of optics and optoelectronics. (a) Proposal number of exploratory projects; (b) grant number of exploratory projects; (c) percentage of general, youth, and regional projects

项目申请量的增长以及资助量分布的演变同样引起了光学和光电子学学科项目资助率的变化。图2(a)给出了三种自由类项目的资助率在2016年至2021年期间随时间的演变。面上项目的资助率从2016年的23.61%下降至2020年的16.32%,到2021年资助率又回升至17.72%。受2020年科学基金预算总额减少的影响^[8],当年面上项目资助率是近几年的最低点。从面上项目资助率的整体演化趋势来看,其已由前期的逐渐下降变为趋于平稳,这表明面上项目基金申请的竞争随着申请项目数的持续增加而愈发激烈,但后三年该项目的资助率和申请量都维持在相对平稳的状

态。青年项目的资助率虽然呈现出一定程度的波动,但在2021年又回升至与2016年相当的24.13%。地区项目的资助率随着申请量的逐年增加呈现出一定程度的下降。总体而言,自由类项目的资助率由2016年的面上项目与青年项目相当,逐渐演变为2021年的青年项目高于面上项目,这是申请量显著增加与这一时期自然科学基金委政策倾斜共同作用的结果。

图2(b)给出了这一时期自由类项目资助额度随时间的变化。自由类项目总资助额度在2016年至2018年期间明显增加,并在2018年至2020年维持相

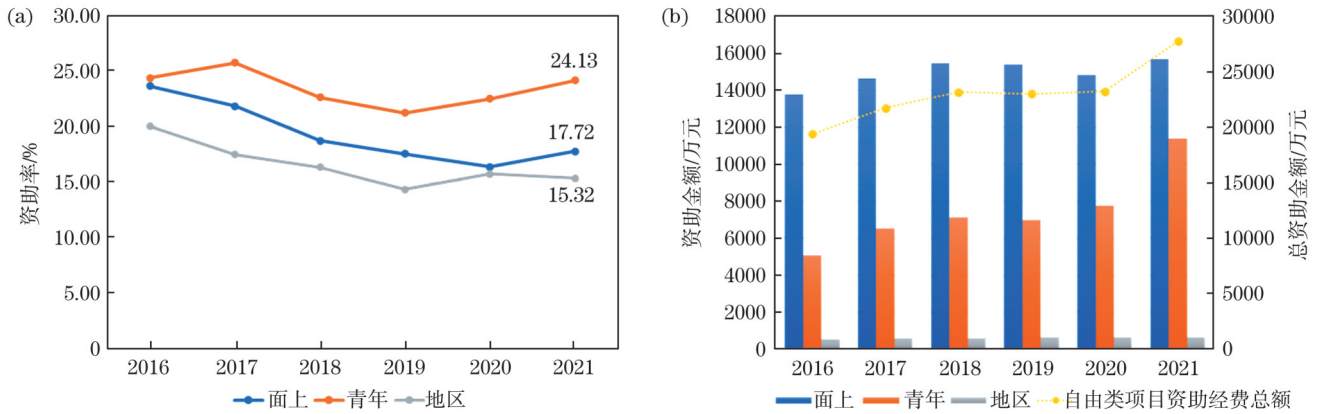


图 2 光学和光电子学学科自由类项目资助数据随时间的演变。(a)资助率;(b)资助额度

Fig. 2 Number of grants over time for exploratory projects in the field of optics and optoelectronics. (a) Project approval rate; (b) grant funding

对稳定的状态。2021年总资助额度显著提升,这是因为青年项目开始试点“包干制”,项目经费不再分为直接费用和间接费用,每项批准经费由2020年的直接经费24万元和间接经费6万元,变为总经费30万元。面上项目资助额度呈现出先增加后减少并逐渐平稳的趋势;青年项目的资助额度基本上逐年增加,与面上项目的差距逐渐减小,在自由类项目总资助额度中的占比呈增大趋势;地区项目资助额度稳步增长。这一结果与项目资助量的演变趋势基本一致。

2.2 项目依托单位分布情况

在2016年至2021年期间,越来越多的高校和科研院所开展了光学和光电子学学科的研究工作,并积极参与了自由类项目的申请。如图3所示,申请本学科的依托单位数量从2016年的463家逐渐增加到2021年的562家,增长率为21.4%。申请单位数量的大幅度增长反映出国内光学和光电子学学科队伍正处于快速发展壮大阶段。值得注意的是,获得资助的依托单位的数量并未随着申请项目依托单位数量的增长而同步大幅度增长,而是整体呈现出平稳中有少量增长的态势,表明本领域优势研究单位

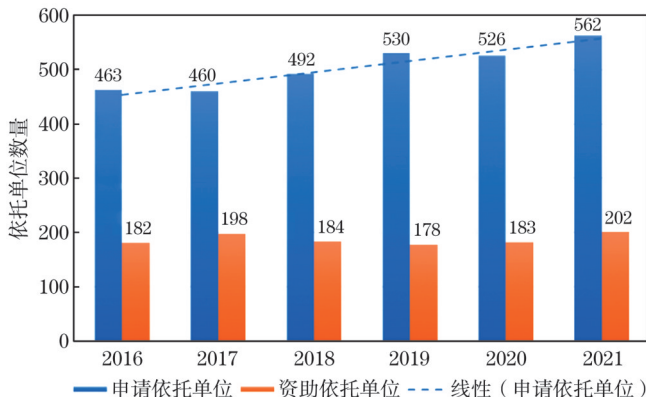


图 3 光学和光电子学学科自由类项目依托单位数量随时间的演变

Fig. 3 Grant holding institution number of exploratory projects over time in the field of optics and optoelectronics

趋于集中。总体来看,这一时期共有796家单位参与了自由类项目的申请,其中415家单位获得了本学科自由类项目的资助,仍有47.9%的单位未获得资助。上述统计结果也反映出部分依托单位申请内容的研究深度、创新性以及申请书的撰写质量仍需进一步提升。

表1统计了2016年至2021年期间三种自由类项目中申请量排名前10的依托单位。无论是面上项目还是青年项目,申请量排名前10的依托单位的合计项目数都占总项目数的近1/5,反映出光学和光电子学学科的项目申请具有依托单位相对集中的现象。深圳大学在面上项目、青年项目这两类项目上的申请量均排名第一,并且其青年项目的申请量是排名第三的中国科学院光电技术研究所的近2倍,以及排名第十的华中科技大学的近3倍。相比之下,面上项目依托单位申请项目数的分布更为平均。值得注意的是,面上项目申请量靠前的依托单位中,高校明显多于科研院所,而青年项目申请量排名前10的依托单位中包含了6家科研院所,其申请量占排名前10依托单位总申请量的59%。这展现出光学和光电子学学科的青年科技工作者在科研院所中的分布较为集中。与面上和青年项目不同,地区项目的目标是培养和扶植特定地区的科研人员,旨在稳定和凝聚优秀人才,促进区域社会经济发展^[9]。因此,地区项目的依托单位总数较少,在这一时期共有85家依托单位申请了F05代码下的自由类项目。其中,申请量最高的依托单位是以电子信息为特色专业的桂林电子科技大学,其申请项目数达到了76项,占申请总量的12.56%,是申请量排名第二的新疆大学的3倍。排名前10的依托单位的申请量占申请总量的43%。上述统计结果反映了光学和光电子学学科地区项目的申请呈现出依托单位高度集中的现象。

接下来将基于自然科学基金资助数据,进一步分析光学和光电子学学科获得资助的自由类项目的依托

表 1 2016 年至 2021 年光学和光电子学学科自由类项目申报量排名前 10 的依托单位

Table 1 Top 10 proposal submitting institutions in the field of optics and optoelectronics from 2016 to 2021

项目名称	单位名称	申请项目数/项	占比/%
面上项目	深圳大学	196	2.45
	华中科技大学	188	2.35
	中国科学院上海光学精密机械研究所	168	2.10
	电子科技大学	159	1.98
	中国科学院长春光学精密机械与物理研究所	153	1.91
	天津大学	152	1.90
	浙江大学	146	1.82
	北京理工大学	136	1.70
	哈尔滨工业大学	127	1.58
	中国科学院西安光学精密机械研究所	114	1.42
青年项目	深圳大学	297	3.82
	中国科学院长春光学精密机械与物理研究所	266	3.42
	中国科学院光电技术研究所	158	2.03
	长春理工大学	155	2.00
	中国科学院上海光学精密机械研究所	140	1.80
	中国科学院西安光学精密机械研究所	133	1.71
	中国工程物理研究院激光聚变研究中心	126	1.62
	暨南大学	96	1.24
	中国科学院合肥物质科学研究院	91	1.17
	华中科技大学	88	1.13
地区项目	桂林电子科技大学	76	12.56
	新疆大学	25	4.13
	南昌航空大学	25	4.13
	云南师范大学	21	3.47
	昆明理工大学	20	3.31
	南昌大学	20	3.31
	广西师范大学	19	3.14
	华东交通大学	19	3.14
	广西大学	17	2.81
	九江学院	17	2.81

单位分布情况。表 2 给出了这一时期 F05 代码下资助量排名前 10 的依托单位。华中科技大学、深圳大学、浙江大学、暨南大学和中国科学院上海光学精密机械研究所在面上项目和青年项目上获得的资助量均较为领先,反映出这些依托单位在光学和光电子学领域的学科优势以及良好的人才梯队建设。面上项目资助量最高的华中科技大学的立项数占总量的 4.10%,资助率占 32.98%,是这一时期面上项目平均资助率(18.89%)的 1.7 倍。部分学校虽然申请量不高,但由于拥有较高的资助率,因而在资助量上排名靠前。例如,清华大学和山西大学的面上项目资助率是平均资助率的 2 倍多,使得其立项数量均进入了前 10。青年项目资助量最高的深圳大学的立项数达到了 94 项,在总量中的占比高达 5.20%,是第二名中国科学院长春光学精密机械与物理研究所的近 2 倍,而且其资助率

也达到了 31.65%,比这一时期青年项目的平均资助率(23.38%)高 8.27 个百分点。暨南大学、中国人民解放军国防科技大学、北京理工大学和西北工业大学青年项目的资助率均超过了 40%,反映出这些高校在光学和光电子学基础研究领域具有丰富的青年人才储备。对于具有区域性限制的地区项目,桂林电子科技大学的资助量达到了总资助量的 16.67%,具有较大的学科优势。南昌大学、南昌航空大学、贵州大学在资助情况上表现突出,资助率均超过 30%。值得注意的是,地区项目资助量排名前 10 的依托单位的立项数占总量的 69%,表明地区项目的立项集中度较申请情况进一步加剧。

2.3 项目学科代码分布情况

光学和光电子学具有基础性和交叉性的特点,涵盖的学科领域较为丰富,既可以与物理、材料等各类学

表 2 2016 年至 2021 年光学和光电子学学科自由类项目资助量排名前 10 的依托单位
Table 2 Top 10 grant holding institutions in the field of optics and optoelectronics from 2016 to 2021

项目名称	单位名称	资助项目数/项	占比/%	资助率/%
面上项目	华中科技大学	62	4.10	32.98
	深圳大学	51	3.37	26.02
	浙江大学	46	3.04	31.51
	天津大学	45	2.97	29.61
	清华大学	40	2.64	43.01
	上海交通大学	35	2.31	34.31
	暨南大学	31	2.05	31.31
	山西大学	31	2.05	39.24
	中国科学院上海光学精密机械研究所	31	2.05	18.45
	电子科技大学	30	1.98	18.87
青年项目	深圳大学	94	5.20	31.65
	中国科学院长春光学精密机械与物理研究所	56	3.10	21.05
	暨南大学	42	2.32	43.75
	华中科技大学	34	1.88	38.64
	浙江大学	34	1.88	38.64
	中国科学院上海光学精密机械研究所	32	1.77	22.86
	中国人民解放军国防科技大学	31	1.71	42.47
	北京理工大学	31	1.71	44.93
	中国科学院光电技术研究所	29	1.60	18.35
	西北工业大学	28	1.55	58.33
地区项目	桂林电子科技大学	14	16.67	18.42
	南昌大学	8	9.52	40.00
	南昌航空大学	8	9.52	32.00
	昆明理工大学	6	7.14	30.00
	云南师范大学	5	5.95	23.81
	贵州大学	5	5.95	33.33
	兰州理工大学	3	3.57	30.00
	新疆大学	3	3.57	12.00
	北方民族大学	3	3.57	25.00
	江西师范大学	3	3.57	20.00

科相互交叉,又可以面向不同的应用领域。因此,在经过学科代码的调整优化后,F05 光学和光电子学学科共包含 16 个二级学科代码,如表 3 所示。其中:F0506(激光)和 F0509(光学和光电子材料)属于原理和基础类研究;F0502(光子与光电子器件)、F0508(应用光学)、F0514(光子集成技术与器件)偏向于器件和制造类的研究;F0501(光学信息获取、显示与处理)、F0504(红外与太赫兹物理及技术)、F0505(非线性光学)、F0507(光谱信息学)、F0515(量子光学)这五个学科领域属于功能和效应方面的研究;F0503(传输与交换光子器件)和 F0513(微纳光子学)则包含了器件、制造、功能、效应等多方面的研究;F0510(空间、大气、海洋与环境光学)、F0511(生物、医学光学与光子学)、F0512(能源与照明光子学)和 F0516(交叉学科中的光学问题)这四个二级代码则属于应用、交叉类的研

究,面向特定的应用领域,同时又具有学科交叉特性。

为了更全面地了解近年来光学和光电子学学科基金项目的研究领域分布,以及学科发展趋势,图 4 统计了 2016 年至 2021 年期间,F05 代码下面上项目、青年项目、地区项目这三类项目申请量以及自由类项目申请总量的二级学科代码分布情况。为防止在对比不同类型自由类项目时受到各类项目申请总量差异的影响,将申请量占比(即用申请量除以这类项目的申请总量)作为图 4 的纵坐标。从自由类项目的总体分布可以看出,申请量最大的研究领域是 F0502(光子与光电子器件),其次是 F0506(激光)。除此之外,F0501(光学信息获取、显示与处理)和 F0503(传输与交换光子器件)在自由类项目申请总量中的占比也超过了 10%。上述 4 个研究领域的合计申请量占了总申请量

表 3 光学和光电子学学科二级代码一览表

Table 3 Secondary discipline codes in the field of optics and optoelectronics

二级学科代码	二级学科名称
F0501	光学信息获取、显示与处理
F0502	光子与光电子器件
F0503	传输与交换光子器件
F0504	红外与太赫兹物理及技术
F0505	非线性光学
F0506	激光
F0507	光谱信息学
F0508	应用光学
F0509	光学和光电子材料
F0510	空间、大气、海洋与环境光学
F0511	生物、医学光学与光子学
F0512	能源与照明光子学
F0513	微纳光子学
F0514	光子集成技术与器件
F0515	量子光学
F0516	交叉学科中的光学问题

的近一半,反映了其较高的研究热度。由于2018年之前没有F0512(能源与照明光子学)、F0513(微纳光子学)、F0514(光子集成技术与器件)这三个研究领域的独立二级代码,因此这里统计的申请量数据均来自后

三年。但微纳光子学的申请量占比仍然不低,与F0505(非线性光学)的申请量相当,表明该领域在后三年备受研究人员关注。面上项目与青年项目申请量的学科代码分布情况相近,与自由类项目的总体分布情况基本一致。但部分研究领域仍然存在一定差异。F0506(激光)和F0508(应用光学)呈现出青年项目申请量占比明显大于面上项目的特征,反映出这两个领域的青年研究人员占比较大。

地区项目申请量的学科代码分布与自由类项目总体分布的差异较大。F0507(光谱信息学)和F0509(光学和光电子材料)在地区项目中的申请量占比分别达到了14.55%和10.91%,远高于其在自由类项目申请总量中7.26%和7.07%的占比。事实上,地区项目的一个重要目标是服务、促进我国欠发达区域的经济社会发展,该类项目的申请尤其关注这些区域的现实需求^[8]。光谱信息学中的光谱诊断技术是该领域最重要的研究方向之一,该技术的研究是可以面向食品和农业检测应用的,这契合发展农林畜牧业实现乡村振兴的区域特色。因此,从F0507在地区项目中较高的占比可以看出相关领域的研究人员正在积极响应当地的实际需求。光学和光电子材料中的激光材料、上转换发光材料、光学功能材料等研究方向大都涉及与稀土元素掺杂相关的研究,而江西省、内蒙古自治区等是我国稀土资源的主要分布地,F0509(光学和光电子材料)在地区项目中的较高占比反映出这些地区对国家稀土战略的积极响应。

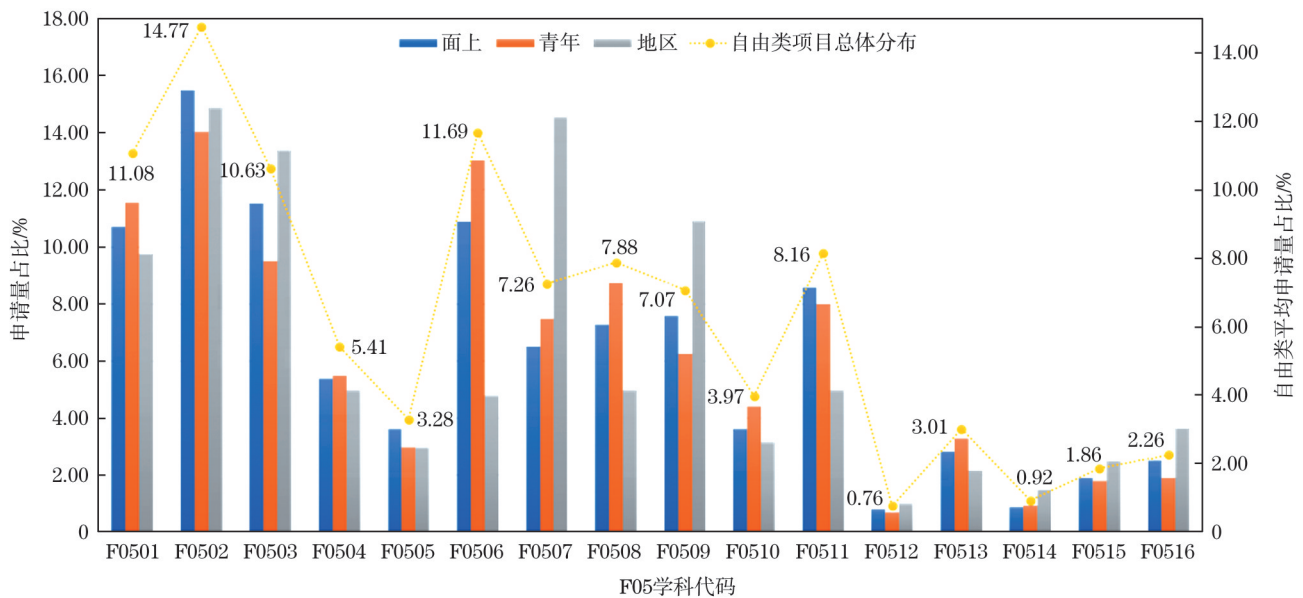


图 4 光学和光电子学学科自由类项目申请量的学科代码分布

Fig. 4 Disciplinary codes of exploratory project proposals in the field of optics and optoelectronics

为进一步分析光学和光电子学学科各研究领域自由类项目的资助情况,图5呈现了2016年至2021年期间各二级代码下自由类项目的资助率。从图5中可以看出,大部分学科代码下自由类项目的总体资助率都位于18%~24%区间,各研究领域的资助

率较为平均,这与“十三五”时期提出的自由探索类项目“推动各学科均衡协调可持续发展”的重要任务相契合^[7]。因此,资助量的学科代码分布应与申请量的学科代码分布基本一致,主要由研究领域的受关注度和前沿性决定。F0512(能源与照明光子学)、

F0513(微纳光子学)、F0514(光子集成技术与器件)、F0515(量子光学)这 4 个研究领域的资助率均超过了 24%。事实上,F0512、F0513、F0514 是在“十三五”时期的学科布局优化下新增的二级代码,而 F0515 则是从原二级学科“非线性光学与量子光学”中独立出来的二级代码,因此这 4 个学科代码的整体申请量较少且处于研究前沿,因而呈现出较高的资助率。F0501(光学信息获取、显示与处理)是近几年申请量增幅较大的研究领域之一,申请量的高速增长不可避免地带来了更加激烈的竞争,导致资助率偏低。从不

同类型项目的资助率对比可以看出,各研究领域的青年项目的资助率均高于面上项目,这进一步反映出各领域资助率分布的均匀性,以及自然科学基金委对青年科技工作者的大力支持。其中,F0505(非线性光学)、F0512(能源与照明光子学)、F0513(微纳光子学)二级代码下面上项目和青年项目的资助率差距较大,青年项目资助率比面上项目高出至少 8 个百分点。在地区项目中,F0513(微纳光子学)的资助率明显高于其他学科代码,这与地区项目中该研究领域的申请量较少有关。

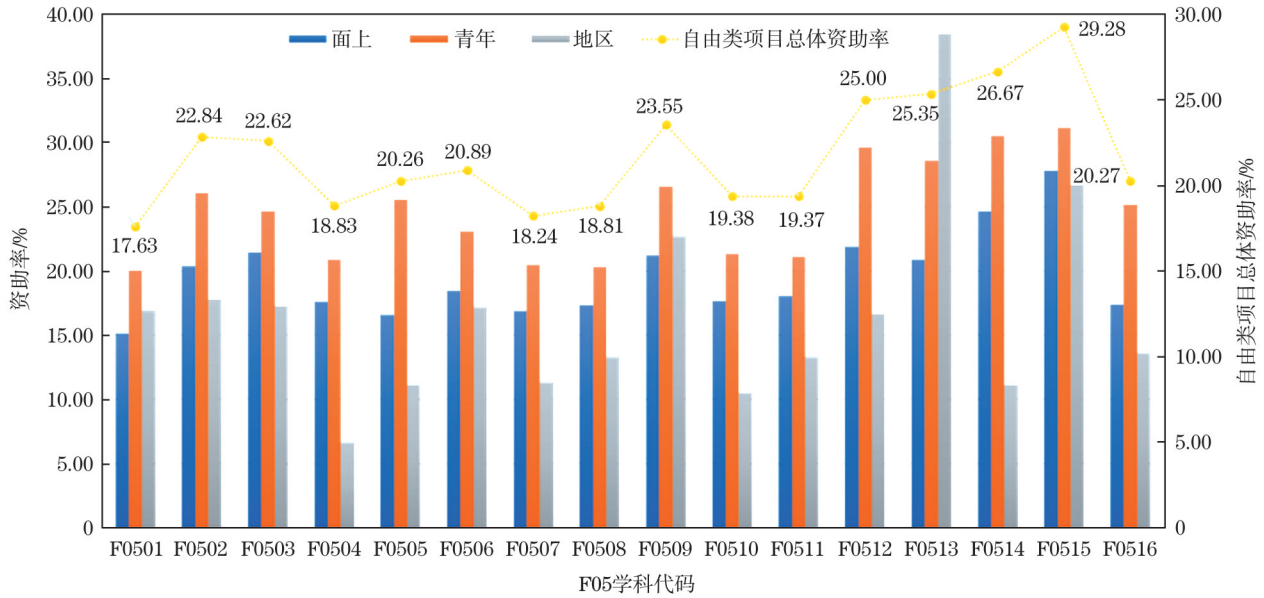


图 5 光学和光电子学学科各二级学科代码下自由类项目的资助率

Fig. 5 Project approval rate for exploratory projects in the field of optics and optoelectronics

项目学科代码分布情况随着时间的演变能够更好地反映学科发展的趋势。图 6(a)对比了 2016 年至 2018 年和 2019 至 2021 年这两个时间区间内自由类项目资助量的学科代码分布情况,并给出了每个学科代码下自由类项目资助量的增长率。从图 6(a)中可以看出,2019 至 2021 年期间,大部分研究领域的自由类项目的资助量相较于 2016 年至 2018 年都呈现出增长趋势,其中,资助量增长率最大的研究领域是 F0515(量子光学)。量子光学作为面向量子信息技术应用的基础研究,近年来受到研究人员的广泛关注。“十三五”时期,量子光学从原二级学科“非线性光学与量子光学”中拆分出来成为独立的二级学科,表明自然科学基金委对该研究领域的高度重视。该领域资助量的大幅度增长也反映出优化学科布局对光学和光电子学领域发展的促进作用。除 F0515 以外,F0501(光学信息获取、显示与处理)、F0507(光谱信息学)、F0508(应用光学)、F0509(光学和光电子材料)、F0511(生物、医学光学与光子学)也均呈现出高于平均值的资助量增长率,反映出这 5 个研究领域在近几年良好的发展趋势和较高的

研究热度。值得注意的是,F0502(光子与光电子器件)、F0505(非线性光学)、F0510(空间、大气、海洋与环境光学)这三个研究领域呈现出资助量减少的趋势。这与新兴研究领域的高速发展引起这些领域的分流有必然的关联,不过同时也需要更加关注这三个研究领域的人才队伍建设。

考虑到 F0512、F0513、F0514 是 2018 年才设立的,图 6(b)单独给出了新增学科代码 F0512、F0513、F0514 下自由类项目资助量随时间的演变情况。F0512(能源与照明光子学)、F0513(微纳光子学)的资助量除在 2019 年呈现出微量的减少以外,其他年份都呈现出大幅度增长的态势。其中:F0513 的资助量从 2018 年的 21 项增长到 2021 年的 52 项,是新增二级代码中资助量最大的,反映出微纳光子学领域较高的研究热度以及近年来的高速发展趋势;F0514(光子集成技术与器件)的资助量呈现逐年持续增长态势,其 2021 年的资助量达到了 2018 年的 6 倍,这与近年来光子芯片的市场需求以及国家政策牵引密切相关^[10]。

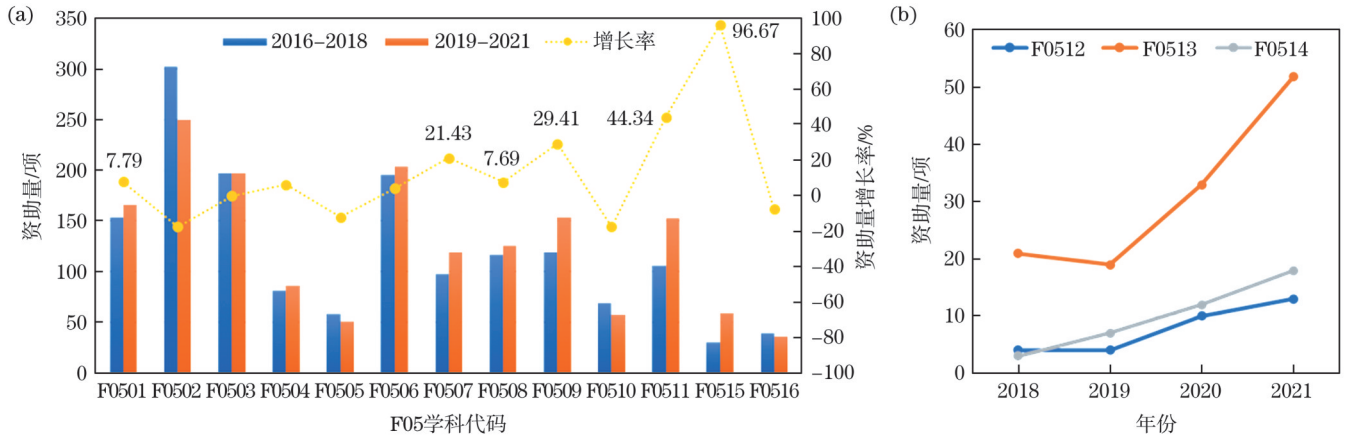


图 6 光学和光电子学学科各二级学科代码下自由类项目和新增长学科资助量随时间的演变。(a)自由类项目资助量；(b)新增学科代码资助量

Fig. 6 Number of approved exploratory projects and new disciplines over time in the field of optics and optoelectronics. (a) Approval amount of exploratory projects; (b) approval amount of new disciplinary codes

3 引导类项目的申请与资助情况

与面上项目、青年项目、地区项目这三类项目的自由探索特性不同,重点项目、重大项目 and 重大研究计划项目瞄准学科前沿和国家重大需求,引导学者在特定优先领域进行有组织的学术创新,属于“命题式”的引导类项目。这三类项目在 2016 年至 2021 年期间的申请总量为 537 项,其中重点项目为 336 项,重大项目为 59 项,重大研究计划项目为 142 项,共资助 142 项。可以看出,重点项目在引导类项目中的体量最大,样本较多,数据具有较好的统计分析意义。下面主要围绕重点项目的学科代码分布情况分析近几年光学和光电子学学科面向国家战略需求以及学科前沿探索重点发展的研究领域。

图 7 统计了 2016 年至 2021 年期间,重点项目申请量和资助量的学科代码分布。从图 7 中可以看出,光学和光电子学学科重点项目在申请结构和资助结构上相似,各领域二级代码在申请与资助中的占比相当。F0502(光子与光电子器件)、F0503(传输与交换光子

器件)以及 F0511(生物、医学光学与光子学)是重点项目申请与资助中占比最多的三个研究领域,占重点项目申请总量的 48%、资助总量的 50%,反映出重点项目相比于自由类项目具有研究领域更加高度集中的特点。其中,F0503(传输与交换光子器件)的申请量占比达到总量的 20%,资助量占比达到 23%,不仅申请量最大,资助率也高于重点项目的平均资助率,说明该领域是光学与光电子学学科面向国家战略需求所重点发展的研究领域。排名第二的 F0502(光子与光电子器件)占重点项目申请量的 15%、资助量的 16%。F0502(光子与光电子器件)与 F0503(传输与交换光子器件)都是面向我国高度重视的光电子器件及集成技术的发展而设立的,可被应用于光通信系统、光子智能计算芯片等重要领域。这两个研究方向在重点项目中的资助体量达到了 39%,既反映了自然科学基金委在国家战略规划下的资助布局优化,也体现了引导类项目的超前部署作用。

下面将根据重点项目学科代码分布情况随时间的演变进一步分析学科发展的趋势。由于重点项目

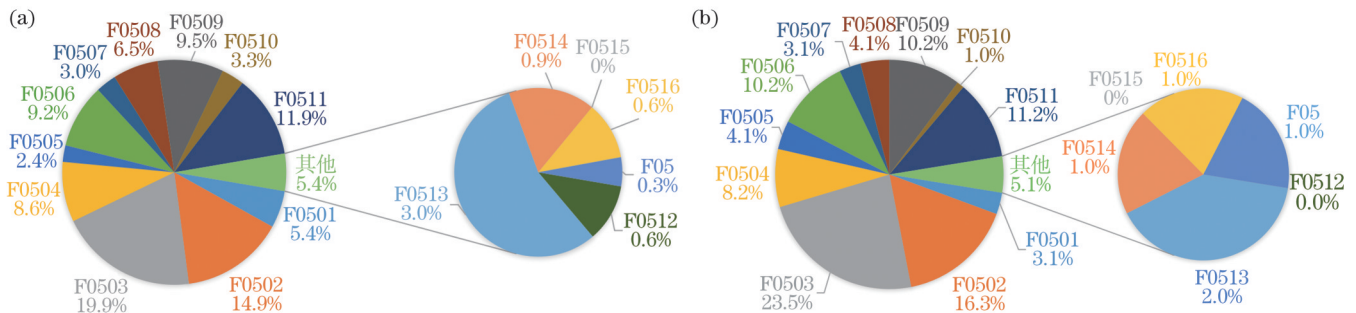


图 7 2016 年至 2021 年光学和光电子学学科重点项目申请与资助代码分布。(a)申请量；(b)资助量

Fig. 7 Disciplinary code distribution of proposals and grants for key projects in the field of optics and optoelectronics from 2016 to 2021. (a) Proposal number; (b) grant number

的申请结构与资助结构相似,这里主要分析数据样本更大的项目申请量。图 8 对比了 2016 年至 2018 年以及 2019 年至 2021 年这两个时间区间内重点项目申请量的学科代码分布情况。从图 8 中可以看出,重点项目申请量呈现出显著增长态势的研究领域包括 F0501(光学信息获取、显示与处理)、F0506(激光)、F0507(光谱信息学)、F0511(生物、医学光学与光子学)、F0514(光子集成技术与器件)。其中,F0514 是 2018 年之后新增的学科代码,它与 F0502、F0503 都是面向我国信息产业中布局的光电子器件与集成技术领域而设定的。F0511(生物、医学光学

与光子学)的重点项目申请量的显著增长反映了面向生命科学应用和交叉的领域成为本学科的研究重点之一。F0501(光学信息获取、显示与处理领域)近年来高速发展,无论是自由类项目的申请量还是重点项目的申请量都显著增长,其部分研究方向也面向光电集成领域的应用。例如,在 2022 年发布的重点项目优先资助领域“光电子集成技术”中就包含 F0501 代码下的“高分辨无透镜计算光学成像集成芯片研究”。上述研究领域申请量的演变很好地反映了国家战略规划下光学和光电子学学科的发展趋势。

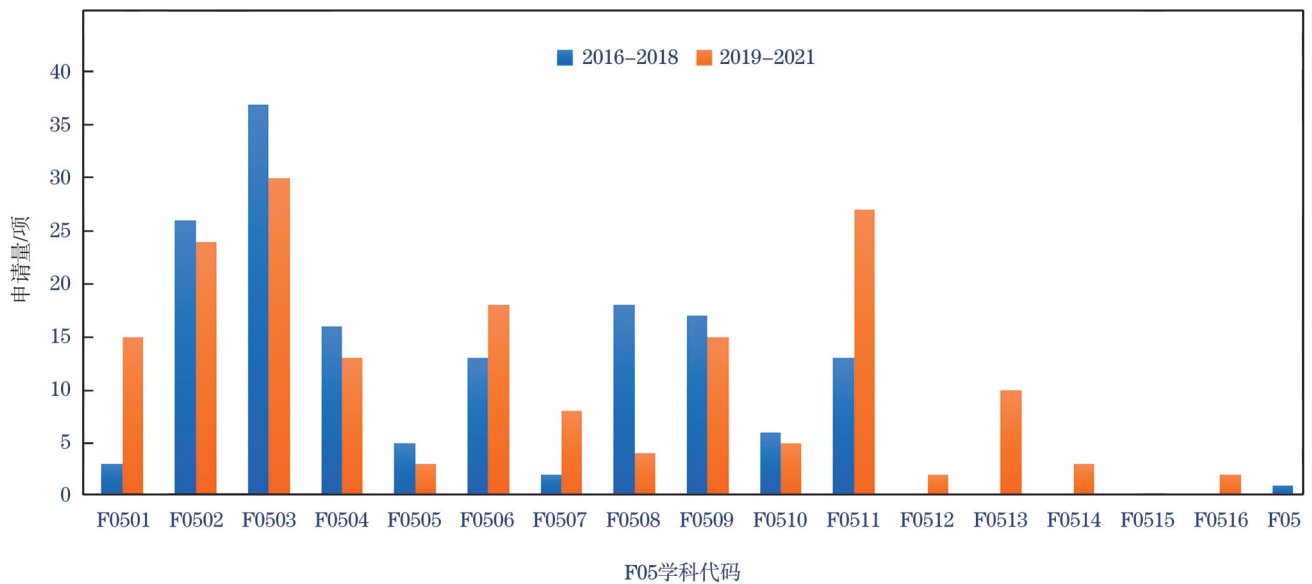


图 8 光学和光电子学学科重点项目申请量的学科代码分布随时间的演变

Fig. 8 Disciplinary code distribution of proposals for key projects over time in the field of optics and optoelectronics

4 人才类项目的申请与资助情况

优秀青年科学基金项目(以下简称“优青项目”)和国家杰出青年科学基金项目(以下简称“杰青项目”)作为国家自然科学基金中定位的人才系列项目,因名额少、竞争激烈、含金量高而受到广泛关注。上述项目旨在支持科研人员自主选择研究方向开展创新研究,在基金资助布局中占据重要地位。图 9(a)对比了 2016—2018 年以及 2019—2021 年两个时间区间内光学和光电子学领域优青项目、杰青项目的申请量和资助量。从图中可以看出,优青项目和杰青项目的申请量分别从 2016—2018 年的 387 项和 217 项增长到 2019—2021 年的 455 项和 295 项,增长率分别为 18% 和 36%。杰青项目申请量的增长率显著大于优青项目,但优青项目的申请量仍然明显高于杰青项目。随着申请量的大幅增长,优青项目和杰青项目的资助量也呈现出显著增长的态势,尤其是优青项目的资助量从 2016—2018 年的 31 项增

长到 2019—2021 年的 48 项,增长率达到 55%,远高于申请量的增长率。这表明自然科学基金委近年来加大了对光学和光电子学领域优青项目的支持力度。

图 9(b)对比了这两个时期优青项目、杰青项目以及这两种人才类项目的平均资助率。在申请量增长的情况下,优青项目的平均资助率从早期的 8.01% 大幅度提高至 10.55%;而杰青项目的资助率基本稳定在 7% 左右,这与其近年来申请量急剧增长、竞争趋于激烈密切相关。两种人才类项目的平均资助率从 2016—2018 年的 7.62% 提高至 2019—2021 年的 9.07%。在人才类项目申请量大幅增长的情况下,资助率的显著提高表明了自然科学基金委对青年科技工作者支持力度的加大,这与“十三五”时期“四位一体”的资助格局中针对人才系列项目提出的完善人才培养体系、保障基础研究人才储备、对不同年龄段优秀人才团队施以全谱系的支持高度契合。

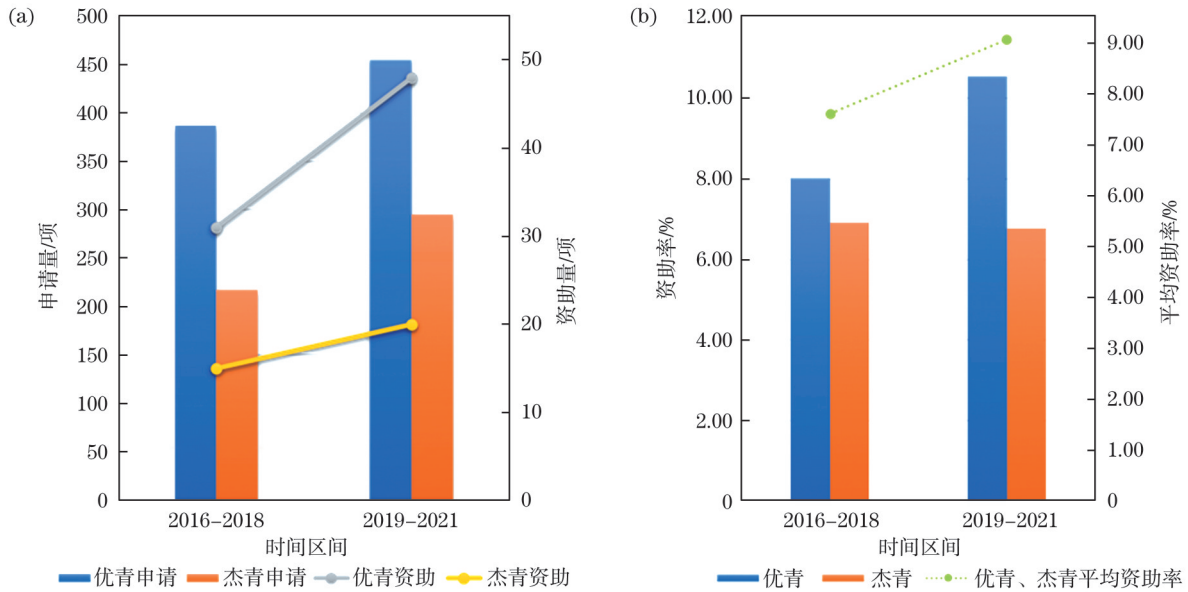


图9 2016年至2021年光学和光电子学学科优青、杰青项目申请量与资助量随时间的演变。(a)申请量与资助量;(b)平均资助率
Fig. 9 Number of proposals and grants of Excellent Youth and Distinguished Youth Projects in the field of optics and optoelectronics from 2016 to 2021. (a) Number of proposals and grants; (b) average approval rate

5 国家重大科研仪器研制项目的申请与资助情况

国家重大科研仪器研制项目旨在面向世界科学前沿和国家重大需求,鼓励和支持具有较多原创思想的探索性科研仪器设备的研制,为科学研究和生产实际提供新颖的观测和度量手段,推动学科发展,开拓研究领域。光学和光电子学学科是关键元器件及仪器类研究的传统优势学科,具有明显的交叉性和应用性特征,研究成果可以为不同领域提供光学或光电子学观测、分析、控制和度量工具。图10(a)、(b)分别统计了2016年至2021年光学和光电子学领域国家重大科研仪器研制项目申请量、资助量在信息领域的占比。可以看到:光学和光电子学领域

的申请量占比始终在34%以上,2018年更是达到了46%,几乎占一半体量;在资助量方面,2016年、2018年和2019年均占信息领域的半数以上,最高达到了63.64%(2019年)。除2020年以外,光学和光电子学领域的项目资助率均高于信息领域的平均资助率。

笔者进一步梳理分析了光学和光电子学领域不同代码下的项目申请、资助情况,如图11所示。可以看到:申请量较大的代码分别是F0507、F0508、F0506、F0503和F0511,占总申请量的60.8%;在资助量方面,F0503、F0506和F0508获得的资助数量最多。这几个代码都是面向激光技术或者光电子器件应用等方向的,从侧面反映了光电器件和技术在仪器研发中的重要作用。

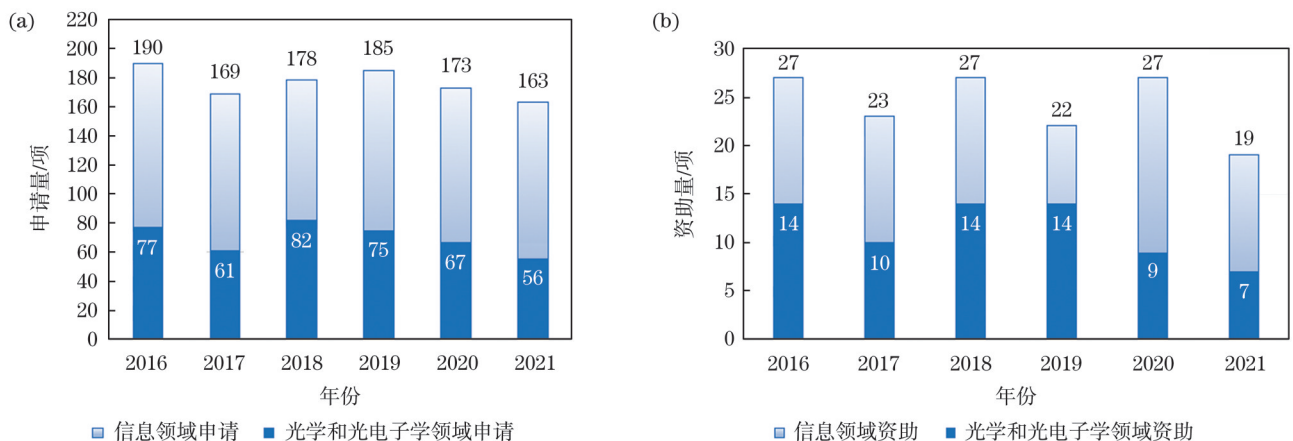


图10 光学和光电子学领域历年项目数据对比。(a)项目申请量对比;(b)项目资助量对比
Fig. 10 Comparison over the years in the field of optics and optoelectronics. (a) Comparison in project proposals; (b) comparison in project grants

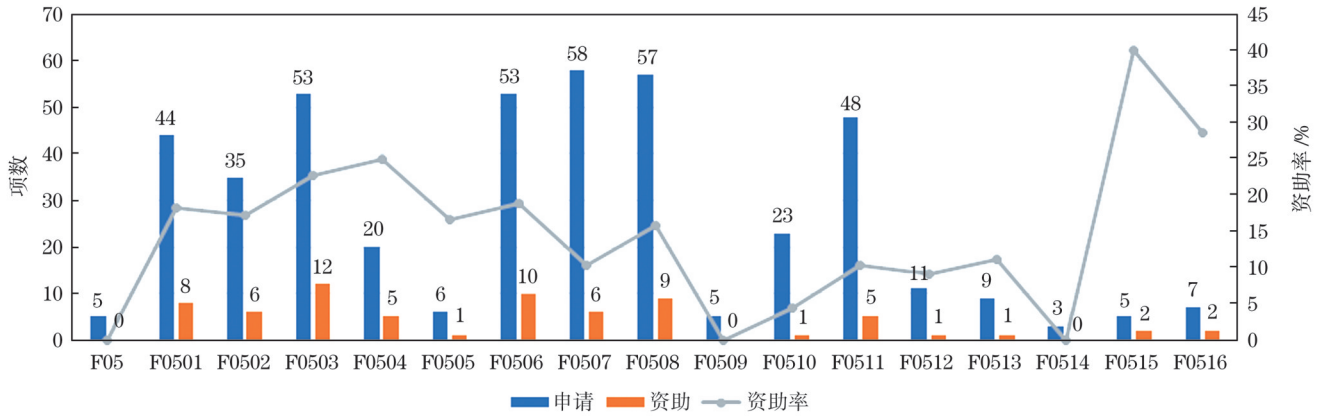


图 11 光学和光电子学领域国家重大科研仪器研制项目的学科代码分布

Fig. 11 Disciplinary code distribution for National Major Research Instrumentation Development Projects in the field of optics and optoelectronics

6 资助成果举例

在不同类型国家自然科学基金项目的支持下,“十三五”至“十四五”时期的光学和光电子学领域的基础前沿研究取得了丰硕成果。部分资助成果如下:

在光子与光电子器件及集成方面,面向高速通信系统、数据中心、高性能计算等领域的应用,发展高密度、大带宽、大容量的全光互连技术迫在眉睫。传统集成器件中光的定向辐射大多通过分布式布拉格光栅反射镜、金属反射镜等镜面反射实现。该技术在片上集成时面临体积大、结构复杂、加工难度高等困难,而且会引入额外的损耗和色散等问题,因此,发展具有高辐射方向性、低插入损耗、低色散、结构紧凑的定向辐射器件是实现光子集成的关键。在国家自然科学基金(优青项目 61922004)的资助下,北京大学研究团队从拓扑光子学视角提出了一种在单层硅基板上不依靠反射镜实现定向辐射的新方法。该研究团队基于拓扑荷操控,在光子晶体平板中实现了仅向一个表面辐射能量的单侧辐射导模共振态,并利用自主发展的倾斜刻蚀工艺制备了一维光子晶体样品。实验上观测到了高达 27.7 dB 的非对称辐射比,该值较传统光栅设计提高了 2 个数量级,为实现辐射光场调控开辟了新方向,有望显著降低片上光端口的插入损耗,推动高密度光互连和光子芯片技术的发展。

在传输与交换光子器件方面,面向光纤通信、传感技术在信息处理与感知领域的应用,利用全光纤的二阶非线性效应拓展光纤激光器的工作波段从而实现线性电光调制是当前的研究热点。然而,石英光纤材料的中心反演对称性阻碍了光纤中二阶非线性效应的产生,这使得需要采用复杂苛刻的制备工艺来破坏其中心反演对称性。在国家自然科学基金(面上项目 61775182、61975166、61775183)的资助下,西北工业大学研究团队基于二维层状材料易与光纤集成的优势,将具有强二阶非线性效应的硒化镱裹覆于微光纤上,

利用导波模式倏逝波与硒化镱的相互作用,仅需百微瓦连续激光即可泵浦出频率上转换过程,并使得非线性频率转换效率相较于裸光纤提高了 4 个数量级。该集成结构不仅具有制备工艺简单、紧凑且有效非线性系数高等优点,还实现了可低功率泵浦的光波长转换功能,为高性能全光纤非线性器件的研制提供了新思路。

在光谱信息学方面,面向气候检测、深空和海洋勘探、生物医疗等领域的应用,探索激光光谱气体传感技术,以实现在宽光谱范围内快速准确地获取精细光谱信息,是当前研究热点。利用光学频率梳与气体分子作用后进行频域解析的技术有望实现上述目标,但该技术依赖于大带宽光电探测器、复杂光谱解析技术以及较长的与气体相互作用的路径。在国家自然科学基金(青年项目 62005267)的资助下,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所和香港中文大学研究团队合作,提出了双光梳光热光谱方法。该方法可以同时以上百个不同的频率对气体折射率进行调制,测试结果显示,该技术对 0.17 μL 采样气体实现了 10^{-6} 级的探测灵敏度和超过 1 THz 谱宽的光热光谱测量。该方法不仅能获得丰富的分子光谱信息,还兼具宽光谱、高分辨率、极低耗气量的优点,为大气监测、深空探测、海洋科学、呼吸诊断等领域实现精密气体探测提供了多功能的光谱气体传感技术。

在生物、医学光学与光子学方面,面向生物显微成像领域的应用,通过偏振成像测量荧光团的偶极子方向,揭示靶蛋白的取向,是当前该领域的研究热点。然而,目前的技术难以在超分辨率水平上解析亚细胞结构上的偶极子组装及其在活细胞中的动力学行为。在国家自然科学基金(面上项目 61475010、海外及港澳学者合作研究基金 61729501)的资助下,北京大学、清华大学以及澳大利亚悉尼科技大学团队针对上述问题开展合作,借鉴结构光成像具有分辨率高、成像速度快、能够高度兼容活细胞成像等优点,提出了一种偏振结

构光显微技术(pSIM)。该技术通过构建空间-方位角的高维复合空间,提取荧光偶极子的方位角与空间超分辨信息,实现了具有高时空分辨率和独特偶极子方向信息的偏振结构光成像。该团队利用该技术进行了大量生物学实验,验证了它的广泛适用性以及高空间分辨率和准确偏振检测的优越性。该研究成果对于推进生物领域偏振超分辨成像研究具有重要意义。

在微纳光子学方面,超表面由于具有损耗低、可制备、易集成等优势而成为电磁波调控研究的新平台。虽然超表面已经展示出丰富的光波调控能力,但一直面临调控效率低的问题,这一问题是其走向实用化甚至商业化的关键制约因素。异常偏折是超表面调控光波最基本的方式之一,然而,目前光学超表面器件的异常偏折率均低于90%,难以满足激光领域的应用需求。在国家自然科学基金(杰青项目61925504、创新研究群体项目61621001)的资助下,同济大学和复旦大学研究团队合作,从完美异常反射的物理要求出发,设计了一维多层膜结合二维超表面的准三维亚波长新结构,通过准三维结构内传输波和布洛赫波的高效耦合,增强了多重散射并提高了非局域能流调控能力,在1550 nm光波长下实现了效率优于99%的光频异常反射。该研究成果对于推动基于光学超表面的微型光谱仪、激光雷达等仪器装备的跨越式发展具有重要意义。

7 总结与展望

总体来看,自“十三五”以来,自然科学基金委基于自由探索和需求导向并举的原则,通过资助光学和光电子学学科的基础研究,合理布局了自由探索类项目、引导类项目和人才类项目,有力地支撑了光学和光电子学学科的发展,极大地推动了学科前沿领域突破性成果的产生,较好地服务了国家战略需求。同时,科学基金的申请量和资助量均显著提升,尤其是青年科学基金和优秀青年科学基金项目的资助量呈现出了大幅增长。自然科学基金委支持了一大批具备探索本学科基础科学问题能力的青年科技工作者,保障了本学科的基础研究人才储备,推动了本学科人才队伍建设。

随着《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》的发布,自然科学基金委逐步落实国家政策,开展了《国家自然科学基金“十四五”发展规划》和《2021—2035年科学基金中长期发展规划》的编制工作,组织专家研讨和拟定各学科的优先发展领域,并持续完善资助布局优化和深化改革工作,推动“十四五”规划下光学和光电子学学科的未来发展和基金管理工作,以更好地服务国家重大战略需求和学科发展。

7.1 国家战略需求牵引下的学科优先发展领域

“十四五”时期,自然科学基金委积极布局了一批具有前瞻性、战略性的发展方向,引导广大科研人员从国家重大战略需求和学科前沿出发,凝练提出并解决

科学问题。其中,光学和光电子学学科的优先发展领域主要包括:1) 新型光学技术。围绕未来光学领域面临的超精密像差控制、超高分辨率探测、极弱信号获取、大容量信息传输等技术挑战,探索新的光干涉、衍射及光谱分析等方法,研究突破光学衍射极限的成像方法、新型纳米光刻光学技术、极端光学检测技术、新型光学材料与核心器件、新型激光技术等,为高端精密仪器、智能装备等的发展提供关键技术支撑。2) 光电子器件及集成技术。围绕高速率、低功耗、集成化与智能化光电子器件面临的新问题、新挑战,研究微波光子器件及集成、红外及太赫兹光电子器件、智能光计算与存储器件、光子器件及芯片、异质异构光电子集成技术、片上多维光电信息调控技术等,为下一代信息技术的发展提供有效支撑。

自然科学基金委信息科学部将围绕光学和光电子学学科的优先发展领域着重布局引导类项目,充分发挥引导类项目在这些研究领域的超前部署功能,集中优势力量攻关国家创新发展中本领域的核心基础科学问题。也希望相关科研工作者面向光学和光电子学学科的优先发展领域积极开展更多探索性、创新性的基础研究工作,在制约我国高端精密仪器、下一代信息技术等产业发展的瓶颈上取得更多突破性成果。

7.2 深化科学基金改革下的资助布局和评审机制的完善

2016—2021年期间,光学和光电子学学科的工作进展得益于“十三五”时期科学基金资助布局的不断优化和评审机制的不断完善,包括加强对优秀青年科技工作者的支持力度,加快通信评审专家计算机智能辅助指派系统优化和建设进程,开展分类评审试点工作等一系列举措。2022年是贯彻落实“十四五”规划的关键之年,深入推进科学基金系统性改革,不断提升基金资助效能,推动基础研究高质量发展被列为科学基金工作的重点^[11]。为了激发分类管理的活力和创造力,促进知识与应用的交互融通,推动产出重大原创成果,自然科学基金委开展了基于板块的资助布局改革,将现有的9个科学部整合为“基础科学”、“技术科学”、“生命与医学”、“交叉融合”4个板块。作为“技术科学”板块一员的信息科学部将同工程与材料科学部共同探索适合这一板块的项目评审、立项和管理机制,深化基于板块的资助布局改革。除此之外,基于四类科学问题属性的分类评审将扩大范围并持续展开,学科处将落实分类评审工作,在资助管理工作中引导不同科学问题属性的项目在不同的“赛道”展开公平竞争。“负责任、讲信誉、计贡献”(RCC)的评审机制试点工作也将持续推进,学科处将从近年来的试点工作中总结经验并加以改进,努力完善RCC试点工作,使评审质量不断提升。人才资助体系也将持续升级,包括稳步扩大青年科学基金资助规模等一系列举措,这些举措将逐步落实到光学和光电子学学科的基金申请与

资助工作中。在这一系列的资助布局和评审机制改革举措的推进下,光学和光电子学学科的资金工作在未来将得以持续优化和完善。

参 考 文 献

- [1] 国务院关于印发《中国制造 2025》的通知[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2015(16): 10-26.
- [2] 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《国家信息化发展战略纲要》[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2016(23): 6-16.
- [3] 国务院关于印发“十三五”国家科技创新规划的通知[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2016(24): 6-53.
- [4] 工业和信息化部等六部门关于推动能源电子产业发展的指导意见 [EB/OL]. [2023-05-08]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2023-01/17/content_5737584.htm.
- [5] 中央网络安全和信息化委员会印发《“十四五”国家信息化规划》[R]. 北京: 中央网络安全和信息化委员会办公室, 2021.
- [6] 刘作仪, 王群伟. “十三五”国家自然科学基金对能源环境管理领域的资助状况和趋势[J]. 中国环境管理, 2020, 12(2): 20-27.
Liu Z Y, Wang Q W. Granted projects and trend from national natural science foundation of China in the field of energy and environmental management during the 13th Five-Year Plan period [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2020, 12(2): 20-27.
- [7] 王长锐. 国家自然科学基金“十三五”资助格局及展望[J]. 中国基础科学, 2017, 19(4): 14-16.
Wang C R. Funding arrangements and outlook of the national natural science foundation of China during the 13th Five-Year Plan period[J]. China Basic Science, 2017, 19(4): 14-16.
- [8] 任之光, 王辉. “十三五”时期经济科学学科资助格局与趋势分析[J]. 管理科学学报, 2021, 24(3): 115-126.
Ren Z G, Wang H. Patterns and development trends of National Natural Science funding for economic science during the 13th Five-Year Plan[J]. Journal of Management Sciences in China, 2021, 24(3): 115-126.
- [9] 唐先明, 张宗益, 刘胤. 国家自然科学基金地区科学基金政策效果研究[J]. 管理科学学报, 2010, 13(12): 91-96.
Tang X M, Zhang Z Y, Liu Y. Analysis on the policy effect of fund for less developed regions of NSFC[J]. Journal of Management Sciences in China, 2010, 13(12): 91-96.
- [10] 王俊, 杨晓飞. 光子芯片研究进展及展望[J]. 世界科学, 2020(12): 29-31.
Wang J, Yang X F. Research progress and prospect of photonic chip[J]. World Science, 2020(12): 29-31.
- [11] 国家自然科学基金委员会. 2022 年度国家自然科学基金项目指南[M]. 北京: 科学出版社, 2022.
National Natural Science Foundation of China. 2022 national natural science foundation program guidelines[M]. Beijing: Science Press, 2022.

Overview and Prospects of Proposal Application and Funding in Optics and Optoelectronics Disciplines Managed by National Natural Science Foundation of China (Invited)

Tang Hua*, Zhang Lijia

The Information Science Department of the National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China

Abstract

This article provides an overview and analysis of the funding trends in the disciplines of optics and optoelectronics within the Information Science Department of the National Natural Science Foundation from the beginning of the 13th Five-Year Plan (2016–2020) to the initiation of the 14th Five-Year Plan in 2021. It summarizes the proposed and approved projects of exploratory, guiding, and talent types, considering aspects such as the number of projects, funding amounts, supporting institutions, and disciplinary domains. It also analyzes the overall characteristics, structural changes, and developmental trends in this field. Based on the exemplary research outcomes during this period, the article analyzes the funding effectiveness. Additionally, it provides a prospective outlook on the prioritized developmental areas and funding management for the disciplines of optics and optoelectronics in line with the goals outlined in the 14th Five-Year Plan.

Key words optics and optoelectronics; funding trends; optimizing layout