

· 联合资助方经验交流 ·

基于技术成熟度的 NSFC—浙江两化融合 联合基金运行绩效评估研究

徐敏^{*†} 杨陈华^{*†} 陈心怡 宣晓冬

浙江省自然科学基金委员会 办公室, 杭州 310006

[摘要] 国家自然科学基金委员会与地方人民政府设立的联合基金,对于强化基础研究多元投入,加快推动我国区域自主创新能力具有重要意义。联合基金具有潜在的基础研究溢出效应。与此同时,联合基金强调以区域发展需求为牵引,引导开展跨区域、跨行业、跨学科的基础研究协同创新,客观上要求科研人员在一定程度上离开传统基础研究的“舒适区”。根据联合确定基数法(以下简称“HU理论”)等管理理论,在此情形下,负责人需要有更大的激励才能确保项目的成功实施。本文提出获得技术成熟度的持续提升、更容易被产业接受将对联合基金项目负责人起到重要激励作用,将促进其开展基础研究协同创新和项目结题后成果的融通应用。基于上述认识,以两化融合联合基金为例,开展了运行绩效实证研究并提出了管理建议,为相关部门持续提升联合基金成效提供决策参考。

[关键词] 国家自然科学基金委员会;联合基金;基础研究溢出效应;技术成熟度;运行绩效

十三届全国人大四次会议通过了第十四个五年规划和2035年远景目标纲要,将创新放在我国现代化建设全局中的核心地位,把科技自立自强作为国家发展的战略支撑,强调要持之以恒加强基础研究,发挥科学基金的独特作用。国家自然科学基金委员会和地方人民政府共同设立的联合基金(以下简称“联合基金”),聚焦区域经济社会发展的需要,加强需求导向、目标导向的基础研究和应用基础研究,对于充分发挥国家自然科学基金的平台作用,强化基础研究多元投入,进一步完善创新体系建设具有重大意义。在国家自然科学基金委员会的精心指导下,浙江省自2015年起连续参加两期联合基金工作,为提升地区自主创新能力和促进区域创新体系建设发挥了支撑引领作用。为进一步发挥好联合基金的作用,有必要深刻理解联合基金的成效形成机制,剖析关键因素之间的内在联系。联合基金具有潜在的基础研究溢出效应,联合基金强调以区域发展需求为牵引,引导开展基础研究协同创新,客观上要求科研人员在一定程度上离开传统基础研究



徐敏 浙江省自然科学基金委员会办公室副主任、副研究员,长期从事地方科学基金管理工作。



杨陈华 浙江省自然科学基金委员会办公室主任,曾任浙江省科技厅高新处副处长,作为项目主管先后负责新能源与节能技术、新材料、先进制造与高端装备、新一代网络信息等技术领域的科技项目管理工

作的“舒适区”。本文提出通过联合基金项目研究获得技术成熟度的持续提升、更容易被产业接受将对项目负责人起到重要激励作用,将促进其开展基础研究协同创新和项目结题后成果的融通应用。基于上述认识,以两化融合联合基金为例,开展了运行绩效实证研究并提出了管理建议,为相关部门持续提升联合基金成效提供决策参考。

收稿日期:2021-06-20;修回日期:2021-07-15

* 通信作者,Email:xumin@zjinfo.gov.cn,ych@zjinfo.gov.cn

† 共同第一作者

1 浙江省参与联合基金的基本情况

2015年,浙江省人民政府与国家自然科学基金委员会签署协议,共同设立国家自然科学基金委员会——浙江省人民政府两化融合联合基金(以下简称“两化融合联合基金”),2015—2019年共同投入2.5亿元,吸引和凝聚全国各地优秀科学家围绕浙江省工业化和信息化深度融合中的重大科学问题、关键技术问题开展研究。五年来,聚焦高端工业自动化、工业信息物理融合系统、智能制造、智慧城市、智慧海洋、电子商务等六大领域,发布申请指南95个,共接受项目申请388项,立项资助104项。项目承担单位涵盖北京大学、清华大学等全国11个省(自治区、直辖市)的35家优势科研单位,省内外合作研究比例达65.4%,有力补齐了浙江省基础研究的短板。同时,省内企业作为合作单位的有25家,积极探索跨区域合作的基础研究与产业创新发展融通机制。2018年,浙江省对2015—2017年度资助的62个项目绩效评估显示,两化融合联合基金在提升浙江科研单位基础研究能力、培养高层次基础研究人才、加速高水平基础研究原创成果产出和解决本省重点产业发展中的瓶颈问题等方面发挥了重要作用^[1]。

2019年11月,浙江省人民政府与国家自然科学基金委员会签署协议正式加入国家自然科学基金区域创新发展联合基金(以下简称“区创联合基金”),2020—2024年双方共同投入8亿元,支持浙江打造“互联网+”、生命健康和新材料三大科技创新高地,集聚全国优势资源解决影响浙江经济社会发展的重大科学问题,带动浙江的科技发展和人才队伍建设,提升区域自主创新能力和国际竞争力。

2 联合基金运行模式及管理重点

联合基金作为国家自然科学基金的组成部分,面向全国,公平竞争,每年由地方人民政府根据区域发展需求提出指南建议,经联合基金管理委员会组织专家论证通过后向全国发布,引导国内一流的科学家开展跨区域、跨行业、跨学科的基础研究协同创新。项目申请、评审、在研管理等按照国家自然科学基金管理办法进行,充分保证了立项项目质量和管理水平。根据广东省等联合基金的运行实践和绩效评估显示,联合基金为加快攻克制约地方经济社会发展的重大科技问题开辟了新路径,为实现地方经济社会发展需求与国家基础研究战略目标的有效衔接与良性互动发挥了重要的示范作用^[2, 3]。

为进一步发挥好联合基金运行体制优势,有必

要深刻理解联合基金的作用机制,剖析关键因素的内在联系,以便进一步提升联合基金管理绩效。美国航空航天局(以下简称“NASA”)提出并被广泛采纳的TRL技术成熟度(Technology Readiness Level),很好刻画了基础研究、技术定型、技术产业化的全过程^[4]。应用基础研究项目的重要意义,在于促进技术成熟度持续提升,从基础研究、关键技术研发、应用集成示范到产品化产业化,实现知识和价值转移以及不同角色不同资源要素之间的双向流动。

2.1 关注基础研究溢出效应

在联合基金管理初期发现,浙江典型企业了解产业发展需求但不能很好地向上溯源提炼出背后的基础科学问题,高校、科研院所了解基础研究前沿发展但无法充分理解企业的发展需要,双方对应用基础研究缺乏共识,一定程度上影响了基础研究的成果转化与多元投入^[5]。为解决“两张皮”的问题,浙江省首先做好联合基金的顶层设计,在规划指导下开展年度项目指南编制工作,以保证年度项目指南的整体布局和实施成效;其次通过面向产业界、科技界广泛征集基础研究和应用基础研究重大科学问题,七年来通过要求提出与产业发展需求相关重大科学问题的建议人充分听取并出具产业专家意见、汇总建议清单征求省级重点企业研究院意见以及组织企业专家参与指南论证等方式累计邀请超过1500人次的企业专家参与指南讨论。同时依托浙江省主要高校院所和阿里达摩院、海康威视等龙头企业,围绕本省深入实施“尖峰计划”“尖兵计划”和亟需解决的“卡脖子”问题,选择产业需求迫切、预期成果显著的研究方向,分学科领域组织专家组开展项目指南建议起草和论证工作。利用联合基金独特的运行机制,促进产业界和科技界在指南编制、项目申请、在研管理、成果转化等全流程深度交流与合作,改变本区域产业界与科技界对基础研究价值的理解,并通过高水平团队的基础研究工作、龙头企业的示范效应,加速基础研究成果在行业内的转化与应用,更好发挥基础研究的溢出效应。

2.2 关注需求牵引下的协同创新

联合基金强调以地方发展需求为牵引,在指南编制时会综合区域发展需求和基础研究特点设定中期目标,引导开展跨区域、跨行业、跨学科的基础研究协同创新,有利于短时间内提升区域创新能力,但客观上要求科研人员在一定程度上离开传统基础研究的“舒适区”。根据HU理论等管理理论,负责人

在面对一个挑战性目标时,需要比其自由设定研究目标有更大的激励力度,才能确保项目的成功实施^[6]。在联合基金的运作体系里,通过项目研究获得的技术成熟度是否得到持续提升、是否更加容易被产业所接受对项目负责人有着重要的激励作用,对其开展基础研究协同创新内在动力和项目结题后成果的融通应用有着重要影响,尤其值得联合基金管理方重视。

3 从作用机制角度开展的两化融合联合基金成效评估

两化融合联合基金面向产业应用,关注浙江省工业化和信息化深度融合中的重大科学问题,相对更容易从作用机制的角度设定指标评估联合基金的成效。2021年5月,对2015—2019年获资助的104项两化融合联合基金项目,从跨区域和跨行业合作、技术成熟度提升等方面进行了问卷调查,问卷返回率100%,其中69.23%属于解决“卡脖子”技术难题,52.88%属于进口技术替代研究。部分项目研究团队觉得问卷中“浙江省内一省外科研单位平均研讨次数、与企业平均交流次数、派出人员平均服务企

业次数”因时间跨度大较难精准统计,故保守地填写为大于等于多少次,在汇总统计时按下限数字取值进行计算。刻画的联合基金成效的形成机制见图1。

3.1 创新主体之间的连接强度

对104个项目研究团队按浙江省内单位与省外单位交流研讨次数、高校院所与企业交流次数、派出人员服务企业次数、毕业生到企业就业的人数等指标分析了不同创新主体的连接强度。

其中,有100个(96.15%)项目研究团队开展了浙江省内单位与省外单位的交流研讨,次数为1055次;申请书中有企业作为合作单位的项目研究团队25个,但在实际研究中,共有101个研究团队累计与企业开展了1950次交流研讨,有的研究团队与行业龙头企业建立了每月研讨的工作机制;共有92个项目研究团队派出了1853人次科研人员服务企业,并输出了1127名毕业生到企业就业。通过两化融合联合基金,跨地区、跨行业创新主体之间的网络联系得到有效加强,其中电子商务、智能制造、高端工业自动化领域项目对接服务企业较为频繁(见表1)。

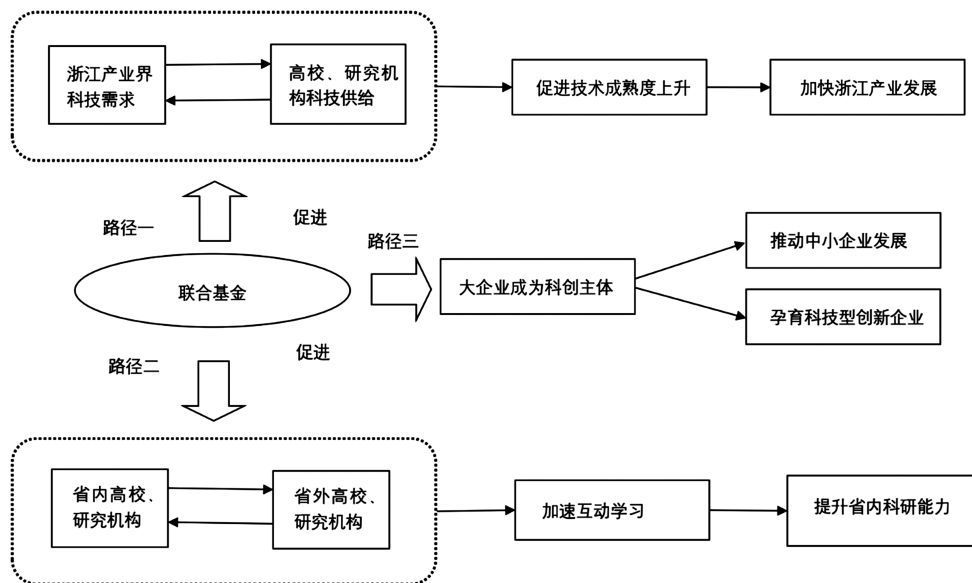


图1 联合基金的成效形成机制

表1 2015—2019年度两化融合联合基金项目按领域创新主体平均连接强度一览表

领域	获资助团队数(个)	浙江省内一省外科研单位平均研讨次数(次/团队)	与企业平均交流次数(次/团队)	派出人员平均服务企业次数(人次/团队)	毕业生平均到企业就业的人数(人/团队)
高端工业自动化领域	15	9.00	31.13	26.67	11.80
工业信息物理融合系统领域	22	9.73	16.95	13.05	13.36
智慧城市领域	23	7.61	11.48	8.91	12.57
智慧海洋领域	13	9.77	9.38	6.15	4.85
智能制造领域	29	12.69	20.97	27.90	8.76
电子商务	2	18.00	58.00	36.00	25.00

各创新主体间跨区域、跨行业的大范围交流,有利于促进科学与技术之间的反馈和迭代,进一步加强需求导向、目标导向的应用基础研究发展。

3.2 技术成熟度提升成效显著

资助项目共申请发明专利 1 504 项(其中:与企业合作申请 216 项,占比 14.36%),获得授权发明专利 723 项(其中:与企业合作授权 86 项,占比 11.89%);获得国家基金重点、重大项目 43 个,国家重大科学专项 12 项,国家重点研发计划重点专项 51 项;助力获批省级以上研究平台 57 个;研究成果获得省级以上奖项 38 个,获得省级以上领导批示 21 人次。两化融合联合基金强化目标导向,瞄准产业发展瓶颈,研究掌握异形孔五轴激光加工装备和新一代热端部件气膜冷却技术、跨尺度微纳制造过程的关键检测技术、固态存储器控制芯片技术等一批具有自主知识产权的重大技术,精准攻克了一批制约产业发展的重大科学问题;浙江大学高翔团队结合全面实现燃煤机组超低排放与碳达峰碳中和的国家重大需求,研发了燃煤烟气污染物超低排放的智

慧优化控制技术,实现了超低排放系统高效稳定运行与节能降耗优化,显著提升了系统的经济性和可调度性,相关成果在浙能集团、浙江物产环能等旗下电厂成功实现了工程化应用,为浙江省荣膺首个国家技术发明一等奖提供了重要理论支撑。其中高端工业自动化领域、工业信息物理融合系统领域项目专利申请、授权数较多(见表 2),管理学申请代码的电子商务领域技术成熟度的表现形式之一是研究工作得到省级以上领导批示,为政府决策提供参考(见表 3)。

3.3 成效评估

3.3.1 引导大企业参与基础研究,强化企业科创主体地位

两化融合联合基金注重在重大应用研究中抽象出理论问题,加强重大科学目标导向、应用目标导向的基础研究项目部署,重点解决产业发展和区域发展中的共性基础问题,逐步掌握“卡脖子”的关键核心技术,发展具有自主知识产权关键技术,对战略性新兴产业产生辐射作用与示范效应,有力提高地区竞争力。一些阶段性研究成果已成功在阿里巴巴、海康

表 2 2015—2019 年度两化融合联合基金项目按领域平均专利情况一览表领域

领域	资助团队数 (个)	平均申请发明 专利(项/团队)	平均授权发明 专利(项/团队)	其中:与企业合作 平均申请发明专利 (项/团队)	其中:与企业合作 平均授权发明专利 (项/团队)
高端工业自动化领域	15	17.93	10.33	3.27	1.20
工业信息物理融合系统领域	22	16.73	7.64	2.45	0.86
智慧城市领域	23	13.35	6.83	1.22	0.39
智慧海洋领域	13	14.38	6.46	1.15	0.77
智能制造领域	29	12.52	5.34	2.21	0.93
电子商务	2	5.00	2.00	3.00	1.50

表 3 2015—2019 年度两化融合联合基金项目按领域后续平均成果情况一览表

领域	资助团队数 (个)	平均承担国家基金重大、 重点项目数 (项/团队)	平均承担国家重大科技 专项数 (项/团队)	平均承担国家 重点研发计划 重点专项数 (项/团队)	平均获批省 级以上平台 数(个/团队)	平均获得省级 以上领导批示 数(个/团队)	平均获得省 级以上奖项 数(个/团队)
高端工业自动化域	15	0.07	0.13	0.73	0.67	0.07	0.53
工业信息物理融合系统领域	22	0.45	0.09	0.45	0.36	0.09	0.41
智慧城市领域	23	0.30	0.09	0.43	0.52	0.04	0.39
智慧海洋领域	13	0.15	0.00	0.38	0.38	0.08	0.15
智能制造领域	29	0.72	0.17	0.52	0.72	0.14	0.31
电子商务	2	1.00	0.50	0.00	0.50	6.00	0.50

表 4 2015—2019 年度两化融合联合基金项目按领域平均横向发展情况一览表

按领域	资助 团队数 (个)	平均成果转化 应用企业行业 数(家/团队)	平均成立 企业数 (个/团队)	平均与企业 合作研究数 (次/团队)	平均承担企业 行业横向课题数 (个/团队)	平均承担企业 行业课题经费数 (万元/团队)
高端工业自动化领域	15	3.40	0.47	4.87	6.20	957.55
工业信息物理融合系统领域	22	2.59	0.18	2.18	2.36	163.12
智慧城市领域	23	2.30	0.13	2.96	2.87	224.47
智慧海洋领域	13	0.54	0.15	2.38	2.23	422.15
智能制造领域	29	2.24	0.31	4.00	4.00	373.55
电子商务	2	7.50	0.00	8.00	8.00	560.00

威视、华为、浙能集团、吉利汽车等 248 家企业行业应用,起到了很好的示范带头效应,其中电子商务、高端工业自动化领域平均成果转化应用的企业行业数较多。虽然两化融合联合基金指南是由浙江省提出,但较多也是区域发展中的共性技术需求,在本次实证研究中发现,部分浙江省项目研究团队已将研究成果拓展落地到省外企业,部分省外项目研究团队目前只是将研究成果落地在更为熟悉的省外企业而尚未辐射到浙江省,因此单一联合方指南产生的研究成果可能具有多区域推广应用的空间,加强联合基金共性技术研究成果的共享机制,能最大程度惠及我国多区域创的创新发展。

3.3.2 实现共性技术知识溢出,加速中小企业成长发展

两化融合联合基金是探索利用基础研究成果实现产业转型升级的一种新模式。通过深度融合来源于产业实践的关键科学问题,体现了产业发展需求,进一步加快成果转化和相关产业转型升级。由于基础研究的溢出效应,两化融合联合基金项目研究团队与企业实际开展合作研究 352 次,相关研究成果得到企业的认可,并进一步承担企业行业横向课题 372 项,经费 4.06 亿元。通过两化融合联合基金项目,引导企业行业与基础研究项目研究团队从单个项目的短期合作演变为中长期合作关系,实现共性技术知识溢出,如浙江大学徐兵教授开展液压阀的智能传感、智能决策和智能维护的基础理论研究,助力多家合作单位完成技术与产品转型升级,相关研究成果支持江苏恒立液压科技有限公司高压多路阀产品国内市占率快速飞升,市值突破 1000 亿元,加速中小企业成长发展。

3.3.3 孕育新的技术创业机会,促进科技型新创企业形成

基于两化融合联合基金所开展的应用基础研究突破,孕育了更多新的技术创业机会,促进科技型新创企业形成,潜在地影响着新产业新业态的发展。通过两化融合联合基金项目研究,新成立企业 25 家,帮助 16 家企业成为高新技术企业,助力 4 家公司完成上市。

4 区域创新发展联合基金的发展对策建议

新时期的区域创新发展联合基金能有效促进跨部门、跨行业、跨区域的协同创新,对探索社会主义市场经济条件下新型举国体制、加快提升地方自主创新能力具有重要意义,为更好地组织推进和部署实施联合基金,应强化上下联动、多方协同,结合资助项目研究团队的意见,提出如下对策建议:

4.1 进一步加强年度项目指南和结题验收的引导作用

“十四五”期间,浙江省将聚焦“互联网+”、生命健康、新材料三大科创高地和“碳达峰、碳中和”技术制高点等重点领域,深入实施“尖峰计划”,加强原创性、引领性科技攻关,提升源头创新能力。建议国家自然科学基金委员会在联合基金项目的需求凝练、指南编制、咨询论证和部署实施各环节给予全方位的关心支持和指导帮助,支持浙江围绕重点领域精准布局,对标开展高水平基础研究,着力解决一批制约“卡脖子”技术的重大科学问题,形成一批引领浙江未来产业发展的原创性成果,从源头上补足短板,进一步提升联合基金服务浙江社会经济发展需求的效能,为国家科技自立自强贡献更多浙江力量。

建议资助项目结题验收时,可结合联合方加入区创联合基金时的定位目标开展分类考评,既保持基础研究的本色,又适当有区域的个性化指标,以便更好地了解实施成效。

4.2 进一步深化完善跨区域合作的基础研究与应用研究融通机制

区创联合基金注重区域发展的需求,能有效兼顾科研的创新性和解决现实需求的有效性,且通过与企业行业进行深度合作、协同创新,使得科学研究能够落地生根,不但可以推动企业行业整体技术发展,也可以扩展基础研究工作者的研究视野,为学术研究带来了新的研究方向,同时促进科学研究与技术人才的联合培养。建议引导地方加强在项目组织管理的主动权、能动性,在中期评估、项目验收等环节支持地方参与,更好发挥管理上的协同作用。围绕研究成果应用转化建立国家与地区、地区与地区间的常态化合作机制,通过“国家自然科学基金杰出科学家浙江行活动”等方式开展产学研合作,推动科研团队、项目成果与企业、风投基金、孵化器等对接,实现成果落地转化,并实行研究成果的共享机制,以联合基金项目成果的重大突破赋能区域发展。

4.3 紧密联系科技需求与供给,助力重点产业发展

在申请指南编制过程中,要综合考虑区域联合基金各利益相关方的需求和特点,紧密联系科技需求与供给,引导产业界、科技界围绕基础研究重要科学问题开展广泛深入的交流与合作,增进彼此理解,并吸引龙头企业参与指南编制、项目申请工作;同时,在指南设定中增加一定比例的交叉学科项目,加强多学科领域的融会贯通,以使区创联合基金工作产生更多基础研究的溢出效应。

4.4 促进省内外科研机构合作,提升浙江基础研究能力

注重依托联合基金平台在地方需求牵引下开展跨区域、跨行业、跨学科的协同创新,加速全国优质科技资源的流动,快速提升地方基础研究能力。在申请阶段,设立省内外高水平科研合作的便捷沟通渠道,为省外科研团队寻找合作单位提供服务 and 帮

助,进一步提高省外科研人员的申请积极性,更好服务地方科技发展。在项目资助期内,加强合作方的学术交流、做好过程管理工作,以基础研究成果的转化应用激励跨区域合作。

4.5 深化区创联合基金示范效应,指导地方联合基金的设立和运行

由于区创联合基金示范效应,浙江省自2016年起与青山湖科技城管委会、浙江省药学会等9个合作方共同设立省内联合基金,并与中美华东有限公司设立首支企业冠名的省自然科学基金企业创新发展联合基金,探索“企业为主投入、企业牵头出题、企业牵头评价、企业共享成果”的基础研究新模式,推动企业成为应用基础研究问题凝练、研发投入、科研组织和成果转化的主体,推动基础研究和产业技术创新融通发展。同时,越来越多的企业意识到基础研究对于产业发展的重要作用,为支持企业开展基础研究,2020年浙江省首次对创新型领军企业开放省自然科学基金项目申请。为进一步推进区域创新体系建设,建议国家自然科学基金委员会将区创联合基金探索的成功管理经验用于指导地方联合基金的设立和运行。

参 考 文 献

- [1] 古振远,徐敏,吴正光,等.国家自然科学基金委员会—浙江省人民政府两化融合联合基金项目资助情况分析与对策研究.中国科学基金,2020,34(1):105—110.
- [2] 刘玲,崔洁,彭向阳.国家自然科学基金委员会—广东省人民政府自然科学基金联合基金资助成效及创新模式分析.中国科学基金,2014,28(5):366—371.
- [3] 彭海媛,杨志鹏,黄初升.促进海峡两岸科技合作联合基金项目资助绩效分析与对策研究.中国科学基金,2019,33(1):71—78.
- [4] 郭道勋.基于TRL的技术成熟度模型及评估研究.国防科技,2017,38(3):34—44.
- [5] 朱焕焕,陈志.新时期引导企业参与基础研究的思考与建议.科技中国,2020(7):1—3.
- [6] 薛福冰.高校科研目标测定与管理研究.江淮论坛,2012,(3):190—192.

Performance Evaluation of the NSFC—Zhejiang People's Government Joint Fund for the Industrialization and Informatization based on Technological Maturity

Xu Min^{*†} Yang Chenhua^{*†} Chen Xinyi Xuan Xiaodong

The Executive Office of Zhejiang Provincial Natural Science Foundation, Hangzhou 310006

Abstract The Joint Fund established by the National Natural Science Foundation of China and the local people's government is of great significance for strengthening diversified investment in basic research and accelerating the promotion of China's regional independent innovation capabilities. The Joint Fund has potential basic research spillover effects. At the same time, the Joint Fund emphasizes that it is guided by regional development needs to guide the development of cross-regional, cross-industry, and cross-disciplinary collaborative innovation in basic research. This objectively requires researchers to leave the "comfort zone" of traditional basic research to a certain extent. According to management theories such as HU, in this case, the primary investigators need to have greater incentives to ensure the successful implementation of the project. Based on this, it is proposed that the continuous improvement of technological maturity and easier acceptance by the industry through Joint Fund project research will play an important role in stimulating the project leader, and will promote the collaborative innovation of basic research and the integration and application of the research findings after the project is completed. Based on the above understanding, taking the NSFC—Zhejiang People's Government Joint Fund for the Industrialization and Informatization as an example, it carried out empirical research on performance and put forward management recommendations for relevant departments to continuously improve the effectiveness of the Joint Fund.

Keywords the National Natural Science Foundation of China; Joint Fund; basic research spillover effects; technological maturity; operational performance

(责任编辑 姜钧译)

* Corresponding Author, Email: xumin@zjinfo.gov.cn, ych@zjinfo.gov.cn

† Contributed equally as cofirst authors