

多负责人模式对科研项目产出绩效的影响： 以美国国家卫生研究院为例

汪舒雯^{1,2}, 黄柯境^{1,2}, 郑知敏³, 吴登生⁴

(1. 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190;

2. 中国科学院大学公共政策与管理学院, 北京 100049;

3. 国家自然科学基金委员会计划局, 北京 100085; 4. 深圳大学管理学院, 广东 深圳 518055)

摘要:随着科学问题复杂化和科研合作日益频繁, 多负责人模式的科研项目应运而生。然而, 目前中国的科学基金资助机构在多负责人项目的实施上仍处于探索阶段, 决策过程缺乏实证研究支撑。基于 2006~2022 年美国国立卫生研究院资助的项目, 结合产出论文和专利绩效指标, 构建计量经济模型, 评估了多负责人项目与单一负责人项目的产出绩效差异, 且对多负责人模式在不同经费额度项目中的异质性影响进行研究探讨。研究表明, 多负责人项目在论文数量、专利数量、引用次数和创新性上优于单一负责人项目。同时, 项目负责人数量与产出绩效之间存在复杂的非线性关系, 且在经费额度较高的项目中, 多负责人模式对产出绩效的正面影响更加明显。研究结果为国家自然科学基金委推广和实施科研项目多负责人政策提供了重要的实证依据。

关键词:多负责人; 科研合作; 科研资助; 产出绩效

中图分类号: G302

文献标识码: A

文章编号: 1005-0566(2024)11-0046-10

Impact of the multi-principal investigator system on output performance of scientific project: Insights from National Institutes of Health

WANG Shuwen^{1,2}, HUANG Kejing^{1,2}, ZHENG Zhimin³, WU Dengsheng⁴

(1. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Bureau of Planning, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China;

4. College of Management, Shenzhen University, Shenzhen 518055, China)

Abstract: As scientific questions become increasingly complex and research collaborations more frequent, multi-principal investigators (M-PIs) model have emerged. However, Chinese science funding agencies are still in the exploratory phase of implementing M-PIs model, and the decision-making process lacks empirical research support. This paper constructs an econometric model based on projects funded by the U. S. National Institutes of Health from 2006 to 2022, combined with publication and patent performance metrics, to assess the output performance differences between M-PIs grants and single-PI grants. Moreover, this paper explores the heterogeneous effects of the M-PIs model across

收稿日期: 2024-06-27 修回日期: 2024-09-18

基金项目: 国家自然科学基金科研项目“多负责人制度调研和政策分析”(J2224016)。

作者简介: 汪舒雯(1998—), 女, 浙江安吉人, 中国科学院科技战略咨询研究院博士生, 研究方向为数据驱动的科技管理与决策。通信作者: 吴登生。

projects with varying levels of funding. The study demonstrates that M-PIs grants surpass single-PI grants in terms of the number of publications, patents, citations, and innovation. Furthermore, there is a complex non-linear relationship between the number of PIs and output performance, with the positive impact of the M-PIs model becoming more pronounced in higher-funded grants. This research provides important empirical evidence for the National Natural Science Foundation of China to promote and implement a M-PIs policy in scientific grants.

Key words: multiple principal investigators; research collaboration; research funding; output performance

在当前科技与社会迅速发展的背景下,诸如气候变化、公共卫生安全和人工智能技术等科研挑战日益复杂化,单一学科难以解决这些复杂问题^[1]。因此,重新思考和整合多学科知识以应对科学难题显得尤为迫切^[2]。传统的单一负责人制度在资源整合、知识交流及创新推动等方面显现出一定的局限性,并逐渐向多负责人模式转变。多负责人模式鼓励并促进了跨学科合作,通过集合来自不同专业背景、不同国家及各个年龄段的专家共同领导和管理科研项目,从而加深科研的广度与深度,并推动创新的持续发展。美国国家卫生研究院(National Institutes of Health, NIH)是多负责人制度的先行者。自2006年起实施了多负责人模式(Multi-Principal Investigators, M-PIs)的试点计划,允许多个主要负责人(Principal Investigator, PI)联合申请科研项目,并共同承担项目领导与管理责任。

科研项目 M-PIs 制度为依赖团队科学的项目开辟了新的可能性,突破了传统单 PI 模式的局限。如欧洲研究理事会通过协同增效基金资助 2~4 名 PIs 组成的研究团队,以联合应对复杂的跨学科研究挑战。澳大利亚研究理事会资助的合作计划强调大学与产业界的合作,要求每个项目至少有一名来自申请人组织之外的伙伴组织的首席研究员(Chief Investigator, CI)。加拿大卫生研究院在 2022 年推出的“后疫情时代恢复研究”特别项目中,规定所有项目团队的主要负责人(nominated principal investigator, NPI)或共同负责人(co-principal investigator, co-PI)必须包含至少一名社会学、经济学或社会经济学专家。英国研究与创新组织允许部分不具备 PI 资格的博士后研究员和研究助理担任合作负责人(Researcher Co-Investigator, RCoI),这一措施有助于提升青年科研人员的项目管理和领导能力。相比于其他国家,中国在多负责人项目制度的实施上仍处于探索阶段。自 2021 年起,国家自然科学基金委在交叉科学、生命科学和医

学科学领域试点实施了多负责人制度,允许两位申请人共同申请项目,并在项目管理上积极借鉴国际经验。然而,由于多负责人制度在国内实行的时间较短,目前还缺乏足够的数据来评估其成效。

当前对多主要负责人(M-PIs)制度的研究主要集中于制度的总结和政策的解读。倪明等^[3]对 NIH 实施的多负责人制度进行了梳理,并发现多负责人项目的立项数量呈增长趋势。Zhang 等^[4]基于 2009—2017 年 NIH 资助的项目数据,通过偏最小二乘回归方法分析,发现负责人数量更多的项目产出了更多数量的论文。然而,现有研究存在一些局限性。首先,大多数研究集中于政策与制度的归纳总结,而对多负责人项目的实施趋势、合作规模及其产出绩效的量化分析较为缺乏。其次,对多负责人项目的产出绩效评估主要依靠出版物数量这一单一指标,缺乏对其科学影响力及创新性的深入评估。最后,关于多负责人模式在不同经费规模项目中对产出绩效影响的异质性讨论也不够充分。

本文基于 NIH 在 2006—2022 年资助的项目,分析了 M-PIs 制度的发展趋势和合作模式,以及该模式对科研产出绩效的影响。研究结果表明, M-PIs 制度显著促进了科研合作,并对产出绩效产生了显著的正面影响。具体来说,与单一负责人项目相比,多负责人项目不仅能够产出更多的专利和论文,而且这些产出在影响力和创新性方面的表现也更为突出。特别是在处理复杂科学问题或进行跨学科研究的大规模项目中,多负责人制度的正向效应更加明显。这些发现为国家自然科学基金委在实施科研项目的多负责人政策及优化资源配置方面提供了有力的数据支持和政策参考。

一、理论基础与研究假设

(一)单一负责人模式的局限性

根据美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)的定义,项目负责人是“由资助者

指定并经 NSF 批准,负责项目科学或技术指导的个人”^①。

随着科研项目多样化和科研需求增长,项目负责人的角色常常超出了传统科研职责范畴^[5]。单一负责人模式在当前科研环境中面临诸多挑战。第一,单一负责人模式在管理多学科知识方面存在局限性。随着科学问题复杂化,科研活动越来越需要集成不同学科的知识 and 技能^[6]。单一负责人往往难以有效整合和管理跨学科知识,从而影响到技术和方法的创新。第二,单一负责人需要承担所有项目责任,包括监督初级科学家、组织新的科学方法以及建立外部合作关系,这可能使负责人面临过大的压力,影响决策的客观性和效率^[7]。团队复杂性理论认为,组织应由多样化的团队成员组成^[8],每个成员在项目的不同阶段承担领导角色,通过实施分散式领导来提升决策效率^[9]。第三,从网络效应和社会资本角度来看,单一负责人由于社交网络较小和资源获取能力有限^[10],难以为项目争取到必要的支持和合作机会。根据资源依赖理论,组织发展依赖于外部资源^[11],而个人网络构建则需要大量时间和努力。在这种情况下,单一负责人很难迅速而有效地建立广泛的社交联系,这限制了项目资源的获取。

综上所述,尽管项目负责人具备必要的专业知识和项目管理经验,但现代科研的复杂性以及对大规模团队合作的需求,对负责人的领导和管理能力提出了更高的要求。在这样的背景下,采用共同领导或多元领导模式,能够让具备不同专长的多位负责人共同管理团队,从而提升项目的执行力和产出效率。

(二) 多负责人模式对产出绩效的影响

Denis 等^[12]提出,组织管理中的共同领导模式涉及两人或多人共同承担领导职责,分别管理不同的职能以实现组织目标。此模式在企业管理中得到广泛应用^[13],强调高管团队成员根据各自的专业能力,以不同方式共同合作,为组织作出贡献^[14]。

现有研究已证实科研合作与产出绩效之间存在密切关系^[15-17]。规模较大且中心势递减的论文合著网络能显著正向影响论文引用^[18]。在国际

合作背景下,Glänzel^[19]发现国际合作的论文影响力高于国内合作的论文。He 等^[20]通过分析新西兰一所大学的 65 名生物医学科学家的纵向数据集,证实了国际合作与科学家未来研究产出呈正相关。此外,具有跨学科研究经验的科研人员通常在学术网络中占据主导地位,并在资助产出绩效上超越其他科研人员^[21]。

科研项目的多负责人模式可以有效促进各负责人及其所属的学术和社会网络间的协作,从而积极影响项目的产出绩效。新兴科学问题通常需要通过跨学科和跨机构的协作来解决^[22-23]。社会资本理论强调了社会关系网络中资源的可获得性及其对个体或组织行动的价值^[24-25]。单一领导者资源可能不足以支持组织的创新,而双重或多重领导模式可以弥补这一不足,助力组织实现创新目标^[26]。项目负责人在公共资助研究中扮演核心角色^[27],多负责人制度能有效整合不同负责人所在的学术网络和社会网络,打破学科界限和社会身份的边界。这种合作模式不仅可以加深科研合作的深度和广度,还能提升研究的科学价值和社会意义。此外,集体智慧理论认为,群体的多样性能提升集体的决策质量^[28]。个人的认知能力和决策水平有其限制,而多位负责人共同决策时,可以就不同观点展开讨论并达成共识,提升决策效率和质量,降低决策失误的风险^[29]。据此,本文提出以下假设。

假设 1:相较于单一负责人领导模式,科研项目的多负责人领导模式有助于促进科研合作并提升产出绩效。

当项目负责人数量超过一定限制时,对产出的积极促进作用可能会减弱。在企业管理中,共同领导者模式可能由于技术背景、知识结构和认知范式等维度的差异形成分歧与冲突,导致难以发挥互补优势^[30]。类似地,在科研项目中,合适的负责人数量可以促进资源获取、优化决策协调过程和促进创新思维的产生,但负责人团队规模过大可能导致交流成本增加、专业和管理意见冲突与决策分歧,影响团队的协作效率和项目绩效。因此,本文提出以下假设。

假设 2:项目负责人的数量与产出绩效之间呈

① NSF 对项目主要负责人的定义: https://www.nsf.gov/pubs/policydocs/pappguide/nsf10_1/index.jsp#p

现出非线性相关关系,当负责人数量达到一定阈值后,负责人数量的增加对项目产出绩效的积极影响减弱。

多负责人模式对项目产出绩效的影响可能在不同经费体量的项目中存在差异。经费额度更高的项目通常是涉及交叉学科知识和管理需求复杂的大规模项目。在这些项目中,多个负责人发挥各自专长,实现资金、人力和技术资源的高效配置,从而显著提升产出绩效。虽然这种模式可能引入较高的协调成本,但在资金投入较大的项目中,较长的执行周期为有效的沟通和协调提供了充裕的时间,使得这些成本得到了有效的缓释。相反,经费体量小的项目一般持续周期较短,简化的决策结构更能促进决策执行,降低沟通成本。据此,本文提出以下假设。

假设3:多负责人模式在经费体量大的项目中对提升产出绩效的正面影响,相较于经费体量小

的项目更大。

二、数据和方法

(一) 数据来源和样本

本文使用的数据源自NIH的ExPORTER开放数据平台^②。2006年2月7日,NIH在科研项目中试点实施多负责人制度,并于2007年2月正式全面推广^③。这项制度涵盖了NIH资助的大部分项目类型,如R01、R03、R13/U13、R15、R18/U18、R21、R21/R33、R25、R33、R34、R41、R42、R43和R44等,旨在增强团队合作和资源共享。但对于某些项目类型,如个人职业奖(K08、K23等)、个人奖学金(F31、F32等)、论文补助金(R36)、现有研究设施的维修以及共享仪器补助金(S10)等项目,仍限制使用单一负责人模式。之后,NIH于2008年和2011年分别对这项政策进行修订,更新了项目审查标准和变更规定。表1详细列出了NIH多负责人制度的相关政策和现状。

表1 NIH资助项目类别与多负责人制度实施概况

序号	资助类型	类型简介	子类型	是否实行多PI制度
1	研究项目资助 (Research Grants, R series)	R系列拨款旨在鼓励和资助基础研究、应用研究以及转化研究项目	R01、R03、R13、R15、R18、R21、R33、R25、R33、R34等	基本实行,但博士学位论文研究基金(R36)、共享资源购买拨款(S10)不实行
2	职业发展奖学金 (Career Development Awards, K series)	K系列旨在为个人和机构研究培训机会(包括国际培训),面向本科生、研究生和博士后研究人员	K01、K02、K05、K07、K08、K12、K18、K12、K99/R00等	否
3	培训资助 (Training, T series)	T系列提供个人研究培训机会(包括国际培训),面向本科生、研究生和博士后研究人员	D43、D71、T15、T32、T34、T90/R90等	部分实行,具体项目参考公告要求
4	奖学金 (Fellowships, F series)	F系列是为培养和发展未来科学家而提供的一系列奖学金机会,主要面向博士生和博士后研究员	F05、F30、F31、F32等	否
5	项目计划/中心资助 (Program Project/Center Grants, P series)	P系列是大规模项目,通常包括多样化的研究活动。	P01、P20、P30、P50等	大部分实行
6	资源资助 (Resource Grants)	提供与研究相关的支持或资源访问,如S10旨在为生物医学研究支持共享仪器资助	R24、R25、X01等	大部分实行,具体项目参考公告要求
7	其他项目类型	用于基础设施改造资助、资源资助、会议资助等	C06、G07、H13、S01等	具体项目参考公告要求

数据包含2006—2022年获资助的1 395 463个项目,涵盖了项目特征及申请人信息。本文筛选了首次提交申请的新项目类型,剔除了后续的延续性或变更型项目。同时,删去了负责人姓名字段为空的项目以及项目持续周期和经费额度信息不完整的数据,最终包含231 658个项目。

图1显示,自多负责人制度在2007年全面推广实施后的两年内,多负责人项目比例迅速增加。整体上,多负责人项目呈现出持续增长的趋势。2007年仅占0.4%,而到了2023年,这一比例已达到24.53%,增长了约24%。这一趋势表明,在NIH积极推动多负责人制度的背景下,这项制度在

② NIH-ExPORTER 开放数据平台; <https://reporter.nih.gov/exporter>

③ NIH 多负责人制度政策; <https://grants.nih.gov/grants/guide/notice-files/NOT-OD-07-017.html>

美国医学卫生领域广泛实施。

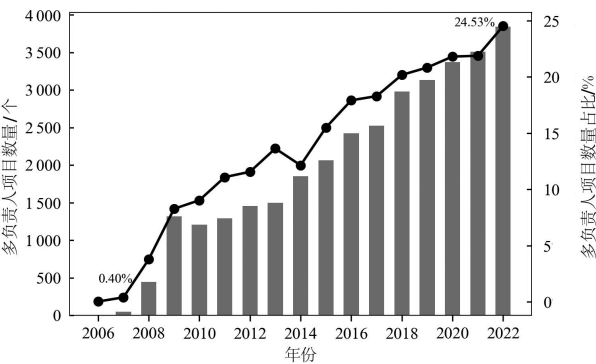


图1 2006—2022 年 NIH 资助的多负责人项目数量变化趋势
注:条形图表示不同年份资助的多负责人项目数量;折线图表示不同年份资助的项目中多负责人项目数量占比。

为评估项目产出绩效,本文将 NIH 资助的项目与微软学术图谱 (Microsoft Academic Graph, MAG) 中的产出数据关联。MAG 数据库详尽记录了在 NIH 资助下发表的论文及其关键学术指标,如引用次数、创新性、合著作者数量和机构数量等^[31]。表 2 列举了 NIH 资助项目的产出绩效评价指标。鉴于 NIH 数据库包含 2021 年以前的论文引用信息,为确保每个项目产出的论文有充足的时间累积引用量,在分析多负责人项目产出绩效时,本文选取了 2006—2016 年获得资助的项目作为分析样本。

表 2 科研项目产出绩效的评价指标及其含义

指标名称	含义
论文数量	单个项目产出论文数量
总引用量	单个项目产出论文总引用量
创新性	Z 指数 (中位数) ^[32] 。单个项目产出论文 z 指数 (中位数) 均值。单篇论文的 z 指数指的是一篇科研论文在其引用的期刊对组合中常规性的中心倾向,反映论文创新性。论文的 z 指数 (中位数) 越高,表明论文引用的期刊对越倾向于常规组合,创新性低;论文的 z 指数较低或为负,表明论文更倾向于引用非典型或不常见的期刊对,创新性高
专利数量	单个项目产出专利数量

(二) 描述性统计分析

1. 单一负责人项目和多负责人项目特征

表 3 显示了 2006—2022 年期间美国国立卫生研究院 (NIH) 资助项目的负责人数量和其他项目特征的描述性统计分析。在 NIH 资助的项目中,大多数项目由单一负责人领导,多负责人项目的比例为 14.2%。平均每个项目有 1 名负责人,其中负责人数量最多的项目达到 19 人。每个项目平均持续周期在 1 年左右,项目最长周期在 8 年左右。

每个项目受到资助的经费额度均值为 429 863 元,项目的最高经费额度达到了 448 283 318 元。科研项目的持续周期和经费额度存在较大的差异,这可能取决于项目的类型和规模。

表 3 变量的描述性统计分析 (2006—2022)

变量	观测数	均值	标准差	最小值	最大值
是否多负责人项目	231 658	0.142	0.349	0	1
负责人数量 (人)	231 658	1.182	0.517	1	19
项目周期 (年)	223 998	1.090	0.583	0.003	7.950
经费额度 (元)	231 658	429 863.100	1 602 249	1	448 283 318

图 2 显示项目的负责人数量与其持续周期和经费额度存在正相关关系。多负责人项目比单负责人项目有更高的持续周期和经费额度,这可能是因为多负责人项目往往涉及更复杂或更广泛的研究议题,需要更多的时间和资源来协调和执行。

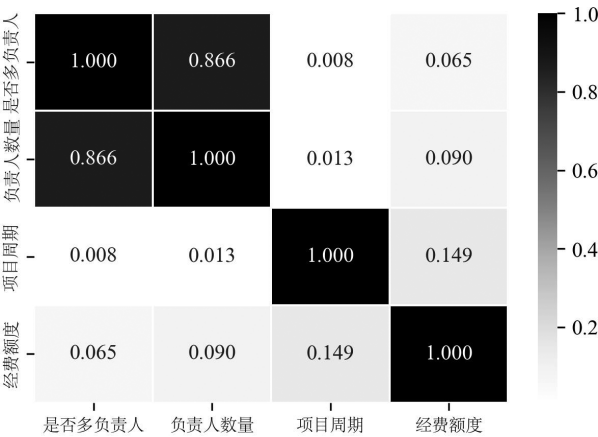


图 2 协作领导模式、负责人数量、项目周期与经费额度相关关系矩阵图

注:右侧数字表示相关性强度,颜色越深,变量之间的相关性越强。

2. 单一负责人项目和多负责人项目产出表现

表 4 显示了项目的多负责人特征和项目产出表现的描述性统计分析结果和相关系数矩阵。每个项目平均产出论文 14 篇和专利 2 件,产出论文的总引用量均值为 802 次,产出论文的创新性均值为 99.5。相关系数矩阵显示项目是否是多负责人与负责人数量之间呈现强相关关系。对拟合变量进行检验之后观测到变量的方差膨胀因子 (VIF) 都低于 5,表明变量没有显著的多重共线性,适合进行回归分析。此外,可以观察到项目的经费额度、产出论文数量、总引用量和创新性在个体间差异较大且存在极端值,为了缓解这些因素带来的干扰,在拟合模型时对这些字段信息进行了处理。

表 4 变量的描述性统计分析和相关系数矩阵(2006—2016)

变量	观测数	均值	标准差	最小值	最大值	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
(1)是否多负责人	140 913	0.097	0.295	0	1	1.000	-	-	-	-	-	-	-
(2)负责人数量	140 913	1.122	0.433	1	18	0.864 *	1.000	-	-	-	-	-	-
(3)项目周期	134 745	1.064	0.537	0.003	5.748	-0.014 *	-0.007 *	1.000	-	-	-	-	-
(4)经费额度	140 913	402 537.400	1 382 427	1	275 871 489	0.033 *	0.046 *	0.155 *	1.000	-	-	-	-
(5)论文数量	114 120	14.243	37.557	1	4 621	0.020 *	0.034 *	-0.044 *	0.225 *	1.000	-	-	-
(6)总引用量	114 120	802.384	2 420.960	0	129 333	0.008 *	0.022 *	-0.045 *	0.224 *	0.770 *	1.000	-	-
(7)创新性	113 528	99.503	104.515	-90.401	7 902.202	-0.048 *	-0.042 *	0.012 *	-0.003	-0.006	0.023 *	1.000	-
(8)专利数量	9 489	2.244	2.939	1	88	0.009	0.014	-0.007	0.105 *	0.123 *	0.218 *	0.027 *	1.000

图 3 显示了单一负责人项目和多负责人项目产出绩效的均值及置信区间(Welch 方差不齐 T 检验)。结果显示由多个负责人领导的项目,在产出论文数量、引用次数、创新性及专利数量等关键指标上,均超过了只有单一负责人的项目(专利均值差异不显著)。

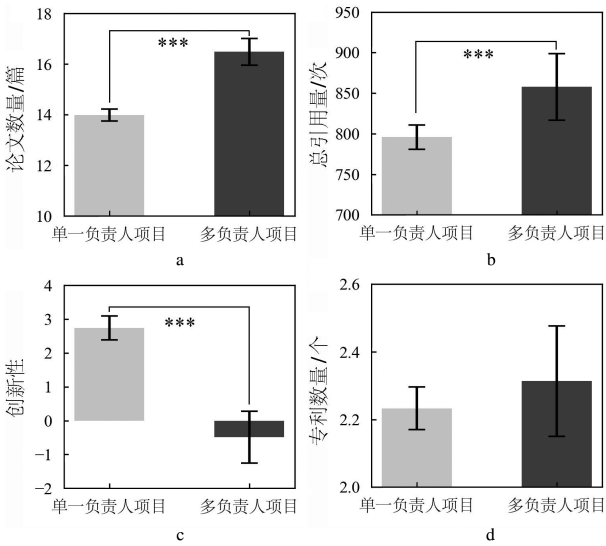


图 3 单一负责人和多负责人项目产出绩效均值比较
注:***表示 $p < 0.01$ 。

(三) 方法和模型

本文从样本中剔除了部分 NIH 规定的未实施多负责人政策的项目类型,并控制了项目持续周期和经费额度,考虑了项目申请年份和项目类型的固定效应,从多个角度对产出绩效进行综合评价。根据表 3 和表 4 的描述性统计分析,项目经费、论文数量和引用量显示出较多实际意义的零值和极端值,数据呈现高度离散性。为缓解这一问题,本文对上述变量进行了(加一)对数转换^[33]。最后,引入了项目申请资助年份和项目类型的固定效应来拟合模型。

项目产出绩效 D_{ijt} = $\beta_0 + \beta_1 \times$ 是否多负责人(负责人数量) + $\beta_2 \times$ 项目周期 + $\beta_3 \times$ 经费额度 + $\delta_j +$

$\gamma_t + \varepsilon_{ijt}$ (1)

式中, i 表示受资助项目; t 表示项目申请资助的年份; j 表示项目类型。因变量项目产出绩效 D_{ijt} 表示受资助项目 i 的产出绩效,上标 D 表示不同的产出绩效评价指标,包括产出论文数量、总引用量、发表5年后引用量、创新性和专利数量。 δ_j 表示项目类型固定效应; γ_t 表示项目申请资助年份固定效应; ε_{ijt} 表示误差项。

三、实证结果

(一) 多负责人模式与绩效产出的正相关关系

表 5 的结果显示了项目是否有多个负责人与产出之间的关系。模型 1 的结果显示和单一负责人项目相比,多负责人项目在受到资助之后产出论文的数量更多($\beta = 0.082, p < 0.01$),这表明项目共同领导模式与较高的研究生产力有关。此外,模型 2 的结果反映了多负责人项目产出论文的引用量更高($\beta = 0.141, p < 0.01$)。模型 3 的结果表明,多负责人项目产出论文的创新性更强($\beta = -0.059, p < 0.01$)。模型 4 的结果显示,多负责人项目产出专利的数量显著更多($\beta = 0.228, p < 0.05$)。

表 5 多负责人领导模式对项目产出绩效的影响

变量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
	论文数量	论文总引用量	创新性	专利数量
是否多负责人	0.082 *** (0.008)	0.141 *** (0.015)	-0.059 *** (0.004)	0.228 ** (0.092)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
项目类型固定效应	控制	控制	控制	控制
常数项	-0.440 *** (0.208)	1.423 *** (0.378)	5.473 *** (0.093)	1.824 ** (0.873)
样本量	95 673	95 673	95 151	8 757
Adj R ²	0.360	0.308	0.048	0.048
AIC	227 291.900	341 458.800	72 361.600	43 553.290
BIC	228 930	343 096.900	73 998.740	44 204.430

注:1. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$ 。2. 括号内报告了标准差。

(二) 负责人数量与产出绩效之间的关系

图 4a 显示 2006—2022 年,单个项目的平均负

责人数量呈现逐渐增加的趋势,到 2022 年项目的平均负责人数量在 1.35 人左右。图 4b 显示各个项目的负责人数量集中在 1~5 人,有少数项目的负责人数量超过 6 个人,尽管有些项目负责人数量多达 10 人以上,但这种情况较为罕见,可能涉及特别大型或多机构合作的项目。

本节进一步分析了项目负责人数量与项目产出绩效之间的关系。表 6 的结果显示负责人数量

的增加有助于提升产出论文的数量($\beta = 0.074$, $p < 0.01$)、引用量($\beta = 0.125$, $p < 0.01$)、创新性($\beta = -0.031$, $p < 0.01$)和产出专利的数量($\beta = 0.134$, $p < 0.01$)。然而,这种正面效应可能隐藏了某些非线性关系,如随着负责人数量的增加,产出绩效的正向增长可能会在达到一定阈值后减弱或改变,这可能是由于协调成本的增加或决策效率的下降等因素所致。

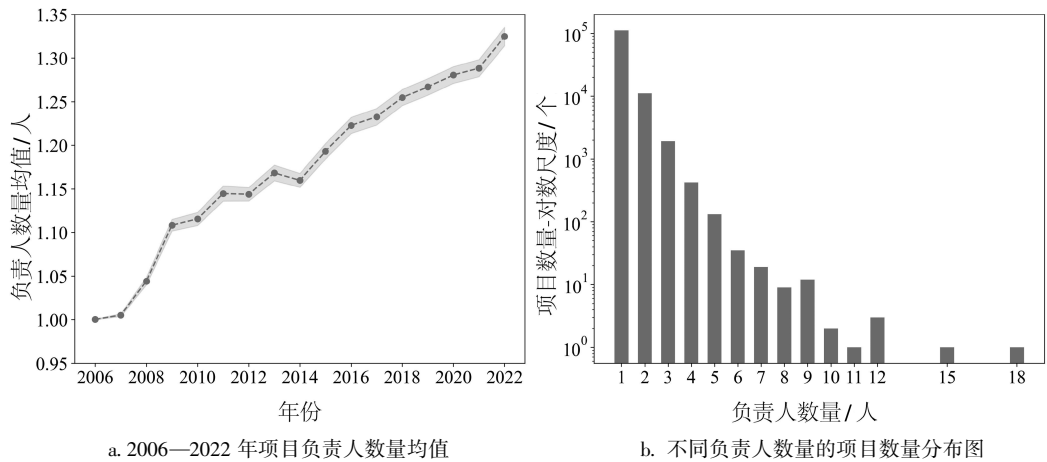


图 4 负责人数量与产生绩效之间的关系

注:图 a 中阴影部分表示 95% 置信区间;图 2 的纵坐标是项目数量的对数取值。

表 6 项目负责人数量对产出绩效的影响

变量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
	论文数量	论文引用量	创新性	专利数量
负责人数量	0.074 *** (0.006)	0.125 *** (0.010)	-0.031 *** (0.002)	0.134 ** (0.059)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
项目类型固定效应	控制	控制	控制	控制
常数项	-0.484 ** (0.208)	1.347 *** (0.378)	5.510 *** (0.093)	1.680 ** (0.869)
样本量	95 673	95 673	95 151	8 757
Adj R ²	0.360	0.308	0.047	0.048
AIC	227 212.400	341 393.100	72 456.320	43 553.290
BIC	228 850.500	343 031.100	74 093.460	44 204.430

注:1. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$ 。2. 括号内报告了标准差。

图 5 显示了项目负责人数量与项目产出绩效之间的非线性关系。负责人数量超过 5 人的项目数量很少,为避免由于数据量少造成的估计误差,未将这些项目包括在内。图 5a 表明随着负责人数量的增加,论文产出数量逐渐增加至一个峰值。当负责人数量为超过 4 人时,呈现出下降趋势。图 5b 表明引用量也遵循类似的模式,随着负责人数量增加而增长,达到峰值后开始回落,在负责人数量为 4 人时达到每个项目产出的论文被引用 1 687

次的最大值。图 5c 表明项目产出论文的创新性随负责人数量增加而提高,但仅当负责人数量小于 4 人时。当负责人数量增加到 4 人以上时,创新性开始减弱。最后,图 5d 显示专利数量随负责人数量增加而增长,在负责人数量为 3 人时达到平均每个项目 2.7 件专利的最高点,之后同样呈现下降趋势。

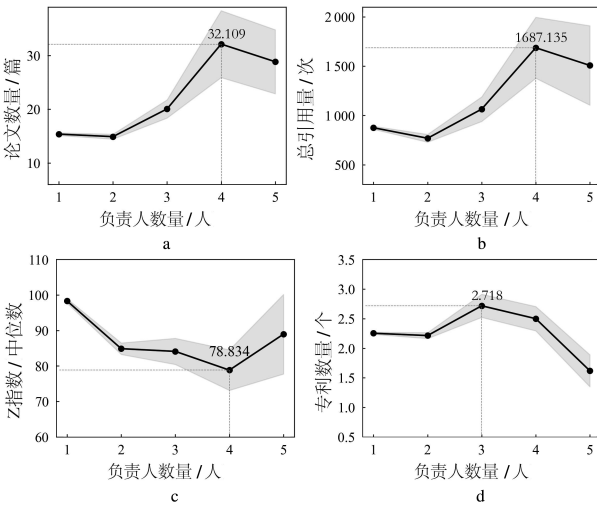


图 5 不同负责人数量的项目产出绩效差异

注:阴影部分表示 95% 置信区间。

总的来说,最佳的项目负责人数量是四位,超过4个人可能会导致项目圣生产力效率、科学影响力和创新水平降低。

(三) 多负责人领导模式对产出绩效的影响在不同经费额度项目中的异质性

项目经费体量表示项目的规模及其科学任务复杂度,因此可能适合不同的协作领导模式。本文分析揭示了几个重要发现。首先,相对于经费较低的项目,经费体量更大的项目在论文的生产力和影响力方面整体表现更好。其次,负责人数量对不同经费规模项目的产出影响不同。具体来说,在经费低

于30万元的小型项目中(图6a,图6d),增加项目负责人数量并未显著提升产出绩效,而且多负责人项目的产出绩效甚至低于单一负责人项目;在经费额度大于30万元小于80万元的中型项目中(图6b,图6e),项目负责人数量的增加在促进了产出绩效的提升,但当负责人数量超过4人之后,产出绩效呈现下降趋势;对于经费额度超过80万元的大型项目(图6c,图6f),虽然2个和3个负责人的项目产出绩效低于单一负责人项目,但4个和5个负责人的项目产出绩效则相对更高,这表明大型项目可能更依赖于多负责人的管理模式。

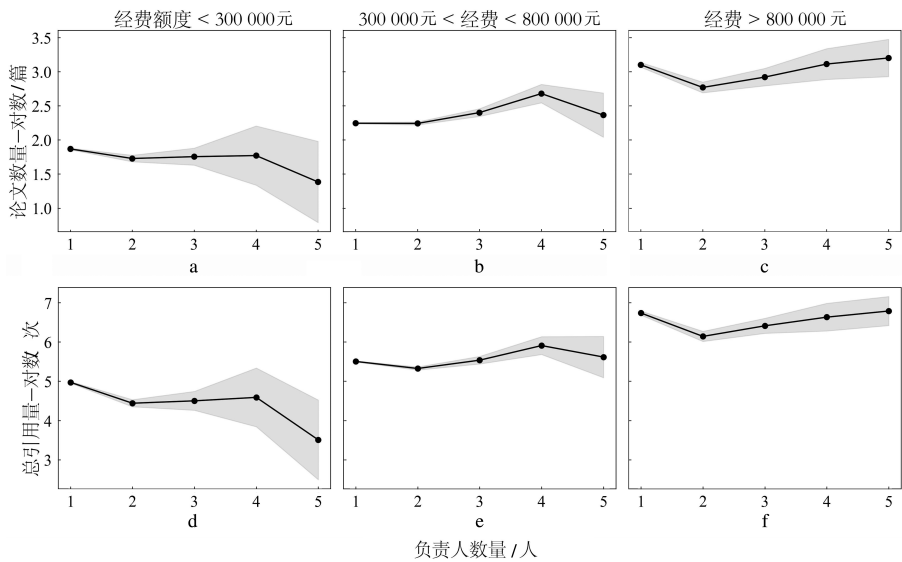


图6 不同经费额度下,负责人数量与项目产出绩效的关系

注:阴影部分表示95%置信区间。

表7进一步通过严谨的实证分析验证了上述统计结果。模型1~模型4中交互项的系数为正,表明在经费资源较为充足的情况下,多负责人项目产出论文的数量和引用量比单一负责人更高,并且适当增加负责人数量可能会有助于提高科研成果的影响力。以上结果表明,项目负责人的数量对产出绩效的影响因项目规模和经费大小而异,适当的负责人配置可以优化资源使用和决策效率,进而提升项目产出效率。

四、结论和讨论

本文基于NIH资助的项目数据,采用计量经济模型对多负责人协同领导和单一负责人领导的科研项目产出绩效差异进行量化分析,探讨了项目负责人的数量与项目产出绩效之间的非线性关系。此外,还考察了不同经费规模项目中多负责

表7 协作领导模式、负责人数量、经费额度与产出绩效的关系

变量	论文数量		总引用量	
	模型1	模型2	模型3	模型4
是否多负责人	-0.217 * (0.123)	-	-0.829 *** (0.223)	-
负责人数量	-	-0.201 ** (0.079)	-	-0.540 *** (0.143)
经费额度	1 503.532 *** (51.040)	1 272.096 *** (88.056)	2 015.502 *** (92.711)	1 493.853 *** (159.960)
是否多负责人 × 经费额度	231.048 ** (95.501)	-	752.138 *** (173.473)	-
负责人数量 × 经费额度	-	209.168 ** (60.312)	-	508.611 *** (109.561)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
项目类型固定效应	控制	控制	控制	控制
常数项	-0.363 * (0.210)	-0.130 (0.230)	1.630 *** (0.381)	2.186 *** (0.418)
样本量	95 597	95 597	95 597	95 597
Adj R ²	0.360	0.360	0.308	0.308
AIC	227 020.100	226 964.600	341 141.700	341 096.600
BIC	228 667.500	228 612	342 789.200	342 744.100

注:1. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ 。2. 括号内报告了标准差。

人模式对产出绩效影响的差异。得到以下主要结论。

首先,多负责人项目产出成果的数量、科学影响力和创新性水平均显著优于单一负责人项目。多负责人模式有助于促进更广泛的科研合作和资源共享,吸引更多合作人员和科研机构参与研究。具体来说,多负责人项目可能通过整合来自不同学科的专业知识和多样化视角,显著增强研究的广度和深度。此外,多负责人合作模式增强了研究的创新性,这不仅体现在产出创新性更强的论文上,还包括转化为更多具有实际应用价值的专利,为科学进步和技术发展做出重要贡献。

其次,负责人数量与产出绩效之间存在非线性关系。具体来说,负责人数量对产出绩效的正面影响在负责人数量达到 4 人的阈值后开始减弱。当项目负责人数量维持在 4 人时,往往可以达到论文生产力、科研影响力、学术创新性与实用性的最佳平衡。这表明,在科研项目中,适当的负责人数量能够有效整合各自的专业知识,优化沟通和协调效率,从而提升整体的项目绩效。超过一定阈值后,项目负责人的增加反而会导致沟通和决策成本的增加,对项目产出产生不利影响。

第三,项目负责人数量对项目产出的影响在不同的经费规模项目中显示出显著的差异。在经费充足的大型项目中,增加负责人数量能显著提高成果的影响力和创新性。由于这类项目通常持续时间长,因此能为增加的沟通协调成本提供有效缓冲,确保较高的产出绩效。然而,在经费较少的小型项目中,由于执行周期较短,增加负责人数量可能导致沟通成本上升,影响项目整体效率。因此,在规划项目管理结构时,应考虑经费规模和持续周期,合理配置负责人数量,优化产出绩效。

上述结论为国家自然科学基金委制定和优化多负责人制度政策提供重要启示。(1) 积极推广多负责人模式在不同类型项目中的应用,特别在经费充足且研究主题跨学科的项目中。这种模式有助于加强科研合作,整合各负责人的专业知识,并提升科研成果的创新性和影响力。(2) 根据项目类型、经费规模和科学问题的复杂程度来设定合适的负责人数量。避免因负责人过多而引起的人力资源冗余和沟通成本增加,进而影响项目产

出效率。(3) 鼓励年轻科研人员作为共同负责人参与项目,为未来申请项目及职业生涯的发展奠定基础。在不具备担任主要负责人资格的阶段作为共同负责人参与项目对于培养他们的科研能力、管理能力、领导力和促进合作网络的建立有重要意义。

作为一项探索性研究,本文为围绕多负责人制度的相关研究提供了洞见。第一,根据 Gibea 等^[34]的发现,共同领导的挑战不仅在于建立多个领导者及其追随者之间的顺畅关系,而且在于如何维持和动员那些能够最大化合作效果的紧张关系。基于此,未来可以进一步探讨多负责人之间的竞争关系如何影响科研项目产出。第二,多负责人模式提供的合作领导机会有助于年轻科研人员的成长,为他们在项目管理和领导中积累人力资本和专业经验^[35]。进一步的研究可以探索该模式对年轻科研人员的领导力和科研能力的影响路径。第三,未来研究可以通过对不同高校、不同职业阶段、不同性别及不同项目经历的科研人员调研和访谈,深入了解他们对多负责人模式的需求和看法,使多负责人模式更好地与现有的资助政策和实际需求相结合,提高科研经费配置效率。

参考文献:

- [1] 张琳, 孙蓓蓓, 黄颖. 交叉科学研究: 内涵、测度与影响[J]. 科研管理, 2020, 41(7): 279-288.
- [2] 孙海华, 张礼超. 美国国家科学基金会的重要资助举措及启示[J]. 中国科学基金, 2021, 35(4): 663-671.
- [3] 倪明, 霍名赫, 韩立伟, 等. 探索共同项目负责人模式, 促进学科交叉融合[J]. 中国科学基金, 2023, 37(4): 662-668.
- [4] ZHANG F, YAN E, NIU X, et al. Joint modeling of the association between NIH funding and its three primary outcomes: patents, publications, and citation impact[J]. Scientometrics, 2018, 117(1): 591-602.
- [5] KRABEL S, MUELLER P. What drives scientists to start their own company?: an empirical investigation of Max Planck Society scientists[J]. Research policy, 2009, 38(6): 947-956.
- [6] 张鹏程, 李铭泽, 刘文兴, 等. 科研合作与团队知识创造: 一个网络交互模型[J]. 科研管理, 2016, 37(5): 51-59.
- [7] YOUSOUBOVA L, MCAIPINE L. Why is the proposal alone not sufficient for grant success? building research fundability through collaborative research networking[J].

- Innovations in education and teaching international, 2022, 59 (1): 93-103.
- [8] MARION R, UHL-BIEN M. Leadership in complex organizations [J]. The leadership quarterly, 2001, 12 (4): 389-418.
- [9] TURNER J R, BAKER R. Team emergence leadership development and evaluation: a theoretical model using complexity theory [J]. Journal of information & knowledge management, 2017, 16(2): 1750012.
- [10] CUNNINGHAM J A, O'REILLY P, DOLAN B, et al. Publicly funded principal investigators allocation of time for public sector entrepreneurship activities [J]. Economia e politica industriale, 2016, 43: 383-408.
- [11] DAVIS G F, ADAM COBB J. Chapter 2 resource dependence theory: past and future [J]. Stanford's organization theory renaissance, 2010 (28): 21-42.
- [12] DENIS J L, LANGLEY A, SERGI V. Leadership in the plural [J]. Academy of management annals, 2012, 6 (1): 211-283.
- [13] REID W, KARAMBAYYA R. Impact of dual executive leadership dynamics in creative organizations [J]. Human relations, 2009, 62(7): 1073-1112.
- [14] 杨百寅, 王念, 张震. 集体领导力理论基础探析 [J]. 管理学报, 2014, 11(10): 1428-1435.
- [15] KATZ J S, MARTIN B R. What is research collaboration? [J]. Research policy, 1997, 26(1): 1-18.
- [16] 李若筠, 吴登生, 徐伟宣, 等. 中国管理科学学科发展态势计量分析 [J]. 中国管理科学, 2020, 28 (3): 223-230.
- [17] RONDA-PUPO G A, KATZ J S. The power-law relationship between citation-based performance and collaboration in articles in management journals: a scale-independent approach [J]. Journal of the association for information science and technology, 2016, 67(10): 2565-2572.
- [18] 郭世月, 李睿. 合著网络模式与论文产出数量及质量的相关性研究: 以中国催化剂领域期刊论文合著网络为例 [J]. 情报学报, 2013, 32(3): 314-327.
- [19] GLÄNZEL W. National characteristics in international scientific co-authorship relations [J]. Scientometrics, 2001, 51(1): 69-115.
- [20] HE Z L, GENG X S, CAMPBELL-HUNT C. Research collaboration and research output: a longitudinal study of 65 biomedical scientists in a New Zealand university [J]. Research policy, 2009, 38(2): 306-317.
- [21] SUN Y, LIVAN G, MA A, et al. Interdisciplinary researchers attain better long-term funding performance [J]. Communications physics, 2021, 4(1): 263.
- [22] 樊春良, 杨佳. 再探 SEMATECH: 政府与企业合作促进产业技术发展的成功因素及启示 [J]. 中国软科学, 2024(7): 37-48.
- [23] 余泳泽, 唐孝妍. 高校基础研究与创新知识溢出: 来自高校设立技术转移机构的证据 [J]. 中国软科学, 2024 (3): 162-173.
- [24] MORAN P. Structural vs. relational embeddedness: social capital and managerial performance [J]. Strategic management journal, 2005, 26(12): 1129-1151.
- [25] NAHAPIET J, GHOSHAL S. Social capital, intellectual capital, and the organizational advantage [J]. Academy of management review, 1998, 23(2): 242-266.
- [26] HUNTER S T, CUSHENBERY L D, JAYNE B. Why dual leaders will drive innovation: resolving the exploration and exploitation dilemma with a conservation of resources solution [J]. Journal of organizational behavior, 2017, 38 (8): 1183-1195.
- [27] CUNNINGHAM J, O'REILLY P, O'KANE C, et al. The inhibiting factors that principal investigators experience in leading publicly funded research [J]. The journal of technology transfer, 2014, 39: 93-110.
- [28] 刘海鑫, 刘人境. 集体智慧的内涵及研究综述 [J]. 管理学报, 2013, 10(2): 305-312.
- [29] MUETHEL M, HOEGL M. Shared leadership functions in geographically dispersed project teams [M]//Project-based organizing and strategic management. Bingley: Emerald group publishing limited, 2011: 289-321.
- [30] KRAUSE R, PRIEM R, LOVE L. Who's in charge here? Co-CEOs, power gaps, and firm performance [J]. Strategic management journal, 2015, 36(13): 2099-2110.
- [31] LIN Z, YIN Y, LIU L, et al. SciSciNet: a large-scale open data lake for the science of science research [J]. Scientific data, 2023, 10(1): 315.
- [32] UZZI B, MUKHERJEE S, STRINGER M, et al. Atypical combinations and scientific impact [J]. Science, 2013, 342(6157): 468-472.
- [33] THELWALL M, WILSON P. Regression for citation data: an evaluation of different methods [J]. Journal of informetrics, 2014, 8(4): 963-97.
- [34] GIBEA U É, LANGERY A, DENIS J L, et al. Bridging competing demands through co-leadership? potential and limitations [J]. Human relations, 2020, 73(4): 464-489.
- [35] 卢阳旭. 科研人员从事基础研究的影响因素分析: 基于一项全国科研人员调查数据的实证研究 [J]. 科学学研究, 2024, 42(5): 1000-1010.

(本文责编: 默 黎)