

科研团队动态、网络结构演化对科研产出的影响机制研究

徐航, 王燕*

四川农业大学管理学院, 成都, 中国

*通讯作者

【摘要】 科学合作是推动知识交流、促进学术联系的重要途径, 科研团队的动态变化对科研合作网络结构及科研产出具有重要影响。本研究从动态网络视角出发构建科研项目层面的科研合作网络。研究聚焦科研项目团队合作, 分析项目成员扩张与稳定合作对科研产出的影响机制。成员扩张和稳定合作都能显著促进科研项目的产出; 合作网络结构变化在成员扩张与科研产出之间发挥了部分中介作用; 知识多样性负向调节了成员的扩张性与科研产出之间正向关系。

【关键词】 科研合作网络; 项目团队; 网络结构演化; 科研产出

【基金项目】 四川省科技厅软科学项目 (编号: 23RKX0623)

1. 引言

科学合作是推动学科知识交流、促进学术联系的重要途径, 也是科技进步的核心动力[1]。“十四五”规划提出要构建高效的科技创新体系, 强化多主体协作机制。2023年中央一号文件进一步提出探索跨领域、跨部门的科研协作新模式, 以解决科研创新中的资源分散与协同不足问题。随着科研活动的不断复杂化, 科研合作模式逐渐呈现出网络化的趋势, 科研合作网络能够帮助网络成员节约研究成本、减少合作风险, 受到了学者们极大的关注。在这种背景下, 科研合作网络逐渐成为连接多学科、多机构资源、促进知识共享与技术扩散不可或缺的工具。科研团队如何通过合作网络提升科技创新水平, 成为创新管理研究中的重要课题。

传统的网络研究通常将网络视为静态、稳定的结构, 从静态网络的角度分析网络属性和结构对科研合作绩效的影响[2]。然而, 动态网络理论指出合作网络并非是静态的网络结构, 而是会随着合作成员之间的持续互动而动态演化的系统[3]。网络成员的变化不仅影响成员自身在网络中的结构状态, 还会引起整体网络结构的调整, 这种结构的动态调整会对创新产出产生影响[2]。因此, 如果仅从静态视角研究合作网络与绩效之间的关系, 可能难以揭示网络结构在演化过程中对创新绩效潜在的影响机制, 尤其是在成员流动频繁、合作关系不断重构的科研环境中。尽管已经有研究尝试从动态视角考察合作网络与绩效之间的关系, 但大多集中于“结构-

绩效”的线性路径[4]。但具体到科研合作环境下, 网络结构的动态变化如何影响科研团队绩效仍未得到充分揭示。

考虑到以上问题, 我们提出了三个研究问题: (1) 科研项目团队中成员的动态变化如何影响科研项目产出? (2) 科研项目成员变化和合作网络变化对科研项目产出的影响路径? (3) 科研项目的知识基础如何影响成员动态变化与科研项目产出的关系? 本文研究的边际贡献为: (一) 本研究以网络变化幅度来衡量合作网络的动态演化过程, 能够更有效识别成员动态所引发的网络结构重构及其影响机制, 揭示团队成员流动对科研产出的潜在影响机制。(二) 我们还考虑了团队知识基础在这个过程中可能产生的影响。通过跟踪科研项目网络的动态变化, 我们提供了关于科研项目合作更全面和实用的见解, 为优化研究重大科研项目团队的合作战略和加强研究成果的影响和创新提供了有针对性的建议。

2. 研究假设

2.1 科研成员的动态变化与科研产出

动态网络理论认为, 科研合作网络并非是静态的网络结构, 而是随着合作成员之间的持续互动而动态演化[2]。科研合作网络中成员及其合作关系会随着科研项目的资源配置、政策环境变化和技术变革等外部因素的调整而不断变化, 导致科研合作网络整体结构和功能的不断演化[5]。在科研项目中, 团队成员的流动性是网络演化的重要驱动因素, Yan 和 Guan (2018) [4]将网络动态性分为稳

定性和扩张性两个维度,本研究在以往研究的基础上,聚焦成员扩张与稳定合作两个维度来探讨成员动态变化对科研产出的影响。

在科研项目实施过程中,团队成员的扩张通常表现为新成员的加入和新合作关系的建立。从网络结构视角来看,新成员的加入增加了整体网络节点的数量,促进整体网络的动态扩张[2]。整体网络的扩张有利于提高合作网络结构的复杂性与开放性,为跨团队、跨组织间的知识流动提供了更多的流通过程[6]。新成员的加入通常伴随着异质性知识资源的输入,包括不同的学科视角,这种外界知识的输入能够帮助科研项目团队拓宽知识边界,构建多样化的知识结构[5]。而多样化的知识结构则有助于打破科研成员既有的路径依赖,为科研产出提供多元化的知识基础与创新驱动,进一步提高了科研团队的研究能力,促进项目团队的科研产出[7]。

假设 H1: 科研人员动态扩张,即项目引入外界成员,会引入外界异质性资源、促进跨学科交流,从而增加科研产出。

稳定的合作关系是指项目团队成员之间保持长期持续的合作关系。稳定的合作有助于增强成员间的默契与信任[8]。尤其在大型科研项目这种跨学科和跨机构的合作中,稳定的合作关系有利于降低成员间的沟通成本,提高信息传递效率[9]。长期的合作还能促进成员隐性知识的整合与共享,提升组织间的知识协同与集体学习能力,减少“搭便车”等机会主义行为。从而在项目团队内构建更高效的协作机制,增强成员间的心理契约与行为一致性[10]。高效的协作机制加速了项目团队内部的信息流动与资源共享,从而提升科研创新的深度与广度。

假设 H2: 稳定的合作关系会降低沟通成本,构建成员间高效的协作机制,从而对科研产出具有正向影响。

2.2 网络变化的中介作用

项目成员的扩张通过引入新成员和建立新的跨学科、跨机构连接,打破了原有合作群体之间的稳定结构,网络局部连接关系不断重构[11]。这一结构变动降低了原有网络成员间局部连接密度。网络结构上的变化有助于打破局部网络的封闭性,引入小团体外的异质性资源,这样能够有效减少成员间的路径依赖[12]。同时,外界成员的加入还扩大了科研合作网络的整体规模,增强了网络的开放性,使得知识资源能够在更大的网络

范围内流动[13]。这进一步削弱了单个研究群体的封闭性,加速了科研合作网络中知识扩散速率[5]。在更开放的合作网络中,项目团队能有效应对复杂科研问题所需的跨界知识整合,从而促进科研产出[2]。

H3: 成员扩张增加了网络结构的变化,打破了网络封闭,正向影响科研产出。

与成员扩张性引发的外部连接重构不同,稳定的合作是通过强化核心成员之间的高频互动,从而增强局部合作结构的密度[14]。这种稳定的合作往往集中于少数固定合作群体内部,使得网络中更容易形成闭合的三角关系,从而提升局部聚集水平[15]。随着科研成员间的合作关系在不同小团体之间的不均强化,网络成员之间的局部聚集程度呈现出更大的差异化。网络结构变化有助于科研项目成员突破原有的路径依赖,提升网络的结构重构潜力与知识协同能力[8]。一方面,集聚系数较高的团体由于内部高信任基础,能够促进隐性知识的高效流通[10];另一方面,边缘的节点通过与网络中的核心群体连接,实现结构桥接。这种结构桥接能够提升整体网络的连通性和资源可达性,并降低信息在传播过程中的损耗与延迟[5]。成员间稳定的合作通过优化网络中知识流动路径与网络韧性,从而增强科研团队的协同效率与创新产出能力。

H4: 稳定的合作关系通过增加了网络局部聚集水平变化,提高团队信任基础促进隐性知识传递,从而提高科研产出。

2.3 知识多样性的调节作用

不同学科背景蕴含着结构化差异的知识元素,构成跨领域知识整合与组合创新的基础,有助于提升组织对复杂问题的响应能力与科研绩效[16]。在高知识多样性的团队中,成员之间具备较强的知识异质性,新成员的加入会导致知识冗余的概率增加,其异质性资源在团队中的边际贡献可能被削弱。尤其是当新成员的专业背景与既有成员存在巨大差异,而团队内部又缺乏协同机制时,新知识更难以被快速识别、吸收与转化,导致科研产出下降[17]。而在稳定的合作关系中,成员具备多元的知识结构与思维模式,使得长期稳定的合作成员间更容易建立高效的跨领域协同机制。这种跨领域协调机制能够强化项目成员间的信任与理解,进而提高异质性知识的整合效率,推动深层次的知识融合与协同创新[18]。相比之下,在知识多样性

较低的团队中，新成员的知识结构差异更易被识别，团队更容易达成整合共识，从而提升知识协同效率。而稳定合作的成员背景趋同，合作知识结构重叠性高，长期稳定的合作关系可能会加剧认知路径依赖与惯性惯例，导致团队在熟悉领域内循环创新，创新能力难以突破[19]。

假设 H5: 知识多样性负向调节网络人员扩张与科研产出的正向作用

假设 H6: 知识多样性正向调节成员稳定合作与科研产出的正向影响

3. 研究设计

3.1 样本选择

本研究以中国国家重点研发项目团队作为研究样本。我们以每一个项目作为检索单元，从 CNKI 数据库中提取 2016-2024 年间与该项目相关的学术论文。具体来说，为确保论文数据的准确性与每个项目的精确匹配，我们基于科研项目编号进行精准匹配，限定论文类型为期刊论文。同时，为了保证数据的质量，排除偶发性的合著关系，我们剔除了作者人数少于 2 人的论文。在此基础上，我们采用了“作者姓名+单位名称”联合判定方式来识别作者的身份，提高作者识别的准确性。借助中国机构数据库，对单位名称进行合并与去重，并结合人工核验的方式消除同名歧义问题。对于研究期间存在单位变更的作者，以首次参与项目时的单位作为网络节点归属，来确保网络节点归属的一致性。最终，我们获得了一个包含 45,401 篇相关论文和 20,417 位作者的完整数据集。

3.2 变量测量

3.2.1 被解释变量

科研产出：本研究参考刘俊婉（2025）[2]以科研论文数量作为衡量科研项目产出的主要指标，该数据来源于中国知网（CNKI）数据库。在模型设定中，科研产出变量为计数型变量，为减少极端值的影响与模型偏态问题，变量在回归分析中通过“ $\ln(\text{论文数}+1)$ ”进行了对数转换。

3.2.2 解释变量

本研究参考 Yan（2018）[4]的研究将科研项目成员动态划分为两个维度：成员扩张与稳定合作，分别反映团队的外部扩展程度与内部协作的持续程度。通过识别不同年份科研团队成员的新增与重合情况，计算两个动态变量。

成员扩张性（NMA）：用于衡量科研项

目团队在年度合作网络中的外部成员引入能力。本文将成员扩张性定义为：某项目在年份 t 的合作网络中首次出现，但在年份 $t-1$ 尚未出现的节点数量，即该年度新加入成员的计数值，如式（1）。

$$NMA = \text{Enter}_{t_i} - \text{Enter}_{t_{i-1}} \quad (1)$$

合作稳定性（SCM）：衡量项目团队中成员的合作持续性程度。具体计算为：在年份 $t-1$ 和 t 中均参与合作的成员数量。该指标反映团队内部的协作惯性与信任机制水平。为统一变量尺度并缓解长尾分布问题，同样对稳定成员数量进行对数转换处理，如式（2）。

$$SCM = \text{Stable members}_{t_i - t_{i-1}} \quad (2)$$

3.2.3 中介变量

在科研合作网络的研究中，通常从结构维度和关系维度对网络特征进行分析。结构洞反映了成员所处的位置是否有利于跨圈层的信息桥接[20]，集聚系数从成员之间的联系稳定性与局部互动特征，来反映团队内信息的流动[21]。结构洞、集聚系数与团队内知识流动与信息整合效率紧密相关，且对科研产出具有重要影响。因此本文选取结构洞和集聚系数作为衡量合作网络演化的关键指标，并探讨其在成员动态变化与科研产出之间所可能发挥的中介作用。

集聚系数（ACC）：集聚系数是衡量网络局部结构紧密程度的关键指标，反映节点邻居之间的连接密度，体现合作网络中是否存在紧密协作的小团体。研究引入集聚系数年度变化幅度作为动态指标，衡量局部结构的动态调整。具体包括三步：

第一步：计算局部集聚系数：对每个项目中节点 o ，其局部集聚系数如式（3）：

$$C_o = \frac{2 \cdot E(o)}{K_o \cdot (K_o - 1)} \quad (3)$$

其中， $E(o)$ 为节点邻居之间的边数， K_o 为节点的度（邻居数量）。

第二步：计算项目年度平均集聚系数如式（4）：

$$ACC = \frac{1}{|N_i|} \sum_{o \in N_i} C_o \quad (4)$$

N_i 表示项目 i 在年份 t 的节点集合。最后计算集聚系数变化幅度如式（5）：

$$ACC_C_t = |ACC_t - ACC_{t-1}| \quad (5)$$

结构洞（SH）：结构洞用于衡量网络中节点所处位置能否跨越不同子群体、连接非冗余关系的结构特征，代表网络节点从结构中获取信息与资源的能力[20]。本研究采用

Burt 提出的约束系数作为结构洞的反向代理指标,即约束值越高,表示节点所处网络越封闭,结构洞越少。具体而言,节点*i*的约束系数定义为:其中, P_{jt} 表示节点*i*与*j*之间的连接强度在所有邻居中所占比例如式(6)。

$$SH_i = 2 - \sum_{j=1}^n (P_{jt} + \sum_{q=1, q \neq i, q \neq j} P_{qt})^2 \quad (6)$$

最后为衡量结构洞的动态变化,我们计算每个项目合作网络在*t*年的结构洞平均值(即所有节点的 SH_i 平均),年度结构洞变化幅度指标如式(7):

$$SH_C_t = |SH_t - SH_{t-1}| \quad (7)$$

3.2.4 调节变量

知识多样性(DDI):知识多样性反映了项目团队知识基础的广度与差异性,属于认知层面的团队异质性变量。该指标基于《中华人民共和国学科分类与代码(GB/T13745-2009)》标准,对项目参与成员的专业背景进行学科编码分类。我们识别每个成员的专业所属学科代码,以学科代码

前五位为判断依据,计算项目团队所覆盖的唯一学科门类数量。若任意两个成员的前五位代码存在差异,则视为属于不同学科。

3.2.5 控制变量

考虑到项目属性、实施年份、项目经费等因素会对科研产出的影响,本文选取以下控制变量:项目实施时间(PDT):用于控制不同启动时间所带来的资源获取时差与政策背景差异。项目经费规模(PFS):以项目总经费金额衡量,用于反映资源投入水平。项目课题数量(NPT):代表项目的任务复杂度与组织分工程度。成员规模(NAP):团队初始成员人数越多,可能带来更高的产出基数,也可能影响网络结构复杂性。参与机构数量(NAI):多机构协作项目的知识整合与管理难度较高。此外,本文设置年份虚拟变量(Year),用于控制跨年度的宏观环境变化与政策波动等不可观测时间效应。所有控制变量的定义与测量方式详见表1。

表 1. 变量名称及测量方式

变量类型	变量符号	测量方法
因变量	NP	项目实施期及其后三年内发表论文总数,取自然对数
自变量	NMA	每年新增成员数量,取自然对数
	SCM	每年稳定合作者数量,取自然对数
中介变量	SH_C	节点约束系数取加权平均并计算年度变动绝对值
	ACC_C	节点局部聚集系数的网络平均值,年度变化幅度
调节变量	DDI	团队组建时所涵盖的独立学科门类数量(前五位学科代码不同即视为不同学科)
控制变量	PDT	项目启动年份,连续变量
	PFS	项目总经费金额(万元),引入时间趋势后取自然对数
	NPT	项目下设子课题数量,引入时间趋势
	PT	分类变量:1=基础研究,2=应用示范,3=关键技术,4=其他
	NAP	项目申报时团队成员数量,引入时间趋势
	NAI	项目申报时参与机构总数,引入时间趋势
	Year	年份虚拟变量组,控制年度不变因素

3.3 计量模型构建

本研究的数据为面板数据,因此采用固定效应模型来分析团队成员扩张性(NMA)和合作稳定性(SCM)对科研产出(NP)的影响,基准模型如式(8)

$$NP_{it} = \beta_0 + \beta_1 NMA_{it} + \beta_2 SCM_{it} + \sum \beta_k Control_k + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

其中,被解释变量 NP_{it} 表示项目*i*在时间*t*的科研产出,核心解释变量 NMA_{it} 为成员扩张性, SCM_{it} 为合作稳定性, $Control_k$ 是项目层面的控制变量, μ_i 为个体固定效应,控制不随时间变化的个体特征,用来缓解遗漏变量问题。 ε_{it} 为误差项, β_0 为截距项。

为探究项目团队成员扩张性与合作稳定

性是否通过网络结构变化间接影响科研产出,基于主效应模型,参考温忠麟等(2004)[22]提出的中介效应检验方法,引入网络结构变化指标作为中介变量。模型设定如式(9)(10)所示:

$$Dynamism_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 NMA_{it} + \alpha_2 SCM_{it} + \sum \beta_k Control_k + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

$$NP_{it} = \beta_0 + \beta_1 NMA_{it} + \beta_2 SCM_{it} + \delta_1 N_{it} + \sum \beta_k Control_k + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

式(9)和式(10)中, N_{it} 为中介变量结构洞变化和集聚系数变化。其余字母含义与式(8)一致。

本研究引入知识多样性(DDI)作为调节变量,调节效应模型如式(11),其中 M_{it} 为调节变量,其余字母含义与式(8)一致:

$$NP_{it} = \beta_0 + \beta_1 NMA_{it} + \beta_2 SCM_{it} + \beta_3 DDI_{it} + \beta_4 M_{it} + \sum \beta_k Control_k + \mu_i + \epsilon_{it} \quad (11)$$

4. 实证分析结果

4.1 描述性统计分析

变量描述性统计结果和相关性分析结果如表 2 所示。同时我们进一步采用方差膨胀因子检验来评估变量之间的共线性程度。VIF 检验结果显示,所有变量的 VIF 值均小于 10,表明模型不存在多重共线性问题。

4.2 基准模型回归

基准回归结果如表 3 所示。模型 1 以合作稳定性为被解释变量,引入控制变量进行基准回归。

表 2.相关性结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
NP	1.000					
NMA	0.922***	1.000				
SCM	0.735***	0.555***	1.000			
SH_C	0.388***	0.427***	0.054***	1.000		
ACC_C	0.316***	0.366***	-0.087***	0.701***	1.000	
DDI	-0.117***	-0.240***	0.192***	-0.204***	-0.209***	1.000

表 3.基准模型回归结果

变量	NP		
	(1)	(2)	(3)
SCM	0.480*** (0.0118)		0.263*** (0.00667)
NMA		0.664*** (0.00821)	0.552*** (0.00695)
Constant	-7.774*** (2.094)	-9.752*** (1.376)	-1.041 (1.085)
Year	YES	YES	YES
ID	YES	YES	YES
Control	YES	YES	YES
Observations	2,667	2,667	2,667
R-squared	0.774	0.899	0.940
Number of ID	354	354	354

Standard errors in parentheses, *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1 (下同)

结果显示解释变量合作稳定性与被解释变量科研产出具有显著正向影响,回归系数为 0.480,并在 1%水平下显著,这表明,稳定的合作关系能够显著提高科研产出,假设 H2 成立。模型 2 以成员扩张性作为被解释变量进行基准回归,结果显示成员扩张性对科研产出具有显著正向影响,回归系数为 0.664,并在 1%水平下显著,结果符合原假设,即科研项目的成员扩张能够显著提高项目科研产出,假设 H1 成立。

4.3 机制检验

机制检验结果如表 4 所示。表 4 的模型 (1) (3) 显示了网络结构变化幅度在成员动态与科研产出中的中介效应。表 (4) 的模型 1 表示,结构洞变化在成员扩张性和科研产出之间发挥正向的中介作用,成员扩张性对结构洞变化的回归系数为 0.0148 (p<0.01),表明成员扩张提高了结构洞的变化,促进了科研产出。

表 4 中模型 (4) 结果显示,集聚系数变化在成员扩张性和科研产出之间发挥正向的中介作用,成员扩张性对集聚系数变化的回

归系数为 0.00129 (p<0.01),随着项目成员的扩张,科研合作网络中集聚系数的变化加大,最终促进了科研项目产出,假设 H3 成立。

表 4 中模型 (2) 表示结构洞变化在成员稳定性和科研产出之间发挥正向的中介作用,成员稳定性对结构洞变化的回归系数为 0.0403 (p<0.01),表明合作稳定增加了科研合作网络中结构洞的变化,从而促进科研产出。假设 H4b 成立。同样的表 4 中模型 (5) 的结果显示了集聚系数变化在合作稳定性和科研产出之间的正向中介作用,合作稳定性对集聚系数变化的回归系数分别为 0.0113 (p<0.01),结果表明合作稳定性促进了集聚系数的变化,从而促进了科研产出。稳定的合作关系提升了网络中的强连接比例,推动结构集聚与信任关系的深化,促进科研项目团队在高协作密度条件下完成知识整合与创新产出。假设 H4 成立。

表 5 显示了知识多样性对成员动态和科研产出之间的调节关系。

模型 (1) 在控制变量的基础上引入成员

扩张与知识多样性及其交互项。结果显示，成员扩张对科研产出具有显著正向影响，回归系数为 0.687 ($p < 0.001$)，知识多样性与科研产出之间的直接关系不显著，但与成员扩张的交互项系数为 -0.000314，且在 1% 水平下显著 ($p < 0.001$)。这表明，学科多样性对成员扩张性与科研产出之间的正向关系具有负向调节作用。在高异质性背景下团队知识吸收能力受认知边界、语言壁垒和协作成本所限制，使成员扩张对科研绩效的增益作用被削弱，结论支持假设 H5。模型 (2) 以

合作稳定性为解释变量引入交互项。结果显示，合作稳定性的系数显著为正 ($p < 0.01$)，但交互项未达到显著水平 ($p > 0.1$)，说明知识多样性并未显著增强合作稳定性对科研产出的正向作用，假设 H6 未获得支持。在较高的学科多样性环境下，稳定的合作并不一定增强科研产出，可能是因为成员间稳定的合作更多依赖长期信任关系与协作默契，具备更强的结构内生稳定性，因此不易受到团队知识结构变化的影响。

表 4. 中介效应检验结果

变量	SH C	SH C	NP	ACC C	ACC C	NP
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
SCM	0.0148*** (0.00205)		0.455*** (0.0101)	0.00129** (0.000541)		
SH_C			0.627*** (0.133)			0.268*** (0.103)
ACC_C			9.082*** (0.519)			1.046** (0.411)
NMA		0.0403*** (0.00199)			0.0113*** (0.000512)	0.630*** (0.00897)
Constant	0.380 (0.364)	0.917*** (0.333)	-7.991*** (1.771)	-0.00249 (0.0960)	0.278*** (0.0858)	-10.44*** (1.348)
Year	YES	YES	YES	YES	YES	YES
ID	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Control	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Observations	2,667	2,667	2,667	2,667	2,667	2,667
R-squared	0.267	0.364	0.838	0.282	0.405	0.903
Number of ID	354	354	354	354	354	354

表 5. 调节效应检验结果

变量	NP	NP
	(1)	(2)
SCM		0.479*** (0.0169)
NMA	0.687*** (0.0117)	
DDI	0.00142*** (0.000525)	0.00210** (0.000848)
SCM_DDI		3.31e-05 (0.000169)
NMA_DDI	-0.000314*** (0.000113)	
Constant	-10.41*** (1.395)	-7.617*** (2.101)
Year	YES	YES
ID	YES	YES
Control	YES	YES
Observations	2,667	2,667
R-squared	0.899	0.774

4.4 稳健性检验

(1) 替换核心解释变量。科研产出在以往研究中通常采用专利数量或论文数量等指

标作为衡量依据。然而，这些单一指标难以全面反映科研成果的质量与影响力，本文借鉴刘俊婉 (2025) [2] 的研究进一步用论文影响因子作为科研产出水平的衡量指标进行回归分析，结果如表 6 模型 1、模型 2 所示，替换被解释变量后，成员扩张性和合作稳定性显著正向影响科研产出，前文的结论依旧稳健。

(2) 更换 Tobit 模型。由于部分年份中某些项目的科研产出为 0，导致被解释变量呈现出左截断特征，可能导致系数估计偏误。本文根据王倩倩 (2025) [23] 的研究采用 Tobit 模型进行稳健性回归，结果如表 6 的模型 (3) 与 (4) 所示。模型结果表明，成员扩张性与合作稳定性依然在 1% 水平下显著正向影响科研产出，与基准回归方向与显著性保持一致，研究结论在替换计量模型下仍保持稳健。

4.5 异质性分析

前文通过回归分析验证了成员扩张性和合作稳定性对科研产出的正向影响、本节内

容进一步进行异质性分析。作为国土面积大国，中国各地区在科技资源、教育水平和经济发展等方面存在显著差异。区域发展水平不仅影响科研资源的分配，还会对科研合作模式及其产出产生不同程度的影响。为了进一步探讨成员扩张性和合作稳定性在不同区域的异质性作用，本研究借鉴王辰璇[24]的研究，将中国划分为东部、中部和西部三大地区，并分别检验其对科研产出的影响。

表 6.稳健性检验

变量	替换被解释变量		更换Tobit模型	
	(1)	(2)	(3)	(4)
SCM	0.524*** (0.0149)		0.651*** (81.36)	
NMA		0.784*** (0.0102)		0.858*** (113.93)
var(e.NP)			0.306*** (35.52)	0.153*** (36.06)
Constant	-9.099*** (2.649)	-9.462*** (1.702)	0.148 (0.78)	-1.163*** (-8.51)
Year	YES	YES	YES	YES
ID	YES	YES	YES	YES
Control	YES	YES	YES	YES
Observations	2,667	2,667	2667	2667
R-squared	0.723	0.882	0.443	0.692

表 7.区域异质性回归结果

变量	NP	NP	NP
	(1)	(2)	(3)
NMA	0.543*** (0.00835)	0.539*** (0.0171)	0.566*** (0.0197)
SCM	0.304*** (0.00781)	0.292*** (0.0158)	0.273*** (0.0219)
Constant	-0.650*** (0.114)	-0.215 (0.289)	-0.449 (0.444)
Control	YES	YES	YES
Year	YES	YES	YES
ID	YES	YES	YES
Observations	1,956	478	233
R-squared	0.888	0.874	0.910
P	0.000		

本研究按照中部、东部、西部将样本划分为三组，表 7 中模型 1、模型 2、模型 3 分别为中部、东部和西部地区的回归结果。结果显示，成员扩张性在西部地区的促进作用最强，西部地区科研资源相对稀缺，研究机构更倾向于通过跨区域合作获取外部资源。相比于资源较为丰富的东部和中部地区，西部地区、面临更大的科研资金、设备和人才短缺问题。因此，每增加一位科研成员或扩展合作网络，带来的边际效益更高，即新增成员的知识整合能力和科研贡献在西部地区

的影响更为显著。合作稳定性在东部地区的促进作用最显著，东部地区科研机构之间的合作网络较为稳定，且协同创新机制较为完善。在长期稳定的合作环境下，东部地区的科研团队成员更容易建立信任关系、减少沟通成本，促进科研产出。相比之下，中部地区可能在合作网络的完善程度和资源整合能力方面相对较弱，导致合作稳定性对科研产出的促进作用相对较小。

5.研究结论

本文的研究结论如下：（一）在科研合作网络中，项目成员的扩张与稳定的合作关系显著促进了科研项目产出，二者共同构成了提升团队科研绩效的双重路径。研究结果表明，外部成员的引入有助于项目团队吸收异质性知识与跨界资源，拓展合作网络的知识边界，激发团队的创新潜力；另外，核心成员间稳定的合作关系有助于降低团队成员间的沟通成本、促进团队内部隐性知识的整合，提高成员间的协同效率，从而提升了项目科研产出。

（二）合作网络结构变化在成员扩张与科研产出之间发挥了部分中介作用。团队在吸纳新成员的过程中，提高了整体网络结构的波动程度，不仅导致原有网络中的结构洞增加，产生新的桥接路径，提升了知识流通性，还改变了网络局部集聚程度与成员间的关系强度，构建起高效的知识共享路径。同时，稳定的合作增强了网络整体的凝聚性与网络结构韧性，通过强化成员间信任关系，为项目团队在成员更替中保持组织连续性提供了结构保障。

（三）同时研究结果还发现，知识多样性在成员扩张与科研产出之间发挥了负向调节作用。项目组建初期知识元素较高的团队在引入新成员时，会面临认知摩擦、知识壁垒与范式冲突等挑战，知识多样性削弱了新成员扩张的边际效应。而在稳定的合作与科研产出的关系中，知识多样性未呈现显著调节作用，说明稳定合作的成员间具有较强的结构内生性和适应能力，不易受到外部知识的干扰。

（四）最后我们讨论了在中国不同区域下成员动态变化对科研产出的影响差异。研究结果显示，成员扩张在西部地区对科研产出的促进作用最为显著，而稳定合作在东部地区效果更为突出。西部地区由于科研资源相对匮乏，新增成员所带来的外部知识资源

具有更高的边际价值；而东部地区合作网络成熟、基础良好，稳定的协作关系更有利于释放组织潜能并实现持续产出。相比之下，中部地区在网络完善度与资源获取能力方面处于相对劣势，合作路径的边际效应不明显。

参考文献

- [1] 陈凯华, 刘泓欣, 张宇杰, 等. 美国国家创新体系整体效能提升的实践经验与启示[J/OL]. 科学学研究, 1-12[2025-08-26].
- [2] 刘俊婉, 张琪琪, 李思琪. 跨学科科研团队合作的网络结构、演化及创新绩效[J]. 科技管理研究, 2025, 45(17): 203-215.
- [3] Zhang X, Li H, Schoonhoven C B. Interfirm collaborations and innovation performance: The moderating role of network overembeddedness [J]. *Journal of Management*, 2016, 42(3): 823-848.
- [4] Yan Y, Guan J C. How multiple networks help in creating knowledge: Evidence from alternative energy patents [J]. *Scientometrics*, 2018, 115(1): 51-77.
- [5] 周勇, 曾凡栋. 企业研发合作网络的动态性对创新绩效的影响研究——基于吸收能力的调节效应[J]. 科技与经济, 2021, 34(2): 31-35.
- [6] Zhang Z, Luo, T. Network capital, exploitative and exploratory innovations—from the perspective of network dynamics. *Technological Forecasting and Social Change*, 2020, 152.
- [7] 王庆金, 吕梦琪, 郑思齐, 等. 合作伙伴动态性对企业关键核心技术突破的影响[J/OL]. 软科学, 2025: 1-13[2025-08-26].
- [8] 曾德明, 张志东, 赵胜超. 科学合作网络、伙伴动态性与企业创新绩效[J]. 科学学研究, 2022, 40(5): 906-914.
- [9] 林海芬, 胡严方, 刘宏双, 等. 组织稳定与创新的悖论关系研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2019, 40(3): 3-17.
- [10] Raffiee J, Byun H. Revisiting the portability of performance paradox: Employee mobility and the utilization of human and social capital resources [J]. *Academy of Management Journal*, 2020, 63(1): 34-63.
- [11] 刘娜, 武宪云, 毛荐其. 发明者自我网络动态对知识搜索的影响[J]. 科学学研究, 2019, 37(4): 689-700.
- [12] Liu J, Guo X, Xu S, et al. Quantifying the impact of strong ties in international scientific research collaboration [J]. *PLOS ONE*, 2023, 18.
- [13] Zhang L, Guler I. How to join the club: Patterns of embeddedness and the addition of new members to interorganizational collaborations [J]. *Administrative Science Quarterly*, 2020, 65(1): 112-150.
- [14] Peng L J, Li W. Structural stability of the evolving developer collaboration network in the OSS community [J]. *PLOS ONE*, 2022, 17.
- [15] Gui Q, Xu W, Jiang S, et al. Unpacking the dynamics of international research collaboration network: Structural effects and dyadic effects [J]. *Technology in Society*, 2025, 82: 102954.
- [16] Yu S, Xia F, Zhang C, et al. Familiarity-based collaborative team recognition in academic social networks [J]. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2022, 9(5): 1432-1445.
- [17] Qu J, Liu M, Zhao S, et al. Team cognitive diversity and individual creativity: The roles of team intellectual capital and inclusive climate [J]. *Personnel Review*, 2024.
- [18] Nimkulrat N, Groth C, Tomico O, et al. Knowing together – experiential knowledge and collaboration [J]. *CoDesign*, 2020, 16(3): 267-273.
- [19] Vakili K, Kaplan S. Organizing for innovation: A contingency view on innovative team configuration [J]. *Strategic Management Journal*, 2021.
- [20] Burt R S, Soda G. Network capabilities: Brokerage as a bridge between network theory and the resource-based view of the firm [J]. *Journal of Management*, 2021, 47(7): 1698-1719.
- [21] Kipkosgei F, Kang S, Choi S. A team-level study of the relationship between knowledge sharing and trust in Kenya: Moderating role of collaborative technology [J]. *Sustainability*, 2020.
- [22] 温忠麟, 张雷, 侯杰泰, 等. 中介效应检验程序及其应用[J]. 心理学报, 2004(5): 614-620.
- [23] 王倩倩, 蒋殿春. 供应链持股与企业对外直接投资[J]. 世界经济研究, 2025(10): 46-61, 136.
- [24] 王辰璇, 姚佐文. 农业科技投入对农业生态效率的空间效应分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(11): 1952-1963.