校企战略科技合作对中国高水平研究型大学创新的影响研究

张 煜[1,2,3]，史冬梅[1]，冯 粲[1]

（1. 科学技术部高技术研究发展中心，北京 100044；
2. 清华大学公共管理学院，北京 100084；
3. 教育部科技委战略研究基地：清华大学科教政策研究中心，北京 100084）

摘 要：中国高水平研究型大学与科技领军企业的创新合作属于战略科技合作，具有战略意义。以清华大学的产学研合作为例，选取清华大学与 17 家科技领军企业的科研和创新合作数据，应用有调节的中介效应模型，实证研究校企战略科技合作在中国高水平研究型大学创新过程中所发挥的作用。研究发现，在高水平研究型大学科技创新过程中，相比科研经费投入，科研人员投入的影响更大更显著。校企战略科技合作在高校创新投入产出关系中起正向调节作用，对研发人力投入与创新产出的关系起到的正向调节作用更大。因此，建议高水平研究型大学应加大校企战略科技合作力度，转变继续加大经费投入的思路，将着力点转移到增加有效研发人力投入上来。

关键词：高水平研究型大学；清华大学；科技创新；产学研合作

中图分类号：F062.4；G301；G644 **文献标识码**：A DOI：10.3772/j.issn.1009-8623.2023.11-12.008

高水平研究型大学，研发投入巨大、创新成果突出，在中国创新体系内拥有领先的地位，推动中国创新事业的发展。本研究以清华大学为例，其在研发投入上和科研成果产出方面均规模巨大，能够代表高水平研究型大学。根据清华大学官网数据，2021 年，清华大学获批国家科技计划经费合同额超过 29 亿元，被《工程索引》（EI）收录的论文数量居全国高校首位。研究中国高水平研究型大学科技创新过程，将有助于高水平研究型大学有针对性地改善创新管理方式，增加创新成果，提升科研绩效。

高水平研究型大学是基础研究的主力军和重大科技突破的生力军。科技领军企业在科技成果转化、产业化方面以及推动创新链和产业链深度融合方面具有引领作用。作为国家战略科技力量的高水平研究型大学，与科技领军企业之间的产学研创新合作是一种极具战略意义的校企科技合作。研究校企战略科技合作在中国高水平研究型大学科技创新过程中的作用，将有助于更好地推动科技领军企业和高水平研究型大学开展创新合作，提升国家创新体系整体效能，促进高水平研究型大学创新。

因此，本研究将以清华大学的产学研合作为例，选取清华大学与 17 家科技领军企业的科研和创新合作数据，应用有调节的中介效应模型，实证研究校企战略科技合作在中国高水平研究型大学创新过程中发挥的作用。研究结论有助于更多的高水平研究型大学重视研究人员培养，转变发展方式，

第一作者简介：张煜（1988—），男，博士，助理研究员，主要研究方向为经济学、科技政策、公共管理等。

通信作者简介：史冬梅（1964—），女，博士，研究员，主要研究方向为科技管理等。电子邮箱：shidm@htrdc.com

项目来源：国家自然科学基金重点国际合作研究项目“决策模式差异化情景下的中美低碳创新政策工具比较研究”（71520107005）；国家自然科学基金创新研究群体项目“中国公共政策理论与治理机制研究”（71721002）。

收稿日期：2023−05−11

变粗放式发展为精细化创新，进一步增加高水平研究型大学的创新成果。在更广泛的意义上，本研究也将为高等教育改革提供思路，加强人员培养，优化经费资助方式，推动高等教育与产业界的合作，促进中国高等教育事业高质量发展。

1　文献回顾和理论假设

1.1　国家战略科技力量研究

国家战略科技力量的竞争为世界各国学者所关注。已有很多国内外学者从不同角度研究了国家战略科技力量，研究对象包括高水平研究型大学、科技领军企业等。本研究也将探讨国家战略科技力量，主要研究高水平研究型大学与科技领军企业之间的校企战略科技合作。

Irwin 等 [1] 分析了研究型大学对产业技术创新的影响。樊春良 [2] 提出了国家战略科技力量的定义、特点及组织形式。郭涵宇等 [3] 指出了当前中国研究型大学研发资源和制度面临的问题。尹西明等 [4] 提出了强化国家战略科技力量的理论基础、战略与路径。

1.2　高校创新投入产出研究

高等院校是国家创新系统中非常重要的主体。高等院校的创新投入产出关系为学者所重点关注。Cao 等 [5] 发现仅依靠增加科技人员数量不会显著提高创新产出。Lee[6] 发现教师工资和研究支出是决定 SCI、专利和许可收入的重要变量。郭江江等 [7] 分析了研发经费结构和人员特征对高校创新产出的影响。王鹏等 [8] 分析了中国高校经费投入和研发规模对科研产出的影响。张宝生等 [9] 研究了政府科技经费投入和研发人员规模对高校基础研究科研产出的非线性影响。

从上述文献中可以发现，学者对高校创新投入产出关系也进行了一定的研究。Cao 等 [5] 研究了科技人员投入，王鹏等 [8] 研究了经费和研发规模投入，张宝生等 [9] 研究了科技经费和研发人员规模投入。可见，创新投入一般包括创新经费投入和创新人员投入两个类别。创新投入产出关系理论和上述文献中的学者均认为人力要素和资本要素等创新投入有助于创新产出提升。故提出以下假设。

H_1：高校创新投入对高校创新产出具有正向影响；H_{1a}：研发经费投入对高等学校创新产出具有正向影响；H_{1b}：研发人力投入对高等学校创新产出具有正向影响。

1.3　政府支持与大学创新

政府在高校科技创新过程中扮演重要的角色。国内外文献中，有很多学者研究了政府支持与大学创新的关系问题。Bai 等 [10] 分析了 1985 年以来中国中央政府基础研究资助体系的演变。Frank 等 [11] 指出美国联邦项目资助体系与研发预算增长刺激了大学创新。苏荟等 [12] 发现了政府支持型纵向科研经费对于促进科研创新具有重要影响。谈毅等 [13] 发现了高校的政府科技投入与创新产出正相关。原长弘等 [14] 研究了政府支持与高校创新产出的关系。

从上述文献中可以发现，很多学者均指出政府财政会给大学创新提供资金支持，资助大学基础和应用研究 [10-11]。苏荟等 [12] 还指出了政府支持一般以纵向课题经费投入形式进行。众多研究均发现，政府的科技投入对高校创新具有正向作用 [13]。受此启发可知，政府财政会给大学创新提供资金资助，正向促进大学创新。故提出如下假设。

H_2：政府支持对高等学校创新产出具有正向影响。

1.4　产学研合作与大学创新

产学研合作对高校科技创新也具有重要影响。很多国内外文献研究了产学研合作与科技创新的关系问题。本研究将探讨高水平研究型大学与科技领军企业之间的校企战略科技合作在大学创新中的作用。Zhang 等 [15] 研究了产学合作对研究绩效的影响。Cheng 等 [16] 研究了产学合作政策对大学知识创新和成果转化的影响。李秀坤等 [17] 研究了清华大学产学合作网络的特征指标对创新绩效的影响。王晓红等 [18] 研究了校企合作对中国高校科研绩效的影响。杨小婉等 [19] 和于姝等 [20] 均研究了产学研合作对高校创新绩效提升的影响路径。

产学研合作有很多种类型。其中，高水平研究型大学与科技领军企业之间的产学研合作极具战略意义。本研究将探讨校企战略科技合作在高水平研究型大学科研创新中的作用。有学者认为产学研合作能通过多种路径促进大学创新 [19-20]，实际上，校企战略科技合作可利用多种路径促进大学创新。其既可以为高校创新过程提供一定的经费资助，也

能够联合培养研发人员，共同组建联合科研攻关团队等，从而为高校科研创新提供人力支持。校企战略科技合作能从资本和人力投入两条路径调节高校创新投入产出关系。因此，校企战略科技合作对高校创新中的资本要素运动和人力要素运动起调节作用。故提出以下假设。

H_3：校企战略科技合作正向调节高校创新投入与创新产出之间的关系；H_{3a}：校企战略科技合作正向调节高校创新经费投入与创新产出之间的关系；H_{3b}：校企战略科技合作正向调节高校创新人力投入与创新产出之间的关系。

1.5 国外高水平研究型大学建设经验研究与借鉴

本研究主要针对国家战略科技力量中的高水平研究型大学。有学者从全球角度跟踪了国外高水平研究型大学的建设实践和先进经验，以期为促进中国高水平研究型大学创新提供国外经验借鉴。

贾永堂等[21]指出，19 世纪末 20 世纪初，一批高水平研究型大学正在美国快速崛起。美国独特的社会结构使其对大学组织与行为的创新包容性较强，在此基础上形成的制度环境创造了刺激竞争的压力和动力，成为促进每所研究型大学不断创新的强制机制；在制度环境的压力下，美国研究型大学的组织形态逐渐发生变化，在带来新功能的同时，最终跨过自催化门槛，进入更为内在化的阶段。

李伟娟[22]尝试以历史研究为途径，分析美国研究型大学崛起的原因。从 3 个方面深入探讨：第一，英国、法国和德国为美国研究型大学的崛起提供了借鉴模式。第二，美国的社会环境是研究型大学得以发展的“土壤”。政治上，联邦政府维护大学的独立性并为研究型大学的发展提供政策支持与法律保障；经济上，美国发达的经济是研究型大学形成与发展的基石，社会需求拓展了大学的研究领域，经济发展为大学的发展提供了物质基础；科技政策上，吸引外来的科学家和参与军事研究使美国研究型大学受益匪浅。第三，美国大学的内部因素是推动研究型大学发展的根本动力。充足的科研经费、先进的设备和藏书丰富的图书馆为研究型大学的发展提供了物质保障；杰出的校长、一流的师资队伍和优秀的生源为研究型大学的发展提供了丰富的人力资源；较高的学术声望、自由的学术氛围和激烈的竞争为研究型大学的发展营造了良好的校园文化环境。

李雪飞[23]对美国研究型大学发展竞争力的策略进行了研究，发现美国研究型大学通过多种策略获取了大量的优质资源。美国研究型大学在资源获取上主要表现为：通过引、留、发展一体化等策略为大学赢得了大量的优秀教师资源；通过多渠道引资策略为大学获得了丰富的资金资源；通过灵活的招生政策、提供奖学金和面向世界招收优秀学生等举措为大学获得了优秀的学生资源。以大学理念为核心的精神文化和以现代大学制度为标志的制度文化等大学文化，已成为美国研究型大学文化建设中的着力点。美国研究型大学正是通过“从人才培养机构到社会动力站”的大学认识观、“个人发展、知识拓展和服务社会”三者有机融合的大学使命观、“特色与卓越”并驾齐驱的发展观为美国研究型大学的竞争力发展提供了良好的理念指导。通过“学术自由、大学自治、务实开放”的现代大学制度建设以及董事会、校长、学术评议会“三权分立”的内部治理制度为大学竞争力的发展提供了有力的制度文化保障。美国研究型大学一直以来都通过发展自身在“人才培养、科学研究和社会服务”方面的创新能力，有效地提升人才培养、科学研究和社会服务水平，使其更好地满足社会需要，为美国研究型大学的竞争力发展提供了能力方面的保障。大学是社会系统的子系统，美国研究型大学的竞争力及其发展策略选择也受到了外部社会环境的影响，美国政府的立法、资助与问责制度，美国的市场机制以及非政府组织的排名、认证、资助和方向引领等都对美国研究型大学竞争力的发展起到了有力的推动作用。

通过对国外高水平研究型大学建设实践加以研究，众多学者借鉴和总结国外先进经验，并据此向中国提出了建议。马源[24]对美国研究型大学知识创新进行历史考察，指出政府的适度干预与研究型大学相对自由的研究氛围可以为知识创新发展提供良好的环境。毛建青等[25]受美国研究型大学发展特征的启发，指出中国应分层分类建设大学，构建高质量的高等教育体系与生态；给予大学自主发展空间，积极引导社会力量支持并推动具有中国特色的新型研究型大学的发展；调整学生规模和比例，

扩大专任教师和辅助人员规模；增加经费收入规模，切实拓宽收入来源渠道；优化经费支出结构，持续细化大学的预决算项目，以期推动中国研究型大学发展和高质量高等教育体系建设。张安富等[26]将美国斯坦福大学的师资力量、本科教学的跨学科研究课程等，作为世界高水平研究型大学的个案进行研究，以期为中国创建高水平研究型大学提供借鉴。

为更好地吸收国外高水平研究型大学先进经验，有针对性地改善中国高水平研究型大学创新现状，有必要对中国高水平研究型大学科技创新过程加以研究。本研究将立足高等教育，以上文提出的 H_1、H_2 和 H_3 3 项理论假设为依据，通过分析高校创新投入产出关系、政府支持和产学研合作的内在逻辑关系，构建一个完整的理论概念模型，对中国高水平研究型大学科技创新过程进行理论和实证探讨（见图 1）。

除了企事业单位横向课题经费投入，政府资金也是高等院校创新经费投入的重要来源。因此，图 1 上半部分中，政府支持和横向课题投入通过影响创新经费投入这一中介变量，间接影响创新产出。上述路径反映了图 1 中的资本要素运动。除了资本投入，人力投入也是一个创新投入要素，创新人力投入作为资本要素运动路径上的控制变量，也能影响创新产出，形成了图 1 中的人力要素运动，见图 1 下半部分。校企战略科技合作能够为高校创新过程提供一定的经费资助，也能够联合培养研发人员，为高校科研创新提供人力支持。因此，校企战略科技合作对图 1 中的资本要素运动和人力要素运动起调节作用。图 1 右半部分中，校企战略科技合作调节创新投入与创新产出之间的关系。

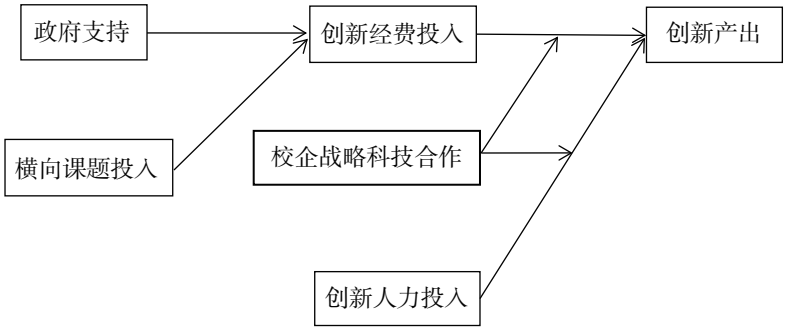


图 1　理论概念模型

本研究将以图 1 中的理论概念模型为基础，应用计量经济学模型，实证研究校企战略科技合作在中国高水平研究型大学创新过程中所发挥的作用，对研究中提出的 H_1、H_2 和 H_3 3 项理论假设进行假设检验。

2　研究设计

2.1　变量选取

研究中所使用的各变量符号、变量用途、定义指标及说明，具体见表 1。表 1 中共 9 个变量，用于有调节的中介效应模型回归。其中，T 为样本数据的时间维度。

变量 H 和变量 M 分别为创新过程中的人力和资本要素投入。其中，M 为图 1 中的中介变量，H 为 M 影响 Y 路径上的控制变量。L 替换 H，用于稳健性检验。K 替换 M，用于稳健性检验。

高校创新过程中，除了企事业单位横向课题经费，政府资金也是高等院校科研经费的重要来源。政府支持一般是以纵向课题投入的形式进行。企事业单位以横向课题投入的形式进行支持。二者共同影响中介变量 M，最终间接影响创新产出 Y。变量 C 为自变量 X 影响 M 路径上的控制变量。

变量 W 采用创新合作网络密度指标，经社会网络分析法（SNA）计算而得，代表了校企战略科技合作的强度，表示了清华大学与 17 家科技领军企业的产学研创新合作程度。校企战略科技合作能够为高校创新过程提供一定的经费支持，也能够联合培养研发人员，为高校创新过程提供人力

表 1　有调节的中介效应模型中各变量的定义及说明

变量	变量说明	变量用途	定义指标
T	时间序列	时间维度	时间 / 年
H	创新人力投入	控制变量	研究与发展人员 / 人年
L		替换 H，用于稳健性检验	全时当量人员 / 人年
M		中介变量	科技经费 / 千元
K	创新经费投入	替换 M，用于稳健性检验	当年内部支出 / 千元
X	政府支持	自变量	政府资金 / 千元
C	横向课题投入	控制变量	企事业单位委托 / 千元
Y	创新产出	因变量	创新产出综合水平
W	创新合作强度	调节变量	创新合作网络密度（平均值）

支持。因此，校企战略科技合作 W 对高校创新投入转化为创新产出的过程起调节作用，为研究中的调节变量。

为了准确衡量清华大学创新产出综合水平，清晰全面地反映清华大学的创新产出情况，兼顾指标全面性和数据可得性，参考借鉴前人研究中的统计指标选取，并根据各变量自身属性，最终构建综合衡量指标体系如表 2 所示。在此基础上，研究将采用主成分分析法（PCA）计算获得清华大学创新产出综合水平 Y，作为因变量，在回归分析中使用。

表 2 中，共有 5 个一级指标，9 个二级指标。

表 2　清华大学创新产出综合衡量指标体系

一级指标	二级指标	符号
专著（Y_1）	专著数量 / 部	Y_{10}
	专著字数 / 千字	Y_{11}
论文（Y_2）	学术论文 / 篇	Y_{20}
	国外及全国性刊物发表 / 篇	Y_{21}
鉴定成果（Y_3）	鉴定成果数 / 项	Y_{30}
技术转让（Y_4）	签订合同数 / 项	Y_{40}
	当年实际收入 / 千元	Y_{41}
成果获奖（Y_5）	成果奖项 / 项	Y_{50}
	国家级奖 / 项	Y_{51}

高校创新产出包括专著和论文。Y_1 维度衡量了专著情况，具体包含 2 个二级指标。高等学校以基础研究见长，发表论文情况宜作为衡量高校创新产出的主要指标[27]，故将 Y_2 纳入指标体系。Y_2 维度具体包含 2 个二级指标。Y_1 和 Y_2 维度从成果形式上衡量了创新产出。Y_3 和 Y_5 维度从成果质量上衡量创新产出。Y_3 维度衡量了成果鉴定情况，具体包含 1 个二级指标。Y_5 维度衡量了成果获奖情况，具体包含 2 个二级指标。Y_4 维度从成果转化角度衡量了高校创新产出，具体包含 2 个二级指标。

9 个二级指标从更具体的角度反映了 5 个一级指标的情况，使得清华大学创新产出综合得分的测算更加全面科学。通过构建表 2 中的综合衡量指标体系可以全面、科学地衡量清华大学的创新产出水平。

2.2　样本采集

样本数据的描述性统计分析见表 3。表 3 中包含了表 1 中各变量和表 2 中的各指标，共 18 个变量。

限于数据可得性，研究中 18 个变量均选取清华大学与 17 家科技领军企业的 2006—2017 年共 12 年的时序数据。统一时间范围，以便于比较。其中，变量 Y 和变量 W 的数值经 PCA 法和 SNA 法计算而得。

本研究共使用数据样本 437 个。具体而言，变

表 3　2006—2017 年有调节的中介效应模型中各变量的描述性统计

变量	均值	标准差	最小值	最大值
T	2 011.500	3.606	2 006.000	2017.000
H	4 201.917	661.165	2 891.000	4 854.000
L	3 361.417	528.993	2 313.000	3 883.000
K	2 485 859.000	1 181 608.000	55 566.000	3 758 205.000
M	3 704 134.000	1 422 164.000	1 422 933.000	5 967 789.000
X	2 405 900.000	963 133.400	890 019.000	3 913 011.000
C	1 070 360.000	407 083.500	611 854.000	1 700 265.000
Y	-2.79×10^{-8}	0.890	−1.471	1.345
W	8.093	2.507	4.765	13.588
Y_{10}	58.167	10.861	44.000	84.000
Y_{11}	14 269.830	3 487.174	9 602.000	21 668.000
Y_{20}	10 202.920	684.890	9 016.000	11 114.000
Y_{21}	3 880.250	1 425.549	2 388.000	7 243.000
Y_{30}	47.167	7.120	32.000	58.000
Y_{40}	570.833	134.368	203.000	702.000
Y_{41}	402 637.900	139 184.400	234 135.000	613 524.000
Y_{50}	99.083	24.685	75.000	148.000
Y_{51}	18.000	2.985	14.000	23.000

量 Y 经计算而得，共使用样本 108 个。变量 W 经社会网络分析法计算而得。首先构建清华大学与 17 家科技领军企业的 2006—2017 年的创新合作网络。这些创新合作网络均为“单学校—多企业”的一对多的无向加权网络。构建创新合作网络时，采用 1×17 阶矩阵，矩阵元素为该年度清华大学分别与 17 家科技领军企业的创新合作总数（包括学术期刊论文、会议、专利和标准等）。该矩阵为多值数据矩阵，不进行二值化处理。变量 W 计算中，共使用 2006—2017 年的 1×17 阶矩阵 12 个。社会网络分析中，共使用 2006—2017 年的 1×17 阶矩阵 13 个，共计 221 个样本。表 5 中回归分析共使用样本 108 个。

补全数据缺失值采用线性插值法，即中间数是左右两端数的均值。若该平均值为负，缺失数据应为非负，左右相隔一年再取算数平均值；平均数非整数，缺失数据应为整数，四舍五入取整。

本研究将着眼高等教育，以清华大学与科技领军企业的产学研合作为例，研究校企战略科技合作在中国高水平研究型大学创新中的引领作用。其中，清华大学是中国大学中的头部高校和“双一流”大学，能够代表中国高水平研究型大学。科技领军企业的具体名单来自清华大学与企业合作委员会（以下简称“企合委”）成员。基于清华大学的企合委合作单位情况，同时限于数据可得性，兼顾企业代表性和研究意义方面的考虑，剔除合作数量过少或数据缺失过多的企业，最终选择了具有代表性的 17 家科技领军企业，名单见表 4。

表 4 中的 17 家高技术企业大多是行业公认、研发人力和经费投入巨大、论文和专利等创新成

表 4　17 家科技领军企业名单

科技领军企业	科技领军企业	科技领军企业
国家电网	中国长江三峡集团	微软
中国移动	中国华电集团	腾讯
中国华能	华为公司	联想
通用公司	丰田汽车	百度
中国石化	英特尔	日立
中信集团	西门子	

果突出的行业头部高技术企业，能够引领行业科技风向。

创新合作总数的数据来源于中国知网。检索条件为："作者单位：清华大学 AND 作者单位：企业名称（如华为）；检索范围：总库"，逐年统计数据。创新合作总数，包括学术期刊论文、会议、专利和标准等，论文包括了中文和英文。合作总数指标，合作数额大，有研究意义；合作内容涵盖范围广，指标更准确。以创新合作总数指标为矩阵元素，构建创新合作网络。以此为基础，采用社会网络分析法计算可得变量 W 数据。

除了变量 W 和变量 Y 数据经计算而得外，本研究中所采集的所有清华大学的科研样本数据均来自 EPS 数据平台上提供的中国教育数据库——年度数据（高校科技活动分高校）。中国教育数据库的数据来源于《高等学校科技统计资料汇编（2006—2017 年）》及中国教育部与中国国家统计局的官方网站，由 EPS DATA 整理。

创新合作网络分析中所有图表数据均由社会网络分析软件 Ucinet 6 生成，经软件 Excel 整理而得。主成分分析法和回归分析过程，均采用 STATA 16.0 软件[28]进行。

2.3　模型设定

本研究将立足高等教育，以图 1 中的理论概念模型为基础，构建有调节的中介效应模型以反映中国高水平研究型大学科技创新过程，实证研究校企战略科技合作在中国高水平研究型大学创新投入转化为创新产出的过程中所发挥的作用。

以 Y 为因变量、X 为自变量的基准模型，其待估方程形式如下：

$$M=\alpha_0X+\alpha_1C,$$

$$Y=\beta_0M+\beta_1H+\beta_2W+\beta_3MW+\beta_4HW+\beta_5X+\beta_6C。\quad（1）$$

式中，α_0、α_1、β_0、β_1、β_2、β_3、β_4、β_5、β_6 为各变量的系数，是实证分析中的待估参数。M 为中介变量；W 为调节变量，调节变量 M、H 与因变量 Y 之间的关系；MW 和 HW 为交叉项，表示变量 M、H 与 W 的交互，能反映出 W 的调节效应；C 和 H 为图 1 中不同路径上的控制变量。用式（1）方程形式完整地描述了图 1 中的理论概念模型。式（1）实际上是一个有调节的中介效应模型。式（1）中在给定 W 的条件下，X 对 Y 的条件间接效应为 $\alpha_0(\beta_0+\beta_3W)$。

稳健性检验，采用变量替换的方法进行：将式（1）基准模型中的相关变量加以替换。具体地，用 L 替换 H，K 替换 M，详见（2）式。

$$K=\alpha_0X+\alpha_1C,$$

$$Y=\beta_0K+\beta_1L+\beta_2W+\beta_3KW+\beta_4LW+\beta_5X+\beta_6C。\quad（2）$$

接下来，本研究将首先采用主成分分析法衡量清华大学的创新产出综合水平。然后，使用 Ucinet 6 软件，采用社会网络分析法简析清华大学与 17 家科技领军企业的创新合作情况。最后，本研究将采纳式（1）和式（2）中的有调节的中介效应模型形式，使用 STATA 16.0 软件实证研究校企战略科技合作在中国高水平研究型大学创新中的作用。

3　实证分析

3.1　创新产出和创新合作分析

首先，采用主成分分析法衡量清华大学的创新产出综合水平，采用的衡量指标体系见表 2。使用主成分分析共得到 4 个主成分（Comp）。经计算，前 4 个主成分累计方差贡献率已经高达 0.889 1。因此，清华大学创新产出综合水平由 4 个主成分加权求和而得，权重为各自的方差贡献率在 4 个主成分的累计方差贡献率中的占比，即方差贡献率除以 0.889 1。计算公式如下。

$$Comp=(0.356\ 4Comp1+0.264\ 7Comp2+0.168\ 8Comp3+0.099\ 3Comp4)/0.889\ 1。\quad（3）$$

其次，采用社会网络分析法构建清华大学与 17 家科技领军企业的创新合作网络。17 家科技领军企业的具体名单见表 4。

图 2 为本研究所构建的 2021 年的创新合作网

络图，使用了 2021 年的 1×17 阶矩阵 1 个，各连线上的数字为 2021 年清华大学分别与各科技领军企业之间的创新合作数量。从图 2 中可以得出，2021 年清华大学与 17 家科技领军企业的创新合作情况。

在构建创新合作网络的基础上，测算创新合作

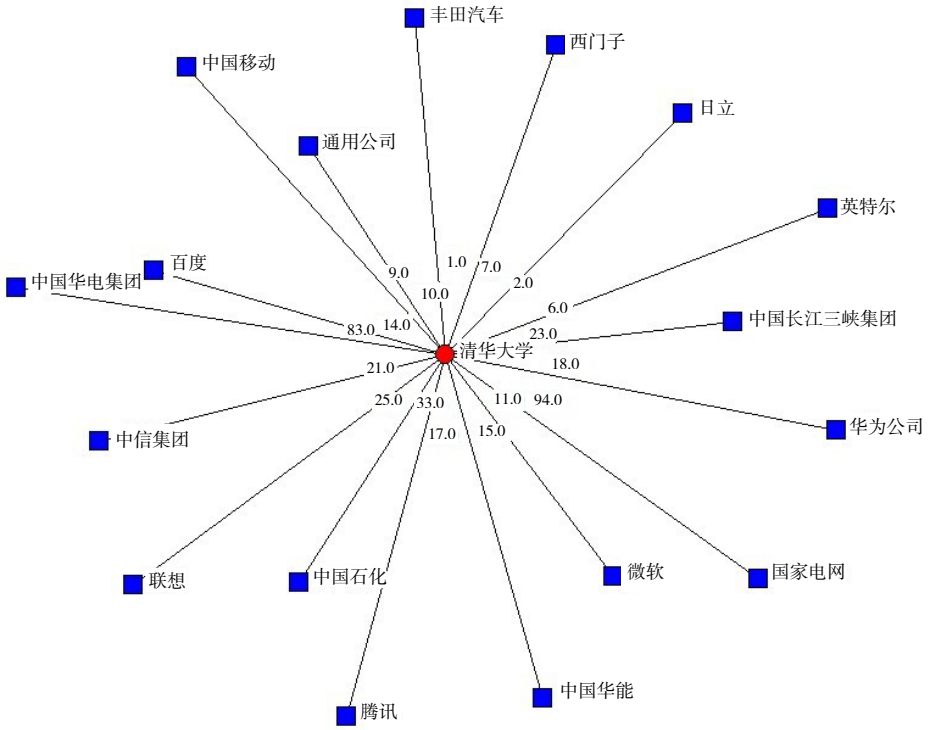


图 2　2021 年清华大学与 17 家科技领军企业的创新合作网络图

网络的拓扑结构特征。本研究主要测算网络密度指标 *W*，以反映清华大学与 17 家科技领军企业的战略科技合作的紧密程度。

创新合作在高校创新产出过程中究竟扮演何种角色，尚需探讨。本研究将采纳变量 *W* 和变量 *Y* 的数据①，应用式（1）和式（2）中的模型形式对此问题进行实证研究，回归结果见表 5。

3.2　回归结果分析

表 5 中，“基准回归”一列为基准模型的回归结果，为式（1）中有调节的中介效应模型的回归结果。本研究主要以表 5 中的基准回归结果为基础进行分析。“稳健性检验”一列为稳健性检验的回归结果，为式（2）中有调节的中介效应模型的回归结果。本研究以表 5 中的稳健性检验结果为参照，通过比较“基准回归”和“稳健性检验”的回归结果，进行稳健性检验分析。

表 5 的基准回归结果中，*W*、*MW* 和 *HW* 的系数估计值十分显著，*t* 值绝对值分别高达 8.32、3.26、8.10。说明校企战略科技合作在清华大学科研创新过程中发挥显著的调节作用。

表 5 中，基准回归和稳健性检验结果均显示：回归结果第二部分中的 *M*、*K*、*X* 和 *C* 均不显著。例如，*X* 的 *t* 值分别为 1.01 和 –0.28，*X* 的系数估计值不显著。可见，政府支持和企事业横向课题投入无论是直接影响，还是通过科技经费路径间接影响，对高校创新产出的影响均不显著。科研经费投入在政府支持和高校创新产出的关系中未能起到显著的中介作用。对清华大学而言，继续投入过多的科研经费并不能显著地提升高校创新产出水平。故拒绝假设 H_{1a} 和 H_2。

表 5 中，基准回归和稳健性检验结果还显示：回归结果第二部分中的 *H* 比 *M* 的系数估计值绝对

① 主成分分析法与社会网络分析法的最终计算结果，即本研究中变量 *Y* 和变量 *W* 的具体数值，限于篇幅，不再罗列。

表 5　有调节的中介效应模型的回归结果

项	基准回归	稳健性检验
因变量	*M*	*K*
X	1.138 000 000*** (13.91)	0.956 000 000** (2.80)
C	0.864 000 000*** (4.46)	0.370 000 000 (0.46)
常数项	42 882.600 000 000 (0.42)	–211 260.100 000 000 (–0.49)
因变量	*Y*	*Y*
M	0.000 000 844 (0.46)	—
K	—	–0.000 001 210 (–0.50)
X	0.000 001 500 (1.01)	–0.000 000 169 (–0.28)
C	0.000 000 989 (0.58)	–0.000 001 010 (–0.80)
H	–0.008 350 000*** (–6.48)	—
L	—	0.000 221 000 (0.04)
W	–5.696 000 000*** (–8.32)	–2.175 000 000 (–1.30)
MW	–0.000 000 270** (–3.26)	—
KW	—	0.000 000 253 (0.60)
HW	0.001 420 000*** (8.10)	—
LW	—	0.000 245 000 (0.31)
常数项	32.510 000 000*** (8.16)	8.852 000 000 (0.82)
样本量	12	12

注：括号中为 *t* 统计量，*p<0.05，**p<0.01，***p<0.001。

值更大，*L* 比 *K* 的系数估计值绝对值更大。基准回归结果显示：回归结果第二部分中 *H* 的系数估计值十分显著。因此，在清华大学科研创新过程中，相比科研经费投入，科研人员投入的影响更大更显著。故接受假设 H_{1b}。

比较表 5 中的基准回归和稳健性检验结果，发现尽管各变量的系数估计值存在显著性和正负性的差异，但系数估计值的绝对值均十分相似。例如，回归结果第二部分中的 *M*、*K*、*X*、*C*、*H*、*L*、*MW*、*KW*、*HW*、*LW* 的系数估计值绝对值均小于 0.01，*W* 的系数估计值绝对值却较大。基准回归和稳健性检验结果的差异性源自“*L* 替换 *H*，*K* 替换 *M*”的替代变量本身的差异性，并不影响结论的稳健。

表 5 中，基准回归和稳健性检验结果中主要结果的相似性，证实了本研究中主要结论的稳健，通过了稳健性检验。故本研究结论稳健。

校企战略科技合作在清华大学科研创新过程中发挥显著的调节作用。多渠道增加科研经费投入的路径对高校创新产出的影响并不显著。在清华大学科研创新过程中，相比科研经费投入，科研人员投入的影响更大更显著。因此，拒绝假设 H_{1a} 和 H_2，接受假设 H_{1b}。

3.3　调节效应分析

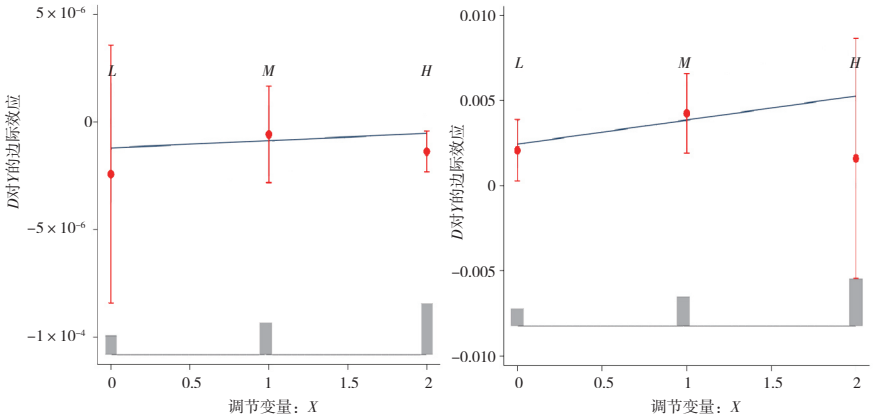
校企战略科技合作 *W* 在清华大学科研创新过程中发挥显著的调节作用，但具体的调节作用方向和作用机理尚需探讨。为了形象地反映调节变量 *W* 的调节作用方向，将变量 *W* 按照高中低进行三等均分，分为 0、1、2 三个组。0 代表低值，1 代表中间值，2 代表高值。最终绘制的调节效应图见图 3。

图 3 中的横轴表示调节变量 *W* 的取值，纵轴表示 *M* 或 *H* 对 *Y* 的条件边际效应。可见，随着调节变量 *W* 增加，*M* 对 *Y* 的条件边际效应只是略微增加，*H* 对 *Y* 的条件边际效应却是大幅增长。因此，*W* 对 *M* 与 *Y* 关系、*H* 与 *Y* 关系均起正向调节作用，均有助于高校创新产出增加。因此，接受假设 H_3。

其中，*W* 对 *H* 与 *Y* 关系的正向调节作用更大。相比科研经费资助，校企战略科技合作对研发人员的助力作用更大。校企战略科技合作能够通过研发人力要素路径对高校创新产出发挥更大和更显著的正向作用。

4　研究结论与政策启示

本研究立足高等教育，提出了 3 项假设，构造了理论概念模型以反映中国高水平研究型大学科技



a. *W* 对 *M* 与 *Y* 关系的调节　　b. *W* 对 *H* 与 *Y* 关系的调节

图 3　调节效应图

注：图 3 中的直线为趋势线，能反映出随着调节变量取值的递增，边际效应的变化趋势。环绕趋势线的阴影，代表边际效应的置信区间。直方图阴影，表示边际效应的大小。

创新过程。在此基础上，以清华大学的产学研合作为例，选取 2006—2017 年清华大学与 17 家科技领军企业的高校科研和创新合作数据，应用有调节的中介效应模型，实证研究校企战略科技合作在中国高水平研究型大学创新过程中所发挥的作用，对研究中提出的 3 个理论假设 H_1、H_2 和 H_3 进行假设检验，获得了新的发现。

最终，研究拒绝了假设 H_{1a} 和 H_2，接受了假设 H_{1b} 和 H_3。研究主要发现：（1）多渠道增加科研经费投入的路径对高校创新产出的影响并不显著。（2）在高水平研究型大学科研创新过程中，相比科研经费投入，科研人员投入的影响更大更显著。（3）校企战略科技合作对高水平研究型大学创新投入产出过程起显著的正向调节作用，有助于增加高校创新产出。其中，校企战略科技合作对高水平研究型大学创新人力投入与创新产出的关系起到的正向调节作用更大。

本研究的结论具有以下政策含义：（1）对于高水平研究型大学而言，加大科研人员投入，高校科研事业会取得更显著的成效。以清华大学为代表的高水平研究型大学提升创新绩效，需要转变继续加大经费投入的思路，将着力点转移到增加有效研发人力投入的路径上来。通过多种方式，切实增加有效研发人力投入：引进更多高水平科研人才，发挥科研骨干作用；做好教育培训工作，培养更多青年科研人员；加大现有科研人员主持或参与科研项目力度，在科研创新实践中着力提升现有研发人员科研素养。

（2）中国高水平研究型大学与科技领军企业之间开展校企战略科技合作，在联合培养研究人员、共同组建联合科研攻关团队、共同开展科学研究等层面，成效明显，是一种切实增加有效研发人力投入的方式。相比单纯增加研发经费投入规模，通过校企战略科技合作方式，能够高质量地联合培养科研人员，促进高校和企业之间科研人员的科学交流。充分利用高校和产业界两种科研人力资源，能够提高科研人员素养，增加有效科研人力投入，更好地提升高水平研究型大学创新绩效。以清华大学为代表的高水平研究型大学，需要加大校企战略科技合作力度，大力推动中国高水平研究型大学与科技领军企业之间开展创新合作，以此方式增加有效科研人力投入。这对提升高校创新绩效具有重要的现实意义。■

参考文献：

[1] IRWIN F, CATHERINE P A, ROESSNER J D. Impacts of research universities on technological innovation in industry: evidence from engineering research centers[J]. Research policy, 2002, 31(3): 457-474.

[2] 樊春良 . 国家战略科技力量的演进 : 世界与中国 [J]. 中

国科学院院刊 , 2021, 36(5): 533-543.

[3] 郭涵宇 , 肖广岭 . 中国研究型大学研发资源及相关制度问题研究 : 以清华大学为例 [J]. 高教探索 , 2021(1): 29-36.

[4] 尹西明 , 陈劲 , 贾宝余 . 高水平科技自立自强视角下国家战略科技力量的突出特征与强化路径 [J]. 中国科技论坛 , 2021(9): 1-9.

[5] CAO Q W, XIE P, M J, et al. The larger scientific and technological human scale, the better innovation effect? Evidence from key universities in China[J]. Scientometrics, 2021,126: 5623-5649.

[6] LEE YOUNG-HWAN. Determinants of research productivity in Korean Universities: the role of research funding[J]. The journal of technology transfer, 2020, 46: 1462-1486.

[7] 郭江江 , 戚巍 , 王子晨 . 中国高校研发投入与创新产出关系的实证研究 [J]. 中国高教研究 , 2014(3): 37-41.

[8] 王鹏 , 陈迅 , 马京伟 . 中国高校经费投入、研发规模与科研产出 : 基于双门限模型的分析 [J]. 研究与发展管理 , 2016, 28(3): 134-142.

[9] 张宝生 , 王天琳 , 王晓红 . 政府科技经费投入、研发规模与高校基础研究科研产出的关系 : 基于省际面板数据的门槛回归分析 [J]. 中国科技论坛 , 2021(4): 55-63, 74.

[10] BAI A, WU C, YANG K J. Evolution and features of china's central government funding system for basic research[J]. Frontiers in research metrics and analytics, 2021, 6: 751497.

[11] FRANK N L. Sticky policies, dysfunctional systems: path dependency and the problems of government funding for science in the United States[J]. Minerva, 2020, 58: 513-533.

[12] 苏荟 , 孙毅 . 中国高校科研经费投入与科研进程关系实证研究 : 以 1997—2015 年自然科学研究为例 [J]. 科技进步与对策 , 2018, 35(4): 126-131.

[13] 谈毅 , 杨晔 , 白伊贝 . 政府科技投入对高校创新产出影响的实证研究 : 基于 2004—2013 年的数据 [J]. 财政研究 , 2014(12): 53-57.

[14] 原长弘 , 王瑞琪 , 李阳 , 等 . 政府支持对高校知识创新影响的实证探析 [J]. 科学学与科学技术管理 , 2014, 35(2): 124-133.

[15] ZHANG B, WANG X H. Empirical study on influence of University-Industry collaboration on research performance and moderating effect of social capital: evidence from engineering academics in China[J]. Scientometrics, 2017, 113(1): 257-277.

[16] CHENG H, ZHANG Z Y, HUANG Q, et al. The effect of University-Industry collaboration policy on universities' knowledge innovation and achievements transformation: based on innovation chain[J]. The Journal of technology transfer, 2020, 45(12): 522-543.

[17] 李秀坤 , 肖广岭 , 刘露露 . 清华大学产学合作专利网络特征及其对应用研究绩效的影响 [J]. 中国科技论坛 , 2018(12): 106-113, 141.

[18] 王晓红 , 张奔 . 校企合作与高校科研绩效 : 高校类型的调节作用 [J]. 科研管理 , 2018, 39(2): 135-142.

[19] 杨小婉 , 朱桂龙 , 吕凤雯 , 等 . 产学研合作如何提升高校科研团队学者的学术绩效? : 基于行为视角的多案例研究 [J]. 管理评论 , 2021, 33(2): 338-352.

[20] 于姝 , 张爽爽 , 张健东 . 产学合作如何提升高校创新绩效 : 基于要素多维的组态分析视角 [J]. 高等工程教育研究 , 2022(4): 135-141.

[21] 贾永堂 , 徐娟 . 19 世纪末 20 世纪初美国高水平研究型大学群体性崛起的机制分析 : 基于社会进化论的视角 [J]. 高等教育研究 , 2012, 33(5): 79-89.

[22] 李伟娟 . 美国研究型大学崛起原因探究 [D]. 郑州 : 河南大学 , 2006.

[23] 李雪飞 . 美国研究型大学竞争力发展策略研究 [D]. 上海 : 华东师范大学 , 2008.

[24] 马源 . 府学关系视域下美国研究型大学知识创新研究 [D]. 长春 : 东北师范大学 , 2021.

[25] 毛建青 , 陈文博 , 宣勇 . 重新识读研究型大学 : 美国研究型大学的发展特征及其对中国的启示 [J]. 湖南师范大学教育科学学报 , 2023, 22(2): 103-114.

[26] 张安富 , 刘兴凤 . 斯坦福大学创建高水平研究型大学的经验与启示 [J]. 高教发展与评估 , 2008 ,98(4): 75-80, 122.

[27] 苏竣 . 公共科技政策导论 [M]. 2 版 . 北京 : 科学出版社 , 2021: 80.

[28] 陈强 . 高级计量经济学及 STATA 应用 [M]. 2 版 . 北京 : 高等教育出版社 , 2014: 30.

Research of the Impact of University-Enterprise Strategic Scientific and Technological Cooperation on Innovation of China's High-level Research Universities

ZHANG Yu[1, 2, 3], SHI Dongmei[1], FENG Can[1]

(1. High Technology Research and Development Center, Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing　100044;

2. School of Public Policy & Management, Tsinghua University, Beijing　100084;

3. Center for Strategic Studies Science and Technology Committee of Ministry of Education: Center of Science, Technology & Education Policy, Tsinghua University, Beijing　100084)

Abstract: The innovation cooperation between China's high-level research universities and science and technology leading enterprises belongs to strategic science and technology cooperation, which is of strategic significance. Taking the industry-university-research cooperation of Tsinghua University as an example, this paper selects the scientific research and innovation cooperation data of Tsinghua University and 17 leading science and technology enterprises, and applies the moderated mediating effect model to empirically study the role of university-enterprise strategic scientific and technological cooperation in the innovation process of China's high-level research universities. The main findings of the study are as follows: in the process of scientific and technological innovation of high-level research universities, compared with the investment of scientific research funds, the investment of scientific researchers has a greater and more significant impact; university-enterprise strategic scientific and technological cooperation plays a positive moderating role in the relationship between innovation input and output of the institutions of higher learning, and plays a greater positive moderating role in the relationship between R&D manpower input and innovation output. Suggestions are put forward as follows: high-level research universities should strengthen the strategic scientific and technological cooperation between universities and enterprises; Change the idea of continuing to increase funding input should be abandoned; and the focus should be shifted to increasing effective R&D manpower input.

Keywords: high-level research university; Tsinghua University; scientific and technological innovation; industry-university-research cooperation