

基于计算实验的科技资源配置结构优化研究

刘凤朝 徐 茜

(大连理工大学管理与经济学部)

摘要:从系统整体的角度构建了基于科技资源流动的国家创新体系运行概念模型,通过系统模拟与计算实验探讨了科技人力资源、科技财力资源和科技信息资源在高校、科研机构与企业之间不同分配方案下,我国论文与专利产出的可能变动情况,以期为政府相关部门制定科技资源优化配置政策提供参考。

关键词:科技资源;国家创新体系;计算实验;系统动力学

中图分类号: C93; F062.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-884X(2011)12-1851-08

Optimization of S&T Resources Allocation Based on Computational Experiment

LIU Fengchao XU Qian

(Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning, China)

Abstract: The article constructs the conceptual model for national innovation system based on science and Technology resource flows from the whole and system perspective. Through the system simulation and computational experiment, it discusses the fluctuant trend of Chinese science and technology papers and patents with different methods adopted to allocate resources of financial capacity, manpower and information in science and technology between university, scientific research institution and enterprise. The paper aims at providing reference for government departments for making policy about the optimal allocation of science and technology resources.

Key words: science and technology resources; national innovation system; computational experiment; system dynamics

随着科学技术的深入发展,国家创新体系内部各要素之间的作用关系日趋复杂,科学技术与社会的互动增强,这就需要从系统整体的角度把握科技资源流动对科学技术及经济发展各部门各要素的综合作用关系,以便统筹协调,在有限的资源条件下,选择能够促进创新系统与经济系统协调发展的科技资源配置优化方案。要满足上述发展需求,必须开发一种能对各种科技资源配置方案的可能后果进行综合预测的技术工具,通过组合实验,探讨科技资源配置的优化方案,以便为决策者提供科学依据。

1 相关文献综述

国外关于科技资源配置的研究主要从2个层面展开:①宏观层面的研究,主要强调国家科技政策对科技资源配置的指导作用,一般采用定性研究^[1]与定量评价^[2]相结合的分析方法,对国家的科技资源配置现状^[3]、配置效率^[4]等问

题进行深入分析,并提出相关建议;②微观层面的研究,主要强调企业的研发资源优化配置,包括影响企业研发资源配置行为的因素分析(如政府补贴^[5]、企业规模^[6]、创新回报率^[7]等)和企业内部研发资源的配置效率研究^[8]等。

我国关于科技资源及其配置的相关研究主要有4个方向:①提出科技资源配置内容框架并以此为基础展开的理论研究^[9];②科技资源配置模式研究^[10];③科技资源配置过程中存在的问题及对策研究^[11];④科技资源配置效率研究,包括定性分析^[12]和以投入产出分析^[13]、优化模型^[14]、回归分析、数据包络分析^[15]等方法为主的定量分析,以及通过指标体系构建评价科技资源配置能力^[16]的研究。其中,有学者对科技资源在创新主体间的配置结构进行了分析;马宁^[17]提出了区域科技条件平台向企业倾斜,政府委托的科研项目围绕企业进行,大学科技创新资源向企业开放等以产学研合作中企业

收稿日期:2010-12-13

基金项目:国家自然科学基金资助重点项目(71033002);国家自然科学基金资助项目(70973012)

为主体进行资源配置的模式;王雪原等^[14]认为,当前我国各级政府应充分利用科技计划,加强对科技创新资源的引导与优化配置,有效发挥企业配置主体的作用,通过产学研合作,整合高校和科研院所的优势科技创新资源,最终提高区域科技创新资源的利用效率。

现有研究从科技资源投入规模或配置结构变化促进创新产出的角度出发,分析创新资源投入对创新产出的决定作用,没有考虑在有限资源约束条件下,科技资源流动对整个经济社会系统各环节的影响;其研究对象仅限于创新主体的资源投入规模,未能具体探讨不同科技资源配置方案的作用效果,因而无法有针对性地为决策者提供不同配置方案的可能产出结果,导致理论研究对政府决策的支撑力度不够。由此可见,如果能从系统的角度,应用现代计算方法和计算机仿真技术对科技资源不同配置结构的可能后果进行“实验”,进而提出科技资源优化配置的可行方案,将为科技资源配置结构调整的政策设计提供支持。

2 实验设计与模型构建

2.1 计算实验方法

计算实验是在计算技术和分析方法的基础上发展起来的动态模拟预测方法,它将计算机作为“生长培育”自然实际系统替代版本的“实验室”,并进行各类有关系统行为和决策分析的“实验”^[18]。利用计算实验方法,可以对许多复杂系统进行各种各样的“加速”实验、“压力”实验、“极限”实验以及“失效”或“突变”实验等,以便对复杂系统的功能作用、服务水平、应变能力和可靠性等进行预测和评估。将人工社会模拟和计算实验方法引入科学技术政策研究领域,可以系统地刻画科技资源配置结构及功能实现路径,探讨科技资源配置方案变化对系统演化的影响,从而提炼科技资源配置的最优方案,为决策提供科学依据。

系统动力学以系统论为基础,吸取了控制论、信息论、计算机模拟技术、管理科学及决策论等学科的知识,是认识和解决系统问题的交叉综合性新学科^[19]。它利用系统思考的观点界定系统的组织边界、运作及信息传递流程,以因果反馈关系描述系统的动态复杂性并建立量化模型^[20]。系统动力学的模型模拟是一种结构-功能模拟,它的主要功用在于提供一种政策分析的工具。国家创新体系是由多要素通过多重因果反馈构成的复杂网络,各种因果关系相互

交织,形成一个有机整体。系统动力学方法不仅可以厘清创新体系中各要素之间的传递效应,解决已有研究缺乏整体性、动态性的问题,还可以在此基础上通过对关键变量的控制,利用计算机模拟实现计算实验的功能。

2.2 实验方案设计

本文所称谓的科技资源主要包括科技人力资源、财力资源、物力资源和信息资源^[21]。这里以国家创新体系运行作为实践本体,通过对典型国家创新体系运行的案例研究,提炼出国家创新体系运行的驱动(输入)变量和产出(输出)变量。笔者将科技资源投入作为国家创新体系运行的驱动变量,考虑到科技物力资源所包含的研发设备、研发中心等基础设施是通过资金购买方式获得的,因此将其归入科技财力资源;将企业、大学、科研机构作为科技资源的配置主体;将创新产出(论文、专利)作为国家创新体系的输出(能力表征)变量,为了区分科技资源的不同影响效应,将论文作为科学创新产出的表征变量,专利作为技术创新产出的表征变量。其中,专利数据分为 2 类,即专利申请量和专利授权量,专利授权量因受到专利审批政策和效率的影响,缺乏时效性。在专利的 3 种形式(发明、实用新型和外观设计)中,发明专利作为衡量创新能力指标的优势更加明显^[22],也较为普遍,但是中国在国内申请的发明专利数量比重较小,且趋势不平稳,不适用于本研究,因此采用专利申请总量作为表征技术创新产出的主要指标。在此基础上,建立国家创新体系运行的政策导向—资源投入—主体行为—科技产出的概念模型(见图 1),依据该概念模型,构建国家创新体系运行的系统动力学模型并进行检验,运用通过检验的模型对科技资源不同配置方案可能引起的创新产出效应进行仿真实验。

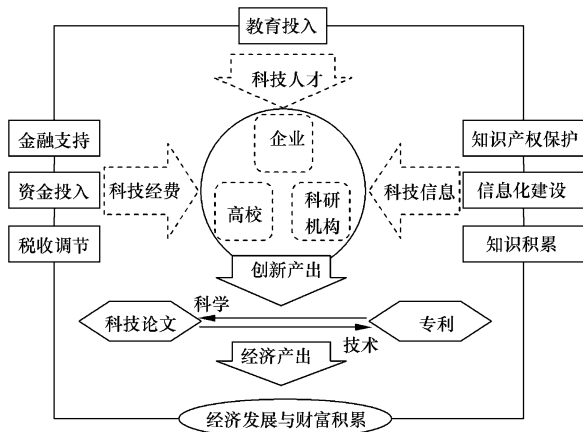


图 1 基于科技资源流动的国家创新能力形成概念框架

2.3 国家创新体系运行的系统动力学模型

2.3.1 边界条件与基本假设

(1) **边界条件** 在系统中不考虑自然灾害、战争等不可抗力对国家创新体系运行产生的影响；国家创新体系运行是一个连续的过程，且仅限于特定国家内部；仅考虑高校、科研机构和企业3种创新主体的创新投入与创新产出。

(2) **基本假设** 假设论文发表量是科学创新产出的表征要素，专利申请量是技术创新产出的表征要素；科学产出对技术产出的影响通过知识积累实现；科技人才、科技经费和科技信息资源投入是科学创新与技术创新产出的直接

驱动因素；政府科技政策是影响科技资源规模与分布的关键要素；经济增长是政府科技政策制定的主要约束条件。

2.3.2 模型构建

根据上述基本假设，绘制国家创新体系运行的因果关系图(见图 2)。由于本文以科技资源投入为主要驱动变量，在因果关系图中，为突出不同科技资源的实现路径，将关键变量以加框的形式表示。

根据因果关系图，考虑数据的可得性，选取适当的指标，进行相关测度及检验后，绘制中国国家创新体系运行的系统动力学流图(见图 3)。

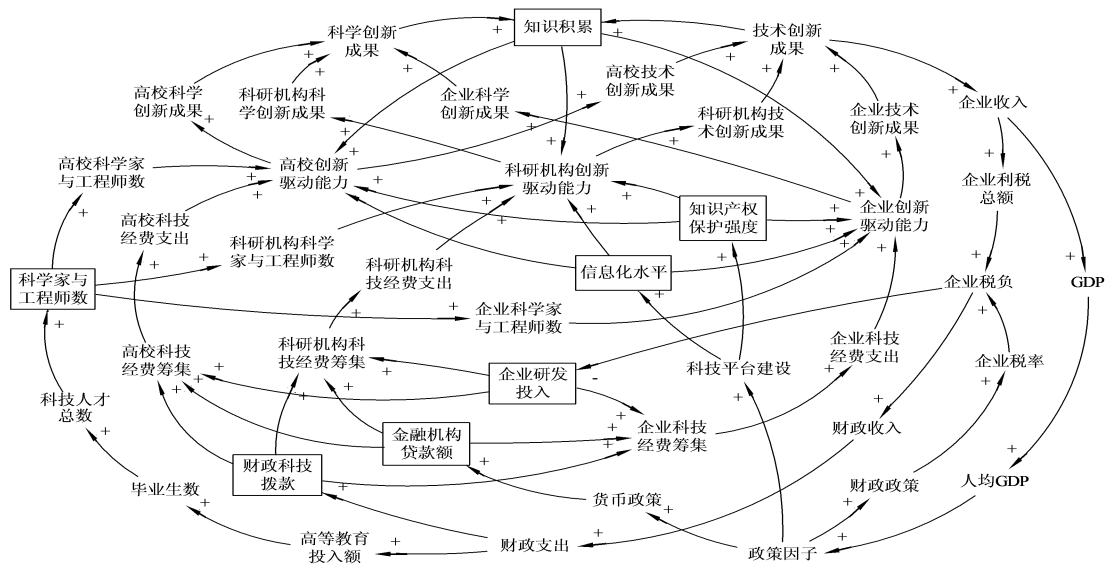


图 2 国家创新体系运行的因果关系图

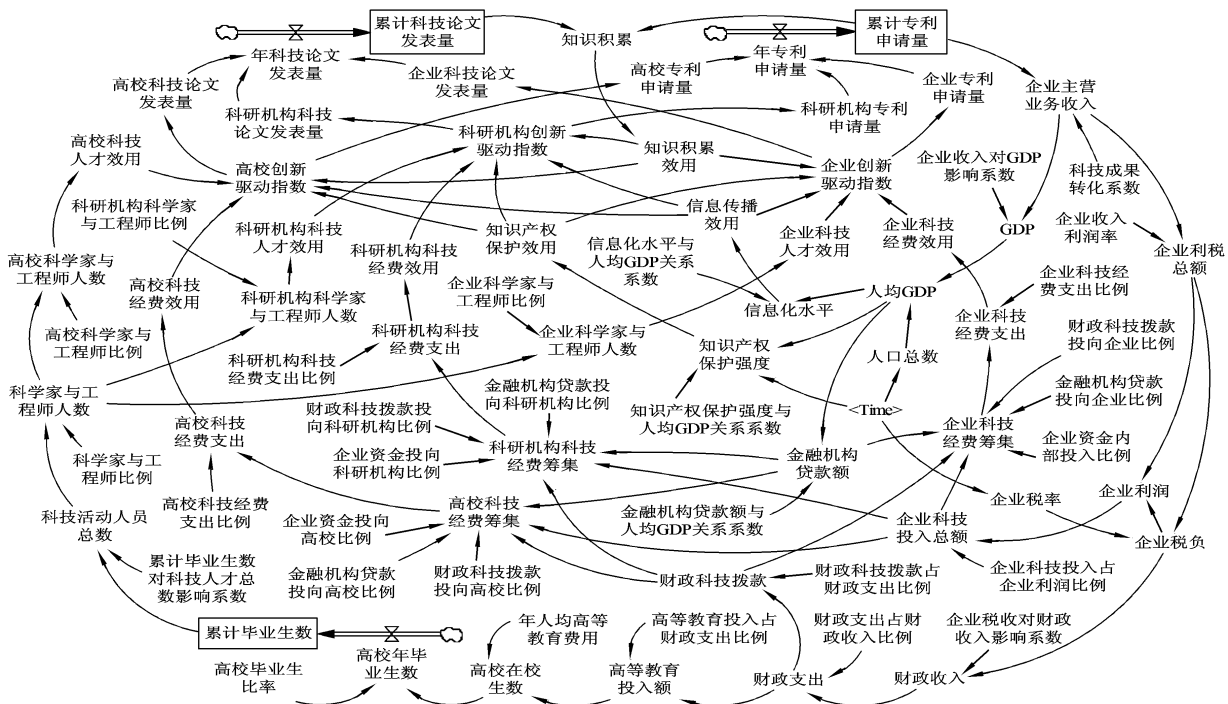


图 3 国家创新体系运行的系统动力学流图

2.3.3 系统仿真及模型校正

本研究采用 Vensim Professional 软件进行系统动力学模拟,模拟的时间是 1995~2008 年,共计 14 年,DT=1 年。文中涉及的科技数据均来自于《中国科技统计年鉴 1995~2009》,其他数据来源于《中国统计年鉴 1995~2009》,其中企业数据仅包含大中型工业企业的统计数据;信息化指数是由公共图书馆数、互联网用户数、电话普及率、旅客周转量、图书种类和期刊种类 6 个指标综合测度;知识产权保护强度采用修正的 Ginarte&Parkde 方法^[23]进行测算。

由于系统动力学是一种定量分析的方法,在模拟过程中,部分常数变量无法精确地表示为各年实际值,只能用考察期内的平均值或拟合值代替,这样必然会产生一定的误差。为缩小模拟结果与现实的差距,可以采用软件中的“optimization”功能对模型中的参数进行调整,该功能可以在预先给定某一个或几个系统关键变量的真实值及对其产生重要影响的常数变量可能的变化范围的情况下,模拟出可以使关键变量最接近真实值的常数变量取值,进而对整个模型进行校正。

2.3.4 模型检验

模型中涉及资金的变量均为以 1995 年为基年剔除价格因素后的值,单位为亿元;涉及人员的变量单位为万人。

构建系统动力学模型的目的是为进行系统仿真及计算实验,因此模型是否与现实相符是进行下一步研究的基础。通过对校正后的模型进行模拟,科学与技术创新能力的表征变量论文和专利的真实值与模拟值对比(见图 4),可以看出,年科技论文发表量与年专利申请量的模拟值与真实值变化趋势较为一致。为得到科学的结论,通过计算主要变量相关系数的方法来检验模型模拟值与真实值之间的拟合程度(见表 1),年论文发表量、年专利申请量、科技活动人员总数、人均 GDP、高等教育投入额、财政科技拨款等变量的真实值与模拟值的拟合度均在 0.9 以上,拟合度很高,只有科研机构科技经费筹集的拟合度为 0.86,拟合度显著。这说明,该模型能够在较大程度上反映中国创新体系运行的真实情况,利用本模型进一步分析科学与技术创新能力对不同科技资源配置方案的敏感程度,是合理可信的。

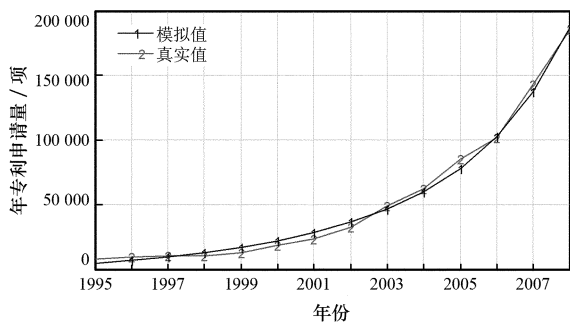
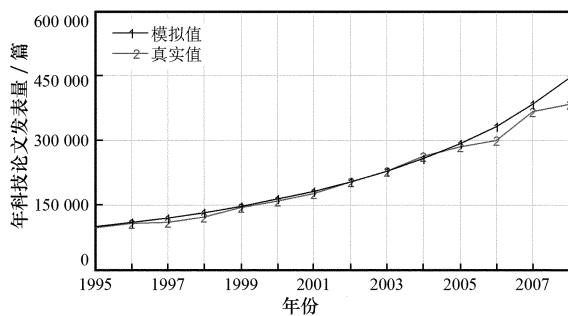


图 4 模拟值与真实值对比

表 1 主要变量模拟值与实际值的拟合度

变量	R	变量	R
年科技论文发表量	0.978 972	年专利申请量	0.995 838
企业主营业务收入	0.974 913	人均 GDP	0.951 656
信息化水平	0.956 035	知识产权保护强度	0.905 425
财政科技拨款	0.945 021	高等教育投入额	0.945 911
科技活动人员总数	0.936 942	高校科技经费筹集	0.904 791
科研机构科技经费筹集	0.856 566	企业科技经费筹集	0.979 907

3 科技资源配置方案组合实验

探讨科技资源的合理配置方案,首先必须确定能够代表不同科技资源的量化指标。根据国家创新体系运行的理论模型,本文将“科学家与工程师数”作为科技人力资源的表征变量;将“科技经费筹集”作为科技财力资源的表征变

量;科技信息资源则用“知识产权保护强度”、“信息化水平”和“知识累积”3 个指标表示。

3.1 科技人力资源配置方案实验

系统动力学模型最主要的功能就是用于敏感性分析,通过对考察期内不同政策参数的调整及交叉变换,观察科学创新能力与技术创新能力表征变量的变动幅度,从而分析科学和技术创新能力对不同方案参数变化的敏感程度,为决策部门的政策选择提供依据。

为减少实验次数,使实验结果更具代表性,假设在考察期内科技人力资源投入总量固定,其分配在高校、科研机构和企业 3 个组织机构间的比例可能变动情况分别为增加、减少或不变。笔者根据科学家与工程师数以往的波动特征,分别设置高校科学家与工程师比例增加

1%、减少 1% 或不变;科研机构科学家与工程师比例减少 1%、不变或增加 1%;企业科学家与工程师比例不变、增加 1% 或减少 1%, 共有 6

种组合方案。采用 Vensim Professional 软件进行敏感性分析, 得出不同方案下年论文与专利产出的变动趋势(见图 5)。

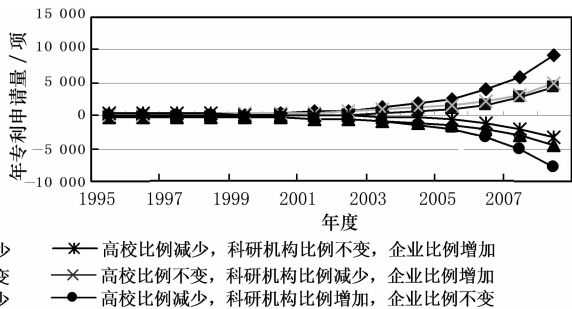
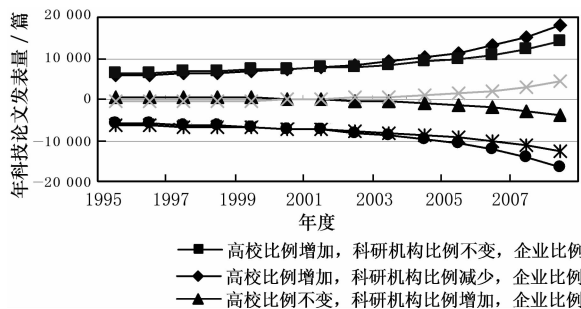


图 5 科技人力资源配置方案实验结果

从图 5 可知, 当高校科学家与工程师比例减少时, 无论增加科研机构的比例还是增加企业的比例, 论文产出都是负向变动的; 科研机构比例增加, 企业比例不变时与现有水平的差距更大。

高校比例增长的 2 种方案推动专利产出提升的幅度越来越大, 尤其是科研机构比例减少、企业比例不变方案的作用效果远超过了高校比例减少、科研机构比例不变、企业比例增加的组合。

当高校科学家与工程师比例不变时, 论文产出的变动幅度较小, 其中, 科研机构比例减少, 企业比例增加的方案对论文产出是正向促进的; 而科研机构比例上升, 企业比例下降的方案则会对论文产出产生负向作用。

3.2 科技财力资源配置方案实验

本部分实验仍然采用系统动力学的敏感性分析, 通过组合参数调整考察不同组合方案对表征变量的作用效果。假设在考察期内, 科技财力资源投入总量固定, 其分配在高校、科研机构和企业 3 个组织机构间的比例可能变动情况分别为增加、减少或不变。

当高校科学家与工程师比例增加时, 论文产出出现大幅度上升, 科研机构比例不变, 企业比例减少的方案在短期内作用较明显, 但长期动力不足; 科研机构比例减少, 企业比例不变的优势逐渐显现出来, 长期来看, 论文产出将大幅度提升。

我国科技经费筹集主要来源于政府资金、企业资金和金融机构贷款, 这 3 种类型的资金分配到高校、科研机构及企业的比例有很大差异, 其作用形式与效果也各有不同, 因此应将其分开考虑。笔者根据财政科技拨款、金融机构贷款及企业科技投入 3 个指标以往的波动特征, 分别将各种资金投向高校、科研机构、企业的比例增加 1%、减少 1% 或不变, 由此形成 6 种组合方案输入系统, 论文与专利产出的变动趋势, 见图 6~图 8。

在短期内, 专利产出对科学家与工程师分配比例变动的敏感性较小, 有 3 种方案引起年专利产出的小幅提升, 按增长幅度依次为高校比例减少、科研机构比例不变、企业比例增加; 高校比例不变、科研机构比例减少、企业比例增加; 高校比例减少、科研机构比例增加、企业比例不变。其中高校比例减少的 2 种方案导致专利产出增长幅度逐年减小。随着时间的推移,

从图 6 可知, 论文产出对财政科技拨款投向高校比例变动的敏感性较大, 在短期投向科研机构和企业比例变动对论文产出几乎没有影

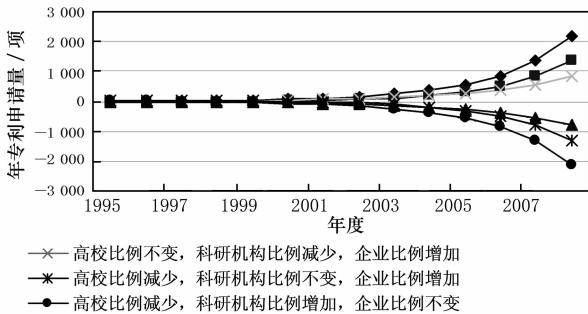
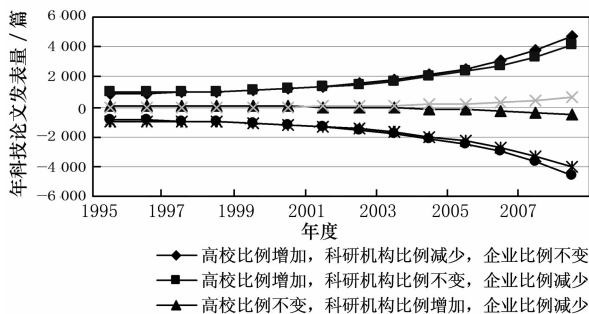


图 6 科技财力资源(财政科技拨款)配置方案实验结果

响。当高校比例减少时,论文产出呈负向变动,科研机构比例增加、企业比例不变的方案在长期使得论文产出大幅低于现实水平;当高校比例不变时,论文产出的变动较小,科研机构比例减少、企业比例增加的方案在长期对论文产出的影响是正向的,反之则是负向的;当高校比例增加时,论文产出大幅度增加,尤其是科研机构比例减少,企业比例不变的方案在长期优势更为明显。

从专利产出的角度看,短期内财政科技拨款分配比例的变动对专利产出的影响较小,随着时间的推移,高校比例增加的方案推动专利产出大幅度增加,尤其是科研机构比例减少、企

业比例不变的方案作用最明显。短期内,高校比例不变、科研机构比例减少,企业比例增加的方案与高校比例增加的 2 种方案的促进作用基本相同。

从图 7 可以看出,与财政科技拨款相比,金融机构贷款分配比例变化对论文与专利产出的影响较小。论文产出仅对金融机构贷款投向高校比例增加的方案比较敏感。在短期,科研机构比例不变、企业比例增加的方案的影响程度略高,但是科研机构比例减少、企业比例不变的方案在长期能够推动论文产出实现较大幅度提升。其他 4 种方案对论文产出的影响很小且不稳定。

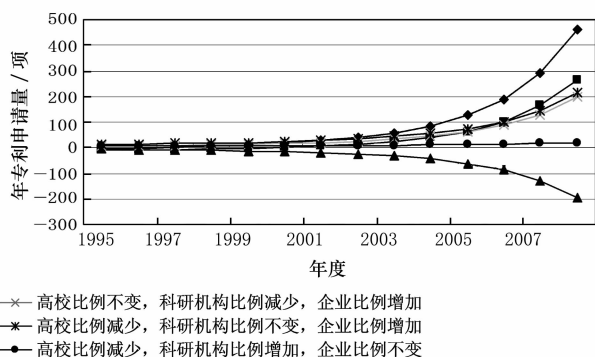
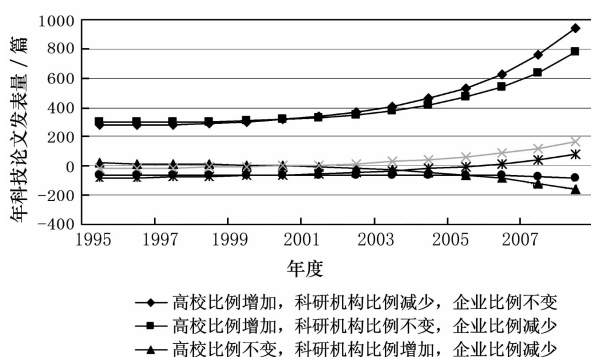


图 7 科技财力资源(金融机构贷款)配置方案实验结果

专利产出对金融机构贷款分配比例变动在短期内也不大敏感,企业比例增加的 2 种方案及高校比例减少、科研机构比例增加、企业比例不变时,专利产出呈正向变动,且增长幅度是逐渐扩大的。在长期,高校比例增加的 2 种方案的优势逐渐超过了前 3 种方案,尤其是科研机构比例减少、企业比例不变的方案使得技术产出实现跨越式发展。6 种方案中,仅有高校比例不变、科研机构比例增加、企业比例减少的方案使得专利产出大幅度下降,且差距逐年拉大。

从图 8 可知,与前 2 种融资方式相比,企业科技投入分配比例变化对论文与专利产出产生

的影响最大。在考察期内,论文产出对企业资金投入高校比例变动的敏感性较大,其中,高校比例增加的方案使其大幅度提升。企业资金投入向科研机构和企业自身的比例变动对论文产出基本无影响,只在相当长的时间以后,科研机构比例减少,企业比例不变的方案逐渐显露其微小优势。

企业科技投入分配比例变动对年专利产出的影响存在一定时滞。一段时间以后,高校比例增加的 2 种方案及高校比例不变、科研机构比例减少、企业比例增加的方案推动专利产出大幅度增长,其中高校比例增加、科研机构比例

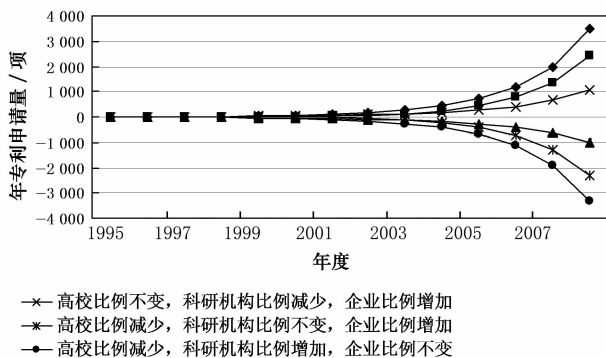
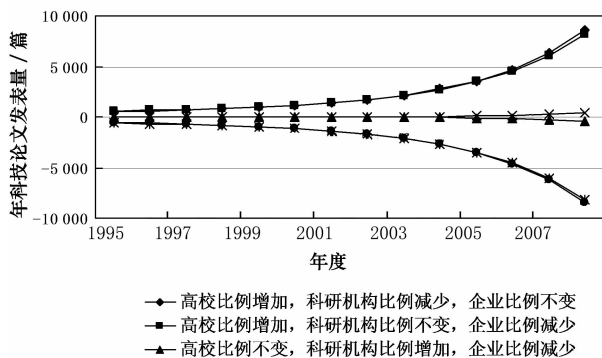


图 8 科技财力资源(企业科技投入)配置方案实验结果

减少、企业比例不变的方案促进作用最明显。

3.3 科技信息资源配置方案实验

在系统动力学中,一般的敏感性分析是通过随机调整某些参数及其组合,寻找在某一特定历史时期对表征变量作用最明显的控制参数或组合。这种调整的假设条件是某一变量在整个模拟期间内每一年的数据都发生变化;然而,在现实中,国家不可能每年都颁布新法律新政策,因此,这种敏感性分析用于对政策变动效应的实验并不适用。各种法律和政策的出台,如知识产权法的颁布或基础设施的新建,在一段时间内对创新体系的作用是持久的,类似于

向系统添加一个阶跃函数,因此,本文采用测试函数来进行信息资源配置方案实验,考察某一信息变量突变时论文与专利产出的变动情况。

笔者根据知识产权保护强度、信息化水平和知识积累 3 个指标以往的波动特征,以 2001 年为作用时间点,分别向系统输入知识积累增加 2001 年模拟值 5% 的阶跃函数、信息化水平增加 2001 年模拟值 5% 的阶跃函数、知识产权保护强度增加 2001 年模拟值 5% 的阶跃函数,考察在 3 种不同方案下高校、科研机构及企业论文与专利产出的变动趋势(见图 9)。

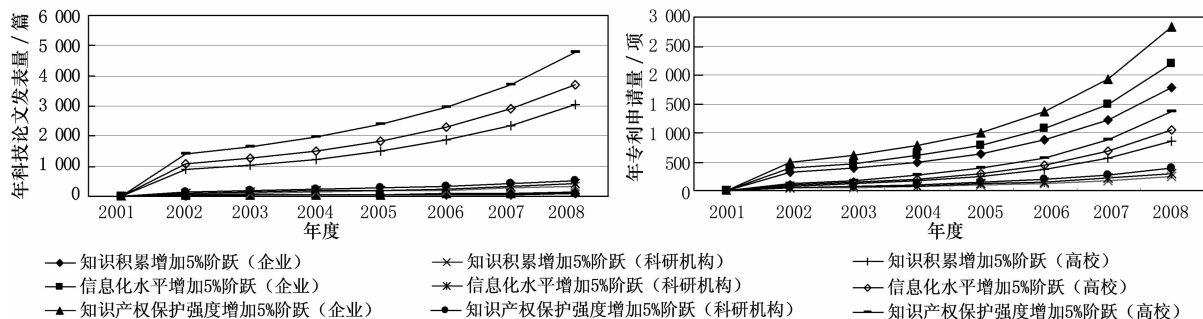


图 9 科技信息资源配置方案实验结果

从图 9 可知,高校论文产出对科技信息资源变动特别敏感,在作用时间点后的第 1 年呈现大幅度提升,之后其增长幅度匀速扩大。其中,知识产权保护强度的促进作用最为显著,其次是信息化水平和知识积累。与高校相比,科研机构论文产出的增长幅度十分微小,同样是知识产权保护强度的影响最大,其次是信息化水平和知识积累。企业论文产出对科技信息资源的变动基本不敏感。

与论文产出不同,企业专利产出对科技信息资源变动更为敏感,在作用时间点后的第 1 年迅速增长,之后增长速度有所下降,但随着时间推移,其优势越来越明显。当信息资源发生突变时,高校专利产出并未迅速提升,但其增长幅度逐年增大,与企业之间的差距逐渐缩小。与企业 and 高校相比,科研机构专利产出对科技信息资源变动的敏感程度较低,只出现小幅提升。无论是企业、高校还是科研机构,都是对知识产权保护强度变动最敏感,其次是信息化水平和知识积累。

4 讨论

本文在建立国家创新体系运行概念模型的基础上,以科技论文作为科学创新产出的表征

要素,以专利作为技术创新产出的表征要素,采用系统动力学方法,绘制国家创新体系运行的因果关系图及系统动力学流程图,通过计算实验,探讨科技人力、财力和信息资源不同分配方案下,中国科学与技术产出的可能变动情况,得出以下结论:

(1) 高等院校创新产出对科技资源投入变化敏感 高素质人才与财政科技拨款投入增加能够明显促进高校论文产出增长,而分配到科研机构和企业的科学家与工程师及财政科技拨款变动时,论文产出并未显示出明显的同向变动。这种关联效应与我国科研机构和企业的创新功能定位有关,科研机构主要从事基础研究和战略性前沿技术研究,创新活动的周期长,对短期内的资源投入变动反应滞后。企业主要承担技术创新的功能,企业科技资源投入变动显然不会对其论文产出产生影响。

(2) 企业经费资源增加可直接促进专利产出增长 与另 2 种经费筹集方式相比,专利产出对企业科技投入变动的反应较为敏感:一方面说明我国企业已成为技术创新的投入主体;另一方面说明企业逐渐成为技术创新的组织实施主体。同时也应该看到,加强企业与高校以及科研机构的合作能明显提升经费的使用效

率,因此,从政策设计的角度看,应在加大企业科技投入的同时,进一步深化产学研合作。

(3) 金融机构贷款的主要流向是企业 投向高校的金融机构贷款比例还不到 1%, 投向科研机构的比例在 10% 到 20%, 近年来逐渐减少。从实验结果可知,金融机构贷款对企业技术创新的促进作用在短期内比较明显,但缺乏持久效应;虽然投入高校的金融资金较少,但利用效率较高;科研机构不仅融资能力越来越差,且利用效率偏低。

(4) 知识产权保护对创新产出有促进作用 在 3 种组织机构中,均存在这种促进作用,且随着时间的推移,效果越来越显著。可见,知识产权保护是提升科学与技术创新能力的重要保障;同时需要加强信息基础设施建设,促进高校、科研机构与企业之间的信息传递。知识积累对科学与技术产出的影响较小,虽然我国专利和论文产出规模较大,但质量并不高,制约了科学与技术创新能力的提升。

参 考 文 献

[1] EKBOIR J M. Research and Technology Policies in Innovation Systems: Zero Tillage in Brazil[J]. Research Policy, 2003, 32(4): 573~586.

[2] THOMAS L. Knowledge and Innovation for New Zealand[J]. Policy Studies, 2006, 27(1): 71~85.

[3] OGLOBALINA S Y, FARIA A P, CABRAL-CARDOSO C. Research and Development in Russia and Its Role in National Competitiveness[J]. International Journal of Innovation Management, 2002, 6 (2): 131~161.

[4] LEON C, JOHN W, ALICIA B. On the Sources of Technological Change: Assessing the Evidence[J]. Energy Economics, 2006, 28(5): 579~595.

[5] MARANN F, MARYELLEN K. The Exante Assessment of Knowledge Spillovers: Government R&D Policy, Economic Incentives and Private Firm Behavior[J]. Research Policy, 2006, 35(10): 1 509~1 521.

[6] YASUDA T. Firm Growth, Size, Age and Behavior in Japanese Manufacturing[J]. Small Business Economics, 2005, 25(1): 1~15.

[7] MAHLICH J C, ROEDIGER-SCHLUGA T. The Determinants of Pharmaceutical R&D Expenditures: Evidence from Japan[J]. Review of Industrial Organization, 2006, 28(2): 145~164.

[8] ROBERTO F, ALDO G, MIREILLE M. Factors Af-

fecting University-Industry R&D Projects: The Importance of Searching, Screening and Signaling[J]. Research Policy, 2006, 35(2): 309~323.

[9] 师萍,李垣. 科技资源体系内涵与制度因素[J]. 中国软科学, 2000(11): 55~56, 120.

[10] 李应博. 有效制度安排下的科技创新资源配置研究[J]. 科学学研究, 2008, 26(3): 645~651.

[11] 丁厚德. 科技资源配置的新问题和对策分析[J]. 科学学研究, 2005, 23(4): 474~480.

[12] 彭华涛. 区域科技资源配置的新制度经济学分析[J]. 科学学与科学技术管理, 2006, 27(1): 141~144.

[13] 杨文明,高文,唐洁,等. 区域科技视角下的滨海新区 R&D 资源投入优化研究[J]. 科学学研究, 2009, 27(6): 876~880.

[14] 王雪原,王宏起. 区域科技创新资源配置系统结构方程模型及模式选择[J]. 技术经济, 2008, 27(12): 36~42.

[15] 赵玉林,贺丹. 智力密集型城市科技创新资源利用效率实证分析[J]. 中国软科学, 2009(10): 109~116.

[16] 徐建国. 我国区域科技资源配置能力分析[J]. 中国软科学, 2002(9): 98~100.

[17] 马宁. 企业主导型产学研合作中科技资源配置模式研究[J]. 研究与发展管理, 2006, 18(5): 89~93.

[18] 王飞跃. 计算实验方法与复杂系统行为分析和决策评估[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(5): 893~897.

[19] 王其藩. 系统动力学[M]. 上海: 上海财经大学出版社, 2009.

[20] 齐丽云,汪克夷,张芳芳,等. 企业内部知识传播的系统动力学模型研究[J]. 管理科学, 2008, 21(6): 9~20.

[21] 刘凤朝. 中国科技力量布局分析与优化[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

[22] 孙玉涛,刘凤朝,李滨. 基于专利的中欧国家创新能力与发展模式比较[J]. 科学学研究, 2009, 27(3): 439~444.

[23] 韩玉雄,李怀祖. 关于中国知识产权保护水平的定量分析[J]. 科学学研究, 2005, 23(6): 377~382.

(编辑 张光辉)

通讯作者: 刘凤朝(1954~),男,吉林通化人。大连理工大学(辽宁省大连市 116024)管理与经济学部教授、博士研究生导师。研究方向为科技评价与科技政策。E-mail: LiuGroup2000@gmail.com