



3D打印全球创新网络影响因素研究

刘云^{1,2} 王小黎^{2,3} 白旭²

(1. 中国科学院大学 公共政策与管理学院, 北京 100049;
2. 北京理工大学 管理与经济学院, 北京 100081; 3. 中原工学院 经济管理学院, 郑州 450007)

摘要:基于复杂系统和社会网络等多个理论视角,对3D打印全球创新网络的影响因素进行分析和识别;借鉴相关模型,构建了3D打印全球创新网络影响因素理论分析模型;基于271份有效调查问卷数据,采用结构方程建模方法对研究假设进行验证;最后,根据研究结果分析了3D打印全球创新网络形成和演化的影响机制。结果表明,外部环境因素是全球创新网络形成和演进的前提条件,通过影响网络主体需求和创新资源流动来影响3D打印企业的创新合作,进而影响了3D打印全球创新网络形成和演进。

关键词:全球创新网络;影响因素;3D打印产业

中图分类号:F273.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-0241(2019)01-0065-24

0 引言

随着创新全球化不断深入,各国创新体系之间的相互联系不断加强,从而推动了全球创新网络快速发展。企业通过融入全球创新网络可获取最新知识资源、提升创新能力。增材制造(3D打印)技术以其与传统的去除成形和受迫成形完全不同的制造理念和技术优势迅速发展成为制造技术领域新的战略方向。我国高度重视3D打印产业,但尚未实现重大突破。而对3D打印全球创新网络形成和演化的影响因素的研究还较少。因此,本文基于以上背景,对3D打印全球创新网络的影响因素进行研究。首先对3D打印全球创新网络进行界定,基于相关学者的研究(Ernst, 2016; Bai et al, 2016),本文对全球创新网络的定义如下:全球创新网络是在科技创新全球化过程中围绕产业创新发展形成的全球范围的创新主体、创新要素、创新

制度之间建立的各类正式和非正式的跨国关联关系的总体结构。具体到3D打印产业,3D打印全球创新网络是围绕3D打印产业创新发展形成的全球范围的3D打印创新主体、3D打印创新要素、3D打印创新制度之间建立的各类正式和非正式的跨国关联关系的总体结构。

1 影响因素识别和理论模型构建

1.1 影响因素识别

对3D打印全球创新网络影响因素的理论分析表明,基于复杂系统、资源观和自组织理论,研究全球创新网络的影响因素,主体需求、资源流动和外部环境3个方面是必须要考虑的(Cooke, 2017; Zedtwitz et al, 2002; Kwon, 2012)。由于3D打印全球创新网络形成与演进并非是单一影响因素、单独地在某一阶段发挥作用,而是由不同因素,共同发挥作用推动的结果。因此,3D打印全球创新

收稿日期:2018-11-23

基金项目:国家自然科学基金项目(71810107004, 71573017, L1724042);国家重点研发计划专项项目(2017YFB1401100)

第一作者简介:刘云(1963—),男,安徽合肥人,中国科学院大学公共政策与管理学院,教授,博导,管理学博士,研究方向:科技评价、科技政策、创新管理。

通信作者:刘云, liuyun@ucas.ac.cn

网络的影响因素,并不是相互排斥的,而是能够相互作用、相互影响的。促进3D打印全球创新网络形成与演进而进行创新发展的因素有很多,不可能把全部的影响因素都纳入到影响3D打印全球创新网络形成与演进的研究中,本文基于复杂系统和社会网络等理论视角,首先进行了大量的文献调研和实地预调研,通过总结前人研究中创新网络的影响因素并结合3D打印全球创新网络的特征,本研究团队于2018年4月21日—4月23日在北京举办的第五届国际3D打印技术高峰论坛暨展览会中对参展企业进行调研,通过在问卷中设置“您认为以下哪些因素会影响3D打印全球创新网络的形成和演进”这一问题,从调研的254家创新型企业选出的影响因素统计发现86%以上的企业选择了降低研发风险、获取互补资源、提升竞争力、知识流动、人才流动、资本流动、世界经济一体化、全球科技治理等影响因素。

因此,根据复杂系统和资源观等理论,结合前期调研结果,立足3D打印全球创新网络特性,本文将以上8个影响因素划归为主体需求、资源流动和外部环境3个大类作为主要影响因素,具体分析如下。

1.1.1 主体需求

3D打印全球创新网络的主体主要指3D打印企业,企业的主要目的是盈利,现有研究表明为获得利润企业主要需求包括降低研发风险、获取互补资源、提升竞争力等等。根据前期预调研所得结果,本文选择降低研发风险、获取互补资源、提升竞争力作为主体需求的3个维度。

(1) 降低研发风险。3D打印企业研发风险是指在3D打印产品研发过程中由于技术因素导致的风险,企业研发风险主要包括:3D打印材料的性能水平不能满足研发要求、3D打印软件研发周期的延长、3D打印工艺成本增加,甚至工艺研发的失败等等(王灿友等,2016)。单一企业进行产品研发所

面临的危险则更大,通过融入全球创新网络,3D打印企业可在全球创新网络范围内寻找与本企业最为合适的研发合作伙伴,分担研发过程中存在的风险。

(2) 获取互补资源。在3D打印全球创新网络中,创新资源的类型、成本在不同网络主体间存在差异,通过融入全球创新网络,3D打印企业可在全球创新网络范围内获取对本企业最为有利的创新资源和较低要素成本的创新资源,同时通过获取网络大量互补资源所产生的协同效应而保持竞争优势,因此,获取互补资源也是3D打印全球创新网络形成与演进的影响因素之一。3D打印企业获取的互补资源主要包括:3D打印技术资源、人力资源素质资源、资金成本资源、实物设备资源。

(3) 提高竞争力。企业竞争力是指企业根据市场环境和自身资源条件,通过努力在市场竞争中获得比较优势,创造顾客价值,达成互利交换,实现企业及相关利益方目标的能力(张经强,2013)。3D打印企业提高市场竞争力是3D打印全球创新网络形成与演进的影响因素之一,主要体现在以下3个方面:3D打印企业拥有具备领先研发能力的研发团队、3D打印企业拥有优质供应商网络(原材料成本可控且具备优势)、3D打印企业拥有成熟的销售渠道网络。

1.1.2 资源流动

资源流动是指3D打印创新活动需要及可利用的各类生产要素在全球范围内的空间运动。包括以下3个影响因素:知识流动、人才流动和资本流动。

(1) 知识流动。3D打印知识流动是指3D打印知识在全球范围内的企业、大学、科研院所等全球创新网络主体之间扩散、转移、共享以及由此引起的个体知识增长的过程。3D打印企业是全球创新网络创新活动的核心主体要素,单个3D打印企业的知识主要来源于企业内部研发,3D打印全球

创新网络的知识存量和知识增量主要来源于网络内各主体要素的异质性知识流动以及网络主体之间由于资源互补带来的协同效应。提高3D打印企业竞争力的关键是保证3D打印知识国际流动渠道畅通,即通过有效提高3D打印全球创新网络内各主体知识获取、知识共享、知识扩散、知识应用的能力,进一步促使知识流动以实现3D打印知识的价值、知识的增值和知识的创造。

(2) 人才流动。3D打印人才流动是指从事3D打印科学研究、技术研发、产业创新活动,并能取得一定研发与创新成果的创新人才在3D打印全球创新网络内国际流动的行为(Zhang et al, 2014)。3D打印人才主要包括3D打印产业领军人才、3D打印企业高层管理者和3D打印产业研发技术人员。3D打印产业研发技术人员是3D打印人才中流动最为频繁的一类。在3D打印全球创新网络中,不同网络主体经济、科技、文化、语言和政策都会影响3D打印人才的职业生涯和技术水平,因而,这些3D打印人才择优而进行全球创新网络内的国际流动。

(3) 资本流动。3D打印资本流动是指大笔资金在全球创新网络内国际流动以寻求较高的回报率和较好的投资机会。主要包括商业资本、借贷资本和银行资本在全球创新网络内的国际流动。3D打印跨国公司进行海外研发投资是商业资本流动的主要方式之一,进行海外研发投资的主要动因为获得3D打印全球创新网络内更好的3D打印产业发展环境、更关键的3D打印技术人才、更低成本的3D打印技术人员、廉价的3D打印原材料同时更容易监测到国际上3D打印科学技术领域的最近进展(Ferriani et al, 2009)。

1.1.3 外部环境

现有研究表明,创新网络形成的外部环境主要指网络主体所在的经济环境和科技环境,根据前期调研所设置的影响因素,本文选取世界经济一

体化和全球科技治理作为全球创新网络形成和演化的世界经济环境和科技环境。

(1) 经济全球化。经济全球化是指世界上大多数国家在现有生产力发展水平和国际分工的基础上,由政府间通过协商缔结条约,建立多国的经济联盟。世界经济一体化对3D打印产业的主要影响为3D打印产业生产国际化程度提高、3D打印产业国际贸易迅速增长和3D打印产业国际市场范围扩大。以国际市场扩大为例,有实力的3D打印公司在世界各地建立自己的分公司,以此来获得规模经济。3D打印市场全球化带给客户高科技多元化的3D打印产品,但是对于本土3D打印企业则是把双刃剑,市场全球化可以使本土3D打印企业发展空间更广,但也形成了激烈的竞争。3D打印产业的进入成本高、研发投入大,因此,市场范围的扩大会形成产业内部集中度加强。同时带来了区域经济集团化,例如北美自由贸易区、亚太经济合作组织及东盟。因此,在世界经济一体化的背景下,单个3D打印企业独立进行研发创新耗时耗力,突出重围的可能性极小,而3D打印全球创新网络则为中小3D打印企业的快速发展提供了一条捷径。3D打印产业材料和工艺繁多,3D打印全球创新网络将3D打印知识资源和人才资源有效整合,为企业提高研发效率,占领市场先机提供了保障(Ferriani et al, 2009; 邢怀滨等, 2006; 郑小勇, 2014)。

(2) 全球科技治理。《中国科技发展研究报告》(2000)中提出,科技全球化是指科技活动的主题和目的得到全球范围内认同,科技活动要素在全球范围内自由流动和合理配置,科技活动成果实现全球共享,以及科技活动规则与制度在全球范围内渐趋一致的发展过程。科技全球化的一个重要驱动力,是在世界范围内科学家和工程师合作团队在科技研究与开发过程中的协作。同时,在高效率的通讯条件下,科技的广泛传播与知识

产权越来越大的交易规模是科技全球化的另一有力的推动因素。邢怀滨等(2006)在《全球科技治理的权力结构、困境及政策含义》一文中,提出全球科技治理是在国际层面上干预、规制科学技术发展的制度和规则体系,反映了全球化时代国家科技创新面临的新特点和新环境。在第四工业革命前夜,新兴技术如雨后春笋蓬勃发展,Nano Global的创始人刘乐文表示促进3D打印、云计算、人工智能、量子技术等新兴技术的全球化可持续发展,以科技造福人类,将为世界带来可持续发展。因此,对于这些新兴技术的全球科技治理具有重大意义,全球创新网络恰为这些新兴技术的全球科技治理提供了现实条件。全球科技治理包括以下3个方面:国际科技活动制度和规则、全球创新资源配置、全球科技成果共享。

1.2 研究假设

本节首先对现有研究创新网络影响因素的理论模型进行梳理,然后在借鉴现有理论模型的基础上提出本文研究假设。

郑小勇(2014)构建了产业创新网络的理论模型,如图1所示。文中提出产业创新环境因素通过影响产业创新主体因素中的经济理性动因和企业家动因进而影响其创新合作行为,从而导致不同形态特征的产业创新网络形成;产业创新环境的演进也是通过借助产业创新主体因素中的经济理

性动因和企业家动因的传导进而使产业创新网络发生演进的。

田钢等(2008)依据霍兰的复杂适应系统理论,运用刺激—反应模型和回声模型对集群创新网络形成的影响因素、合作机制进行了深入地阐释,剖析集群创新网络形成的特征、影响因素以及作用条件,如图2所示。

杨春白雪等(2018)通过对影响新兴技术“多核心”创新网络形成因素的分析,构建影响因素模型,如图3所示。实证研究发现,知识状态和认知邻近性均显著影响网络特征,知识转移在知识因素对网络中心性和网络连接强度的影响过程中起中介作用。

从自适应系统理论的角度讲,组织为适应外在的不确定性环境而自发地联结起来,利用创新网络这样的纽带将环境的不确定性内在化。主体需求的满足、资源流动的发生和外部环境的适应主要通过组织间合作得以实现,由此形成了企业间的创新合作关系,并最终导致集群创新网络的出现。创新合作的增多促进了网络的形成和演进,使得网络特征不断发生变化,网络规模和密度不断增大,网络关系不断增强。因此,文中加入创新合作作为中介变量。

综上所述,本文通过借鉴现有研究创新网络影响因素的理论模型,结合上文识别出的影响因素,

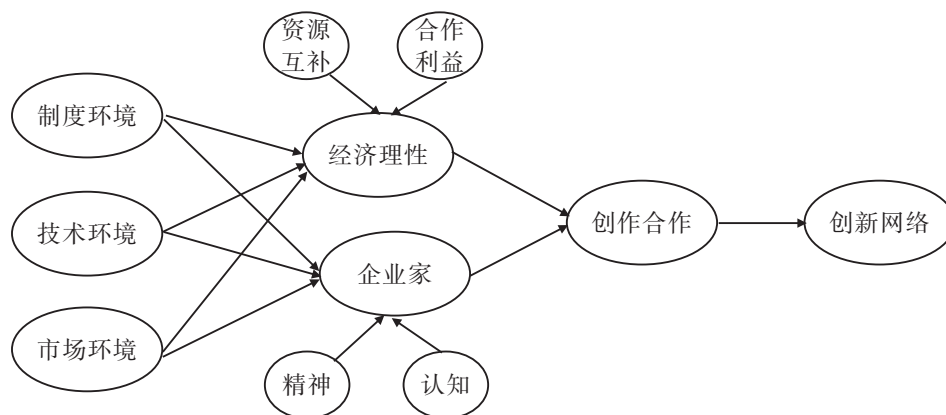


图1 产业创新网络影响因素分析模型

提出以下研究假设,下节中构建3D打印全球创新网络影响因素理论模型。

1.2.1 主体需求、资源流动和外部环境与创新合作的关系

(1) 主体需求与创新合作。随着3D打印市场和技术的不确定性增加、3D打印产品生命周期的缩短和竞争的加剧,使得单一3D打印企业研发成本加大(如企业开发的设备利用率变低),同时给企业的发展带来较大的风险,即使资金雄厚的3D打印企业也会面临一定的研发风险。在这种情况下,3D打印企业之间的通力合作、共同开发可以在一定程度上降低研发风险。不仅企业间的研发合作可以降低风险,金融机构对企业进行大量的资金投入,为企业注入前进的动力,提供企业持续竞争力的燃料,也为企业承担了部分的研发风险。可见,企业降低研发风险的主体需求对创新合作有一定的促进作用。由于3D打印产业创新资源在各网络主体中分布不均衡,所以创新网络主体存在获取互补的、缺少的或低成本的创新资源的需求,共同开发3D打印技术可以发挥不同网络主体的资源能力优势。可见,企业获取互补资源的主体需求对创新合作有一定的促进作用。3D打印企业通过与能力互补的网络主体合作,帮助3D打印

企业抢先进入市场。网络主体间关于3D打印知识的互补性,通过合作研发可以减小单独企业研发的不确定性,提高研发的效率,从而提高3D打印产品研发的平均速度,快速进入市场。同时选取合适的网络合作主体,如3D打印技术较强但产品营销能力较弱的网络主体与营销能力较强的网络主体合作,极大缩短3D打印企业产业化的过程,因此帮助企业快速进入市场。可见,企业提升竞争力的主体需求对创新合作有一定促进作用。因此,本文提出以下假设:

H1a:降低研发风险对组织创新合作有正向作用。

H1b:获取互补资源对组织创新合作有正向作用。

H1c:提升竞争力对组织创新合作有正向作用。

(2) 资源流动与创新合作。知识流动是创新资源流动中最有活力的流动,这种流动在全球创新网络中主要体现在作为知识需求方(3D打印技术知识势差较低的企业)和作为知识供给方(3D打印知识势差高的企业、全球范围内的科研院所、大学等)之间的3D打印知识合作、知识转移和知识共享等。因此,知识的有效流动对于主体创新合作有促进作用。3D打印产业人才为寻求更好的职业发展机遇、加入优秀的技术团队、提升技术创新能力、接触先进的3D打印技术设备而选择在3D打

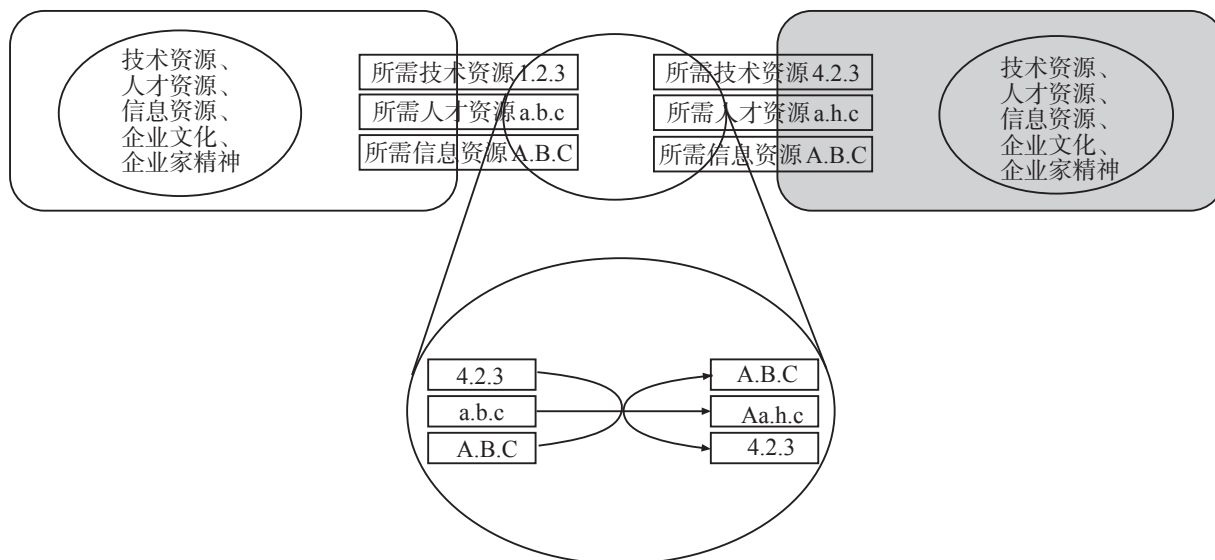


图2 集群创新网络影响因素分析模型

印全球创新网络内进行国际流动。这类3D打印人才对于不同企业均有一定的了解且具有一定话语权,因此由他们作为纽带可以有效推动企业间的合作。3D打印资本流动主要包括商业资本、借贷资本和银行资本在全球创新网络内的国际流动。不同类型资本的有效流动,促进了不同网络主体的创新合作。商业资本的流动,促进了3D打印企业间的合作,银行资本的流动促进了金融机构和3D打印企业的合作。因此,本文提出以下假设:

H1d:知识资源流动对组织创新合作有正向作用。

H1e:人力资源流动对组织创新合作有正向作用。

H1f:资本资源流动对组织创新合作有正向作用。

(3) 外部环境与创新合作。在世界经济一体化的背景下,单个3D打印企业独立进行研发创新耗时耗力,突出重围的可能性极小,3D打印企业间通过创新合作为企业提高研发效率,占领市场先机提供了保障。因此,世界经济一体化促进了企业的创新合作。在科技全球化大环境下,各网络主体打破原有的国家、区域、企业之间的分割,将各主体的创新资源结合起来,才可能获得比各自更多的3D打印创新资源,同时通过制定一定的国际制度和规则,3D打印企业间所进行的技术合作或技术转移会更加顺畅,使得落后的3D打印企业分享先进的研究经验和成果,缩短与先进企业的差距。可见全球科技治理的过程通过促进主体的创新合作完成,因此全球科技治理对主体创新合作有促进作用。因此,本文提出以下假设:

H1g:世界经济一体化对组织创新合作有正向作用。

H1h:全球科技治理对组织创新合作有正向作用。

1.2.2 主体需求、资源流动和外部环境与创新网络的关系

(1) 主体需求与创新网络。3D打印作为新兴产业,具有高资本与高风险等特征,研发过程存在极大的不确定性,3D打印企业仅仅依靠自身的资金会承受巨大压力。为了降低创新风险,国际上3D打印企业大都通过商业合作、研发合作、金融合作及许可合作等方式进行创新合作来分担研发风险。由此可见,3D打印企业为了解决可以预见的创新瓶颈,通过融入全球创新网络采取创新合作战略,达到降低研发成本和整合资源的目的,以此来降低研发风险。因此,降低研发风险的主体需求促进了3D打印全球创新网络的形成与演进。

各网络主体之间建立合作关系,实现3D打印知识、人才和资本资源的交换,从而迅速将外部的互补性资源内部化,并进一步达到降低创新成本、共担创新风险和快速实施技术创新的目标。同时,3D打印全球创新网络能将符合实际需求的3D打印创新资源聚集在一起,这些互补性的3D打印资源能够产生一定的协同效应,创造更多的创新资源,而所创造出的资源不仅稀缺而且难以模仿,能够帮助3D打印全球创新网络主体在市场上获得并保持竞争优势。3D打印全球创新网络形成与演进与其他网络主体合作是为了在其缺乏相对竞争

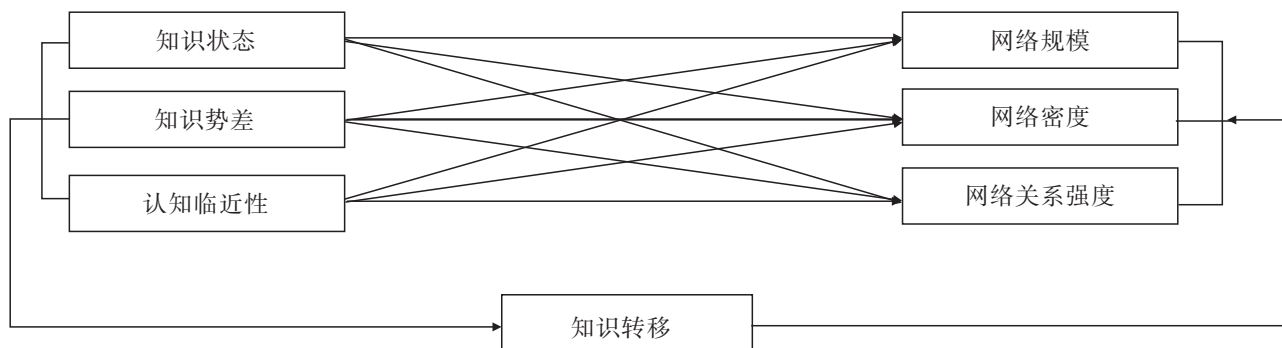


图3 新兴技术“多核心”创新网络影响因素分析模型

优势的领域获得互补性资源与知识。现阶段,国际上只有极少数3D打印企业能够具备和完成开发一个3D打印系统所需要的所有知识和能力。互补性的3D打印知识资源能为3D打印企业提供与产品设计、概念以及开发相关的新想法,打破研发中固有的规则与程序。

随着经济全球化程度加强,不同产业的企业间的竞争也越来越激烈,3D打印企业也不例外,因而3D打印企业要想提升企业竞争力必须具有较强的创新能力。3D打印全球创新网络在资源整合、联合发展创新方面拥有天然优势,3D打印企业通过树立协同竞争观念,与网络中技术发达的网络主体进行知识、技术、资本、市场等领域的交流合作,广泛建立全球合作关系,获取不同类别资源,可提升自身创新能力,实现自身的发展壮大。因此,本文提出以下假设:

H2a:降低研发风险对全球创新网络形成和演进有正向作用。

H2b:获取互补资源对全球创新网络形成和演进有正向作用。

H2c:提升竞争力对全球创新网络形成和演进有正向作用。

(2) 资源流动与创新网络。按3D打印技术特点,可将3D打印知识分为3D打印材料知识、3D打印软件知识和3D打印工艺知识。不同类别的知识在3D打印全球创新网络主体要素之间流动,各主体要素根据对知识需求进行筛选,通过3D打印知识流动进行重新组合然后产生新知识。

人才资源在3D打印技术创新能力提升方面发挥着不可或缺的基础支撑作用,任何3D打印企业对人才资源都存在极大的需求,无论是3D打印领军人才、管理人才还是技术研发人员。主要因为3D打印技术创新过程中的复杂性促使3D打印企业为获得发展和交换各种知识、信息和其他资源与全球创新网络中其他网络主体产生联系,而

这些联系的发生主要靠人才资源。资本流动可使3D打印企业为获取多渠道融资而融入全球创新网络。3D打印产品因研发产出和市场前景的不确定性而伴有一定的研发风险,通过单一渠道寻找投资较为困难。而在3D打印全球创新网络中资本的形式丰富且流动性较高,3D打印企业可以通过国际证券、国际风险投资等多种融资渠道进行研发投入。因此,资本流动促进了3D打印全球创新网络形成与演进。因此,本文提出以下假设:

H2d:知识流动对全球创新网络形成和演进有正向作用。

H2e:人力流动对全球创新网络形成和演进有正向作用。

H2f:资本流动对全球创新网络形成和演进有正向作用。

(3) 外部环境与创新网络。在经济和科技全球化的大背景下,3D打印产业创新资源将实现全球配置,各国3D打印企业可按照共同的国际规则进行成果交易,同时具有知识产权保护,3D打印研究开发成果的全球共享。3D打印全球创新网络正是在这样的背景下应运而生,其结构框架是由3D打印企业作为主导,高校科研机构、政府、金融机构和中介结构起到一定的辅助作用,而最终目的是在网络主体中实现3D打印创新资源的自由流动和合理配置,3D打印产品和相关工艺、技术的成果共享(受到知识产权保护)以及在相同规则下进行自由交易。

在经济和科技全球化背景下,3D打印全球创新网络内,3D打印创新资源可自由流动和配置,3D打印知识和技术可在主体间共享,3D打印产品按照共同的规则自由交易并受到知识产权保护,这些优势为国际顶尖和先进3D企业所带来的利益自不必说。与此同时,这些优势也可以使一些落后的3D打印企业共享一部分3D打印全球创新网络的先进技术和利益成果,通过积极融入到全球

创新网络中缩小与先进企业的差距,进而提高 3D 打印企业创新效率和企业竞争力。融入全球创新网络不仅为顶尖和先进的 3D 打印企业带来利益,也为落后的 3D 打印企业提供了一种快速改进创新能力的途径,企业通过融入全球创新网络则可以低投入获取全球最新知识资源,充分发挥后发优势。因此,本文提出以下假设:

H2g:世界经济一体化对全球创新网络形成和演进有正向作用。

H2h:全球科技治理对全球创新网络形成和演进有正向作用。

1.2.3 创新合作的中介作用

创新合作与创新网络的形成和演进之间有着非常强的关系,当网络主体间广泛开展创新合作,主体间联系增加,创新网络便随之形成并不断演进,网络特征也随之变化,如创新网络密度和规模增大等等。近些年来,学者们从不同的视角验证了创新合作能够对创新网络的形成和演进产生积极影响,曾刚等(2014)以集群创新网络为研究对象,认为企业通过开展合作创新促进了集群创新网络形成与演进。郑胜华等(2017)以区域创新网络为研究对象,认为区域组织的创新合作促进了区域创新网络的形成和发展。因此在某些程度上组织创新合作对创新网络的形成和演进能够产生直接的决定作用。在 3D 打印全球创新网络中,只有当 3D 打印网络主体认为合作创新对自身发展是有利的,并且积极开展合作创新时,才能促进 3D 打印全球创新网络的形成和发展。结合上文对主体需求、资源流动、外部环境与创新合作的分析,因此,本文提出以下假设:

H3a:创新合作在降低研发风险与创新网络形成与演进间具有正向中介作用。

H3b:创新合作在获取互补资源与创新网络形成与演进间具有正向中介作用。

H3c:创新合作在提升竞争力与创新网络形成

与演进间具有正向中介作用。

H3d:创新合作在知识流动与创新网络形成与演进间具有正向中介作用。

H3e:创新合作在人才流动与创新网络形成与演进间具有正向中介作用。

H3f:创新合作在资本流动与创新网络形成与演进间具有正向中介作用。

H3g:创新合作在世界经济一体化与创新网络形成与演进间具有正向中介作用。

H3h:创新合作在全球科技治理与创新网络形成与演进间具有正向中介作用。

1.2.4 主体需求、资源流动与外部环境的关系

前文具体分析了不同影响因素对于 3D 打印全球创新网络形成与演进的促进作用,而实际上,外部环境对于主体需求和资源流动也具有一定的促进作用。

(1) 外部环境和主体需求。经济科技全球化是技术发展和产业分工格局变化的必然结果,是由技术这种生产要素不断追求最大收益的本质所决定的,因此必然以“共赢”效应为前提。对于 3D 打印全球创新网络,世界经济一体化,可为 3D 打印全球创新网络主体提供不同类型的资源和信息,提高全球创新网络内各主体识别环境变化和快速反应的能力,帮助 3D 打印企业降低研发风险和获得互补资源。全球科技治理可实现互补型 3D 打印企业由于企业内部研发、合作研发和知识溢出带来的协同效应,实现了 3D 打印企业提升竞争力和协同发展的目标。可见,世界经济一体化和全球科技治理对主体实现降低研发风险、获取互补资源和提升竞争力的需求具有一定的促进作用。

(2) 外部环境和资源流动。在经济科技全球化背景下,全球 3D 打印科技活动主体的交互活动(包括全球范围内的企业间研发合作、高校科研院所和企业间的产学研等等)频繁开展,各科技活动主体相互影响、相互依赖,此时需要创新资源国际

流动适应大范围的创新行为。同时,3D打印科技活动主体竞争的领域和空间不断拓展也使得创新资源变得更为关键,各3D打印科技活动主体不遗余力争夺创新资源,促进了创新资源(知识、人才、资本等)在全球范围流动加快。世界经济一体化和全球科技治理正是通过提供广阔的领域和空间并制定一定的国际制度和规则,使得3D打印创新资源得以自由流动和合理配置,使不同网络主体加强全球范围的科技研发合作,实现协同发展互利共赢的战略目标。因此,本文提出以下假设:

H4a:外部环境的世界经济一体化对降低研发风险具有正向作用。

H4b:外部环境的世界经济一体化对获取互补资源具有正向作用。

H4c:外部环境的世界经济一体化对提升竞争力具有正向作用。

H4d:外部环境的全球科技治理对降低研发风险具有正向作用。

H4e:外部环境的全球科技治理对获取互补资源具有正向作用。

H4f:外部环境的全球科技治理对提升竞争力

具有正向作用。

H5a:外部环境的世界经济一体化对知识流动具有正向作用。

H5b:外部环境的世界经济一体化对人才流动具有正向作用。

H5c:外部环境的世界经济一体化对资本流动具有正向作用。

H5d:外部环境的全球科技治理对知识流动具有正向作用。

H5e:外部环境的全球科技治理对人才流动具有正向作用。

H5f:外部环境的全球科技治理对资本流动具有正向作用。

1.3 理论模型构建

基于上文中对影响3D打印全球创新网络形成与演进因素的理论分析,借鉴现有创新网络影响因素的理论模型并结合研究假设,本文构建了3D打印全球创新网络形成与演进影响因素作用机理的理论模型,如图4所示。

在3D打印全球创新网络形成与演进影响因素理论模型中,共包含3个部分:第一部分主要从主

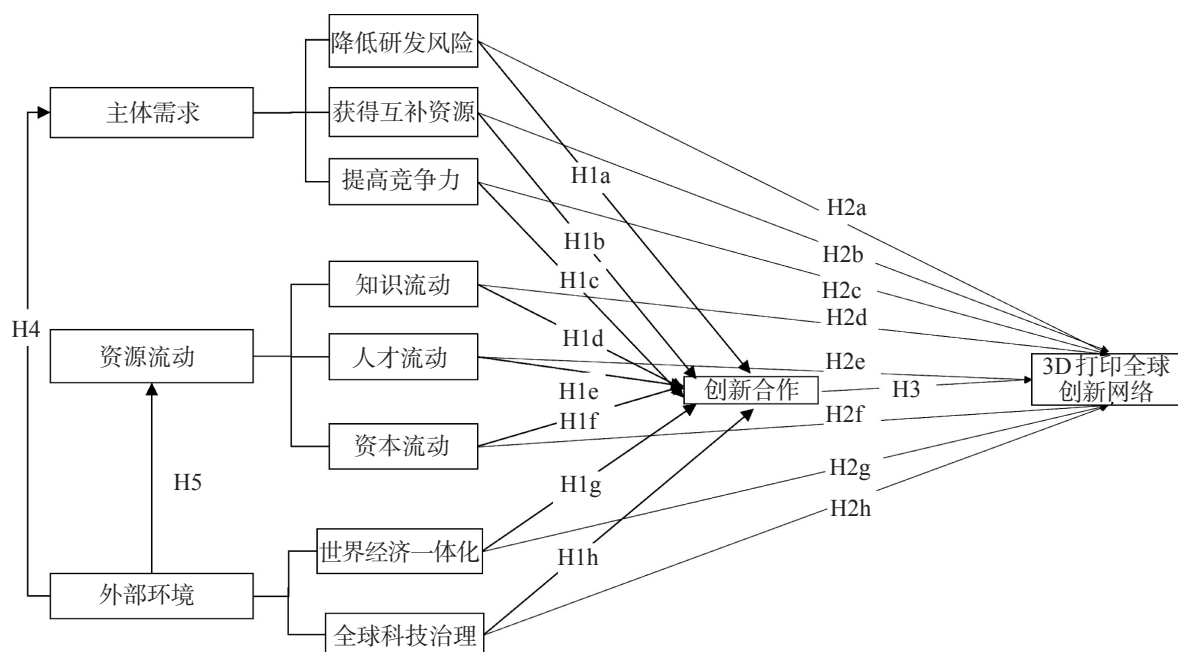


图4 3D打印全球创新网络形成与演进影响因素理论模型

体需求、资源流动和外部环境3个主要变量整合分析3D打印全球创新网络形成和演进的影响因素,并探究3个主要变量各构成维度之间的关系,其中,主体需求包含降低研发风险、获取互补资源和提升竞争力3个维度,资源流动包含知识资源、人才资源和资本资源3个维度,外部环境包含世界经济一体化和全球科技治理2个维度。第二部分主要探究主体需求、资源流动、外部环境3个主要变量各构成维度对创新合作的影响作用关系,以及创新合作在3个主要变量的各构成维度与3D打印全球创新网络之间的中介作用。第三部分主要探讨主体需求、资源流动和外部环境3个主要变量各构成维度对3D打印全球创新网络的直接影响关系,研究3D打印全球创新网络形成与演进影响因素的作用机理。

2 研究方法和数据来源

2.1 结构方程模型

由于本文研究3D打印全球创新网络形成与演进的影响因素,如上文分析可知,有多种影响因素均会推动3D打印全球创新网络的形成与演进,同时不同影响因素之间存在一定的相互联系。用传统的回归模型无法对3D打印全球创新网络形成与演进的影响因素进行很好拟合,且无法探究各影响因素间的作用机理。通过采用结构方程模型可以对不同因素影响3D打印全球创新网络形成与演进的作用机理进行很好地拟合,同时可以揭示不同影响因素间的相互联系和相互作用。因此,本文采用结构方程模型对3D打印全球创新网络影响因素进行研究。

2.2 问卷设计和问卷实施

(1) 问卷设计原则和问卷结构。本研究的数据来源主要采取发放调查问卷的形式获取。首先,确定问卷设计的原则。问卷调查的目的是通过调查对象了解到研究内容的现实情况,因此对于调查问卷的测量题项和问卷的调查范围要进行严格把

关。测量题项需紧密围绕本研究的研究假设展开,确保问卷内容与调查目的一致,同时问卷题项的设计兼顾清晰简洁和逻辑性。本研究以创新网络领域的成熟量表为基础,借鉴国内外研究中已有的测量题项,选取广泛使用、认可度较高、与本研究目的高度相关的测量题项,同时,通过与3D打印产业和创新网络领域相关专家学者深度探讨,结合3D打印全球创新网络的特性,对不同变量的测量题项逐个拟定、调整和补充。调查范围主要针对国内外3D打印企业和对3D打印领域和全球创新网络有相关研究的专家进行问卷发放,其中,企业中主要对3D打印企业参与技术研发人员或企业中高层管理者,确保问卷填写者对本企业参与3D打印全球创新网络的情况能有全面了解。

3D打印全球创新网络形成与演进影响因素调查问卷主要包括3大部分:第一部分为引导语,说明本次调查的背景、目的以及程序等;第二部分为受调查者的基本信息以及单位基本信息;第三部分为问卷的主体部分,对上文分析的3个影响因素所包含的10个影响因素设计调查问题,如表1所示。问卷主体采用李克特5级量表法,1分为最低分,表示非常不同意,5分为最高分,表示非常同意。

(2) 测量题项。在本研究的调查问卷中,涉及到10个测量变量和31个测量题项,如表2所示。

(3) 问卷实施。本文的调查问卷主要通过以下2种方式发放。

① 3D打印产业相关展览会和学术会议现场发放。在本研究团队参加在国内举办3D打印领域学术研讨会、展览会(主要是国际展览会,展会中包括国外3D打印企业)等会议期间(2018年5月—2018年8月),进行现场问卷调查。通过现场面对面的调查方法,调查人员对调查问卷的设计思路、相关概念进行了详细解释,问卷调查的质量控制较好。通过现场发放问卷303份,回收265份,初步筛选获得有效问卷243份。

② 邮箱邀请发放。对国内研究3D打印产业和创新网络领域的相关专家进行问卷调查邀请。共发放问卷147份,通过积极沟通和跟进,最终回收52份,初步筛选获得35份有效问卷。

通过长达半年的问卷调查,本研究前后发放调查卷450份,其中回收问卷317份,初步筛选获得有效调查问卷278份。在将上述问卷回收之后,本文首先对不同形式(包括纸质版和电子版)的问卷进行了整理,转化为分析所需的原始数据,通过问卷筛选和问卷整合,共整理出有效调查问卷271份。

3 实证分析

3.1 信度检验

信度(reliability)用来测量研究数据的可信度,通常来看,是指对研究数据采用不同方法进行收集或测度后,得到的结果与原研究数据的相似程度(Bai et al, 2017)。一般来说,信度分析有4种方法,分别为 α 信度系数法、重测信度法、复本信度法和折半信度法,其中 α 信度系数法(全称为Cronbach's α 信度系数)是最常用的方法(臧旭恒等, 2006),计算公式为式3.1:

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \times \left(1 - \frac{\sum S_i^2}{S_r^2} \right) \quad (1)$$

式中: n 表示问卷中题项(问题)数量, S_i^2 表示第 i 题得分的题内方差, S_r^2 表示全部调查问题进行测评后的方差。根据信度分析方法一般性经验,当 α 系数大于0.7时候问卷可信,问卷有使用价值。

测度结果,如表1所示,全部变量和整体的 α 值都在0.7以上,这说明本文所设计的测量项目比较

合理。

3.2 效度检验

效度检验,即对所得调查问卷的有效性程度进行检验,包括内容效度和结构效度。内容效度是指问卷测量题项中包括内容的充分程度。本研究设计调查问卷题项通过借鉴国内外具有良好内容效度的成熟量表,同时邀请创新网络领域的专家对问卷的结构、题项内容进行反复修正,因此,本文调查问卷具有良好的内容效度。

结构效度是指测量结果与理论结构的准确性程度。本研究先采用SPSS软件对问卷进行探索性因子分析,来找出影响观测变量的因子个数,以及各个因子和各个观测变量之间的相关程度。而本研究仍需判定通过前期定义因子的模型拟合实际数据的能力,来检验观测变量的因子个数和因子载荷是否与基于预先建立的理论的预期一致,同时,本文3D打印全球创新网络形成与演进的影响因素研究采用结构方程模型进行拟合,结构方程模型包括测量方程和结构方程,因此,为了确保模型应用的准确性和对比数据拟合结果的一致性,本研究通过AMOS软件进行验证性因子分析。

3.2.1 探索性因子分析

本文首先通过SPSS进行探索性因子分析,如:表3所示,调研问卷的KMO值为0.697, Bartlett球形检验显著性水平小于0.000,说明调研问卷适合做因子分析。然后本文通过最大方差法进行因子旋转,在3D打印全球创新网络形成与演进影响因素量表中提取10个因素,累计方差贡献率为

表1 各变量信度分析结果

变量		Cronbach's α 信度系数	整体Cronbach's α 信度系数
主体需求	降低研发风险	0.829	0.775
	获得互补资源	0.784	
	提升竞争力	0.762	
资源流动	知识流动	0.814	
	人才流动	0.855	
	资本流动	0.842	
外部环境	国际科技活动制度和规则	0.769	
	全球创新资源配置	0.711	
创新合作	创新合作	0.728	
3D打印全球创新网络形成与演进	3D打印全球创新网络	0.881	

表2 3D打印产业全球创新网络形成与演进影响因素测量题项

类别	潜变量	测量变量(题项)
主体需求(Herstad et al, 2014; Gerybadze et al, 2016; 卢艳秋等, 2010)	降低研发风险(X1)	3D打印企业需减少因面临重大技术困难而导致研究工作失败风险(JDFX1) 3D打印企业需减少技术开发尚处在研究过程中,已经由其他人成功研究出同样的技术的研发风险(JDFX2) 3D打印企业需减少所开发的技术变化不可预测风险(JDFX3) 3D打印企业需减少开发的技术是产业前沿所带来的研发风险(JDFX4)
	获得互补资源(X2)	3D打印企业需要与全球创新网络中在3D打印技术方面和本企业互补性很强的主体合作(ZYHB1) 3D打印企业需要与全球创新网络中在人力资源素质方面和本企业互补性很强的主体合作(ZYHB2) 3D打印企业需要与全球创新网络中在资金成本方面和本企业相差悬殊的主体合作(ZYHB3) 3D打印企业需要与全球创新网络中在实物设备方面和本企业相差悬殊的主体合作(ZYHB4)
	提高竞争力(X3)	3D打印企业有拥有具备领先研发能力的研发团队的需求(TJZL1) 3D打印企业有拥有优质供应商网络资源(TJZL2) 3D打印企业有拥有成熟销售网络的需求(TJZL3) 3D打印企业有具备良好融资平台的需求(TJZL4)
	知识流动(X4)	3D打印材料制备方法相关知识可在全球创新网络内自由流动(ZSLD1) 3D打印软件开发相关知识可在全球创新网络内自由流动(ZSLD2) 3D打印生产的工艺流程相关知识可在全球创新网络内自由流动(ZSLD3) 3D打印材料性能相关知识可在全球创新网络内自由流动(ZSLD4)
资源流动(Mal-ecki, 2017; Hassan et al, 2015; Markova et al, 2016; 赵婷婷, 2015)	人才流动(X5)	3D打印产业领军人才可在全球创新网络内自由流动(RCLD1) 3D打印企业高层管理者可在全球创新网络内自由流动(RCLD2) 3D打印产业研发技术人员可在全球创新网络内自由流动(RCLD3)
	资本流动(X6)	3D打印产业商业资本可在全球创新网络内自由流动(ZBLD1) 3D打印产业借贷资本可在全球创新网络内自由流动(ZBLD2) 3D打印产业银行资本可在全球创新网络内自由流动(ZBLD3)
	世界经济一体化(X7)	3D打印产业生产国际化程度提高(JJHJ1) 3D打印产业国际贸易迅速增长(JJHJ2) 3D打印产业国际市场范围扩大(JJHJ3)
	全球科技治理(X8)	3D打印材料制备、软件开发和工艺流程方面的科技成果交易具有统一的国际规则(KJHJ1) 3D打印知识、人才和资本资源在全球范围内合理配置(KJHJ2) 3D打印材料制备、软件开发和工艺流程方面的科技成果全球范围内的科技活动主体间共享(KJHJ3)
创新合作(张绪英, 2013; Bouabid et al, 2016) 3D打印全球创新网络(郑胜华等, 2017; Ahuja, 2000)	创新合作(X9)	3D打印企业与合作伙伴创新合作实现了降低研发风险目标(CXHZ1) 3D打印企业与合作伙伴创新合作实现了获取互补资源目标(CXHZ2) 3D打印企业与合作伙伴创新合作实现了提高竞争力目标(CXHZ3)
	创新网络(X10)	3D打印全球创新网络密度增大(RWXW1) 3D打印全球创新网络规模变大(RWXW2) 3D打印全球创新网络主体交流频度增强(RWXW3) 3D打印全球创新网络主体关系稳定性增强(RWXW4)

82.775%,得到的因子负荷矩阵,数值均超过了0.5且交叉因子载荷均小于0.45,表明10个因子可以表达31个题项的含义。如表3所示,因子1表示降低合作风险,因子2表示获取互补资源,因子3表示提升竞争力,因子4表示知识流动,因子5表示人才流动,因子6表示资本流动,因子7表示世界经济一体化,因子8表示全球科技治理,因子9表示创新合作,因子10表示3D打印全球创新网络。由此可见,通过探索性因子分析得到10个共同因素,这表明研究问卷具有较高的结构效度。

3.2.2 验证性因子分析

为了检验观测变量的因子个数和因子载荷是否与前文建立的理论预期保持基本一致,本研究通过AMOS软件对问卷的结构效度做验证性因子

分析进行检验,在进行检验前,先剔除在探索性因子分析中因子负荷值较小的4个题项。

本研究采用一阶验证性因子分析方法对这10个因子作验证性的统计分析。验证性因子分析的检验指标包括卡方自由度比(χ^2),适配的标准:指标值<2,较好,指标值<5,接受;渐进残差均方和平方根(RMSEA),适配的标准:指标值<0.05,适配良好,指标值<0.08,适配合理;适配度指数(GFI),适配的标准:指标值>0.8,接受,指标值>0.9,较好;调整后适配度指数(AGFI),适配的标准:指标值>0.8,接受,指标值>0.9,较好;规准适配指数(NFI),适配的标准:指标值>0.8,接受,指标值>0.9,较好;比较适配指数(CFI),适配的标准:指标值>0.8,接受,指标值>0.9,较好。临界比值为t

荷系数高于0.5(见图5)。综合上述各项指标,可以认为该结构模型得到了较好地验证。

表4 主体需求的三维度模型拟合结果

测量变量	测量题项	标准化因子负荷	临界比	各因子适配度指标
降低合作风险	JDFX1	0.816	—	$\chi^2/df=1.176$ $RMSEA=0.025$ $GFI=0.968$ $AGFI=0.978$ $NFI=0.901$ $CFI=0.965$
	JDFX2	0.821	8.745	
	JDFX3	0.803	11.257	
获得互补资源	ZYHB1	0.816	—	
	ZYHB2	0.822	11.206	
	ZYHB3	0.817	8.664	
提升竞争力	TJZL1	0.811	—	
	TJZL2	0.815	9.549	
	TJZL3	0.822	8.815	

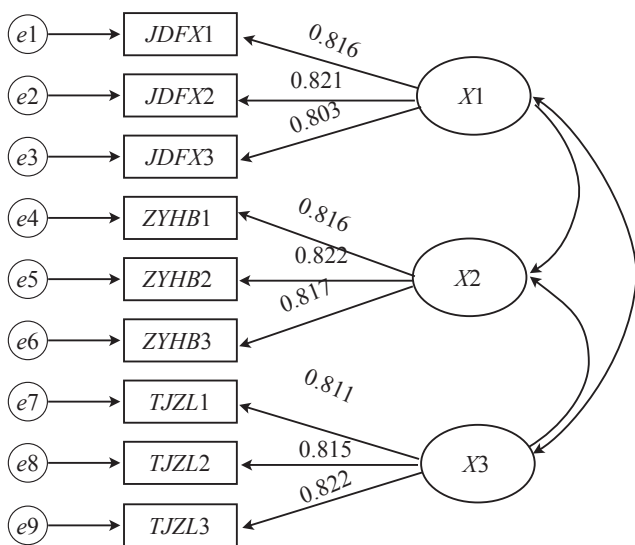


图5 主体需求的三维度结构模型

(2) 资源流动的三维度模型拟合结果。由表5可以看出,资源流动的三维度模型拟合效果较好,其中,绝对适配度指数 χ^2/df 的值为1.374,小于临界值2; $RMSEA$ 的值为0.032,小于指标值0.05,为“非常好的拟合”;相对适配度指数 GFI 、 $AGFI$ 、 NFI 、 CFI 的值分别为0.961、0.967、0.911、0.961,均大于临界值0.9。而且,各测量题项标准化因子载荷系数高于0.5(见图6)。综合上述各项指标,可以认为该结构模型得到了较好的验证。

(3) 外部环境的二维度模型拟合结果。由表6可以看出,外部环境的二维度模型拟合效果较好,其中,绝对适配度指数 χ^2/df 的值为1.174,小于临界值2; $RMSEA$ 的值为0.038,小于指标值0.05,

为“非常好的拟合”;相对适配度指数 GFI 、 $AGFI$ 、 NFI 、 CFI 的值分别为0.979、0.983、0.928、0.916,均大于临界值0.9。而且,各测量题项标准化因子载荷系数高于0.5(见图7)。综合上述各项指标,可以认为该结构模型得到了较好地验证。

表5 资源流动的三维度模型拟合结果

测量变量	测量题目	标准化因子负荷	临界比	各因子适配度指标
知识流动	ZSLD1	0.827	—	$\chi^2/df=1.374$ $RMSEA=0.032$ $GFI=0.961$ $AGFI=0.967$ $NFI=0.911$ $CFI=0.961$
	ZSLD2	0.801	8.146	
	ZSLD3	0.785	11.176	
人才流动	RCLD1	0.797	—	
	RCLD2	0.806	12.649	
	RCLD3	0.808	8.134	
资本流动	ZBLD1	0.799	—	
	ZBLD2	0.812	12.147	
	ZBLD3	0.817	8.351	

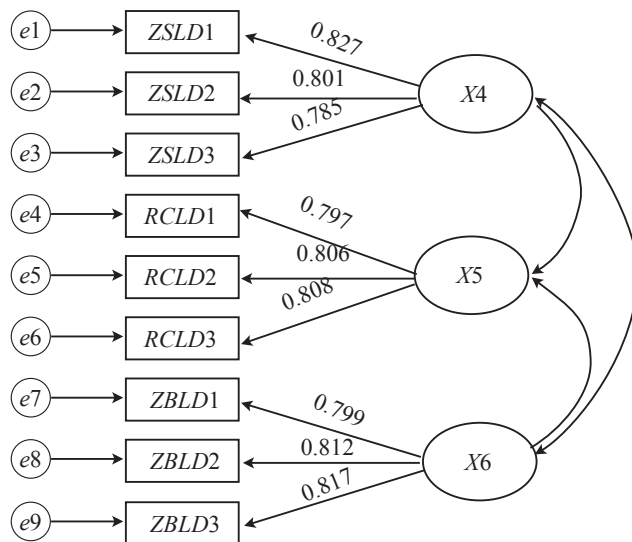


图6 资源流动的三维度结构模型

(4) 创新合作的单维度模型拟合结果。由表7可以看出,创新合作的单维度模型拟合效果较好,其中,绝对适配度指数 χ^2/df 的值为1.261,小于临界值2; $RMSEA$ 的值为0.012,小于指标值0.05,为“非常好的拟合”;相对适配度指数 GFI 、 $AGFI$ 、 NFI 、 CFI 的值分别为0.964、0.974、0.925、0.916,均大于临界值0.9。而且,各测量题项标准化因子载荷系数高于0.5(见图8)。综合上述各项指标,可以认为该结构模型得到了较好地验证。

(5) 3D 打印全球创新网络的单维度模型拟合结果。由表8可以看出,创新合作的单维度模型拟合效果较好,其中,绝对适配度指数 χ^2/df 的值为1.161,小于临界值2; $RMSEA$ 的值为0.039,小于指标值0.05,为“非常好的拟合”;相对适配度指数 GFI 、 $AGFI$ 、 NFI 、 CFI 的值分别为0.971、0.926、0.933、0.927,均大于临界值0.9。而且,各测量题项标准化因子载荷系数高于0.5(见图9)。综合上述各项指标,可以认为该结构模型得到了较好地验证。

表6 外部环境的二维度模型拟合结果

测量变量	测量题项	标准化因子负荷	临界比	各因子适配度指标
世界经济	JJHJ1	0.825	—	$\chi^2/df=1.174$ $RMSEA=0.038$ $GFI=0.979$
一体化	JJHJ2	0.815	8.672	
	JJHJ3	0.822	12.364	
全球科技	KJHJ1	0.808	—	$AGFI=0.983$ $NFI=0.928$ $CFI=0.916$
治理	KJHJ2	0.809	11.649	
	KJHJ3	0.818	12.462	

表7 创新合作的单维度模型拟合结果

测量变量	测量题项	标准化因子负荷	临界比	各因子适配度指标
创新合作	CXHZ1	0.808	—	$\chi^2/df=1.261$ $AGFI=0.974$ $RMSEA=0.012$ $NFI=0.925$ $GFI=0.964$ $CFI=0.916$
	CXHZ2	0.814	8.451	
	CXHZ3	0.813	9.426	

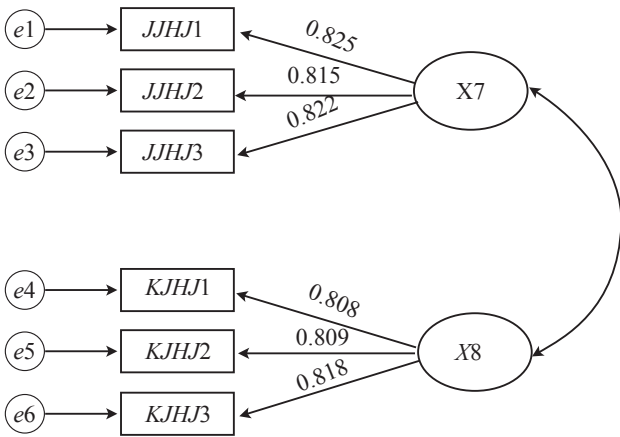


图7 外部环境的二维度结构模型

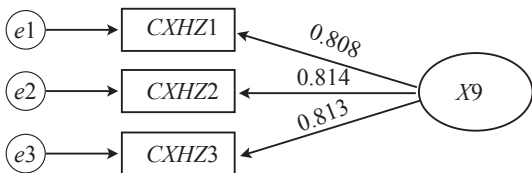


图8 创新合作的单维度结构模型

表8 3D 打印全球创新网络的单维度模型拟合结果

测量变量	测量题项	标准化因子负荷	临界比	各因子适配度指标
3D 打印全球	RWXW1	0.812	—	$\chi^2/df=1.161$ $AGFI=0.926$ $RMSEA=0.039$ $GFI=0.971$ $NFI=0.933$ $CFI=0.927$
创新网络	RWXW2	0.817	8.623	
	RWXW3	0.836	8.451	
	RWXW4	0.832	9.224	

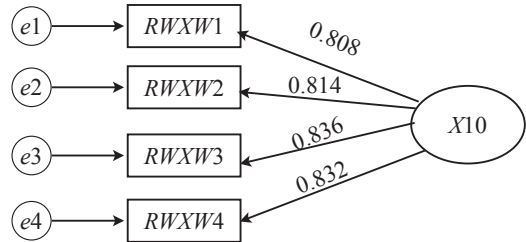


图9 3D 打印全球创新网络的单维度结构模型

(6) 相关变量整体拟合结果。由表9可以看出,对10个因子进行一阶验证性分析的效果较好,各因子模型均具有非常好的配适度,满足实际分析的需要。模型整体的拟合度指数 χ^2/df 的值为1.181,小于临界值2; $RMSEA$ 的值为0.032,小于0.05,为“非常好的拟合”;相对适配度指数 GFI 、 $AGFI$ 、 NFI 、 CFI 的值分别为0.972、0.961、0.963、0.994,均大于临界值0.9。同时,各测量题项标准化因子载荷系数高于0.7。综合上述各项指标,该结构模型得到了较好地验证,如图10所示。

3.3 假设检验与结果分析

3.3.1 模型拟合与参数估计

本研究通过进行一阶验证性因子分析,发现各项指标均符合各自拟合标准,模型整体拟合度良好,因此模型无需修订。

(1) 自变量间的影响分析。本文利用AMOS软件,用结构方程对自变量间的影响关系进行拟合,验证研究假设。拟合结果如表10所示,绝对拟合指标卡方自由度比为1.212,小于临界值2;渐进残差均方和平方根 $RMSEA$ 为0.042,为“非常好的拟合”;相对拟合指标 GFI 为0.907、 $AGFI$ 为0.969、 NFI 为0.918、 CFI 为0.911,均高于可接受标准0.9,模型拟合效果较好。

表9 相关变量整体拟合结果

测量变量	测量题项	标准化因子负荷	临界比	各因子适配度指标
降低合作风险	JDFX1	0.804	—	$\chi^2/df=1.181$ $AGFI=0.961$ $RMSEA=0.032$ $NFI=0.963$ $GFI=0.972$ $CFI=0.994$
	JDFX2	0.819	8.735	
	JDFX3	0.801	11.217	
获得互补资源	ZYHB1	0.811	—	
	ZYHB2	0.807	11.212	
	ZYHB3	0.816	8.634	
提升竞争力	TJZL1	0.809	—	
	TJZL2	0.811	9.542	
	TJZL3	0.821	8.816	
知识流动	ZSLD1	0.808	—	
	ZSLD2	0.814	8.452	
	ZSLD3	0.813	9.424	
人才流动	RCLD1	0.822	—	
	RCLD2	0.799	8.141	
	RCLD3	0.784	11.171	
资本流动	ZBLD1	0.795	—	
	ZBLD2	0.804	12.644	
	ZBLD3	0.806	8.132	
世界经济一体化	JJHJ1	0.794	—	
	JJHJ2	0.811	12.145	
	JJHJ3	0.816	8.356	
全球科技治理	KJHJ1	0.824	—	
	KJHJ2	0.805	8.679	
	KJHJ3	0.821	12.314	
创新合作	CXHZ1	0.794	—	
	CXHZ2	0.805	8.617	
	CXHZ3	0.784	9.227	
3D 打印全球	RWXW1	0.813	—	
创新网络	RWXW2	0.819	8.622	
	RWXW3	0.816	8.457	
	RWXW4	0.812	9.221	

模型中世界经济一体化和全球科技治理对降低研发风险、获取互补资源、提升竞争力、知识流动、人才流动和资本流动产生了显著的正向影响,标准化的路径系数 β 如图11所示。

(2) 自变量、中介变量与因变量间的影响分析。本研究利用 AMOS 软件,用结构方程对自变量(降低研发风险、获取互补资源、提升竞争力、知识流动、人才流动、资本流动、世界经济一体化和全球科技治理)、中介变量(创新合作)和因变量(3D 打印全球创新网络)进行拟合。拟合结果如表

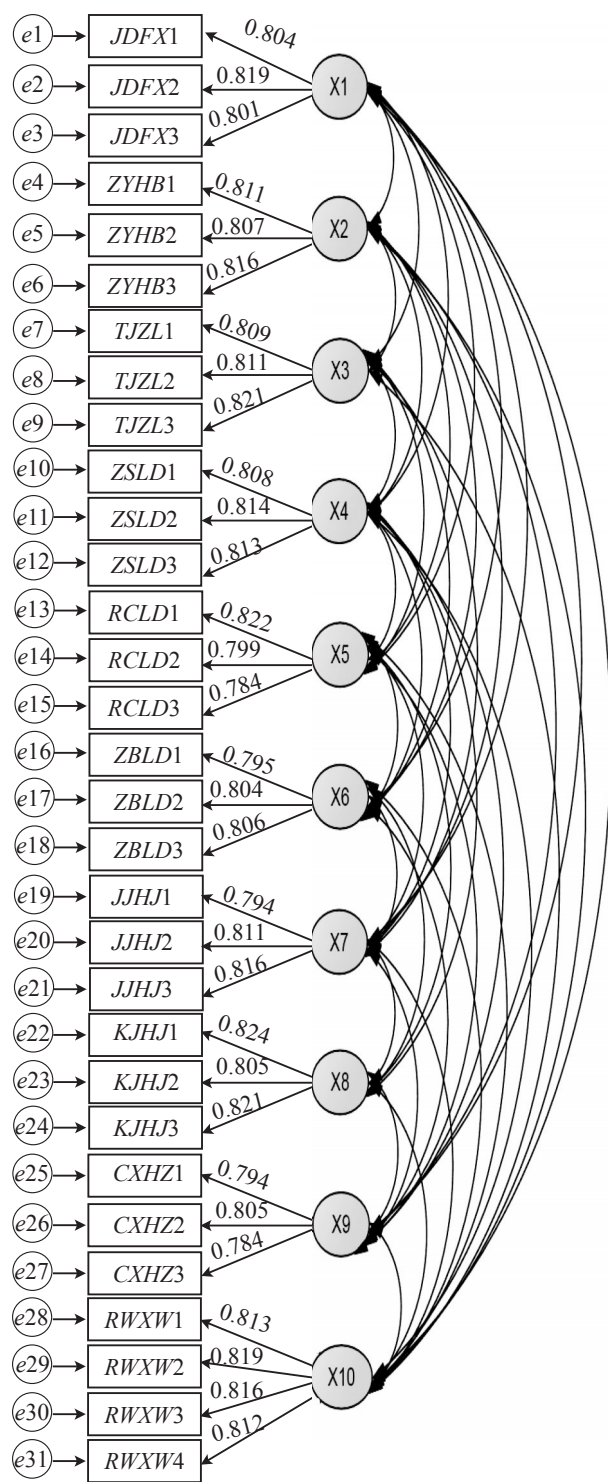


图10 相关变量整体结构模型

11所示,绝对拟合指标卡方自由度比为1.201,小于临界值2;渐进残差均方和平方根RMSEA为0.033,为“非常好的拟合”;相对拟合指标GFI为0.912、AGFI为0.945、NFI为0.912、CFI为0.909,均高于可接受标准0.9,模型拟合效果较好。

在自变量对中介变量的影响中,降低研发风险、获取互补资源、提升竞争力、知识流动、人才流动、资本流动、世界经济一体化和全球科技治理都对创新合作具有显著的正向影响,标准化路径系数 β 如图 12 所示。在自变量对因变量的影响中,降

低研发风险、获取互补资源、提升竞争力、知识流动、人才流动、资本流动、世界经济一体化和全球科技治理均对 3D 打印全球创新网络具有显著的正向影响。最后,在中介变量对因变量的影响中,创新合作对 3D 打印全球创新网络具有显著的正向影响,其标准化路径系数 β 为 0.608($p<0.05$)。

表 10 自变量间的影响分析

假设回归路径	标准化路径系数	显著性水平	是否支持假设
世界经济一体化-->降低研发风险	0.151	0.000	是
世界经济一体化-->获取互补资源	0.102	0.000	是
世界经济一体化-->提升竞争力	0.189	0.000	是
全球科技治理-->降低研发风险	0.211	0.000	是
全球科技治理-->获取互补资源	0.192	0.000	是
全球科技治理-->提升竞争力	0.148	0.000	是
世界经济一体化-->知识流动	0.111	0.000	是
世界经济一体化-->人才流动	0.109	0.000	是
世界经济一体化-->资本流动	0.121	0.000	是
全球科技治理-->融网行为	0.197	0.000	是
全球科技治理-->人才流动	0.215	0.000	是
全球科技治理-->资本流动	0.116	0.000	是

拟合优度指标值： $\chi^2/df=1.212$, $AGFI=0.969$, $RMSEA=0.042$, $NFI=0.918$, $GFI=0.907$, $CFI=0.911$

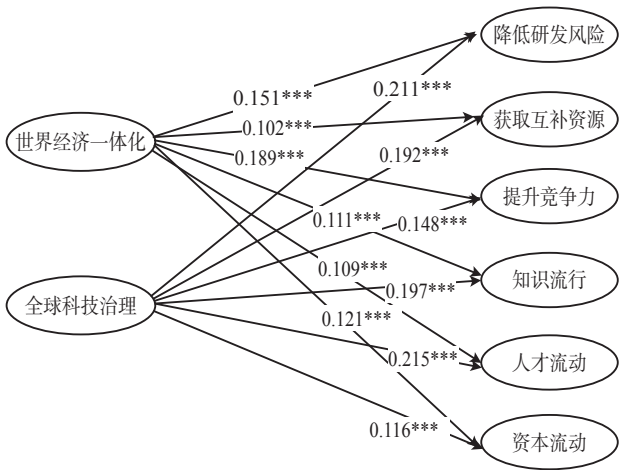


图 11 自变量间的影响关系拟合模型

表 11 结构模型的参数估计

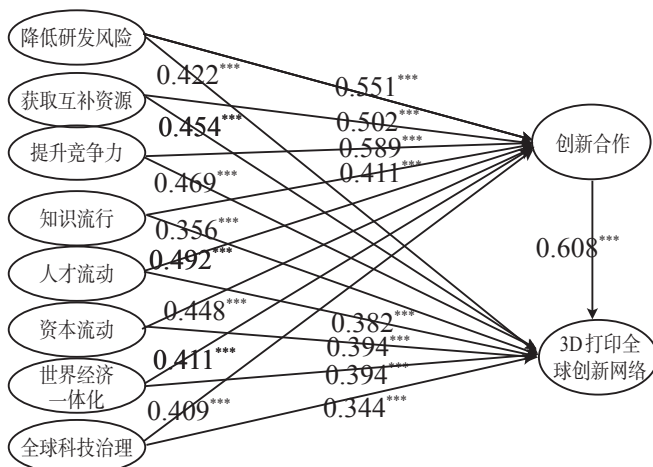
假设回归路径	标准化路径系数	显著性水平	是否支持假设
降低研发风险-->创新合作	0.551	0.000	是
获取互补资源-->创新合作	0.502	0.000	是
提升竞争力-->创新合作	0.589	0.000	是
知识流动-->创新合作	0.411	0.000	是
人才流动-->创新合作	0.492	0.000	是
资本流动-->创新合作	0.448	0.000	是
世界经济一体化-->创新合作	0.411	0.000	是
全球科技治理-->创新合作	0.409	0.000	是
降低研发风险-->3D 打印全球创新网络	0.422	0.000	是
获取互补资源-->3D 打印全球创新网络	0.454	0.000	是
提升竞争力-->3D 打印全球创新网络	0.469	0.000	是
知识流动-->3D 打印全球创新网络	0.356	0.000	是
人才流动-->3D 打印全球创新网络	0.382	0.000	是
资本流动-->3D 打印全球创新网络	0.394	0.000	是
世界经济一体化-->3D 打印全球创新网络	0.349	0.000	是
全球科技治理-->3D 打印全球创新网络	0.344	0.000	是
创新合作-->3D 打印全球创新网络	0.608	0.000	是

拟合优度指标值： $\chi^2/df=1.201$ $AGFI=0.945$ $RMSEA=0.033$ $NFI=0.945$ $GFI=0.912$ $CFI=0.909$

3.3.2 中介效用的分析与检验

为了检验创新合作在主体需求、资源流动和外部环境3个主要变量的各构成维度对合作创新行为影响过程是否起到中介影响效果,本文参考学者Baron和Kenny(1986)在对中介效应的研究中取得的成果,并利用结构方程模型对中介效用进行判定,具体分析如下。

首先,利用前期收集整理的原始数据将自变量对因变量的影响关系进行拟合,判断其回归系数显著性。拟合结果如表12所示,绝对拟合指标卡方自由度比 χ^2/df 为1.222,小于临界值2;渐进残差均方和平方根RMSEA为0.037,为“非常好的拟合”;相对拟合指标GFI为0.913、AGFI为0.948、NFI为0.916、CFI为0.904,均高于可接受标准0.9,模型拟合效果较好。



注:*表示 $p<0.1$;**表示 $p<0.05$;***表示 $p<0.01$

图12 结构模型拟合关系

从表12中可以看出降低研发风险、获取互补资源、提升竞争力、知识流动、人才流动、资本流动、世界经济一体化和全球科技治理都对3D打印全球创新网络产生了显著的正向影响,标准化路径系数 β 分别为0.437、0.486、0.474、0.381、0.401、0.399、0.315和0.367。

然后,将自变量和中介变量共同对因变量的影响关系进行拟合,判定其回归系数是否显著,具体分析结果如表11所示。将表11与表12中的标准化路径系数与显著性概率进行综合比较,比较结果如表13所示。

从表13中可以看出,自变量降低研发风险、获取互补资源、提升竞争力、知识流动、人才流动、资本流动、世界经济一体化和全球科技治理的影响路径系数均有所减少,概率值 P 都显著,说明中介

表12 自变量对因变量的影响分析

假设回归路径	标准化路径系数	显著性水平
降低研发风险-->3D打印全球创新网络	0.437	0.000
获取互补资源-->3D打印全球创新网络	0.486	0.000
提升竞争力-->3D打印全球创新网络	0.471	0.000
知识流动-->3D打印全球创新网络	0.381	0.000
人才流动-->3D打印全球创新网络	0.401	0.000
资本流动-->3D打印全球创新网络	0.399	0.000
世界经济一体化-->3D打印全球创新网络	0.355	0.000
全球科技治理-->3D打印全球创新网络	0.367	0.000
拟合优度指标值: $\chi^2/df=1.222$ AGFI=0.948 RMSEA=0.037 NFI=0.916 GFI=0.913 CFI=0.904		

注:*表示 $p<0.1$;**表示 $p<0.05$;***表示 $p<0.01$

表13 直接效用与间接效用模型参数比较

假设回归路径	直接效用模型		间接效用模型	
	标准化路径系数	显著性水平	标准化路径系数	显著性水平
降低研发风险-->3D打印全球创新网络	0.437	0.000	0.422	0.000
获取互补资源-->3D打印全球创新网络	0.486	0.000	0.454	0.000
提升竞争力-->3D打印全球创新网络	0.471	0.000	0.469	0.000
知识流动-->3D打印全球创新网络	0.381	0.000	0.356	0.000
人才流动-->3D打印全球创新网络	0.401	0.000	0.382	0.000
资本流动-->3D打印全球创新网络	0.399	0.000	0.394	0.000
世界经济一体化-->3D打印全球创新网络	0.355	0.000	0.349	0.000
全球科技治理-->3D打印全球创新网络	0.367	0.000	0.344	0.000

表 14 假设检验结果汇总

编号	假设内容	检验结果
H1a	降低研发风险对组织创新合作有正向作用	支持
H1b	获取互补资源对组织创新合作有正向作用	支持
H1c	提升竞争力对组织创新合作有正向作用	支持
H1d	知识资源流动对组织创新合作有正向作用	支持
H1e	人力资源流动对组织创新合作有正向作用	支持
H1f	资本资源流动对组织创新合作有正向作用	支持
H1g	世界经济一体化对组织创新合作有正向作用	支持
H1h	全球科技治理对组织创新合作有正向作用	支持
H2a	降低研发风险对全球创新网络形成和演进有正向作用	支持
H2b	获取互补资源对全球创新网络形成和演进有正向作用	支持
H2c	提升竞争力对全球创新网络形成和演进有正向作用	支持
H2d	知识资源流动对全球创新网络形成和演进有正向作用	支持
H2e	人力资源流动对全球创新网络形成和演进有正向作用	支持
H2f	资本资源流动对全球创新网络形成和演进有正向作用	支持
H2g	世界经济一体化对全球创新网络形成和演进有正向作用	支持
H2h	全球科技治理对全球创新网络形成和演进有正向作用	支持
H3a	创新合作在降低研发风险与创新网络形成与演进间具有正向中介作用	支持
H3b	创新合作在获取互补资源与创新网络形成与演进间具有正向中介作用	支持
H3c	创新合作在提升竞争力与创新网络形成与演进间具有正向中介作用	支持
H3d	创新合作在知识流动与创新网络形成与演进间具有正向中介作用	支持
H3e	创新合作在人才流动与创新网络形成与演进间具有正向中介作用	支持
H3f	创新合作在资本流动与创新网络形成与演进间具有正向中介作用	支持
H3g	创新合作在世界经济一体化与创新网络形成与演进间具有正向中介作用	支持
H3h	创新合作在全球科技治理与创新网络形成与演进间具有正向中介作用	支持
H4a	外部环境的世界经济一体化对降低研发风险具有正向作用	支持
H4b	外部环境的世界经济一体化对获取互补资源具有正向作用	支持
H4c	外部环境的世界经济一体化对提升竞争力具有正向作用	支持
H4d	外部环境的全球科技治理对降低研发风险具有正向作用	支持
H4e	外部环境的全球科技治理对获取互补资源具有正向作用	支持
H4f	外部环境的全球科技治理对提升竞争力具有正向作用	支持
H5a	外部环境的世界经济一体化对知识流动具有正向作用	支持
H5b	外部环境的世界经济一体化对人才流动具有正向作用	支持
H5c	外部环境的世界经济一体化对资本流动具有正向作用	支持
H5d	外部环境的全球科技治理对知识流动具有正向作用	支持
H5e	外部环境的全球科技治理对人才流动具有正向作用	支持
H5f	外部环境的全球科技治理对资本流动具有正向作用	支持

变量具有一定的中介作用。综上所述,创新合作在自变量和因变量间起到了显著的中介作用。

3.3.3 关系假设的验证

本文通过对样本数据进行验证性因子分析和结构方程建模,对 3D 打印全球创新网络形成与演进的影响因素进行拟合,检验研究假设。从表 14 可以看出,问卷拟合结果很好地支持了研究假设。

4 3D 打印全球创新网络影响机制分析

基于上文对 3D 打印全球创新网络形成与演进影响因素的实证分析,根据路径系数,可以发现在自变量对中介变量的影响中:主体需求的 3 个影响因素对组织创新合作的正向推动作用最强,其次为资源流动 3 个相关影响因素,最后为外部环境的 2 个影响因素,以上结果说明企业的主观需求对组

织创新合作起主导作用,而知识、人才等创新资源的流动对于企业创新合作起到一定的推动作用,外部经济和科技环境对于组织间创新合作有一定促进作用。在自变量对因变量影响中:主体需求的3个影响因素是3D打印全球创新网络形成与演进的根本动力,也是3D打印企业获取经济利益最大化的手段;资源流动3个相关影响因素为3D打印全球创新网络形成与演进提供了现实的条件;外部环境的2个影响因素是3D打印全球创新网络形成与演进的前提条件。鉴于主体需求和资源流动对创新合作和3D打印全球创新网络形成和演进的影响较大,而外部环境主要通过影响主体需求和资源流动对创新合作及网络形成和演进起作用,本文对2类影响因素进行分析如下。

3D打印作为新兴产业,研发过程及产出成果的不确定性较大,技术复杂程度较高,需要投入的创新资源较多,并凸显出一定的全球性特征。若某3D打印企业独立进行研发创新,失败的风险系数极高,甚至超出企业所能承担的程度。因此,通过与其他企业合作并融入3D打印全球创新网络,在更广泛的范围内,研发人员共同攻关,共享创新资源、分摊研发经费,共担科研风险,分享3D打印研发成果,能够提高各3D打印企业研发产出能力,实现3D打印全球创新网络主体互利共赢。同时,全球创新网络开放程度更高,受到技术、人才、资源的限制更少,因此更利于3D打印企业寻找合作伙伴和获取适合本企业的互补资源。企业通过合作创新并融入全球创新网络可实现资源共享,提高资源的使用效率,同时有利于缩短产品研发周期,节约在寻找互补资源方面的投入。另外,提升竞争力是3D打印企业间发生合作的关键动因,促进了3D打印全球创新网络的形成与演进。通过融入3D打印全球创新网络可以共享知识和信息资源,从而提高研发的效率。网络主体间3D打印知识的共享不仅能够提高企业新产品的研发速度,

还可以在知识交换过程中增强自己的技术能力,为未来的3D打印产品研发打下基础。

知识流动使3D打印全球创新网络内资源得到了有效配置和高效使用,3D打印企业通过融网,更容易实现效率目标。使3D打印企业为了获得知识有效共享权利而融入全球创新网络,从而降低创新主体之间的知识梯度,减少知识流动的障碍,提高自身创新能力。可以帮助3D打印企业为建立多样化的网络关系而融入全球创新网络,实现资源互补、互利共赢的战略目标。3D打印人才资源分布在全球创新网络的不同网络主体中,网络主体密切交流、相互联系和相互适应,3D打印人才资源也不断随之发生流动。因此,3D打印人才在运用全球创新网络资源、提升企业素质方面发挥了重要作用,3D打印人才流动在全球创新网络中起到不同网络主体间链接的桥梁作用,促进了企业创新合作,进而促进3D打印全球创新网络形成与演进。资本流动可使3D打印企业为获取多渠道融资而融入全球创新网络。通过资本流动不仅能够提供研发项目所需要的资金,还提供全球市场信息和一定程度的经营管理指导,从而提高3D打印企业的研发成功概率。因此,资本流动促进了组织间创新合作和3D打印全球创新网络的形成与演进。

同时,中介变量的中介作用:在自变量对因变量的影响中,组织创新合作具有显著的正向中介作用,这在一定程度上说明通过组织间广泛开展创新合作,主体间联系增加,创新网络得以形成并不断演进,网络特征也随之变化。因此,创新合作在主体需求、资源流动和外部环境与3D打印全球创新网络形成和演进中起到重要中介作用。自变量间相互影响:外部环境是实现主体需求和资源流动的前提条件,是企业进行创新合作的前提条件,没有全球经济和科技一体化的国际大环境,3D打印全球创新网络难以形成。可见,企业外部环境为通过主体需求和资源流动促进组织进行创新

合作,最终推动3D打印创新网络的形成和演进。

综上所述,3D打印产业全球创新网络形成与演进影响因素表现为:外部环境因素(经济全球化和全球科技治理)是网络形成和演进的前提条件,通过影响网络主体需求和资源流动来影响3D打印企业的创新合作,进而影响3D打印全球创新网络的构建。网络主体需求因素(降低研发风险、获取互补资源和提升竞争力)对3D打印全球创新网络的形成和演进影响最大,是网络形成和演进的根本动力;资源流动因素(知识流动、人才流动和资本流动),是网络形成和演进的推动因素;3类影响因素通过直接影响网络主体创新合作,进而影响3D打印企业间的创新合作关系,最终促使具有不同形态特性的3D打印全球创新网络形成。随着时间推移,3D打印全球创新网络内网络主体合作和交流次数的增加,通过组织学习、知识转移、知识溢出等多种途径提高3D打印全球创新网络整体创新能力;创新网络内3D打印知识水平的提高,又会吸引更多的3D打印企业融入全球创新网络,从而形成新的合作;循环而往复,创新资源丰富和高创新水平的3D打印全球创新网络不断演进,网络特征发生变化,网络规模和密度增大、网络关系稳定增强。

5 政策建议

我国创新全球化进入新的发展阶段,鼓励企业“走出去”参与全球合作与竞争。近些年来企业国际化实践也带来很多切实的益处,例如在国际市场竞争中增强市场经验、接触到国际先进技术、增加国家外汇储备等。但随着全球创新模式发生深刻变化,大国之间的博弈更加激烈,中国企业的创新发展面临重大挑战。全球创新网络可以帮助企业用相对低成本的方式,将散落在世界各个角落的知识资源为己所用,提高技术创新能力。我国中小企业技术基础较差,因而需要政府制定相关的政策措施推动企业融入全球创新网络。因此,立足于我国

3D打印产业发展所处阶段,基于前文所得结论,本文提出推进我国3D打印产业融入全球创新网络的对策建议。

(1) 鼓励国内外3D打印人才自由流动。由3D打印全球创新网络影响因素的实证研究结果表明,人才流动对3D打印企业创新合作,有效融入全球创新网络并带领企业走向成功具有一定促进作用。因此,应鼓励国内外3D打印人才自由流动,通过筛选合格的3D打印技术人才派驻合作方学习,派驻人员除了具备较高的技术能力,还必须熟练掌握外语,只有这样才能将各类知识有效传递给我国企业。3D打印企业可根据不同的学习内容派遣不同的技术人员保证学习效果,定期调换派遣人员,使企业内更多技术人员有学习的机会,加强企业技术储备。

(2) 着力拓宽融资渠道。同时实证结果表明,资本流动促进了3D打印全球创新网络主体互利共赢研发合作的开展,对企业融入全球创新网络具有较大的促进作用,进而促进了全球创新网络的构建和演进,3D打印全球创新网络的良好发展使3D打印企业不断获益。资本的有效流动主要依赖金融机构的参与,金融机构的介入可以与3D打印企业共同承担风险,为网络主体创新注入新的动力,解除参与者的后顾之忧。因此,应着力拓宽融资渠道,采取政策引导和市场化运作结合的方式,吸引相关资金投向3D打印产业,推进设备融资租赁,鼓励符合条件的企业进行直接融资,具体可以从以下3个方面展开工作。

① 稳步推进金融体系的开放与国际化。首先,我国政府应逐渐放开过度管制与干预,运用市场规律对金融市场进行调节。其次,我国政府应当营造透明的法治环境,注意与国际条约、惯例相衔接,构建良性竞争的格局,提供相应的公共服务,尽量减少对金融市场的过度干预与管制。再次,应提高金融市场的国际化程度。

② 引导国际金融机构支持3D打印产业的发展。采取政策引导和市场化运作相结合的方式,引导金融机构支持3D打印产业。

③ 鼓励符合条件的3D打印企业通过境内外上市、发行非金融企业债务融资工具等方式进行直接融资。加大对企业的金融扶持和监管力度,支持符合条件的企业在中小板、创业板及境外公开发行并上市,支持企业利用资本市场开展兼并重组,加强企业兼并重组中的风险监控,完善对重大企业兼并重组交易的管理。

(3) 加强3D打印基础性研究与关键共性技术研发工作。大力加强3D打印基础性研究与关键共性技术研发工作,我国3D打印企业和科研院所可以从以下3个方面进行提升。

① 加强对3D打印技术的基础研究,实现技术

高端突破。协同国家科研计划开展3D打印技术的基础研究。引导和调整创新资源在3D打印技术基础研究和与其他研究间的合理配置。支持和引导3D打印企业加强基础研究。

② 强化3D打印关键共性技术研发,提升3D打印上下游技术水平。强化3D打印关键共性技术研发,提升3D打印上下游技术水平,重点突破高性能材料研发与制备、产品设计优化、高质量高稳定性3D打印装备、高效复合3D打印工艺、微纳结构3D打印等关键共性技术。

③ 加强3D打印创新体系建设,提升科技创新能力和竞争力。加强基础性研究和关键共性技术研发实现高端技术突破需要加强3D打印创新体系建设、完善国家3D打印创新中心运行机制。

参考文献

- 《中国科技发展研究报告》研究组. 2000. 中国科技发展研究报告(2000):科技全球化及中国面临的挑战[M]. 北京:社会科学文献出版社.
- 曾刚,文婷. 2014. 上海浦东信息产业集群的建设[J]. 地理学报, 59(2):59-66.
- 黄新亮. 2015. 世界科技中心转移的三大动力机制探讨[J]. 经济地理, 26(3):434-437.
- 卢艳秋,张公一. 2010. 跨国技术联盟创新网络与合作产业绩效的关系研究[J]. 管理学报, 7(7):1021.
- 马琳,吴金希. 2011. 全球创新网络相关理论回顾及研究前瞻[J]. 自然辩证法研究, (1):109-114.
- 田钢,张永安. 2008. 集群创新网络演化的动力和合作机制研究[J]. 软科学, 22(8):91-96.
- 王灿友,苏秦. 2016. 政策措施对新兴技术演化的影响分析:以3D打印技术为例[J]. 科技进步与对策, 33(6):110-116.
- 邢怀滨,苏竣. 2006. 全球科技治理的权力结构、困境及政策含义[J]. 科学学研究, 24(3):368-373.
- 杨春白雪,曹兴,高远. 2018. 新兴技术“多核心”创新网络结构形成的影响因素研究[J]. 中南大学学报(社会科学版), (1):102-111.
- 臧旭恒,林平. 2006. 现代产业经济学前沿问题研究[M]. 北京:经济科学出版社.
- 张经强. 2013. 国际性技术外溢对北京高技术产业技术创新绩效影响的实证研究[J]. 科技管理研究, 33(4):90-94.
- 张绪英. 2013. 基于全球创新网络的张江生物医药产业发展研究[D]. 上海:华东师范大学.
- 赵婷婷. 2015. 战略性新兴产业研发国际化和创新绩效研究[D]. 湖北:湖北工业大学.
- 郑胜华,池仁勇. 2017. 核心企业合作能力、创新网络与产业协同演化机理研究[J]. 科研管理, 38(6):28-42.
- 郑小勇. 2014. 集群创新网络形成与演进的动因及其作用机制:以绍兴纺织产业集群为例的质性研究[J]. 技术经济, 33(8):26-34.
- Ahuja G. 2000. Collaboration networks, structural holes, and innovation: A longitudinal study[J]. Administrative Science Quarterly, 45(3):425-455.
- Bai X, Liu Y. 2017. Exploring the Asian innovation networks (AINs) characteristics[J]. Information Development, DOI: 10.1177/0266666917724583, <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0266666917724583>.

- Bai X, Liu Y. 2016. Technology resources distribution characteristics of 3D printing: Based on patent bibliometric analysis[J]. *International Journal of Technology Transfer and Commercialization*, 14(2):171-195.
- Baron R M, Kenny D A. 1986. The moderator – mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations[J]. *Journal of personality and social psychology*, 51(6):1173.
- Bouabid H, Paul-Hus A, Larivière V. 2016. Scientific collaboration and high-technology exchanges among BRICS and G-7 countries[J]. *Scientometrics*, 106(3):873-899.
- Cano-Kollmann M, Hannigan T J, Mudambi R. 2017. Global innovation networks-organizations and people[J]. *Journal of International Management*, 9(10):66-132.
- Cooke P. 2017. Complex spaces: Global innovation networks & territorial innovation systems in information & communication technologies[J]. *Journal of Open Innovation Technology Market & Complexity*, 3(1):9-18.
- Ernst D. 2016. Innovation offshoring: Asia's emerging role in global innovation networks[J]. *Economics Study Area Special Reports*, 10(7):6-30.
- Ferriani S, Cattani G, Baden-Fuller C. 2009. The relational antecedents of project-entrepreneurship: Network centrality, team composition and project performance[J]. *Research Policy*, 38(10):1545-1558.
- Gerybadze A, Merk S. 2016. Globalisation of R&D and host-country patenting of multinational corporations in emerging countries[J]. *International Journal of Technology Management*, 64(4):148-179.
- Hassan S U, Haddawy P. 2015. Analyzing knowledge flows of scientific literature through semantic links: A case study in the field of energy[J]. *Scientometrics*, 103(1):33-46.
- Herstad S J, Aslesen H W, Ebersberger B. 2014. On industrial knowledge bases, commercial opportunities and global innovation network linkages[J]. *Research Policy*, 43(3):495-504.
- Kwon K S. 2012. Has globalization strengthened South Korea's national research system? National and international dynamics of the Triple Helix of scientific co-authorship relationships in South Korea[J]. *Scientometrics*, 90(1):163-176.
- Malecki E J. 2017. Connecting local entrepreneurial ecosystems to global innovation networks: Open innovation, double networks and knowledge integration[J]. *International Journal of Entrepreneurship & Innovation Management*, 14(1):36-59.
- Markova Y V, Shmatko N A, Katchanov Y L. 2016. Synchronous international scientific mobility in the space of affiliations: Evidence from Russia[J]. *Springerplus*, 5(1):480-490.
- Zedtwitz M V, Gassmann O. 2002. Market versus technology drive in R&D internationalization: Four different patterns of managing research and development[J]. *Research Policy*, 31(4):569-588.
- Zhang G, Guan J, Liu X. 2014. The impact of small world on patent productivity in China[J]. *Scientometrics*, 98(2):945-960.

Research on Influencing Factors of 3D Printing Global Innovation Network

LIU Yun^{1,2}, WANG Xiaoli^{2,3}, BAI Xu²

(1. School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 2. School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 3. School of Economics and Management, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: Based on multiple theoretical perspectives such as complex systems and social networks, this paper analyzes and identifies influencing factors of 3D printing global innovation network for. Based on relevant models, it constructs a theoretical analysis model of 3D printing global innovation network influencing factors. Based on 271 copies of effective questionnaire data, using structural equation modeling method, it verifies research hypothesis. Finally, based on research results, it analyzes impact mechanism of 3D printing global innovation network formation and evolution. The research results show that external environmental factors are preconditions of formation and evolution for global innovation networks. The external environmental factors affect innovation cooperation of 3D printing enterprises by influencing needs of network entities and flow of innovative resources, and then affect formation and evolution of 3D printing global innovation networks.

Key words: global innovation network; influencing factors; 3D printing production