

·管理科学与工程·

3D打印企业创新生态系统及特征分析

——基于3D Systems和Stratasys的案例研究



□宋艳 王科

[电子科技大学 成都 611731]

[摘要] 3D打印技术是一种革命性的新兴技术,是传统制造技术与数字制造技术的结合,具有独特的创新生态。以全球最大的两家3D打印企业为对象,从价值网络、构成要素、生态位识别和运行机制四个指标对3D打印企业创新生态系统进行案例研究。研究发现:3D打印企业和3D打印原材料商共同构成3D打印企业创新生态系统核心,主导系统内各要素间的协同创新;用户在3D打印企业创新生态系统中享有较高生态位;3D打印企业创新生态系统具有开放的边界。这提醒3D打印企业,应重视开放式创新平台的建设,加强与3D打印原材料商、用户的协同创新。

[关键词] 3D打印;创新生态系统;特征;生态核心;生态位

[中图分类号] F27

[文献标识码] A

[DOI] 10.14071/j.1008-8105(2017)-0004

Analysis on the Innovation Ecosystem and Characteristics of 3D Printing Enterprise ——Case Study on 3D Systems and Stratasys

SONG Yan WANG Ke

(University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 611731 China)

Abstract Nowadays, the 3D printing technology is a revolutionary emerging technology. It combines the traditional manufacturing technology with the digital manufacturing technology, making a distinctive innovation pattern. In this paper, setting two largest global 3D printing enterprises as research objects, this paper makes an exploratory case study about 3D printing enterprise innovation ecosystem based on value network, constituent elements, ecological niche identification and operation mechanism. Through the case study, it finds that the core of 3D printing enterprise innovation ecosystem is made up of 3D printing enterprises and 3D printing material enterprises, which dominate the collaborative innovation among each element in the system. Furthermore, users occupy a relatively high ecological niche in the system. In addition, 3D printing enterprise innovation ecosystem owns an open boundary. These conclusions remind 3D printing companies that they should pay attention to construct open innovation platform and enhance collaborative innovation with 3D material enterprises and users.

Key words 3D printing; innovation ecosystem; characteristics; ecological core; ecological niche

[收稿日期] 2017-05-13

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目“新兴技术‘峡谷’形成机理及跨越研究”(71272130);四川省软科学项目“科技型企业核心技术的创新属性评估研究”(2018ZR0133);成都市科技局软科学项目“科技型初创企业成长路径及培育研究——基于技术生命周期视角”(2015-RK00-00250-ZF)。

[作者简介] 宋艳(1966-)女,博士,电子科技大学经济与管理学院教授;王科(1988-)男,电子科技大学经济与管理学院硕士研究生。

引言

2012年4月,《经济学人》杂志刊文指出“3D打印技术作为一种突破性技术,将引领第三次工业革命的到来”^[1]。2013年3D打印技术被《麻省理工技术评论》评选为最具突破性十大技术之一^[2]。目前在欧美发达国家,3D打印技术已具备一定的市场规模,在汽车家电、航空航天、兵器工业、特种装备等领域有着广泛的应用。近年来,随着政府及企业增加对3D打印技术的资金投入与技术支持,我国3D打印在技术层面和应用层面取得了较大进展,但与发达国家相比,在技术标准、技术水平、产业规模等方面还存在着巨大的差距^[3]。

Weller等提出3D打印技术是传统制造技术与数字制造技术的结合,3D打印的技术原理、所需材料、产品实现方式、产品精细程度及价格等多种因素的复杂交织,相互影响,使得3D打印技术具有动态变化性、多样性、商业环境“全覆盖”性及创造毁灭性等特征^[4]。这些特性使3D打印技术的创新生态具有独特性。创新是企业成长的核心动力,企业创新的成功不仅取决于自身技术的成长,还依赖于创新生态系统的协同机制^[5]。高科技企业因技术标准不同而形成了不同的创新生态系统,最终影响企业创新战略的选择^[6]。因此,研究3D打印企业的创新生态系统,挖掘出它的特点所在,对3D打印企业创新战略决策将有一定的参考价值。本文将采用案例研究的方法来揭示3D打印企业创新生态系统及其特征。

一、文献研究

(一) 3D打印技术特征

国内外学者对3D打印技术特征的前期探索,是本文把握关键问题、选择研究视角、构建理论框架的重要参考。3D打印是一种自下而上、分层叠加的制造方法,一般情况下其制造流程是从“3D打印模型设计”到“3D打印制造”^[7]。Jennifer Lawton认为其创新模式需要在数字价值链的情景下来讨论^[8]。Weller等提出3D打印技术是传统制造技术和数字制造技术的融合,提出了3D打印技术生态系统的基础是价值创造的主要观点^[6]。3D打印技术的实现打破了传统供应链模式,正如Rayna和Striukova提出,3D打印技术独特的模块化创新方式,使得拥有3D打印技术的企业在产品

供应链中可以自由的向上或者向下游走^[9],即纵向扩展性很强。Achillas在研究3D打印技术参与的近岸外包供应链时发现,3D打印技术大大缩短了供应链的长度与供应周期,同时还降低供应链整体的生产成本,提高了近岸外包供应链网络的整体效率^[10]。Nyman等进一步研究也提出,3D打印技术缩短了供应链的长度,产品制造周期将从目前的3阶段缩短为2阶段,并且用户卷入程度显著提高^[11]。Hoskins研究发现,与传统模式下的“消费者”不同,用户可利用3D打印制造技术全程参与产品的研发、设计、生产和分销,不仅是产品的购买者和使用者,还可以成为产品的设计者、生产者,甚至是产品的分销人员,这种社会化制造的属性改变了传统意义上对于消费者参与企业创新的认知模式^[12]。学者Rayna等利用案例研究的方法发现,终端用户(含个人用户与企业用户)在3D打印创新行为中起着重要作用^[13]。由此可见,对于具有新兴技术动态性和复杂性特点的3D打印技术,学者们针对其价值创造、供应链特点以及用户参与方式等有了一定的探索及成果,但并未从创新生态的视角对其特征进行系统地分析总结。

(二) 创新生态系统理论

随着知识经济时代的到来,在全球化背景下,创新生态系统理论揭示了复杂系统创新本质,是研究动态性强、复杂性高的新兴技术产业创新模式的理论工具^[14]。Adner认为创新生态系统的最终目标是实现客户价值,企业与个体或其他行为主体相互联系,从而为客户提供产品或服务并实现价值创造与传递的协同;这一系统能够实现单一组织无法完成的价值共创,并从价值网络、构成要素、平台领导、开放创新,以及协同机制等方面对创新生态系统进行了讨论,在后续研究中,他提出价值共创是联结系统内各要素之间协同创新的纽带,是创新生态系统运行的基础^[15-16]。在此基础上,J. Rabelo, Peter Bernus进一步研究提出,完整的创新生态系统应由五个方面内容构成:基础架构、创新核心、创新参与者、运行机制、生态位识别^[17]。李恒毅所提到的创新生态系统构成要素,包括由创新核心和创新参与者构成的创新主体与其他主体^[14]。吴金希将创新生态系统定义为基于技术、人才、市场、规则、运作模式、文化等创新要素形成的多创新主体联盟,他们之间相互依赖、共生共赢,并具有一定的独立性和稳定性的一种组织体系^[18]。王娜和王毅认为创新生态系统包含外部环境、产业体系、硬件、软件和人才五个要素^[19]。Iansit和Levien在研究商业生态

系统时, 根据核心企业的技术特征以及系统内各要素的协同模式, 将商业生态系统分为“网络核心型”“支配主宰型”“坐收渔利型”三种类型^[20], 这三种类型生态系统的共同特征是, 主导角色往往是单个组织, 或一类具有相同特性的组织集合。以此为基础, 我国的赵放和曾国屏提出了创新生态系统的“中心-外围”模型^[21], 栾永玉在研究高科技

企业创新生态系统时发现, 该系统与自然生态系统类似, 创新生态系统的构成和运行具有生态学特性^[22]。

国内外学者对创新生态系统理论的研究具有一定的深度和广度, 并延展到具有相应特性的行业, 对其生态系统的特征进行分析(如表1), 为本文在研究3D打印企业创新生态系统特征时, 在分析模型构建、研究方法选择上提供相应的指导。

表 1 国内企业创新生态系统特征的相关研究

| 研究对象 | 研究方法 | 分析维度 | 创新生态系统的主要特征 | 研究者 |
|----------|------|---------------|--|-----------------------------|
| 航天复杂产品 | 案例研究 | 价值链核心企业 | 由核心企业-供应商-科研单位三方构成一个微系统; 主要具有“中心-轮辐”式演化特征 | 欧阳桃花(2015)等 ^[23] |
| 中国电动汽车 | 案例研究 | 价值网络核心企业 | 电动汽车创新生态系统分“构建”和“管理”两个阶段, 构建阶段以龙头企业为核心, 注重价值创造; 管理阶段, 系统达到稳态, 系统内各主体价值创造和价值获取并重。 | 陈衍泰(2015)等 ^[24] |
| LCD背光模组 | 实证研究 | 构成要素运行机制 | 创新生态系统的技术依存结构使得集成创新企业自主开发零组件技术比重越高与其研发竞争优势正相关。 | 张利飞(2014)等 ^[25] |
| 高科技企业 | 案例研究 | 价值网络构成要素运行机制 | 高科技企业的生态系统是以高科技企业自身为核心, 并通过技术标准作为联结上下游企业的创新体系。 | 张运生(2009) ^[26] |
| 智能手机操作系统 | 案例研究 | 生态特性 构成要素运行机制 | 解读了创新生态系统的开放式成长基因, 消费者、生产者和分解者围绕核心企业协同创新。 | 吕一博(2015)等 ^[27] |

二、研究设计

(一) 分析模型与研究方法

本文根据已有理论基础和前人的研究成果, 以Adner^[15]和J. Rabelo^[16]构建的创新生态系统的分析指标为基础, 结合国内学者对特定行业创新生态系统特征的分析视角, 构建了本文的分析模型(如图1)。价值网络是创新生态系统的基础, 决定系统的构成要素以及要素间的关系, 要素间复杂的网络关系是创新生态系统运行的基础之一, 而各要素在系统中所处位置和扮演角色的不同直接决定要素不同的生

态位。由此, 价值网络、构成要素、生态位识别和运行机制将是本文的研究起点, 图1所构成的分析模型将是探索3D打印企业创新生态系统及其特征的研究思路及架构。

创新生态系统内各要素的频繁互动和创新环境的动态变化使其具有复杂性、动态性、不确定性等特征^[14], 而案例研究方法则较适用于复杂多变的现实问题(如创新生态系统)的深度研究^[28]。由于3D打印技术的特殊性, 3D打印企业创新生态系统具有很强的动态性和复杂性, 所以本文采用案例研究的方法探索3D打印企业创新生态系统及其特征。

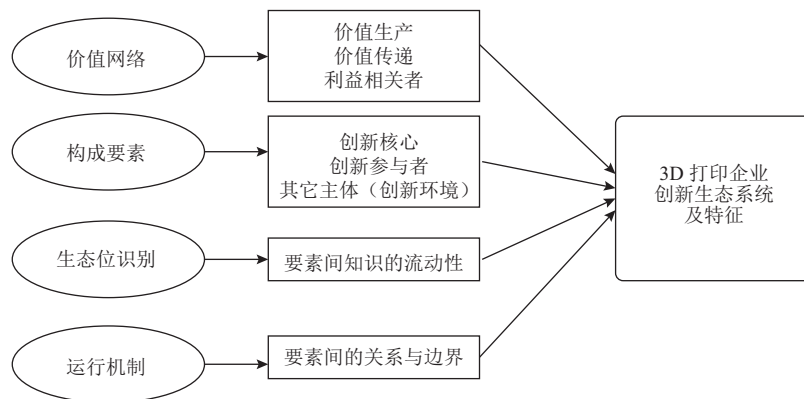


图 1 3D打印企业创新生态系统及特征分析模型

(二) 案例选取

Eisenhardt提出的案例选取原则包括典型性、研究便利性、数据可获取性以及可复制性^[28]。依据此原则, 本文选取了全球最大的两家3D打印公司——

3D Systems和Stratasys作为案例研究对象, 并且他们的业务领域几乎涵盖了目前所有3D打印的相关业务, 研究这两家公司的创新生态可以揭示3D打印技术价值创造和传递模式, 是分析3D打印企业

创新生态系统的代表性案例。Yin指出案例研究要遵从复制法则,即不同的研究人员采用相同的研究设计与数据能获得相同的结果,为了满足复制法则,案例研究多采用多案例研究^[29]。因此,本文遵照复制法则选择了两家不同的公司来进行跨案例信息的对比分析,以确保研究结果的信度和效度;另外,这两家公司均在中国设有分支机构,使本研究的实地调研工作更为方便;加之这两家公司均是上市公司(境外),可以直接获得公司财务年报和重大事项公告等详细资料;而且他们有独立建立的用户社区网站,运行活跃,为运用网络调查获得目标用户数据提供便利性。这些条件都有利于本研究多样化资料的获取和相互比较印证,确保案例研究的可行性和有效性。

(三) 数据收集

Yin提出在案例数据的收集过程中,需要遵循“三角验证”法则,即数据来源必须多样,不同来源的研究数据互为补充、相互印证,有利于提高案例研究信度和效度^[29]。本文从多个不同渠道收集原始数据,包括大量的一手数据和二手数据,保证了研究数据符合“三角验证”法则,增强研究结论的说服力。

一手数据的来源是作者所在团队对研究对象企业国内员工(来自研发、生产、售后部门)的半结构化访谈,以及对2位总部管理人员的邮件访谈,访谈的主要目的是了解3D打印技术的性质及特征,尤其是价值创造和传递模式、协同创新的参与者以及用户的参与程度和方式。二手数据则来自搜索引擎和各种期刊数据库,以及行业报告、公司财报、行业协会刊物《Wohlers Report》,德温特数据库服务平台等。

(四) 数据分析

数据分析采用了Nvivo11软件,首先对所有的访谈记录和其他数据资料按照研究框架进行整理和分类(编码),建立数据库。编码原则是便于对上述研究框架中的四个维度进行数据分析,其中价值网络的编码目的是为了梳理3D打印企业价值生成、价值传递和利益相关者;构成要素的编码目的是为了识别创新核心、创新参与者和其他创新主体;生态位识别的编码目的是探索3D打印企业创新生态各要素间的知识流动;运行机制的编码目的是为了明确3D打印企业创新生态系统各要素之间的关系以及系统的边界。

三、案例研究:代表性企业的创新生态系统及特征分析

(一) 价值网络

3D Systems的主营业务是为客户提供多样化的3D打印机以及相应服务,包括配套的材料、扫描仪、软件及生产制造解决方案等,以及能够嵌入到打印机的附加软件及驱动程序。公司还会与合作企业联合,就快速扫描、设计、制造、安装、维修等提供定制化服务。

Stratasys主营业务包括销售和服务。3D打印设备和耗材是销售的有形产品,基于3D打印技术为客户个性化的生产需求提供解决方案是其服务产品,其中公司随机配套的3D打印设备控制系统是其核心,该系统能够很好地方便客户使用和控制3D打印机。通过收购与自行研发等方式,Stratasys完成了工业级到消费级(也称桌面级)产品线的全覆盖,虽然与3D Systems公司在主营业务上有所重合,但其在工业级打印机打印精度和桌面级打印机的成本控制上所具有的核心竞争力,使其成为了全球第二大3D打印企业。

作为一种特殊的制造技术,3D打印技术的价值实现最终体现在可供用户使用的产品上,如供汽车制造企业使用的模具、个人用户创作的纪念品等。《Whole Report》报告中所提的3D打印产业的价值链是“基础配件→3D打印制造技术→产品设计→产品生产→消费/使用”。依据李垣等对价值网络的定义:利益相关者之间相互影响而形成的价值生成、分配、转移和使用的关系及结构^[30]。沿着这个脉络,我们收集整理了3D Systems和Stratasys价值链上主要利益相关者(表2)。

资料显示,两家3D打印企业的主营业务相似性度高,利益相关者重合显著,而且具有类似价值创造内容和价值传递方式。价值创造的起点均源自于3D打印制造技术,通过提供3D打印设备,配套打印材料及打印控制系统来实现产品初始价值的创造。

3D打印技术发展过程中存在一个重要问题,就是3D打印企业必须尊重和保護其他行业的知识产权,尤其是奢侈品行业,用户通过立体扫描仪配合3D打印机可以比较容易地复制产品,这种行为必须由3D打印企业主导来制定规则加以控制。比如:Stratasys与奢侈品品牌Asher Levine共同设计了一款可由3D打印机实现的墨镜,该墨镜在材料、模型、软件方案方面的专利由双方共同持有,用户

可以在 Stratasys 的子公司——Thingiverse 平台上免费下载模型文件自行打印, 而 Asher Levine 则根据模型文件下载量进行利润分成。因此, 3D 打印企业作为价值分配的规则制定者, 对合作

者之间角色和利益划定了界限, 以保证整个价值网络的良性发展。

基于以上分析, 本文总结 3D 打印技术价值网络如图 2。

表 2 3D Systems 和 Stratasys 价值链利益相关者比较

| 价值生成与传递 | | 3D Systems | Stratasys |
|-----------|-----------|--------------------------------|----------------------------|
| 基础配件 | 传感器, 电机等 | 美蓓亚、三洋电机、日本三社 | 美蓓亚、三洋电机、日本三社 |
| | 3D 打印设备 | 3D Systems | Stratasys |
| 3D 打印制造技术 | 3D 打印原材料 | Arcam、Eos、Hoganas、Sandvik | Arcam、Eos、Hoganas、Sandvik |
| | 3D 打印控制系统 | 3D Systems | Stratasys |
| | 三维扫描 | 3D Camego | Z Corporation |
| 产品设计 | 模型软件 | Makerbot、Autodesk | Makerbot、Autodesk |
| | 辅助设计 | Auto CAD、Simplify 3D、C Ideas | Auto CAD、Ultimaker、C Ideas |
| | 原型打印 | 3D Systems、3D Hubs | Stratasys、3D Hubs |
| | 模具打印 | 3D Systems、3D Hubs、Fast Radius | Stratasys、3D Hubs、Fictiv |
| 产品生产 | 直接制造 | 3D Systems | Stratasys |
| | 合作制造 | 3D Hubs、Proto Labs | 3D Hubs、White Clouds |
| | 定制化生产 | 3D Systems | Stratasys |
| 消费/使用 | 工业级 | 辅助设计、原型打印、模具制造 | 辅助设计、原型打印、模具制造 |
| | 消费级 | 合作制造、定制化生产、直接制造 | 合作制造、定制化生产、直接制造 |

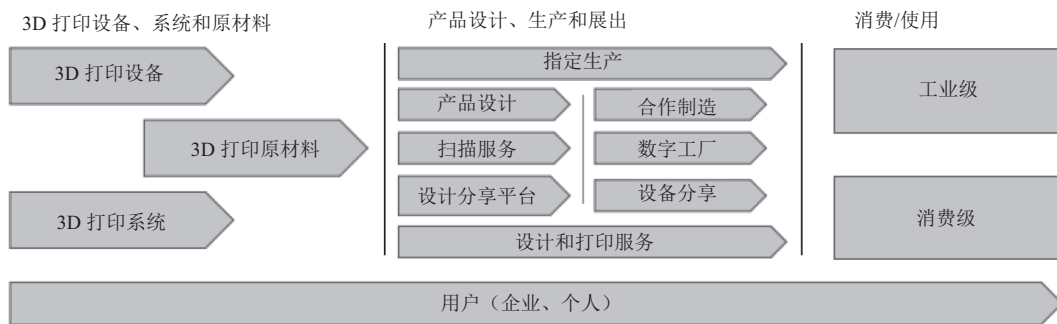


图 2 3D 打印技术价值网络

(二) 构成要素

1. 创新主体

(1) 创新核心

核心企业是指创新生态系统中具有较强协调与应变能力的创新主体, 往往处于系统的核心位置, 影响系统中资源的流动、分配以及整体战略的协同与实施, 主导系统中其他组织或机构的创新活动保证整个创新体系得以生存和发展^[31]。

基于上文可得知, 3D System 与 Stratasys 两家公司的核心业务有三项: 3D 打印机的销售 (包含工业级/消费级); 配套 3D 打印的耗材销售以及设计、生产和服务的定制化解决方案。目前围绕这两家公司的核心业务, 一个相对完整的产业链已经形成, 并且两家企业通过收购和联盟的方式完成了 3D 打印全产业链覆盖。但通过对近年来这两家公

开的国际专利信息分析发现, 他们在 3D 打印设备、工艺生产和控制系统上持有相对集中的专利, 但两家 3D 打印巨头在 3D 打印技术价值链前端的打印原材料上并没有太多专利布局 (如表 3, 表 4)。根据《Wohlers Report》报告显示, 瑞典 Arcam 公司和德国 EOS 公司持有 3D 打印材料领域的大量专利, 他们的市场占有率超过 40%。

通过对两家 3D 打印企业国际专利分类布局的整理, 可以明显看出两家 3D 打印企业都主要在 3D 打印设备制造和 3D 打印成型技术 (即设备控制技术) 上进行布局, 在 3D 打印原材料专利上的布局较少。这表明, 为了完成初始价值创造, 3D 打印企业必须与 3D 打印原材料企业紧密合作。

(2) 创新参与者

除核心企业外, 创新参与者作为创新生态系统

的重要组成部分, 可以为创新核心企业提供互补性知识和创意来源, 通常而言, 高校、科研机构、供应商等合作伙伴是创新生态系统的重要参与者^[14]。

传统制造业的创新过程一般是材料发明→部件制造→产品生产的推动式创新链条, 上游企业的主导作用在整个研发制造过程较为显著, 用户的创意和想法很少能传递到整个生产制造过程中。但对于3D打印技术而言, 用户通常有很高的卷入程度参与到创新过程中来^[11]。3D Systems和Stratasys都建立了各自的网络社区平台, 可以直接面对用户进行沟通交流, 大大激发了他们乐意带着自己的知识、创意和需求, 参与到企业的产品创新过程中, 为此, 这两家不断地推出操作便捷的设计软件, 方便用户的愿望得以轻松实现。这样一来, 用户(尤其是消费级用户)能够全程参与产品设计与制造, 甚至成为产品创新主导者, 自然演变为3D打印技术创新生态系统的核心要素。

表 3 Stratasys的专利布局

| IPC | 释义 | 数量 |
|-------------|------------------------|-----|
| B29C67/00 | 凝结、烧结、聚结、筛分成型技术 | 185 |
| B29C41/02 | 用沉积材料和剥离成型制品的方法制造定长的制品 | 49 |
| G06F19/00 | 专门适用于特定应用的数字计算或数据处理 | 31 |
| B29C47/92 | 挤出成型设备的测量、控制或调节方法 | 28 |
| B29C41/36 | 将材料送进模型、型芯或其他基底上 | 27 |
| B29C41/52 | 涂覆成型设备的测量、控制或调节方法 | 27 |
| G06F17/50 | 计算机辅助设计 | 24 |
| G05B19/4099 | 表面或曲线机械加工, 制程3D物品 | 22 |
| B29C47/00 | 挤出成型的方法和设备 | 18 |
| B29C45/00 | 注射成型的方法和设备 | 16 |

表 4 3D Systems的专利布局

| IPC | 释义 | 数量 |
|-------------|---------------------------|-----|
| B29C67/00 | 凝结、烧结、聚结、筛分成型技术 | 185 |
| B29C41/02 | 用沉积材料和剥离成型制品的方法制造定长的制品 | 135 |
| G06F19/00 | 专门适用于特定应用的数字计算或数据处理的设备或方法 | 91 |
| B29C35/08 | 通过波动能量或粒子辐射进行注塑成型 | 34 |
| G03F7/00 | 图纹面照相制版工艺、材料和设备 | 31 |
| B29C41/12 | 在基底上铺开材料 | 27 |
| B29C41/52 | 涂覆成型设备的测量、控制或调节方法 | 25 |
| B29C41/36 | 将材料送进模型、型芯或其他基底上 | 21 |
| G05B19/4099 | 表面或曲线机械加工, 制程3D物品 | 19 |
| B29C35/04 | 使用液体、气体或蒸汽进行注塑成型 | 17 |

2. 其他主体

创新支持机构、创新环境等其他要素同样是创

新生态系统的必要组成。创新支持机构一般指政府、金融机构、风险投资机构、科技中介等, 他们是创新生态系统中的协调角色, 对创新主体起到支持性、辅助性作用; 而创新环境则主要指政府的创新政策以及企业所处区域的创新氛围等因素^[32]。

(三) 生态位识别

创新生态系统具有生态学特性, 各构成要素由于自身资源和能力的限制, 导致在系统中所承担的角色不同, 对系统运行重要程度也有所不同, 这种差异决定各要素在创新生态系统中具有不同的生态位^[33]。关于企业生态位的识别过程, Marco Iansiti和Roy Levien认为商业生态系统的“创新动态能力”和“网络关系复杂程度”是决定“生态位”的主要影响因素^[20], 其中创新动态能力主要指企业共享知识的行为和吸收知识的能力, 是一种整合、建立和重新配置内、外部能力来适应快速变动环境的能力; 网络关系复杂程度则反映要素之间相互交往的频率^[34]。3D打印企业创新生态系统具有一定的特殊性, 其动态性和复杂性比传统产业生态系统更强, 系统内部各要素之间的交互活动更为频繁, 各要素的生态位高低差异性不是很显著, 但趋于创新生态系统中心位置的明显是那些创新动态能力强、网络关系复杂程度高的要素, 他们在生态系统中享有较高位置。

企业对于知识的获取与吸收是决定企业创新动态能力的重要因素, 而企业与外部的知识流动是企业内部知识存量的重要来源, 这种知识流动一定程度上揭示了企业的网络关系^[35]。因此通过分析3D打印技术知识的流动性, 我们可以对创新动态能力与网络关系复杂程度进行衡量, 从而识别出3D打印企业生态系统内各要素的生态位。因此, 我们以“要素分类→知识流动关系编码→二值化→网络关系分析”为流程, 借助UCINET软件对3D打印技术知识流动网络关系进行了可视化分析(如图3所示)。可以一定程度展示出3D打印企业生态系统内各要素的知识共享行为。

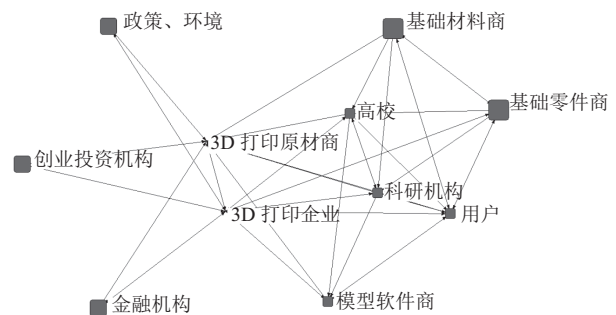


图 3 3D打印技术知识流动网络

图中的指向节点反应的是一种从外部获取知识的行为,可以代表知识流来表征该节点的创新动态能力;与外部进行知识共享的程度可以用链接各节点线条表示,围绕节点线条数可以反映该节点的网络关系复杂程度。由此,本文依据创新动态能力和网络关系复杂程度结果对各要素的出入度、中心度进行了分析(如表5),其结果显示在创新生态系统中,最具创新动态能力和网络关系复杂程度最高的是3D打印企业和3D打印原材料商,用户次之。于是,我们对3D打印企业创新生态系统各要素的生态位做出如下识别:(1)享有最高生态位的是3D打印企业和原材料商,他们在创新生态系统中起主导作用;(2)处在第二高生态位的用户,他们对系统运行有着重要的影响;(3)位于生态位第三层级的则是模型软件企业、科研机构、高校和其他合作伙伴等创新参与者;(4)处于生态位最低级别的是金融机构等创新辅助机构。

表5 3D打印企业创新生态系统技术知识网络中心度

| 构成要素 | 入度 | 出度 | 中心度 | 相对中心度 |
|----------|----|----|-----|--------|
| 3D打印企业 | 10 | 10 | 10 | 90.909 |
| 3D打印原材料商 | 10 | 10 | 10 | 90.909 |
| 用户 | 6 | 6 | 6 | 54.545 |
| 高校 | 5 | 5 | 5 | 45.455 |
| 科研机构 | 5 | 5 | 5 | 45.455 |
| 模型软件商 | 5 | 5 | 5 | 45.455 |
| 基础零件商 | 4 | 4 | 4 | 36.364 |
| 基础材料商 | 3 | 3 | 3 | 27.273 |
| 金融机构 | 2 | 2 | 2 | 18.182 |
| 创业投资机构 | 2 | 2 | 2 | 18.182 |
| 政策环境 | 2 | 2 | 2 | 18.182 |

(四) 运行机制

在高科技企业创新生态系统中,核心企业通常成为创新平台,众多的上游、下游、横向纵向等的合作伙伴围绕核心企业的价值创造开发一系列的补充性或配套技术,而企业创新生态系统的边界往往由横向配套与纵向补充的深度与广度来决定^[36]。本案例中,3D Systems和Stratasys公司,加上3D打印材料企业显然形成了核心,围绕这个核心吸引了一系列的配套性及补充性企业加入并成为合作伙伴,包括基础原材料供应、打印机零配件供应、应用软件开发、产品设计与生产,以及相关服务等。合作伙伴研发的补充或配套技术不仅推进了核心企业的技术创新,同时也拉动了用户的需求,促进了整个产业链的效率提升和健康成长。比如,IBM围绕Stratasys公司的3D打印设备开发出了一种控制技

术,帮助Stratays公司将其3D打印机(消费级)价格控制在5000美元以下,大大促进了3D打印机在消费市场的应用速度。再如,3D Systems针对企业级和消费级用户分别设立了网络社区,板块内容包含创意分享、改进建议和成果展示等,并有专业回复及互动交流,从而吸引了众多用户的深度参与,用户不仅能够通过3D打印企业实现自己的创新设想,打印出心仪的产品,企业也能最直接采集到用户的知识和信息,有效地实现分享和共创模式。

3D打印技术对制造过程中的材料、设备、工艺等变化极其敏感,是一种高精度的制造技术,要求合作伙伴在共同开发新技术的过程中,必须有良好的沟通以保持共识与协同。比如,Stratasys与美国罗切斯特大学、波士顿大学及东北大学共同组建了一个研究中心,这个中心的任务不仅是围绕3D打印技术开展一系列的研究,更重要的是合作者之间的数据共享,他们任何一方的实验数据与研究进展都会按统一的标准实时更新且完全开放,大大促进了各自研究开展和开发进程。这需要合作伙伴之间极高的相互信任程度以及开放程度。

3D打印技术对系统的兼容性有更高的要求,其兼容性和纵向可拓展性决定了以3D打印企业和3D打印材料商为主导的创新生态系统必须实施开放式创新,才能吸引更多的配套企业加入,且参与者之间的边界相对模糊,动态流动特性明显;同时,3D打印创新生态系统的价值共创引导3D打印企业和众多横向配套企业也必须通过彼此的开放式创新来实现用户价值的最大化;另外一点则是3D打印技术生态系统的价值提升必须体现在用户的深度参与上。这些特性决定了3D打印企业创新生态系统的运行机制必须是开放式创新,并且系统内部和外部都没有明显的边界。

(五) 创新生态系统特征的分析与讨论

通过对3D Systems和Stratasys比较后发现,两者在产品价值实现手段和传递方式上有较多的共同点,由此本文认为两者有类似的价值网络框架。依据已有创新生态系统理论,价值网络属于创新生态系统的基础架构,系统内各要素以价值网络为基础交互创新。作为创新生态系统基础的变量“价值网络”决定创新生态系统的另外三个变量“构成要素”“生态位识别”以及“运行机制”。通过对“构成要素”“生态位决策”和“运行机制”探索性研究后,本文发现与传统的创新生态系统相比,3D打印企业创新生态系统有以下三个明显特征。

(1) 处于3D打印技术价值网络的最前端的材料厂

商与3D打印企业共同形成3D打印企业生态系统的核心,享有最高生态位,在系统中联合起着主导作用;(2)用户作为系统中的关键要素,享有较高生态位,他们不仅全程参与3D打印产品的创新过程(包括研发、设计和生产、销售等),还在3D打印价值链整体的协同创新上起着重要作用;(3)以3D打印企业与用户参与构建的价值基础,可吸纳众多行业的合作伙伴的主动加入,共同组成一个开放性的创新生态系统,且各要素可以进行直接的交互及协同创新。另外,创新支持机构,如高校、科研机构等,以及创新环境对3D打印企业创新生态系统的运行起着支持作用。

我们发现不管是国外学者所提的“网络核心型”,还是国内学者所提的“中心-外围”型创新生态系统都不能完整的刻画3D打印企业创新生态系统。基于以上分析,本文提出3D打印技术的创新生态系统如图4所示,分为四个层次:(1)核心企业层:包含3D打印企业和3D打印原材料商,二者联合主导3D打印技术的创新活动;(2)用户层:包括个人及企业用户,他们直接参与产品创新全过程,对系统的影响极其重要;(3)重要参与层:高校以及科研机构对系统创新起着重要的作用,同时,模型软件和基础配件的技术进步对3D打印技术创新不容忽视;(4)外围支撑层:包含政策、市场及创新环境等,对系统有着重要的支持作用。

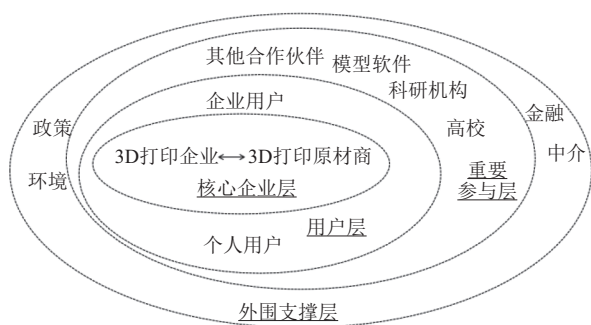


图4 3D打印企业创新生态系统及其特征

四、研究启示与展望

本研究在经典的创新生态系统理论上,以全球最大的两家3D打印企业为研究对象,对3D打印企业创新生态系统就价值网络、构成要素、生态位识别和运行机制四个变量进行局部探索性案例研究,研究发现3D打印企业创新生态系统有三个明显的特征。这提醒3D打印企业,在进行协同创新活动时,除了要加强与高校、科研机构、其他合作

伙伴的合作外,应吸纳更多合作伙伴进行开放式创新,还应关注用户,注重与用户的协同创新,更应重视与3D打印原材料企业的合作。例如可以与3D打印原材料企业签署战略合作协议,与3D打印材料企业资源共享等;还可以向3D Systems学习,基于网络社群构建与用户良好的沟通平台。

本文的不足之处在于研究手段单一,仅以案例研究的方法来探索3D打印企业创新生态系统及其特征。本文的研究对象是3D Systems和Stratasys,由于这两家公司是当今全球3D打印产业的领导者,产业链覆盖全面,研究结论是否适合那些专业性较强的中小型3D打印企业,需要进一步放大样本进行更科学的实证研究。但本文的结论对3D打印企业及即将进入这个产业的企业在自身生态位定位、协同创新伙伴选择、创新战略决策等方面提供了有益的参考与借鉴。

另外,本文强调了原材料商和用户在3D打印生态系统中的重要性,但未对其影响程度进行深入研究,后续将进一步采用量化的方法进行探讨,比如:对何种用户?怎样影响等都是有意义的问题。再有,本文仅研究了3D打印企业的创新生态系统,其他代表性的新兴技术创新生态系统也是丰富该领域理论的一个方向。最后,本研究从领导者企业的视角研究创新生态系统,后续研究中,将针对创新生态系统中用户与核心企业之间的交互作用机制做深入挖掘。

参考文献

- [1] BERMAN B. 3D printing: The new industrial revolution[J]. Business Horizons, 2012, 55(2): 155-162.
- [2] ASSOCIATION M A, PUBLISHING E. MIT's technology review[EB/OL]. [2017-05-01]. <http://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/ea/node/18738652>.
- [3] 郭继周, 邓启文. 我国3D打印技术发展现状及环境分析[J]. 国防科技, 2015, 36(3): 35-39.
- [4] WELLER C, KLEER R, PILLER F T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited[J]. International Journal of production Economics, 2015, 164(1): 43-56.
- [5] 李恒毅. 技术创新生态系统协同发展研究[D]. 长沙: 中南大学, 2014.
- [6] 张运生. 高科技产业创新生态系统耦合战略研究[J]. 中国软科学, 2009(1): 134-143.
- [7] 李小丽, 马剑雄, 李萍, 等. 3D打印技术及应用趋势[J]. 自动化仪表, 2014, 35(1): 1-5.
- [8] LAWTON J. General Information and Advice[J].

Funct.anal.approx.comput, 2015(1): 85-93.

[9] RAYNA T, STRIUKOVA L, DARLINGTON J. Open Innovation, Co-Creation and Mass Customisation: What Role for 3D Printing Platforms?[C]. Proceedings of the 7th World Conference on Mass Customization, Personalization, and Co-Creation, 2014: 425-435.

[10] ACHILLAS C, AIDONIS D, IAKOVOU E, et al. A methodological framework for the inclusion of modern additive manufacturing into the production portfolio of a focused factory[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2014, 37: 328-339.

[11] NYMAN H J, SARLIN P. From Bits to Atoms: 3D Printing in the Context of Supply Chain Strategies[C]. Waikoloa: Hawaii International Conference on System Sciences, 2014: 4190-4199.

[12] HOSKINS S. 3D Printing for Artists, Designers and Makers[M]. London: Bloomsbury Publishing, 2013.

[13] RAYNA T, STRIUKOVA L, DARLINGTON J. Co-creation and user innovation: The role of online 3D printing platforms[J]. Journal of Engineering and Technology Management, 2015, 37: 90-102.

[14] 李恒毅, 宋娟. 新技术创新生态系统资源整合及其演化关系的案例研究[J]. 中国软科学, 2014(6): 129-141.

[15] ADNER R. Match your innovation strategy to your innovation ecosystem[J]. Harvard Business Review, 2006, 84(4): 98-107.

[16] ADNER R, KAPOOR R. Value creation in innovation ecosystems: how the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations[J]. Strategic Management Journal, 2010, 31(3): 306-333.

[17] RABELO R J, BERNUS P. A Holistic Model of Building Innovation Ecosystems[J]. IFAC-PapersOnLine, 2015, 28(3): 2250-2257.

[18] 吴金希. 创新生态体系的内涵、特征及其政策含义[J]. 科学学研究, 2014, 32(1): 44-51.

[19] 王娜, 王毅. 产业创新生态系统组成要素及内部一致模型研究[J]. 中国科技论坛, 2013, 1(5): 24-29.

[20] IANSITI M, LEVIEN R. The Keystone Advantage: What the New Dynamics of Business Ecosystems Mean for Strategy, Innovation, and Sustainability[J]. Future Survey,

2004, 20(2): 88-90.

[21] 赵放, 曾国屏. 多重视角下的创新生态系统[J]. 科学学研究, 2014, 32(12): 1781-1788.

[22] 栾永玉. 高科技企业跨国创新生态系统: 结构、形成、特征[J]. 财经理论与实践, 2007, 28(5): 113-116.

[23] 欧阳桃花, 胡京波, 李洋, 等. DFH小卫星复杂产品创新生态系统的动态演化研究: 战略逻辑和组织合作适配性视角[J]. 管理学报, 2015, 12(4): 546-557.

[24] 陈衍泰, 孟媛媛, 张露嘉, 等. 产业创新生态系统的价值创造和获取机制分析——基于中国电动汽车的跨案例分析[J]. 科研管理, 2015(s1): 68-75.

[25] 张利飞, 吕晓思, 张运生. 创新生态系统技术依存结构对企业集成创新竞争优势的影响研究[J]. 管理学报, 2014, 11(2): 229-237.

[26] 张运生, 郑航. 高科技企业创新生态系统风险评价研究[J]. 科技管理研究, 2009, 29(7): 7-10.

[27] 吕一博, 蓝清, 韩少杰. 开放式创新生态系统的成长基因——基于iOS、Android和Symbian的多案例研究[J]. 中国工业经济, 2015(5): 148-160.

[28] EISENHARDT K M. Building Theories from Case Study Research[J]. Academy of Management Review, 1989, 14(4): 532-550.

[29] YIN R K. Case Study Research: Design and Methods[M]. 2nd ed. Thousand oaks: Sage Publications, 1994

[30] 李垣, 刘益. 基于价值创造的价值网络管理: 特点与形成[J]. 管理工程学报, 2001, 15(4): 38-41.

[31] 钱堃, 鲍晓娜, 王鹏. 核心企业主导的创新生态系统新能力开发: 一个嵌入式单案例研究的发现[J]. 科技进步与对策, 2016, 33(9): 53-61.

[32] 赵广凤, 马志强, 朱永跃. 高校创新生态系统构建及运行机制[J]. 中国科技论坛, 2017(1): 40-46.

[33] 纪秋颖, 林健. 高校生态位及其评价方法研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2006, 27(8): 93-96.

[34] 张运生. 高科技企业创新生态系统风险产生机理探究[J]. 科学学研究, 2009, 27(6): 925-931.

[35] 辛晴, 杨蕙馨. 知识网络如何影响企业创新——动态能力视角的实证研究[J]. 研究与发展管理, 2012, 24(6): 12-22.

[36] 张运生. 高科技企业创新生态系统边界与结构解析[J]. 软科学, 2008, 22(11): 95-97.

编辑 张莉