

数字瞪羚企业创新生态系统的构建与优化

——以福建省为例

张惠萍, 奚晓军, 程水红

(闽南师范大学商学院, 福建漳州 363000)

摘要: 在分析福建省瞪羚企业发展概况的基础上, 从创新能力、科研环境、要素协同、区位发展 4 个维度设计了 19 个变量探析创新生态系统, 将其影响因素量化。通过 LASSO 回归和弹性网回归筛选出 6 个变量, 纳入随机森林进行实证分析。根据重要性程度大小对影响因素排序, 依次是发明人数、人力资本、实用新型和外观设计专利数、专利被引数、技术相关性、市场规模。最后, 提出挖掘创新主体潜力和活力、完善创新平台建设、优化人力资本结构、改善创新创业环境等政策建议。

关键词: 数字瞪羚企业; 创新生态系统; 随机森林; 创新能力

中图分类号: F273.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)04-0255-10

瞪羚企业通常指通过技术和商业模式创新在初创之后较短时间内就实现业绩快速增长的中小企业。一个地区的瞪羚企业数量越多, 表明该区域的创新活力越强, 发展速度越快, 因此区域内瞪羚企业数量成为高成长性企业发展的风向标。福建省瞪羚企业的遴选是面向软件与信息技术服务业、新一代信息技术产业、电子信息制造业、制造业融合业态、服务业融合业态、农业融合业态等六类数字经济相关领域, 因此, 将这些企业称之为数字瞪羚企业。

瞪羚企业是区域经济发展中开辟新领域、新产业的生力军, 是科技企业中重要的后备力量。截至 2023 年, 福建省数字经济增加值突破 2.9 万亿元, 贡献率超过 53%^[1]。瞪羚企业虽然个头和规模不大, 但是跳得高、跑得快、潜力大, 在众多细分行业崭露头角, 它们快速发展的背后是否有独特的“成长密码”? 这类企业成立时间较短, 一般不超过 10 年, 拥有国际或国内领先的技术水平或代表产品, 具备“专、精、特、新”的特征, 能否维持技术优势继续保持高速增长? 瞪羚企业的创新生态系统是如何运转的? 分析这些问题对于相关部门制定创新发展战略, 扶持高成长性企业发展, 有着一定的借

鉴价值。培育和扶持数字瞪羚企业的发展, 开拓新产业新业态新模式, 对于福建省赋能数字企业产业化, 推进实体经济转型升级, 建设国家数字经济创新发展试验区有着重要的意义。

1 文献综述

创新生态系统是指区域内产业主体与科研环境、经营环境、经济发展环境相互依赖、共生共荣的支持体系, 如同一个生态系统, 各类组织协同创新、合作共赢而形成的创新网络。在 Moore^[2] 和 Adner^[3] 分别提出商业生态系统和创新生态系统后, 国内外学者在企业创新生态系统领域开展了一系列研究。梅亮等^[4] 发现企业越来越依赖其所处的创新生态系统来获得竞争优势, 这个系统作为市场与组织的中间层次, 已经成为创新理论研究范式的新方向。创新生态系统是促进跨领域知识融合的重要组织载体^[5]。

1.1 创新能力与创新生态系统的相关研究

在创新生态系统中, 企业自身创新能力成为重中之重, 技术是其核心竞争力。陈斯琴^[6] 分析比较了企业可持续成长与企业成长的关系, 并以无线通信技术企业华为为例, 以企业可持续成长与技术创新相关性的视角, 从“量”“质”两个维度分析技术创

收稿日期: 2024-09-02

作者简介: 张惠萍(1972—)女, 福建南靖人, 博士, 教授, 研究方向为区域创新与产业发展; 奚晓军(1978—), 男, 吉林九台人, 博士, 讲师, 研究方向为机器学习和深度学习; 程水红(1981—), 女, 湖北英山人, 博士, 副教授, 研究方向为宏观经济调控与实践。

新对企业可持续成长的影响。张运生^[7]从高科技企业创新生态系统的形成演进机制入手,对创新耦合机制、风险识别机制等方面进行了较为系统、深入的研究;孙卫东^[8]从生态学视角构建创新生态系统。黄勃等^[9]认为数字技术创新是我国企业高质量发展的重要驱动因素。李天柱等^[10]则认为创新生态系统是关键核心技术突破的载体,在创新生态系统演化情境下,国内赶超者实施关键核心技术突破通常经历发展创新生态系统、逆向突破、生态化创新三个主要阶段,研究揭示了创新生态系统演化与关键核心技术突破之间相互影响的关系。李鑫等^[11]研究发现生态创新网络包括政府、大学和企业三类主体,三者生态创新领域的螺旋交互形成正向的生态创新格局,具有生态化、开放性、动态性、高效率的特征。

1.2 关联度和复杂度促进区域技术演化和创新的相关研究

技术关联度和复杂度是区域技术演化的重要驱动力,对地区产业发展有显著的促进作用。二者同时影响区域技术演化,促进区域增长^[12]。在企业层面,关联性强调企业间自身知识基础相似性与搜索接受外部知识的能力。David^[13]对美国的技术相关性进行研究,发现如果区域内某类新技术与美国大都市区现有的技术存在相关性,则该地区发展出这类新技术的概率更高。马双等^[14]研究地级市技术关联性和复杂度的时空演化特征,发现新技术的本地关联度越高,就越有可能进入该地区,技术关联性有利于该区域引进新技术并促进当地经济增长。金泽润和朱晟君^[15]基于企业专利证实关联度的提升和复杂度的降低,都有利于城市引入该种专利技术,且关联度的越高,城市较易吸收与其相关的较复杂技术,将其发展为优势技术,促进产业升级。

继 Feigenbau 和 Simon^[16]之后,复杂性被理解为技术数量构成以及这些技术之间的相互依赖程度。产品技术复杂度越高,其知识扩散越依赖认知邻近性^[17]。Balland 和 Rigby^[18]研究美国专利复杂度的分布特征以及复杂知识的空间流动特征,他们使用专利数据来绘制美国 1976—2005 年的技术复杂性地图,发现复杂度高的知识大多产生于经济发达的少数大都市区。冉征和郑江淮^[19]认为专利结构是一个地区创新能力的外在表现,他们构造了专利空间来表示地区专利结构,将技术复杂度作为地区创新能力的代理变量。创新能力强的地区可以

覆盖更多、更广的技术领域,尤其是可以涉及其他地区可能无法进行研发的、复杂度高的技术领域,从而占据技术优势。

1.3 科研环境激发创新潜能的相关研究

瞪羚企业的技术进步离不开科研环境的哺育,科研环境在促进知识溢出激发创新潜能方面也发挥重要作用。张林和赵乾安^[20]将参与创新活动的行为主体作为区域创新系统的要素,将个人、企业、各类中介组织、大专院校、研究机构和地方政府纳入系统中,但各主体的创新地位不一样。大学和科研机构知识溢出有利于创新,他们的人力资本要素也成为私人部门研发和高技术生产的重要区位因子^[21]。丁雪辰和柳卸林^[22]认为大学、衍生企业自身和其他主体参与技术创新活动,在各类主体协同创新的过程中,中科院研究院所对技术衍生企业创业绩效产生正向的影响。在创新生态系统要素互动中,科研组织源源不断地为政府和企业输送高素质技术创新人才和提供重要的科研创新成果,并随时将新兴的碎片化知识“嵌入”任何主体,以满足知识经济和社会需求,从而在创新系统中承担起提高国际竞争力和支撑企业技术创新需求的责任。

1.4 要素协同与高成长性企业创新动力的相关研究

要素集聚和流动将促进产业合理化分工,并推动区域创新能力和竞争力整体提升。劳动力投入、工资水平、土地成本、企业年龄等因素都影响着高成长性企业的区位选择与技术创新。梁彦清和弓晓玉^[23]认为企业协同创新是多种要素共同作用的结果,要强化要素协同,推进高技术企业协同创新要素互动与流通。陈承凯^[24]认为经济贸易全球化、创新速度加快、知识型人才流动、市场环境的变化这些环境动态化因素影响着高新技术企业动态竞争与成长。汪蕾和张剑虎^[25]研究新三板中的瞪羚企业发现,瞪羚企业认定显著增加了企业人力投入,且人力投入渠道存在显著中介效应,意味着瞪羚企业通过人力投入提升企业创新质量;同时,瞪羚企业认定有助于增加政府补助额和企业吸收外部投资额。人力资本集聚的区域,溢出效应显著,方便企业获取知识并进行创新活动,促进企业创新能力提升,提高该区域创新水平^[26]。例如,中关村的瞪羚企业具有人才资源、创新创业文化融资、创业孵化网络、政策支持等环境优势,因此,成长速度较快^[27]。张晶等^[28]认为企业年龄对基于平台的创新生态系统与新创企业创新绩效间起倒 U 形调节

作用,对基于产品的创新生态系统与新创企业创新绩效间起正向调节作用。

1.5 区域发展水平与企业创新系统的相关研究

区域的经济发展水平、交通便利性、市场规模、经济活跃度、区位条件等特征也会影响高成长性企业的区位选择。交通作为连接生产和消费的基础环节,在构建国内国际双循环的新发展格局下,是扩大循环规模,提高循环效率的重要依托^[29],高技术产业创新长期有利于经济增长^[30]。研究表明,交通基础设施较完备的区域,交通便利性加强,经济活动活跃度上升,企业的交易行为变得更频繁,因此,交通便利性有助于企业在市场中获得竞争优势,产生区位优势,使更多的企业进驻这个区域,区位优势有助于推动城市服务业的发展^[31]。在更多企业进入市场后,市场边界不断扩大,有利于企业集中布点设厂生产,产生规模经济效应。市场容纳程度越高,对企业的吸引力越大,制造业在选址布点时会更倾向于在空间上进一步集中^[32]。一般来说,人口密度大的区域,市场规模较大^[33]。

2 构建创新生态系统的理论分析与前提假设

如图1所示,自主创新能力居于创新生态系统的核心位置,知识的关联度和复杂度提升创新能力促进技术演化的重要途径。科研环境是创新能力提升的内部驱动力,而要素协同与区位发展是创新能力提升的外部驱动力。其中,人力资本、工资水平、土地成本、企业年龄是要素协同的4个因子。

2.1 自主创新能力是创新生态系统的第一驱动力

构建创新生态系统持续运转的关键是提升企业的自主创新能力。具备自主创新能力的高成长性企业,能够实现突破式创新,产出新的科技成果,激发整个创新系统的活力。同时,可能引领技术进步,推动其所处行业的发展,促进社会的科技进步。此外,还将带动其他同行业公司积极参与,形成协同创新的良好局面,创造积极创新的氛围。自主创新能力强的企业能较快地实现科研成果的转化,从而提高创新生态系统的整体效能。

2.2 关联度和复杂度推动了技术演化和创新效率提升

知识关联度上升有助于各个创新主体之间的知识融合与共享,加速创新的进程。知识关联度强也意味着成员间的知识互补性提高,有助于各个主体形成更加紧密的创新联盟。通过协同工作,共同解决复杂问题,提升创新效率。知识复杂度提高,

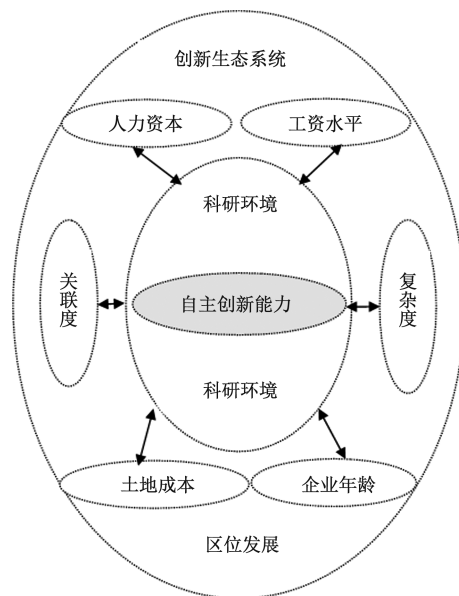


图1 创新生态系统构成

为创新提供了更多可能性,因为复杂的知识体系往往蕴含未被充分挖掘的创新潜力。面对知识复杂度,创新生态系统中的成员需要不断进行技术研发和知识积累,以应对挑战。这一过程不仅促进了技术的进步,还有助于推动相关产业的升级和转型。

2.3 科研环境有利于创新主体之间的知识共享

良好的科研环境为企业提供更先进的科研基础设施、开放的学术氛围,能够激发主体的创新潜能,从而为创新生态系统注入源源不断的活力。在这样的环境里,人才、资金、设备之间的匹配度可能更合理,资源的配置效率更高。知识的共享、溢出使创新主体间的交流更频繁和顺畅,有助于加速知识的产生和扩散,提高知识创新系统的运行效率。此外,在开放、包容的科研环境中,还有助于塑造和谐、向上的创新文化和氛围,有利于提升创新生态系统的稳定性。

2.4 要素集聚与流动促进区域创新能力提升

要素集聚使得创新活动所需的人才、资金、技术、信息等资源在区域内集中,为创新活动提供良好的条件和动能。要素的流动促进创新主体之间的交流与合作,形成协同创新的网络,共同推动创新生态系统的发展。要素的流动还可能使创新成果更快地得到推广和转化,集聚到一定程度后,要素的累积效应可能使该区域成为创新高地。这些高地还将带动周边地区的创新发展,呈现辐射效应。此外,要素的流入与流出,使创新生态系统中各要素得到调整和优化,从而持续健康地发展。

2.5 区域发展水平与创新生态系统相辅相成

区域发展水平较高的地区往往能够投入更多的研发经费、配置先进的科研设施,吸引和培育高端人才,从而推动创新生态系统的发展。该区域也将吸引更多高校、高科技企业、新型研发机构等创新主体,产生集聚效应。区域发展水平提升,也会使创新生态系统更成熟、更完善,二者相辅相成。此外,还可能通过跨区域的合作与资源共享,提高创新成果的质量,使创新生态系统更加稳定和高效。

综上所述,提出以下假设。

H1:自主创新能力提高了创新生态系统的整体效能;

H2:关联度和复杂度蕴含创新动能,促进技术进步;

H3:科研环境通过知识溢出提高创新效率;

H4:要素协同创新使创新生态系统得到调整与优化;

H5:区域发展水平与创新生态系统相辅相成。

3 福建省瞪羚企业发展概况

2021年国家统计局发布了《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》,根据这个分类,福建省从该分类里的数字经济核心产业中遴选出2020—2023年的瞪羚企业491家,从主营业务收入的不同规模来看,近三年营业收入平均增长率在10%~20%。

3.1 福建省瞪羚企业成立时间分析

将福建省瞪羚企业成立时间绘制成折线图

(图2)。由图2可知,2020—2023年福建省瞪羚企业成立时间均集中在3~8年,占比均超过70%。首批认证的瞪羚企业成立时间集中在5~13年,到第四批认证的时候,成立时间集中在3~9年,由此可见,瞪羚企业呈现年轻化的发展态势。

3.2 福建省瞪羚企业行业类型结构分析

参照《国民经济行业分类》标准,选取国标行业门类标准对瞪羚企业行业类型进行分类,并绘制各行业瞪羚企业比例分布如图3所示,信息传输、软件和信息技术服务业所占比例最高,高达55.4%;其次为科学研究和技术服务业,占比26.5%;制造业占比为11.8%,在这4年中,信息传输、软件和信息技术服务业、科学研究和技术服务业以及制造业这3类行业的瞪羚企业数量远远领先,以上行业占比总和均在90%以上,其行业分布结构较为稳定。同时,瞪羚企业行业类型不断丰富,2021年增加交通运输、仓储和邮政业,2022年增加金融业,2023年新

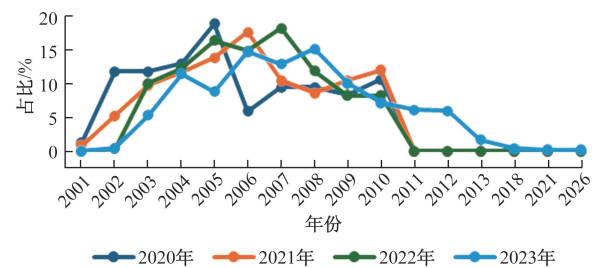


图2 福建省数字瞪羚企业成立时间

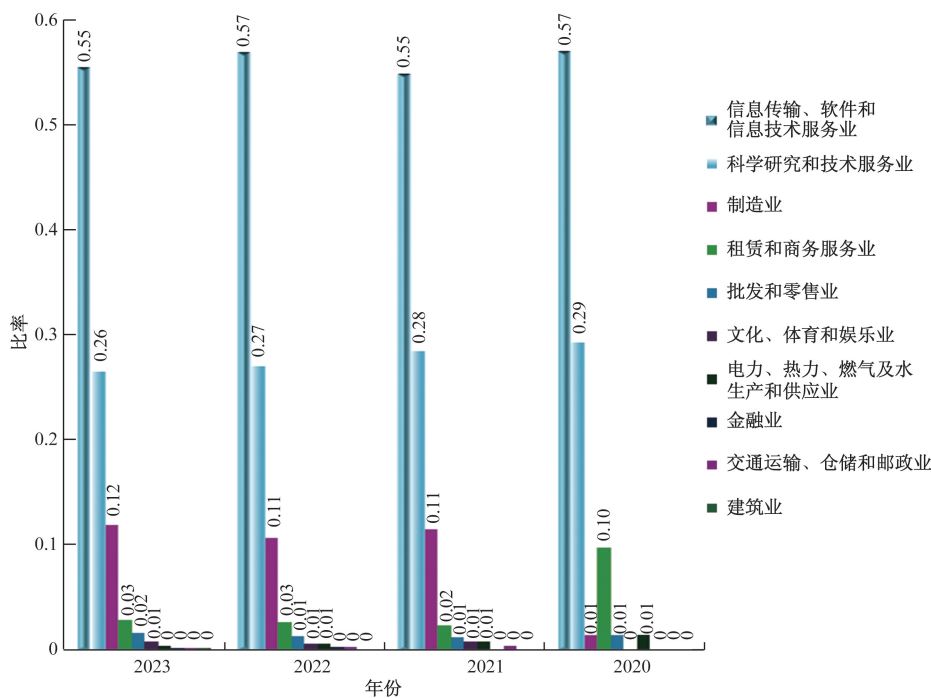


图3 福建省数字瞪羚企业的行业类型分布

加入电力、热力、燃气及水生产和供应业,至此福建省瞪羚企业集齐国标行业 8 大门类。

3.3 福建省瞪羚企业技术构成分析

根据《国际专利分类表》将专利分为 A:人类生活需要;B:作业、运输;C:化学、冶金;D:纺织、造纸;E:固定建筑物;F:机械工程、照明、加热、武器、爆破;G:物理;H:电学八大部。如图 4 所示,福建省瞪羚企业主要技术为 F:机械工程、照明、加热、武器、爆破;G:物理和 H:电学三部,2020—2023 年这三部类专利的总和占比均超过 70%。

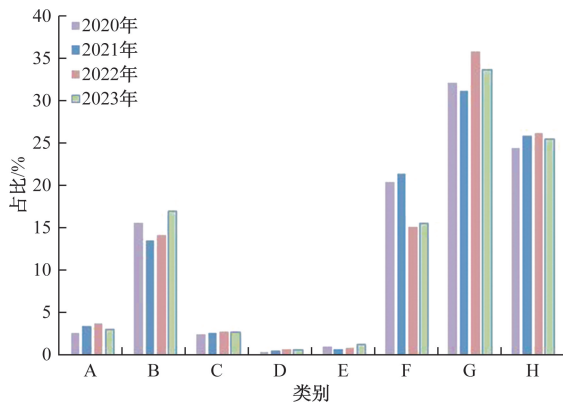


图 4 福建省数字瞪羚企业的技术构成

4 研究设计

4.1 研究方法

4.1.1 LASSO 回归和弹性网回归分析

已有文献主要应用岭回归和 LASSO 回归解决线性回归模型的多重共线性问题,其中岭回归的作用是对过大参数进行惩罚,因此岭回归具有收缩估计量功能。但在进行高维回归时,有时需要筛选出真正对因变量有影响的自变量,LASSO 回归具备筛选变量功能,但是当几个自变量之间存在相关性时,LASSO 回归可能随意选择其中一个,造成信息的浪费,而弹性网回归分析倾向于将高度相关的自变量都选上。因此,本文运用弹性网回归模型筛选自变量,解决多重共线性问题。

$$\min_{\omega} (y - X\omega)'(y - X\omega) + \lambda_1 \|\omega\|_1 + \lambda_2 \|\omega\|_2^2 \quad (1)$$

式中: y 和 X 分别为因变量和自变量; ω 为估计系数; $\lambda_1 \geq 0$ 和 $\lambda_2 \geq 0$ 为调节系数; $\lambda_1 \|\omega\|_1$ 具有筛选变量的功能,提高模型的可解释性; $\lambda_2 \|\omega\|_2^2$ 具有收缩变量的功能;弹性网回归既能像 LASSO 回归那样删除无效变量,同时又能保持岭回归的稳定性,它适用于存在多个不显著变量以及多重共线性的高维数据情形。

4.1.2 随机森林分析

随机森林的主要思想是集成学习,它通过随机抽样获得的数据,组合多个决策树进行投票或取均值的方式,获得最终的输出结果,提高模型准确性。随机森林在 Bagging 的基础上优化,将二叉树增加为森林,模型在每个节点分裂时使节点不纯度函数下降幅度最大,分析时仅采取一个变量考察该分裂变量的分裂准则函数下降幅度,依据该下降幅度对每颗决策树进行平均,可度量每个变量的重要性,常用的节点不纯度函数为基尼系数与信息熵。随机森林能够得到特征的重要性,筛选更为重要的特征^[34]。

%IncMSE 和 IncNodePurity 是随机森林中用于衡量变量重要性的两种指标,其中,%IncMSE 是基于均方误差的度量,IncNodePurity 则是基于节点纯度的度量。在随机森林模型中,当对某个变量的值进行随机排列时,如果这样做导致模型的预测误差显著增加,那么这个变量就被认为是重要的。因此,%IncMSE 的值越大,表示该变量对模型预测的重要性越高。在构建随机森林的每棵树时,每个节点的分裂都会增加节点的纯度。如果一个变量在树的分裂过程中更常被用到,那么它对增加节点纯度的贡献就更大,因此被认为更重要,该值越大则表示该变量的重要性越大。

4.1.3 技术相关性分析

技术相关性可以用来衡量区县不同专利与区县总体知识基础的邻近性,借鉴 Frenken 等^[35]的方法,具体计算公式为

$$\omega_i = \frac{\sum_j RCA_j \Phi_{ij}}{\sum_j \Phi_{ij}} \quad (2)$$

式中: ω_i 计算专利 i 的技术相关性; $\Phi_{i,j}$ 为技术 i 和 j 的技术关联度; RCA_j 为区县的技术 j 是否具有比较优势。如果专利 j 相邻的专利中具有比较优势的专利数量较多,则该专利与该区县当前知识空间的关联度更高,技术相关性也更高,根据技术演化理论,专利 j 未来发展成具有比较优势技术的可能性也较高。

4.1.4 技术复杂度分析

借鉴 Hidalgo 等^[36]的做法,建立区县—技术网络和技术—技术网络。根据上文计算得到技术优势 RCA,建立福建省 122 个三位数专利大类的区县—技术二维矩阵(A),福建省有 84 个区县,因此得到一个 84×122 矩阵。首先对矩阵 A 和转置矩阵 A^T 分别进行 Z-Score 行标准化,得到行标准化以

后的矩阵 M 和转置矩阵 M^T , 然后令 $B=MM^T$ 得到 84×84 区县纬度方阵、令 $C=M^T M$ 得到 122×122 技术纬度方阵, 利用 Matlab 分别求方阵 B 和方阵 C 的特征值和特征向量, 其中第二个特征值所对应的特征向量就是 122 个三位数专利大类所对应的复杂度指数。进一步将区县复杂度指数和技术复杂度指数进行 Z-Score 标准化, 得到标准化以后的区县的技术复杂度和总体技术复杂度。

4.2 指标构建

瞪羚企业属于高成长性企业, 创新是其快速发展的重要条件, 发明专利申请和授权数反映地区科技创新能力, 代表了区域创新实力。因此, 将发明专利申请和授权数作为被解释变量。从主体创新能力、科研环境、要素协同、区位发展 4 个维度共 19 个指标探索创新生态系统的构成, 如表 1 所示。

创新能力包括技术相关性、技术复杂度、实用新型和外观设计专利、发明人数、瞪羚企业数 5 个变量。借鉴王俊松和颜燕^[37]、杨艳萍和范秀秀^[38]的做法, 将技术相关、技术复杂度作为专利质量的代理变量, 体现瞪羚企业的创新能力。专利质量反映企业技术创新水平提升, 也反映企业在关键核心技术的竞争力。我国将专利类型分为发明专利、实用新型专利和外观设计专利三种。发明专利注重技术的突破性特征, 实用新型专利注重技术的实用性和可推广性的价值, 外观设计专利注重艺术的新颖性。实用新型和外观设计专利数、发明人数指标也是体现企业创新水平的变量, 因此, 将它们作为二级指标。此外, 瞪羚企业数也

是区域创新活力的重要指标, 将瞪羚企业密度也作为创新能力的一个二级指标。

瞪羚企业的技术创新还需要科研环境的培育和支撑。知识溢出环境用三年内专利被引次数来表示。高校和研发机构是知识溢出的重要载体, 作为传承与创新的重要阵地, 在创新能力提升和人才培养质量上做出积极贡献。加速器、孵化器在加速企业成长、构建创新空间、提供战略指导与咨询服务等方面提供了成长环境和优质服务, 同时, 帮助企业形成持续成长机制。统计省内国家级、省级科技企业孵化器、省级互联网孵化器, 剔除了重复认定的孵化器后, 省级以上孵化器共有 123 家。因此, 将高校和科研院所数量、新型研发机构、是否有加速器和孵化器和省级以上孵化器数量 4 个变量作为科研环境的二级指标。

企业生产经营是要素投入与产出并生产出新产品的过程。用参保人数和最低工资水平作为劳动投入的代理变量, 分别指代人力资本与工资水平; 土地成本用工业用地价格等级来表示, 价格区间为 $300 \sim 950$ 元/ m^2 , 分为七级; 用区县内瞪羚企业平均年龄代表企业的生产活力。

区域发展状况同样影响瞪羚企业的选址与成长。地区人均生产总值是各区县生产总值和人口的比值, 代表经济发展水平; 民营经济活跃度用每个区县民营瞪羚企业数来表示, 反映了市场活跃程度; 人口密度可以作为市场规模的代理变量; 旅客周转量、是否处于中心城区两个指标可以反映该区域通达性和便利性。除了将市政府所在区域作为中心城区, 还将晋安区、台江区、湖里区、鲤城区、洛江区等经济发展水平较高且邻近市政中心的区域也作为中心城区, 全省共 17 个。

4.3 数据来源

福建省发展和改革委员会在 2020—2023 年共认定 777 家瞪羚企业, 删除重复认定企业后共 491 家。行业类型、企业年龄、实缴资本、参保人数、民营企业数量来源于企查查批量检索; 各个区县常住人口数、地区生产总值来自福建省各市统计局; 最低工资水平数据来源于《福建省人力资源和社会保障厅关于我省最低工资标准的通知》^[39]; 高校和科研院所数量、新型研发机构数、省级以上科技企业孵化器或互联网孵化器和加速器来源于福建省科技厅及相关政府部门网站; 工业用地价格等级信息源于福建省自然资源厅; 瞪羚企业发明专利和授权数、实用新型和外观设计专利数量、发明人数、三年

表 1 变量设计及代码

一级指标	二级指标	代码
创新能力	技术相关性	Relate-density
	技术复杂度	Complexity
	发明人数	Inventor
	实用新型和外观设计专利数	Utility
	瞪羚企业密度	Company
科研环境	专利被引数	Quote
	高校和科研院所数	University
	新型研发机构数	Institutions
	是否具有加速器和孵化器	Accelerator
	省级以上孵化器数	Incubators-APL
要素协同	人力资本	CBZZ
	工资水平	Salary
	土地成本	Land
	企业平均年龄	Age
区域发展	人均地区生产总值	P-GDP
	民营经济活跃度	Private
	市场规模	Market
	旅客周转量	Passenger
	是否处于中心城区	City

内专利被引次数来源于 Patsnap 专利检索平台;土地面积和人口数据源于《福建省统计年鉴》;旅客周转量数据源于福建省运输事业发展中心。

5 福建省数字瞪羚企业创新生态系统影响因素分析

5.1 基于 LASSO 回归和弹性网回归筛选变量

通过采用 R 4.3.1 软件的 glmnet 包构建 LASSO 模型,在 LASSO 回归前对指标进行 KMO 和 Bartlett 球形检验,检验结果显示 $KMO=0.812$, Bartlett 球形检验 $P<0.001$,统计上显著,说明数据可进行统计分析。

图 5 显示了 LASSO 回归中最佳惩罚系数的变化过程。通过对比分析 LASSO 和弹性网两种回归方法,发现 LASSO 回归时, λ 对 $\|\beta\|_2$ 的惩罚过于严厉,通过对比,采用弹性网回归估计结果。弹性网的一个标准误差 $\lambda=35.1123$,而交叉验证误差最小化时的 $\lambda=20.0926$,故采取交叉验证误差最小化时的弹性网回归结果,在不丢失信息的前提下,将变量压缩至最小。压缩之后剩下 6 个变量,回归系数如表 2 所示。限于篇幅,交叉验证误差不再报告。

5.2 基于随机森林分析创新生态系统的影响因素

利用 R 中的“Random Forest”包构建随机森林模型,将经过弹性网回归所筛选出来的 6 个变量纳

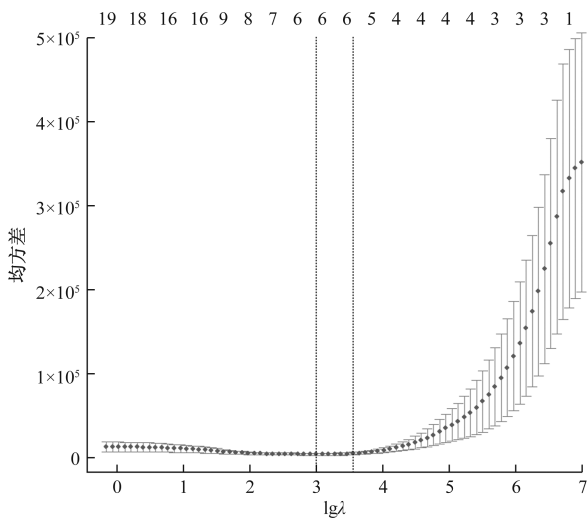


图 5 LASSO 回归最佳惩罚系数 λ 变化过程

表 2 弹性网回归结果

变量	代码	系数
技术相关性	Relate-density	1.818 8
专利被引数	Quote	0.153 1
发明人数	Inventor	0.244 0
实用新型和外观设计专利	Utility	1.299 8
人力资本	CBZZ	0.041 8
市场规模	Market	0.957 7

入随机森林进行分析。需要注意的是,%IncMSE 和 IncNodePurity 虽然都可以用来衡量变量的重要性,但它们计算的原理和侧重点不同,因此在具体应用中可能会得出不同的重要性排名。选择使用哪一个指标取决于研究的具体需求和数据的特点。随机森林回归结果如表 3 所示,%IncMSE 和 IncNodePurity 两种方法的结果大同小异,除了专利被引数和技术相关性,其他都是极高度显著。从 IncNodePurity 的结果来看,按照重要性程度大小排序,变量依次为发明人数、人力资本、实用新型和外观设计专利数、专利被引数、技术相关性、人口密度。表 3 中 %IncMSE 的排序结果略有差异。实证分析中将根据 IncNodePurity 的排序结果进行解释。

表 3 福建省瞪羚企业创新生态系统影响因素排序

变量	%IncMSE	排序	IncNodePurity	排序
发明人数	12.189 2***	2	8 378 817.9***	1
人力资本	9.900 6***	4	6 555 315.9***	2
实用新型和外观设计专利	10.603 7***	3	5 614 442.7***	3
专利被引数	12.440 6**	1	1 864 010.3**	4
技术相关性	1.317 5*	5	1 008 129.1*	5
市场规模	-0.125 0***	6	183 227.3***	6

注:*、**、***分别表示 10%、5%、1%的显著性水平。

5.2.1 创新能力成为瞪羚企业创新生态系统的重要驱动力

发明人数、实用新型和外观设计专利数、技术相关性分别位列 1、3、5。发明人数排在第一位,说明研发人员的重要性,他们是企业得以生存和发展的关键因素。研发活动是关系创新驱动发展的基础性因素,研发人员是高成长性企业的核心人力资本,也是创新活动的主导性力量,具有稀缺性、创造性、能动性的特征。通过实验、探索和改造,研发人员为企业带来一系列技术革新和颠覆性的产品设计。发明人作为研发群体中更优秀的主导性人才,贡献更大,他们的专利使瞪羚企业技术研发成果更具竞争优势,有利于企业树立品牌形象,提高市场占有率,产品认可度得到提升的同时,也为企业赢得更广阔的市场空间,获得持续盈利的能力。不仅如此,他们在推动整个行业技术水平的提高方面也功不可没,在产业竞争力提升中发挥引领和带动作用。H1 得以验证。

5.2.2 关联度提高激发创新潜力进而提高创新效率

技术相关性有利于瞪羚企业引进关联度高的

技术,降低新产品开发风险。技术相关性还有利于同类知识的集聚,进而促进该区域的创新和产业的可持续增长。技术相关性还可能激发创新的潜力,使企业的专利与知识累积,从量变到质变,获得竞争优势。随着经济的较快发展,资本、技术、人才等要素有了更多积累,该地区的相关产业沿着自身的技术优势向多元化发展,衍生出更多、更复杂的新产业,新产业与原有产业互动融合的过程中呈现出较高的技术关联性。H2 得以部分验证。

5.2.3 知识溢出促进技术流动并提高自主创新的积极性

专利被引数不仅是反映知识溢出的量化指标,也是指代专利质量的重要因子。知识溢出是知识流动、转移或扩散,知识溢出正外部性的表现是通过分享才能充分实现其价值,而且有利于创造新的知识和增加整体知识存量。通过知识的传播、扩散,不同领域、不同行业的人才可以相互交流和学学习,并推陈出新,在融合的基础上创新,从而为技术创新提供新的思路和方法。此外,知识溢出还能突破地理边界,激发创新的潜能。跨界人才之间的交流和合作,跨界思维的碰撞与融合,常常会带来新的观念和有创意的思路,打破局限,提供更好的解决方案。跨区域的知识溢出,加速知识和技术的传播,也促进地区间的合作与经济增长。知识的共享和传播不仅有助于提升整个社会的知识储备,还为经济的持续健康发展提供有力的支撑。因此,以专利引用为特征的知识流动是知识溢出的重要表现形式,知识流动后形成企业创新网络,随着区域知识溢出强度的增加,企业自主创新的积极性提高。知识溢出因子是科研环境的重要变量,因此假设 3 得以验证。

5.2.4 人力资本成为瞪羚企业创新的优势要素

人才是创新的根本,创新驱动的实质是人才驱动。创新投入的关键要素包括人力资本和培训、再教育,也就是在员工的技能、知识和经验积累方面的投入。受过良好培训的员工更有可能促进公司创新,这是因为高素质的人力资本还可能更广泛地吸收、开发新知识,人力资本和企业创新存在着显著的正相关关系。企业创新活动需要创新型人才的支持,创新型人力资本是企业成长中从要素驱动转向创新驱动的重要源泉。此外,从长期来看,增加人力资本储备还能推动企业的持续创新。不少学者论证了人力资本积累通过提高创新水平促进了经济增长^[40-41]。人力资本要素在要素协同创新

中发挥积极作用,H4 得以验证。

5.2.5 市场规模吸引瞪羚企业入驻并提升创新活力指数

充分、有效的市场环境,是瞪羚企业创新过程中重要的外部推动力。市场规模较大的区域,企业将面临更多的竞争和机会。竞争程度的上升可能激发企业进行创新,获得竞争优势并实现跳跃式的增长。较大的市场规模也意味着更广阔、更强劲的市场需求,推动企业进行技术研发和产品创新,适应和满足市场多样化的需求,扩大有效需求规模,并将潜在市场需求最大限度地转变为现实需求。因此,竞争和创新之间是相互促进的,市场规模对创新活动具有正向的激励效应。此外,市场规模较大的区域,也会吸引新企业进入,催生新兴产业,促使当地技术市场规模进一步扩大,对区域技术进步产生正向的影响,提高创新活力指数。市场规模是推动区域创新的外部驱动力,因此 H5 得以验证。

6 结论和建议

创新生态系统是以创新环境为基础,主体创新能力、要素协同为核心,通过资源有效配置和优化而形成相互作用相互促进的体系。在分析福建省瞪羚企业概况的基础上,从创新能力、科研环境、要素协同、区位发展 4 个维度探析创新生态系统的构成,将其影响因素量化。先用 LASSO 回归将 19 个变量压缩至最小,压缩之后剩下 6 个变量,再将经过 LASSO 回归所筛选出来的 6 个变量纳入随机森林进行实证分析。按照重要性程度大小排序,变量依次为发明人数、人力资本、实用新型和外观设计专利数、专利被引数、技术相关性、人口密度。

基于上述分析,针对各类要素的配置和应用,促进技术的生产、流动、应用,优化创新生态系统,提出以下政策建议。

一是鼓励创新思维,挖掘创新主体潜力和活力。鼓励创新思维,激发研发人员的创造力和解决问题的能力,培养和提升研发人员素养。保障创新主体与创新资源有效协同,推动企业成为组织科研、科研投入、技术创新决策、和科技成果转化的重要主体。

二是增加创新投入,完善创新平台建设。增加对科技创新的财政投入,引导社会资本参与,形成多元化、多层次的创新投入体系。加强新型研发机构建设,提升台的服务能力和水平,为创新主体提供优质的研发条件和技术支撑。同时,推动创新资源的开放共享,降低创新成本。

三是优化人力资本结构,激活瞪羚企业发展新动能。创新型人力资本是稀缺的高端生产要素,发现、创造并整合有价值的知识和信息,应用到生产过程中。引导各部门合理地配置人员,充分发挥人力资本在基础研究、创新成果应用化和应用专利产业化方面的作用,提高创新效率。人力资本结构优化对科技创新和产业结构优化的影响更显著,有利于创新质量的提高。

四是改善创新创业环境,缩短相邻企业的技术距离。鼓励显性和隐性知识溢出,发挥其交流效应和竞争效应。加强各地技术交流程度,增大企业之间技术关联度。支持瞪羚企业通过转让、许可、作价投资等方式实施科技成果转化。利用相邻地区的知识溢出效应,完善交通基础设施,提高可达性,缩短技术距离,实现产业升级。同时,注重创新成果的知识产权保护。

参考文献

- [1] 林蔚. 激发新动能福建加“数”跑[J]. 福建日报, 2024-05-24(001).
- [2] MOORE J. The death of competition[J]. *Fortune*, 1996, 133(7): 142-144.
- [3] ADNER R. Match your innovation strategy to your innovation ecosystem[J]. *Harvard Business Review*, 2006, 84(4): 98-107.
- [4] 梅亮, 陈劲, 刘洋. 创新生态系统: 源起, 知识演进和理论框架[J]. *科学学研究*, 2014, 32(12): 10.
- [5] 成琼文, 赵艺璇. 创新生态系统知识融合的组态路径研究[J]. *科研管理*, 2023, 44(7): 41-49.
- [6] 陈斯琴. 企业技术创新生态系统研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2008.
- [7] 张运生. 高科技企业创新生态系统管理理论及应用[M]. 长沙: 湖南大学出版社, 2010.
- [8] 孙卫东. 科技型中小企业创新生态系统构建、价值共创与治理——以科技园区为例[J]. *当代经济管理*, 2021, 43(5): 14-22.
- [9] 黄勃, 李海彤, 刘俊岐, 等. 数字技术创新与中国企业高质量发展——来自企业数字专利的证据[J]. *经济研究*, 2023, 58(3): 97-115.
- [10] 李天柱, 马佳, 高皓天, 等. 创新生态系统演化情境下的关键核心技术突破[J]. *科研管理*, 2024, 45(1): 51-63.
- [11] 李鑫, 魏姗, 李惠娟. 制造业生态创新网络构建及进化逻辑[J]. *科研管理*, 2024, 45(1): 74-83.
- [12] BALLAND P A, BOSCHMA R, CRESPO J, et al. Smart specialization policy in the European Union: relatedness, knowledge complexity and regional diversification[J]. *Regional Studies*, 2019, 53(9): 1252-1268.
- [13] DAVID L. Technological relatedness and knowledge space: entry and exit of us cities from patent classes[J]. *Regional Studies*, 2015, 49(11): 1922-1937.
- [14] 马双, 曾刚, 张翼鸥. 技术关联性、复杂性与区域多样化: 来自中国地级市的证据[J]. *地理研究*, 2020, 39(4): 865-879.
- [15] 金泽润, 朱晟君. 基于关联度和复杂度的中国城市技术引入模式及其演化机制[J]. *地理科学进展*, 2021, 40(6): 897-910.
- [16] FEIGENBAUM E A, SIMON H A. Simulation of human verbal learning behavior[J]. *Communications of the Acm*, 1962, 5(4): 223.
- [17] 贺灿飞, 郭佳宏, 谢玉欢. 基于认知邻近性的进口溢出效应对应区域出口产业重构的影响[J]. *地理学报*, 2023(6): 1323-1338.
- [18] BALLAND P A, RIGBY D. The geography of complex knowledge[J]. *Economic Geography*, 2017, 93(1): 1-23.
- [19] 冉征, 郑江淮. 创新能力与地区经济高质量发展——基于技术差异视角的分析[J]. *上海经济研究*, 2021(4): 8-15.
- [20] 张林, 赵乾安. 基于 SSSM 的中国区域创新主体结构演进[J]. *经济地理*, 2019: 39(4): 136-145.
- [21] MALECKI E. *Technology and economic development* [M]. Essex: Longman Scientific and Technical, 1991.
- [22] 丁雪辰, 柳卸林. 创新生态系统战略对创业绩效的促进——基于中科院技术衍生企业的实证研究[J]. *管理评论*, 2021, 33(1): 120-132.
- [23] 梁彦清, 弓晓玉. 数字经济背景下高技术企业协同创新组态分析. *工业技术经济*. 2024, 43(4): 98-106.
- [24] 陈承凯. 基于生命周期的高新技术企业动态竞争优势研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- [25] 汪蕾, 张剑虎. 瞪羚企业认定是否提高了企业创新质量[J]. *科技进步与对策*, 2021, 38(8): 102-108.
- [26] 齐亚伟, 陶长琪. 环境约束下要素集聚对区域创新能力的影响——基于 GWR 模型的实证分析[J]. *科研管理*, 2014, 35(9): 17-24.
- [27] 孙红燕. “瞪羚企业”快速成长环境影响因素分析——以中关村为例[J]. *经济与管理*, 2008(10): 93-96.
- [28] 张晶, 刘琼, 于渤. 创新生态系统模式对新创企业创新绩效的影响研究——基于平台与产品的双重视角. *工业技术经济*. 2023, 42(3): 106-114.
- [29] 李毓喆, 蒋惠园, 周蓁, 等. 国际枢纽城市交通区位优势与双循环优势耦合研究[J]. *铁道运输与经济*, 2023, 45(10): 1-9.
- [30] 刘颀. 高技术产业创新、市场化与经济增长-动态面板 GMM 估计与面板门槛效应的检验[J]. *科技与产业*, 2024, 24(16): 131-138.
- [31] 周雯雯. 区位优势对城市流通业高质量发展的影响[J]. *商业经济研究*, 2024(13): 29-32.
- [32] 文静. 交通基础设施对中国制造业集聚的影响研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2016.
- [33] 刘青海. 城市人口密度、国内市场规模和就业增长[J].

- 重庆社会科学, 2009(9): 82-84.
- [34] 吴翌琳, 张旻, 于鸿君. 城市企业创新发展模式与瓶颈分析——基于谱聚类与随机森林模型的实证研究[J]. 统计研究, 2023, 40(9): 149-160.
- [35] FRENKEN K, VAN OORT F, VERBURG T. Related variety, unrelated variety and regional economic growth[J]. *Regional Studies*, 2007, 41(5): 685-697.
- [36] HIDALGO C A. Economic complexity theory and applications[J]. *Nature Reviews Physics*, 2021, 3(2): 92-113.
- [37] 王俊松, 颜燕. 复杂度、关联度与城市技术演化路径——基于北京、上海、深圳的对比分析[J]. 地理科学进展, 2022, 41(4): 554-566.
- [38] 杨艳萍, 范秀秀. 专利信号视角下战略性新兴产业创新能力对风险投资的影响[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(4): 100-110.
- [39] 福建省人社厅. 关于公布我省最低工资标准的通知[EB/OL]. (2021-12-22) [2024-09-03]. http://rst.fujian.gov.cn/zw/zfxxgk/zfxxgkml/zyywgz/ldgx/202112/t20211222_5798278.htm.
- [40] 杨俊, 李晓羽, 杨尘. 技术模仿、人力资本积累与自主创新——基于中国省际面板数据的实证分析[J]. 财经研究, 2007, 33(5): 11.
- [41] 张静, 高珂, 路文成. 人力资本积累、创新与经济增长[J]. 东岳论丛, 2020(11): 10.

Construction and Optimization of Digital Gazelle Enterprise Innovation Ecosystem: Taking Fujian Province as an Example

ZHANG Huiping, XI Xiaojun, CHENG Shuihong

(School of Business, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, Fujian, China)

Abstract: Based on the analysis of the development situation of gazelle enterprises in Fujian Province, 19 variables were designed to analyze the innovation ecosystem from four dimensions of innovation ability, scientific research environment, factor cooperation and location development, and the influencing factors were quantified. Six variables were selected by LASSO regression and elastic net regression and included in the random forest for empirical analysis. According to the degree of importance, the influencing factors are ranked in order of the number of inventors, human capital, the number of utility model and design patents, patent citations, technical relevance, and population density. Finally, some policy suggestions are put forward, such as tapping the potential and vitality of innovation subjects, improving the construction of innovation platforms, optimizing the structure of human capital, and improving the environment for innovation and entrepreneurship.

Keywords: digital gazelle enterprise; innovation ecosystem; random forest; innovation ability