

doi: 10.15936/j.cnki.1008-3758.2019.02.004

# 基于系统动力学的工业机器人 产业发展路径研究

李京文, 韩 行

(北京工业大学 经济与管理学院, 北京 100124)

**摘 要:** 在创新资源有限的情况下,如何在机器人系统集成、机器人本体、关键零部件等产业链各领域合理分配创新资源,是亟待解决的关键问题。基于系统动力学模型建立了工业机器人产业发展模型,并以实际数据对机器人产业不同领域发展进行了仿真分析。研究发现,工业机器人产业发展初期,产业政策支持重点应以系统集成为主,机器人本体和关键零部件发展为辅;在后期,机器人本体领域发展逐渐超过系统集成领域,在此阶段,应以机器人本体和关键零部件为主,系统集成为辅。

**关 键 词:** 系统动力学; 机器人产业; 产业发展路径

**中图分类号:** F 424.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1008-3758(2019)02-0132-07

## A System-dynamics-based Research on the Development of Industrial Robotic Industry

LI Jing-wen, HAN Xing

(School of Economics and Management, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract:** As the innovation resource is limited, how to reasonably allocate innovation resources in the fields of system integration, robot main body, and key components is a key issue to be solved urgently. Based on the system dynamics model, the industrial robotic industry development model is established, and the development of different fields of the robotic industry is simulated by real data. The research has found that in the early stage of the robotic industry, industrial policies should focus mainly on supporting the development of system integration and secondarily on the development of the robot body and the key components. In the later stage when the development of robot main body gradually exceeds that of system integration, the focus should be placed mainly on robot main body and key components and secondarily on system integration. This path has referential and practical significance for improving China's industrial robotic industry policy.

**Key words:** system dynamic; robotic industry; development path of industry

### 一、问题的提出

当前,我国的工业化总体上处于中后期阶段,已出现向后期阶段过渡的明显特征。现阶段,技

术创新模式包括引进消化吸收再创新、集成创新和原始创新。其中,原始创新是最基础的、最困难的,也是最有价值的创新,原始创新能力的高低标志着一个国家研发能力的强弱和整体科技水平的高低。处于工业化初期和中期阶段的发展中国家

收稿日期: 2018-11-21

作者简介: 李京文(1933-),男,广西陆川人,北京工业大学教授,博士生导师,中国工程院院士,主要从事技术经济和工程管理理论与方法研究; 韩 行(1973-),男,河南南阳人,北京工业大学博士研究生,主要从事机器人行业管理研究。

大都采用集成创新和引进消化吸收再创新的方式实现主机装备的创新突破,进而再实现关键零部件的创新突破,因此发展中国家的产品创新模式是体现应用导向的先主机、再配套的跟踪模仿式创新。工业机器人是推动我国从装备制造大国向装备制造强国跨越的重要途径,但目前我国装备制造业整体大而不强,基础薄弱,技术水平低,创新产品推广应用面临用户不敢用、企业不敢投的尴尬境地,这些问题已经成为实现制造强国战略的关键瓶颈。

当前,我国正处于新旧动能转换的关键时期,急需通过科技创新引导产业转型升级。工业机器人是智能制造的关键组成部分,机器人产业的发展不仅能提高劳动生产率,也能提高产品质量和经济效益。近年来,产业发展路径研究始终是学术界关注的热点。刘冬冬等<sup>[1]</sup>基于要素禀赋匹配等经济学理论,在构建中国装备制造业技术进步分析框架时将行业特征与要素禀赋结构相耦合,结果显示我国装备制造业技术进步来源仍主要为国外技术引进和外商直接投资,而从国内其他行业引入技术对于自主创新的促进效应仍为负,区域差异较大。邢文凤<sup>[2]</sup>聚焦于产业发展过程中后起步者如何赶超领先者问题,基于比较企业优势视角给出了追赶路径,研究辨识了渐进式、突进式和混合式三类追赶路径。余菲菲等<sup>[3]</sup>关于产业互联网下中国制造企业战略转型路径进行了探究,采用嵌入性多案例分析方法,对典型制造企业的成长轨迹和战略转型过程进行了纵向性分析,给出了产业互联网背景下中国制造业战略转型路径。对于机器人产业的研究刚刚兴起,目前研究主要集中在机器人产业发展现状以及发展规划上。王万<sup>[4]</sup>总结了我国机器人产业发展趋势,分析了我国机器人产业发展中存在的问题;赵绘存<sup>[5]</sup>从京津冀产业协同发展的角度分析了京津冀三者企业发展状况;陈军等<sup>[6]</sup>基于“创新 2.0”理论,通过构建政策二维分析框架,对我国自 2010 年以来的机器人产业发展政策进行内容分析;Morris 等<sup>[7-9]</sup>从内容分析法分析机器人产业政策对机器人产业的影响;喻一帆<sup>[10]</sup>借鉴国际工业机器人产业发展路径,分析我国机器人产业发展方向;张慧颖等<sup>[11]</sup>认为我国机器人产业演化具有与传统 A-U 模型的反向规律;王友发等<sup>[12]</sup>基于专利地图法从机器人产业知识产权的角度给出了机器人产业发展战略。

纵观已有成果,研究多为宏观分析,学者普遍认同机器人产业发展对我国整体经济发展的重要性,然而究竟应以何种路径发展尚无定论。对于复杂产品,如何将已有资源在产品系统各模块进行合理分配是路径研究的重要内容<sup>[13]</sup>,而对于机器人当前鲜有研究涉及创新资源在机器人产业链各环节的最优分配,缺乏产业各子系统发展关系和影响因素的全面研究,因此对解决机器人产业政策如何最优发展的决策支持作用有限。本文采用系统动力学模型对各类工业机器人产业发展进行仿真分析,通过不同类型产业发展的动态特征规律对我国工业机器人产业发展路径提出有益建议。

## 二、研究方法阐述

工业机器人产业作为新兴产业的代表,是实现制造强国战略的关键环节,是带动中国经济发展的新引擎,具有高风险、高投入、高产值等特点,在新时期,其产业发展也呈现出新的规律,受到了我国政府和专家学者的关注。研究机器人产业发展的基本特征、内涵、要素、结构以及作用路径,有助于揭示机器人产业发展的最优路径。

在现实机器人产业发展中,机器人产业影响因素错综复杂,系统内要素之间相互作用、相互影响,并非简单的因果关系。传统模型与方法对机器人产业的发展路径进行的分析并不精确,机器人产业是新兴产业,缺乏大量历史数据,如面对复杂的机器人产业发展系统,传统模型的解释效果欠佳。而系统动力学能够分析较为复杂的多变系统问题,目前应用范围较广,主要集中在军事系统、企业发展规划、农业灌溉等方面。机器人产业要想实现高速可持续发展,必须依赖系统内各子系统之间的合理结构、协调发展以及对系统的有效调控。因此,利用系统动力学方法对机器人产业发展进行研究是适用的。

首先基于产业发展理论,构建机器人产业影响因素对机器人产业发展作用机理研究的系统动力学模型并进行相关模型检验,分别使用了研发经费、研发人员等作为参量,然后根据仿真模型对比分析仿真结果和实际数据,对仿真模型的有效性进行检验,进而对比各不同机器人产业发展模式下机器人产业发展情况,得出机器人产业发展路径,如图 1 所示。

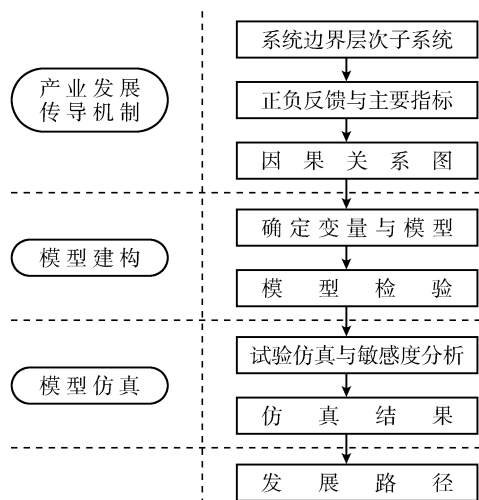


图1 机器人产业影响因素对机器人产业发展作用机理研究框架

### 三、系统动力学模型的建立

在机器人产业发展系统中,建模的目的在于以中国机器人产业为例,研究产业系统的内部结构,以期带动机器人产业快速发展。系统动力学的基础就是反馈理论,并通过计算机仿真技术来实现。在此模型中,更多的是对经济发展、人口变化以及各地需求的内在联系进行表述,然后对各个领域的市场发展趋势,以及它们之间的未来动态变化进行模拟。

#### 1. 划定系统边界

为确定机器人产业发展系统的边界,归纳出各因素对产业发展系统产生重要影响,通过文献搜集并经过整理,尽可能提取更多的因素,然后经过因果关系和系统建模目的进行筛选分析,最终确定出以下因素:产品销售收入、创新收益、企业R&D人员、GDP、产品创新、财政支出等,除以上主要因素外,还将一些控制因素纳入模型。

在构建系统动力学模型过程中,仅考虑产品销售收入作为机器人产业发展的衡量变量,且将专利申请量作为企业生产的重要组成部分,为企业新产品的产出提供技术支持。

#### 2. 分析系统层次

系统动力学的反馈机制是研究的重点和难点问题,它的关键在于对系统的各子系统和整体进行分析,找出各要素之间的因果关系,以此表示系统中各要素的反馈行为。因此必须画出因果关系回路图,回路图具有多节点性、多层次性以及多回路性。机器人产业发展系统相对较为复杂,因此

将系统分成若干子系统判断因果关系,可以更加清晰地认识人力资源和资金资源基于系统动力学模型的沟通方式。该系统可以分为产业创新子系统、产业支持环境子系统和产业经济环境子系统。

#### 3. 确定系统反馈

满足人们的需要和意愿的点或者目标环,都被称为系统目标。由于本系统受到内外环境的诸多干扰,这容易让系统渐渐远离原定的目标。为此,就需要引入控制措施,让其目标保持不变,而这也是建模的根本目的。系统动力学理论明确指出:系统中的反馈回路会对系统性质和行为产生决定性作用,而且该反馈回路的结构和系统结构具有一致性。在自然界,原因和结果的相互作用十分常见,这也是构成反馈回路的根本原因。这种回路特征主要有:结果和原因这两者之间具有相对属性。在反馈环中,如果其中的某个变量在一个时间段下的任意时点进行了提升处理,在经过它进行一个反馈之后,如果该变量会进一步增加,则形成正反馈环,用“+”表示。如果该变量减少,那么就形成了负反馈环,用“-”表示。前者是一种自我强化,后者则是一种自我弱化。借助于该反馈回路,可以对系统进行协整,使之更为稳定。

#### 4. 确定系统指标

在本系统中,时间的函数有信息、能量和物质三个动态变量,它们的变化让本系统具有相应的功能。这种变化态系统中,在某个时刻,原本引起某区域发展的主要矛盾可能在另一个时刻转换成次要矛盾。此外,人们在认知复杂系统时,其理解水平也具有相对性,这样,在优化土地利用结构研究中,所构建的相关指标体系就因为人们的认知差异而变得具有相对性。此外,在本系统中,还需要结合该区域的特殊属性。在明确该系统的主要指标时,必须要结合之前明确动力模型子系统以及正负反馈机制,筛选相应的创新、经济和企业指标,然后据此明确本仿真系统所涉及到的相关辅助、状态和速率变量。

#### 5. 确定因果关系图

该动力学仿真模型的建设,基于的就是企业、创新等要素的因果关系。该模型内部具有多个因果反馈关系,如果其中一个环节出现改变,那么其他的反馈环就会显著变化,进而导致最终的结果出现变化。此模型所涉及到的状态变量,可以通过第一年的初始辅助和速率变量来确定,同时可

可以根据这些变量的变化特点,明确一个常量。当然也能够明确一个基于时间的递增或者递减函数。不管采用何种明确方式,其最终目的就是让这些参数变得科学。只有这样,才能够有效提升该模型的仿真效果。

机器人产业发展所受到的影响因素主要有人力、经费、创新环境和科技等,然而一些研究指出,时间跨度如果较短,那么对机器人发展产生显著影响的要素就是企业创新活动。所以,在本次研究中,可以将创新要素当成本系统的关键驱动,并

可以据此对该产业差异性的创新环境所对应的产业发展变化展开相应的模拟分析。

在完成上述工作之后,还需要借助动力学方法,对系统内部诸多变量及其不同子系统之间的因果关系进行定性分析。这也可以利用 Vensim 软件系统绘制相关变量的反馈机制,并构建相应的模型结构。这种反馈图能够定性表述系统结构及其相关子模块的关系和功能。根据上文的理论模型及其他相关学者的研究,得出如下一般因果关系图,如图 2 所示。

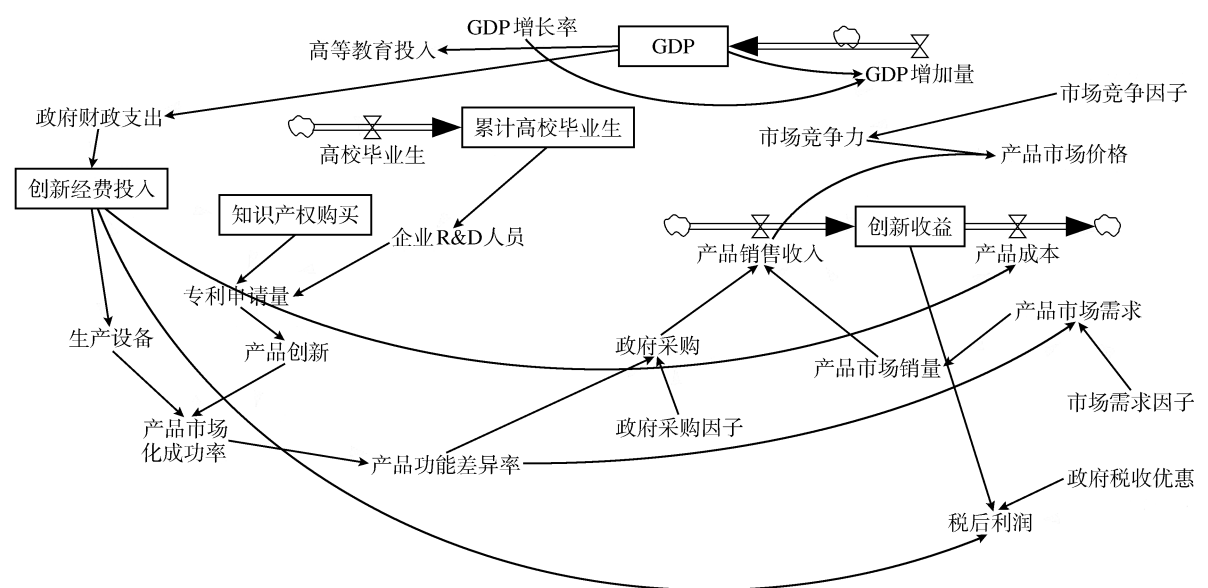


图 2 机器人产业发展系统流程图

机器人产业发展水平主要体现在产品销售收入,目前,机器人产业又分为三种,第一种是机器人系统集成,第二种是机器人本体,第三种是机器人关键零部件。

机器人系统集成是为最终用户提供机器人系统解决方案,通过利用已有机器人本体,为不同行业用户提供集成服务,位于产业链的下游应用端。目前,其发展已经到了一个“分水岭”,有逐步向机器人本体领域延伸的趋势。对机器人产业发展进行系统分类梳理,可以避免产业一刀切,有助于研究机器人产业发展的不同阶段、不同路径。

## 6. 建模软件说明

本文系统动力学模型建模软件采用 Vensim PLE,此软件系统特点可以概述为:第一,图示化建模,并基于视图完成诸多子系统反馈回路的绘制,同时还可以在此视图输入方程和参数等,且配置了诸多的工具,如 Mode Document,能更好地查看相关参数和方程。第二,模拟的数据支持

分享,且输出的信息具有较强的兼容性。在操作上,具有较强的交互性。第三,软件配置了结构分析和数据集分析功能,能够通过相关工具构建该模型变量所涉及到的反馈列表和结果数、原因树等。第四,具有合适性、灵敏度、历史行为等检验功能。在此软件系统中,需要使用的仿真语言为 DYNAMO。

在进行仿真之前,需要明确相关的系统变量。这可以通过设置相应的时间和内容边界,以及相应的步长,能够利用本系统模拟不同动态变量下的模拟结果和趋势图。通过该软件所构建的仿真模型,能够让函数表达式变得更为简洁。

总而言之,只有提前设置了相应的流图和方程,才能进行后续的系统动力学模型创建。随后,就可以对相关的影响变量进行参数赋值,然后通过计算机仿真,就能够得出不同变量的模拟结果和变化情况。这样,就能够基于系统,完成过去、现在和未来的发展变化分析。



7. 确定变量参数及主要方程

本文需要的全国工业机器人产业相关的基础数据,主要通过该省所辖的各地级市统计年鉴,以及国家和行业组织发布的规划、研究报告、调研报告等来采集。在采集这些数据之前,需要根据系统流程图确定变量数据取值及变量间的关系。主要变量参数及方程如下:

- ① 企业专利申请量=0.068 \* R&D 人员
- ② 财政支出=0.234 \* GDP
- ③ 企业 R&D 人员=0.026 \* 累计高校毕业生
- ④ 创新收益=产品销售收入—产品成本
- ⑤ 政府采购=产品功能差异率 \* 政府采购因子
- ⑥ 税后利润=创新收益 \* 0.15—政府税收优惠
- ⑦ 产品市场需求=产品功能差异率 \* 市场需求因子
- ⑧ GDP 增加量=GDP \* GDP 增长率
- ⑨ GDP 增长率=0.08
- ⑩ 初始时间=2010

- ⑪ 终止时间=2025
- ⑫ 时间步长=1
- ⑬ 时间单位:年

四、模型有效性检验

模型运行结果检验也可称为历史检验,即选择模型历史时刻为初始点,进行仿真,将仿真结果与历史数据进行误差、关联度等检验,观察系统模型的有效性;基于系统流图、仿真方程及仿真设置对系统模型进行仿真,得到主要变量的仿真结果,将仿真结果与历史数据进行比较,计算主要变量仿真结果与实际数据的误差,可以检验模型的准确性,见公式(1):

$$\text{相对误差} = \frac{\text{仿真值} - \text{实际值}}{\text{实际值}}$$

(1)

通常认为,若每个变量的仿真结果与历史数据的相对误差小于 10%,则可认为模型的有效性较好。接下来,对模型进行历史检验,检验结果如表 1 所示。

表 1 企业研发经费投入仿真模型有效性检验表

年份	机器人系统集成			机器人本体			机器人关键零部件		
	实际值	仿真值	误差率	实际值	仿真值	误差率	实际值	仿真值	误差率
	万元	万元	%	万元	万元	%	万元	万元	%
2015	3 116.941 6	2 933.35	—5.89	2 635.53	2 781.55	5.54	1 920.85	2 088.54	8.73
2016	6 186.695 3	6 231.86	0.73	4 607.05	5 008.78	8.72	3 159.04	2 933.17	—7.15
2017	5 795.472 0	6 356.47	9.68	5 766.28	6 164.15	6.90	4 264.27	3 482.53	—9.89

由上述历史检验结果可知,各变量的仿真值与实际值的相对误差率均在正负 10%之间,可以说明模型较大程度反映了资源投入对企业产出的影响机制。利用该模型研究资源投入对企业产出的敏感性分析也是真实可信的。

五、敏感性分析

为了更好地获取核心参量的变化情况,就需要分析该模型的灵敏度。通常,本模型的诸多参量,会对系统产生不同的作用。这就需要通过细致分析,获取参数的改变对最终模拟结果的影响。系统动力学模拟系统需要波及诸多要素,其中部分即使没有经验数据支持,也能够将诸多参量进行联系,同时还能将其某些定性的要素进行定量转换,这意味着,该模型中的某些参数有着一定的主观性。所以,可以借助于灵敏度公式对该模型

的模拟精度进行分析,该公式为:

$$S_i = \frac{(Y'_i - Y_i)/Y_i}{(X'_i - X_i)/X_i}$$

(2)

在公式(2)中,某个产业领域市场在  $t$  时刻下,相对某个参量的灵敏度,可以用  $S_i$  表示。当其中某个参量被调整之后,此模型中的产业领域市场在  $t$  时刻下预测值可以用  $Y'_i$  表示,而参量在被调整之前的预测值则用  $Y_i$  表示。另外,  $X_i$  和  $X'_i$  分别对应的是参数调整前后值。通过测试,如果灵敏度越低,意味着预测精确性越高,那么模拟精准度也会显著提升。

在系统动力学中,分析其中一个参数的变化对另外一个参数的影响,就是所谓的敏感性分析。假设模型中存在着参数和行为曲线有着紧密的关系时,这意味着该模型参数具有灵敏度。如果两者关系不显著,则该参数缺乏相应的灵敏度。

通过前文的有效性分析可知,如果模拟的结

果和真实值之间具有误差,那么该误差在 10.0% 范围之内,说明该模拟结果具有有效性。

### 1. 机器人系统集成领域企业销售收入模拟结果

机器人系统集成领域企业销售收入发展趋势模拟图,见图 3。

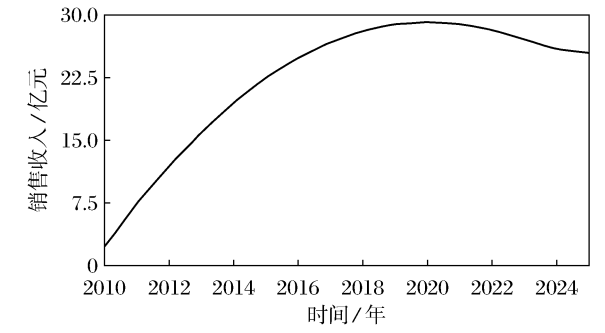


图 3 机器人系统集成领域企业销售收入模拟图

从图 3 可以清楚地看到 2010—2018 年,产品销售收入先稳步上升,且产出增长迅速,在 2018 年之后,产品销售变化较小,产品销售收入趋于稳定状态,在 2021 年之后,产品销售出现回落。

分析曲线产生的原因,在初期,系统集成机器人企业在发展初期,由于采用国外或国内成熟机器人本体进行系统集成,集成方案成熟度高,不受产品性能和技术水平制约,品牌效应明显,市场竞争力好,产品销售收入增长迅速;在中期,随着行业技术进步,有更多企业进入系统集成领域,市场竞争激烈,利润率降低,但由于市场快速增长,产品销售收入变化较小;在后期,系统集成领域进一步加剧,市场增长不能维持较高利润,压缩成本成为提高竞争力的主要手段,但以机器人本体为代表的核心产品受制于人,成本居高不下,造成产品销售达不到预期,出现回落的现象。

### 2. 机器人本体领域企业销售收入模拟结果

机器人本体领域企业销售收入发展趋势模拟图,见图 4。

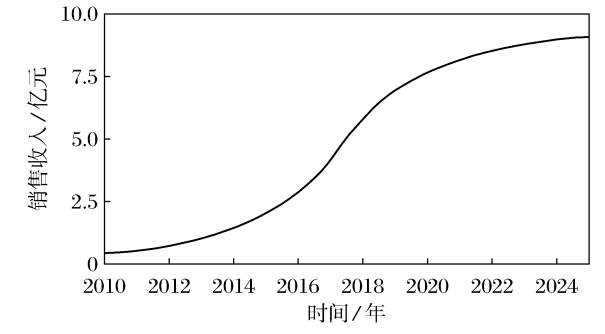


图 4 机器人本体领域企业销售收入模拟图

从图 4 可以清楚地看到 2010—2017 年,产品

销售收入稳中有升,但整体而言,产品销售收入变化不大,基本处于水平状态,在 2017 年之后,产品销售收入极速增加,表明产业的发展进入了上升起步阶段,2022 年之后,产品销售收入增速放缓,总体呈现横 S 型曲线。

分析曲线背后的作用规律,本体机器人产业在初期发展过程中,由于产业基础薄弱,国内机器人本体的性能、质量和可靠性与世界先进水平相比差距明显,产生专利较少,市场占有率不高,品牌知名度低,销售渠道不畅,创新成本较高,因此,产品销售收入在低位缓慢增长;在中期,在国家和地方政策扶持下,企业在核心技术上取得突破,机器人本体的性能、质量和可靠性大幅提升,初步形成品牌优势和竞争力,利润空间大,产品销售收入快速提升;在后期,随着产业发展逐渐成熟,机器人本体企业技术水平整体提升,竞争加剧,市场增长趋于稳定。企业外部研发资金投入的重要性在不断地降低,而且根据短板效应,对技术创新产生的影响将受到其他因素的制约,因此,在仿真的后期,产品销售收入增速放缓。

### 3. 机器人关键零部件领域企业销售收入模拟结果

机器人关键零部件领域企业销售收入发展趋势模拟图,见图 5。

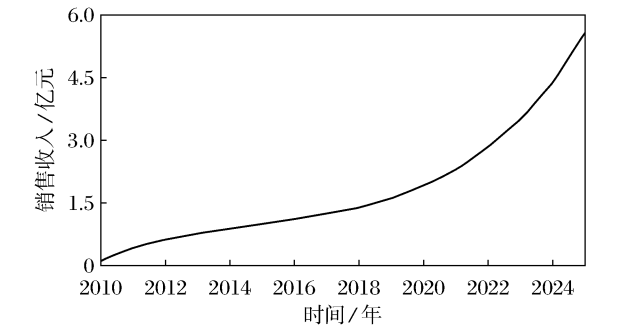


图 5 机器人关键零部件领域企业销售收入模拟图

根据模拟结果,可以清楚地看到 2010—2018 年,产品销售收入稳步上升,但整体变化不大,基本处于水平状态,在 2019 年以后,销售收入缓慢增加,产业发展处于上升阶段,尤其是 2021 年后,变化呈现指数型增长,表明了零部件产业企业销售收入进入快速增长的阶段,总体呈现 J 型规律。

分析曲线背后的作用规律,有两个显著特征。一是零部件企业在发展初期,自主研发需要大量资金,同时专利产出较少,市场占有率低,品牌在建设期,因此销售收入较低,但当发展到一定阶段时,专利积累较多,销量快速增加,研发成本边际

递减,销售收入和成本此消彼长,故销售收入必然呈指数型增加。二是随着机器人关键零部件核心技术取得突破,零部件领域企业销售收入增长的爆发期大致晚于机器人本体领域,这也充分符合发展中国家的先主机、再配套的跟踪模仿式创新模式。

六、发展建议

本文首先以产业发展和复杂系统理论为指导,将机器人产业发展系统中的企业、创新等要素加入机器人产业发展系统当中,同时将政府等单位纳入系统当中,基于系统边界、目标以及要素因果关系,构建了以复杂系统理论为指导的机器人产业发展路径仿真模型,将输出数据与实际数据进行对比,对模型的有效性进行检验,并通过仿真模拟得出资源投入对产业发展的贡献变化及作用曲线,最终得出机器人产业发展路径。

对比机器人系统集成、机器人本体以及机器人关键零部件等领域企业产业发展曲线规律可以看出:在产业发展初期,系统集成产品销售收入增长最快,其他类型产业尤其是机器人关键零部件产业发展较慢。在产业发展中期,机器人本体产业销售收入增长幅度最快,系统集成产业发展趋缓,机器人关键零部件产业正处于快速增长前的孕育期。在产业发展后期,随着制约产业发展的核心技术取得突破,机器人关键零部件产业进入极速增长阶段,机器人本体产业持续高位缓慢增长,系统集成产业进入零增速或负增长阶段。

因此,在产业发展初期,国家产业政策在全方位支持机器人系统集成、机器人本体和关键零部件产业发展的同时,应优先重点支持机器人系统集成产业发展,同时重点布局机器人本体和关键零部件研发。在产业发展中期及以后较长时间,建议机器人系统集成产业发展交给市场,国家产

业政策应重点支持机器人本体和关键零部件研发和产业发展,特别是“十三五”后期,应更加聚焦基础零部件、基础制造工艺和基础材料等基础产业研发,为制造强国建设奠定坚实基础。

参考文献:

[1] 刘冬冬,董景荣,王亚飞. 行业特征、要素禀赋结构与技术进步路径选择——基于中国装备制造业的实证检验[J]. 科研管理, 2017,38(9):132-141.

[2] 邢文凤. 比较企业优势观视角下后发企业追赶路径研究——以新能源汽车发展引发的范式转换为背景[J]. 科学学研究, 2017,35(1):101-109.

[3] 余菲菲,高霞. 产业互联网下中国制造企业战略转型路径探究[J]. 科学学研究, 2018,36(10):1770-1778.

[4] 王万. 机器人产业发展研究[J]. 制造业自动化, 2018,40(4):115-119.

[5] 赵绘存. 专利视角下京津冀机器人产业协同发展研究[J]. 科技管理研究, 2017,37(22):128-133.

[6] 陈军,张韵君. 基于创新 2.0 的中国机器人产业发展政策分析[J]. 产经评论, 2017,8(3):109-119.

[7] Morris R. Computerized Content Analysis in Management Research: A Demonstration of Advantages & Limitations [J]. Journal of Management, 1994,20(4):903-931.

[8] Duriau V J,Reger R K,Pfarrer M D. A Content Analysis of the Content Analysis Literature in Organization Studies: Research Themes, Data Sources, and Methodological Refinements[J]. Organizational Research Methods, 2007,10(1):5-34.

[9] 孙蕊,吴金希. 我国战略性新兴产业政策文本量化研究[J]. 科学与科学技术管理, 2015,36(2):3-9.

[10] 喻一帆. 国际工业机器人产业发展路径及对我国的启示[J]. 对外经贸实务, 2016(6):25-28.

[11] 张慧颖,王丽苹,张颖春,等. 改进 A-U 模型视角下我国战略性新兴产业的发展路径研究——以机器人产业为例[J]. 天津大学学报(社会科学版), 2016,18(1):6-10.

[12] 王友发,周献中. 基于专利地图的机器人产业知识产权发展对策[J]. 中国科技论坛, 2015(9):31-37.

[13] 阙双,郭伏,杨童舒. 多组织知识学习超网络模型及其学习绩效研究——面向复杂产品产业集群[J]. 东北大学学报(社会科学版), 2018,20(6):578-585.

(责任编辑:王 薇)