

面向产业安全的产业物理学研究： 概念辨析、问题论域与理论基础

张立超¹ 刘怡君²

(1. 国信证券博士后工作站, 深圳 518001;

2. 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190)

摘要:产业安全是关乎国家经济安全、社会和谐稳定的重要组成部分。从当前中国产业安全的现实需要出发,选择以产业物理学理论作为研究的基本出发点,在界定和明确产业物理学基本内涵与外延后,对现代产业安全问题的主要特征进行系统梳理,给出现代意义下的新的产业安全观。在此基础上,提出将产业物理学理论运用于产业安全问题建设的相关思路,形成对产业物理学研究理论体系的基本认知,构建产业物理学的内在研究逻辑体系的理论基础,即区域势差理论、能级跃迁理论、空间经济场理论、产业平衡态理论,并从产业黏度、密度、温度、速度、梯度等方面给出现代产业安全问题研究的数量表征,以期对产业经济理论研究和产业安全建设起到推进作用,最终实现产业持续稳定发展。

关键词:产业物理学;产业安全;概念辨析;问题论域;理论基础

引言:产业物理学,后工业时代对产业问题的再思考

从古老的农耕经济走向近代的工业文明,再到当今量子化网络社会的崛起,无不蕴含着自然科学的先进成果和对社会转型的合理诉求。同样,从学科的发展演进历程来看,经济学家和社会学家广泛学习、借鉴和吸收现代自然科学的方法已成为交叉性研究创造性思维的理论源泉和方法论革新的重要途径。事实上,将物理学的原理方法作用于经济社会系统已经成为学科的发展趋势之一,并且已得到了越来越广泛的重视和关注。早在恩格斯时代,就已开始关注产业活动中的一些物理学现象,他曾运用杠杆原理形象比喻新旧产业之间的关系,新产业的产业“吨位”虽然很小,但其作为“臂长”的社会价值却很大,因此也能翘起杠杆另一端的老产业,对老产业的生存与发展构成冲击,这可以看作是早期对产业的物理学现象的直观认识和朴素思考。自 20 世纪 90 年代开始,国际上已逐渐出现产业经济活动与热力学、熵理论等的交叉研究视角,其主要是围绕产业结构及其演变规律方面展开的:其中法国学者 Cliquet^[1]引入熵的理念来度量法国零售行业的发展状况;美国布鲁金斯学会的 Axtell^[2]从粒度的视角探讨产业集群内美国公司概率密度的幂律分布规律;英国学者 Baldwin 等^[3]通过研究英国南约克郡的产业可持续再生问题,提出一种非平衡热力学的产业发展模式;意大利的 Cutrini^[4]借助物理学上的熵指数,对行业内本地化经济的集聚水平测度进行有关研究;波兰的 Bejger 等^[5]运用小波原理进行产业均衡分析;西班牙学者 Valero 等^[6]结合热力学与经济学的系统综合诊断方法对生态工业园开展研究;Moreno 等^[7]利用广义最大熵方法对电力行业的价格进行估计预测。与此同时,国内方面也已逐渐开始出现了产业物理学研究的萌芽,包括吴翔阳^[8]、牟绍波等^[9]、周琴^[10]、杨华磊等^[11]利用力学机制探讨产业集群发展模式,以及李惠娟等^[12]、张新芝等^[13]、刘军跃等^[14]、王正明等^[15]、柳天恩^[16]、何大义等^[17]、杨浩昌等^[18]进行熵理论在结构差异化水平以及产业转型分工方面的初步应用,这些都是在产业物理学领域的有益探索和尝试。

产业安全是关乎国家经济安全、社会和谐稳定的重要组成部分。冷战结束后国家安全已从传统意义上的军事安全转向经济安全,并伴随着经济全球化进程的加速为世界各国所重视。就当前来看,中国正处在全面

收稿日期:2014-07-21

基金项目:中国科学院青年创新促进会项目(2014139);博士后基金(2016M590769)。

作者简介:张立超,国信证券博士后工作站博士后;刘怡君(通讯作者),中国科学院科技战略咨询研究院,副研究员,博士。

深化改革的关键时期,影响中国产业发展的经济环境、市场空间、体制边界与资源条件等相比过去都有着很大的变化。在世界全球化进程快速发展、国际经济格局再调整的大背景下,中国产业所面临的安全问题日益凸显,表现在行业发展效率滞后、外资垄断结构失衡、产能过剩重复建设、地区产业同构严重、产业传统优势减弱等诸多方面,以及由此所带来的发展过程中的“不平衡、不协调、不可持续”,产业安全建设已成为当下中国必须面对和解决的迫切问题^[19-21]。从本质上来讲,产业本身具有动态开放系统的特征,其发展过程中涌现的诸多现象可运用物理学的原理、技术和方法来进行表征。有鉴于此,本文围绕中国现代产业安全问题的现实需要,在追溯产业物理学发展历程的基础上,明晰产业物理学的基本概念、内涵特征与方法体系,提出产业物理学研究的基本问题论域,构建产业物理学研究的理论基础,这对于当前中国全面深化改革目标、调整优化产业结构、提升产业发展质量、促进产业绿色发展具有重要的理论价值和实践意义。

产业物理学研究的基本概念辨析

1、产业物理学的基本内涵与外延

通过对历史文献的回顾和梳理,其研究探讨主要集中在利用运动和力的观点以及热力学原理来分析一些产业现象,国外重在实证测算,国内重在现象阐释,总体来说较为零散,且基本处在对产业的物理学基本原理的感性认知和初步探索阶段,尚无成型系统的理论方法体系。而就产业物理学这一概念来说,至今在学术界并没有明确具体的加以提出。结合产业物理学的历史渊源和发展脉络,我们认为,所谓的产业物理学(Industrial Physics)是指运用物理学的观点来从混沌纷杂的产业经济活动中寻求产业发展演化的基本特点,分析和考量产业组织结构的一般性特征,探讨和研究产业问题的物理总内核,揭示和描述产业运行发展的客观规律,其本质和初衷是更好地服务于产业持续、稳定和协调发展,构建和谐健康绿色的产业环境。在这里,产业物理学具有 3 个方面的内涵特征:第一,产业物理学是以产业为出发点,围绕经济社会发展的角度研究产业间的资源占有关系、结构均衡状态、区域分工布局、层次演化趋势,寻求产业自身所特有的物理学意义上的运动规律;第二,产业物理学研究贯穿于整个产业的产生、成长和演进的全过程,需要用动态、发展、演化的观点看待问题;第三,产业物理学研究归根结底是要服务于产业的各类生产实践活动,其最终目的是促进产业的健康、稳定、可持续发展。

在物理世界,物理学中的单个基本粒子被看作是杂乱无章的不规则运动,但在整体上却呈现出一种带有普遍意义的规律性。产业是由众多具有共同特性的微观企业按照一定经济秩序和关系准则所组建的集合体。在现实的产业经济活动中,产业的基本单元的实际主体——企业作为一个个海量的微观粒子,其生产经营活动行为都是由企业根据自身的战略发展目标结合其实际状况所展开的,比如是否投资进入该领域、选择什么样的生产线、是否需要扩大企业规模、增加劳动力和资金投入等都是企业的一种自身的决策行为。因此,就单个企业的日常经营活动来看,类似于单个粒子的运动表现出个体的纷杂性,但若放在产业集群这个大环境当中来看,每个企业的决策行为都是紧密围绕企业所处的行业环境所展开的,整个产业经济活动中企业的活动规律呈现出一定物理意义上的系统演化规律和相互作用关系。因此,从产业系统的整体角度来看,系统内外存在相互作用的多粒子系统,每个粒子(企业)受到周围其他粒子(企业)的作用,且不断与外界环境进行物质能量的交换,产业活动呈现出一种有规律的起伏变化和发展,可以看成是各企业相互交叉作用所产生的经济效果(图 1),研究它的系统结构特征能够得到产业经济活动的基本运行规律。

2、产业物理学与相关学科的概念辨析

事实上,自 20 世纪以来学者们就开始运用物理学的思想、概念、模型、方法来研究经济社会问题,并出现了 2 种发展方向:一种是基于统计和理论物理的思想来探求经济的自组织特征和普适性规律,即经济物理学^[22],它在企图弥补主流经济学理性预期和均衡假定基础之上通过利用伊辛自旋模型、渗流模型、异质多个体模型等来探讨市场的复杂性问题;另一种是以借鉴、吸收和应用物理学规则来审视、思考、研究社会现象的学科——社会物理学的出现为标志^[23-26],尤其是在社会网络普及的今天,如何从“微观个体行为的随机”中寻求“宏观群体行为的可识”^[27],从而揭示社会系统的结构与功能、社会行为的模式与转变、社会规则的制定与评价已成为现代意义上的社会物理学研究的热点问题。

产业物理学研究选择以中观层面的产业作为其研究对象,它既有别于以经济现象与金融系统为研究对象

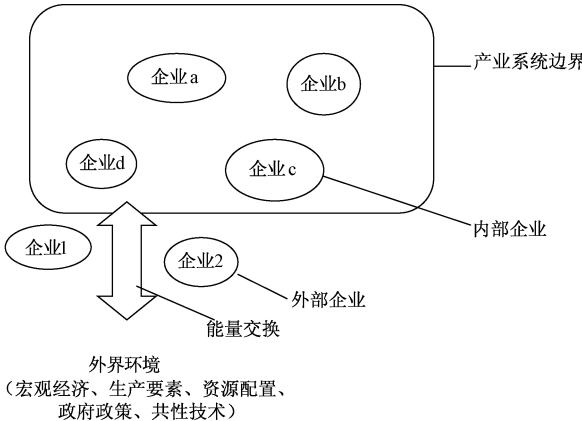


图 1 产业系统与外界环境作用示意图

的经济物理学(Econophysics),也不同于以社会系统为研究主体的社会物理学(Social Physics)。从学科的发展来看,经济物理学的建立在于弥补传统经济学在实证检验方面的缺陷,让经济学家重视实验和实证数据,使得类推演绎、数值模拟和实证仿真回归到科学化的轨道上^[28],并与已初见端倪的产业物理学研究一道共同服务于社会这个大环境,系统性地解决人类社会从单纯依靠经济增长到追求质量发展的重大问题,营造社会福利的最优化(图 2)。同样,从经济活动的现实情况来看,产业成为一种独特的社会化专业分工现象,是人类社会发展到一定阶段的产物,作为社会系统的重要组成部分,涉及农业、工业、流通业、服务业等众多行业部门,其发展状况的好坏和优劣对社会发展具有十分重要的影响作用,这为以特定产业作为研究对象的产业物理学理论的建立提供了现实基础。结合经济物理学、社会物理学的发展历程来看,产业物理学与经济物理学、社会物理学在研究对象、理论基础、研究重点、方法体系、研究工具、学科目标等方面存在不同之处,具体见表 1。

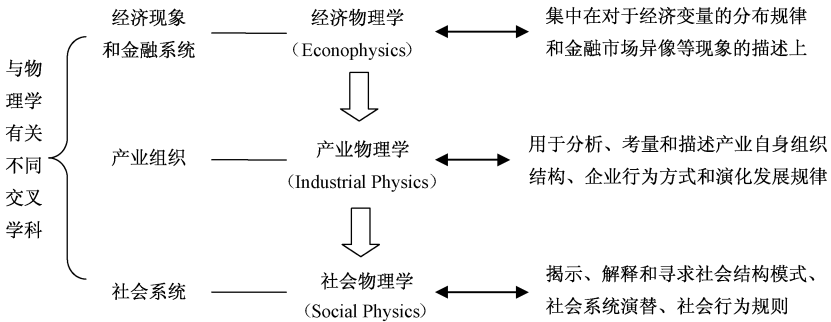


图 2 产业物理学与相关学科的概念辨析

表 1 与物理学有关的不同交叉学科关注点

	经济物理学	社会物理学	产业物理学
研究对象	经济现象和金融系统	社会系统	产业组织
理论基础	经济学、金融学	社会学、管理学	产业经济学、系统科学
研究重点	集中于国民财富和收入分布、金融市场的波动特性、组织与网络增长等多个领域	探讨和揭示社会行为动力、社会群体规则、社会结构演化以及社会组织方式等内容	围绕产业组织结构、企业行为方式等内容,研究其发展演化规律和相互作用关系
方法体系	热力学、耗散结构理论、动力学模型、混沌理论、分形分维理论	社会燃烧理论、社会作用最小原理、社会行为选择理论	区域势差理论、能级跃迁理论、空间经济场理论、产业平衡态理论
研究工具	动态非均衡分析	社会和谐方程	时空质能方程
学科目标	解决宏观经济实际问题	构建和谐稳定社会环境	服务产业持续稳定发展

产业物理学研究的主要问题论域

1、现代产业安全问题的主要特征

从亚当·斯密主张国计民生产业的重要性到亚·汉密尔顿、弗·李斯特提出幼稚产业保护论再到迈克尔·波

特国家竞争优势理论的形成,可以看到传统的产业安全问题研究主要是围绕关税保护、国民权益、资本控制的角度出发的,强调的是国家利益或民族资本在产业安全中的重要地位。伴随着经济的全球化发展、信息技术的推动、量子化社会的到来,现代意义上的产业安全问题呈现出复杂特性,表现在投资主体的多元化、行业边界的模糊化、产业活动的跨地域性、利益关系的泛在化等诸多方面。因此,在新的时代背景下,如何选择投资领域,完善自身产业结构,规避产业相关风险,培育产业竞争优势,提升产业国际竞争力已成为今后产业安全研究的重点问题^[29]。基于此,现代意义上的产业安全问题具有如下鲜明特征。

首先,现代的产业安全问题是聚焦产业发展动力,提升产业创新层次的能力。在当前全球化背景的时代,产业安全是产业在未来一段时间内可预期的一种安全状态,是动态的、发展的、可持续的安全。只有发展过硬,才具有话语权,提升产业创新层次、促进技术升级是打造产业发展动力的关键所在。目前某些产业的技术水平过低,高投入低产出,大多数没有实现产业技术的升级换代,其结果是不仅新兴产业难以迅速成长,而且也不利于传统产业的改造升级。因此,现代意义的产业安全建设的重点在于摒弃以往的单纯重引进轻消化、以市场换技术的行为,更多依靠技术创新、产品创新、市场创新,探索产业创新路径下的产业转移、产业集聚、产业融合等现象,提高产业国际竞争能力。

其次,现代的产业安全问题是面向运行质量需要,优化产业组织结构的能力。产业要健康持续稳定发展,关键是产业质量的提高,产业组织结构状况是区域经济发展水平的主要标志,同样也是提升产业运行质量的重要因素。优化产业组织结构,提高产业运行效率,是当今产业安全问题研究的重点之一。目前某些产业结构不合理,组织过于分散,规模不经济,产能过剩、盲目扩张、重复建设的现象严重,结构性矛盾凸显,这些都制约着相关产业的健康稳定发展。因此,加强包括投资结构、市场结构、就业结构和贸易结构等在内的产业结构建设,提高产业整体运行质量,谋求有效益、有质量、可持续的发展,是今后一段时期内产业安全建设的重要方面。

最后,现代的产业安全问题是立足公平竞争环境,实现产业协调发展的能力。在资源环境约束日益严重、国际间产业竞争日趋激烈的今天,由于自然条件、资源禀赋、地区差异等的不同,使得区域间的各产业在资源占有和发展存量方面存在一定的差异,从而表现出区域间产业发展的非均衡性。此外,一些政府部门往往从自身利益出发,导致霸权垄断、行业割据和地方保护主义盛行,要素资源市场无法合理流动,制约着产业的公平竞争与发展。维护产业安全其本旨是优化配套环境建设,促进资源合理配置,减少恶性竞争行为,发展社会分工协作,实现行业、部门、地区间的协调发展与良性互动。因此,现代的产业安全问题在于研究基础设施、人力资本、共性技术、知识产权、制度法规等资源要素的合理流动,形成规范有序、公平竞争的产业发展环境。

2、产业物理学:研究产业安全问题的新视界

面向现代产业安全的产业物理学研究就是要走出新自由主义经济学和传统贸易保护理论的藩篱,是探求新时代背景下发展中国家关于产业如何发展问题的有效选择。现代意义的产业发展不再以总量规模为单一的评价标准,而是更加注重集约化、优质化、均衡化的发展。因此,面向现代产业安全问题的产业物理学研究在于寻求产业发展的“动力、质量、公平”的有机辩证统一。

(1) 产业物理学研究有助于寻求产业发展的动力元素

产业发展是一个从低级向高级演进、具有内在逻辑的历史过程,其“发展速度”、“发展效率”、“创新能力”等共同构筑起对该产业领域发展的动力表征。市场需求、政策供给、制度变迁等外生变量的推动以及技术资本的累积等内生变量的激发是产业发展动力形成的基本原因。产业系统是由众多子系统所组成的复杂系统,具有开放性、非平衡性和非线性等诸多自组织特性,其自组织演化是由涨落触发、原有结构失稳和新的有序结构建立这样一个不断进化的过程^[30]。当产业运行体系与环境进行物质、能量和信息的交换时,通过产业系统非线性的交互作用,随机“涨落”力在临界点处将系统内某一微小涨落放大成为巨涨落,促使该产业领域选择更能适应产业环境的结构或运行模式^[31]。产业物理学通过对产业成长、演进、发展的全过程的有效研究,包括当前的产业运行规律、发展模式、增长方式、演化趋势等,建立起产业发展动力的合理表征,探究产业发展的动力源泉。

(2) 产业物理学研究有助于评判产业发展的质量元素

从产业的发展来看,用于衡量产业发展的优劣与规模状况,可归结为“质”和“量”2个部分。其中“量”是对事物规模大小的一种测度,从总体规模层面反映产业发展的数量扩张,“质”是一组事物的内在固有属性并

满足其要求的程度,从结构优化层面反映产业发展的质量演进,其实质是通过结构的改善来提升集约效益,包括需求结构、生产结构、就业结构和贸易结构,用于探索产业系统从无序到有序的演化规律。目前现代的产业安全问题更多的是聚焦在“质”的层面。产业物理学研究的建立有助于运用物理学的思维分析产业结构、组织关系、投入产出、行为绩效等,揭示产业间的关联关系及其形成、调整和发展的内在机理和逻辑,并以此反映产业间的各类经济现象,可以科学分析和判断产业结构是否合理,对扎堆经营、无序上马、产能过剩、产业过热等征兆进行及时捕捉,发挥产业预警功能。

(3) 产业物理学研究有助于揭示产业发展的公平元素

产业作为社会分工发展的产物,具有动态的时空演化特性,是相关要素资源在特定空间维度的对立统一分布。实现各区域间产业的公平竞争、有序发展支撑现代产业发展不可或缺的应有理念,也是提升社会和谐水平的基本保证。各个地区由于自然条件、资源禀赋不同,形成不同地区的比较优势,产生地域分工,使各产业在发展条件、发展状况、发展水平方面有着不同之处,即存在产业势差。产业物理学研究可用于探究产业势差的形成机理与发展趋势,包括生产要素在区域间的组合、资源要素的流动配置、产业集群的聚集与扩散等方面,从而为选择投资领域、优化资源配置、合理布局分工提供指导,促进各产业互利、共生、协调发展,最终实现区域经济的公平发展。

产业物理学研究的相关理论基础

1、当前对产业物理学研究理论体系的基本认知

产业物理学研究派生于对产业现实问题的探讨,通常需要遵循一定的思考模式,并且具有较为严格的逻辑推演,在寻求产业发展本旨的过程中建立形成了如下的基本认知框架:

①承认无论是自然系统还是社会系统,一个系统要实现从无序到有序的演化,必须不断地与外界进行“能”的交换;②当“能”的累积达到一定阶段,必然产生广义的“势”;③只要存在广义的“势”,必然会导致广义的“力”;④当“力”的运动趋于平衡,必然形成广义的“态”;⑤由于熵增的作用,“态”的平衡被打破,必然引发“能”的再调整;⑥“能”的再调整必然形成“力”的运动,产生新的“势”,系统从有序重新走向无序。

围绕上述认知,产业物理学着重探索开放条件下广义“能”、“势”、“力”、“态”其演化过程中的表现形式、行进速率、发展强度、响应条件、演进方向及其稳定程度,从而刻画出时空耦合的条件下其运行发展的“时空质能”属性,以寻求其内在机制和调控要点,科学有效地服务于现代产业安全问题的解决^[32]。基于此,产业物理学的内在研究逻辑理论体系建立在如下理论的基础之上。

(1) 揭示产业发展动力机制——区域势差理论

对某一时期相对于其他参照区域的产业来说,某一区域产业组织所具有的产业发展存量的的高低程度,可定义为产业势差。产业势差的存在使得产业的成长、扩张与转移成为必然。一方面,产业高发展的地区,其产业发展存量的积累愈大,导致竞争力愈强,竞争力愈强导致其对相关资源的需求愈大,对产业投入愈加重视,并对低发展地区形成一种自发的牵引力;另一方面,产业低发展的地区,其产业发展存量的积累愈小,导致竞争力愈弱,愈弱的竞争力导致低发展地区向高发展地区靠拢,谋求更多的发展机会;产业势差的存在通过高发展地区的“主动牵引”和低发展地区的“被动传布”,在非均衡的地理空间内,形成区域乃至全球均衡状态的“助推效应”,这为产业低发展地区模仿、获取和利用外来的技术创造了条件^[33],有利于产业发展存量低的地区减少学习成本,加快追赶步伐,缩小与高发展地区之间的差距,谋求更广泛的均衡。

(2) 刻画产业创新发展路径——能级跃迁理论

物理学中的能级是指物质的能量级别与所处的状态。产业的发展遵循一个从低级阶段向高级阶段演进的过程,必须不断地与外界进行物质和能量的交换,其过程体现了量子跃迁的类新陈代谢特征^[34]。由能级跃迁原理可知,系统并不总是以连续的、线性的发展进程由较低级的组织水平过渡到较高级的组织状态。由于技术创新等的引入,使系统由一种稳定状态跳跃到另一种稳定状态,导致系统的不连续演化,使系统陷入混沌无序以致最终消亡或者运行到更高组织水平上,最终建立新的亚稳态。同理,低能态的产业系统主动趋向自身有利的方向进行跃迁,寻求产业升级的机会,产业系统内浮现明确的组织发展路径,产业系统跃迁至高能态。当高能态的产业系统由于技术进步等条件的出现,产业内部产生系统选择行为,旧产业的产品逐渐被淘

汰,产业系统产生回落并形成新的稳定结构,这为研究和把握产业的所处阶段、运行轨迹和发展路径提供了理论支撑。

(3) 透视产业布局分工关系——空间经济场理论

场与空间理论最早源自于物理学中对引力场、电磁场的描述。经典物理学认为“场”是物质在空间分布状态的描述,具有一定的质量、能量和动量,呈现不同的形态、结构和属性,且在一定条件下可以与实物进行相互转化。事实上,产业活动是人类在自然、经济与社会空间中最重要的活动方式之一,产业系统一旦形成,就占据一定的空间场所,系统中的企业作为一个个散落的点,通过一定的组织关系、生产关系、经济关系相互连接,构成一定区域范畴内的空间经济网络,形成经济空间结构体,并对产业以外的空间产生交互机制,如产业对周围经济的辐射机制,对技术人才的吸引机制等。借鉴物理学中“场”的原理,可进一步建立产业空间经济场的位势、场强与梯度表征,用于描述产业空间演化、布局分工关系。

(4) 探讨产业协调发展规律——产业平衡态理论

按照热力学理论,可把系统分为平衡态、非平衡态的线性区(即近平衡态)、非平衡态的非线性区(远离平衡态)三种状态,后者统称为非平衡态。从热力学角度来看,平衡是指在与外界没有物质能量交换的条件下,系统的各部分在经过足够长的时间后不发生任何宏观变化,稳定存在的一种最均匀无序的状态。平衡态的系统由于负熵流的引入,产生内外涨落力,驱动系统达到在时间上、空间上或功能上的有序状态,并影响着系统演化的结构方式。产业系统的动态演进是连续性与非连续性、均衡性与非均衡性的统一。由于禀赋的非平衡配置、市场的非平衡行为、行业的非平衡组织、地区的非平衡发展,促进不同产业间的非线性关系的形成,推动产业系统远离平衡态。

2、建立现代产业安全问题研究的数量表征

现代产业安全问题数学模型的基本表达,是将产业经济活动中的各类现象和规律进行归纳、聚类、抽象、模拟和演绎,做出产业发展的层次、结构、临界、相变、趋势等在定量层面的精确表达,从而获得对现代产业安全问题的可表达、可监测、可识别、可预警、可调控的系统性整体认知。产业系统是由区域(地理空间)、影响(能力空间)、组织(有序空间)、发展(层次空间)等多维空间构成的有机集合体^[35],若影响产业系统的相关变量集合记为 $F(r, t)$,它伴随时间 t 以及空间 r 而变化,设 F 由 n 个分量 $f_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 所组成,记 F 为取决于空间和时间 (r, t) 的 n 维向量,则有:

$$F(r, t) = [f_1, f_2, f_3, \dots, f_n]^T \quad (1)$$

这些变量直接或间接作用在产业系统 F 之上,从而在给定的时空坐标 (r, t) 下,共同组成了对“产业安全预警模型(ISM)”的基本认知表达,它是对一定时期内地理空间范畴的物质、能量、信息传输过程中在时空耦合环境下的具体模拟和科学揭示,是产业系统从常态到非常态、从有序到无序的、从组织到崩溃的综合度量,其数学表达的一般形式为:

$$ISM(r, t) = f(\mu_t, \rho_t, T_t, G_t, v_t) \quad (2)$$

式(2)中, $\mu_t, \rho_t, T_t, G_t, v_t$ 分别代表产业黏度、密度、温度、梯度以及速度,可以作为产业安全程度判定的信号指示器(见表2)。在给定的时间 t 与给定的空间 r 下,这些状态量受到某些泛函或范数的制约(即约束条件),可统一表达为:

$$\alpha \leq \|\mu_t, \rho_t, T_t, G_t, v_t\|_e \leq \beta, \alpha, \beta \text{ 为限制常数} \quad (3)$$

在符合以上的约束条件内,所进行的产业活动即是合理的标识,这些状态量过大或过小都不利于产业的发展。因此,现代产业安全问题的本质是通过对产业活动的理性控制,使系统处在合理或允许的阈值区间内,远离崩溃的临界状态,寻求多维协同的竞争平衡点和结构层次中的发展有序性,让产业系统处在相对适宜的运行状态。这种对产业活动加以临界约束和理性调控的整体要求,构成了对产业系统运行本质的健康表达。

根据上述思路,采用复杂系统建设过程中的全景扫描、信号识别、过程模拟、态势推演等有效手段,充分运用计算机网络技术、可视化技术、情景建模技术建立起系统仿真环境(如图3)。围绕与产业安全预警息息相关的包括经济、制度、政策、资源、规模、组织、技术、劳动、资本等在内的“第一层次”的本底诱因的提取、加工和凝练,得到包括产值、产量、销量、收入、净利、毛利等在内的一系列可甄别、可计算的“第二层次”的基础指标,综合运用“产业安全预警模型”的理念,进一步得到包括黏度、密度、温度、梯度以及速度在内的可表达、可

诊断的“第三层次”的核心量度,在统一基础上加以标准化并结合阈值区间判别的基本规则,可判定当期的产业是否处在安全态势域以及警情的级别,逐步建立起分行业、分地区的警情直报网络系统,将产业运行控制在合理范围之内,服务于中国产业安全建设。

表 2 关于产业安全预警的五大核心量度

名称	公式表达	解释说明	主要应用
产业黏度	$\mu=\frac{\sum U_{Ai}\cdot U_{Bi}}{\sqrt{\sum U_{Ai}^2}\cdot\sqrt{\sum U_{Bi}^2}}$	U_{Ai} 、 U_{Bi} 为区域 A 、 B 的第 i 个产业部门的产值占该区域产业比重的大小	用于描述地区产业结构变动过程中结构相似程度与竞争互补性,从而反映产业发展过程中的重复建设和恶性竞争等问题
产业密度	$\rho=\frac{\sum M_i}{V}$	产值规模 M 为期间内部门所生产的以货币表现的全部产品的生产总量,市场容积 V 以一定区域范围内该产业内部所有的企业销售收入汇总之和来反映	用于描述市场容量是否饱和,是评判产能是否过剩、扎堆经营的重要依据
产业温度	$T=\Pi(Y,C,S,R,L)$	Y,C,S,R,L 分别代表产业系统中其生产要素、资本流动、供需结构、技术研发、劳动就业状况	用于勾勒产业系统内各企业的运动轨迹与活跃程度,谨防产业过热现象的发生
产业速度	$\vec{V}=\vec{v1}\cdot\vec{v2}\cdot\vec{v3}$	$\vec{v1}$ 代表成长速度,与产业发展规模呈正比,遵循逻辑斯谛函数的成长规律; $\vec{v2}$ 代表扩张速度,是产业规模聚集扩散水平的时间与空间函数; $\vec{v3}$ 代表转移速度,是资源环境制约、跨区投资、技术跃迁、成本驱动等而发生的空间位移现象的抽象表征	为寻求产业发展的上限提供了依据,并能有效识别同一区域在不同时段的发展状况和同一时间在不同区域中的发展状态
产业梯度	$G=\frac{\partial Q\rightarrow}{\partial K}a_k+\frac{\partial Q\rightarrow}{\partial L}a_L+\frac{\partial Q\rightarrow}{\partial T}a_T$	Q 代表一定区域范围内产业的总产值,是投入的资本 K 、劳动力 L 和技术成本 T 的综合度量,以梯度形式呈现出来,是资源禀赋、技术差距、发展水平共同作用的结果	用于评价区域要素资源的分布状态与发展的差异程度

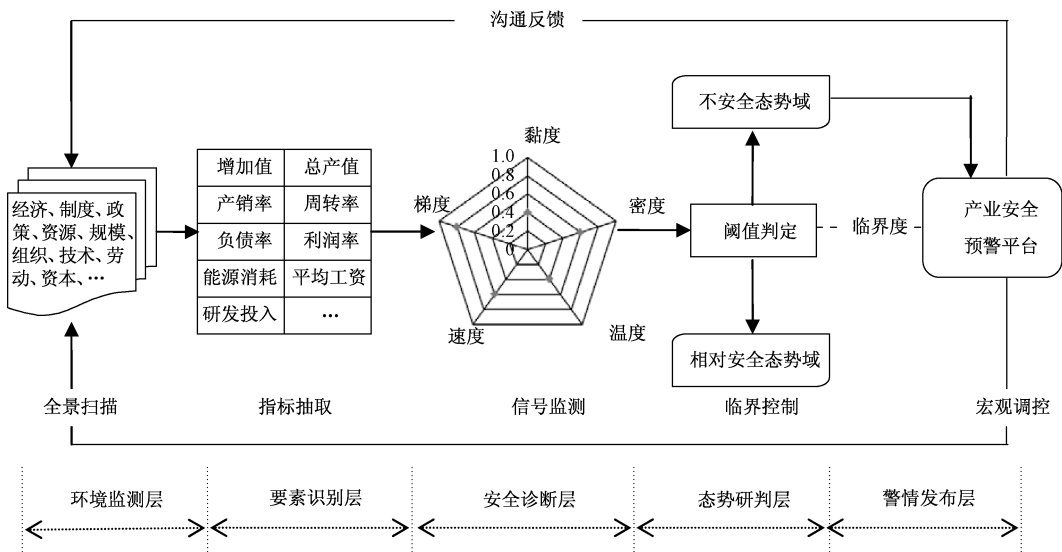


图 3 产业安全预警系统建设的基本思路

3、基于中国制造业的初步测算

(1)制造业发展概述

制造业是一个国家生产力发展水平的直接体现,也是国民经济持续稳定发展的重要基础。近些年来,制造业的快速发展已使中国成为世界主要生产基地和全球第二大经济体,在扩大投资、促进消费、带动出口贸易、吸纳人口就业、促进经济增长等方面扮演着不可替代的关键角色。但同时也应看到,中国制造业在快速发

展过程中存在着不少问题,主要体现在技术创新能力不足、生产效率较低、人均附加值不高、产业结构不合理、资本控制力薄弱、市场过于分散、资源环境约束日益突出等诸多方面。目前,中国制造业的发展正面临着技术升级、产能过剩、成本高企、效益下滑、“空心化”初显等一系列威胁和挑战^[36]。

(2) 数据选取与计算

综合考虑数据信息的公允性、获取性、一致性以及可比性,参照国家统计局统计设计管理司对行业的划分标准,选取在新、旧国民经济行业分类体系中未作改动的 21 个制造行业部门作为分析对象^①。时间跨度为 2003–2011 年,所需数据均来源于历年的《中国统计年鉴》、《中国区域经济统计年鉴》以及《中国工业经济统计年鉴》等。围绕“动力、质量、公平”的产业安全建设指导原则,形成包括黏度、密度、温度、梯度以及速度等在内的对中国制造业产业安全态势的总体度量,具体测算方法及过程如下:

产业黏度:主要是先计算该行业部门其全国平均水准的产业结构,然后以此为基准将各个省份其行业部分的产值比重一一与之比较,最后汇总后得出该行业部门的区域间结构相似度水平。

产业密度:主要由一定时期内该行业部门的工业总产值与其销售收入之比,并结合该行业部门的产能利用率^②综合得出其行业发展的市场容量状况与设备利用综合水平。

产业温度:一般由投资报酬率、流动资产周转率、产品销售率、研发产出率、劳动力价格等 5 项组成,其中投资报酬率是指该行业达产期正常利润占投资总额的百分比;流动资产周转率为一定时期内该行业流动资产周转次数,是衡量行业资产质量的重要因素;产品销售率是该行业在一定时期已经销售的产品总量与可供销售的产品总量之比;研发产出率为该行业研发经费占销售收入的比例;劳动力价格用该行业职工平均工资表示。

产业速度:其中成长速度主要由成本费用利润率进行表征,即一定期间内行业利润总额与成本、费用总额的比率;扩张速度主要用产业集中度来表示,即细分行业中大中型企业销售收入与企业数量的乘积比上该行业总体销售收入与企业数量乘积;转移速度主要考虑能源投入、电力消耗、三废排放强度以及出口对外依存度。

产业梯度:主要由总资产贡献率、劳动生产率、技术投入比率共同表征,其中总资产贡献率用于反映该行业全部资产的盈利能力,劳动生产率用工业总产值比上该行业年平均就业人数,技术投入比率是该行业科技支出(包括研究开发、技术改造、科技创新等方面)与销售收入的比率,用于反映行业的发展潜力。

(3) 测算结果的分析

根据综合指标评价法^③的构建思路和通行的计算规则,利用 2003–2011 年各行业数据分别估计测算。为保证数据的可比特征,采用极值标准化法对具有不同量纲的原始数据按照正向指标与逆向指标的逻辑关系进行标准化处理,将每个指标值映射到 $[0, 1]$ 区间,以实现评价标准的统一性。围绕上述思路,得出上述 21 个制造行业部门 2003–2011 年的产业安全指数,见表 3。

以制造业整体平均水准作为参照,可以看到造纸制品、化学原料、医药制造、矿物制品、通用设备、专用设备等行业长期处于平均水准以上,需要重点关注。近年来,黑色金属、金属制品、电气机械等行业的产业安全指数呈现出上升趋势,呈现出不稳定发展态势(图 4)。而这些行业也是当前中国政府所重点关注的行业部门^④,与本文的判断基本吻合。今后可围绕上述基本思路,进一步建立年度、季度、月度的产业安全诊断直报系统,对产业安全问题予以实时诊断。

①主要参考标准为《国民经济行业分类与代码》GB/T4754–2002 与 GB/4754–2011,这 21 个制造行业分别是农副食品加工业,食品制造业,饮料制造业,烟草制品业,纺织业,纺织服装、鞋、帽制造业,造纸及纸制品业,石油加工、炼焦及核燃料加工业,化工原料及化学制品制造业,医药制造业,化学纤维制造业,非金属矿物制品业,黑色金属冶炼及压延加工业,有色金属冶炼及压延加工业,金属制品业,通用设备制造业,专用设备制造业,交通运输设备制造业,电气机械及器材制造业,通信设备、计算机及其他电子设备制造业,仪器仪表及文化、办公用机械制造业。

②由于产能利用率中国并无相关统计数据,可用固定资产周转率近似替代,即固定资产周转率=销售收入/平均固定资产净值。

③即把多个描述被评价事物不同方面且量纲不同的统计指标,转化成无量纲的相对评价价值,并综合这些评价价值以得出对该事物一个整体评价的方法系统。

④《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》、《国务院关于促进企业兼并重组的意见》(国发[2010]27 号)、《工业转型升级规划(2011–2015 年)》(国发[2011]47 号)都提出,要以汽车、钢铁、水泥、船舶、机械制造、电解铝、稀土、电子信息、医药、造纸等行业为重点,加快推进重点行业企业兼并重组的任务。

表 3 中国制造业 2003–2011 年产业安全指数

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
农副食品	0.6507	0.5967	0.5730	0.5689	0.5924	0.5367	0.5703	0.5653	0.5570
食品制造	0.6872	0.6555	0.6324	0.6190	0.6669	0.6392	0.6780	0.6570	0.6418
饮料制造	0.7049	0.6295	0.6341	0.6066	0.6706	0.6419	0.6367	0.6464	0.6305
烟草制品	0.2650	0.2223	0.2255	0.2572	0.2683	0.2953	0.2450	0.2909	0.2694
纺织业	0.6711	0.6835	0.6389	0.6387	0.6669	0.6341	0.6566	0.6438	0.6370
纺织服装	0.5673	0.5053	0.5425	0.5424	0.5647	0.5458	0.5553	0.5688	0.5872
造纸制品*	0.7325	0.7647	0.7066	0.6700	0.7034	0.7219	0.7467	0.7296	0.7514
石化炼焦	0.4748	0.4783	0.4618	0.4864	0.4805	0.4569	0.4958	0.4883	0.4746
化学原料*	0.7740	0.7541	0.7146	0.7240	0.7636	0.7345	0.7653	0.7474	0.7392
医药制造*	0.7730	0.7199	0.7958	0.8055	0.8172	0.7837	0.7885	0.7588	0.7589
化学纤维	0.6815	0.6484	0.6330	0.6255	0.6714	0.6295	0.6309	0.5995	0.5965
矿物制品*	0.8201	0.7707	0.7881	0.7710	0.7612	0.7369	0.7718	0.7753	0.7742
黑色金属	0.6667	0.6762	0.6401	0.6525	0.6534	0.6336	0.6841	0.6739	0.6683
有色金属	0.7149	0.7171	0.6506	0.5852	0.6195	0.6366	0.6377	0.6161	0.5997
金属制品	0.6509	0.5971	0.6093	0.6098	0.6528	0.6281	0.6992	0.6818	0.6806
通用设备*	0.7621	0.7606	0.7106	0.6796	0.6838	0.6734	0.7040	0.7115	0.7219
专用设备*	0.7818	0.7864	0.7395	0.7342	0.7644	0.7392	0.7537	0.7238	0.7046
交通设备	0.6487	0.6511	0.6543	0.6531	0.6855	0.6522	0.6827	0.6407	0.6388
电气机械	0.6875	0.6547	0.6362	0.6062	0.6439	0.6226	0.7004	0.6771	0.6877
电子设备	0.5209	0.5231	0.5110	0.5071	0.5522	0.5366	0.5711	0.5978	0.6214
仪器仪表	0.6190	0.5909	0.5319	0.5778	0.6150	0.6065	0.6673	0.6747	0.6970
平均水准	0.6769	0.6618	0.6394	0.6366	0.6586	0.6371	0.6765	0.6643	0.6647

注:表 3 内行业全称对应于本文第四部分第 3 节页下注①所列制造业各行业名称,其中*表示该行业处于不安全态势域。

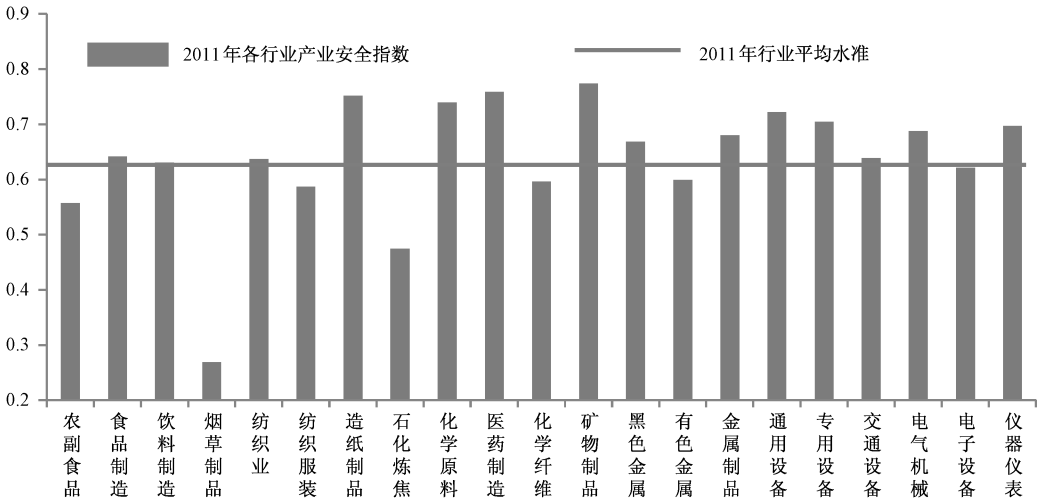


图 4 2011 年中国制造业产业安全态势

结 语

如何从混沌纷杂的产业经济活动中寻求产业演化发展的基本规律,寻找结构层次中的有序性和可识别性,这是现代产业安全建设的初衷和本旨所在;而初见端倪的产业物理学研究正提供了这样一种方法和途径,使对产业组织结构关系、企业行为方式、发展演化趋势具有一定意义上的可描述性、可感知性和可判定性。立足于现代产业安全的建设实践,本文重点开展了如下主要工作:

(1)通过对产业物理学理论演化发展历程的回顾,阐述了开展产业物理学研究的重要意义;随后紧扣产业物理学这一学科命题,聚焦于产业物理学的内涵特征、目标定位与方法体系,将产业物理学与经济物理学、社会物理学进行辨析,对产业物理学的概念进行全面界定,提出产业物理学研究的本质是服务于产业持续稳

定发展;

(2)对现代产业安全问题的主要特征进行系统梳理,给出现代意义下的新的产业安全观,即提升产业创新层次的能力、优化产业组织结构的能力、实现产业协调发展的能力;阐述将产业物理学理论引入产业安全建设工作的基本思路,并进一步揭示了产业物理学研究的重点在于寻求产业发展的“动力、质量、公平”的有机辩证统一;

(3)从产业安全建设的战略意义出发,建立产业物理学研究理论体系的基本认知框架,提出产业物理学研究的内在逻辑理论体系,即区域势差理论、能级跃迁理论、空间经济场理论、产业平衡态理论;围绕产业安全预警模型(*ISM*)建设,形成产业黏度、密度、温度、速度以及梯度的具象表征,构建了科学有效的产业安全预警系统,对产业发展过快、过热、过激,和扎堆经营、无序竞争等征兆能予以预研判,为决策者及时防范产业安全问题提供有效手段。

总之,现代产业的发展依靠的是技术进步与技术创新,依靠的是生产力的合理组织与配置,依靠的公平合理的发展环境,是速度、效率与结构的有效统一,是一种对资源有效利用、结构优化配置、动态持续演进的绿色发展模式。通过本文的研究,旨在通过多学科、多视角的分析,探索一种科学有效的服务于现代产业安全建设的理论机制及其应用方法,从而为中国产业的健康稳定发展提供有力保障。同时,产业物理学作为一种从中观产业层面认识产业组织结构、跟踪产业发展变化、识别产业运行风险的理论与方法,目前其理论体系建设仍处于探索起步阶段,还需要广大研究工作者不断开拓和努力,进一步深化包括基本理论、基本方法、基本技术、产业关联及组织结构、企业网络与产业集聚、时空演化规律、产业安全预警、产业实践案例等在内的理论方法体系,共同推动产业物理学研究向深层次方向发展。

参考文献:

- [1] Cliquet G. Integration and Territory Coverage of the Hypermarket Industry in France: A Relative Entropy Measure[J]. The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research, 1998,8(2):205-224
- [2] Axtell R. L. Zipf Distribution of U.S. Firm Sizes[J]. Science, 2001,293(5536):1818-1820
- [3] Baldwin J. S., Murray R., Winder B., et al. A Non-equilibrium Thermodynamic Model of Industrial Development: Analogy or Homology? [J]. Journal of Cleaner Production, 2004,12(8):841-853
- [4] Cutrini E. Using Entropy Measures to Disentangle Regional from National Localization Patterns[J]. Regional Science and Urban Economics, 2009,39(2):243-250
- [5] Beijer S., Bruzda J. Detection of Collusion Equilibrium in an Industry with Application of Wavelet Analysis[J]. Dynamic Econometric Models, 2011,18(11):155-170
- [6] Valero A., Usón S., Torres C., et al. Thermoeconomic Tools for the Analysis of Eco-industrial Parks[J]. Energy, 2013,62(12):62-72
- [7] Moreno B., García-Álvarez M. T., Ramos C., et al. A General Maximum Entropy Econometric Approach to Model Industrial Electricity Prices in Spain: A Challenge for the Competitiveness[J]. Applied Energy, 2014,135(12):815-824
- [8] 吴翔阳.产业集群发展模式的“力学”分析[C]. 第三届软科学国际研讨会论文集, 2004
- [9] 牟绍波,王成章.产业集群持续成长的力学运动机制[J]. 科技管理研究, 2007,27(4):154-156
- [10] 周琴.基于万有引力视角的产业集群效应研究[J]. 价值工程, 2010,29(2):7-8
- [11] 杨华磊,郭强.摩擦力视角的产业资本运动审视——基于经济变量的几何和物理原理[J]. 现代财经, 2011,31(11):5-13
- [12] 李惠娟,龙如银,史彩玲.资源型城市产业转型熵及其对策——基于力学分析的视角[J]. 工业技术经济, 2012,30(4):59-62
- [13] 张新芝,陈斐.中国区域产业转移的发生机制研究——基于发生势差的综合评价与分析[J]. 中国科技论坛, 2012,(4):100-105
- [14] 刘军跃,万侃,钟升,等.重庆生产服务业与装备制造业耦合协调度分析[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2012,34(4):485-489
- [15] 王正明,温桂梅,路正南.基于耗散结构系统熵模型的产业有序发展研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2012,22(12):54-59
- [16] 柳天恩.基于区位熵的区际产业分工模式研究——以东北三省为例[J]. 产经评论, 2013,4(4):41-49
- [17] 何大义,黄启,于光.基于信息熵的产业结构同构化程度的度量研究[C]. 资源环境承载力与生态文明建设学术研讨会论文集, 2013

- [18] 杨浩昌,李廉水,刘军.中国制造业低碳经济发展水平及其行业差异——基于熵权的灰色关联投影法综合评价研究[J]. 世界经济与政治论坛, 2014,(2):147-162
- [19] 金碚.稳中求进的中国工业经济[J]. 中国工业经济, 2013,25(8):5-17
- [20] 陈安平.中国经济增长的产业分布、空间结构与城乡收入差距[J]. 管理评论, 2013,25(11):23-32
- [21] 张立超,房俊民,高士雷.基于产业竞争情报的产业风险预警体系构建研究[J]. 情报理论与实践, 2011,34(6):69-73
- [22] Mantegna R. N., Stanley H. E. An Introduction to Econophysics: Correlation and Complexity in Finance[J]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000
- [23] Mirowski P. More Heat Than Light: Economics as Social Physics, Physics as Nature's Economics[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1991
- [24] Helbing D., Keltsch J., Molnar P., et al. Modelling the Evolution of Human Trail Systems[J]. Nature, 1997,388(6637): 47-50
- [25] Ball P. Statistics: The Physics of Society[J]. Nature, 2002,415(6870):371
- [26] 牛文元.社会物理学与中国社会稳定预警系统[J]. 中国科学院院刊, 2001,16(1):15-20
- [27] 牛文元.现代社会物理学的内涵认知[J]. 中国科学院院刊, 2010,25(2):195-201
- [28] 王有贵,郭良鹏.经济研究中的物理学[J]. 物理, 2010,39(2):85-94
- [29] 杨洋,田也壮,杨厦.面向制造业务国际化的竞争优先权转移研究[J]. 管理评论, 2011,23(9):167-176
- [30] Banzhaf W., Miller J. The Challenge of Complexity[M]//Frontiers of Evolutionary Computation. New York: Springer US, 2004
- [31] Haken H. Synergetics: Introduction and Advanced Topics[M]. New York: Springer US, 2004
- [32] Niu W. Y. The Overview of China's Sustainable Development[M]. Beijing: Science Press, 2012
- [33] Keller W. Geographic Localization Of International Technology Diffusion[M]. Cambridge: The MIT Press, 2000
- [34] Dendler L., Sharmina M., Calverley D., et al. Sustainable Futures: Multi-disciplinary Perspectives on Multi-level Transitions [J]. Environmental Development, 2012,2(3):2-5
- [35] 牛文元.持续发展导论[M]. 北京: 科学出版社, 1994
- [36] 胡迟.“十二五”以来制造业转型升级:成效、问题与对策[J]. 经济研究参考, 2012,(57):3-22

Industry-Security-Oriented Industrial Physics: Concept Analysis, Problem Domain and Theoretical Basis

Zhang Lichao¹ and Liu Yijun²

(1.Post-Doctoral Research Center, Guosen Securities Co. Ltd, Shenzhen 518001;

2.Institute of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

Abstract: Industry security plays an important role on the national economic development, social harmony and stability. Closely focusing on the topic of industrial physics theory, this paper makes a systematic analysis of various issues affecting modern industry security after clearly defining the basic meaning of industrial physics. The new perspective of the modern industry security is presented. Then the paper expounds the application of industrial physics theory to the early warning of industry. The basic framework of industrial physics theory is established, which is composed of regional potential difference, level transition selection, economic space and equilibrium state. From the scales of viscosity, density, temperature, velocity and gradient, the paper puts forward the mathematical model of industrial physics to the risk warning of modern industry. This paper is intended to promote the further development of industrial economic theory, and contribute to the healthy and stable development of China's industry.

Key words: industrial physics, industry security, conceptual discussion, problem domain, theoretical basis