低碳产业创新系统运行的动态仿真分析

——以安徽高技术产业为例*[1]

梁中 李永发 武佩剑

安徽财经大学 商学院

【摘 要】：低碳产业创新系统作为具有动态行为的非线性系统，其运行符合系统动力学的一般原理，即结构功能原理、主导回路原理和整体性原理。依据系统动力学的原理和模型设计原则，构建出低碳产业创新系统动态运行的因果关系图和流图，并确定系统中各主要变量之间的定性及数量关系。在此基础上，以安徽省高技术产业创新系统为对象，对其系统运行进行动态仿真实证分析。

【关键词】：低碳产业，创新系统，系统动力学，仿真分析

全球气候和能源危机的双重制约，以及我国经济增长模式转型的客观需要，要求产业发展必须实现从资源依赖型向创新驱动型转变，创新能力将成为提升低碳产业竞争力的决定性因素。由于我国低碳产业起步较晚，相关技术创新和制度创新的基础薄弱，创新动能严重不足，尤其是作为产业创新主要平台的低碳产业创新系统尚未健全，导致低碳产业创新水平和竞争力极为低下。本文拟运用系统结构决定系统功能的原理，通过构建低碳产业创新系统的系统动力学模型，将系统构建为结构、功能的因果关系模型，并选取关键变量进行计算机仿真模拟，然后将仿真分析的结果与理论分析相结合，以求更深入地认知和理解低碳产业创新系统的动态运行过程。

一、产业创新系统与低碳产业的研究进展

（一）产业创新系统研究评述

从国外理论研究的发展脉络上看，产业创新系统理论主要源于国家创新系统理论、演化论和技术系统理论。1987 年，Freeman 提出国家创新系统概念，首次明确了系统因素是产业创新的关键因素[1]。此后，Michael Porter （1990）的菱形创新模型理论[2]、Carlsson （1991）的技术系统理论[3]以及 Nelson （1995）等人的演化经济学理论[4]则为产业创新系统理论的进一步发展提供了坚实支撑。在此基础上，Stefano Breschi 和 Franco Malerba 于 1997 把产业创新系统作为一个完整的概念提了出来，并从知识技术领域（knowledge domain）和产业边界、参与者（actor）和联系网络、制度三个方面对产业创新系统的构成进行了深入分析[5]。国内学者主要从产业创新理论、产业创新系统结构模型和产业创新系统运行管理三个层面对该领域进行了探究。①基本理论研究方面：严潮斌（1999）把产业创新界定为企业创新与国家创新体系之间的中间层次[6]；陆国庆（2011）认为产业创新是企业技术创新、管理创新、市场创新的系统集成，也是企业家创新精神的主要体现[7]；张耀辉（2002）则把产业创新界定为新兴产业的形成过程[8]。②产业创新系统模型研究方面：柳卸林（2000）借鉴 Malerba 的理论模型，从创新主体、网络和制度的

[1] **基金项目：**安徽省高等学校省级优秀青年人才基金项目（2011SQRW160）；安徽省高等学校省级自然科学研究项目（KJ20112012）
作者简介：梁中（1979-），男，安徽灵璧人，讲师，博士，研究方向：产业创新政策与管理；李永发（1975-），男，安徽青阳人，副教授，硕士，研究方向：战略管理；武佩剑（1978-），男，安徽蚌埠人，讲师，博士，研究方向：战略管理。

相互作用出发构建了适用于中国不同产业的抽象模型[9]；徐作圣（2000）认为产业创新系统主要由宏观层面上的环境体系及微观层面上技术体系所组成[10]；陈劲（2000）则以国家创新系统理论为基础，以技术系统理论为工具，提出了建立“包容企业环境要素”的创新体系与框架的产业创新系统思想[11]。游达明（2009）从耗散结构理论出发，构建了产业创新系统的耗散结构模型和熵变评价模型研究[12]。③产业创新系统的运行管理研究方面：张治河（2003）[13]、王明明（2009）[14]、曾昭宁（2010）[15]等分别对我国光电子产业创新系统、石化产业创新系统和汽车产业创新系统的构建和运行管理进行了较为细致的研究。

上述研究较好地解决了既定状态下的产业创新系统结构和运行问题，在产业创新系统的概念界定、组成要素、系统结构与功能等方面都取得了重要进展，基本建立了产业创新系统的理论研究体系。但由于产业创新是多因素相互关联的动态演进过程，要全面认知产业创新系统还需要在一个不断演进的环境中去解析其具体的运行过程，而这一点在现有的研究中还较少受到关注，尤其是对我国经济社会复杂转型背景下影响产业创新系统运行的关键因素还缺乏足够认知，需进一步丰富和深化研究。

（二）低碳产业研究评述

国外的研究主要关注产业经济增长和低碳消耗的内在平衡与协调，强调通过具体产业部门的低碳建设、政策创新和调整产业结构来推动产业的低碳发展。如 Treffers （2005）等学者通过定量分析经济增长与 GHG 减排之间的内在联系，认为通过实施相应的低碳政策创新，完全可以实现二者目标的共同实现[16]。Gregory C.Unruh （2002）提出了碳锁定（Carbon Lock-in）概念，认为工业经济的发展导致形成了以化石燃料为基础的技术锁定状态，这种状态将严重阻碍低碳技术的创新和替代[17]。由于发达国家首要的碳排放源是居民住宅建筑和交通，然后才是产业经济活动，这与发展中国家的主要碳排放来源于产业经济活动存在着显著差异。因此，国外学者对广义的低碳产业体系关注相对较少，也鲜见从产业创新系统角度对产业的低碳发展问题进行深入研究的文献。国内不少学者已认识到构筑低碳产业体系对推动我国产业低碳化发展的重要作用，并从多种角度对低碳产业创新问题进行了有力探索。如冯奎（2009）[18]从低碳产业集群层面，分析了低碳技术创新与制度创新对低碳产业集群形成的作用，但没有对低碳产业集群本身的创新问题进行深入研究。陈文婕（2010）[19]等从低碳产业发展对策的层面，提出应通过构建低碳产业创新系统来提升低碳产业的竞争优势，但对低碳产业创新系统的具体内涵、结构和运行等问题没有展开研究。陆小成（2009）[20]从区域创新的层面，全面分析了区域低碳创新系统的结构和功能，对低碳创新系统的研究空间做了有效拓展。吴昌华（2010）[21]、邓线平（2010）[22]、黄栋（2010）[23]等则分别从创新路线图、创新途径和创新方式的层面，对低碳技术创新问题进行了针对性的研究。

总体而言，国内在该领域的研究触角较为广泛，既涉及了宏观层面上的区域低碳创新问题，也涵盖了相对具体的低碳技术和制度创新问题，但对中观层面上的低碳产业创新系统问题却未给予充分关注，相关的实证研究也较少。综合以上分析表明，国内外学界在产业创新系统和低碳产业两个方面的研究均取得了有效进展，相关成果为本文的研究奠定了坚实基础。但目前学界对两者的整合研究尚缺乏足够关注，对产业创新系统在低碳产业发展过程中的重要作用还没有充分认识，对低碳产业创新系统的具体动态运行过程还缺乏深入研究。由于低碳产业创新系统的实质是在一定的外部环境下，以企业、政府、高校和科研机构、创新服务机构等创新主体为核心要素所构造起来的具有一定区域和环境空间的创新产出系统。这种系统运行的影响因素众多，同时又因为该系统是具有动态行为的非线性系统，运用直观的认识和经验的判断往往难以明晰其系统的运行过程。而系统动力学作为“战略与策略的实验室”，构建科学有效的低碳产业创新系统动力学模型可以发现系统中对低碳创新资源配置起主要作用的反馈关系和政策杠杆点，并可以通过改变其中的某些政策变量来优化系统的运行绩效，从而为我国低碳产业创新政策的制定和创新资源优化配置提供依据。

二、低碳产业创新系统动力学模型的构建

（一）低碳产业创新系统的基本动力学原理

低碳产业创新系统是一个高阶次、非线性的复杂系统，其运行也符合一般的动力学原理，因此采用系统动力学方法来分析其动态运行过程是较为适合的。

（1）结构功能原理。系统动力学认为要真正构造系统模型必须深入到那些不完全可测量的因果反馈关系中去，了解单元间相互关联、相互作用的信息，把可测的动态变化趋势和不可测的内部因素关系联系起来。而低碳产业创新系统内部要素的组合是结构和功能的统一体，因此可以将系统构成为结构、功能的因果关系模型，并可以把其看成是信息流、物质流和资金流所组成的反馈系统。

（2）主导回路原理。因为低碳产业创新系统的复杂性，变量数量较多，其因果关联往往是交叉的，但从许多交叉的回路中，可以找到影响系统创新行为的主导回路，它们才是创新行为的主导部分，决定了低碳产业创新内部要素的主要结构和创新行为的动态发展趋势。系统动力学正是基于这一原理去寻找低碳产业创新过程中的主导回路，通过分析这些主要回路的性质获得对系统结构与创新行为的进一步理解和认识，更深入地了解低碳产业创新要素的内部结构和动态特性，并以此对低碳创新过程进行分类和简化。

（3）整体性和层次性原理。整体性与层次性是系统动力学应用分解与协调原则研究和剖析产业创新的理论依据。低碳产业创新的结构和功能分析表明[24]，低碳产业创新系统运行过程中具有显著的整体性，系统中各部分一旦由一定的方式相互联系、相互作用形成特定的结构时，就会产生质的变化，并进而形成新的特定结构与功能。

（二）低碳产业创新系统动态运行的因果分析

低碳产业创新过程涉及很多因素，分析这些因素是建立低碳产业创新系统模型的基础，依据系统动力学研究方法的原理和模型设计原则，本文以不同主体的创新资源投入、创新产出以及创新环境间的关系为主线，确定了 11 条反馈回路，其因果关系如图 1 所示。

图1　因果关系图

（三）低碳产业创新系统的系统动力学流图

上述分析的因果反馈回路反映了变量之间的定性关系，为了明确各变量之间的数量关系，系统动力学模型还需要确定水平变量（Level）、速率变量（Rate）、信息流等因素，并将这些变量有机组合成系统流图。

因此，在分析低碳产业创新系统因果关系的基础上，本文依据以上变量设置及其计算公式，研究选择低碳新产品产值、低碳技术市场成交额和低碳产业创新经费投入三个变量为水平变量，描绘低碳产业创新系统的系统动力学流图如图 2 所示。

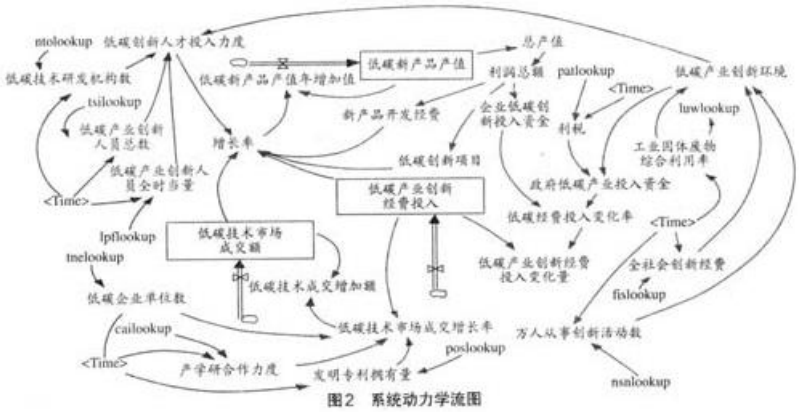

图2 系统动力学流图

三、低碳产业创新系统运行的仿真实证分析

由于低碳产业创新系统的内涵和外延较为丰富，为能够清晰说明其动态运行过程，同时也出于仿真实证的数据分析需要，本研究将选择安徽省一个具有典型代表意义的低碳产业形态——高技术产业进行动态仿真实证分析。因为高技术产业具有显著的低能耗、低排放、低污染的低碳产业属性，其前沿技术的开发与利用对低碳产业的整体发展具有战略性的示范和引导作用，尤其是在新能源、新材料、电子信息、现代生物与医药等高技术领域的创新与发展水平，能够较好地反映低碳产业的整体创新状况。由于安徽省高新产业在 2004 年以前总体规模较小，总体发展缓慢，相关统计数据也不全面。另外，由于产业创新系统的运行极为复杂，系统运行的外在不可控制因素较多，因此在对其未来发展趋势的预测上不宜跨度太大，只适宜进行短期预测。

综上分析，本研究根据其产业的创新与发展历程，确定选取模型模拟的初始年份是 2005 年，在对 2006-2009 年系统运行情况进行检验、比较的基础上，对 2010-2012 年系统运行情况进行短期预测。

（一）主要参数及主要公式

本文把安徽高技术产业创新系统的系统动力学模型涉及到的变量界定为低碳产业创新主体、低碳产业创新资源、低碳产业创新环境、低碳产业创新产出四个部分。如不作特殊说明的，以下所有参数中的相关低碳产业创新变量值均为安徽高技术产业的相应变量值。

（1）低碳产业创新主体。研究以低碳技术创新核心主体——企业为主要对象，故研究选取反映创新主体规模的企业数、研究人员数为创新整体变量，具体如下：①低碳产业创新人员全时当量=lptlookup （Time）；②低碳产业创新人员总数=liplookup （Time）；③低碳企业单位数=lealookup（Time）；④低碳技术研发机构数=lrilookup （Time）。

（2）低碳产业创新资源。主要以政府和企业所投入的低碳创新财力资源和人力资源为主，具体如下：①低碳产业创新经费投入=INTEG（低碳产业创新经费投入变化量，0.287552）；②低碳产业创新经费投入变化量=低碳产业创新经费投入×低碳经费投入变化率；③低碳创新人才投入力度=0.25×低碳产业创新环境+0.25×低碳技术研发机构数+0.25×低碳产业创新人员总数+0.25×低碳产业创新人员全时当量；④企业低碳创新投入资金=-0.0147+0.8787×利润总额；⑤低碳经费投入变化率=0.1×企业低碳创新投入资金+0.9×政府低碳产业投入资金；⑥政府低碳产业投入资金=-1.0729+2.4454×低碳产业创新环境-0.4682×利税。

（3）低碳产业创新环境。主要包括低碳政策环境变量和低碳自然环境变量，具体如下：①产学研合作力=lemlookup（Time）；②低碳产业创新环境=0.3×万人从事创新活动数+0.3×工业固体废物综合利用率+0.4×全社会创新经费；③万人从事创新活动数=nsmlookup （Time）；④工业固体废物综合利用率=luwlookup （Time）；⑤全社会创新经费=fislookup （Time）。

（4）低碳产业创新产出。主要以低碳产业的产值、利润和技术交易额和专利量为主：①低碳技术市场成交额=IN-TEG（低碳技术市场成交增加额，0.400234）；②低碳技术市场成交增长率=0.05×产学研合作力度+0.1×低碳产业创新经费投入+0.05×低碳企业单位数+0.8×发明专利拥有量；③低碳技术市场成交增加额=低碳技术市场成交额*低碳技术市场成交增长率；④低碳新产品产值=INTEG（低碳新产品产值年增加值，0.155227）；⑤低碳新产品产值增加值=低碳新产品产值×增长率；⑥利税=patlookup （Time）；⑦利润总额=1.2977-0.286×总产值；⑧增长率=0.2×低碳产业创新经费投入+0.3×低碳创新人才投入力度+0.05×低碳创新项目+0.4×低碳技术市场成交额+0.05×新产品开发经费；⑨总产值=0.674+0.3536×低碳新产品产值。

涉及到的系统动力学模型具体参数和方程如下：

（1）cailookup（[（2000，0）-（2020，2）]，（2005，0.76943），（2006，0.8497），（2007，0.826425），（2008，0.7876），（2009，1），（2012，1.2））

（2）cuwlookup（[（2000，0）-（2020，2）]，（2005，0.962348），（2006，0.986407），（2007，0.925659），（2008，0.996391），（2009，1），（2012，1））

（3）FINALTIME=2012

（4）fislookup（[（2000，0）-（2020，2）]，（2005，0.458291），（2006，0.592965），（2007，0.731658），（2008，1），（2009，0.731658），（2012，1.1））

（5）INITIALTIME=2005

（6）lpflookup（[（2000，0）-（2020，2）]，（2005，0.30749），（2006，0.320631），（2007，0.527814），（2008，0.848226），（2009，1），（2012，1））

（7）nsmlookup（[（2000，0）-（2020，2）]，（2005，0.463918），（2006，0.484536），（2007，0.597938），（2008，0.824742），（2009，1），（2012，1.01））

（8）ntolookup（[（2000，0）-（2100，2）]，（2005，0.991793）.（2006，0.449627），（2007，0.650997），（2008，0.956582），（2009.1），（2012，1））

（9）patlookup（[（2000，0）-（2020，2）]，（2005，0.252603），（2006，0.358764），（2007，0.462024），（2008，0.787165），（2009，1），（2012，2））

（10） poslookup（[（2000，0）-（2020，2）]，（2005，0.082926），（2006，0.0878），（2007，0.1926），（2008，0.4024），（2009，1），（2012，1.3）

（11）SAVEPER=TIMESTEP

（12）TIMESTEP=I

（13）tnelookup（[（2000，0）-（2020，2）]，（2005，0.465154），（2006，0.538088），（2007，0.633712），（2008，0.792545），（2009，1），（2012，1.1））

（14）tsilookup（[（2000，0）-（2020，2）]，（2005，0.872483），（2006，0.818792），（2007，0.912752），（2008，1），（2009，0.892617），（2012，0.9））

以上模型初始数据由样本数据经过无量纲化处理获得，处理方法是将每个变量 2005-2009 年每年数值除以五年的最大值。原始数据来源于《中国高新技术产业统计年鉴》（2005 年-2010 年）、《中国科技统计年鉴》（2005 年-2010 年）、《中国环境统计年鉴》（2005 年-2010 年）、《安徽科技统计公报》（2005 年-2010 年）。由于模型研究涉及的参数较多，部分参数很难确定，因此本研究在参数设定的过程中，除了借助 SPSS 软件来确定变量间的相关关系之外，还充分利用专家评估法，通过结合模型的参考行为特征对部分变量间的相关关系进行了估计与设定。

（二）初始值的确定

产业创新系统的系统动力学模型中水平变量的初始值见表 1。

表 1　　水平变量初始值

水平变量名称	初始值（万元）
产业创新经费投入	18711
新产品产值	176980
技术市场成交额	142553

（三）模型有效性检验

研究以 2005 年为基准年，2006-2009 年为检验年，验证模型的有效性。研究用 Vensim 软件运行安徽高新产业创新系统模型，结果如表 2 至表 4 所示。

表2　低碳新产品产值模拟值与真实值比较

年份	真实值	模拟值	误差值	误差率（%）
2005	176980	176980	0	0.00
2006	253545	285441	31896	12.58
2007	465488	510640	45152	9.70
2008	395480	446892	51412	13.00
2009	1140138	1219948	79810	7.00

表3　低碳技术市场成交额模拟值与真实值比较

年份	真实值	模拟值	误差	误差率（%）
2005	142553	142553	0	0.00
2006	184921	164908.9182	-20012.08183	-10.82
2007	264515	215789.4426	-48725.5574	-18.42
2008	324865	249805.4843	-75059.51571	-23.10
2009	356174	372803.7641	16629.76406	4.67

表4　低碳产业创新经费投入模拟值与真实值比较

年份	真实值	模拟值	误差值	误差率（%）
2005	18711	18711	0	0.00
2006	18781	25584.41781	6803.41781	36.23
2007	28636	37607.92227	8971.92227	31.33
2008	65070	59503.06629	-5566.93371	-8.56
2009	51872	66067.5231	14195.5231	27.37

观察仿真结果显示，模型运行结果与实际系统的历史数据基本相符，误差较小。其中，技术市场成交额模拟值的个别年份拟合误差超过 15%，造成这样种误差的主要原因是模型中该值是多个变量的函数，复杂的变量关系在一定程度上降低了模拟值的精确度。另外，低碳产业创新经费的模拟值误差相对较大，但总体趋势吻合度依然较好，这主要是由于 2009 年安徽省高技术产业创新经费实际投入值较上年度非正常大幅下降造成的，这也充分反映了模型系统对产业创新经费投入这一变量的敏感度。但是，所有输出变量的相关系数非常高，均保持在 95 个百分点以上，这说明模型对现实系统的拟合程度还是较好的，可以在很大程度上保证模型的有效性。

（四）仿真预测

运用低碳产业创新系统的动力学模型对安徽省高技术产业创新系统未来发展的趋势进行预测，将预测年限设定为 2010-2012 年，对影响上述状态变量的四个主要因素（低碳创新人才投入力度、政府低碳产业投入资金、低碳产业创新环境、低碳技术市场成交额）进行预测，可得相应发展的趋势图，具体如图 3 至图 6 所示。

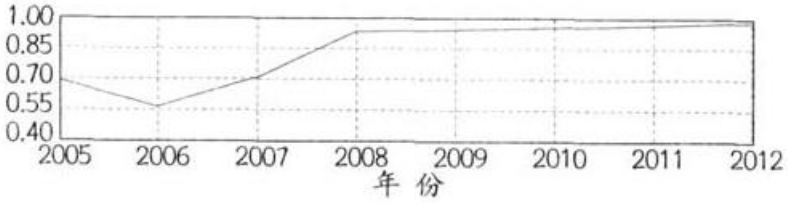

图3　低碳创新人才投入力度预测趋势

从图 3 可以看出，创新人才投入力度呈现出稳步增强的趋势，但增长趋势不大，基本维持在一个百分点以内。这也充分反映了该区域低碳创新人才投入力度还相对较弱，这种人才稀缺将直接影响系统的创新能力，并最终影响整个系统的运行效率。

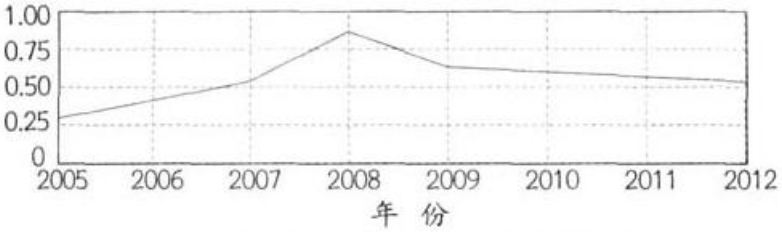

图4 政府低碳产业投入资金预测趋势

从图 4 可以看出，政府对低碳产业创新投入的资金在 2008 年达到一个峰值后开始稳步降低，这种预测趋势一方面是受到了安徽省该产业创新经费的总投入值在 2009 年非正常下降的影响；但另外一方面也较好地反映了我国低碳产业创新经费投入的一种潜在发展趋势，即随着我国低碳产业的逐步发展，企业的创新能力会逐渐提升，而政府在产业创新经费投入上的主体角色将会慢慢淡化，因此相应的创新财政补贴也将可能逐渐相对减少，并且最终的发展趋势将是低碳产业创新资金来源的充分市场化。

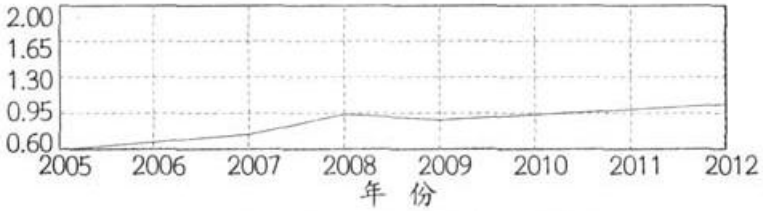

图5 低碳产业创新环境预测趋势

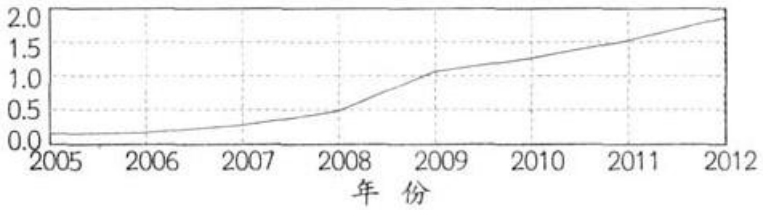

图6 低碳技术市场成交增长率预测趋势

从图 5、图 6 可以看出，低碳产业创新环境在预测期内持续向好，低碳技术市场成交增长率稳步提升，但总体增幅还较小，不过仍可以说明在现有的运行机制下，该区域的产业创新环境和技术交易状况将会继续向好的方向发展。另外，在模型构建过程中可以发现，产业创新环境对系统的整体运行影响力度较大，如创新人才投入和创新资金投入都直接受其影响，各创新主体的行为也都通过各种关联要素受到它的间接影响。

四、研究结论

从动态角度看，低碳产业创新是一个通过信息的交流、加工，将知识、技能和物质转化成具有低碳品质的产品或技术再到产业化的过程。也就是说，低碳产业创新是一个复杂的系统工程，只有建立一个适合于该系统的动态分析模型，才可能全面准确地研究系统中各因素间的相互作用关系和它们对系统行为的影响。基于这种假设，本文构建了低碳产业创新系统的动力学模型并进行了仿真模拟分析，结果显示低碳产业创新能力的大小（主要通过新产品产值、技术成交额等指标来反映）受到创新主体规模、创新资源投入量（包括财力资源和人力资源）和创新环境的直接影响，同时以上三者也是影响整个系统行为的关键性因素，它们之间存在着显著的因果反馈关系。对安徽高技术产业来说，其创新主体规模仍然偏小，创新资源投入不足，尤其是政府性创新补贴还缺乏稳定的增长机制，这都将影响安徽高技术产业在未来的持续创新能力。在具体对策方面，本文没有展开

研究，但初步认为相对于创新资源的短期改善，其创新环境的长期建设和维护更具有战略意义，它将从更深的层面上影响安徽高技术产业创新的高效性和持续性。

另外必须承认，由于低碳产业创新系统的复杂性以及数据变量的限制，本文在利用系统动力学方法来考察创新系统运行的过程中，还有诸多影响因素未能纳入分析框架中。例如创新环境中的文化因素（包括共同价值观、低碳创新氛围、低碳消费偏好等）在系统中的影响力度如何测量；低碳创新资源在不同创新主体和不同创新环节间的配置结构对系统运行效率有何影响等，这些问题将是下一步研究的重点。

参考文献：

[1] Freeman C.Technology policy and Economic performance：Lessons from Japan[M].London：Pinter，1987.

[2] Michael E Porter.国家竞争优势[M].李明轩，邱如美，译.北京：华夏出版社，2002.

[3] Carlsson B.Stankiewicz R.On the Nature，Function，and Composition of Technological Systems[J].Journal of Evolutionary Economies，1991，（2）：93-118.

[4] Nelson R.Recent evolutionary theorizing about economic change[J].Journal of Economic Literature，1995，（33）：48-90.

[5] Breschi S，Malerba F.Sectoral systems of innovation：technological regimes，Schumpeterian dynamics and spatial boundaries[C]／／Edquist.Systems of Innovation：Technologies，Institutions and Organizations.London：Pinter，1997：130-156.

[6] 严潮斌.产业创新：提升产业竞争力的战略选择[J].北京邮电大学学报（社会科学版），1999，（3）：12-16.

[7] 陆国庆.中国中小板上市公司产业创新的绩效研究[J].经济研究，2011，（2）：138-148.

[8] 张耀辉.产业创新：新经济下的产业升级模式[J].数量经济技术经济研究，2002，（1）：14-17.

[9] 柳卸林.21 世纪的中国技术创新系统[M].北京：北京大学出版社，2000.

[10] 徐作圣，许友耕，郑志强，等.国家创新系统与竞争力——台湾集成电路产业之实证[J].经济情势暨评论季刊，2000，5（3）：25-28.

[11] 陈劲.完善面向可持续发展的国家创新系统[J].中国科技论坛，2000，（2）：23-25.

[12] 游达明，陈凡兵.基于耗散结构理论的产业创新系统熵变研究[J].统计与决策，2009，（4）：21-24.

[13] 张治河.面向“中国光谷”的产业创新系统研究[D].武汉：武汉理工大学，2003.

[14] 王明明，党志刚，钱坤.产业创新系统模型的构建研究——以中国石化产业创新系统模型为例[J].科学学研究，2009，（2）：23-25.

[15] 曾昭宁.中国汽车产业自主创新系统构建研究[J].经济问题探索，2010，（3）：55-59.

[16] D J Treffers，A P C Faaij，J Spakman，et al.Exploring the Possibilities for Setting up Sustainable Energy Systems for the Long Term：Two Visions for the Dutch Energy System in2050[J].Energy Policy，2005，（33）：1723-1743.

[17] Unruh G C.Escaping Carbon Lock-in[J].Energy Policy，2002，（4）：317-325.

[18] 冯奎.中国发展低碳产业集群的战略思考[J].对外经贸实务，2009，（10）：9-12.

[19] 陈文婕，颜克高.新兴低碳产业发展策略研究[J].经济地理，2010，（2）：200-203.

[20] 陆小成.区域低碳创新系统的结构—功能模型研究[J].科学学研究，2009，（7）：1080-1085.

[21] 吴昌华.低碳创新的技术发展路线图[J].中国科学院院刊，2010，（2）：138-145.

[22] 邓线平.低碳技术及其创新研究[J].自然辩证法研究，2010，（6）：43-47.

[23]黄栋.低碳技术创新与政策支持[J].中国科技论坛，2010，（2）：37-40.

[24] 梁中.低碳产业创新系统的构建及运行机制分析[J].经济问题探索，2010，（7）：141-145.