

国家自然科学基金资助项目 (S1221003)

中国科学院知识创新工程重要方向项目

纳米科技创新生态系统 与纳米产业创新研究

李士 汤书昆 主编



科学出版社

国家自然科学基金资助项目 (S1221003)

中国科学院知识创新工程重要方向项目

纳米科技创新生态系统 与纳米产业创新研究

李 士 汤书昆 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从纳米科技产业创新案例研究入手,构建了评价度量纳米科技产业创新进程的纳米科技创新生态系统的构成要素、指标体系和理论框架,对有数据支持的创新维度进行了试测和分析。此外,还介绍了纳米科技在典型产业中的创新应用,以及国内外纳米科技产业创新的经典案例。

本书适合从事纳米科技研究和应用以及公共政策与公共管理研究的人员参阅,也适合相关专业学生及对纳米科技感兴趣的大众读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

纳米科技创新生态系统与纳米产业创新研究/李士,汤书昆主编. —北京:科学出版社,2017.6

ISBN 978-7-03-053529-0

I. ①纳… II. ①李… ②汤… III. ①纳米技术-高技术产业-产业发展-研究-中国 IV. ①F124.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第132560号

责任编辑:杨震 刘冉 孙静惠/责任校对:彭珍珍
责任印制:张伟/封面设计:北京图阅盛世

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年6月第一版 开本:B5(720×1000)

2017年6月第一次印刷 印张:12 1/2

字数:250 000

定价:88.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《纳米科技创新生态系统与纳米产业创新研究》 课题组

课题组组长：李 士 汤书昆

课题组副组长：李 昂 谢起慧

课题组成员：汪宣伯 贺小桐 朱安达

王 明 朱 赞 周 全

程 曦 田 修 任红轩

吴树仙 董宏伟

前 言

随着世界经济和科技的深入发展，综合国力的竞争越来越多地体现为国家创新能力的竞争。目前，传统的国家创新体系评价标准已不应当代强调以社会、经济、科技、生态、环境等多维并重的社会全面进步发展模式。此外，纳米科技的发展已被公认为是最重要、发展最快、应用范围最广、最能体现创新能力的领域之一。纳米技术已经在传统产业升级换代、产品高端化发展的创新活动中发挥了重要的作用，纳米科技将对社会、经济、科技发展产生重大影响。

为了掌握纳米科技发展及其在产业中的应用情况，并构建以评价纳米科技创新能力为核心的纳米科技创新生态系统，在国家自然科学基金委员会和中国科学院的支持下，中国科学技术大学科学传播研究与发展中心和国家纳米科学中心发展研究中心等单位联合成立了课题组，经过几年的努力，形成了《纳米科技创新生态系统与纳米产业创新研究》一书。

本书从国内外纳米科技产业创新实证案例研究入手，构建了纳米科技创新生态系统理论框架、指标体系，对有数据支持的创新维度进行了试测，并对纳米科技创新生态系统的构成要素、纳米产业定义等进行了多维度分析。此外，通过对部分国家纳米科技创新生态发展的研究，提出了有针对性的建议，并研究归纳了纳米科技在典型产业的创新应用。

本书将纳米科技创新能力评价融入国家创新生态系统的综合动态考量中，希望对转型背景下我国创新型国家建设起到抛砖引玉的作用。

本课题组从立项开始就得到国家自然科学基金委员会、中国科学院及国家纳米科学中心有关部门的支持、关心和指导，在此一并表示感谢。

李 士 汤书昆

2017年元月于北京

目 录

第 1 章 科技产业创新系统的演进	1
1.1 产业创新概述	1
1.2 产业创新的五代演进模式	1
1.2.1 第一代：技术推动创新模型	1
1.2.2 第二代：需求拉动创新模型	2
1.2.3 第三代：相互作用模式创新模型	3
1.2.4 第四代：整合模式创新模型	5
1.2.5 第五代：系统整合与网络模式	6
1.3 产业创新理论是创新生态系统的理论基础	7
第 2 章 纳米科技的定义和纳米产业的维度分析	8
2.1 纳米科技（材料）的定义	8
2.1.1 纳米科技	8
2.1.2 纳米材料	8
2.2 纳米产业（企业）定义的难度	9
2.3 定义纳米产业的维度分析	10
2.3.1 产品尺度维度	10
2.3.2 企业属性维度	10
2.3.3 学术成果维度	10
2.3.4 专利成果维度	11
第 3 章 纳米科技创新生态系统的构成要素	12
3.1 纳米科技创新生态系统模型构建	12
3.1.1 不同角度的创新生态系统模型构建	12
3.1.2 纳米创新生态系统构建	17
3.2 纳米科技创新生态系统要素分析	18
3.2.1 创新人才	18
3.2.2 创新机构	21
3.2.3 创新资源	21
3.2.4 创新机制	22
3.2.5 创新环境	22

3.2.6	创新效率	24
第4章	纳米科技创新生态系统资源研究	25
4.1	纳米科技创新资源的构成	25
4.1.1	全球研发经费概览	25
4.1.2	工业重点领域研发经费分析	27
4.2	纳米科技创新资源评价指标选取	31
4.2.1	创新经费指标选取	31
4.2.2	基础设施指标选取	31
第5章	纳米科技创新生态系统环境研究	33
5.1	纳米科技创新环境的内涵	33
5.2	纳米科技创新环境的构成	33
5.2.1	人文环境	33
5.2.2	制度环境	41
5.2.3	生态环境	47
第6章	纳米科技创新生态系统效率研究	57
6.1	纳米科技创新效率的构成	57
6.1.1	创新投入	57
6.1.2	创新周期	60
6.2	纳米科技创新效率分析	64
6.2.1	纳米科技创新效率评价指标选取及计算方法	64
6.2.2	纳米科技创新效率测评结果	66
第7章	部分国家及地区纳米科技创新生态系统分析	74
7.1	美国	74
7.1.1	美国纳米科技的人文环境	74
7.1.2	美国纳米科技的制度环境	77
7.1.3	美国纳米科技的生态环境	80
7.2	日本	83
7.2.1	日本纳米科技的人文环境	83
7.2.2	日本纳米科技的制度环境	85
7.2.3	日本纳米科技的生态环境	87
7.3	中国	88
7.3.1	中国纳米科技的人文环境	88
7.3.2	中国纳米科技的制度环境	91
7.3.3	中国纳米科技的生态环境	95

7.4 德国	97
7.4.1 德国纳米科技的人文环境	97
7.4.2 德国纳米科技的制度环境	99
7.4.3 德国纳米科技的生态环境	103
7.5 欧盟	104
7.5.1 欧盟纳米科技的人文环境	104
7.5.2 欧盟纳米科技的制度环境	105
7.5.3 欧盟纳米科技的生态环境	108
第 8 章 中国纳米科技创新效率中存在的问题与建议	110
8.1 中国纳米科技专利工作存在的问题	110
8.1.1 宏观方面	110
8.1.2 微观方面	110
8.2 开展对纳米科技文献系统比较研究	111
8.3 提高纳米科技应用水平	112
8.4 鼓励更多机构参与相关纳米技术应用研究与市场开发	115
第 9 章 纳米科技在典型产业的创新应用	116
9.1 纳米粒子在传统材料领域的产业应用	116
9.1.1 纳米改性聚氨酯阻燃	118
9.1.2 纳米 CaCO_3 改性 PVC 塑料	119
9.1.3 纳米 TiO_2 改性聚丙烯材料	120
9.1.4 纳米粒子改性增强玻璃功能	121
9.1.5 纳米粒子改性增强 PET 塑料	123
9.2 纳米敏感材料在新兴领域的产业应用	124
9.2.1 纳米 TiO_2 薄膜水处理	125
9.2.2 TiO_2 纳米管电池	125
9.2.3 铜硒纳米粒子发电	126
9.2.4 纳米智能传感器	127
9.2.5 纳米磁性物质	128
9.3 纳米技术在纺织纤维领域的应用	129
9.3.1 纳米级纺织颜料	129
9.3.2 纳米级立体纤维	130
9.3.3 碳纤维/金属导电聚合物	132
9.3.4 二氧化硅多孔纺织物	133
9.3.5 纳米 TiO_2 抗菌纤维	134

9.3.6	皮革抗菌材料	135
9.3.7	电磁屏蔽家纺产品	136
9.3.8	防水防油家纺产品	137
9.3.9	纳米功能性纸张纤维	138
9.4	纳米技术替代电镀高污染产业应用案例	139
9.4.1	当前国内外表面装饰技术现状	139
9.4.2	纳米离化复合绿色镀膜技术框架	141
9.4.3	纳米离化复合绿色镀膜技术产业化前景	143
第 10 章	纳米科技产业创新国内案例分析研究	144
10.1	中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所	144
10.1.1	苏州纳米所的建所背景	144
10.1.2	苏州纳米所及园区的发展	145
10.2	苏州纳米产业布局分析	147
10.2.1	运营管理方与纳米城建设构想	148
10.2.2	产业服务	151
10.2.3	产业平台	157
10.2.4	产业投资	158
10.2.5	国际合作	159
10.2.6	产业活动	160
10.3	苏州纳米科普企业代表案例——“中学纳米科技创新实验室”	161
10.3.1	项目缘起——三家公司的跨业态合作	161
10.3.2	项目布局——“四大平台、一个中心”	162
10.3.3	主要产品	163
10.3.4	纳米实验室	165
10.3.5	推广情况和品牌活动	166
10.4	国家纳米科学中心	168
10.4.1	国家纳米科学中心的建设背景	168
10.4.2	国家纳米科学中心的发展	170
10.4.3	国际合作	171
10.4.4	获得国际合作奖项	172
10.4.5	国际化的研究生培养	172
10.5	北京纳米产业布局分析	172
10.5.1	产业规模发展情况	173
10.5.2	产业分布情况	175

10.5.3 政策支持	176
10.6 北京纳米科技产业创新联盟	180
10.6.1 联盟成立	180
10.6.2 举办节能环保、新能源与新材料主题赛暨首届“纳米之星”新材料创业大赛	180
10.6.3 《北京纳米科技产业发展技术路线图（2016—2025年）》发布	180
10.6.4 创办“纳米新丝路”主题沙龙	181
10.6.5 筹备发起全国纳米科技产业创新联盟	181
10.7 纳米中心纳米科普代表案例	182
10.7.1 获得荣誉	182
10.7.2 公众开放日	182
10.7.3 承担教育部重点课题子课题	182
10.7.4 纳米科技中学探究性实验开发	182
10.7.5 北京第三十五中学“纳米与化学可视化”教委重点实验室	183
10.7.6 承担北京市科普项目	183
10.7.7 参与地方科普活动	183
10.7.8 开展纳米科普国际合作	184
10.7.9 编写纳米科普读物和科普教材	184
第11章 纳米科技产业创新国外案例分析研究——奥尔巴尼纳米园区	185

第1章 科技产业创新系统的演进

1.1 产业创新概述

从20世纪开始,越来越多的人关注创新给企业、区域、国家等不同层面发展带来的活力。在新的技术、经济、社会背景下,创新范式也在向复杂的系统网络模型演进,经济学家罗斯韦尔(Roy Rothwell)提出了产业创新从“线性范式”到“系统网络范式”的五代转变:人类对创新活动的认识已经从第一代的技术推动创新模型(20世纪50年代~60年代中期)、第二代的需求拉动创新模型(20世纪60年代后期~70年代早期)、第三代的相互作用模式创新模型——关注市场和研发联系的技术推动和需求推动融合模式(20世纪70年代中期~80年代早期)、第四代的整合模式创新模型——关注与相关企业、上游的供应商、下游的顾客之间的联系的线状平行模型(20世纪80年代中期~90年代),演化到第五代的系统整合与网络模式^①。

1.2 产业创新的五代演进模式

1.2.1 第一代: 技术推动创新模型

技术推动(technology-push)创新模型的主要特征有:一是科学活动独立于企业组织之外,“资本不创造科学,但是它为了生产过程的需要,利用科学,占有科学”。科学知识是作为创新组织的外部资源被引入组织内部的。这样就可以把科学发现、技术发明作为创新的源头处理,企业的任务是把上游的知识变成下游的产品。二是创新活动涉及的因素较少,过程较简单,周期较长,容易把这些因素分解,把这些环节排列,在延续的时间流中把过程划分为若干阶段。三是创新组织多是直线型等级制,创新信息与知识集中在个别的主管人员手中,决策层与执行者界限明晰,创新更多地成为一种管理决策活动,而组织内部成员的知识创造的贡献不够明显,被忽略不计。四是不确定因素即使存在,也还

^① Rothwell R. Successful industrial innovation: critical factors for the 1990s[J]. R&D Management, 1992, 22(3):

没有达到信息时代的高速反馈、网络互动、活动虚拟的程度，还是能够把创新当作线性模式认识与处理，线性模式还是具有一定的解释力。技术推动的线性模式在从事与表现简单的创新活动时还是有效的，这也符合人的因果思维习惯。按照时间与逻辑顺序，给出一条因果链，把空间上的事件因果与时间上的延续先后对应起来，这是一种简化了的模式。

这种线性模式（the linear model）的实践与理论都存在缺陷。克兰（Stephen J. Khne）和罗森堡（Nathan Rosenberg）评论道：线性模式被隐晦地设想为像流水一样平稳地流向一条单行路，它在几个方面扭曲了创新的真实面目。

首先，在线性模式中，发展过程的连续活动没有反馈渠道，也没有来自销售数据或个人用户的反馈。但是这些反馈形式，对于评价绩效、引导后续步骤、估计竞争态势都是至关重要的。多重反馈是创新过程的固有内容。在无所不知的技术人员的理想世界中，人们一次性地就可以得到可行的、最佳的创新设计。在充满着不完全信息、高度不确定性的真实世界中，缺陷与失败是产生各种创新的学习过程的内容。因此，创新要求反馈，有效的创新要求迅速、准确的反馈以及与之一致的、随之而来的行动。

其次，创新的核心环节是设计，而不是科学本身，某种形式的设计是着手技术创新的根本，反复设计是最后成功的关键，因为需要多种形式的反馈。创新推动着科学，创新的需要是推动科学创造的力量。

第三，即使在科学不完备，甚至完全缺乏的情况下，仍然可以经常产生重要的创新，以及无数更小的，但累计起来却是重要的进化式的改进。一个世纪之前，理论的缺乏并没有阻碍自行车的发明。

第四，线性模式掩盖了创新过程中学习的重要意义，学习在持续的生产过程中扮演着重要的角色，实证显示了通过累积的经验学习促进创新的真实性。

1.2.2 第二代：需求拉动创新模型

需求拉动（demand-pull）也称市场拉动（marketpull）。在 20 世纪 60 年代后期，这种模式以实际创新活动研究为基础，一些新的经验结果开始公之于众，它更多地强调创新中市场的作用。实证研究表明，用于研究与开发（R&D）的资源投入增加，创新成果并不一定相应增加。在市场拉动的线性模式中，创新被认为是由某种觉察到的、有时是明确表达出来的消费者需要引起的，于是导致了紧密聚焦于这种需要的 R&D 活动，随之而来的是满足市场需求的新产品的生产过程。R&D 在创新过程中仅仅起着被动作用。需求拉动也属于线性模式，只不过是实际的需求而不是科学技术成为创新的源头。

这种模式一是强调创新的经济导向。创新不是一种纯科学或纯艺术的活动，

而是企业通过满足市场新的需求而扩大销售、增加利润的活动，创新有着强烈的功利性。二是强调创新的问题导向。需要表现为问题，表现为应该解决却没有解决、难以解决的问题。围绕问题调动创新资源，问题的解决就是创新，创新有着强烈的目的性。三是强调创新的发现能力。需求是客观存在，但对有些需求熟视无睹，习以为常，只有善于发现，才能抓住创新点；有些需求属于潜在需求，还没有发展为现象，只有具有洞察力，才能通过创新开发出这种潜在需求；有些需求属于未来需求，创新的周期要求做出需求预测，进行前瞻性开发，做到未雨绸缪。需求导向是对创新主体认识能力的检验。需求拉动的模式也是对实际的创新活动的一种简化了的模式。

需求拉动模式突出了需求作为创新动力的作用，但需求导致的创新多是渐进性的，如不和科技进步结合起来，很难出现根本性的重大创新，只凭“点子”、灵感，在高科技发达的今天远远不够的。德鲁克也认为以知识为基础的创新是企业创新的“超级明星”，它引人注目，又能得到利润回报。对于市场需求的测度实际上是有很大难度的，因为需求受多种因素制约，消费者又有多种需求，在某种需求中又有多种可能的替代选择，对某一种消费品又有多个企业、多种品牌的竞争。只凭创新者的主观推测，一厢情愿，结果往往事与愿违。从确定某一市场需求到把满足这一市场需求的产品推向市场有一个时间差，在这期间会出现未曾预料到的扰动因素影响需求变化，时间越长，不可测的扰动因素就越多，这会出现生产滞后、创新失败的情况，因此需要随时反馈的环节。

1.2.3 第三代：相互作用模式创新模型

到了20世纪70年代，创新的技术推动和需求拉动的线性模式，越来越多地被认为是过分简化的、极端的模式。人们开始同时强调市场与技术二者对创新成功的重要性，承认在产业周期阶段，技术推动与需求拉动的相对重要性会发生变化。因此，出现了把技术推动与市场拉动结合起来的相互作用模式（interactive model）。这一模式给出一个逻辑上连续的，但不一定是顺序的过程，这个过程可以分为一系列不同功能、相互独立又相互作用的阶段。创新过程的全部样式可以看作一个具有复杂的通信渠道的网络，既有组织内又有组织外的联系，把各种内部功能联结在一起，把企业与科技组织、市场联结在一起。也就是说，创新过程表现着技术能力与市场需求在创新企业内部结构的汇合。相互作用创新模式表明，无论是来自市场的新产品开发还是R&D的动力，都没有这样一个事实重要——技术、市场与生产都取决于从一开始项目评估与界定的正确性。

克兰与罗斯韦尔提出了链环模式（the chain-linked model）作为对线性模式的

一种替代，链环模式也可以大致上看作相互作用模式。在这一创新模式中，不是只有一条主要的活动路径，而是有五条。

第一条是创新的中心链，也就是传统的线性链，它始于设计，通过继续开发和生产，终于市场。

第二条是一系列反馈联结，这些反馈路径在每两环节之间反复出现，而且从察觉到的市场需求与消费者直接反馈到下一轮设计、改进产品和服务。在这种意义上，反馈是产品专门化、产品开发、生产过程、市场与生产过程相配合的一部分。

第三条路径是在科学研究与发明设计之间通过知识形成链环回路，也就是发明设计的问题，首先看现有知识能否解决，如不能解决就进入科研，再返回设计。因为当代创新没有科学知识的积累通常是不可能的，明确的开发工作通常也突出了研究，也就是新的科学的需要。从科学到创新的联结不是只发生在或主要发生在创新的开端，而是延伸至全部过程，科学贯穿于整个开发阶段。

第四条路径是科学研究与发明设计的直接联结、相互作用，新的科学往往使根本性创新成为可能，根本性创新的发生是稀少的，但通常都标志着整个新产业的重大转折，如半导体、激光、基因工程等。

第五条路径是来自创新的反馈路径，或更准确地说是从创新成果到科学的反馈，这条路径过去非常重要，现在更加重要，如数字式计算机在实验室与模拟难题中的使用，揭开了物理科学的新前景。

总而言之，把创新设想为只有一条中心路径，或科学起着核心的、初始的作用的观点，都过于简单，必定限制和扭曲关于创新过程本质的思想。链环模式虽然有很大改进，但也省略了当代创新完整的不少细节与丰富多样的本质。回过头来再看技术推动与市场拉动模式，实际上，某种察觉到的市场需求只有在技术问题能够得到解决时才能满足，而已发明的技术成果只有存在现实可能的市场需要时才能投入使用；每种市场需求进入创新过程就及时引导了新的设计，每种成功的新设计又及时引导了新的市场变化。在这个意义上，技术推动与市场拉动是人为制造的问题。

创新的链环模式比线性模式更复杂，但也更真实地反映了实际的创新活动，它把技术和市场的对立模式变成了二者的统一模式。如同经济合作与发展组织(OECD)指出：创新的思维有多种来源，包括新的制造能力和对市场需求的认识。创新能以多种形态出现，包括：已有产品的增值改进；技术应用于新的市场；利用新技术服务于一个已存在的市场，并且其过程并不是完全线性的。创新的需要使不同行为者（包括企业、实验室、科学机构与消费者）之间进行交流，并且在科学研究、工程实施、产品开发、生产制造和市场销售之间进行反

馈。但相互作用模式与链环模式就其展开顺序而言还是附加了反馈环的线性过程，就其参与要素而言对各要素的自身性质还缺乏考察，基本上还是机械的反应与反馈模式，特别是缺乏对创新最重要的要素——创新主体的考察。

1.2.4 第四代：整合模式创新模型

第四代的整合模式（integrated model）创新模型标志着占主导地位的创新过程模式按顺序发展的一个转折，即把创新作为 R&D、设计开发、生产等要素同时展开的平行过程。20 世纪 80 年代后期，越来越多的研究重点放在 R&D 与市场界面的整合、R&D 与生产界面的整合、供应商与率先消费者的更密切的协调上。与此同时，联合企业、战略联盟等横向联合急剧增长，给出了整合过程的新的维度，增加了创新管理的难度。第四代模式对于当今国际的创新实践是最为近似的一种表述。

以往的创新过程模式还是以机器工业时代流水线的生产方式为基础的，体现了程序序列的递进。上游制约着下游，下游至多给上游提供反馈信息。整合模式则代表着创新范式的转变，不同职能部门在创新活动中从各自的角度同时参与知识与信息的生产。例如，制造部门不是只在产品开发结束后才为商业化生产做准备，而是在产品开发的很早阶段就积极地提出并生产各种工艺概念或方案；营销部门也不坐等完整的产品设计原型完成后才与顾客沟通，而是把顾客的要求、看法和其他有关的信息及早地带入新产品开发过程。各职能部门、一体化参与创新的效果及时推进了下游部门的活动和对创新的参与。线性模式是以个体活动为基础的。个体活动，无论是认识还是实践，都表现出时间方向严格的顺序性、间隔性，个体一般不能在同一时间使用同一器官做不同的事。创新活动在现代社会是团体的、组织的活动，它有着与个体活动不同的性质与规律，其中之一就是一体化模式表现出的同时性、同步性，即创新组织能够在同一时间通过不同个体的协作做不同的事。这种能力不同于简单协作的群体在同一时间做相同的事，这只是同一意志对个体活动的集中使用。一体化模式则表现出复杂协作的特征，组织内部的不同职能部门同时做着不同的事情，最终却整合为几条相互交织的线索凝结在一起的创新成果。线性模式依据创新活动的阶段划分为不同的活动空间，每一空间是相对独立的，空间之间的联系依靠传递、推动。一体化模式也有不同职能、环节的活动空间，但空间之间的联系更多的是依靠交流、互动。不同职能之间随时交流信息，在沟通中同步运转，而不是等待传递信息后再启动；不同环节之间互为反馈，互相促动，而不是等待上一环节的指令后再运转。整合模式反映了知识经济时代创新活动中知识与信息流动重要性的上升。

1.2.5 第五代：系统整合与网络模式

20 世纪 90 年代初的发展预示着创新过程进入系统整合与网络模式 (the systems integration and networking model, SIN) 的可能性。第五代模式在某种程度上代表着整合模式理想化的发展, 但赋予了新的特色, 它更接近于合作企业之间的战略整合。也许 SIN 最有意义的特色, 是增加了作为开发工具的专家系统的使用, 特别是模拟模型替代了物理原型, 使用供应方和用户连接的系统作为新产品联合开发过程的一部分。SIN 把创新不仅作为一个职能交叉的过程, 而且作为一个多重机构的网络过程。整合模式代表着构想与实践的汇合, SIN 则代表着未来的模式——构想引导着实践。当许多企业在努力掌握第四代模式时, 领先的创新者已经引进第五代模式的要素用于他们的创新实践, 这就是把人工智能用于产品设计、质量控制和生产力提高。SIN 本质上代表着企业在创新管理和实践中追赶与占据有利的开发地位时, 应该达到什么样的水平。概括地说, 第五代模式的特征是: ①与开发过程平行的全面整合; ②专家系统和模拟模型在 R&D 中的使用; ③与领先消费者的紧密联系 (“聚焦消费者” 的前沿战略); ④与包括新产品合作开发在内的主要供应方的战略一体化; ⑤联合企业、合作研究团体、市场协调活动的横向联系; ⑥强调合作的灵活性与开发速度 (以时间为基础的战略); ⑦日益注重质量与非价格因素。

第五代模式不是创新的最终或最佳模式, 但它反映了创新实践在现代的迅速演变。正如罗斯韦尔指出的, 不仅技术本身在迅速地变更, 而且当前的种种迹象表明创新过程也在变化。创新过程变得更有效率、更迅速、更具有灵活性, 同时, 也在使用新的电子手段。与此同时, 随着更多的因素更深地涉及进来, 创新的复杂性也在增长。这表明创新管理成为富于挑战性的任务, 它要求具有高质量与能力的、把创新引向成功的管理者。SIN 不仅要求管理的灵活性, 而且要求组织的灵活性。企业要成功地实现向第五代创新模式的转变, 就需要设计出有适应性、有利于创新的组织结构。

第五代模式作为创新活动的一种最新样式, 表现出创新认识与实践的进一步深化与复杂化, 集中表现在创新的系统性上。创新不仅体现在不同要素的整合上, 而且体现在不同系统的整合上。创新是在更为宏观的层面上的活动, 它已超越了单个企业的原子式的活动, 成为一种战略性的活动, 需要不同企业组织的联合、协作才能实现。创新的系统关系已经不是几条路径能够包容的, 而是发展为网络关系, 是由不同层级的节点汇集而成的关系。因为创新活动越大型化, 涉及的要素就越多, 形成的网络关系就越复杂。SIN 是信息社会的产物, 电子计算机广泛应用于社会生产与生活, 信息传播的电子化、网络化为创新的系统整合与网络提

供了技术手段，社会的信息化是 SIN 的工作平台。大规模创新的构思模拟、虚拟都不是仅仅通过人脑能在短时间内完成的，借助于计算机技术和通信技术，才能使这种复杂化的创新活动组成为真正的系统工程。这标志着创新认识与实践的一个新飞跃。

1.3 产业创新理论是创新生态系统的理论基础

随着五代创新理念的转变，大家已经意识到创新行为不是孤立的，在科技创新进程中，各类创新主体内部构成要素之间、创新主体之间、创新子系统与外部环境之间发生着连续、多重的互动，构成具有自组织特征的复杂适应系统。“系统的视角”是分析和了解创新的重要方式，而这种创新系统理论正是创新生态系统的重要理论基础。

五代创新模式的演进反映了不同环境下创新活动的复杂性的增加，也表明了人们在动态发展的过程中对创新的认识在不断超越并不断接近其根本要义。而纳米科技作为 20 世纪 50 年代以来的新兴科技产业，其创新规律的演化符合产业创新的演化。