

产业成熟度评价方法研究与实践

王礼恒¹, 屠海令², 王崑声³, 袁建华³, 葛宏志³,
胡良元³, 王海南³, 赵滢³, 卢跃³, 崔剑³

(1. 中国航天科技集团公司, 北京 100048; 2. 北京有色金属研究总院, 北京 100088;
3. 中国航天工程科技发展战略研究院, 北京 100048)

摘要: 产业发展遵循着客观的周期性规律, 经历从技术研发成熟、制造能力成熟, 再到新商品市场完善成熟的必然过程。本研究在新兴产业发展成熟规律的基础上, 结合系统工程和数据决策方法, 提出了产业成熟度的理论及评价方法, 以一致、规范、量化的方法评价技术、制造、产品、市场和产业的发展状态, 通过综合集成第三方评审专家的评价和判断得出产业发展状况的综合评价结果, 并对“十三五”末(2020年)的产业方向进行了预测。以中国工程院重点课题“‘十三五’战略性新兴产业培育与发展规划研究”的材料领域为例, 运用产业成熟度评价与预测产业发展趋势, 客观地分析产业制约要素, 进而有针对性地提出培育与发展政策建议。产业成熟度是分析和评价产业发展状态的有效工具, 具有重要的理论意义和实用价值。

关键词: 产业成熟度; 战略性新兴产业; 评价方法

中图分类号: F42 **文献标识码:** A

Assessment of Industry Maturity Levels: Research and Practice

Wang Liheng¹, Tu Hailing², Wang Kunsheng³, Yuan Jianhua³, Ge Hongzhi³,
Hu Liangyuan³, Wang Hainan³, Zhao Yan³, Lu Yue³, Cui Jian³

(1. China Aerospace Science and Technology Corporation, Beijing 100048, China; 2. General Research Institute for Nonferrous Metals, Beijing 100088, China; 3. China Academy of Strategy on Aerospace Engineering Science and Technology, Beijing 100048, China)

Abstract: Development of an industry follows an objective cyclical law that is an inevitable progression from technological and manufacturing maturity to a developed market for new products. Based on research into the cyclical law of emerging industries combined with system engineering and data decision making, this thesis uses the industrial maturity levels theory and assessment method to assess the maturities of technology, manufacture, product, market, and industry in a consistent, standardized, and quantitative evaluation method. Comprehensive evaluation results are obtained through the integration of evaluation and judgment data from experts. Finally, this method predicts the emerging industrial trend at the end of 13th Five-Year Plan in 2020. This paper uses the material field in the Chinese Academy of Engineering's important fund subject of research on the cultivation and development planning of China's strategic emerging industry in the 13th Five-Year Plan as an example of using industrial maturity levels to assess and predict industrial development trends, to analyze their restrictions, and then to propose targeted policy recommendations.

Key words: industrial maturity levels; strategic emerging industries; assessment method

收稿日期: 2016-05-30; 修回日期: 2016-07-07

作者简介: 王礼恒, 中国航天科技集团公司, 高级技术顾问, 中国工程院院士, 研究方向为导弹动力技术和航天工程管理;
E-mail: pepsijian@163.com

基金项目: 中国工程院重大咨询项目“‘十三五’战略性新兴产业培育与发展规划研究”(2014-ZD-7)

本文由《中国战略性新兴产业发展报告》中《产业成熟度评价理论与方法介绍》改写

本刊网址: www.enginsci.cn

一、前言

产业是提供相近商品和服务，在相同或相关价值链上活动的企业的集合，是介于宏观经济与微观经济之间的中观经济^[1,2]。“成熟”的本意，是指植物果实成长到可以收获的程度。成熟度被引申为事物的完善程度，是对一个事物或人的发展、成长的综合性描述和度量^[3]。成熟度评价方法可以看作一种基于系统工程解决实际工程问题的方法，是系统整体实现最优目标的组织管理技术。

产业成熟度（IML），是评价和度量产业从诞生到成熟发展过程的量化标准，反映了产业发展的完善程度。产业的形成与发展遵从一定的演化规律，处于早期形成阶段的产业称为新兴产业，当新兴产业经过初始阶段和增长阶段，一直发展到成熟阶段时就被称为成熟的产业。剑桥大学技术管理中心通过对 25 个产业形成过程的分析，总结出了从科学发现到新兴产业形成的共性过程框架，其中描述了在新兴产业的形成过程中，科学（science）、技术（technology）、应用（application）与市场（market）等主导因素如何交替变迁，刻画出新兴产业演化的共性规律，也被称为新兴产业形成的 S-T-A-M 过程框架^[3]，如图 1 所示。

根据以上关于产业演化过程的相关分析，本文

认为可以将产业的成熟过程看作是由产品成熟逐步发展到市场成熟的过程。只有产品首先实现了稳定成熟的技术性能，才有可能创造出新的市场需求或是满足已有的市场需求，并最终实现产品的最大价值和产业的持续发展。至此，可以将产业成熟度划分为四个成熟阶段（等级）（本文研究产业从萌芽到成熟的规律，不考虑之后的衰退过程），即萌芽阶段、培育阶段、发展阶段和成熟阶段^[4-6]。萌芽阶段（IML1）：以技术研发为主导的产业萌芽阶段，主要活动是开展技术的基础研究和研发；培育阶段（IML2）：以技术应用为主导的产业培育阶段，阶段标志是产业的产品或服务取得了商业化应用示范的成功，且随着商业化应用的推广，产品或服务在性能、成本等方面的优势得到了确认；发展阶段（IML3）：以市场为主导的产业快速发展阶段，大规模市场推广示范取得成功，吸引大量竞争者进入市场，产品或服务的销售量在一段时间内可以保持较高增长率；成熟阶段（IML4）：以产业链为主导的产业发展成熟阶段，该阶段标志着产业链条基本形成，行业标准得到应用，产业链向着逐步完善的方向发展。随着产品或服务的供需接近饱和状态，销售量增长率逐步趋缓，企业之间进行大规模兼并重组，产业集中度不断提高，领先企业脱颖而出。

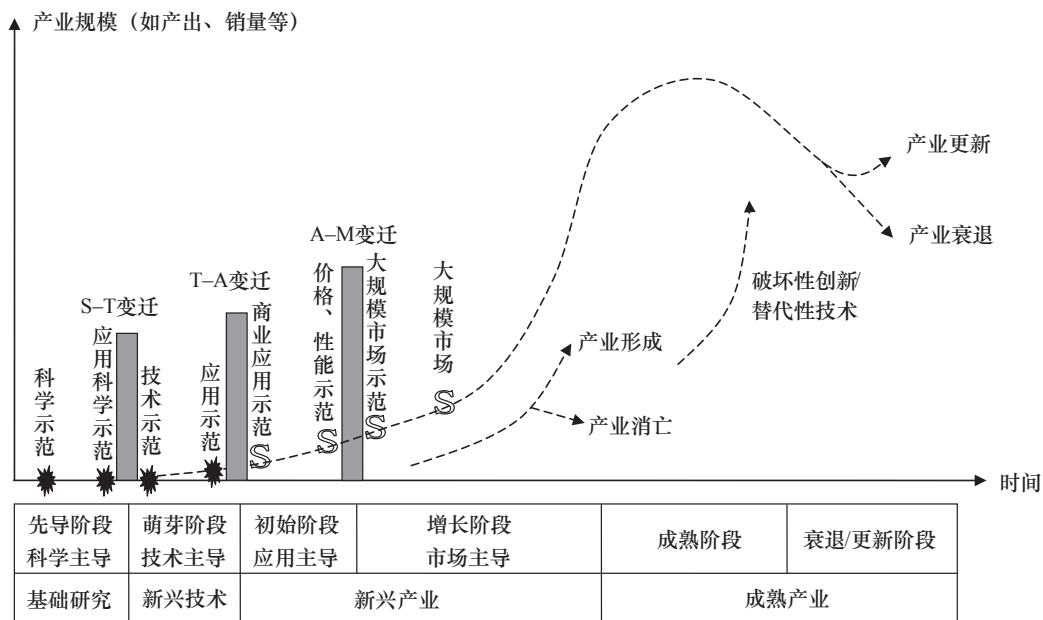


图 1 产业形成与发展的阶段、变迁、里程碑与演化轨道^[3]

二、产业成熟度评价模型和指标体系

产业成熟度评价是定性到定量综合集成的方法，首先对技术、制造的成熟状况进行评价，进而集成出产品成熟度；在此基础上结合市场成熟度评价结果最终集成产业成熟度的综合评价结果（产业成熟度等级）。产业成熟度评价模型及指标体系如图2所示。

（一）产品成熟度

产品是向市场提供的满足用户需求的物品或服务。从工程角度讲，产品是一项研发与制造过程的结果^[7]。产品成熟度（PRL）是评价和度量产品研制所处发展状态的量化标准，它反映了产品对于预期应用目标的满足程度。产品成熟度等级，是度量和评测特定产品成熟程度的标准和尺度，划分为5个等级，即5个阶段：概念产品、实验室产品、工程产品、市场化产品和精益市场化产品，其中1等级最低，5等级最高。因此，产品的成熟主要体现在两个重要方面^[7]：一方面是外在的技术性能

指标逐渐成熟的过程，通过技术成熟度评价确定；另一方面是内在的制造工艺、材料、过程控制的成熟过程，通过制造成熟度评价确定。因此，产品成熟度主要由技术成熟度和制造成熟度评价结果综合集成得到。

1. 技术成熟度

技术成熟度（TRL），是指技术相对于某个具体系统或项目而言所处的发展状态，它反映了技术对于项目预期目标的满足程度^[8,9]。技术成熟度注重评价技术载体、集成状态和验证环境的发展情况，见表1。

2. 制造成熟度

制造成熟度（MRL），用来表示关键制造的成熟程度，它量化反映了技术转化为产品或系统过程中制造能力对于项目目标的满足程度^[10]。产品研制与发展的过程中，不能单一地关注技术的成熟问题，制造能力的成熟也是至关重要的。根据项目制造管理的最佳实践经验，制造成熟过程涵盖了从提出制造概念到形成批量生产、精益化生产能力的全过程，体现了从研制到工业化生产的一般发展过程，制造

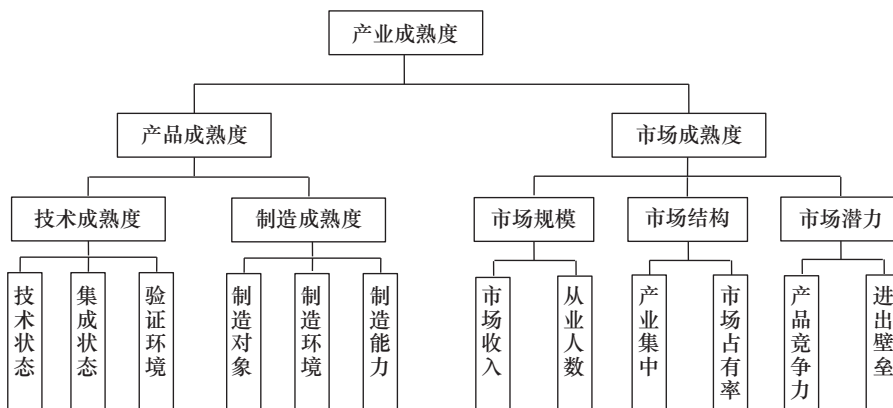


图2 产业成熟度评价的指标体系

表1 技术成熟度评价准则

TRL	评价准则
1	观察到支撑该技术的基本原理或看到基本原理的报道
2	提出将基本原理应用于系统中的设想
3	关键功能和特性初步通过实验室环境验证
4	以部件级实验室产品为载体通过实验室环境验证
5	以单机级初级演示验证产品为载体通过模拟使用环境验证
6	以分系统或系统级高级演示验证产品为载体通过模拟使用环境验证
7	以系统级工程原型产品为载体通过典型使用环境验证
8	以系统级试用产品为载体通过测试和交付试验
9	系统级的成熟产品通过广泛应用和考验

成熟度等级划分及各级标准如表 2 所示。

制造成熟度注重评价制造对象、制造环境、制造能力的发展状态。①制造对象指新技术的载体，其成熟的阶段划分为概念样件、原理样件、演示样件、工程产品、定型生产产品；②制造环境指制造生产的场所，阶段分为实验室环境、相关生产环境、典型生产环境、试生产线环境、批量生产环境；③各阶段的制造能力是指实验室模拟、试制造，直到低速率、全速率生产等阶段的状态。

3. 产品成熟度

技术成熟度、制造成熟度与产品成熟度的集成关系如表 3 所示。

(二) 市场成熟度

市场成熟度 (MML)，是评价和度量市场相对

于完全成熟而言所处状态的标准。它反映了运用新技术研发出的产品在导入市场后，其市场规模、市场结构和市场潜力相对于预期成熟目标的满足程度，是量化市场发展过程的方法。市场成熟度等级是度量和评测商品或服务市场成熟程度的标准和尺度，划分为 3 个等级，即 3 个阶段：导入阶段、发展阶段和成熟阶段，其中 1 等级最低，3 等级最高，等级划分及各级标准如表 4 所示。

(三) 产业成熟度的等级划分

产业成熟度评价采用定性定量相结合的方法，重点把握从技术、制造到产品、市场和产业的发展成熟规律，并以此来最终确定产业成熟度等级。因此，产业成熟度反映了产品成熟和市场成熟的综合集成情况，其二者的综合集成关系如表 5 表示。

表 2 制造成熟度评价准则

MRL	评价准则
1	确定制造内涵
2	确定制造方案
3	制造方案的可行性得到初步验证
4	具备在实验室环境下制造技术原理样件的能力
5	具备在相关生产环境下制造原型部件的能力
6	具备在相关生产环境下制造原型系统或分系统的能力
7	具备在典型生产环境下制造系统、分系统或部件的能力
8	试生产线能力得到验证，准备开始低速率生产
9	低速率生产能力得到验证，准备开始全速率生产
10	全速率生产能力得到验证，转向精益化生产

表 3 产品成熟度综合集成

产品成熟度		技术成熟度	制造成熟度
PRL1	概念产品	TRL1	MRL1
		TRL2	MRL2
		TRL3	MRL3
PRL 2	实验室产品	TRL4	MRL4
		TRL5	MRL5
		TRL6	MRL6
PRL 3	工程化产品	TRL7	MRL7
			MRL8
PRL 4	小批量市场化产品	TRL8	MRL9
PRL 5	大批量精益化市场产品 或高质量细分市场产品	TRL9	MRL10

表 4 市场成熟度评价指标体系

市场成熟属性		1 级（导入期）	2 级（成长期）	3 级（成熟期）
市场规模	市场收入	前期投入大，市场收入规模低	收入规模增加，实现盈利	收入和利润规模稳定
	从业人数	以研发人员为主，但生产和销售人员开始增加	以生产和销售人员为主，生产和销售人员大幅增加	从业人员数量和结构趋于稳定
市场结构	产业集中度	产品处于导入阶段，产品销售只集中在少数企业	从事产品生产销售的企业数量大幅增加，产业集中度较低	并购整合调整，形成了以少数规模大实力强的企业为龙头的完整产业链
	市场占有率	产品商业应用示范，占有率较低	大规模商业化应用，占有率增长快	市场供需平衡，占有率高且趋于平衡
市场潜力	产品竞争力	产品预期具有较强的竞争力	产品竞争力优势显现	产品竞争力优势明显
	进入壁垒	少数企业掌握核心技术，技术壁垒高	核心技术大规模应用，技术壁垒降低	产业规模经济效益显现，进入壁垒高

表 5 产业成熟度综合集成

产业成熟度		产品成熟度	市场成熟度
IML1	萌芽期	PRL1	MML1
		PRL 2	
		PRL 3	
IML2	培育期	PRL 4	MML2
		PRL 5	
IML3	发展期		
IML4	成熟期		MML3

三、产业成熟度的评价表与流程

产业成熟度评价是度量产业整体发展状态的方法。根据前文对产业成熟度构成的分析，从评价内容上看，重点是技术成熟度、制造成熟度和市场成熟度；从评价方法上看，重点是评价指标体系权重的确定、综合评价结果的集成以及评价表单的设计；从评价程序上看，重点是要做好产业成熟度的自我评价和综合评价两个阶段的工作。

（一）产业成熟度评价表

产业成熟度是通过分析技术、制造、市场等相关指标的统计信息，进而对产业的成熟状态给予整体性评价的过程。在具体的评价方法确定之后，关键是收集开展产业成熟度评价的指标输入数据，而评价表单则是开展评价调查、收集评价数据的载体。

数据采集后确定评价指标权重。本文运用模糊互补判断矩阵法确定指标权重^[11]，输出最终结果就是指标的权重；然后根据权重向量和评价矩阵得到模糊综合评价结果。评价表单既要满足开展评价工

作的的需求，也要务求直观明了，易于操作。产业成熟度的评价表单如表 6 所示。

（二）评价工作流程

“十三五战略性新兴产业培育与发展规划研究”项目中开展产业成熟度评价，其过程分为两个阶段：第一阶段，领域专家自我评价阶段；第二阶段，综合评审阶段，如图 3 所示。

产业成熟度评价人员组成为：产业成熟度评价支撑人员、领域专家、第三方评审专家。

（1）产业成熟度评价支撑人员：是指产业成熟度评价方法研究与应用支撑人员，支撑领域组专家和评审专家开展相关工作。

（2）领域专家：是指产业方向的自我评价专家，熟悉突破性技术及其产品，掌握市场和产业综合方面的情况，对自身提出的产业方向进行评价。

（3）第三方评审专家：评审专家由 7~11 位来自研究机构、大学、企业、行业管理机构等熟悉领域相关技术、制造、市场和产业的专家组成。

四、产业成熟度评价案例与分析

本文研究依托“十三五战略性新兴产业培育与发展规划研究”课题开展应用研究。本节案例以材料领域为例，选择 4 项具有代表性的重点产业方向，运用产业成熟度评价技术到产业的等级，预测“十三五”的发展状态，通过统计和对比分析，明确领域发展重点情况，针对性评估中反映的制约产业发展因素，提出有针对性的具体建议，为政府部门进一步完善“十三五”规划提供支撑。

表 6 产业成熟度评价表单

重点产业方向名称													
重大突破性技术名称													
所属产业领域		节能环保 <input type="checkbox"/> 新一代信息技术 <input type="checkbox"/> 生物 <input type="checkbox"/> 高端装备制造 <input type="checkbox"/> 新能源 <input type="checkbox"/> 新材料 <input type="checkbox"/> 节能与新能源汽车											
重点产业发展方向简介		简要说明该重点产业发展方向的内涵和发展现状。其中，内涵重点说明该产业发展方向的核心产品，及其相关的重大突破性技术；发展现状重点说明该产业发展方向目前的国内整体发展水平，对比国外情况进行分析（400 字左右）											
技术成熟度评价	重大突破性技术的研究现状	作为技术成熟度评价依据，简要说明该重大突破性技术的技术现状，包括该项技术研制的技术产品、达到的功能和性能指标以及试验验证的环境等（200 字左右）											
	自评价当前 TRL 级别	根据技术成熟度定义，从技术产品逼真度、试验环境逼真度两个特征出发，采用“就低不就高”的原则，综合评价该项关键核心技术的 TRL 级别（1~9） TRL ____											
制造成熟度评价	重大突破性技术的制造现状	作为制造成熟度评价依据，简要说明该重大突破性技术的制造现状，包括已经形成的产品状况、现在国内的制造能力、制造环境等（200 字左右）											
	自评价当前 MRL 级别	根据制造成熟度定义，从制造对象的逼真度、制造环境逼真度两个特征出发，采用“就低不就高”的原则，综合评价该项制造技术的 MRL 级别（1~10） MRL ____											
市场成熟度评价	市场现状	简要说明国内市场现状，重点介绍市场规模、市场结构、市场潜力等情况，以及对国外市场的优劣情况（200 字左右）											
	市场规模	市场收入	<input type="checkbox"/> 前期投入大，市场收入规模低（MML1） <input type="checkbox"/> 收入规模增加，实现盈利（MML2） <input type="checkbox"/> 收入利润规模稳定（MML3）										
		从业人员	<input type="checkbox"/> 以研发人员为主，但生产和销售人员开始增加（MML1） <input type="checkbox"/> 以生产和销售人员为主，生产销售人员大幅增加（MML2） <input type="checkbox"/> 从业人员数量和结构趋于稳定（MML3）										
	市场结构	产业集中度	<input type="checkbox"/> 产品处于导入阶段，产品生产销售只集中在少数企业（MML1） <input type="checkbox"/> 从事产品生产销售的企业数量大幅增加，产业集中度较低（MML2） <input type="checkbox"/> 产业经过并购整合调整，形成了以少数规模大实力强的企业为龙头的完整产业链（MML3）										
		市场占有率	<input type="checkbox"/> 产品商业应用示范，占有率较低（MML1） <input type="checkbox"/> 大规模商业化应用，占有率快速增长（MML2） <input type="checkbox"/> 市场供需平衡，占有率高且趋于平稳（MML3）										
	市场潜力	产品竞争力	<input type="checkbox"/> 产品预期具有较强的竞争力（MML1） <input type="checkbox"/> 产品竞争力优势显现（MML2） <input type="checkbox"/> 产品竞争力优势明显（MML3）										
		进入壁垒	<input type="checkbox"/> 少数企业掌握核心技术，技术壁垒高（MML1） <input type="checkbox"/> 核心技术大规模应用，技术壁垒降低（MML2） <input type="checkbox"/> 产业规模经济效应显现，进入壁垒高（MML3）										
	当前 MML 级别	根据市场成熟度定义和模糊评价结果，综合评价该项技术产品市场的 MML 级别（1~3） MML ____											
		MML	市场成熟度准则										
		1	工程化产品投放市场，形成新的市场										
2		市场需求增长带动市场规模不断扩大											
当前 MML 级别	3	市场占有率达到饱和，市场规模稳定											
	根据技术成熟度、制造成熟度、市场成熟度评价结果，综合集成评价该项新兴产业的 IML 级别（1~4）__（工作组完成计算） <input type="checkbox"/> 萌芽阶段 IML 1 <input type="checkbox"/> 培育阶段 IML 2 <input type="checkbox"/> 发展阶段 IML 3 <input type="checkbox"/> 成熟阶段 IML 4												
	时序预测 / 年	成熟度	等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		技术成熟度 TRL											-
制造成熟度 MRL													
市场成熟度 MML					-	-	-	-	-	-	-	-	
说明：请专家在表中填写技术到产业各个等级对应的发展时间，单位：年。技术成熟度是 1~9 等级；制造成熟度是 1~10 等级；市场成熟度是 1~3 等级；“-”表示没有相应等级。													
培育与发展建议	针对技术到产业的各个层面发展，评价过程中反映出来的问题，提出有益于自身发展的培育与发展建议（200 字）												
联系人						联系电话							

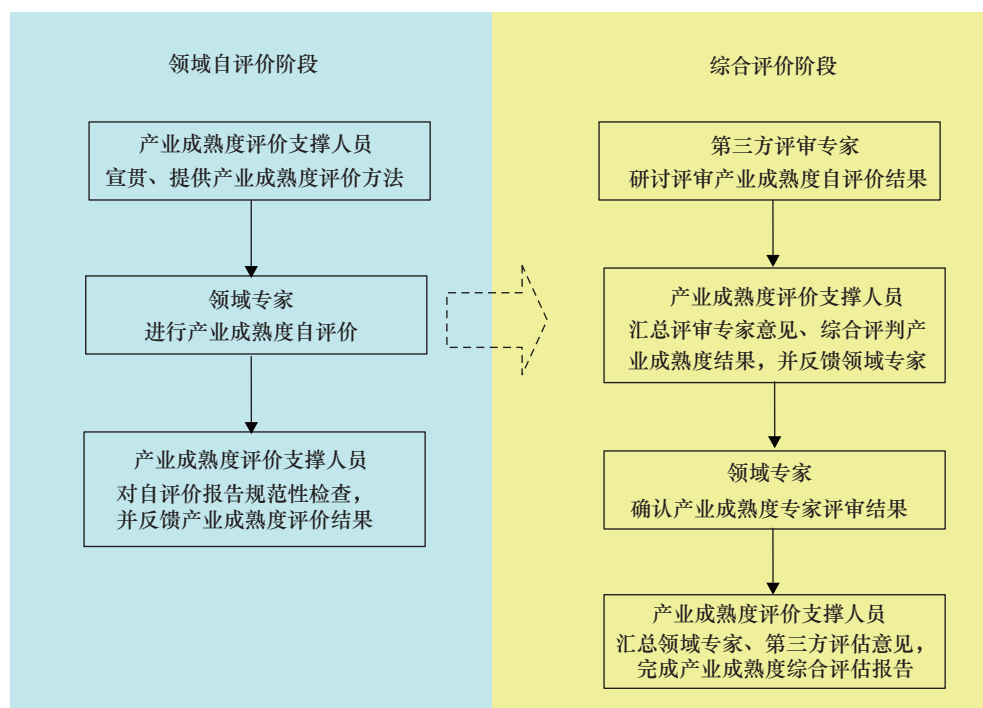


图3 产业成熟度评价实施流程图

（一）材料领域产业成熟度评价结果

材料领域4项产业重点方向的产业成熟度评价结果如表7所示。技术和制造能力反映的是我国自主研发的情况，市场和产业也是我国自主产品市场及生产企业的情况。2015年新材料产业的人工晶体材料、锂离子电池及材料、血管支架等3项产业方向的技术较为成熟，关键技术取得突破，产品处于示范应用阶段。另外，汽车轻量化用新一代先进超高强度钢产业方向的技术和制造能力处于工程研制初级阶段，关键技术和制造存在瓶颈，尚待突破。相互比较市场和产业层面情况，锂离子电池及材料产业方向的市场较其他3项产业方向成熟，其他3项自主研发的产品市场尚待培育。

（二）“十三五”末（2020年）产业成熟度与产业规模预测

通过产业成熟度评价与预测，获得“十三五”末（2020年）技术和产业成熟度，以及技术和产业完全成熟所需的时间，见表8。

人工晶体材料产业方向：“十三五”时期技术成熟度提高1个等级，达到TRL8，预计2020年达到TRL9状态。产业成熟度提高2个级别，从培育阶段到发展阶段，达到IML3，完全成熟需要8年。

锂离子电池及材料产业方向：“十三五”末期

技术成熟度提高1个级别，达到TRL9；产业成熟度提高2个级别，从发展阶段到成熟阶段，达到IML4，完全成熟需要10年。

血管支架产业方向：“十三五”时期，具有自主知识产权的产品将取得欧盟欧洲共同体（CE）认证，并获得美国食品药品监督管理局（FDA）的批准。技术成熟度和产业成熟度分别提高1个级别和2个级别，均达到完全成熟状态。

汽车轻量化用新一代先进超高强度钢产业方向：“十三五”时期技术成熟度提高4个等级，达到TRL9的完全成熟状态，是4项产业方向中技术提高最快的。产业成熟度提高2个级别达到IML3，从萌芽阶段发展到发展阶段，完全成熟需要8年。通过专家评价和数据分析显示，目前技术研发滞后是制约发展的主要问题。目前该产业方向市场需求很大，一旦技术取得突破，市场和产业的发展将会很快。

（三）“十三五”重点方向的培育与发展建议

通过领域专家自评价和第三方专家综合评审，明确了现阶段材料领域4项产业方向的技术、制造、产品、市场和产业发展现状，并研讨了未来发展过程中亟需解决的主要问题，找出制约产业发展的微观或宏观主要因素，进而为4项产业方向“量身定做”培育与发展建议。这样从实际情况出发制定的建议，

表7 产业重要发展方向的产业成熟度评价结果统计表

产业方向	TRL	MRL	MML	IML
人工晶体材料	8	8	2	2
锂离子电池及材料	8	8	2	2
血管支架	8	9	1	2
汽车轻量化用新一代先进超高强度钢	5	5	1	1

注：本表更新于2015年。

表8 产业重点发展方向的技术和产业未来发展预测统计表

产业方向	“十三五”末（2020年）技术成熟度和产业成熟度预测		技术和产业完全成熟所需时间/年		当前阶段
	技术	产业	技术	产业	
人工晶体材料	TRL9	IML3	4	8	培育阶段
锂离子电池及材料	TRL9	IML4	5	10	培育阶段
血管支架	TRL9	IML4	3	5	成熟阶段
汽车轻量化用新一代先进超高强度钢	TRL9	IML3	4	8	萌芽阶段

注：本表更新于2015年。

表9 产业重要发展方向的培育与发展建议汇总分析表

产业方向	制约产业发展的主要因素	培育或发展的建议（摘要）
人工晶体材料	基础器件和整机	注重有优势的功能晶体材料研发；保护知识产权；加强培育以功能晶体为基础的器件和整机的产业
锂离子电池及材料	产业体系、标准、核心技术	核心技术研发；产业体系建设；制定标准；产业规划、顶层设计
血管支架	技术、制造产品研发能力、资本、知识产权	加大自主研发；注重产品生产环节；资助优势的企业升级
汽车轻量化用新一代先进超高强度钢	政策、产学研平台	需政策扶持；开展全产业链技术攻关；产业链合作与统筹

能够进一步更好地为管理机关决策提供有参考价值的依据。表9统计了制约4项产业方向发展的主要因素，以及对应的具体培育与发展建议。

材料产业是国民经济的基础产业，新材料是材料产业发展的先导，是重要的战略性新兴产业。掌握大量关键新材料的核心技术，推动关键装备的国产化，实现规模化生产技术的突破和系统集成技术的完善，缩短与世界先进水平之间的差距；同时，建立以企业为主体的高水平新材料研发平台，加强工程化技术的研究，实现关键新材料的批量生产。至2020年前后，关键新材料的自给率达到70%，基本满足国家重大工程建设、国家安全等领域的需求。

五、结语

产业成熟度评价是一种定性与定量相结合的综

合集成评价方法。通过探索将成熟度的理论和方法从工业技术与制造领域引入市场和产业领域，构建产业成熟度评价模型和评价指标体系。通过不断实践、提炼与总结来完善产业成熟度评价方法，形成适用于战略性新兴产业培育发展的宏观评价与咨询模式。在此，课题组十分感谢“‘十三五’战略性新兴产业培育与发展规划研究”各个领域课题组的众多专家，他们对产业成熟度研究与应用过程给予了指导支持和帮助。课题组拟通过后续研究工作，进一步将成熟度与投资回报等方法结合起来，具体解决技术转化、投产论证、军民融合的决策过程中需要对各个层面量化评价的问题，为投资决策提供数据化支撑。

参考文献

[1] 杨公朴. 产业经济学[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2009.

- Yang G P. Industry economics [M]. Shanghai: Fudan University Press, 2009.
- [2] 苏东水. 产业经济学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
Su D S. Industry economics [M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.
- [3] 曾路, 汤勇力, 李东从. 产业技术路线图: 探索战略性新兴产业培育路径[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
Zeng L, Tang Y L, Li D C. Industry technology roadmap: Explore the path of cultivating strategic emerging industries [M]. Beijing: Science Press Ltd., 2014.
- [4] 朱航. 中国保险市场成熟度指数研究[J]. 保险研究, 2013(6): 35-42.
Zhu H. Research on maturity index of China's insurance market [J]. Insurance Studies, 2013(6): 35-42.
- [5] 葛宏志. 中国航天战略性新兴产业重要发展方向评价方法研究(博士学位论文) [D]. 北京: 中国航天系统科学与工程研究院, 2013.
Ge H Z. Research on the assessment method for the important direction of China's aerospace strategic emerging industry (Doctoral dissertation) [D]. Beijing: China Aerospace Academy of Systems Science and Engineering, 2013.
- [6] Phaal R, O'Sullivan E, Routley M, et al. A framework for mapping industrial emergence [J]. Technology Forecasting and Social Change, 2011, 78(2): 217-230.
- [7] 袁家军. 航天产品工程[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2011.
Yuan J J. Aerospace product engineering [M]. Beijing: China Astronautic Publishing House, 2011.
- [8] 吴燕生. 技术成熟度及其评价方法 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
Wu Y S. Technology readiness and its assessment method [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2012.
- [9] ISO/TC20/SC14. ISO/FDIS 16290:2013(E): Space systems—Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment [S]. Switzerland: ISO, 2013: 1-12.
- [10] U.S. Department of Defense. Manufacturing readiness level (MRL) deskbook [M]. USA: The Joint Service/Industry MRL Working Group, 2010.
- [11] 张小红, 裴道武, 代建华. 模糊数学与Rough集理论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
Zhang X H, Pei D W, Dai J H. Fuzzy mathematics and rough set theory [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2013.