



航天科技图书出版基金资助出版

产业成熟度 评价方法与应用

产业成熟度编研组 著



中国宇航出版社

航天科技图书出版基金资助出版

产业成熟度 评价方法与应用

产业成熟度编研组 著



中国宇航出版社

· 北 京 ·

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

产业成熟度评价方法与应用 / 产业成熟度编研组著

—北京: 中国宇航出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-5159-1401-5

I. ①产… II. ①产… III. ①产业发展-研究 IV.

①F260

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 272909 号

责任编辑 侯丽平

责任校对 祝延萍

装帧设计 宇星文化

出版
发行 **中国宇航出版社**

社址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830
(010)60286808 (010)68768548

网址 www.caphbook.com

经销 新华书店

发行部 (010)60286888 (010)68371900
(010)60286887 (010)60286804(传真)

零售店 读者服务部
(010)68371105

承印 北京画中画印刷有限公司

版次 2017 年 11 月第 1 版
2017 年 11 月第 1 次印刷

规格 787 × 1092

开本 1/16

印张 11.25

字数 271 千字

书号 ISBN 978-7-5159-1401-5

定价 98.00 元

本书如有印装质量问题, 可与发行部联系调换

航天科技图书出版基金简介

航天科技图书出版基金是由中国航天科技集团公司于2007年设立的,旨在鼓励航天科技人员著书立说,不断积累和传承航天科技知识,为航天事业提供知识储备和技术支持,繁荣航天科技图书出版工作,促进航天事业又好又快的发展。基金资助项目由航天科技图书出版基金评审委员会审定,由中国宇航出版社出版。

申请出版基金资助的项目包括航天基础理论著作,航天工程技术著作,航天科技工具书,航天型号管理经验与管理思想集萃,世界航天各学科前沿技术发展译著以及有代表性的科研生产、经营管理译著,向社会公众普及航天知识、宣传航天文化的优秀读物等。出版基金每年评审1~2次,资助20~30项。

欢迎广大作者积极申请航天科技图书出版基金。可以登录中国宇航出版社网站,点击“出版基金”专栏查询详情并下载基金申请表;也可以通过电话、信函索取申报指南和基金申请表。

网址: <http://www.caphbook.com>

电话: (010) 68767205, 68768904

产业成熟度编研组

专 家 组：王礼恒 屠海令 柳百成

吴 澄 张履谦

工作组组长：王崑声

工作组副组长：薛惠锋

工作组成员：王崑声 薛惠锋 葛宏志 赵 滢

马 宽 王海南 袁建华 胡良元

卢 跃 常 青 蒲洪波 周少鹏

刘立民 刘 瑜 夏倩雯 龚茂华

王 红 包彦明 孙静芬 崔 剑

马雪梅 陆春华

序

本书系统地介绍了产业成熟度的有关理论、方法与应用实践。本书提出的产业成熟度方法是在分析和构建技术、制造、产品、市场等之间的基本关系的基础上，探索和把握从技术到产业发展的规律，对技术、制造、产品、市场和产业的成熟程度进行判断；还可以进一步对未来发展的重要时间节点进行预判，为新技术产业化提供一种量化评价的工具。本方法主张由第三方专家对自我评价结果做出独立评审，这有利于产业成熟度评估的客观性和公正性，能够使管理部门和工程单位客观认识产业各个层面的状况，为进一步制定产业发展政策和开展重大行动计划提供支撑。

本书的出版具有几个方面的意义和价值：首先是创新性，本书提出的产业成熟度与以往的成熟度方法相比，综合集成了技术、制造成熟度理论方法，提出了产品、市场、产业成熟度测量和评价方法，并构建了关系模型；其次是实践性，编研组在多项战略咨询课题和项目策划中运用产业成熟度方法，且他们的工作得到了课题主管部门和专家的认可。本书是编研组对几年来研究与实践的一次全面总结，从评估作用和效果来看，本方法是值得推荐的。不论是在工程实践中，还是在项目评估中，或是在战略性新兴产业重大咨询课题中，成熟度评价都起到了支持与支撑的作用，无论对技术研发和制造层面的评估，还是对宏观市场和产业发展宏观趋势的把握，都能提供有价值的信息。

通过几年来对产业成熟度的应用研究和运用能够看出，这是一个较好的从定性到定量的综合集成方法，是用系统工程方法解决实际问题的探索与实践，具有理论研究意义和实用价值。希望此书的出版能推广这种方法，在实践中对其进一步研究与完善，大家共同参与并继续做好这项工作。

王礼恒

2016年9月于航天科技大厦

前 言

当今世界主要经济体纷纷致力于发展新技术、积极培育新兴产业，以抢占未来经济和科技发展的战略制高点。为应对世界产业结构的调整，积极参与全球经济竞争，我国提出了加快经济发展方式转变的重大战略部署，并且将发展战略性新兴产业作为重要抓手。科学客观地评价一项新兴技术研发及其产业化发展的状况，全面把握产业成熟规律并预测发展趋势，是进一步正确制定产业发展规划必须解决的重要课题。

产业成熟度是在总结产业成熟发展规律的基础上，结合系统工程思想、产业经济学理论和管理决策方法，提出的一种定性与定量相结合的综合集成评价方法：首先对技术、制造、市场的成熟状况进行评价，进而集成出产业发展状况的综合评价结果，即产业成熟度等级。

编写本书有两个主要背景：一是在中国航天科技集团公司的支持下，先期成立了成熟度研究组，研究组主要对技术成熟度、制造成熟度、管理成熟度和软件能力成熟度模型等成熟度理论和方法进行了深入研究，并在国家重大专项工程实施过程中开展评价，积累了一定的研究基础和工程经验；二是本研究依托中国工程院重大咨询课题，通过探索新技术、新产品的发展规律，提出了产业成熟度评价方法，并且在各个领域课题组得到部分初步应用。本方法除了评价技术、制造、产品、市场及其产业的现状外，还进一步分析具体产业方向培育与发展存在的制约要素、发展需求、潜在风险和预期成熟时间及规模等关键问题，力争为制定政策建议提供有价值、有针对性的方法支持。

本书的研究目的是在新技术创新体系的统筹规划决策、技术成果转化评估，以及在工程研发过程的顶层设计和阶段评审中，都能够提供量化评价分析方法，为第三方独立评估和管理决策提供数据化支撑。本研究是在通过运用产品成熟度、技术成熟度、制造成熟度的基础上，探索将成熟度理论和方法从工业技术和制造领域关联到市场和产业领域的途径，从而构建产业成熟度评价模型。这一方法可进一步应用到项目评估、工程管理和投资决策支撑等领域。本书案例均来自中国工程院重大咨询课题“战略性新兴产业培育与发展战略研究”项目，在此，诚挚地感谢课题组各个领域的专家学者对本研究的指导与支持！

全书分为9章：第1章，概述；第2章，产业成熟度的评价模型；第3章，技术成熟度评价方法；第4章，制造成熟度评价方法；第5章，市场成熟度评价方法；第6章，产业成熟度检查单及其应用操作；第7章，产业成熟度评价组织与流程；第8章，产业成熟度评价案例；第9章，产业成熟度的后续发展。

本书的读者对象主要是产业培育与发展的研究和实践人员，从事军民融合发展和创新成果转化的研究和实践人员，以及从事科技评估、项目管理、投资决策、战略咨询、系统论证等研究方向的专家学者。

王崑声

2016 年 9 月于航天科技大厦

目 录

第1章 概 述	1
1.1 产业成熟度的基本概念	1
1.2 产业成熟度的研究对象及主体	2
1.2.1 产业成熟度研究对象	2
1.2.2 产业成熟度研究主体	3
1.3 产业成熟度研究理论基础	3
1.4 产业成熟度评价目的	7
1.5 产业成熟度评价作用	7
1.6 研究内容特色	8
第2章 产业成熟度评价模型	9
2.1 产业成熟度系统模型	9
2.2 技术成熟度评价模型	13
2.2.1 技术成熟度基本概念	13
2.2.2 技术成熟度等级定义	13
2.2.3 技术成熟度各级内涵	18
2.2.4 举例说明技术成熟度等级	19
2.3 制造成熟度评价模型	21
2.3.1 制造成熟度基本概念	21
2.3.2 制造成熟度等级定义	21
2.3.3 制造成熟度各级内涵	22
2.3.4 举例说明制造成熟度等级	24
2.4 产品成熟度综合集成模型	25
2.4.1 产品成熟度基本概念	25
2.4.2 产品成熟度等级定义	26
2.4.3 产品成熟度各级内涵	26
2.4.4 产品成熟度综合集成方法	27
2.5 市场成熟度评价模型	29
2.5.1 市场成熟度基本概念	29
2.5.2 市场成熟度等级定义	30

2.5.3 市场成熟度各级内涵	30
2.5.4 举例说明市场成熟度等级	31
2.6 产业成熟度综合集成模型	32
2.6.1 产业成熟度等级定义	32
2.6.2 产业成熟度各级内涵	32
2.6.3 产业成熟度综合集成方法	33
第3章 技术成熟度评价方法	34
3.1 技术成熟度的研究与发展	34
3.1.1 技术成熟度概念发展	34
3.1.2 技术成熟度应用情况	34
3.2 多领域的技术成熟度评价准则	35
3.2.1 工业领域评价准则	35
3.2.2 油气领域评价准则	36
3.2.3 核电领域评价准则	37
3.2.4 新药创制领域评价准则	38
3.2.5 水污染治理领域评价准则	39
3.2.6 高档数控机床与基础制造装备领域评价准则	40
3.2.7 极大规模集成电路制造装备及成套工艺领域评价准则	40
3.3 碳捕获技术的技术成熟度评价案例	41
3.3.1 案例背景	41
3.3.2 评价准则	42
3.3.3 评价结论及建议	43
第4章 制造成熟度评价方法	44
4.1 制造成熟度的起源与应用情况	44
4.1.1 制造成熟度的起源	44
4.1.2 制造成熟度应用情况	45
4.2 制造成熟度的主要评价要素	46
4.2.1 技术和工业基础	47
4.2.2 设计	47
4.2.3 成本与投资	48
4.2.4 材料	48
4.2.5 工艺能力与控制	49
4.2.6 质量管理	50
4.2.7 制造人员	50

4.2.8 设施	50
4.2.9 制造管理	51
4.3 制造成熟度评价检查单	51
4.4 美国能源部的制造成熟度评价案例	53
4.4.1 案例背景	53
4.4.2 制造成熟度评价准则	54
4.4.3 制造成熟度评价过程	55
4.4.4 评价结论及建议	55
第5章 市场成熟度评价方法	57
5.1 市场成熟规律的研究与发展	57
5.1.1 基于供给的视角——技术演进的 S 曲线	57
5.1.2 基于需求的视角——市场渗透的 S 曲线	58
5.1.3 供给和需求的整合视角——市场成熟曲线	62
5.2 技术市场化的影响因素	65
5.2.1 技术市场化的规划步骤	65
5.2.2 技术市场化的影响因素	68
5.3 市场成熟度评价指标体系	70
5.4 市场成熟度评价案例	72
5.4.1 案例背景	73
5.4.2 市场成熟度评价	74
5.4.3 评价结论及建议	75
第6章 产业成熟度检查单及其应用操作	76
6.1 产业成熟度检查单	76
6.2 常用的评价方法	78
6.2.1 常用的指标权重确定方法	79
6.2.2 常用的综合评价方法	85
6.3 基于 GIOWA 算子综合评价方法的产业成熟度评价案例	90
6.3.1 卫星通信和广播产业成熟度的评价检查单	90
6.3.2 基于 GIOWA 算子的卫星通信广播产业的技术成熟度评价	93
6.3.3 基于 GIOWA 算子的卫星通信广播产业的制造成熟度评价	94
6.3.4 卫星通信广播产业的市场成熟度的模糊综合指标权重评价	94
6.3.5 基于 GIOWA 算子的卫星通信广播产业的市场成熟度评价	95
6.3.6 基于 GIOWA 算子的卫星通信广播产业的产业成熟度评价	96

第7章 产业成熟度评价组织与流程	98
7.1 组织保障	98
7.2 职责分工	99
7.3 产业成熟度评价工作流程	100
7.3.1 产业成熟度自评价阶段	100
7.3.2 产业成熟度综合评价阶段	101
7.4 产业成熟度评价的应用模式	101
第8章 产业成熟度评价案例	102
8.1 能源互联网产业成熟度评价案例	102
8.2 柴油机尾气净化产业成熟度评价案例	107
8.3 高性能金属零件激光增材制造(3D打印)产业成熟度评价案例	111
8.4 工业机器人产业成熟度评价案例	115
第9章 产业成熟度的后续发展	121
9.1 产业投资咨询研究	121
9.2 工程成熟度研究	124
9.3 产业发展综合集成研讨与评价研究	125
附录一 缩略语	126
附录二 术语说明	128
附录三 战略性新兴产业成熟度评价案例集	132
案例1: 节能建筑外墙保温技术和材料	132
案例2: 移动互联网和社会网络服务应用产业生态群	136
案例3: 可穿戴医疗设备	140
案例4: 涡桨系列支线飞机	145
案例5: 城际动车组	149
案例6: 燃煤超低排放	153
案例7: 航天运输	156
参考文献	161
后 记	164

第1章 概述

当前,我国正在积极实施创新驱动强国战略,以培育和发展战略性新兴产业作为主要抓手,以促进经济发展方式的转变、推动经济结构战略性调整、建设创新型社会作为重要实践。新技术产业化是一个系统化的过程,从新技术到新产品,再到市场化并形成产业规模,存在着一定的固定规律。新技术产业化既有工程问题,也有经济和社会影响问题,要解决新技术产业化过程中的复杂性和不确定性,需构建一种以系统工程思想和方法为基础、集合专家经验智慧的评价方法体系,而这项工作绝非易事。以这样的目标为出发点,研究并提出了产业成熟度(IML, Industry Maturity Levels)理论和评价方法。本章主要介绍了产业成熟度的基本理论,包括产业成熟度的基本概念、研究对象及主体理论基础,以及开展产业成熟度评价的目的、意义和作用,使读者对产业成熟度有个初步的了解。

1.1 产业成熟度的基本概念

新技术产业化过程是指新技术产品、新工艺或服务,从基础研究到技术突破,继而实现商业化应用,再通过技术扩散和企业规模化生产并最终实现产业升级与优化的过程^[1]。新技术产业化是一个环环相扣的过程,经历以下几个环节:科学研究、技术突破、生产制造、产品开发与应用、市场营销、技术扩散至规模化大生产,最终形成新产业链,各环节组成一个开放式的系统^[2]。产业成熟度正是探索研究产业发展过程中的固有规律,提出各个发展阶段特征,并以此为基础形成从产品研制和市场推广两个层面进行判定与预测的方法,通过评价获得的量化数据为进一步制定产业培育与发展政策、或为企业投资新技术产品提供支撑。

产业成熟度,是评价和度量产业从诞生到成熟的发展过程的量化标准,它反映了产业发展的完善程度。该定义的内涵主要有三个方面。

首先,产业成熟度主要研究新技术产业化成熟过程中各个阶段的规律,但不考虑成熟之后的衰退和更新过程。如果更新是基于新的技术产品引起的,则发生了“质”的变化,应视为新的、新一轮的新技术产业化过程。

其次,产业成熟度主要把握产品 and 市场成熟过程的规律,其中产品又分为技术研发和制造能力两个层面:新技术获得突破之后,新产品研制完成并投入市场,才有市场推广、发展与成熟的连续过程。这里的“产业”是二者的有机结合,因此,产业成熟度量化评价结果是通过技术、制造和市场成熟度评价结果综合集成的。

最后,产业成熟度以其各个发展阶段的量化特征为基础,构建了成熟“度(levels)”的评价准则,将定量的评价等级与发展阶段相对应。

产业成熟度等级是评价产业发展成熟过程的尺度,分为1~4个等级,即4个阶段,分别为:萌芽阶段、培育阶段、发展阶段和成熟阶段,其中萌芽阶段是第1等级,成熟阶段是第4等级。

产业成熟度评价(IMA, Industry Maturity Assessment),是从技术、制造和市场三个层面的成熟度综合集成评价产业成熟程度的方法。产业成熟度评价的组成结构包括五个部分,其模型见图1-1。

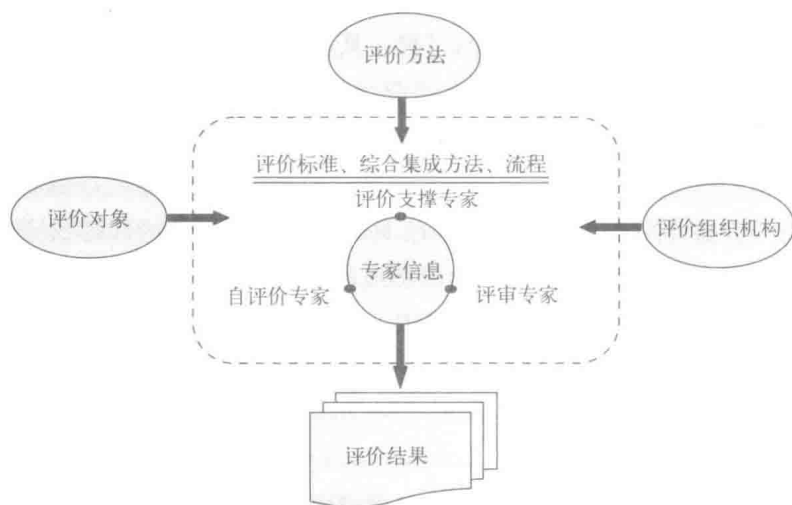


图1-1 产业成熟度评价的组成结构

一是评价方法,主要是评价标准、综合集成方法和评价流程。二是专家信息,源于自我评价专家、评审专家和评价支撑专家提供的评价信息,基于这些信息并运用产业成熟度方法综合集成出产业成熟度结果。这体现了系统工程的思想:以人为本,专家系统集成。评价结果遵从专家信息和产业数据,不以某位专家的主观判断为转移,使评价结果尽可能地逼近实际的情况。三是评价组织机构,主要是评价组织和职责分工。四是评价对象,主要是形成新技术产品发展所对应的产业。五是评价结果,主要是评价与预测的结论,以及产业发展咨询建议。

1.2 产业成熟度的研究对象及主体

1.2.1 产业成熟度研究对象

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及其经济活动的集合或系统^①,是介于宏观经济与微观经济之间的中观经济。产业成熟度的研究对象是新技术

① 杨公朴(1999):产业是具有使用相同原材料、相同工艺技术或生产产品用途相同的企业的集合。

苏东水(2005):产业是具有某种同类属性的、具有相互作用的经济活动组成的集合或系统。

产业, 重点关注其发展规律, 具体研究内容包括产业发展过程中的阶段、规律、影响因素、产业预测、资源配置、发展政策等核心问题。其中, 产业发展阶段是指一个产业从萌芽到成熟的各个阶段, 但不考虑衰亡、更新阶段。产业的发展规律是指各个阶段的主要特征、培育与发展需要具备的条件和环境要素, 以及相应应采取的必要政策措施。

1.2.2 产业成熟度研究主体

从产业经济学角度来看, 市场行为对企业活动起着决定性作用, 而企业的活动决定了产业的特征和发展过程^[2], 因此, 企业活动和市场行为是产业成熟度研究的主体。企业活动分为内部活动和外部活动。企业内部活动主要是开展新技术突破及提高其制造能力, 推出具备新技术、有竞争力的产品或服务; 企业外部活动是商品交换的行为与环境。市场行为通过供求、价格、竞争等机制功能进行资源的配置, 对企业活动有重要影响。

1.3 产业成熟度研究理论基础

产业成熟度是一门新兴的成熟度理论和评价方法, 但是相关思想和理论方法的研究却源远流长。产业成熟度正是在探索研究产业发展规律的基础上, 结合产业经济学理论、成熟度理论和系统工程思想, 提出的理论、评价方法与流程。正如前文所述, 单一产业发展是有一定的生命周期和规律的。一个新的产业诞生或革新升级, 往往是由新的技术突破、颠覆性技术创造开始的。从新技术产品发展成为一个新的产业, 在各个不同阶段都会有不同的发展规律, 这种固有的规律特征结合成熟度理论就成为一种度量从技术到产业的方法。

产业正如其他事物一样, 都遵循从萌芽到成熟的过程, 那么使用“成熟”表示事物发展过程, 直至完全达到预期的效果。“成熟”的本意, 是指植物果实成长到可以收获的程度, 后引申为事物的完善程度, 是对一个事物或人发展、成长的综合性描述和度量^[3]。成熟度评价能够在事物由当前状态向理想的目标状态发展的过程中识别并规避风险, 从而达到最优化管理的目的。成熟度评价方法可以看作是一种基于系统工程思想解决实际工程问题的方法, 是系统整体实现最优目标的有效组织管理技术。因此, 成熟度评价是一种定性定量相结合地评价与提升事物发展过程的方法。

在 20 世纪 70 年代前后, 兴起了对事物成熟度评价方法的研究, 并逐渐形成两个研究方向: 一个是基于事物自身发展的规律评价其成熟程度, 如一项新技术从基础理论到性能成熟后应用于产品系统; 另一个是注重考察组织(包括项目、企业 and 非企业等组织)的行为与演化发展的过程, 如项目团队从初始零散到优化管理的过程。前者形成了技术成熟度、制造成熟度和产品成熟度等理论方法, 研究起始于 20 世纪 70 年代前后^[4]; 后者形成了管理成熟度、组织成熟度等理论方法。最早的能力成熟度模型研究起始于 1986 年, 并于 1991 年正式推出了 CMM (SW-CMM, Capability Maturity Model for Software, 简称为 CMM) 1.0 版本^[5], 至今能力成熟度模型已经成为过程建模和在不同过程领域评价组织成熟度的

标准。CMM 模型被广泛认可,此后的 PM3 模型^①、OPM3 模型^②、K-PMMM 模型^③和 JK-PMMM 模型^④等都沿用该模型的架构^[6-7]。产业成熟度研究,是建立在把握新技术到产业的发展规律的基础上,沿着技术成熟度、制造成熟度等相关理论的探索与发展而形成的。

技术成熟度(TRL, Technology Readiness Level)的概念是 20 世纪 70 年代前后,由美国国家航空航天局(NASA)的专家萨丁(Sadin)首先提出的^[8]。1995 年, NASA 的专家曼肯(Mankins)在《技术成熟度白皮书》中将技术成熟度划分为 9 个级别^[8],与目前广泛应用的技术成熟度等级相近。2001 年,美国国防部(DoD)要求重大武器装备采办项目采用技术成熟度进行评价;2011 年发布的《技术成熟度评价指南》中要求在方案细化、系统采办前期和生产部署前技术成熟度必须分别达到 TRL4、TRL6 和 TRL7^[3]。美国在国防装备研制过程中开展技术成熟度评价,建立基线以控制关键武器装备的整体研制过程,在需求分析、方案论证、技术开发、工程研制、生产与部署、使用与保障等阶段工程实施过程中综合集成各子系统与多学科的专业知识^⑤,使得工程专家和管理机关在同一框架下有机结合,循序渐进地推进技术成熟,使得装备整体性能和工程管理达到最优化。这是运用系统工程思想解决工程实践问题的具体方法与实践。

武器装备研制过程中技术成熟度模型原理如图 1-2 所示,武器研制过程是一项系统工程。技术成熟度评价结果不仅仅是利用统一、规范、可量化架构,为工程管理机构提供一种管理工具,评定武器装备系统中的关键技术研发状态,贴个“标签”;更是将一种系统工程运用于重大、复杂工程研制过程的手段和技术,使人员、技术、知识、信息、设备与物资综合集成,协同武器装备各个子系统、各专业行家共同推进重大工程的进展,把握工程进度、风险和费用,实现顶层设计与底层的对接与结合,其目的是使得武器装备系统性能最优化,工程实施的各个环节有序、可控。

目前技术成熟度评价标准已基本成熟,评价方法和实施程序也已形成规范,2013 年国际标准化组织(ISO)正式颁布了技术成熟度的国际标准^[9]。从 2001 年至今,美国国防部提出将制造成熟度^[3]作为技术成熟度的配合方法。经过 30 多年的发展和应用,根据工程发展的实际需求,发展出了制造成熟度、产品成熟度^[12]、集成成熟度^⑥、系统成熟度^⑦、软

① 项目管理成熟度模型(Project Management Maturity Model, PMMM, 简称 PM3)。

② 组织级项目管理成熟度模型(Organizational Project Management Maturity Model, OPM3, 简称 OPM3)。

③ Kerzner 博士提出的 Kerzner 项目管理成熟度模型(Kerzner Project Management Maturity Model, K-PM3)。

④ James 和 Kevin 提出的项目管理成熟度模型(James-Kevin Project Management Maturity Model, JK-PM3)。

⑤ DoD 国防采办阶段:解决方案分析、技术开发、工程研制、生产与部署、使用与保障。技术成熟的过程主要集中在前面四个阶段,方案分析阶段分为需求分析和方案论证两个阶段。

⑥ 集成成熟度(Integration Readiness Levels, IRL),是对各项技术之间相互集成和使用的集成点的成熟程度进行度量的一种方法,共划分为 9 个等级^[10]。

⑦ 系统成熟度(System Readiness Levels, SRL),是通过单项技术的技术成熟度和集成成熟度综合评价的一种方法,即 $SRL = f(TRL, IRL)$,共划分为 5 个等级^[10]。

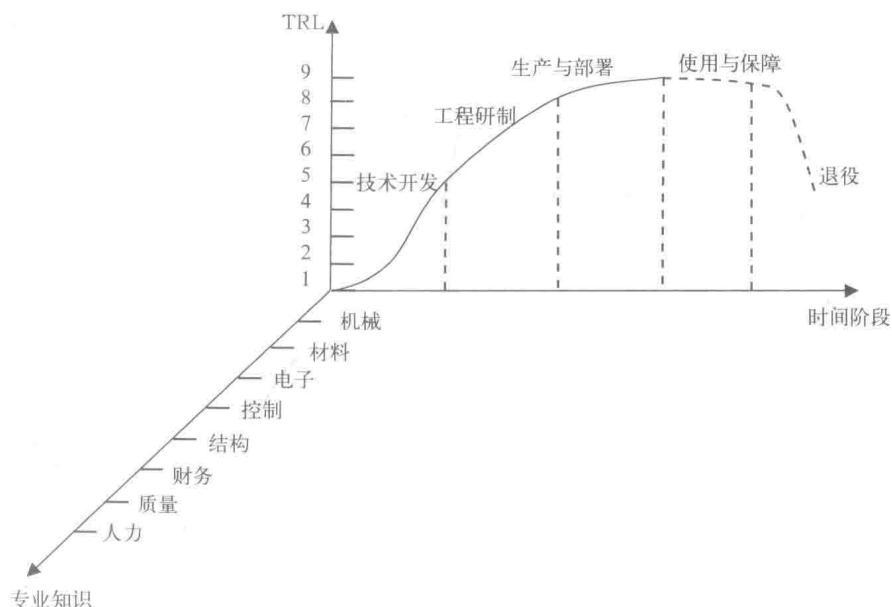


图 1-2 武器装备研制过程中技术成熟度原理三维图

件能力成熟度^[5]、管理成熟度^①，以及对人员管理的队伍成熟度^②等评价理论和方法。由此，从技术生命周期源起的成熟度方法，与从软件能力提高过程源起的成熟度方法，可在一项工程项目中能够有机地结合与应用，从而综合作用提升工程管理能力，促进项目顺利实施。

在技术成熟度和制造成熟度研究与应用实践的基础上，国内外学者提出了相关的理论和方法，将成熟度评价方法推广到产品和市场经济领域。在一汽集团科研绩效管理咨询系统中，将技术成熟度的9个等级扩展到13级，考量了产品和市场效益问题，增加了销售级、盈亏级、利润级和回报级^[12]。我国航天领域从2003年起开始研究产品成熟度^[13]，主要是为了适应航天科研生产由单件研制项目向小批量生产转型这一新的发展趋势，根据航天产品特殊性和小子样研制导致的主要问题，构建了航天单机产品8级框架模型。除此之外，美国Gartner公司还运用了技术循环曲线（HC, the Hype Cycle），其又称为光环曲线或者炒作周期，是一种图解表示法^[14]，用以显示一项技术从概念演变至成熟并广泛应用的生命周期的过程。技术循环曲线表述两个主要因素，如图1-3中的两条曲线所示：第一条曲线是钟形线，代表着由正负面炒作所导致的期望值变化；第二条曲线是一条成熟度S形曲线，其表明创新在最开始缓慢地改善其表现，之后稳步上升，最后产生递减的回报的过程。将两条曲线合并在一起，就是成熟度与技术及其产品在市场的反映情况综合评价与

① 管理成熟度（Management Maturity Model, MMM），是项目组织与实施的一种评估与改进方法，通过战略规划、组织管理、风险控制使得项目满足工程实施的目标，共划分为5个等级^[6,7]。

② 队伍成熟度（Team Maturity Model, TMM），是对项目组员的个人能力和团队合作能力的一种评价与提升方法，反映了人员及其团队满足项目实施预期目标能力的情况，共划分为5个等级^[11]。