

DOI: 10.16538/j.cnki.fem.20230405.102

## 数字化成熟度模型: 研究评述与展望

蒋鑫<sup>1</sup>, 周轩<sup>2</sup>

(1. 中共云南省委党校(云南行政学院), 云南昆明 650111; 2. 南开大学 商学院, 天津 300071)

**摘要:** 工业4.0时代, 数字化转型成为世界各国企业全力争夺的战略制高地。由于数字化转型的全局性和复杂性, 作为描述和指导企业制定数字化转型战略实施工具的成熟度模型成为当下工业界和学术界开发研究的热点前沿。通过梳理数字化成熟度模型的相关文献, 本文首先运用描述性统计分析方法, 统计与归纳工业界和学术界开发研究模型的基本情况。其次, 对数字化成熟度模型的概念定义、模型特征、要素原则等展开系统性归纳研究。再次, 对数字化成熟度模型运用过程中存在的问题, 以及模型应用领域的新扩展、评价测度的新途径、成熟度体系的新层面进行系统梳理。最后, 从“点、线、面”三个层次构建数字化成熟度模型的开发研究框架, 并讨论了未来研究方向。本文厘清了数字化成熟度模型的开发和研究脉络, 系统阐释模型内部关键要素, 为深化数字化成熟度模型的开发研究提供方向性指引, 同时也为企业实践数字化转型提供了重要的认知性辅助和工具性参考。

**关键词:** 数字化转型; 成熟度模型; 工业4.0; 成熟度评估; 数字化战略

**中图分类号:** F270 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4950(2024)01-0077-15

### 一、引言

在信息技术的推动下, 第四次工业革命风起云涌, 一些发达的经济体正在全球范围内采取行动, 如德国推行工业4.0(Industrie 4.0)战略, 美国推行高端制造业伙伴计划(Advanced Manufacturing Partnership), 法国推行新工业计划(Nouvelle France Industrielle)以及西班牙推行的工业互联4.0(Interconexión Industrial 4.0), 旨在建立高效率自我主导工业生产体系(Tortorella和Fettermann, 2018), 以连接嵌入式生产系统技术和智能生产流程, 为新技术时代铺平道路。随之而来的新技术、市场需求以及商业模式不断影响着企业组织生产流程(Zhong等, 2017)、竞争形势、互动和创造价值方式(Westerman等, 2014)。为了适应当下环境并融入高效生产的工业4.0体系(Tsohou等, 2014), 各行各业的企业纷纷加入数字化转型大军中。

对于企业来说, 为工业4.0时代数字化转型做好准备, 既是当下刻不容缓的时代需求, 也是

收稿日期: 2022-11-01

基金项目: 国家社会科学基金项目(22XJY025)

作者简介: 蒋鑫(1988—), 男, 中共云南省委党校(云南行政学院)讲师;

周轩(1979—), 男, 南开大学商学院, 副编审(通讯作者, zhouxuan@nankai.edu.cn)。

企业未来生死存亡的命运转折(Schaupp等,2017)。然而,相关研究发现,企业在进行数字化转型的过程中困难重重,很多企业仅停留在数字化转型的表层,一部分进入全局变革的企业碰到各种瓶颈,全球仅有10%的制造企业成功实现了数字化转型,约三分之二的企业尚未走上数字化之路(普华永道,2018)。企业进行数字化转型的主要困难有三:一是数字化转型存在较高门槛。企业的数字化转型需要一定的信息基础设施做支撑,不同类型的企业信息基础设施的购置初始条件差异较大,导致一些企业并未深入推进数字化转型;二是数字化转型因事关全局而复杂性高。大多数组织采用工业4.0相关的数字技术后,组织的愿景、使命、价值观、目标和关键绩效指标(Akdil等,2018)等相关战略要素均会发生一系列变化,进而导致数字化转型的复杂性大幅提高;三是企业从领导到员工对数字化转型的理解和认知程度不够。企业组织对数字化转型理解不够深刻,容易混淆数字化转型的目的与手段(Sony和Naik,2019),进而影响企业转型的执行力度与进程。

因此,能够科学地指导企业进行数字化转型并且能够提升组织认知的“工具”成为实践的一大需求。工业界和学术界一直不断尝试开发和构建评估数字化成熟度的模型,这些模型不仅能够帮助企业衡量数字化转型过程中的必要条件和组织路径,而且能够帮助政策制定者和企业决策者识别数字转型的各个阶段,进而提供干预方法,最终促进全方位转型(Ivanov等,2019)。现有关于成熟度模型的文献涉及多个研究层面,有针对不同行业,如IT业(Becker等,2009)、制造业(Geissbauer等,2016;Sjodin等,2018)、机床制造业(Rafael等,2020)等;针对不同领域,如供应链(Caiado等,2021)、清洁生产(Satyro等,2021);针对不同规模企业(Ganzarain和Errasti,2016)。不过,关于数字化成熟度的评估与测量的研究仍然相对不足(Caiado等,2020)。一方面,由于产业发展目标不同、企业自身发展阶段不同等因素,导致一些模型不太实用、不为人所知(Haddara和Elragal,2015)。另一方面,已有文献从各自角度开发数字化成熟度模型,对模型开发流程要素缺少提炼,使得企业在参考某一模型进行战略转型时,很难结合自身实际情况进行必要修正。到目前为止,数字化成熟度的概念还没有得到统一的定义和全盘理解(Aslanova等,2020)。因此,识别和理解现有诸多数字化成熟度模型并在此基础上构建数字化成熟度模型的开发研究框架,就显得意义重大。

基于此,本文对国内外现有数字化成熟度模型研究进行梳理,归纳各模型涉及的企业组织维度,对模型内涵及应用存在的问题进行评述,并就该类模型的潜在研究领域进行展望。本文试图回答以下问题:当下有哪些涉及数字化成熟度的主流模型?这些模型涉及组织变革中的哪些维度?模型的特征、要素识别原则、测度方法有些什么?最新的应用进展如何?模型应用过程中又可能存在什么问题?本文期望通过回答以上问题,能够促进学者对数字化转型的深入研究。本文可能的实践价值在于:数字化转型是运用数字技术对组织运作流程的一种重塑,数字化成熟度模型涉及企业全方位的评估度量,该类模型有望成为工业4.0时代一种全新的管理工具,或是与现有企业管理工具(例如平衡记分卡、全面质量管理等)进行借鉴与融合。从有关数字化成熟度模型最新的研究进展来看,该类模型已经成为拓展其他领域研究的“母体”,如将数字化成熟度模型拓展到供应链4.0领域(Szymczak,2019)、清洁生产领域(Satyro等,2021)、精益生产领域(Rossini等,2021)等。因此,理解这类模型有助于企业进行数字化转型以及管理思维的拓展。本文可能的理论贡献在于:数字化转型作为企业发展的一种必然趋势,模型的应用以及针对这类模型后续的开发研究亟待拓展,数字化成熟度模型的开发研究框架从“点、线、面”三个层次对模型规划、理论构建、设计步骤、重要环节、关键要素等进行逻辑串联,对后续量表开发、测量构念等都具有一定的参考和借鉴价值。

## 二、文献收集与整理

本研究首先通过“Web of Science”核心数据库和“中国知网”数据库,以“数字化转型(digital transformation)”“成熟(maturity)”“工业4.0(Industry 4.0)”为关键词进行交叉匹配搜索。搜索发现:第一,同时搜索上述三个关键词得到78篇外国文献,发表时间集中于2017年到2021年。表明最近5年,成熟度与数字转型嵌合模型开始出现,并且成为当下热点。而国内关于数字化成熟度模型的研究相对较少,发表在北核期刊的文章仅4篇,且起步晚于国外的相关研究。

第二,就两个关键词搜索的结果来看,国外文献相关主题的研究起始于2004年,并在2014年后呈指数级增长,由此可见,数字化转型和成熟度研究的重要性在学术界得到广泛认同。从发表文章所属的国家来看,西方国家发表最多。其中,德国排名第一,占全部发表数量的14%,其次是意大利占13%,英国和美国各占4%~5%,而中国仅占1.6%,排在第25位,反映出欧美国家在工业4.0企业数字化转型相关研究中走在前列。

第三,从发表期刊的分布来看,相关文献主要发表于*IFIP*、*Advances in Information and Communication Technology*、*Sustainability*、*Journal of Manufacturing Technology Management*以及国际会议期刊,进一步说明数字化成熟度模型在工业领域、信息化领域和可持续发展领域的不断深化和应用,这些文献为本文的梳理提供了丰富的资源。

为了保证文献质量,本文从检索的英文文献中限定了几个知名数据库的论文来源,包括Elsevier、EBSCO、Emerald、Springer、IEEE、Taylor & Francis、ResearchGate,中文文献仅选择发表于核心期刊的。通过阅读和比较审查,删除了没有涉及成熟度模型的和重复的文章,选出156篇。第二轮筛选,排除文献综述类文章和书评类文章,最终选出89篇,时间跨度从2014年到2021年。随后,本文将采用内容分析方法(Berelso, 1952; Mayring, 2015)对筛选出的论文进行研究。该方法通过将意义丰富的定性方法与稳健的定量分析相结合,使描述性的内容显性化以发现文献潜在的深刻意义。

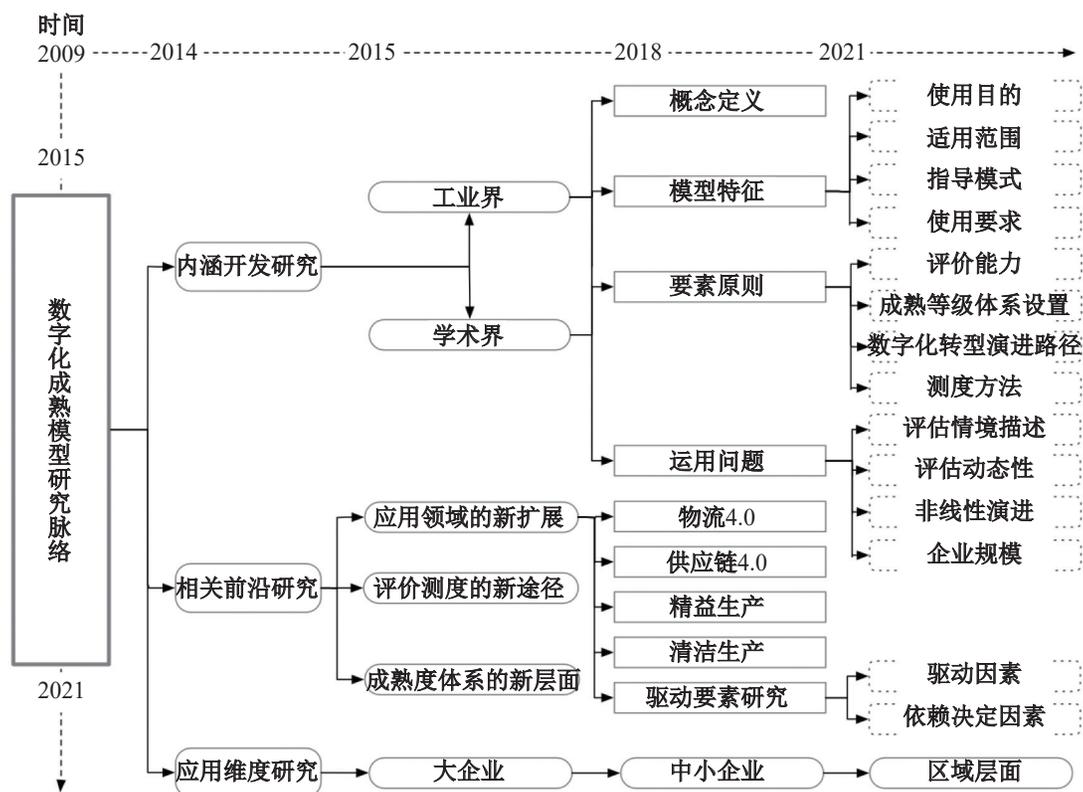
## 三、数字化成熟度模型的描述性统计分析

### (一)数字化成熟度模型的概念与研究脉络

成熟度模型(maturity model)的概念最早出现在20世纪70年代,专门用于软件工程行业(Chanias和Hess, 2016; Rafael等, 2020)。从那时起,成熟度模型概念已发展成改进业务实践的重要工具(Schäffer等, 2018),包括项目成熟度模型、制造成熟度模型、罗兰贝格模型和智能电网能力成熟度模型等。这些工具的作用在于评估企业现状,建立达到目标的理想路径,并进行内部或外部基准测试,进而呈现企业与预期目标的能力差距(Röglinger等, 2012)。随着工业4.0涉及的数字经济不断繁荣,成熟度模型开始与数字化转型相结合。数字化成熟度模型(digital maturity model)是成熟度模型的一种,专注于支持公司评估和发展其数字化能力(Becker等, 2009)。

按照时间脉络,本文对数字化成熟度模型的研究脉络进行了梳理(如图1所示),相关研究可以划分为两条时间轴线:一条时间轴(横轴)是工业界和学术界开发研究不断推进的过程,模型的运用和实施体系逐步深化的过程。相关研究始于2009年,2014年以后工业界以模型实操为重点、学术界以模型研究开发为重点,深入推动了模型的概念定义、特征、要素原则、运用问题等层面的研究。另一条时间轴(纵轴)从模型的开发研究起始,在既有内涵之外不断横向扩展,向应用领域、评价测度以及成熟体系层面不断探索。随着时间的推移,除了企业内部数字运营

层面,数字化成熟度模型开始用于研究物流体系、供应链体系、精益生产体系、清洁生产体系以及驱动企业进行数字化转型的前置影响因素体系。评价测度,也不断根据模型适用性进行拓展,从原有的静态、单一的评估向可持续性成熟度视角、组织流程成熟度视角、数字技术视角以及动态能力视角拓展。成熟度体系层面也从企业层面向外扩展到区域层面与国家层面的评估。



资料来源:作者根据文献整理绘制。

图1 数字化成熟度模型研究脉络

## (二) 工业界数字化成熟度模型

工业界有关数字化成熟度模型描述,多在各公司的研究报告和网络文章中出现。但业内公司将其模型视为机密财产,因此无法从公开文献中获取其完整或最终版本的模型。并且,随着实践领域不断创新以适应市场的需要,各模型也日新月异,制造业龙头企业、咨询服务公司走在实践的前列(如表1所示)。

工业界的模型各有特点,围绕各自的业务领域进行数字化成熟度模型的建设。咨询类公司的模型适用范围较广,并且注重企业数字化过程中的关键步骤。制造业龙头企业的模型则更注重实用性,从自身业务的视角出发,进行模型的演变和扩展。需要提及的是,我国工业和信息化部为帮助企业在智能制造转型升级阶段识别差距、确立目标、实施改进,相继发布《智能制造能力成熟度模型白皮书(1.0)》《智能制造能力成熟度模型》《智能制造能力成熟度评估方法》。该评估方法围绕智能(数字能力)和制造两个大类展开,构建5个成熟等级体系,通过每级对应的要求,形成智能制造能力成熟度矩阵,并在全国推广测评。

## (三) 学术界数字化成熟度模型

学术界的数字化成熟度模型涵盖面较广,涉及管理维度较多。由于篇幅的限制,本文选择

表1 行业公司数字化成熟度模型汇总

公司	模型名称
普华永道	Fraunhofer Industrie 4.0 Layer Model <sup>①</sup>
罗克韦尔自动化	The Connected Enterprise Maturity Model <sup>②</sup>
德勤咨询公司	Deloitte's Digital Maturity Model <sup>③</sup>
高德纳咨询公司	Gartner's Digital Business Maturity Model <sup>④</sup>
英富曼技术咨询公司	OMDIA Digital Telco Maturity Map <sup>⑤</sup>
埃森哲	Digital Capability Assessment <sup>⑥</sup>
EARLEY信息科学公司	Digital Transformation Roadmap <sup>⑦</sup>
IBM	Big data & Analytics Maturity Model <sup>⑧</sup>
弗雷斯特市场咨询公司	Benchmarks: Digital Business Transformation Playbook <sup>⑨</sup>
凯捷咨询公司	Cognizant's Digital Transformation Framework <sup>⑩</sup>
工业和信息化部	智能制造能力成熟度模型 <sup>⑪</sup>

资料来源:作者根据相关文献整理绘制。

代表性较强的数字化成熟度模型进行研究(见表2),并从模型指标范畴、测量维度、成熟度体系设置来进行归纳分析。

**指标范畴。**这些数字化成熟度模型涉及的管理范围主要包括:人员(8)<sup>⑫</sup>、组织(9)、产品(8)、创新(1)、流程(13)、战略(9)、技术(12)、文化(4)、顾客(7)、安全(2)、领导(1)、合作伙伴(4),12个方面,但不同模型的侧重点有所不同。其中,流程、技术、战略、组织、人员以及顾客是最受关注的领域范围,创新、领导、安全、合作伙伴以及文化次之。涵盖领域最多的模型高达9个领域,最少的涉及3个领域。

**测量维度。**从推进数字化转型来看,不同的成熟度模型的通常涵盖范围领域可以划分为两个不同的维度,一是促成因素,包括战略、领导力、文化(Schumacher等,2016)/视野4.0、能力4.0(Ganzarain和Errasti,2016)/流程、组织(Carolis等,2017)/组织协调(Gökalp等,2017)/人员(Sjödin等,2018);二是技术因素,包括制定4.0(Ganzarain和Errasti,2016)/控制、监控技术(Carolis等,2017)/数字发展交叉技术(Leyh等,2016)/产品、服务技术(Canetta等,2018)。以上指标范畴和维度,从管理理论来看主要涉及企业组织理论、领导理论、流程再造理论以及变革管理理论;从实践来看涉及企业实际数字化转型过程中关键的环节。

**成熟度体系设置。**大多数模型成熟度的衡量级别是4个层次到6个层次。从众多的度量方式和层级的名称中可以归纳得出三种衡量模式:一是从无到有再到优的模式,如1=未实施,5=完全实施的等级划分方式(Schumacher等,2016;Pacchini等,2019;Pirola等,2020),强调的是经验程度的递进;二是根据数字运用程度的二维纵横交互的度量模式进行等级划分,如从初学者,

①参见Industry 4.0: building the digital enterprise. PwC's 2016 Global Industry 4.0 Survey. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>。

②参见Hua R., Automation R. The Connected Enterprise Maturity Model[J]. Instrument Standardization & Metrology, 2015。

③参见Digital Maturity Model, Achieving Digital Maturity to Drive Growth. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Technology-Media-Telecommunications/deloitte-digital-maturity-model.pdf>。

④参见Digital Business Maturity Model: 9 Competencies Determine Maturity. <https://www.gartner.com/en/documents/3892086>。

⑤参见Digital Telco Maturity Map. <https://omdia.tech.informa.com/-/media/tech/omdia/whitepapers/a-digital-telco-maturity-map.pdf>。

⑥参见中国企业数字转型指数报告, <https://www.accenture.com/cn-zh/insights/digital/corporate-digital-transformation-index>。

⑦参见Building a Successful Digital Transformation Roadmap. <https://www.earley.com/whitepapers/building-successful-digital-transformation-roadmap-whitepaper>。

⑧参见数字化变革:为截然不同的未来做好准备, <https://www.dydata.io/datastore/detail/2013582291800035328/>。

⑨参见The Digital Maturity Model 4.0 Benchmarks: Digital Business Transformation Playbook. <http://forrester.nitro-digital.com/pdf/Forrester-s%20Digital%20Maturity%20Model%204.0.pdf>。

⑩参见Digital transformation: a roadmap for billion-dollar organizations. <http://www.innovation4.cn/library/r2482>。

⑪参见《智能制造能力成熟度模型》(GB/T 39116-2020)。

⑫括号中的数字表示所列模型中涉及该领域指标的个数加总。

表2 学术界数字化成熟度模型汇总

模型名称	作者	年份	维度												层级		
			总计	人员	组织	产品	创新	流程	战略	技术	文化	顾客	安全	领导		伙伴	
IMPULS	Lichtblau等	2015	7	√	√	√		√	√	√			√				6个层次:外行、初学者、中级、经验丰富、专家、高性能
数字企业评价模型	Geissbauer等	2016	7		√	√		√		√	√	√	√				4个层次:初学者、纵向整合者、横向协作、数字专家
SIMMI4.0	Methavitakul等	2016	8	√	√	√		√	√	√		√			√		5个层次:基本、交叉、水平、垂直、全部
工业4.0准备成熟度模型	Schumacher等	2016	9	√	√	√		√	√	√	√	√			√		5个层次:1=未实施 5=完全实施
中小企业工业4.0成熟度模型	Ganzarain和Errasti	2016	7	√	√		√	√	√	√		√					5个层次:最初的、管理的、定义的、转型的、详细的商业模式
acatech工业4.0成熟度指数	Schuh等	2017	5		√			√		√	√					√	5个层次:连接性、可见性、透明度、预测能力、适应性
数字化转型成熟度模型	Canetta等	2018	6	√		√		√	√	√		√					4个层次:0阶段、初级、中级、经验丰富
制造业数字化杠杆成熟度模型	Sjödín等	2018	3	√				√		√							4个层次:互联技术、结构化数据收集与共享、实时过程分析与优化、智能与预测制造
工业4.0的准备程度模型	Pacchini等	2019	5	√		√		√	√	√							5个层次:1=未实施 5=完全实施
数字准备评估模型	Pirola等	2020	5	√				√	√	√						√	5个层次:设计研究 1~5阶段
机床公司的工业4.0成熟度模型	Rafael等	2020	6		√	√		√	√	√	√						6个层次:局外人、初学者、中级、经验丰富、专家、表现最佳
基于模糊规则的工业4.0成熟度模型	Caiado等	2021	6		√	√		√				√	√			√	5个层次:0阶段、概念性、托管、高级、自我优化
数字化成熟度模型	王核成等	2021	4		√			√	√	√							5个层次:初始级、成长级、提升级、综合集成级、持续改善级

资料来源:作者根据相关文献整理。

纵向整合者、横向协作者到数字专家(Geissbauer等,2016;Leyh等,2016),强调不同维度的数字交叉领域运用能力;三是从数字信息的运用能力展开层级划分的度量模式,如连接性、可见性、透明度、预测能力、适应性的等级划分(Schuh等,2017;Sjödín等,2018),强调的是数字化功能属性的成熟度。

#### (四)工业界与学术界数字化成熟度主流模型对比

本文对比了二者开发的模型特点、覆盖维度、评价方法、优点和不足,发现存在以下差异:

一是工业界与学术界开发的模型聚焦点不同,工业界强调领导带头启动数字化转型的重要性,而学术界在这点上提及的并不多。工业界模型主要以企业运营为核心,围绕运营的数字化进行测度,且咨询公司与制造业龙头企业构建的模型重心也不同。咨询公司更注重通用性,龙头企业更注重从自身角度进行建设。学术界开发的模型则以管理理论为基础,从企业管理运营的视角对企业数字化转型的各个步骤进行评估,强调初始评估是启动数字化转型的基准步骤。二是覆盖的维度不同,工业界模型主要覆盖生产运营方面的指标,而学术界模型覆盖范围广,分别从促成因素和技术因素两类要素进行指标构建。三是适用性与通用性难以兼顾。尽管学术界部分现有的成熟度模型已经在实践中得到应用,但工业界的模型则体现出更强的实用性。学术界和工业界开发的大多数模型都是专门针对特定行业部门或专业领域的,相比较而言,一些无需任何定制即可应用于多个行业部门的简单、通用模型,则更受中小企业的青睐。

#### 四、数字化成熟度模型的内涵与应用分析

##### (一)数字化成熟度模型的特征

特征是事物异于其他事物的特点。通过对已有文献的梳理,本文从模型的目的性、适用性、指导模式三个方面来归纳数字化成熟度模型的相关特征。

首先,数字化成熟度模型的目的性。作为评估和指导企业进行数字化转型的工具模型,数字化成熟度模型的基本作用就在于识别企业组织当前状态以及向目标演进的进程(Pöppelbuß和Röglinger,2011)。众多的数字化成熟度模型具备三个主要目的(Röglinger等,2012;Gollhardt等,2020):一是描述性目的。企业通过模型对组织进行数字化转型的状况进行评估,通过这种评估达到企业自身数字化状态与数字化成熟度之间形成一一对应的刻度匹配描述。目前描述性的模型占到总数的七成左右。二是规范性目的。模型通过有关成熟度级别的定义与内容,指明组织不断向高成熟度提升的路径与步骤。三是基准设定。数字化成熟度模型需要清晰定义和划分各级成熟度,使企业能够清晰地认知自身在数字化转型中的各级判断基准,进而帮助企业进行跨界对标。

其次,数字化成熟度模型的适用性。模型的适用性和专业性是一对矛盾体,二者在实践运用的过程中往往不可兼得。除了特定行业已有开发成熟度的相关模型,如计算机行业、制造业、通信行业、银行业,跨产业且适用性较高的模型成为许多咨询公司开发的首选,这类模型方便咨询公司为不同行业、不同规模的企业进行咨询指导,但模型的专业性也因此受到限制(Issa等,2018)。

最后,数字化成熟度模型的指导模式。数字化成熟度模型指导实践的方法类型可以归纳为两种模式:整体模式和特定模块模式(Schumacher等,2019)。整体模式从企业全方位来驱动数字化转型。这类模型涉及企业管理维度比较多,如前文统计,涵盖7~9个管理范畴。特定模块的指导模式则聚焦于特定的管理维度,通过对特定模块进行数字化范畴内的深入细致解构,旨在从该维度进行突破以引领企业组织进行数字化转型,如企业文化、公司整合、IT治理等。

综上所述,数字化成熟度模型的各项特征是我们认识该类模型的基本“骨架”。通过梳理归纳而来的特征我们可以进一步明确,运用模型来指导企业进行数字转型时,企业需要根据自身发展情况辩证地使用模型。一是选择模型对自身的数字化现状描述时,需要明确模型的规范性并对基准设定的能力进行甄别;二是根据自身的数字化水平选择适合自身的模型;三是从更大的格局来考虑,国家测度企业数字化转型的基准设定可借鉴主流且适用性较广的模型设置标准,为构建区域或者国家工业互联网衡量指标提供参考,这是从微观企业层面到宏观国家层面

整合数据和应用模型的关键。

## (二)数字化成熟度模型的要素原则

一个可运用的数字化成熟度模型往往要具备以下几个要素才足以支撑其实用性和科学性——评价能力、成熟度等级体系设置、数字化转型演进路径。

首先,评价能力要素。数字化成熟度模型度量范围涵盖了企业基础商业运营在数字化转型过程中的各个方面(Rafael等,2020)。在每个管理领域,模型根据具体的企业类型又定义了不同的子领域。不同管理领域的评价内容紧紧围绕两组核心能力——数字能力和领导能力。数字能力包括数字化战略为引领的数字技术专精、数字商业模式、数字生态圈(王瑞等,2019)、顾客的数字体验;领导能力包括企业管理、变革管理、文化塑造(Westerman等,2014)。这两组能力对于企业融入工业4.0体系的启动、实施和维持阶段(Schumacher等,2019)起到决定性作用。

其次,成熟度等级体系设置。优秀的成熟度等级体系能够清晰明了地鉴定出企业在数字化转型过程中的每一个关键阶段。成熟度等级体系设置除了遵循标准化的原则之外,还需要考虑以下几个维度。一是度量项目。每一成熟等级中都需要有一组或几组需要度量的项目,这些项目作为描述单元,呈现各级别成熟度的含义与特征。二是度量类别。各类别项目应该是不同且互斥的,还应与前后各级成熟度级别之间形成关联关系(Lin等,2020)。三是权重设置。权重的设置在企业组织进行数字化的不同阶段有所区别,体现在不同成熟等级的相关要素权重不同,如一些模型的权重设置须与相关指标进行动态加权(Chanias和Hess,2016)。

最后,企业数字化转型的演进路径。组织的某个特定演进路径是组织发展和提高自身能力、价值创造、绩效等的线性进程(Rafael等,2020),每一特定的成熟级别都由该级别定义的各个特征和所需的其他内涵构成(Becker等,2009)。度量企业在向更高级别成熟度演进的过程中存在两个关键因素:边界条件和阶段边界。边界条件是企业组织为了从一个级别发展到另一个级别所需要达到的特定条件,这些边界条件被认为是特定成熟度级别的基本条件。阶段边界是用于规定企业组织进入下一个成熟级别的量化点(Rafael等,2020)。这两个关键要素是判定企业组织在数字化转型过程中路径走势的重要依据。

综上所述,我们可以将数字化成熟度模型的要素原则看作是该类模型的“血与肉”,通过对要素原则的梳理,我们可以进一步发现:一是企业数字化转型有两大重点任务。企业进行数字化转型成功与否取决于数字技术在企业发展全过程中的运用以及企业领导对于数字化运用于企业全过程的管理掌控;二是企业数字化转型全局关联的重要性。从成熟度体系设置的原则可以看出,从低级别向高级别演进涉及多个不同类别与层级项目的数字化过程,并且一些项目相互之间层层递进。因此,企业为了成功完成数字化转型,需要全局前后有序协同进展;三是企业数字化转型的线性与非线性。从决定数字化演进路径的两个关键因素(边界条件、阶段边界)可以看出,企业数字化转型在处理全局关联的同时,还需要对各运营项目的数字化水平在目前数字技术领域的程度及可前进的空间有清晰的把握。

## (三)数字化成熟度模型的测量方法

企业使用数字化成熟度模型的目的是获取模型的描述、规范和校准功能,模型的测量方法是决定模型能否规范、有效地描述进而指导企业进行数字化转型的关键。各模型使用的方法主要有定性测度和定量测度两类,并且适合模型开发完善阶段和评估阶段的方法有所不同。目前两类测度方法主要基于李斯特量表设定的问卷(Rafael等,2020)。

首先,定性的测度方法根据模型的运用阶段不同而不同,模型运用的阶段分为开发完善阶段和评估阶段。在模型开发阶段,主要的适合方法有德尔菲法、案例研究法和概念建模;德尔菲

法用于经验证据有限的条件下,在开发参考模型过程中获取专家意见,以构建新概念或框架(Valdez-de-Leon,2016);案例研究法通过对所选案例的体系化研究,提炼案例企业发展的关键要素,进而构建数字化转型成熟度的关键指标等要素(Geissbauer等,2016);概念建模使用现实世界的概念或想法开发抽象模型或图形,对企业融入工业4.0系统做出各种假设,并构建系统中的主要过程以及各系统之间的关系(Imgrund等,2018)。适合评估阶段的主要方法有商业模式画布、基于问题的学习方法、价值链框架和价值流程图:商业模式画布能帮助企业直观地绘制当前的商业模式(Cigaina和Riss,2016);基于问题的学习方法有助于企业组织在不同成熟度阶段迅速进入情景,并根据各种情景提出不同改进建议(Colli等,2019);价值链框架有助于企业对自身每个核心领域的竞争优势与数字化发展阶段的情况进行分析,通过衡量整条价值链中不同企业的数字化能力,对构成整条价值链各企业之间相互联系的程度进行测度(Angreani等,2020);价值流程图是将企业组织运作过程的实物物质流转化为数字形态的信息流,以映射当前的组织状态,从而更进一步考虑物流、产品开发和和其他间接业务领域的数字化匹配程度,使企业组织朝理想数字化方向发展(Nygaard等,2020)。

其次,定量测度方法在模型开发阶段的主要方法有模糊层次分析法、层次聚类分析法、蒙特卡罗模拟。模糊层次分析法是从模糊逻辑理论发展起来的,属于层次分析法的一种,通过成对比较,利用个别专家的经验来估计因素的相对大小,根据重要性级别对成熟度项目和维度进行优先级排序(Hevner等,2004);层次聚类分析法旨在构建聚类的层次结构,采用“自下而上”的凝聚方法——每一次观察都从自己的聚类开始,当一个聚类向上移动时,成对的聚类合并形成一个类别,该方法有助于构建代表成熟度阶段的项目集群(Berghaus和Back,2016);蒙特卡罗模拟也被称为蒙特卡罗方法或多重概率模拟,是基于模糊规则的概率方法设计,用于估计不确定事件的可能结果(Caiado等,2021)。评估阶段的主要方法有离散事件模拟(DES)和模糊推理系统(FIS):离散事件模拟方法是将复杂系统的行为编码为明确定义事件的有序序列,事件包括系统状态在特定时间点的特定变化。在数字化成熟度模型中,离散事件模拟用来模拟公司的运营并分析公司的数字化水平(Wagire等,2021)。模糊推理系统方法是模糊逻辑系统的重要组成部分,在企业数字化转型过程中帮助企业做出决策。该方法有助于克服成熟度模型的不准确性和不确定性,能够解决数字化水平感知的复杂性问题的(Caiado等,2021)。

最后,定性与定量混合使用。每一个企业组织都有不同的企业文化、治理方式和数字化基础。因此,可根据企业组织的不同情况混合使用不同的定性和定量方法。一种适用性较强的混合方式是基于以往对数字化成熟度评估得到的比较可靠、符合大多数企业组织使用的评估方法模板,基于这些模板来进行适合自身企业模型的进一步开发和评估,有助于提高可预测的质量,提高数字化成熟度模型的表现,减少误差(Gökalp等,2017)。目前得到业界认可比较有名的模板有TOGAF(Harrison,2011)、CMMI-DEV(Chrissis等,2011)等。

综上所述,我们可以将数字化成熟度模型测度方法看作是该类模型的“心脏”,这些测度方法是模型的核心。从梳理而来的测度方法我们可以进一步发现:一是模型的选择需与企业自身情况匹配。选择使用何种测度方法主要取决于企业自身的数字技术运用的基础以及企业自身进行数字化转型的阶段。对于数字化水平相对低的企业,更适合使用领域全面的数字化成熟度模型。然而,对于数字化水平较高的企业,考虑成本、时间等因素,可以选择企业更看重的领域进行部分评估(Wagire等,2021)。二是测度评估的动态性。测度评估企业数字化水平是一个不断调整并精进的过程,从最初引进模型并尝试几种可能的测度方法不断向精细的测度方法推进。在定性与定量方法的选择上需要根据企业自身情况和测度过程的精细而进行调整。三是企

业自己开发数字化成熟度模型的策略。对于没有运用过数字化成熟度模型的企业来说,最快的上手策略是运用可靠性较强的模板进行自身测度评估,结合定性定量混合的方法使用。

#### (四)运用数字化成熟度模型的要求及存在的问题

数字化成熟度模型是一种基于标准化界定等级的模型,只有达到刻度匹配描述状态,才能更精准地发挥评估和指导效用。在使用模型时,需要规范成熟度模型描述组织现状的完整性、清晰性和准确性,以确保获得被评估组织单位的客观、公正、一致、可重复、可比较以及具有代表性的结果(Weichhart等,2018)。在对模型进行构建并在企业进行实际测度后(Schumacher等,2016),发现模型的使用需要具备以下几点要求:一是要确保使用环境的契合,模型使用的环境需要基于组织的特定环境而协整;二是要确保模型评估维度的互斥。不同管理维度的评估范围需要由相互排斥的维度组成,保证评估范围全面而不重复;三是要确保成熟度等级之间的连续性。各成熟度等级内部与外部之间需要在描述上构成连续的统一体;四是要确保可度量性。所有成熟度等级的描述都需要能够在企业组织的运营范畴内可量化,以便于成熟度的数字刻画(Gollhardt等,2020)。此外,运用数字化成熟度模型进行组织数字化运营状况的度量主要依靠问卷调查的形式获取数据,因此,问卷的设计需要具备完备的系统结构层次,需要具备可理解性、全面性、相关性、一致性、概念可靠性和适用性(Schumacher等,2016)。

通过梳理和归纳分析已有文献,发现众多企业运用模型时的共性问题有评估的情境描述问题、动态性问题和企业规模的问题。

首先,评估的情境描述问题。数字化成熟度模型是一种概念性工具,即使概念维度的变量和水平层次经过精挑细选,也存在过于笼统或不符合实际应用的可能性。如果变量过于通用、不恰当,则难以准确评估转型过程的关键步骤。如果某个级别过于通用,则缺少维度级别之间的明显区别。因此,企业在正式运用数字化成熟度模型之前,应成立一个由行业专家组成的焦点小组。在焦点小组中,对企业组织使用数字化成熟度模型的各级概念进行情境描述,以精细化概念的维度和变量(Da Silva等,2021)。

其次,评估的动态性问题。企业组织向数字化转型,从零开始向高度成熟演进是一个不断变化和推进的过程(Newman,2017)。如果现实社会环境发生变化,成熟度模型的一些指标设定也就存在过时的可能性,因而数字化成熟度模型需要随着时间的推移而改变。大多数成熟度模型无法识别组织的动态能力,或是无法在动态和竞争环境的过渡时期检查这种能力(Machado等,2019)。更进一步,组织原本的战略在被整合到数字转型战略的过程中会逐渐变动以响应环境的动态背景,因此建议企业以逐步增量和渐进的方式实施数字化转型(Kiron等,2016)。

最后,企业规模的问题。企业规模在企业运用数字化成熟度模型的问题包括:第一,企业规模实力的差异使得企业对数字化成熟度模型产生不同态度。实力强大的企业创建自己的数字化成熟度模型以提高其成熟度并收集市场数据(Geissbauer等,2016)。大企业往往走在数字化转型的前列,中小企业由于缺乏能力和资源,不具备开发数字化成熟度模型的能力,则倾向于观望等待(Rafael等,2021;Matt等,2015)。第二,中小企业更依赖开发完善的数字化成熟度模型。由于工业4.0下的数字化转型是复杂且资源密集型的变革,中小企业缺乏验证这种高级技术性能和实施科学性的决策能力(Chonsawat和Sopadang,2020),因此,数字化战略指南对于中小企业在工业4.0转型中取得成功至关重要(Ghobakhloo和Iranmanesh,2021)。

#### (五)数字化成熟度模型的应用研究扩展领域

数字化成熟度模型自开发以来不断得到丰富和完善,基于对近几年文献的梳理和归纳分析,本文发现当下研究与应用领域呈现出几个特点:一是应用领域的新扩展;二是评价测度的新途径;三是成熟度体系的新层面。

首先,应用领域的新扩展。工业4.0推动的数字化转型浪潮涉及各行各业,物流行业就是其中的重点领域之一。数字技术在物流行业的深度运用,推动了物流4.0成熟度模型作为契合数字化成熟度模型的一个模块化分支的研究,如Cyplick等(2019)运用数字化成熟度模型的框架拓展出了一个用于评估波兰制造业在物流4.0方面成熟度和实施准备情况的工具。接着,在物流基础之上作为工业经济命脉的供应链,也开始进入企业与企业之间数字化转型研究领域。基于工业4.0概念深度解析和供应链4.0的操作理念形成了关于供应链设计、操作性能和流程成熟度的理论观点(Szymczak,2019)。再有,清洁生产是可持续发展的重要实现路径,以绿色发展为理念的清洁生产实施工业4.0模型,使之成为全新数字化成熟度模型的开拓领域之一。可持续发展是驱动企业数字化转型的重要因素之一(Rakic等,2021),Satyro等(2021)在数字化成熟度模型的基础上构建了清洁生产实施工业4.0整体模型。还有,成熟度模型提供的框架允许决策者充分考虑企业运营整体系统和目标配置,以帮助决策者临时决策。这使得精益生产和工业4.0两种理念能够有机结合,该结合可被视为从战略到运营层面的一种互补范式(Burggräf等,2019;Rossini等,2021),因此,精益生产也成为数字化成熟度模型扩展的一个全新应用领域。另外,随着数据安全变得越来越重要,数字化成熟度模型被用于构建企业数据保护成熟度模型(池雅琼等,2021)。

其次,评价测度的新途径。不同学者从不同的视角对数字化成熟度模型的评估途径进行了推进。其一是可持续性成熟度评估视角。Gunduz等(2021)采用了最优最劣方法(BWM)和质量功能部署法(QFD),通过加权供应链管理的功能来评估供应链智能和可持续性的成熟度水平。其二是组织流程成熟度视角,Szelaǳowski和Berniak-Woźny(2022)提出了一个两阶段的组织流程成熟度评估综合流程,全面融入业务流程管理(BPM)实施流程。这一框架使得评估工业4.0组织的流程成熟度成为可能。其三是数字技术视角。Aagaard等(2021)将工业互联网平台(industrial internet playground)试点和网络基础设施(shadow infrastructure)与数字化成熟度结合起来,用以支持整个组织有效进行数字化转型,并在此过程中记录并公开企业数字化转型的细节信息。其四是动态能力视角,Lin等(2020)开发了一个基于动态能力的成熟度评估框架,将动态能力融入数字化成熟度评估框架。在此过程中确定企业动态能力的四个关键方面——流程、技术、组织和转型,并通过提供基于能力的动态指导,以重新评估企业战略并增强其面对不断变化环境所需的能力。

最后,成熟度体系的新层面。近几年来,已有学者将企业内部的成熟度体系逐步向外部的新层面扩展,并在微观、中观和宏观上皆有所体现。这一方面的研究首先是将工业4.0技术成熟度作为一个影响因素(González等,2021),在西班牙东南部穆尔西亚地区的公司中验证其与公司规模、盈利能力和人力资源投资等几个方面的关系。接着是将评估主体从企业层面扩展到区域层面,将企业的数字化成熟度指数作为一个变量(Czvetkó等,2021),与区域经济、创新和竞争力指数交互实证检验数字化水平对区域经济发展的影响。此外,还有将工业4.0的准备程度作为宏观因素来对国家供应链生态系统进行评估(Tripathi和Gupta,2021)。另一方面的研究是随着成熟度体系的个性化发展,该模型不断在企业内部向纵深挺进。有学者进一步将数字化成熟度模型人性化,指导制造公司从第一次接触工业4.0到定义具体行动领域及规划实现路径,并且在建立数字化转型过程中的65个关键成功因素的成熟度评估及其排序的基础上,按照10个步骤创建公司特定的数字化路径和路线图(Schumacher等,2019)。

综上所述,通过对数字化成熟度模型应用研究领域扩展的梳理归纳,我们进一步发现:一是数字化成熟度模具有较强可拓展性。作为评估、指导企业全盘进行战略变革的工具,其构建的分析框架是该类模型的核心价值之一。模型为企业构建的框架一方面可作为分析企业现状

的工具,另一方面部分模块可根据实践的需要不断进行拓展。二是数字化成熟度模型的应用趋势呈现从微观层面不断向宏观层面拓展的趋势,这和各国竞相在全国范围内实现工业互联网的格局趋势相契合。三是数字化成熟度模型应用拓展的基础在于实践和理论两个层面,一方面是数字化成熟度模型从不同层面紧紧围绕企业运营全流程的不同领域进行扩展,这些扩展逐渐体现出与企业最新管理范畴的契合。另一方面是数字化成熟度模型应用扩展往往基于现有管理理论,这部分扩展是基于相应管理理论的观点而进行的。

## 五、结论与展望

### (一)研究结论

本研究聚焦于数字化成熟度模型的内涵。首先,对工业界和学术界相关的数字化成熟度模型进行文献梳理,对其进行描述性统计和归纳分析,判断当下数字化成熟度模型的研究脉络与趋势。研究发现工业界和学术界对于数字化成熟度模型的开发与研究在逐年发展过程中逐步呈现分化态势,二者在开发目的、适用范围、关注焦点等方面存在一定差异。接着,对模型的特征、要素原则、测度方法、使用要求及应用存在的问题、最新拓展方向进行系统梳理,在此基础上以“点、线、面”多层次视角构建数字化成熟度模型的开发研究框架(如图2所示)。数字化成熟度模型的构建起始于基础管理理论,如企业组织理论、领导理论、流程再造理论、变革管理理论等,并逐步扩展到全生命周期理论。模型的评估维度和层级主要由数字能力和领导能力两方面构成;数字能力评估涵盖企业运用数字技术对企业组织方式、生产运营流程以及商业模式等“硬件”方面的能力评估;领导能力评估涵盖了企业管理、变革管理、文化塑造等“软件”方面的能力评估。从实践的角度来看,企业准备应用数字化成熟度模型需要:(1)根据自身规模和资金实力,以及模型的适用范围进行选择(整体模式或局部模式);(2)成立企业焦点小组对所选模型涵盖测量的指标以及成熟度进行调校;(3)试用模型开发阶段的测量方法并进一步进行调整,确定评估测度方法;(4)进行评估;(5)根据评估结果制定企业数字化转型战略及流程;(6)实施战略,创新数字技术运用途径,强化数字技术应用于企业全过程的管理,并时刻关注组织变革的渐进性与增量性,依此调整相应转型流程。

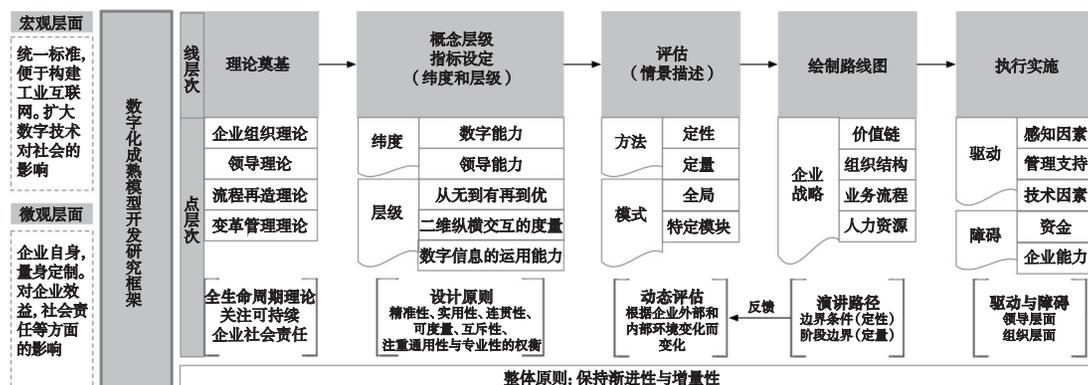


图2 数字化成熟度模型开发研究框架

### (二)未来研究展望

从2014年至今,数字化成熟度模型的开发与研究发展迅猛并取得了非常有价值的成果。但从时间上看还是从当下拓展的情况看,相关研究仍然处于探索阶段,尚有一些局限性和重要问题有待进一步深入探讨。

第一,模型概念需进一步标准化和科学化。标准化科学化的概念体系,可推动跨供应链整合以及技术操作在业内形成共识,更有利于产业融合。已有文献对模型结构化组件的命名缺乏标准,不同文献使用不同含义术语,如维度、动作领域、重点领域、能力、域、路径等。为进一步助力实现全域工业互联网构建,首先,需要对数字化转型的相关术语进行标准化,在模型概念层级得以体现,且涉及多重概念的环节需要在通用与区分度之间有所权衡,以确保指标的科学系统性。其次,已有文献中不同模型的不同概念指标在测度时虽然有权重等方面的考量,但仍缺乏对各概念指标的进一步量化分解与测度顺序的进一步确定。将数字化转型成功的因变量理论化并定量测度每个成功决定因素对解释数字化转型成功的贡献程度有着重要的理论意义与实践意义。

第二,动态全过程评估是数字化成熟度模型亟需突破的瓶颈。数字技术的发展日新月异,加之企业外部环境不断变化,仅仅为企业提供静“画像”的成熟度难以满足现实需求。已有文献均基于精密层级的细化概念对企业数字化转型进行情境描述,目前在动态全过程评估方面只确定了动态能力的四个关键方面(Lin等,2020),仍有较大深入研究空间。如何构建企业组织动态转型的框架体系或指标结构,进而提高对模型的动态评估能力是未来数字化成熟度模型的重要研究方向之一。

第三,模型适用范围需要根据企业条件辨证区别。首先,国家适用范围的区别。目前绝大部分文献来自欧美国家,欧美国家的模型评测依据来源于较为发达的制造体系,与新兴国家的制造环境存在较大差异(Caiado等,2020),兴新国家的数字化成熟度模型开发需要结合本国工业制造的基本情况设计。其次,企业规模与能力的区别。根据前文描述性统计分析可以知,工业界绝大部分的模型都是行业龙头企业进行开发,尽管不少学者已经开始针对中小企业进行数字化成熟度模型的开发研究(Kolla等,2019;Chonsawat和Sopadang,2020;Pech和Vrchota,2020),但是针对不同行业的中小企业进行不同模型的设计还有不足,并且不同国家的中小企业实力差距较大。最后,测评层次的区别。随着模型应用从企业内部向外部扩展,需要进一步调整开发针对不同层次领域的模型。因此,根据不同测度层次的适用条件进行不同类别的模型开发,以增强模型的配适性是未来研究中的一个挑战。

第四,构建模型的理论可进一步推进。其一,模型内部各层级之间的理论有待探索,现有模型对企业数字化转型的描述并未涵盖数字化转型的全部阶段,大多聚焦工业4.0愿景、战略和路线图的定义,很少有学者关注数字化转型的实施与整合(Bellantuono等,2021),这是造成学术界与工业界研究分化的主要原因。因此,模型各层级成熟度衔接之间的理论与数字化转型进程的理论存在可推进的空间。其二,已有文献中模型开发的理论来源大多基于管理领域的企业组织理论、领导理论、流程再造理论、变革管理理论等。然而,技术为社会各类部门提高经济效率、环境绩效和社会影响的同时也不可避免地带来一系列挑战,即不同可持续性指标之间的权衡、环境影响、企业社会责任等问题。这些全新的挑战要求构建模型的理论与时俱进。未来,可将开发模型的理论向全生命周期中不同可持续性指标及相互间的平衡,以及以人为本的技术转型、系统集成和数字孪生等领域进行推进。

#### 主要参考文献

- [1]池雅琼,刘峰,齐佳音.数字化转型背景下企业数据保护成熟度模型构建[J].情报杂志,2021,40(9):133-140.
- [2]王核成,王思惟,刘人怀.企业数字化成熟度模型研究[J].管理评论,2021,33(12):152-162.
- [3]王瑞,董明,侯文皓.制造型企业数字化成熟度评价模型及方法研究[J].科技管理研究,2019,39(19):57-64.
- [4]Aagaard A, Presser M, Collins T, et al. The role of digital maturity assessment in technology interventions with industrial

- internet playground[J]. *Electronics*, 2021, 10(10): 1134.
- [5]Angreani L S, Vijaya A, Wicaksono H. Systematic literature review of Industry 4.0 maturity model for manufacturing and logistics sectors[J]. *Procedia Manufacturing*, 2020, 52: 337-343.
- [6]Caiado R G G, Scavarda L F, Gavião L O, et al. A fuzzy rule-based Industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management[J]. *International Journal of Production Economics*, 2021, 231: 107883.
- [7]Chonsawat N, Sopadang A. Defining SMEs' 4.0 readiness indicators[J]. *Applied Sciences*, 2020, 10(24): 8998.
- [8]Colli M, Berger U, Bockholt M, et al. A maturity assessment approach for conceiving context-specific roadmaps in the Industry 4.0 era[J]. *Annual Reviews in Control*, 2019, 48: 165-177.
- [9]Czvetkó T, Honti G, Abonyi J. Regional development potentials of Industry 4.0: Open data indicators of the Industry 4.0+ model[J]. *PLoS One*, 2021, 16(4): e0250247.
- [10]Ganzarain J, Errasti N. Three stage maturity model in SME's toward Industry 4.0[J]. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2016, 9(5): 1119-1128.
- [11]Ghobakhloo M. Determinants of information and digital technology implementation for smart manufacturing[J]. *International Journal of Production Research*, 2020, 58(8): 2384-2405.
- [12]González A G, Quiñero D R, Vega S F. Assessment of the degree of implementation of Industry 4.0 technologies: Case study of Murcia region in Southeast Spain[J]. *Engineering Economics*, 2021, 32(5): 422-432.
- [13]Haddara M, Elragal A. The readiness of ERP systems for the factory of the future[J]. *Procedia Computer Science*, 2015, 64: 721-728.
- [14]Hevner A R, March S T, Park J, et al. Design science in information systems research[J]. *MIS Quarterly*, 2004, 28(1): 75-105.
- [15]Issa A, Hatiboglu B, Bildstein A, et al. Industrie 4.0 roadmap: Framework for digital transformation based on the concepts of capability maturity and alignment[J]. *Procedia CIRP*, 2018, 72: 973-978.
- [16]Ivanov D, Dolgui A, Sokolov B. The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics[J]. *International Journal of Production Research*, 2019, 57(3): 829-846.
- [17]Machado C G, Winroth M, Carlsson D, et al. Industry 4.0 readiness in manufacturing companies: Challenges and enablers towards increased digitalization[J]. *Procedia CIRP*, 2019, 81: 1113-1118.
- [18]Nygaard J, Colli M, Wæhrens B V. A self-assessment framework for supporting continuous improvement through IoT integration[J]. *Procedia Manufacturing*, 2020, 42: 344-350.
- [19]Pacchini A P T, Lucato W C, Facchini F, et al. The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0[J]. *Computers in Industry*, 2019, 113: 103125.
- [20]Pech M, Vrchota J. Classification of small- and medium-sized enterprises based on the level of Industry 4.0 implementation[J]. *Applied Sciences*, 2020, 10(15): 5150.
- [21]Rafael L D, Jaione G E, Cristina L, et al. An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2020, 159: 120203.
- [22]Rakic S, Pavlovic M, Marjanovic U. A precondition of sustainability: Industry 4.0 readiness[J]. *Sustainability*, 2021, 13(12): 6641.
- [23]Röglinger M, Pöppelbuß J, Becker J. Maturity models in business process management[J]. *Business Process Management Journal*, 2012, 18(2): 328-346.
- [24]Rossini M, Cifone F D, Kassem B, et al. Being lean: How to shape digital transformation in the manufacturing sector[J]. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2021, 32(9): 239-259.
- [25]Satyro W C, Contador J C, Contador J L, et al. Implementing Industry 4.0 through cleaner production and social stakeholders: Holistic and sustainable model[J]. *Sustainability*, 2021, 13(22): 12479.
- [26]Schaupp E, Abele E, Metternich J. Potentials of digitalization in tool management[J]. *Procedia CIRP*, 2017, 63: 144-149.
- [27]Schumacher A, Erol S, Sihn W. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises[J]. *Procedia CIRP*, 2016, 52: 161-166.
- [28]Schumacher A, Nemeth T, Sihn W. Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model

- for manufacturing enterprises[J]. *Procedia CIRP*, 2019, 79: 409-414.
- [29]Sony M, Naik S. Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: A literature review[J]. *Benchmarking: An International Journal*, 2019, 27(7): 2213-2232.
- [30]Szelągowski M, Berniak-Woźny J. How to improve the assessment of BPM maturity in the era of digital transformation[J]. *Information Systems and e-Business Management*, 2022, 20(1): 171-198.
- [31]Tortorella G L, Fettermann D. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies[J]. *International Journal of Production Research*, 2018, 56(8): 2975-2987.
- [32]Tsohou A, Lee H, Irani Z. Innovative public governance through cloud computing: Information privacy, business models and performance measurement challenges[J]. *Transforming Government: People, Process and Policy*, 2014, 8(2): 251-282.
- [33]Valdez-de-Leon O. A Digital Maturity Model for Telecommunications Service Providers[J]. *Technology Innovation Management Review*, 2016, 6(8): 19-32.
- [34]Weichhart G, Stary C, Vernadat F. Enterprise modelling for interoperable and knowledge-based enterprises[J]. *International Journal of Production Research*, 2018, 56(8): 2818-2840.
- [35]Zhong R Y, Xu X, Klotz E, et al. Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: A review[J]. *Engineering*, 2017, 3(5): 616-630.

## Digital Maturity Model: A Review and Prospects

Jiang Xin<sup>1</sup>, Zhou Xuan<sup>2</sup>

(1. *Party School of Yunnan Committee of CPC (Yunnan Academy of Governance), Kunming 650111, China;*  
2. *School of Business, Nankai University, Tianjin 300071, China*)

**Summary:** In the era of Industry 4.0, digital transformation has become a strategic highland for enterprises all over the world. Due to the macrocosm and complexity of digital transformation, the digital maturity model, as a tool to describe and guide enterprises to formulate digital transformation strategies, has become a hot spot in the current industry and academia. Firstly, by combing the relevant literature on the digital maturity model of Industry 4.0, this paper applies descriptive statistical analysis to summarize the basic situation of the models developed by industry and academia. Secondly, this paper systematically summarizes the concept definition, model features, and element principles of the digital maturity model, shedding light on what the digital maturity model is. Thirdly, this paper systematically sorts out the new expansions of the application field, the new approaches to evaluation and measurement, the new levels of maturity system, and the problems in the application process of the digital maturity model. Finally, this paper constructs the development and research framework of the digital maturity model of Industry 4.0 based on the three-tier perspective of “point-line-surface”, and discusses future research directions. The main contributions of this paper are that: It clarifies the development and research context of the digital maturity model of Industry 4.0, systematically explains the key elements of the model, provides directional guidance for deepening the development and research of the model, and further provides conceptual cognition for the crucial elements and links related to the enterprise practice of digital transformation.

**Key words:** digital transformation; maturity model; Industry 4.0; maturity assessment; digital strategy

(责任编辑: 宋澄宇)