基于累积前景理论的制造业企业数字化转型能力评价

邓国华[1,2,3]，王盛达[4]，谢淑仪[1]

（1. 江汉大学商学院，武汉 430056；2. 江汉大学智能决策研究所，武汉 430056；
3. 江汉大学武汉城市圈制造业发展研究中心，武汉 430056；4. 北京统御至诚科技有限公司，北京 100000）

摘要：随着新一代数字技术的迅猛发展，制造业企业在推进数字化转型过程中，准确评估和把握自身数字化转型发展能力的重要性日益凸显。基于数字化技术能力、数字化管理能力和数字化组织变革能力3个维度，构建制造业企业数字化转型能力评价指标体系，并引入AHP（层次分析法）熵权和累积前景理论的综合评价方法，以杭州10家制造业企业为案例，进行数字化转型能力评价。针对案例企业数字化转型过程中存在的问题，对制造业企业、政府管理部门和数字化服务商提出相关建议。

关键词：制造业企业；数字化转型；能力评价；累积前景理论

中图分类号：F425；F49 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)01－0127－10

随着大数据、云计算、人工智能等新兴技术的发展，全球第四次工业革命已经到来[1]，数字化转型已成为制造业企业提升竞争力、实现可持续发展的重要途径。埃哲森2024年发布的中国企业数字化转型指数报告[2]指出，随着全球宏观环境变化程度加剧，数字化转型的要义已经从“业务求新”进化到“全面重塑”，然而在中国企业中，重塑者占比仅4%，虽较2023年有进步[3]，但仍低于全球平均占比，数字化转型的预期效果未能完全实现。

制造业作为国家经济的支柱产业，其数字化转型不仅关乎企业自身的生存与发展，更对整个国家经济结构的优化升级具有重要意义。然而，在数字化转型的过程中，制造业企业面临着技术更新迅速、管理模式变革、组织结构调整等多重挑战。因此，如何科学评价制造业企业的数字化转型能力，进而指导企业有效推进数字化转型，成为当前亟待解决的问题。

1 研究综述

1.1 企业数字化转型能力内涵

数字化转型能力作为企业能力的一种，也是企业资源的一种，是对资源基础理论的发展延伸。在企业竞争优势发展过程中，其根源由具体的资源变成抽象的能力，由此产生了“企业能力基础理论”，即以能力为基础的企业观[4]。Prahalad和Hamel[5]基于资源观理论提出核心能力理论（core capability theory），指出企业核心能力就是“组织对企业拥有的资源、技能、知识的整合能力，即组织的学习能力，一套强有力的核心能力的存在是企业成长的源泉”。但是企业的核心能力一旦形成往往会出现核心刚性，在快速变化的环境中，核心能力常常无法随之改变，此时，企业原有的核心能力不仅不能为企业带来持续的竞争优势，反而会成为企业竞争优势发挥的阻碍[6]。为了解释如何打破核心刚性，以及获得和维持竞争优势，Teece和Pisano[7]提出了动态能力理论（dynamic capabilities theory）。企业动态能力被定义为企业通过建立、重构以及整合企业内外资源以便对外界环境做出快速反应的能力，具有整合资源[8]与创新性[9]等特性。

随着数字经济的蓬勃发展，数字技术的崛起与广泛应用已经彻底颠覆了传统经济资源的稀缺性等特征，企业数字化转型也愈发重要，由此实现数字化转型的转型能力受到了广泛关注。关于数字化转型能力的研究，相关学者大多从企业核心能力、企业动态能力视角出发，对数字化转型能力的

收稿日期：2025-04-28

基金项目：国家自然科学基金（72171102）；武汉城市圈制造业发展研究中心2021年度主任基金（W2021Y04）

作者简介：邓国华（1984—），男，湖北武汉人，博士，副教授，研究方向为文本挖掘、云服务管理、决策分析；王盛达（1997—），男，内蒙古阿尔山人，硕士，工程师，研究方向为数字化转型、系统建模仿真；通信作者谢淑仪（1998—），女，广东广州人，硕士研究生，研究方向为绿色制造。

内涵进行了初步探讨。侯光文和高晨曦[10]提出数字化转型信息整合能力和数字化转型技术应用能力是数字化转型能力的重要内容，是增强企业竞争优势的一种动态能力。陈畴镛和许敬涵[11]认为企业数字化转型能力是指企业具备的一种动态能力，旨在适应不断变化的市场环境，以数字化理念、技术、方法提升企业在市场上的竞争力。Patrick等[12]将数字化转型能力定义为公司利用其数字化能力，结合组织资源，以迅速适应变化的业务环境的能力。由此可见，数字化转型能力是企业为了适应不断变化的市场环境，通过系统性整合数字技术、组织资源与数字化战略，重新构思组织架构和管理模式，以适应数字化环境并实现可持续竞争优势的核心能力。

1.2 制造业企业数字化转型能力评价相关研究

相关学者对制造业企业数字化转型能力评价维度的研究内容多集中于对技术能力、管理能力以及组织变革能力的研究。刘雅丽[13]从组织管理能力、技术应用能力和产出能力3个维度对制造业企业数字化转型能力展开评价；付宇涵等[14]从管理保障、基础支撑、业务数字化转型和效能效益4个维度对制造业企业数字化转型能力展开评价；陈畴镛和许敬涵[11]从技术能力、组织变革能力和数字化管理能力3个维度对制造业企业数字化转型能力展开评价。然而，不同学者数字化转型能力评价维度的研究方向和重点各不相同，体现制造业企业数字化转型能力特点的评价指标体系还存在进一步研究的空间。

数字化转型能力的评价方法由易到难可以分为3类，分别为百分比评分法、加权评价法[10]和综合评价法。其中，综合评价法充分考虑指标间的关联性、数据的模糊性和不确定性等因素，能显著提升评价的科学性和可靠性，因而成为该领域广泛采用的评价方法。例如，Chen等[15]基于层次分析(AHP)-决策试验与评价实验室(DEMATEL)方法进行评价，使用DEMATEL可以在复杂的决策环境中帮助确定各因素的权重以及因素之间的关系；陈畴镛和许敬涵[11]使用模糊层次分析法和灰色聚类分析法进行评价，认为模糊层次分析法可以反映出信息的模糊性对评判结果的影响，灰色聚类分析可以有效解决多维变量的问题；李君等[16]采用熵权法和云模型进行评价，以确保权重的分配不受主观因素影响。然而，多数评价方法的评价前提是基于决策者为“理性人”的假设，追求评价效用的最大化，较少考虑到决策者的有限理性、风险态度等因素对于评价过程的影响，从而影响评价结果的可靠性和决策制定的科学性。本文选取累积前景理论作为评价方法，从有限理性角度研究决策者的风险偏好行为，探讨了影响决策者行为的非理性心理因素，帮助决策者减少评价过程中的主观性和模糊性，较好地弥补了现有评价方法的不足。

围绕制造业企业数字化转型现状，以现阶段的数字化转型能力相关研究为基础，结合企业核心能力理论、企业动态能力理论，分析数字化转型能力构成要素，构建制造业企业数字化转型能力评价指标体系。

2 制造业企业数字化转型能力评价指标体系

评估制造业企业的数字化转型能力是推动数字化转型的关键步骤，可为企业提供准确的反馈和指导，有助于企业更好地规划和实施数字化转型策略。

2.1 制造业企业数字化转型能力构成要素分析

由制造业企业数字化转型能力的概念可知，制造业企业的数字化转型是一个涉及技术、组织和管理的全面变革。因此，将制造业企业数字化转型能力体系构成要素的关键维度界定为数字化技术能力、数字化管理能力和数字化组织变革能力。在此基础上，根据企业核心能力与企业动态能力的特征，逐步分析各关键维度的构成要素和所属能力范畴。

2.1.1 数字化技术能力构成要素分析

数字化技术能力作为企业数字化转型的重要基础，随着新一代数字技术的迅速发展，企业在数字化转型中面临新的机遇和挑战，企业需要提升数据资源建设能力确保企业数据的有效流通[13]，选取数字化基础建设能力A_1、数据资源建设能力A_2、数据集成交互能力A_3为数字化技术能力指标下的3个二级指标。

数字化基础建设能力A_1是制造业数字化转型的重要支撑，虽然本身不能直接形成独特竞争优势，但通过建立必要的数字基础[10]，能够实现各模块和系统间的信息交互[17]，为其他能力的建设提供基础支持。数据资源建设能力A_2在制造业企业数字化转型过程中发挥着关键作用，数据作为关键生产要素，是企业数字化转型的重要标志[17]，正在逐渐取代传统的生产要素如劳动力、土地、资本和技

术等。数据集成交互能力 A_3 是制造业企业数字化转型的关键步骤,通过有效整合、共享、传输和处理数据,实现企业内外不同部门、系统间的信息交换,既能够支持业务流程和决策需求,又能挖掘原有生产要素的新价值,从而提升企业竞争力[18]。

2.1.2 数字化管理能力构成要素分析

企业数字化管理能力是对传统组织管理的继承与创新[11],制造业企业的数字化管理能力水平高低,直接关系到数字化转型的效率,如何利用数字技术优化企业的经营管理流程,已经成为企业竞争中不可或缺的重要手段[16],具体体现在数字化研发能力 B_1、数字化采销能力 B_2、数字化生产管理能力 B_3 和数字化转型战略管理能力 B_4 4 个方面。

数字化研发管理能力 B_1 作为主要驱动力,可加速新产品开发、缩短研发周期并提升创新效率,从长期来看,能显著提高企业的投入产出效率[19]。其中,从技术成熟度和应用深度两个维度,量化评估数字孪生技术在研发过程中使用情况 B_{12};根据上云数据量占比、云端数据应用率和反馈时效性,综合量化数据上云反馈 B_{14}。数字化采销管理能力 B_2 为制造业企业数字化转型提供保障,通过优化供应链合作、提升库存管理效率和实现从供应商关系管理到采销流程自动化,降低采销成本[11,13]。其中,以原材料管理流程中的数字化程度,衡量原材料管理方式 B_{23}。数字化生产管理能力 B_3 作为制造业企业数字化转型的核心环节,应用数字技术,以提高生产效率、产品质量和灵活性,帮助企业更好应对需求波动,提高客户满意度[16]。其中,从技术成熟度和应用深度两个维度,量化评估数字孪生技术在生产过程中使用情况 B_{33} 和工业软件系统的使用情况 B_{34}。数字化转型战略管理能力 B_4 在制造业数字化转型过程中发挥引领作用,依托数据支撑决策,促进其他管理能力的协同发展,实现跨职能流程的资源优化配置,因其整合性和延展性成为企业的核心竞争优势[20]。

2.1.3 数字化组织变革能力构成要素分析

数字化组织变革能力是企业数字化转型的主要保障,能够通过知识积累、人才建设和文化建设等途径增强企业的生产能力、响应能力和组织柔性,帮助企业满足顾客需求,增强竞争优势。若忽视组织能力的变革,数字化转型的潜在价值将难以实现,但大多数制造企业存在数字化相关人才短缺、组织文化刚性阻碍和数字化转型资金不足等问题[21]。因此,在数字化组织变革能力方面,选取数字化人才建设 C_1、数字化文化建设 C_2、数字化投入能力 C_3 为二级指标。

数字化人才建设 C_1 是推动制造业数字化转型的关键要素,其关键在于培养具备数字化技能和文化的团队,以增强企业灵活性、适应性和抗风险能力,形成动态竞争优势[22]。数字化文化建设 C_2 作为推动制造业企业数字化转型的思想武器,通过重塑企业价值观、行为模式和工作方式,构建独特且难以复制的核心竞争力[13]。数字化投入能力 C_3 为制造业企业数字化转型提供支持,包括技术引进、基础设施建设和员工培训等资源保障,既能加速研发创新,提高企业竞争力,又能为其他数字化能力建设奠定物质基础[20]。

2.2 制造业企业数字化转型能力评价指标选取

通过对制造业企业数字化转型能力体系构成要素进行分析,在数字化技术能力、数字化管理能力和数字化组织变革能力基础上,结合10 项能力要素所属能力范畴,对国内外制造企业数字化转型评价的相关文献进行总结,结合制造业企业实际发展现状和特点,得出制造业企业数字化转型能力评价体系的 26 个三级指标,具体指标见表 1。

3 制造业企业数字化转型能力评价模型构建

制造业企业数字化转型能力评价模型的构建过程包括编辑阶段和评价阶段。编辑阶段的任务是对累积前景值计算流程和数字化转型能力成熟度区间划分进行构建,为后续的评估和选择做基础。在编辑阶段主要分为 3 个部分,第 1 部分选取层次分析法和熵权法计算综合权重,该方法既能充分考虑具有数字化转型专业知识和相关经验的专家建议,又可保留制造业案例企业数据特征,提高了指标赋权可信度。第 2 部分计算综合累积前景值,首先通过第 1 部分得到的综合权重计算决策权重函数,然后对案例企业数据进行处理,确定参考点,计算价值函数确定前景矩阵,最后使用决策权重和前景矩阵计算综合累积前景值。第 3 部分划分数字化转型能力成熟度等级,结合数字化能力成熟度理论,参考数字化成熟度模型等级划分,通过价值函数计算出数字化成熟度区间端点值,划分成熟度等级。评价阶段负责从综合评分和数字化转型能力成熟度两个方面对评价结果展开分析。具体构建流程如图 1 所示。

表 1　制造业企业数字化转型能力评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	参考文献
数字化技术能力 A	数字化基础建设能力 A_1	互联网覆盖率 A_{11}	[11,14]
		制造设备接入工业物联网(IOT)或云平台占比 A_{12}	[14]
	数据资源建设能力 A_2	数据存储建设水平 A_{21}	[17]
		数据安全建设水平 A_{22}	[18]
		数据标准化水平 A_{23}	[18]
	数据集成交互能力 A_3	企业内部系统间集成水平 A_{31}	[14]
		与供应商-客户相关应用系统的数据互通水平 A_{32}	[15]
数字化管理能力 B	数字化研发管理能力 B_1	数字化研发投入 B_{11}	[14]
		数字孪生技术在研发过程中使用情况 B_{12}	[17]
		协同研发平台(CAD/CAE/CATIA)等建设情况 B_{13}	[18]
		数据上云反馈 B_{14}	[18]
	数字化采销管理能力 B_2	电子商务采销占比 B_{21}	[15]
		自动化仓储设备占比 B_{22}	[18,23]
		原材料管理方式 B_{23}	[23]
	数字化生产管理能力 B_3	机器人自动化水平 B_{31}	[24-25]
		生产监控水平 B_{32}	[25]
		数字孪生技术在生产过程中使用情况 B_{33}	[24]
		工业软件系统(ERP/WMS/PLM/MES/SCM)的使用情况 B_{34}	[25]
	数字化转型战略管理能力 B_4	数字化转型战略制定情况 B_{41}	[14]
数字化组织变革能力 C	数字化人才建设能力 C_1	企业现有数字化技能员工占比 C_{11}	[11]
		企业招聘数字化技能员工占比 C_{12}	[11]
		企业进行数字化相关培训支出比 C_{13}	[11]
	数字化文化建设能力 C_2	企业高层对数字化转型的支持度 C_{21}	[26]
		企业员工数字化技术学习意愿 C_{22}	[27]
	数字化投入能力 C_3	数字化投入水平 C_{31}	[18,21]
		数字化设备投入水平 C_{32}	[21]

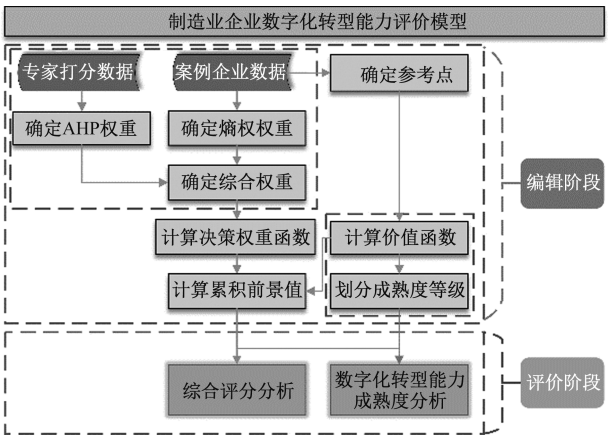


图 1　评价模型构建流程

3.1　AHP-熵权法确定综合权重

采用 AHP 法和熵权法相结合的综合赋权法，既充分考虑具有数字化转型专业知识和相关经验的专家建议，又可保留制造业案例企业数据特征，提高了指标赋权可信度。

对 AHP 法[14]和熵权法[28]分别求得的指标权重 ω_j 和 θ_j 线性合成指标综合权重：

$$w_j = a\omega_j + (1-a)\theta_j \tag{1}$$

式中：a 为 AHP 法占综合权重的比例，则 $(1-a)$ 为熵权法占综合权重的比例。根据文献[28]，对 AHP 法和熵权法权重所占的比例进行权衡，参照 a 取值为 50%。

3.2　基于累积前景理论计算累积前景值

根据评价模型的流程设定，结合制造业企业数字化转型能力评价指标体系，累积前景值具体计算步骤如下。

(1)处理原始数据。假设有 n 个案例企业，数字化转型能力评价体系包含 m 项评价指标，则原始数据矩阵为

$$\boldsymbol{R} = (r_{ij})_{n\times m} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \tag{2}$$

式中：r_{ij} 为第 i 个案例企业第 j 项指标的得分。

将原始数据无量纲化，让不同测量尺度的评价指标具有可比性。

$$f_{ij} = \frac{r_{ij} - \min R_j}{\max R_j - \min R_j} \tag{3}$$

式中：$R_j = \{r_{1j}, r_{2j}, \cdots, r_{nj}\}$；$f_{ij}$ 为第 i 家企业第 j 项指标的标准值。

使用式(3)对原始数据矩阵 $\boldsymbol{R}$ 进行计算，得到标准化矩阵 $\boldsymbol{F}$。

$$\boldsymbol{F}=(f_{ij})_{n\times m}=\begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1m} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & \cdots & f_{nm} \end{bmatrix} \tag{4}$$

(2)计算参考点。以 TOPSIS(technique for order preferenceby similarity to ideal solution,逼近理想解排序法)中正、负理想解作为参考点选取方式,得到参考点的表达式:

$$f_j^+=\max\{f_{ij}\mid i=1,2,\cdots,n\},\quad j=1,2,\cdots,m \tag{5}$$

$$f_j^-=\min\{f_{ij}\mid i=1,2,\cdots,n\},\quad j=1,2,\cdots,m \tag{6}$$

式中:f_j^+、f_j^- 分别为评价指标得分中的最大值和最小值。

(3)计算价值函数。分别以负理想解和正理想解作为参考点,得到式(7)和式(8)两个价值函数的表达式:

$$V_{ij}^+=(x_0)^\alpha=(f_{ij}-f_j^-)^\alpha \tag{7}$$

$$V_{ij}^-=-\theta(x_0)^\beta=-\theta(f_j^+-f_{ij})^\beta \tag{8}$$

式中:V_{ij}^+、V_{ij}^- 分别为以负理想解和正理想解作为参考点的价值函数;α 和$\beta(0<\alpha<1,0<\beta<1)$ 分别为风险规避和风险追求系数,表示价值函数在收益和损失区域价值幂函数的凹凸程度,α 和 β 越大表示决策者越倾向于冒险;θ 为损失规避系数,$\theta>1$ 表示价值函数曲线在损失区域比收益区域更陡,表明决策者对损失厌恶。Tversky 和 Kahneman[29-30] 使用 CE(certainty equivalent)范式对被观察者进行考察,并通过大量实验数据进行回归分析,得出 α、β 和 θ 的取值。后续学者[28,31]普遍基于其得出的参数设置开展实证研究,并验证了参数取值的有效性。因此,本文参考 Tversky 和 Kahneman 的实验结果对参数设定为:$\alpha=\beta=0.88,\theta=2.25$。

由式(7)可知,正前景值矩阵为

$$\boldsymbol{V}^+=(V_{ij}^+)_{n\times m}=\begin{bmatrix} V_{11}^+ & V_{12}^+ & \cdots & V_{1m}^+ \\ V_{21}^+ & V_{22}^+ & \cdots & V_{2m}^+ \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ V_{n1}^+ & V_{n2}^+ & \cdots & V_{nm}^+ \end{bmatrix} \tag{9}$$

式中:$V_{ij}^+=(f_{ij}-f_j^-)^{0.88}$;$i=1,2,\cdots,n$;$j=1,2,\cdots,m$。

由式(8)可知,负前景值矩阵为

$$\boldsymbol{V}^-=(V_{ij}^-)_{n\times m}=\begin{bmatrix} V_{11}^- & V_{12}^- & \cdots & V_{1m}^- \\ V_{21}^- & V_{22}^- & \cdots & V_{2m}^- \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ V_{n1}^- & V_{n2}^- & \cdots & V_{nm}^- \end{bmatrix} \tag{10}$$

式中:$V_{ij}^-=-2.25(f_j^+-f_{ij})^{0.88}$;$i=1,2,\cdots,n$;$j=1,2,\cdots,m$。

(4)计算决策权重函数。正累积前景权重(收益决策权重)函数 $\pi^+(w_j)$ 和负累积前景权重(损失决策权重)函数 $\pi^-(w_j)$ 的计算式为

$$\pi^+(w_j)=\frac{w_j^{r^+}}{[w_j^{r^+}+(1-w_j)^{r^+}]^{1/r^+}} \tag{11}$$

$$\pi^-(w_j)=\frac{w_j^{r^-}}{[w_j^{r^-}+(1-w_j)^{r^-}]^{1/r^-}} \tag{12}$$

式中:w_j 为通过层次分析法和熵权法计算得到的综合权重;r^+、r^- 为风险态度系数,$0<r^+,r^-<1$。根据文献[28-31]的研究,当风险态度系数 $r^+=0.61$、$r^-=0.69$ 时,实验结果与经验数据较为一致,因此采用该系数进行综合累积前景值计算。

最后,将正、负累积前景权重进行归一化处理。

$$w_j^+=\frac{\pi^+(w_j)}{\sum_{j=1}^m\pi^+(w_j)},\quad j=1,2,\cdots,m \tag{13}$$

$$w_j^-=\frac{\pi^-(w_j)}{\sum_{j=1}^m\pi^-(w_j)},\quad j=1,2,\cdots,m \tag{14}$$

式中:w_j^+ 为归一化后的正累积前景权重;w_j^- 为归一化后的负累积前景权重。

(5)计算综合累积前景值。综合累积前景值的计算公式为

$$v_j=\sum_{j=1}^m V_{ij}^+w_j^++\sum_{j=1}^m V_{ij}^-w_j^- \tag{15}$$

式中:V_{ij}^+、V_{ij}^- 分别为第 i 家企业在第 j 项指标的收益价值和损失价值。

3.3 数字化能力成熟度理论划分数字化转型能力等级

能力成熟度模型(CMM)概念首次由美国卡耐基梅隆大学软件工程研究所提出[32],其含义为通过等级程度来衡量企业实现目标的程度水平[33]。传统的 CMM 包含 5 个等级,分别为初始级、可重复性、已定义性、已管理级和优化级。在此基础上,朱伟等[34]将数字化转型能力等级划分为初始级、单元级、流程级、网络级、生态级 5 个等级。王核成等[18]建立了数字化成熟度模型(DMM),从低到高将数字化成熟度等级分为初始级、成长级、提升级、综合集成级和持续改善级。因此,基于 DMM 并参照文献[18,34-35]中构建的数字化成熟度模型,本文将制造业企业数字化转型能力成熟度划分 5 个等级,分别为数字化入门者、数字化探索者、数字化转型者、数字化管理者以及数字化引领者。将计算得到

的累积前景值进行等级划分，需要对原始无量纲的数据区间进行处理，逐步计算端点的累积前景值，以确定累积前景值成熟度区间。根据式(1)可知，无量纲化数据上限为 1，下限为 0，将区间均匀分为 5 等份，无量纲化数据端点分别为 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1。使用式(3)～式(15)计算累积前景值端点分别为－2.250 0、－1.606 2、－0.988 9、－0.366 7、1.000 0。制造业企业数字化转型能力成熟度等级划分与区间划分见表 2。

表 2　数字化转型能力成熟度等级划分

符号	等级	区间划分	解释说明
Ⅰ	数字化入门者	[－2.250 0，－1.606 2)	数字化工作尚未展开或者正处于起步阶段的情况下，企业可能存在数字化转型意识不足、数字化技术应用程度有限等问题
Ⅱ	数字化探索者	[－1.606 2，－0.988 9)	管理层已经开始关注数字化转型，对数字化基础设施进行升级，并且开始进行数字化转型战略规划，然而还存在缺乏全面的统筹协调等情况
Ⅲ	数字化转型者	[－0.988 9，－0.366 7)	已经初步落实了数字化转型战略，数字技术已广泛应用于企业的各个业务流程和经营管理领域，同时，组织和管理变革也在有序进行，组织对其业务过程进行了更详细的规范和定义
Ⅳ	数字化管理者	[－0.366 7，0.275 8)	数字技术应用不断升级，管理决策变得更加高效，数字化转型战略得到了有效的实施，整体组织自上而下的协同整合能力也得到了提升
Ⅴ	数字化引领者	[0.275 8，1]	数字化管理能力和数字化组织变革能力得到了充分的建设和发展，数字技术应用在该阶段变得相当成熟。已经达到了领先企业的水平，成为业界的典范和标杆

4　制造业企业数字化转型能力评价模型应用

为了检验制造业企业数字化转型能力评价指标体系及评价方法的可行性和适用性，以杭州电子信息制造业的 10 家企业为例进行案例分析。《杭州市电子信息制造业“十三五”发展规划》指出，杭州市规模以上电子信息制造业在全市工业经济中发挥了积极的支撑引领作用，已成为全市经济增长的主推力。政府为电子信息制造企业提供鼓励和引导，鼓励企业坚持创新引领、应用驱动、融合发展，推动生产方式向柔性、智能、精细转变，利用工业物联网打通企业全产业链环节，加速各环节数据的纵向流动和交互。因此，杭州市电子信息制造业企业符合评价指标体系的应用条件，通过实地调研与网络访谈，对从事数字化转型的管理人员进行访谈，获取企业原始数据。

4.1　累积前景值得分分析

采用式(2)～式(15)计算出各公司的累积前景值，并对各公司进行排序，结果见表 3。

表 3　案例企业累积前景值评分排序

企业	累积前景值评分	排序	企业	累积前景值评分	排序
F	－0.233 1	1	I	－0.613 5	6
H	－0.406 0	2	J	－0.665 3	7
C	－0.501 2	3	E	－0.747 2	8
A	－0.509 2	4	G	－0.804 0	9
B	－0.517 3	5	D	－1.208 9	10

企业 F 排名第 1，综合累积前景值为－0.233 1，其数字化转型能力与其他企业有较大差距。企业 H 排名第 2，综合累积前景值为－0.406 0。企业 C 排名第 3，综合累积前景值为－0.501 2，数字化转型能力与企业 H 差距较大。企业 A 和企业 B 数字化转型能力强度较为接近，而企业 B 和企业 I 数字化转型强度对比出现断层，企业 D 的数字化转型能力远低于其他案例企业。综合评分整体对比说明案例企业间数字化转型能力存在较大差异。

在对比了企业综合排名后，为进一步对比分析各企业数字化转型能力的优势与短板，分别从 3 个一级指标维度，对案例企业综合评分计算后进行排序，见表 4。

企业 B 数字化管理能力评分排名第 1，但是数字化技术能力评分排名第 6，数字化组织变革能力评分排名第 6，导致综合得分排名第 4。企业 C 数字化管理能力排名第 2，但是数字化技术能力评分排名第 6，导致综合排名第 3。说明在实现数字化转型高效和可持续发展的过程中，数字化技术能力、数字化管理能力以及数字化组织变革能力必须相互协调提升。

4.2　数字化转型能力成熟度分析

根据表 2 数字化转型能力成熟度等级划分，除企业 D 位于数字化探索者阶段以外，大多数企业都处于数字化转型者阶段，企业 F 位于数字化管理者阶段，说明案例企业的数字化能力整体水平不高。划分结果如图 2 所示。

根据表 2 数字化转型能力成熟度等级划分，绘制一级指标成熟度评价结果图，如图 3 所示。

表 4　案例企业一级指标综合评分排序

企业	数字化技术能力得分	排序	企业	数字化管理能力得分	排序	企业	数字化组织变革能力得分	排序
A	0.105 8	1	B	−0.107 3	1	C	−0.143 3	1
H	0.093 9	2	C	−0.344 7	2	J	−0.166 5	2
F	−0.103 4	3	F	−0.376 1	3	E	−0.251 1	3
I	−0.728 1	4	I	−0.427 8	4	F	−0.321 2	4
B	−0.836 6	5	H	−0.461 1	5	H	−0.426 5	5
C	−0.914 7	6	J	−0.542 0	6	B	−0.711 6	6
G	−1.044 2	7	A	−0.596 6	7	I	−0.786 9	7
D	−1.092 5	8	G	−0.705 9	8	A	−0.826 0	8
E	−1.120 2	9	E	−0.799 9	9	G	−0.855 3	9
J	−1.261 9	10	D	−0.942 9	10	D	−1.446 9	10

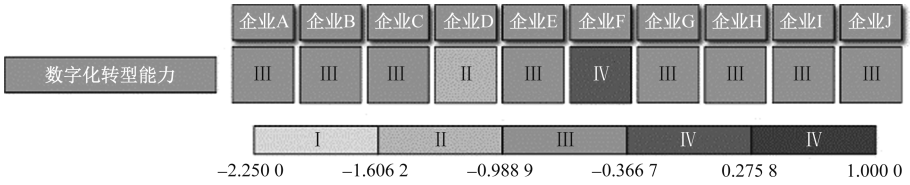


图 2　综合评分成熟度评价结果

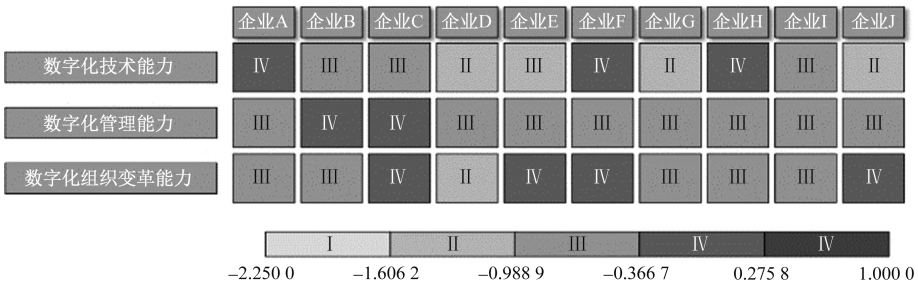


图 3　一级指标成熟度评价结果

数字化技术能力中处于数字化探索者的企业分别为企业 D、企业 E、企业 G 和企业 J,数字化管理能力和数字化组织变革能力中位于数字化探索者的企业较少,说明数字化技术能力建设相对较差。企业 D 在数字化技术能力和数字化组织变革能力都处于数字化探索者阶段,企业 D 的数字化转型建设水平相对较差。

从一级指标数字化成熟度对比发现,当前企业在数字化技术能力、数字化管理能力和数字化组织变革能力 3 个维度均未出现数字化引领者企业,大多数企业都处于数字化转型者和数字化管理者阶段。其中,数字化管理能力整体水平相对较高,多数已进入数字化转型者阶段,表明其在战略规划、流程优化和数据治理等方面的建设相对领先。相比之下,数字化技术能力的成熟度均匀分布在数字化探索者、数字化转型者和数字化管理者上,但其整体建设水平略低于其他两项能力,这一差异反映出杭州市在数字化基础设施建设、数据资源建设和数据集成交互能力等方面仍存在较大提升空间,亟须进一步优化技术应用生态,强化数据要素支撑能力。

根据表 2 数字化转型能力成熟度等级划分,绘制二级指标成熟度评价结果图,如图 4 所示。

企业 D 大部分二级指标能力建设成熟度水平都位于数字化入门者和数字化探索者阶段,数字化转型各项能力建设水平都低于其他案例企业。也有一些企业在能力建设上表现突出,如企业 A 的数字化基础建设能力位于数字化引领者阶段,企业 H 数据集成交互能力位于数字化引领者阶段等。

二级指标成熟度评价结果统计如图 5 所示。

对比分析二级指标成熟度发现,部分二级指标显示企业能力建设水平差距较大,同时出现数字化引领者阶段和数字化入门者阶段企业,如数字化基础建设能力和数字化战略管理能力。部分二级指标能力建设水平处于数字化转型者和数字化管理者阶段,未出现数字化引领者企业,如数据资源建设能力、数字化研发管理能力和数字化文化建设能力。

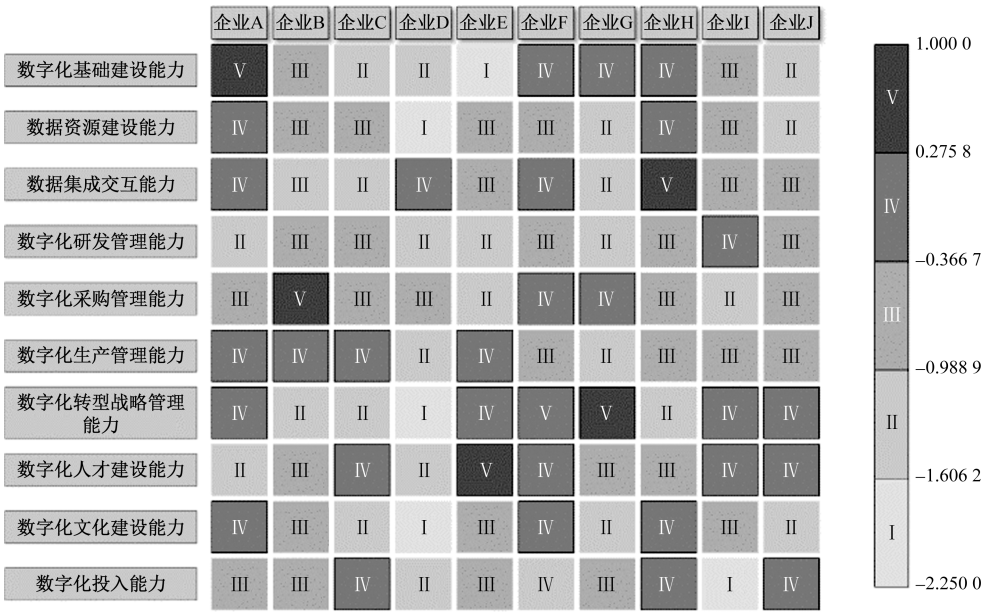


图 4　二级指标成熟度评价结果

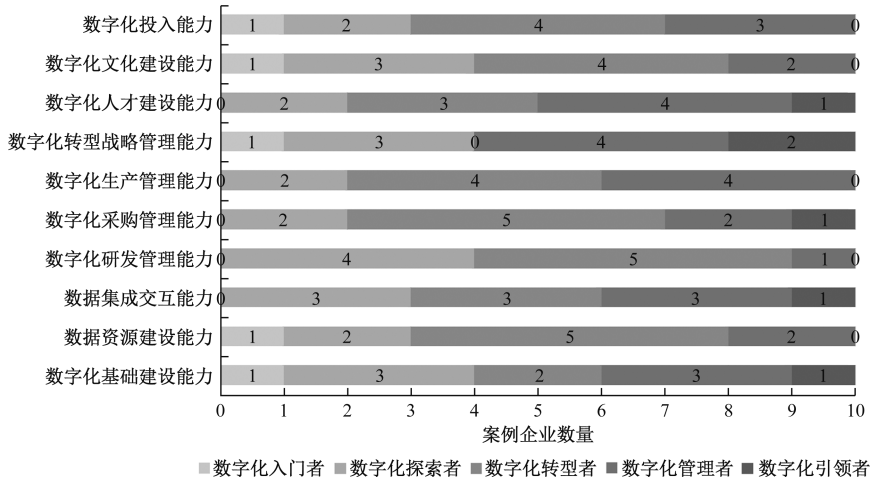


图 5　二级指标成熟度评价结果统计

5　结论与建议

通过对杭州市电子信息制造业企业进行案例分析，结合累积前景值得分和数字化转型成熟度划分，得到以下结论：①整体来看，在案例企业中，大多数企业的成熟度等级多处于数字化转型者阶段；②案例企业的数字化转型能力建设受多方面因素的影响，要实现数字化转型的高效与可持续发展，数字化技术能力、数字化管理能力以及数字化组织变革能力需协调提升，尤其是数字化技术能力相对薄弱，亟须加快提升；③案例企业在能力建设上仍有明显提升空间，特别是在数字化研发管理能力、数据资源建设能力及数字化文化建设方面，存在较大的发展潜力。

因此，从研究结论出发，分别从制造业案例企业本身、政府管理部门和数字化服务商 3 个维度出发，提出提升制造业案例企业数字化转型能力的对策建议。

（1）案例企业及制造业企业要注重技术、管理和组织多因素协同发展。在技术层面上，提高数据资源建设水平，重点加强工业数据存储基础设施投入，引入分布式存储与边缘计算技术，提升数据采集实时性与完整性；通过数据标准化提高数据的可用性和利用率，参照《工业数据分类分级指南》制定企业级数据安全标准，部署区块链技术，确保数据溯源与防篡改，推动研发与生产数据的标准化，实现跨部门数据互通；提高研发水平，应用数字孪生技术构建产品全生命周期仿真系统。在管理层面上，建立数字化转型专项小组，将数据利用率、研发

数字化覆盖率纳入管理层绩效考核。在组织层面,开展数字化培训项目,设立创新孵化基金,鼓励员工提出数字化改进方案。

(2)政府管理部门要建设制造业数字化转型信息平台,依托杭州的新制造业计划,开发区域性电子信息制造业转型监测平台,集成企业设备联网率、云平台使用率等关键指标,实现动态评估;对企业进行分类施策,针对中小规模企业提供轻量化转型补贴,对龙头企业则支持建设行业级工业互联网平台;培育打造制造业数字化转型生态,联合浙江大学等本地高校设立电子信息数字化实验室,定向输出解决方案,提高制造业企业数字化转型能力建设水平。

(3)数字化服务商应紧密围绕制造业企业的需求进行产品创新,并将创新与企业的业务流程深度结合,提供量身定制的服务及数字化咨询,帮助企业提升数字化技术能力,推动整体转型升级。

参考文献

[1] 石先梅. 制造业数字化转型的三重逻辑与路径探讨[J]. 当代经济管理, 2022, 44(9): 48-56.

[2] Accenture. 2024 埃森哲中国企业数字转型指数[EB/OL]. (2024-08-20)[2025-03-20]. https://www.accenture.cn/cn-zh/insights/strategy/china-digital-transformation-index.

[3] Accenture. 2023 埃森哲中国企业数字转型指数[EB/OL]. (2023-08-30)[2025-03-20]. https://www.accenture.com/cn-zh/insights/strategy/china-digital-transformation-index-2023.

[4] 沙子振, 张鹏. 核心能力与动态能力理论界定及关系辨析[J]. 华东经济管理, 2010, 24(10): 100-102.

[5] PRAHALAD C K, HAMEL G. The core competence of the corporation[M]. Boston: Harvard Business Review Press, 1990.

[6] BARTON L, DOROTHY L B. Core capabilities and core rigidities: a paradox in managing new product development[J]. Strategic Management Journal, 1992, 13(2): 111-125.

[7] TEECE D J, PISANO G P. The dynamic capabilities of firms: an introduction [J]. Industrial and Corporate Change, 1994, 3(3): 537-556.

[8] TEECE D J. Dynamic capabilities as (workable) management systems theory[J]. Journal of Management & Organization, 2018, 24(3): 359-368.

[9] HELFAT C E. RAUBITSCHEK R S. Dynamic and integrative capabilities for profiting from innovation in digital platform-based ecosystems[J]. Research Policy, 2018, 47(8): 1391-1399.

[10] 侯光文, 高晨曦. 数字化转型能力视角下企业网络结构对企业创新绩效的影响研究[J]. 科技管理研究, 2022, 42(1): 106-111.

[11] 陈畴镛, 许敬涵. 制造企业数字化转型能力评价体系及应用[J]. 科技管理研究, 2020, 40(11): 46-51.

[12] PATRICK M. ADAMANTIA P, ROGIE W. IT architecture flexibility and IT governance decentralisation as drivers of IT-enabled dynamic capabilities and competitive performance: the moderating effect of the external environment[J]. European Journal of Information Systems, 2021, 30(5): 512-540.

[13] 刘雅丽. 制造企业数字化转型能力成熟度评价研究[D]. 太原: 山西财经大学, 2022.

[14] 付宇涵, 王庆瑜, 王琦, 等. 制造企业数字化转型评价体系的构建与应用[J]. 科技管理研究, 2024, 44(18): 58-69.

[15] CHEN Q, ZHANG W, JIN N, et al. Digital transformation evaluation for small-and medium-sized manufacturing enterprises using the fuzzy synthetic method DEMATEL-ANP[J]. Sustainability, 2022, 14: 13038.

[16] 李君, 窦克勤, 周勇, 等. 基于成熟度视角的生产设备数字化管理能力评价研究[J]. 科技管理研究, 2023, 43(2): 57-64.

[17] 王小林, 杨志红. 高质量发展视角下企业数字化转型的机理[J]. 求索, 2022(4): 126-134.

[18] 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.

[19] 刘淑春, 闫津臣, 张思雪, 等. 企业管理数字化变革能提升投入产出效率吗[J]. 管理世界, 2021, 37(5): 170-190.

[20] ADRIAN Y, CHRISTINA S, RINA H. Aligning with new digital strategy: a dynamic capabilities approach [J]. Journal of Strategic Information Systems, 2018, 27(1): 43-58.

[21] 陈金丹, 王晶晶. 数字化投入与制造业创新效率[J]. 经济经纬, 2022, 39(3): 78-88.

[22] 耿煜, 郭敏强, 张运生, 等. 我国高职院校高端国际化数字化技能人才培养存在问题与发展对策: 基于深圳信息职业技术学院的实践[J]. 科技管理研究, 2023, 43(4): 119-126.

[23] 艾瑞咨询. 中国大型企业数字化升级路径研究[C]//2022 艾瑞咨询 12 月研究报告会论文集. 上海: 上海艾瑞市场咨询有限公司, 2022: 264-345.

[24] 艾瑞咨询. 中国车企数字化转型趋势系列研究之研发数字化篇[C]//艾瑞咨询系列研究报告. 上海: 上海艾瑞市场咨询有限公司, 2022: 169-226.

[25] 鲍勇剑. 协同论: 合作的科学—协同论创始人哈肯教授访谈录[J]. 清华管理评论, 2019(11): 6-19.

[26] FIRK S, GEHRKE Y, HANELT A, et al. Top management team characteristics and digital innovation: exploring digital knowledge and TMT interfaces[J]. Long Range Planning, 2022(3): 1-19.

[27] 陈庆江, 王彦萌, 万茂丰. 企业数字化转型的同群效应

及其影响因素研究[J]. 管理学报，2021，18(5)：653-663.
[28] 胡珊，杨梓桐，贾琦，等. 基于累积前景理论的老年智能导购车设计评价[J]. 机械设计，2022，39(2)：146-153.
[29] KAHNEMAN D，TVERSKY A. Prospect theory：an analysis of decision under risk[J]. Econometrica，1979，47(2)：263-291.
[30] TVERSKY A，KAHNEMAN D. Advances in prospect theory：cumulative representation of uncertainty[J]. Journal of Risk and Uncertainty，1992，5(4)：297-323.
[31] 郭缙烨，胡军红，傅文陵，等. 基于累积前景理论的共享停车泊位匹配模型[J]. 科学技术与工程，2024，24(28)：12357-12365.
[32] 卡耐基梅隆大学软件工程研究所. 能力成熟度模型CMM[M]. 北京：电子工业出版社，2001.
[33] 李海若，谢鹏，兰小平，等. 制造企业数字化转型能力成熟度评价模型研究[J]. 新技术新工艺，2023(2)：15-19.
[34] 朱伟，尹丽波，周剑，等. 创新驱动，高质发展：埃森哲中国企业数字转型指数[R]. 北京：国家工业信息安全发展研究中心，两化融合服务联盟，埃森哲公司，2018.
[35] 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.

Evaluation of Digital Transformation Capability of Manufacturing Enterprises Based on Cumulative Prospect Theory

DENG Guohua[1,2,3]，WANG Shengda[4]，XIE Shuyi[1]

(1. School of Business，Jianghan University，Wuhan 430056，China；2. Intelligent Decision Research Institute，Jianghan University，Wuhan 430056，China；3. Wuhan Urban Circle Manufacturing Development Research Center，Jianghan University，Wuhan 430056，China；4. Beijing Tongyu Zhicheng Technology Company，Beijing 100000，China)

Abstract：With the rapid development of new-generation digital technology，the importance of accurately assessing and grasping the development capability of digital transformation of manufacturing enterprises has become increasingly prominent in the process of promoting digital transformation. Based on the three dimensions of "digital technology capability，digital management capability and digital organizational change capability"，a digital transformation capability evaluation index system for manufacturing enterprises is constructed，and the comprehensive evaluation method combining AHP(analytic hierarchy process)，entropy weight，and cumulative prospect theory is introduced. Taking 10 manufacturing enterprises in Hangzhou as cases，an evaluation of their digital transformation capability is conducted. Relevant suggestions are put forward to manufacturing enterprises，government management departments and digital service providers on the problems encountered in their digital transformation process.

Keywords：manufacturing industry；digital transformation；capability evaluation；cumulative prospect theory