装备制造企业如何选择柔性制造策略？——基于制造合格率视角

王晓明†, 邱 瑶, 沈 焱, 唐小我

(电子科技大学 经济与管理学院, 成都 611731)

摘 要: 柔性制造是装备制造企业应对制造稳定性干扰、提升竞争优势的重要手段. 注意到现有文献较少关注制造稳定性与制造柔性量化这一不足, 本文分别用制造合格率和制造冗余量来刻画制造稳定性和制造柔性, 并在此基础上构建了一个关于装备制造企业制造合格率、制造柔性以及制造利润的统一分析框架, 用以考察并揭示装备制造企业柔性制造策略对其应对制造稳定性的影响. 研究结果表明：(1) 柔性制造策略的开展, 有助于装备制造企业提高应对环境变化的能力, 保证产品质量与数量, 进而促进制造利润增长. (2) 当单位制造成本较小时, 制造柔性水平与制造合格率呈倒 U 型变化趋势；而当单位制造成本较大时, 制造柔性水平与制造合格率呈正相关关系. (3) 单位质检成本的提高会迫使装备制造企业降低制造柔性水平, 并影响企业应对制造稳定性的能力, 最终导致制造利润受损.

关键词: 装备制造企业; 制造稳定性; 制造合格率; 柔性; 制造策略

中图分类号：F260 **文献标识码：**A

DOI:10.13195/j.kzyjc.2020.1027 **开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):**

How to Choose Flexible Manufacturing Strategy for Equipment Manufacturing Enterprises?——Based on the Perspective of Manufacturing Qualification Rate

WANG Xiao-ming†, QIU Yao, SHEN Yan, TANG Xiao-wo

(School of Management and Economics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: Flexible manufacturing is an important method for equipment manufacturing enterprises to interfere with manufacturing stability and enhance competitive advantage. Noting that the existing literature pays less attention to the quantification of manufacturing stability and manufacturing flexibility, in this paper, manufacturing qualification rate and manufacturing redundancy are used to describe manufacturing stability and manufacturing flexibility, on this basis, a unified analysis framework of manufacturing qualification rate, manufacturing flexibility and manufacturing profit of equipment manufacturing enterprises is constructed to investigate and reveal the influence of flexible manufacturing strategy on the stability of equipment manufacturing enterprises. The results show that: (1) The launching of flexible manufacturing strategy can help equipment manufacturing enterprises to improve their ability to cope with environmental changes, ensure the quality and quantity of products, and then promote the growth of manufacturing profits. (2) When the marginal cost of manufacturing is small, the level of manufacturing flexibility and the qualified rate of manufacturing show an inverted U-shaped trend; when the marginal cost of manufacturing is large, the level of manufacturing flexibility is positively correlated with the qualified rate of manufacturing. (3) The increase of quality inspection marginal cost will force equipment manufacturing enterprises to reduce the level of manufacturing flexibility, and affect the ability of enterprises to deal with manufacturing stability, and ultimately lead to the loss of manufacturing profits.

Key words: equipment manufacturing enterprises; manufacturing stability; manufacturing qualification rate; flexibility; manufacturing strategy

0 引 言

自金融危机爆发, 世界各国意识到“脱虚入实”的重要性, 纷纷推出制造业振兴计划[1]. 如美国自 2008 年以来, 先后通过了《重振制造业政策框架》、《振兴美国制造业和创新法案》等, 旨在加速制造业回归; 英国于 2013 年推出了《英国工业 2050 战略》, 力图推动本国制造业复苏和发展; 我国于 2015 年正式提出了《中国制造 2025》计划, 全面推

收稿日期: 2020-07-25; **修回日期:** 2020-10-20.

基金项目: 国家自然科学基金面上基金项目 (71672022); 教育部人文社科研究规划基金项目 (16YJA630044); 中国博士后科学基金特别资助项目 (2016T90846); 成都市哲学社会科学项目 (YY2320200449).

†通讯作者

进制造业的转型和升级. 作为制造业的核心组成部分, 装备制造业担负着为国民经济建设提供技术性制造装备的重任, 具有产业技术含量高、产业带动性强和产业波动面广的特点, 更是被公认为我国制造业振兴与发展的关键所在, 因而得到了国家的重点关注. 受益于国家产业政策的推动, 自改革开放以来, 经过近 40 年的持续发展, 我国装备制造业已经形成了较为完整的产业体系, 并取得了显著的发展成就. 工业和信息化部的数据显示: 2014-2019 年间, 我国装备制造业始终保持占规模以上工业增加值的比重超三成. 但应当看到, 我国装备制造业还存在自主创新能力弱、制造质量与效益低下、综合竞争力不强等问题[2]. 事实上, 我国装备制造业生产率仅为美国的 19%, 主要业务为加工制造, 产品研发与服务等高附加值领域则相对薄弱[3]. 在新一轮技术革命与我国经济加速转型的交汇时刻, 装备制造企业如何抓住机遇, 提升竞争优势, 实现转型升级, 成为亟待解决的问题.

转型意指企业经营业务和管理方式的改变. 基于战略视角, 企业转型主要表现为价值链升级[4], 其核心思想是: 通过制造流程与效率、产品与功能、价值链的重构与再造等方式, 推动企业完成经营转变, 进而实现竞争力的提升[5]. 以上思路为装备制造企业竞争优势提升提供了可行的路径方向. 但同时应当看到, 上述转型思路在价值定位上整体呈现出由低到高的趋势. 伴随着价值定位的提升, 企业转型所需具备的技术、管理等综合实力的要求也将更高[6]. 就现实情况而言, 装备制造业正处于转型升级阶段, 面临着技术、产业结构及品牌的低端锁定困境, 这将限制产品、功能及价值链的再造. 在上述因素约束的前提下, 装备制造企业应着眼于制造效率来实现竞争优势的提升. 实际上, 先进制造模式能通过快速集成制造资源来有效提高制造效率. 在制定计划时, 精益制造、智能制造与敏捷制造等典型的先进制造模式通常以“柔性”作为基本准则, 这意味着制造柔性已逐渐成为先进制造模式应对制造稳定性、市场需求波动性的动力来源.

制造柔性是指制造系统利用已有要素快速应对环境不确定性的能力[7]. 即从动因来看, 制造柔性源于环境的不确定性. 基于这一认识, 学者们从内部因素和外部因素两个视角, 对引发制造环境不确定性的因素进行了考察. 在内部影响因素研究方面, Fraccascia 等[8] 与关叶青等[9] 分别揭示了内部交易成本、生产成本对制造柔性的影响. 在外部影响因素研究方面, Palominos 等[10] 与 Chan 等[11] 分别提出了客户态度与外部供应链敏感性对制造柔性有显著影响的结论.

随着研究的深入, 学者们针对制造柔性类型展开了系列研究. Gupta 等[12] 首次提出了制造柔性的九个维度, 随后, Jain 等[13] 基于制造柔性所处阶段, 总结出组件、系统与总体制造柔性三个维度. Koste 等[14] 则根据制造柔性的状态, 将其分为实际制造柔性与管理者预估的潜在制造柔性. 按照制造柔性的作用范围, D’Souza 等[15] 认为制造柔性可划分为战略制造柔性与策略制造柔性.

在制造柔性的量化研究方面, 已有文献通常从定性与定量两个角度对制造柔性进行刻画与测量. 在定性角度, Narasimhan 等[16] 与 Alexopoulos 等[17] 分别通过执行能力与制造生命周期的概念模型来测量制造柔性. Dsouza 等[18] 则针对不同维度的制造柔性提出了理论分类测量法, 并以 240 家制造企业为样本进行验证. 而在定量角度, 吴秀丽等[19] 与吴锐等[20] 分别基于差分进化算法及人工群算法提出了制造柔性量化方式. Shuiabi 等[21] 则将熵值法运用到制造柔性测量中.

注意到制造柔性对企业适应环境变化的积极影响, 学者们逐渐将研究视线转向柔性制造策略. Wei 等[22] 与 Zhang 等[23] 分别通过实证分析与数学建模的方式, 证明了柔性制造策略与制造利润的正相关关系. Chan 等[24] 得出柔性制造策略能促进时装制造业利润发展的结论. 与此同时, Kortmann 等[25] 与李卫宁等[26] 分别揭示了运营灵活性、团队氛围对柔性制造策略与制造利润关系的调节. Fraccascia 等[8] 考察了不同交易成本下柔性制造策略的选择. 上述研究表明柔性制造策略与制造利润之间存在直接或间接的关系, 是企业竞争优势提升的重要途径.

以上研究为企业制造柔性的选择提供了理论借鉴. 但同时应当指出, 已有研究还存在以下不足: 首先, 对制造柔性量化的关注相对较少, 尤其缺乏从制造系统自身特性角度对制造柔性量化的研究. 事实上, 制造柔性量化是制定柔性制造策略的前提, 制造柔性量化的精准性势必将影响柔性制造策略的有效性. 但应当指出, 制造柔性的刻画往往并不是孤立的, 要提高刻画的精准性, 就需要将其置立于特定的场景中, 并以揭示制造稳定性对其影响作为前提. 因此, 在量化制造柔性时, 首先需要梳理制造稳定性与制造柔性的内在联系.

其次, 多数文献均独立分析制造稳定、制造柔性与制造利润之间的关系, 未能系统考察上述三类因素之间的内在逻辑关系. 事实上, 制造柔性与制造利润的关系一直是学者们研究的热点问题, 但已有研究未考虑制造稳定性的影响. 然而, 如前文所述, 制造稳定性能对制造柔性产生影响, 而制造柔性对制造利润的影响是显然的, 因此, 有必要综合考虑制造稳定性、制造柔性与制造利润的逻辑一致性关系.

考虑上述因素, 本文设计了一个由单个制造环节构成的制造系统, 重点考察了制造稳定性影响下, 装备制造企业的柔性制造策略选择. 本文力求构建

一个关于制造稳定性、制造柔性与制造利润的统一分析框架, 用以揭示上述三个因素之间的逻辑关系. 具体而言, 本文旨在通过模型求解与静态分析, 回答如下问题: (1) 当环境不确定性影响制造稳定性时, 装备制造企业该如何选择合适的制造柔性水平以提高制造利润？(2) 制造稳定性、单位制造成本和质检成本如何综合影响装备制造企业制造柔性的选择？上述问题的解答将为装备制造企业柔性制造策略的制定与实施提供参考.

1 模型设计

为描述装备制造企业制造稳定性、制造柔性与制造利润之间的内在影响逻辑, 作如下假设:

假设 1: 鉴于装备制造业 (尤其是重大装备制造业) 具有资金密集、技术壁垒高等特征, 假设在市场中有一个由装备制造企业 A 组成的垄断市场, 装备制造企业 A 负责某类装备产品的制造与销售, 该装备产品的市场需求曲线为 $q=a-bp$. 其中, q 为市场需求; a 为该市场的总体需求, 充分大; b 为价格敏感系数, 大于 0; p 为该产品的销售价格.

假设 2: 在装备产品的制造过程中, 制造稳定性往往会影响到制造质量. 因此, 用制造合格率 θ 来刻画装备制造企业的制造稳定性, 令 $\theta\in(0,1)$. 为满足市场需求, 装备制造企业 A 会按照 q_e 的产量进行计划制造. 同时, 为了应对制造合格率的影响, 装备制造企业 A 还会额外制造 q_x 的产量来保持灵活性, 即 q_x 表示为制造柔性. 最终, 装备制造企业 A 向市场提供的产品数量为 $q=\theta\left(q_e+q_x\right)$.

假设 3: 为保证装备产品的制造, 装备制造企业 A 需要投入相应制造成本. 其中, 计划产量部分的制造成本为 $C_e=cq_e$, c 为固定的单位制造成本. 柔性产量部分的制造成本为 $C_x=cq_x+q_x^2/2$, 除开正常的制造成本外, 装备制造企业保持制造柔性还需付出额外的成本, 且随着制造柔性的增加, 其成本也将大幅提升, 比如员工加班、制造设备超负荷制造等. 因此, 可采用二次函数对制造柔性的成本进行刻画. 此外, 当装备产品完成制造后, 装备制造企业 A 还会对其进行质检, 质量合格的装备产品才会销往市场, 质检成本 $C_t=t\left(q_e+q_x\right)$, t 为单位装备产品的质检成本, 为固定常数. 基于上述分析, 可得装备制造企业 A 的制造成本为 $C=(c+t)(q_e+q_x)+q_x^2/2$.

根据上述假设, 可得制造柔性的预期利润为 $\pi\left(q_x\right)=p\theta q_x-cq_x-q_x^2/2-tq_x$. 可以印证 $\pi\left(q_x\right)$ 对 q_x 呈凹性, 因此该约束的最优化一阶条件为 $\partial\pi\left(q_x\right)/\partial q_x=p\theta-c-q_x-t$. 综上, 装备制造企业 A 的决策行为可以表示为:

$$\max\pi\left(q\right)=\left(p\theta-c-t\right)\left(q_e+q_x\right)-q_x^2/2$$

$$s.t.\begin{cases}\theta\left(q_e+q_x\right)=a-bp\\ p\theta-c-q_x-t=0\end{cases}\tag{1}$$

2 模型均衡

下面运用逆向归纳法, 求解装备制造企业 A 的最优制造柔性策略. 对于最优化问题 (1), 首先求其约束条件, 可得

$$\begin{cases}q_e=(a-bp)/\theta-p\theta+t+c\\ \mathrm{q}_x=p\theta-c-t\end{cases}\tag{2}$$

将式子 (2) 代入到式子 (1) 的函数中, 可得

$$\begin{aligned}\max\pi\left(q\right)=&-\left(b+\frac{\theta^2}{2}\right)p^2+ap-\frac{\left(c+t\right)^2}{2}\\&+\left(c+t\right)\left(\frac{b}{\theta}+\theta\right)p-\frac{a\left(c+t\right)}{\theta}\end{aligned}\tag{3}$$

根据式子 (3) 可以验证 $\pi\left(q\right)$ 是 p 的凹二次函数, 目标函数存在最优解. 综合式子 (1)~(3), 可得在串联制造结构下各变量均衡结果, 如表 1 所示.

表 1 装备制造企业柔性制造策略均衡结果

主要变量	均衡结果
最优市场销售价格 p^*	$\frac{a\theta+\left(c+t\right)\left(b+\theta^2\right)}{\theta\left(\theta^2+2b\right)}$
最优计划制造产量 q_e^*	$\frac{b\left[a\theta-b\left(c+t\right)\right]}{\theta^2\left(\theta^2+2b\right)}$
最优制造柔性 q_x^*	$\frac{a\theta-b\left(c+t\right)}{\theta^2+2b}$
销往市场的装备量 q^*	$\frac{\left(\theta^2+b\right)\left[a\theta-b\left(c+t\right)\right]}{\theta\left(\theta^2+2b\right)}$
最优计划制造利润 $\pi\left(q_e^*\right)$	$\frac{b[a\theta-b\left(c+t\right)]^2}{\theta^2(\theta^2+2b)^2}$
最优制造柔性利润 $\pi\left(q_x^*\right)$	$\frac{\left[a\theta-b\left(c+t\right)\right]^2}{2(\theta^2+2b)^2}$
制造利润 $\pi\left(q^*\right)$	$\frac{\left[a\theta-b\left(c+t\right)\right]^2}{2\theta^2\left(\theta^2+2b\right)}$

应当注意, 为保证上述均衡结果非负, 柔性制造策略需满足约束条件 $\theta\in\left(b\left(c+t\right)/a,1\right)$. 这表明装备制造企业实施柔性制造策略前提是制造稳定性处于可接受的范围.

3 模型均衡分析

本小节比较模型均衡性质. 为集中讨论制造柔性、制造合格率、单位制造成本与单位质检成本对模型均衡的影响, 固定模型中涉及的其他外生变量.

3.1 制造柔性影响分析

命题 1 给定假设和参数, 柔性制造策略引入后, 装备制造企业 A 的产品销售价格 p^* 减少, 而市场销售量 q^* 将增加. 最终在上述因素的双重影响下, 装备制造企业 A 的制造利润 $\pi(q^*)$ 提高.

证明

若不引入柔性制造策略, 装备制造企业 A 最优价格、最优市场销售量和最优制造利润水平则分别为 $p_i = \dfrac{b(c+t)+a\theta}{2b\theta}$、$q_i = \dfrac{a\theta - b(c+t)}{2\theta^2}$、$\pi(q_i) = \dfrac{[b(c+t)-a\theta]^2}{4b\theta^2}$. 相对应的, 依次计算 Δp_i、Δq_i 和 $\Delta\pi(q_i)$, 可得柔性制造策略对装备制造企业 A 价格、总产量以及总产出利润的影响分别为

$$\Delta p_i = \frac{a\theta + (c+t)(b+\theta^2)}{\theta(\theta^2+2b)} - \frac{b(c+t)+a\theta}{2b\theta} \tag{4}$$

$$\Delta q_i = \frac{(\theta^2+b)[a\theta - b(c+t)]}{\theta(\theta^2+2b)} - \frac{a\theta - b(c+t)}{2\theta^2} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}\Delta\pi(q_i) =& \frac{a^2\theta^2 - 2ab\theta(c+t) + b^2(c+t)^2}{2\theta^2(\theta^2+2b)} \\ & - \frac{[b(c+t)-a\theta]^2}{4b\theta^2}\end{aligned} \tag{6}$$

对于式子 (4), 通分后得到 $\Delta p_i = [b\theta(c+t) - a\theta^2]/[2b(\theta^2+2b)]$, 在非负约束下, 可得 $\Delta p_i < 0$. 类似的, 对于式子 (5), 可得 $\Delta q_i > 0$.

对于式子 (6), 通分后的结果为 $\Delta\pi(q_i) = \left[c^2 + 2(t-p\theta)c + (p-t)^2\right]\Big/2$, 其分子为关于 c 的 2 次函数, 求其解并结合函数图像性质, 可得 $\Delta\pi(q_i) > 0$.

命题 1 证实了装备制造企业开展柔性制造策略的意义. 制造稳定性的存在通常会干扰装备制造企业的制造与经营, 柔性制造策略的推进将减少制造稳定性对制造过程的不利影响, 进而促进装备产品制造与制造利润的增长.

3.2 制造合格率影响分析

命题 2 随着制造合格率 θ 的增加, 装备制造企业的均衡结果如下:

(1) 当单位制造成本 c 较小时, 制造柔性 q_x^* 呈倒 U 型变化趋势; 当单位制造成本 c 较大时, 制造柔性 q_x^* 增加.

(2) 市场销售销售量 q^* 与制造利润 $\pi(q^*)$ 增加, 而市场销售价格 p^* 减少.

证明 首先证明 (1). 求制造柔性 q_x^* 关于制造合格率 θ 的偏导, 得到

$$\frac{\partial {q_x}^*}{\partial\theta} = \frac{2b\theta(c+t) + a(2b-\theta^2)}{(\theta^2+2b)^2} \tag{7}$$

对于式子 (7), 其分子为关于 θ 的 2 次函数且其最高项系数小于 0, 求其解并结合 2 次函数图像性质可得, 存在一个临界值 θ_j 使得: 当 $\theta \in (b(c+t)/a, \theta_j)$ 时, $\partial {q_x}^*/\partial\theta > 0$; 当 $\theta \in (\theta_j, 1)$ 时, $\partial {q_x}^*/\partial\theta < 0$.

对于 (2), 分别求市场销售销售量 q^*、制造利润 $\pi(q^*)$ 与市场销售价格 p^* 关于制造合格率 θ 的偏导, 得到

$$\frac{\partial p^*}{\partial\theta} = -\frac{(c+t)[\theta^2(\theta^2+b)+2b^2]+2a\theta^3}{\theta^2(\theta^2+2b)^2} \tag{8}$$

$$\frac{\partial q^*}{\partial\theta} = \frac{(c+t)[\theta^2(\theta^2+b)+2b^2]+2a\theta^3}{\theta^2(\theta^2+2b)^2} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial\pi(q^*)}{\partial\theta} =& -\left\{2b^2(c+t) + \theta^2[2b(c+t)-a\theta]\right\} \\ & \frac{[b(c+t)-a\theta]}{\theta^3(\theta^2+2b)^2}\end{aligned} \tag{10}$$

对于式子 (8) 与 (9), 固定其他参数取值, 可以验证 $\partial p^*/\partial\theta < 0$, $\partial q^*/\partial\theta > 0$.

对于式子 (10), 根据 $\theta \in (b(c+t)/a, 1)$ 这一技术约束, 可得 $\partial\pi(q^*)/\partial\theta > 0$.

命题 2 表明制造合格率是影响装备制造企业制造柔性选择的关键因素. 随着制造合格率的提高, 在理论上, 装备制造企业对制造柔性的需求将不断减少. 但同时注意到, 单位制造成本将对制造柔性的选择产生影响. 当单位制造成本较小时, 随着制造合格率的增加, 制造柔性将呈倒 U 型变化趋势, 具体而言: 当制造合格率较小时, 为保证产品质量与数量, 企业应不断增加制造柔性; 当制造合格率较大时, 企业只需保持较低水平的制造柔性即可保证产品品质. 而当单位制造成本较大时, 表明装备制造企业在成本方面处于劣势, 企业会通过增加制造柔性来推动其在应对制造稳定性方面的优势形成, 进而实现制造利润的提高.

3.3 质检成本影响分析

命题 3 随着单位质检成本 t 的增加, 装备制造企业 A 的最优市场销售量 q^*、最优制造柔性 q_x^* 与总利润 $\pi(q^*)$ 会下降, 而最优产品销售价格 p^* 将提高.

证明

$$\partial p^*/\partial t = \left(\theta^2+b\right)\Big/\left[\theta\left(\theta^2+2b\right)\right] \tag{11}$$

$$\partial q^*/\partial t = -\left[b^2\left(\theta^2+b\right)\right]\Big/\left[\theta\left(\theta^2+2b\right)\right] \tag{12}$$

$$\partial {q_x}^*/\partial t = -(b)\Big/\left(\theta^2+2b\right) \tag{13}$$

$$\partial\pi(q^*)/\partial t = b[b(c+t)-a\theta]\Big/\left[\theta^2\left(\theta^2+2b\right)\right] \tag{14}$$

对于式子 (11)~(13), 在给定参数取值范围的前提下, 可得 $\partial p^*/\partial t > 0$, $\partial q^*/\partial t < 0$ 及 $\partial {q_x}^*/\partial t < 0$.

对于式子 (14), 根据 $\theta \in (b(c+t)/a, 1)$ 这一技

术约束, 可得 $\partial\pi(q^*)/\partial t < 0$.

命题 3 表明, 随着单位质检成本的增加, 装备制造企业会不断降低制造柔性水平, 进而影响制造利润. 质检的开展在保障装备制造企业产品质量与制造效率的同时, 需投入相应成本. 因此对制造柔性而言, 随着单位质检成本的增加, 装备制造企业开展柔性制造策略的成本将不断上升, 当保持较高水平的制造柔性变得不经济时, 企业会选择更低水平的制造柔性, 进而导致其应对制造稳定性的能力不足, 并最终引起制造利润的下滑.

综合命题 1~3 可见, 柔性制造策略是促进装备制造企业制造利润增长及实现转型升级的有效途径, 制造柔性的选择则受制造稳定性、制造成本与质检成本的共同影响. 具体而言, 当单位制造成本较小时, 制造柔性将随着制造合格率的增长呈倒 U 型变化趋势; 当单位制造成本较大时, 装备制造企业需通过增加制造柔性来形成柔性优势. 此外, 为保证产品质量, 装备制造企业还需进行质检, 而该过程存在相应成本. 随着单位质检成本的增加, 制造柔性成本不断上升, 一旦出现制造柔性单位净利润为负值的情况, 装备制造企业应减少制造柔性并通过调整市场销售价格来维持产出绩效. 最终, 在上述要素的综合影响下, 装备制造企业选择最优匹配的制造水平.

4 结论

本文基于对实践的观察与总结, 通过建模的方式对考虑制造稳定性下柔性制造策略的制定与实施进行了考察. 在处理时, 运用比较静态法分析了装备制造企业制造稳定性、单位制造成本、单位质检成本与制造利润之间的逻辑关系, 结果显示:

(1) 柔性制造策略对装备制造企业的制造利润存在直接促进作用. 柔性制造策略的开展有效缩短了系统的环境变化反应时间, 进而提升了装备制造企业应对制造稳定性的能力, 可以说柔性制造策略是企业竞争优势形成、实现转型升级的有效途径.

(2) 单位制造成本与制造合格率直接影响装备制造企业的柔性制造策略选择. 当单位制造成本较小时, 制造合格率为影响制造利润的首要因素, 伴随其增长, 制造柔性呈倒 U 型变化趋势; 反之, 单位制造成本较大时, 为巩固并提高现有制造利润, 装备制造企业会不断增加制造柔性.

(3) 随着单位质检成本的增加, 装备制造企业需不断降低制造柔性水平. 企业推行柔性制造策略, 不仅需要投入制造成本, 还需投入质检成本. 单位质检成本的增加, 无疑将增加制造柔性的成本, 进而削减单位制造柔性的净利润, 并最终导致装备制造企业选择更低水平的制造柔性.

综合而言, 本文构建了一个关于制造稳定性、制造柔性与制造利润的统一分析框架, 力求直观、清晰地展示制造稳定性对柔性制造策略选择的影响, 进而为实际的装备制造企业转型升级提供参考. 但同时应当注意到, 本文主要基于单个环节的制造系统考察制造稳定性对柔性制造策略选择的影响. 而事实上, 装备制造企业制造过程通常会涉及 2 个及以上制造环节, 随着制造结构的变化, 制造稳定性、制造柔性与制造利润之间的逻辑关系也会发生相应变化, 这无疑使得上述命题在应用推广方面受到限制. 因此, 在后续研究中, 可对单结构模型进一步扩展, 从多个制造环节的角度考察在制造稳定性影响下, 柔性制造策略与制造利润之间的最优匹配关系.

参考文献 (References)

[1] 赵子健, 傅佳屏. 中国装备制造业的区域差异、影响因素与高端化战略 [J]. 系统管理学报, 2020, 29(01): 21-30.
(Zhao Z J, Fu J P. Regional differences, influencing factors and high-end strategy of China's equipment manufacturing industry[J]. Journal of Systems & Management, 2020, 29(01): 21-30.)

[2] 唐红祥, 张祥祯, 吴艳, 等. 中国制造业发展质量与国际竞争力提升研究 [J]. 中国软科学, 2019, (02): 128-142.
(Tang H X, Zhang X Z, Wu Y, et al. Research on the Development Quality of China's Manufacturing Industry and the Improvement of International Competitiveness [J]. China Soft Science, 2019, (02): 128-142.)

[3] 孙立缘, 罗建强, 李锦飞. 制造企业服务衍生的价值创造机理研究 [J]. 管理学报, 2017, 14(12): 1840-1846.
(Sun L Y, Luo J Q, Li J F. Research on the value creation mechanism of service derived manufacturing enterprises[J]. Chinese Journal of Management, 2017, 14(12): 1840-1846.)

[4] 高翔, 黄建忠, 袁凯华. 价值链嵌入位置与出口国内增加值率 [J]. 数量经济技术经济研究, 2019, 36(06): 41-61.
(Gao X, Huang J Z, Yuan K H. Embedded position of value chain and export domestic value added rate[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2019, 36(06): 41-61.)

[5] 王晓明, 沈焱, 张均强, 等. 基于制造稳定性的电力装备制造企业柔性制造策略研究 [J]. 中国软科学, 2020, (08): 122-130.
(Wang X M, Shen Y, Zhang J Q, et al. Research on flexible manufacturing strategy for electric power equipment manufacturing enterprises based on manufacturing stability [J]. China Soft Science, 2020, (08): 122-130.)

[6] 王成东, 蔡渊渊. 全球价值链下产业研发三阶段效率研究: 以中国装备制造业为例 [J]. 中国软科学, 2020, (03): 46-56.
(Wang C D, Cai Y Y, Research on the efficiency of three stages of industrial R&D under the global value chain: taking China's equipment manufacturing industry as an example[J]. China Soft Science, 2020, (03): 46-56.)

[7] Perez M P, Bedia A M S, Fernandez M C L. A review of manufacturing flexibility: systematising the concept[J]. International Journal of Production Research, 2016, 54(10): 3133-3148.

[8] Fraccascia L, Yazan D M, Albino V, et al. The role of redundancy in industrial symbiotic business development: A theoretical framework explored by agent-based simulation [J].

International Journal of Production Economics, 2020, 221: 107471.

[9] 关叶青, 朱颖, 谢乃明. 考虑多成本约束的柔性作业车间制造资源动态分配模型 [J]. 控制与决策, 2018, 33(11): 2037-2044.
(Guan Y Q, Zhu Y, Xie N M. Dynamic allocation model of manufacturing resources in flexible job shop considering multiple cost constraints[J]. Control and Decision, 2018, 33(11): 2037-2044.)

[10] Palominos P, Quezada L E, Gonzalez M. Incorporating the voice of the client in establishing the flexibility requirement in a production system [J]. International Journal of Production Economics, 2019, 211: 34-43.

[11] Chan A T L, Ngai E W T, Moon K K. The effects of strategic and manufacturing flexibilities and supply chain agility on firm performance in the fashion industry [J]. European Journal of Operational Research, 2017, 259(2): 486-499.

[12] Gupta Y P, Somers T M. The measurement of manufacturing flexibility [J]. European Journal of Operational Research, 1992, 60(2): 166-182.

[13] Jain A, Jain P K, Chan F T S, et al. A review on manufacturing flexibility [J]. International Journal of Production Research, 2013, 51(19): 5946-5970.

[14] Koste L L, Malhotra M K, Sharma S C. Measuring dimensions of manufacturing flexibility [J]. Journal of Operations Management, 2004, 22(2): 171-196.

[15] D'Souza D E, Williams F P. Toward a taxonomy of manufacturing flexibility dimensions [J]. Journal of Operations Management, 2000, 18(5): 577-593.

[16] Narasimhan R, Talluri S, Das A. Exploring flexibility and execution competencies of manufacturing firms [J]. Journal of Operations Management, 2004, 22(1): 91-106.

[17] Alexopoulos K, Mourtzis D, Papakostas N, et al. DESYMA: assessing flexibility for the lifecycle of manufacturing systems [J]. International Journal of Production Research, 2007, 45(7): 1683-1694.

[18] Dsouza D E, Williams F P. Toward a taxonomy of manufacturing flexibility dimensions [J]. Journal of Operations Management, 2000, 18(5): 577-593.

[19] 吴秀丽, 袁琦. 差分进化算法求解带批处理机的机器人制造单元调度问题 [J]. 控制与决策, 2020, 35(01): 74-82.
(Wu X L, Yuan Q. Differential evolution algorithm for robot manufacturing cell scheduling problem with batch processor[J]. Control and Decision, 2020, 35(01): 74-82.)

[20] 吴锐, 郭顺生, 李益兵, 等. 改进人工蜂群算法求解分布式柔性作业车间调度问题 [J]. 控制与决策, 2019, 34(12): 2527-2536.
(Wu R, Guo S S, Li Y B, et al. Improved artificial bee colony algorithm for distributed flexible job shop scheduling problem[J]. Control and Decision, 2019, 34(12): 2527-2536.)

[21] Shuiabi E, Thomson V, Bhuiyan N. Entropy as a measure of operational flexibility [J]. European Journal of Operational Research, 2005, 165(3): 696-707.

[22] Wei Z L, Song X, Wang D H. Manufacturing flexibility, business model design, and firm performance [J]. International Journal of Production Economics, 2017, 193: 87-97.

[23] Zhang Q, Vonderembse M A, Lim J. Manufacturing flexibility: defining and analyzing relationships among competence, capability, and customer satisfaction [J]. Journal of Operations Management, 2003, 21(2): 173-191.

[24] Chan A T L, Ngai E W T, Moon K K L. The effects of strategic and manufacturing flexibilities and supply chain agility on firm performance in the fashion industry [J]. European Journal of Operational Research, 2017, 259(2): 486-499.

[25] Kortmann S, Gelhard C V, Zimmermann C, et al. Linking strategic flexibility and operational efficiency: the mediating role of ambidextrous operational capabilities [J]. Journal of Operations Management, 2014, 32(7): 475-490.

[26] 李卫宁, 亢永, 吕源. 动态环境下 TMT 团队氛围、战略柔性与企业绩效关系研究 [J]. 管理学报, 2016, 13(02): 195-202.
(Li W N, Kang Y, Lu Y. TMT team climate, strategic flexibility and firm performance in dynamic environment[J]. Chinese Journal of Management, 2016, 13(02): 195-202.)

作者简介

王晓明 (1982—), 男, 副教授, 博士, 从事制造策略与商业模式创新的研究, E-mail: Wangxm@uestc.edu.cn;

邱瑶 (1996—), 女, 硕士生, 从事制造策略与制造柔性的研究, E-mail: 15179338969@163.com;

沈焱 (1972—), 女, 副教授, 博士, 从事模式创新与机制设计的研究, E-mail：Shenyan@ uestc.edu.cn;

唐小我 (1955—), 男, 教授, 博士生导师, 从事供应链管理、管理经济的研究. E-mail: Xwtang@uestc.edu.cn.