

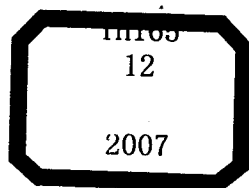
华中生 编著

柔性制造系统和柔性供应链

——建模、决策与优化



科学出版社
www.sciencep.com



柔性制造系统和柔性供应链 —建模、决策与优化

华中生 编著

科学出版社
北京

内 容 简 介

在衡量企业与供应链竞争力的指标中柔性是与成本、质量和交货期同等重要的。柔性这一竞争力指标不仅涉及其实现过程的技术问题，还涉及企业与供应链运作管理中的决策与协调问题，进而成为企业与供应链战略管理的一个重要内容。目前，制造型企业中有关柔性制造系统管理与决策的原则与方法，有向服务型企业管理和运作管理之外的其他管理领域拓展的趋势。

本书从柔性改善的建模方法、决策问题与优化的角度介绍柔性制造系统和柔性供应链管理的相关理论与方法，侧重说明管理与决策在改善柔性方面的作用、柔性的有关新思想和新方法，并试图建立从企业到供应链柔性改善方法的桥梁。本书对各种层次的柔性及其相关决策与优化问题进行了系统地介绍，而对于柔性制造系统硬件结构和底层控制方面等属于技术范畴的内容只进行简略介绍。

本书可作为运作管理、管理工程和工业工程等专业研究生教材，也可供企业和供应链管理的实践者和高层管理者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

柔性制造系统和柔性供应链：建模、决策与优化/华中生编著. —北京：科学出版社，2007

ISBN 978-7-03-018424-5

I. 柔… II. 华… III. ①柔性制造系统 ②工业企业管理：供销管理
IV. TH165 F405

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 002510 号

责任编辑：吴凡洁 于宏丽/责任校对：张 琪

责任印制：安春生/封面设计：耕者工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

天时彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 1 月第 一 版 开本：B5 (720×1000)

2007 年 1 月第一次印刷 印张：20 1/4

印数：1—3 000 字数：383 000

定价：48.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换〈双青〉)

前 言

柔性制造系统 (flexible manufacturing system, FMS) 是一个与自动化技术和信息技术密切关联的先进制造技术。目前已有的有关柔性制造系统方面的专著, 大多是从技术的视觉去研究柔性制造系统的构成与性能改善等问题。从这种先进制造技术应用的角度看, 有关的管理和决策问题尤为重要。本书就是从建模、决策与优化的角度研究柔性制造系统应用的尝试。鉴于柔性已成为企业与供应链的一个重要竞争力指标, 本书介绍了柔性供应链管理的概念及其管理决策的有关内容, 并试图架起柔性制造系统和柔性供应链决策的桥梁, 为柔性供应链管理这一前沿研究领域的发展提供参考和支持。

本书的内容共 15 章, 可以分为 3 个部分, 即柔性制造系统的基础与建模方法 (第 2~6 章), 柔性制造系统的决策问题及其求解方法 (第 7~11 章), 柔性制造系统的研究成果向人力资源管理与供应链管理拓展 (第 12~15 章)。

第 1 章属于导论性质, 其目的在于说明柔性成为企业与供应链重要竞争力指标的背景和柔性的主要作用, 并从管理与决策的角度分析说明从柔性制造系统到柔性供应链发展的必要性和需要克服的主要障碍。

在柔性制造系统的基础与建模方法部分, 第 2 章总结了柔性制造系统的发展过程, 不同类型和层次的柔性定义和相互关系, 并对柔性制造系统的发展趋势进行了展望。第 3 章介绍柔性制造系统的总体结构和分层结构, 以及柔性制造系统中软硬件之间的关系, 为全面地理解柔性制造系统的管理与决策问题提供技术与硬件方面的支持。第 4 章描述柔性制造系统的常用建模方法, 包括离散事件动态系统 (含马尔可夫链模型、排队论和 Petri 网模型)、多代理系统和数学规划建模方法等。第 5 章概括了柔性制造系统中的各种决策问题的主要内涵及其层次关系, 其目的在于明确建模、优化与决策问题在柔性制造系统中的定位和作用。第 6 章介绍柔性制造系统的优化与控制问题, 如装载、调度以及死锁控制。这类问题的特点是: 只涉及设备层的优化, 一般时间跨度较短, 且大部分问题具有动态性与实时性。

在柔性制造系统的决策问题及其求解方法部分, 第 7 章给出考虑产品结构约束的柔性制造系统能力决策模型, 并介绍在能力决策模型中风险的描述方法。第 8 章描述确定需求下柔性制造系统的能力决策问题的求解方法, 包括基于分解协调的能力决策问题求解方法和基于分组遗传算法的求解方法。第 9 章总结了随机需求下柔性制造系统能力决策问题的解决方法。第 10 章首先介绍过程柔性的概

念和目前两种主要的柔性测度方法，然后以“链规则”为核心介绍生产系统柔性的结构特性及其在生产系统柔性改善和能力决策中的应用。第 11 章研究了在不同生产情形下考虑产品结构约束时柔性制造系统的过程柔性及其测度；总结了不同生产情形下达到高柔性的生产系统结构特征；提出了给定不同的产品结构与生产线布局时改善过程柔性的规则与方法，应用这些规则可以不必求解复杂的优化问题而给出高质量的生产系统布局调整的建议。第 10 章和第 11 章的内容为柔性制造系统的研究成果向人员柔性和供应链柔性拓展提供了基础。

在柔性制造系统研究成果的拓展部分，第 12 章首先将设备柔性的有关研究成果拓展到员工柔性的研究上，给出了员工功能柔性的定义，并介绍了应用员工功能柔性的方式及员工技能的协调策略。第 13 章将企业柔性的有关研究成果拓展到供应链运作管理中，给出了供应链柔性的定义，描述了供应链效率的测度方法，分析了供应链柔性与供应链效率的关系，并用仿真方法说明了供应链柔性的作用。第 14 章介绍考虑柔性的供应链能力决策模型，并给出了随机需求下模型的求解方法。第 15 章总结了基于 DEA (data envelopment analysis, 数据包络分析) 的供应链绩效评价与改善方法，并提出了基于 DEA 的柔性供应链建模方法构想。

本书的内容主要来自于作者在柔性制造系统和柔性供应链方面的长期研究，部分内容是作者对研究过程中所涉及文献内容的综述和归纳。作者的博士生黄飞华、王昱、何平、杨杰、张斌、吴三平和查迎春参与了本书初稿的部分编写工作。

本书涉及的有关研究工作，得到了国家自然科学基金 (70571073) 和教育部博士学科点专项科研基金 (20050358002) 的资助，在此表示衷心的感谢。

由于柔性制造系统和柔性供应链是处在迅速发展中的学科，编写本书是一项新的尝试。因此，书中错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2006 年 11 月

目 录

前言

第 1 章 引言	1
1.1 柔性的作用	1
1.2 柔性 with 范围经济	3
1.3 柔性 with 不确定性	6
1.4 从柔性制造系统到柔性供应链	9
1.5 本书的特点	12
参考文献	14
第 2 章 柔性制造系统的发展	18
2.1 柔性制造系统的发展过程	18
2.2 柔性的种类及其相互关系	22
2.3 柔性制造系统发展的趋势	27
2.4 本章总结	30
参考文献	30
第 3 章 柔性制造系统的结构	33
3.1 柔性制造系统的总体结构	33
3.2 柔性制造系统的分层结构	35
3.3 软硬件关系	42
3.4 本章总结	48
参考文献	48
第 4 章 柔性制造系统的建模方法	50
4.1 离散事件动态系统建模方法	50
4.2 基于多代理系统的建模方法	68
4.3 基于数学规划的建模方法	73
4.4 本章总结	76
参考文献	77
第 5 章 柔性制造系统的决策问题	80
5.1 FMS 中决策问题的层次框架	80
5.2 FMS 的综合能力规划问题	81
5.3 FMS 系统设计决策问题	87

5.4	FMS 生产计划决策问题	90
5.5	FMS 调度决策问题	92
5.6	本章总结	95
	参考文献	95
第 6 章	柔性制造系统的优化与控制	97
6.1	优化与控制概述	97
6.2	FMS 中的装载问题	98
6.3	FMS 中的调度问题	101
6.4	FMS 的死锁控制	107
6.5	本章总结	110
	参考文献	111
第 7 章	考虑产品结构约束的柔性制造系统能力决策模型	115
7.1	应用 SMT 的 PWB 生产过程	115
7.2	应用 SMT 技术的 PWB 生产线简介	116
7.3	应用 SMT 技术的 PWB 生产线能力规划问题	117
7.4	能力决策中的风险问题	121
7.5	本章总结	132
	参考文献	132
第 8 章	确定需求下柔性制造系统的能力决策	134
8.1	确定需求无外包条件下 SMT 生产线能力规划问题及其求解	134
8.2	确定需求有外包条件下的能力决策问题	154
8.3	求解大规模整数规划的分组遗传算法	170
8.4	基于结构特性的分组遗传算法在求解 FMS 能力决策问题中的应用	177
8.5	本章总结	182
	参考文献	182
第 9 章	随机需求下柔性制造系统的能力决策	184
9.1	随机需求下 SMT 生产线的能力扩张模型	184
9.2	单阶段随机需求下略集的确切方法	186
9.3	多阶段随机需求下增装略集的确切方法	195
9.4	搜索略集的适应性遗传算法	198
9.5	仿真实验	201
9.6	本章总结	209
	参考文献	210

第 10 章 过程柔性的结构特征	211
10.1 过程柔性的概念与测度方法	211
10.2 过程柔性的结构特性	218
10.3 根据链规则改善生产系统过程柔性的实例	220
10.4 本章总结	223
参考文献	223
第 11 章 考虑产品 BOM 的过程柔性改善方法	225
11.1 产品 BOM 对过程柔性的影响	225
11.2 考虑 BOM 的过程柔性	228
11.3 考虑 BOM 时改善过程柔性的规则	236
11.4 仿真实验	238
11.5 本章总结	241
参考文献	242
第 12 章 员工的功能柔性	243
12.1 员工功能柔性的概念	243
12.2 制造型企业的员工功能柔性	245
12.3 链式策略	253
12.4 服务型企业的员工功能柔性	257
12.5 本章总结	259
参考文献	260
第 13 章 供应链的过程柔性特征	263
13.1 供应链柔性的定义	263
13.2 柔性 with 供应链效率	264
13.3 供应链柔性的测度	269
13.4 供应链柔性作用的仿真分析	272
13.5 本章总结	275
参考文献	276
第 14 章 供应链的能力决策	277
14.1 供应链能力决策问题的基本假定	278
14.2 基于服务水平的供应链能力决策方法	278
14.3 基于期望短缺量的供应链能力决策方法	288
14.4 本章总结	296
参考文献	296
第 15 章 基于 DEA 的供应链绩效评价与改善方法	298
15.1 供应链绩效评价	298

15.2 供应链绩效指标的权衡与改善方法·····	304
15.3 基于 DEA 的柔性供应链设计框架 ·····	309
15.4 本章总结·····	311
参考文献·····	312

第 1 章 引 言

柔性是与成本、质量和交货期同等重要的衡量企业与供应链竞争力的指标。柔性这一竞争力指标不仅涉及其实现过程中的技术问题，还涉及企业与供应链运作管理中的决策与协调问题，进而成为企业与供应链战略管理的一个重要内容。目前，制造型企业中有关柔性制造系统管理与决策的原则与方法有向服务型企业管理和运作管理之外的其他管理领域拓展的趋势。本章的目的在于说明柔性成为企业与供应链重要竞争力指标的背景、柔性的主要作用，并从管理与决策的角度分析说明从柔性制造系统到柔性供应链发展的必要性和需要克服的主要障碍。本章还对本书与目前主要柔性制造系统专著的差别进行了概括和总结。

1.1 柔性的作用

1.1.1 柔性是企业的重要竞争力指标

多样化的需求和动态不确定的环境是当前企业与供应链管理中面临的重要挑战。柔性反映了企业和供应链应对需求多样性和环境不确定性的能力，目前已受到理论界和产业界的广泛重视，并且已经成为与成本、质量和交货期同等重要的衡量企业与供应链绩效与竞争力的指标^[1]。

需求的多样化趋势已经广泛地为理论界和产业界所认知，其主要动力可以概括为三个方面：第一，随着经济的持续发展和人民生活水平的不断提高，人们不再满足于大规模生产方式下的单一品种，出现了需求多样化的趋势^[2]；其次，激烈的市场竞争要求企业根据不同消费群体的特点，更加细致地进行市场区隔并进行准确的细分市场定位。更细致的市场细分要求更多有差异的产品；其三，在同一个细分市场上，企业间的激烈竞争要求其不断推出新型号的产品以区别于其竞争对手的同类产品，产品的寿命周期越来越短。企业既要更快地推出新产品，又要满足老产品售后服务的要求，这就要求企业在同一时间横截面上生产的产品型号越来越多。

企业环境的不确定性包括企业外部环境的不确定性和内部环境（条件、状态）的不确定性。外部环境的不确定性主要指市场^[2]，包括原材料的供应、产品的需求量和价格等的不确定性。企业内部状态的不确定性主要指反映企业生产系统运行状态指标存在的不确定性，例如，生产周期、在制品库存水平和能力等的随机不确定性。这些状态指标作为反映生产系统状态的物理量，是一些随机变

量,本身具有自然的不确定性(或称之为变异性)。Hopp 和 Spearman^[3]定义变异性为同一类实体中不同个体之间存在的不一致性、不均匀性,并用相应随机变量的均值与均方差之比来衡量其大小。例如,某一台机器加工一个轴承的时间(生产周期),因为加工过程中一些无法说明的原因(如毛坯的细微差别)而存在的随机不确定性,称之为自然变异性。这种自然变异性将因设备的故障和设备的切换与调整而增大。

企业内部状态的不确定性程度和变异性的增大,导致其应对外部环境不确定性的能力和竞争力的降低。具体表现为以下几个方面:

(1) 面对企业销售市场需求量的不确定性,企业内部状态的不确定性将导致:一方面企业的生产能力无法充分利用,另一方面市场需求不能得到及时的满足。Hopp 和 Spearman 指出^[3],高的变异性将导致低的设备利用率。对于多种产品的需求,当每种产品的需求都存在不确定性时,生产能力的高度变异性导致其能满足的市场需求量可能远小于设备的额定生产能力。

(2) 导致更长的订购提前期和更低的服务水平。企业向其顾客承诺的订购提前期是其生产周期均值、标准差和服务水平的单调增函数^[4],且生产周期标准差对提前期的影响大于均值的影响。生产周期的变异性增大意味着其均方差的增加大于均值的增加,因此在相同的服务水平下订购提前期会更长。另一方面,生产周期变异性的增大意味着在相同订购提前期下服务水平的下降。

(3) 导致在制品库存和成本的增加。考虑到产品的生产通常包含多道工序和多个环节,不同的工序和生产环节需要协调一致才能高效率地生产出产品。企业内部状态高的不确定性将导致企业内部各环节、工序协调的困难,其结果是无效的在制品库存的增加,生产周期及其变异性的增加,有效产出的降低和成本的增加。

(4) 导致企业应对顾客需求模式变化的能力降低并制约企业的新产品开发。企业内部状态的不确定性导致其满足市场需求多样化能力的降低,而且这种需求多样化的程度越高(产品的品种越多),多产品产量组合的变动范围就越大,生产的协调就越困难,企业满足多样化需求的能力就越低,并最终会制约企业的新产品开发。

柔性就是可变通性、易适应性。企业制造系统的柔性,简单地说,包括两个方面的内涵^[2]:其一,是系统的加工范围。如果一个生产系统能呈现范围更宽的加工状态和行为(如生产的产品品种数,加工的零部件数),则其具有较大的柔性。其二,系统从一种加工状态转换到另一种加工状态的难易程度,又称之为设备调整的难易程度。这种系统(或设备)转换与调整的难易程度,可以用转换与调整所需要的时间和成本来度量。因此,高的柔性意味着企业制造系统有着对多样化不确定需求高的适应性,由此将表现出高的设备利用率、高的服务水平、更

短的订购提前期和更低的成本，因而使企业具有更强的竞争力。

1.1.2 柔性是供应链的重要竞争力指标

在竞争日益激烈的今天，无论是制造型企业、销售型企业还是物流服务企业，都面临着巨大的压力^[5]。服务于相同最终消费者的上下游企业作为同一供应链的成员，必须重整资源并建立起密切的相互协作关系，以最低的成本将产品与服务迅速地传递到顾客手中。供应链管理中的不确定性主要包括供应链成员企业内部的不确定性、企业之间关系的不确定性和市场的不确定性。如何尽可能地满足市场的多样化不确定需求以获取最大利润是供应链生产组织决策的关键问题^[6]。为此，国内外学者通过许多途径进行了研究，其中供应链柔性的研究是重要途径之一。供应链柔性是其适应市场需求变化的能力，通常表现为供应链上下游企业之间的关系在不确定性环境下所表现出的鲁棒性^[7]。面对市场需求的不确定性，增加柔性可以增加供应链产品的销量，提高供应链系统资源的利用率^[8]，从而提升整个供应链的竞争力。

以上分析试图从功能方面简要说明，改善柔性是提高企业和供应链应对需求多样性和环境不确定性能力的一种重要手段；柔性是与成本、质量和交货期同等重要的衡量企业与供应链竞争力的指标。

1.1.3 柔性的战略意义

事实上，已有一些学者从战略的高度来认识柔性的重要性。华中生等从大M制造（big M manufacturing）所涉及的各个领域，即从产品设计、工艺选择、能力规划、生产线配置、生产准备工作到操作排程与生产控制等，分析了柔性的作用和柔性制造/装配系统的特点^[9]。

刘益等^[10]指出，当前企业面临的市场环境正在发生激烈的变化，为了有效地适应这种环境的变化，我国企业不仅要提高现有战略的柔性程度，还要进一步培养和建立柔性战略，从而全面提升企业的适应能力和竞争能力。而他们定义的柔性战略，是指“企业为更有效地实现其目标，在动态的环境下，主动适应变化、利用变化和制造变化以提高自身竞争能力而制订的一组可择行动规则及相应方案。”其内涵包括战略柔性（主要指战略的调整）、资源柔性、能力柔性、组织柔性、生产柔性和文化柔性等。

1.2 柔性 with 范围经济

1.2.1 范围经济的概念

范围经济（economies of scope）是与规模经济（economies of scale）相对应的一个概念。为了解释多产品生产企业的经济性，Panzar 和 Willig 等提出范围

经济的概念^[11]。范围经济是将两种或两种以上产品集中在一个企业或生产系统中生产比分散在不同的企业或生产系统中生产所导致的平均成本降低。集中生产的产品可以是工艺相似的产品,也可以是不相关的产品。类似于张仁华等^[12]和谏述勇等^[13]的方法,这里给出如下范围经济的概念性说明。

设 $P = \{1, 2, \dots, p\}$ 是一个具有范围经济的多产品企业的产品集。令 $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ (其中 $\forall i \in \{1, 2, \dots, m\}, M_i \neq \emptyset$) 是集合 P 的一个划分 ($2 \leq m \leq P$), 即满足

$$\bigcup_{i=1}^m M_i = P \quad (1.1)$$

$$\forall i \neq j, M_i \cap M_j = \emptyset \quad (1.2)$$

范围经济指让 m 个企业分别生产产品集 $M_i (i=1, 2, \dots, m)$ 的单位平均成本比由一个企业集中生产所有 m 种产品的单位平均成本高。记 $y_P = (y_1, y_2, \dots, y_p)$ 为给定的 p 个产品的产量组合, $C(y_P)$ 为产品集 P 中所有产品集中到一个企业或生产系统中生产的总成本函数, $\bar{C}(y_{M_i})$ 为产品集 $M_i (i=1, 2, \dots, m)$ 中的产品由第 i 个企业或生产系统单独生产时的成本函数。范围经济存在的前提是

$$C(y_P) < \sum_i \bar{C}(y_{M_i}) \quad (1.3)$$

式 (1.3) 成立的一个重要原因是, 将多个产品集中到一个企业或生产系统中生产相对于分散到不同企业或生产系统中生产可以导致固定成本的节约。这里, 固定成本主要是指生产准备成本 (时间) 或设备调整成本 (时间)^[14]。回顾本章前一节所介绍的柔性生产系统的内涵, 可以看出, 柔性制造系统是实现范围经济的一个重要手段。

柔性制造系统可以快速地、低成本地从一种产品的生产切换到另一种产品的生产。如果一个企业能用同一套设备生产多种不同的产品, 且设备能随着市场需求的变化适用于新产品 (型号) 的生产, 那么该企业就具备了动态地适应多样化需求的能力。企业设备动态适应的产品范围越大, 导致新企业进入其市场的障碍也越大, 多产品协同给企业带来的竞争优势也就越大。

我们说明生产多样化产品的柔性制造系统可能的好处, 并非要说明柔性技术 (flexible technology) 总是比传统的实现规模经济的刚性 (designated technology or dedicated technology) 或专用技术好。Norman^[14]运用博弈分析的方法, 总结了柔性技术适用的条件。他认为, 柔性技术是否适用主要取决于四个方面的因素: 范围经济性, 细分市场的距离, 细分市场的规模以及与技术选择无关的顾客保留价格。这四个因素涉及柔性的技术特性和市场的需求特性, 其中, 细分市场的距离被定义为“顾客评价一种柔性技术所生产的顾客化产品的价值与刚性技术生产的产品价值的差”, 又叫相关柔性技术产品和专用技术产品之间的可替代程

度。如果柔性技术的应用能获得较高的范围经济效益,如果细分市场的规模越大,或者如果顾客为其个性化产品付出代价的愿望越高,那么就越是应该采用柔性技术。

1.2.2 范围经济的测度方法

目前已有的范围经济的测度方法主要来源于其定义式(1.3)。根据式(1.3),范围收益指数或范围收益率(RSC)可以通过下式进行测度

$$RSC = \frac{\sum_i \bar{C}(y_{M_i}) - C(y_P)}{C(y_P)} \quad (1.4)$$

如果 $RSC > 0$ 则称为范围经济;反之,如果 $RSC < 0$,则称为范围不经济。

另外一种衡量方法通过任意两种产品成本间的互补性来判别^[15],即计算 $\frac{\partial^2 C(y_P)}{\partial y_i \partial y_j}$ ($i \neq j, i, j \in \{1, 2, \dots, p\}$)。如果 $\frac{\partial^2 C(y_P)}{\partial y_i \partial y_j} < 0$,则产品 i 和产品 j 之间存在成本互补,因而存在范围经济;否则,不存在范围经济。这种方法主要考察两种产品联合生产是否会导致成本的下降,并产生范围经济。多种产品应用某种柔性技术联合生产是否是范围经济的,可以用类似的方法进行判别和测度。

上述范围经济测度方法需要先确定成本函数。当投入与产出所有的或部分的价格参数未知时,这些方法无法应用。Morita 所提出的基于 DEA (data envelopment analysis, 数据包络分析) 的方法可以用于价格参数未知时的范围经济测度^[16]。

应用 DEA 模型进行范围经济评估的思路是比较简单的^[16]。举例说来,对于 A、B 两种产品,有两种可能的方式来进行生产,即采用柔性技术将 A、B 两种产品集中在一起生产,或采用刚性技术将 A、B 两种产品分开在两个生产系统中生产。用 DEA 模型比较这两种方式的有效生产前沿面 (efficient frontiers): 如果集中生产方式的前沿面包含了分散生产的前沿面,则说明采用柔性技术的集中生产比采用刚性技术的分散生产更有效,因而集中生产是范围经济的;否则,如果有一种产品的分散生产的效率优于集中生产,则集中生产都可能是规模不经济的。当然,这种测度与判别方法也有缺陷。比如当产品的个数较多时,判别比较困难等。

1.2.3 柔性范围经济的实现

范围经济也可以通过企业的相关多样化战略(或相关多角化经营战略)来实现。正如 Hill 等^[17]所指出的,公司战略层面的相关多样化可以在相关业务单元间获得范围经济。其成本节约主要来自不同经营业务单元之间的知识共享。知识共享的范围经济是在不同用途的活动或过程中,或在不同的使用者之间可用知识

的共享。知识共享导致由知识总量增加的成本分摊而引起的共享成本下降。在这个意义上, 20 世纪 80~90 年代以来出现的企业合并浪潮也可以部分地理解为一种追求范围经济的行为^[18]。

集成的供应链网络系统也是实现范围经济的一种方式。供应链网络涵盖从原材料供应商、制造商、批发商、分销商、零售商到最终消费者的多个阶段的多种主体。供应链上不同阶段(上下游)企业之间的协作与整合, 能够实现生产率的提高, 浪费和成本的降低^[19], 从而产生范围经济。这种范围经济性能增加公司的价值, 改善公司的绩效, 提高投资者的回报, 并且能够帮助企业抵御市场风险^[20]。

目前已有的供应链设计与协调研究主要是以成本和快速提前期为导向的, 即所谓的效益型供应链和快速反应型供应链^[21]。以柔性为导向或目标之一的供应链设计与协调研究的结果较少见。供应链的柔性是其响应多样化不确定需求的能力。当供应链面临新的市场需求需要提供新的产品和服务时, 其实现方式包括: 第一, 可以建立全新的供应链来满足这些新需求; 第二, 改变供应链的结构, 通过结构的调整和供应链成员企业(可以调整供应商、制造商和分销商, 也可以调整物流服务企业)调整来满足多样化不确定的需求; 第三, 可以在供应链原有的结构下, 通过追加部分成员企业的设备和能力投资以改善供应链的柔性。这些实现方式的选择, 既取决于产品与服务“新”的程度, 也取决于不同方式利弊的权衡。

事实上, 多样化不确定需求的第一种实现方式是一种刚性的方式, 往往成本很高, 周期较长; 而第二、第三两种实现方式可以看成是一种柔性的方式。由于建立新的供应链或对已有的供应链结构进行大的调整通常意味着高的成本(和长的时间), 柔性方式强调供应链结构面对多样化不确定需求的鲁棒性, 而其基本的动力来源于供应链范围经济性。换言之, 改善供应链柔性的目标是追求供应链的范围经济。供应链的范围经济可以采用类似于企业范围经济度量的方法进行测度, 只不过需要将一条柔性供应链的成本函数与若干刚性供应链的成本函数进行比较。

柔性供应链或面向柔性的供应链设计在理论上将要远比单个企业的柔性制造系统的设计复杂和困难, 因为它面临更多的选择, 涉及分布式多主体间的协调, 且在供应链结构与成员企业协作方式之间存在耦合等。

1.3 柔性性与不确定性

1.3.1 单个企业的柔性性与市场需求的不确定性

柔性不仅能带来范围经济收益, 还能够有效提高企业与供应链应对不确定市

场需求的能力。Lancaster^[22]较早探讨了企业产品多样化与需求不确定之间的关系, 谿述勇和陈荣秋^[13]进而研究了企业柔性 with 需求不确定之间的关系。

根据 Lancaster 的观点^[22], 产品是一系列诸如速度、可靠性、外观和舒适度等特征的集合体。记产品的特征向量为

$$a = (a_1, a_2, \dots, a_n) \quad (1.5)$$

其中, $a_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为产品的第 i 个特征。对于一个特定的消费者, 其所追求的产品或服务的特性, 也可以用一个消费特征向量来表示, 即

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_n) \quad (1.6)$$

其中, $w_i (i=1, 2, \dots, n)$ 是消费者追求的第 i 个特征。

假定 w 和 a 在同一个 n 维空间。显然, 如果 $a=w$, 则消费者将购买此产品; 如果 $a \neq w$, 则消费者购买此产品的概率将小于 1, 且具体概率值的大小取决于以下三个因素^[13]:

(1) $\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$, a_i 与 w_i 相比的不足部分。

(2) 产品特征 i 与 j 相对于消费者而言的可替代性。

(3) 主要竞争对手的产品特征向量 $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 与本企业产品特征向量间的差距。

特定消费者购买特定产品的概率是上述三个因素的随机函数, 记为 $F(S)$

$$F(S) = F(\beta, \epsilon, \xi, e) \quad (1.7)$$

其中, $\beta = [\min((a_i - w_i), 0)]_{n \times 1}$; $\epsilon = [MU_i / MU_j]_{n \times n}$, MU_i 为产品特征 i 的边际效用; $\xi = [\min((b_i - w_i), 0)]_{n \times 1}$; e 为随机误差项。对于理性的消费者有

$$\frac{\partial F(S)}{\partial \beta} < 0, \quad \frac{\partial F(S)}{\partial \epsilon} > 0, \quad \frac{\partial F(S)}{\partial \xi} > 0 \quad (1.8)$$

由于 ϵ 和 ξ 是企业所不能控制的, 所以当企业改善 β 所带来的边际收入大于其边际成本时, 企业将通过改善产品使 β 尽可能地小, 从而实现利润的最大化。

由于不同的消费者有不同的消费特征向量, 企业往往将特征相似的消费者看成是一个细分市场, 然后向该细分市场提供相同的产品, 即用一定的产品特征向量 a , 来满足该细分市场消费者的平均特征向量^[13]。

设某细分市场的规模为 M , 这里 M 可以看成是该细分市场的消费者个数, 也可以是以每个消费者的相对需求量为权的消费者加权数量。该细分市场的平均特征向量为

$$\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) = \left[\sum_{j=1}^M w_{ij} / M \right]_{1 \times n} \quad (1.9)$$

其中, $w_{ij} (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, M)$ 为第 j 个消费者的第 i 个特征。企业通常通过减小 $\mu - a$ 来追求利润的最大化。但即使 $\mu = a$, 企业仍面临产品销售的不确定性, 因为每个消费者的特征向量与 a 之间仍然存在偏差。由式(1.8)可知, 这个

偏差越大,该消费者的购买概率越低。为反映整个细分市场的平均购买概率,可以定义如下细分市场总体的特征偏差函数

$$\sigma_i = \left(\sum_{j=1}^M (w_{ij} - \mu_i)^2 / M \right)^{1/2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1.10)$$

在消费者需求特征的变异性大致相同的条件下,细分市场的规模 M 越大,则 $\sigma_i (i=1, 2, \dots, n)$ 也越大,特定消费者购买特定产品的概率就越小。另一方面,如果企业提供的产品种数越多, M 就会越小,特定消费者购买特定产品的概率就越大。从这个意义上讲,企业不断地推出多样化的新产品,将有助于提高企业应对消费者需求不确定性的能力,降低经营风险。而这种风险的降低,不是通过组合风险分散来实现的,而是通过使消费者的效用偏好与产品的特征集相符来实现的^[13]。

概括地说,如果企业提供多样化产品的边际收入大于其边际成本时,企业将通过提供更多的产品品种,以降低细分市场的规模,提高产品销售的概率,以有效地应对市场需求的不确定性。由于通常消费者群体在一定时间段上的需求总量是一定的,更多的产品品种和更小的细分市场意味着每种产品生产量的降低。这种要求与现代企业多品种小批量的生产战略是一致的。而要实现多品种小批量生产时产品品种数增加的边际收入大于其边际成本,就必须提高企业生产系统的柔性。生产系统柔性的改善和范围经济的获得正是企业实现产品品种数增加的边际收入大于其边际成本的前提,也是企业提高其应对消费者需求不确定性的能力的一个前提。

1.3.2 供应链柔性与环境的不确定性

供应链柔性与环境不确定性的关系要远比单个企业的复杂。尽管面向柔性的供应链设计与协调研究的成果较少,但柔性与不确定性关系的研究成果却比较丰富,而且一直处在不断的丰富与深化过程之中。Swamidass 和 Newell 认为^[23],增加柔性能改善系统的绩效,且是应对不确定性增加的有效方法。Pagell 和 Krause^[24]在北美地区 91 份企业问卷和 30 个案例分析的基础上得到结论:不能证实环境的不确定性和操作柔性之间的因果关系,即环境不确定性的增加不一定会导致柔性的增加。他们还基于问卷分析和案例研究认为,改善柔性以适应环境的不确定性的增加不会导致竞争绩效指标的改善。Pagell 和 Krause 后来在另一篇文章^[25]中解释了导致这种相互矛盾结论的原因:文献 [23] 和文献 [24] 中所采用的测度环境不确定性的 Duncan 指标体系是不适当的, Duncan 指标体系带有较强的主观性因而可能使由此得到的结论无效;文献 [23] 和文献 [24] 中的柔性定义不同,前者是战略柔性,后者研究操作柔性;另外,样本的选择也存在较大不同,文献 [23] 的样本主要来自机床制造业,而文献 [24] 的样本没有