

制造系统生产物流 熵模型及应用

张志峰 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书运用耗散结构理论、信息熵理论等相关理论,在调研和分析实际离散制造企业生产物流的基础上,通过建立离散制造企业物流系统熵模型,对离散制造企业以资金流为推动的总体运行情况、生产物流的结构与运行有序性、单元制造的复杂性等进行研究,为企业的生产物流管理提供必要的决策依据和技术支持。基于上述理论与方法的研究成果,通过分析某个制造车间实施单元制造前后的生产物流,应用所建熵模型,对车间生产物流的结构及运行有序性、复杂性等进行实证研究,其结果验证了模型的可行性、有效性和实用性。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

制造系统生产物流熵模型及应用 / 张志峰著. —北京:电子工业出版社, 2019.4
ISBN 978-7-121-35281-2

I. ①制… II. ①张… III. ①熵—物理模型(系统工程)—应用—机械制造企业—生产管理 ②熵—物理模型(系统工程)—应用—机械制造企业—物流管理 IV. ①F407.406.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 242625 号

策划编辑:刘小琳

责任编辑:刘小琳 特约编辑:许波建

印 刷:北京虎彩文化传播有限公司

装 订:北京虎彩文化传播有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:720×1 000 1/16 印张:11.25 字数:200 千字

版 次:2019 年 4 第 1 版

印 次:2019 年 4 第 1 次印刷

定 价:59.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlhs@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: liuxl@phei.com.cn, (010) 88254538。

前言 Foreward

在离散制造系统中，物料、零件等的加工时间只占企业生产过程的很少一部分，大部分时间，物料或零件处于停滞或装卸、搬运、包装和运送等物流过程中。因此，根据制造企业的生产特点，通过有效地控制企业生产物流、合理调配生产物资、优化制造过程等手段，找出合适的生产物流控制方法，进而对由不同控制或优化方法得出的不同方案进行有效的比较与分析，以及对生产系统的运行状态与运行效率进行评价分析，对于恰当地选择更为适合本企业的物流技术方案及准确分析影响企业生产物流的关键因素，从而提升国内制造企业的整体物流水平有着重要的意义。另外，离散制造企业的内、外部环境处于不断变化之中，生产系统具有一定的随机性、模糊性等不确定性特点，而这些不确定性都可以用“熵”这个统一的概念来描述，这也是熵理论用于度量制造企业系统信息的基础。

本书借鉴国内外相关研究成果，运用耗散结构理论、信息熵理论等，在调研和分析实际离散制造企业生产物流的基础上，通过建立离散制造企业物流系统熵模型，对离散制造企业以资金流为推动的总体运行状况、生产物流的结构与运行有序性、单元制造的复杂性等进行评价研究，为企业的生产物流管理提供必要的决策依据和技术支持。

首先，从企业系统信息转化的度量、企业系统的无序与失稳的度量及企业系统不确定性的评价与度量三个方面对企业系统的熵理论进行论述。依据制造企业系统熵结构各组成部分的不同性质进行划分并阐述各部分相

互关系。在分析总结国内外熵模型理论研究的基础上，归纳提出制造系统熵模型有熵变模型、静态熵模型、动态熵模型、批量熵模型和流程柔性熵模型五种形式，并讨论说明各自特点及适用范围，为后续熵模型的建立及实施生产物流评价打下基础。

其次，根据突变理论，选取尖点突变模型建立企业系统的耗散结构模型，由此判断企业系统形成耗散结构的条件。应用耗散结构理论，通过对企业系统耗散结构的形成过程及形成条件的分析研究，建立以资金流为推动的企业系统熵变模型。结合企业系统的实际情况，提出具有可操作性的企业系统熵变计算公式，依据所建模型及公式对企业系统的运行状况进行实例评价分析，结果与企业实际发展情况基本吻合。

再次，结合条件熵的性质、特征，依据信息的发送与反馈原则，建立具有动态性和一般性的系统结构熵模型，然后在分析企业生产系统结构特点基础上，对系统结构熵模型进行特例处理，建立生产系统的结构熵模型，使得针对模型的计算求解更具可操作性。针对目前生产物流系统中由于不同生产方式或生产结构所造成的不同的运行状况间缺乏定量评价与比较方法的问题，从模糊熵概念出发，依据信息熵原理及有序度定义，建立生产系统要素条件下物流运行熵模型，同时从生产物流系统构成要素角度确立生产系统运行评价指标体系。另外，通过实例较好地验证了使用此定量分析方法来评价生产物流系统运行有序性的合理性，并扩展此类运行熵模型的应用范围。

另外，本书还对制造系统复杂性的效用进行深入分析，通过制造系统复杂性与效用函数的相互关系及其随时间的发展变化趋势来说明复杂性对制造系统的影响并提出相应的应对策略。在信息熵理论的基础上，分别建立单元制造系统的静态熵与动态熵模型，并对制造资源的状态认定进行说明。

最后，基于上述理论与方法研究成果，通过分析某个制造车间实施单元制造前后的生产物流，应用所建熵模型，对车间生产物流的结构及运行

的有序性、复杂性等进行定量分析研究，其结果验证了模型的可行性、有效性和实用性。

本书主要有以下三个特点。

一是从选题来看，具有新颖性和迫切性。本书利用信息熵建模的方法对生产物流系统的结构与运行进行分析和测度，属国内首部从信息熵建模角度对制造系统生产物流信息进行定量化研究的著作。另外，当前国内将生产物流信息本身作为研究对象的少之又少，因此，迫切需要将其作为研究对象深入探究并逐步形成一个完整的研究体系，为生产物流系统的科学管理与决策打下一个坚实的理论基础。

二是从内容与结构来看，具有逻辑性和系统性。全书共 8 章。第 1 章，绪论，从本书的研究背景和意义出发，在梳理制造系统生产物流及熵理论研究进展的基础上，对制造系统的生产物流特征进行了深入探讨和分析；第 2 章，制造系统生产物流熵模型概述；第 3 章，制造系统熵变模型；第 4 章，制造系统生产物流结构熵模型；第 5 章，制造系统生产物流运行熵模型；第 6 章，制造复杂性状态熵模型；第 7 章，应用实例；第 8 章，总结与生产物流研究前景。

三是从理论性与实践性来看，既有理论上的创新，也重视所研究理论成果在实践中的检验与应用。在本书的理论研究中，既深化与扩展了控制论中的信息传递与发送原理、非线性理论等研究方法，也丰富了生产制造系统的优化理论等。在应用研究过程中，以某国有制造企业的机加车间实施单元制造技术改造前后为背景，将上述理论成果应用到此加工车间中检验其可行性和有效性，这些理论与实践都可为制造系统的生产优化和运行管理提供必要的决策依据和理论支持。

本书是作者主持完成的两项国家自然科学基金项目的一次系统、全面的归纳和总结。在当今全球以“工业 4.0”及“智慧工厂 1.0”等智能制造为驱动的大背景下，由于电子技术、计算机技术和自动化技术等先进技术的不断应用，制造业正向着数字化、网络化和智能化发展，而此趋势的实

现需要以制造信息的准确、有效传递为支撑。因此，制造信息在制造企业的生产与管理中所起的作用则愈加凸显。然而，当前我国装备制造业的一个突出现实却是：随着装备自动化水平的提高，其柔性和加工潜力得到了充分开发，单机生产性能得到了极大提高，其加工效率远高于生产系统的运行效率，尤其是对生产系统运行效率具有极大影响的生产物流信息的管理十分落后，存在不同物流环节之间信息沟通不畅、信息分散、信息准确性差、传递速度慢等现象，严重制约了生产率的提高。鉴于此，本书试图通过对相关领域的理论与应用研究，为制造信息准确、有效地为生产物流系统的科学管理及决策提供理论依据，进而显著提升生产系统的运行效率，也为这个当前学术界和工业界热点问题的解决起到抛砖引玉的作用。

目录

Contents

第 1 章 绪论	1
1.1 本书背景及研究意义	1
1.2 制造企业生产物流研究进展	4
1.2.1 物流的概念	4
1.2.2 生产物流及其特点	6
1.2.3 生产物流管理研究进展	7
1.3 离散制造企业生产物流分析	11
1.3.1 离散制造生产物流基本特征	11
1.3.2 离散制造生产物流要素	12
1.3.3 离散制造生产物流分类与属性	14
1.4 熵理论及其发展	18
1.4.1 平衡态熵理论	18
1.4.2 非平衡态熵理论	20
1.4.3 广义熵理论	20
1.5 企业系统熵理论概述	22
1.5.1 企业系统信息转化的度量	22
1.5.2 企业系统无序与失稳的度量	24
1.5.3 企业系统不确定性的评价与度量	26
1.6 本书主要内容和结构	27

第 2 章 制造系统生产物流熵模型	31
2.1 制造系统熵结构及相互关系	32
2.1.1 制造系统的熵结构	32
2.1.2 制造系统熵结构的相互关系	34
2.2 制造系统生产物流熵模型	35
2.2.1 熵变模型	36
2.2.2 静态熵模型	38
2.2.3 动态熵模型	39
2.2.4 批量熵模型	42
2.2.5 流程柔性熵模型	43
2.3 本书所建熵模型说明	44
2.4 本章小结	45
第 3 章 制造系统熵变模型	47
3.1 耗散结构分析	48
3.1.1 耗散结构概念及内涵	49
3.1.2 耗散结构形成的条件	50
3.2 基于尖点突变的企业系统耗散结构模型	53
3.3 制造系统熵变分析	56
3.4 制造系统熵变模型	58
3.5 熵变模型的应用实例	60
3.5.1 数据及计算	61
3.5.2 结果分析	62
3.5.3 结论	63
3.6 本章小结	64
第 4 章 制造系统生产物流结构熵模型	66
4.1 系统结构熵相关概念	67
4.1.1 系统结构熵研究中存在的问题	67
4.1.2 时效熵及质量熵	68

4.2	生产系统结构熵模型	70
4.2.1	系统结构熵模型的建立	70
4.2.2	生产系统结构熵模型的建立	74
4.2.3	时效熵模型算法	74
4.2.4	质量熵模型算法	75
4.3	有序度定义	77
4.4	结构有序性实例分析	78
4.4.1	两种管理系统组织结构	79
4.4.2	两种组织结构有序度求解	80
4.4.3	结果分析	83
4.5	本章小结	84
第5章	系统生产物流运行熵模型	85
5.1	生产物流运行评价指标体系	86
5.1.1	生产物流系统构成要素	87
5.1.2	评价指标体系的建立	88
5.2	模糊熵概念	91
5.3	生产系统要素条件下运行熵模型	93
5.3.1	特征值及其隶属度矩阵的建立	94
5.3.2	物流运行熵模型的建立	95
5.4	确定生产系统指标权重	97
5.5	运行有序性实例分析	99
5.6	本章小结	102
第6章	制造系统复杂性状态熵模型	104
6.1	制造系统复杂性效用分析	105
6.1.1	制造系统复杂性效用函数	106
6.1.2	制造系统复杂性趋势	107
6.2	单元制造状态熵模型	109
6.2.1	单元制造系统特性	109
6.2.2	单元制造静态熵模型	110
6.2.3	单元制造动态熵模型	112

6.2.4	单元制造平均时间熵	113
6.3	单元制造复杂性实例分析	114
6.4	本章小结	115
第7章	应用实例	116
7.1	车间物流系统分析	118
7.1.1	技改前生产物流系统分析	118
7.1.2	技改后生产物流系统分析	123
7.2	车间生产物流结构有序性分析	126
7.2.1	技改前结构熵及有序度求解	126
7.2.2	技改后结构熵及有序度求解	129
7.2.3	技改前后评价结果分析	131
7.3	车间生产物流运行有序性分析	132
7.3.1	技改前运行熵及有序度求解	133
7.3.2	技改后运行熵及有序度求解	136
7.3.3	技改前后有序性结果分析	138
7.4	车间单元制造复杂性分析	140
7.4.1	单元制造静态熵计算	140
7.4.2	技改前动态熵计算	141
7.4.3	技改后动态熵计算	142
7.4.4	技改前后复杂性分析	143
7.5	本章小结	144
第8章	总结与生产物流研究前景	145
8.1	总结	145
8.2	生产物流研究前景	150
附录A	作者科研成果	152
A.1	公开发表的代表性论文	152
A.2	获得资助的科研项目	153
A.3	科研成果获奖情况	154
参考文献	155

第 1 章

01

绪论

本书的研究工作得到国家自然科学基金项目“混流装配系统复杂性建模及其应用研究”（项目批准号：51465046）及“南昌航空大学学术文库”资助。

1.1 本书背景及研究意义

随着现代市场竞争的加剧，企业之间的竞争开始向基于时间和客户需求的方向发展。在满足客户个性化需要的同时，保持较低的生产成本和较短的交货期更是企业在竞争中取胜的关键所在。由于生产制造企业的生产设备投资成本一般都比较大，如果一贯地采用改进设备来提高生产率显然是不现实的，采用科学有效的管理方法、减少中间转运环节的时间、降低库存资金的投入等方法显然比前者有效得多。因此，在现代企业系统中，以运输、搬运和存储为代表的企业物流越来越成为影响系统运行的关键因素，其利润的潜力也越来越大，被誉为是通过降低资源消耗和提高人力素质增加利润之外的“第三方利润源泉”。

物流是指物品从供应地向接收地的实体流动过程。根据实际需要，将

运输、搬运、储存、保管、包装、装卸、流通加工和物流信息处理等基本功能实现有机结合。企业物流则是在企业经营范围内由生产或活动所形成的加工、检验、搬运、储存、包装、装卸等物流活动。按照物流作用和活动发生的先后顺序，企业物流可分为四部分：供应物流、生产物流、销售物流、回收和废弃物流^[1]。物流在其流动过程中不直接产生价值，但却直接关系成本。据统计，仅在我国机械制造企业中，物料、零件的机加工时间只占企业生产过程的5%~10%，90%~95%的时间是物料处于停滞或装卸、搬运、包装和运送等物流过程中，并且企业流动资金的74.9%被原材料、在制品等物料所占用^[2]。由此可见，蕴藏在生产物流中的“利润”是非常大的，生产物流的研究不容忽视。

在现代生产过程中，随着制造设备自动化水平的提高，设备的柔性和加工潜力得到了充分开发，单机生产性能得到极大提高，其效率远高于物流系统的效率，这使得单机生产率的发挥也受到牵制。因此，要缩短生产周期、降低成本，就必须提高物流系统的效率，保持生产各环节的均衡与协调，使之与现代生产制造系统相适应。在传统的生产物流中，物流信息管理十分落后，效率低、信息分散、不准确、传送速度慢，特别是对库存的控制不够科学，使企业的资金没有得到充分的利用，制约了生产的发展。由此，制造企业在激烈的市场竞争中如何有效地重新配置和利用企业资源，增加生产系统的柔性，降低制造成本，提高效益；如何缩短生产周期加速资金周转、如何降低在制品等物料占用、实现物流合理化等，已成为企业生存与发展必须解决的关键问题。为此，人们开始着手研究现代生产物流，其目的是科学地控制库存水平、车间优化布局、规划或调整生产组织结构、提高管理的科学水平和生产的自动化程度，从技术和企业挖潜入手，充分利用原有厂房、设备、能源和人力资源，获得良好的经济效益。

我国物流技术的研究起步相对于发达国家来说比较晚，集中在高等学校和少数研究所，研究内容涵盖物流技术的主要领域，但主要应用对象是

宏观物流（大物流），而针对企业内部的生产物流即微观物流（小物流）的研究则较少。总结和回顾现代物流在中国的发展，可以观察到研究者比较更多地关注企业外部（供应、销售）物流，而较少关注企业内部的生产物流；比较侧重宏观物流的研究，忽视微观物流的研究；更多地分析研究生产物流技术本身，而对由不同控制方法或优化方法得出的不同方案之间如何准确地比较与评价，或者针对生产物流的运行状态与运行效率的分析评价则开展较少。因此，针对企业生产物流进行系统分析，了解生产物流运行状态的优劣与运行效率的高低，以及对由不同控制方法或优化方法得出的不同方案进行有效的比较与评价，对于恰当地选择更为适合本企业的物流技术方案和准确分析影响企业生产物流的关键因素，从而提高企业的生产物流运行效率、降低物流成本具有重要的现实意义。

从 1865 年德国科学家克劳修斯（Clausius）在讨论热循环时首次引入熵（Entropy）这个概念至今已经有一百多年的历史了。1948 年，香农（Shannon）提出了信息熵的概念^[3]，建立了熵与信息之间的联系，更是熵理论在 20 世纪的重大发展。信息熵概念的建立，为测度信息找到了一个统一、科学、定量的计量方法，且由于可不与热力学过程（或热力学系统）相联系，也不与分子运动相联系，为熵的推广使用铺平了道路。熵理论发展到今天，已经有了很大的突破，它从一个单纯的描述微观世界的热力学物理概念，发展到一个自然与社会统一的概念。近年来由于人们对于复杂系统及其演化规律研究的需要，如不确定性的度量、系统复杂性的度量等，使熵的概念与理论被推广应用到了工程、管理、医学、天文等众多领域，使熵理论得到很大发展，但同时也表现为对各种系统的研究缺乏权威性，对基本原理的应用条件和适用范围也处于模糊之中，各个领域不同熵的内涵缺乏共性，这也在某种程度上限制了熵理论向纵深的发展^[4]。

对于熵理论在企业系统中的应用，目前更多的是处于总体描述阶段的整体性研究。例如，利用耗散结构理论对企业系统进行定性的分析说明，

将熵理论与企业管理决策理论相结合来分析研究企业的运行与控制，利用管理结构熵理论来分析企业的组织结构问题，等等。而在应用熵理论对企业系统的局部（如生产系统）通过建立数学模型进行定量化的研究方面，则开展的十分有限，这也使得对企业系统的分析研究缺乏量度依据及精确性，从而无法准确地反映企业作为一个复杂系统的运行状态及其内在规律。

基于上述情况，本书运用耗散结构理论、信息熵理论等，在对实际离散制造企业的生产物流系统调研和分析的基础上，分别从总体和局部角度建立企业熵变模型、生产物流系统的结构熵模型、运行熵模型和状态熵模型，应用熵模型对企业系统总体运行状态、生产物流系统的结构与运行有序性、单元制造的复杂性等进行评价研究，并结合实例从微观角度分析影响企业系统结构与运行状态的有序性、复杂性变化的内在因素，从而为企业的经营管理决策提供必要的依据和技术支持。

下面分别从制造企业生产物流管理研究进展、生产物流系统分析、熵理论研究进展等方面进行论述，最后说明本书的研究内容和体系结构。

1.2 制造企业生产物流研究进展

1.2.1 物流的概念

物流（Logistics）一词的概念，是第二次世界大战期间从军事后勤（Logistics）工程的含义演变而来的^[5,6]，最开始时称为“实体分配”或“实体流通”（Physical Distribution）。1915年，美国阿奇·萧在《市场流通中的若干问题》中首次提到“物流”（Physical Distribution）一词^[7]，初步论述了物流在流通战略中的作用，但当时未引起企业界的重视^[8]。将物流活动真正

上升到理论高度并加以研究和分析的是著名营销专家弗赖德·E. 克拉克 (Fred E. Clark)，他于 1929 年在其著作《市场营销的原则》中，将市场营销定义为商品所有权转移所发生的各种活动及包括物流在内的各种活动，从而将物流纳入市场经营行为的研究范畴之中^[9]。1956 年，“Physical Distribution”从美国传入日本后，被直译成“物的流通”。1979 年 6 月，我国物资工作代表团赴日本参加第三届国际物流会议，在考察报告中首次引用“物流”这一术语。1997 年，《物流术语国家标准（征求意见稿）》对物流进行了定义^[10]。2001 年 3 月，国家经贸委、铁道部、交通部、信息产业部、外经贸部、中国民航局等 6 家行业主管部门联合发布了《关于加快我国现代物流发展的若干意见》，这是有史以来第一次由涉及物流的诸多部门联合制定的促进物流发展的政策性指导文件，显示了政府主管部门对于现代物流的关注和加快现代物流发展的意向^[11]。但是，总的来说，我国对物流的研究还远远落后于欧美、日本等发达国家和地区。

目前，物流还没有一个严格的定义，它泛指物资实体（物资及其载体）的场所（或位置）转移和时间占用，即物资实体的物理流动过程（有形的和无形的）。物资的储存和运输是物流活动的两大支柱^[5,6]。物流研究的目的是对物流系统进行规划、管理、控制；选择最优的物流方案；寻求降低物流费用、提高物流效益的途径等^[3]。现代物流已经从原来的专指销售物流扩展到了供应物流、企业内部物流和销售物流^[5]（见图 1.1）。供应链是物流的延伸和扩展，是一条从原材料供应商到用户的物流链^[10]。

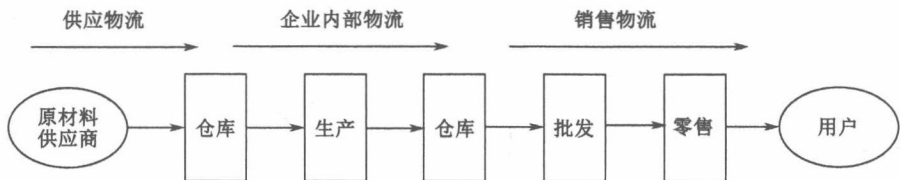


图 1.1 现代物流概念的外延

发达国家企业物流管理经历了五个发展阶段^[11]，对物流各项功能活动的管理由过去的分散管理向系统化、集成化方向转变，物流管理领域和物流系统整合范围不断扩大，并逐渐形成了目前的供应链物流管理阶段。供应链物流系统是一个将交易关联企业整合进来的系统，即将制造商到零售商所有供应链上的关联企业作为一个整体看待。其特征是从原材料、零部件的供应企业到制品生产企业、批发企业、零售企业（最终顾客），即将生产、流通和消费全过程的物流活动作为控制对象，通过信息共享来达到生产流通全过程的物流合理化，充分体现了现代物流的众多特征，如物流系统化、物流总成本最小化、物流信息化、物流手段现代化、物流服务社会化、物流管理专门化、物流电子化、物流快速反应化、物流网络化、物流柔性化。

1.2.2 生产物流及其特点

生产物流是指原材料、燃料、外购件等投入生产后，经过下发料、运送到各加工点和存储点，以在制品的形态从一个生产单元（仓库）流入另一个生产单元，按照规定的工艺过程进行加工、储存，并借助一定的运输装置在某个点内流转，又从某个点流出，始终体现物料实物形态的流通过程^[12]。它包括从原材料和协作件的采购供应开始，经过生产过程中半成品的存放、装卸、输送和成品包装，通过流通部门入库验收、分类、储存、配送，最后到客户手中的全过程，以及贯穿于物流全过程的信息传递。

生产物流是制造型企业所特有的物流过程，它和生产加工的生产工艺流程同步。原材料、半成品等按照工艺流程在各个加工点之间不停顿地移动、流转形成了生产物流。如生产物流中断，生产过程也将随之停顿。生产物流合理化对工厂的生产秩序、生产成本有很大影响。生产物流均衡稳定，可以保证在制品的顺畅流转和设备负荷均衡，压缩在制品库存，缩短