



“十一五”国家重点图书出版规划项目
21世纪先进制造技术丛书

制造系统运行优化 理论与方法

· 邵新宇 饶运清 等 著 ·



科学出版社
www.sciencep.com

“十一五”国家重点图书出版规划项目

21 世纪先进制造技术丛书

制造系统运行优化理论与方法

邵新宇 饶运清 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书较全面地阐述了现代离散制造系统运行优化的理论与方法。全书共三部分:第一部分概述现代制造系统及其运行调度优化,以及制造执行系统的基本概念。第二部分是本书主体,分别针对离散制造业中各类典型的制造系统阐述了相应的运行优化理论与方法,包括单件作业车间生产调度模型与优化算法、柔性作业车间生产运行优化、混流装配车间生产计划排序与关联优化、混流生产系统运行优化与控制、制造系统运行过程中的预测与决策方法、粒子群优化算法在生产调度中的应用等。第三部分介绍制造系统运行优化理论与方法在制造执行系统及生产实际中的应用。

本书可供从事机械制造、工业工程、企业管理等专业的研究人员和工程技术人员阅读,也可作为上述专业研究生的选修课教材。

图书在版编目(CIP)数据

制造系统运行优化理论与方法 / 邵新宇, 饶运清等著. —北京: 科学出版社, 2010

(“十一五”国家重点图书出版规划项目; 21 世纪先进制造技术丛书)

ISBN 978-7-03-029090-8

I. 制… II. ①邵…②饶… III. 机械制造工艺 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 187788 号

责任编辑: 耿建业 裴 育 / 责任校对: 张凤琴

责任印制: 赵 博 / 封面设计: 耕者设计工作室

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 9 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2010 年 9 月第一次印刷 印张: 20

印数: 1—2 500 字数: 383 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《21 世纪先进制造技术丛书》编委会

主 编:熊有伦(华中科技大学)

编 委:(按姓氏笔画排序)

丁 汉(上海交通大学/华中科技大学)

王田苗(北京航空航天大学)

王立鼎(大连理工大学)

王国彪(国家自然科学基金委员会)

王越超(中科院沈阳自动化所)

王 煜(香港中文大学)

冯 刚(香港城市大学)

冯培恩(浙江大学)

任露泉(吉林大学)

江平宇(西安交通大学)

刘洪海(朴次茅斯大学)

孙立宁(哈尔滨工业大学)

宋玉泉(吉林大学)

张玉茹(北京航空航天大学)

张宪民(华南理工大学)

李泽湘(香港科技大学)

李涤尘(西安交通大学)

李涵雄(香港城市大学/中南大学)

周仲荣(西南交通大学)

查建中(北京交通大学)

柳百成(清华大学)

赵淳生(南京航空航天大学)

钟志华(湖南大学)

徐滨士(解放军装甲兵工程学院)

顾佩华(汕头大学)

黄 强(北京理工大学)

黄 真(燕山大学)

黄 田(天津大学)

管晓宏(西安交通大学)

熊蔡华(华中科技大学)

翟婉明(西南交通大学)

谭 民(中科院自动化研究所)

谭建荣(浙江大学)

雒建斌(清华大学)

《21 世纪先进制造技术丛书》序

21 世纪，先进制造技术呈现出精微化、数字化、信息化、智能化和网络化的显著特点，同时也代表了技术科学综合交叉融合的发展趋势。高技术领域如光电子、纳电子、机器视觉、控制理论、生物医学、航空航天等学科的发展，为先进制造技术提供了更多更好的新理论、新方法和新技术，出现了微纳制造、生物制造和电子制造等先进制造新领域。随着制造学科与信息科学、生命科学、材料科学、管理科学、纳米科技的交叉融合，产生了仿生机械学、纳米摩擦学、制造信息学、制造管理学等新兴交叉科学。21 世纪地球资源和环境面临空前的严峻挑战，要求制造技术比以往任何时候都更重视环境保护、节能减排、循环制造和可持续发展，激发了产品的安全性和绿色度、产品的可拆卸性和再利用、机电装备的再制造等基础研究的开展。

《21 世纪先进制造技术丛书》旨在展示先进制造领域的最新研究成果，促进多学科多领域的交叉融合，推动国际间的学术交流与合作，提升制造学科的学术水平。我们相信，有广大先进制造领域的专家、学者的积极参与和大力支持，以及编委们的共同努力，本丛书将为发展制造科学，推广先进制造技术，增强企业创新能力做出应有的贡献。

先进机器人和先进制造技术一样是多学科交叉融合的产物，在制造业中的应用范围很广，从喷漆、焊接到装配、抛光和修理，成为重要的先进制造装备。机器人操作是将机器人本体及其作业任务整合为一体的学科，已成为智能机器人和智能制造研究的焦点之一，并在机械装配、多指抓取、协调操作和工件夹持等方面取得显著进展，因此，本系列丛书也包含先进机器人的有关著作。

最后，我们衷心地感谢所有关心本丛书并为丛书出版尽力的专家们，感谢科学出版社及有关学术机构的大力支持和资助，感谢广大读者对丛书的厚爱。

A handwritten signature in black ink, reading '熊有伦' (Xie Youjun).

华中科技大学

2008年4月

前 言

现代离散制造系统的规模越来越庞大，生产运作环境越来越复杂，由此引发的资源浪费、效率低下等问题日益突出。即使引进了大量高端制造装备，我国制造系统的整体运行能力与国外相比仍然存在较大的差距。以汽车行业为例，早在2000年，丰田汽车厂的 Coronas 装配线（包括焊装、涂装和总装生产线）就可以共线生产4000多种类型的汽车，8小时可以班产500辆车；而截至2006年，国内共线生产的车型一般在1000种左右，汽车装配线单线班产能力一般仅能达到200台左右。日本本田混流制造的节拍是0.6分钟/（辆·线）；在中国，广州本田混流制造的节拍是1分钟/（辆·线），而我国某大型国产汽车制造企业单车型制造的节拍长达3分钟/（辆·线），差距十分明显。导致这种差距的原因是多方面的，除了设备的自动化程度和操作者的熟练程度等因素外，制造系统的运行优化水平不高也是重要原因之一。通过运行优化来提高生产系统的运行效率，是现代制造企业提高其产品市场竞争能力的重要途径。

在离散制造领域，产品设计与产品制造是制造企业生产活动中两个最重要的环节。长期以来，学术界比较重视产品设计优化，而相对忽视制造优化问题的研究，因此目前还没有建立起完整的制造优化理论体系。企业缺乏系统有效的理论指导和实用的生产运行优化工具，制约了制造企业生产运行优化技术的应用及生产效率的提升。本书针对现代离散制造企业的各类生产运作模式，系统论述了各类制造系统的运行优化问题与优化方法，并针对具体生产背景介绍了相关理论方法在实际生产中的应用，力图促进现代离散制造系统运行优化理论与方法体系的建立，为现代制造企业生产效率的提升提供理论与方法指导。

作者及其所领导的“数字制造系统”课题组长期从事现代集成制造系统领域的科研与教学工作，在国家自然科学基金、国家重点基础研究发展计划（973计划）、国家高技术研究发展计划（863计划）等资助下，对现代制造系统的建模、仿真与运行优化进行了系统深入的理论研究与应用实践，并在现代制造系统运行优化理论与方法方面取得了一批创新研究成果。先后承担的主要科研项目有：国家自然科学基金“九五”重大项目“支持产品创新的先进制造技术中的若干基础研究”课题一“现代制造系统的理论、建模及运行实验研究”（59990470），973计划项目“数字制造基础理论”课题七“数字制造系统的复杂信息处理与执行过程决策”（2005CB724107），国家863目标导向课题“轿车发动机协同制造技术及其软硬件平台研发与应用”（2007AA04Z186）、“面向国产重要装备与典型产

品的快速响应客户的产品开发平台及应用”(2007AA04Z190), 国家自然科学基金项目“车间非常规信息条件下的决策机制及其MES应用研究”(50105006)、“群体智能理论与粒子群优化算法在作业车间调度中的应用研究”(50305008)、“基于神经网络计算试验的制造系统行为预测理论与方法”(50675082)、“基于有限排序能力缓冲区的多车间混流装配关联优化”(50775089)、“基于约束管理的多品种小批量协同混流制造运作控制研究”(70772056)、“复杂装配制造系统的调度有效性及其综合优化与控制研究”(50875101), 以及国家杰出青年基金项目“复杂制造系统运行优化理论及其应用”(50825503)等。主持开发的汽车装配制造MES系统等已在企业成功应用, 并产生重大经济效益; 研究成果“面向汽车生产的MES关键技术研究、开发与工程应用”获得2009年度教育部科技进步一等奖。

本书是课题组研究成果的系统总结, 由邵新宇、饶运清等著。其中, 邵新宇、饶运清负责全书的结构规划和统筹工作, 并撰写了前言和第1章; 张超勇、饶运清撰写了第2、3章; 黄刚撰写了第4章; 管在林撰写了第5章; 朱海平撰写了第6章; 高亮撰写了第7章; 饶运清、黄刚、管在林撰写了第8章。此外, 课题组的其他成员以及博士研究生和硕士研究生也为本书提供了相关资料。

作 者

2010年6月

目 录

《21 世纪先进制造技术丛书》序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 制造系统概述	1
1.1.1 制造系统的基本概念	1
1.1.2 制造系统的基本类型	4
1.1.3 现代制造系统发展趋势	6
1.2 制造系统运行调度优化.....	10
1.2.1 调度问题概述	10
1.2.2 调度问题描述	11
1.2.3 调度问题的研究方法	13
1.3 制造执行系统技术.....	19
1.3.1 制造执行系统概述	19
1.3.2 制造执行系统研究现状与发展趋势	23
1.4 本书主要内容与结构.....	28
参考文献	28
第 2 章 单件作业车间生产调度模型与优化算法	33
2.1 概述.....	33
2.1.1 job-shop 调度问题的线性规划模型	34
2.1.2 job-shop 调度问题的析取图模型描述	35
2.2 基于遗传算法的车间调度问题研究.....	37
2.2.1 遗传算法简介	37
2.2.2 改进遗传算法的求解 job-shop 调度问题	38
2.2.3 计算实验结果	42
2.3 基于遗传禁忌算法的车间调度问题研究.....	44
2.3.1 禁忌搜索算法的基本理论.....	44
2.3.2 遗传算法和禁忌搜索算法混合策略研究	44
2.3.3 进化禁忌算法求解 job-shop 调度问题	46
2.3.4 计算结果与分析	51
2.4 本章小结.....	57

参考文献	58
第3章 柔性作业车间生产运行优化	60
3.1 引言	60
3.2 柔性作业车间调度问题的描述及求解方法	61
3.2.1 柔性作业车间调度问题的描述	61
3.2.2 柔性作业车间调度问题求解方法	63
3.3 遗传算法求解柔性作业车间调度问题	64
3.3.1 遗传算法编码和解码	64
3.3.2 交叉操作	65
3.3.3 变异操作	66
3.3.4 选择操作	66
3.3.5 基于柔性作业车间调度问题的改进遗传算法	67
3.3.6 试验结果与分析	67
3.4 柔性作业车间动态调度问题研究	72
3.4.1 动态调度问题的提出	72
3.4.2 动态调度问题描述和研究方法	73
3.4.3 滚动调度策略	74
3.4.4 动态调度优化策略研究	77
3.5 实例仿真	79
3.6 车间作业调度应用实例	82
3.7 本章小结	88
参考文献	88
第4章 混流装配车间生产计划排序与关联优化	91
4.1 混流装配生产模式及其对生产运行优化的要求	92
4.1.1 JIT 环境下车间计划排序与执行管理的目标	92
4.1.2 多车间关联生产方式	92
4.2 混流装配车间生产运行优化问题的相关模型	93
4.2.1 排序问题简述	93
4.2.2 单一车间混流装配计划排序	94
4.2.3 多车间关联计划排序	97
4.2.4 混流装配计划排序的问题分类	99
4.3 面向单一混流装配线的计划排序问题	99
4.3.1 JIT 生产模式下混流装配计划排序的特点	101
4.3.2 以生产负荷平衡为目标的计划排序	101
4.3.3 以物流消耗平准化为目标的计划排序	103

4.3.4 基于产品相似度的混流装配线计划排序	105
4.3.5 面向多目标的装配计划排序	108
4.3.6 采用不同目标的对比分析	113
4.4 面向多级装配车间的关联计划排序问题	116
4.4.1 多车间关联生产的特点	116
4.4.2 基于部分属性序列的多车间计划排序	117
4.4.3 装配车间之间常用缓冲区的功能和结构	125
4.4.4 基于多通道选择缓冲区的多车间计划排序问题	127
4.5 本章小结	134
参考文献	134
第5章 混流生产系统运行优化与控制	137
5.1 混流生产系统的特点及其运行控制需求	137
5.1.1 混流生产系统的特点	137
5.1.2 国内外相关研究概况	138
5.2 多品种、小批量混流生产运行控制相关理论基础	140
5.2.1 精益生产与准时化生产方式	141
5.2.2 约束理论与 DBR	144
5.2.3 混流制造与聚焦工厂	148
5.3 基于约束管理的混流生产运行控制模式研究	150
5.3.1 多品种、小批量生产环境下的混流生产模型	151
5.3.2 基于约束理论的混流生产运行控制机制	153
5.3.3 基于约束理论的混流生产运行控制总体框架	155
5.4 基于约束管理的混流生产运行控制关键技术	156
5.4.1 混流路径规划	156
5.4.2 瓶颈识别与瓶颈排产	159
5.4.3 缓冲大小的设置与管理	164
5.5 基于约束管理的混流生产系统仿真	168
5.5.1 车间模型描述	168
5.5.2 生产模式的实现	170
5.5.3 仿真的数据统计与结论	173
5.6 本章小结	174
参考文献	175
第6章 制造系统运行过程中的预测与决策方法	178
6.1 神经网络集成预测方法及其应用	178
6.1.1 基于粗糙集的样本预处理方法	178

6.1.2	聚类 Bagging 预测方法	185
6.1.3	订单完工期及拖延期预测	187
6.1.4	基于集成径向基神经网络的制造系统性能指标预测	194
6.2	不确定信息条件下的生产计划和作业计划决策方法	201
6.2.1	基于可信性理论的多产品集结生产计划	201
6.2.2	基于随机规划的作业计划决策	209
6.3	设备维修决策方法	216
6.3.1	基于 Markov 链的多设备串并联系统视情机会维修	216
6.3.2	基于成本的选择性维修决策	224
6.4	本章小结	235
	参考文献	236
第 7 章	粒子群优化算法在生产调度中的应用	238
7.1	广义粒子群优化模型	238
7.1.1	传统粒子群优化算法简介	238
7.1.2	广义粒子群优化模型	238
7.2	基于改进信息共享机制的粒子群优化模型	240
7.2.1	基本定义	240
7.2.2	基于粒子群优化的信息共享机制	241
7.2.3	基于群体智能的信息共享机制	241
7.2.4	新的信息共享机制合理性分析	242
7.3	基于改进信息共享机制的车间调度算法	243
7.3.1	基于 PSO 的作业车间调度算法	243
7.3.2	基于 PSO 的置换流水车间调度算法	244
7.3.3	基于 PSO 的开放车间调度算法	246
7.4	算例	248
7.4.1	作业车间调度问题	248
7.4.2	置换流水车间调度问题	251
7.4.3	开放车间调度问题	253
7.5	本章小结	255
	参考文献	255
第 8 章	优化理论与方法的应用	257
8.1	在汽车装配 MES 系统中的应用	257
8.1.1	生产模式分析	257
8.1.2	汽车装配 MES 体系架构	259
8.1.3	汽车装配 MES 功能结构	259

8.1.4 汽车装配 MES 关键模块	260
8.2 在轿车发动机生产管理系统中的应用	268
8.2.1 需求分析	268
8.2.2 计划管理流程图	270
8.2.3 系统结构与功能分析	271
8.2.4 计划管理系统的主要功能模块	274
8.3 在车间生产排程系统中的应用	291
8.3.1 应用背景介绍	291
8.3.2 车间工艺流程	292
8.3.3 车间生产布局	294
8.3.4 车间现场主要问题及其原因分析	294
8.3.5 系统总体架构与功能模块	295
8.3.6 新的运行控制模式的实施	297
8.3.7 仿真验证	303
8.4 本章小结	304

第 1 章 绪 论

1.1 制造系统概述

1.1.1 制造系统的基本概念

随着社会的进步和人类生产活动的发展,制造的内涵也在不断地深化和扩展。目前对“制造”有两种理解:一种是狭义的制造概念,指产品的制作过程,如机械零件的加工与制作,称为“小制造”;另一种是广义的制造概念,覆盖产品整个生命周期,称为“大制造”。现代制造的内涵已扩展到大制造。

朗文词典对“制造”(manufacture)的解释是“通过机器进行(产品)制作或生产,特别是以大批量的方式进行生产”。显然,这是狭义上的制造概念。广义的制造概念及内涵在“范围”和“过程”两个方面大大进行了扩展。范围方面,制造涉及的工业领域远非局限于机械制造,还涉及电子、化工、轻工、食品等国民经济的众多行业;过程方面,广义的制造不仅指具体的工艺制作过程,还包含产品市场分析、产品设计、生产准备、制造管理、售后服务等产品整个生命周期的全过程。国际生产工程学会(CIRP)在1983年定义“制造”为制造企业中所涉及产品设计、物料选择、生产计划、生产、质量保证、经营管理、市场销售和服务等一系列相关活动和工作的总称。

制造的概念可以从以下三个方面来理解:

(1) 制造是一个工艺过程。制造过程是将原材料经过一系列的转换使之成为产品。这些转换既可以是原材料在物理性质上的变化(如机械切削加工),也可以是原材料在化学性质上的改变(如化工产品生产)。通常将这些转换称为制造工艺过程。在制造工艺过程中还伴随着能量的转换。

(2) 制造是一个物料流动过程。制造过程总是伴随着物料的流动,包括物料的采购、存储、生产、装配、运输、销售等一系列活动。

(3) 制造是一个信息流动过程。从信息的角度看,制造过程是一个信息传递、转换和加工的过程。整个产品的制造过程,从产品需求信息到产品设计信息、制造工艺信息、加工制造信息等,构成一个完整的制造信息链。同时,为保证制造过程能够顺利和协调地进行,制造过程还伴随着大量的管理信息和控制信息。

因此,制造过程是一个物料流、能量流和信息流“三流”合一的过程。

韦氏大辞典将“系统”一词解释为“有组织的或被组织化的整体”,“结合着的整

体所形成的各种概念和原理的综合”，“由有规则的相互作用、相互依存的形式组成的诸要素集合”等。一般系统论的创始人冯·贝塔兰菲把系统定义为“相互作用的诸要素的综合体”。我国著名科学家钱学森教授把一个极其复杂的研究对象称为系统，即“系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体，而这个系统本身又是它所从属的更大系统的组成部分”。

综合上述论述，可以将“系统”定义为：系统是由若干可以相互区别、相互联系而又相互作用的要素所组成，在一定的层次结构中分布，在给定的环境约束下为达到整体的目的而存在的有机集合体。

根据上述定义，可以进一步给出有关“系统”的若干概念：

(1) 系统与要素的关系：要素是构成系统的组分(组成部分)，系统是由诸要素组成的整体。

(2) 系统的结构：诸要素相互作用、相互依赖所构成的组织形式。

(3) 系统的功能：系统具有目的性或功能性，这是系统与环境相互作用的表现形式。系统的功能受到系统结构和环境的影响。

(4) 系统的层次：系统可以划分为不同的层次，层次的划分具有相对性。任何所研究的系统是更高一级系统的组成要素，但任何所研究的系统要素又是一个更低一级别的系统，即“向上无限大，系统变要素；向下无限小，要素变系统”。

(5) 系统的环境和边界：系统以外又与系统有关联的所有其他部分叫做环境，环境与系统的分界叫做边界。边界确定了系统的范围，也将系统与周围环境区别开来。系统与环境之间存在物质、能量和信息的交流，通常将环境对系统的作用称为系统的输入，将系统对环境的作用称为系统的输出。

系统是以不同形态存在的。根据生成原因的不同，系统可分为自然系统和人造系统。自然系统是自然界自发生成的一切物质和现象，与人类活动无关，如“地球生物系统”、“太空星球系统”等。人造系统是应用自然规律建造的、以自然系统为基础的一切满足人类生存和发展需要的人造物，如“生产制造系统”、“交通运输系统”、“社会经济系统”、“计算机系统”等。

无论是自然系统还是人造系统，一般都具有如下特性^[1]：

(1) 整体性。系统不是诸要素的简单集合，否则它就不会具有作为整体的特定功能。具有独立功能的系统要素及要素间的相互作用是根据逻辑统一性的要求，协调存在于系统整体之中。也就是说，任何一个要素不能离开整体去研究，要素间的联系和作用也不能脱离整体的协调去考虑。脱离了整体性，要素的机能和要素间的作用便失去了原有的意义。

(2) 集合性。系统是由两个或两个以上可以相互区别的要素(即集合的元素)所组成，这些要素可以是具体的物质，也可以是非物质的软件、组织等。例如，一个计算机系统一般是由处理器、存储器、输入输出设备等硬件和操作系统、应用程序

等软件构成一个完整的集合体。

(3) 相关性。组成系统的要素是相互联系、相互作用的,即“牵一发而动全身”。

(4) 层次性。系统作为一个相互作用的诸要素构成的有机整体,它可以分解为一系列的子系统,并存在一定的层次结构,这种层次结构表述了不同层次子系统之间的从属关系或相互作用关系。

(5) 目的性。通常系统都具有某种目的,它一般用更具体的目标来体现,并通过系统功能来实现。为了实现系统的目的,系统必须具有控制、调节和管理的功能。管理的过程也就是实现系统的有序化过程,使它进入与系统目的相适应的状态。

(6) 环境适应性。一个具有持续生命力的系统必须适应外部环境的变化,并保持最优适应状态。例如,一个企业生产系统必须经常了解国内外市场需求及行业发展动态等环境的变化,并在此基础上制定企业的生产经营策略、调整企业的内部组织结构等以适应环境的变化。

根据上述“制造”和“系统”的内涵,给出制造系统的定义:制造系统是指为实现生产产品的目的,由完成制造过程所需的人员、加工设备、物流设备、原材料、能源和其他辅助装置,以及设计方法、加工工艺、管理规范 and 制造信息等组成的具有特定功能的有机整体。

根据上述定义,制造系统包含以下三个方面的含义:

(1) 制造系统是一个由制造过程所涉及的硬件(各种设备和装置)、软件(制造技术与信息)及人件(有关人员)所组成的统一整体。这是对制造系统的结构定义。

(2) 制造系统是一个将制造资源(原材料、能源等)转变为产品或半成品的动态输入输出系统。这是对制造系统的功能定义。

(3) 制造系统涵盖产品的生命周期全过程,包括市场分析、产品设计、工艺规划、制造实施、质量控制、产品销售、售后服务及回收处理等环节。这是对制造系统的过程定义。

以机械零件加工系统这一典型的制造系统为例,它以完成机械零件的加工制作为目的,由机床、刀具、夹具、操作人员、被加工工件、加工工艺与管理规范等组成。单台加工设备、制造单元、生产线、加工车间及制造企业等都可以看做是不同层次的机械制造系统。该系统的输入是各类制造资源(毛坯或半成品、劳动力能源等),经过机械加工过程制成零件输出,这个过程就是制造资源向零件的转变过程,在此过程中伴随着物流(毛坯→半成品→成品)、能量流(电能→机械能、热能、化学能)和信息流(市场需求信息→零件设计信息→制造工艺信息→加工过程信息)。如图 1.1 为机械制造系统中的物流、信息流和能量流:

(1) 物流:整个机械加工过程是物料的输入和输出过程。机械加工系统输

入的是原材料、毛坯或半成品及相应的刀具、夹具、量具、润滑油、冷却液和其他辅助物料等,经过输送、装夹、加工和检验等过程,最后输出半成品或产品(一般还伴随切屑的输出)。这种物料在机械加工系统中的流动被称为物料流。

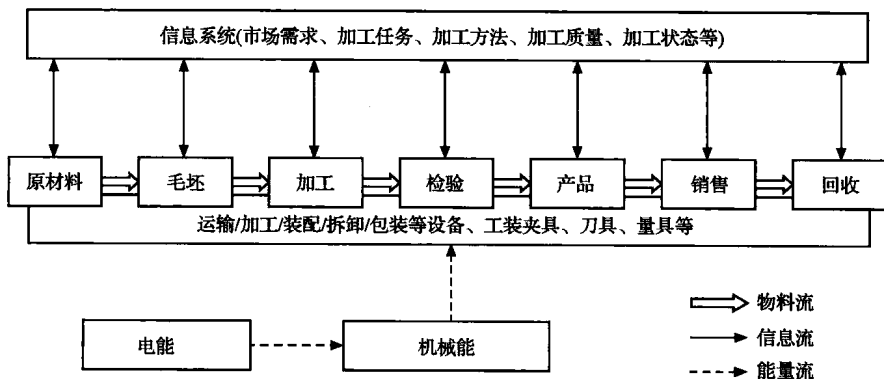


图 1.1 机械制造系统中的物料流、信息流和能量流

(2) 信息流: 信息是制造系统运行的基本条件。为保证机械加工过程的正常进行,必须集成各方面的信息,这些信息主要包括市场需求、生产任务、产品质量指标、技术要求、加工方法、工艺参数、设备状态等。所有这些信息及其交换和处理过程构成了机械加工过程的信息系统,这个系统不断地和机械加工过程的各种状态进行信息交换,对加工过程进行管理和控制,保证机械加工系统的效率和产品质量。这种信息在机械加工系统中的流动与作用过程称为信息流。

(3) 能量流: 能量是驱动机械制造系统运行的动力源。机械加工系统也是一个能量转换系统,机械加工和物流环节都需要消耗能量。通常驱动机械系统运动的原动力是电能,通过电机将电能转化为机械能,改变原材料或毛坯的形状,完成机械切削加工,部分机械能再转化为液压能以驱动执行元件完成特定的动作,还有部分机械能转化为热能被消耗。物流环节中的能量还包括燃料燃烧产生的化学能。这种能量在机械加工系统中的传递与转换过程称为能量流。

1.1.2 制造系统的基本类型

1. 按产品性质分

根据产品性质和生产方式的不同,制造系统可分为两大类:连续型制造系统和离散型制造系统。连续型制造系统生产的产品一般是不可数的,通常以重量、容积等单位进行计量,其生产方式是通过各种生产工艺流程将原材料逐步变成产品。连续型制造系统的典型代表有:石油天然气生产系统、化工产品生产系统、酒类饮品生产系统、钢铁生产系统等。离散型制造系统生产的产品则是可数的,通常用