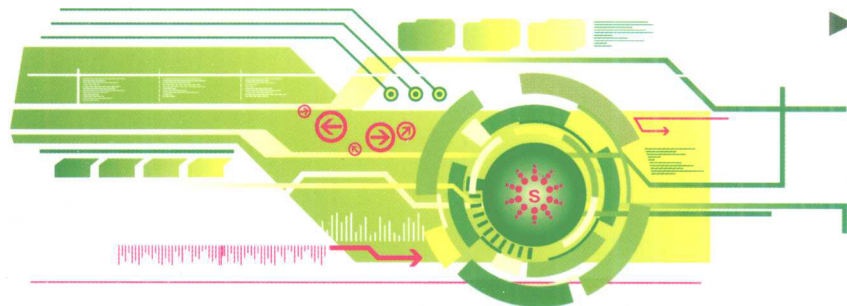


多智能体方法

在作业车间调度中的应用

► 任海英 著



DUOZHINENGTI FANGFA
ZAI ZUOYECHEJIAN DIAODUZHONG DE YINGYONG

北京工业大学出版社

多智能体方法在作业车间 调度中的应用

任海英 著

北京工业大学出版社

内 容 简 介

近年来,产品需要的快速变化、交货期不断缩短和用户定制增加等要求生产企业的生产计划的制订和生产调度的调整更为迅速和高效。传统的静态调度理论难以适应实际中大规模动态调度问题的需要,而多智能体方法因其灵活性好和适应性强的特点而受到广泛的关注。

本书提出了一类新的基于多智能体协商的调度体系,该体系主要针对及时或准时交货的性能指标。作者在经典作业车间和柔性作业车间等环境下设计和实现了这些多智能体调度系统的原型,并通过仿真实验验证了它们的有效性和相对于传统调度规则的优越性。本书既可作为相关专业的课程教材,也可作为制造业企业管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

多智能体方法在作业车间调度中的应用 / 任海英著. —北京:
北京工业大学出版社, 2012.

ISBN 978 - 7 - 5639 - 3472 - 0

I. ①多… II. ①任… III. ①人工智能 - 应用 - 车间 -
生产调度 IV. ①F406.6 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 051117 号

多智能体方法在作业车间调度中的应用

著 者: 任海英

责任编辑: 王轶杰

封面设计: 何 强

出版发行: 北京工业大学出版社

(北京市朝阳区平乐园 100 号 100124)

010 - 67391722 (传真) bgdcbs@sina.com

出 版 人: 郝 勇

经销单位: 全国各地新华书店

承印单位: 徐水宏远印刷有限公司

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16

印 张: 10.5

字 数: 224 千字

版 次: 2013 年 5 月第 1 版

印 次: 2013 年 5 月第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978 - 7 - 5639 - 3472 - 0

定 价: 18.00 元

版权所有 翻印必究

(如发现印装质量问题, 请寄本社发行部调换 010 - 67391106)

前言

近年来，全球化竞争使得各类制造业企业感受到了越来越大的压力。用户的主导性日益增强，需求快速变化、交货期趋于缩短和用户定制愈发普遍，这些都对企业的生产计划和调度工作提出了更高的要求。一个好的生产调度系统必须实现较短的交货期、较低的在制品和最终库存，并能对突发的生产和需求变化做出更好的响应。

为了更好地进行生产计划和调度，当前许多制造企业的做法是加强信息化建设，其代表是建立 ERP（企业资源计划）系统。目前 ERP 系统的主要长处是企业信息的组织和综合管理，但对于生产计划、尤其是具体调度方面的算法比较简单，以经验方法为主，不易结合企业的具体特点，因此无法实现符合企业个性的最佳生产计划和优化调度性能。出现这种情况的原因，一方面是软件开发者不够重视生产调度理论，另一方面是由于调度问题本身的复杂性，使得 ERP 系统主要适用于小规模理想问题的经典调度理论和算法，难以服务于现实中复杂、动态和不确定的实际情况。

多智能体系统和方法是近年来兴起的一类新的学科视角和方法体系，它试图把人类智慧与计算机的强大计算能力更好地结合起来，以解决大规模复杂系统的分析、计算和优化等问题。越来越多的学者开始采用多智能体方法来解决制造企业的现实生产和调度问题。本书研究的就是在这个背景下展开的。

本书是作者经多年研究积累的阶段性成果总结，其核心是提出了一种基于多智能体协商的新的调度体系。其思想简单说来就是每当需要进行调度决策的时刻，每台机器、每次作业和它们控制系统由自己的调度智能体来为备选作业或由机器计算在某调度时刻的局部调度优先级。每个参与决策的调度智能体被预先或动态地赋予一个合作权重，而每个作业或机器的最终优先级是这些局部调度优先级的集成。最终优先级最高的那个作业或机器被选中执行。这种调度系统的基本结构非常简单，便于理解和实施。我们在经典作业车间针对作业的极小化平均延误问题、极小化平均提前加延误问题和带窗口的提前加延误问题设计和实现了该调度系统的原型。此外，我们还针对现实中广泛存在的柔性作业车间的极小化平均延误问题设计了调度系统原型。大规模仿真实验表明，与主要传统调度规则相比，多智能体调度方法具有优异的性能和良好的反应能力，是一种有前途的、实用的生产调度

方法。

本书由 2011 年北京市属高等学校人才强教深化计划资助。它的完成是与一直关心、支持和帮助我的北京工业大学经济与管理学院的各位领导和同仁分不开的，在此我衷心地表示感谢！此外要特别感谢我在美国南佛罗里达大学的博士生导师翁小华（Michael X. Weng）给予的巨大帮助。另外，感谢我的研究生孙宏玲帮助我完成了第 8 章的部分代码和仿真实验。

著者

2012 年 8 月

符号列表

α_j : 作业 (job) j 提前完工一个单位时间的费用 (unit earliness cost)

β_j : 作业 j 延误 (滞后) 完工一个单位时间的费用, 也称作业 j 的延误权重 (unit tardiness cost)

a_j : 作业 j 的允许流水 (flow allowance), $a_j = d_j - r_j$

C_j : 作业 j 的完工时间 (completion time, 或译作完成时间)

d_j : 作业 j 的交货期 (due date, 或译作工期)

d_j^E : 作业 j 的交货期窗口 (due window) 下界

d_j^L : 作业 j 的交货期窗口上界

d_{jm} : 作业 j 在机器 (machine) m 上的工序交货期 (详见缩略语列表中的常用工序交货期设置规则)

E_j : 作业 j 的提前量 (earliness)

K : TWK 交货期规则中的松紧因子 (参见缩略语列表)

m : 机器下标

M : 机器个数

m_j : 作业 j 的工序 (operation) 数

n : 作业个数

p : 所有作业的每道工序的平均加工时间

p_{jm} : 作业 j 在机器 m 上的加工时间 (processing time, 或译为处理时间)

p_j : 作业 j 在所有机器上的总加工时间。对于一个单机问题, p_j 是作业 j 在单机上的加工时间

q_m : 机器 m 的队列中 (不包括正在被加工的作业) 的所有作业当前工序的加工时间总和

$Q(m)$: 机器 m 的队列中所有工序的集合

r_j : 作业 j 的释放时间 (release time, 或译为提交时间)

r_{jm} : 作业 j 到达机器 m 的时间

R_{jm} : 作业 j 在机器 m 上加工之前的剩余加工时间总和, $R_{jm} = \sum_{k \in S_{jm}} p_{jk}$

$\bar{R}_{jm}$: 作业 j 在机器 m 上加工之后的剩余加工时间总和, $\bar{R}_{jm} = \sum_{k \in \bar{S}_{jm}} p_{jk}$

S_{jm} : 作业 j 在机器 m 上加工之前的剩余工序的集合

$\bar{S}_{jm}$: 作业 j 在机器 m 上加工之后的剩余工序的集合

s_j : 作业 j 在一台单机上的松弛量 (slack), $s_j = d_j - t - p_j$

s_{jm} : 作业 j 在机器 m 上加工之前的松弛量, $s_{jm} = d_j - t - \sum_{k \in S_{jm}} p_{jk}$

$|S|$: 集合 S 的基数

t : 当前时间

t_0 : 调度的开始时间

T_j : 作业 j 的延误量 (tardiness)

$x(j)$: 加工作业 j 剩余工序中第一个工序的那台机器

$x^+ : x^+ = \max \{x, 0\}$

缩略语列表

1. 常用目标函数（都为极小化）

CMT: 条件平均延误 (conditional mean tardiness)。计算公式同 MT, 但 CMT 只计算那些延迟作业的平均延误。

ET (MAD): 平均提前加延误, $ET = \frac{1}{n} \sum_j |C_j - d_j|$

ETW: 带交货期窗口的平均提前加延误,

$$ETW = \frac{1}{n} \sum_j \max\{d_j^E - C_j, 0, C_j - d_j^L\}$$

MC: 平均完成时间 (mean completion time), $MC = \frac{1}{n} \sum_j C_j$

MFT: 平均流水时间 (mean flow time)。这个目标函数与平均完成时间只差一个常数, 因此两者的最优调度是相同的, $MFT = \frac{1}{n} \sum_j (C_j - r_j)$

MT: 平均延误 (mean tardiness), $MT = \frac{1}{n} \sum_j \max\{C_j - d_j, 0\}$

MS: 制造期 (make span), $MS = \max\{C_j\}$, 或记为 $MS = C_{\max}$

PT: 延误比例 (percent tardy), $PT = \frac{1}{n} \sum_j U_j$, 式中: $U_j = \begin{cases} 1, & C_j - d_j > 0 \\ 0, & C_j - d_j \leq 0 \end{cases}$

WIP: 在制品 (work in process)。本项研究中, 在制品被定义为系统中某时刻所有未完作业的总数量

2. 常用的交货期设置规则

CON: 允许流水为常数, $a_j = k$

NOP: 允许流水与工序数成正比, $a_j = k \cdot m_j$

PPW: 允许流水等于加工时间加等待时间, $a_j = p_j + k \cdot m_j$

SLK: 允许流水等于加工时间加常数, $a_j = p_j + k$

TWK: 允许流水与总加工时间成正比, $a_j = K \cdot p_j$

3. 常用工序交货期 (operation due date) 设置规则

工序 CON: $d_{jm} = d_{j,\gamma(j)} + a_j/m_j$

工序 SLK: $d_{jm} = d_{j,\gamma(j)} + p_{jm} + (a_j - p_j) / m_j$

工序 TWK: $d_{jm} = d_{j,\gamma(j)} + a_j \cdot p_{jm}/p_j$, 式中: $\gamma(j)$ 表示作业 j 在来到机器 m 之前一个工序机器的下标。如果 m 是作业 j 的第一道工序, 则 $d_{j,\gamma(j)} = r_j$

4. 作业车间 (job shops) 常用分派规则 (dispatching heuristics)

A/OPN: 工序平均剩余流水规则, $\min_j = (d_j - t) / |S_{jm}|$

ATC: 明显延误费用规则 (apparent tardiness cost), 参见 3.3 节

CEXSPT: 条件快速最短加工时间规则 (conditional expeditive SPT), 参见 3.3 节

CoverT: 单位时间的费用规则 (cost over time), 参见 3.3 节

CR (SCR): 关键比率规则 (critical ratio), $\min_j = a_j/R_{jm}$

CR/SPT: 关键比率最短加工时间规则 (critical ratio SPT), $\min_j = \max \{t + p_{jm}, t + p_{jm} \cdot (d_j - t) / R_{jm}\}$

EDD: 最早交货期 (earliest due date), $\min_j = d_j$

EXPET: 提前/延误的指数型规则 (exponential heuristic for earliness and tardiness), 参见 3.4 节

FASFS: 先到系统先服务 (first arrive system first served), $\min_j = r_j$

FCFS (FIFO): 先到 (机器) 先服务 (first come first served), $\min_j = r_{jm}$

KAN: Kanet 于 1981 年提出的一个针对最小化总提前和延误之和的最优作业排序流程, 参见 3.3 节

LINET: 提前/延误的线性规则 (linear heuristic for earliness and tardiness), 参见 3.4 节

MDD: MOD 规则的单机版本

MOD: 修正工序交货期规则 (modified operation due date), $\min_j = \max \{d_{jm}, t + p_{jm}\}$

MOF: 最大剩余工序数优先规则 (maximum remaining operations first), $\max_j = |S_{jm}|$

MSLACK: 最小松弛量规则 (minimum slack), $\min_j = s_{jm}$

MAXSLACK: 最大松弛量规则 (maximum slack), $\max_j = s_{jm}$

OCR (OPCR): 最小工序关键比率规则 (smallest operation critical ratio), $\min_j = (d_{jm} - t) / p_{jm}$

ODD: 最早工序交货期规则 (earliest operation due date), $\min_j = d_{jm}$

OPSLK: 工序松弛量比剩余工序数规则 (operation slack per remaining operation), $\min_j = (d_{jm} - t - p_{jm}) / |S_{jm}|$

OST: 最小工序松弛量规则 (minimum operation slack time), $\min_j = d_{jm} - t - p_{jm}$

SI*: 最短迫近截断规则 (shortest imminent truncated), 令 $F_{jm} = \{s_{jm} - U\}$, 其中 U 为控制参数。如果队列中存在作业 j 使得 $F_{jm} \leq 0$, 所有这些作业由 SPT 规则排序。如果所有的作业都有 $F_{jm} \geq 0$, 则所有作业都由 SPT 规则排序

S/OPN: 单位工序松弛量规则, $\min_j = s_{jm} / |S_{jm}|$

S/RPT: 单位剩余加工时间松弛量规则 (slack per remaining processing time), $\min_j = s_{jm} / R_{jm}$

SPT: 最短加工时间规则 (shortest processing time), $\max_j = 1/p_{jm}$

TSPT: 截断最短加工时间 (truncated shortest processing time), 这个规则除了让等待时间太长的作业先加工外与 SPT 规则相同

WINQ: 下个工序队列工作量最小规则 (least work content in the next queue first),

$$\min_j = \sum_{h \in Q(x(j))} p_{h,x(j)}$$

WSPT: 加权最短加工时间规则 (weighted shortest processing time), $\max_j = w_j/p_{jm}$

$W^{e,r}$ (TWKR - BY - TIS): 具有最小的 (加权剩余总工作量/进入系统时间) 的作业先加工, 由蒂亚戈拉琼和拉金德兰提出, 参见 3.3 节

$W^{e,r,h}$ (TWKR - BY - TIS): 与 $W^{e,r}$ (TWKR - BY - TIS) 类似, 但是考虑了流水时间的权重, 由蒂亚戈拉琼和拉金德兰提出, 参见 3.3 节

$W^{e,r,h}$ (TWKR): 具有最小的加权剩余总工作量的作业先加工, 参见 3.3 节

定 义

几乎完成作业 (almost finished job, AFJ): 生产计划开始执行后的某时刻只剩下一道工序的作业。

分派规则 (dispatching rules): 一类经验式作业调度方法, 采用作业优先级的指派或排序规则。其流程如下: 当一个作业到达一台机器时, 如果机器繁忙, 则该作业在机器的队列中等待。当机器空闲时, 根据分派规则计算每个当前队列中的作业的优先级, 具有最高优先级的作业优先被加工。如果机器空闲时队列里只有一个作业, 则这个作业立即被加工。如果机器空闲时队列为空, 则机器等待新的作业到达。重复这个过程直到所有的作业加工完毕。分派规则的特点是实用而简便, 但缺点是一般情况下只能得到性能较好的解, 而非最优解 (但也有例外)。

确定性调度问题 (deterministic scheduling problem): 所有调度参数, 如加工时间、释放时间、交货期等。这些都是调度时能确定的, 与随机调度问题相对。

动态调度问题 (dynamic scheduling problem): 广义的动态调度问题指生产计划开始执行后至少有一个作业到达车间, 不论关于这个新作业的信息是否事先已知; 狭义动态调度问题是指生产计划开始执行后至少有一个信息已知的作业到达车间, 但这些作业的加工信息都已知。本书研究的是广义的动态调度问题。

柔性作业车间 (flexible job shop): 本书研究的柔性作业车间是作业车间和并行机环境的一般化。与作业车间相比, 每一台机器被一个加工中心所取代, 每个加工中心包含一组并行机器 (不一定同速), 每个作业以一个预先确定的加工路径经过若干加工中心, 在其中任一台机器上加工, 最后完成。

作业保持 (job holding): 一般的分派规则规定, 如果机器空闲而队列中有作业时, 具有最大优先级的作业应立即开始被加工。但在采用作业保持策略的情形下, 可以不立即开始加工作业, 而将其开始时间推迟。采取作业保持策略的意图一方面可能是因为作业交货期还很远, 过早处理会使作业提前, 另一方面可能是机器预计很快就有比当前队列中的作业更紧急或更重要的作业出现。作业保持对于提前加延误问题是一种有效策略。在文献中, 作业保持也被称为“插入空闲时间” (inserted idle time)。

作业释放时间 (job release time): 作业准备就绪并到达车间的时刻。

作业车间 (job shop): 一般指经典作业车间 (参见柔性作业车间)。作业车间有若干

台机器，每项工作都有一道或多道工序，每道工序都有预先确定的加工路径。对于最基本的作业车间，每个作业最多访问一台机器一次；对于可循环作业车间（recurrent job shop），每个作业可以访问一台机器多次。

非几乎完成工作（non-almost finished job, NAFJ）：生产计划开始执行后的某时刻还剩下二道或二道以上工序的作业。

不规则目标函数（non-regular objective）：在最小化作业调度问题中，如果目标函数不是所有作业完成时间的非递减函数，则这个目标函数是不规则的。提前加延误是一个典型的不规则目标函数。

工序交货期（operation due dates）：也叫工序里程碑（Operation milestones），它通常根据一些启发式规则而设定，如 ODD 和 MOD 等，目的是在作业计划开始执行后随时评价一个作业的进度是否滞后。当一个作业过了交货期，它就真的延误了；但当一个作业过了工序交货期，它还不一定最终延误，但也要抓紧了。

规则目标函数（regular objective）：在最小化作业调度问题中，如果目标函数是所有作业完成时间的非递减函数，则这个目标函数就是规则的。

剩余提前期（remaining lead time）：从一个作业在一台机器上开始加工时刻起到该作业估计完工时刻之间的时间长度。

静态调度问题（static scheduling problem）：与动态调度问题相对，指生产计划开始执行时所有作业都已释放。

排时（timing）：调度文献中排时的概念有广义和狭义之分。广义的排时指将每个作业的加工次序和加工开始时间都安排好，而狭义的排时不包括确定加工次序，只研究在给定加工次序下各作业的加工开始时间。本书中的排时指狭义的排时。

加工中心（work center）：在经典的车间调度问题中，一个加工中心只有一台机器，而在柔性车间调度问题中，一个加工中心可能有几台相同功能（但速度可能不同）的机器。

目 录

符号列表	(I)
缩略语列表	(I)
定义	(I)
第 1 章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.1.1 生产系统中的计划和调度问题	(1)
1.1.2 传统生产系统面临的挑战	(2)
1.1.3 企业资源计划与准时生产制的兴起和不足	(3)
1.1.4 生产调度对于完善生产系统的作用	(4)
1.1.5 生产调度问题的复杂性	(4)
1.1.6 本书对于生产调度系统的解决方案和研究思路	(6)
1.2 本书研究的调度模型	(8)
1.2.1 经典的车间调度问题	(9)
1.2.2 柔性车间调度问题	(10)
1.3 研究的创新点	(11)
1.4 本书内容概览	(12)
参考文献	(13)
第 2 章 多智能体方法的基本理论	(14)
2.1 智能体的概念	(14)
2.2 智能体的属性和分类	(15)
2.3 多智能体系统的概念和体系结构	(17)
2.3.1 多智能体系统的概念	(17)
2.3.2 多智能体系统的特点	(17)
2.3.3 多智能体系统的体系结构	(18)
2.4 多智能体系统中智能体间的合作方式	(20)
2.4.1 智能体间合作方式的类型	(20)
2.4.2 智能体间合作关系的典型模式	(22)
参考文献	(26)

第3章 相关调度问题的研究现状	(28)
3.1 引言	(28)
3.2 动态作业车间最小化平均延误问题的研究状况	(28)
3.3 具有不同作业交货期的动态提前加延误问题的研究回顾	(32)
3.4 柔性作业车间调度的研究现状	(37)
3.5 各类多智能体方法在工业调度中的应用	(41)
3.5.1 层次型多智能体系统在调度中的应用	(41)
3.5.2 异构型多智能体系统在调度中的应用	(42)
3.5.3 基于复杂适应系统的多智能体系统在调度中的应用	(43)
3.5.4 混合式多智能体系统在调度中的应用	(44)
参考文献	(44)
第4章 权重式多智能体调度系统的体系结构	(50)
4.1 引言	(50)
4.2 多智能体调度系统中智能体的概念和角色	(51)
4.2.1 调度智能体的概念	(51)
4.2.2 MASS 中智能体的类型和角色	(52)
4.3 MASS 的通信与合作机制	(54)
4.4 MASS 中合作权重的确定、调整和学习	(56)
4.5 MASS 在制造系统中的实现和集成	(57)
参考文献	(60)
第5章 作业车间平均延误问题的多智能体调度方法	(61)
5.1 引言	(61)
5.2 作业车间 MT 问题的多智能体方法	(62)
5.2.1 对已有启发式规则的分析	(62)
5.2.2 各类智能体的调度规则	(63)
5.2.3 智能体优先级及合作机制的公式化表示	(64)
5.3 “最佳”合作权重的确定	(65)
5.3.1 穷举搜索法	(66)
5.3.2 模拟退火方法	(67)
5.4 智能体方法与经典启发式方法的实验比较	(68)
5.4.1 仿真实验设置	(68)
5.4.2 CoverT 和 ATC 规则的参数设置	(69)
5.4.3 作业到达间隔时间服从指数分布时的仿真结果	(69)
5.4.4 “最佳”合作权重与车间环境参数的关系	(73)
5.4.5 作业到达间隔时间为常数时的仿真结果	(77)

5.5 小结	(79)
参考文献	(80)
第6章 求解动态作业车间最小化平均提前加延误问题的多智能体算法	(81)
6.1 引言	(81)
6.2 求解 ET 问题的多智能体方法	(81)
6.2.1 对于 ET 问题的分析	(81)
6.2.2 机会主义优先级的设计和计算	(83)
6.2.3 系统优先级和机器优先级的设计	(87)
6.2.4 作业优先级和作业保持策略	(88)
6.2.5 剩余提前期的估计	(92)
6.2.6 MASS - ET 的智能体优先级和合作策略总结	(93)
6.3 仿真实验	(95)
6.3.1 实验设置和性能指标	(95)
6.3.2 实验结果和分析	(95)
6.3.3 “最佳”合作权重	(101)
6.4 小结	(104)
参考文献	(105)
第7章 带交货窗口的动态作业车间最小化平均提前加延误问题的多智能体算法	(106)
7.1 引言	(106)
7.2 单机 ET 问题的最优排时算法	(109)
7.3 单机 ETW 问题最优排时调度的性质	(110)
7.4 单机 ETW 问题的最优排时算法	(112)
7.5 MASS - ETW 中各智能体的优先级设计	(120)
7.6 仿真实验	(121)
7.6.1 实验设置和受测试的调度方法	(121)
7.6.2 仿真结果和分析	(122)
7.7 小结	(129)
参考文献	(129)
第8章 柔性作业车间平均延误问题的多智能体调度方法	(130)
8.1 引言	(130)
8.2 柔性作业车间 MT 问题的多智能体方法	(131)
8.2.1 多智能体调度系统的体系结构	(131)
8.2.2 生产单元智能体	(132)
8.2.3 作业智能体	(132)
8.2.4 系统智能体和作业的最终优先级	(134)

8.2.5 调度流程 (134)

8.3 仿真实验和算法性能比较 (136)

8.3.1 实验设置 (136)

8.3.2 策略一的仿真实验及结果分析 (137)

8.3.3 策略二的仿真实验及结果分析 (138)

8.4 合作权重的实时调整 (140)

8.4.1 合作权重调整问题的提出和分析 (140)

8.4.2 合作权重调整的具体策略 (141)

8.4.3 仿真实验与结果分析 (142)

8.5 小结 (145)

参考文献..... (145)

第9章 结论和展望..... (146)

9.1 成果总结 (146)

9.2 未来研究展望 (148)

第1章 绪 论

1.1 引言

1.1.1 生产系统中的计划和调度问题

每个生产系统都要解决生产的计划和调度问题。因为不同工作和研究领域的人士对于生产计划和调度有很多不同的理解和称谓，本小节首先将本书中所研究的“生产计划”和“作业调度”概念加以界定。

生产系统可以分为两大类，制造业和服务业，两者的运作管理有着较大的区别。制造业根据生产流程的不同主要分为连续生产系统和离散生产系统。连续生产系统主要出现在流程行业(process industries)中，它的主要特征是对原料进行连续、不间断的加工处理；而离散加工系统主要出现在装配行业中，主要特征是将可数的原材料一一进行加工或组装。本书研究的生产系统主要指制造系统中的离散生产系统，其中的一些方法或结论经过调整也可以用于连续生产系统和服务业中。

本书所说的“生产计划”是指，在生产系统运转一段时间内企业对每种产品的生产数量和预计交货时间所进行的规划活动，而“调度”是将生产计划具体落实到每批甚至每件产品具体执行过程的安排。具体地说，我们将一批或一件产品(执行单位的大小取决于规划的精细程度)从企业原材料开始直至变为成品的全部执行过程称为一个“作业”^[1]。一个作业的完成涉及它所需要的原材料、机器设备、加工操作人员和临时存储设备。本书将机器设备和加工操作人员统称为“机器”(有的书称为“设备”或“资源”)，将临时存放在制品的存储设备称为“队列”(有的书称为“缓存”或“缓冲区”)。本书假定所有作业的原材料在生产过程中不发生短缺情况，但每个作业的每一个加工步骤都要独占一台机器一段时间，因此在生产的执行过程中可能会出现多个作业在一台或多台机器前排队的情况，这时无法立刻加工的作业就须在机器队列中等待。于是，一方面，从作业的角度看，作业调度的具体内容就是如何安排每个作业在其所需的各台机器上的具体加工时间，使得作业能按生产计划的要求完成并使得某些生产系统的性能指标达到最优或满意。另一方