

浙江省哲学社会科学规划课题研究成果
宁波大学学术著作出版基金资助出版

ZAOCHUAN QIYE
KUACHEJIAN JICHENG ZUOYE JIHUA FANGFA

造船企业 跨车间集成作业计划方法

■ 胡燕海 著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

浙江省哲学社会科学规划课题研究成果
宁波大学学术著作出版基金资助出版

造船企业跨车间集成作业计划方法

胡燕海 著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

造船企业跨车间集成作业计划方法/胡燕海著. —
杭州:浙江大学出版社, 2010.3
ISBN 978-7-308-07395-0

I. ①造… II. ①胡… III. ①船厂—生产管理 IV.
①F407.474.62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 027705 号

造船企业跨车间集成作业计划方法

胡燕海 著

责任编辑 王大根

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 杭州浙大同济教育彩印有限公司

开 本 710mm×1000mm 1/16

印 张 17.5

字 数 315 千

版 次 2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-07395-0

定 价 35.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88925591

前 言

作者通过对造船企业的长期调研发现:工件在多个生产车间(中心)之间混杂流动,但我国传统的造船企业生产管理模式属于单个车间各自为政的经验式管理,每个车间制订作业计划的周期从十余天到数十天不等。后续车间对某个工件的加工必须等到前一车间在一个生产周期结束后将其送至后续车间才能开始。因此,造成了我国企业造船周期远远长于韩国、日本等生产管理水平先进的国家,并进一步导致我国造船企业中间产品库存量大、设备利用率低等问题。

为了提高我国造船企业的生产管理水平,本书就生产现场的作业计划进行了一些理论与方法研究。全书分为6章。第1章介绍常见制造系统作业计划方法和造船企业作业计划方法;第2章以散货船为例,分析船舶结构、车间作业情况和跨车间集成作业计划的可行性;第3章介绍本书所用的遗传算法、蚁群算法及其所构成的两种组合算法;第4章研究静态条件下,从单元层、车间层到跨车间层的作业计划方法;第5章以紧急订单为例,研究动态条件下造船企业跨车间集成作业计划方法;第6章研究某大型造船企业的静、动态跨车间集成作业计划问题,并指出本书求得的作业计划比该造船企业通常采用的作业计划有很大改进。

本书可以作为工业工程、机械设计制造及其自动化、管理信息系统等专业,领域的研究生、本科生以及专业技术人员的课程教材或参考用书。

本书在撰写过程中得到了上海交通大学严隽琪教授、马登哲教授、范秀敏教授,绍兴文理学院院长、宁波大学生产工程研究所所长叶飞帆教授等专家学者的大力帮助,在此一并表示衷心的感谢!

本书所涉的研究工作还得到了浙江省自然科学基金资助项目(Y607470)、宁波市自然科学基金资助项目(2008A610036)的资助,以及宁波大学胡岚优秀博士基金的奖励,在此深表感谢!

著 者

2010年1月16日于宁波大学

C 目 录 ontents

01 绪 论	1
1.1 常见制造系统作业计划方法	1
1.1.1 作业方式	1
1.1.2 建模方法	3
1.1.3 优化算法	4
1.1.4 动态调度	9
1.1.5 作业计划系统	12
1.2 造船企业作业计划方法	12
02 造船企业室内加工作业分析	14
2.1 常见散货船主要分段结构分析	14
2.2 造船企业车间作业情况分析	17
2.3 造船企业跨车间集成作业计划的可行性分析	20
03 造船企业跨车间集成作业计划算法研究	22
3.1 GA 算法原理	23
3.1.1 GA 算法与自然选择	23
3.1.2 GA 算法的基本步骤	24
3.1.3 GA 算法的关键操作及其性能分析	25
3.1.4 GA 算法流程	29
3.2 ACO 算法原理	29
3.2.1 蚁群寻径原理	30
3.2.2 ACO 算法寻优过程	31
3.2.3 ACO 算法的特点	32

3.2.4 ACO 算法流程	33
3.3 GA-ACO 算法原理	33
3.4 HACO 算法原理	35
3.4.1 选择算子	35
3.4.2 杂交算子	36
3.4.3 变异算子	36
3.4.4 HACO 算法流程	36

04 造船企业跨车间静态集成作业计划方法 39

4.1 造船企业跨车间静态集成作业计划问题整数规划模型	39
4.2 基本作业计划方法	40
4.2.1 并行机作业计划方法	41
4.2.2 流水作业计划方法	44
4.2.3 异顺序作业计划方法	54
4.2.4 混杂流水作业计划方法	64
4.2.5 开放作业计划方法	68
4.3 单元作业层作业计划方法	73
4.3.1 平行流水作业计划方法	73
4.3.2 含多功能机床的混杂流水作业重构方法	80
4.3.3 含多功能机床的混杂流水作业计划方法	86
4.4 车间作业层作业计划方法	92
4.4.1 网状流水车间作业计划方法	92
4.4.2 多作业车间作业计划方法	100
4.5 跨车间集成作业计划方法	108
4.5.1 问题描述	108
4.5.2 调度算法	109
4.5.3 算例研究	115

05 紧急订单条件下跨车间动态集成作业计划方法 120

5.1 跨车间动态集成作业计划整数规划模型	121
5.2 单元作业层动态作业计划非连接图模型	122



5.2.1 平行流水作业动态作业计划非连接图模型	122
5.2.2 混杂流水作业动态作业计划非连接图模型	123
5.3 车间层动态集成作业计划非连接图模型	124
5.3.1 网状流水车间动态作业计划非连接图模型	124
5.3.2 多作业车间动态集成作业计划非连接图模型	124
5.4 跨车间层动态集成作业计划方法	125
5.4.1 跨车间动态集成作业计划非连接图模型	125
5.4.2 所用算法	126
5.4.3 算例研究	127
06 造船企业工程实例应用	130
6.1 造船企业跨车间静态集成作业计划的制订	130
6.1.1 问题描述	130
6.1.2 计算结果	135
6.2 造船企业跨车间动态集成作业计划的制订	141
6.2.1 问题描述	141
6.2.2 计算结果	142
参考文献	147
附录一 书中使用的缩写和符号	160
附录二 并行机作业计划算例原始数据	162
附录三 流水作业计划算例原始数据	163
附录四 异顺序作业计划算例原始数据	201



01 绪 论

概要:本章按照从普遍到特殊的思维过程,介绍了常见制造系统和船舶制造系统作业计划的相关国内外研究现状。对于常见制造系统,本书介绍了研究对象、建模方法优化算法、动态作业计划和作业计划系统;对于造船企业作业计划方法,本书介绍了目前我国造船企业中较多采用的任务包派工单等作业计划方法。

1.1 常见制造系统作业计划方法

船舶制造作为一种制造系统,其作业计划方法也符合常见制造系统的普遍规律。对于常见制造系统作业计划问题,从1954年Johnson^[4]提出流水作业计划启发式算法起,国内外很多学者进行了大量的研究。这对于提高制造系统设备利用率,缩短工件加工周期,减少原材料和在制品库存等方面产生了一定的效果。这些研究主要集中在对作业方式的划分及其建模方法、优化算法、动态调度问题和作业计划系统等方面。

1.1.1 作业方式

在以往的离散型制造系统作业计划研究中,往往将作业计划问题分解成异顺序作业JSP(job shop scheduling problem)、流水作业FSP(flow shop scheduling problem)、混杂流水作业HFSP(hybrid flow shop scheduling problem)和开放作业OSP(open shop scheduling problem)等几种方式,将制造系统内部作业人为地割裂开来。清华大学的吴澄教授等^[5,6]分析了JSP问题的基本约束特点,并采用改进算法进行了求解;浙江大学的柳赛男等^[7]采用遗传算法求解了有AGV小车约束的车间调度问题;东华大学的李蓓智教授^[8]研究了在交货期窗口约束下的多目标车间调度问题;重庆大学的刘飞教授^[9,10]研究了面向绿色制造

的车间调度问题及其相应的配送车辆调度;清华大学的范玉顺教授等^[11,12]研究了调度问题的微结构和成批生产计划调度问题;清华大学的刘文煌教授等^[13,14]研究了车间批量生产计划问题;Mattfeld 等^[15]、西安交大的闫利军等^[16]以及北方交通大学的王书锋等^[17]也各自研究了 JSP 作业问题;Liaw^[18]介绍了 OSP 作业问题;Aggoune 等^[19]研究了 FSP 作业问题;华东理工大学的顾幸生教授等^[20]研究了不确定条件下具有零等待的流水车间调度问题;清华大学的常剑峰等^[21]针对汽车冲压车间进行了单线和全线的动态调度;东南大学的严洪森教授等^[22]研究了一类汽车装配车间的生产计划和调度的集成优化模型,并进行求解;Linn 等^[23]将研究对象扩展到了 HFSP 作业问题;重庆大学的郑忠教授等^[24]对混合流程生产构建了作业动态网络图,并用逆工艺路径的时间并行倒推算法来编制作业计划;哈尔滨工业大学的徐晓飞教授等^[25,26]针对多目标条件下混合流水车间调度问题,提出了一种能动态调整适应度分配的演化算法以及面向成本优化的方法。

目前,国内外对制造系统作业问题的研究趋势之一是将制造系统中包含的多种作业方式作为一个整体进行分析。Liu 等^[27]对由 OSP 与 JSP 构合成的组合作业 GSP(group shop scheduling problem)在实际生产中的应用情况进行了分析,指出 GSP 生产实践比较广泛地存在。文献[28]研究了由 OSP 与 FSP 组合成的两工件混合作业 MSP(mixed shop scheduling problem)的复杂性,其中一个工件具有固定的加工顺序,而另一个工件具有随机加工顺序。对于所有传统的优化指标,这一问题都是两元 NP 完全问题。文献[29,30]研究了在各种条件下 MSP 的计算复杂性,这些条件包括工件优先约束、设备数量、工件操作数多于或少于设备数以及优化指标等。上述 MSP 的复杂性研究表明,两阶段以上的 MSP 均为 NP 难问题,需要用启发式算法、智能算法等近似优化算法求解。上海交通大学的严隽琪教授等^[31]提出了包含 OSP、JSP、HFSP 这三种基本作业方式的通用作业 USP(universal shop scheduling problem)的概念,USP 的本质也是将多种基本作业方式作为整体进行研究。西北工业大学的于晓义^[32]等提出了多协作车间调度的概念,且采用并行协同进化遗传算法进行了求解。

但这些研究仍局限于单个车间内部。如果能将调度对象扩展至企业内部的多个车间,则有利于加强制造系统作业计划的集成与控制,实行整体优化,提高



企业的敏捷性。

1.1.2 建模方法

目前,针对基本作业方式的建模方法主要有以下几种:

(1) Baker^[33]提出了整数规划 IP(integer programming)模型。该模型需要考虑两类约束:工件工序的前后约束和工序的非堵塞约束。用 t_{jk} 和 C_{jk} 分别表示工件 j 在机器 k 上的加工开始时间和完工时间。如果机器 h 上的工件加工工序先于机器 k (用 $J_h < J_k$ 表示),则有关系式 $C_{jk} - t_{jk} \geq C_{jh}$ 。定义系数

$$a_{ihk} = \begin{cases} 1, J_h < J_k \\ 0, \text{其他} \end{cases}, \quad x_{ijk} = \begin{cases} 1, \text{工件 } i \text{ 先于 } j \text{ 到达设备 } k \\ 0, \text{其他} \end{cases}$$

设 M 为一大数, n 为加工工件数, m 为加工阶段数,则以最小化工件加工流程时间($C_{\max}$)为目标的 IP 模型可表示为:

$$\begin{aligned} \min \{ \max(C_{ik}) \} \quad & \exists i \in \{1, 2, \dots, n\}, k \in \{1, 2, \dots, m\} \\ \text{s. t.} \quad & C_{ik} - t_{ik} + M \times (1 - a_{ihk}) \geq C_{jh} \\ & C_{jk} - C_{ik} + M \times (1 - x_{ijk}) \geq t_{jk} \\ & C_{ik} \geq 0, a_{ihk}, x_{ijk} = 0, 1 \quad \exists \{i, j\} \in \{1, 2, \dots, n\}, \{h, k\} \in \{1, 2, \dots, m\} \end{aligned}$$

其中,第一个约束为工序的前后约束,第二个约束为工序的非堵塞约束。

(2) Adams 等^[34]提出了线性规划 LP(linear programming)模型。设 $N = \{0, 1, \dots, n\}$ 为工序集合,其中 $0, n$ 分别表示“开始”和“结束”的虚拟工序, M 为设备集合, A 表示每个工件相邻工序操作对的集合, E 为在设备 k 上进行的工序对的集合, p_i 代表第 i 工序确定的加工时间, t_i 表示第 i 个工序的开始时间,则以最小化 t_i 为目标的 LP 模型可表示为:

$$\begin{aligned} \min t_n \\ \text{s. t.} \quad & t_j - t_i \geq p_i \quad \exists \{i, j\} \in A \\ & t_j - t_i \geq p_i \quad \text{或} \quad t_i - t_j \geq p_j \quad \exists \{i, j\} \in E_k, \exists k \in M \\ & t_i \geq 0 \quad \exists i \in N \end{aligned}$$

(3) Balas^[35]提出了非连接图模型 $G = (N, A, E)$, 其中 N 包含代表所有工序的节点,即每个工件对于每个加工阶段或各加工阶段的每台设备(如果加工阶



段中存在并行机)都有一个节点;A 包含连接同一工件的邻接工序的边,它表达工件的工序;E 包含连接同一机器上加工工序的非连接边,它表达工件在同一台机器上的加工顺序。非连接边可以有两个可能方向。作业计划制订过程将固定所有非连接边的方向,以确定同一机器上工序的顺序,并采用带有优先箭头的连接边取代非连接边。非连接图模型是以简洁的图示形式表达制造系统作业计划的工件、设备、时间等约束。

(4) Lee 等^[36]提出了 Petri 网模型。Petri 网作为一种图形建模工具可以形象地表示和分析 FMS 中加工过程的并发和分布本质^[37]以及多项作业共享资源时的冲突现象,具有很强的建模能力,对于描述系统的不确定性和随机性也具有一定的优越性。Lee 等^[36]用赋时 Petri 网为 FMS 建模,通过优化变迁的发生序列来产生搜索可标识集,从而得到较优的调度结果;东南大学的曹杰等^[38]使用着色 Petri 网进行了车间调度的仿真;东北大学的谢里阳教授等^[39,40]采用 Petri 网建模,通过 GASA 组合算法求解双资源 JSP 动态调度问题。

(5) 林慧苹等^[41]将 workflow 技术应用于作业计划,提出了基于 workflow 的建模。它是一个以过程模型为核心,由全局资源模型、事务模型以及 workflow 控制数据四部分共同组成的模型系统。过程模型定义工件的加工流程,描述调度问题的工艺约束。全局资源模型定义加工所需的设备,描述调度问题的资源约束。事务模型定义事务的属性。workflow 控制数据是与 WTSM 模型的执行密切相关的数据。它通过基于活动的建模并在活动定义中内嵌事件—条件—行为(ECA, event-condition-action)规则来达到缩小模型规模,增强模型动态描述能力的目的。

上述建模方法应用于小规模、简单制造系统的作业计划问题取得了较好的成效。但由于受自身所能携带信息量等限制,上述建模方法不适合于大规模、复杂问题建模,因此对于本书研究的问题必须寻求一种新的建模工具。

1.1.3 优化算法

对于基本作业计划问题,目前主要的优化算法有:

(一) 确定性最优化方法^[42]

这类方法主要是通过对车间作业计划问题建立一个整数规划模型,采用基

于枚举思想的分枝定界法或动态规划算法进行求解。Balas^[35]最早提出了一种求解车间作业计划的分枝定界法(branch & bound algorithm)。这类方法虽然从理论上能求得最优解,但由于其计算复杂性的原因,难以获得实际应用。

(二) 基于启发式规则的作业计划方法

调度规则因其易于实现、计算复杂度低等原因,能够用于动态实时调度系统中,许多年来一直受到学者们的广泛研究,并不断涌现出许多新调度规则。Panwalkar等^[43]总结了113条规则,并将它们分成了三类:简单规则、复合规则和启发式规则。Montazeri等^[44]列举了常见的20条规则,并针对一个实际的FMS,分析了这些规则对系统性能如作业的平均等待时间、机床的平均利用率和作业总加工时间等的影响。随着计算机运算速度的飞速提高,人们希望寻找新的近似调度方法,它以合理的额外计算时间代价,获得比单纯启发式规则更好的作业计划方案。

(三) 基于知识的作业计划方法

近年来受实际需要的推动,基于知识的智能调度系统和方法的研究取得了很大的进展。基于知识的调度方法是用专家系统自动产生调度或进行辅助调度,它是将传统的调度方法与基于知识的调度评价相结合的方法。Yuehwern^[45]对基于调度系统处于不同的状态,采用不同的调度规则策略的动态调度方法进行了总结,其共同特点是:在支持某些活动发生的资源条件具备时(称为决策点),根据系统当时所处的属性状态,决定采取何种规则(策略),确定或选择活动发生的顺序和时间,即所谓的状态指导的智能调度方法。Doublgeri等^[46]以一个柔性印刷电路板安装系统为实例,提出了基于知识的调度方法。基于知识的调度方法可以产生比调度规则更复杂的基于对整个调度系统的启发式,并能从特殊数据结构中获取大量信息,其缺点是计算比较耗时。

(四) 仿真调度方法

由于制造系统的复杂性,很难用一个精确的解析模型来进行描述分析。而通过对仿真模型的运行收集数据,就能对实际系统进行性能、状态方面的分析,从而能对系统采用合适的控制调度方法。Kiran等^[47]回顾和总结了在动态环境下基于纯仿真模型的JSP问题的研究状况。Wu等^[48]提出了基于纯仿真模型



的调度方法,即在一个较短的时间段内用仿真来评价一个分派规则集,选取最小代价的规则,以适应系统状态的变化。基于纯仿真法虽然可以包含解析模型无法描述的因素,并且可以提供给使用者一个调度性能测试的机会,但其不可避免地存在以下问题:①缺乏理论意义;②应用仿真进行生产调度的费用很高;③仿真的准确性在很大程度上受编程人员的判断和技巧的限制。

(五) 基于 DEDS(discrete event dynamical systems)的解析模型方法

由于制造系统是一类典型的离散事件系统,因此可以用研究离散事件系统解析模型和方法去探讨车间调度问题,诸如排队论、极大极小代数模型、Petri 网等。车间调度中的排队论方法是一种随机优化方法,它将每个机床看成一个服务台,将每个作业作为一个客户。Jiang 等^[49]用带有有限缓存的排队网络来描述带有有限存储容量的 FMS;南开大学的刘瑞华等^[50]针对 FMS 中一类特殊的 DEDS:Fork-Join 排队网络,利用极大代数方法对其进行建模,并进行系统的稳定性分析。总的说来,由于排队网络模型是从随机统计的角度来描述 FMS 的,难以表述系统中存在的某些特性(如有限的缓存空间等),同时产生的输出是基于系统稳态操作的平均量,因此其很难得到比较具体的细节。

(六) 启发式图搜索法

对于表述为整数规划的调度问题,最初采用了分枝定界法,而后其他的启发式图搜索法也被应用于解决调度问题。Balas^[35]将调度排序问题用一个非连接图(disjunctive graph)来表示,通过首先构造一个可行解,采用基于隐枚举的搜索方法不断提高解的次优性;Anup 等^[51]针对基于树搜索的最好优先的 A3 算法需要大量内存的问题,提出了一个图搜索法,并对两种方法作了比较。对于此类方法如何提高搜索效率、减少内存使用,以能解决比较大的规模的问题,还需要进一步探索。

(七) 模拟退火法

模拟退火算法 SA(simulated annealing)是基于 MonteCarlo 迭代求解的一种全局概率型搜索算法,是一种串行优化算法。其将组合优化问题与统计力学中的热平衡问题类比,通过模拟退火过程,可找到全局(或近似)最优解。模拟退火法的改进算法有加温退火法、有记忆的模拟退火法等。Hisao 等^[52]提出一种

改进的模拟退火法,用来解决具有最小 $C_{\max}$ 指标的 FSP 排序问题,并与禁忌搜索法等进行了比较。由于模拟退火法能以一定的概率接受差的能量值,因而有可能跳出局部极小,但它的收敛速度较慢,很难用于实时动态调度环境。

(八) 禁忌搜索法

禁忌搜索法 TS(tabu search)是 Glover^[53]提出的模拟智能过程的一种具有记忆功能的全局逐步优化算法,通过设置禁忌表,避免陷入局部最优或重复过去的搜索,利用中、长期的存储机制进行强化和多样化搜索。Taillard^[54]提出了解决 Flow Shop 调度问题的 TS 算法。Manuel 等^[55]为了更有效地搜索解空间,引入了插入移动和移动相结合的机制,从而提高了搜索效率。

(九) 神经网络法

神经网络法 ANN(artificial neural networks)应用于调度问题已有十几年的历史,利用指导学习神经网络找到系统输入、输出之间的关系,输入特性包含作业特征(如数量、路径、交货期和处理时间等),输出为相关排序和性能指标。目前应用最多的是 BP 网。Rabelo^[56]针对不同的到达模式、过程计划和程序排序,提出使用后增值神经网络解决 JSSP 问题;Hopfield 等^[57]针对由能量函数定义的基于松弛模型的神经网络提出的 Hopfield 网,解决了一类经典的调度问题, Hopfield 神经网络模型的提出为求解各种有约束优化问题开辟了一条新途径; Foo 等^[58]介绍了一种随机 Hopfield 网络来解决 JSP 调度问题的方法, Foo 等^[59]为了解决大规模问题,又提出一种改进的 Tank 和 Hopfield 网络的整数线性规划神经网络 ILPNN 来解决 JSP 调度问题。但由于计算时产生大量不可行解且计算时间较长,ANN 解决实际调度问题的效率不高,而指导学习神经网络试图通过训练类型找到输入输出之间的关系,随着问题规模的增大,网络的规模也急剧增大。

(十) 遗传算法

遗传算法 GA(genetic algorithm)是 Holland^[60]基于自然遗传进化的绝对模型提出的并行搜索机制,GA 的 5 个要素是编码、适应值函数、初始种群、遗传算子和参数设置。Nakano 等^[61]首先将遗传算法应用到 Job shop 调度问题上。遗传算法的最大优点是通过群体间的相互作用,保持已经搜索到的信息,这是基



于单次搜索过程的优化方法所无法比拟的。但是,遗传算法也存在着计算速度较慢等问题。

(十一)拉氏松弛法

拉氏松弛法(Lagrangian relaxation approach)由于其在可行的时间里能对复杂的规划问题提供好的次优解,并能对解的次优性进行定量评估,近年来已成为解决复杂车间调度问题的一种重要方法。Luh 等^[62]用拉氏松弛法解决了单机调度和多台并行机调度的问题;Hoitomt 等^[63]通过引入更多的拉氏乘子松弛了操作之间的顺序约束,并将这种方法用于一般的 JSP 调度问题;Chen 等^[64]提出的用动态规划算法解决作业级子问题的方法,较好地解决了将子问题分解到操作级可能出现解振荡的问题。

(十二)蚁群算法

蚁群算法 ACO(ant colony optimization)是 20 世纪 90 年代初由意大利学者 Dorigo 等^[65,66]提出的一种新型的模拟进化算法,其主要思想是利用蚁群在搜索食物源的过程中所体现出来的寻优能力,来解决一些离散系统优化中的困难问题。生物世界中的蚂蚁有能力在没有任何可见提示下,找出从窝巢至食物源的最短路径,并能随环境的变化而变化,适应性地搜索新的路径。蚁群算法已经在若干领域获得了成功的应用。Li 等^[67]提出了一种嵌套混杂蚁群算法,用于解决具有混杂变量类型的复杂生产调度问题,在一种新的最佳路径信息素(pheromone)更新算法的基础上,提高了搜索效率。目前,国内对蚁群算法及其在组合优化问题中的应用才刚刚开始。

(十三)粒子群算法

粒子群算法 PSO(particle swarm optimization)是受鸟群捕食启发产生的元启发式算法。PSO 算法通过种群内粒子之间的合作与竞争产生的群体智能指导优化搜索。与遗传算法比较,PSO 算法保留了基于种群的全局搜索策略,其优化机理清晰易懂,搜索模型步骤简单,计算费用较低。华中科技大学的高亮教授等^[68,69]研究了将粒子群算法用于车间调度问题;浙江大学的叶建芳等^[70]引入免疫系统的抗体浓度选择机制,构造了一种基于免疫机制的粒子群优化算法求解 JSP 问题。



(十四)组合算法

组合算法是指对上述两种或两种以上算法进行组合,利用各自的优点开发出优化能力更强的算法。同济大学的严隽薇教授等^[71]提出以整体退火选择的方式选择遗传算法中的杂交母体,以克服种群早熟化,然后进行了车间日作业计划的制订;同济大学的马玉敏等^[72]提出了采用仿真与优化算法相结合的求解方法进行车间调度;华中科技大学的朱海平等^[73]给出了不确定信息条件下的车间调度随机规划模型,然后用混合智能算法进行了求解。北京航空航天大学的林楠等^[74]将模拟退火算法结合到基本遗传算法,并将该算法应用于航空复杂产品制造车间静、动态调度问题;Mittenthal^[75]等将模拟退火法与贪心法相结合,先用贪心法搜索,将得到的作业序列作为初始解,再用模拟退火法求解单机调度问题;Holsapple等^[76]将遗传算法与图搜索法相结合,利用遗传算法进行知识的推理、启发,再用过滤束搜索法进行优化搜索,以得到高质量的FMS静态调度;Solimanpur等^[78]将ANN与TS结合用于流水作业计划问题的求解。通过算例研究可以得出组合算法比其所采用的独立算法具有更好的性能^[75~77]。本书将采用组合算法的思路开发新的算法。

1.1.4 动态调度

网络化生产是当今世界生产组织方式的发展方向,但网络化生产方式给作业计划带来了极大的挑战。传统的作业计划是假定已知全部所需信息、生产条件稳定的静态调度(static scheduling),难以适应动态生产环境的变化。在网络化环境下,制造系统的外部条件更加多变(如急单插入、供货延迟、交货期提前等),信息的模糊性、不充分性问题更为突出(如原材料质量状况、设计完善程度等)。同时,制造系统内部也往往存在各种不确定因素和不确定信息(如机床调整时间,工件装夹时间)。由此,作业计划也必须进行实时动态调整,形成动态作业计划,才能符合生产实际。华中科技大学的郜庆路等^[79]研究了混流车间动态调度问题。目前,主要有以下几种方法解决动态作业计划问题。

(一)仿真方法

仿真方法是动态调度研究中最常用的方法。该方法通过对实际生产环境的



建模来模拟实际生产环境,从而避开了对调度问题进行理论分析的困难。目前,仿真方法在动态调度研究中主要有以下两方面内容:①研究各种仿真参数对仿真结果的影响,以便在进行仿真实验时能做出恰当选择,从而使仿真所取得的结论更全面、更具说服力。Ramash^[81]总结了大量的相关文献,对仿真时应考虑的参数及各参数的取值范围做了详细介绍。②将某些方法应用于某个仿真环境,通过仿真评价现有方法之间或新方法与现有方法之间的优劣,从而总结出各方法的适用范围,或根据结论数据建立知识库或产生神经网络的训练样本。Liu等^[82]做了大量仿真实验,从仿真数据中产生出训练样本用于训练神经网络,并将训练后的神经网络用于动态调度。

由于仿真方法在模拟实际环境时做了某些假设和近似,而且仿真模型的建立较多地依赖于诸如随机分布等参数的选择,因而仿真结论往往因模型的不同而不同,很难取得一个一致的结论。然而,对多数生产调度问题而言,在缺乏有效的理论分析的情况下,仿真仍不失为一种受欢迎的方法。

(二) 专家系统

专家系统在动态调度研究中占有重要地位,目前已有一些较成熟的调度专家系统,例如 ISIS 和 OPIS 等。调度专家系统通常将领域知识和现场的各种约束表示成知识库,然后按照现场实际情况从知识库中产生作业计划方案,并能对意外情况采取相应的对策。有效的领域模型和知识表示对于动态调度专家系统的设计十分重要。此外,约束在调度知识库中也占据重要地位,因为调度的好坏在很大程度上依赖于其对约束的满足程度。动态调度的决策参数具有很强的不确定性,为了有效地表示这种不确定性,许多学者选择了概率论,而应用模糊集理论则是一种更为有效的方法。在调度问题中应用模糊方法的优点在于,可为不确定约束的表示和应用提供丰富的表述语言和系统的框架,并且能对模糊目标进行评价^[82]。

(三) 神经网络方法

神经网络应用于调度问题已有 10 多年的历史,它在动态调度研究中的应用主要集中在以下两方面:①将调度问题看成一类组合优化问题,利用其并行处理能力来降低计算的复杂性;②利用其学习和适应能力将它用于调度知识的获取,

