上海大学出版社

2006年上海大学博士学位论文 6

# 一类平行机和批处理机组成的二阶段柔性流水作业问题

● 作 者： 何 龙 敏

● 专 业： 运 筹 学 与 控 制 论

● 导 师： 孙 世 杰

上海大学出版社

2006年上海大学博士学位论文 6

# 一类平行机和批处理机组成的二阶段柔性流水作业问题

● 作 者： 何 龙 敏

● 专 业： 运 筹 学 与 控 制 论

● 导 师： 孙 世 杰

**图书在版编目(CIP)数据**

2006年上海大学博士学位论文.第1辑/博士学位论文编辑部编.—上海:上海大学出版社,2009.12
ISBN 978-7-81118-511-9

Ⅰ.2... Ⅱ.博... Ⅲ.博士—学位论文—汇编—上海市—2006 Ⅳ.G643.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第162521号

**2006年上海大学博士学位论文**
——第1辑

上海大学出版社出版发行
(上海市上大路99号 邮政编码200444)
(http://www.shangdapress.com 发行热线66135110)
出版人:姚铁军

*

南京展望文化发展有限公司排版
上海华业装潢印刷厂印刷 各地新华书店经销
开本 890×1240 1/32 印张 264.75 字数 7 376 千
2009年12月第1版 2009年12月第1次印刷
印数:1—400
ISBN 978-7-81118-511-9/G·513 定价:1000.00元(50册)

# 上海大学

本论文经答辩委员会全体成员审查，确认符合上海大学博士学位论文质量要求.

答辩委员会名单：

| | | | |
|---|---|---|---|
| 主任： | 唐国春 | 教授，上海第二工业大学 | 201209 |
| 委员： | 鲁习文 | 教授，华东理工大学 | 200237 |
| | 刘朝晖 | 教授，华东理工大学 | 200237 |
| | 张　峰 | 教授，上海第二工业大学 | 201209 |
| | 康丽英 | 教授，上海大学 | 200444 |
| 导师： | 孙世杰 | 教授，上海大学 | 200444 |

评阅人名单：

| | | |
|---|---|---|
| 唐国春 | 教授，上海第二工业大学 | 201209 |
| 杨启帆 | 教授，浙江大学 | 310027 |
| 张玉忠 | 教授，曲阜师范大学 | 276826 |

评议人名单：

| | | |
|---|---|---|
| 唐恒永 | 教授，沈阳师范大学 | 110034 |
| 赵传立 | 教授，沈阳师范大学 | 110034 |

# 答辩委员会对论文的评语

何龙敏同志的博士学位论文“一类平行机和批处理机组成的二阶段柔性流水作业问题”研究了两类二阶段流水柔性作业问题. 一类为先在一组平行机上加工,后在一台批处理机上加工;另一类则正好相反. 对每类问题中的平行机,文章又分别对同型机情况和专用机情况做了研究,故该文研究了四种二阶段柔性流水作业的模型. 在该文之前,对平行机问题和批处理问题的单独研究均已有不少很好的结果,但将两者结合成一个二阶段柔性流水作业问题则是首创,且具有很强的实际背景,对其开展研究很有实际意义.

在该论文中作者灵活运用已有的经典算法和研究成果来构造所研究课题各种情况下的最优或近似算法,分析了问题的计算复杂性与算法的性能比. 所获结果全面、细致.

该文对相关文献资料综述详尽且重点突出,可见其阅读广泛,对本专业研究动态了解深入,全文推导无误,表达十分清晰,语言流畅,图表规范,表明作者具有较扎实的组合最优化理论基础和科研素质,答辩委员会认为这是一篇很好的博士学位论文,一致通过该文的答辩,并一致建议授予博士学位.

答辩委员会主任:唐国春

2006 年 03 月 24 日

# 答辩委员会表决结果

经答辩委员会无记名投票，全票同意通过论文答辩，并建议授予理学博士学位.

答辩委员会主席：唐国春

2006 年 03 月 24 日

# 摘 要


本文考虑 $m$ 台同型机(专用机)与一台批处理机组成的二阶段柔性流水作业问题. 全文分六章:

第一章简述排序与复杂性理论,介绍 $FSMP$(Flow Shop with Multiple Processors)型问题 $F2\|f$ 和 $BI$(Burn In)型问题 $1|B|f$ 的各自研究成果,进而引出本文所研究的 $F2(\cdot,\cdot)|BI|C_{\max}$ 型问题、记号及其结论(参考 1.3 节的表 1.1~表 1.4)等.

第二章讨论阶段 1 由 $m$ 台同型机组成、阶段 2 仅有一台批处理机 $M$ 的极小化最大完工时间($C_{\max}$)的流水作业问题. 其中,相应工件 $J_j$ 在阶段 1 加工时间 $a_j\equiv a(j\in N=\{1, 2, \cdots, n\})$ 的情况在 $\max\{O(n\log n), O(nB)\}$ 时间内获最优解;相应工件 $J_j$ 在阶段 2 加工时间 $b_j\equiv b(j\in N)$ 的情况,除 $b\geqslant a_n$ $(a_1\leqslant a_2\leqslant\cdots\leqslant a_n)$ 和 $B\leqslant m<n$ 时可在 $O(n\log n)$ 时间内获最优解外,对其余情况及一般情况 $(a_j\neq a$ 和 $b_j\neq b(j\in N))$ 均指出或证得为(强)$NP$-$hard$ 的,并给出各自对应情况的近似算法及其性能比分析(参考 1.3 节的表 1.1).

第三章讨论阶段 1 由 $m$ 台专用机组成、阶段 2 仅有一台批处理机 $M$ 并以 $C_{\max}$ 为目标函数的流水作业问题. 其中,相应工件 $J_{ij}$ 在阶段 2 加工时间 $b_{ij}\equiv b(i=1, 2, \cdots, m;\ j=1, 2, \cdots, n_i)$ 的情况在多项式时间内获最优解;对一般情况($a_{ij}\neq a$ 和 $b_{ij}\neq b(i=1, 2, \cdots, m;\ j=1, 2, \cdots, n_i)$) 给出其强 $NP$-$hard$ 性、近似算法及其性能比分析(参考 1.3 节的

表1.2).

第四(五)章讨论第二(三)章的对称情况.即:原第二(三)章阶段1的$m$台同型机(专用机)改为一台批处理机$M$,而阶段2的一台批处理机$M$改为$m$台同型机(专用机),其余假设同第二(三)章(参考1.3节的表1.3和表1.4).

第六章在总结的基础上指出拟进一步可讨论研究的内容.

**关键词** 排序,柔性流水作业,复杂性,算法,性能比

# Abstract


This paper study the flexiable two-stage flowshop scheduling problem with $m$ identical (dedicated) parallel machines in one stage and a batch processor in another stage. The organization of this paper is as follows:

In Chapter 1, we describe scheduling theory and complexity simply, introduce research results for the*FSMP* (Flow Shop with Multiple Processors) problem $F2 \| f$ and *BI* (Burn In) problem $1|BI|f$, respectively. Then we introduce in problem $F2(\cdot, \cdot)|BI|C_{\max}$, notation and results etc. (cf. Table 1.1~Table 1.4).

In Chapter 2, we investigate the flexiable two-stage flowshop scheduling problem. In this problemthere are $m$ identical parallel machines in stage 1, while in stage 2 there is only one batch processor $M$ and the objective is to minimize the maximum completion of all jobs, namely, the makespan ($C_{\max}$). For the case of jobs' processing times in stage 1 are $a_j \equiv a (j \in N = \{1, 2, \cdots, n\})$, we obtain an optimal solution in $\max\{O(n \log n), O(nB)\}$ time; for the case of the jobs' processing times in stage 2 are $b_j \equiv b(j \in N)$, except for the case of $b \geqslant a_n (a_1 \leqslant a_2 \leqslant \cdots \leqslant a_n)$ and $B \leqslant m < n$ for which we obtain an optmial solution in $O(n \log n)$ time, for all the other cases and the general case ($a_j \not\equiv a$, $b_j \not\equiv b(j \in N)$) we

point out or prove their (strongly) *NP*-*hardness*, construct corresponding approximate algorithms and estimate their worst-case performance ratios (cf. Table 1.1).

In Chapter 3, we consider the flexiable two-stage flowshop scheduling problem. In this problem there are $m$ dedicated parallel machines in stage 1, while in stage 2 there is only one batch processor $M$ and the objective function is $C_{max}$. For the case of the jobs' processing times in stage 2 are $b_{ij} \equiv b(i = 1, 2, \cdots, m; j = 1, 2, \cdots, n_i)$, we obtain an optmial solution in polynomial time; while for the general case ($a_{ij} \not\equiv a$, $b_{ij} \not\equiv b(i = 1, 2, \cdots, m; j = 1, 2, \cdots, n_i)$) we give its strongly *NP*-*hardness*, construct corresponding approximate algorithm and estimate its worst-case performance ratio (cf. Table 1.2).

In Chapter 4 (5), we study the symmetry cases of Chapter 2(3). Namely, the original $m$ identical (dedicated) parallel machines in stage 1 of Chapter 2(3) are changed into one batch processor $M$, while the original one batch processor $M$ in stage 2 is changed into $m$ identical (dedicated) parallel machines, the others are same as in Chapter 2(3) (cf. Table 1.3 and Table 1.4).

In Chapter 6, we put forward some problems which can be studied further.

**Key words** scheduling, flexiable flowshop, complexity, algorithm, worst-case performance ratio

# 目　录

# 第一章　引　言

## 1.1　排序问题及复杂性理论简介

### 1.1.1　排序

#### 1.1.1.1　排序问题

排序论作为运筹学的一个分支，有着深刻的实际背景和广阔的应用领域，它广泛应用于管理科学、计算机科学和工程技术等众多领域. 例如，建造一座公路大桥需要安排多种不同的人员：有的负责勘测和设计；有的承担具体工程项目，其中还可进一步细分其工作内容，这就需要给参与建造大桥的各类人员根据工程要求安排一个恰当的工作顺序. 若再考虑施工设施、材料和气象等因素，其最优施工顺序可能不会轻易获得，且由于工程要求不同，对应的最优施工顺序也不尽相同（有些需要工程尽早完工；有些需要机器空闲时间少些；有些则以经济效果作为衡量指标等）. 又如：工厂里的各类机械加工、计算机程序的执行调度以及机场的各种要素调度等等. 凡此种种，有的可凭经验处置，有的则需要事先周密筹划，需要用到排序理论与算法. 此时，各种属于组合优化的排序问题及关于它的理论和算法便应运而生. 因此，研究排序问题具很大的理论意义和现实意义.

概括地讲，排序是利用一些机器（如设备、计算机等资源），在执行某些任务（如产品加工、程序运算等）时在某些限制条件下（如工件的到达时间、完工截止时间、优先约束、机器对加工时间的影响等），寻找一最优加工方式使某或某些目标函数达到最优. 它是“投人最少，产出最优”的一种组合优化过程. 由

于排序问题最早是在机器制造领域中提出来的，因而排序问题各要素的描述沿用了机器制造中的术语．即机器（machine）、工件（job）和目标函数（objective function）这三要素组成了各种排序问题．

排序问题先由 Conway 等人(1967)[17]首创的四参数法表示，而后由 Graham 等人(1979) [26]改为至今仍在沿用的下述三参数法表示：$\alpha|\beta|\gamma$. 其中，$\alpha$ 域表示机器环境(machine enviroment)；$\beta$ 域表示工件特征（job characteristic)；$\gamma$ 域表示优化目标（optimality criteria). 排序问题的图示一般采用 Gantt-charts 表示法. 本文采用改进的表示法：在 Gantt-charts 中加入机器的纵坐标.

1.1.1.2 排序类型

排序问题可以分为排序的理论部分和应用部分，其理论部分又可分为经典排序和现代排序. 现代排序的特征突破了经典排序的基本假设，而根据 Lawler 等人(1993)[44]的观点，经典排序有四个基本特征[79]：

(1) 资源类型(如加工工件的机器)——一台机器在任何时刻最多只能加工一个工件，且一个工件在任何时刻至多在一台机器上加工. 作为推广，有成组分批排序、同时加工排序(本文涉及的排序内容)、不同时开工排序和资源受限排序等.

(2) 确定性——决定排序问题实例的所有参数都是事先知道和完全确定的. 它的推广有可控排序、随机排序、模糊排序和(半)在线排序等.

(3) 可运算性——排序问题通常是在可以运算和计算的程度上进行. 若考虑实际应用中的情况和因素，那是属于应用排序问题，如人员排序、智能排序等.

(4) 单目标和正则性——(单)目标函数是工件完工时间的非降函数，即所谓正则目标函数. 其推广有多目标函数、准时排序和窗时排序等.

上述经典排序及其四个基本特征的推广即现代排序构成了排序

的主要内容和类型.

若要对排序问题分类，则有多种分法. 如按静态(staic)和动态(dynamic)、确定性(deterministic)和随机性(stochastic)等可分成四大类，甚至还有介于两者之间的；又如按机器分类，有单机(single machine or single processor)和多机(multiprocessor)，多机又可分为平行机(parallel machin)和专用机(dedicated machine)等.

1.1.1.3 排序问题的简短发展史

20 世纪 50 年代，人们对一些简单的排序问题找到了一些简单最优算法，其典型工作有三个：解问题 $F2 \parallel C_{max}$ 的 *Johnson* 算法(1954)[39]，解问题 $1 \parallel T_{max}$ 的 *EDD*(earliest due date)规则(1955)[38]和解问题 $1 \parallel \sum w_j C_j$ 的 *WSPT*(weighted shortest processing time)规则(1956)[67].

基于 50 年代一些简单算法的出现，许多人在 60 年代投入对排序问题的研究，期间出现了解问题 $1 \parallel \sum U_j$ 的 *Moore - Hodgson* 算法(1968)[52]，该算法与上述三个算法直至现在仍然是许多算法的基础. 有些人想仿 50 年代出现的单纯形算法那样，将排序问题化为整数规划来解. 由于即使相对小的排序问题化成整数规划亦需要非常多的 0~1变量和约束，又解整数规划的有效算法迟迟未出现，因而进展不大. 还有些人转向各种启发式算法. 总体上说，60 年代成果不多但发现了许多问题. 其介绍可见出版于 1967 年的第一本排序问题专著[17].

70 年代算法复杂性理论的问世(由 Cook (1971)[18]和 Karp (1972)[40]两人开创)，大大推动了排序问题的研究. 有些学者开始依困难程度即算法复杂性对排序问题进行分类，发现除为数不多的问题具多项式时间算法(*P*)外，大部分为 *NP - hard* 的，且从 *P* 到 *NP - hard* 的过渡呈现明显的特点. 这一时期，人们已开始利用计算复杂性的有关理论对排序问题及其算法展开多种