

一、基 础 篇

(一)排序与调度				
序号	条目	执笔人	校阅人	页码
1	排序与调度	唐国春	韩继业	5
2	安排次序	唐国春	韩继业	6
3	车间调度	高 亮	李新宇	6
4	排序术语的进展	唐国春	韩继业	7
5	三参数表示	张玉忠	唐国春	7
6	经典排序	唐国春	韩继业	8
7	现代排序	唐国春	韩继业	8
8	项目排序	何正文	徐 渝	9
9	数据排序	黄 河	唐国春	9
(二)机器				
序号	条目	执笔人	校阅人	页码
10	机器	张玉忠	唐国春	9
11	并行机	谈之奕	刘康生	10
12	同型机	王振波	邢文训	10
13	同类机	康丽英	鲁习文	10
14	非同类机	康丽英	鲁习文	11
15	串行机	黄 河	唐国春	11
16	流水作业	王雄志	王国庆	11
17	同顺序流水作业	黄 河	唐国春	12
18	混合流水作业	唐立新	万国华	12
19	异序作业	王雄志	王国庆	12
20	自由作业	陈荣军	张 峰	13
21	柔性自由车间	白丹宇	张智海	13
22	分布式车间	白丹宇	潘全科	13

续表

序号	条目	执笔人	校阅人	页码
23	批处理机	张 洁	张 朋	13
24	批的浪费空间	贾兆红	李 凯	14
25	差异容量机器	贾兆红	李 凯	14
26	相同容量机器	贾兆红	李 凯	14
27	机器权限	张 安	谈之奕	14
28	服务等级	张 安	谈之奕	14
29	空闲时间	黄 河	唐国春	14
30	资源扩充	胥 军	王军强	15
31	阻塞	白丹宇	潘全科	15
32	机器维护时段	陈 永	谈之奕	15
33	可重叠禁用区间	陈 永	谈之奕	15
34	周期性禁用区间	陈 永	谈之奕	16
35	柔性禁用区间	陈 永	谈之奕	16
36	随机禁用区间	陈 永	谈之奕	16
37	操作禁用区间	陈 永	谈之奕	16
38	机器速率提升的维护活动	林 冉	王军强	16
39	机器加工功率	贾兆红	李 凯	16
40	机器待机功率	贾兆红	李 凯	17
41	机器加工总能耗	贾兆红	李 凯	17
42	加工电力成本	贾兆红	李 凯	17
43	电价函数	贾兆红	李 凯	17
44	分时电价	贾兆红	李 凯	17
45	瓶颈	陈 剑	王军强	17
46	执行瓶颈	陈 剑	王军强	18
47	经济瓶颈	陈 剑	王军强	18
48	平均活跃时间	陈 剑	王军强	18
49	瓶颈簇	陈 剑	王军强	18
50	瓶颈能力释放率	陈 剑	王军强	18
51	机器能力界定	陈 剑	王军强	19
(三)工件				
序号	条目	执笔人	校阅人	页码
52	工件	张玉忠	唐国春	19

续表

序号	条目	执笔人	校阅人	页码
53	加工时间	黄 河	唐国春	19
54	安装时间	井彩霞	唐国春	20
55	就绪时间	黄 河	唐国春	20
56	权重	万国华	李德彪	20
57	交付期	黄 河	唐国春	20
58	截止期	黄 河	唐国春	20
59	共同交付期	万国华	李德彪	20
60	交付时间窗	黄 河	唐国春	20
61	完工时间	黄 河	唐国春	20
62	流程时间	黄 河	唐国春	21
63	延迟	黄 河	唐国春	21
64	延误	黄 河	唐国春	21
65	提前	黄 河	唐国春	21
66	误工工件	黄 河	唐国春	21
67	误工计数	沈 灏	唐国春	21
68	误工量	桑耀文	王军强	22
69	提前量	桑耀文	王军强	22
70	等待时间	万国华	李德彪	23
71	无等待	白丹宇	潘全科	23
72	运送时间	白丹宇	张智海	23
73	中断	黄 河	唐国春	23
74	中断-继续	黄 河	唐国春	23
75	中断-重复	黄 河	唐国春	23
76	工件恢复	陈 永	谈之奕	23
77	多任务	王 艳	王军强	24
78	分流	潘 芳	王万良	24
79	合流	潘 芳	王万良	24
80	不相容工件簇	井彩霞	张新功	24
81	批量重组	潘 芳	王万良	24
82	加工描述矩阵	潘 芳	王万良	24

续表

序号	条目	执笔人	校阅人	页码
83	加工时间矩阵	潘 芳	王万良	25
84	前后约束	万国华	李德彪	25
85	链约束	井彩霞	张新功	25
86	V 形作业	井彩霞	张新功	25
87	链重入作业	井彩霞	张新功	25
88	重入性	井彩霞	张新功	26
89	可用性约束	万国华	李德彪	26
90	差异尺寸工件	贾兆红	李 凯	26
91	工件拒绝加工惩罚	贾兆红	李 凯	26
92	学习效应	王 艳	王军强	26
93	恶化效应	王 艳	王军强	27
94	多任务增效效应	王 艳	王军强	27
95	多处理机工件	孙 涛	王军强	28
96	刚性工件	孙 涛	王军强	28
97	可塑工件	孙 涛	王军强	28
98	可延展工件	孙 涛	王军强	28
99	工件拆分	录岭法	张利齐	29
100	折扣方案	录岭法	张利齐	29
101	满减折扣方式	录岭法	张利齐	29
102	抹零折扣方式	录岭法	张利齐	29
103	相同折扣方式	录岭法	张利齐	29
104	阶梯式折扣方式	录岭法	张利齐	30
105	混合折扣方式	录岭法	张利齐	30
106	立即接收或拒绝	录岭法	张利齐	30
107	推迟接收或拒绝	录岭法	张利齐	30
108	重新安排	录岭法	张利齐	30
109	位置集合	录岭法	张利齐	30
110	位置区间	录岭法	张利齐	31
111	位置上限	录岭法	张利齐	31
112	多重性	井彩霞	张新功	31

(四)优化目标				
序号	条目	执笔人	校阅人	页码
113	正则目标	黄 河	唐国春	31
114	最大完工时间	黄 河	唐国春	31
115	总完工时间	黄 河	唐国春	32
116	总加权完工时间	白丹宇	张智海	32
117	总完工时间平方和	白丹宇	刘朝晖	32
118	总完工时间 k 次方和	白丹宇	张智海	32
119	最大延迟	白丹宇	张智海	32
120	总延误时间	黄 河	唐国春	33
121	误工工件数	沈 灏	唐国春	33
122	总误工量	桑耀文	王军强	33
123	总提前量	桑耀文	王军强	33
124	最大送达时间	白丹宇	张智海	33

(一)排序与调度

序号	条目	执笔人	校阅人
1	排序与调度	唐国春	韩继业
	scheduling 是指为加工若干个工作件 (job) 或者完成若干项任务 (task), 而对包括机器 (machine) 或者处理机 (processor) 在内的人、财、物等资源, 按时间进行分配和安排。在数学和管理科学中把 scheduling 译成排序, 在计算机科学和工业工程中译成调度。但是, 用排序或调度作为 scheduling 的中文译名都只是描述了 scheduling 的一个侧面。scheduling 既有分配 (allocation) 的含义, 即把被加工的对象“工件”分配给提供加工的对象“机器”以便进行加工; 又有排序的功能, 包括安排被加工对象“工件”的次序和安排提供加工对象“机器”的次序; 还有调度的效果, 即把“机器”和“工件”按时间进行调度。“工件”何时就绪, 何时安装, 何时开始加工, 何时中断加工, 何时更换“工件”, 何时再继续加工原“工件”, 直到何时结束此“工件”的加工; “机器”何时就绪, 何时进行加工, 何时空闲 (idle), 何时更换“机器”, 等等。		

	这些都是按时间进行最优的分配、排序和调度。因此,把 scheduling 译成 排序与调度 是比较合适的。此外,排序与调度默认的含义是机器排序(machine scheduling)。除机器排序之外,还有项目排序(project scheduling)和数据排序(data sorting)。		
2	安排次序	唐国春	韩继业
	从词性和词义上来分析,sequence(次序)的动名词 sequencing 可以译成安排次序;而 schedule(时间表)的动名词 scheduling 可以译成安排时间表。从最优化的角度来讲,安排时间表(scheduling)是为完成若干项任务(如要加工若干工件),而把所需要用到的人、财、物等资源(如加工工件所需要的机器)按时间进行最优的分配、排序和调度。sequencing 是一种特殊的 scheduling,是只要确定工件的次序就完全确定了加工的时间表问题,是所谓分配问题,是数学规划问题。我们建议把 sequencing 译成安排次序,不要译成排序;建议把 scheduling 译成排序与调度。在不至于混淆和产生歧义的情况下,可以把 sequencing 和 scheduling 都译为排序,那是尊重使用的习惯和方便,但千万不要混淆 sequencing 和 scheduling。		
3	车间调度	高亮	李新宇
	车间调度(shop scheduling)通常被定义为在一定的约束条件下,把有限的资源在时间上分配给若干个任务,以满足或优化一个或多个性能指标。车间调度的目的不仅是要对任务排序,还要获得各个任务的开始或结束时间。因为在多个任务的开始时间之间可以插入无限的空闲时间。通常假设每个任务都按照其最早开始时间进行加工,那么根据任务的一个排序及工艺约束就可以确定一个调度方案。经典车间调度问题可表示为:n 个工件在 m 台机器上加工,一个工件可以有多道加工工序,每道工序可在若干台机器上加工,但须按照可行的工艺次序进行加工,每台机器可以加工若干工序,且不同机器上加工的工序集可以不同。车间调度问题的分类方法有很多。根据工件和机器构成不同,车间调度问题可分为:单机调度问题、并行机调度问题、开放车间调度问题、流水车间调度问题、作业车间调度问题等。同时,车间调度是一类非常复杂的组合优化问题,要考虑任务、环境、目标等多方面的要求,因此,通常车间调度问题具有复杂性、不确定性、离散性、多约束性、多目标性等特点。		

4	排序术语的进展	唐国春	韩继业
	在 scheduling 英文文献中有时也使用 processor(处理机)而不使用 machine(机器);使用 task(任务)而不使用 job(工件),不过明显的趋势是使用“机器”和“工件”。关于排序术语的进展(progress of scheduling terms),早在 1974 年 Baker 就指出:“排序领域内许多早期的工作是在制造业推动下发展起来的,所以在描述排序问题时很自然会使用制造业的术语。虽然排序问题在许多非制造业的领域内取得了相当有意义的成果,但是制造业的术语仍然经常在使用。因而,往往把资源称为机器,把任务称为工件。有时工件可能是由几个先后次序约束相互联系着的基本任务所组成。这种基本任务称为工序。例如,对门诊患者到医疗诊所看病的排序问题也描述成为‘工件’在‘机器’上‘加工’的过程。”排序论中的机器和工件已经不是机器制造业中的车床和车床加工的螺丝,已经从车床和螺丝等具体事物中抽象出来,是抽象的概念。机器和工件的关系与车床和螺丝的关系是一般与特殊、抽象与具体、理性与感性、理论与经验、概念与感觉的关系。正好比水果是从香蕉、苹果等具体事物中抽象出来,水果可以是香蕉、苹果等,排序论中的机器可以是数控机床、计算机中央处理器(CPU)、医生、机场跑道等,工件可以是零件、计算机终端、患者、降落的飞机等。例如,计算机科学中并行计算机的出现,促进排序论中对多台并行机(prallel machine)的深入研究;反过来,排序论中的并行机可以应用到具体的计算机科学的并行计算机中去,并行机排序的成果在一定程度上推动并行计算机的发展。		
5	三参数表示	张玉忠	唐国春
	1967 年 Conway、Maxwell 和 Miller 提出用 4 个参数表示排序问题。1979 年 Graham、Lawler、Lenstra 和 Rinnooy Kan 等提出三参数表示(three-field notation) $\alpha \mid \beta \mid \gamma$,其中 α 描述机器环境(machine environment),β 描述工件特性(job characteristics),γ 描述优化的目标函数(objective function)。如 $\alpha=1$ 表示单台机器(single machine),或称单机;$\alpha=P$ 表示同型机(identical machine),$\alpha=Q$ 表示同类机(uniform machine)和 $\alpha=R$ 表示非同类机(unrelated machine);$\alpha=F$ 表示流水作业(flow shop),$\alpha=O$ 表示自由作业(open shop),$\alpha=J$ 表		

	示异序作业(job shop);$\beta=r_j$ 表示工件的就绪时间可以不相同,$\beta=\text{on-line}$ 表示在线排序,$\beta=\text{pmtn}$ 表示工件加工过程中加工允许中断;$\gamma=C_{\max}$ 表示目标函数是最大完工时间(makespan),$\gamma=\sum C_j$ 表示目标函数是总完工时间(total completion time),$\gamma=\sum w_j C_j$ 表示目标函数是加权总完工时间(total weighted completion time)。例如:$Pm \text{pmtn}, r_j \sum C_j$ 表示 m 台同型机、加工允许中断、工件的就绪时间可以不相同、优化的目标是使总完工时间为最小的排序问题。		
6	经典排序	唐国春	韩继业
	1993 年 Lawler、Lenstra、Rinnooy Kan 和 Shmoys 等在《排序与调度:算法和计算复杂性》(<i>Sequencing and scheduling: algorithms and complexity</i>)一文中提出经典排序(classical scheduling)的 4 个基本假设。①资源的类型。机器是加工工件所需要的一种资源。一台机器在任何时刻最多只能加工一个工件;一个工件在任何时刻至多在一台机器上加工。②确定性。排序问题的所有(输入)参数都是事先知道的和完全确定的。③可运算性。经典排序是可以在运算的层面上研究排序问题,而不去顾及诸如如何确定工件的交货期,如何购置机器和配备设备等技术上可能发生的问题。④单目标和正则性。排序的目的是使衡量排序好坏的单个目标函数的函数值为最小,而且这个目标函数是工件完工时间的非降函数,也称为正则目标(regular criterion)。		
7	现代排序	唐国春	韩继业
	现代排序(modern scheduling)又称新型排序(new classes of scheduling),是 Brucker 和 Knust 在《排序问题中的复杂结果》(<i>Complexity results of scheduling problems</i>)中提出的,是相对于经典排序而言的,其特征是突破经典排序的基本假设。关于经典排序资源类型的基本假设的突破,有成组分批排序、同时加工排序、不同时开工排序和资源受限排序等。关于经典排序确定性的基本假设的突破,有可控排序、随机排序、模糊排序和在线排序等。关于经典排序可运算性的基本假设的突破,在考虑了实际应用中有关的情况和因素时,就是应用排序(applied scheduling)问题,如人员排序(employee scheduling)。关于经典排序单目标和正则性的基本假设的突破,有多目标排序、准时排序和窗时排序等。这 10 种经过推广的排序(可控排		

	序、成组分批排序、在线排序、同时加工排序、准时排序和窗时排序、不同时开工排序、资源受限排序、随机排序、模糊排序、多目标排序)构成现代排序论的主要内容。此外,还有许多不断涌现的新型排序,如考虑运输/通信延误的排序(scheduling with transportation/communication delays)、多台机器同时加工工件的排序(scheduling multiprocessor jobs)等。		
8	项目排序	何正文	徐渝
	项目排序(project scheduling)由活动、资源和目标三要素构成,用以求解项目活动的时间安排,以实现特定的目标要求。其结果是生成项目进度计划及相应的资源配置方案,进而为项目的实施提供指导。在三要素中,活动分为具有零时滞结束-开始的优先关系或一般网络的优先关系,其执行可以是单模式或多模式,允许中断或不允许中断等;资源分为可更新的(可恢复的、使用性的)资源、不可更新的(不可恢复的、消耗性的)资源或双重约束(受限制的)资源等;优化目标有工期最小、净现值最大、资源均衡、成本最小或多重目标如时间-费用权衡等。三要素基于现实情况的不同组合而形成不同的项目排序问题。若某些参数在项目进行过程中发生变化,便形成不确定型项目排序问题。项目排序的数学模型多为数学规划,常用的求解算法分为精确算法(如分支定界算法)和启发式算法(如模拟退火、禁忌搜索、遗传算法等)两大类。		
9	数据排序	黄河	唐国春
	数据排序(data sorting)又称为整序,是把一些数据、“元素”(或者“工件”)按照某种要求安排次序。例如冒泡排序和快速排序等。相比机器排序(machine scheduling),数据排序是较为特殊的一类排序问题,是对数据安排次序,并不涉及“机器”的因素。		

(二)机器

序号	条目	执笔人	校阅人
10	机器	张玉忠	唐国春
	机器(machine)是加工工件或者是完成任务所需要的资源;亦称		

	为处理机(processor)。机器可以分成两大类:(通用)并行机和(专用)串行机。对于加工不允许中断的情况,工件在 m 台并行机上的加工是只需要在这 m 台机器中的任何一台机器上加工一次;工件在 m 台串行机上的加工是需要在这 m 台机器中的每一台机器上都加工一次。并行机分成 3 类:同型机、同类机和非同类机。串行机的作业方式也分为 3 类:流水作业、自由作业和异序作业。		
11	并行机	谈之奕	刘康生
	并行机 (parallel machine)是加工工件的功能基本相同的机器,每个工件只需要在这些机器中的任何一台上加工一次。依据工件在机器上加工的情况,并行机分为同型机、同类机和非同类机 3 类。并行机还可作为复杂机器环境的组成部分。例如,流水作业中某道工序的加工机器可以是多台并行机,称为混合流水作业(hybrid flow shop)。		
12	同型机	王振波	邢文训
	同型机 (identical machine)是对工件的加工完全相同的(identical)并行机,亦即机器的型号是相同的。因而,一个工件在不同的同型机上的加工时间都相同,也可以说所有的同型机加工同一个工件的速度都相同。默认的并行机通常是指同型机。在同型机排序中,常用的优化目标是最小化最大完工时间。对于这个目标,即使只有两台机器的同型机排序问题也是 NP-困难的,因此通常研究其近似解。常用的近似算法有列表排序(list scheduling, LS)算法和最长加工时间(longest processing time, LPT)算法。列表排序算法是把工件排成一个序列,每当机器有空闲,加工未加工工件中排在最前面的工件,直到所有工件都加工完。列表排序算法不需要知道还没有加工工件的信息,所以这种算法对于在线排序也可以采用。如果工件是按照加工时间非增的次序排列,那么相应的算法就称为 LPT 算法。		
13	同类机	康丽英	鲁习文
	同类机 (uniform machine)是工件在不同机器上的加工时间可以不同,但却是成比例的并行机。这个比例因子就是机器加工工件的“速度”,即机器对不同工件的“适应程度”是一致的(uniform)。当机器的型号比较新时,其加工所有的工件都比较快。这时机器的型号可能不同,但是类型是相同的。更确切地定义, m 台并行机,如果工件 j ($j=1, 2, \dots, n$)在其中一台机器上的加工时间是 p_j ,那么对所有的机器 i ($i=1, 2, \dots, m$),存在 s_i (称为机器 i 的加工速度),使得工		