



先进制造模式与管理丛书

本书受 国家自然科学基金重大项目(编号:59990470-4) 共同资助
国家杰出青年科学基金项目(70028102)

先进制造系统中

物料运送的作业排序

周支立 李怀祖 孙林岩 著

65
2

西安交通大学出版社

先进制造模式与管理丛书

先进制造系统中 物料运送的作业排序

周支立 李怀祖 孙林岩 著

本书受 国家自然科学基金重大项目(编号:59990470-4) 共同资助
国家杰出青年科学基金项目(编号:70028102)

西安交通大学出版社

内容简介

制造业是国民经济的支柱产业,是直接创造社会财富的基础。随着科学技术的发展,制造业自动化程度越来越高,作为提高制造生产率重要环节的物料运送也显得越来越为重要。

本书主要介绍先进制造系统物料运送的排序理论与方法。全书共分7章:第1章是引言部分,主要介绍了排序在先进制造系统中所扮演的角色、排序问题的研究发展过程和先进制造系统物料运送的排序。第2章介绍了排序问题的结构框架,概述了排序问题的求解方法,如动态规划法、分枝定界法和模拟退火算法等。第3章在对抓钩排序问题描述、分类和应用状况分析的基础上,对国内、外抓钩排序问题研究现状进行了综述。第4章详细分析了单抓钩周期性排序问题的建模方法和求解方法。第5章详细分析了双抓钩周期性排序问题的建模方法和求解方法。第6章分析了单抓钩动态排序问题,并提出一种求解方法。第7章简单介绍了排序在其他方面的应用。

本书取材新颖,系统性强、研究和写作思路清晰,本书面向工业工程研究生及工业工程高年级本科生,同时也可供从事工业工程专业以及从事先进制造技术方向的研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造系统中物料运送的作业排序/周支立等著.
西安:西安交通大学出版社,2003.1
ISBN 7-5605-1642-4

I. 先… II. 周… III. 机械制造-物料输送系统-排序 IV. TH165

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 000201 号

*
西安交通大学出版社出版发行
(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668315)
蓝田立新印务有限公司印装
各地新华书店经销

*
开本:850 mm×1168 mm 1/32 印张:4.875 字数:120 千字
2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月第 1 次印刷
印数:0001~2 000 定价:16.00 元

发行科电话:(029)2668357,2667874

总 序

制造业是国民经济的支柱产业,是直接创造社会财富的基础。本世纪初福特开创的大批量制造模式,不仅促使制造业进入了辉煌时期,而且极大地促进了世界经济的发展。然而,随着人们生活水平的日益提高、科技创新速度的加快和市场的国际化,制造业市场环境发生了巨大变化,需求日益个性化、多样化并且快速变化,这使得倡导标准化和批量化的大批量制造模式陷入了前所未有的困境。

为了改变这种状况,最初人们希望通过技术的改进和物流管理方法的创新来解决问题。先进制造技术就是在这种背景下提出来的,许多国家(特别是工业发达国家)的政府与实业界都做了诸多努力,使先进制造技术的研究与应用得到了长足的进展。但不得不遗憾地承认,先进制造技术的应用所取得的实际效果并不如意,巨额投资与实际效果极不相称,尤其以柔性制造系统(FMS)应用推广的教训最为深刻。究其原因,人们依传统思维仅仅从技术方面来改进大批量制造模式,而忽视了人与组织的主导作用,更没有从战略的高度认识到,人类正在面临着一场制造模式的历史性变革。人类生产力的发展已经达到了一个新的水平,产业革命以来形成的传统制造模式从总体上看已经不适应生产力这一新水平,从而迫切要求进行人类制造模式的第二次大转换。作为“否定之否定”,与制造模式第一次大转换倡导的集中化、通用化、标准化、大型化等特征相反,分散化、个性化、专业化、小型化是新的转换目标,它不是对人类社会发 展过程的简单的否定,而是螺旋式地上升到了一个新的阶段的必然结果。

我国是一个制造业大国。制造业作为国有工业经济的主要构成部分,国家长期以来投入了大量的人力、物力和资金,使得中国的制造业在较长时期内保持着较高的增长速度。但由于种种原

因,特别是受制造业市场急剧变化及制造业是夕阳工业的影响,中国制造企业,尤其是国有企业面临严峻的困难,许多国有企业严重亏损,而且这一趋势还在扩大。我国制造业所面临的问题固然和由计划经济向市场经济过渡的特定历史环境密切相关,但世界性制造模式变革的大环境影响也是一个重要方面。

鉴于上述原因,国家自然科学基金委、国家科技部、国家教育部等部门资助了有关“先进制造模式与管理”方面的研究,旨在通过技术与管理的有机结合,深入研究先进制造模式与管理,解决我国企业适应市场快速多变及国际竞争的生产组织方式与企业经营机制。通过组织创新与管理创新,实现制造资源的快速有效集成,大幅度地提高先进制造技术的效益。在资金投入和技术水平有限的情况下,提高开发具有国际竞争力的新产品的能力,并盘活资产,提高我国制造业的整体效益。

经过课题组全体成员三年来认真扎实的潜心研究,该课题目前已经取得了丰硕的阶段性研究成果,为了促进研究成果迅速转化为现实的生产力,现将部分研究成果整理成丛书正式出版,以供有关人员参考。

由于先进制造模式与管理研究,涉及到的学科领域非常广泛,且实践性和前瞻性均较强,因此短期内的研究成果不可能是非常完善的。因此我们殷切希望这套丛书的出版能引起关心中国制造业命运的政府、企业、学术等各界同仁的广泛关注与思考,并提出宝贵的意见,为早日振兴中国制造业献计献策。

汪应洛 孙林岩

2002年3月

前 言

制造业是国民经济的支柱产业,是直接创造社会财富的基础。随着科学技术的发展,制造业自动化程度越来越高,作为提高制造生产率重要环节的物料运送也显得越来越为重要。

本书主要介绍先进制造系统材料运送的排序理论与方法。全书共分7章:第1章是引言部分,主要介绍了排序在先进制造系统中所扮演的角色、排序问题的研究发展过程和先进制造系统材料运送的排序。第2章介绍了排序问题的结构框架,概述了排序问题的求解方法,如动态规划法、分枝定界法和模拟退火算法等。第3章在对抓钩排序问题描述、分类和应用状况分析的基础上,对国内、外抓钩排序问题研究现状进行了综述。第4章详细分析了单抓钩周期性排序问题的建模方法和求解方法。(1)介绍了常用的PHILLIPS模型。(2)针对抓钩在第一个处理槽有等待情况下,PHILLIPS混合整数线性规划模型不能保证最优解的缺陷,对该模型进行了修改。在修改后的模型基础上,构建了“多重处理槽”排序问题的模型。(3)提出混合线性整数规划模型,将整数变量和连续变量分开,使用模拟退火法和搜索法结合的启发式算法,以缩短求解时间。第5章详细分析了双抓钩周期性排序问题的建模方法和求解方法。(1)针对装载站和卸载站在两端的情况,提出求解无重叠区域的两抓钩周期性排序问题一个启发式方法,该方法的求解步骤是重复调用LP模型以寻找固定运送顺序和给定抓钩分配下的排序。在启发搜索步骤中,内部循环是改变抓钩的分配,外部循环是产生不同的初始顺序,中层从初始顺序开始局部搜索。比Lei的先求子问题的整数线性规划的解,然后再局部调整的方法求解更方便。(2)对有重叠两抓钩周期性排序问题,首先对控制变量和周期时间的上、下界进行了分析,提出了将随机条件下槽内的处理时间作为控制变量,把问题分解成相应序列的子问题的方法,给出两抓钩的分配方法和两抓钩之间无冲突的约束方程,并提出了一种线性规划调整的启发式求解方法。在给出冲突检验的基

基础上,还提出通过在相应序列的子问题上进行局部调整、冲突检验和可行性检查以找出有重叠两抓钩周期性排序问题可行解的求解方法。第6章研究了单抓钩动态排序问题。提出将动态问题转换成一系列静态决策问题。每个静态问题兼顾输入装载站的新工件和系统中已有工件,以决定新工件进入的时间和所有新、老工件的排序,组合序列搜索和单纯形法来求解静态问题。当另一个新工件进入后,更新系统状态,形成一个新的静态问题,再次用组合序列搜索和单纯形法来排序;反复迭代,直到完成所有工件的排序。第7章排序在其他方面的应用。对香港货运码头和台湾零售商店的货物运送等排序的应用做了简单介绍。

本书取材新颖、系统性强、研究和写作思路清晰,不仅介绍了当前国际上作业排序的新的研究领域和新的概念,而且运用线性规划、整理规划等运筹学理论对先进制造中物料运送作业排序的某个具体示例——抓钩排序问题,进行了深入浅出的分析,因此,本书适宜于学过运筹学课程的工业工程高年级本科生、研究生和MBA学员作为《生产运作管理》和《先进制造技术》课程的教学参考书。另外,本书也可供从事工业工程专业以及从事先进制造技术方向的研究人员参考。每章后的参考文献为深入研究该领域的读者系统地列出了大量的有关文献资料。

本书写作过程中得到兄弟院校同行的热情支持和鼓励。香港科技大学工业工程系 JiyinLiu 教授、RaymondK. Cheung 教授、Yat-WahWan 教授和 RichardJ. Linn 教授,西安交通大学孙国基教授和管晓宏教授给予作者许多指导、帮助和关心,作者对此表示衷心的感谢!

周支立 李怀祖

2002年12月

目 录

总序

前言

第 1 章 引言	(1)
1.1 先进制造技术在国民经济中的地位	(1)
1.2 排序在先进制造系统中所扮演的角色	(2)
1.3 排序问题的研究发展过程和排序研究的新趋势	(6)
1.3.1 排序问题的研究发展过程	(6)
1.3.2 排序研究的新趋势	(8)
1.4 材料搬运装置的排序	(9)
1.4.1 机器人中心的排序问题	(10)
1.4.2 自动导向小车的排序	(11)
1.4.3 抓钩排序问题	(12)
1.5 本章小结	(12)
参考文献	(12)
第 2 章 排序问题的结构框架及其求解方法	(19)
2.1 排序问题的结构框架	(19)
2.1.1 α 栏表示机器环境	(20)
2.1.2 β 栏提供了加工特性和约束	(21)
2.1.3 γ 栏包含了极小化的目标	(23)
2.2 排序问题的求解方法概述	(26)
2.2.1 精确求解法	(26)
2.2.2 遗传算法	(27)
2.2.3 模拟退火算法	(27)
2.2.4 禁忌搜索法 (Tabu search)	(28)

2.2.5 约束指导(Constraint-guided)启发式搜索技术	(28)
2.3 本章小结	(29)
参考文献	(29)
第3章 抓钩排序问题综述	(33)
3.1 抓钩排序问题的描述	(33)
3.2 抓钩排序问题的分类	(35)
3.2.1 单抓钩周期排序问题	(35)
3.2.2 多抓钩周期排序问题	(37)
3.2.3 单抓钩动态排序问题	(37)
3.2.4 多抓钩动态排序问题	(38)
3.3 抓钩排序技术的应用状况	(38)
3.4 抓钩排序问题的求解方法概述	(40)
3.4.1 派发规则(dispatching rule)的方法	(41)
3.4.2 半马尔科夫(Semi-Markov)优化问题	(41)
3.4.3 启发式搜索与线性规划组合的方法	(41)
3.5 抓钩排序问题的研究现状	(41)
3.5.1 单抓钩周期性排序问题	(42)
3.5.2 多抓钩周期性排序问题	(43)
3.5.3 单抓钩动态排序问题	(44)
3.5.4 多抓钩动态排序问题	(45)
3.5.5 相关的其他排序问题	(45)
3.6 本章小结	(46)
参考文献	(46)
第4章 单抓钩周期性排序问题的建模与求解	(51)
4.1 引言	(51)
4.2 构建“多重处理槽”排序问题的模型	(52)
4.2.1 PHILLIPS 模型	(52)
4.2.2 PHILLIPS 模型的不足之处	(55)

4.2.3	PHILLIPS 模型的修改和构建“多重处理槽”排序 问题模型·····	(57)
4.2.4	示例·····	(60)
4.3	一个混合整数线性规划模型及其启发式算法·····	(62)
4.3.1	混合整数线性规划模型的建立·····	(62)
4.3.2	启发式算法·····	(66)
4.3.3	示例·····	(70)
4.4	本章小结·····	(73)
	参考文献·····	(74)
第 5 章	两抓钩周期性排序问题的建模与求解·····	(76)
5.1	引言·····	(76)
5.2	无重叠区的两抓钩周期性排序问题·····	(76)
5.2.1	问题的描述·····	(76)
5.2.2	求解方法·····	(78)
5.2.3	示例·····	(80)
5.3	有重叠的两抓钩周期性排序问题·····	(82)
5.3.1	问题的描述·····	(82)
5.3.2	参数确定和抓钩分配·····	(84)
5.3.3	求解方法·····	(86)
5.3.3	示例·····	(103)
5.4	本章小结·····	(107)
	参考文献·····	(108)
第 6 章	单抓钩动态排序问题的建模与求解·····	(109)
6.1	引言·····	(109)
6.2	求解过程的结构框架·····	(112)
6.3	静态问题的求解·····	(114)
6.3.1	给定运送顺序下的线性规划模型·····	(115)
6.3.2	搜索方法·····	(117)
6.4	示例·····	(119)

6.5 本章小结	(121)
参考文献	(123)
第7章 排序在其他方面的应用	(124)
7.1 引言	(124)
7.2 集装箱堆放场中动态的吊车配置	(124)
7.2.1 问题描述	(126)
7.2.2 龙门吊配置模型	(128)
7.2.3 问题的求解	(129)
7.3 物流配送中的车辆排序	(130)
7.3.1 研究方法	(130)
7.3.2 模拟方法的建立	(132)
7.3.3 研究结果	(134)
7.4 本章小结	(135)
参考文献	(135)
附录	(137)

第 1 章 引言

1.1 先进制造技术在国民经济中的地位

自 20 世纪 70 年代以来,企业所处的外部环境日趋复杂多变,使得新世纪的企业面临一系列前所未有的挑战。高新技术,特别是信息技术的迅猛发展,是推动企业全面变革的主导力量;产品的用户化,消费者不仅要求产品体现自己的个性,且需求的变化非常迅速;经济的全球化已成为必然趋势,企业的经营将处在一个全球化的竞争环境之中,企业面临着新的挑战,企业要想在激烈的市场竞争中生存,就必须对市场的急剧变化做出快速反应。以上种种,均迫使国内外的制造企业积极地、不间断地参与到技术与管理的改造与创新中去,从而不断地提高企业的竞争力,提供给顾客满意的产品和服务。

先进制造技术是制造业不断地吸收机械、电子、信息、能源及现代管理等方面的成果,并将其综合应用于制造的全过程,实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产,取得理想经济效益的制造技术的总称^[1]。目前提出的先进制造技术,就其内容来说主要包括:专门研究数字化的制造技术,如计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、柔性制造系统(FMS)到计算机集成制造系统(CIMS),以实现高柔性和高自动化为目的;着重研究生产组织方式的制造模式(也称为先进制造模式),如精益生产方式、并行工程、重组工程、敏捷制造模式等,通过生产模式的变革和人员素质的提高,可以实现针对产品的敏捷性、高柔性和低成本。从本质上

可以说,先进制造技术是传统制造技术、信息技术、自动化技术和现代管理技术的有机融合。为适应市场的竞争需求,先进制造与自动化技术正急剧地改变着制造业的生产方式,世界制造业已进入了一个巨大变革的时期。

自 20 世纪 80 年代以来,一些工业发达国家和新兴工业化国家在总结经验教训的基础上,都把先进制造技术作为本国的科技优先发展领域和高技术的实施重点。加快发展先进制造技术已经成为各国政府的共识。制造技术重新得到了世界各国应有的重视。其中最具有代表性的有:美国的先进制造技术计划(AMT)、韩国的高级先进技术国家计划(G-7 计划)、日本的智能制造计划(IMS)、美国国家关键技术计划、美国敏捷制造使能技术计划(Technologies Enabling Agile Manufacturing—TEAM)和德国制造 2000 计划等。一场以先进制造技术为中心的科技方面的全球竞争正在展开。

综观各国先进制造与自动化技术的制定和实施情况,可以看到,先进制造技术的发展有其深刻的国际经济竞争背景。这些先进制造与自动化技术计划的提出,是以提高本国制造业的国际竞争能力、促进经济增长和提高国家综合实力为目标的,既注重技术的超前性,更重视来自产业界的实际需求;在关键技术的选择上注重系统集成技术与工艺装备研究开发并重,通过系统技术、信息技术和自动化技术的引入使传统工艺装备升级,并将现代化管理作为实现综合自动化系统技术的重要组成部分。

1.2 排序在先进制造系统中所扮演的角色

所谓排序(Scheduling),就是在资源约束下,把一系列工件(或任务)分配给处理器(或机器)后,将工件特性(处理时间和优先限制等)、机器环境(处理器的数量、互联系等)和目标输入给排序器,排序器输出排序结果的过程,如图 1.1 所示。排序是将任务分

配给有限的机器,这是一个或多个目标优化的决策过程。

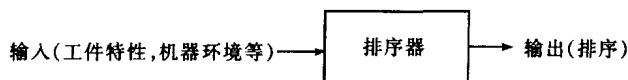


图 1.1 排序过程

资源和任务可以有多种形式,资源可以是工厂中的机器、机场的跑道、建设场所的人群和计算环境中的处理单元等等;任务可以是生产过程中的操作、飞机的起落、建设项目的工期以及计算机程序的执行等等。每个任务可以有不同的优先等级、最早可能的开始时间和期限。目标也可以有多种形式,一种可能的目标是最迟任务的完成时间极小化,另一种目标是完成超过严格期限的任务数量的极小化。排序是在大多数制造和生产系统中存在的决策过程,它也存在运输和分销设置以及其他类型的服务工业中,并且排序在先进制造系统中扮演着重要的角色。以下示例阐明了排序在先进制造系统扮演的角色。

示例 1 柔性制造系统(FMS)

柔性制造系统(FMS)是先进制造技术的重要内容。美国英格索尔铣床公司曾分析了在传统的制造工厂中从原材料进厂到成品出厂的“时间组成”。结果表明:对一个机械零件来说,只有 5% 的时间是在机床上,95% 的时间零件在不同的地方和不同的机床之间运输或等待。而这 5% 中真正进行切削加工的时间只占 30%,其他 70% 时间用于零件的定位、装夹、换刀、测量、机床的调整和维修以及清除铁屑、待料等。数控机床只是减少了机床上的部分非切削时间和部分工序间零件的搬运和存放等时间,因此,为了进一步提高生产率,缩短零件生产周期,提高物料流的效率,充分发挥机床的利用率,开发了柔性制造系统(FMS)。柔性制造系统由加工系统、物料流系统和信息流系统组成,而物料流系统的一个重要部分是材料搬运系统(Material handling system)^[2]。自动

导向小车(Automatic Guided Vehicles)的排序问题典型地发生在柔性制造系统的制造过程中,这样一个柔性制造系统通常由数字控制的加工中心组成,每个加工中心设置有限个输入/输出站,由材料流网络联接。

如图 1.2 所示,Blazewicz 将 FMS 描述为:要加工成零件的原

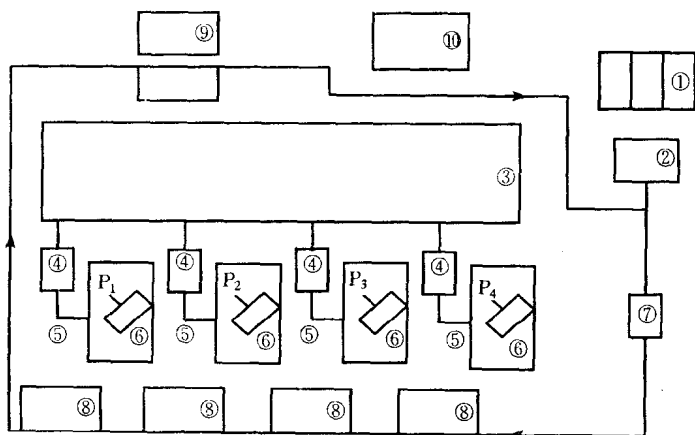


图 1.2 FMS 的一个示例

材料被储存在自动储存区①中。当需要的时候,从储存区内取出适当的材料,装载在站台②上的小车的装载板上,这个任务由计算机控制的机器人来自动的执行。然后,工件由自动导向小车⑦运送到所需要的机器⑥,在⑧处,工件被自动地卸下来。系统中的每一台机器具有处理任意一个加工任务的能力。由于有大量可以使用的刀具和夹具,使机器具有多种加工功能。每一台机器的刀具库可以容纳 130 把刀具以便于各种机械加工。刀具的换刀是自动的,夹具的更换是人工的。在实际的 FMS 中,每台机器可以生产几乎 100 多种完全不同的零件。简单的零件需要 30 种加工,最复杂的零件需要 80 种加工。除此以外,刀具可以从一个大的、离机

器比较近的自动化刀具储存中心(区)③装载,刀具储存区包括2 000把刀具,整个系统有4台机器(NC机床)。运送来的原材料被夹在适当的夹具上,按照预定的计划(程序)用刀具进行加工。工件加工期间允许交换刀具,这消除了下一个工件需要的刀具的准备时间。完成一个加工后,加工好的零件与下一个等待加工的零件的原材料交换位置,然后,自动导向小车自动将加工好的零件运送到检查站⑨。检查合格的零件被运送到卸载存储区⑩。FMS能够看成是具有非同步的材料运送的自动化单件车间,具有对小批量的各种不同工件的广泛加工能力以满足各种顾客的需要^[3]。在制造过程中,自动导向小车在联接加工中心和刀具、工件中心的网络上运行。由于FMS的复杂性,任何自动导向小车的不适当的排序将必然导致制造中的阻塞、冲突和长时间的延误,因此,自动导向小车的排序不仅影响系统的生产率,而且影响系统的正常运行^[4~6]。材料搬运系统不仅是FMS的脊椎骨(Backbone),也是CIMS的重要部分^[7]。无论是柔性制造系统还是计算机集成制造系统,其材料搬运系统不仅对系统取得高的生产率有直接的影响,而且直接影响系统的可靠性和产品质量,甚至影响整个生产计划的完成。FMS和CIMS中的材料搬运系统包括自动导向小车和机器人(Robots)。FMS和CIMS中材料搬运系统的设计包括两方面:设施规划和排序。在设施布置一定的情况下,其材料搬运装置的排序成为主要问题,这里的排序包括了机床和自动导向小车排序问题(或机器人排序问题)。即使有好的设施布置,如果没有好的排序,仍将无法保证FMS和CIMS的生产率和产品质量。因为,如果没有正确的排序,机床和自动导向小车(或机器人)两者皆可能成为“瓶颈”问题。

示例2 组织内排序所在的位置

在一个组织或系统内排序的功能与其他功能存在界面,当然,这些界面随所处的情况不同而不同。以下给出的是一般制造系统环境下的描述,以及在这样的环境下,排序过程的角色。

在一个制造系统中投放订单,并且,订单被转换成相应于某个期限的工件。这个工件常常由加工中心的机床按照给定的顺序进行加工。工件可以在繁忙的机床上等待,并且,当具有优先级的工件到达时优先加工该工件,一旦完成后,再继续加工原来的工件。为了保证效率及控制操作,在生产系统中必须具有加工任务的详细排序。

排序功能与组织中的其他几个重要功能存在界面。它受到整个组织的中、长期生产计划的影响,排序过程必须考虑库存水平、预测和资源需求,以对产品 and 长期资源分配进行优化。计划功能做出的决策可能对排序有影响,排序接收来自工厂的控制指令,也需要考虑工厂中诸如机器故障或者处理时间比预期长得多的这种不期待事件的发生,因为这些事件可能成为排序的主要影响因素。如图 1.3 所示为制造系统中信息流动图^[8]。

现代工厂常常有复杂的信息系统,一个典型的工厂有中心计算机和中心数据库系统。连接这个中心计算机的是个人计算机组成的局域网、工作站和可能从数据库获得信息或者向数据库输入信息的数据终端。排序工作通常由连接工厂主机的个人计算机和工作站来做。在关键位置的终端可以连接排序计算机,以提供给某些部门必要的排序信息,并且使这些部门能够提供诸如机器状态、工件数据的改变等与排序系统有关的信息。除了制造和生产以外,排序功能与其他功能必须有界面,这个界面常常在计算机内部。

1.3 排序问题的研究发展过程和排序研究的新趋势^[9]

1.3.1 排序问题的研究发展过程

20 世纪初,由于 Gantt 和其他先驱者的工作,排序问题在制造业得到了重视,第一批文章发表在 20 世纪 50 年代的“海军后勤