

制造型企业 生产物流优化理论与方法

宫华 许可 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

制造型企业生产物流 优化理论与方法

宫华 许可 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书综合管理学、运筹学、优化理论等知识,对制造型企业的生产运作与物流管理进行深度挖掘,研究制造型企业的生产调度和物流协调环节的优化理论与方法。本书较系统地介绍了计算复杂性、常见优化方法等理论基础,围绕制造型企业生产物流,概述了批调度问题及生产与运输协调调度问题,主要研究的优化问题包括:原材料物流与生产调度协调问题,在制品物流与生产调度协调问题,生产调度与成品配送协调问题。

本书可供运筹学及优化相关领域研究人员阅读,也可作为相关专业研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

制造型企业生产物流优化理论与方法/宫华,许可著. —北京:
国防工业出版社, 2015.5

ISBN 978-7-118-10204-8

I. ①制… II. ①宫… ②许… III. ①制造工业—工业企业
管理—物流—生产管理—研究 IV. ①F407.406.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 092858 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880×1230 1/32 印张 5 $\frac{1}{4}$ 字数 162 千字

2015 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 59.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

前 言

制造业是国民经济的重要支柱产业之一。制造型企业是制造业的基本单元，是实现先进制造的根本，综合了机械、电子、信息、生物、光学、材料、能源环保、管理等领域。在以制造型企业为核心的供应链中，存在着大量的生产与物流优化决策问题。制造型企业的优化决策问题在供应链管理中占有重要地位，能否有效地解决制造型企业的生产运作管理中的优化问题，实现企业资源的有效利用，直接影响到制造型企业的生产效率、生产成本以及对客户需求反应的敏捷程度。

基于企业的供应链系统优化，可分为原材料采购、生产、销售、物流等环节的优化。生产与物流密切相关，物流是联系生产制造各环节的纽带，也是生产过程连续性保证的重要基础。生产物流作为企业物流的主体，与整个生产工艺同时存在，已经成为生产过程的一部分。制造型企业之间的竞争，不仅仅是价格的竞争，而且是适应市场需求、减少能源消耗、准时供货、降低生产成本等方面的竞争。企业通过优化生产物流管理，降低成本，找到新的利润增长点。越来越多的企业认识到生产物流的优化蕴藏着众多新的机会，现代生产与物流的理念和先进的管理技术将成为现代企业发展战略的重要内容。

生产调度与物流优化涉及数学规划中的最优化理论、计算机技术中的计算复杂性理论等多学科交叉内容，涉及管理学、运筹学、制造型企业等行业知识，涵盖数学建模、优化算法设计等环节。本书对制造型企业的生产运作与物流管理进行深度挖掘，以高温作业生产、批量生产以及批量运输为背景，提炼出具有制造型企业典型特点的生产和成批运输调度问题，研究制造系统的生产和运输协调物流调度关键环节的理论问题。在介绍复杂性分析、算法最坏情况分析、多项式时间算法、近似策略、动态规划等理论与多种技术手段的基础上，本书主要阐述三个方面的优化问题：原材料物流与生产调度协调问题，在

制品物流与生产调度协调问题，生产调度与成品配送协调问题。

本书是作者在制造型企业优化理论与方法方面的科研成果基础上整理而成，并得到了国家自然科学基金项目、国家“863”计划项目、辽宁省“百千万人才培养”资助项目、沈阳理工大学重点实验室开放基金项目（辽宁省先进制造技术与装备重点实验室）的资助。

由于制造型企业的生产物流的理论、方法、理念和技术等方面都是要求很高的研究领域，加之作者水平有限，难免存在疏漏之处，恳请读者批评指正。

作 者

2015年2月于沈阳

目 录

| | |
|--------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 制造型企业的生产与物流特征 | 4 |
| 1.1.1 流程制造业生产与物流特征 | 4 |
| 1.1.2 离散制造业生产与物流特征 | 8 |
| 1.2 研究意义 | 9 |
| 第 2 章 优化理论基础 | 12 |
| 2.1 计算复杂性 | 12 |
| 2.1.1 计算复杂性理论 | 13 |
| 2.1.2 NP 理论 | 16 |
| 2.1.3 几个(强) NP-难问题 | 19 |
| 2.1.4 伪多项式时间算法 | 22 |
| 2.2 常见优化方法 | 24 |
| 2.2.1 精确算法 | 25 |
| 2.2.2 近似算法与近似策略 | 31 |
| 第 3 章 调度的一般理论 | 39 |
| 3.1 调度问题概述 | 39 |
| 3.1.1 调度问题 | 39 |
| 3.1.2 三域表示法 | 42 |
| 3.2 批处理机调度问题 | 44 |
| 3.2.1 并行批调度问题 | 46 |
| 3.2.2 串行批调度问题 | 52 |
| 3.3 生产与运输协调物流调度问题 | 53 |
| 3.3.1 生产间半成品运输调度问题 | 54 |

| | | |
|------------|--------------------------------------|-----------|
| 3.3.2 | 生产后成品运输调度问题 | 57 |
| 第4章 | 原材料物流与生产调度协调优化问题 | 61 |
| 4.1 | 原材料多台车运输与批处理机生产的协调调度问题 | 62 |
| 4.1.1 | 问题描述 | 62 |
| 4.1.2 | 复杂性分析 | 63 |
| 4.1.3 | 伪多项式时间算法 | 65 |
| 4.1.4 | 全多项式时间近似策略 | 68 |
| 4.1.5 | 特殊情况 | 70 |
| 4.2 | 带有能耗特征的运输和批处理机生产的协调调度问题 | 71 |
| 4.2.1 | 问题描述 | 71 |
| 4.2.2 | 问题 $P1$ | 74 |
| 4.2.3 | 问题 $P2$ | 84 |
| 4.2.4 | 问题 $P3$ | 85 |
| 4.2.5 | 问题 $P4$ | 87 |
| 4.2.6 | 实验结果与数值计算 | 90 |
| 4.3 | 小结 | 94 |
| 第5章 | 半成品运输与生产协调优化问题 | 96 |
| 5.1 | 生产间半成品运输与二机流水调度问题 | 96 |
| 5.1.1 | 问题描述 | 96 |
| 5.1.2 | 问题 $TF_2 \mid s_j = 1 \mid C_{\max}$ | 97 |
| 5.1.3 | 问题 $TF_2 \mid s_j \mid C_{\max}$ | 103 |
| 5.2 | 两阶段运输与批处理机生产的协调调度问题 | 111 |
| 5.2.1 | 问题描述 | 111 |
| 5.2.2 | 混合整数规划模型 | 112 |
| 5.2.3 | 复杂性分析 | 114 |
| 5.2.4 | 特殊情况 | 117 |
| 5.2.5 | 启发式算法及性能分析 | 119 |
| 5.2.6 | 实验结果与数值计算 | 123 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 5.3 | 带有阻滞和运输时间考虑的两阶段流水调度问题 | 124 |
| 5.3.1 | 问题描述 | 124 |
| 5.3.2 | 混合整数规划模型 | 127 |
| 5.3.3 | 复杂性分析 | 128 |
| 5.3.4 | 特殊情况 | 133 |
| 5.3.5 | 启发式算法及性能比分析 | 134 |
| 5.3.6 | 实验结果与数值计算 | 139 |
| 5.4 | 小结 | 143 |
| 第6章 | 生产与成品配送协调优化问题 | 145 |
| 6.1 | 单个批处理机生产与生产后成品配送的协调调度问题 | 145 |
| 6.1.1 | 问题描述 | 145 |
| 6.1.2 | 问题 $B \rightarrow D \parallel C_{\max}$ | 147 |
| 6.1.3 | 问题 $B \rightarrow D \parallel \sum w_i C_i$ | 148 |
| 6.1.4 | 多项式可解情况 | 150 |
| 6.2 | 并行机生产与具有等待时间限制的成批运输协调调度问题 | 153 |
| 6.2.1 | 问题描述 | 153 |
| 6.2.2 | 问题 $Pm \rightarrow D \mid w_i \mid C_{\max} + \alpha(R)$ | 154 |
| 6.2.3 | 问题 $Pm \rightarrow D' \mid w_i \mid C_{\max} + \alpha(R)$ | 156 |
| 6.3 | 基于运输能力考虑的并行机生产与成品批运输的协调调度问题 | 159 |
| 6.3.1 | 问题描述 | 159 |
| 6.3.2 | 全多项式时间近似策略 | 161 |
| 6.3.3 | 特殊情况 | 165 |
| 6.4 | 小结 | 166 |
| | 参考文献 | 168 |

第1章 绪 论

制造业是国民经济的重要支柱产业之一。制造型企业是制造业的基本单元，是实现先进制造的根本，它综合了机械、电子、信息、生物、光学、材料、能源环保、管理等领域。根据生产中使用的物质形态，制造业可以划分为离散制造业和流程制造业。流程制造业，又称为流程工业，是指通过混合、分离、成型或化学反应使原材料增值的行业，主要包括钢铁、冶金、化工、电力、制药、食品、陶瓷等行业。离散制造业，又称为离散工业，主要是通过对原材料物理形状的改变、组装成为产品，主要包括组装、机械加工等行业。在以制造型企业为核心的供应链中，制造型企业的优化问题在供应链管理中占有重要地位。能否有效地解决制造型企业的运作管理中的优化问题，实现企业资源的有效利用，直接影响到制造型企业的生产效率、生产成本以及对客户需求反应的敏捷程度。

制造型企业之间的竞争不仅仅是价格的竞争，而且是包括适应市场需求、减少能源消耗、准时供货、降低生产成本等多方面的竞争。企业可以通过优化生产物流管理，降低成本，找到新的利润增长点。越来越多的企业认识到生产物流的优化蕴藏着众多新的机会，现代生产与物流的理念和先进的管理技术将成为现代企业发展战略的重要内容。为了分析与解决制造型企业的全局优化问题，可将企业的优化分为制造工艺优化、产品配置优化以及加工过程优化等。基于企业的供应链系统优化，可分为原材料采购、生产、销售、物流等环节的优化。生产与物流密切相关，物流是联系生产制造各环节的纽带，也是生产过程连续性保证的重要基础。制造型企业的生产物流管理，是通过采购、库存、生产以及配送等一系列环节进行有效协调和调度，使得物料得以合理流动。从整个企业系统来看，物流是现代化生产的重要组成部分；从企业的组成部分来看，企业中各生产车间、生产工序等都是企业物流系统网络中的节点；从生产系统的具体活动来看，

生产过程不仅包括生产，也离不开物流，生产的各项活动自始至终都伴随着物流活动。生产物流作为企业物流的主体，与整个生产工艺同时存在，已经成为生产过程的一部分。广义的生产物流包括厂址的选择、车间布置、设备布置、工艺流程设置与设计、生产过程的时间与空间组织、物料搬运等。狭义的生产物流是指在企业的生产过程中所发生的有关物料移动、加工成半成品和成品直到成品入库等一系列有关原材料、物料等在时间和空间上的移动过程。

制造型企业的生产物流系统由三部分组成：①原材料供应系统，是从供应商处采购原材料和部分成品、半成品的物料供应系统；②生产过程物流系统，是发生在制造型企业内部的生产过程中的物料转移、搬运系统；③销售物流系统，是企业将成品运送到消费者或销售商手中的物流系统。生产物流的大致过程是：原料、零部件、燃料等辅助材料从企业仓库或外部环境生产线的开始端口，进一步在生产过程中的各个环节流动，在流动的过程中被加工，同时产生一些废料和余料，直到生产加工终结，流入成品库。从物流属性上分析，生产物流是生产所需的物料在时间和空间上的转移全过程，是生产系统的动态表现，即物料经过生产系统的各个生产阶段或工序的全部运动过程。从生产工艺上分析，生产物流是企业生产工艺中的物流活动，即物料不断地离开上一道工序进入下一道工序的活动。因此，生产物流是企业生产活动与物流活动的有机结合，对生产物流过程的优化设计离不开对企业生产因素的考虑，生产活动与物流活动密不可分。

从企业接受订单开始，生产物流具体包括订单合同处理、原材料采购与组织订货、生产作业计划编制、生产命令的制定与下达、生产过程的控制与调整、物料的转移与存储、生产结果的搜集与整理、产品的出厂等。影响生产物流的主要因素包括：

(1) 生产工艺与生产类型。不同的生产工艺与生产类型，其生产的结构与复杂程度、精度等级、工艺要求及原材料采购、物料转移方式、运输等都不相同。这些特点影响着生产与物流的组织与调度。

(2) 生产规模与生产模式。生产规模是指单位时间内的产品总量，生产规模越大，其生产结构越完整，物流量越大，生产与物流的有效协调更为突出。生产模式可分为单件小批量生产、多品种小批量

生产、少品种大批量生产、项目型生产等类型。在生产物流优化结构上，生产规模与生产模式起着决定性的作用。

(3) 生产专业化与协作水平。通常情况下，企业生产产品的产量越大，品种越少，其专业化水平越高，物流过程的重复性与稳定性越高。随着社会专业化和协作水平的提高，企业内部生产过程趋于简化，物流流程相对缩短。某些生产工艺阶段的半成品、零部件等可由其他厂家提供。生产物流与企业的专业化程度有着内在联系。

生产物流是制造型企业所特有的，与生产流程同步。原材料、半成品、成品等按照工艺流程在各个加工车间之间不停顿地移动、流转，形成了生产物流。传统的生产过程研究，主要关注生产加工过程，忽视了衔接各个生产工艺间的物流活动。实际上在一个生产周期内，物流活动所耗费的时间多于实际加工的时间。因此，企业生产物流研究的潜力、节约时间的潜力、降低生产成本的潜力是非常巨大的。生产物流的均衡稳定，可以保证在制品的顺畅流转，缩短生产周期。在制品库存的压缩以及设备负荷的均衡化，也都和生产物流的管理与控制相关。

无论是流程型生产企业还是离散型生产企业，生产物流主要考虑的是在优化资源、能力的基础上，降低生产成本，提高反应速度和效率，快速满足客户对产品品种、质量、数量、交货期等的要求。目前，我国物流需求快速增长，规模快速扩大，物流发展正在由销售环节向生产环节和采购环节扩展。生产过程物流的速度严重影响企业内部资本运作的流动速度，生产过程与物流环节的协调是制约企业资本流动的瓶颈之一。销售环节是成品流向客户的速度，准时配送和减少运输成本是提高客户满意度和企业竞争力的关键所在。流程制造业的生产过程一般是连续的、批量生产的，生产设施按照工艺流程布置，物料按照固定的工艺流程连续不断地通过一系列设备和装置被加工处理成为成品，生产和物流之间的衔接度要求更高。离散制造业生产周期相对较短而销售物流压力较大，生产的连续性和生产效率将影响到销售环节的准时性。本书对流程制造业和离散制造业的生产物流进行深度挖掘，研究制造型企业的生产和运输协调物流调度关键环节的理论问题，为制造型企业的生产运作和物流管理提供理论支持。

1.1 制造型企业的生产与物流特征

根据我国制造企业的发展特点，制造型企业的生产流程主要包括原材料采购运输、生产、生产物流、成品销售四个环节。流程工业生产工艺复杂，工序繁多，生产和运输经常带有高温作业，能源消耗大，生产成本低，内部物流管理难度大。因此，优化生产流程、优化生产运输物流、降低能源消耗、提高生产效率、实现流程工业生产过程中的标准化等，已经成为整个行业系统建设的重点。离散制造业产品工艺过程离散，多品种小批量生产，物流衔接及时才能进行组装以及配套生产，准时送货是提高客户满意度的关键。

1.1.1 流程制造业生产与物流特征

一般而言，流程工业中的生产高温作业不仅是保证生产顺利进行的关键，也是降低能源消耗的重点因素。例如：钢铁企业高炉铁水运送炼钢的方式；带有温度变化的钢锭在均热炉中的再加热，均热后的钢锭在初轧机的轧制；连铸坯的热送、热装、直接轧制等。铝加工过程中铝水的运送以及铝锭的轧制等深加工都属于高温作业。在这些带有高温作业的工序中，一方面，温度的下降必然会造成热能的损失、能源消耗的增加；另一方面，温度的下降也会造成相应工序上处理时间的增加、设备利用率的降低，这样将直接影响后续生产的顺利进行。

流程制造业中的钢铁企业是工业经济中的重要基础，也是国民经济的重要组成部分，能够为建筑、机械、汽车以及其他工业提供原材料。目前由钢到材生产流程有两个系统，即模铸系统和连铸系统^[1-6]，如图 1.1 所示。模铸系统是指钢水出炉后浇注成各种规格的钢锭，然后经过初轧开坯，再轧制成材，故又称为钢锭系统。连铸系统是指钢水注入连铸机，铸成各种规格的坯料，钢坯的断面尺寸比钢锭小得多，可以省去初轧开坯工序。近年来，连铸工艺虽然逐步代替传统的模铸工艺，但是一些特殊性能的产品仍要求模铸工艺。

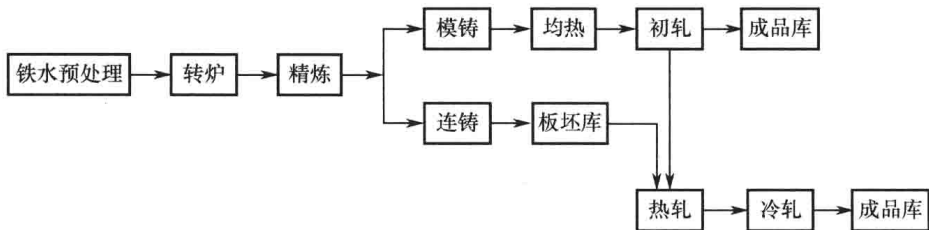


图 1.1 钢铁生产工艺流程

钢铁企业的主要特征代表了流程工业的特点，即：生产工艺复杂、生产成本较高、工序繁多；工序之间需要运输工具进行衔接；物件带有高温连续运作、物流呈交叉网状结构。在没有新技术、新工艺、新设备的投入下，生产和物流调度显得尤为重要。合理的生产调度以及生产物流调度，是保证流程工业生产连续性和稳定性的前提，对于节约能源、降低成本、提高经济效益有着极其重要的作用。

下面以钢铁企业的生产和运输的衔接为例，说明流程工业中的高温作业和运输的主要特征，如图 1.2 所示。钢铁企业生产流程包括原料准备、炼铁、炼钢、热轧、冷轧等生产工序，可以看出钢铁企业内部存在不同的甚至是混合型的生产类型。生产物流的主要形式主要有厂内火车、厂内汽车、皮带运输、管道运输、辊道运输等。工序之间不仅有温度变化，还有运输的衔接。由于钢铁企业生产周期相当长，从原材料入库到成品出厂的整个生产组织过程至少在 60 天以上，一旦某个环节衔接出现故障，将影响整个生产工艺。因此，钢铁企业的生产和运输管理的优劣将直接影响到产品的交货周期、在制品库存、生产运行成本等企业生产经营的各个方面。由于生产过程的紧密性和运输工具的专用性，生产和运输的协调调度与管理对生产起着至关重要的作用。

炼钢生产系统中，铁水经过转炉吹炼和钢包炉外精炼以后，要进行模铸浇注作业形成钢锭，均热炉将钢锭重新加热到足够高的温度，进而在初轧车间进行轧制。钢水从炼钢炉流到一个巨大的钢包，钢包到达一个浇注平台进行浇注。浇注结束后，钢水要静置一段时间进行凝固。静置结束后，用锭模台车拉到脱模车间进行脱模。脱模后的钢锭由铁路运输到均热车间进行加热。由于脱模后的钢锭在运输过程一

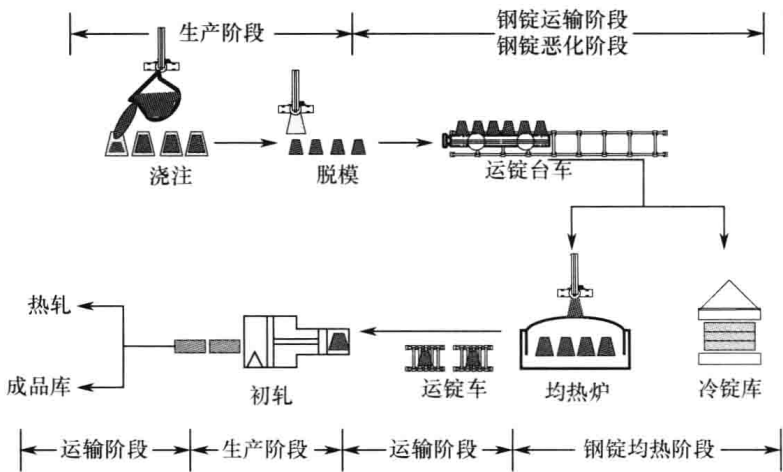


图 1.2 钢铁企业模铸—均热—初轧生产流程图

直到均热开始的这段时间会损失一部分热量，钢锭在均热炉中的加热时间就与这段运输时间有关。均热工序的主要作用是将炼钢送来的冷热钢锭进行加热并使其温度均匀，达到轧制温度，然后出炉供初轧机轧制。从炉次浇注结束到均热炉装入结束的时间称为钢锭的传搁时间。钢种的加热严格按照加热模型来进行，均热时间由传搁时间决定，随着传搁时间的增加而增加。对于不同的钢种，限制的传搁时间也不相同。当钢锭的传搁时间超过限制的传搁时间之后，钢锭的均热时间就不再增加，这样的钢锭也称为冷锭。由于均热炉能耗较大，当钢锭满足装炉条件并且传搁时间在规定的范围内，就应该立刻装炉。这样可以减少钢锭在炉内的均热时间，同时可以节约煤气用量，减少钢锭的在炉时间，为后续的轧制赢得不少时间，进而提高产量。

均热炉不仅要重新加热钢锭，同时也是初轧机的一个缓冲空间。均热炉可以同时加热同一类型的多个钢锭，但不同锭型不混装。出钢时使用钳吊把钢锭从运锭台车上运输到初轧车间进行轧制。初轧机的主要任务是把经过加热过的钢锭轧制成一定断面尺寸的各种形状的钢坯，并使轧件的性能得到一定的改善。初轧是钢铁生产中极为重要的开坯过程，它将炼钢厂产出的钢锭轧制成板坯、方坯及管坯，为热轧及钢管生产等后续工序提供原料。

节能降耗是各工业部门极为重视的课题，自 20 世纪 70 年代能源

危机以来，国际上各工业先进国对各种燃烧设备的节能进行了广泛、深入的研究。由于均热炉能耗较大，因此，提高均热炉效率、节能降耗具有现实意义。初轧是钢铁生产的一个重要环节，均热炉又是整个初轧生产的中心。均热炉生产调度主要是协调均热炉与转炉、均热炉与轧机间的生产节奏，使其高效稳定地生产。因此，钢锭系统的调度在很大程度上可以决定初轧的产量和能耗的大小，与钢铁生产的整体经济效益息息相关。

钢锭系统的调度主要包括：浇注和均热两个工序的相互衔接的调度，热钢锭和冷钢锭在均热炉上的调度，运锭台车与生产的相互衔接调度，吊机的调度，均热和初轧两道工序相互衔接的调度等。

1. 钢锭温度下降对均热炉调度的影响

一个均热炉可以同时加热多个钢锭，所以将其看成一个典型的批处理机。均热炉不仅要重新加热钢锭，同时也要作为下游初轧机的缓冲空间。脱模后的钢锭暴露在空气中温度开始下降，在均热炉中的调度因为均热时间受到传搁时间的影响而变得更加复杂，有必要对均热炉进行适当的调度。如果当前有钢锭需要加热，均热炉会出现两种情况：①加热这些钢锭，但是当热钢锭到达均热炉时没有空余炉子可利用，这样就导致了热钢锭热量损失和传搁时间增加，进而导致均热时间的增加和煤气消耗的增加，还可能造成后面的热钢锭在均热炉前的拥堵；②不加热这些钢锭，均热炉出现额外的空闲时间，而均热炉要保持一定的温度同样需要一定的煤气消耗，这样既造成了能源的浪费，又使得生产效率降低。因此，热钢锭和冷钢锭使得均热炉的生产必须合理地进行安排和调度。在均热炉的前后生产及运输都与均热炉的调度有密切的关系。加热质量需要合理的钢锭调度来保障，合理的生产调度应在保证最佳的可操作的前提下，获得最快的加热速度，既能达到节省能源的目的，又能提高生产效率。

2. 运输与生产的协调调度

从浇注到均热的过程需要台车来完成钢锭从存储区到均热区的转移，需要吊机来完成钢锭到均热炉内的装入；从均热到初轧的过程需要运锭台车来完成从均热区到初轧区的运输。运锭台车将钢锭运输到均热车间之后必须立刻返回浇注车间，否则可能会导致钢水冷却，造

成巨大的经济损失。运锭台车的周转不灵将直接影响到钢锭在均热炉内的生产顺利进行，也影响到浇注作业的继续进行。由此，浇注、运输、均热炉三者之间的调度相互影响、息息相关，合理的生产与运输的协调调度是保障钢锭生产顺利进行的前提。

钢铁企业的运输方式主要是铁路、吊机等，运输资源有限，运输能力有限，各阶段生产之间都需要运输相衔接。因此，加强运输组织管理，保证铁路运输顺畅，形成衔接有序的运输生产秩序，对保持钢铁生产的连续性和稳定性、提高钢铁产量、节约能源、降低成本、提高经济效益有着极其重要的作用。

1.1.2 离散制造业生产与物流特征

离散制造业加工工艺多样化，物料流动是非连续的，生产工序与物料转移的各个阶段紧密衔接。离散制造业除了保证物料的及时供应与运输外，对成品配送的及时反应能力要求较高，相应的物流费用成本较高。批量生产、准时配送、缩短交货期是离散制造业企业满足客户需求的重要手段，降低物流成本、生产和物流配送整体优化是提高企业效率的有效措施。

离散的加工装配型生产的产品由许多零部件构成，且各零件的加工过程各自独立，所以整个产品的生产工艺是离散的，制成的零件通过部件装配和总装配最后成为成品。机械制造、电子设备制造等行业的生产过程，均属于这一类型。通常每项生产任务仅要求整个企业组织的一部分能力和资源。离散生产将功能类似的设备按空间和行政管理组成生产组织（工段或班组），如车、铣、磨、钻和装配等。在每一部门，工件从一个工作中心到另一工作中心，进行不同类型的工序加工。这样的流转，必须以主要工艺为中心，安排生产设备的位置，以使物料的传输距离最小。对于离散型生产的组织方式，其设备的使用是灵活的，工艺路线也是灵活的。对于离散型生产过程的管理，除了保证及时供料和零部件的加工质量以外，重要的是按产品 BOM 的要求控制零部件的生产进度和数量，保证生产的成套性。如果生产的品种、数量不成套，即使只是缺少一种零件，也无法装配出成品。同时，要做好生产计划和粗细生产能力计划的匹配工作。由于生产能力

的不足（如瓶颈工序）导致的少数零件的拖期，也会延长整个产品的生产周期，延误产品的交货期，甚至还要蒙受大量在制品积压和生产资金积压的损失。

离散型制造企业的生产大多属于流水车间调度，生产各道工序衔接紧密，以防盗门企业为例分析离散型制造业的生产和运输特点。防盗门的生产流程为：进购原材料—剪板下料—冲压折弯成型—焊接组合—表面前处理—表面涂装—框扇装配及五金件装配—包装入库。这类离散型生产企业的生产过程中基本上没有发生物质改变，只是物料的形状和组合发生改变，即：最终产品是由各种物料装配而成，并且产品与所需物料之间有确定的数量比例。例如，一个产品有多少个部件，一个部件有多少个零件，这些物料不能多也不能少。从系统理论的角度来看，离散工业的主体制造过程属于离散事件系统，即：系统的状态变量为可数，不是时间的连续函数；以时间为基准的竞争，是一个突出的特点。能否在最短的时间内开发、生产出新产品并占领市场，是企业生存的关键。

原材料的运输必须在时间上满足生产的需求，各道生产工序之间的物料转移将直接影响到产品的配套生产。这种离散制造业多采取批量生产批量运输的生产方式。生产能力的不足，将造成运输的闲置，不能满足客户的时间需求，进而影响客户满意度。而生产能力剩余将导致产品的库存压力过大，运输不能及时完成现有产品的转移而成为生产物流的瓶颈；产品的积压不仅延误产品的交货期，而且降低企业生产效益。如果没有找到生产和运输的平衡点，提前或者延后成品的生产或者运输到客户的时间，都将造成企业资本的浪费和生产成本的增加。因此，离散制造业的生产和运输的协调不仅是保障生产的连续性和平稳性的关键，也是提高客户满意度、增强企业竞争力的重要手段。

1.2 研究意义

在能源、资源环境日益矛盾的 21 世纪，我国制造业系统不能再追求扩大规模，应当依靠技术创新和管理提升，全面提高企业总体素