东北大学
硕士学位论文
炼钢生产计算机辅助调度系统的研究与开发
姓名: 赵晓波
申请学位级别:硕士
专业: 机械工程
指导教师: 柳洪义

## 炼钢生产计算机辅助调度系统的研究与开发

# 中文摘要

钢铁企业物流管制工作是企业进行全面生产管理的一个重要组成部分,只有在对物流进行科学的计算机管理基础上,才能实现整个钢铁企业的生产自动化、企业管理智能化、信息集成化。进而为今后在钢铁企业建立起现代化的计算机集成制造系统奠定坚实的基础。

本文是根据钢铁生产流程多维物流管制系统理论和冶金学理论,经首钢第三炼钢厂生产现场实测数据为基础,应用统计学理论对数据加以处理,结合生产设备、环境对物流运行情况加以分析,提炼出该厂在实现高效连铸后物流的运行规律,找出影响物流顺行的因素;同时,在对时间、温度等参数进行分析的基础上,提出各工序生产参数的优化值和合理的生产模式;最后借助计算机,编制出辅助生产调度系统以指导生产,真正实现高速、高效、高生产率。

关键词:物流管制, 高效连铸, 生产模式, 计算机辅助调度系统

Study and Development of The Computer-aided Scheme System of Steel Production

## **ABSTRACT**

Multi-dimensional mass flow control of steel corporation is an important part of manufacture manage. On the basis of the scientific manage used a computer, it realizes the steel production automatization, intelligentize and information integration. It establishes a firm base for the modernization computer integration system of a steel corporation.

According to the theory of multi-dimensional mass flow control in steel-making process and the theory of metallurgy, parameters of mass flow like time and temperature have been analyzed on the basis of production data received from No. 3 Steel plant of Shougang steel groups. There are three main aspects in the research. The first is analysis of time factor involved in the process from steelmaking to casting. The second is calculation of temperature reduction of liquid steel during cycling process. The third is thesummarization of running rule of mass flow. Optimum data and production pattern are given in this paper after analyzing the present situation. The computer-aided scheme system is established to help schemers to make plans during the production.

KEY WORDS multi-dimensional mass flow control, high efficiencycontinuous casting, production pattern, computer-aided scheme system

# 声明

本人声明所呈交的学位论文是在导师的指导下完成的。论文中取得的研究成果除加以标注和致谢的地方外,不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果,也不包括本人为获得其他学位而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

本人签名: 之外之外

日期:

# 第一章 绪言

## 1.1课题背景及研究内容

## 1.1.1 课题背景

随着钢铁工业技术的不断发展,冶金过程单体技术的日趋成熟,进一步提高生产水平,降低成本,增强竞争力应从整体上研究钢铁制造流程的结构化技术着手。尤其是实现高效连铸、热装热送及薄板坯连铸连轧后,钢铁制造流程的连续性更高,对钢铁企业的物流调控必然提出新的要求。近年来全连铸生产调度系统的开发研究工作有了很大的进展。从炼钢—连铸时间调控出发,进行了炼钢厂物流核算和生产调度方案的研究,提出了各种炼钢—连铸过程调度方案,并在实验室建立了计算机辅助调度模拟系统,为这个领域的研究打下了坚实的基础。

随着高效连铸技术的发展,国内不少厂家实现了高拉速。首钢三炼钢厂的 2、3 号铸机经改造后,正常拉速实现 3.3m/min 以上,最高拉速可达 4.2m/min; 在铸机实现高拉速后,各工序间的匹配、协调出现了较大的变化,物流量相应增大,导致诸工艺将会发生改变,物流管制出现了许多新的问题,同时一系列设备必须改造后才能适用高拉速的生产局面。本课题是以首钢三炼钢厂为依托的"方坯高拉速条件下炼钢—连铸生产过程的物流组织与控制"研究的基础上,开发计算机辅助生产调度系统,进一步完善方坯高拉速条件下生产过程的物流组织与控制。

## 1.1.2 研究内容

(1) 现场调研:

测定首钢三炼钢的转炉炼钢各工序诸参数,并对生产数据进行整理和研究。

(2) 物流调控方案的制定:

分析物流在状态和数量的转变、传递、衔接和匹配;研究物流在时间节奏上和温度控制上的协调、适用和匹配的新情况;提出合理的物流调控方案。

(3) 计算机辅助调度系统软件的开发:

开发计算机软件,建立方坯高拉速条件下炼钢—连铸生产过程辅助生产调度系统。

## 1.2 物流学在钢铁企业中的应用

### 1.2.1 钢铁制造流程物流管制的内容及意义

在日益激烈的国际竞争中,钢铁工业面临严峻的挑战,迫在眉睫的任务是利用有限的资金投入到企业乃至全行业结构优化的调整中来,将钢铁工业的发展推向全新领域。为此需对钢铁工业全流程进行诸多类型边界状态和约束条件下的优化选择求解,然后将其应用到实际生产中对企业结构的优化、生产力结构的调整以及全行业结构的布局和调整决策提出可行的、有效的指导性意见。

在我国殷瑞钰教授最早提出了冶金工序功能演进和钢铁厂结构优化的思想,认为钢铁冶金生产各工序的功能是多元化的,对不同工序或功能的多种组合进行优化,使各工序之间的衔接匹配最优,结果是使能耗、成本最低、产品结构最合理、企业利润最高。钢铁制造的生产流程实质上一方面是物态转变和物性控制的工程过程;另一方面则是过程物流管制的工程过程。因此,钢铁制造流程的特征是物态转变、物性控制与物流管制的优化结合(图 1.1)其物流过程特征从总体上看,是一种准连续/间隙过程。这种物流方式可归纳为长流程多维物流管制形式。钢铁企业物流管制的内容包括以下六个方面:

- (1) 物流在状态和数量上的转变、传递、衔接和匹配;
- (2) 物流在时间节奏上的协调、适应和配合:
- (3)物流过程中金属由液态转变为固态并获得一定几何尺寸的铸坯, 进而进行断面形状和尺寸的转变、传递、衔接和匹配;
  - (4) 物流在温度和能量上的转变、传递、衔接和节约;
- (5) 物流过程中钢的表面质量、宏观结构、微观结构以及性能的转变、遗传和控制;
  - (6) 物流传输方向、方式的调整、衔接和优化。

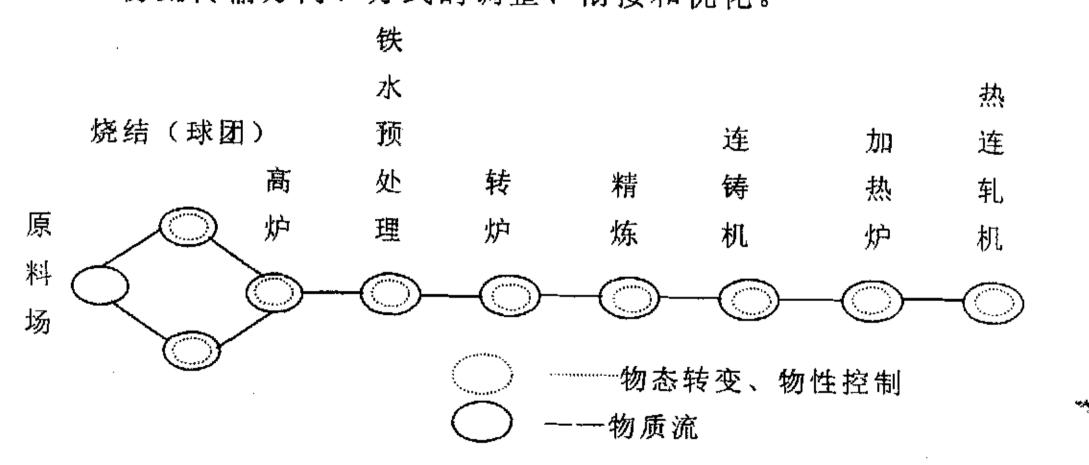
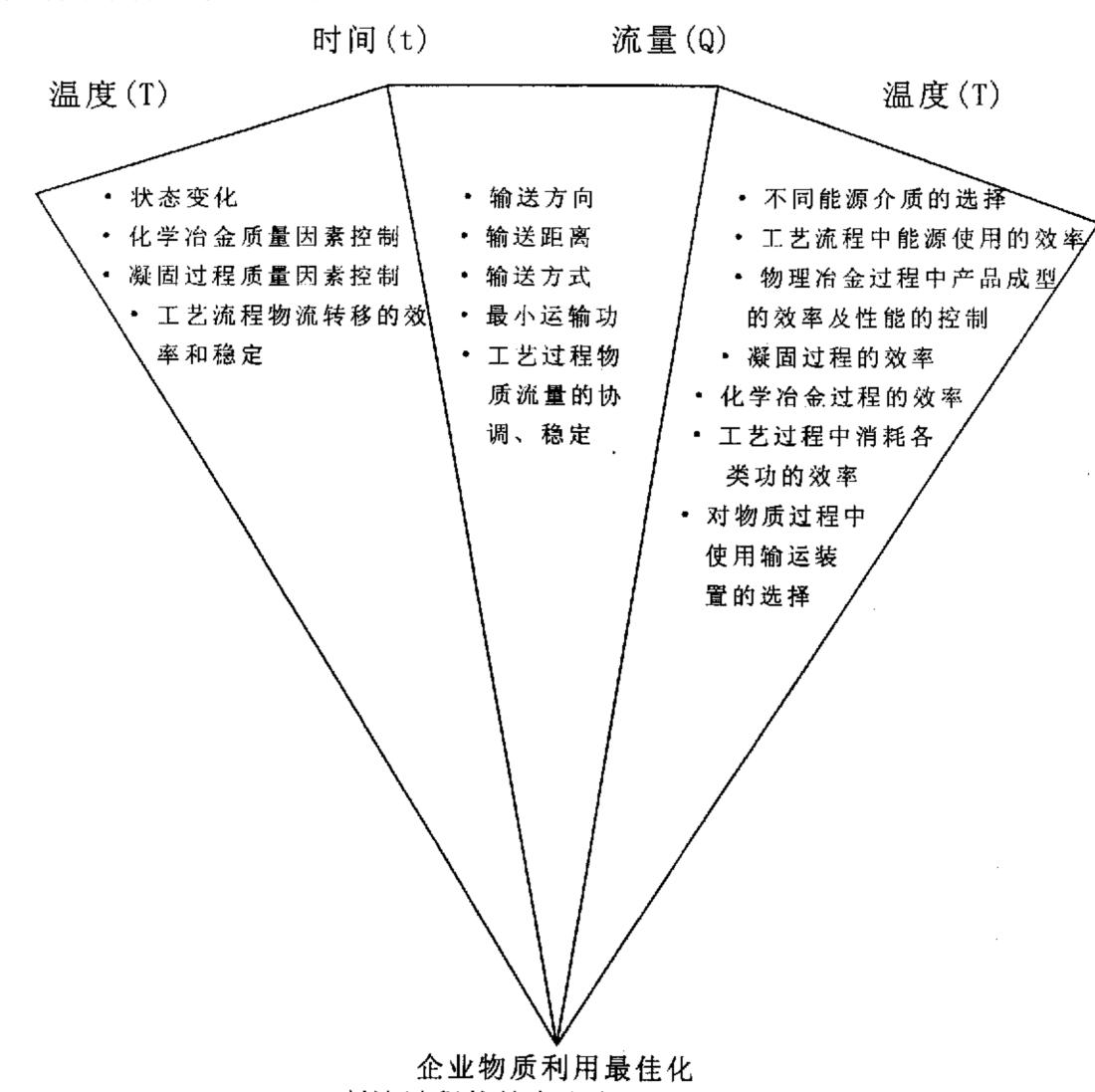


图 1.1 钢铁制造流程系统内物态、物性、物流示意图

Fig. 1.1 State, property and flow of matter sketch map of steel-making

构成物流系统的基本参数为:物质量(流量)、温度和时间。这三个参数 在钢铁冶金生产过程中是相对独立的、连续可微的。它们在物流系统中的 作用是十分重要的(图 1.2)。



- 制造过程的效率和交货期控制
- 能耗、物耗的优化,节省和成本控制
- 现金流的优化
- 信息流的分析和控制
- 投资方向、投资顺序、投资强度的优化
- 环境、生态的改善、平衡

图 1.2 钢铁生产流程过程物流基本参数的解析

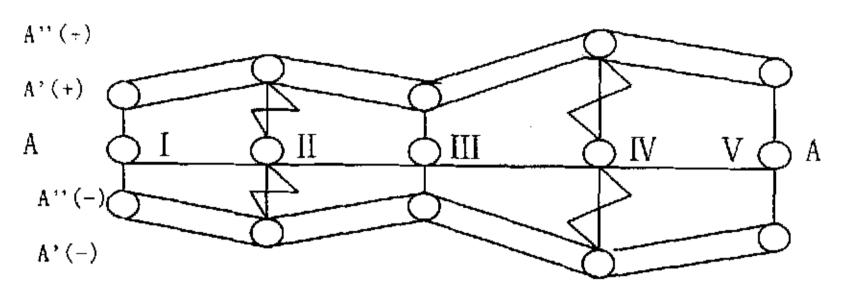
Fig. 1. 2 Basics parameter analysis of steel mass flow

派生参数往往要受到基本参数的影响(如图 1.2 示),派生参数主要为:

•产品质量、品种。包括化学冶金因素(成分、纯净度、铸坯内部质量等)和物理冶金因素(形状尺寸、铸坯表面质量、组织形态、机械性能等);

- 状态变化。包括氧化一还原、固一液一固相变化等;
- 物质传输。包括输送方式、方向、距离最小传输功等。

对钢铁生产工艺流程进行抽象描述,此多维过程物流管制系统表面出由"刚性单元"一"柔性单元"的组元组合。系统的运行方式是带有"准连续/间歇"性质的"弹性链/半弹性链"谐振(图 1.3)。而对钢铁企业物流系统各参数之间的联系、相互作用、匹配、传递等规律进行研究,掌握诸参数的调控并对其优化,使系统始终处在这种稳定谐振范围内,从而实现钢铁企业物流管制的是终目标。



A-A: 标准状态

A'(+)- A'(-):正常柔性调控范围

A"(+)- A"(-):极限柔性调控范围

I: 转炉 II: 精炼设备 III: 连铸机 IV: 加热炉及附属存储库 V: 热轧机

图 1.3 钢铁企业物流系统的"弹性链/半弹性链"谐振(21)

Fig. 1.3 Flexibility chain and half flexibility chain resonance

钢铁企业物流管制工作是企业进行全面生产管理的一个重要组成部分,只有在此基本上才能实现整个钢铁企业的生产自动化、计算机化,企业管理智能化,信息集成化。进而为今后在钢铁企业建立起现代化的计算机集成制造系统(CIMS)(图 1.4 图)奠定坚实的基础。

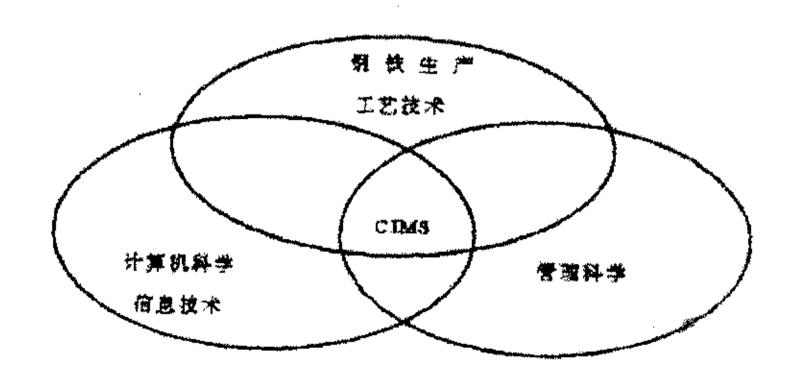


图 1.4 钢铁企业 CIMS 构成

Fig. 1.4 Form of steel corporation CIMS

### 1.2.2 钢铁企业物流管制的现状

钢铁生产过程是个庞大、复杂的系统工程,其物流管制工作的开展应该有一个侧重点。从物流基本参数的调控出发并简化复杂的派生多因素影响,找出实现最符合实际过程的整体调控的关健所在,这是当今开展物流管理工作的必由之路。

物流的基本参数为流量、温度、时间。一般情况下,钢铁厂的物质流量是基本稳定并自始至终匹配协调的,当流量基本稳定时物流调控中最重要的就是温度和时间节奏了。比较两因素对钢铁生产的影响,可以认为时间节奏的调控是其关健所在。原因在于:

- 1) 时间节奏的合理调控是在生产过程中合理安排作用时间、保证均衡、充分利用工时和设备、缩短生产周期、取得最佳经济效益;
  - 2) 时间节奏上的紊乱会导致企业运转的异常;
- 3) 物质流和能量流是并行的,物质传递的同时,要与周围环境进行能量交换。冶金生产是高温生产过程,对钢水的温度条件要求较高,温降与时间匹配不合理会导致温度损失和能量损失,甚至会使生产过程中断。

炼钢生产中物流管制的核心是时间节奏调控。其具体表现形式就是炼钢厂生产调度。世界上钢铁企业开展物流研究工作大多是从此出发的。

德国曼内斯曼钢铁公司的胡金根厂为了合理调度生产,减少人为因素的影响,在协调各生产操作环节的基础上,成功地开发出计算机生产调度管理系统,该系统能自动采集生产过程的重要数据,采用模糊优化理论对各工序的时间、生产路径进行优化计算,建立了较为实用的计算机调度模型。它既考虑已炼过的钢水,也考虑正在生产和计划生产的钢水。在综合分析已经完成任务的基础上,按后推法安排生产时间计划。计划编制过程中,以同样的时间轴和固定的开浇时间为基础,根据钢包最小等待时间。根据记则,计算出转炉冶炼时间、钢水传输时间、精炼时间、等待时间。根据记实现场信号采集系统提供的各种数据可以调整时间节奏,使其尽可能接近实际情况,各生产工序尽可能按计划组织生产,出现偏差后,后部工序的数据。当然,由于现场情况的复杂性,这个系统并不能完全取代人的调度,但它在很大程度上起到了辅助调度的作用。

日本年竹腰笃等人选择专家系统方法建立了生产调度模型,并在京浜制铁进行了此调度系统的实际运转。它主要考虑了连铸机连浇、钢水等待

时间最短、确保产量和合理的生产路径四个方面的经束条件以及设备制约因素,每天制定出大约 50 炉的生产计划。它的应用使计划编制时间由原来的 3 小时减少为 30 分钟,生产中钢水等待时间由原来的 15 分钟减少为 8 分钟。神户钢铁厂通过长达 8 年的探索,也应用了计算机生产调度系统,同样取得了缩短冶炼时间,提高生产水平,降低能源、原材料消耗的良好效果,并且节省人力 16%。专家系统模型较好地适应了多生产路径的生产调度任务,由于知识的收集和处理在不同冶金企业间存在很大差距,使其应用有了局限,尚不能推广。

奥地利 VAI(奥钢联)公司经过多年的探索与实践,已形成了钢铁制造流程生产与控制系统技术, VAI 的生产计划与控制 PPC(Production Planning & Control)技术覆盖了从原料到高炉、转炉/电炉到冷轧及薄带轧制等全部冶金工业流程。

美国、韩国、澳大利亚、加拿大等国也进行了大量研究,最具代表性的是 J. Paul 等人开发的分布式生产过程计划系统,采用行为模型描述离散、准连续和连续的动态过程,用数学优化方法和实时问题处理实现往复式调度和控制,给出了时间约束下的最低成本的可修改计划,用以在线监控和调度炼钢一连铸生产,结构如图 1.5 所示。该系统的最大特点是模型在线应用和过程监控与调度系统的集成,即首先根据连铸机的时间约束和工艺需求,针对钢种进行区域级调度,然后采用临时启发式计算过程与资源优化技术结合的方法将区域级调度转化为单元级的操作计划。同时,还可以通过系统附带的预测行为模型进行计划的修正,形成操作计划制订一优化一改进的良性循环。

国外的一些钢铁企业已在炼钢厂时间调控方面的研究中取得了一定的成绩,现在已把炼钢厂物流调控作为钢铁企业 CIMS 中的核心部分来进一步加以研究,以在此基础上最终建成 CIMS 系统。

我国相对来说炼钢过程时间调控的研究起步较晚,随着生产和技术水平的不断提高,从系统和整体的角度来处理钢厂的结构优化问题愈来愈重要。九十年代初期,国内一些专家学者也开始了这方面的研究。研究工作首先从分析全连铸生产的时间调控入手。北京科技大学选择了上钢三厂为研究对象,首先对工序间的物流各参数进行跟踪实测,并对这些实际生产数据进行统计、归纳,运用网络学、概率统计等知识对各工序的生产能力和工序之间的衔接进行了核定,找出相应生产规模下全连铸生产的最佳模

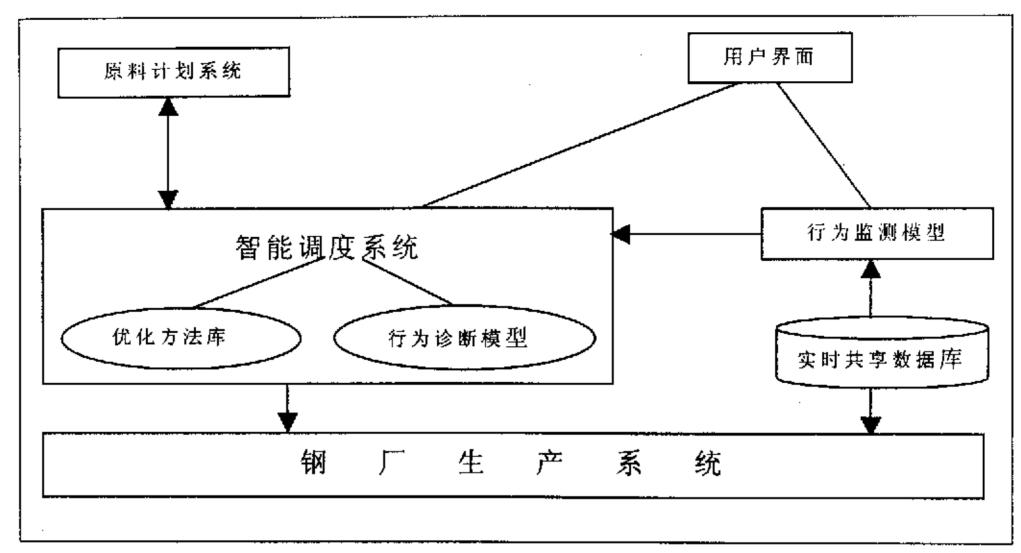


图 1.5 钢厂生产系统的优化调度框架

Fig. 1. 5 Optimize scheme frame of steel-making system

式和制约生产能力的"瓶颈",然后应用运筹学和系统仿真等理论对生产过程物流特点加以分析,抽象地描述出生产调度实况,建立了仿真模型。在此基础上,与冶金部自动化院合作,历时两年时间在实验室建成了全连铸生产的计算机调度模拟系统(图 1.6),此模型的基本思想是:在转炉一连铸机组成的全连铸生产系统中,按排队论观点,将等待浇铸的钢水看成顾客,连铸机看作服务员,二者组成排队系统。分析等待时间 H、服务时间  $\tau$ 、忙期 Q。闲期 I,队长 L 等主要的数量指标,根据工艺的要求与限制,确定该排队系统为定长输入方式,若转炉的出钢周期为  $T_k$ ,同时吹炼转炉座数为 m,则出钢间隔为:

$$\tau_{x} = T_{k} / m \tag{1.1}$$

进入连铸机的钢水采用混合制排队,遵循先到先服务原则,若转炉钢水到 达连铸机时,若正值闲期则马上开浇,等待时间 H=0,在时间τ后,空包 调离:若正值忙期,必须 H>0 时间,钢水自然温降,在流程中存在相应的 最等待时间 MaxH,实际等待时间 H 应小于 MaxH;钢水的浇铸时间也有限 制,不能大于钢水温度所允许的最大浇铸时间和铸机最小拉速决定的最长 浇铸时间。又因多台连铸机同时浇钢,转炉的出钢间隔时间应小于或等于 连铸机连浇所要求的钢水到达时间。另外还有如下假设:

- (1) 同时吹炼多座转炉的冶炼周期均相同,且不考虑补炉;
- (2) 每炉钢水的精炼时间和中间运输时间相同。

模型选择单炉的最大等待时间和一定时间段内的总等待时间为目标函

数,以二者均达到最小为判定标准。显然,上述前提条件是十分苛刻的,并且模型本身与实际调度情况尚有一定的差距,这使此模型的应用受到限制。

另外,北京科技大学还以此为基础,针对目前国内大多数转炉炼钢厂现状(中小型转炉、精炼方式单一、多台连铸机的运转模式),建立了全连铸生产调度通用模型,并编制出相应软件,这使该系统有了较大的适应性和推广价值,能面向全国中小型转炉炼钢厂全连铸车间,为普及这项科研成果作出了准备。

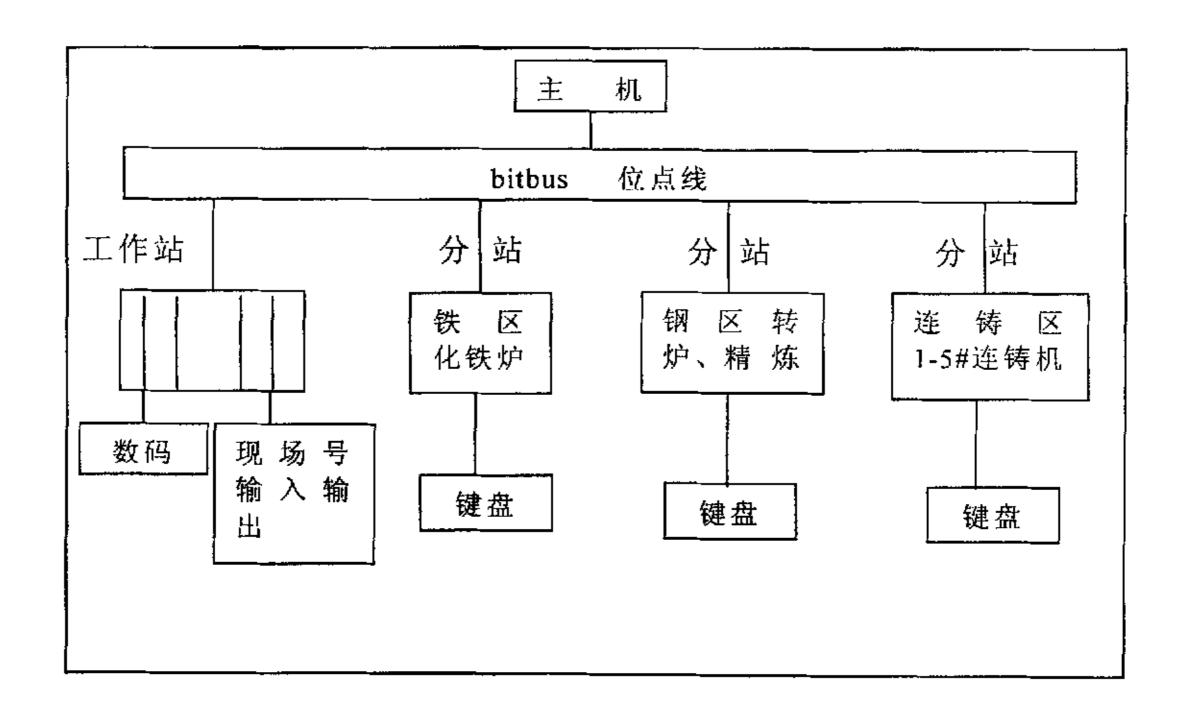


图 1.6 实验室模拟系统的计算机配置

Fig. 1.6 Computer configure of simulation system in laboratory

我国东北大学也在进行生产调度管理方面的研究,他们提出的炼钢一连铸生产调度计划系统的逻辑结构参见图 1.7, 工作流程参见图 1.8。整个系统由 5 个部分组成:数据库、知识库、模型算法库、用户界面、推理机。其调度计划的制定过程为:根据合同或日生产计划作出满足生产约束的批量组合计划,在不考虑设备冲突的前提下,按批量做出子调度计划,最后由调度人员予以评价、修正,直至得到最佳解,见图 1.9。

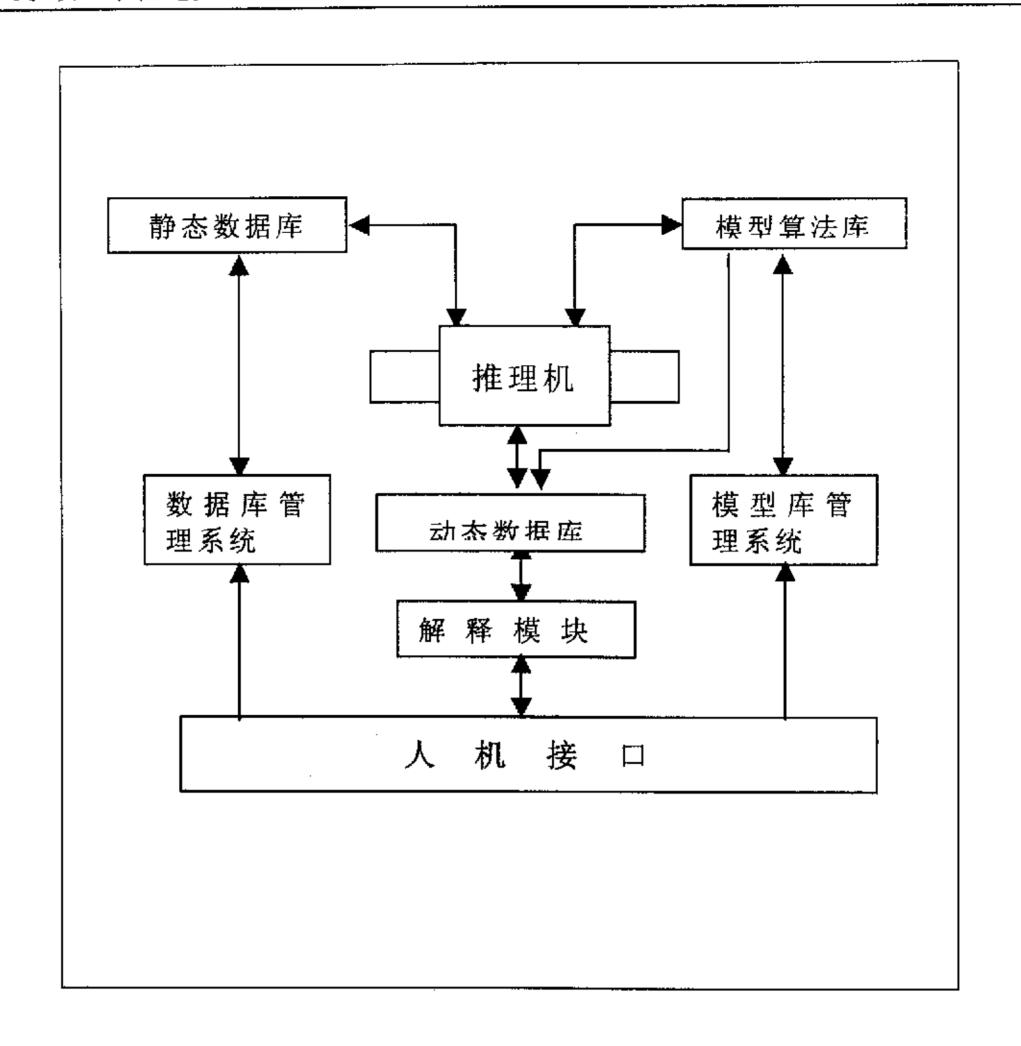


图 1.7 调度计划逻辑结构图[34]

Fig. 1.7 Logic structure diagram of scheme

不论国外还是国内,研究的关键均是要建立生产调度模型,在此基础上再运用计算机技术和各种手段形成调度系统。调度模型的建立方法主要为两种: 纯数学理论方法和基于知识处理的专家系统方法。两方法各有所长,也都有一定程度的局限性。纯数学理论方法不可能将复杂的钢铁生产过程各种因素包容在内; 专家系统方法则有知识收集与处理较难实现且无广泛代表性而不能推广应用。对炼钢厂而言,最佳建模方式应该是二者的有机结合。

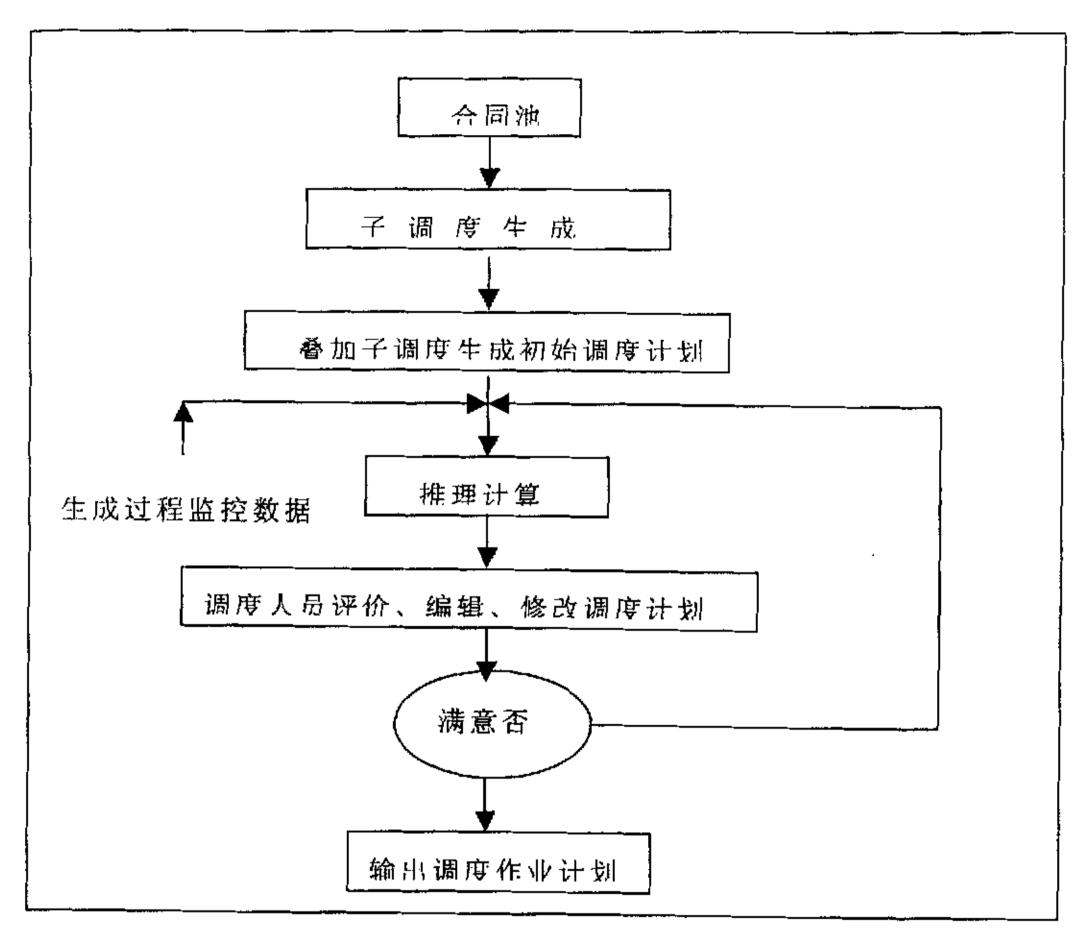


图 1.8 调度系统工作流程图[34]

Fig. 1.8 Work flow diagram of scheme system

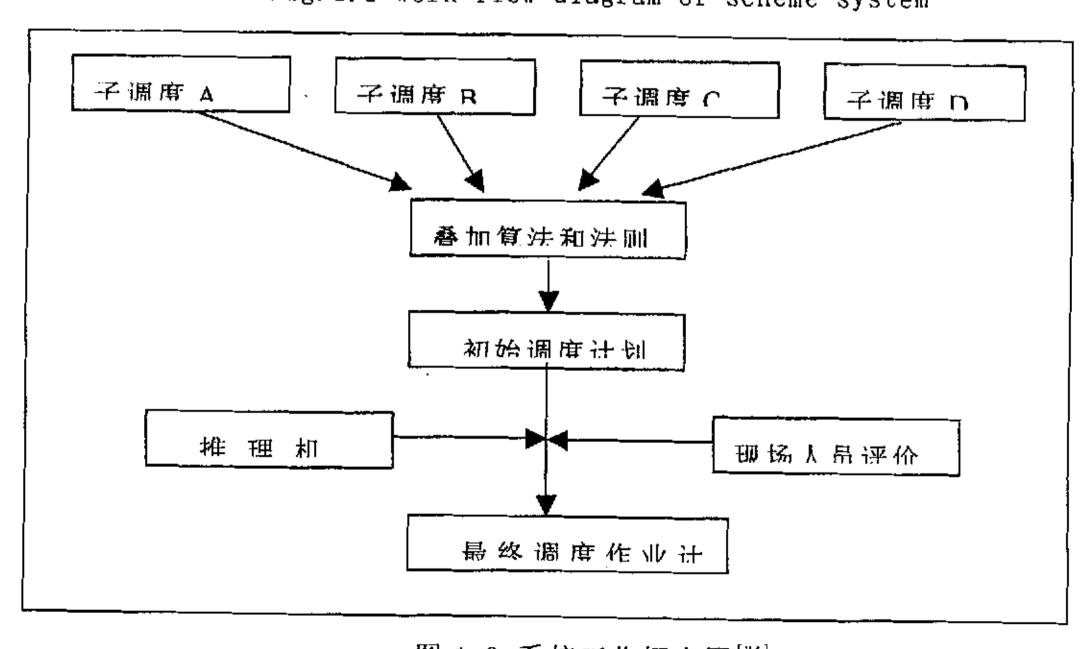


图 1.9 系统工作概念图[34]

Fig. 1.9 Conception diagram of system work

## 1.3 钢铁制造过程物流管制研究工作的相关理论

在任一工业企业中,生产过程均可以简单概括为物质的输入(原料)和物质的输出(产品),这一过程就称为物流。具体到炼钢厂而言,可视其为一个多级输入(铁水、废钢、辅料、合金等)、多级输出(铸坯、渣、废气等)的多维物流过程。现代化的钢铁企业,要求生产过程中不同工艺阶段间、不同工序间在空间分布上和时间衔接上相互协调一致,配合紧密,保证生产中物流的连续性、比例性和均衡节奏性。为此应对贯穿生产过程的物流进行调控,使企业生产物流过程的空间组织和时间序列的配合相互协调。企业物流中的一个基本特征是向准确的地点、适时地供应准确的物流量,包含了空间位置、期量标准、物流强度三个基本元素。概括的讲,就是企业生产物流过程中的空间组织和时间组织,即企业的生产调度计划。通过物流管制研究制定出科学合理的生产调度计划,指导生产,最大限度地提高生产率、降低成本、从而增加整体经济效益,是开展本课题研究的目的。图 1.10 示出了炼钢厂物流分析图。

为解决炼钢厂的多维物流调控问题,主要应用的理论是数理统计理论和运筹学知识,也涉及到计算机科学中的系统仿真理论。

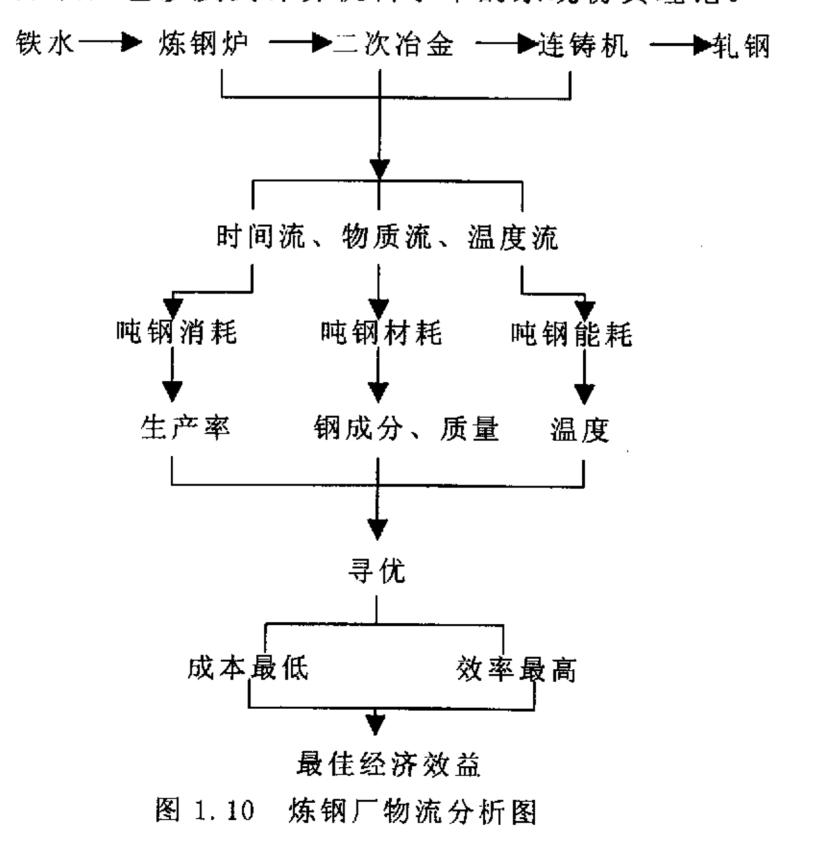


Fig. 1.10 Mass flow analysis diagram of steel plant

### 1.3.1 数理统计理论

钢铁企业生产规模庞大、流程长且复杂,生产中的各个工序操作时间往往不可能固定不变,而是各物流参数在一定范围内波动变化甚至是随机分布的。要实现对过程的控制,这些近于随机的参量变化的规律性是必须弄清楚的,对此,概率论和数理统计起到了十分重要的作用。在一定的生产条件下,生产过程中的某一个操作必然有一对应的数字时间序列,通过过去一段时间内的数据分析可以得出将来对该过程进行控制的数理模型。生产者可以利用大量的生产经验数据来组织生产,它们在一定条件下是可靠的,随着时间的推移也许就不适用了,对需用的实际数据统计分析、对经验值进行修改,均需使用数据处理和统计知识。

统计学的最基本工作是收集数据及整理和分析这些数据的特性和变化规律。统计的目的是要使人们能对观测数据的性质得到一个直观的认识。特征数(能够反映数据统计特征的数字)就能满足这一要求。特征数分为两类:一是表示数据的集中位置,主要有平均数、中位数;二是表示数据的离散程度,主要是均方差、极差、标准偏差等。与此有关的几个概念如下[41]:

①样本均值:设有  $X_1X_2$ ……, $X_n$  来自某个总体,一个样本容量为 n 的随机样本,则样本均值为:

$$\overline{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i \tag{1.2}$$

②均方差: 若以 s 表示均方差, 则:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}$$
 (1.3)

③极差: 样本中最大值与最小值之差, 若以 R 表示, 则:

$$R = X_{max} - X_{min}$$
 (1.4)

公式(1.2)(1.3)(1.4)中:

x, 一随机变量的可能值

x—随机空量可能值的均值

X<sub>max</sub> 一随机变量可能值的最大值

Xmin 一随机变量可能值的最小值

N 一统计次数

炼钢厂各物流参数的统计分析主要是通过制频表法和概率分布等方法

来实现的。

### 1.3.2 运筹学理论

"运筹学"是一门多分支的应用学科。其主要分支有:线性规划、非线性规划、动态规划、图论和网络规划、决策论、排队论、对策论、存贮论、搜索理论以及可靠性理论等。

运筹学(Operation Research)是用定量化方法为管理决策提供科学依据的一门学科。它把有关的管理系统首先归结成数学模型,然后用数学的方法进行定量分析和比较,从而求得系统最优运行方案,为管理人员和决策者提供科学决策的依据。

应用运筹学处理问题时,首先要从系统的观点来分析问题,即不仅要求能提出需要解决的问题和希望达到的目标,还要弄清问题所处的环境和约束条件,包括:时间、地点、资金、原材料、设备、人力、信息、技术等,以及要处理问题中的主要因素、各种环境和约束条件之间的逻辑关系。应用运筹学实际处理的步骤如下[7]:

- (1)提出问题:提出需要解决的问题,确定目标,并分析问题所处的环境和约束条件;
- (2)建立模型:用数学语言描述问题,建立目标函数约束方程,确定决策变量等,并选用合适的数学方法,据此建立相应的数学模型;
- (3)最优化:确定与数学模型相关的各种参数,选择求解方法,找出最优解;
- (4)解的评价:通过灵敏度分析等方法,对所求得的解进行分析和评价,并据此修正各种参数;
- (5) 决策: 最后向决策者提供决策所需的数据、信息和方案,帮助决策者决定处理问题的方针。

"排队论"是运筹学的一个重要组成部分。"排队论"又称随机服务系统理论,它是通过对各种服务系统在排队等待现象中概率特性的研究,来解决服务系统最优设计与最优控制的一门学科。它即是运筹学的一个重要分支,也是应用概率极活跃的一个分支。由于它对随机过程的发展起着不可忽视的推动作用,因此,人们将其视为随机运筹学的重要内容之一。目前,排队论已在计算机系统、计算机通讯网络系统、库存管理系统、交通运输系统、电子对抗系统、军事作事系统等方面有着重要的应用,并已成为工程技术人员、管理人员在系统分析与设计中的重要数学工具之一。

排队系统的组成[36]:

- ①到达过程:或称为输入过程,是指顾客到达的规律,可以用顾客到达间隔时间的分布来描述,也可以用一定时间的顾客到达个数概率来描述。其分布可以是均匀分布、泊松分布等。
- ②服务机构:指同一时刻有多少个服务台接纳顾客,以及顾客所要求的服务时间的分布。服务台可以是单服务台,也可以是多服务台。服务时间分布可以是定长分布,负指数分布等。
- ③排队规则:也称服务规则,指已到达顾客按什么规则来接受服务,如先到先服务或按优先权服务以及随机服务等。

在排队系统中还要考虑一个容量问题,如无限或有限缓冲器容量,还有信息源(顾客来源)容量,如无限或有限容量。通常在排队论中,只研究无限缓冲器与先到服务的排队系统,其描述符为:

$$A/B/C \tag{1.5}$$

其中: A 为顾客到达过程分布,如泊松分布(M); B 为服务时间分布,如负指数分布(M)、任意分布(G); C 是指服务台个数,如只有一个服务台用'1'表示。则 M/M/1 排队模型表示泊松到达过程、服务时间为负指数分布、单个服务员(台)服务。

在一个排队系统中,排队论分析推导了它的三种性能指示:

- ① 等待时间: 从顾客到达时起到开始为顾客服务时为止的这一段时间。
- ② 忙期:涉及到服务台的持续工作时间,表明了服务员的工作强度。
- ③ 队列长度: 指系统中的顾客数目, 直接涉及到等待空间的设计。

### 第二章

### 炼钢一连铸生产流程的物流参数分析

### 2.1 综述

### 2.1.1 三炼钢生产物流概况

三炼钢生产车间平面布置及物流向见图 2.1-2.2。其生产设备主要有: 三座转炉: 离线吹氩站三座, LF、VD 处理站各一座; 4台八机八流小方坯连铸机。生产普碳钢、中、高碳钢等钢种, 具体情况为:

#### (1) 炼钢工序:

三座公称容量为80吨氧气顶吹转炉,日产90炉左右,平均出钢量为83.733吨,冶炼周期为:普碳钢(三炼钢称法,主要包括Q235、Q195、Q215、T-Q235等钢)37分钟、品种钢(三炼钢称法,主要包括45号-75号优质碳素结构)41分钟。主要生产普碳钢,同时还生产少量品种钢(以下用"#"表示)。

#### (2) 精炼工序:

三座离线喂丝/吹氩站, 氩气压力为 0.8-1.4Mpa, 预吹氩时间为 Q235 钢>5 分钟, 其它钢种>8 分钟, 钢水在精炼站内时间为 15-18 分钟; 一座 80 吨 LF 炉, 加热速率>3 度/分, 脱硫率≥40%, 同时要求进站温度≥1550度; VD 炉一座正在调试中。

#### (3) 连铸工序:

4 台小方坯连铸机, 浇注断面为 120×120mm<sup>2</sup>、130×130mm<sup>2</sup>, 弧形半径: R11.6/6.03m 及 R10.28m, 其中, 1#连铸机为备用机(拟改造为矩形坯连铸机)。2#、3#连铸机实行高效化改造后, 平均拉速达3.3m/min, 最大为 4.2m/min, 铸机单流产量大于 10 万吨/年。

#### (4) 钢包使用情况:

公称容量为80吨,正常周转钢包个数为9-12个,备用6个。

### (5) 天车情况:

现有天车17部,分布情况见图2.2。

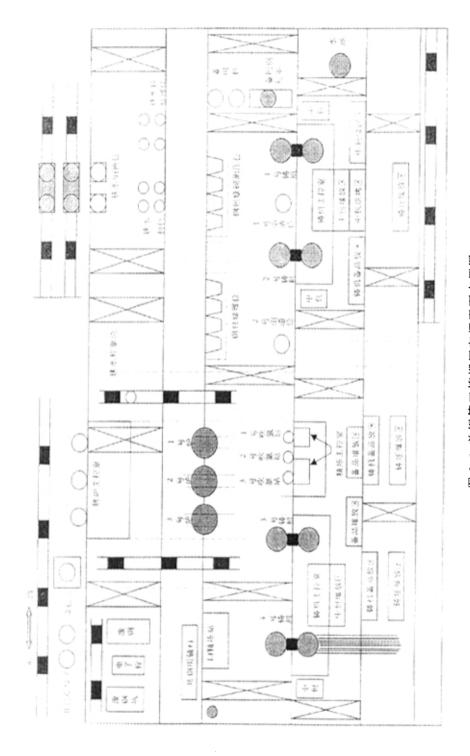


图 2.1 首钢第三炼钢厂车间平面布置图ig.2.1 Plane disposal diagram of No.3 shougang steel plant

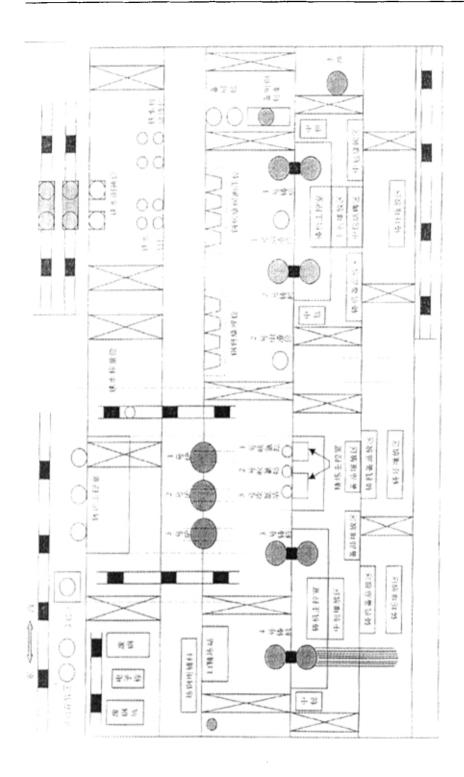


图 2.2 首纲第三练钢厂物流流向图 Fig.2.2 Mass flow of No.3 shougnag steel plant

### 2.1.2 生产模式

目前三炼钢可供选择的生产路线如下图 2.3 所示:

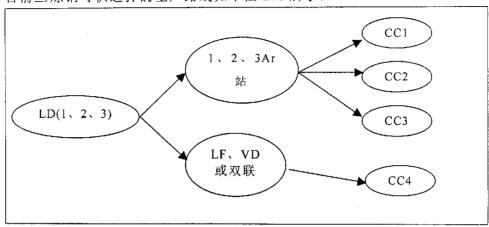


图 2.3 优化前生产模式

Fig. 2.3 Production pattern forward optimize

由图可知,当1号连铸机作为备用时,有9种生产模式可选择;而当使用1号连铸机时,有12种生产模式。这样很容易发生物流阻塞,生产节奏被打断,从而导致生产调度由有序转向无序,影响了整个生产流程的顺行。总体来说,这样的生产模式不利于生产调计划的制订和施行。

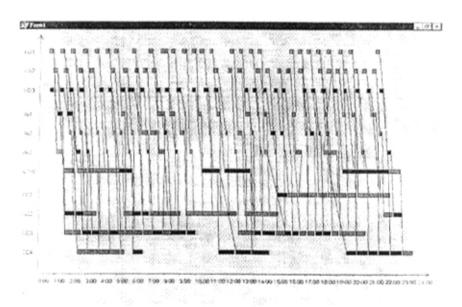


图 2.4 三炼钢生产调度甘特图

Fig. 2.4 Scheme grrant diagram of No. 3 steel plant

## 2.1.3 生产调度现状

图 2.4 是根据三炼钢 2001 年 6 月 19 日的实际生产情况绘出的生产调 度甘特图。由图可以直观地看出其生产调度现状,因采用了溅渣护炉,转 炉炉龄延长、冶炼周期缩短使生产较连续;精炼工序处理时间不稳定,波 动较大,连铸工序调度较乱,虽然浇注时间较稳定,但是等待钢水时间长, 连续性差,且钢水来源不稳定,由此可知,在实现高拉速后,炼钢和连铸 生产时间节奏匹配,工序间物流不够流畅,高效连铸的优势不能得到充分 的发挥。

如上所述,三炼钢生产模式众多,加上设备生产故障,使得生产调度 从总体上看比较混乱。主要影响因素有: 生产模式不确定(若实现单炉对 单机则可大大简化),随机性强;钢水冶炼情况不稳定(成分、温度):钢 包使用没有规范化(LF、VD用钢包没有单独分出来)以及其它生产设备使 用状况不稳定等等。这就需要从整体角度考虑,以时间及温度因素为着眼 点,对现有生产设备、生产工艺、生模式进行分析,找出主要限制环节, 应用钢铁制造流程多维物流管制理论对生产模式、生产工艺进行优化,在 充分利用各设备生产能力的基础上,实现工序间生产节奏连续化,物流衔 接、匹配合理化,从而理顺物流,使三炼钢真正实现高效化生产。

## 2.1.4 主要生产技术指标

首钢三炼钢厂 2001 年 6 月份的主要生产技术指标入下表 2.1 所示:

Table 2.	1 Mostly	product	ion technol	logy targ	et
钢铁料	铁水	转炉	综合工序	白灰	4

项目	方坯合 格率 (%)	钢铁料 消耗 (kg/t)	铁水 消耗 (kg/t)	转炉 炉龄 (炉)	综合工序 能耗 (标煤)	白灰 消耗 (kg/t)	钢包 包龄 (次)	方坯连 铸钢水 收得率 (%)
数 值	99. 39	1093. 4	1005. 9	10753	26. 65	69. 19	75	98. 19

表 2.1 主要生产技术指标

## 2.2物流能数分析

## 2.2.1 时间与温度、物质量的关系

钢铁制造流程中,包括高炉、炼钢炉、精炼设施、连铸机、轧钢机的 多个主要工序,实际生产中是通过时间、温度、物质量三大因素将上述各 个工序紧密结合。

作为钢铁厂多维物流控制系统的三个基本独立参数,它们以同一形式、

同一单位贯穿于钢铁制造流程始末,直接关联到产量、生产效率、制造成本等重要生产经营指标。时间是表象,温度、物质量是内涵。时间的变化不可避免地影响到温度、物质量的变化。通过解析时间参数可以分析系统运行中出现的问题、系统运行节奏和规律。研究时间、温度参数,实际是寻找温度、物质量的变化规律,为将来设计最优的工艺制度建立合理的调度模型、优化系统运行提供合理的决策方案(决策指标)。

### 2.2.2 时间因素解析

时间是钢铁制造流程系统中的一个重要工艺参数,在钢铁制造流程中的具体表现形式为时间点、时间域、时间位、时间序等等。对炼钢厂而言,它包括了各工序作业开始、结束、时间长短、时间节奏等等。必须对生产过程中的时间因素进行解析,掌握各工序操作时间范围等参数,为进一步改进生产模式、优化生产工艺提供可靠依据。

### 2.2.2.1 转炉炼钢工序时间因素解析

现场实际数据测试的炼钢工序的时间因素统计结果如表 2.2 所示。

表 2.2 炼钢工序的时间因素解析表

Table 2.2 Time complication analysis of steel-making process

序号	事件		转炉	样本数	是七传(c)	具	亚物体(6)
	<b>41</b> 17	UC 93	_		最大值(S)	最小值(S)	平均值(S)
1.			1	105	98	10	30. 1
2.	加废钥	对时间	2	119	43	10	23.8
3.			3	117	63	8	24. 1
4.			1	91	214	22	80.8
5.	加废钢到的	兑铁水间隔	2	104	194	22	81. 2
6.			3	106	321	10	88. 5
7.			11	119	139	19	67. 5
8.	兑铁水时间		2	128	122	30	69. 5
9.				125	128	21	69
10.			1	114	941	99	612.9
11.	吹氧	时间	2	114	1049	30	583.7
12.			3	120	1273	139	722. 7
	[		1	417	480	175	296. 9
		Q235	2	387	473	122	268. 9
13.	出钢时间		3	467	480	160	273.7
10.	TT 1 15/2 H.1 (H.1	ļ	1	70	422	183	274. 1
		品种钢	2	109	476	150	294. 6
			3	72	467	158	273. 2

			1	236	3000	1480	2230.8
;		Q235	2	204	3000	1500	2175.7
	. A. Let. 177 Her.	3	257	3180	1560	2263.3	
14.	冶炼周期		1	48	3000	1920	2480.8
	品种钢	2	41	2940	1860	2446.3	
			3	37	3180	2040	2491.4

分析:转炉工序中温度与成分的命中率是衡量操作水平的重要依据,参照吹氧时间即可反映。由上表可见,实际平均吹氧时间 1#转炉为 10.22 分,2#转炉为 9.73 分,3#转炉为 12.05 分,吹氧时间较合理(对于 80 吨转炉,要求吹氧时间为 14 分钟左右)。由统计分析知,三座转炉冶炼周期均较长是由补吹时间过长引起:1#转炉为 9 分,2#转炉为 9.5 分,3#转炉为 9.2 分(后吹率分别为 20.8%、22.7%、23.1%——2001 年 6 月统计值);另外,吹氧完毕到出钢时间间隔也比较长,影响了转炉冶炼周期。

## 2.2.2.2 精炼工序时间因素解析

精炼工序的时间因素统计结果如表 2.3-2.4 所示。

表 2.3 精炼工序时间因素解析表

Table 2.3 Time complication analysis of purity process

	rable 2.5 Time complication analysis of pullty process							
序	事件说明	精炼站	   样本数	最大值	最小值	平均值(S)		
号	<b>サイド 00. ツ</b> 3	119 MA 241	1十 4 致	(S)	(S)	一一四祖 (S)		
		1	197	130	19	59.7		
1.	钢水等待处理时间	2	215	140	20	58.3		
		3	156	240	20	63.4		
		1	157	2160	300	648		
2.	总吹氩处理时间	2	123	1440	240	534		
		3	124	2280	240	564		
		. 1	199	2810	230	1019.8		
3.	钢水在精炼站停留时间	2	137	3240	420	1011		
		3	162	2387	340	982.7		

表 2.4 精炼工序(LF炉)时间因素解析表(40#-50#)

Table 2.4 Time complication analysis of purity process (LF)

序号	事件说明	样本数	最大值 (S)	最小值 (S)	平均值(S)
1.	钢水等待加热时间	174	1440	80	435. 4
2.	第一次通电加热时间	171	780	200	542.4
3.	第二次通电加热时间	175	480	60	247. 2
4.	第三次通电加热时间	167	600	60	204. 3

5.	第四次通电加热时间	114	680	20	185.3
6.	处理完毕到离开间隔	19	760	120	483. 2
7.	通电加热总时间	142	1860	660	1183.1
8.	钢水在站内停留时间	170	5000	220	2561.8

分析 1: 吹氩站内吹氩时间分别为: 1#: 10.8 分 2#: 8.9 分 3#: 9.4 分;

站内停留时间分别为: 1#: 17分 2#: 16.9分 3#: 16.4分; 根据三炼钢精炼技术规程,要求钢水在站内时间应为 15-18 分钟,连浇钢 水总吹氩时间大于 5 分钟,实测结果表明基本达到要求: 另外,备有三座 吹氩站,外加 LF 处理站,转炉出钢后可选择的余地较大,精炼工序的柔 性调节作用得到了充分发挥。

分析 2: LF 处理时间为: 40#~55#: 23.1 分 60#-80#: 19.7 分 站内停留时间分别为: 40#-55#: 44.6 分 60#-80#: 42.7 分 可见,钢水在站内无效等待时间所占比例较大,分别为 48%和 54%;由表可知,钢水等待处理和等待离开时间较长,缩短无效等待时间,加快钢包周转是应采取措施。

### 2.2.2.3 连铸工序时间因素解析

连铸工序的时间因素统计结果如表 2.5 所示。

## 表 2.5 连铸工序时间因素解析表

序 铸机 最大值 最小值 事件说明 样本数 平均值(S) 号 号 (S) (S) 44 890 5 1 294.2 2 114 650 214.2 1. 钢包到台等待时间 3 146 535 2 168. 2 4 81 522 6 119.2 177 4280 1140 2165.5 2 2461 113 1206 1849.9 2. 大包浇注时间 3 412 2640 600 1694.6 195 3960 4 540 2247. 2 41 4775 1812 2916.2 钢包在连铸平台停留 2 109 3849 1741 2540.9 3. 时间 3 135 4297 1775 2481.1 4 75 4636 1778 3126.3

Table 2.5 Time complication analysis of casting process

分析:由上可知,连铸机浇注时间分别为:

1#一35.8分 2#一30.7分 3#一28.6分 4#一38.5分。因 2、3号连铸机是高拉速连铸机,故浇注周期短,但 2号机浇注周期波动较大,是由于钢包到台等待时间较长,波动大,温降增加,使得转炉出钢温度提高,钢水到台温度波动大,拉速相应降低,延长了浇注时间。1#连铸机是备用机,只有当 2、3 或 4号连铸机出现故障时才使用,而且拉速低,故浇注周期长,当生产调度水平提高后,实现定炉对定机,需对 1号机加以改造,生产其它钢种。另外,各台连铸机大包浇毕到离台这段无效等待时间较长(7分钟左右),影响钢包正常周转,应合理调度,尽量缩短钢包周转时间。

## 2.2.4 空包传搁过程(热修包工序)时间因素解析

空包传搁过程是指钢包在连铸机上浇注完毕后,送至修包站处理,随后到达炉后出钢的过程。该过程实测数据统计结果如表 2.6 所示。

表 2.6 空包传搁过程时间因素解析表

Table 2.6 Time complication analysis of empty fold transfer process

序 号	事件说明	样本数	最大值(S)	最小值 (S)	平均值(S)
1.	挂副钩到倒渣开始间隔	378	428	9	69. 5
2.	倒渣时间	376	75	12	30. 6
3.	倒渣毕到处理位	372	1232	30	79
4.	处理时间(换水口)	150	1539	455	1206.2
7.	处理时间(不换水口)	229	1705	57	449
5.	处理完毕到天车挂钩间隔	364	3670	0	705. 9
6.	天车挂钩到倒引流沙间隔	383	274	19	108.3
7.	倒引流沙到天车离开间隔	397	108	4	18. 8
	钢包离开到 1#转炉座包时间	106	478	63	150
8.	钢包离开到 2#转炉座包时间	114	484	40	177. 3
<u> </u>	钢包离开到 3#转炉座包时间	109	479	86	191.6

分析:钢水浇毕离开连铸平台到达修包站再返至转炉系空包传搁过程,三炼钢规定这一时间不能超过 70 分钟,实测数据表明出现超时情况很少:钢包在热修包工位主要是更换底吹砖和滑板,目前滑板的二次使用率接近50%,底吹率接近 40%,操作较规范;出现的问题有:LF 精炼用包的处理、准备较混乱,没有专用包,使得实际生产中只能与其它包混用,结果往往影响 LF 精炼效果。在钢包周转过程中,空包周转所占比重不小,空包状况(特别是温度)影响到转炉出钢,乃至后续工序如精炼、连铸等,应掌握钢包运行规律,稳定钢水温降,建立合理的钢包周转物理模型。

## 2.2.2.5 各工序运输时间因素解析

工序间运输时间主要包括炼钢工序与精炼工序、精炼工序与连铸工序、 连铸工序与钢包热修工序之间钢水、钢包的运输,这些过程均由天车来完成,其实测数据统计分析如表 2.7 所示。

表 2.7 各工序运输时间因素解析表

Table 2.7 Time complication analysis of traffic process

	Table 2.7 Time complicati	lon ana.		raille plo	1
序	事件说明	样本	最大值	最小值	   平均值(S)
号	-b 11 or 31	数	(S)	(S)	( <b>№</b> (0)
1.	1#转炉到 1#精炼站运输时间	74	536	80	212.4
2.	2#转炉到 1#精炼站运输时间	35	480	80	214.3
3.	3#转炉到 1#精炼站运输时间	45	360	60	217.6
4.	1#转炉到 2#精炼站运输时间	54	470	60	191. 1
5.	2#转炉到 2#精炼站运输时间	57	461	80	221.2
6.	3#转炉到 2#精炼站运输时间	53	420	60	240.5
7.	1#转炉到 3#精炼站运输时间	28	681	91	245.8
8.	2#转炉到 3#精炼站运输时间	44	519	60	215. 9
9.	3#转炉到 3#精炼站运输时间	<b>4</b> 9	420	91	196. 2
10.	1#转炉到 LF 精炼站运输时间	62	600	100	387. 7
11.	2#转炉到 LF 精炼站运输时间	96	600	140	346.7
12.	3#转炉到 LF 精炼站运输时间	63	560	200	347.3
13.	1#精炼站到 1#铸机运输时间	14	455	121	192. 7
14.	2#精炼站到 1#铸机运输时间	9	600	72	242
15.	3#精炼站到 1#铸机运输时间	12	370	91	217. 2
16.	1#精炼站到 2#铸机运输时间	51	490	65	187
17.	2#精炼站到 2#铸机运输时间	46	450	95	188.8
18.	3#精炼站到 2#铸机运输时间	28	577	74	204. 3
19.	1#精炼站到 3#铸机运输时间	32	387	100	184. 3
20.	2#精炼站到 3#铸机运输时间	68	480	61	197.1
21.	3#精炼站到 3#铸机运输时间	54	540	60	213.8
22.	LF 精炼站到 4#铸机运输时间	105	660	60	266.6
23.	1#铸机到修包站运输时间	35	872	98	380.8
24.	2#铸机到修包站运输时间	81	496	206	315.2
25.	3#铸机到修包站运输时间	98	721	104	380. 7
26.	4#铸机到修包站运输时间	61	877	140	420.3

### 2.2.3 温度因素解析

温度是钢铁制造流程多维物管制的另一重要工艺参数,对温度因素进行分析是为建立合理的温度制度,确保高效连铸下物流的顺行。本文根据实测数据,对炼钢工序、精炼工序、连铸工序的温度因素分别进行了解析(铁水温度暂定为 1335℃—三炼钢统计值)。

#### 2.2.3.1 转炉出钢温度

转炉出钢温度主要有两个钢种: Q235 和品种钢, 其统计结果如 2.8 所示:

	`able 2.8	Temperat	ure date s	statistics	of conve	rter tappi	ing
钢种	转炉号	样本数 (℃)	最大值 (℃)	最小值 (℃)	平均值 (℃)	标准差	波动系数 (%)
	1	87	1749	1581	1674.2	31. 7	1.90
Q235	2	78	1741	1566	1664.9	37. 7	2.30
	3	92	1737	1602	1683.0	26.3	1.60
	1	6	1627	1611	1617.8		
40#-80#	2	25	1673	1566	1624.9		
	3	12	1601	1645	1623. 9		

表 2.8 转炉出钢温度数据统计表

分析:由上表可知,三座转炉出钢温度(Q235)波动不大,但最高温度均达 1740 度左右,1700 度以上所占比例达到 20%,1600-1700 度占 68%(三炼钢统计 2001 年 6 月高温钢比例约 13%)。高温出钢的主要原因有:钢包温降不稳定,转炉炼钢过程温度控制不好,出钢时间长。品种钢所测样本数较小,除 2 号转炉外,均不足 20 炉,整体来看,品种钢出钢温度基本满足操作工艺要求(1605  $\mathbb{C}$  -1650  $\mathbb{C}$ )。

#### 2.2.3.2 精炼站温度

精炼工序测温温度包括吹氩站和 LF 炉处理前后钢水温度,实测数据统计结果如表 2.9 所示:

Table 2.9	Temperature	date	sta	tist	ics	of	purity	process
	*:电	1/2	HL	和田	盐			

表 2.9 精炼工序温度数据统计表

精 炼 处 理 前									
钢种	精炼站 号	样本数 (℃)	最大值 (℃)	最小值 (°C)	平均值 (℃)	标准差	波动系数 (%)		
	1	201	1687	1562	1626.8	19	1. 20		
Q235	2	228	1685	1576	1630. 2	20.6	1.30		
	3	164	1693	1579	1631.2	21.2	1.30		
40#-55#	LF	92	1588	1512	1552.4	18. 1	1.20		
60#-80#	LF	183	1604	1502	1541	20.1	1.30		
			精炼	处 理 后	=				
钢种	精炼站 号	样本数 (℃)	最大值 (℃)	最小值 (℃)	平均值 (℃)	标准差	波动系数 (%)		
	1	199	1613	1568	1583.9	8.8	0.60		
Q235	2	224	1618	1529	1585. 7	12.3	0.80		
	3	161	1615	1557	1585	11.9	080		
40#-55#	LF	89	1588	1543	1561	9. 9	0.60		
60#-80#	ГГ	172	1582	1537	1549	8.6	0.60		

分析:三炼钢规定,钢水到站温度范围为 1625 ℃ -1645 ℃ (Q235),>1550 ℃ (品种钢),处理完毕温度为: 1655 ℃ -1675 ℃ (Q235)。由结果知,Q235 基本达到要求,而品种钢则较差: 40 #-55 #小于 1550 ℃的占 24 %,60 #-80 #小于 1550 ℃占 50 %;其原因有,LF 用钢包状况不好,不能红包出钢,天车调度繁忙,等待时间长,钢水温降大:

#### 2.2.3.3 到达连铸平台温度

大包到达连铸机平台的温度,因条件不具备,仅在 4 号连铸机进行了测量,只对它进行分析,实测数据统计结果如表 2.10 所示

表 2.10 4 号连铸机钢水到站温度统计表

Table 2.10 Temperature date statistics of casting molten steel station

铸机号	样本数	最大值 (℃)	最小值 (℃)	平均值 (℃)	标准差	波动系数
4	202	1610	1487	1545.5	21	1.40

分析: 4 号连铸机浇注品种钢,对钢水有着严格的要求,其拒浇温度为 1550  $\mathbb{C}$ ,目标温度为 1555  $\mathbb{C}$ -1565  $\mathbb{C}$ 。由统计结果可知,钢水到站温度在这一范围内占 27.2%,大于 1580 度的占 5.5%,小于 1550  $\mathbb{C}$  占 58.5%,温度集中分布在 1519  $\mathbb{C}$ -1567  $\mathbb{C}$ 。钢水到台温度偏低,表明 LF 精炼站的温度调节作用没有充分发挥,这将影响到连铸机的生产。

#### 2.2.3.4 中间包钢水温度

中间包钢水三次测温温度统计结果如表 2.11 所示:

#### 表 2.11 中间包三次测温温度的数据统计表

Table 2.11 Temperature date statistics of middle fold thrice measure

铸机 号	测温位置	样本数	最大值 (℃)	最小值 (℃)	平均值 (℃)	标准差	波动系 数 (%)
		180	1561	1532	1546. 9	5. 1	0.30
	1-4 流	180	1568	1532	1552. 6	6.7	0.40
1		181	1561	1527	1547.5	6.6	0.40
1		181	1562	1535	1547. 4	5.3	0.30
	5-8 流	180	1576	1521	1553. 1	7.4	0.50
		177	1566	1528	1548	7	0.50
		373	1560	1530	1544. 5	4. 7	0.30
	1-4 流	383	1566	1532	1549. 3	5.9	0.40
2		379	1563	1525	1543. 6	5. 7	0.40
	5-8 流	386	1562	1528	1544. 8	4. 9	0.30
		383	1566	1530	1549. 4	6. 1	0.40
		382	1561	1523	1543. 7	6	0.40
	1-4 流	457	1565	1520	1544	6	0.40
		456	1571	1528	1549. 3	7. 4	0.50
3		446	1567	1523	1544. 1	6. 5	0.40
3	5-8 流	455	1566	1522	1544. 8	6. 4	0.40
		456	1572	1517	1549. 6	7.7	0.50
		442	1567	1526	1544. 9	6. 7	0.40
	1-4 流	196	1557	1492	1520. 3	12. 3	0.80
		192	1558	1499	1520. 8	106	0.70
4		192	1555	1490	1518. 4	11.8	0.80
T		203	1555	1494	1517. 2	12.5	0.80
	5-8 流	199	1550	1495	1518. 9	10.8	0.70
		195	1560	1489	1516. 3	12.5	0.80

### 2.2.3.5 炼钢——连铸生产流程温度变化

由上述数据,可分别得到转炉出钢至中间包区间钢水温度变化曲线(以1号转炉为例)如图 2.5-2.6 所示。

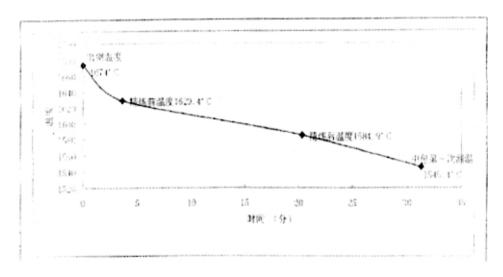


图 2.5 钢水温度变化曲线图 (Q235)

Fig. 2.5 Temperature change curve diagram of molten steel (Q235)

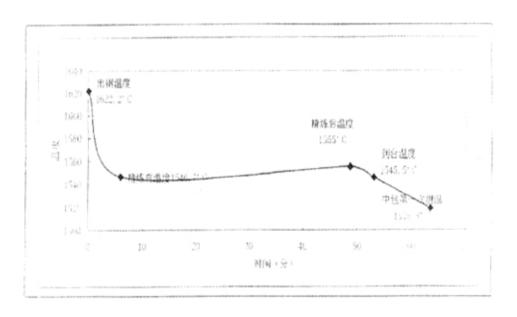


图 2.6 钢水温度变化曲线图 (品种钢)

Fig. 2.6 Temperature change curve diagram of molten steel (breed steel)

### 2.2.3.6 炼钢——连铸生产流程时间、温度因素解析总图

由前文统计数据汇总得到由铁水温度到连铸中间包第一次测温温度数据如下表 2.12 所示:

表 2.12 炼钢过程钢水温度(℃)变化表

Table 2.12 Molten steel temperature change of steel-making process

温度	铁水温度	出钢温度	出钢温度 精炼前 温度		到达连 铸平台 温度	中包第一次 测温温度	
Q235	1335.0	1674.0	1629. 4	1584.9		1545.4	
品种钢	1335.0	1622.2	1546. 7	1555.0	1545.5	1518.8	

综合考虑时间、温度两因素,可得到三炼钢厂炼钢—连铸整个过程的时间、温度解析总图,如图 2.7-2.8 所示:

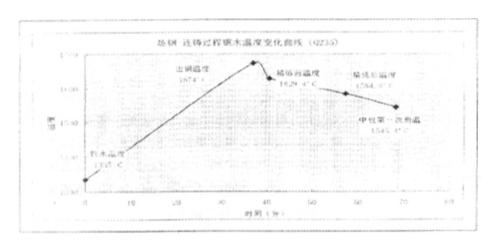


图 2.7 炼钢——连铸过程钢水温度变化曲线 (钢种: Q235)

Fig. 2.7 Molten steel temperature change curve of steel-casting process

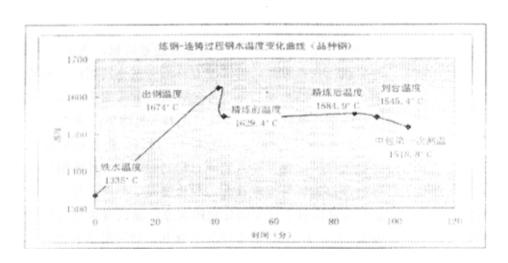


图 2.8 炼钢——连铸过程钢水温度变化曲线 (钢种: 品种钢)

Fig. 2.7 Molten steel temperature change curve of steel-casting process

## 2.3 结论

通过对三炼钢实测生产流程参数的统计分析,可得到以下结论:

- (1)转炉炼钢厂的起始工序,为后面精炼、连铸等工序提供钢水; 其生产节奏制约着后续工序设备的使用效率,直接影响整个生产流程的效 率。三炼钢转炉的冶炼周期在连铸机高效化改造后仍较长(36-38 分钟), 且波动大,与高拉速连铸机能力不匹配——不能稳定、及时提供合格钢水, 导致连浇炉数低、连铸机生产能力没有充分发挥。经统计分析可知,冶炼 周期可以适当缩短(32 分钟左右),有利于加快整个流程的生产节奏。
  - (2) 各工序操作水平有待提高:
- 转炉工序冶炼周期较长,高温出钢占有一定比例(以 1 号转炉为例是 13%)。应采取措施,保证原、燃料的供给,减少补吹率,提高一次命中率,从而缩短冶炼周期,降低出钢温度。建议措施:根据铁水条件的变化调整好废钢和矿石量,保证吹炼过程和终点的稳定,保证到站温度范围,减少高温钢,减少后吹次数;钢水氧化性强时适量补加合金,杜绝成分出格;稳定供 LF 炉精炼的钢水条件,控制出钢下渣量。
- 精炼工序钢水处理时间波动较大,影响到钢水温度、成份的稳定,促成了连铸生产的不稳定。精炼是转炉、连铸之间的柔性环节,应根据实际生产情况控制好两者之间的生产节奏,实现转炉和连铸机生产的合理匹配。
- · 连铸工序操作较稳定,总体而言,2、3号高拉速连铸机,浇注周期短,连浇炉数较高;连铸机的效率较低,生产能力仍没有充分发挥;4号铸机拉速低,浇注周期长,连浇炉数低;而1号连铸机在目前的生产状况下,采取措施优化调度后完全可加以改造,实现三炉对三机的生产模式。
- · 钢包热修工序为炼钢生产提供钢水的载体——钢包,钢包的运行状况直接反映了生产的物流状况。能否提供合格、稳定的钢包,对炼钢生产有决定性影响。三炼钢目前的钢包管理较乱,混合使用,不加区分,经常发生钢包在 LF 精炼站因包沿过大而无法处理的现象。建议将钢包与钢种对应起来使用,即确定 LF (VD) 用包与普通包区分开,利于钢包的管理,且能加快钢包运转,减少钢包周转个数。
- (3) 由生产模式可看出,三炼钢的生产调度复杂,难度较高。主要体现在钢包的周转上:钢包运行路线众多,各工序间的协调性较差、钢包

无效等待时间较长、波动大;钢包温降不稳定,以至生产流程中钢水温度变化的规律性不强。应采取措施,使各工序实现标准化操作,特别是要加强各工序操作人员与天车调度员之间的配合,使钢包稳定、合理、快速周转,保证各工序之间物流的衔接紧凑。建议在现有生产条件下,改进生产模式,简化生产调度,进而实现整个流程的高效化生产,促进生产水平和生产效率全面提高;

(4) 需对各类可能出现的生产故障预先提出方案,一旦问题发生,能及时解决,不致影响生产流程中物流的顺行,为此应合理安排检修、维护时间,做到既能及时修复设备,又不影响后续工序。

# 第三章

# 炼钢一连铸生产流程的物流调控方案

## 3.1炼钢——连铸生产能力的核算

## 3.1.1 连铸机生产能力的核算

一台连铸机年产量:

$$P=Pc \times 24 \times 365 \times B \times \eta \tag{3.1}$$

式中: P ——每台连铸机年产量, 万吨/年;

Pc——小时浇钢量,吨/小时(计算公式见后);

B—一合格铸坯收得率, 98.01%;

η ——连铸机日作业率,%。

$$Pc=60 \times N \times \rho \times S \times Vc$$
 (3.2)

N——流数 (8流); Vc——拉速,米/分;

ρ ——钢水密度, 7.7 吨/立方米; S——铸坯断面积, 平方米 由上式可计算出单台连铸机年浇钢量与拉速、作业率的关系如表 3.1 所示(以 S=120×120mm²为例)。图中: A──作业率、B──拉速、C── 年浇钢量;

表 3.1 连铸机年浇钢量与拉速、作业率关系表

Table 3.1 The relation among casting quantity, Pull speed and work efficiency

	<del> </del>						•		V.110	
BC	0.5	0.55	0.6	0.65	07	0.71	0.72	0. 73	0.74	0. 75
2. 1	55	60	66	71	77	78	79	80	81	82
2. 2	57	63	69	75	80	81	83	84	85	86
2. 3	60	66	72	78	84	85	86	88	89	90
2.4	63	69	75	81	88	89	90	91	93	94
2. 5	65	71	78	85	91	93	94	95	97	98
2.6	68	75	81	88	95	96	98	99	100	102
2.7	70	77	85	92	99	100	101	103	104	106
2.8	73	80	88	95	102	104	105	107	108	110
2. 9	76	83	91	98	106	107	109	110	112	113
3.0	78	86	94	102	110	111	113	114	116	117
3. 1	81	89	97	105	113	115	116	118	120	121
3. 2	83	92	100	109	117	119	120	122	124	125
3.3	86	95	103	112	120	122	124	126	127	129

3.4	89	98	106	115	124	126	128	129	131	133
3.5	91	100	110	119	128	130	131	133	135	137
3.6	94	103	113	122	131	133	135	137	139	141
3.7	97	106	116	125	135	137	139	141	143	145
3.8	99	109	119	129	139	141	143	145	147	149
3. 9	102	112	122	132	142	144	146	149	151	153
4.0	104	115	125	-136	146	148	150	152	154	156

根据实测数据统计分析结果可得到以下参数:

- (1) 1号连铸机平均工作拉速: V1 不详, 断面 120×120mm²; (备用铸机)
- (2) 2号连铸机平均工作拉速: V2=3.2m/min, 断面 120×120mm²;
- (3) 3号连铸机平均工作拉速: V3=2.8m/min, 断面 130×130mm²;
- (4) 4号连铸机平均工作拉速: V4=2.2m/min, 断面 130×130mm²;

由此分析连铸机年浇钢量(未考虑1#连铸机产量):

表 3.2 连铸机年浇钢量(万吨)分析表

		<u>,</u>			
作业率	75%	70%	65%	60%	55%
2#机	125	117	109	100	92
3#机	110	102	95	88	80
4#机	86	80	75	69	63
合 计	321	299	279	257	235

Table 3.2 Analysis of annual casting quantity

根据三炼钢统计,2000年全年浇钢243万吨,在只有三台连铸机工作的情况下,以目前的拉速,作业率达55%以上即可完成产量;而2001年计划产量为260万吨,作为率应达到65%以上。

# 3.1.2 转炉生产能力的核算

转炉单炉年产量:

$$P=60 \times W/t \times 24 \times 365 \times \eta \tag{3.3}$$

式中:

P--转炉单炉年产量, 万吨/年;

₩—一转炉平均出钢量,83.73吨/炉;

t——冶炼周期,分;

η ——转炉作业率,%。

由上式可计算出转炉单炉年产量与冶炼周期、作业率的关系如表 3.3 所示:表中: A一作业率、B一年产量、C一冶炼周期;

# 表 3.3 转炉年产量与冶炼周期、作业率关系表

Table 3.3 The relation among annual converter output, metallurgy cycle and work efficiency

A B C	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
27	98	99	101	103	104	106	108	109	111	112
28	94	96	97	99	101	102	104	105	107	108
29	91	93	94	96	97	99	100	102	103	105
30	88	89	91	92	94	95	97	98	100	101
31	85	87	88	89	91	92	94	95	97	98
32	83	84	85	87	88	89	91	92	94	95
33	80	81	83	84	85	87	88	89	91	92
34	78	79	80	82	83	84	85	87	88	89
35	75	77	78	79	80	82	83	84	86	87
36	73	75	76	77	78	79	81	82	83	84
37	71	73	74	75	76	77	79	80	81	82
38	69	71	<b>7</b> 2	73	74	75	76	78	79	80
39	68	69	70	71	72	73	74	76	77	78
40	66	67	68	69	70	72	73	74	75	76
41	64	65	67	68	69	70	71	73	73	74
42	63	64	65	66	67	68	69	71	71	72
43	61	62	63	64	66	67	68	69	0	71
44	60	61	62	63	64	65	66	68	68	69

	, and the second		""		<del></del>		<del></del>	<del> </del>	<del>, , , , , , , , , , , , , , , , , , , </del>	
B C	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
27	114	116	117	119	212	122	124	126	127	129
28	110	112	113	115	116	118	119	121	123	124
29	106	108	109	111	112	114	115	117	118	120
30	103	104	106	107	109	110	111	113	114	116
31	99	101	102	104	105	106	108	109	111	112
32	96	98	99	100	102	103	105	106	107	109
33	93	95	96	97	99	100	101	103	104	105
34	91	92	93	94	96	97	98	100	101	102
35	88	89	91	92	93	94	96	97	98	99
36	86	87	88	89	90	92	93	94	95	97
37	83	84	86	87	88	89	90	92	93	94
38	81	82	83	85	86	87	88	89	90	91
39	79	80	81	72	84	85	86	87	88	89
40	77	78	79	80	81	83	84	85	86	87
41	75	76	77	78	79	81	82	83	84	85
42	73	74	75	76	78	79	80	81	82	83
43	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
44	71	71	72	73	74	75	76	77	78	79

由上表可分析转炉生产能力:

(1) 实测各转炉冶炼周期(Q235) 为:1 号 37.7 分,2 号 38 分,3 号 37.3 分

表 3.4 转炉年产钢量(万吨)分析表 1

作业率 79% 75% 70% 65% 60% LD1 91 89 81 75 69 91 89 LD2 81 75 69 LD3 94 92 83 77 71 合计 276 270 245 227 209

Table 3.4 Analysis table 1 of annual converter output

与连铸机年产量相比知:相同作业率下,转炉炼钢产量远低于连铸(约60万吨/年)。

(2) 转炉年产量亦可估算如下: 转炉日产 90 炉, 7549 吨, (2001-6-15) 年产量为: 7549\*365=2755385 吨; 又有: 10 月份其产量为 21.96 万吨, 则年产量约为: 21.96\*12=263.52 万吨, 即转炉总年产量约为 300 万吨, 与实际产量(2001年统计)相近。

若以优化值为 32 分钟考虑,取转炉作业率为 70%,则单炉年产量为 96 万吨,三座转炉年产量为 288 万吨(详见表 3.5)。

Table 3.5 Analysis table 2 of annual converter output 作业率 79% 75% 70% 65% 60% LD1 109 103 96 89 83 LD2 109 103 96 89 83 LD3 109 103 96 89 83 合计 327

表 3.5 转炉年产钢量(万吨)分析表 2

LD3109103968983合计327309288267249三炼钢 2001 年计划产量为 260 万吨, 含 70 万吨品种钢 (27%), 由上表可见, 如转炉冶炼周期控制在 32 分钟 (品种钢 40 分钟) 左右, 作业率

# 3.2 首钢三炼钢厂生产流程的物流系统调控方案

# 3.2.1 系统调控原则

达到65%,则其目标产量完全可以实现。

为保证炼钢——连铸生产过程物流的畅通与顺行,炼钢——连铸生产流程中的物流调控应遵循以下原则:

### (1) 一一对应原则

一一对应具体而言包括:对生产模式是指定炉对定机,一炉对一机; 对钢包周转是指钢包与转炉对应,钢包与钢种对应;对生产组织是指转炉 与连铸机对应。这一原则为炼钢厂生产组织与系统调控提出了一种简便的 管理模式,体现了以连铸为中心进行生产的指导思想,是运用计算机实施 调度管理的基础。

#### (2)温降最小原则

钢包作为钢水的载体,其周转过程的温降占炼钢厂生产过程温降的很大一部分,在未采取进一步措施的情况下,通过调控钢包周转过程中的"柔性时间",加速钢包周转,减少钢包周转过程中的温降,可进一步减小过程温降最终降低出钢温度。

### (3) 最大连浇炉数原则

保证连浇的基础上,连浇炉数愈多愈经济。在"一一对应"原则的基础上,最大连烧炉数与中间包的寿命、转炉最长连续生产时间有关。本文对中间包寿命和转炉最长连续生产时间作如下定义:中间包寿命是指其连铸生产过程的最大连烧炉数,转炉最长连续生产时间是指可维持连铸连浇的最大生产炉数,即任何相邻两炉的间隔不会造成连铸的停顿。最大连浇炉数受限于二者当中的小者。本原则在考虑炉机匹配、中间包寿命、设备检修计划等约束条件下,通过相应的算法,确定经济合理的最大连浇炉数。根据铸机与转炉的检修计划,确定检修时间与工作时间,通常检修时间把一个班次或一天的生产划分成几个工作时间段,根据一一对应原则及转炉与铸机各自的工作时间段确定经济合理的最大连浇炉数。

### (4)尽可能连浇的原则

通过经济核算,求出最小连浇炉数,在大于此最小连浇炉数的情况下安排生产。"尽可能连浇"原则是钢水在连铸工序内合理分配,保证物流平衡的有效约束。因为在实际生产中不能为了追求单一连铸机的最大连浇炉数,而破坏其它铸机的连续生产。即最大连浇炉数要在各台连铸机尽可能连浇、物流运行合理的前提下实现,目的是保持物流在整个连铸工序内的平衡,充分利用各台连铸机的生产能力。

# 3.2.2 炼钢——连铸生产流程的物流模式优化

根据"一一对应"原则,就三炼钢目前生产设备状况而言,建议采用以下模式:

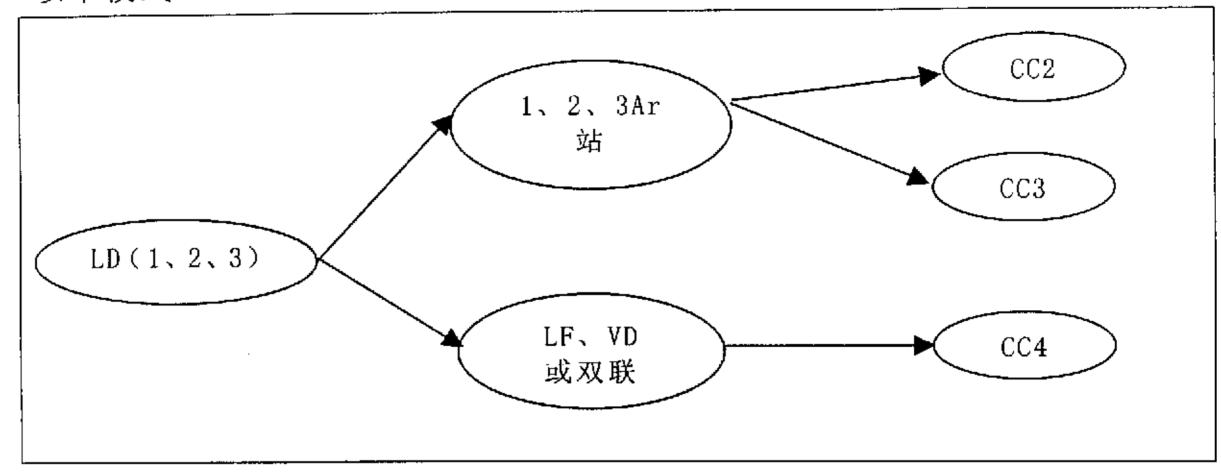


图 3.1 优化后生产模式图

Fig. 3.1 Production pattern diagram behind optimize

# 3.2.3 转炉冶炼过程时间因素的优化

对于时间参数的优化,本文采用实测数据统计平均值作为参考,再附加合理的波动范围,来指导生产。

### 3.2.3.1 转炉合理冶炼周期的提出

结合上一章对转炉冶炼过程的时间因素的解析结果,可提出一个合理的优化的冶炼周期。优化后的转炉炼钢工序操作时具体包括以下几部分:加废钢用时→加废钢完到兑铁水间隔→兑铁水用时→兑铁水结束到开吹间隔→吹氧时间→倒炉测温取样时间→出钢时间→倒渣、清渣时间→堵出钢口时间→空炉等待时间,当每个操作耗时优化后,总的冶炼周期必然是合理的。

根据第二章的分析,可得到转炉炼钢工序各时间段的实际统计值如表3.6:

表 3.6 转炉炼钢工序各操作环节操作时间参考值

100	te o. o operate time reference	value of Steel making process
序号	操作或间隔名称	参考优化时间
1	加废钢时用(秒)	24
2	加废钢完到兑铁水间隔(秒)	70
3	兑铁水用时(秒)	67
4	兑铁水结束到摇正间隔(秒)	19
5	吹氧时间(分)	14.5
6	倒炉测温取样时间(秒)	<b>≤</b> 216
7	出钢时间(秒)	280
8	倒渣、清渣时间(秒)	≤60

Table 3.6 Operate time reference value of steel-making process

9	堵出钢口时间(秒)	≤30
10	溅渣护炉时间(分)	4
11	空炉等待时间(秒)	≤60
12	合计	32 分 16 秒

由上表可得出转炉冶炼周期的参考值为32分16秒。若考虑波动范围 为 5 分钟,则可取 27-37 分钟;这一优化值是针地普碳钢而言的,对于品 种钢,考虑实测数据量小,采用三炼钢统计值:平均 40 分钟,允许波动 范围为: 36-44 分钟。

## 3.2.4 调度方案的制定

实现高效连铸以后,铸机的浇注周期缩短,转炉的冶炼周期必须缩短 且稳定才能适应。高效连铸除了要求炼钢一连铸在时间上匹配协调外,还 要求在温度上也要匹配。必须降低出钢温度;并按照"一一对应"原则, 转炉、连铸要协同离线或在线。

### 3.2.4.1 各工序操作时间的确定

#### (1) 转炉冶炼周期

由前面分析可知,转炉冶炼周期优化为 32±5 分钟(普碳钢)、40±4 分钟(品种钢)。则保持目前转炉的生产状况可以实现 2001 年生产目标(产 量 260 万吨, 含品种钢 70 万吨)。

#### (2)精炼时间

精炼站吹氩时间要求>5分钟,LF处理可根据钢种、钢水的温度和钢 水量等具体情况进行调节。

#### (3) 连铸机的浇注周期

高效连铸要求转炉必须与铸机的生产节奏相协调。其浇注周期了可由 下式得出:

$$T=W/(n \cdot p \cdot s \cdot v) \tag{3.4}$$

式中: T-铸机浇注一包钢水时间,分;W-转炉平均出钢量,吨;

n一铸机的流数:

ρ一钢水密度,吨/立方米;

s-铸坯的截面,平方米; v-铸机的平均工作拉速,米/分

由上公式可以得出连铸机的浇注周期和平均工作拉速的关系表见表 3.7:  $T_1=83.73/(8\times7.7\times0.12\times0.12\times V_1)=94.393/V_1$ 

T	Table 3.7 The relation between casting cycle and pull speed										
)	2. 1	2.2	2. 3	2.4	2. 5	2. 6	2. 7	2.8	2. 9	3	
朔	45.0	42. 9	41.0	39. 3	37. 8	36.3	35.0	33. 7	32.6	31.5	

表 3.7 铸机的浇注周期和拉速之间的关系

拉速 (m/min) 浇注周期 (min) 拉速 3.2 3.8 3.3 3.5 3.9 3.1 3.4 3.6 3.7 4 (m/min) 浇注周期 27.026.2 23.6 30.5 29.5 28.6 27.8 25.5 24.8 24.2 (min)

由上表可知, 要符合"一一对应"原则, 达到炉机匹配, 则 2、3 号铸 机平均拉速可定为 2.5-3.5 米/分, 浇注周期为 27-37 分钟之间, 当浇注 品种钢时, 4号铸机的平均拉速可定为 2.1-2.6 米/分, 浇注周期为 36-44 分之间。

### (4) 各工序操作时间参考表

由上述(1)、(2)、(3)的计算分析可以制定出三炼钢转炉炼钢厂各工 序操作时间的参考值,见表 3.8。

表 3.8 转炉炼钢厂各工序操作时间表

Table 3.8 Operate time-table of steel-making process

钢种	转炉冶 炼周期	吹氩时间	2 号铸机 浇注周期	3 号铸机 浇注周期	4 号铸机 浇注周期
普碳钢	27-37 分钟	≥5 分钟	27-37 分钟	27-37 分钟	DC 11. 7HJ 79J
品种钢	36-44 分钟	≥3 分钟			36-44 分钟

#### 3.2.4.2 炼钢——连铸生产计划的编制

炼钢一连铸生产作业计划的编制的前提条件:

1. 按照前面关于生产模式选择的分析,选择生产模式为:

转炉(1、2、3)→吹氩精炼站→2、3号连铸机:

转炉(1、2、3)→LF 精炼站→4 号连铸机:

转炉(1、2、3)→LF→VD→4号连铸机:

转炉(1、2、3)→VD→4号连铸机。

- 2. 设定目标产量为 260 万吨, 其中品种钢 70 万吨;
- 3. 转炉平均冶炼周期分别为:

27-37 分钟(普碳钢),取 32 分钟;

36-44 分钟(品种钢), 取 40 分钟; 转炉作业率为 60%-80%。

4. 2号连铸机平均工作拉速: 3.0m/min, 取值范围: 2.5-3.5m/min(普碳

钢);

- 5. 3 号连铸机平均工作拉速: 2.8m/min, 取值范围: 2.5-3.5m/min(普碳 钢);
- 6. 4 号连铸机平均工作拉速: 2.4m/min, 取值范围: 2.1-2.6m/min(品种 钢);
- 7. 每班检修计划安排在每班开始 1 小时或每班结束前 1 不时; 铁水供应 充足,成分温度稳定。

转炉生产计划:单炉月产量: P<sub>m</sub>=P<sub>v</sub>/12/3=260/12/3=72222.2 吨:

单炉月出钢炉数: N=P<sub>m</sub>/W=72222.2/83.73=862.6 炉

同样,由目标年产量可进一步确定每座转炉5日生产作业计划、日生产作 业计划直至班作业计划(见表 3.9)。

Table 3.9 Arrange of single converter scheme 品种钢 普碳钢 项目 总炉数 重量 1 炉数 1 重量 2 炉数 2 月产量 19500 232.9 52722, 2 629.7 826.6 半旬产量(吨) 3250 38.3 8787 105 143.8 日产量(吨) 650 7.8 1757.4 28.8 21

表 3.9 单座转炉生产作业计划的编排

班产量(吨) 216.7 2.6 585.8 9.6

由上表可知要完成目标产量,转炉作业率保持在 65%-80%, 单座转炉 每班生产炉数要求不少于9炉,每座转炉全天生产炉数不少于28炉,三 座转炉一天生产不少于 86 炉。具体来说,单座转炉应实现每天每班生产 品种钢 8 炉, 普碳钢 21 炉, 即每班生产不少于 29 炉钢水。

## 3.2.4.3 炼钢——连铸生产计划的实施

按照"一一对应"或"最大连浇炉数"原则及推荐的生产模式,以连 铸为中心, 转炉连续生产作业时间与连铸相同, 可以排定一天的生产计划。

已知计划每天生产品种钢 24 炉, 普碳钢 63 炉, 则生产时间计算公式 为:  $T_{cc}=n\times t$ (3.5)

t--生产周期,分钟: n--连浇炉数,炉:

连铸机每天生产时间由上式计算为:

- 4号38.5×24=924分钟(作业率64%);
- 2号63/2×30.7=923分钟(作业率64%);
- 3号 63/2×28.6≃901 分钟 (作业率 63%):

单座转炉生产时间为:

63×32/2=1008 分钟(作业率 70%);

24×400=960 分钟(作业率 67%)

三炼钢的设备检修计划大致为:转炉采用了溅渣护炉技术,以1、3号炉为主,满负荷生产;2号铸机于每周一、3号铸机定于每周四、4号铸机于每周二定时检修,检修时间均为10小时;具体情况如转炉——连铸机生产参数表3.10-3.11所示(表中A代表普碳钢,B代表品种钢):

表 3.10 转炉——连铸机生产参数表(连铸机按统计值计算)

Table 3.10 Parameter table of converter-casting production

项	目	1#LD	2#LD	3#LD	2#CC	3#CC	4#CC
		·		<del></del>			4#00
上 生产周期	A	32	32	32	30. 7	28. 6	<del></del>
(分钟)	В	40	40	40	<u>—</u>		38. 5
日产钢量	A	63			63		
(炉)	В	24				<u>—</u>	24
日作业时间	A	1008			967	901	
(分钟)	В	960			_		924
日作业率	Α	70			67	63	
(%)	В		67	' '	<u></u>		64
中间包连浇	(平均)				14	15	9
炉数 (炉)	(最大)				19	19	11
中间包个数	(平均)				2. 25	2.10	2.67
(个/日)	(最大)				1.66	1.68	2. 18
空闲时间	A	7. 2			7. 92	8.88	<del></del>
(小时)	В	7. 92					8.64
建议检修时间	可(小时)		<b>≤</b> 8		<b>≤</b> 8	€8	€8

# 表 3.11 转炉——连铸机生产参数表(连铸机按优化值计算)

Table 3.11 Parameter table of converter-casting production

项	目	1#LD	2#LD	3#LD	2#CC	3#CC	4#CC	
生产周期 (分钟)	A	32	32 32 32			32		
	В	40	40	40			40	
日产钢量	A		63			63		
(炉)	В		24			<u> </u>	24	
日作业时间	A		1008		1008	1008		
(分钟)	В		960				960	
日作业率	A	70			70	70		
(%)	В	67					67	

中间包连浇	(平均)		14	15	9
炉数 (炉)	(最大)	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	19	19	11
中间包个数	(平均)		2. 25	2.10	2.67
(个/日)	(最大)		1. 66	1. 66	2. 18
空闲时间	A	7. 2	7. 2	7.2	
(小时)	В	7. 92		_	7. 92
建议检修时间	旬(小时)	≤8	≤8	<b>≤</b> 8	€8

按照表 3.11 的生产参数考虑,转炉和连铸机的生产周期相同,是炉机匹配的理想形式,由此绘制出的生产计划甘特图见图 3.2 (连铸机按优化值计算);由表 3.10 的参数考虑,连铸机的节奏快于转炉,则转炉快速、及时提供钢水,保证铸机连浇是顺利实施计划的关键,这种条件下绘制出的生产计划甘特图如图 3.3 (连铸机按统计值计算)所示。由图 3.2-3.3 可以看出,第一种情况下,2、3号铸机每天可安排 2-3 个浇次,4号铸机安排 3 个浇次可以完成计划;第二种情况下,2、3、4号铸机每天 3 个浇次即可;两种情况下,转炉和连铸机均有 8 小时左右的时间富余,可根据实际情况安排检修或其它操作。

目前,三炼钢转炉炼钢的温度和成份的命中率不高,钢包运行状况不稳定,提高转炉的温度/成份命中率,减少转炉冶炼周期的波动缩短钢包运行周期,是保证连浇的一个重要条件。

# 3.3 温度制度的制定

# 3.3.1 温度数据统计结果

实现高效连铸以后,生产节奏加快,对温度控制提出了更高的要求,降低出钢温度势在必行。结合三炼钢实测数据的统计分析结果,得出温度在整个生产流程中各工序的变化规律,进而制定出相应的温度制度。根据前温度统计分析,可以得到各工序间温度变化规律如表 3.12-3.15 所示:

表 3.12 出钢到精炼站温度变化表

Table 3.12 Temperature change table of tapping to purity station

转炉号	钢种	出钢温度(℃)	到达精炼 站温度 (℃)	出钢至精炼 时间间隔 (min)	温降	温降速率 (℃/min)
	Q235	1674. 2	1626.8	3.6	47.4	13.2
1	40#-55#	1617 0	1552. 4	<i>C</i> . F	65. 4	10. 1
	60#-80#	1617.8	1541	6.5	76.8	11.8

2	Q235	1664. 9	1630. 2	3. 6	34. 7	9, 6
	40#-55#	1694 O	1552. 4	- 5.8	72, 5	12. 5
	60#-80#	1624. 9	1541		83. 9	14.5
	Q235	1683.0	1631. 2	3. 6	51.8	14. 4
3	40#-55#	1623. 9	1552. 4	5. 8	71.5	12.3
	60#-80#		1541		82. 9	14. 3

表 3.13 精炼站内温度变化表

Table 3.13 Temperature change table of purity station

精炼站 号	钢种	进站温度 (°C)	出站温度 (℃)	停留时间 (min)	温降 (℃)	温降速率 (℃/min)
1	Q235	1626.8	1583. 9	17	42, 9	2.5
2	Q235	1600.2	1585.7	16. 9	44. 5	2.6
3	Q235	1631. 2	1585	16. 4	46. 2	2.8
4	40#-55#	1552. 4	1561	49.7	-8.6	-0.2
1	60#-80#	1541	1549	42. 7	-8	-0.19

表 3.14 精炼毕至到台过程温度变化表

Table 3.14 Temperature change table of purity finished to flat

去向	钢种	出粗炼站 温度(℃)	到台温度 (℃)	运输时间 (min)	温降 (°C)	温降速率 (℃/min)
1 F-4cc	40#-55#	1561	1545. 5	4.4	15. 5	
LF-4cc	60#-80#	1549	1040.0	4.4	3. 5	0.8

表 3.15 出精炼站至中包第一次测温温度变化表

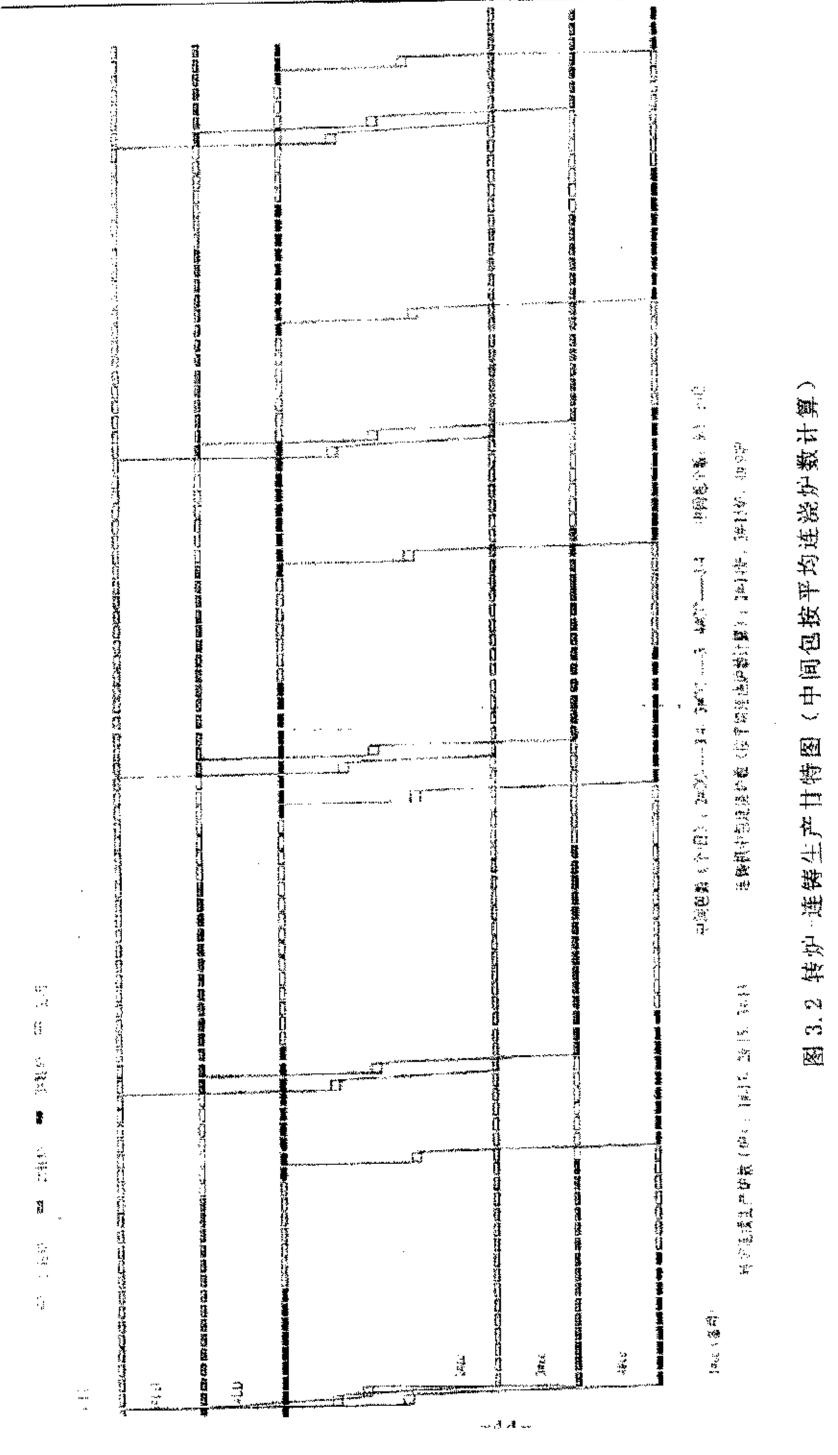
Table 3.15 Temperature change table of purity left to middle fold first

	·		measure	<u> </u>		
去向	钢种	出粗炼站	到台温度	运输时间	温降	温降速率
	61111	温度(℃)	(°C)	(min)	(°C)	(℃/min)
1Ar-1cc	1	1583. 9		11.9	36. 3	3. 1
2Ar-1cc	Q235	1585. 7	1547.6	12.8	38. 1	3.0
3Ar-1cc		1585		12. 4	37. 4	3.0
1Ar-2cc		1583.9		10.5	37. 7	3. 6
2Ar-2cc	Q235	1585.7	1546. 2	10, 5	39.5	3. 8
3Ar-2cc		1585		10.8	38. 8	3.6
1Ar-3cc		1583.9		9. 7	37. 4	3. 9
2Ar-3cc	Q235	1585. <b>7</b>	1546.5	9. 9	39. 2	4.0
3Ar-3cc		1585		10. 2	38. 5	3.8
LF-4cc	407#-55#	1561	1500 4	10.4	38.6	3.7
J. 100	60#-80#	1549	1522. 4	10. 4	26.6	2,6

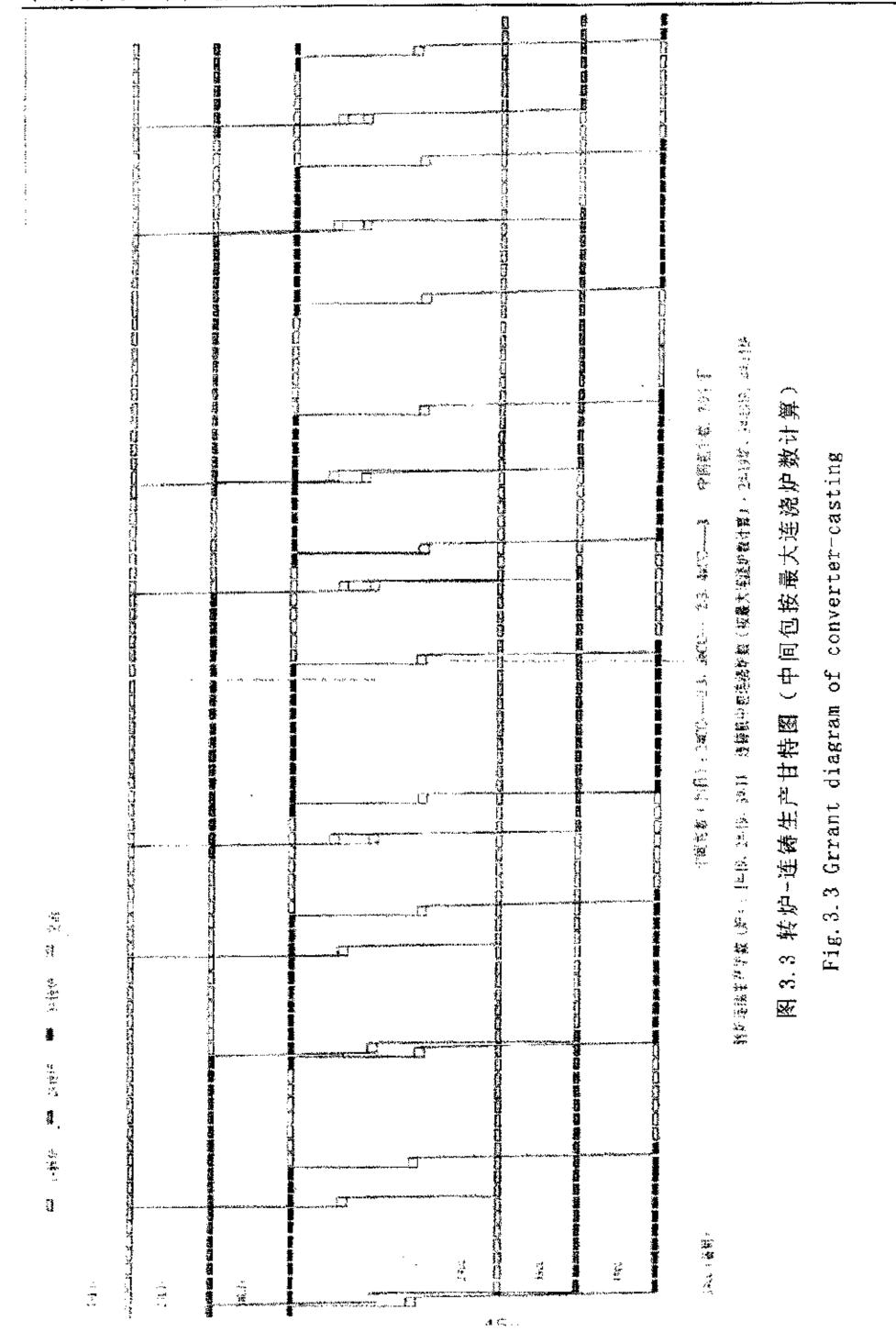
统计出的炼钢炼钢厂温度测试点及整个生产流程中温度的变化情况,见图 3.4-3.5。

converter-casting

Grrant diagram of



-44-



-45-

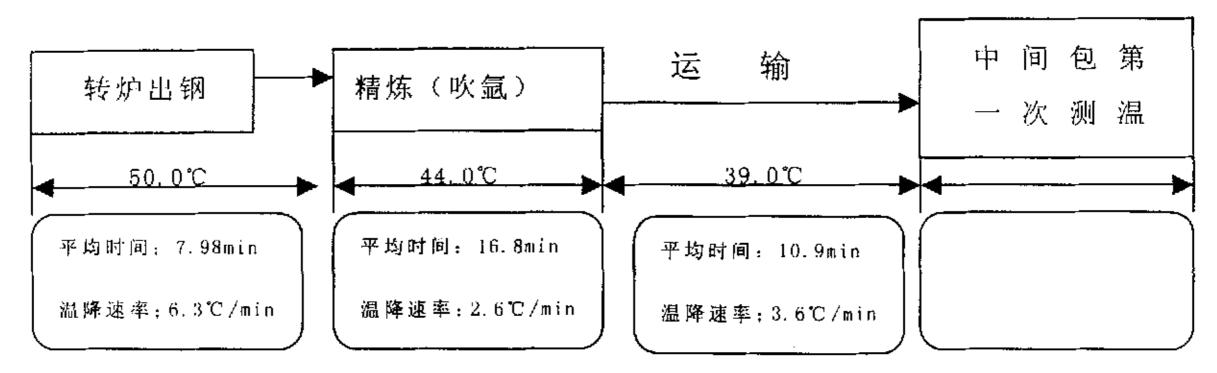


图 3.4 1号转炉 Q235 钢生产过程各工序和工序间的温降

Fig. 3. 4 Temperature reduction of No. 1 converter production process

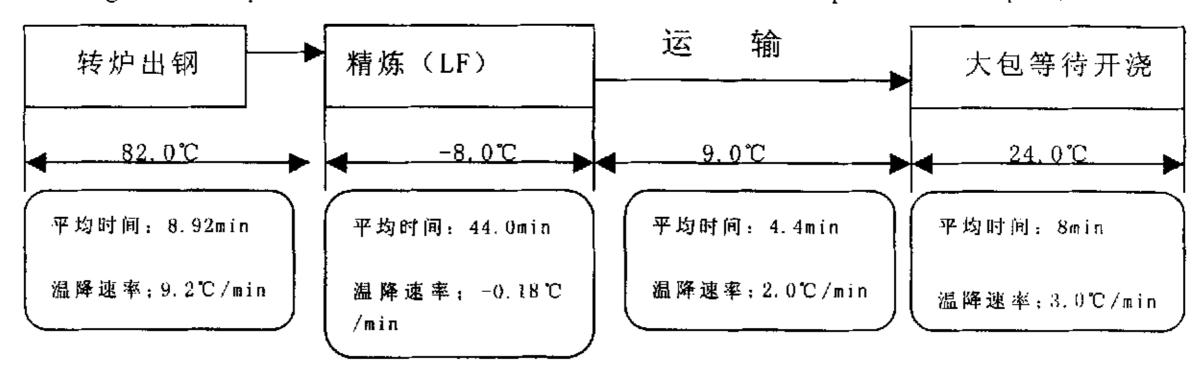


图 3.5 1号转炉品种钢生产过程各工序和工序间的温降

Fig. 3.5 Temperature reduction of No. 1 converter production process

# 3.3.2 连铸钢水浇注温度的确定

连铸钢水的浇注温度,一般是指中间包内的钢水温度,是该钢种的液相线温度与中间包内钢水的过热度之和。即:

$$T_c = T_L + \triangle T \tag{3.6}$$

式中 T<sub>c</sub>——浇注温度, ℃: T<sub>L</sub>——钢的液相线温度, ℃;

△T——中间包内钢水的过热度, ℃

#### (1) 钢水的液相线温度

钢水液相线温度可以采用下式计算:

Q235 钢: T₁=1537- {88 [C%] +8 [Si%] +5 [Mn%] +30 [P%] +25 [S]} ℃ 品种钢: T₁=1539- {70 [C%] +8 [Si%] +5 [Mn%] +30 [P%] +25 [S]} ℃ 钢种对应的参考化学成份见表 3.16:

表 3.16 不同钢种的化学成份

Table 3.16 Chemistry element of different steel breed

钢种	化学成份(%)							
	C	Si	Mn	P	S			
Q235	0.14-0.22	0. 12-0. 30	0.30-0.65	≤0.045	≤0.050			
45	0.42-0.5							
50	0.47-0.55	7						
55	0.5-0.6	7						
60	0.57-0.65	0.17-0.37	0.5 -0.8	≤0.035	€0.035			
65	0.62-0.7							
70	0.67-0.75	1		1				
75	0.72-0.8							

根据上表中的化学成份范围可计算出液相线温度范围,如表 3.17:

表 3.17 各钢种液相线温度范围

Table 3.17 Liquid state line temperature range of steel breed

	Q235			1509°C ≤ T <sub>L</sub> ≤ 1	520℃
		品 种	钢	<del></del>	
钢种	上限(℃)	下限(℃)	钢种	上限(℃)	下限(℃)
45	1494. 26	1484. 12	65	1476.66	1466, 52
50	1489.86	1479, 72	70	1472. 26	1462.12
55	1485. 46	1475. 32	75	1467.86	1457.72
60	1481.06	1470, 92			1

## (2) 中间包浇注温度的计算

取过热度为 15-30℃,由前面计算公式可算出中间包内钢水的目标温度。当中间包浇第一炉时,钢水温度应比连浇炉次时的温度高 10℃左右,品种钢为 20℃左右。中间包浇注温度值如表 3.18

表 3.18 中间包浇注控制温度

Table 3.18 Control temperature of middle fold casting

铸机号	钢种	液相线温度(℃)	第一炉(℃)	连浇时(℃)
1, 2, 3	Q235	1509-1520	1549-1560	1539-1550
	45#	1484-1494	1534-1544	1514-1524
4	50#	1480-1490	1530-1540	1510-1520
	55#	1475-1485	1525-1535	1505-1515
	60#	1471-1481	1521-1531	1501-1511
4	65#	1466-1476	1516-1526	1496-1506
1	70#	1462-1472	1512-1522	1492-1502
	75#	1457-1467	1507-1517	1487-1497

### 3.3.3 转炉出钢温度的确定

确定了中间包内钢水温度目标值以后,加上钢水传递过程总温降△T, 反推就可确定出钢温度 T ± m, 计算流程图参见附录 A 图 1-2。

$$T_{+, ijk} = T_L + \triangle T$$

$$= T_L + \triangle T_1 + \triangle T_2 + \triangle T_3 + \triangle T_4 + \triangle T_5 + \triangle T_6 + \triangle T_7$$
(3.7)

式中: T<sub>1</sub>——液相线温度, ℃

△T ——中间包钢水的过热度及钢水传递过程总温降, ℃

△T.——中间包钢水的过热度, ℃

△T<sub>2</sub>——浇注期间钢水平均温降, ℃

△T<sub>3</sub>——中间包钢水温降, ℃

△T<sub>4</sub>——钢包等待开浇温降, ℃

△T<sub>5</sub>——精炼后运输至回转台过程温降, ℃

△T<sub>6</sub>——精炼过程温降,℃

△T<sub>7</sub>——出钢至精炼过程温降, ℃

同理按上述步骤可计算出钢水在各工序的目标值,结果见表 3.19-3.20。

表 3.19 炼钢厂各工序温度目标值(Q235)

Table 3.19 Temperature aim value of steel-making process

项 目	T 液相线	T中间包	T 精炼后	T 精炼前	T HM
反推计算值℃		1539-1550	1578-1589	1622-1633	1676-1683

表 3.20 炼钢厂各工序温度目标值(品种钢)

Table 3.20 Temperature aim value of steel-making process

钢 种	T液相线	T中间包	T Me	T 精炼后	T 出铜
45#	1484-1494	1514-1524	1538-1548	1539-1549	1621-1631
50#	1480-1490	1510-1520	1534-1544	1535-1545	1617-1627
55#	1475-1485	1505-1515	1529-1539	1530-1540	1612-1622
60#	1471-1481	1501-1511	1525-1535	1526-1536	1608-1618
65#	1466-1476	1496-1506	1520-1530	1521-1531	1603-1613
70#	14621472	1492-1502	1516-1526	1517-1527	1599-1609
75#	1457-1467	1487-1497	1511-1521	1512-1522	1594-1604

由上表可知,根据实测值反推出来的出钢温度等,Q235 现出钢温度基本满足要求,而品种钢出钢温度偏高。

# 3.4首钢三炼钢厂钢包运转的解析与优化

高速连铸的实现加快了生产节奏,钢厂系统原有的平衡被打破,同时

高效连铸钢水的浇注温度与常规连铸相比,要求更为严格。作为炼钢厂生产流程中钢水载体的钢包,其状况影响钢水温度的波动且当钢水注入钢包后至浇注结束的时间段内,钢水一直在钢包内存放,因此钢包包热状态必然影响浇注温度及其稳定性。可见直接关联高效连铸生产的顺行,掌握钢包运行规律,科学管理、调控钢包运转势在必行。钢包的容量、材质和结构、包龄、出钢温度、出钢时间、盛钢量、炉外精炼方式和处理时间等均影响钢水温度。

### 3.4.1 钢包运转过程的解析

对钢包运转过程进行实际调研的目的在于了解其运转的时间分布,进而建立物理模型。钢包运转过程实测对钢包到达、离开各工序点的过程时间进行了写实。

### 3.4.1.1 钢包运转时间的解析

由第二章时间因素分析,得到钢包周转时间解析的结果如表 3.21 所示:

表 3.21 钢包周转实测数据统计表(除特别声明外,单位均为秒) Table 3.21 Date statistics of steel fold cycle measure

事件	最大值	最小值	平均值	优化值
	(秒)	(秒)	(秒)	(秒)
出钢时间	480	122	296.9	280
出钢至到达吹氩精炼站	681	60	216	180
LD1 出钢至到达 LF	600	100	388	291
LD2 出钢至到达 LF	600	140	347	300
LD3 出钢至到达 LF	560	200	347	320
吹氩站等待处理时间	240	19	60	60
LF 站等待处理时间	940	60	370.0	360
吹氩精炼站处理时间	1680	300	570	540
LF 精炼站处理时间	1860	660	1183.1	1100.0
吹氩站等待离开时间	408	18	129	120
LF 站等待离开时间	600	120	446.9	360
吹氩站至到达铸机时间	600	60	198	180
LF 站至到达铸机时间	660	60	266.6	220
大包等待浇注时间(CC1)	823	100	383	360
大包等待浇注时间(CC2)	767	80	336	240
大包等待浇注时间(CC3)	712	65	278	240
大包等待浇注时间(CC4)	641	88	248	200
1号连铸大包浇注时间	4775	1812	2916. 2	2551
2号连铸大包浇注时间	3849	1741	2540.9	2540.9
3号连铸大包浇注时间	4297	1775	2481.1	2481.1

4号连铸大包浇注时间	4636	1778	3126.3	3126.3
大包浇毕至离开时间(CC1)	1258	169	482. 2	240
大包浇毕至离开时间(CC2)	1466	27	367	240
大包绕毕至离开时间(CC2)	1503	57	<del></del>	
	<del> </del>	<del>                                     </del>	460.3	240
大包浇毕至离开时间(CC4)	1431	72	478	240
离开 CC1 至放到热修位时间	782	98	380.8	350
离开 CC2 至放到热修位时间	496	206	315.2	300
离开 CC3 至放到热修位时间	721	104	381.7	350
离开 CC4 至放到热修位时间	877	140	420.3	360
热修位处理时间(换水口)	2539	455	1206. 2	1200
热修位处理时间(不换水口)	1705	57	449	360
处理完至天车挂钩时间	3670	0	705. 9	300
天车挂钩至倒引流沙时间	274	19	108.3	100.0
倒引流沙时间	108	4	. 18.8	18. 0
倒引流沙毕到 LD1 座包时间	478	63	150	138. 4
倒引流沙毕到 LD2 座包时间	484	40	177. 3	167.5
倒引流沙毕到 LD3 座包时间	479	86	191.6	179. 3
等待出钢时间	695	11	345.7	240
合计(分)	126.9(	普碳钢)	156.2(	
钢包周转时间(分)普碳钢	164. 0	61. 5	126.3	热修统计
钢包周转时间(分)品种钢	218.8	102. 1	154.4	热修统计

同时,根据统计结果得到的钢包周转的优化值也列于表。由上表可知,按照分段的统计结果累加值(126.9、156.2)与定点实测值(126.3、154.4)比较吻合,说明统计结果可信度较高。

## 3.4.1.2 钢包运行系统的物理模型

钢包运行系统的物理模型包括以下内容:钢包运转各区段的时间因素解析,钢包运行时间因素的数学描述,钢包周转个数的确定和钢包周转的优化等。

钢包运行过程时间参数的数学描述:在钢包运行过程时间参数解析的基础上,可抽象出钢包运行时间参数的数学表达式如下:

式中: △t;(△t,)表示钢包在各个工序(从转炉到精炼、连铸,热修包位) 的传搁及动作时间(取统计结果的平均值)。

由上式按不同生产流程(按连铸机划分)计算钢包运转周期的优化值如表 3.22:

Table 3.22 Steel fold cycle time-table behind optimize

表 3.22 优化后钢包周转时间表

		I		
事件	LD-Ar-CC1-Fix	LD-Ar-CC2-Fix	LD-Ar-CC3-Fix	LD-Lf-CC4-Fix
出钢时间	280	280	280	280
出钢到精炼站	180	180	180	240
等待精炼时间	60	60	60	360
精炼时间	540	540	540	1100
精炼等待离开	120	120	120	360
精炼到连铸	180	180	180	220
等待浇注时间	240	240	240	200
浇注时间	2551	2540. 9	2481. 1	3126.3
连铸等待离开	240	240	240	240
连铸到热修	350	300	350	360
热修时间 1	1200	1200	1200	1200
热修时间 2	360	360	360	360
等待挂钩	300	300	300	300
挂钩到倒沙	100	100	100	100
倒沙时间	18	18	18	18
倒沙至座包	160	160	160	160
等待出钢时间	240	240	240	240
合计 1 (分)	112.7	111.6	111.5	141.7
合计 2 (分)	98.7	97.6	97. 5	127. 7
总计(分)		104. 9		134. 7

上表中, 热修时间 1/热修时间 2 代表热修位换水口/不换水口所需时间, 合计 1/合计 2 是由此分别计算出来的结果。

# 3.4.2 钢包周转的优化

# 3.4.2.1 钢包运行过程的"柔性时间"概念

为进一步研究钢包运转的优化问题,本文借助钢包运行过程"柔性时 间"的概念,即钢包在炼钢厂生产流程中不同工位间传搁时等待作业所用 时间,归纳如表 3.23。

转炉号 柔性时间 (min)	1Ld	2Ld	3Ld	平均
工艺路线 Ld→Ar→1cc	29.9	29. 54	28. 54	29
Ld→Ar→2cc	26. 58	26. 21	25. 21	26
Ld→Ar→3cc	27.4	27. 04	26.04	27
Ld→Lf→4cc	39. 15	38. 79	37. 79	39
平 均	27.3(普碳钢)		39(品	种钢)

表 3.23 钢包周转中的"柔性时间"

Table 3.23 Wait of steel fold cycle

为便于下文讨论,还须借助钢包"理想运行周期"概念],即在炼钢厂实际生产作业水平的前提下,去除钢包在生产流程中转运的柔性时间后钢包运行一个周期所用的时间,表示如下:

$$t_{ldeal} = t_{Pr \ actical} - t_{Flexible}$$
 (3.9)

式中:

因钢包实际周转时间为 126.3 分钟、154.4 分钟,由上述公式可得出理想的钢包周转时间为 99.0 分钟、115.4 分钟。即"柔性时间"(见表 3.23)所占比例为: 27.3/126.3=21.6%、39/154.4=25.3%,可见对钢包运行进行优化的潜力较大。

# 3.4.2.2 生产过程中钢包使用个数的计算方法

本文采用时间计算法来分析钢包使用个数:设炼钢厂每班 8 小时共冶炼 X 炉钢水,钢包运行周期为 t faulle ,则钢包周转个数可由下式计算:

$$N_i^{Ladle} = X_{max}^{LD} \times t_i^{Ladle} / (60 \times 8)$$
 (3.10)

式中: N Ladle ---钢包使用个数,个; X LD ---每班最大冶炼炉数,炉;

t, Ladle ---钢包运行周期,分;60 ---每小时换算成60分;

8 ---每班生产时间 8 小时。

由上述公式可以确定钢包使用个数、每班冶炼炉数与钢包运行周期之间的 关系如表 3.24 所示,进而可得出一定生产水平下的钢包使用个数与运行 周期的关系。

表 3.24 钢包周转个数与班冶炼炉数、钢包周转时间关系表(班冶炼炉数为 20-33 炉)表中 Heat: 班冶炼炉数,Time: 周转时间 Table 3.24 The relation among steel fold quantity, time and

metallurgy quantity

Heat Time       6       7       8       9       10       11       12       13       14       15       16         155       1.9       2.3       2.6       3.2       3.6       3.9       3.9       4.2       4.5       4.8       5.2         150       1.9       2.2       2.8       3.1       3.4       3.8       3.8       4.1       4.4       4.7       5.0         145       1.8       2.1       2.7       3.0       3.3       3.6       3.6       3.9       4.2       4.5       4.8         140       1.8       2.0       2.6       2.9       3.2       3.5       3.5       3.8       4.1       4.4       4.7         135       1.7       2.0       2.5       2.8       3.1       3.4       3.4       3.7       3.9       4.2       4.5         130       1.6       1.9       2.4       2.7       3.0       3.3       3.3       3.5       3.8       4.1       4.3         125       1.6       1.8       2.3       2.6       2.9       3.1       3.1       3.4       3.6       3.9       4.2         120       1.5       1.8		metariorgy quantity										
150         1.9         2.2         2.8         3.1         3.4         3.8         3.8         4.1         4.4         4.7         5.0           145         1.8         2.1         2.7         3.0         3.3         3.6         3.6         3.9         4.2         4.5         4.8           140         1.8         2.0         2.6         2.9         3.2         3.5         3.5         3.8         4.1         4.4         4.7           135         1.7         2.0         2.5         2.8         3.1         3.4         3.4         3.7         3.9         4.2         4.5           130         1.6         1.9         2.4         2.7         3.0         3.3         3.3         3.5         3.8         4.1         4.3           125         1.6         1.8         2.3         2.6         2.9         3.1         3.1         3.4         3.6         3.9         4.2           120         1.5         1.8         2.3         2.5         2.8         3.0         3.0         3.3         3.5         3.8         4.0           115         1.4         1.7         2.2         2.4         2.6		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
145       1.8       2.1       2.7       3.0       3.3       3.6       3.6       3.9       4.2       4.5       4.8         140       1.8       2.0       2.6       2.9       3.2       3.5       3.5       3.8       4.1       4.4       4.7         135       1.7       2.0       2.5       2.8       3.1       3.4       3.4       3.7       3.9       4.2       4.5         130       1.6       1.9       2.4       2.7       3.0       3.3       3.3       3.5       3.8       4.1       4.3         125       1.6       1.8       2.3       2.6       2.9       3.1       3.1       3.4       3.6       3.9       4.2         120       1.5       1.8       2.3       2.5       2.8       3.0       3.0       3.3       3.5       3.8       4.0         115       1.4       1.7       2.2       2.4       2.6       2.9       2.9       3.1       3.4       3.6       3.8         110       1.4       1.6       2.1       2.3       2.5       2.8       2.8       3.0       3.2       3.4       3.7         105       1.3       1	155	1.9	2.3	2.6	3. 2	3.6	3. 9	3. 9	4.2	4.5	4.8	5.2
140       1.8       2.0       2.6       2.9       3.2       3.5       3.5       3.8       4.1       4.4       4.7         135       1.7       2.0       2.5       2.8       3.1       3.4       3.4       3.7       3.9       4.2       4.5         130       1.6       1.9       2.4       2.7       3.0       3.3       3.3       3.5       3.8       4.1       4.3         125       1.6       1.8       2.3       2.6       2.9       3.1       3.1       3.4       3.6       3.9       4.2         120       1.5       1.8       2.3       2.5       2.8       3.0       3.0       3.3       3.5       3.8       4.0         115       1.4       1.7       2.2       2.4       2.6       2.9       2.9       3.1       3.4       3.6       3.8         110       1.4       1.6       2.1       2.3       2.5       2.8       2.8       3.0       3.2       3.4       3.7         105       1.3       1.5       2.0       2.2       2.4       2.6       2.6       2.8       3.1       3.3       3.5         100       1.3       1	150	1.9	2.2	2.8	3. 1	3. 4	3.8	3.8	4. 1	4.4	4.7	5.0
135       1.7       2.0       2.5       2.8       3.1       3.4       3.4       3.7       3.9       4.2       4.5         130       1.6       1.9       2.4       2.7       3.0       3.3       3.5       3.8       4.1       4.3         125       1.6       1.8       2.3       2.6       2.9       3.1       3.1       3.4       3.6       3.9       4.2         120       1.5       1.8       2.3       2.5       2.8       3.0       3.0       3.3       3.5       3.8       4.0         115       1.4       1.7       2.2       2.4       2.6       2.9       2.9       3.1       3.4       3.6       3.8         110       1.4       1.6       2.1       2.3       2.5       2.8       2.8       3.0       3.2       3.4       3.6       3.8         105       1.3       1.5       2.0       2.2       2.4       2.6       2.9       2.9       3.1       3.4       3.6       3.8         100       1.3       1.5       2.0       2.2       2.4       2.6       2.8       3.0       3.2       3.4       3.7         105       1	145	1.8	2. 1	2.7	3. 0	3. 3	3.6	3.6	3, 9	4. 2	4.5	4.8
130     1.6     1.9     2.4     2.7     3.0     3.3     3.3     3.5     3.8     4.1     4.3       125     1.6     1.8     2.3     2.6     2.9     3.1     3.1     3.4     3.6     3.9     4.2       120     1.5     1.8     2.3     2.5     2.8     3.0     3.0     3.3     3.5     3.8     4.0       115     1.4     1.7     2.2     2.4     2.6     2.9     2.9     3.1     3.4     3.6     3.8       110     1.4     1.6     2.1     2.3     2.5     2.8     2.8     3.0     3.2     3.4     3.7       105     1.3     1.5     2.0     2.2     2.4     2.6     2.6     2.8     3.1     3.3     3.5       100     1.3     1.5     1.9     2.1     2.3     2.5     2.5     2.5     2.7     2.9     3.1     3.3	140	1.8	2.0	2.6	2, 9	3.2	3.5	3. 5	3.8	4. 1	4.4	4. 7
125         1.6         1.8         2.3         2.6         2.9         3.1         3.1         3.4         3.6         3.9         4.2           120         1.5         1.8         2.3         2.5         2.8         3.0         3.0         3.3         3.5         3.8         4.0           115         1.4         1.7         2.2         2.4         2.6         2.9         2.9         3.1         3.4         3.6         3.8           110         1.4         1.6         2.1         2.3         2.5         2.8         2.8         3.0         3.2         3.4         3.7           105         1.3         1.5         2.0         2.2         2.4         2.6         2.6         2.8         3.1         3.3         3.5           100         1.3         1.5         1.9         2.1         2.3         2.5         2.5         2.7         2.9         3.1         3.3	135	1.7	2.0	2.5	2.8	3. 1	3.4	3. 4	3.7	3. 9	4. 2	4. 5
120         1.5         1.8         2.3         2.5         2.8         3.0         3.0         3.3         3.5         3.8         4.0           115         1.4         1.7         2.2         2.4         2.6         2.9         2.9         3.1         3.4         3.6         3.8           110         1.4         1.6         2.1         2.3         2.5         2.8         2.8         3.0         3.2         3.4         3.7           105         1.3         1.5         2.0         2.2         2.4         2.6         2.6         2.8         3.1         3.3         3.5           100         1.3         1.5         1.9         2.1         2.3         2.5         2.5         2.7         2.9         3.1         3.3	130	1.6	1.9	2. 4	2. 7	3. 0	3. 3	3. 3	3.5	3.8	4. 1	4.3
115     1.4     1.7     2.2     2.4     2.6     2.9     2.9     3.1     3.4     3.6     3.8       110     1.4     1.6     2.1     2.3     2.5     2.8     2.8     3.0     3.2     3.4     3.7       105     1.3     1.5     2.0     2.2     2.4     2.6     2.6     2.8     3.1     3.3     3.5       100     1.3     1.5     1.9     2.1     2.3     2.5     2.5     2.7     2.9     3.1     3.3	125	1.6	1.8	2. 3	2.6	2. 9	3. 1	3. 1	3. 4	3.6	3. 9	4. 2
110         1.4         1.6         2.1         2.3         2.5         2.8         2.8         3.0         3.2         3.4         3.7           105         1.3         1.5         2.0         2.2         2.4         2.6         2.6         2.8         3.1         3.3         3.5           100         1.3         1.5         1.9         2.1         2.3         2.5         2.5         2.7         2.9         3.1         3.3	120	1. 5	1.8	2. 3	2. 5	2.8	3. 0	3. 0	3.3	3.5	3, 8	4.0
105         1.3         1.5         2.0         2.2         2.4         2.6         2.6         2.8         3.1         3.3         3.5           100         1.3         1.5         1.9         2.1         2.3         2.5         2.5         2.7         2.9         3.1         3.3	115	1.4	1.7	2. 2	2.4	2.6	2. 9	2.9	3. 1	3. 4	3.6	3.8
100     1.3     1.5     1.9     2.1     2.3     2.5     2.5     2.7     2.9     3.1     3.3	110	1.4	1.6	2. 1	2. 3	2. 5	2. 8	2.8	3.0	3. 2	3. 4	3. 7
	105	1.3	1.5	2.0	2. 2	2. 4	2. 6	2.6	2.8	3. 1	3. 3	3. 5
95 1.2 1.4 1.8 2.0 2.2 2.4 2.4 2.6 2.8 2.0 2.2	100	1.3	1.5	1. 9	2. 1	2. 3	2. 5	2. 5	2. 7	2. 9	3. 1	3. 3
2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2	95	1.2	1.4	1.8	2. 0	2. 2	2. 4	2. 4	2.6	2.8	3. 0	3. 2
90 1.1 1.3 1.7 1.9 2.1 2.3 2.3 2.4 2.6 2.8 3.0	90	1.1	1.3	1.7	1.9	2. 1	2. 3	2.3	2.4	2.6	2. 8	3. 0

由实测数据统计知,各转炉每班冶炼炉数如表 3.25:

表 3.25 各转炉冶炼炉数统计值

Table 3.25 Statistics value of metallurgy quantity

炉号	最小值	最大值	平均值
1	5	11	10 (9.5)
2	2	12	10 (9.7)
3	9	13	11 (10,8)

从量大冶炼炉数来说,由上表可知,单个转炉每班冶炼 11 炉,当钢包周转时间为 126.3 分钟、154.4 分钟,各需要 2.9、3.6 个周转钢包;则共需 8.7-10.8 个钢包周转。当钢包理想周转时间为 99.0、115.4 分钟、单个转炉每班冶炼炉数为 11 炉时,各需 2.3、2.7 个周转包,共 6.9-8.1 个,即

7-9 个。如每天生产炉数保持稳定且钢包周转按照优化后的周期计算 104.9 分、134.7 分,各需钢包 2.4-3.1 个,共 7.2-9.3 个,即 8-10 个。

理论上,若钢包周转时间为 99、115.4 分钟,则整个炼钢过程汉需 7-9 个周转钢包就可以满足生产的需要,当然这是理想情况,实际生产中钢包运输过程总有一些等待时间,应扣除生产中一些不定因素的影响和无法避免的等待时间。三炼钢转炉炼钢厂目前使用 9-12 个钢包,将钢包周转数目由 9-12 个减至 8-10 个是可以做到的。

# 3.4.3 钢包周转过程的深入分析

为深入分析钢包的周转过程,由前面的统计分析得出下表:

钢 种	周转时间(分)	理想时间(分)	相差时间(分)
Q235	126. 3	99	27.3
品种钢	154. 4	115.4	39

从总体上看,三炼钢厂目前的钢包周转调度的指导思想是确保满包钢水的等待时间最少,这一思想在一定程度上得以较好的贯彻。要加速钢包的周转过程,提高钢包的使用效率主要应从空包传搁过程,即钢水连铸浇毕到开始接钢这一过程的时间区间着手,尽量缩短钢包浇注完毕和修包完毕等待天车下钩时间,以及钢包等待出钢时间。

解决上述问题涉及到钢包整个周转过程牵扯的所有环节:钢包维修、转炉冶炼和连铸浇钢,特别是天车的作业等均必须协调配合。对钢包周转过程中无效占用天车时间较长的传搁过程,如钢包从精炼站到连铸机、从连铸机到维修站以及从维修站到转炉炉后钢包车等,均应加强管理,尽可能少占用天车工时,提高天车的作业率。

# 3.4.4 钢包运转时间优化后对温度制度的影响

钢包周转时间优化后,钢包在各工序的运转时间缩短,必然减小了钢水温降,各工序钢水目标温度也就降低。按前面分析温度制度的方法,可推算出各工序目标温度值如表 3.26-3.27 所示:

表 3.26 炼钢厂各工序温度目标值(Q235)

Table 3.26 Temperature aim value of steel-making process

项日	T液相线	T中间包	T 精炼后	T精炼前	T H (A)
反推计算值	1905-1520	1539-1550	1575-1586	1606-1617	1655-1666

表 3.27 炼钢厂各工序温度目标值(品种钢)

Table 3.27 Temperature aim value of steel-making process

钢 种	T 液相线	T中间包	T <sub>對台</sub>	T 精炼局	T Ham
45#	1484-1494	1514-1524	1536-1546	1543-1553	1616-1626
50#	1480-1490	1510-1520	1532-1542	1539-1549	1612-1622
55#	1471-1481	1505-1515	1527-1537	1531-1541	1607-1617
60#	1466-1476	1501-1511	1523-1533	1530-1540	1603-1613
65#_	1462-1472	1496-1506	1518-1528	1525-1535	1598-1608
70#	1462-1472	1492-1502	1514-1524	1521-1531	1594-1604
75#	1457-1467	1487-1497	1502-1512	1509-1519	1589-1699

将优化前后转炉出钢温度进行对比,结果如表 3.28-3.29 所示。

表 3.28 Q235 钢在各工序温度

Table 3.28 Each working procedure temperature (Q235)

项目	出钢温度	精炼前温度	精炼后温度	中间包温度	液相线温度
优化前 (℃)	1672-1683	1622-1633	1578-1589	1539-1550	1509-1520
优化后 (℃)	1655-1666	1606-1617	1575-1586	1539-1550	1509-1520

表 3.29 品种钢转炉出钢温度

Table 3.29 Breed steel temperature of converter tapping

钢 种	优化前(℃)	优化后(℃)
45#	1621-1631	1616-1626
50#	1617-1627	1612-1622
55#	1612-1622	1607-1617
60#	1608-1618	1603-1613
65#	1603-1613	1598-1608
70#	1599-1609	1594-1604
75#	1594-1604	1589-1599

由此可知:对于普碳钢,转炉出钢温度降低了17℃,品种钢则降低了5℃。

# 3.5 结论

- (1) 三炼钢厂生产工艺路线多,生产模式复杂,生产调度较为混乱,影响了工序间生产节奏的衔接、协调、匹配,不利于实现高效连铸的"高拉速、高生产率和高效益"。现简化其生产模式为三座转炉对三台连铸机,如有可能的话,还可进一步简化,实现转炉与铸机的一一对应:即单拿出一座转炉生产品种钢及其它特殊钢种,其余转炉只生产普碳钢,这样工艺路线只有 4 条,极大简化了生产调度,有利于发挥高拉速连铸机的生产能力,真正实现高效连铸。
- (2) 三炼钢厂连铸机的生产能力大于转炉,连铸机所需钢水供应不足,导致连浇炉数低、拉速低,无法实现高效连铸。
- (3) 在原、燃料供应充足的前提下,转冶炼周期缩短到 32 分钟(允许范围: 27-37 分钟)、40 分钟(允许范围: 36-44 分钟),可以初步与连铸机生产节奏匹配,并完全可达到其目标年产量。
- (4)根据理论计算,同时结合三炼钢实际生产情况,指定了适应高拉速连铸机生产的调度方案和温度制度。
- (5)由钢包周转时间的统计分析结果,计算出钢包周转数表明,目前 9-12 个钢包减至 8-10 个;加速钢包周转会带来了一系列经济效果。

#### 第四章 计算机辅助调度系统的建立

#### 4.1 系统的硬件、软件配置

#### 4.1.1 系统网络硬件方案

钢厂调度管理系统是一集中计算机技术、网络技术、数据库管理技术及信息管理应用技术的有机整体。系统集成的目的是以钢厂的总体建设目标和应用需求为依据,将有关的产品和技术完整的结合起来组成整体性能/价格比优良的系统运行环境。网络连接件采用 3COM 公司的 Switch1000 (100×12)、Intel Inbusiness 10/100M Fast Hub(10/100×8),网线采用双绞线和光纤。

计算机网络系统构成如图 4.1 所示。

#### 4.1.2 计算机配置

如图 4.1 所示,以一台高性能服务器作为厂调服务器,另两台服务器作为数据库和文件服务器;1、2、3 号转炉各一台客户机,1、2、3 号精炼站一台客户机,LF、VD 精炼站各一台客户机,四台连铸机各配置一台客户机。

其中厂调服务器是系统软件运行的核心,其网络操作系统是整个网络运行的基本保证:系统数据库安装在此服务器上,厂调服务器运用调度算法生成的生产调度指令通过网络系统发送到数据库;厂调服务器还起到监控各工序生产状态,生产调度计划的编制和下达,管理整个网络系统运行的作用。

各工序的客户机主要负责采集和显示各类相关工艺及操作信号,将所有数据发布到网上并接受厂调下达的调度指令,同时将一些不能自动采集的信号由人工输入实现。各服务器和客户机的性能如表 4.1 所示:

表 4.1 服务器和客户机配置表

Table 4.1 Configure table of serve and client

计算机名称	性能参数
厂调服务器(含数据、文件服务器)	Pentium450, 9. 0G, 256M RAM15
1、2、3 号转炉计算机	Celleron400, 6. OG, 64M RAM15
吹 氩 精炼 计算机	Celleron400, 6. OG, 64M RAM15
1、2、3、4 号连铸机	Celleron400, 6. OG, 64M RAM15

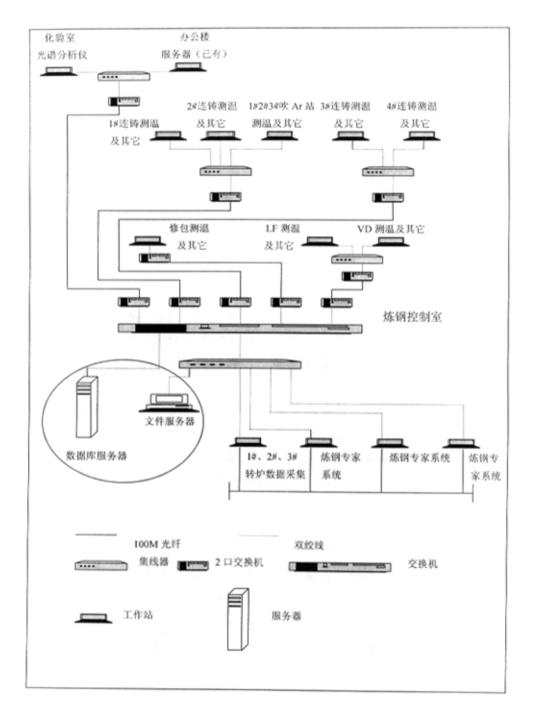


图 4.1 三炼钢计算机辅助调度系统网络拓扑图

Fig. 4.1 Network extend diagram of computer system of NO.3 steel plant

# 4.1.3 计算机软件配置

计算机网络系统采用 WindowsNT 作为主机服务器的操作系统,数据库采用 IBM 的 DB2 Universal Databaseserver 关系型数据库管理系统,开发工具选择 Inprise 公司 (Borland) 的 Delphi5.0,采用 Client/Server 结构编程,具体如下所示:

主机	开发工具	操作系统	通讯协议
服务器端	Delphi	WindowsNT	NetBEUI、TCP/IP、SPX/IPX
客户机端	Delphi	NT Workstation	NetBEUI、TCP/IP、SPX/IPX

对于数据库系统 DB2 Universal Databaseserver RDBMS, 的特点如下:

- · 高级的、互不相关的 SQL 语言扩展了新的查询功能,可以递归查询;
- 汇集了面向对象的一些特点,能存储复杂对象;
- ·有一套主动数据特性,包括约束和触发器,保护了数据完整性和商业规则的实施;
- ·在优化查询和改善物理存储方面,使用了更高级的技术,大大增强其性能;
- ·易用性:有强大的工具和工具支持来帮助管理 DB2 系统和创建应用程序;
- 管理性能强: 联机索引重组; 正反向扫描索引; 优化了星型连接;
- •强大的应用程序开发功能:动态 SQL 的安全性,支持多结果集的存储过程,对行类型的扩展支持:
- · 支持多站点更新, 易于实现大规模部署。 开发工具 Delphi5.0 的特点如下:
- 开发周期短;
- 理想的网络开发工具:
- 多层化数据库体系结构易于开发小而精巧的程序;
- 生成的应用程序可独立于开发平台;
- · 适用于 C/S 应用程序的快速开发,且开发过程简化;
- 易实现多媒体技术。

# 4.2 系统软件开发

# 4.2.1 系统设计原理

为建立首钢第三炼钢厂生产过程计算机辅助调度管理系统,要从实际应用的角度出发提出系统设计的原则,既考虑要如何满足目前应用,又要考虑如何适应将来的发展,进而与首钢总公司的信息管理系统有机地连接起来。设计原则如下:

### (1) 先进性

建立钢厂生产过程计算机辅助调度管理系统的目标和意义决定了系统 必须采用先进的技术、方法和设备,使系统既反映当今技术的先进水平, 又具有发展潜力,能够采纳未来的先进技术成果。在保证系统的生命周期, 设备、技术和方案的成熟性的同时,保证系统的顺利实施和稳定运行。

### (2) 可靠性和安全性

作为实时服务于钢厂的调度管理系统,可靠性和安全性极为重要。以应用系统而言,影响系统可靠性和稳定性的主要因素有两个,即系统平台(系统结构是否合理、设备是否可靠)和应用软件(设计是否合理、测试是否完备)。必须从体系结构、设备选型、软件设计以及厂商的后备支持和维护能力等多方面考虑,采用必要的技术措施,保证可靠性和安全性。

#### (3) 开放性

基于开放式系统应用体系结构,选择先进的应用软件开发平台。为了保证整个系统中不同厂商的各种设备能协同运行,且考虑到系统投资的长期效应,系统的设计与选型必须注重开放性,即构成系统的各产品必须符合国际标准和工业标准,注重各种产品之间的互换和协作性,以满足系统的可扩展性、可移植性和互操作性的要求。

#### (4) 实用性

从用户角度出发,注重系统的实用综合能力和总体性能。最重要的是必须具有实用的故障诊断和设备监控能力,便于现场人员使用及今后技术人员对系统的日常管理和维护。

#### (5)标准化

当今的任何系统均不是一个孤立的系统,它将与其它系统相联。系统的标准化工作是系统建设的重要一环,是实现网络互连、应用互操作、资源共享、信息共享、高效运行和科学管理的前提,所选择的软硬件及其它设备必须遵循一定的国际标准。本系统将在三方面着重标准化设计:

- 设备选型标准化
- 信息开发标准化

- 系统开发规范化
- (6) 规范化和模块化

在系统设计时,应考虑技术实现的合理性和业务划分的范围,注意将业务流程和组织机构分离,使系统不致因业务部门的组织结构变化而做很大修改,这要求在进行软件开发时,应用程度必须规范化、模快化、可复用和可产生式。

### (7) 实时性

由于程序的执行不仅有先后次序而且有时间限制关系,故本系统为一个与实时处理密切相关的计算机系统,需要在规定的时间内对外部发生的异步随机事件给予响应、处理。实时性具有的特点为:

- 系统构成可以有多个处理机单元:
- 有多个处理进程参与系统功能的执行、动作:
- 在系统处理过程中,不存在两个状态相同的进程;
- 进程之间的通讯采用消息传递方式实现,即非共享存储器通讯;
- · 系统范围内的控制提供了进程之间的协作与运行管理:
- •程序设计语言需要有实时限制的表达机制;
- •程序执行时需要对时间限制条件的维护处理。

#### (8) 协调性

基于炼钢厂流程的特点,该系统中各个工序点的数据和指令操作存在相互协调和约束关系,这是与炼钢厂的流程特点相关的,这些约束表现为时间、温度、路径和能力等方面,而协调表现在不同工序点之间的功能、操作顺序等方面。比如要使钢包周转数据在各个工序点上实现正确格式的插入,具体运转时可采用两层策略,即为上层的控制核心部分和下层的动态数据的模型控制策略。

按照上述原则,确定系统设计思想如下:

- 采用技术成熟的 Client/Server 网络结构,各种生产数据、成本数据等储存在服务器的数据库系统,体现数据的一体化、整体性、完整性可靠性,客户机运行各种信息画面,直观反映现场生产系统的实时状况;
- ·对系统采用的数据应满足严格的实时性、在线性和响应快的要求, 形成具有这些特点的客户机群,即有其适合的局域子网,便于管理和保证 数据的各种要求。同样,对无实时性和响应快要求的客户端功能分为另一 局域子网,彼此之间关系不多或发生关系不频繁;

·针对有远程访问的节点,尽量不采用 Modem,而应用远程访问服务器为远程节点提供信息服务工厂数据访问。

基于上述原则和设计思想,下面提出最终建立的系统的设计方案。

# 4.2.2 系统软件设计方案

首钢第三炼钢厂调度系统采用计算机网络通讯、数据库和Client/Server体系结构的技术,以及钢铁制造流程整体优化和多维物流管制理论,对炼钢到连铸生产过程的作业状态、物流状态进行实时监控和管理,编制整个流程的生产调度作业计划,从而实现对生产过程的合理调控。该系统的功能目标为:

- •实现炼钢、精炼、连铸和钢包周转等各工序/环节的生产状况的实时 监控;
  - •实现上述各工序实际生产数据的实时收集和相应数据库管理;
- ·针对首钢第三炼钢厂炼钢一连铸的炉机匹配模式,产生计算机模拟调度方案并可对调度方案进行修正;
  - 实现对钢包周转的计算机管理:
  - 提供标准文件服务管理功能:
  - 提供软件的在线帮助文档。

基于上述功能目标要求,在满足辅助调度系统运行的基础数据上,采集现场各工序点所涉及的设备和活动数据,生产调度数据主要分五类:仪表数据(温度、重量、流量等)、电气数据(各类操作信号等)、成份数据(钢水、铁水)、时间数据(各操作起止时刻等)及其它需提供的数据。

# 4.2.3 软件的体系结构

采用计算机网络通讯、数据库和 Client /Server 体系结构等技术进行软件开发,在网络操作系统和数据库上集成多种应用软件和接口模块,包括 PLC 网络接口模块、生产数据处理和存储模块、数据整合和物流平衡模块、生产调度计划产生和调整模块、生产过程信息通讯模块等方面。

# 4.2.4 数据库设计

通过对首钢三炼厂系统数据的分析,提出了数据库表结构设计思想。

按数据的可读写性与变化情况,将数据分为静态与动态两种。静态数据包括:流程数据、设备数据、工艺制度数据、钢种数据、网络接口数据、

目标温度数据、目标成份数据、维护数据和成本数据;动态数据包括:调度计划数据、调度实际数据、模型数据、温度数据、物流数据、设备动态数据、规则数据、控制过程数据、动态跟踪数据、成份数据、动态属性数据。将以上数据分类应用于各个工序点,可建立以下数据表:

- 炼钢工序:操作过程时间,过程温度、成份,设备状态、物流、能耗,物耗、流程,计划合同,规则,温度仿真;
  - •精炼工序数据表同转炉工序;
- ·连铸工序:目标成份、目标温度、中间包状态、使用过程、钢包状态、使用过程、结晶器、二冷段、水口、正常铸坯、异常铸坯、设备维护、物流、能耗、物耗、流程、计划合同、规则、温度仿真、调度;

各工序数据表的关系见图 4.2-4.3。

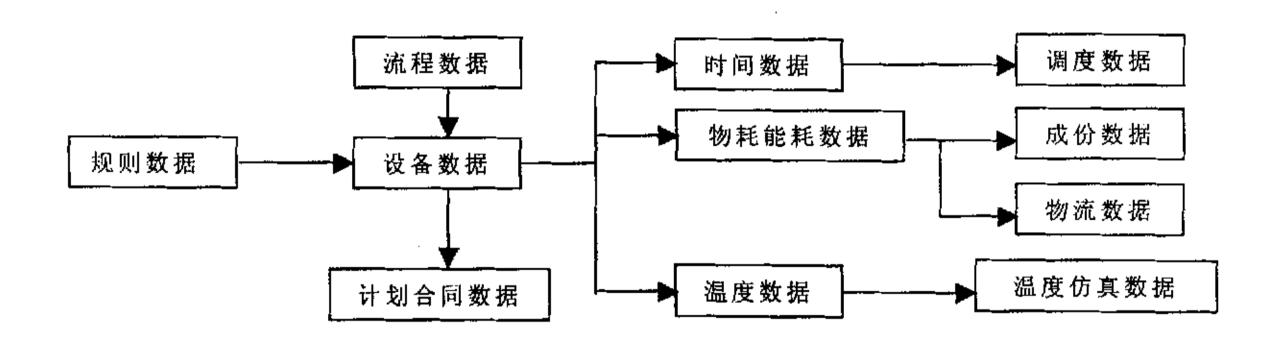


图 4.2 转炉和精炼工序数据表关系

Fig. 4.2 The relation between converter date and purity date

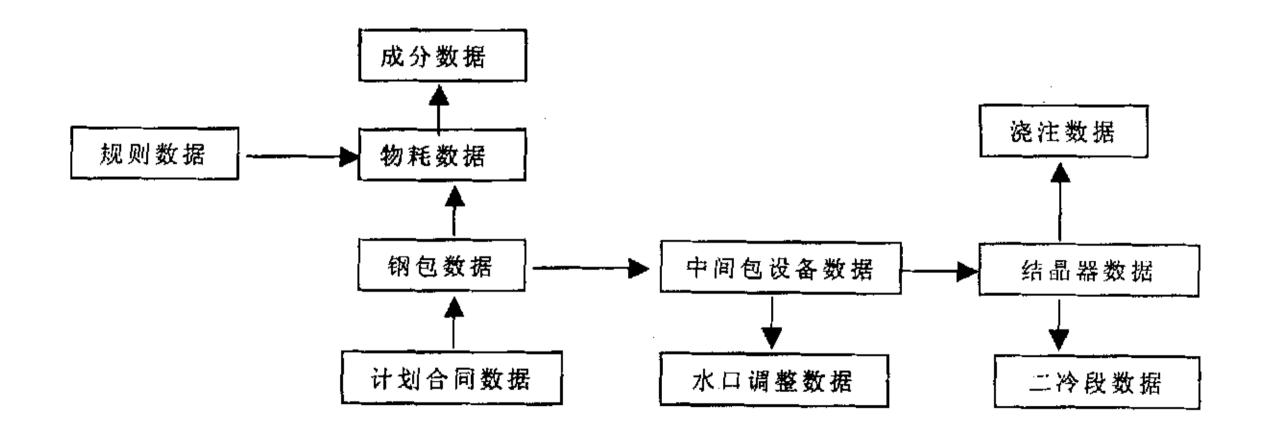


图 4.3 连铸工序数据表关系

Fig. 4.3 The relation of casting work procedure date

### 4.2.4.2 视图及触发器

视图反映了表的局部(全部)内容,可为用户提供一个查询"窗口",有助于用户灵活地查看数据,简化了对表中数据的操作。同时限制了敏感数据的存取,在一定程度上也保证了数据的安全性。

本数据库所含视图主要包括:

- · 转炉主画面、精炼主画面、LF-VD 主画面信息、铸机主画面信息:
- 合金料及辅料(转炉)、金属料(转炉)信息、精炼辅料;
- ·转炉实际信息、精炼实际信息、LF-VD实际信息、铸机实际信息;
- 钢包信息、钢种及炉次号信息、中间包信息、钢包运行实际信息。

触发器是对指定的表执行删除、插入或更新操作时执行的一组定义操作,它有助于支持商业规则;另外,利用触发器可以限制用户对数据进行的某些操作、实现数据库内容的自动更新,从而保证数据的完整性、一致性和合法性。

### 解发器主要包括:

- 状态表中炉次号的更新(包括转炉、精炼、连铸等工位);
- •状态表中状态值的更新(包括转炉、精炼、连铸、热修包等工位);
- •钢包运行表的数据插入(包括转炉、精炼、连铸等工位);
- •操作信息数据插入(包括转炉、精炼、连铸、热修包等工位)。

# 4.2.5 软件模块设计

在客户端采用 Delphi5.0 开发时,主要模块如下:

# 4.2.5.1 底层数据的收集模块

首钢第三炼钢厂的生产过程实时数据由 PLC 采集并直接存储在数据库, PLC 数据接口模块必须保证数据采集的准确性和实时性;

## 网络数据线

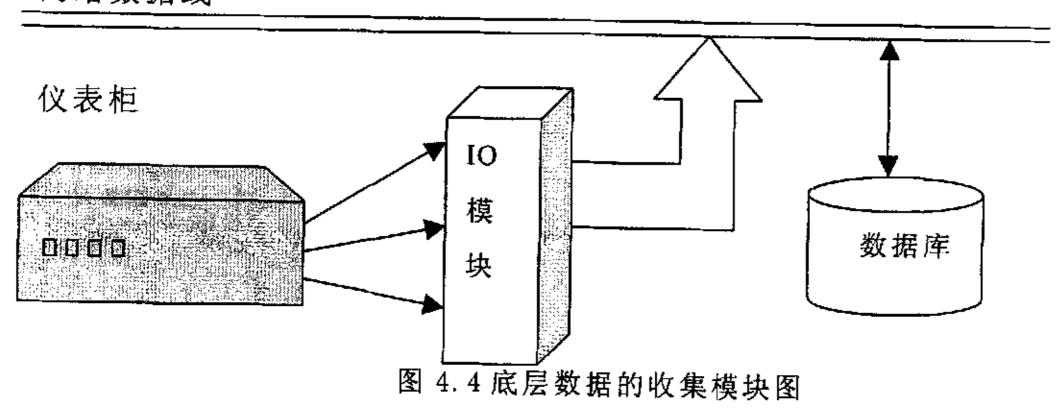


Fig. 4. 4 Module diagram of bottom date collecting

### 4.2.5.2 调度计划生成模块

调度计划的生成过程为:由厂调将月生产计划(钢种、冶炼炉数)分解至班组,并安排组织生产,形成具体的、详细的班生产计划。

生产计划产生示意见图 4.5

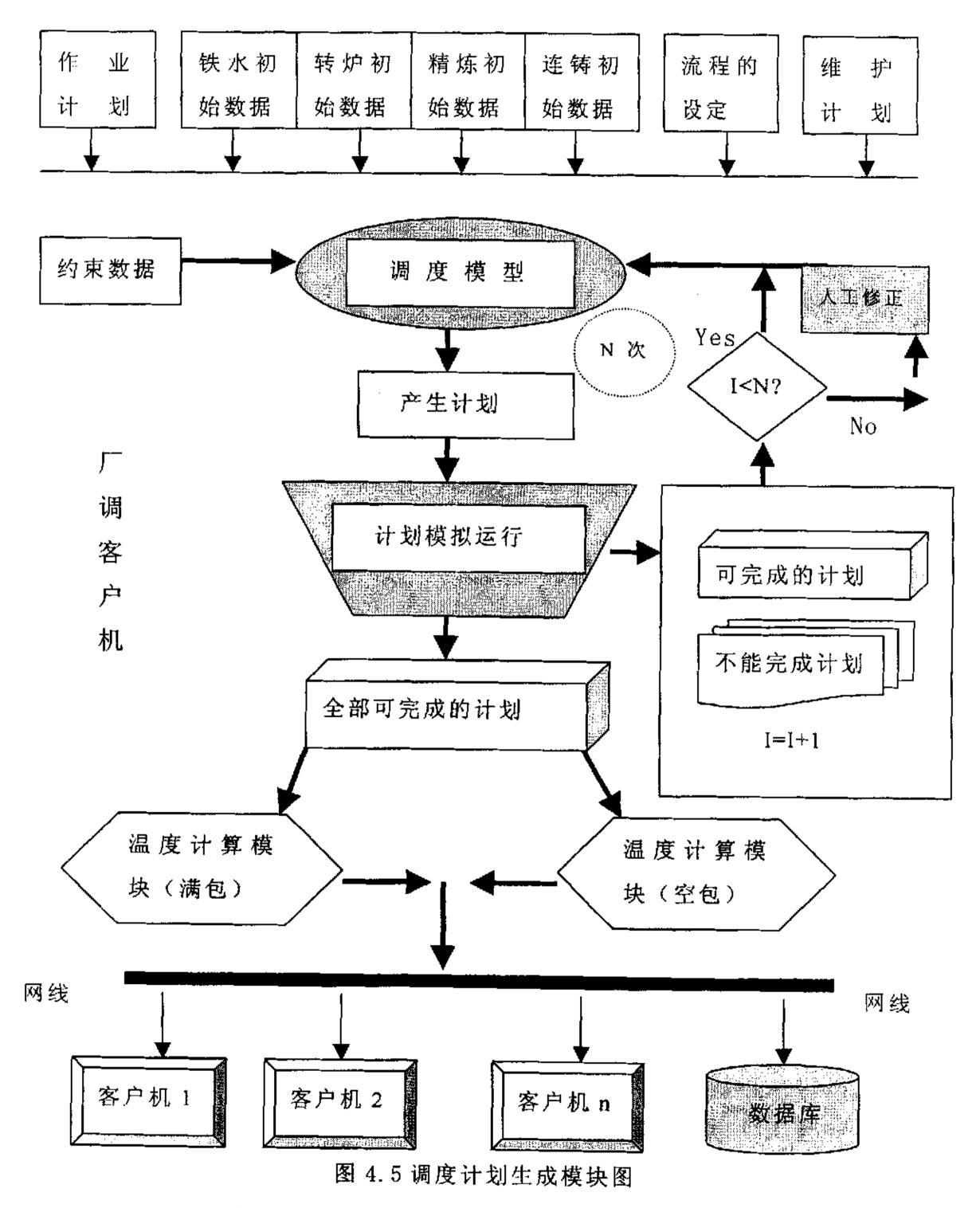


Fig. 4.5 Module diagram of scheme-making

生产调度模型分解生产作业计划的工作指令,根据一定的原则和算法排定出理想调度计划,将每班(天)的各个时刻的转炉、吹氩站、LF-VD精炼站、连铸机的设备状态、维修计划等初始信息依次作为系统的设定值或手动操作进行组织生产的依据,完成生产监控、运输控制、设备控制及实时收集生产数据。在此基础上,对炼钢一连铸计划进行实时处理,及时采取补救措施,尽力保证原调度计划的顺利实施,一旦与原计划的偏差值超过规定范围,则需刷新余下的所有生产计划,再次产生当前条件下最为合理的调度计划,以保证整个炼钢一连铸车间生产的顺行。

图 4.5 描述了调度模块排定生产计划的几个步骤:

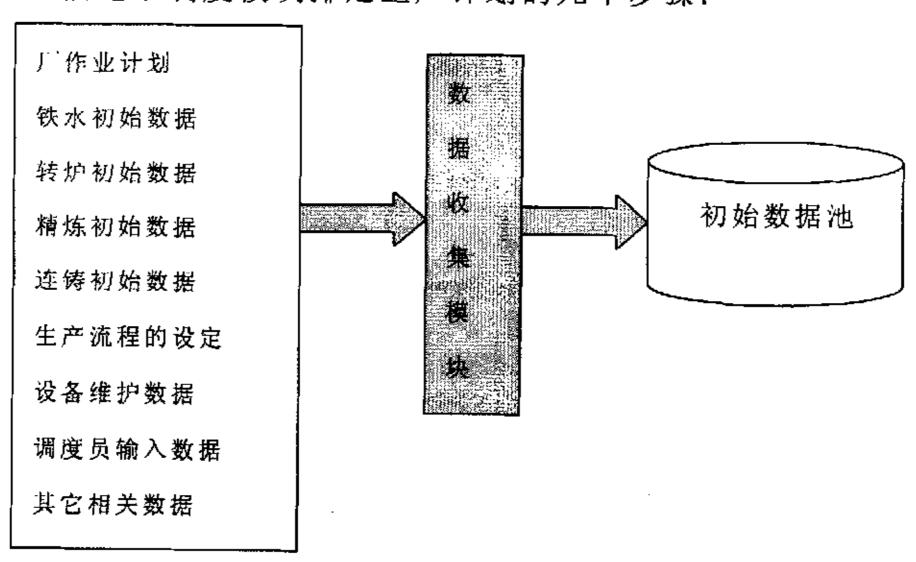


图 4.6 数据收集模块的入口和出口参数

Fig. 4.6 Collecting module of entry and export parameter date ①数据收集 (Step 1)

此过程用于收集厂作业计划、铁水初始数据、转炉初始数据、精炼初始数据、连铸初始数据、生产流程的选择、各设备维护数据等基本数据, 其中作业计划主要包括钢种、相应炉数和预设的工艺路线。各个工序初始 数据主要为设备状态、检修计划等相关数据。

此步的入口数据部分来源于上一班的实际生产参数,部分来源一调度 员人工输入。将收集完毕数据汇总送入调度模块,如图 4.6 所示。

# ②调度模块的运行(Step 2)

调度模块的入口参数分为两种情况:其一为数据收集模块已收集的数据和一些约束数据(如:各个工序流量控制与约束)进入到调度模块;其二为模拟运行不能通过的生产调度计划重新进入调度模块再次产生。此模

块的输出数据为初步的调度计划。

### ③计划模拟运行(Step 3)

此模块的功能为模拟运行初步的调度计划。入口数据为产生的初始计划,出口数据为可完成的计划和未完成的计划。结果分成两种情况:第一种情况,计划模拟全部通过,则进入下一模块;第二种情况,有不能完成的计划,则要返回调度模块重新计算。

### ④温度模块的挂接(Step 4)

当产生的调度计划从时间上满足最优后,温度模型将温度模块加入,包括:满包温度模型和空包温度模型。根据计划编排的时间制度,计算各个工位的目标温度。形成比较完整的调度计划表。温度模块中,温度计算公式如下:

## (1)满包钢水传搁过程中的温度计算公式

钢水从出钢到浇注过程中,温度不断降低,影响因素较多,温度变化极为复杂。本调度系统中挂接的温度模块较为简单,采用的是分段函数。 其函数单元为:

$$\triangle T = K \times t$$
 (4.1)

式中:  $\triangle$ T——该过程的温降值, ♡;

K——过程温降速率 ℃/min:

t——过程时间, min

则满包钢水运输过程中的计算公式为:

$$T=T_{\text{th}} - K1 \cdot t1 - K2 \cdot t2 - K3 \cdot t3 - K4 \cdot t4$$
 (4.2)

式中:

- t1——出钢至钢包到达精炼站运输时间, min;
- t2——精炼处理时间, min:
- t3——精炼完毕至到达连铸平台运输时间, min;
- t4——连铸平台等待浇注时间, min;
- K1——出钢至钢包到达精炼站温降, ℃/min;
- K2——精炼过程温降, ℃/min:
- K3——精炼完毕至到达连铸平台温降, ℃/min;
- K4——连铸平台等待浇注温降, ℃/min
- 注: 普碳钢/品种钢温降速率不同
- (2) 空包温度计算公式:

T 空包温度=T 蛋白温度-K1 •t1-K2 •t2-K3 •t3

(4.3)

式中:

- Т № 0 温度 —— 出钢前钢包温度, ℃
- Тжыш度 ——钢包浇毕温度, ℃
- K1——钢包修理过程中平均温降速率, ℃/min:
- K2——钢包烘烤过程中平均升温速率 ℃/min;
- K3——钢包烘烤完毕等待接钢的温降速率, ℃/min;
- tl--钢包从回转台返回的运输时间和修理时间, min;
- t2---钢包烘烤时间, min:
- t3——钢包烘烤完毕等待接钢时间, min:
- ⑤数据发送(Step 5)

当所有的调度计划数据准备好以后,此模块将合格的调度计划由厂调计算机全部送上网,存入数据库,并下发到各个客户机。

⑥调度模块和计划模拟运行模块的工作过程:

调度模块是作业计划产生过程中非常重要的一个模块,其运行示意图见图 4.7,执行分以下几步:

- 接收初始数据
- 分时计算
- 生产计划在时间段上的分解

详细步骤如下:

- (1)接收初始数据:将各个工序的初始数据、检修计划、约束数据、流量控制等数据汇总后,存储到一临时数据库中,为下一步作准备。
- (2) 分时计算:分时计算就是将每个设备工作时间分成非生产时间(如:设备检修、维护时间)和用于生产的时间,如图 4.8(a) 所示:

此图说明:每班 8 小时的工作总时间划分为非生产时间段(如: 计划检修时间或设备维护时间)和生产时间段(如图可利用时间段 I 和可利用时间段 II )。这种分法是科学的、合理的,在于计算机在安排计划过程中将非生产时间剔除,考虑的问题更符合实际情况。如设备检修计划(属于非生产活动)的时间长短和在每班中具体安排的位置应综合考虑,既要使该设备很好的完成检修任务,又要使本班的产量最大。通常分时有多种方法,可以利用计算机快速、准确、全面的比较、分析、判断出最佳解,最佳时间段的分法。划分出的时间段的数学描述如下:

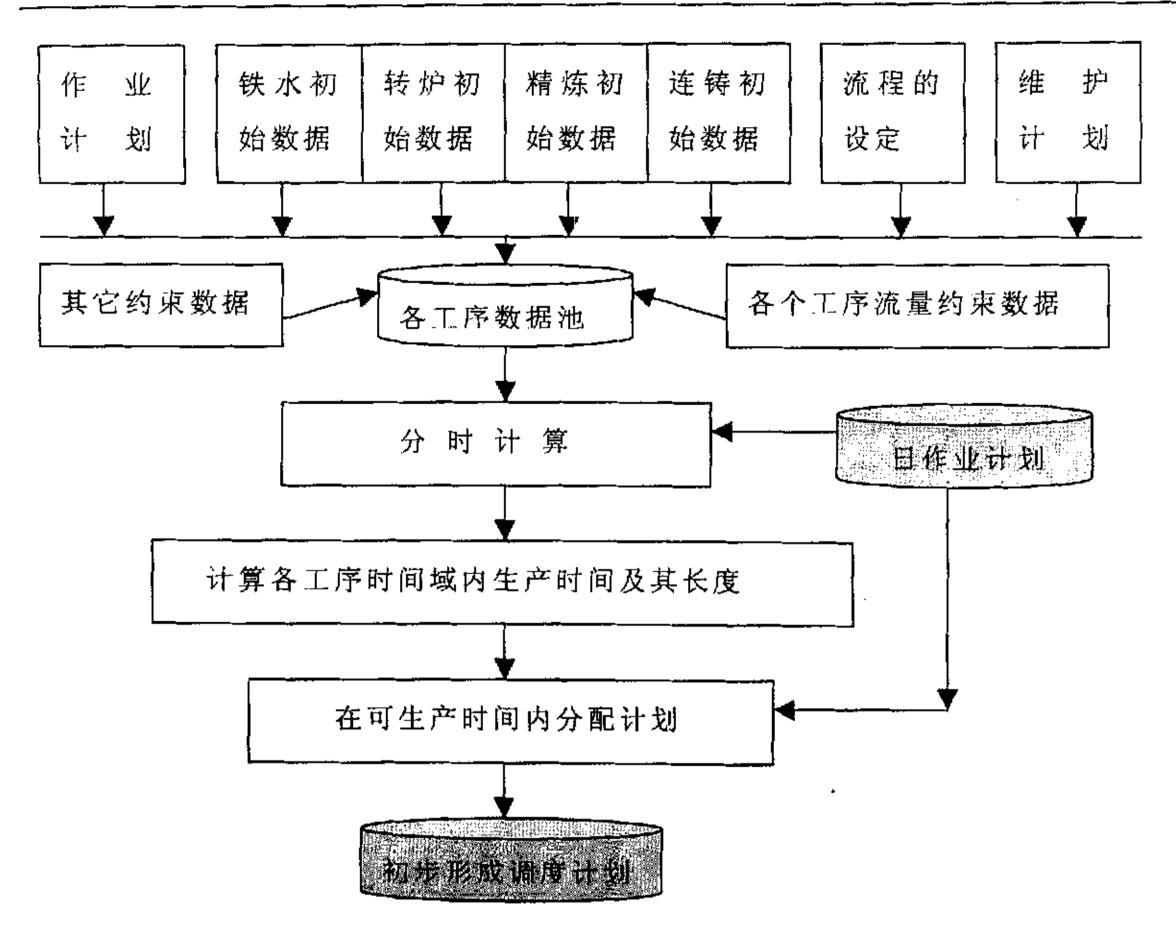


图 4.7 调度模块运行示意图

Fig. 4.7 Running sketch map of scheme module

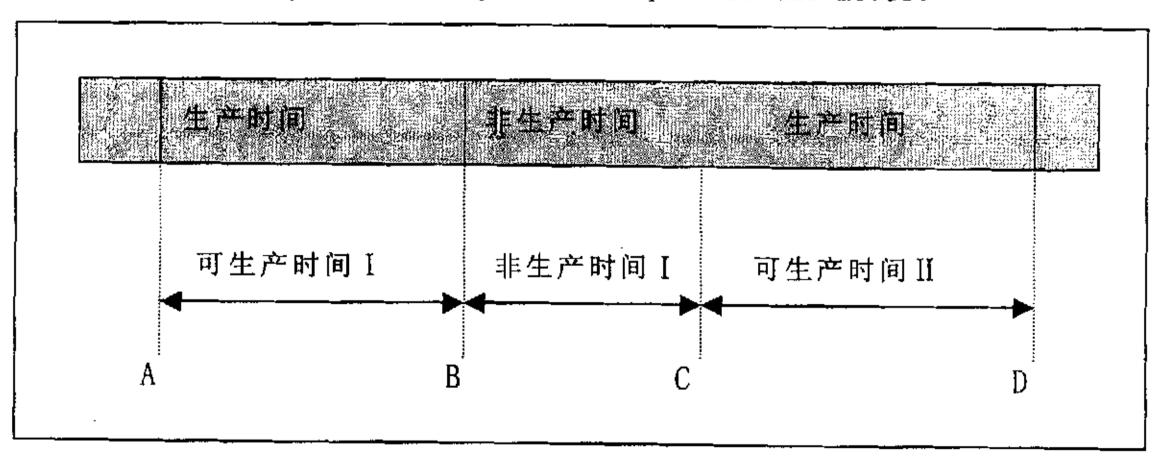


图 4.8(a) 某工序分时示意图

Fig. 4.8 (a) Sketch map of working procedure time-sharing (3) 可利用时间段 I 的起止时间点表示为[A,B],

其时间域表示为
$$\begin{bmatrix} t_{SE}^{w_1} = B - A \\ [t_S' - t_E'] = [A, B] \end{bmatrix}$$

(4) 非生产时间的起止时间点表示为[B,C],

其时间域表示为
$$\begin{bmatrix} t_{SE}^{N1} = C - D \\ [t_{S}^{r} - t_{E}^{r}] = [C, D] \end{bmatrix}$$

(5) 可利用时间段 II 的起止时间点表示为 [C,D],

其时间域表示为
$$\begin{bmatrix} t_{SE}^{w2} = D - C \\ [t_{S}^{r} - t_{E}^{r}] = [C, D] \end{bmatrix}$$

某工序的工艺操作(处理)时间在相应的时间域内应具有合理的"位置",而且这个"位置"将直接影响整个制造流程的调控或优化,即时间位的概念。计算机划分出的时间域的长短、合理位置是至关重要的。如:同样是非生产时间可以放在如图 4.8a 的位置,也可以处在图 4.8b 的位置,计算机程序根据收集的初始数据、条件数据和约束数据,综合比较确定出最佳的参数值。

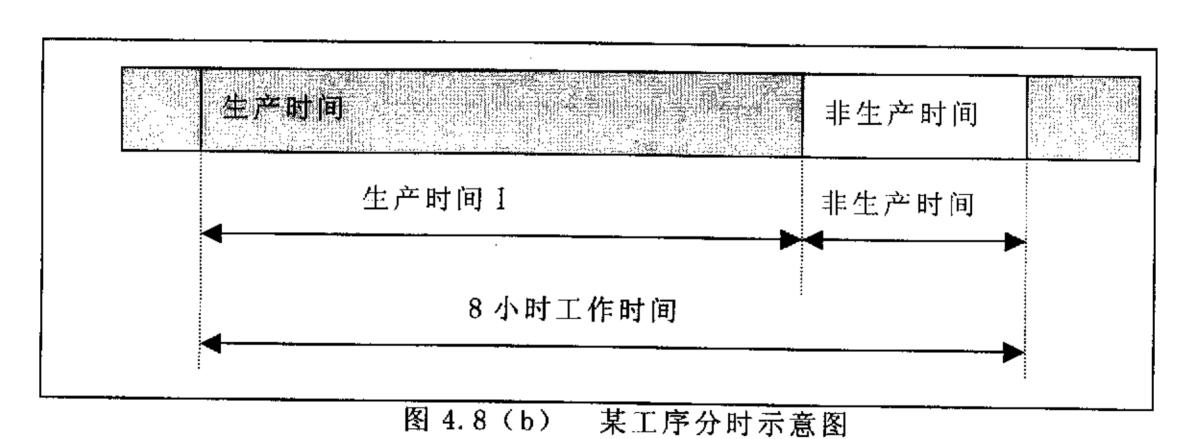


Fig. 4.8 (b) Sketch map of working procedure time-sharing

总之,此模块的主要功能是划分出某工序合理的时间段大小、位置和 起止时刻。

(6) 生产计划在时间段上的分解:当时间段的数量、大小分好后,要求将日作业计划合理的、最优的分配到每一个可用于生产的时间段上。所以此模块把日生产计划在时间段上进行最优分解,产生初步生产调度计划,准备进入下一模块模拟运行。

### (7) 模拟运行模块

当初步的调度计划形成以后(计划产生顺序:厂计划→连铸工序计划 →精炼工序生产计划→转炉工序生产计划),为了确保能真正在实际生产 中运行,需要模拟运行(模拟运行顺序为:转炉→精炼→连铸),只有当 所有的计划全部通过,这批调度计划才可以提交给数据库发送到各个站 点;如果有的计划不能完成,就需要返回重新分时计算,重新产生调度计划,而后再次模拟。其执行过程见图 4.9(以连铸为例)模块执行过程分两大步。

### (8) 计划运行:

此模块的入口数据为上一班的工作信息(如:已经浇注时间、正在浇注钢种、中间包寿命、正在浇注的铸坯断面等),上几个模块划分出的时间域和初始调度计划等一组数据集,调度计划进行现场模拟。

### (9) 结果判断:

在模块运行中将可完成计划的标志位置"1",否则置"0"计数器加1。如计数据器的值等于0时,则调度计划全部通过:当计数器的值大于等于1时,数据要返回,重新分时计算。重复N次后仍然不能通过,说明生产计划设定不合理,要求调度员重新设定参数,再次运行。

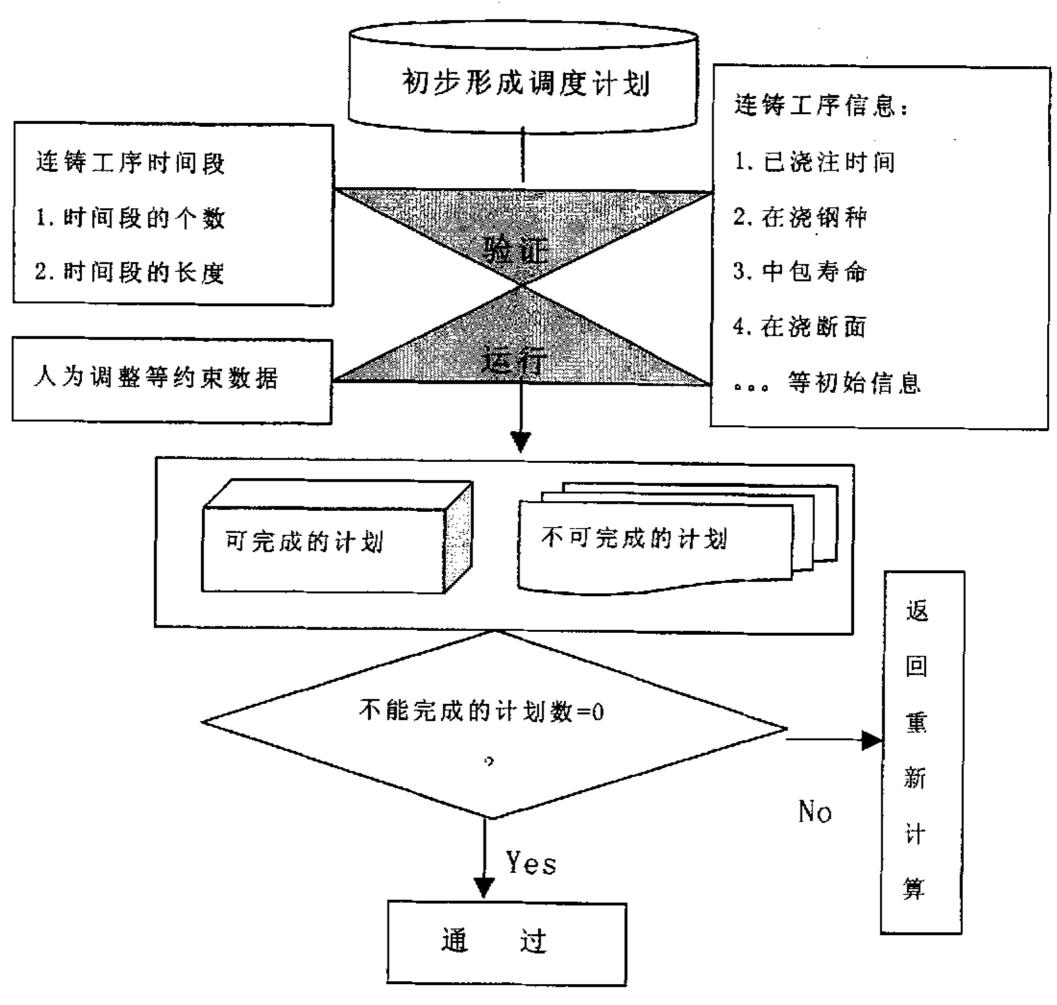


图 4.9 计划模拟运行模块过程示意图(以连铸为例)

Fig. 4.9 Sketch map of scheme simulate running module

#### 4.2.5.3 调度系统实时性实现模块

调度系统的最基本要求是实时性,为实现此目的,各客户机定时扫描生产设备的工作状态和生产数据,实时地显示在终端。由 PLC 数据采集模块收集 1、2、3 号转炉的当前工作状态数据和 1、2、3 号吹氩站及 LF、VD精炼的当前工作状态数据;由 PLC 收集 1、2、3、4 号连铸机的工作状态数据。这些数据进入数据库后,选取每一设备的工作状态和炉次号等信息存放于状态视图中。客户机定时读取记录,实时地反映当前的工作状态。并且可保证调度计划的实时调整,如图 4.10。

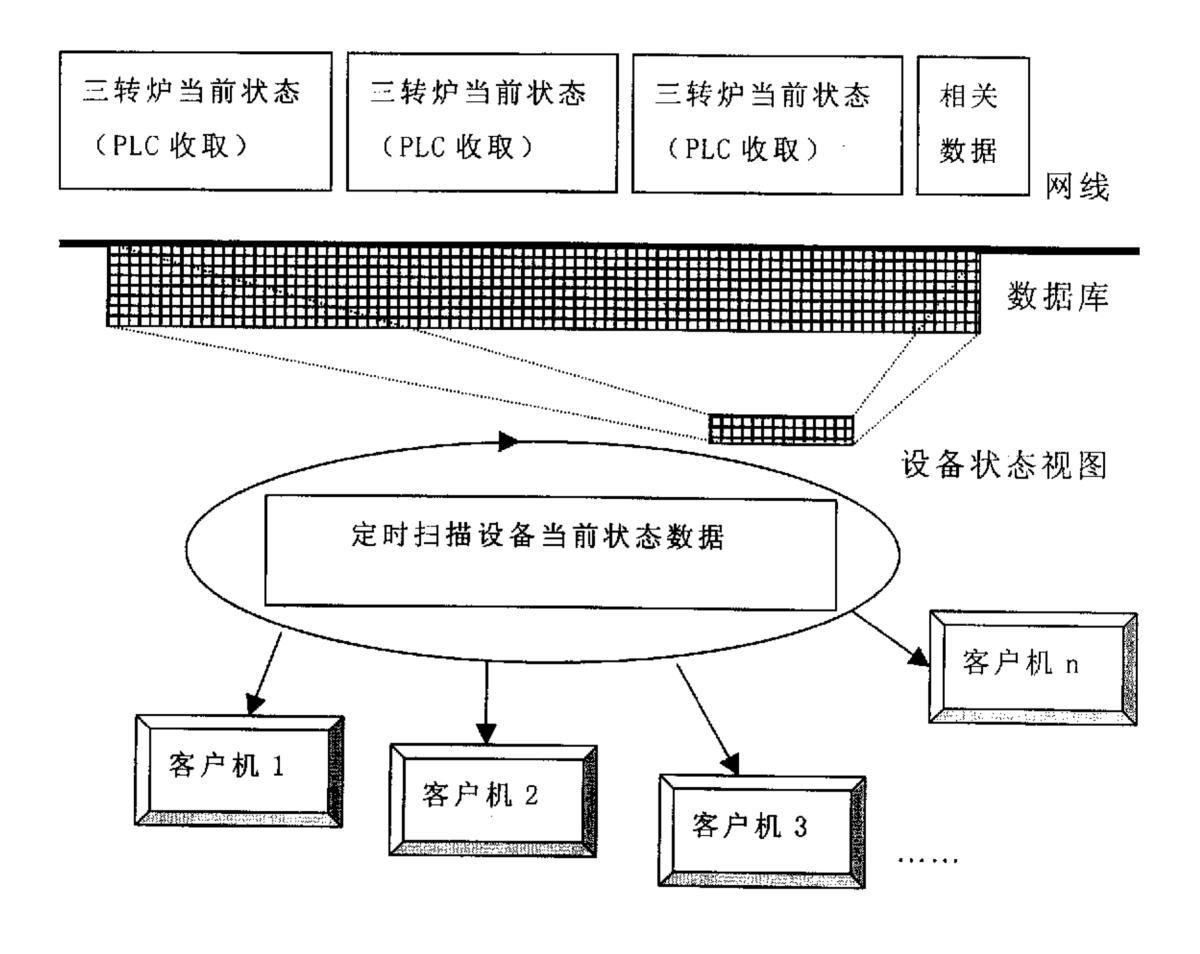


图 4.10 调度系统实时性模块

Fig. 4.10 Real time module of scheme system

### 4.2.5.4 调度系统实时调整模块

造成调度计划需实时调整的原因总体上分为三大类:延迟、提前、故障;而调度计划的调整,关键是要有调整余量,即足够的缓冲时间。一个

系统要进行实时调整,必须根据当前各设备的状态来进行。

### (1) 铸机浇注时间延迟

三炼钢转炉钢厂采用新的生产模式后,两座转炉给 2、3 号高拉速铸机供应普碳钢钢水,另外一转炉给 4 号铸机供应品种钢钢水。当铸机的浇注时间延长后,就需要对系统运行进行调整,其过程见图 4.11:

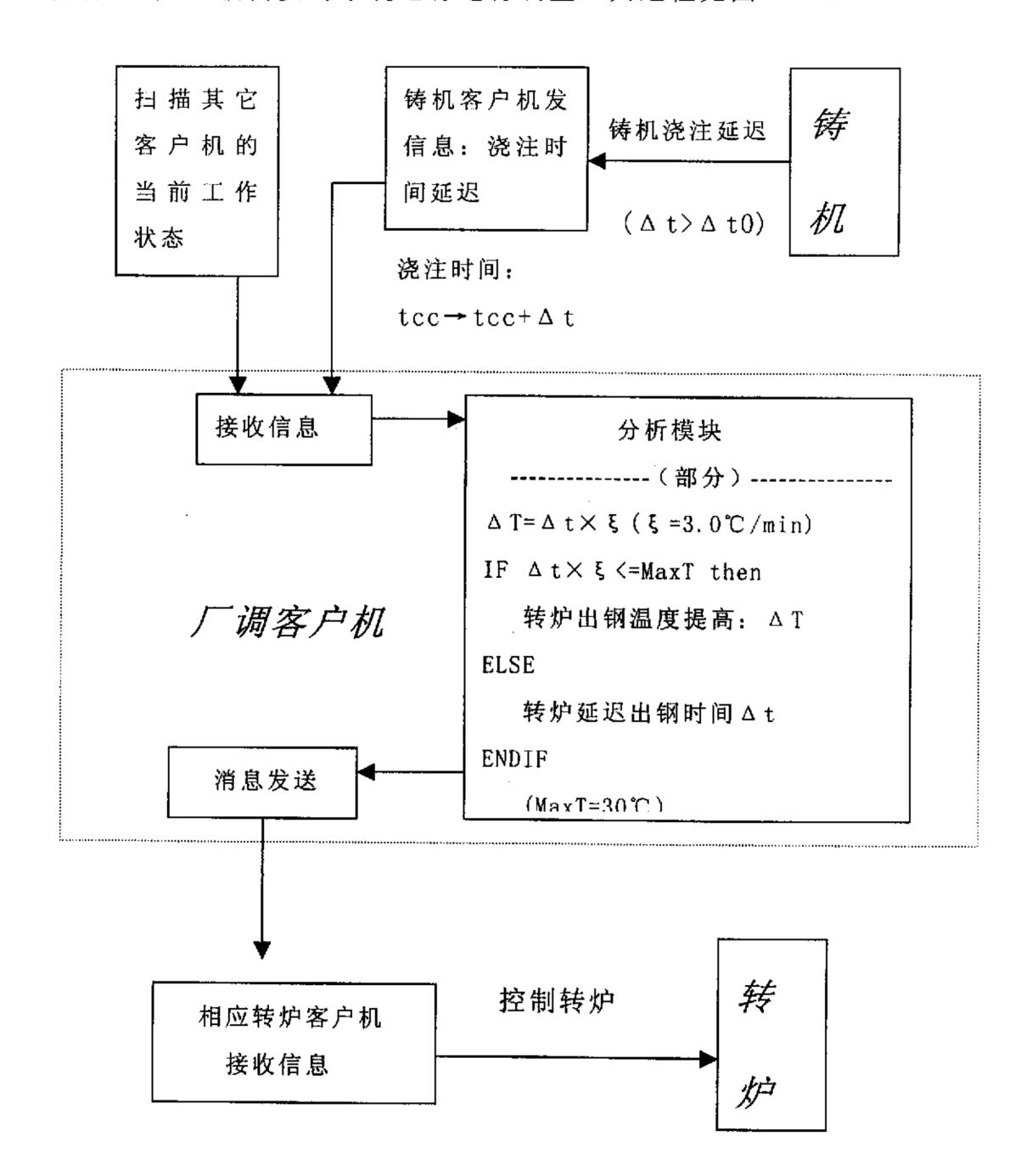


图 4.11 调度系统调整模块 (铸机浇注时间延迟)

Fig. 4.11 Adjustment module of scheme system (casting delay) 上图中①: Δt0 为铸机浇注周期允许的波动范围(±2min);②: tcc 为连铸机浇注周期,min; ③:  $\Delta$  t 浇注周期延迟时间,min; ④:  $\xi$  为满包钢水温降速率,3.0  $\mathbb{C}/min$ ; ⑤:  $\Delta$  T: 钢水在  $\Delta$  t 时间内的温降  $\mathbb{C}$ ; ⑥:  $\Delta$  MaxT: 转炉允许提高的最大出钢温度,30  $\mathbb{C}$  。

### (2) 转炉延迟出钢

由于某些原因,转炉不能在预定时间内出钢,冶炼时间延长,处理此类过程见图 4.12:

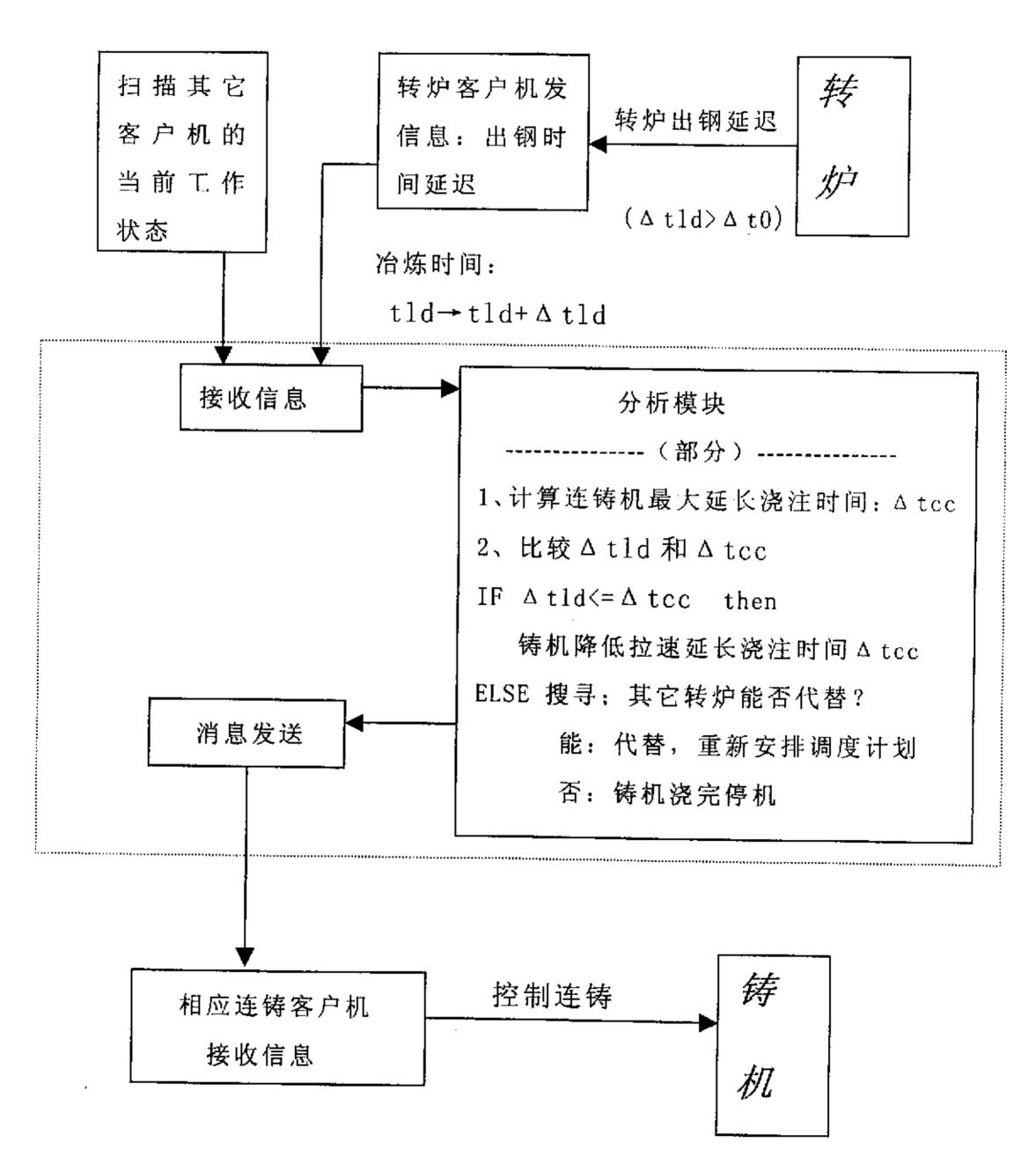


图 4.12 调度系统调整模块 (转炉延迟出钢)

Fig. 4.12 Adjustment module of scheme system (tapping delay)

上图中①:  $\Delta$  t0 为转炉冶炼周期允许的波动范围(±5min); ②: tld 为转炉冶炼周期, 31min; ③: tcc 为铸机的浇注周期, min; ④:  $\Delta$  tld 转炉冶炼周期延迟时间, min。

#### (3) 连铸和转炉周期缩短

当连铸机浇钢较为顺利时,周期可能缩短一些,但是为了保证计划的稳定和有序,尽量保持连铸机在规定的时间范围内完成浇注任务。如果出现连铸周期缩短,厂调计算机的分析处理模块需变化见图 4.13:

### 分析模块 (连铸机浇注提前)

-----(部分)-----

- 3. 连铸机浇注提前时间: △ tcc
- 2. 查询转炉生产情况,确定能够提前的最大时间出钢: Δ tld
- 3. 比较 Δ tcc 和 Δ tld

IF  $\Delta \text{ tcc} < = \Delta \text{ tld}$  Then

铸机拉速保持不变,转炉提前 A tld 出钢

重新刷新此炉以下的所有调度计划,发送消息。

ELSE

连铸机降低拉速,保证在规定时间内浇注。 发送信息。

**ENDIF** 

图 4.13 厂调计算机分析处理连铸周期缩短模块

Fig. 4.13 Analysis module of casting cycle shorten

同样,为了连铸机的稳定浇注,转炉的冶炼周期也尽量规定范围内波动。

### (4) 连铸机和转炉故障

事故模块的处理原则。每当发生事故后,要求向计算机输入发生事故的钢水(钢包)的熔炼号、工序代码、事故的开始时间、预计处理时间和事故描述等,此客户机就以消息的形式发送出去。当厂调计算机接收到信息后,扫描其它设备的当前工作状态,收集数据,进行处理。

①三炼钢转炉炼钢厂采用新的模式生产,模式较为简单,处理方便。 如当连铸机发生漏钢等事故是,铸机要停浇,处理方法是将对应转炉冶炼 的钢水由另外一台铸机浇完或回炉,停止下一炉冶炼。连铸客户机发送消息到厂调客户机,厂调客户机扫描各个设备当前工作状态,重新刷新调度计划。

②转炉故障处理方法: 当转炉发生故障,不能冶炼时,相应的铸机要停止浇注,可安排设备检修。当转炉发生故障,不能冶炼时,此消息发送到厂调时,厂调客户机分析模块处理方法是将4号铸机拉速降低,或者根据具体情况将4号铸机停机,该转炉安排检修。

### 4.3 系统软件运行界面

软件的运行画面见附录 B 图 1-12

### 4.4 研究展望

本系统软件有待下一步工作进行完善之处,主要包括以下两个模型的建立:

### • 钢包运转决策支持模型

钢包对于炼钢生产整个过程的重要性不言而喻,建立一套合理有效的钢包运转模型(见图 4.14)对于实现高效连铸意义重大。本辅助生产调度系统在线运行后,各工序生产数据(主要是钢包)均可随时获取,然后采用本文第三章中"钢包运转解析与优化"部分的分析方式,建立钢包运转决策支持模型。该模型可实现以下功能:查看使用中的钢包信息(满包钢水温度状况、空包烘烤状况、包壁材质、使用包龄,周转时间等),待用钢包信息和修砌钢包信息等。在此基础上,对采集到的数据(转炉生产状况、连铸钢水温度要求等)进行处理,根据数学公式计算出合理的钢包周转个数、周转时间(瞬时值,根据实际生产刷新)等提供给决策者(总调度室),充分利用生产设备,提高生产效率。

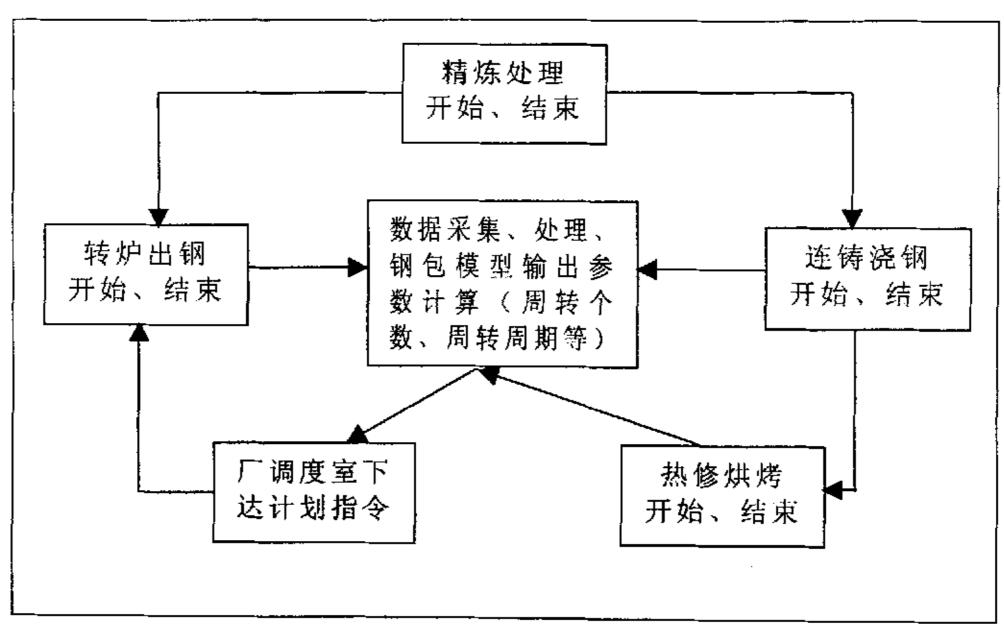


图 4.14 钢包运转决策支持模块

Fig. 4.14 Decision-making module of steel fold running

### • 通用接口模块

为使该软件具备通用性,还应建立一个接口模块。该模块主要是根据不同生产厂的生产参数,如设备检修时间、连续生产时间以及由实际生产数据统计分析得出的物流运行规律自动生成可供选择的生产模式;进而由调度计划生成模块形成具体实施方案。对于不同的炼钢厂,只需输入设备、生产规模和钢种要求等参数,就可利用本软件实现调度计划的编排、物流信息收集、反馈等功能。如果能够建立此模块,该软件的适用性将大大增强。

### 4.5 经济效益分析

通过新的物流调控方案的制定,简化生产模式,保证了物流流向的清晰,极大方便了生产调度。合理的钢包周转,由原来的 9-12 个减少到8-11 个,降低了系统温度,减少了无谓消耗,降低了生产成本。建立计算机辅助调度系统,充分利用计算机高速运算和网络传输等性能,使生产计划实时、快速、合理的下达、调整,真正实现了高速、高效、高生产效率。

## 第五章 结 论

本文根据钢铁制造流程多维物管制系统理论和数理统计理论,对首钢第三炼钢厂生产流程中的时间因素、温度因素和物质量进行了解析,深入分析了高拉速条件下的炼钢——连铸生产的物流现状,制定出了优化流程物流管制方案和计算机辅助生产调度系统方案,并编制出相应软件,已应用于实际生产,从上述工作中得出以下结论:

- 1. 高效连铸要求建立合理、简洁的生产模式。以三炼钢而言,由原来的 3 炉对 4 机改为 3 炉对 3 机。当条件允许的情况下,最好能实现定炉对定机,炉、机与钢种对应,保证物流流向清晰,极大地方便了生产调度,为保证高效率生产,还要做到物流运行连续、稳定、畅通。
- 2. 高效连铸要求优化钢包周转。合理的钢包周转,可以降低系统温度、减少各种无谓消耗,降低生产成本。经研究表明,首钢三炼钢周转钢包可由 9-12 个减到 8-10 个。
- 3. 高效连铸要求合格的钢水保证。高效铸机对钢水的温度、成份要求更加严格。在对三炼钢温降进行分析后,得到了生产流程中温降规律,由此制定出合理的温度制度,(出钢温度降低——普碳钢:17℃、品种钢:5℃)确保钢水温度满足高效连铸生产的要求。
  - 4. 高效连铸需要建立计算机辅助生产调度系统。

高效连铸炼钢厂的物流平衡研究,涉及面广,跨度大,要协调好各工序间的物流运行调控,仅靠人工调度是很难适应高效生产的要求,计算机参与管理是必要且有效的。当连铸机提高拉速后,钢铁制造流程生产节奏明显加快,铸机对钢水的质量要求更高、需要分析的生产数据量增大,这就要求生产计划能够实时、快速、合理的调整,单靠人工是很难实现的,必须充分利用计算机高速运算、网络传输等性能,依靠辅助生产调度系统来实现。本项工作已完成包括制定方案、编制软件、实验室离线运行、生产现场在线运行等多方面的内容。

- 5. 工作创新:
- (1) 综合借鉴前人研究成果:

比较全面地吸收了广钢、酒钢、八钢、济钢等课题的研究成果,包括数据采集、分析、物流调控方案的形成等。在分析过程中,对物流管制研究中使用的一些优化理论加以细化,提出了新的建模思想,在此基础上,

结合具体的生产条件,建立起合理的调度模型用于指导实际生产。通过研究工作,使得高效连铸炼钢厂物流管制的研究日益充实、不断完善,提供了一个比较全面的实例。

#### (2) 软件方面:

- •软件可以在线运行:软件编制后在实验室离线运行良好,除实时数据外,能够实现多项功能:调度计划生成并实施,故障信息、物流信息搜集、反馈方便及时;生产现场在线运行后,可随时获取各工序实际生产参数反馈到总调度室,为实时调度计划的编制提供有力的依据;
- · 软件的编制与实际生产状况结合紧密,实用性强:该调度软件的编制过程综合考虑了该厂实际状况(生产工艺、生产设备、工人操作习惯等),以易于接受的方式编制出友好的用户界面,易学易用,能很快掌握;
- ·软件的可扩展性强:本文提出了生产调度计划生成、运行模块,调度系统调整模块,生产过程信息通讯等一系列模块,使该软件具有结构严谨、层次合理的特点;同时提出了建立钢包运转决策支持模型的思路,拓展了计算机辅助生产调度系统软件的功能,为进一步完善该软件做好了准备。

## 参考文献

- 1. 连铸技术国家用程研究中心, 高效连铸技术在我国的发展与措施[J], 中国冶金, No. 3, 1997
- 2. 李京文,徐寿涛,物流学及其应用[M],经济科学出版社,1987
- 3. 王加林,张雷丽,物流系统工程[M],中国物资出版社,1987
- 4. 吴清一,物流学及其发展[J],北京科技大学学报,No.7,1992
- 5. 蔡宣三等译,运筹学导论一计算机算法(美国)[M],机械工业出版社,1983
- 6. 铁颂迪等,运筹学[M],清华大学出版社,1994, 6
- 7. 赵玮,王荫清,随机运筹学[M],高等教育出版社,1993,6
- 8. 陈德荣,张鑫泉,杭钢步入高效连铸之途[J],世界金属导报,1996年4月29日第二版
- 9. 殷瑞钰,积极推进高效连铸进一步推动我国连铸的发展进程[J],连铸,No. 4,1996
- 9. 倪满森,提高连铸拉速的发展动向[J],炼钢,Vo1.12, No.4,1996
- 10. Gianni Gensini 等,使用新型结晶器的高速连铸技术[J],冶金设备和技术,No. 2,1996
- I1. Ulrich Horbach et al, High-speed billet casting with a parabolic mould taper[J], MPT International, Vol. 22, No. I
- 12. S. Itoyamaand H. Yamaka, SteelmakingConference Proceedings[M], 71(1988), 97
- 13. J. D. Hartoy, Aise Annual Convention[M], 1988
- 14. A. Daussan et al , Quantitative Analysis of Contamination of Molten Steel
- in Tundish[J] , ISIJ, Vol. 33(1993), No. 12
- 15. K. N. Singh 等, 雀点厂的中间包内衬喷涂[J], 中间包技术译文集, 攀钢钢研院 科技信息中心, 1994, 8
- 16. 刘青,上钢三厂 1#连铸机二冷水的系统设计与数学模型及应用软件的开发[D], 北京科技大学硕士学位论文,1995年3月
- 17. 据国清等, 浅谈方坯高速连铸技术[J], 连铸, No. 4, 1997
- 18. 胡忠仁, 高速连铸技术的开发[J], 炼钢, Vo1. 13, No. 8, 1997
- 19. 王新华等, 高速连铸的几项关键技术[J], 炼钢, Vol. 11, No. 8, 1995
- 20. 殷瑞钰,关于钢铁制造流程的发展和重构问题[J],钢铁, Vol. 32, No. 4, 1997
- 21. 殷瑞钰,钢铁制造流程的多维物流控制系统[J],金属学报,Vol. 33, 1997, No. 1

- 22. Paul K. Lee, Schedule of a 100% Cast Shop with Multiple Casters and Melt Sources[J], Vol. 71, Steelmaking Conference Proceedings, Toronto, Canada, 1988
- 23. Andie Stephens, Integrated Scheduling of Steel Production[J], Asia Steel 1998
- 24. Klaus-Peter, Bernatzki, Dieter Fengler etc, 德国胡金根钢厂利用模糊理论开发计算机调度和时间流管理系统[J], Stahl und Eisen, 114(1994)
- 25. 田乃媛, 全连铸生产的物流管理之一[J], 炼钢, 1993, 5
- 26. 田乃媛, 全连铸生产的物流管理之二[J], 炼钢、1993, 5
- 27. 田乃媛, 全连铸生产的物流管理之三[J], 炼钢, 1994, 4
- 28. 田乃媛, 铁兵, 黎志诚等, 炼钢厂全连铸生产的物流[J], 北京科技大学学报(增刊), (27), Vol. 16, 1994
- 29. 田乃媛, 伊炳希, 全连铸工程中的若干数理问题[J], 第八届全国炼钢学术会议论文集, 攀枝花, 1994
- 30. 伊炳希, 全连铸生产智能调度系统[D], 北京科技大学博士学论文, 1995. 10
- 31. 熊光楞等, 连续系统仿真与离散事件系统仿真[M], 清华大学出版社, 1984
- 32. 齐格勒 (美),制模与仿真理论[M],机械工业出版社,1984,2
- 33.徐安军,炼钢厂物流调控系统及其温度一时间流的解析与应用研究[D],北京科技 大学博士学位论文,1996,9
- 34. 成哈利,郑秉林等,炼钢一连铸生产调度计划系统的研究[J],全国过程系统工程会议文集,1995.5
- 35. 徐光辉, 随机服务系统[M], 科学出版社, 1980, 6
- 36. 孟玉珂, 排队论基础及应用[M], 同济大学出版社, 1991, 7
- 37. 江景波, 网络计划技术[M], 冶金工业出版社, 1982
- 38. (美) 惠斯特. J. D., 莱维. F. K, , 统筹方法管理指南[M], 机械工业出版社, 1983
- 39. 黄沛均, 成国平, 最优箭线图的绘制法则[J], 系统工程理论与实践, 1986, 第 6 卷, 第 1 期
- 40. 孙东川, 网络技术在系统工程中的应用[M], 湖南科学技术出版社, 1984
- 41. 盛骤等, 概率论与数理统计[M], 高等教育出版社, 1990. 2

# 致 谢

本论文是在东北大学机械工程与自动化学院柳洪义教授的悉心指导下完成的。在柳教授的指导和帮助下,本人顺利地完成了学业,非常感谢导师在学业上的教诲和严格要求,在生活上的无微不至的关怀。

在课题进展的每一个环节,方晓辉高工也给予了极大的关注、提供了有力的支持,在生活上给予了特别的关怀和照顾。另外,此期间也得到了首钢锦州计算机厂工程师们的多方指导与热心帮助及首钢三炼钢厂工程师们积极配合和鼎立协助。

在此,我谨向支持、关心和帮助我的老师、领导、广大同事和朋友们致以崇高的敬意和真挚的感谢!

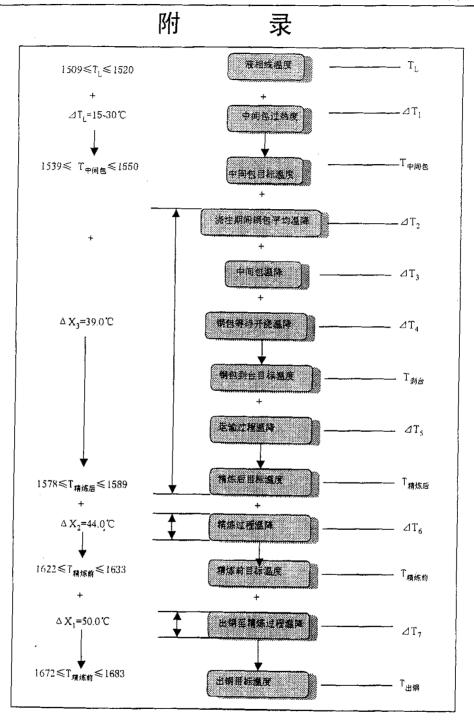


图 A.1 1#转炉 Q235 出钢温度计算流程图

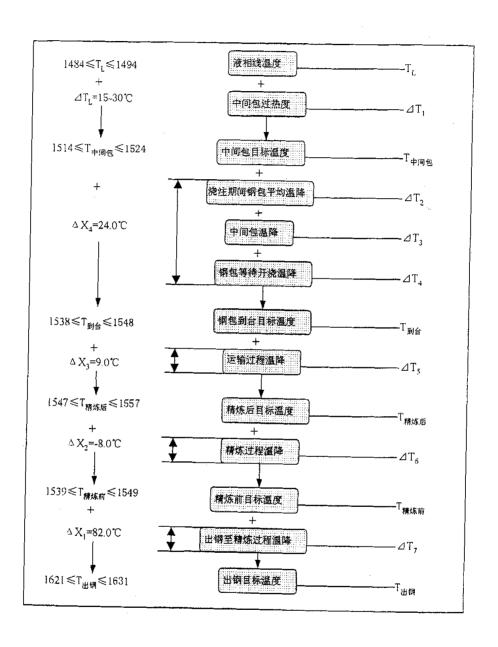


图 A. 2 1#转炉 45 号钢出钢温度计算流程图

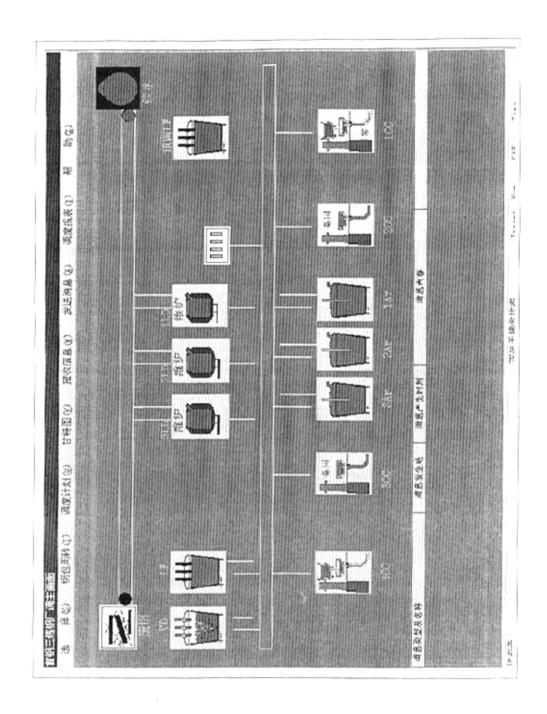


图 b. 1 三炼钢计算机辅助生产调度系统厂调主画面

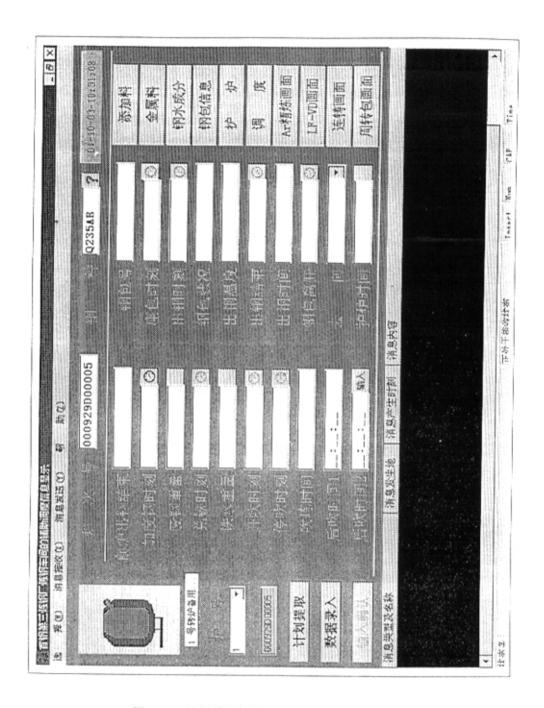


图 b. 2 三炼钢计算机辅助生产调度系统炼钢主画面

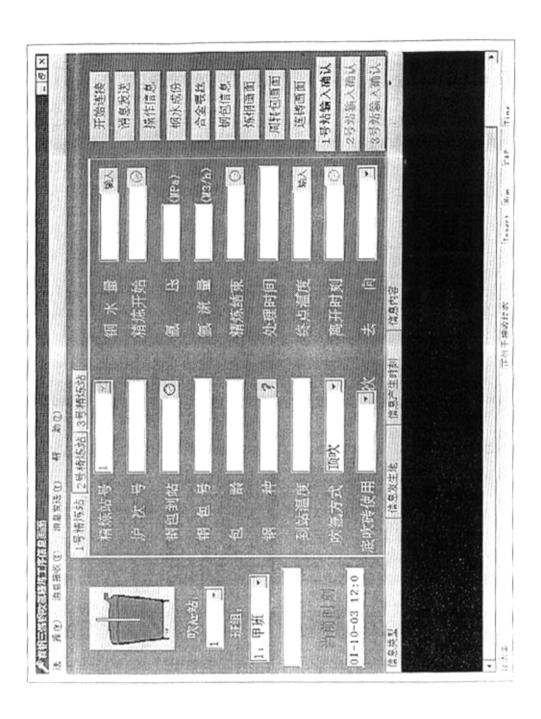


图 b. 3 三炼钢计算机辅助生产调度系统吹氩精炼主画面

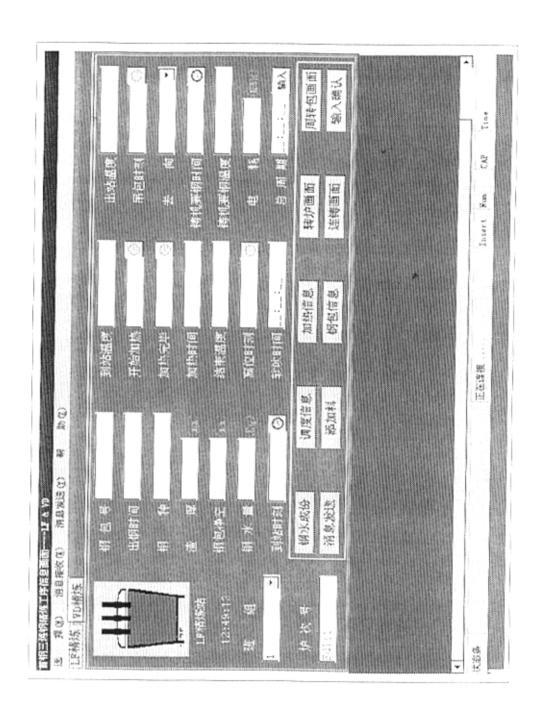


图 b. 4 三炼钢计算机辅助生产调度系统 LF-VD 精炼主画面

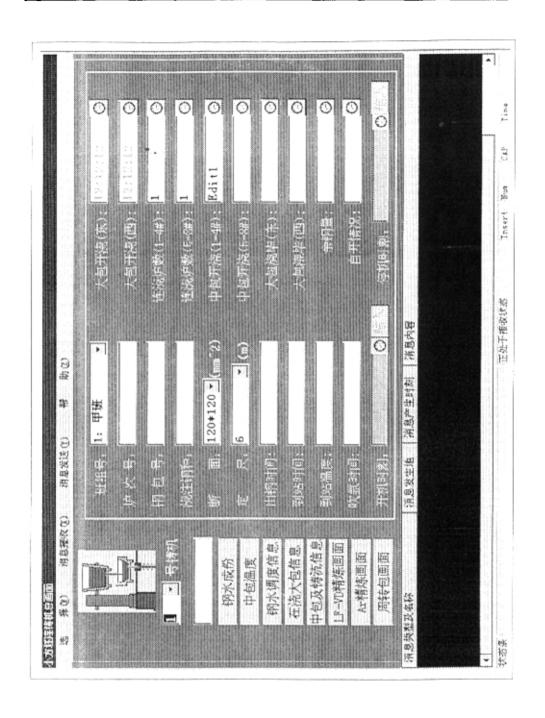


图 b. 5 三炼钢计算机辅助生产调度系统连铸主画面

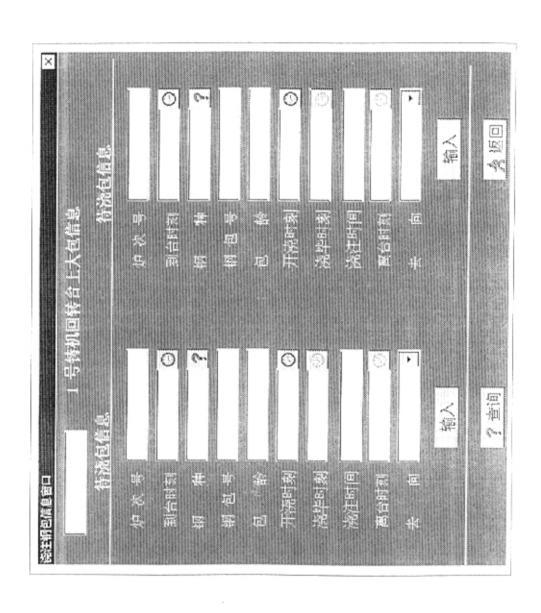


图 b. 6 三炼钢计算机辅助生产调度系统连铸工序浇注钢包信息画面

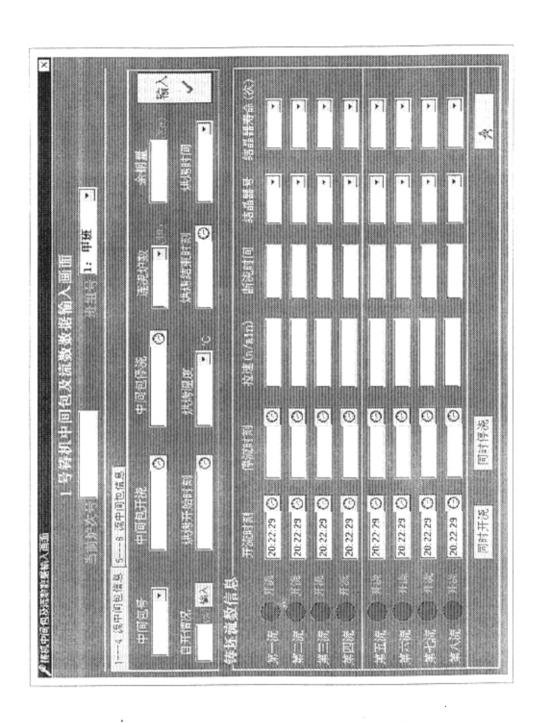


图 b. 7 三炼钢计算机辅助生产调度系统连铸工序中间包浇注画面

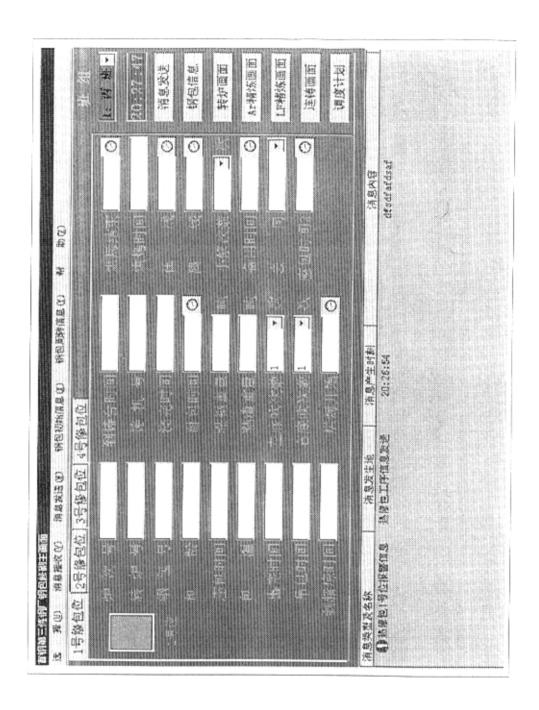


图 b.8 三炼钢计算机辅助生产调度系统热修包主画面

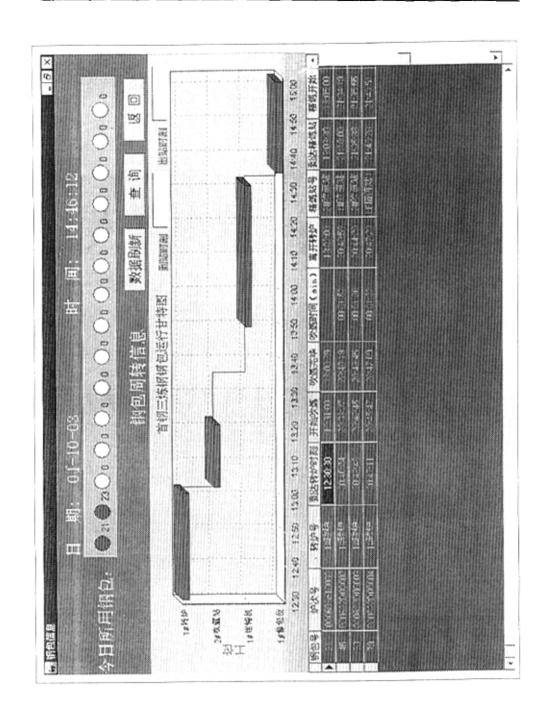


图 b. 9 三炼钢计算机辅助生产调度系统钢包运行监控画面

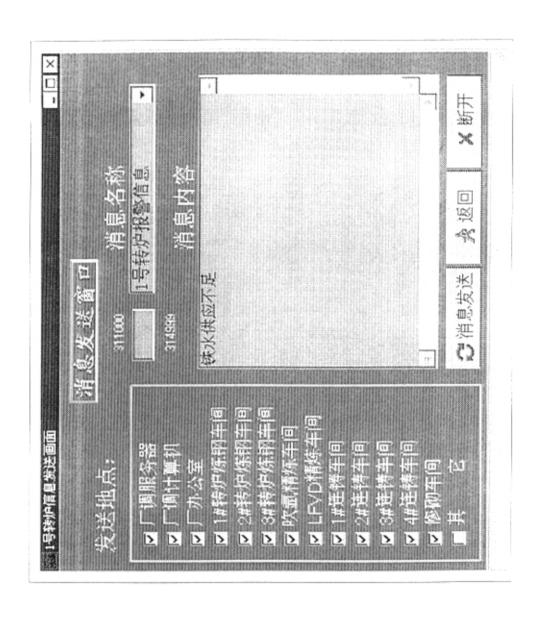


图 b. 10 三炼钢计算机辅助生产调度系统信息发送画面

面 18:22:14 正别 [7]	充		*表午每机完 给入格式如下:	1 / / / / / / / / / / / / / / / / / / /		1		2002 2002 2003 2004 2004 2004 2004 2004	224418521134	] 日作业计划
17.	三产调度系统	1)  铸机下一炉开始浇铸	18:00 18:00	• 1	, T	3#转形	0000010300001	300	回显示生产调度计划表	<b>基础工艺数据</b>
生产调度计划输入画面	首钢第三炼钢厂辅助生产调度系统	_	120 120 y 120 120 n 120 120 n		•	2#转炉	0000610200001	200	回显示生)	初始数据输入
	首钢第三炮	铸机号 炉数 吹加 1.F 1/10	y y y y		× 剔除上班计划	1#转炉	请输入转炉炉次号: 000610100001	§; [100	■显示生产调度GANTT	维修信息输入
2001-12-01 班次 [10 85 84 68		片号   88种     4	2 Q215_CB700~51 2 Q215_CB700~51 1 55_CD699~852		100 min (100		请输入转炉炉次	请输入转炉炉龄;	画 显示生	生产调度计划

图 b. 11 三炼钢计算机辅助生产调度系统计划编制画面

200 選次	-12	01	钢种	成分数	钢种成分数据输入画面	国国人	景	18:23:19 班别 下派	:19
40.17.04		首钢第			辅助生	产调度	系统		
10111	10111 0195 CB700-88		1600	LD_MAX_C	LU_MAX_SI  LU_MAX_MN  LU_MAX_P  LU_MAX_S	MAX MN LD	MAX P II	Į.	LD_MAX
10121	Q195_YB4027-91	127-91	1600	0.12	0.0	0 0	0.045	0.00	
10131	0195_金杯奖(供お	汉(供书	1600	0.11	0.3	0.5	0.035	0.035	
10211	Q215 GB700-88(A	00-88 (A	1600	0.15	0.3	0.55	0.045	0.05	
10212	Q215_GB700-88(B	00-88 (B	1600	0.15	0.3	0.55	0.045	0.045	
10221	Q215_YB4027-91	027-91	1600	0.15	0.3	0.55	0.04	0.04	
10231	0215 全杯奖(供拾	淡(供お	1600	0.14	0.3	0.55	0.035	0.035	
10311	Q235_GB700-88(A	00-88(A	1600	0.22	0.3	0.65	0.045	0.05	
10312	Q235_GB700-88(B	00-88 (B	1600	0.2	0.3	0.7	0.045	0.045	*
10321	Q235_YB4027-91	127-91	1600	0.2	0, 3	0.65	0.04	0.04	
10331	0235_金杯奖(供指	淡(疣	1600	0.19	0.3	0,65	0.035	0.035	
10341	0235 全杯奖(供到	※(供過	1600	0.21	0.3	0.65	0.035	0.035	
10411	T-Q235_SG/JS003	./JS003·	1600	0.22	0.3	0.65	0.045	0.05	
20211	45_GB699-88	-38	1600	0.5	0.37	0.8	0.035	0.035	0
20311	50_GB699-88	00	1600	0.55	0.37	0.8	0.035	0.035	, ,
		<b>A</b>	<b>T</b>	•	1	•			ع
生产	生产调度计划	维修信息输	1急能入	机始集	初始数据输入	基础工艺数据	外据	日作业计划	
<b>小</b> 体空間度计划	副体3+49	<b>高公公公司</b>		金5、ま用売金米占付足	Why the Public	\$P. 甘7山丁 114 ★A.415	141 CH -# C 4	191160	- F

图 b.12 三炼钢计算机辅助生产调度系统钢种成分信息画面