

东北大学
硕士学位论文
首钢第三炼钢厂高效连铸生产过程物流控制
姓名：甄灏
申请学位级别：硕士
专业：控制工程
指导教师：秦树凯;宁伟
2002. 1. 1

摘 要

高效连铸技术是当前国内炼钢厂进行技术改造的方向，是提高整个炼钢厂生产效率的重要手段。高效连铸的物流管制研究对于确保高效连铸生产的顺利进行意义重大，而利用计算机的高速，可靠性，基于物流管制理论开发计算机辅助生产调度系统则是实现高效连铸的一个有效途径。

本文根据钢铁制造流程多维物流管制系统理论和冶金学理论，以首钢三炼钢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，环境对钢铁生产温度情况加以分析，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，在参数分析的基础上，提出各工序生产温度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： 高效连铸 多维物流管制 生产模式 计算机辅助调度系统

Abstract

High-speed continuous casting is the object of technology improving in steelworks of our country and the main method to improve the productivity of the whole steel-making process. The research of mass flow control of high-speed continuous casting is of important significant to high-speed continuous casting; at the same time, using high capability computer in the research of mass flow control is an efficient method to developing programs of the computer-aided schedule system.

According to the theory of multi-dimension mass flow control in steel-making process and the theory of metallurgy, this paper analyzes the temperature factor in Steelworks of Shougang NO.3 Iron & Steel plant, it includes the flowing parts: time factor analysis of the whole process and every process step from hot metal to casting, ladle cycling process, concluding the running rule of mass flow, discussion of the outlay of the workshops. This paper gives the optimum data after analyzing the present situation, then on the base of these data, establish a computer-aided schedule system to help schedulers making plans during the production.

Key words: High-speed continuous casting Multi-dimension flow control
Production pattern Computer-aided schedule 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参考文献和致谢的地方外，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已在论文中作了明确的说明并表示感谢。

本人签名：魏颖

日 期：2002. 2

第一章 绪论

1.1 高效连铸技术发展概况

高效连铸技术，通常是指比常规连铸生产率更高的、以高拉坯速度为核心，以高质量、无缺陷的高温铸坯生产为基础，实现高连浇率、高作业率的连铸系统技术。是钢铁工业优化结构，增加市场竞争力的重要立足点。高效连铸的涵义有 5 个“高”：高拉速、高质量无缺陷（特别是无表面缺陷）、高温铸坯、高连浇率、高作业率。

高效连铸技术对于钢铁企业生产系统的优化和节能降耗方面的效果是明显的：推动了全连铸工厂生产的组织优化、加速了全连铸生产的普及、优化了炼钢连铸工艺、促进了炼钢生产水平迈上新台阶、促进了炼钢连铸生产成本的进一步降低，高效连铸技术改善铸坯质量、提高了铸坯温度，为热送热装提供了可靠的保证。

纵观世界连铸技术发展过程，在连铸比不断上升的同时，连铸一直在向提高生产效率的方向迈进。这就意味着铸机的生产能力、作业率、连浇率、拉速、铸坯质量都在不断提高，浇铸品种不断的扩大，生产成本随之降低。国际钢铁协会曾对世界各国连铸机的生产技术经济指标作过调查和统计如下表所示：表明历年来生产能力不断上升，1975~1989 年板坯铸机的流年产量提高 1.4 倍，大方坯连铸机提高近 5 倍，小方坯连铸机提高 1.5 倍以上。

进入 90 年代，铸机生产能力又有大幅度的提高，国际上小方坯连铸单流年产量平均达 13 万吨，95 年初日本小方坯连铸机的拉速就普遍在 3~3.5m/min，现在国外铸机最好的已达 5~6m/min；国内韶钢一炼钢厂 1995 年铸机流年产量平均达 9.355 万吨，广钢转炉炼钢厂小方坯产量达 9.18 万吨/流·年。板坯连铸机生产能力的提高幅度也很大，流年生产能力大都在 100 万吨以上，国外不少铸机拉速已达 2m/min

表 1.1

年 代	铸机作业率%	浇铸速率 吨/流·分		
		板坯	大方坯	小方坯
70 年代中期	35-38	1.7	0.25	0.18
80 年代末	~60	1.86	0.354	0.178
90 年代	>90	2.3	0.4	0.25
先进指标	94.7 (名古屋)	5-6		0.55

以上,高的能达 5.5m/min 以上,日本有代表性的板坯铸机实际生产率达 180 万吨/流·年。而目前我国板坯连铸机的拉速一般是 1m/min 左右,宝钢 1995 年板坯连铸产量达 123 万吨/流·年,攀钢板坯铸机经“九五”攻关拉速已达 2.0~2.5m/min。

1.1.1 国外高效连铸技术的发展状况

连铸技术近十年来自身完善和优化的速度很快,在八十年代中期,小方坯连铸机拉速达到 3.0m/min (120mm^2),作业率达 80%,单个中间罐寿命在 15~20 炉,铸机单流年产量达 10 万吨;进入九十年代,尤其是 1993~95 年以来,方坯、板坯连铸的高效取得显著的成绩,如表 1.2--1.3 所示。

发达国家的连铸机力争 130mm^2 方坯拉速达到 5.0~6.0m/min,实现小方坯连铸机单流产量 20 万吨左右。板坯连铸技术同样向高效化方向发展,实际上薄板坯连铸机就属于高效连铸机,其特点为近终形,更有力于改变钢铁生产流程结构而使之“紧凑化”。一批厚度 $\geq 200\text{mm}$ 的板坯碳素钢与低合金钢连铸机实际工作拉速由 80 年代中期的 1.5m/min,提高到了 2.0m/min,有的设计铸速已达 2.5~3.0m/min,双流板坯铸机单月产量也已达到 32~35 万吨的水平,作业率普遍 >90%。单个大型中间罐寿命(包括热周转连续使用方式在内)达到了 30~50 炉。日本住友金属 LTCC 技术,90mm 厚的板坯连铸机(100~120mm),在铸高牌号硅钢时,拉速高达 5m/min 以上,也从另一个侧面反映了当今连铸生产高效化的实际水平;作为高效化连铸

表 1.2 板坯连铸机高效连铸技术经济指标

连铸机所在厂	板坯尺寸 (mm ²)	拉速 (m/min)	作业率(%)	漏钢率 (%)	年产量 (万吨)
日本住友公司鹿岛厂三 号板坯连铸机	270×1450	>2.0	>90	<0.02	>300
日本钢管公司福山 厂 5 号连铸机	220×700~1650	2.5	93	<0.02	>300
美国阿姆科公司阿 什兰厂连铸机	240×965~1727	2.0	>90	<0.05	200
美国国家钢公司格拉尼 特城厂连铸机	220×900~2040	1.65	90	<0.05	160
德国克虏伯公司莱茵豪 森厂连铸机	260×850~1650	1.6	>85	<0.03	>200
宝钢 1 号、2 号连 铸机	210~250×900~1930	>1.4	>80	<0.12	>230
美国钢铁公司蒙瓦 利厂连铸机	210~250×700~1050	2.0	>90	<0.05	260

表 1.3 方坯连铸实现高拉速的达到指标

工业实验单位	浇铸断面(mm ²)	实现拉速 (m/min)	结晶器类型
德马克	130×130	4.0-4.3	抛物线锥度
康卡斯特	150×150	3.5	凸型
丹涅利	130×130	4.3	自适应
丹涅利	130×130	6.0	自适应
奥钢联	115×115	5.1	钻石型
	155×155	2.8-2.9	

的一个特例，近终形连铸以其工艺简单、生产周期短、节约能源、成材率高等优势对钢铁制造流程的变革产生了很大冲击。当今，高效连铸技术在减少投资费用、提高生产率、简化工艺流程、降低消耗和成本等方面更进一步发挥了连铸技术的优

势，在世界各主要钢铁企业、工程公司、设备制造商中都受到高度重视，正在不断发展。

1.1.2 国内高效连铸技术的发展状况

近十年来，我国连铸技术发展很快，国家把大力发展连铸作为推动钢铁工业结构化的重要内容，1997 年连铸比达到 60.6%，成效显著。截止到 1998 年 5 月 18 日，我国连铸机已达 325 台，年产能力共计 7925 万吨。其中小板坯、方矩坯、小方坯、园坯共 313 台，年产能力 6689 万吨；然而，平均年产能力仅 21.37 万吨/台，其中效率低和较低的在 220 台以上。我国铸机台数堪称世界第一，而平均年产能力之低也可谓世界之最。因此，国家把发展高效连铸技术作为“九五”科技攻关的一项重要内容，攻关目标如下：

拉坯速度：方坯（ $150 \times 150 \text{mm}^2$ ） $\geq 3.0 \text{m/min}$ ；

（ $120 \times 120 \text{mm}^2$ ） $\geq 4.2 \text{m/min}$ ；

板坯（厚度大于 180mm） $\geq 1.8 \text{m/min}$ ；

铸机作业率： $\geq 85\%$ ；

铸坯无缺陷率： $\geq 90\%$ 。

经过近几年的努力，取得了显著的效果。广钢转炉炼钢厂 1 号连铸机（ $150 \times 150 \text{mm}^2$ ）在钢水充足的情况下，平均工作拉速 $2.2 \sim 2.7 \text{m/min}$ ，最高拉速达 3.5m/min ，作业率超过 90%，并于 1997 年 12 月实现了三座转炉对两台连铸机的全连铸生产；首钢三炼的 2 号、3 号连铸机（均为 $120 \times 120 \text{mm}^2$ ）于 1998 年 2 月完成了高效化攻关任务，平均工作拉速 $2.8 \sim 3.5 \text{m/min}$ ，最高拉速达 5.3m/min ，实现一炉对一机的生产匹配模式，每流平均年产铸坯超过 11 万吨；新疆八一钢铁公司炼钢厂 1 号（ $120 \times 120 \text{mm}^2$ ）、3 号（ $150 \times 150 \text{mm}^2$ ）连铸机，于 1998 年 7 月系统地完成了对 1 号机的高效化改造和 3 号机的高效化建设任务，1 号机平均工作拉速 3.5m/min ，最

大拉速达 4.0m/min, 3 号机平均工作拉速 2.5m/min, 最大拉速达 3.5m/min, 每流平均年产铸坯能力超过 12.5 万吨。此外, 杭钢、攀钢、南钢等一批企业的高效连铸攻关也取得了重大进展, 连铸高效化已经成为推动我国钢铁工业结构优化的重大技术, 越来越多的企业正在着手于高效连铸的技改工作。

1.2 高效连铸的关键技术

连铸机的主体设备包括结晶器、振动台和拉矫机, 确保连铸机单体设备的功能优化和无故障运行是高效连铸生产的关键, 当连铸机作业率超过了 80% 以上, 要提高连铸机产量就必须从提高拉速着手, 而拉速的提高决定于:

- 出结晶器均匀的坯壳厚度;
- 液相层的长度;
- 铸坯的冷却强度;

因此为解决上述提高拉速的限制性因素, 对连铸机进行高效化改造是采用以下技术。

1.2.1 结晶器锥度优化技术

1.2.1.1 新型方坯高拉速结晶器

方坯拉速提高后所带来的最主要问题是漏钢, 而漏钢的根源多在结晶器内。拉速提高时, 出结晶器的坯壳必然变薄, 且使得坯壳沿横断面厚薄不均, 裂纹向铸坯表面扩展将导致漏钢事故, 因此, 要提高拉速, 首先要对现有结晶器结构进行改进, 提高和优化其传热效率, 国外已开发出了一些适应高拉速浇铸的新型结晶器, 其本质特点是具有优化的连续锥度, 现对其中有代表性产品作简单介绍:

(1) 瑞士 CONCAST 公司的凸形结晶器 (Convex mold)

该结晶器内腔形状不同于传统结晶器, 其顶部内壁为凸型, 两壁间夹角为 96° , 向下逐步变化, 直到底部为方形, 两壁间夹角为 90° , 随着温度降低, 凸形

坯壳发生线收缩而自然变成直线，结晶器内壁的几何形状变化适应了其收缩变化过程，因而模壁与坯壳始终接触良好，抑制了气隙的出现，传热上升且稳定均匀，角部坯壳能和中部坯壳一样均匀生长。因此缺陷得到控制，角部坯壳具有足够强度抑制裂纹和漏钢的产生。

(2) 意大利 DANILI 公司的自适应结晶器 (DANAM)

该结晶器的特点是：铜管加工成三锥度或抛物线锥度，且可以根据钢种和拉速的不同，通过控制冷却水缝内水压来调整结晶器锥度，结晶器内壁在热负荷作用下不再向外弯曲，而在水压作用下会向内移动，弥补铸坯的收缩，使结晶器锥度达到最佳化。这样直接带来两个好处，首先，消除了弯月面附近的负锥度，大大改善了铸坯质量，其次，结晶器与铸坯间的气隙（特别在结晶器下部），明显小于传统结晶器，传热能力增加，形成较厚坯壳，从而可以保持较高的拉速而没有拉漏的危险。这种技术，可将 $130 \times 130 \text{mm}^2$ 连铸坯的拉速由 2.8m/min 提高至 4.3m/min 。

(3) 卢森堡 PAUL WURTH 公司的高拉速结晶器

其结晶器的主要特点是：结晶器长度延长至 1000mm ，采用抛物线锥度，其中在弯月处最大，为 $2.3\%/m$ ，冷却水流速提高到 12m/s ，提高了散热能力，在实际浇铸操作时，通过稍许调整弯月面水平高度，使其设计上固定的抛物线锥度适应不同的实际浇铸钢种。

(4) 奥地利 VAI 公司的钻石结晶器 (DIAMOLD)

该结晶器在设计上有如下三个特点：

- ① 将结晶器铜管加长至 1000mm ，以延长铸坯在结晶器内的驻留时间，增加出结晶器的坯壳厚度；
- ② 在整个结晶器长度方向上采用比传统结晶器更大的抛物线锥度，以确保坯壳的均匀生长；

- ③ 从结晶器顶部往下 300~400mm 处开始，角部取消锥度以减小摩擦力，而中部仍保持抛物线锥度，数值模拟表明，该结晶器内坯壳生长稳定均匀，坯壳与模壁间的摩擦力也小。

综合这些措施，VAI 设计出了高效方坯连铸的钻石结晶器 DIAMOLD，测试结果表明其拉速和产量均有较大幅度提高。

1.2.1.2 板坯结晶器高效化技术

为适应热连轧机对板坯宽度的需要，实际生产中经常需要改变铸坯宽度。目前现代化的高效板坯连轧机都广泛采用计算机自动控制的结晶器在线调宽技术，不但可以减少铸坯切头切尾损耗，从而提高金属收得率，而且可以大大减少非生产时间，有利于多炉连浇，提高生产效率。

当连铸机实行高速浇铸时，由于结晶器铜板温度的升高，容易引起铸坯坯壳与铜板的沾连而造成拉漏事故，为防止产生粘接性拉漏事故，应尽量降低铜板的温度。

1.2.2 结晶器相关技术

(1) 结晶器液面有效控制

当拉速提高后，单位时间注入结晶器的钢水量增加，必然加大结晶器的钢液面的波动。此时保护渣易卷入钢液内部，形成皮下夹渣，影响铸坯质量。在高速连铸时，为保持结晶器钢液面的稳定，除了选择适宜的浸入式水口的浸入深度和出口角度外，更主要的是必须采用结晶器液面控制系统。目前结晶器液面控制已经成为成熟的技术，可使钢液面的波动控制在 $\pm 3\text{mm}$ ，最高达 $\pm 1\text{mm}$ 。

(2) 结晶器的冷却

目前方坯结晶器铜管冷却方式有两种：喷淋冷却和管式水缝冷却；其中喷淋冷却可根据结晶器热流状况灵活改变冷却水的分布，有效地改善水缝冷却条件下由于铜管变形或不对中所造成的冷却不均匀。对于管式水缝冷却结晶器，在高拉速生产

条件下,因结晶器热流过大,铜管冷面温度过高,易导致铜管报废,因此随着拉坯速度的增加应增大冷却水的压力。

(3) 铸坯支撑和强化冷却技术

高速浇铸是对结晶器出口下薄弱坯壳的有效支撑,施以强化冷却是提高坯壳强度和减少漏钢,防止鼓肚、裂纹的主要保证之一,国内外已经研制和开发出先进的有效支撑和强化水冷技术。

近年来发展形成的多级组合结晶器,由于其在结晶器出口处较长的范围内对铸坯起到支撑和均匀冷却作用,改善了铸坯在结晶器出口处的冷却均匀性,有效地防止了由于坯壳生长不均匀造成的漏钢事故,同时改善了由于结晶器内冷却不均匀造成的脱方、降低拉坯阻力,减少粘结漏钢事故。

连铸技术国家工程中心采用多锥度结晶器与高速水膜辅加结晶器(长度 280mm)相结合,在广钢 R6m 连铸机 $150 \times 150 \text{mm}^2$ 的生产中,将拉速由原 1.6m/min 提高到了 2.4~2.7m/min。首钢独立开发了铸铁质的压力水膜附加结晶器,使 $120 \times 120 \text{mm}^2$ 的平均工作拉速由原 2.2~2.4m/min 提高了 22%以上,最高达 3.5m/min。

(4) 振动技术及振动机构类型

结晶器振动的目的是防止坯壳与结晶器粘接,板坯浇铸过程中发生粘接漏钢的几率较高,因此有必要对结晶器振动装置进行优化,从而能够在高拉速浇铸情况下有效控制粘接拉漏事故的发生。高速连铸要求结晶器振动装置具备两个条件:①负滑脱时间稍短些,以控制振痕深度;②正滑脱时间稍长些,以增加保护渣消耗量,在实现这两个条件方面,传统的正弦振动形式已难以奏效,而非正弦振动形式就显出其优势,非正弦振动的最大特点是:上升速度小而移动时间长,下降速度大而移动时间短,因此满足了高拉速连铸对结晶器振动的要求。

小方坯连铸粘接漏钢的趋势比板坯要小得多,结晶器采用正弦振动方式基本上

也能适应工艺要求,而且只要振动频率与拉坯速度合理匹配就能适用于较宽的拉速范围,满足高速浇铸的要求,随着高效连铸技术的发展,高频小振幅技术以及液压振动技术已成为发展的方向。目前国内小方坯连铸机振动台的主要结构形式有:罗克普型、德马克型、康卡斯特型、三菱型和 Stel-Tek 型板弹簧振动机构等五种类型。连铸技术国家工程中心结合国内生产现状,综合分析了现有振动装置在生产中使用情况,优化设计出半板簧振动系统,该系统已应用于首钢、济钢的高效连铸改造中。

(5) 结晶器电磁制动技术

在高速浇铸条件下由浸入式水口出来的钢流速度高,干扰了液面的稳定性,加剧了保护渣卷入皮下的危险,影响了钢水的纯净度。“电磁制动”技术可以使结晶器造成一种制磁力去抑制、缓解水口出来的钢流速度冲击力以平稳液面,促进夹杂物上浮。

日本川崎制铁和 ASEA 公司联合开发出了结晶器内钢水电磁制动技术(简称 EMBR)。川崎厂报告,采用电磁制动后,由于钢水流量减小了大约 50%,钢水的液面高度由 4m 减少到 2m 左右。

(6) 拉漏预报技术

目前采用最为广泛的是根据结晶器铜板温度变化对拉漏进行预报的方法,对拉漏进行预报主要有两种方式:一种是根据沿结晶器纵向排列设置的热电偶测得的温度变化对拉漏进行判断;另一种是沿结晶器横向布置的热电偶,主要是根据拉漏时沿结晶器周长方向测得的温度变化对拉漏进行判断。

日本川崎制铁公司认为,后一种方式因为受拉速、保护渣的性质、坯壳与结晶器之间的气隙等因素干扰较小,因此预报得更为准确。

拉漏预报的原理不复杂,但是要执行的完全好却不容易,最大的难题是如何减

少误报。正如 Hartoy 所指出的那样：“避免误报比预报拉漏更为困难。”为了对卷渣、铸坯表面横裂和拉漏等进行区别、判断。目前对拉漏预报已普遍采用模式识别和专家系统等智能技术。

1.2.3 钢包技术

高效连铸钢水的浇铸温度与常规连铸相比，要求更为严格。钢水温度必须控制在一个较窄的范围内，方能适应高效连铸的生产。为此需采用钢包保温、尽量延长包龄、自动开浇、钢包加热、清洁浇铸等技术。

1.2.4 中间包技术

随着高效连铸的推进，中间包冶金技术已经成为实现高效连铸必不可少的相关技术。目前，已开发了多项中间包冶金技术：

防止钢液再污染技术，包括：钢包到中间包长水口保护浇铸、防止钢水由钢包到中间包过程卷渣、防止钢液与内衬耐火材料的反应、中间包加盖密封等技术。

1.2.5 二次冷却技术

拉速提高后，铸坯表面温度增加，为了防止由此引起的铸坯的表面缺陷与内部缺陷，准确控制连铸机二冷区的喷淋冷却水极为重要。二次冷却技术包含：冷却制度、水量控制、工艺方案等内容。

目前国内外高效连铸二次冷却技术采取的措施有：高强度、高密度、自动配水，净化水质，延长二冷喷水段长度，二冷室蒸汽抽除等。

1.2.6 铸坯矫直技术

拉速的提高使铸流冶金长度增加，必然涉及带液芯矫直问题，通常的单点矫直使带液芯的铸坯承受很大应变，在固液两相区容易产生矫直裂纹，从而形成内部缺陷。为改善铸坯质量，目前国外现代化铸机在高速浇铸过程中，多采用带液芯的多点矫直，连续矫直以及压缩浇铸技术。多点矫直是将矫直变形化整为零在多点分散

进行，铸坯内的应变较低（但应变率不低）。连续矫直是铸坯在矫直区内连续发生矫直，应变和应变率都很低。压缩浇铸是在矫直区对铸坯施加压缩力，使坯壳内部产生压应力，以抵消由于矫直引起的拉应力。这三种措施对于防止铸坯内裂，提高铸坯质量能起到显著作用。目前，在连铸机上广泛采用了多点弯曲和多点矫直技术。

1.2.7 保护渣技术

高速连铸技术要求结晶器保护渣具有以下特性：①在高拉速或拉速变化较大的情况下，仍能维持较高的消耗量以避免粘接漏钢或引起铸坯纵裂；②结晶器壁与坯壳间渣膜厚度适宜，分布均匀，用以降低结晶器磨擦力，且散热均匀；③具有适当的熔渣层厚度，以防止高拉速时熔渣供应不足，造成固态渣粒流入；④具有良好的溶解、吸收夹杂物能力，且吸收夹杂物后物理性能保持稳定。故高效连铸结晶器保护渣应具有低粘度，低结晶温度，低软化及熔融温度，合适的碱度及较快的熔化速度等物理特性。

1.2.8 低过热度浇铸技术——LSH

在保证钢水顺利进入结晶器的条件下，过热度尽量低些，这无论对提高铸速还是对改善铸坯质量都有益处。LSH 技术是由比利时冶金研究中心（CRM）和阿尔贝德厂（Arbed）共同开发的，可在提高拉速的同时，减少方坯的中心偏析。此技术的目的是在浇铸水口中消耗钢水的过热量，使钢水在接近液相线温度进行浇铸。

实现高效连铸除了在连铸设备和工艺上作各种努力外，炼钢厂的生产组织、生产管理工作直接影响连铸机的有效作业率，所以研究炼钢、精炼、连铸相互间的物流平衡，实现各工序间的互相配合和协调工作是非常重要的一项工作，即钢铁制造流程的多维物流管制研究。

1.3 钢铁制造流程的多维物流管制概述

1.3.1 钢铁制造流程多维物流管制理论产生背景

在日益激烈的国际竞争中，钢铁工业面临严重的挑战，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的结构优化和调整中来，将钢铁工业的发展推向全新领域。今后我国炼钢工作的重点是：在继续提高连铸比的基础上，加强炼钢过程自动化，采用炼钢新技术，以优质和低成本为根本目标，提高铸坯质量，扩展连铸钢种，用最小的成本核算生产出高附加值的优质钢种满足市场需求，从而减少钢材进口。实现中国炼钢技术新的腾飞。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、有效的指导意见。在此背景下，“钢铁制造流程多维物流管制理论”这一研究领域应运而生。

1.3.2 钢铁制造流程多维物流管制理论的描述

钢铁制造过程是由化学冶金过程、凝固过程、物理冶金过程组成。从本质上看是物质状态转变、物质性质控制、物质流程的管制三者过程中优化组合与匹配贯通。

钢铁制造过程的多维物流管制是系统的、整体性的科学，是从过程的整体上来研究复杂问题的方法。其特点是在对金属制造过程整体优化的原则指导下，对金属制造过程中各工序装置的功能进行解析综合集成。要将金属生产过程中的物态转变、物性控制和物流管制结合在一起，进行整体研究并解决好过程中工序功能集、工序关系集的综合优化问题。

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。他认为：钢铁生产属于间歇/准连续型的物流体制，各个工序的功能都是多元化的，具有多项功能。不同工序或功能的不同组合形成了规模不一的钢铁生产企业，优化组

合的结果必然是能耗、成本降低、产品结构趋于合理、企业效益提高。显然，钢铁企业总体优化的起点和支撑点是单体优化，区段组合优化是第二步，全系统的优化是目的。

1.3.3 多维物流管制的概念

多维物流管制系统应视为物态转变、物性控制和物流管制的结合。

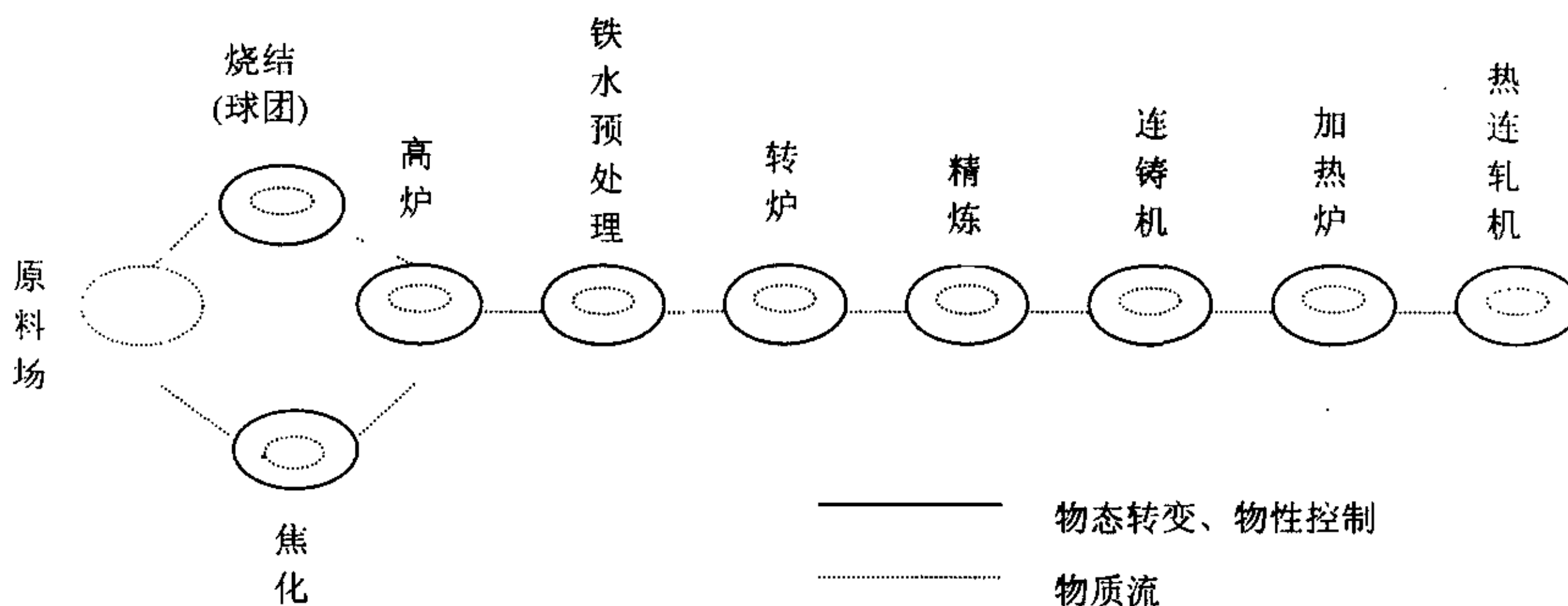


图 1.1 钢铁制造流程系统内物态、物性—物流组合示意图

fig1.1 delineation of combine of mass flow, mass nature and
mass form in steel-making process system

从工艺上看，钢厂的生产流程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的管制，这种物流管制不仅是物流的输送，而且要求各主要参数衔接、匹配上的优化，如物流流量、温度、时间的合理衔接匹配，相关工序之间装备能力的匹配，物流传输过程途径的工序、方向、距离和方式等优化等。这些参数对钢厂模式、投资数量和投入/产出效益是至关重要的。钢厂的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多维过程物流管制形式（图 1.1）。

1.3.4 钢铁制造流程多维物流管制的研究内容

钢铁制造流程的多维物流管制研究领域包括冶金企业的物流管制、工序功能的优化、钢厂的结构优化、钢厂的模式、钢厂的发展方向、投资及经济评估等；包含的概念性问题如下：

- (1) 钢铁生产工艺流程的构成和演进；
- (2) 钢厂生产流程物流的要素分析。

在钢厂多维过程物流控制系统内，物质量（重量、流量）、温度、时间是物流管制的 3 个基本要素。在多维物流控制系统内，这三个参数表现出连续“可微”的特征，是基本的独立参数，其它参数属派生参数。钢铁制造流程整个系统及其子系统的多维物流管制研究，就建立在对 3 个基本独立参数研究的基础之上。

研究的主要内容包括钢铁制造流程系统的边界条件和约束，流程的组织性、动态性，系统优化的原则及多维物流间的相互关系及其表达形式等。具体的基础研究内容是诸工序间各项参数的衔接、匹配、连续和稳定，其中包括：

- 物流在状态上和数量上的转变、传递、衔接、匹配；
- 物流在时间节奏上的协调、缓冲、加速；
- 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断面，进而进行断面形状和尺寸的转变、传递、衔接、配合；
- 物流在温度和能量上的转变、传递、衔接和节约；物流过程中钢的表面质量、宏观结构、微观组织以及性能的转变、遗传和调控；
- 物流传输途径和方式的调整、衔接和优化。

作为钢铁生产的多维过程物流管制工程，实现上述衔接、匹配，不仅要依靠各工序的功能优化、装备可靠性与可控制性的提高，而且要十分重视相邻工序之间的“柔性”调节作用。依靠流程系统内各工序装备的容量性能力和功能性能力的匹配

和优化, 激发出相关工序之间匹配、衔接和调节作用的“柔性活套”。

1.3.5 高效连铸物流管制研究

高效连铸物流管制是全面研究转炉流程在高拉速条件下的物流管制, 理顺该系统内物态转变、物性控制与物流管制之间的关系, 进而实现物流的通畅与钢厂流程的整体优化, 最终建立钢厂生产流程的 CIMS。

高效连铸物流管制由以下内容组成:

(1) 钢厂生产流程的时间因素、温度因素及物质量因素解析

从钢铁制造流程多维物流管制的三个基本参数——时间、温度、物质量出发, 在实测钢厂系统大量工艺和生产数据的基础上, 对转炉炼钢厂生产流程中的时间因素、温度因素及物质量因素进行系统的解析, 得出高效连铸钢厂的物流运行规律。

(2) 转炉和连铸机生产能力的核算与目标产量的确定

通过物流解析得出钢厂生产流程中时间因素和物质量因素参数, 根据转炉和连铸机小时生产能力计算公式, 可分别得出转炉单炉小时产量和冶炼周期的关系、铸机拉速与小时产量和浇钢炉数的关系, 进而得到转炉单炉年产量冶炼周期和作业率的关系表, 连铸机年浇钢量同平均工作拉速和作业率的关系表。可准确地确定炼钢厂生产的目标产量。

(3) 高效连铸生产的最佳调度方案和合理温度制度

在定炉对定机新的生产组织模式下, 通过分析计算, 结合生产实际, 提出各工序作业时间的参考值, 并制定出相应的炼钢——连铸生产作业计划, 最终优化成最佳的调度方案。同时, 对生产过程的温降进行分析计算, 得出生产流程中温降速率规律, 根据连铸中间包钢水温度反推各工序的控制温度, 得出高效连铸钢厂的合理温度制度。

(4) 钢包运行系统的物理模型

对钢包运转两个阶段：满包和空包的转运过程进行解析和跟踪实测，找出钢包周转过程的“柔性环节”，对钢包运行的时间因素进行数学描述，提出钢包周转个数的确定方法，进而得出钢包周转个数、班冶炼炉数和钢包周转周期的关系，建立钢包运行系统的物理模型，优化钢厂流程中钢包周转的过程。

(5) 优化流程的物流管制方案

对连铸机高效化改造前后的生产模式、时间因素、温度因素等进行分析对比，提出各工序/工位物流优化后的生产作业时间节奏和控制温度，得出高效连铸前、后以及优化物流管制后的温度变化关系，制定合理的高效连铸转炉炼钢厂生产调度方案。

(6) 钢厂计算机辅助调度系统方案及其软件

炼钢厂计算机辅助调度系统的建立，是确保高效连铸物流管制实施的有力手段。计算机辅助生产调度方案，一般由两部分组成：系统的硬件配置方案和应用软件两部分内容组成。硬件部分包括：提出完善的系统设计原则、方案、系统硬件配置等；软件部分包括：软件设计思想、设计方案及数据库设计等。

1.3.6 国外高效连铸物流管制理论研究现状

西方发达国家在对钢铁生产过程进行深入研究的基础上，运用自动化、计算机技术对钢铁制造流程开展了不同层次、不同程度的过程调控。

(1) 奥地利 VAI (奥钢联) 公司经过多年的探索与实践，已经形成了钢铁制造流程生产与控制的系统技术。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/电炉到冷轧制等全部冶金生产流程。

(2) 美国钢铁公司大湖钢厂生产设备多，工艺复杂，给生产的组织带来了一定的困难。为了进行生产过程的调控，该厂建立了计算机辅助调度系统。该系统具有五种功能：

- ※ 具有各种工艺路线的调度表格;
- ※ 炼钢生产过程的调度计划编制;
- ※ 周调度计划的形成;
- ※ 日调度计划的产生;
- ※ 实际生产过程的调控。

该系统解决了炼钢炉（转炉/电炉）与某一台铸机的炉机匹配及钢厂物流整体流程的协调，保证了计算机辅助调度系统的在线运行。

（3）英国 BRONER 有限集团公司是金属工业 PPS（production planning scheduling）系统供应者之先驱。PPS 系统能够应用于轧制调度、精整和模铸过程。

（4）德国曼内斯曼钢铁公司的胡金根厂为合理调度生产，在协调各生产操作环节的基础上，成功开发了计算机生产调度管理系统，该系统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，能较好地适应现场生产。但因技术上的原因，尚未实现在线化应用。

归纳起来，国外的研究方法分为三种：数学模型方法、专家系统方法、人机交互法。从应用情况和每一种方法的具体特点看，集三者为一体的混合式方法最佳。

1.3.7 国内高效连铸物流管制理论研究现状

国内对炼钢生产系统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，从系统和整体角度来考虑钢厂的优化愈来愈重要，国内一批学者于八十年代末就开始了这方面的研究。他们认为，今后中国钢铁工业的发展应从高起点出发，提高连铸比，逐步实现全连铸，为此研究工作应从分析全连铸的生产过程时间调控入手。北京科技大学冶金战略与工程中心先后以上海浦钢、宝钢、安钢、唐钢、天津钢管、酒钢、广钢、首钢、济钢、重钢七厂等到炼钢厂为对象进行了物流管制

的研究，建立了全连铸生产的计算机调度系统模型。如图 1.2 所示。

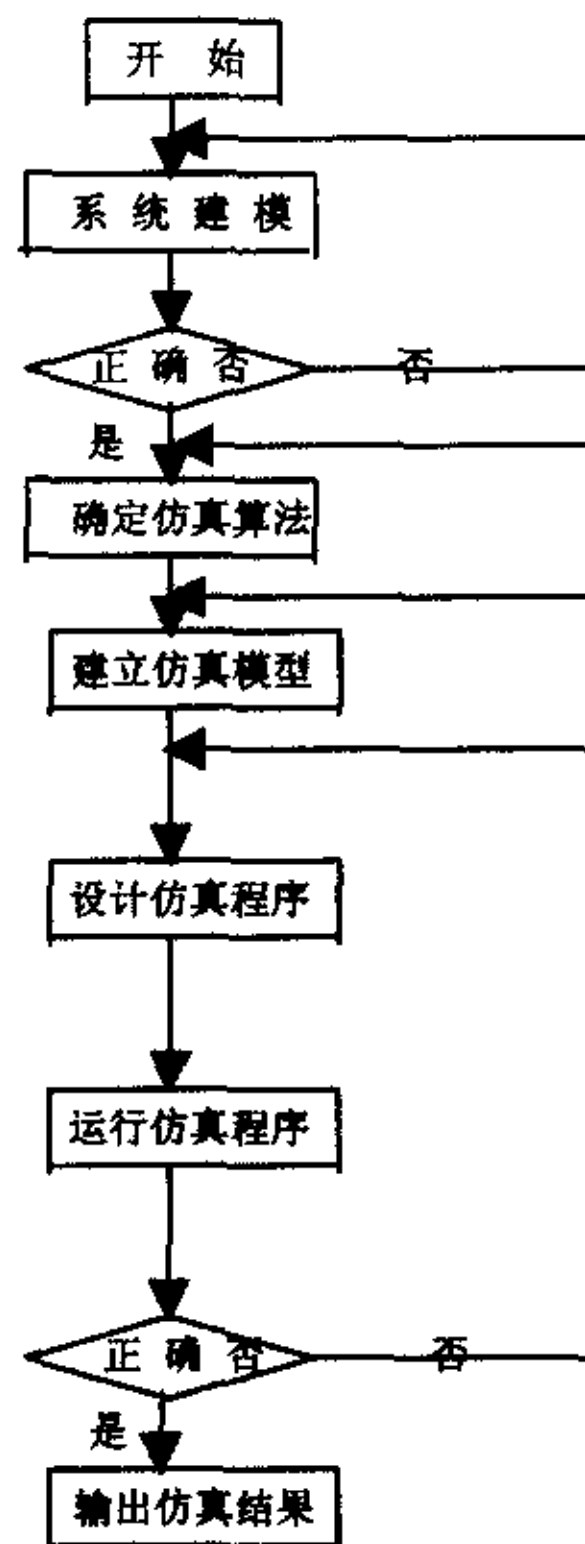


图 1.2 仿真流程图

fig1.2 simulation flow diagram

随着钢铁工业技术和生产水平的提高，应用计算机进行生产调度，实现炼钢厂乃至整个钢铁制造过程的物流管制最优化的前景是乐观的。

国内的炼钢厂系统调控的研究已经起步，研究的方法特点不一，各有所长，可归纳为两种：纯数学方法和基于知识处理的专家系统方法。对炼钢厂而言，最佳的建模方法应该是二者的有机结合。

1.4 钢铁制造流程调控的基础理论与相关理论

1.4.1 基础理论

在炼钢厂生产流程系统调控的研究中，运筹学是最早采用的基础理论，包括排队论、排序论、网络分析、线性规划、整数规划和动态规划等，它们很好的适应了炼钢—精炼—连铸生产特点的过程控制问题。此外，运筹学与有关概率论和数理统

计理论构成了研究炼钢厂系统乃至整个钢铁制造流程多维物流管制的纯数学方法的基础。

1.4.2 排队论基础知识

排队论是用于大量服务过程的数学理论，专门研究因随机因素而产生拥挤现象的科学，是现代运筹学中发展最早的一门分支学科。一般排队系统分为三个基本组成部分：1) 输入过程，即顾客到达的规律。2) 排队规则，即排队次序。3) 服务机构，即服务台的数目。任何一个顾客通过排队系统时都要经过到达、排队等待、接受服务、离去的过程。输入过程用来描述顾客到达规律，若以 $\{M(t), t > 0\}$ 表示在时间间隔 $(0, t)$ 到达排队系统顾客数； $\{S_n, n=0, 1, 2, 3, \dots\}$ 表示第 n 个到达系统的顾客的到达时刻； $\tau_n = S_n - S_{n-1}, S_0=0$ 表示第 n 个顾客与前一个顾客相继到达的时间间隔。则三者之间的关系如下：

$$M(t) = \max\{n, S_n < t\}$$

$$S_n = \sum \tau_i$$

根据到达过程的不同规律，输入过程有定长输入、泊松输入、 k 阶爱尔朗输入、一般独立输入、成批到达输入；排队规则有三种：损失制服务系统、等待制服务系统和混合制服务系统，其中混合制介于等待制和损失制之间，最接近实际情况。按队长则分为队长有限制、排队时间有限制和逗留时间有限制三种情况。服务机构通常包括：服务台数、服务机构形式和服务过程。

在全连铸生产中经常遇到的多座炼钢炉向多台精炼炉、多台连铸机供钢的复杂局面，而协调该生产过程即构成了具备输入过程、排队规则和服务机构等为基本特征的排队问题。

1.4.3 网络分析

网络分析属于图形理论，主要研究庞大复杂系统及其管理问题并解决工程设计

和管理决策的优化问题。通过构造由生产物流的点与边形成的发点和收点的有向图形来形成带容量的网络，分析网络的最大流量和最小时间节奏，从而得到网络的最大物流通过能力和最小流通时间及相关路线，基于以下假设：

- (1) 网络只有一个起点和终点；
- (2) 流过网络各条弧的物流具有方向性；
- (3) 对网络图中的各条弧赋予表示通过的最大容量 C_{ij} ，实际流量为 x_{ij} ：
 $0 < x_{ij} < C_{ij}$
- (4) 除起点和终点以外，流入任何一个顶点的流量必须等于流出顶点的流量，即

$$\sum x_{ij} - \sum x_{ji} = 0, i \neq S, t$$

求解一个网络最大流问题的方法很多，最常用的是 Ford-Fulkson 算法，之后 Edmondskarp 与 Dinic 对此算法作改进。建立了网络模型，进行了实际生产中不同物流模式下的网络最大流分析，应用表明这是对生产流程进行生产能力核算的有效方法。

1.4.4 数据处理及统计理论

钢铁生产规模庞大、过程复杂，生产中的某一工序往往不可能时间固定，而是在一定范围内甚至是随机分布的。要实现对过程的控制，必须掌握这些近于随机的参量的规律性，因此，概率论和数理统计起到了十分重要的作用。另外，在炼钢生产的调控过程中应完成如下工作：

- (1) 分析动态数字的统计规律性，推断产生数字序列的物理系统的新的规律；
- (2) 构造拟合数据序列的最佳数学模型；
- (3) 预报未来时刻的事件发生的可能性，并给出预报精度；
- (4) 系统分析或最优化处理。

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，简化了物理过程，如炼钢过程的钢水温度控制。另外，在生产中，生产者还用到大量的生产模型，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，为此需用实际数据统计分析，对模型进行修改，此时必然使用数据处理和统计知识。

综上所述，运筹学、概率和数理统计方法成了目前开发钢铁冶金生产过程调控模型的理论基石。

1.5 课题背景及研究内容

1.5.1 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优化技术着手。尤其是实现高效连铸、热装热送一及薄板坯连轧后，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（以下简称三炼钢）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，物流量的相应增大，导致诸工艺将会发生改变，物流管制出现了许多新问题，同时一系列设备必须经改造后才能适用高拉速下的生产局面。本课题将以首钢三炼钢厂为依托，以广钢转炉厂为依托的“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，进一步完善三炼钢方坯高拉速条件下生产过程的物流的组织

与控制。

1.5.2 本文的主要工作

(1) 研究内容:

测定三炼钢转炉炼钢厂温度参数, 并对生产数据进行整理和研究;

(2) 解决问题:

分析物流在状态和数量上的转变、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。

第二章 首钢三炼钢厂生产流程的物流解析

2.1 综述

2.1.1 生产物流状况概述

首钢三炼钢厂现有公称容量 80 吨转炉三座，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，断面为 $120 \times 120\text{mm}$ ，主要生产普碳钢、中高碳钢等钢种，对 2#、3#连铸机实行高效化改造后，铸机单流产量大于 10 万吨/年，流数由原来的 32 流减少到 24 流，基本实现了单炉对单机的生产匹配。其车间平面布置图如图 2.1 所示。

1、 炼钢工序：

三座 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 37 分钟、41 分钟（品种钢）。到 99 年 12 月 22 日 1#转炉炉龄达到 10753 炉后正常停炉进入中修。主要生产普碳钢，同时还生产少量品种钢；

2、 精炼工序：

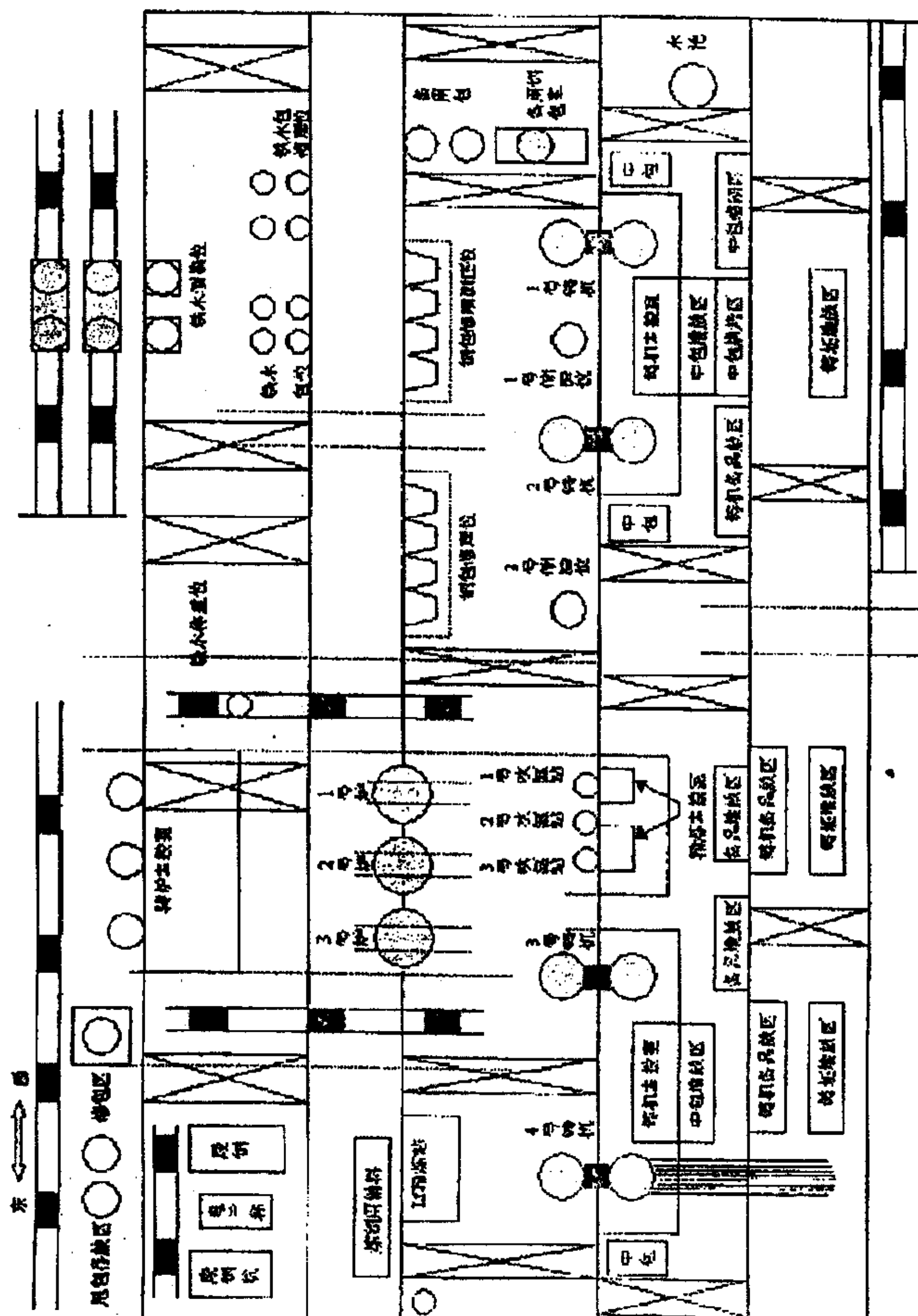
三座离线喂丝/吹氩站，氩气压力为 $0.8 \sim 1.4\text{Mpa}$ ，预吹氩时间为 Q235 钢 >3 分钟，其它钢种 >5 分钟，钢水在精炼站内时间为 $15 \sim 18$ 分钟；一座 80 吨 LF 炉，加热速率 >3 度/分，脱硫率不低于 40%，同时要求进站温度不低于 1550 度；VD 炉一座正在调试中。

3、 连铸工序：

有 4 台连铸机，断面均为 $120 \times 120\text{mm}$ 、 $130 \times 130\text{mm}$ ，基本弧形半径： $R11.6/6.031\text{m}$ ，其中，1#连铸机为备用机。高效化改造后，平均拉速达 3.3m/min ，最大为 4.2m/min 。

4、 钢包使用情况:

周转钢包个数为 9~12 个，公称容量为 81.04 吨。备用 6 个。



178 三才圖會

Fig. 14 Workshop plane layout map of Shougang No.3 Iron & Steel Plant

5、 天车情况：

现有天车 17 部，分布情况如图 2.2 所示。

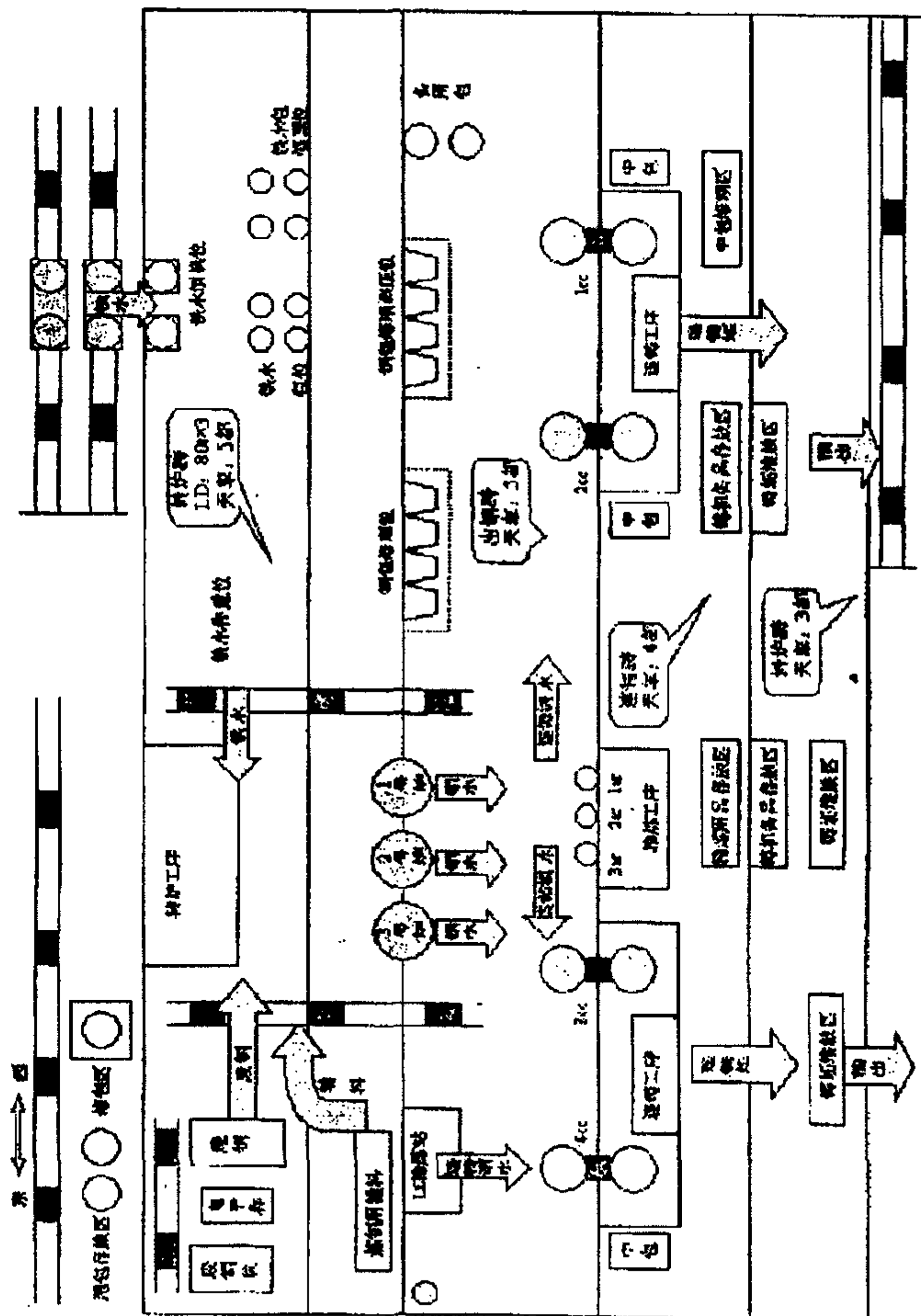


图 2.2 首钢三炼钢厂物流流向图

Fig 2.2 The mass flow flow direction map of Shougang No.3 Iron & Steel Plant

2.1.2 主要生产技术指标

首钢三炼钢厂 99 年 12 月份的主要生产技术指标如下表所示：

表 2.1 主要生产技术指标

项目	数值
普碳方坯合格率 (%)	99.39
钢铁料消耗 (Kg/t)	1093.38
铁水消耗 (Kg/t)	1005.86
转炉炉龄 (炉)	10753
综合工序能耗 (标煤)	26.65
白灰消耗 (Kg/t)	69.19
钢包包龄 (次)	75
方坯连铸钢水收得率 (%)	98.19

2.2 生产流程的物流参数解析

2.2.1 时间与温度、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、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、质量是内涵。时间的变化不可避免地影响到温度和质量的变化。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、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。

2.2.3 温度因素解析

温度因素是钢铁制造流程多维物流管制的重要参数之一，通过对首钢三炼钢厂生产流程的温度因素进行实测解析，可以掌握温度变化规律，建立合理的温度制度，为以后的标准化操作提供依据，保障高拉速生产条件下物流的顺行。实测数据包括转炉出钢温度，精炼前、后温度，大包到台温度和中间包测温温度（铁水温度暂时定为 1335℃—三炼钢统计值）。对这些数据进行统计分析的结果如下：

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，以 2 号转炉为例，其统计结果如表 2.2 所示：

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℃左右，1700℃以上所占比例达到了 20%，1600℃~1700℃占 68%，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。表明其整体水平有待提高；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，这一钢种出钢温度满足操作工艺要求（1605℃~1650℃）。

2.2.3.2 精炼站测温温度

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 2.3 所示，吹氩以 3 号站为例：

表 2.2 转炉出钢温度数据统计表

钢种	转炉号	样本数	最大值 (℃)	最小值 (℃)	平均值 (℃)	标准差	波动系数 (%)
Q235	1	87	1749	1581	1674.2	31.7	1.90
	2	78	1741	1566	1664.9	37.7	2.30
	3	92	1737	1602	1683.0	26.3	1.60
40#-80#	1	6	1627	1611	1617.8		
	2	25	1673	1566	1624.9		
	3	12	1601	1645	1623.9		

表 2.3 精炼工序温度数据统计表

精炼前							
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 (%)
Q235	1	201	1687	1562	1626.8	19	1.20
	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#		183	1604	1502	1541	20.1	1.30
精炼后							
Q235	1	199	1613	1568	1583.9	8.8	0.60
	2	224	1618	1529	1585.7	12.3	0.80
	3	161	1615	1557	1585	11.9	0.80
40#-55#	Lf	89	1588	1543	1561	9.9	0.60
60#-80#		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#<1550℃的占 24%，60#~80#<1550℃的占 50%；其原因有，

钢包状况不好，没有作到红包出钢，天车调度繁忙，使得等待时间长，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，只有 4 号连铸机进行了测量，故只对它进行分析，实测数据统计分析结果表 2.4 所示

表 2.4 4 号连铸机钢水到站温度统计表

铸机号	样本数	最大值 (°C)	最小值 (°C)	平均值 (°C)	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，对钢水有着严格要求，其拒浇温度为 1550°C，目标温度为 1555°C~1565°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°C 的占 58.5%，温度集中分布在 1519°C~1567°C。钢水到站温度偏低，说明了 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 2.5 所示：

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），了解钢水温度变化规律，如图 2.3~2.4 所示。

2.3 结论

通过对三炼钢实测生产流程物流参数的统计分析，可得到以下结论：

- (1) 三炼钢的生产调度有待提高，体现在钢包的周转上，各工序间的协调性较差，

表 2.5 中间包三次测温温度的数据统计表

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 (%)
1	1-4 流	180	1561	1532	1546.9	5.1	0.30
		180	1568	1532	1552.6	6.7	0.40
		181	1561	1527	1547.5	6.6	0.40
	5-8 流	181	1562	1535	1547.4	5.3	0.30
		180	1576	1521	1553.1	7.4	0.50
		177	1566	1528	1548	7	0.50
2	1-4 流	373	1560	1530	1544.5	4.7	0.30
		383	1566	1532	1549.3	5.9	0.40
		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
3	1-4 流	457	1565	1520	1544	6	0.40
		456	1571	1528	1549.3	7.4	0.50
		446	1567	1523	1544.1	6.5	0.40
	5-8 流	455	1566	1522	1544.8	6.4	0.40
		456	1572	1517	1549.6	7.7	0.50
		422	1567	1526	1544.9	6.7	0.40
4	1-4 流	196	1557	1492	1520.3	12.3	0.80
		192	1558	1499	1520.8	10.6	0.70
		192	1555	1490	1518.4	11.8	0.80
	5-8 流	203	1555	1494	1517.2	12.5	0.80
		199	1550	1495	1518.9	10.8	0.70
		195	1560	1489	1516.3	12.5	0.80

钢包无效等待时间较长，波动大，以致生产无明显的规律性。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、合理的周转，保证各工序之间物流的衔接紧凑。

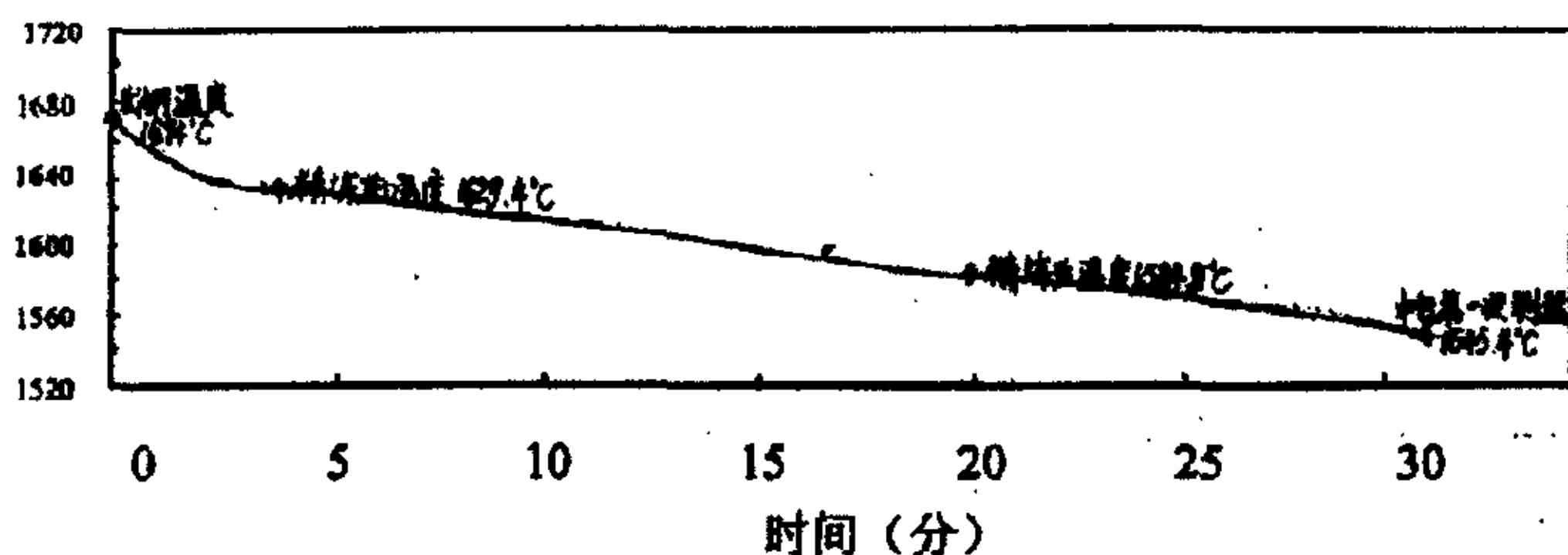


图 2.3 钢水温度变化曲线图 (Q235)

fig 2.3 curves chart of steel-water temperature variety (Q235)

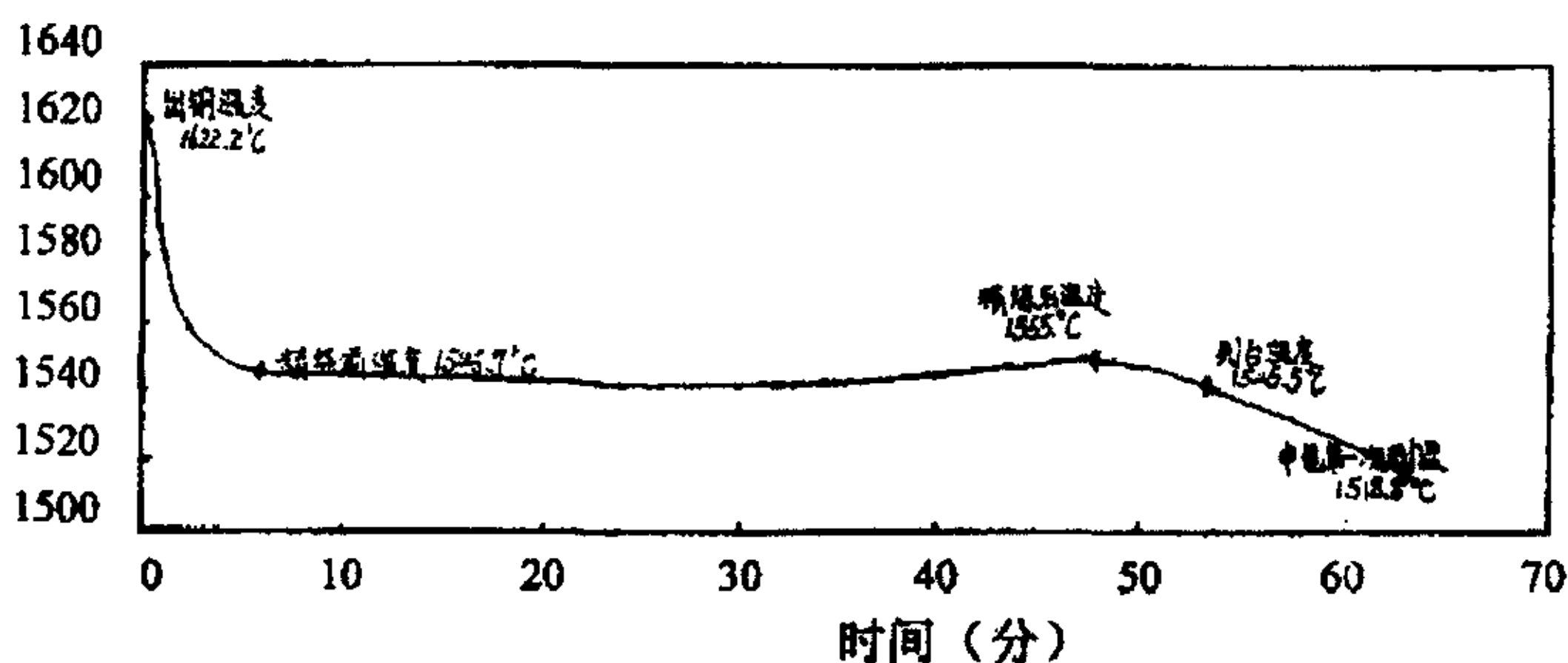


图 2.4 钢水温度变化曲线图 (品钟钢)

fig 2.4 curves chart of steel-water temperature variety (vary quality steel)

(2) 各工序要不断提高操作水平，转炉工序冶炼周期较长，高温温度占有一定比例（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，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。精炼工序是转炉、连铸之间的柔性环节，应根据

生产情况控制好两者之间的生产节奏，实现转炉和连铸机的合理匹配。

(3) 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，不致影响生产流程的物流的顺行；合理安排检测修、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—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：

连铸机年产量： $P=P_c*24*365*B*\eta$

式中： P ——每台连铸机年产量，万吨/年

P_c ——小时浇钢量，吨/小时（计算公式见后）；

B ——合格铸坯收得率，98.01%；

η ——连铸机日作业率，%

小时浇钢产量： $P_c=60*N*p*s*V_c$

N ——流数（8流）； V_c ——拉速，米/分

P ——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 $S=120*120\text{mm}^2$ 为例）。图中： A ——作业率、 B ——拉速、 C ——年浇钢量；

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： V_1 不详，断面 $120*120\text{mm}^2$ ；（备用铸机）
- (2) 2号连铸机平均工作拉速： $V_2=3.2\text{m/min}$ ，断面 $120*120\text{mm}^2$ ；
- (3) 3号连铸机平均工作拉速： $V_3=2.8\text{m/min}$ ，断面 $130*130\text{mm}^2$ ；
- (4) 4号连铸机平均工作拉速： $V_4=2.2\text{m/min}$ ，断面 $130*130\text{mm}^2$ 。

由此分析连铸机年浇钢量（未考虑 1#连铸机产量）：

根据三炼钢统计，99 年全年浇钢 243 万吨，可见，在只有三台连铸机工作的情

况下，以目前的拉速，作业率达到 55%以上即可完成产量；而 2000 年计划产量为 260 万吨，作业率达到 65%以上即可完成任务。

表 3.1 连铸机年浇钢量与拉速、作业率关系表

$\begin{matrix} A \\ B \backslash C \end{matrix}$	50%	55%	60%	65%	70%	71%	72%	73%	74%	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

表 3.2 连铸机年浇钢量（万吨）分析表

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

3.1.2 转炉生产能力的核算

转炉单炉年产量： $P=60*W/t*24*365*\eta$

式中：

P——转炉单炉年产量，万吨/年；

W——转炉平均出钢量，83.73 吨/炉；

t—冶炼周期， 分；

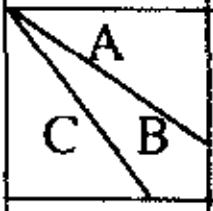
η ——转炉作业率，%

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—作业率、B—年产量、C—冶炼周期；

表 3.3 转炉年产量与冶炼周期、作业率关系表

$\begin{matrix} A \\ C \backslash B \end{matrix}$	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	72	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	72	73	74
42	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72

43	61	62	63	64	66	67	68	69	70	71
44	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
27	114	116	117	119	121	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	82	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	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79

由以上各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
LD2	91	89	81	75	69
LD3	94	92	83	77	71
合计	276	270	245	227	209

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（约低 60 万吨/年）。

(2) 转炉年产量亦可估算如下：转炉日产 90 炉，7549 吨，(99-11-15) 年产量为：7549*365=2755385；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（2000 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，三座转炉产量为 288 万吨（详见表 3.5）。

表 3.5 转炉年产钢量（万吨）分析表 2

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	309	288	267	249

三炼钢 2000 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，作业率达到 65%，则其目标年产量完全可以实现。

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

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。这一分析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，减少钢包周转到达过程中的温降，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，最大连浇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大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浇炉数，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：

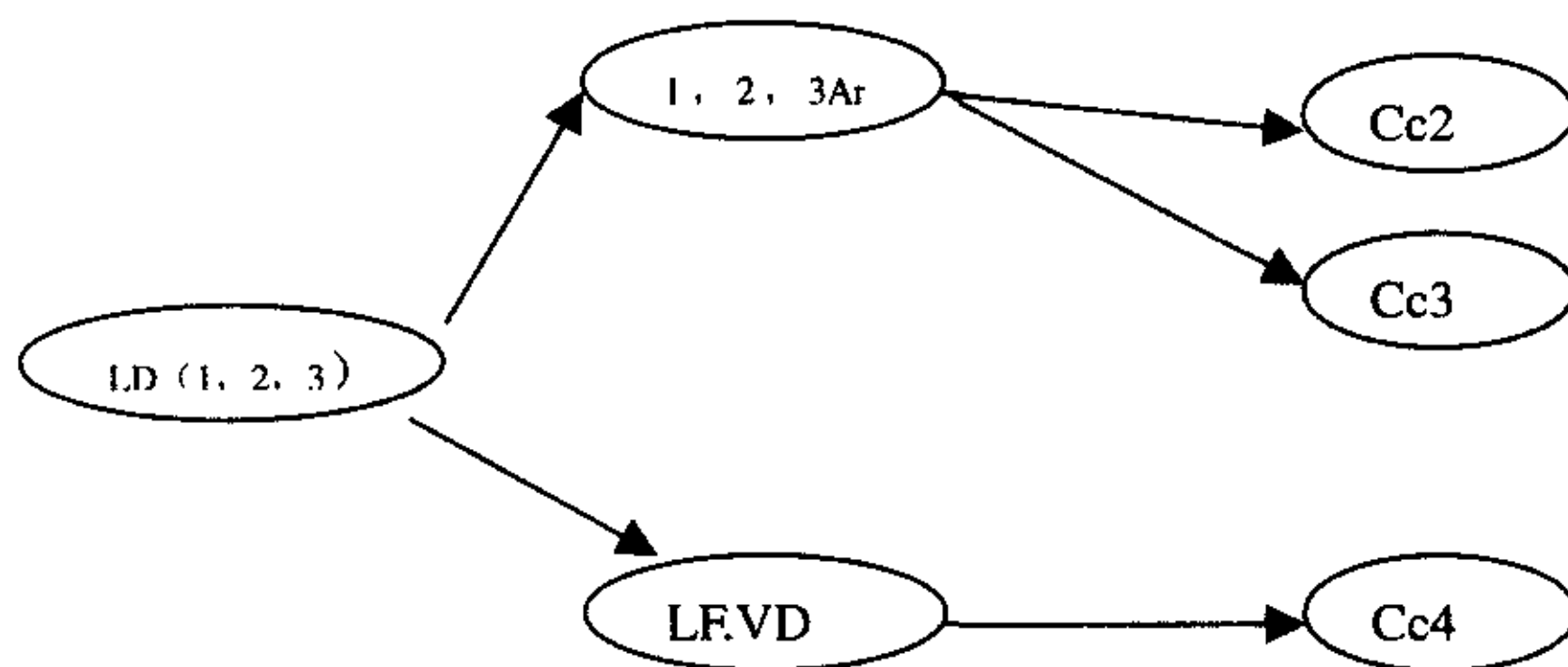


图 3.1 优化后生产模式图

fig 3.1 production pattern chart after optimization

3.2.3 炼钢——连铸生产计划的编制

炼钢——连铸生产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 小时；铁水供应充足，成分温度稳定。

转炉生产计划：单炉月产量： $P_{\text{单}}=P_y/12/3=260/12/3=72222.2$ 吨；

单炉月出钢炉数： $N=P_{\text{单}}/W=72222.2/83.73=862.6$ 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 3.6）

表 3.6 单座转炉生产作业计划的编排

项目	品种钢		普碳钢		总炉数
	重量 1	炉数 1	重量 2	炉数 2	
月生产量 (吨)	19500	232.9	52722.2	629.7	862.6
半旬产量 (吨)	3250	38.8	8787	105	143.8
日产量 (吨)	650	7.8	1757.4	21	28.8
班产量 (吨)	216.7	2.6	585.8	7	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，三座转炉一天生产炉数不少于 86 炉。具体地说，每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 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，可以安排一天的生产计划。

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：

$$T_{\text{cc}}=n*t \quad t\text{——生产周期，分钟； } n\text{——连浇炉数，炉；}$$

连铸机每天生产时间由上式计算为：

$$4 \text{ 号 } 38.5*24=924 \text{ 分钟（作业率 64%）；}$$

$$2 \text{ 号 } 63/2*30.7=923 \text{ 分钟（作业率 64%）；}$$

$$3 \text{ 号 } 63/2*28.6=901 \text{ 分钟（作业率 63%）；}$$

单座转炉生产时间为：

$$63 \times 32 / 2 = 1008 \text{ 分钟（作业率 70%）；}$$

$$24 \times 40 = 960 \text{ 分钟（作业率 67%）；}$$

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 号铸机于每周三定时检修，检修时间均为 10 小时；具体情况如转炉——连铸机生产参数表 3.7~3.8 所示（表中 A 代表普碳钢，B 代表品种钢）；

表 3.7 转炉——连铸机生产参数表（连铸机按统计值计算）

项目		1#LD	2#LD	3#LD	2#CC	3#CC	4#CC
生产周期 (分钟)	A	32	32	32	30.7	28.6	--
	B	40	40	40	---	--	38.5
日产钢量 (炉)	A	63			63		--
	B	24			--		24
日作业时间 (分钟)	A	1008			967	901	--
	B	960			---	--	924
日作业率 (%)	A	70			67	63	--
	B	67			---	--	64
中间包连浇 炉数 (炉)	(平均)	--			14	15	9
	(最大)	--			19	19	11
中间包个数 (个/日)	(平均)	--			2.25	2.10	2.67
	(最大)	--			1.66	1.66	2.18
空闲时间 (小时)	A	7.2			7.92	8.88	--
	B	7.92			---	---	8.64
建议检修时间 (小时)		<=8			<=8	<=8	<=8

表 3.8 转炉——连铸机生产参数表（连铸机按优化值计算）

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	--
	B	40	40	40	--	--	40
日产钢量 (炉)	A	63			63		--
	B	24			--		24
日作业时间 (分钟)	A	1008			1008	1008	--
	B	960			--	--	960
日作业率 (%)	A	70			70	70	--
	B	67			--	--	67
中间包连浇 炉数(炉)	(平均)	--			14	15	9
	(最大)	--			19	19	11
中间包个数 (个/日)	(平均)	--			2.25	2.10	2.67
	(最大)	--			1.66	1.66	2.18
空闲时间 (小时)	A	7.2			7.2	7.2	--
	B	7.92			--	--	7.92
建议检修时间(小时)		<=8			<=8	<=8	<=8

按照表 3.8 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，由表 3.7 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，保证铸机是顺利实施计划的关键，可以看出，在第一种情况下，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他操作。

目前，三炼钢转炉炼钢的温度和成分的命中率不高，钢包运行状况不稳定，提高转炉的温度/成分命中率，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。

根据前面温度统计分析,可以得到各工序间温度变化规律如表 3.9-3.12 所示:

表 3.9 出钢到精炼站温度变化表

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)
1	Q235	1674.2	1626.8	3.6	47.4	13.2
	40#-55#	1617.8	1522.4	6.5	65.4	10.1
	60#-80#		1541		76.8	11.8
2	Q235	1664.9	1630.2	3.6	34.7	9.6
	40#-55#	1624.9	1552.4	5.8	72.5	12.5
	60#-80#		1541		83.9	14.5
3	Q235	1683.0	1631.2	3.6	51.8	14.4
	40#-55#	1623.9	1552.4	5.8	71.5	12.3
	60#-80#		1541		82.9	14.3

表 3.10 精炼站内温度变化表

精炼站号	钢种	进站温度 (℃)	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	1630.2	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	42.7	-8.6	-0.2
	60#-80#	1541	1549		-8	-0.19

表 3.11 精炼毕至到台过程温度变化表

去向	钢种	出精炼站 温度 (°C)	到台温度 (°C)	运输时间 (min)	温降 (°C)	温降速率 (°C/min)
Lf-4cc	40#-55#	1561	1545.5	4.4	15.5	3.5
	60#-80#	1549			3.5	0.8

表 3.12 出精炼站至中包第一次测温温度变化表

去向	钢种	出精炼站 温度 (°C)	到台温度 (°C)	运输时间 (min)	温降 (°C)	温降速率 (°C/min)
1Ar-1CC	Q235	1583.9	1547.6	11.9	36.3	3.1
2Ar-1CC		1585.7		12.8	38.1	3.0
3Ar-1CC		1585		12.4	37.4	3.0
1Ar-2CC	Q235	1583.9	1546.2	10.5	37.7	3.6
2Ar-2CC		1585.7		10.5	39.5	3.8
3Ar-2CC		1585		10.8	38.8	3.6
1Ar-3CC	Q235	1583.9	1546.5	9.7	37.4	3.9
2Ar-3CC		1585.7		9.9	39.2	40
3Ar-3CC		1585		10.2	38.5	3.8
Lf-4cc	40#-55#	1561	1522.4	10.4	38.6	3.7
	60#-80#	1549			26.6	2.6

统计出的三炼钢厂温度测试点及整个生产过程中温度的变化情况，见图 3.2-3.3。

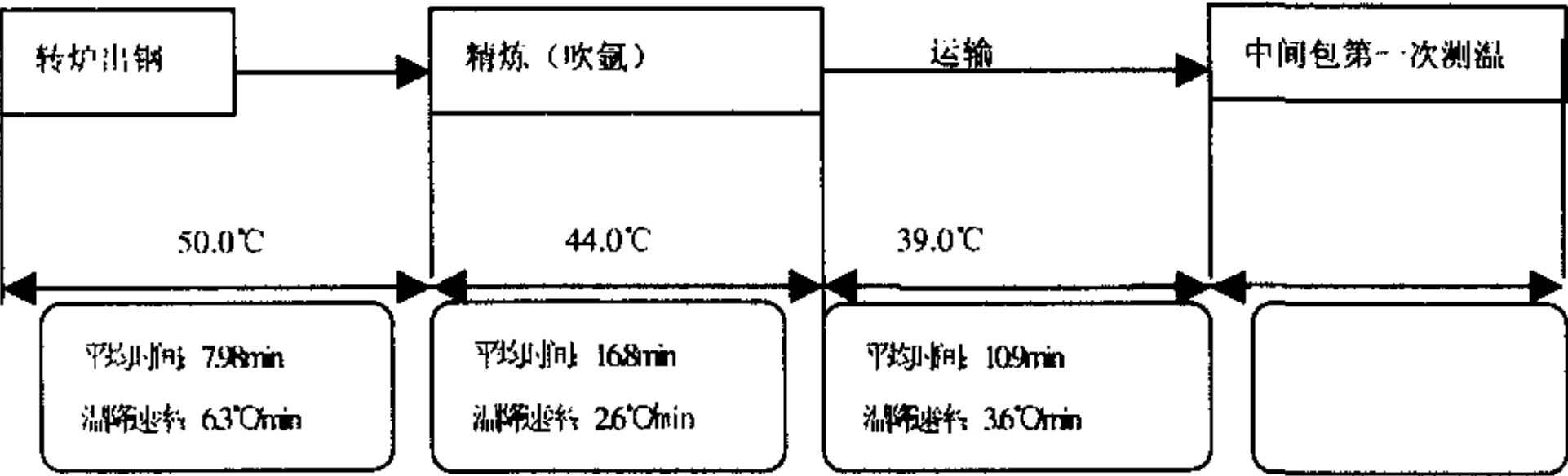


图 3.2 1 号转炉 Q235 钢生产过程各工序和工序间的温降

fig 3.2 1# steel convert temperature reducing of operation in production process(Q235)

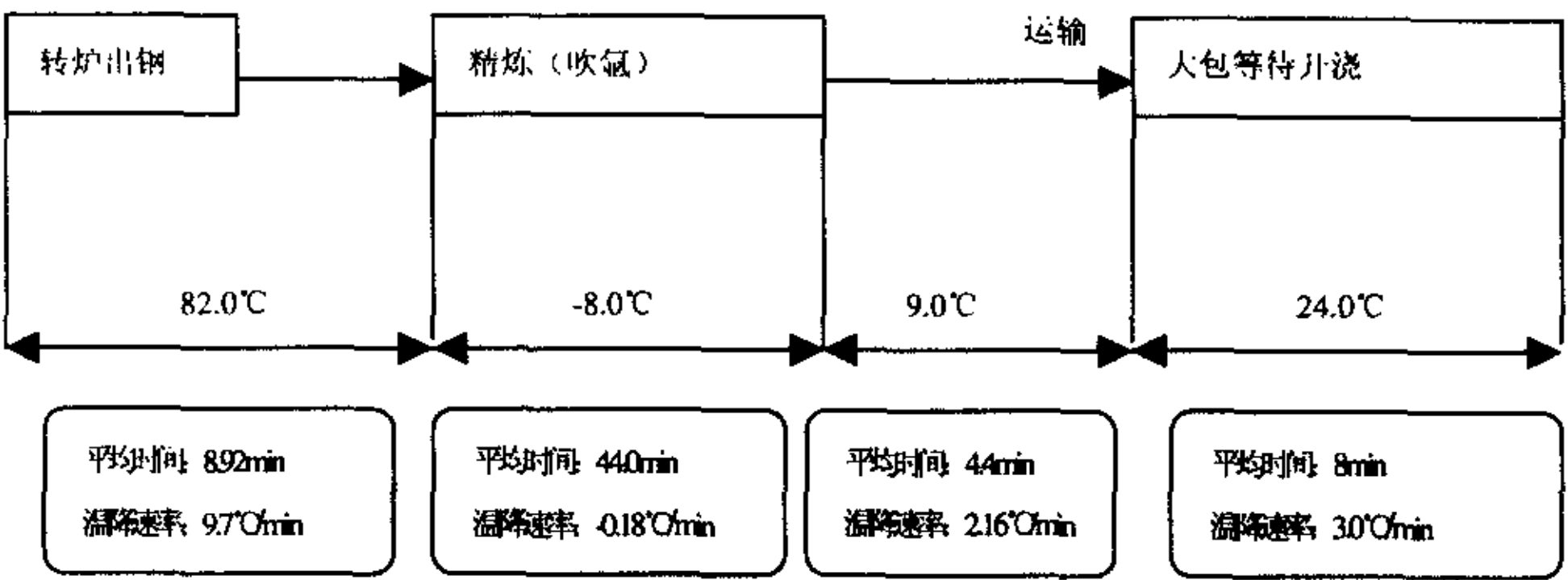


图 3.3 1 号转炉品种钢生产过程各工序和工序间的温降

fig 3.3 1# steel convert temperature reducing of operation in production process
(vary quality steel)

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：

$T_c=T_L+\Delta T$

式中：Tc—浇注温度，℃ TL---钢的液相线温度，℃
 ΔT—中间包内钢水过热度，℃

(1) 钢水的液相线温度

钢水液相线温度可以采用以下计算：

Q235 钢： $T_L=1537-\{88[C\%]+8[Si\%]+5[Mn\%]+30[P\%]+25[S]\}$ ℃

品种钢： $T_L=1539-\{70[C\%]+8[Si\%]+5[Mn\%]+30[P\%]+25[S]\}$ ℃

钢种对应的参考化学分见表 3.13：

根据上表中给予出的化学成分范围可计算出液相线温度范围，如表 3.14：

(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 3.15

表 3.13 不同钢种的化学成分

钢种	化学成分 (%)				
	C	Si	Mn	P	S
Q235	0.14~0.22	0.12~0.30	0.30~0.65	≤0.045	≤0.050
45	0.42~0.85	0.17~0.37	0.5~0.8	≤0.035	≤0.035
50	0.47~0.55				
55	0.5~20.6				
60	0.57~0.65				
65	0.62~0.7				
70	0.67~0.75				
75	0.72~0.8				

表 3.14 各钢种液相线温度范围

Q235			1509℃≤TL≤1520℃		
品种钢					
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	1476.32	75	1467.86	1457.72
60	1481.06	1470.92			

表 3.15 中间包浇注控制温度

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
4	45#	1484~1494	1534~1544	1514~1524
	50#	1480~1490	1530~1540	1510~1520
	55#	1475~1485	1525~1535	1505~1515
	60#	1471~1481	1521~1531	1501~1511
	65#	1466~1476	1516~1526	1496~1506
	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 ΔT ，反推就可确定出钢温度 $T_{\text{出钢}}$ ，

$$\begin{aligned} T_{\text{出钢}} &= T_L + \Delta T \\ &= T_L + \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \Delta T_4 + \Delta T_5 + \Delta T_6 + \Delta T_7 \end{aligned}$$

式中： T_L —液相线温度，

ΔT —中间包钢水的过热度及钢水传递过程总温降， $^{\circ}\text{C}$

ΔT_1 —中间包钢水的过热度， $^{\circ}\text{C}$

ΔT_2 —浇注期间钢水平均温降， $^{\circ}\text{C}$

ΔT_3 —中间包钢水温降， $^{\circ}\text{C}$

ΔT_4 —钢包等待开浇温降， $^{\circ}\text{C}$

ΔT_5 —精炼后运输至回转台过程温降， $^{\circ}\text{C}$

ΔT_6 —精炼过程温降， $^{\circ}\text{C}$

ΔT_7 —出钢至精炼站过程温降， $^{\circ}\text{C}$

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 3.16~3.17。

表 3.16 炼钢厂各工序温度目标值（Q235）

项目	$T_{\text{转炉}}$	$T_{\text{中包}}$	$T_{\text{精炼后}}$	$T_{\text{精炼前}}$	$T_{\text{出钢}}$
反推计算值 ($^{\circ}\text{C}$)	1509~1520	1539~1550	1578~1589	1622~1633	1672~1683

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

表 3.17 炼钢厂各工序温度目标值（品种钢）

钢种	T _{出钢}	T _{中包}	T _{出钢}	T _{出钢}	T _{出钢}	T _{出钢}
45#	1484~1494	1514~1524	1538~1548	1547~1557	1539~1549	1621~1631
50#	1480~1490	1510~1520	1534~1544	1543~1553	1535~1545	1617~1627
55#	1475~1485	1505~1515	1529~1539	1538~1548	1530~1540	1612~1622
60#	1471~1481	1501~1511	1525~1535	1534~1544	1526~1536	1608~1618
65#	1466~1476	1496~1506	1520~1530	1529~1539	1521~1531	1603~1613
70#	1462~1472	1492~1502	1516~1526	1525~1535	1517~1527	1599~1609
75#	1457~1467	1487~1497	1511~1521	1520~1530	1512~1522	1594~1604

铸钢水的浇铸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运行，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、炉外精炼方式和处理时间等均影响钢水温度。

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，尽量缩短钢包浇铸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。

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 3.18~3.19 所示

表 3.18 炼钢厂各工序温度目标值（Q235）

项目	T _{液线}	T _{中包}	T _{精炼}	T _{精炼}	T _{出钢}
反推计算值 (℃)	1509~1520	1539~1550	1575~1586	1606~1617	1655~1666

表 3.19 炼钢厂各工序温度目标值（品种钢）

钢种	T _{液线}	T _{中包}	T _出	T _{精炼}	T _{精炼}	T _{出钢}
45#	1484~1494	1514~1524	1536~1546	1543~1553	1536~1546	1616~1626
50#	1480~1490	1510~1520	1532~1542	1539~1549	1532~1542	1612~1622
55#	1475~1485	1550~1515	1527~1537	1531~1541	1527~1537	1607~1614
60#	1471~1481	1501~1511	1523~1533	1530~1540	1523~1533	1603~1613
65#	1466~1476	1496~1506	1518~1528	1525~1535	1518~1528	1598~1608
70#	1462~1472	1492~1502	1514~1524	1521~1531	1514~1524	1594~1604
75#	1457~1467	1487~1497	1509~1519	1502~1512	1509~1519	1589~1599

将优化前后转炉出钢温度进行对比，结果如表 3.20~3.21 所示。

表 3.20 Q235 钢在各工序温度

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

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 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

表 3.21 品种钢转炉出钢温度

钢种	优化前 (°C)	优化后 (°C)
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

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，极大简化了生产高度，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，转炉冶炼周期缩短到 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) 由钢包周转分析，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。

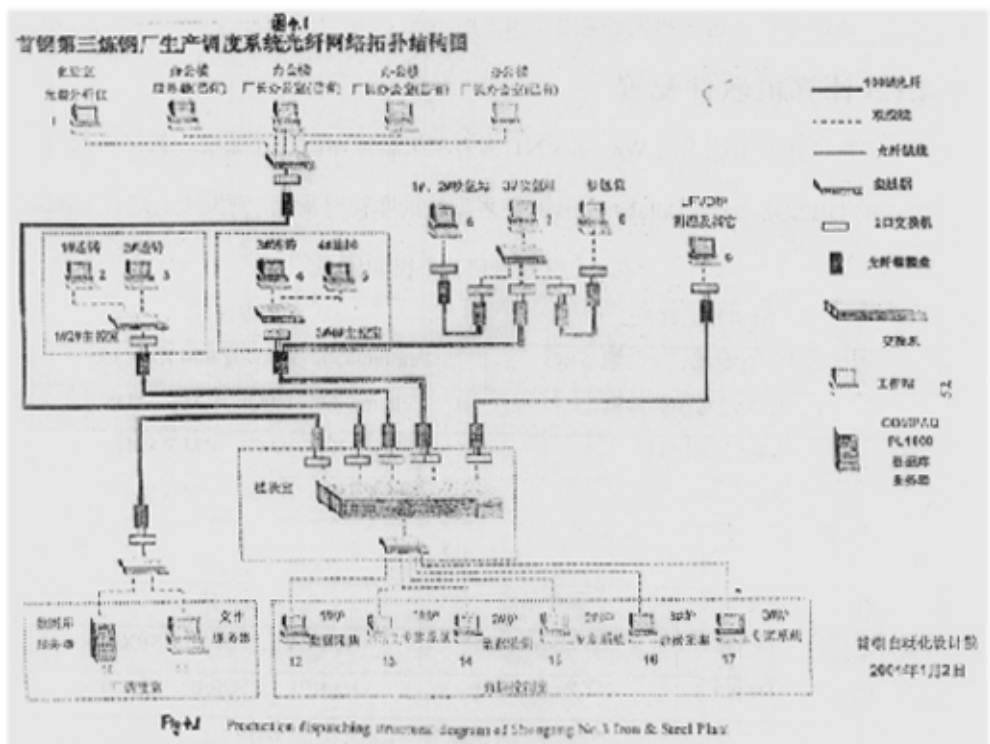
第四章 计算机辅助调度系统的建立

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。网络连接采用 3COM 公司的 Switch100(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 精炼站配置一台客户机，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：

4.1.3 计算机软件配置

计算机网络系统采用 Windows NT 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

表 4.1 服务器和客户机配置表

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, 6.0G, 64M RAM15'
吹氩精炼计算机	Celleron400, 6.0G, 64M RAM15'
1、2、3、4 号连铸机	Celleron400, 6.0G, 64M RAM15'

表 4.2

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

公司（Borland）的 Delphi5.0，采用 Client/Server 结构编程，具体如下所示：对于数

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 系统设计原则

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 21 世纪的先进技术成果。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，保证系统的可靠性和安全性。

(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性和协作性，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
- 信息格式标准化
- 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组织结构变化而做很大修改。这要求在软件开发时，应用程序必须规范化、模块化、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、完整性和可靠性，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和工厂数据访问。

基于上述原则和设计思想，下面提出最终建立的模拟系统的设计方案。

4.2.2 系统软件设计方案

首钢第三炼钢厂模拟调度系统可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：

- 实现对炼钢、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模拟管理；
- 提供标准文件服务及管理功能；
- 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）、成分数据（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、生产过程通讯模块等方面。

4.2.4 数据库设计

4.2.4.1 数据表设计

通过对首钢三炼钢厂系统数据的分析，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、目标成分数据、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、成分数据、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、成分，设备状态、物流，能耗，物耗，

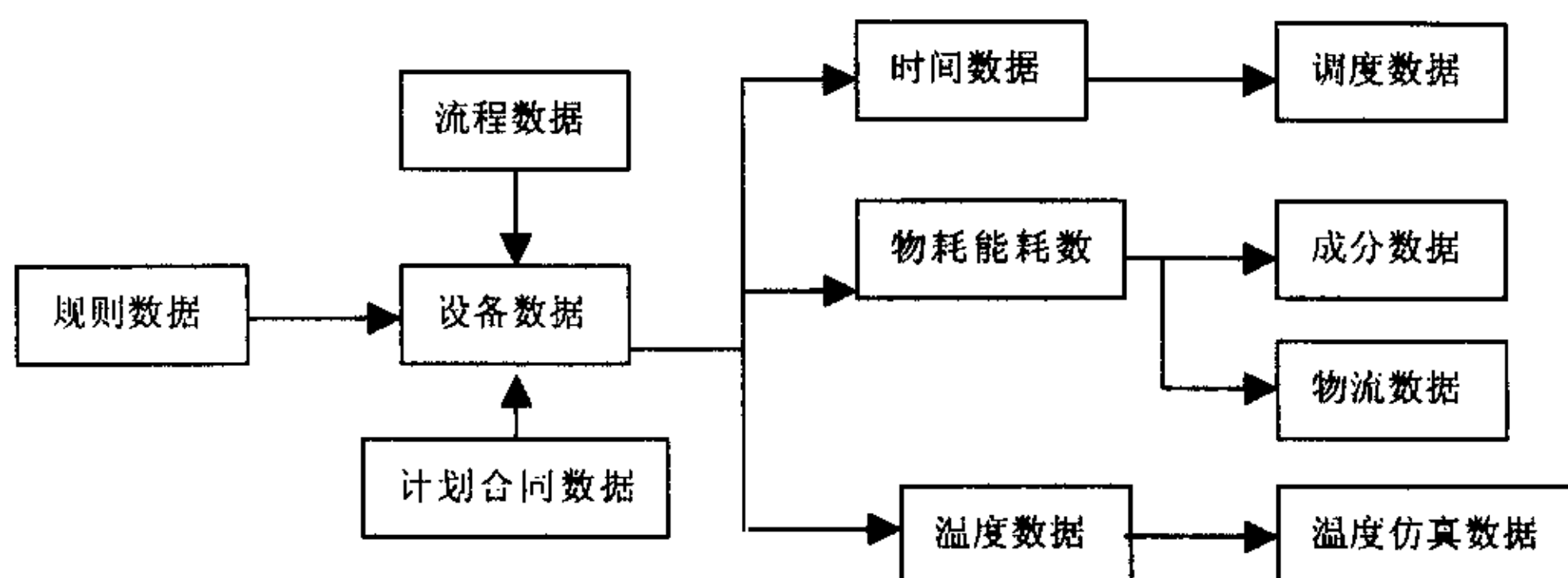


图 4.2 转炉和精炼工序数据表关系

fig 4.2 relation of steel converter and refining operation data

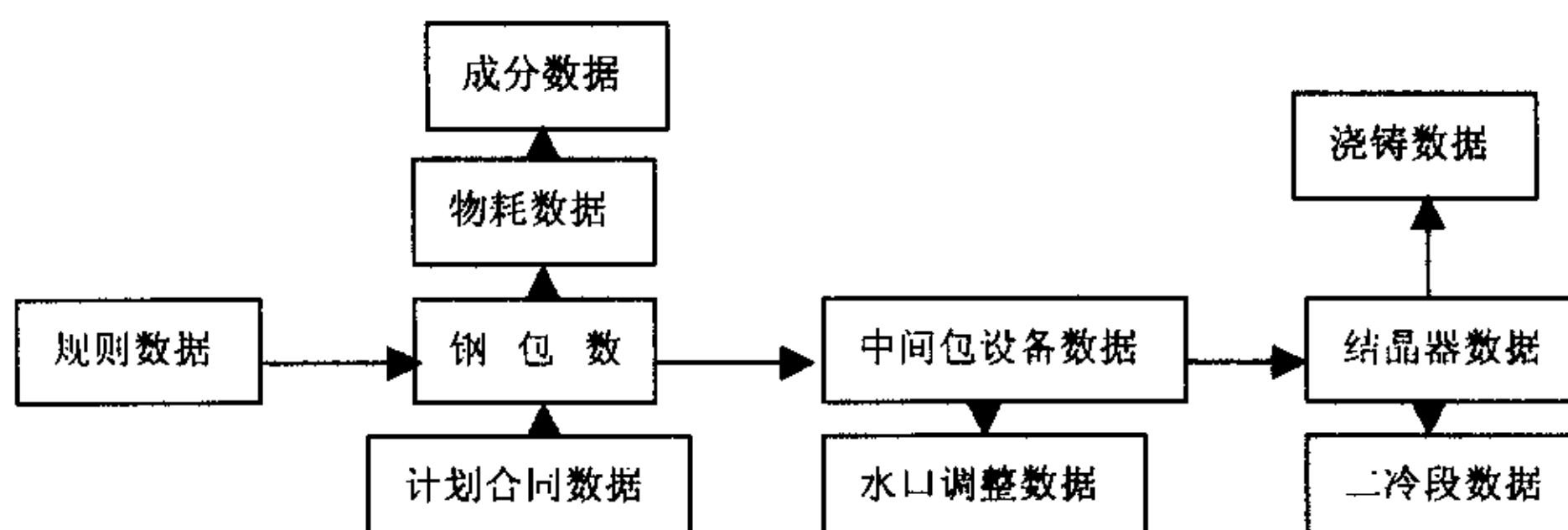


图 4.3 连铸工序数据表关系

fig 4.3 relation of continuous casting operation data

- 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：目标成分，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

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。同时限制了对敏感数据的存取，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的操作，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。

触发器主要包括：

- 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、热修包位等工位）

4.2.5 软件模块设计

在客户端采用 Delphi 5.0 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；

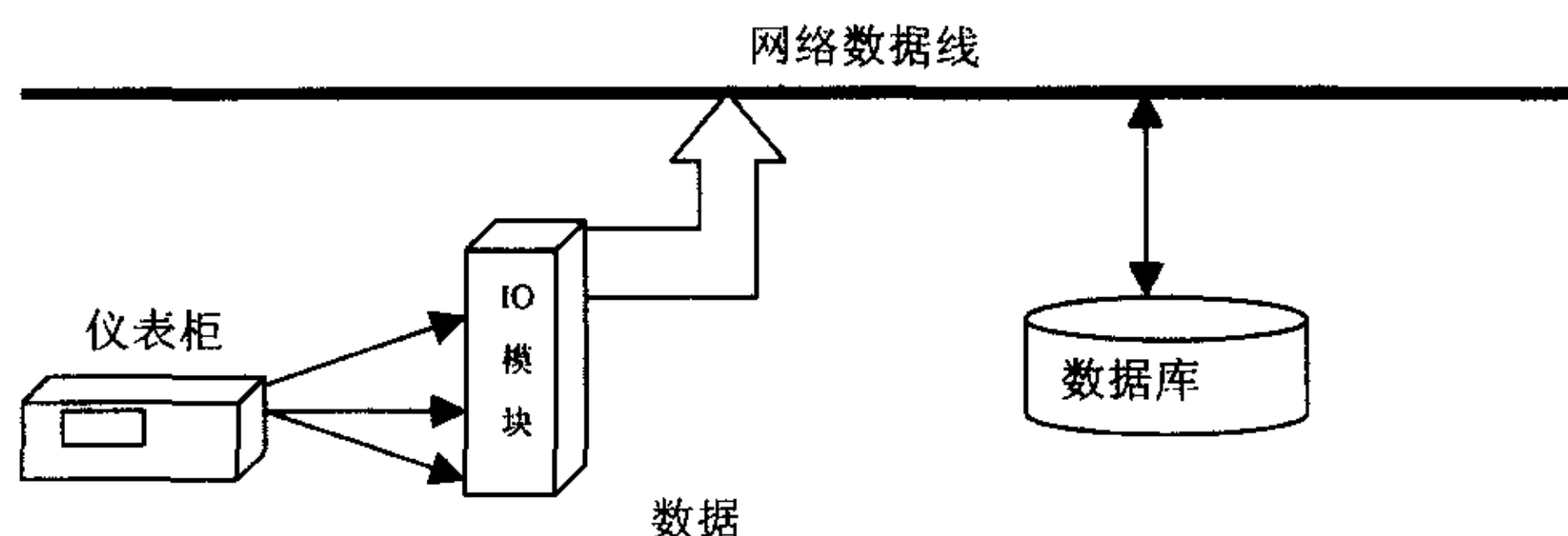


图 4.4 底层数据的收集模块图

fig 4.4 module chart of bottom data 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。

生产计划产生示意图 4.5；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。

1、数据收集

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。各个工序的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

于调度员人工输入。将收集完毕的数据汇总送入调度模块，如图 4.6 所示。

2、调度模块的运行

调度模块的入口参数分为两种情况：其一为数据收集，约束数据进入到调度

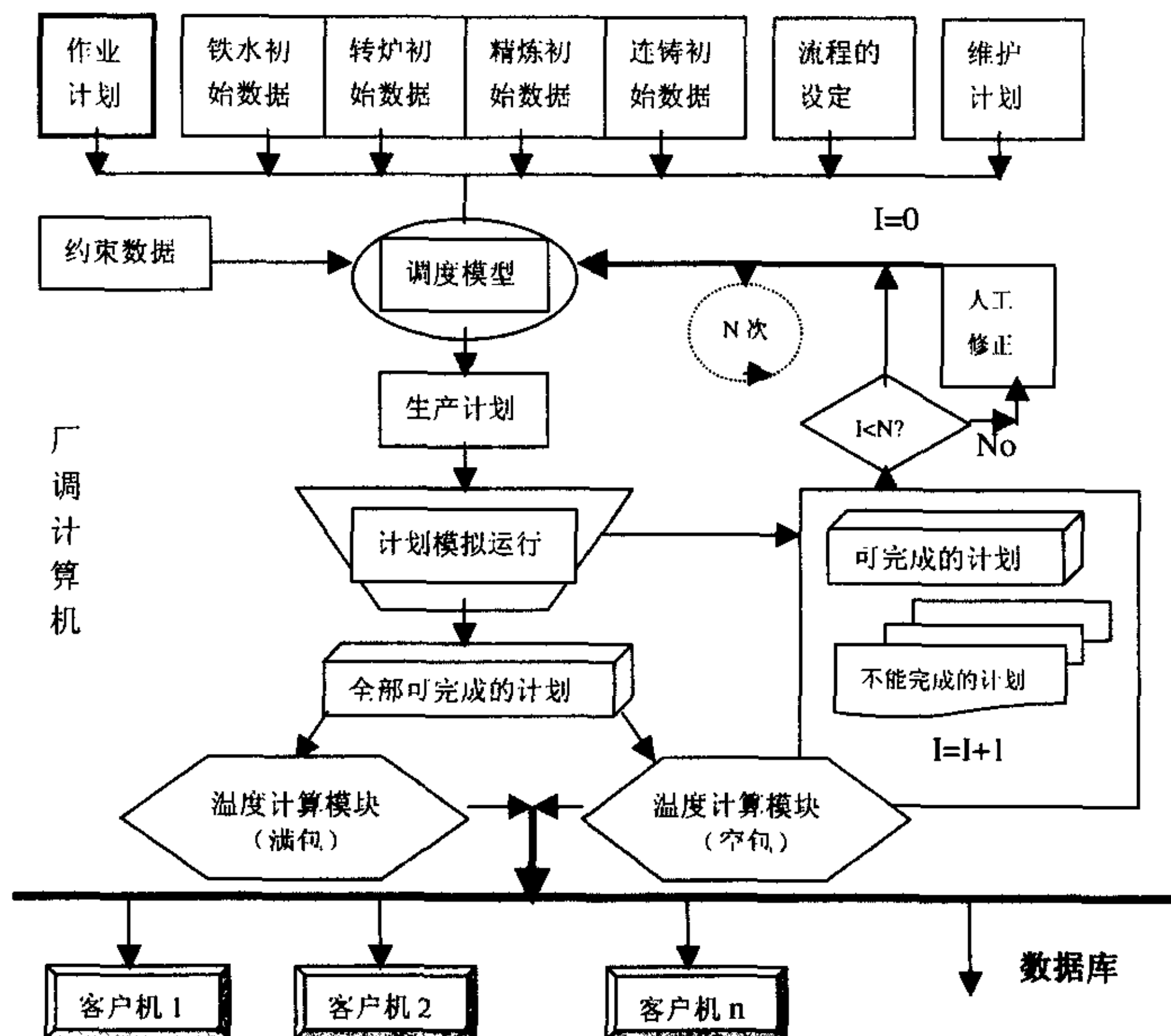


图 4.5 调度计划生成模块图

fig 4.5 module chart of dispatching plan generation

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

此模块功能为模拟运行初步调度计划。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，计划模块

图 4.5 描述了调度模块排定生产计划的几个步骤：

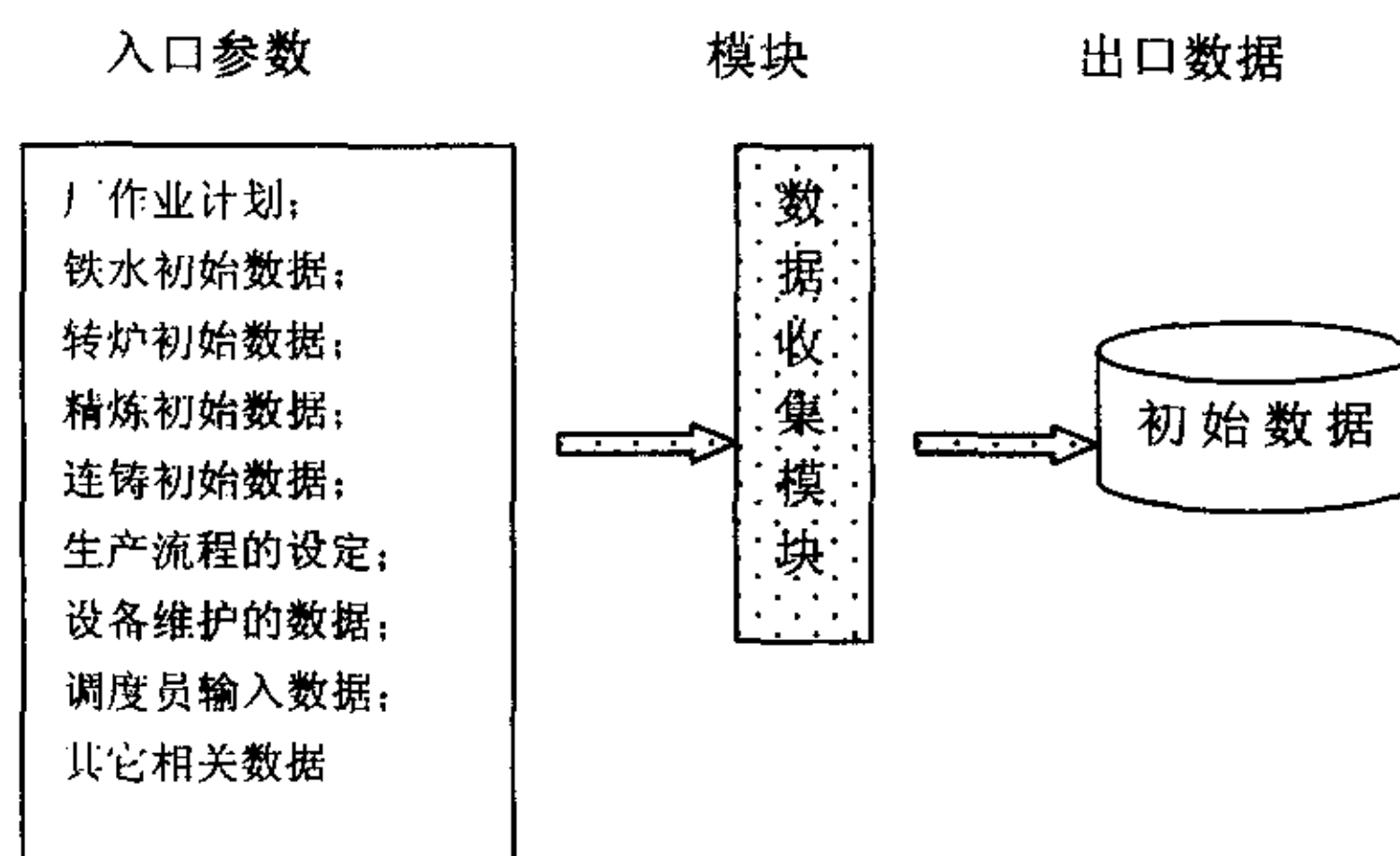


图 4.6 数据收集模块的入口和出口参数

fig 4.6 entrance and exit parameter of data collection module

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

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：

$$\Delta T = K * t$$

式中： ΔT ——该过程的温降值， $^{\circ}\text{C}$

K ——过程温降速率， $^{\circ}\text{C}/\text{min}$

T ——过程时间， min

则满包钢水运输过程中的计算公式为：

$$T = T_{\text{出钢}} - K1 * t1 - K2 * t2 - K3 * t3 - K4 * t4$$

式中：t1——出钢至钢包到达精炼站运输时间，分钟；

t2——精炼处理时间，分钟；

t3——精炼完毕至到达连铸平台运输时间，分钟；

t4——连铸平台等待浇注时间，分钟；

K1——出钢至钢包到达精炼站温降，6.3/9.2 °C/min

K2——精炼过程温降，2.6/-0.18 °C/min

K3——精炼完毕至到达连铸平台温降，3.6/2.0 °C/min

K4——连铸平台等待浇注温降，-/3.0 °C/min

注：普碳钢/品种钢 温降速率不同。

(1) 空包温度计算公式

$$T_{\text{空包温度}} = T_{\text{离台温度}} - K1 * t1 + K2 * t2 - K3 * t3$$

式中：T_{空包温度}——出钢前钢包温度

T_{离台温度}——钢包浇毕温度

K1——钢包修理过程中平均温降速率

K2——钢包烘烤过程中平均升温速率

K3——钢包烘烤完毕等待接钢的温降速率

t1——钢包从回转台返回的运输时间和修理时间

t2——钢包烘烤时间

t3——钢包烘烤完毕等待接钢时间

5、数据发送

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

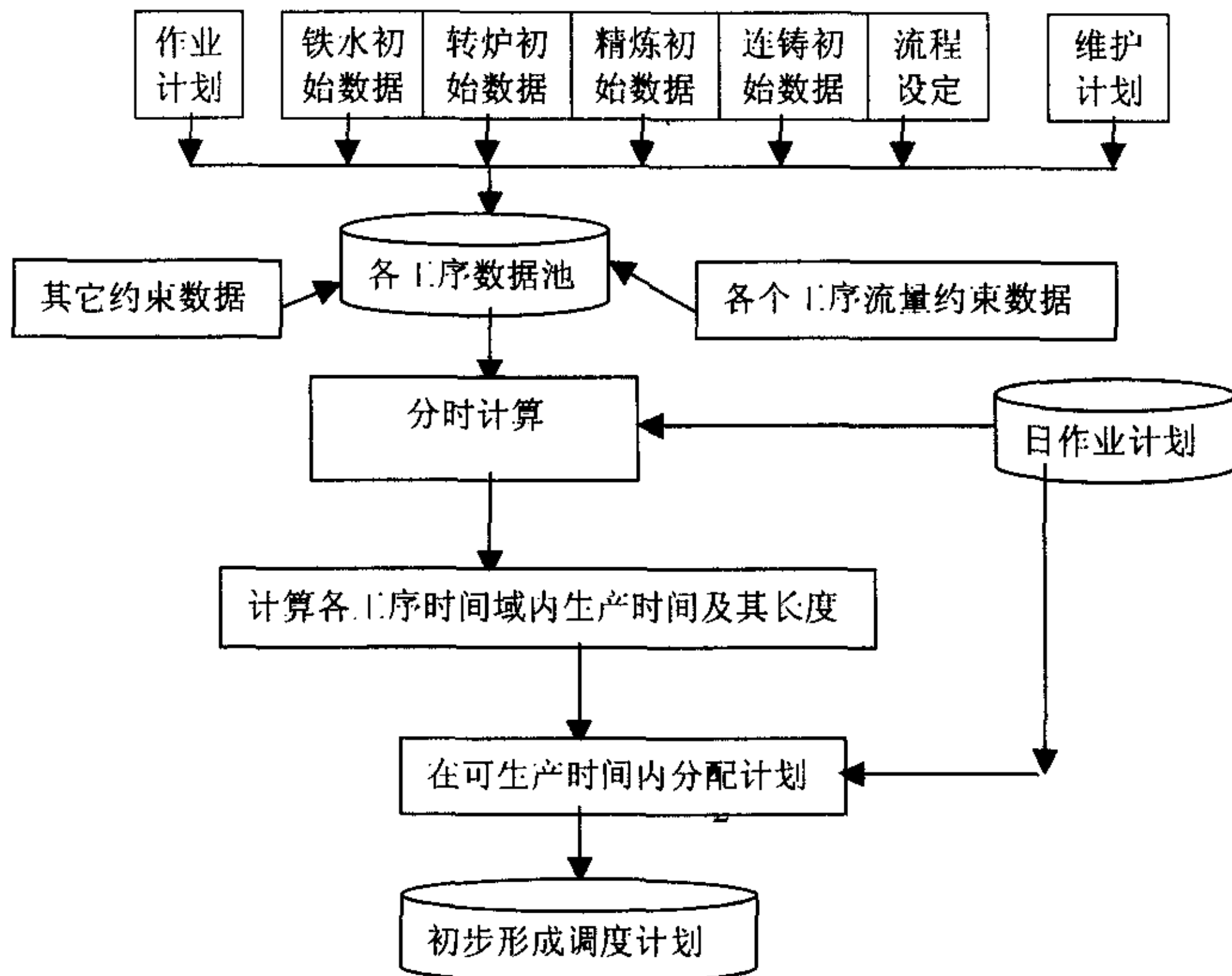


图 4.7 调度模块运行示意图

chart 4.7 delineation of dispatching module running

详细步骤如下：

- ① 接收初始数据（Step 1） 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（Step 2） 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 4.8a 所示：



图 4.8 (a) 某工序分时示意图

fig 4.8 (a) delineation of operation time

上图说明：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（如图中可利用时间段 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、判断出最佳时间段。划分出的时间段的数学描述如下：

- ③ 可利用时间段 I 的起止时间点表示为[A, B],

$$\text{其时间域表示为} \begin{cases} t_{SE}^{W1} = B - A \\ [t_s^I, t_E^I] = [A, B] \end{cases}$$

- ④ 非生产时间的起止时间点表示为[B, C],

$$\text{其时间域表示为} \begin{cases} t_{SE}^{N1} = C - B \\ [t_s^I, t_E^I] = [C, B] \end{cases}$$

⑤ 可利用时间段 II 的起止时间点表示为[C, D],

$$\text{其时间域表示为} \begin{cases} t_{SE}^{w2} = D - C \\ [t_s, t_E] = [C, D] \end{cases}$$

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：同样是生产时间可以放在如图 4.8(a)的位置，也可以处在图 4.8(b)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。

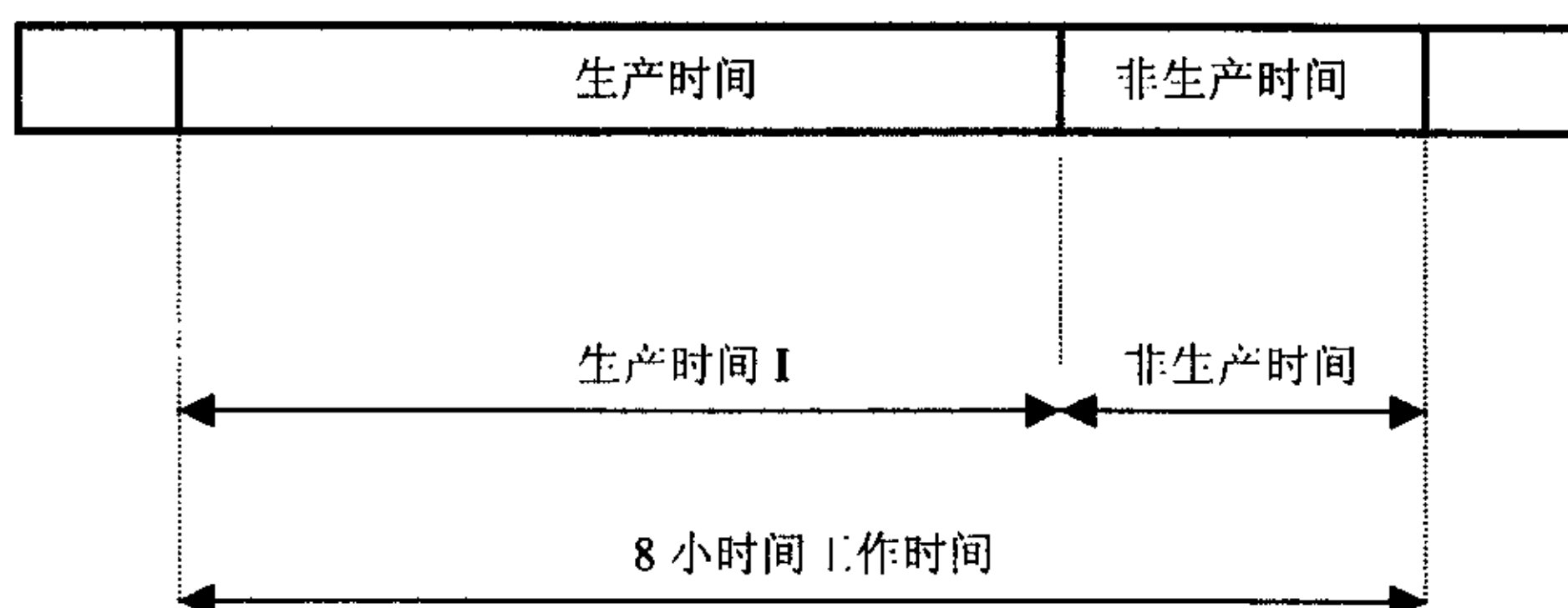


图 4.8(b) 某工序分时示意图

fig 4.8 (b) delineation of operation time

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。

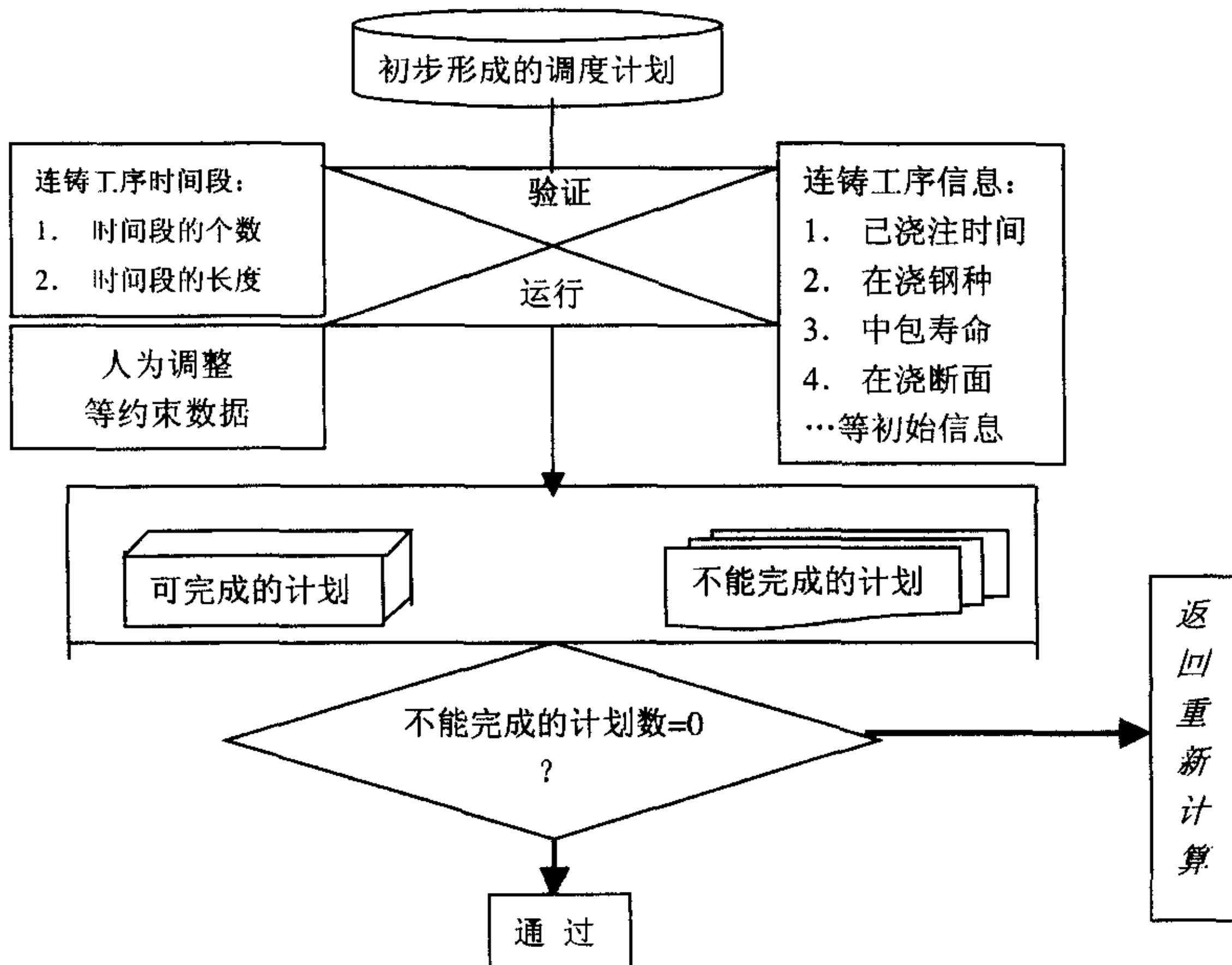


图 4.9 计划模拟运行模块过程示意图 (以连铸为例)

fig 4.9 delineation of plan simulate running process

⑧ 计划运行

此模块的入口数据为上一班的工作信息 (如: 已经浇注的时间、正在浇注的钢种、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

在模拟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。

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。

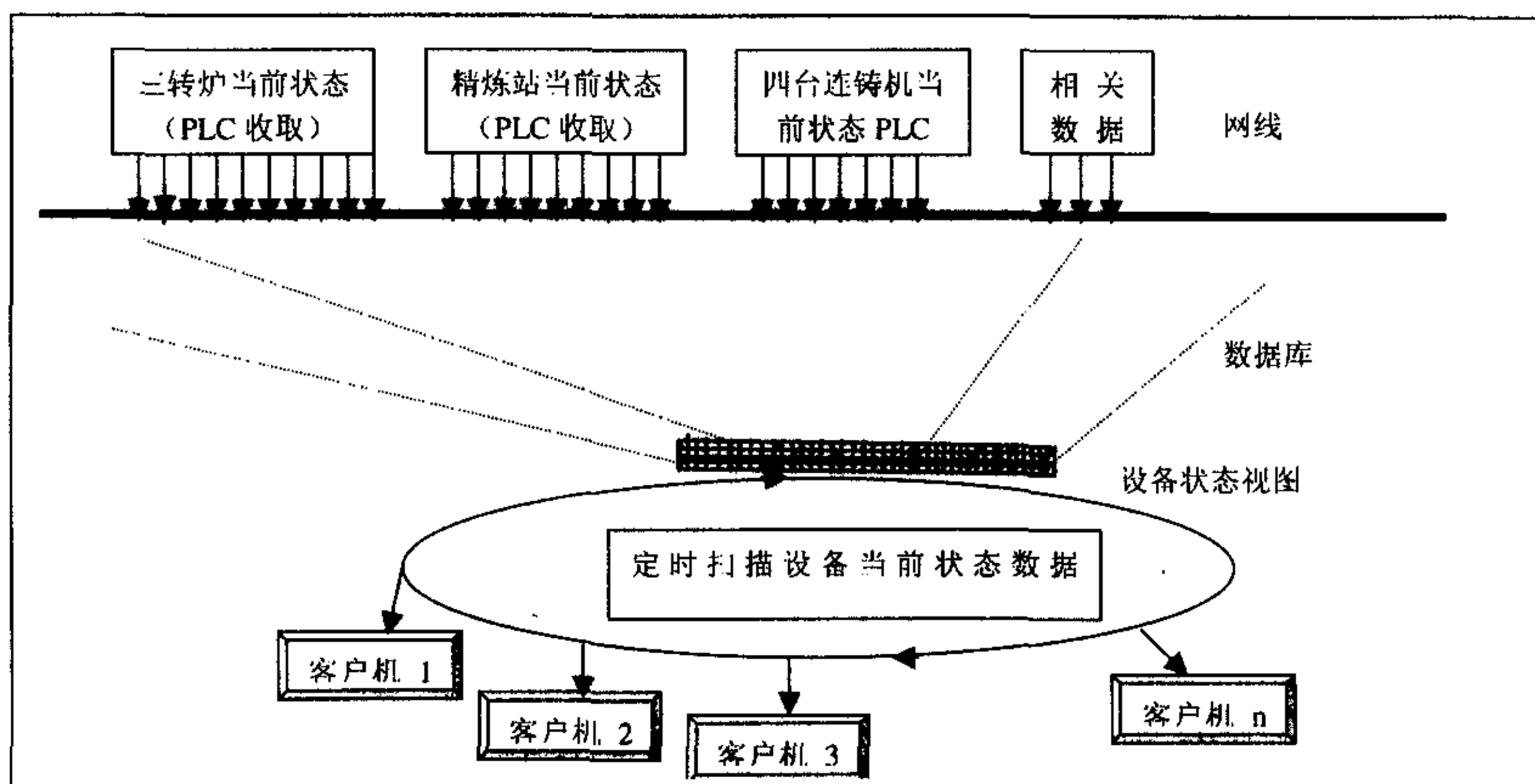


图 4.10 调度系统实时性模块

fig 4.10 dispatch system acture module

4.2.5.4 调度系统的实时调整模块

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

三炼钢转炉炼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

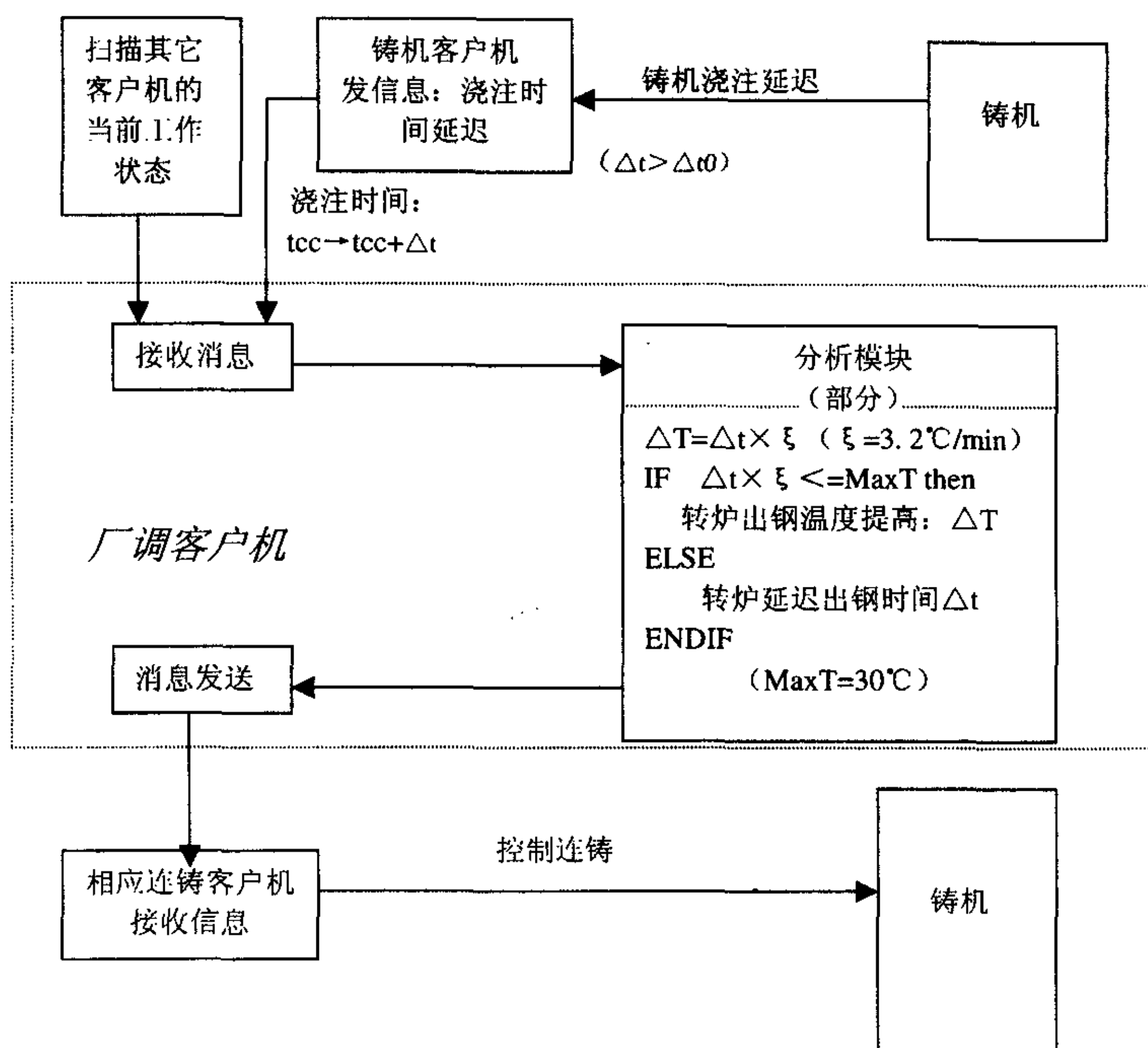


图 4.11 调度系统调整模块（铸机浇注时间延迟）

figt 4.11 dispatch system adjust module (casting time delay of casting machine)

图 4.11 中 (1): Δt_0 为铸机浇注周期允许的波动范围 ($\pm 2\text{min}$); (2) t_{cc} 为连铸机浇注周期, min ; (3): Δt 浇注周期延迟时间, min ; (4) ξ 为满包钢水温降速率, $3.0\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$; (5) ΔT : 钢水在 Δt 时间内的温降 $^\circ\text{C}$; (6): $\text{Max}T$: 转炉允许提高的最大出钢温度, $30\text{ }^\circ\text{C}$

(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:

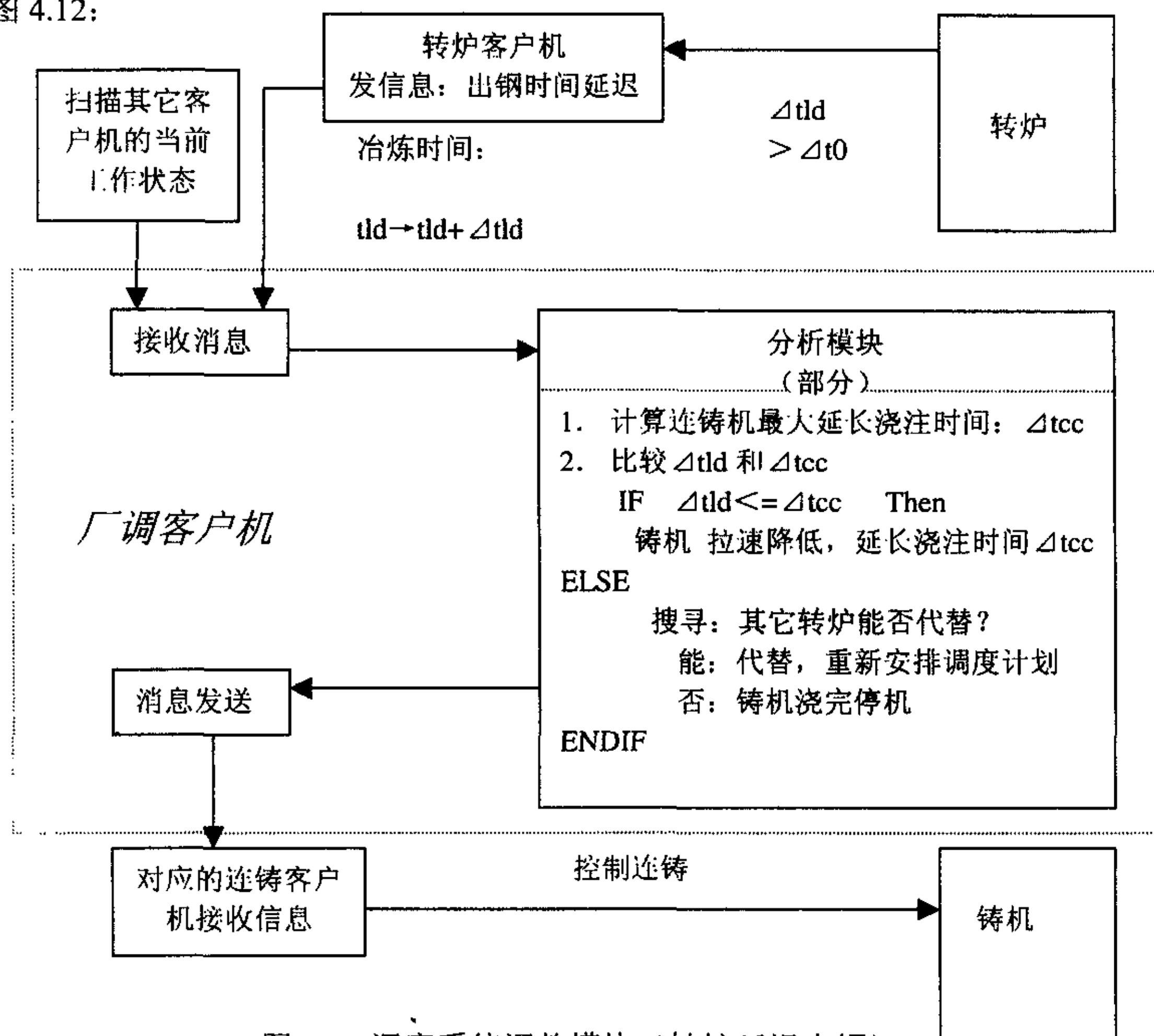


图 4.12 调度系统调整模块 (转炉延迟出钢)

fig 4.12 dispatch system adjust module (steel converter delay drawing steel)

图 4.12 中 (1): Δt_0 为转炉冶炼周期允许的波动范围 ($\pm 5\text{min}$);

(2): t_{ld} 为转炉冶炼周期, 31min ;

(3): t_{cc} 为铸机的浇铸周期, min;

(4): Δt_{ld} 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要变化见图 4.13:

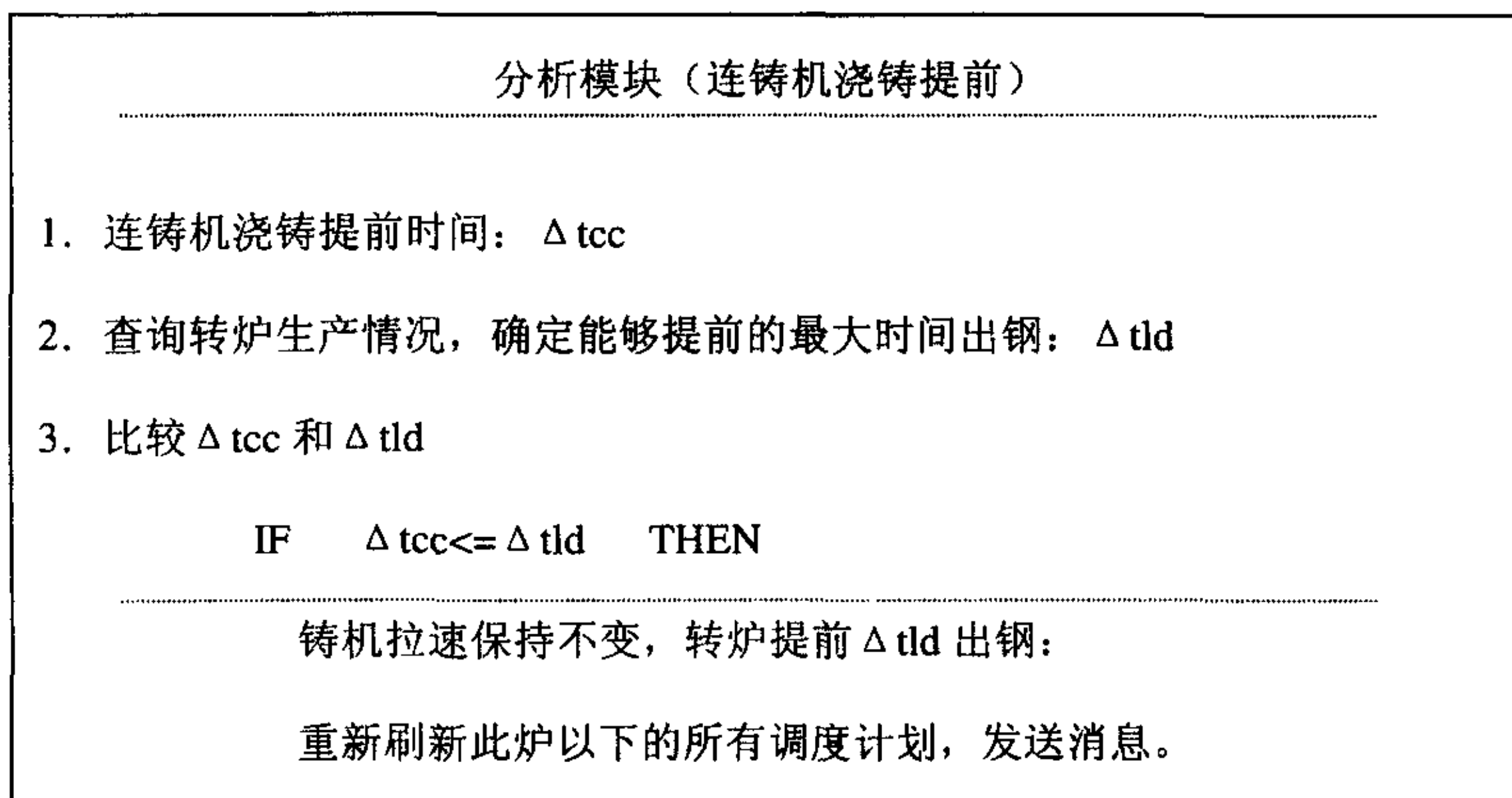


图 4.13 厂调计算机分析处理连铸周期缩短模块

fig 4.13 plant dispatch computer deal with module of continuous casting period shortening

同样, 为了连铸机稳定浇注, 转炉的冶炼周期也应尽量在规定范围内波动。

(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。

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时，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。

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。当供应 4 号铸机的转炉不能继续冶炼时，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 系统软件运行画面

软件的运行画面见附录

4.4 下一步工作展望

本系统软件有待下一步工作进行完善之外，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（见下图 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）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。

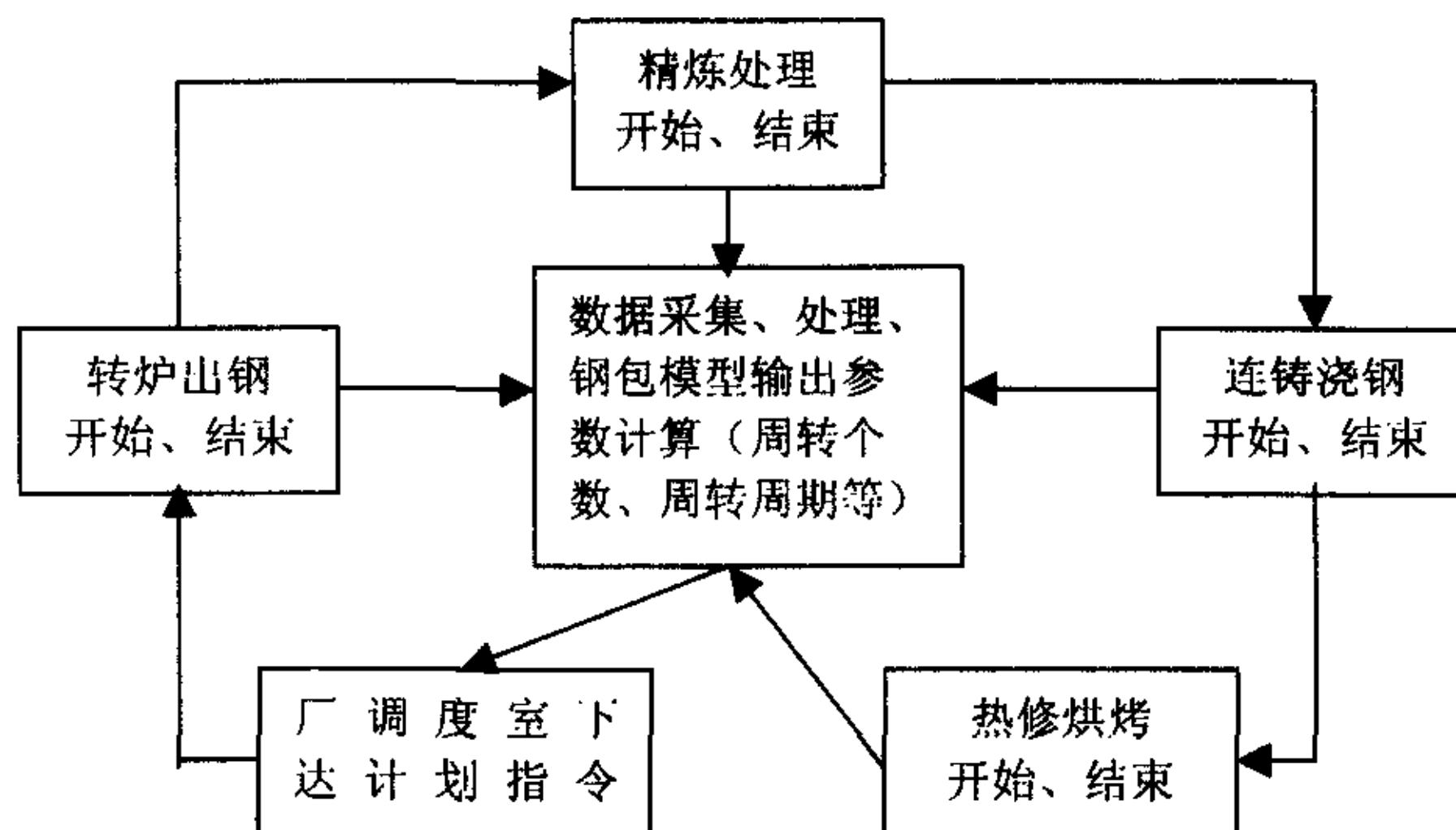


图 4.14 钢包运转决策支持模块

fig 4.14 steel pack running decision module

● 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品式；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，只需要输入设备、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。

第五章 结论

本文根据钢铁制造流程多维物流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一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,还要做到物流运行简捷、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个减至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、成分要求更加严格。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,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，需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、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，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；
- 软件提供了较为详细的生产信息，除生产调度计划生成并实时调整外，提供了诸多生产信息，如各个工序生产信息、设备使用信息、钢包周转信息等，有利于指导现场生产，对于优化生产组织，提高生产效率起到了显著作用；
- 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。

致谢

本论文是在东北大学秦树凯副教授的悉心指导下完成的。在秦副教授的指引和帮助下，本人顺利地完成了学业，而且进一步提高了自己开展科研的能力，在这里我要向导师在学业上的严格要求和教诲表示衷心的感谢。

在论文的完成过程中，得到了宁伟高工的指点和帮助，在数据的采集过程中，还得到首钢三炼钢有关部门的帮助，以及高新技术公司的马红，翟万有工程师的支持和帮助，在此一并表示感谢。

参考文献

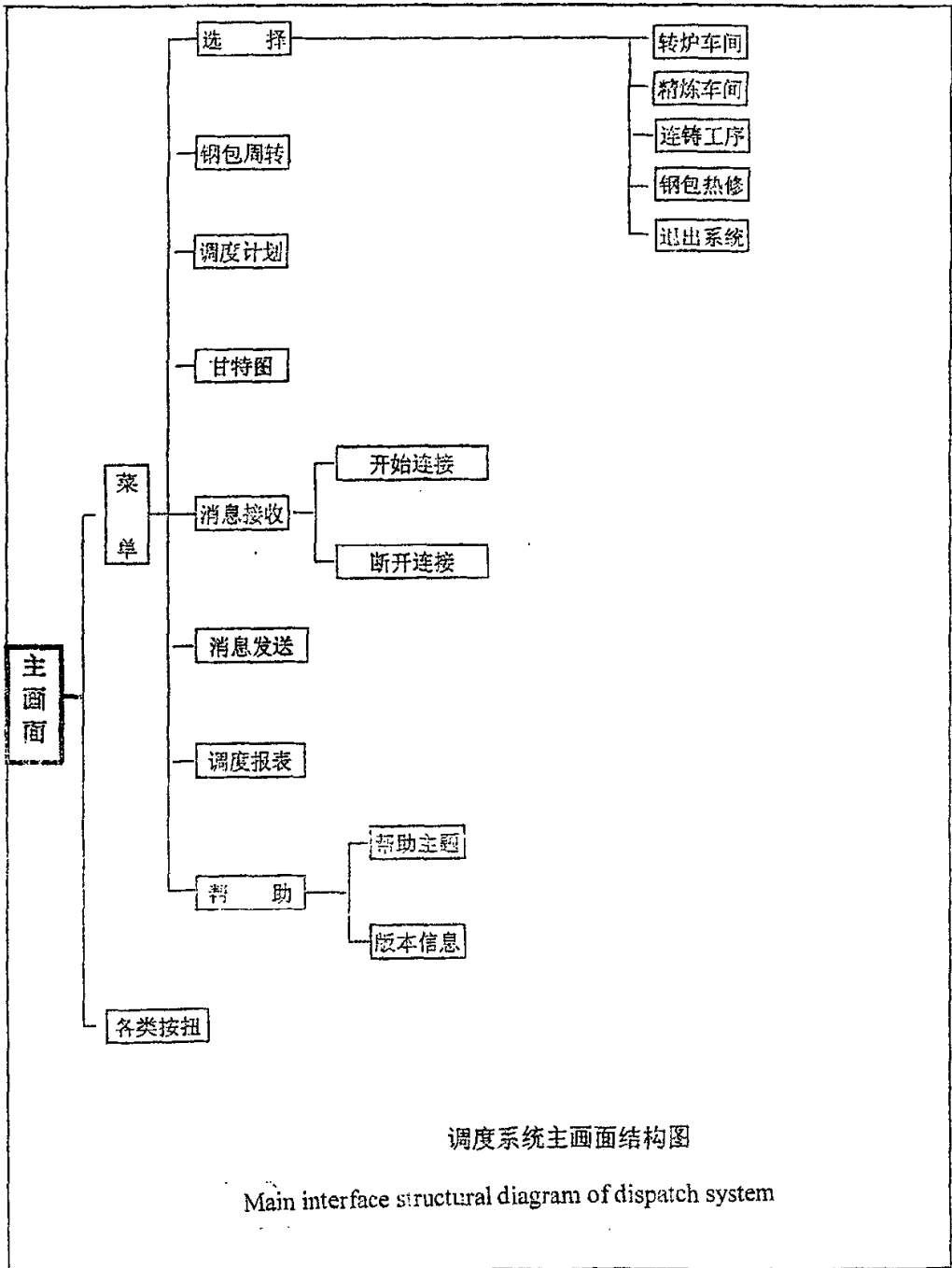
- [1] 殷瑞钰, 断续大力发展连铸 推动钢铁工业结构优化 促进两个根本转变,
炼钢, Vol.12, No.6, 1996
- [2] 连铸技术国家工程研究中心, 高效连铸技术在我国的发展发措施, 中国冶金,
No.3, 1997
- [3] 陈德荣, 张鑫泉, 杭钢步入高效连铸之途, 世界金属导报, 1996 年 4 月 29 日
第二版
- [4] 殷瑞钰, 积极推进高效连铸进一步推动我国连铸的发展进程, 连铸, No.4, 1996,
- [5] 广钢转达炉炼钢厂高效连铸技术攻关鉴定资料, 1998 年 1 月, 广州
- [6] 首钢三炼钢高效连铸技术改造鉴定资料, 1998 年 2 月, 北京
- [7] 新疆八一钢铁有限责任公司炼钢厂高效连铸技术改造鉴定资料, 1998 年 12 月,
乌鲁木齐
- [8] 倪满森, 提高连铸拉速的发展动向, 炼钢, V1.12, No.4, 1996
- [9] Gianni Gensini 等, 使用新型结晶器的高速连铸技术, 冶金设备和技术, No.2,
1996, P44-P51
- [10] Ulrch Horbach et al, High-speed billet casting with a parabolic mould taper, MPT
Ingernational, Vol.22, No1, 1998, P74-P83
- [11] F.Wimmer 等, 高效方坯连铸技术, 奥钢联工程技术公司内部资料, 1997 年 5
月, 北京国际冶金技术博览会
- [12] 高速方坯连铸机卢森堡大公国保尔活特公司技术, 卢森堡 Paul Wurth 公司内部
资料, 1998 年 8 月
- [13] RAUTARUUKKI 连铸机钢水位自动控制系统, 芬兰 RUTATUUKKI 跨国钢铁

- 集团公司内部资料, 1998 年 9 月
- [14] 首钢二炼钢压力水膜器鉴定资料, 1998 年 2 月, 北京
- [15] 铃木建一郎 村田贤治等, 铁 ϵ 钢, 68 (1982), S920
- [16] 林赖文雄, 铁 ϵ 钢, 67 (1981), S910
- [17] S.Itoyama and H.Yamaka, Steelmaking Conference Proceedings, 71(1998), 97
- [18] J.D.Hartoy, Aise Annual Convention, 1988
- [19] p.Tolve et al, 1986 Steelmaking Conference Proceeding, 689~697S
- [20] R.D.Timberlake, I&S Engineer, 2, 1988: 32~37
- [21] A.Daussan et al, Quantitative Analysis of Contaminstion of Molten Steel in Tundish, ISIJ, Vol.33(1993)No.12:1238~1243
- [22] K.N.Singh, 等, 雀点厂的中间包内衬喷涂, 中间包技术译文集, 攀钢钢研院科技信息中心, 1994, 8: 95~100
- [23] S.N.Rodich 等, 美国钢公司格里厂连铸机干振成型中间包的实践, 中间包译文集, 攀钢钢研科技信息中心, 1994, 8: 106~108
- [24] 琚国清等, 浅谈方坯高速连铸技术, 连铸, NO.4, 1997
- [25] 胡忠仁, 高速连铸技术的开发, 炼钢, Vol.13, No.5, 1997
- [26] 王新华等, 高速连铸的几项关键技术, 连钢, Vol11, No.8, 1995
- [27] 殷瑞钰, 冶金工序功能的演进和钢厂结构的优化, 金属学报, Vol29, No.7.1993
- [28] 殷瑞钰, 当代电炉流程的工程进展评价, 金属学报, 1993.9
- [29] 殷瑞钰, 关于钢铁工业和钢厂结构优化的工程评价, 钢铁, No.3, 1994,
- [30] 殷瑞钰, 关于钢铁制造流程的发展和重构问题, 钢铁, Vol.32, No.4, 1997
- [31] 殷瑞钰, 钢铁制造流程的多维物流控制系统, 金属学报, Vol.33, 1997, No.1
- [32] 刘青等, 方坯高效连铸技术的进展, 《钢铁》, 1999, 34 (10)
- [33] 北京科技大学, 广州钢铁股份有限公司, 高效连铸国家“九五”公关专题“高拉速条件下炼钢-连铸生产过程的物流组织与控制”鉴定资料, 1998 年 7 月, 北京

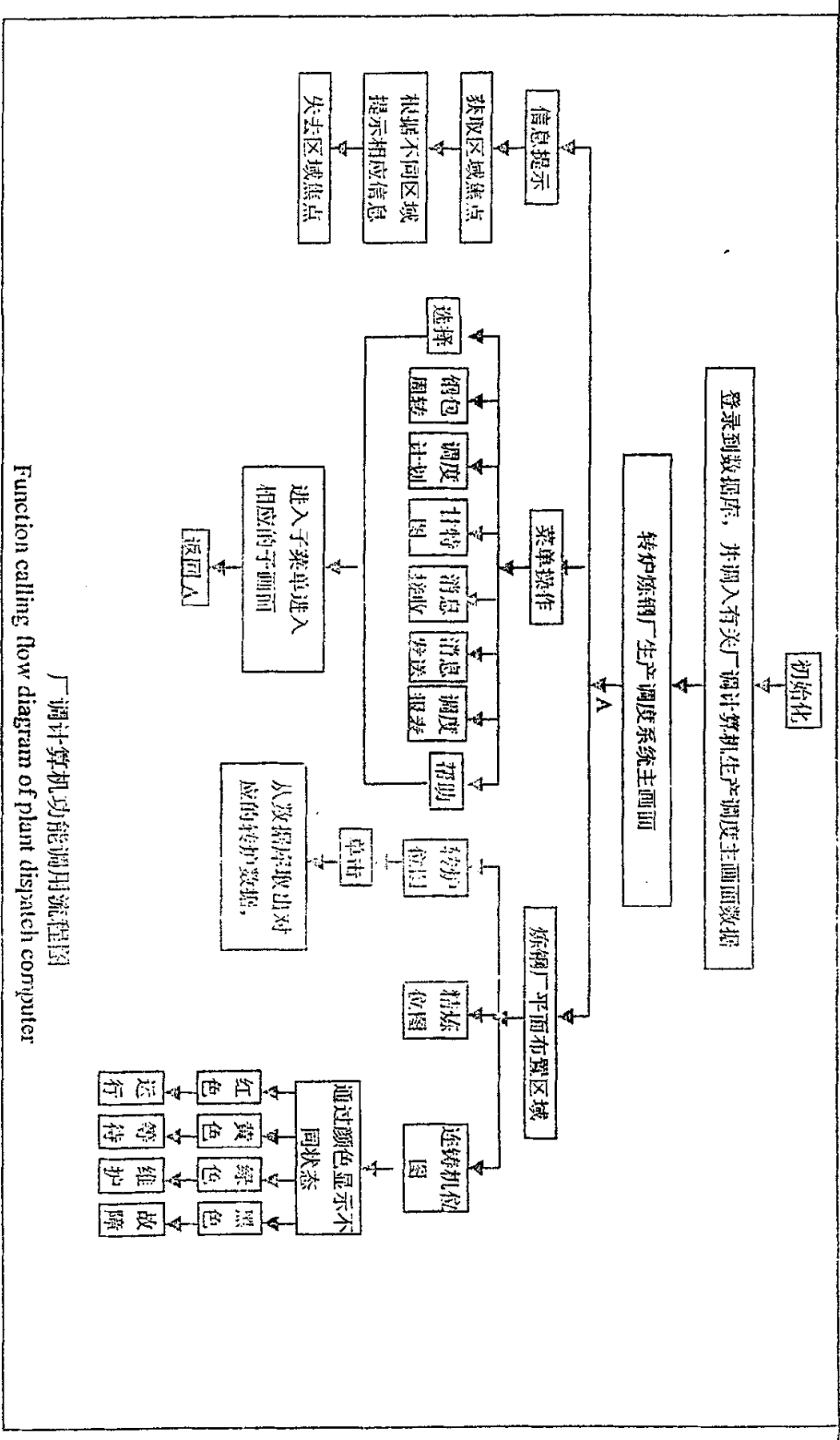
- [34] 田乃媛, 全连铸生产的物流管理之一, 炼钢, 1993, 5
- [35] 田乃媛, 全连铸生产的物流管理之二, 炼钢, 1993, 5
- [36] 田乃媛, 全连铸生产的物流管理之三, 炼钢, 1994, 4
- [37] 田乃媛, 伊炳希, 全连铸工程中的若干数理问题, 第八届全国炼钢学术会议论文集, 攀枝花, 1994
- [38] 田乃媛, 徐幸天, 全连铸生产计算机调度管理系统, 第五次全国连铸工作会议, 1995, 4
- [39] 伊炳希, 全连铸生产智能调度系统, 北京科技大学博士学位论文, 1995, 10
- [40] 熊光楞等, 连续系统仿真与离散事件系统仿真, 清华大学出版社, 1984
- [41] 庞哈利, 郑秉林等, 炼钢-连铸生产调度计划系统的研究, 全国过程系统工程会议论文集, 1995, 5
- [42] 李京文, 徐寿涛, 物流学及其应用, 经济科学出版社, 1987
- [43] 王加林, 张雷丽, 物流系统工程, 中国物资出版社, 1987
- [44] 吴清一, 物流学及其发展, 北京科技大学学报, No.4, 1992
- [45] 钱颂迪等, 运筹学, 清华大学出版社, 1994, 3
- [46] 赵玮, 王荫清, 随机运筹学, 高等教育出版社, 1993, 6
- [47] 徐光辉, 随机服务系统, 科学出版社, 1980, 6
- [48] 孟玉珂, 排队论基础及应用, 同济大学出版社, 1991, 7
- [49] 孙东山, 网络技术在系统工程中的应用, 湖南科学技术出版社, 1984
- [50] 刘青等, 方坯高效连铸的核心技术, 《钢铁研究》, 1999, (5)
- [51] 田乃媛, 唐洪华, 刘青, 钢铁制造流程的解析与数据统计分析, 现代化工, 1999,
- [52] 冯永红, 王军等, Delphi3.0 使用与开发指南, 人民邮电出版社, 1998

附录

计算机辅助调度系统的建立和模拟运行

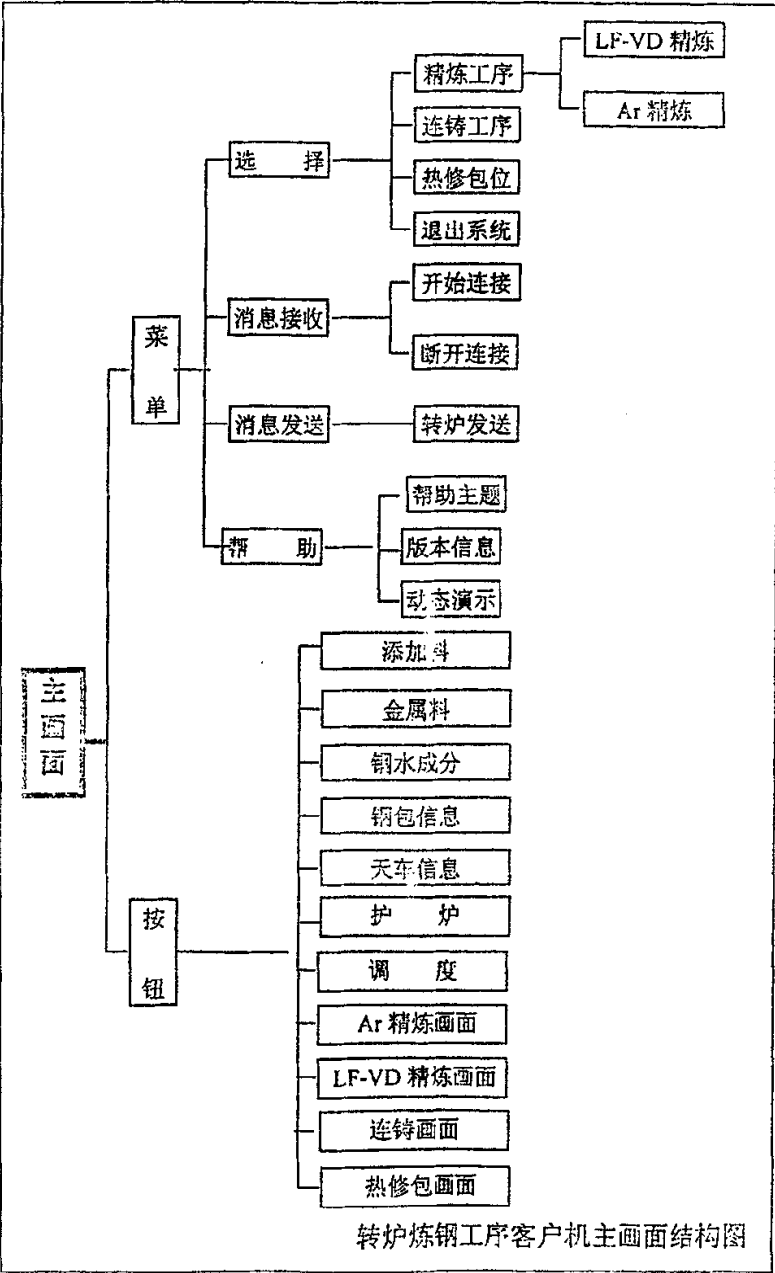


计算机辅助调度系统的建立和运行



厂调计算机功能调用流程图
Function calling flow diagram of plant dispatch computer

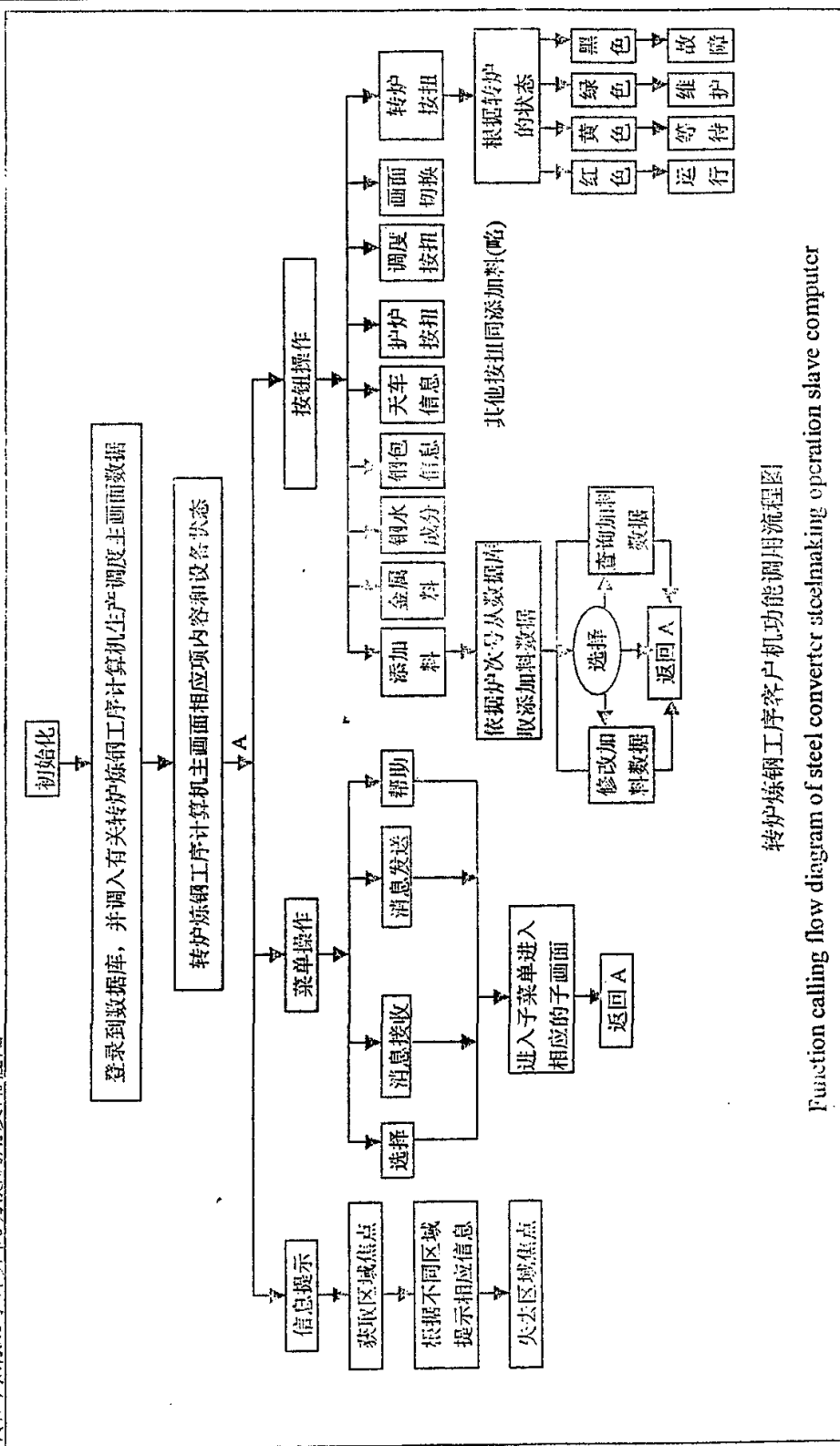
计算机辅助调度系统的建立和模拟运行



Main interface structural diagram of refining operation slave computer

计算机辅助调度系统的建立和模拟运行

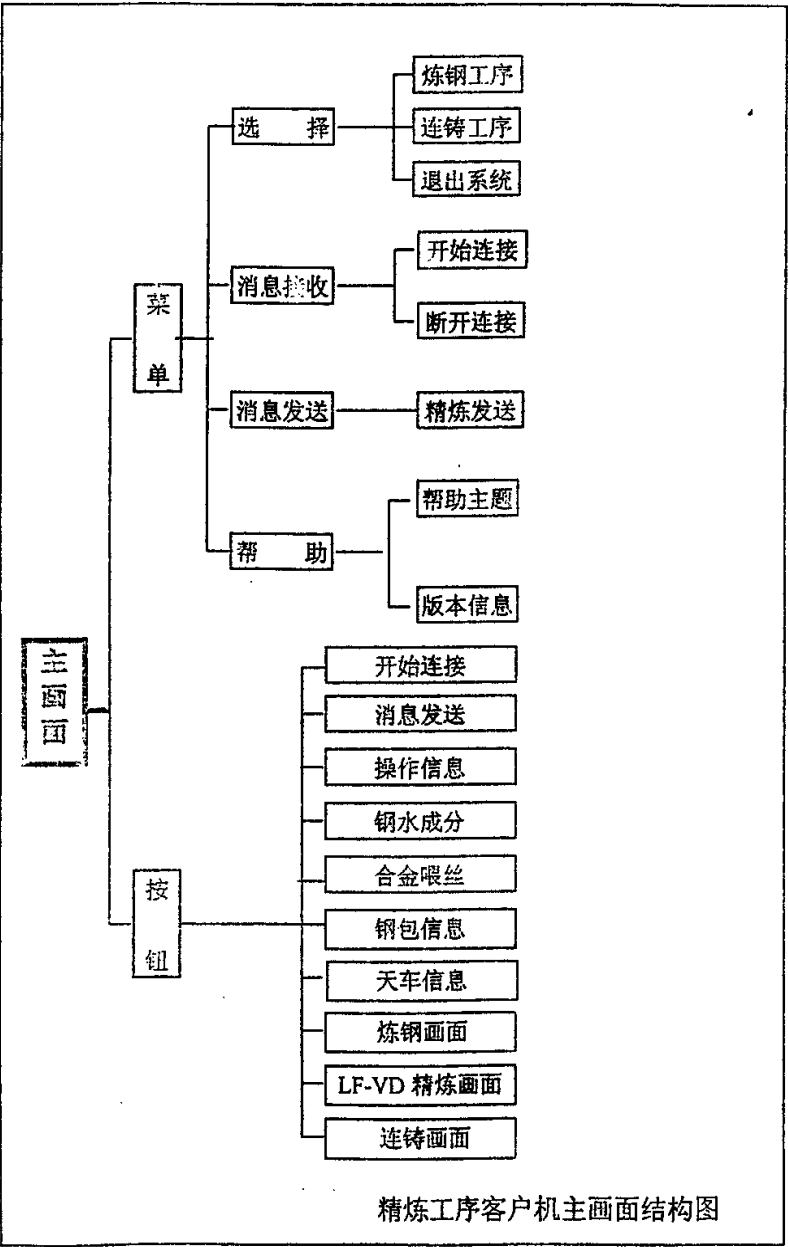
转炉炼钢工序计算机功能调用及流程图



转炉炼钢工序客户机功能调用流程图

Function calling flow diagram of steel converter steelmaking operation slave computer

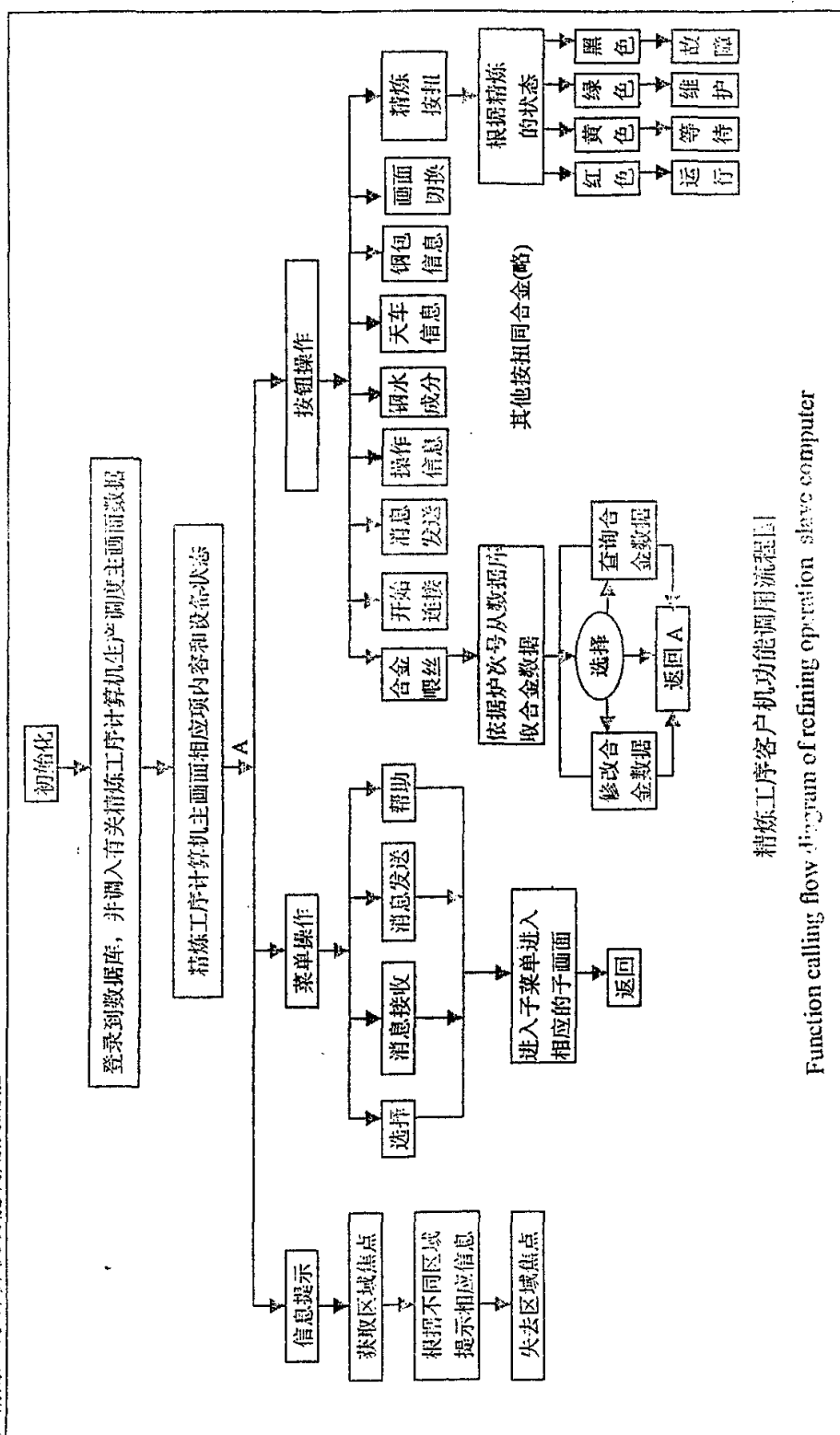
计算机辅助调度系统的建立和模拟运行



Slave computer main interface structural diagram of steel converter steelmaking operation

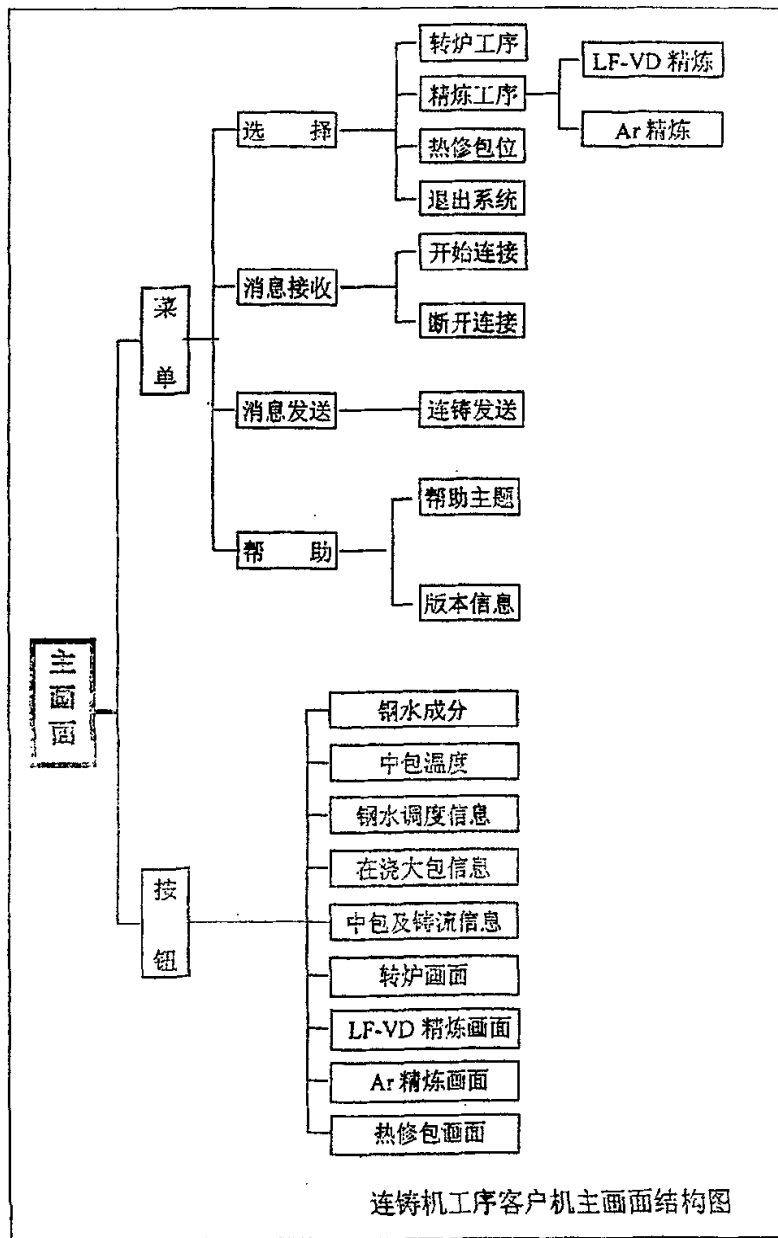
计算机辅助调度系统的建立和模拟运行

(3) 精炼工序计算机功能调用及流程



精炼工序客户机功能调用流程图

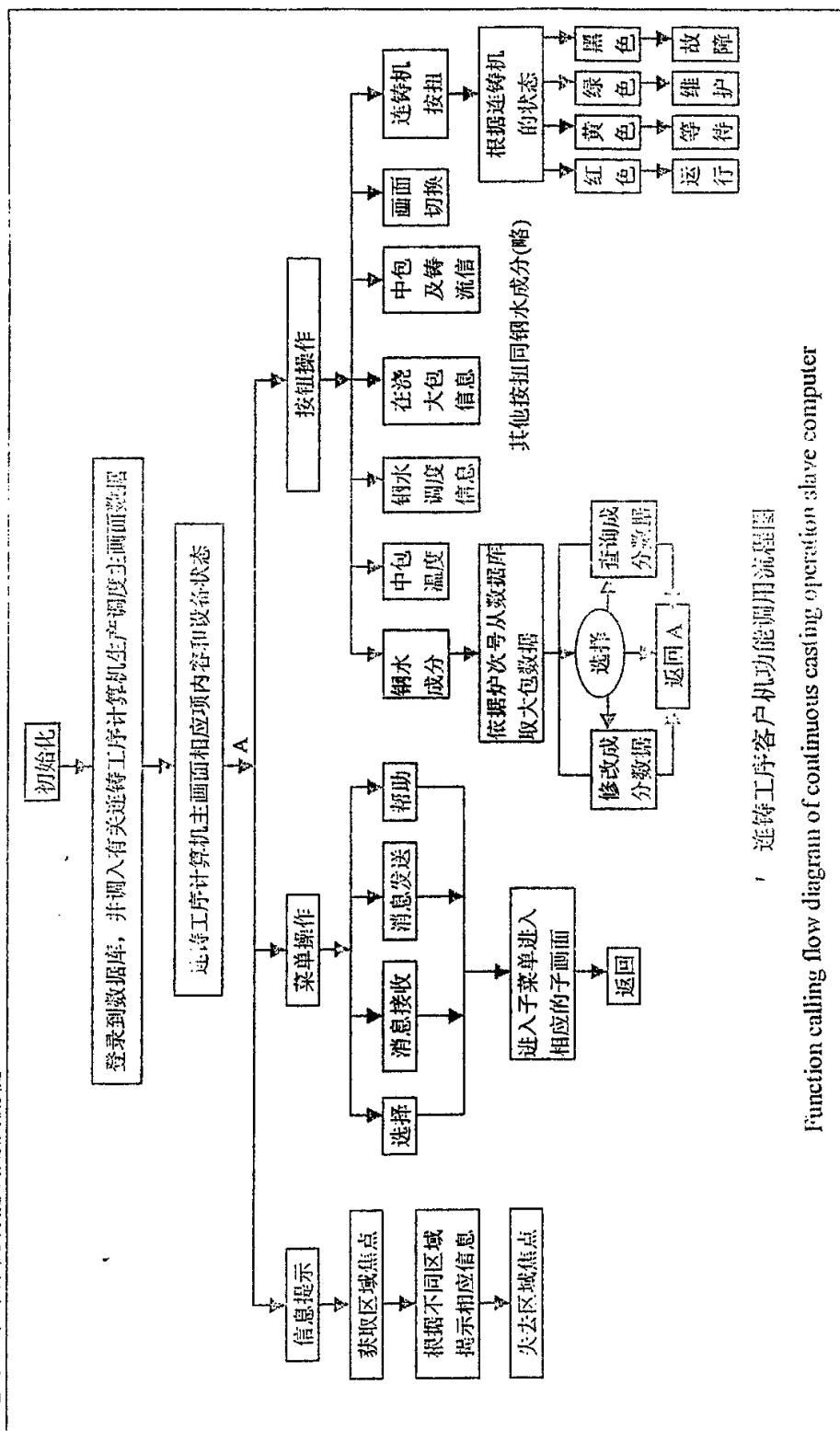
Function calling flow diagram of refining operation slave computer



Main interface structural diagram of continuous casting machine slave computer

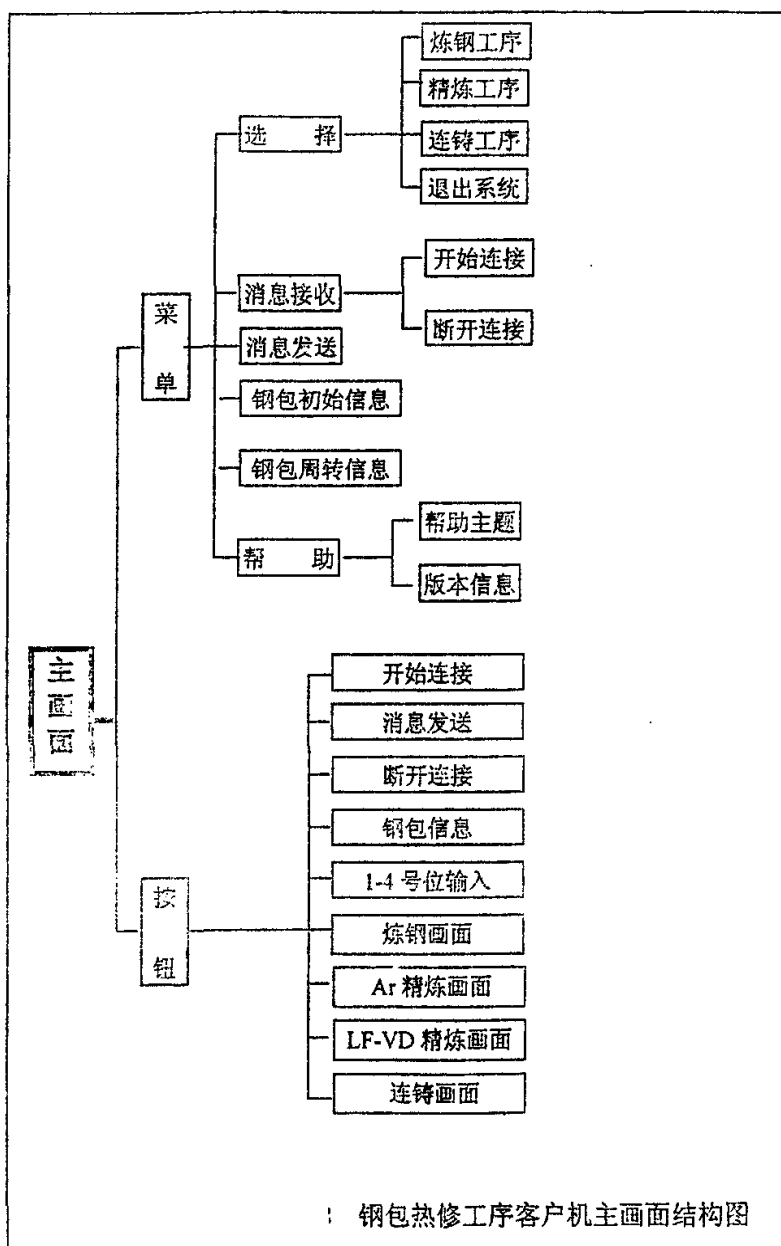
计算机辅助调度系统的建立和模拟运行

(3) 连铸工序计算机功能调用及流程



连铸工序客户机功能调用流程图

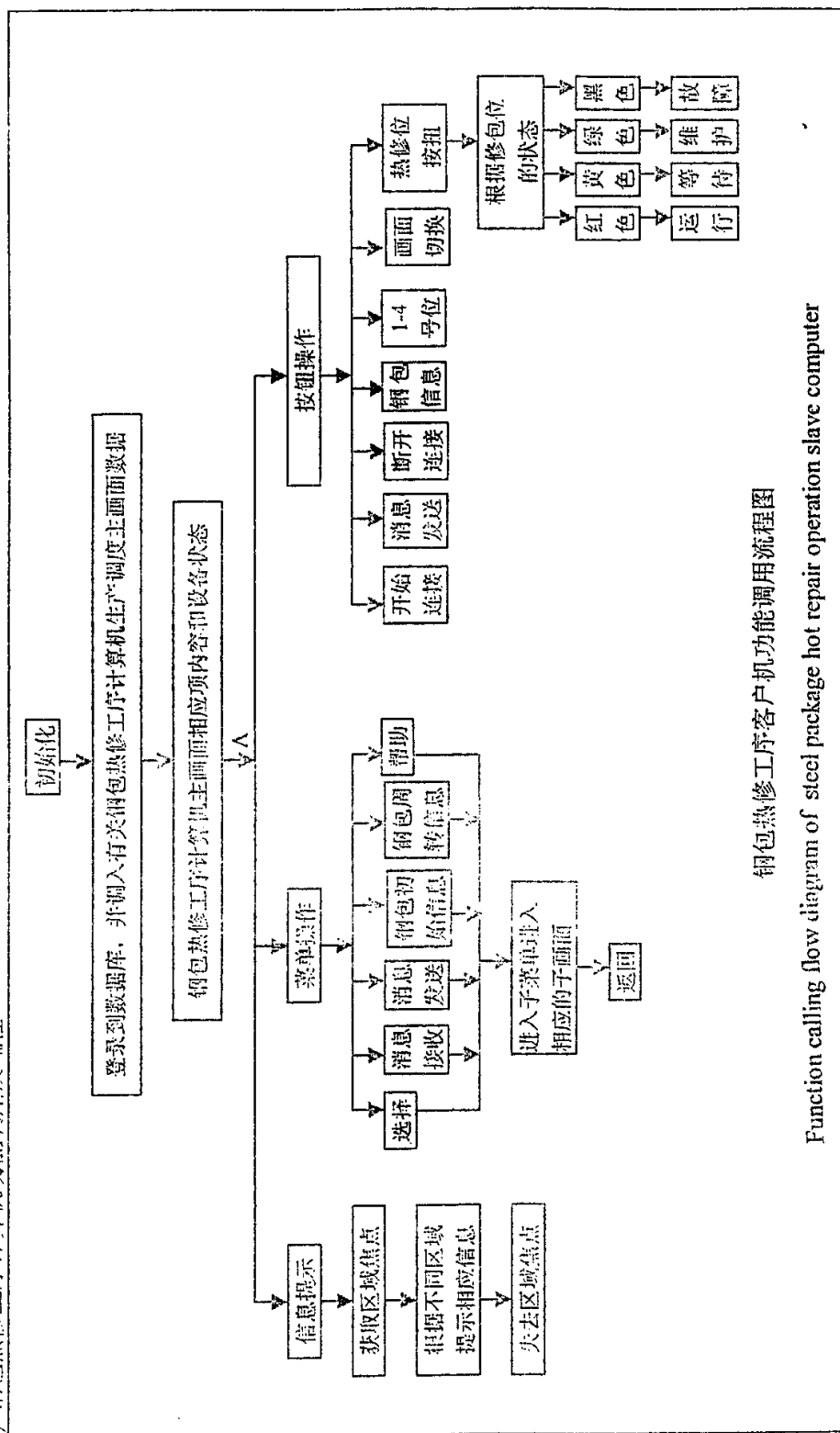
Function calling flow diagram of continuous casting operation slave computer



Main interface structural diagram of steel package hot repair operation

计算机辅助调度系统的建立和模拟运行

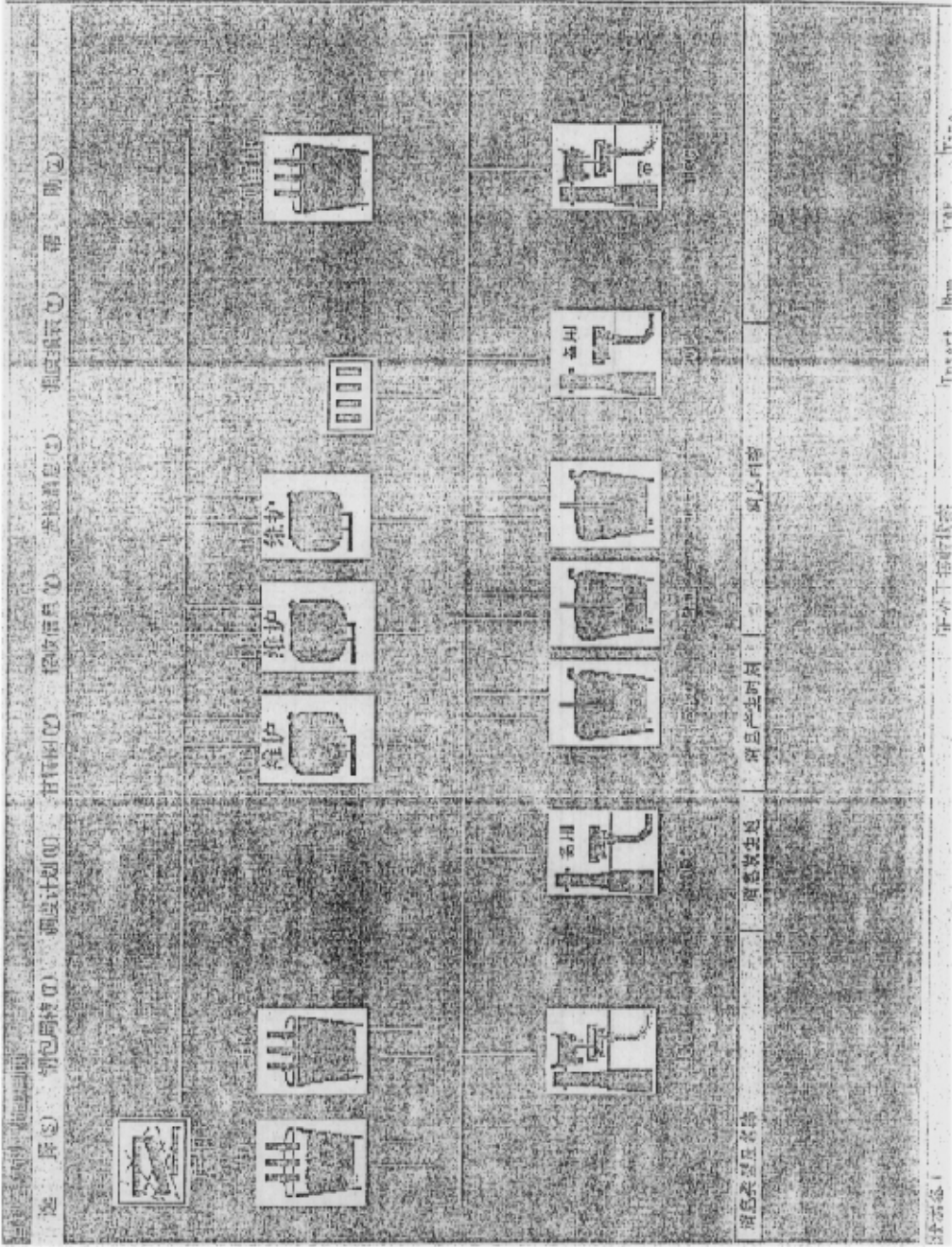
(3) 钢包热修工序计算机功能调用及流程



钢包热修工序客户机功能调用流程图

Function calling flow diagram of steel package hot repair operation slave computer

1、厂调计算机主画面：



1.1 厂调子画面之一：调度计划制定——钢种信息输入画面

2000-03-22

班次 [早班]

08:32:07

钢种成分数据输入画面

班别 [甲]

首钢第三炼钢厂辅助生产调度系统

钢种	标准	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
H08	GB699-88									
Q08	GB699-88									
H08MnSiA	GB133-77	<0.11	0.65-0.95	1.8-2.1	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
20MnSi	GB1499-91	0.17-0.25	0.4-0.8	1.2-1.6	0.045	0.045				
75#	GB699-88	0.72-0.8	0.17-0.37	0.5-0.8	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25	
70#	GB699-88	0.67-0.75	0.17-0.37	0.5-0.8	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25	
65#	GB699-88	0.62-0.7	0.17-0.37	0.5-0.8	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25	
60#	GB699-88	0.57-0.65	0.17-0.37	0.5-0.8	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25	
55#	GB699-88	0.52-0.60	0.17-0.37	0.5-0.8	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25	
50#	GB699-88	0.47-0.55	0.17-0.37	0.5-0.8	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25	
45#	GB699-88	0.42-0.5	0.17-0.37	0.5-0.8	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25	
T-Q235	GB/J003-97	0.16-0.22	0.12-0.3	0.3-0.65	<=0.035	<=0.035	<=0.3	<=0.3	<=0.3	
Q235AB	GB700-88	0.14-0.22	0.12-0.3	0.3-0.65	<=0.045	<=0.05	<=0.3	<=0.3	<=0.3	

生产调度计划

检修信息

维修信息输入

初始数据

初始数据输入

检修工艺数据

检修工艺数据

检修计划

1.2 厂调子画面之二：调度计划制定——基础工艺数据输入画面

2000-08-22

班次 [早班]

基础工艺数据输入画面

08:32:52

班别 [甲]

首钢第三炼钢厂辅助生产调度系统

工序处理周期

铸机断面信息

工序间传输时间

钢种	工位代码	平均处理时间 (min)	波动范围 (min)
80#	54	38	3
75#	54	38	3
70#	54	38	3
65#	54	30	3
60#	54	38	3
55#	54	38	3
50#	54	38	3
45#	54	38	3
40#	54	38	3
H08MnSi	54	38	3
20MnSi	54	38	3
T-Q235	54	38	3
Q235AB	54	30	3
80#	53	30	3
75#	53	30	3
70#	53	30	3

表中工位代码
输入格式如下:

1#转炉——31
2#转炉——32
3#转炉——33
1#吹Ar站——41
2#吹Ar站——42
3#吹Ar站——43
1#LF炉——44
1#VD炉——45
1#连铸机——51
2#连铸机——52
3#连铸机——53
4#连铸机——54

生产调度计划

生产调度计划

维修信息输入

初始数据输入

基础工艺数据

日作业计划

日作业计划

1.4 厂调子画面之四：调度计划制定——计划生成画面

2000-08-22

班次

08:29:47

班别

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

序号	炉号	铸机号	炉次	LF	VD	预底	厚度	全台按班连浇 (s/70)	停炉下	炉开始铸时间
1	200051	52	5	Y		120	120 mm			10:00
2	200051	53	5	Y		130	130 mm			9:50
3	200051	61	6	Y		120	120 mm			9:00

*表中铸机号输入格式如下:

1#连铸机--51
2#连铸机--52
3#连铸机--53
4#连铸机--54

请输入转炉炉次号:

请输入转炉炉龄:

图 显示生产调度 Gantt

图 显示生产调度计划表

生产调度计划

维修信息输入

初始数据输入

基础工艺数据

日作业计划

生产调度计划

维修信息

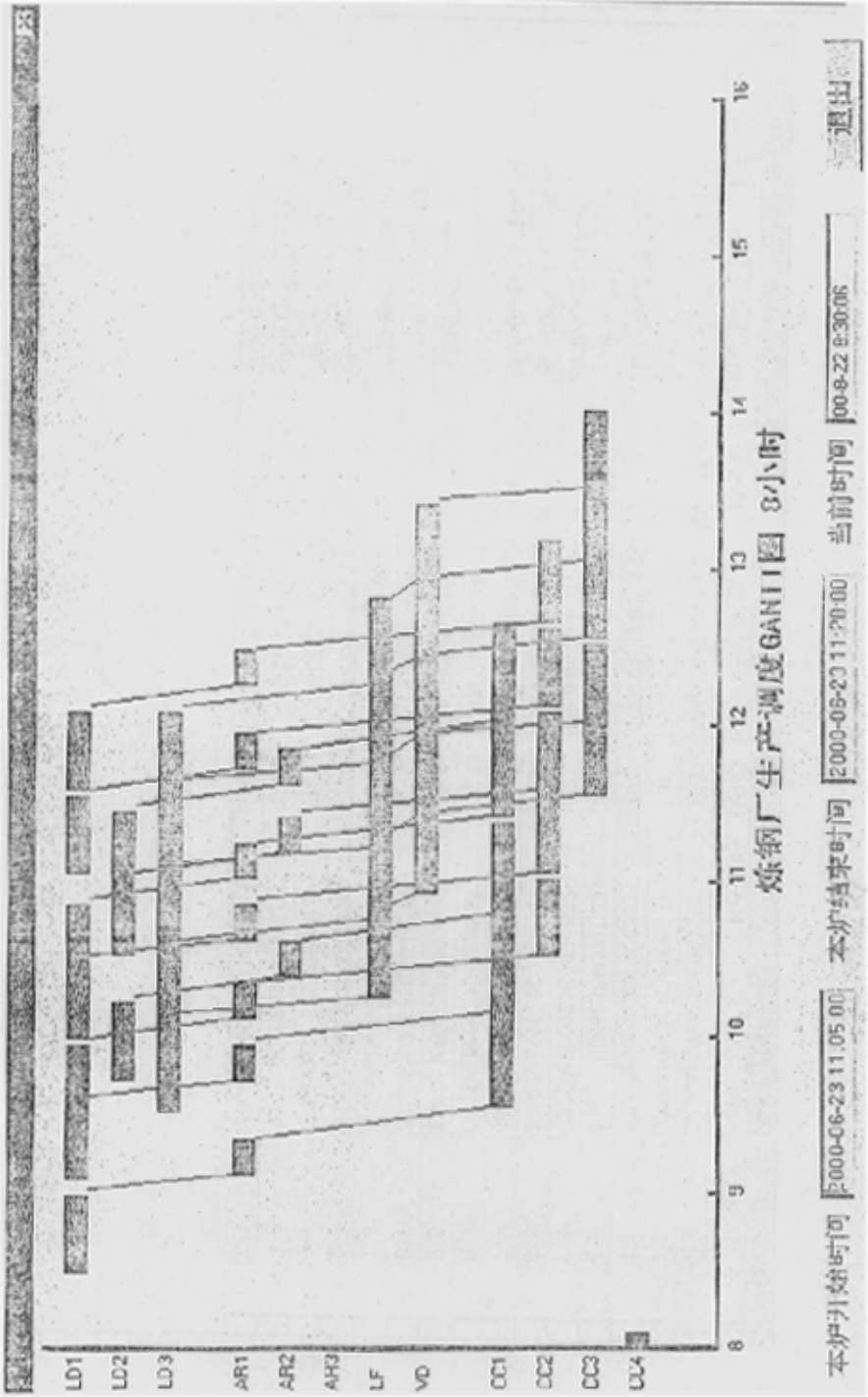
初始数据

基础工艺数据

日作业计划

输出

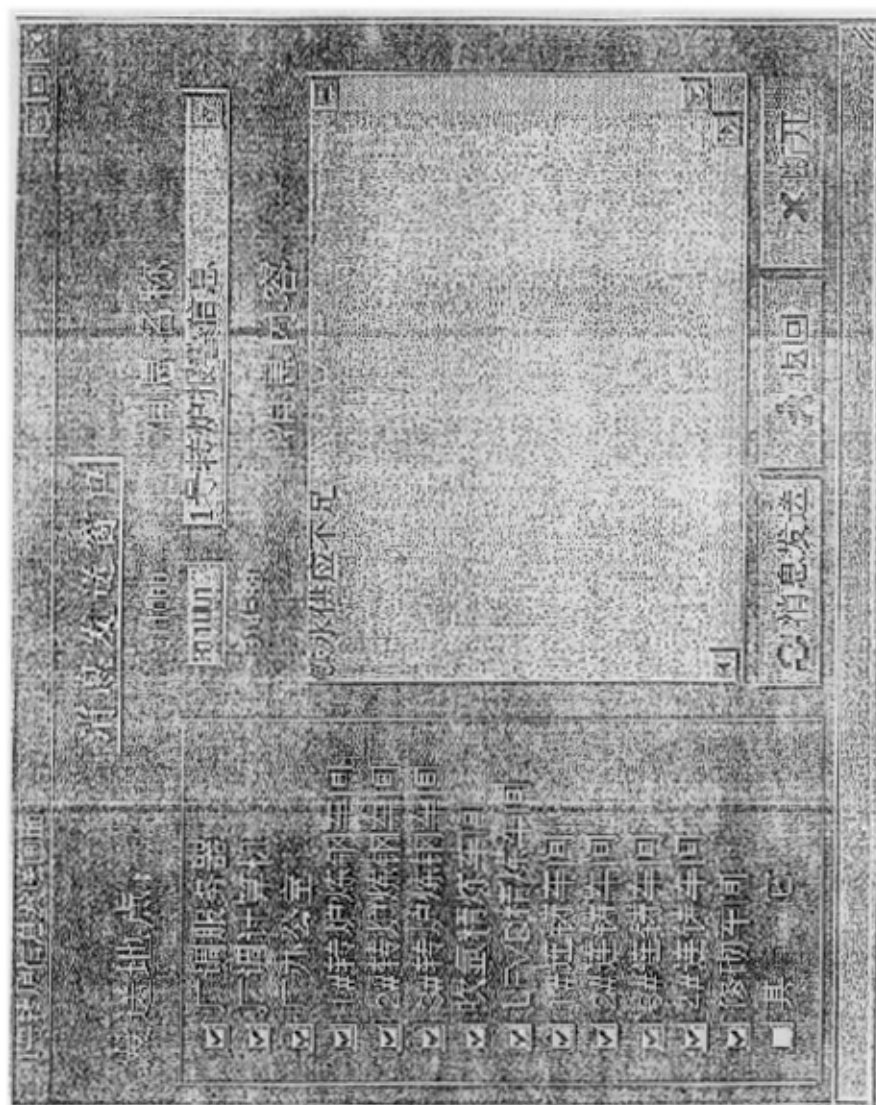
1.5 厂调子画面之五：生产调度甘特图预览画面



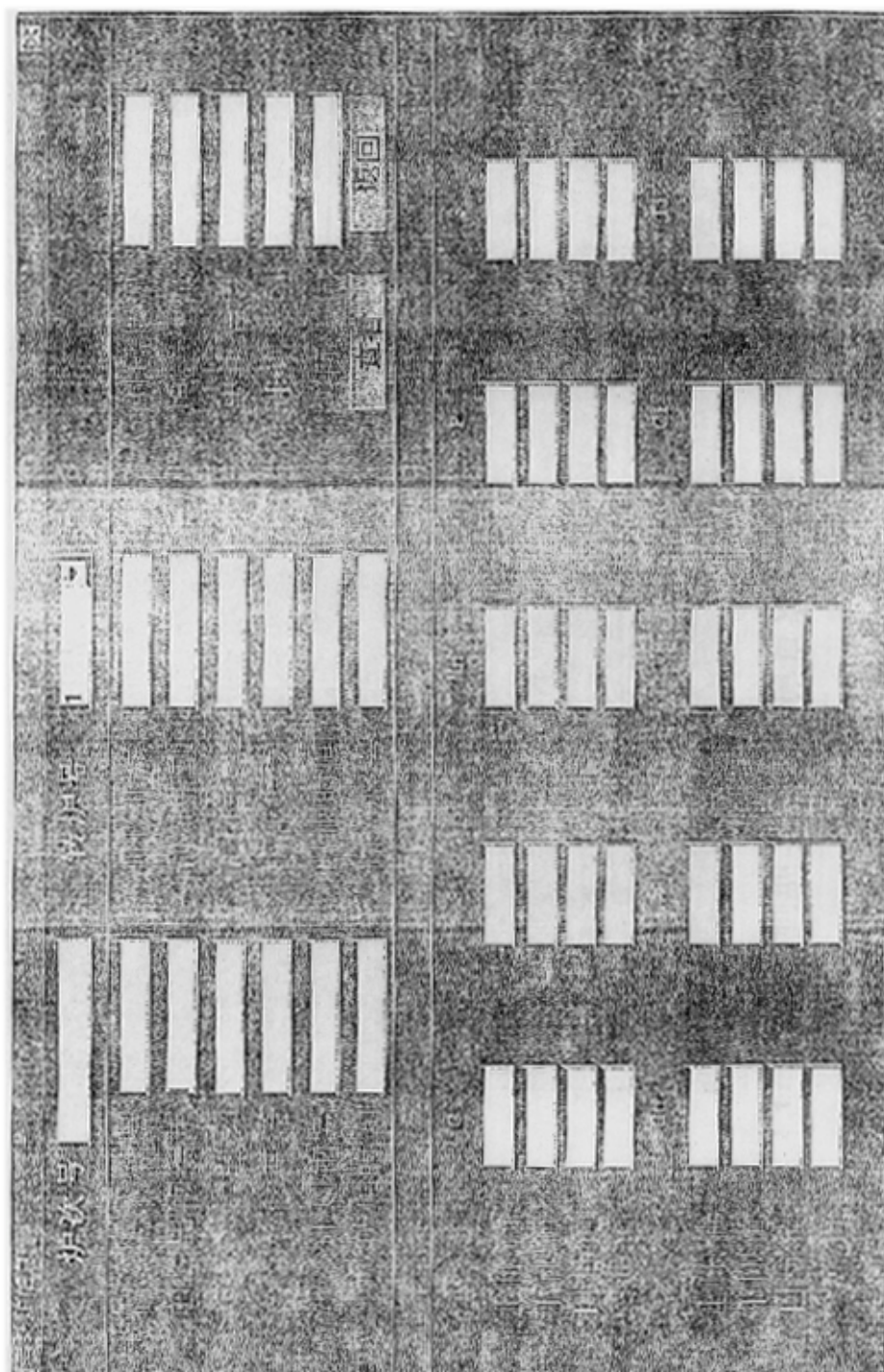
1.6 厂调子画面之六：调度计划预览画面

序号	计划号	钢种	炉次号	转炉号	炉龄	转炉开始时刻	冶炼周期	转炉结束时刻	院站炉号
1	3	Q235A	00062300000131	101	101	2000-06-23 07:56:00	20	2000-06-23 08:28:00	1
2	3	Q235A	00062300000231	101	101	2000-06-23 08:32:00	20	2000-06-23 09:04:00	4
3	1	20MnS	00062300000331	102	102	2000-06-23 08:53:00	20	2000-06-23 09:28:00	4
4	2	80#	000623F0000133	300	300	2000-06-23 08:53:00	34	2000-06-23 09:36:00	1
5	3	Q235A	000623E0000132	200	200	2000-06-23 09:12:00	20	2000-06-23 09:44:00	4
6	1	20MnS	000623D0000431	103	103	2000-06-23 09:27:00	20	2000-06-23 09:59:00	4
7	2	80#	000623F0000233	301	301	2000-06-23 09:28:00	34	2000-06-23 10:03:00	4
8	3	Q235A	000623D0000531	104	104	2000-06-23 09:48:00	20	2000-06-23 10:21:00	4
9	2	80#	000623F0000333	302	302	2000-06-23 09:58:00	34	2000-06-23 10:36:00	4
10	1	20MnS	000623E0000232	201	201	2000-06-23 10:00:00	20	2000-06-23 10:32:00	4
11	3	Q235A	000623E0000332	202	202	2000-06-23 10:26:00	20	2000-06-23 10:50:00	4
12	2	80#	000623F0000433	303	303	2000-06-23 10:28:00	34	2000-06-23 11:06:00	4
13	1	20MnS	000623D0000631	105	105	2000-06-23 10:31:00	20	2000-06-23 11:03:00	4
14	2	80#	000623F0000533	304	304	2000-06-23 10:53:00	34	2000-06-23 11:36:00	4
15	1	20MnS	000623D0000731	106	106	2000-06-23 11:03:00	20	2000-06-23 11:35:00	1

1.11 厂调子画面之十一：信息发送画面

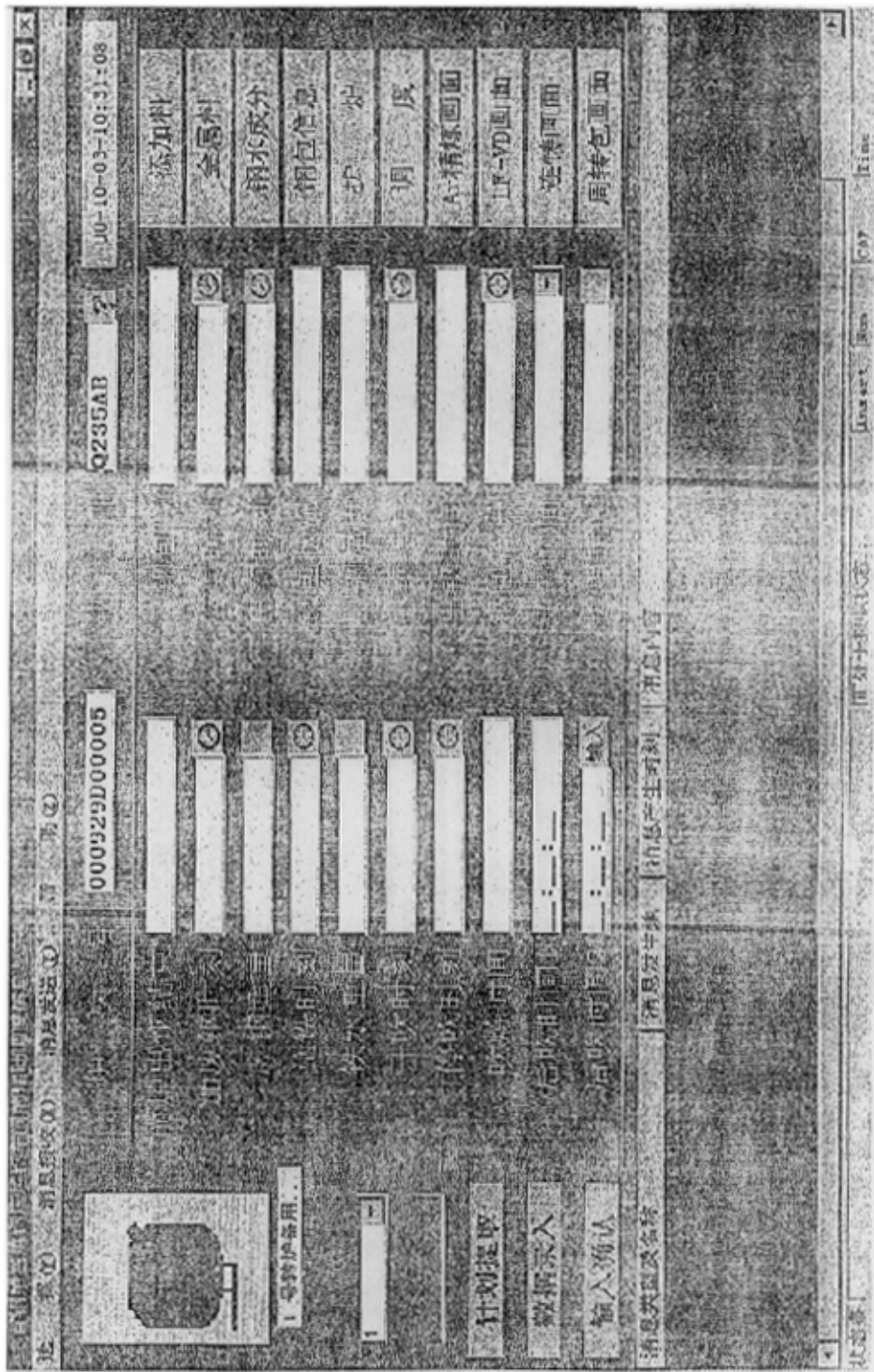


1.12 厂调子画面之十二：调看（切换）画面——转炉信息画面



转炉炼钢工序

2、转炉炼钢主画面：



2.1 相关子画面之一：转炉炼钢——计划提取画面

转炉炼钢计划提取画面

1#转炉生产计划提取

炉次号: 000929D000001

转炉开吹时刻: 2000-09-29 08:00

转炉吹炼时间: 28

转炉停吹时刻: 2000-09-29 08:30

钢种: Q235AB

土间: 1#Ar

计划提取

计划确认

取消

更改炉次号

更改确认

序号	炉次号	转炉号	开始吹炼	吹炼时间	吹炼结束	转炉站号	转炉开始	转炉时间
1	000929D000001	31	2000-09-29 08:00:00	28	2000-09-29 08:28	1#Ar	2000-09-29 08:15	2000
2	000929D000002	31	2000-09-29 08:30:00	28	2000-09-29 08:58	1#Ar	2000-09-29 08:15	2000
3	000929D000003	31	2000-09-29 09:00:00	28	2000-09-29 09:28	1#Ar	2000-09-29 08:15	2000
4	000929D000004	31	2000-09-29 09:30:00	28	2000-09-29 09:58	1#Ar	2000-09-29 10:15	2000
5	000929D000005	31	2000-09-29 10:00:00	28	2000-09-29 10:28	1#Ar	2000-09-29 11:15	2000
6	000929D000006	31	2000-09-29 11:00:00	28	2000-09-29 11:28	1#Ar	2000-09-29 11:15	2000
7	000929D000007	31	2000-09-29 12:00:00	28	2000-09-29 12:28	1#Ar	2000-09-29 12:15	2000
8	000929D000008	31	2000-09-29 12:30:00	28	2000-09-29 12:58	1#Ar	2000-09-29 13:15	2000
9	000929D000009	31	2000-09-29 13:00:00	28	2000-09-29 13:28	1#Ar	2000-09-29 14:15	2000
10	000929D000010	31	2000-09-29 14:00:00	28	2000-09-29 14:28	1#Ar	2000-09-29 14:15	2000
11	000929D000011	31	2000-09-29 14:30:00	28	2000-09-29 14:58	1#Ar	2000-09-29 15:15	2000

2.2 相关子画面之二：转炉炼钢——合金辅了加入画面

1号转炉合金料信息

其他转炉合金料手工输入

当前炉次号

炉次号

辅料名称

辅料量 (kg)

加料序号

增加

输入

取消

查询

转炉的辅料及合金料信息

合金料名称

炉次号

SiMn

SiFe

MnFe

Al

Si-Al-Ba

炉次号

合金代码

合金量

增加

查询

返回

2.4 相关子画面之四：转炉炼钢——钢水成分信息画面

转炉钢水成分信息画面

钢水成分信息

钢水成分信息

C		Si		Mn		P		S	
上限值	0.12	0.3	0.5	0.045	0.05				
下限值	0.06	0.12	0.25						
	0.09	0.21	0.375	0.022	0.025				
实测值	OK	OK	OK	OK	OK				
1									
2									
终点	OK	OK	OK	OK	OK				

Cr		V		Cu		Ti	
上限值	0.3			0.3			
下限值							
	0.15			0.15			
实测值	no	no	no	no	no		
1							
2							
终点	no	no	no	no	no		

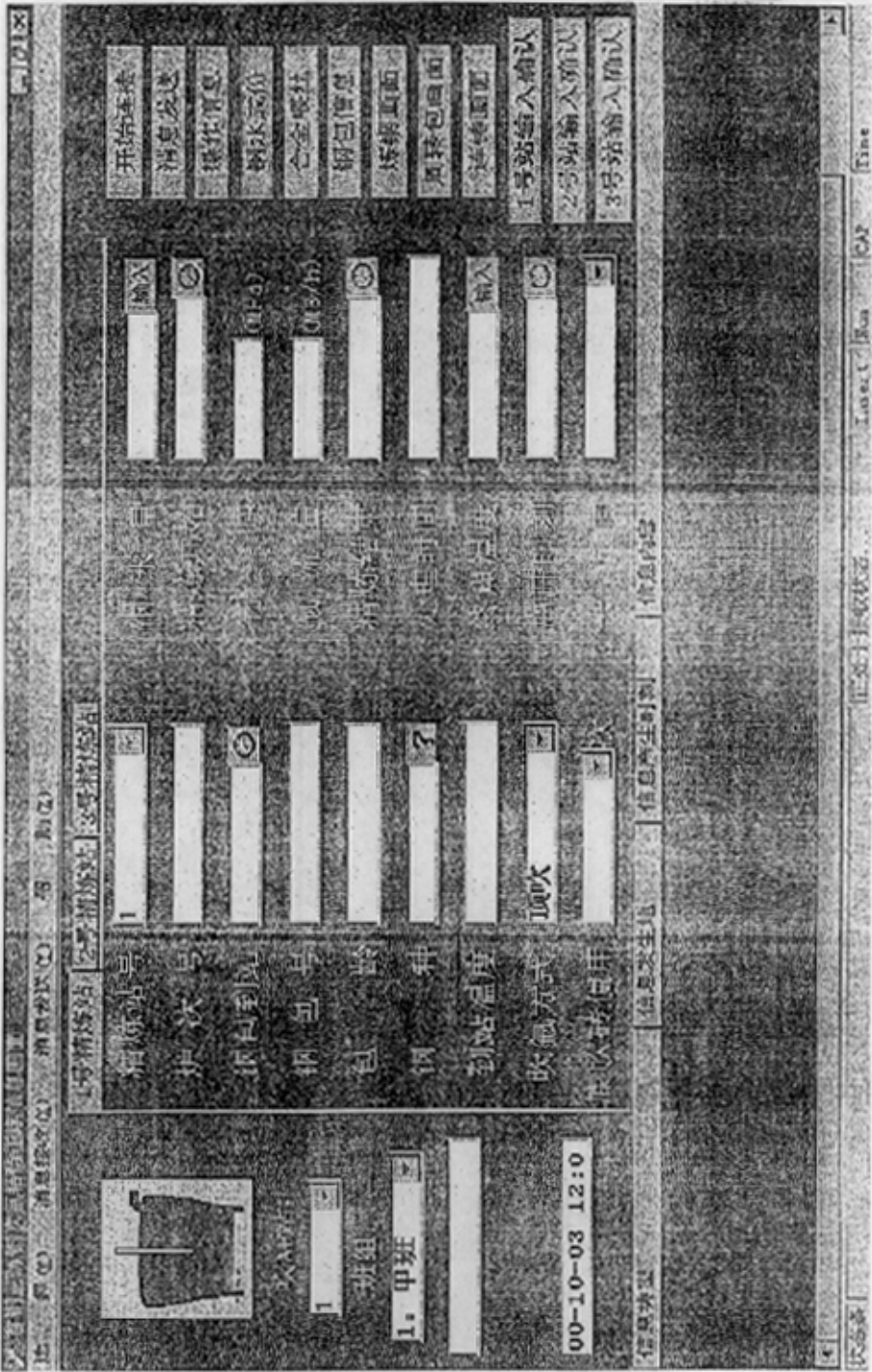
查询

当前

返回

吹氩精炼工序

3、吹氩精炼主画面：



3.1 相关子画面之一：吹氩精炼——合金料加入、喂丝信息画面

合金料加入			喂丝		
000622D00008	10111	120.0	120.0	120.0	120.0
000622D00008	10111	120.0	120.0	120.0	120.0
		120.0	120.0	120.0	120.0
		120.0	120.0	120.0	120.0

合金料加入 喂丝

确认 返回

3.4 相关子画面之四：吹氩精炼——钢包追踪画面

钢包追踪记录信息									
查看	返回								
钢包号	000622D000	制钢时间	21:10:00	台班时间		制钢时间	21:10:00	台班时间	
转炉号	D	制钢时间	14:32:08	制钢时间	22:53:31	制钢时间	22:53:31	制钢时间	22:53:31
钢包号	45	制钢时间	1	制钢时间	22:53:37	制钢时间	22:53:37	制钢时间	22:53:37
包龄	23	制钢时间	22:27:53	制钢时间	00:00:06	制钢时间	00:00:06	制钢时间	00:00:06
转炉时间	22:53:49	制钢时间	20:40:24	制钢时间		制钢时间		制钢时间	
包温	red	制钢时间		制钢时间		制钢时间		制钢时间	
出钢时间	21:12:32	制钢时间		制钢时间		制钢时间		制钢时间	
转炉时间	20:40:58	制钢时间		制钢时间		制钢时间		制钢时间	
炉次号	转炉号	包龄	包温	出钢时间	吊包时间	到精炼时间	到转台时间	转炉号	转炉时间
000622D000002 D	45	23	22:53:49 red	21:12:32	20:40:58	21:10:00	14:32:08	1	22:27:30
000622D000003 D	23	45	22:53:50 red	20:44:17	20:44:20	21:05:38	22:40:20	2	22:39:21
000622D000004 D	79	12	22:53:52 red	20:47:24	20:47:29	21:43:28	22:45:50	3	22:48:41

LF&VD 精炼工序

4、LF&VD精炼主画面:

The screenshot displays a complex industrial control interface for the LF&VD refining process. It features a top menu bar with options like '消息接收' (Message Reception) and '消息发送' (Message Transmission). The main area is divided into several sections for data entry and control:

- Top Section:** Includes fields for '炉包号' (Furnace Bag Number), '出钢时间' (Pouring Time), '出包时间' (Bag Out Time), '出包温度' (Bag Out Temperature), '出包重量' (Bag Out Weight), '出包成分' (Bag Out Composition), and '出包位置' (Bag Out Position).
- Left Section:** Contains a '炉包号' (Furnace Bag Number) field, a '炉包重量' (Bag Weight) field, and a '炉包温度' (Bag Temperature) field.
- Center Section:** Features a '炉包号' (Furnace Bag Number) field, a '炉包重量' (Bag Weight) field, and a '炉包温度' (Bag Temperature) field.
- Right Section:** Includes a '炉包号' (Furnace Bag Number) field, a '炉包重量' (Bag Weight) field, and a '炉包温度' (Bag Temperature) field.
- Bottom Section:** Contains a '炉包号' (Furnace Bag Number) field, a '炉包重量' (Bag Weight) field, and a '炉包温度' (Bag Temperature) field.

At the bottom of the screen, there is a status bar with buttons for 'Insert', 'Run', 'CAR', and 'Time'.

4.1 相关子画面之一：LF&VD精炼——添加料信息画面

添加料信息输入画面

炉次号: 000622D000009 钢种: 110100

造渣料及脱氧剂 (单位: Kg)

合成渣	萤石
一批料 100.0	100.0
二批料 100.0	100.0
三批料 100.0	100.0

埋弧渣

石灰

硅钙线

增碳剂

100.0

100.0

100.0

100.0

脱氧剂 (单位: Kg)

铝矾土	硅铁
100.0	100.0

中碳锰铁

硅锰

100.0

100.0

电石

100.0

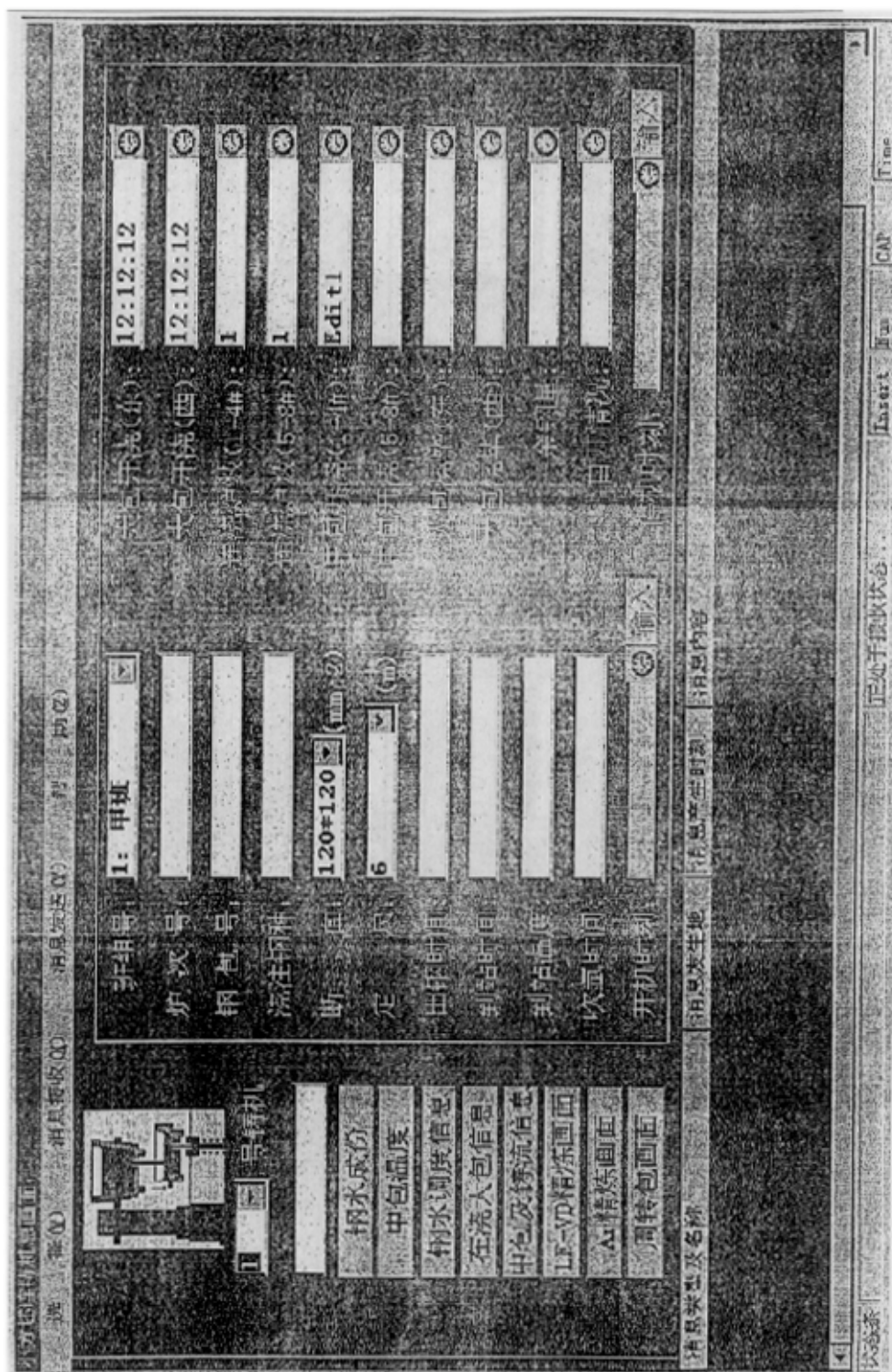
返回

查询

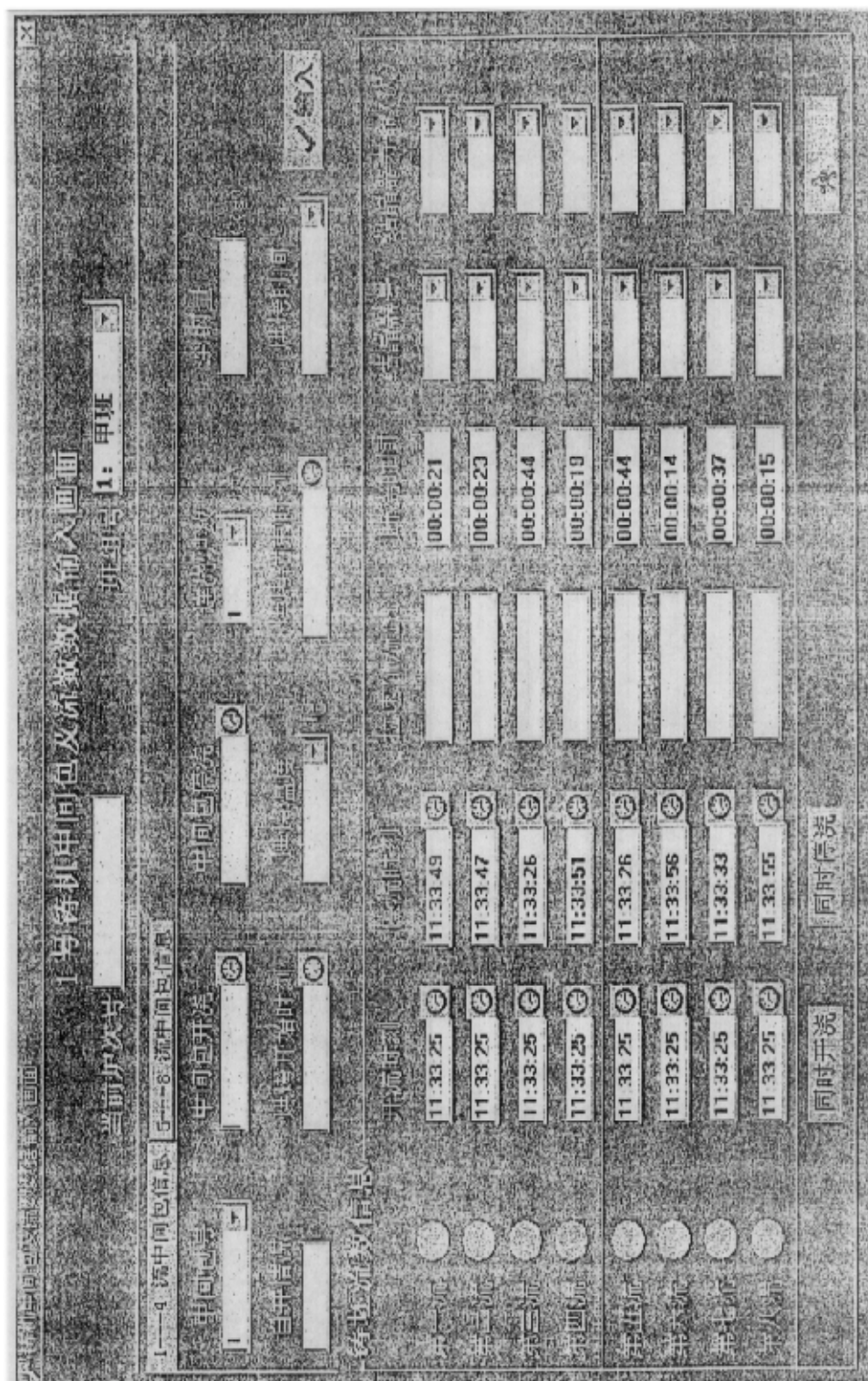
输入确认

连铸工序

5、连铸工序主画面:



5.5.5 相关子画面之五：连铸工序——中间包信息画面



6.1 相关子画面之一：钢包热修工序——钢包运行甘特图画面

