

东北大学
硕士学位论文
中小型材高速成品正剪优化配尺剪切的研究及实现
姓名：李建设
申请学位级别：硕士
专业：自动化
指导教师：刘建昌
2000. 1. 1

摘 要

本文通过分析气动离合器控制的连续式飞剪和启停式飞剪系统可知, 该两类剪体本身的剪切精度较高, 但配尺剪切均受到成品机架线速度和飞剪本身动作周期的影响, 成品机架线速度又受到电机转速、辊径的大小、换槽和换辊引起的辊径的变化等影响, 造成成品冷剪剪切之后存在一刀通尺或3.5M以下的废钢, 既影响了成材率, 又影响了定尺率。本人以首钢第二型材厂一车间高精度成品3#飞剪控制系统为对象, 从影响定长配尺剪切的因素着手, 在对气动离合器飞剪系统有关参数的实际测试和理论分析的基础上, 提出了中小型材高速成品飞剪优化配尺剪切的控制方案。对正常段剪切设计了每根钢坯轧制过程中, 第一刀定尺剪切和除第一刀外正常配尺段定长配尺剪切的参数。同时, 为解决钢坯定尺和上冷床要求的棒材长度等问题, 提出尾部配尺优化剪切控制, 根据不同的规格品种、不同成品速度设置不同的尾段配尺参数, 保证了最长、最短段均在工艺要求范围内, 针对上述的控制思想, 电机控制采用SIEMENS公司的6RA24全数字控制系统, 过程控制、工艺控制和连锁控制采用OMRON公司的可编程控制器C200H来实现, 通过实际应用和理论校验, 在每根钢坯成材切定尺后仅有一段小于标准定尺, 证实了优化配尺剪切控制方式的正确性。

关键词: 高速成品飞剪 优化配尺 尾段控制 检验

Abstract

In this thesis, the system of continuous flying and open-stop flying controled by pneumatic clutch has been analyzed. The cut precision of two bodies is higher. The ruler cut is affected by the line speed of turnoff machine frame and the action period of the flying body. The line speed of turnoff machine frame is also affected by the rotating speed of motor, the size of the diameter of roll and the change of the diameter of roll arising from exchanging slot and roll. All these bring scrapped steel and influence they yield rate and cut-to-length rate.

In this thesis, the control system of high precision No 3 flying shear in the first workshop of Shougang No 2 Bar Steel Plant is studied and the factor affecting the fixed length cutting is analyzed. The parameter of flying system controled by pneumatic clutch has been tested and studied as per theory. The control project of optimizing ruler cutting in small-medium sized bar steel plant has been put forward.

Aimed at above control philosophy, the motor controled by 6RA24, a digital control system produced by SIEMENS Inc. has been applied. The process control and technical control system is realized by C200H PLC produced by OMRON Inc.. Through real application and theoretical checking, there exists only a small section of standard length in each bar steel. The correction of the control method of optimized cutting-to-length is proved.

【Key words】 high speed flying shear, match shearing
optimization, tail end control, testing

第一章 绪 论

中小型连续轧钢机组的成品飞剪是整个生产线的关键设备。其作用是：根据不同产品规格的成品轧机速度，将数百米的轧件剪切成技术标准或合同要求的数倍定尺长度，以达到最佳的生产工艺要求。成品飞剪的精度对生产线的成材率、定尺率影响较大。

国内外技术现状及研制背景：

目前国内外棒料飞剪机，主要有两大类组成：

A、由直流电机拖动在一周内完成启动、剪切、制动工作的启停式飞剪；

B、连续式飞剪，主电机连续运转，分两类：

- (1)用气动快速离合器控制剪切(定位精度高)；
- (2)用空切机构或轧线摆槽控制剪切(定位精度低)；

国内外使用情况表明，一般情况下飞剪运行线速度 $\leq 5\text{m/s}$ 时多用A类，如首钢原小型厂以原苏联引进的50吨钢坯飞剪，鞍钢初轧厂100吨钢坯飞剪等。而自1978年开放以来，国内购进了几十台套小型轧机配套飞剪多为离合器式飞剪（B（1）），如安阳260小型厂飞剪、三明钢厂、沈阳钢厂、马鞍山小型厂、南京钢厂、新余钢厂等，一般速度 $\leq 15\text{m/s}$ ，国际上多在 16m/s 以下，这取决于离合器磨擦盘的接触速度，太快时难以满足制动要求。

我公司棒材轧机产量不断提高，原小型厂年产已达百万吨，工艺要求难度大、强度大，一般飞剪机满足不了工艺要求。1992年以来，小型厂以同样工艺要求委托意大利飞剪名牌厂家“达涅利公司”研制一台A类飞剪机，投资63.444万美金于1993年底投产，10个多月以来尚未正常生产，常有失控现象。无论是启停式飞剪还是气动离合器控制的连续式飞剪，虽然剪

体本身的剪切精度较高，但配尺剪切均受到成品机架线速度和飞剪本身动作周期的影响，成品机架线速度又受到电机速度、辊径的大小、换槽和换辊所引起的辊径的变化等影响，造成在配尺控制方面存在较大的误差，使成品冷剪剪切之后存在一刀通尺或者3.5m以下废钢，既影响了成材率又影响了定尺率。

我们分析了德国SKET公司、苏联及美国等国内外飞剪专业厂家生产的飞剪机的特点，决定采用双臂回转式飞剪，离合器控制为主体，附加一对曲柄四连杆剪头。用回转剪满足高速、小断面、大批量产品要求，以曲柄四连杆剪头满足低速、大断面产品要求。一剪两用满足高速差、大剪切力的要求，成为国内外工艺性能特殊的强化型棒材飞剪，并在剪切动能合理使用方面创造性的研制了液压阻尼系统，对高速剪切的飞剪机切后动能采取先加液压阻尼，后行摩擦制动，使其工作条件大大改善，保证了制动要求，延长了使用寿命，为棒钢飞剪的高速化开创了新的途径。

目前，本台飞剪已于1996年5月份进行了组装和现场模拟剪切试验，测定了全部有关参数，证明完全达到了设计要求。至今为止，该类飞剪已经设计研制出3台，其最高线速度已实现22m/s(剪刀)，但因目前没有相应速度的生产速度条件，所以只有模拟试验的空切数据。实际上，空切比实切更难控制，因为空切制动动能更大。

本文针对首钢第二型材厂九六年研制的采用气动离合器控制剪切的成品飞剪，解决主要影响配尺因素，进行了优化配尺剪切的研究，再辅之以冷床齐头装置的投入，使第二型材厂生产效率大幅提高。

第二章 棒材连轧工艺流程及控制要求

第一节 一车间棒材连轧工艺流程

众所周知，生产工艺在一个生产线中的作用是至关重要的。它决定着生产线上设备的选择，平面布置，机架的选取、飞剪的选择等等，一般棒材连轧线的生产工艺包括加热工艺、加工（轧制）工艺、冷却工艺、热处理工艺以及精整工艺等，所以就一个生产线而言，工艺起着决定性作用。现以首钢第二型材厂一车间为例，介绍工艺流程如下：

首钢第二型材厂建成于1994年5月份，两条生产线年设计能力为150万吨，规格品种为 $\Phi 12 - \Phi 40$ 的螺纹钢和圆钢，钢种为碳素结构钢和低合金结构钢，原料钢坯全部由公司二炼钢供应，坯料经铁路或汽车运输入厂后分别进入一车间、二车间原料跨，经上料人员检查合格后，由吊车放在上料台架上（坯料尺寸规格140mm*140mm*11200-12000），上料台架将坯料步进到上料辊道上，由辊道和推入机送入三段连续侧进侧出推钢式加热炉中，经三段逐渐加热到 $1050 \pm 50^{\circ}\text{C}$ 后，由炉后推出机和炉前拉出机送到7架粗轧机组（水平轧机机架）。

钢坯从粗轧机组出来后，经1#飞剪剪切头部取样来控制8#机架铁型尺寸、形状及表面质量，中轧机组是4架水平机架和2架立式机架。

钢坯从中轧机组出来后，经2#飞剪切头和碎断（故障状态），进入精轧机组，精轧机组共有8架，其中6架水平机架和2架立式机架，精轧机组设有活套控制轧制张力（AutoMatic Loop Control），以确保尺寸精度之后，经3#飞剪分段配尺剪切，3#飞剪前后设有控冷设备，可根据工艺需要进行控冷，

经 3 # 飞剪剪切后，钢材在 6.4*128m 步进式双面齿条冷床冷却，经定尺冷剪剪切后，进行尺寸和表面检查、理化检验，合格后进行打捆包装，计量入库。

首钢第二型材厂一车间棒材连轧生产工艺框图见图 2 - 1 所示

该条生产线的工艺特点是：全套轧机由连轧机组成，配有级联调装置，可确保工艺状态处于最佳状态；精轧机组采用椭圆 - 立椭圆孔型系统，使轧件变形均匀，为了消除精轧机组各架次对成品尺寸的影响，提高产品精度，在精轧生产线上一方面设有活套，采用活套自动给定重设定技术可自动调节套量大小，另一方面采用咬钢补偿功能，减少操作工的手动干预。

第二节 工艺对棒材连轧线上飞剪的控制要求

一、飞剪的基本要求

1、剪刀在剪切轧件时要随着轧件一起运动，即剪刀应同时完成剪切与移动两个动作，且剪刀在轧件运动方向上的瞬时分速度 V 应与轧件运动速度 V_m 相等或大 5 %，即 $V = (1 \sim 1.05)V_m$

在剪切轧件时，剪刀在轧件运动方向的瞬时分速度 V 如果小于轧件运动速度 V_m ，则剪刀将阻碍轧件的运动，会使轧件弯曲，甚至产生轧件缠刀事故，造成切堆。反之如果 V 比 V_m 大很多，则在轧件中将产生较大的拉应力，这会影响轧件的剪切质量和增加飞剪的冲击负荷，同时也会造成前一段尾部出现弯曲现象。

2、根据产品品种规格的不同和用户的要求，在同一台飞剪上应能剪切多种规格的定尺长度，并使长度尺寸公差与剪切断面质量符合有关标准规定。

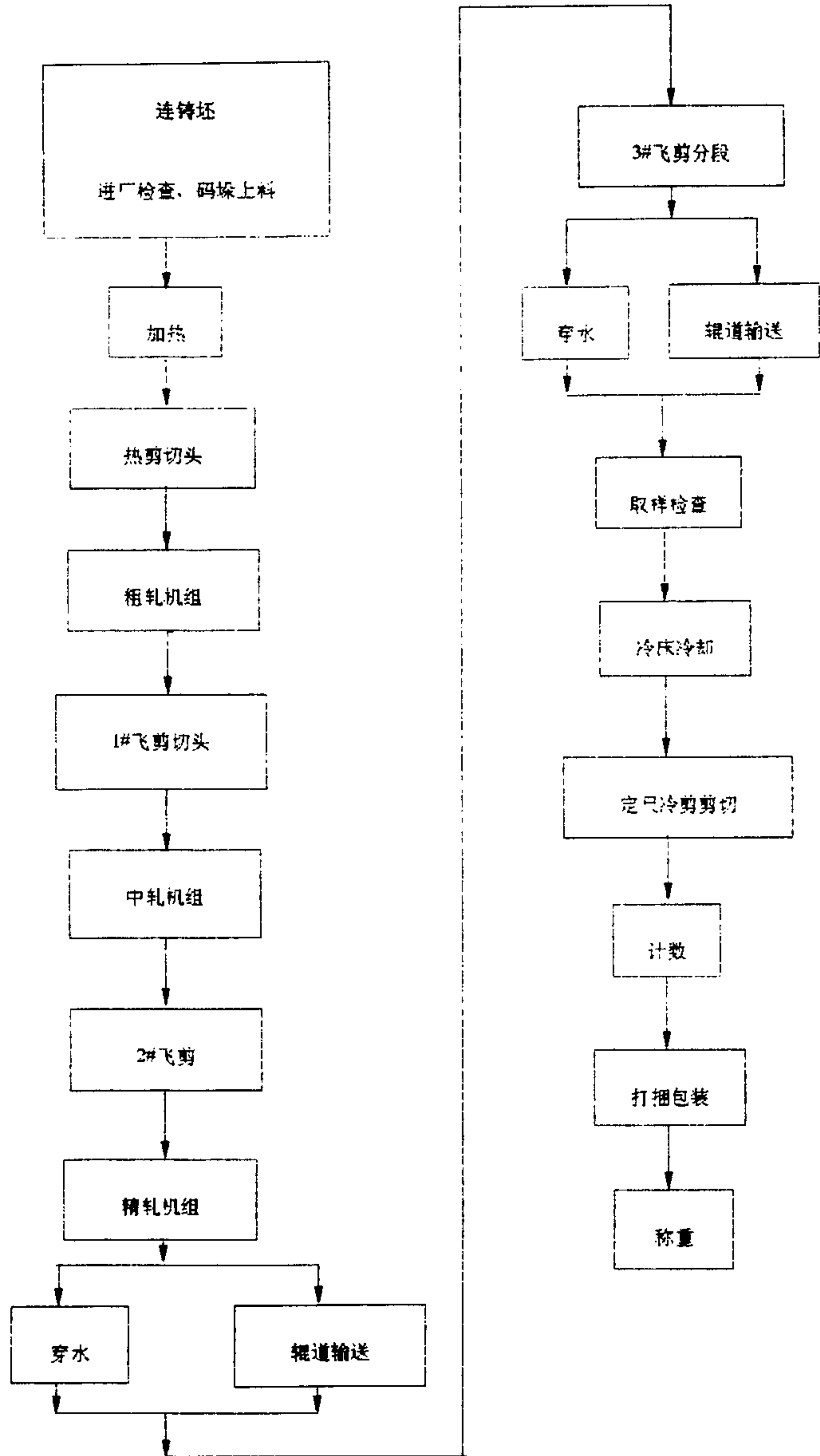


图 2 - 1 一车间连轧生产工艺框图

3、能满足轧机或机组生产率的要求。

二、一车间轧线所有飞剪的一些性能及参数

由第一节的生产工艺流程框图明显可以看出轧线三台飞剪的位置，它们的主要作用是切头、切定、倍尺及事故情况下的碎断等功能，各台飞剪的具体参数见表一。

表一 各台飞剪参数表

飞剪号 项目	1#	2#	3#
型式	曲柄连杆式	曲柄连杆式	曲柄式-四连杆式
剪切力	700KN	480KN	264.6KN
最大剪切尺寸	75*75mm ²	62*62mm ²	1256mm ²
剪切温度	850-1150°C	800 ¹ 以上	550-1150 ¹ C
碎断长度	1500mm以下	1500mm以下	72-108mm
剪切速度	0.5-2m/s	9.29m/s	6-17.8m/s
电机功率	2*315KW	2*110KW	90KW

三、回转式剪切与曲柄式剪切

现代化的高速轧机大部分采用直接驱动型（起停式）和离合器型（C V式），其优点是：

- 1、由于机械结构紧凑故障率低，维修量小；
- 2、剪切精度高，因此可以提高成材率；
- 3、周期时间短。

根据剪切轧件尺寸和速度不同，所有剪机均既可采用回转式又可以采用四连杆式（又称曲柄式），且都可以安装飞轮，四连杆式剪切具有良好的垂直度，用于剪切型材和大断面圆棒材，可以最大限度地减少剪切变形。回转式飞剪机用高速下切头或分断，其剪切断面不是很理想，此时对剪切断面的要求不

应是一个主要因素。回转式和四连杆式均可以剪切淬火螺纹钢和高合金钢的切头切尾碎断和试样剪切。图 2-2 所示的是不同型式飞剪的主要工作条件，可以提供在不同的工作状态下选择不同形式的剪机。

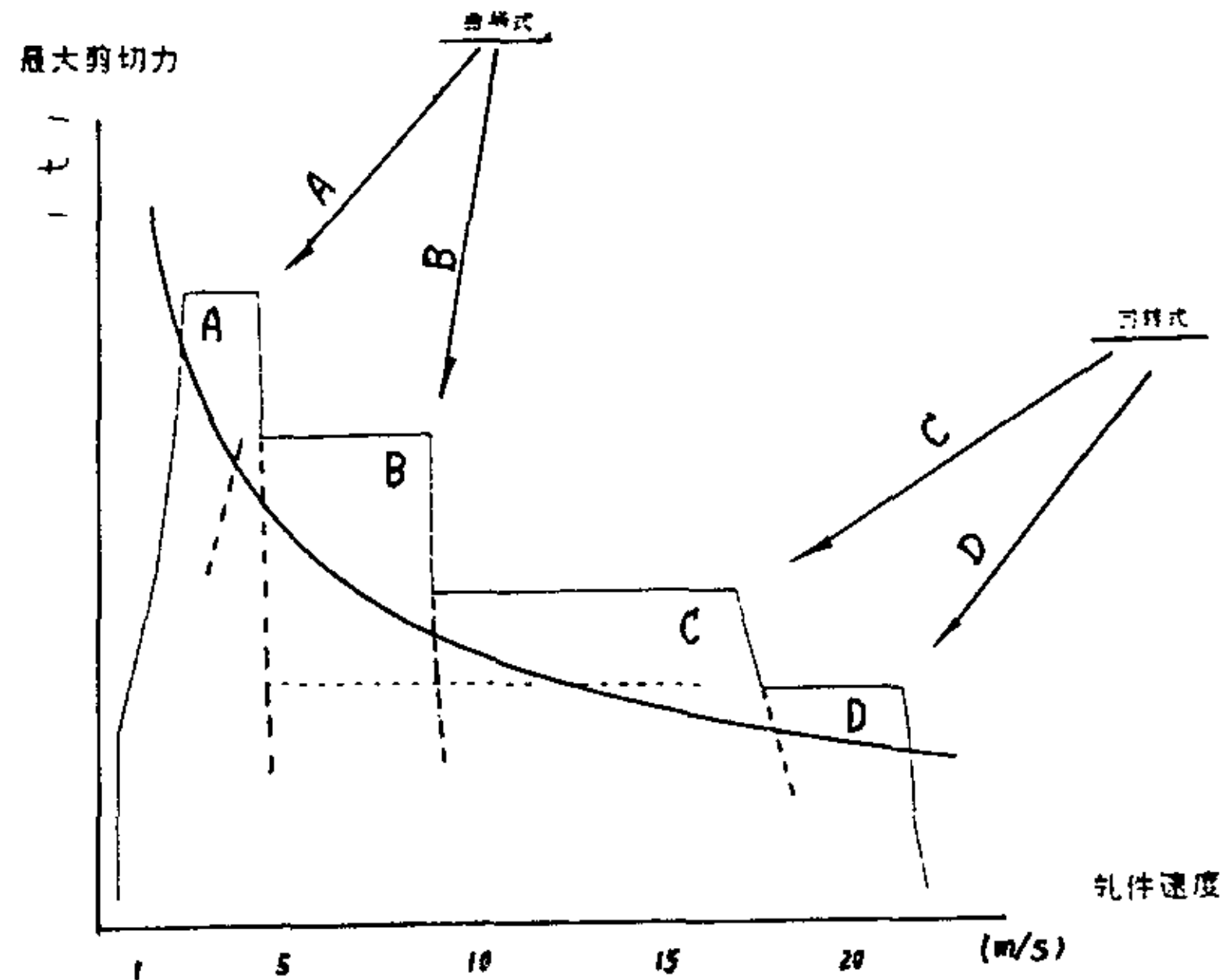


图2-2 各种形式飞剪的工作条件

目前有一种较先进的可转换形式的分断剪，它既可以在低速下以四连杆曲柄式工作方式剪切大断面轧件，又可以在高速状态下以回转式工作方式剪切小断面轧件，剪机从回转式转换成四连杆式或相反的操作极其简便。

四、一车间生产工艺对 3 # 成品飞剪的要求

根据设计和工艺状况，对一车间高速成品倍尺飞剪（3 # 飞剪）要求如下：

- 1、成品飞剪合理配尺剪切，并实现自动剪切，且可任意调整；
- 2、冷床长度为128m，因此冷床上最长段不能超过110m；
- 3、3#飞剪剪切后，进入冷床区的最短段不低于40m，以确

保棒材安全、可靠地进入冷床；

4、在不同的待剪切轧材线速度下均能够保证切长精度；

5、剪切速度 V_s 应能跟踪 V_l 使 $V_s = 1.05 V_l$ ，这是保证剪切断面整齐的主要措施；

6、飞剪工作周期短，能给出显示有关状态的灯光显示等；

7、适应轧速 $\leq 16\text{m/s}$ ，即要求剪切速度范围为：

$$V = 6 \sim 17.8\text{m/s}；$$

8、断面： $\Phi 10 \sim \Phi 40\text{mm}$ (要求切分，刃宽 $B = 220\text{mm}$)；

9、钢种：45MnSiVc强力钢筋， $\delta b \leq 100\text{Kg/mm}^2$ ；

10、有部分穿水后剪切，温度为 $600^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ ，最低剪切温度 550°C (满足切分轧制，双线剪切，穿水)；

11、最大剪切力：264.6KN；

12、倍尺剪切精度： $0 \sim +120\text{mm}$ ；

13、剪切次数：17次/分钟，

工艺控制思想：

要求飞剪应具有剪切速度可调和控制剪切轧件尾段长度的功能，具体控制思路如下：

启动后→得信号自动执行倍尺剪切→判断轧件长度尾段轧件大于40m，执行尾部配尺剪切。

第三节 一车间高速成品3#飞剪的概况及设计思想

从工艺指标要求可以看出该飞剪已大大超出一般飞剪范围，主要体现在：

①要求飞剪高低速度差范围 $6 \sim 17.8\text{m/s}$ ，高速是低速的3倍(一般飞剪为2倍)；

②棒材断面范围 $\Phi 10 \sim \Phi 40$ ，最大断面与最小断面相比为4倍，最大断面积 $F = 1500\text{mm}^2$ ；

③剪刀宽度 $B=220\text{mm}$ ，是世界上最宽的棒料剪刀，惯性大，不易控制；

④剪切钢种与温度决定的剪切力大于一般棒材剪， $P=27$ 吨(设计能力)。

以上正是该台飞剪控制难于目前其它飞剪之处，为了满足工艺要求，最终研制出离合器制动器成品飞剪—3#成品飞剪。

一、3#飞剪的结构形式

(一)采用双头剪的结构形式

针对该飞剪高低速速差和剪切断面范围大的特点，研制采用了双头剪结构形式(如图2-3所示)：以双臂回转剪为主体，在此基础上装配一对四连杆剪。高速小断面时采用回转剪，低速大断面时采用四连杆剪。两者的有机结合达到了一剪两用的完美效果。

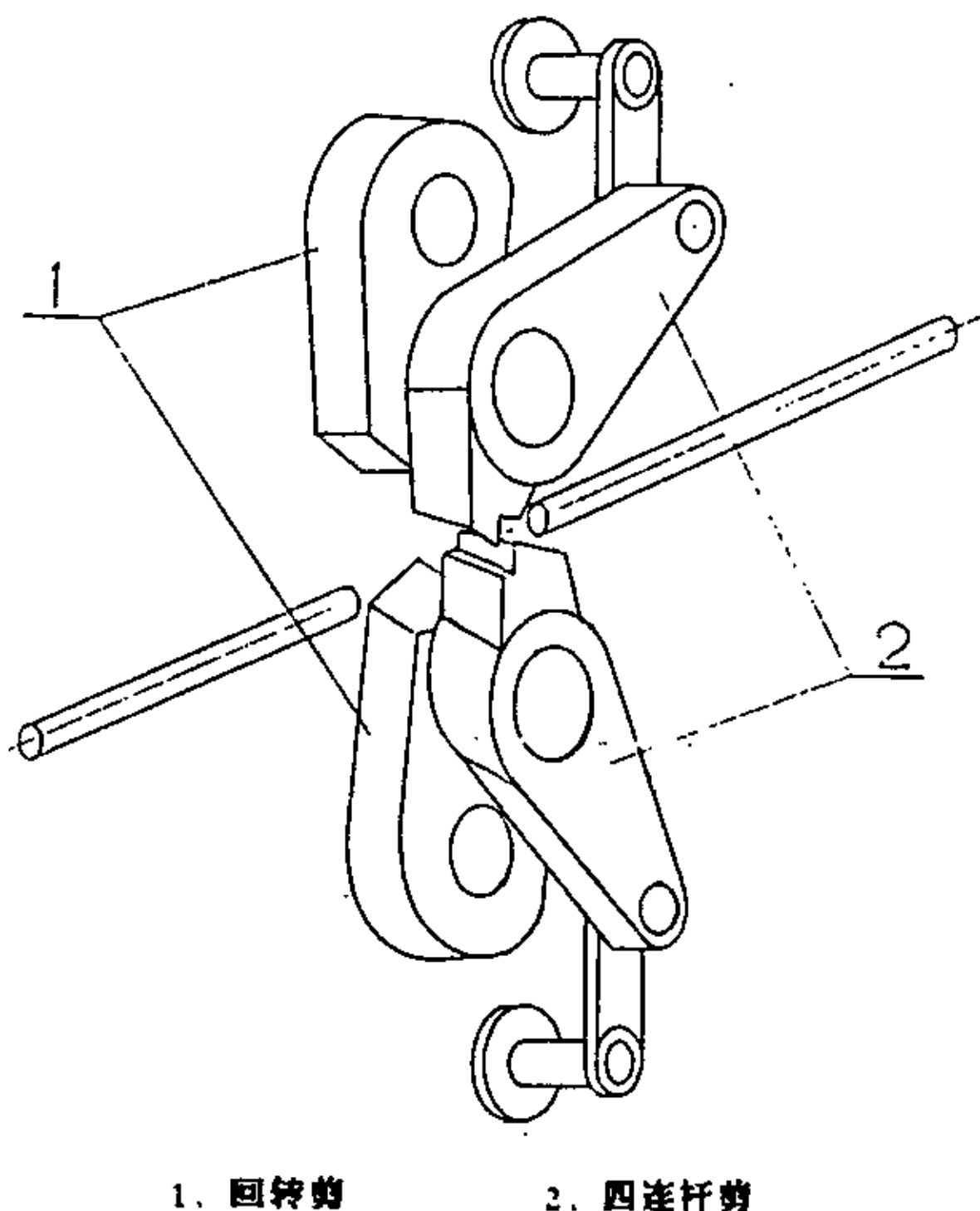


图2-3 双头剪结构示意图

该飞剪最大特点是，选择合理的配置方案，把高速齿轮箱

与本体高强度预应力机架分为两体研制，不同于国外同类型高速飞剪机，其优点是：避免要求高精度加工机床及高难度焊接技术的加工条件，简化加工，降低成本，满足工艺要求。

1. 双臂回转式剪

这是双剪头的主体，具有以下特点：

(1)、适应高速小断面剪切要求，可满足80%以上产品规格的要求；

(2)、上剪轂采用无键联接，可实现剪刀侧间隙的随意调整(0.1 ~ 0.5mm)；

(3)、采用齿轮无侧隙调整传动，精度高、噪音低、振动小。

剪刀材料为5CrW2Si，用螺栓、防松螺母将剪刀固定在刀架上，并通过垫片调整剪刀重合度(2mm)。

2. 四连杆剪

这是在双臂回转式剪基础上安装的一对四连杆剪，具有以下特点：

(1)、用于低速断面剪切，最大断面 $\Phi 40\text{mm}$ ，各运动杆参数经过全面优化选择；

(2)、摇杆与本体采用偏心轴联接，可以实现剪刀侧隙的随意调整(0.1 ~ 0.15mm)；

(3)、连杆与回转剪臂通过锥形销联接，连杆与摇杆通过锥销轴联接，整套机构拆装方便，强度可靠。

(二)高速箱的合理设计

高速齿轮箱是该飞剪的主传动件(带有空转机构)，通过气动离合器带动待切系统实现高速定尺剪切，如图2-4所示：

1. 主传动齿轮采用人字齿轮传动， $Mn=6$ ，线速度 $V \leq 25\text{m/s}$ ，硬齿面、6级精度。在设计中优化选取了螺旋角等参数，其目的在于增加啮合齿数，提高承载能力，使运转平稳。

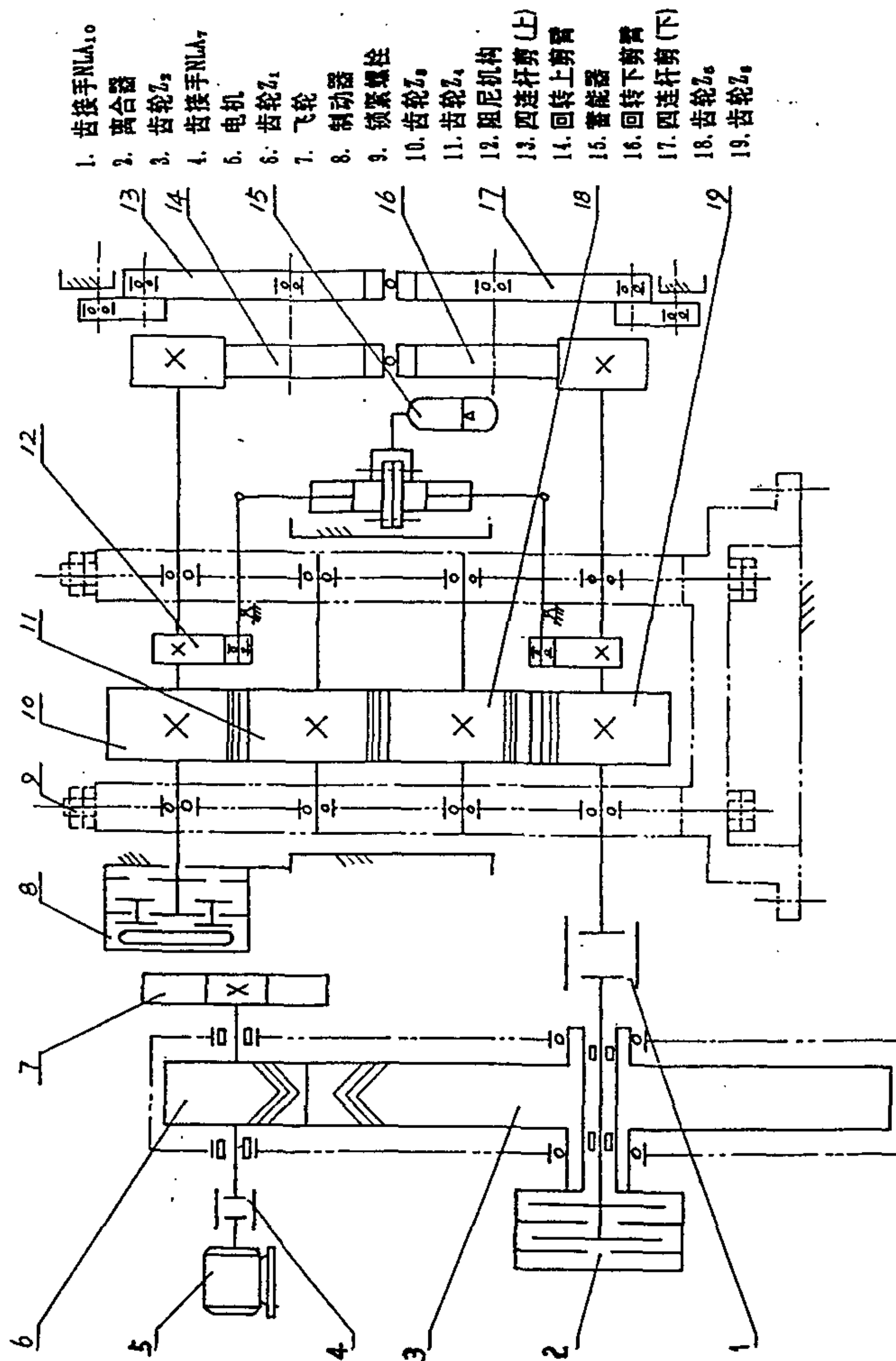


图2-4 3#飞剪传动方案示意图

2. 在满足使用精度要求的前提下, 我们经过多次实践证明: 6级精度、硬齿面的人字齿轮经精滚、精剃后研磨、卓有成效地改善了齿轮的周期性误差、齿形误差, 提高了齿面光洁度, 并实现了齿形和齿向螺旋线修整, 足以保证使用精度, 而没有必要进行高成本的磨齿处理。

3. 高速齿轮箱是在长期高速运转状态下工作的, 这就必须连续不断地向高速齿轮箱内供应充足的油, 以利于冷却。但是, 如果油不及时排掉, 将会产生严重的搅油发热现象, 从而影响高速齿轮箱正常工作, 降低使用寿命。为避免这一现象的发生, 将箱体底部设计成斜坡形, 并改进了回油孔断面型式, 有效地解决了搅油发热问题。

4. 关于密封元件, 为了使其使用寿命、耐高温程度都满足使用要求, 在设计中采用了进口耐高温密封元件。

(三) 剪机主机架采用预应力式焊接结构

由于该飞剪是利用系统动能进行剪切的, 系统动能中消耗掉一小部分剪切功后, 剩余的大量动能要靠制动器来吸收, 因而该飞剪始终工作在高速、重载冲击状态下, 这就对主机架的刚度、强度提出了非常高的要求。意大利“达涅利公司”、“德国SKET公司”等国外飞剪专业制造商均以其高刚度、高强度的焊接机架而领先于世界。但是, 目前我公司乃至国内的焊接技术与发达国家相比, 仍有一定的差距。针对这一情况, 创造性的运用了预应力式焊接机架结构, 将预应力剪座置于机架中, 由预应力螺栓(图2-4之9)承受剪切力, 封闭了剪切力, 使机架结构简单、加工方便、安全可靠并大大降低了机架的制造成本。

(四) 液压阻尼系统的研制

如上所述, 剪切功所消耗的只是系统动能的一小部分, 剩余的大部分动能要靠制动器制动来吸收。速度越高, 剩余动能越大, 制动就越困难, 这也是目前国际上该类飞剪难以实现高速

化的主要原因。为解决这个问题，我们创造性地在剪轴上安装了一套液压阻尼系统(如图2-4中件号12、15)，经使用证明效果良好。从在线阻尼力实测示波曲线（图2-5）可以看出：从启动加速到剪切前的 180° 内不起阻尼作用；在剪切后制动的 180° 内，于制动器动作前，先使系统全能受到阻尼缓冲作用，降低了瞬时接触速度，减轻了制动器的负担，缓解了制动时产生的冲击尖峰载荷，从而延长了设备及制动器的使用寿命。为棒材飞剪的高速化开创了新的途径。

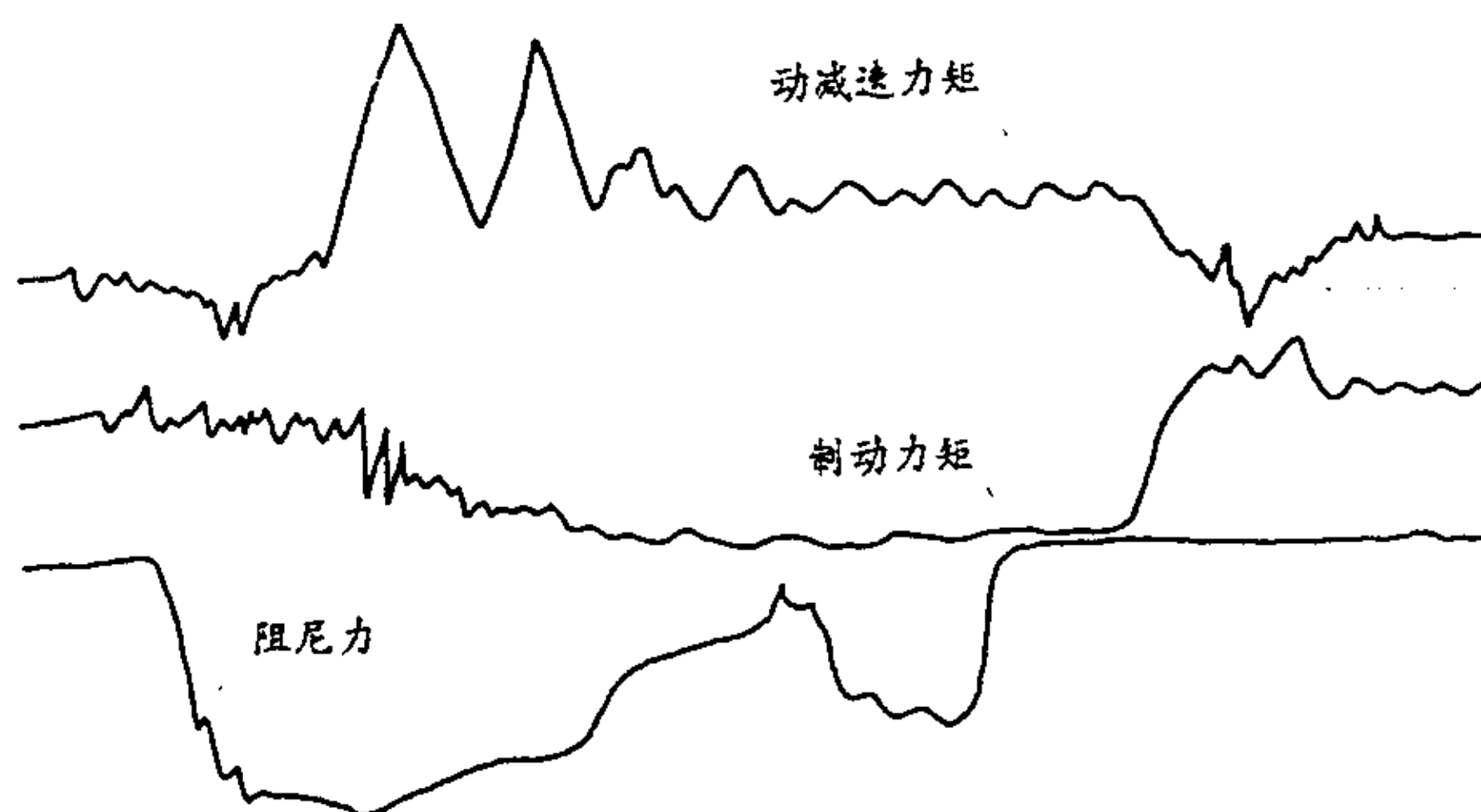


图2-5 阻尼力实测示波图

二、机械部分

为确保该项目的研制成功，在设计研制过程中，我们针对印尼马士达钢厂等高速倍尺飞剪在使用过程中所暴露出的一些薄弱环节及影响剪切精度的问题进行了研究，主要包括以下几个方面：

- 1、将高速传动箱与高强度剪切机构分箱设计制造，分别满足传动精度和剪切强度要求。

高速传动箱采用了高精度人字齿轮传动，优选螺旋角参数，

提高使用寿命，剪切机构主体采用预应力焊接结构，将预应力剪置于机架之中，由预应力螺栓承受剪切力，封闭了剪切力，使机架结构简单，安全可靠。

2、针对剪速达到14m/s以上时，在剪切过程中，剪臂定位不准，甚至失控，发现①整个机械系统的 GD^2 （转动惯量）分配偏高，在高速剪切情况下，制动动能太大难以定位，因此改进方案为：增加常转系统 GD^2 （加大飞轮），减少待切系统 GD^2 （减小剪臂 GD^2 ），保证原有机械系统 GD^2 不变。②降低离合器工作压力，在满足高速剪切启动力矩情况下，其工作压力越小越好，确保在制动过程中，离合器快速彻底脱开，从而保证在高速剪切后，剪刀准确定位。

3、对主传动减速机在高速运转时，高速轴两侧及低速离合器侧轴承部位发热问题进行了详细技术分析。针对油系统问题，在设计上采用了①在减速机下箱体轴承瓦位底部开一条回油槽，使漏出密封线外面的油快速返回箱体内。②选用国外精密密封件，为加强轴承表面硬度及配合尺寸精度，使用了“耐磨套”，从而解决了发热现象及漏油问题。

4、飞剪下剪臂固定形式。原来制造的飞剪下剪臂固定式，是采用“切向键”锁紧，在频繁剪切震动后经常松动，造成切不断钢，这次设计成与上剪臂一样的固定形式（涨紧套固定联接），不仅解决了松动问题，还可以提高“本体”传动齿轮使用寿命。因此，在真正剪切瞬间，“本体”传动齿轮只有几个轮齿在剪切瞬间受力，利用涨紧套可以定期调换受力齿轮，非常方便。

以上这些措施，为今后的飞剪优化配尺剪切的研究创造了条件。

第三章 高速成品飞剪优化配 尺剪切控制的数学模型

第一节 飞剪定长倍尺优化剪切控制

如图3-1所示,为实现成品3#飞剪定长倍尺、末段配尺剪切的实现,在CV型成品3#飞剪前与21#成品机架之间设置了两个热金属检测器1HMD和3HMD,在2#飞剪处设置了一个热金属检测器2HMD,其中2#剪热金属检测器2HMD和3#飞剪热金属检测器3HMD共同控制轧件成品的分段。1HMD和3HMD用于成品轧件在线实时成品机架线速度的检测。在8#台设置三个拨码开关由以上设置参数传输到PLC系统中,由可编程控制器计算等输出控制,从而达到优化剪切控制的目的。如图3-2所示:

L_1 ---定长倍尺段长度设置;

T_1 ---时间设定器1;

T_2 ---时间设定器2。

一、在线成品轧件线速度的检测

在PLC中设置了高速计数器,当成品轧件到达1HMD时,启动高速计数器对内部固定频率脉冲计数,当轧件到达3HMD时停止计数,并读取计数值,计算出1HMD到3HMD轧件运行的时间 t_0 则可计算出轧件运行的线速度 V ,当红钢继续通过精轧机之后,PLC对每根钢均在线实时检测成品机架线速度 $V(m/s)$,从而确定了剪切参数。

$$V = \frac{L_1}{t_0}$$

式中: L_1 为1HMD到3HMD的距离(选取15.000m)

t_0 为钢出成品机架之后,从1HMD到3HMD所经过时间。

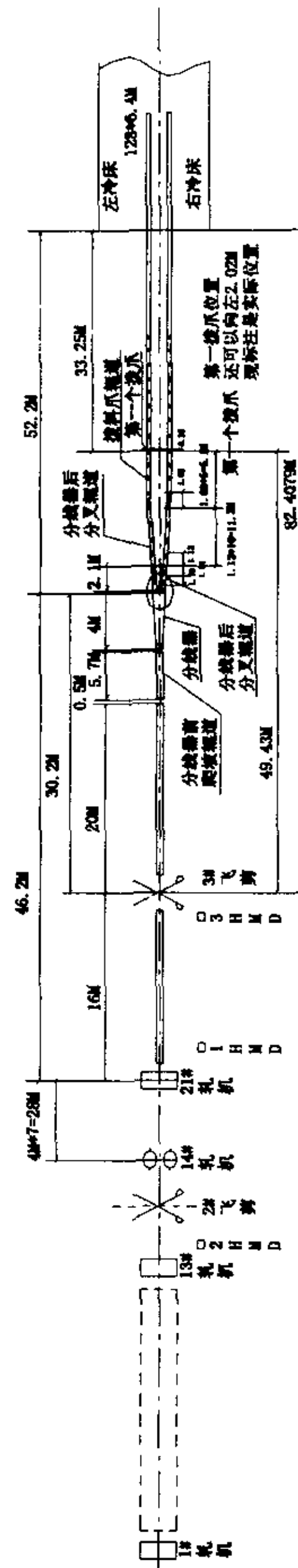


图3-1 一车间工艺布置图

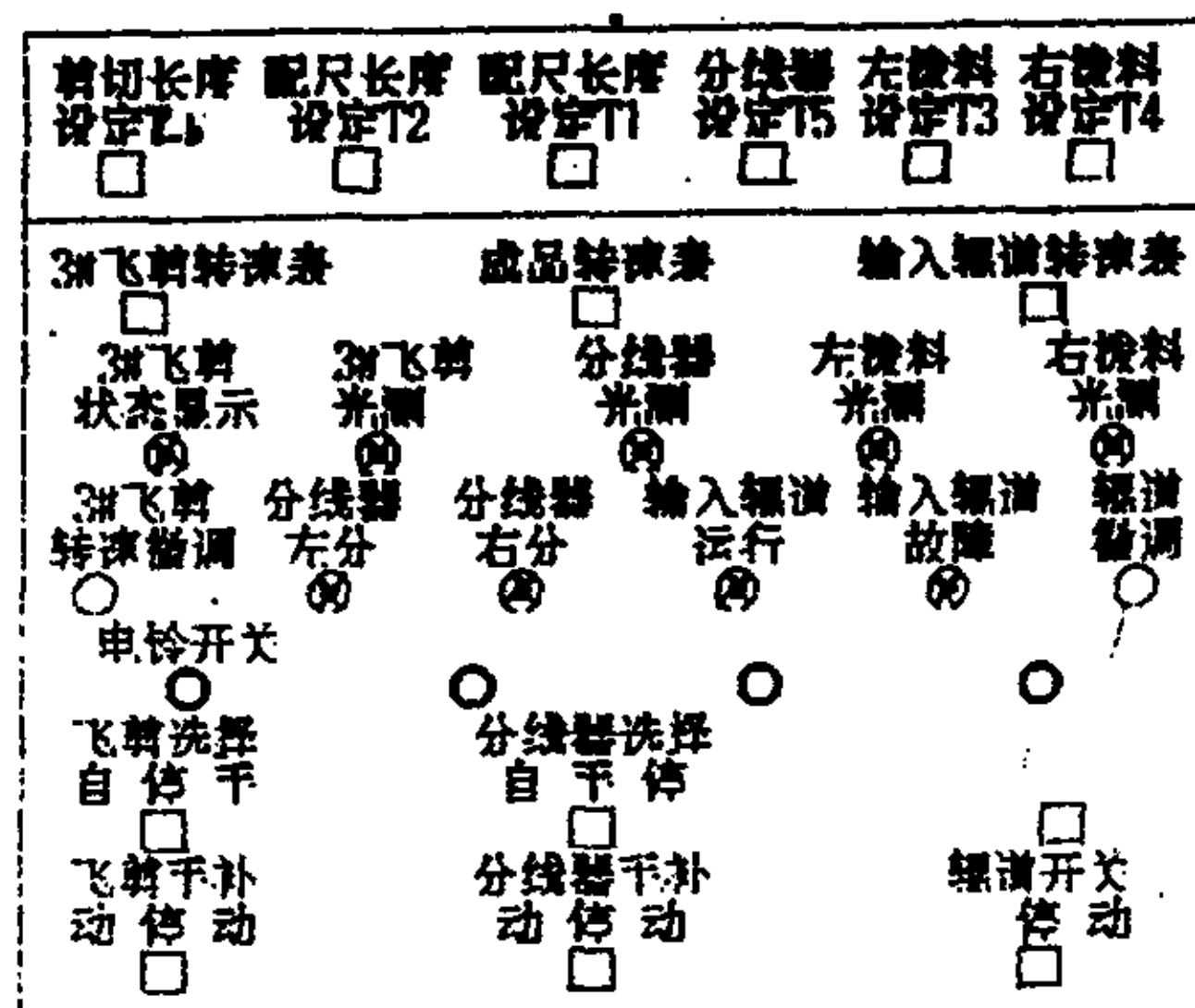


图3-2: 8#台成品飞剪控制台面布置图 (8-CT2)

二、定长倍尺优化剪切

当轧件出中轧机组，通过2#剪旁热金属检测器2HMD时，2HMD向可编程控制器发出一高电平信号，之后当轧件头部接着通过3#剪旁的热金属检测器3HMD时，3HMD向可编程控制器发出一高电平信号，可编程控制器立即开始计时，当每根钢第一刀定长倍尺计时时间达到下述延时时间时，可编机发出3#飞剪立即启动信号进行剪切。

$$T_0 = \frac{L_b - t_b \times V - l}{V}$$

其中： $t_b = 0.055s$ —离合器实时综合响应时间；

T_0 —第一刀定长倍尺延时时间；

$l = 1.5$ —不同线速度从剪刀启动到剪刀重合对应的长度。

在3#飞剪对每一根轧件发出第一次剪切指令之后，2#剪热金属检测器2HMD和3HMD均不断光的情况下，表示为正常倍尺段，即开始第二次剪切延时计算(以后各次剪切计算方法相同)。第二次及以后各次正常倍尺段的延时计算是从前一次

剪切指令发出即开始的,且轧件线速度 V 和定尺倍尺长度是不变的,则3#飞剪定长倍尺段剪切延时时间为:

$$t_i = t_a = \frac{L_i}{V}$$

式中 $i=2,3,4,\dots$ 为剪切次数:

t_a —定长倍尺长度 L_i 对应的轧件运行时间。

第二节 飞剪尾部配尺优化剪切控制

由于钢坯长度和轧制过程的不一致性,最后一根成品棒材太长或太短都会使冷床工艺流程出现紊乱现象,严重影响产品的成材率和产量。因此,尾部配尺剪切是否合理是解决这一问题关键。在说明末尾段控制之前,首先要求出每种规格轧制过程中2#飞剪光头至3#飞剪光头所存的钢的当量长度 $L'(m)$,即轧成成品后的长度,由工艺给出(见表二)

表二 2#剪2HMD到3#剪3HMD存钢当量参数

规格	2#飞剪光头到3#剪光头当量长度 $L' (m)$	成品机架
$\Phi 16$ 切	110.5(可调整)	21#
$\Phi 18$ 切	85	19#
$\Phi 20$ 切	82	19#
$\Phi 22$	97	19#

根据生产车间的工艺控制过程和实际生产环境,确定采用2HMD和3HMD热金属检测器配合控制方案,也就是利用2#飞剪和3#飞剪光头来鉴别这段钢是否是末尾段,其尾段控制方式分下列三种情况:

- (1) 3#飞剪剪切后, 2#飞剪光头2HMD失光时间 T 小于 T_1 时

即 $T < T_1$ ，通过调整可保证这节钢的成品总长度在冷床的允许范围内，尾段轧件不予剪切，3#飞剪放过，这时上冷床轧件长度为：

$$L_{\max} < L < L_{\min}$$

$$\text{其中：} L_{\max} = L' + V * T_1 < 110\text{m}$$

$$L_{\min} = L'$$

T_1 由上冷床最长轧件110m(工艺要求)和 L' 共同决定。

(2) 3#飞剪剪切后，如果这段钢的成品总长度超过冷床的允许长度，也就是说：3#飞剪剪切后，延时到2#飞剪光头2HMD失光时间在 T_1 和 T_2 之间时，即 $T_1 < T \leq T_2$ 时，PLC根据最优控制方式确定3#飞剪延时到：

$$t_2 = [k_1] * t_3 + P \text{ 时剪切，余段不切。}$$

其中： $t_3 = \frac{S}{V}$ S 为标准定尺值或合同要求定尺值，一般为9m或12m。

$$k_1 = \frac{T_2}{t_3} \text{ 对 } k_1 \text{ 取整加1 即 } [k_1]$$

P 为整定常数。

通过上述方式剪切，尾段处理过程中 T_2 由所得到的最短轧件不小于40m为基准所决定。

上述剪切之后，上冷床的轧件长度分两种极限情况：

第一种情况：3#飞剪剪切后，2#飞剪光头刚好大于 T_1 就失光延时到 t_2 时剪切，余段不切。上冷床轧件长度为：

$$L_{\max} = t_2 * V$$

$$L_{\min} = L' + T_1 V - L_{\max}$$

第二种情况：3#飞剪剪切后，2#飞剪光头失光时间接近 T_2 时失光，到 t 时剪切，余段不切。上冷床轧件长度为：

$$L_{\max} = L' - (t_2 - T_2) * V$$

$$L_{\min} = t_2 * V + (t_2 - T_2) * V$$

(3) 3#飞剪切后延时到2#飞剪光头失光时间 T 大于 T_2 时, 即 $T > T_2$, 3#飞剪延时到:

$$t_4 = [k_2] * t_3 + P \text{ 时剪切, 余段不切.}$$

其中:

$$t_3 = \frac{S}{V} \quad S \text{ 值同上}$$

$$k_2 = \frac{T}{t_3} \quad \text{对 } k_2 \text{ 取整加1 即 } [k_2]$$

P 为整定常数。

此情况下, 上冷床轧件长度为:

$$L_{\min} = t_4 * V$$

$$L_{\max} = L' - (t_4 - T_2) * V$$

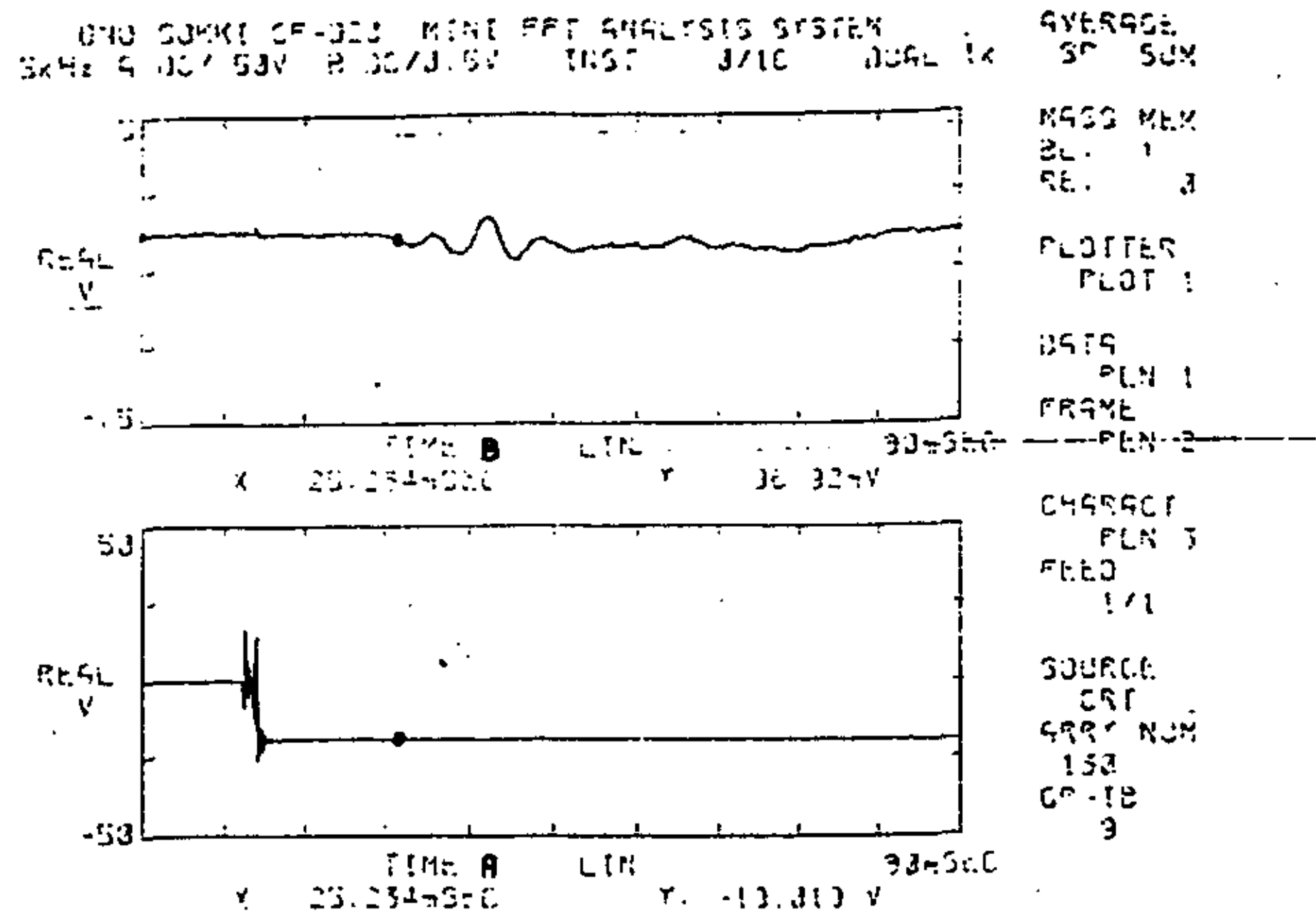
第三节 优化剪切控制中各参数的确定

一、确定离合器实时综合响应时间 t_b

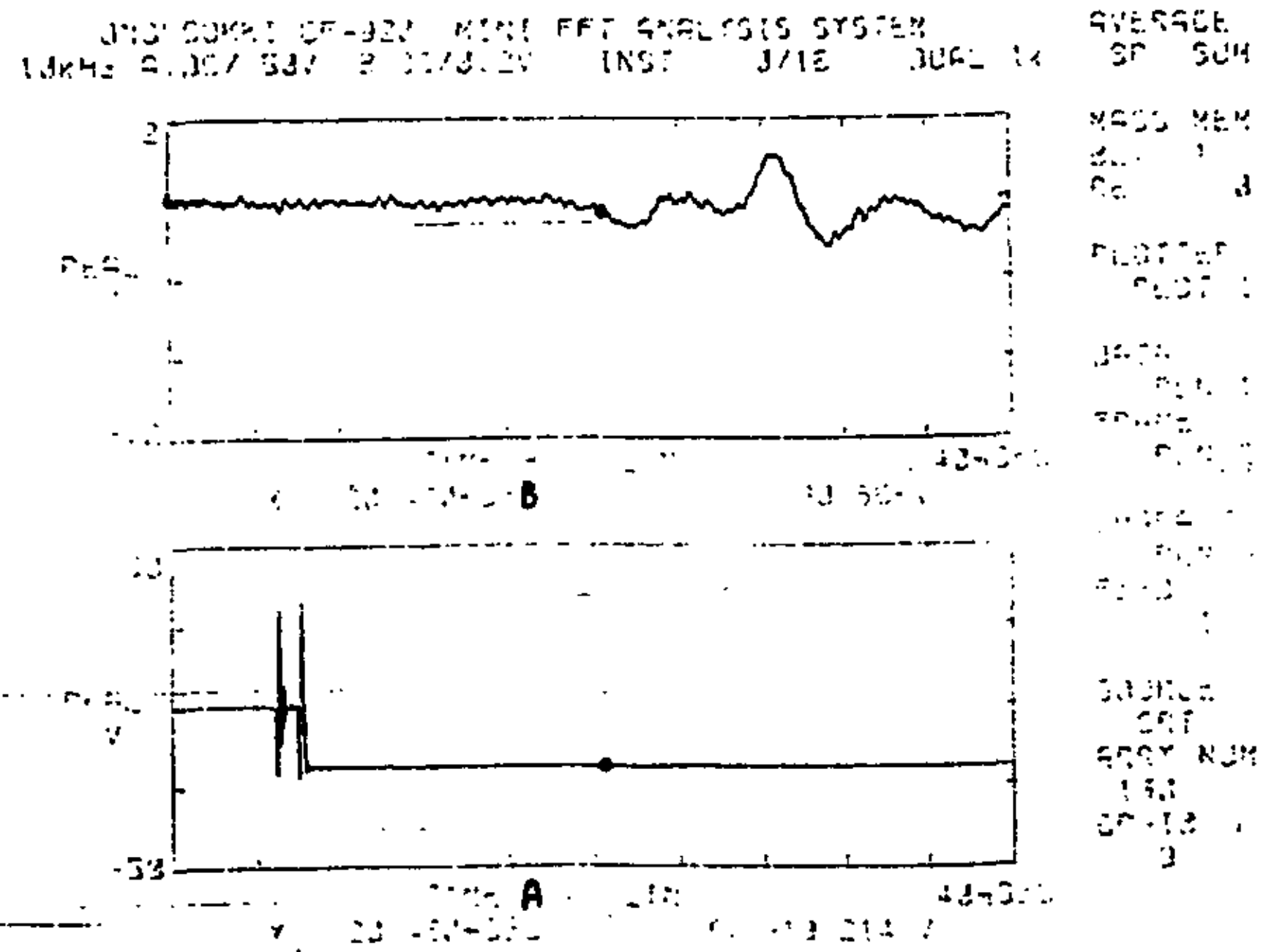
首钢第二型材厂的高速成品飞剪属气动离合、制动工作制(CV型飞剪), 其运动与动作特征主要包括三个阶段: 即启动阶段、稳速剪切阶段和制动定位阶段, 而完成这一运动特征的主要执行机构是离合器和制动器, 离合器和制动器的工作性能直接影响剪机的可靠性和稳定性, 影响定尺与定位精度。因此离合器与制动器的动作信号的测量具有重要意义:

(1) 离合器与制动器电磁阀的动态响应.

表征离合器与制动器的动态特征的主要参数是动态响应频率(动态响应时间), 电磁阀作为离合器和制动器的主要执行元件, 其动态响频决定了离合器和制动器的动态响频。电磁阀的动态响频是从电磁阀通电到阀门动作的响应时间。在实验室条



(1).离合器电磁阀响应曲线



(2).制动器电磁阀响应曲线

A--激励信号

B--动作信号

图3-3 电磁阀动态响应实测示波图

件下对电磁阀的动态响应进行了测试。图3-3为测试示波图。当电磁阀通电时，阀门打开，阀门的动作信号的采集由压电传感器完成，电磁阀通电信号及动作信号同时输入CF-920动态数指分析仪记录分析。测试数据见表三。

表三 电磁阀动态响应测试数据表

序号	激励电压(v)	传感器信号(mv)	响应时间(ms)	说明
09	19.50	99.12	17.26	离合器阀
12	19.48	71.29	16.25	离合器阀
16	19.45	61.87	15.23	离合器阀
22	19.01	96.92	15.23	离合器阀
28	19.21	60.66	10.43	制动器阀
32	19.11	69.92	10.50	制动器阀
35	19.33	50.88	10.93	制动器阀

从测试结果来看，离合器电磁阀的响应时间约为15ms，制动器电磁阀响应时间11ms，其动态结果是稳定的。

(2)离合器和制动器的综合响频与启、制动过程：

离合器，制动器动作时间(响频)的测量是利用离合器，制动器电磁阀的控制信号与扭矩波形的相关分析来判断的，离合器的响应时间以离合器电磁阀通电到传动轴建立扭矩（启动力矩）为标志，制动器响应以制动器通电到制动力矩建立为标志，如图3-4所示。

离合器和制动器的综合响应时间包括电磁阀的得电到打开时间和充气开始动作时间两部分,因此响应时间不仅取决于电磁阀的动态特性，而且与系统气体压力、离合器与制动器的动静摩擦片的接触条件有关。系统压力大，则充气时间短，建立扭矩的速度快，反之则响应时间长。从现场测试结果可以看出，

在试车调试时离合器综合响应时间为52ms，现场实测为55ms，制动器调试时的综合响应时间为60ms(气压为0.65-0.7MPa)，由此可以确定离合器实时综合响应时间为55ms。从示波图可以看

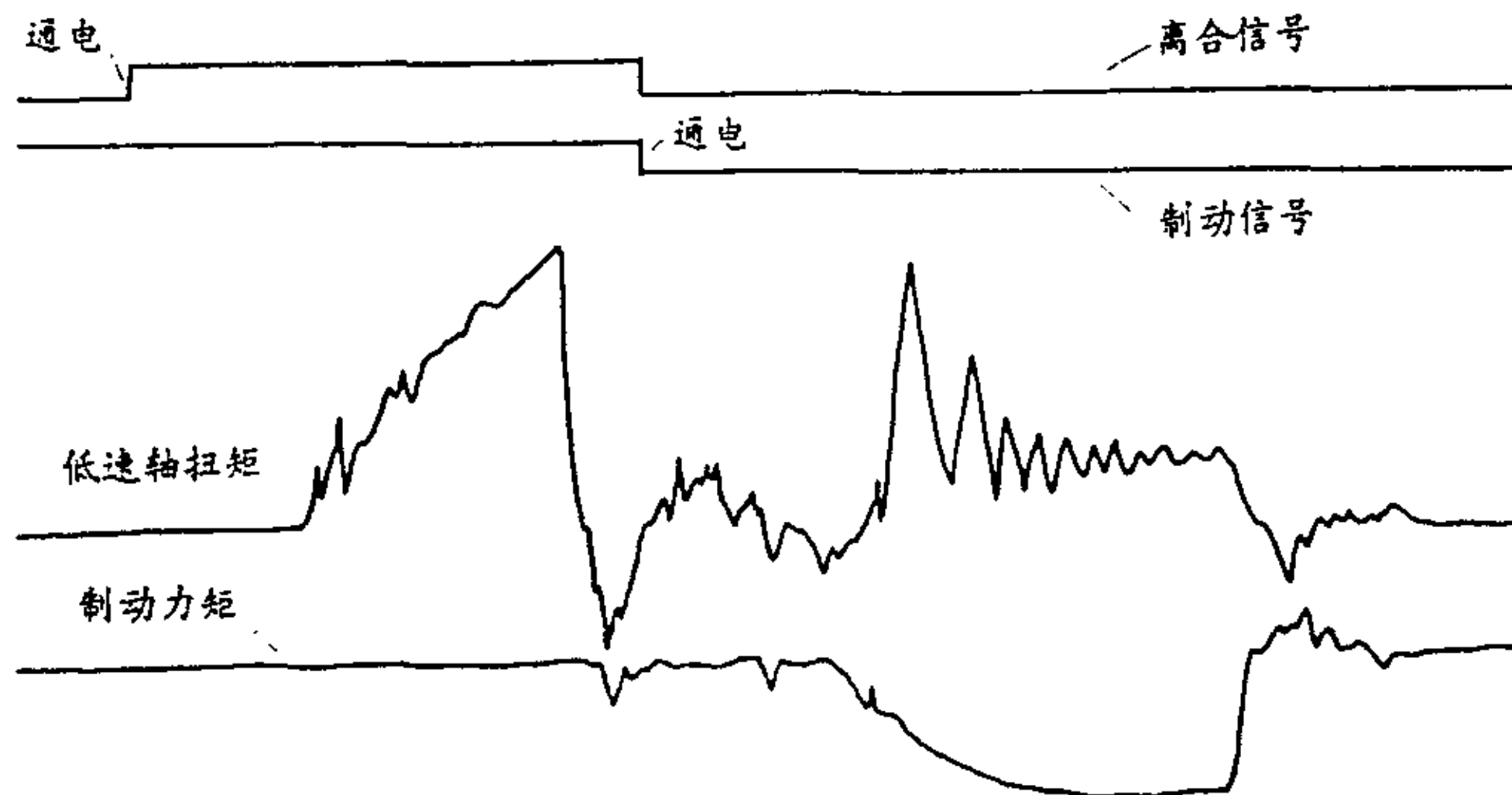


图3-4 动作信号综合示波图

出，在剪机整个动作过程中，启动阶段属变加速运动，运动平稳，没有明显的冲击作用力，当达到额定转速时，启动过程结束；进入稳速阶段，利用系统惯性作用，在稳速阶段实现惯性剪切，制动阶段包括变减速和匀速运动，变减速运动主要是制动力矩建立的过程，当制动力矩恒定，制动过程平稳。

2. 剪刀启动到剪刀重合对应长度的确定

剪机的定尺精度直接影响产品的质量，通过对剪机的运动与动作参数的测试分析可知，定尺精度受剪机的离合、启动性能的影响，离合器动作的可靠和稳定的启动过程，是保证剪切定尺精度的关键。测试数据的回归分析表明：该剪机的启动角随电机的转速不同而变化，电机的转速越高，启动时间越长，启动角亦大，呈线性关系。测试结果表明：离合器的综合响应时间、启动时间、启动角均稳定。

为了准确确定剪刀启动到剪刀重合对于不同的线速度所对应的长度 l ，在线运行前调试过程中特别做了理论计算和实际测试数据的试验工作。其工艺试验布置如图3-5所示，工艺试验性能参数如表四所示。

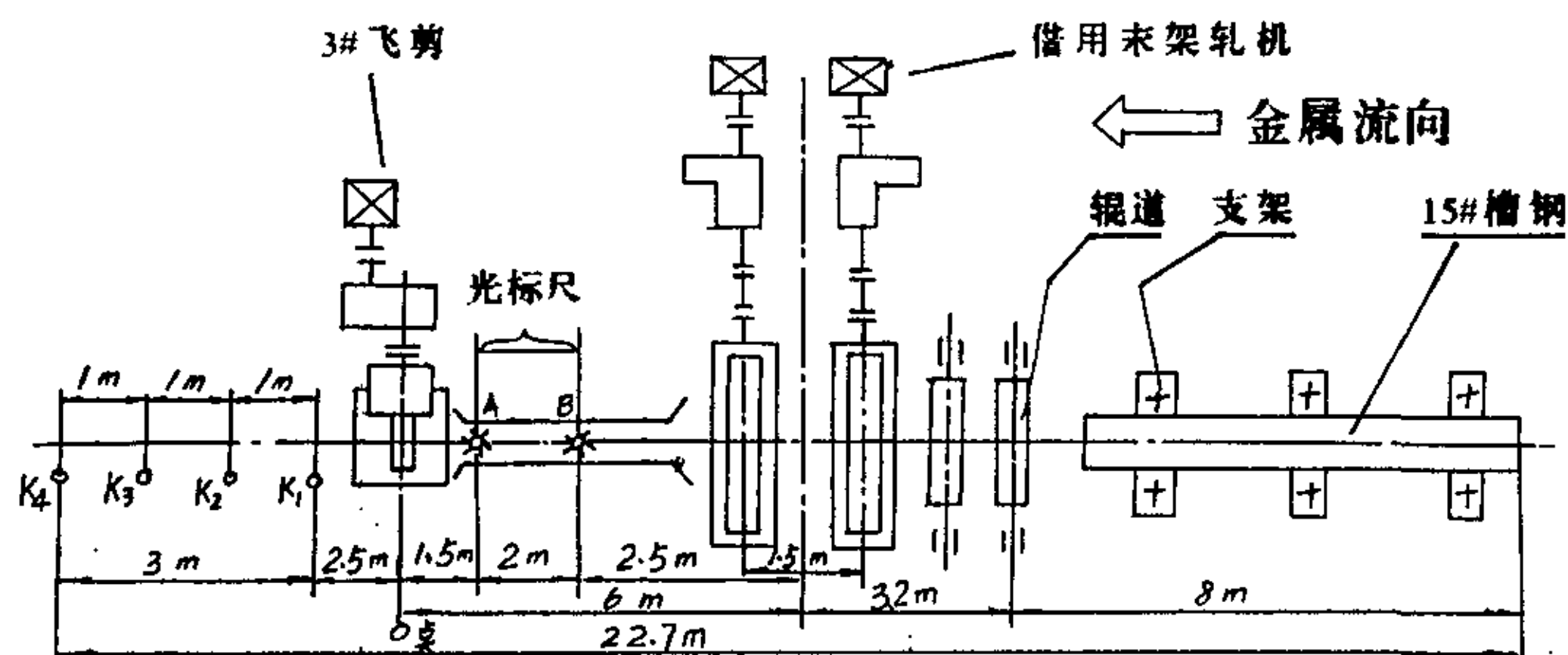


图3-5 75万吨棒材车间高速成品飞剪工艺试验布置图

表四：高速成品飞剪工艺试验性能参数表

轧件线速度	光标尺 (m)	光标时间 t (s)	剪切周期 t_0 (s)	过程时间 t_1 (s)	剪刀启动到剪刀重合对应长度 l (m)
$v_1=16$	2	0.125	0.188	0.094	1.504
$v_2=14$	2	0.143	0.215	0.108	1.512
$v_3=12$	2	0.167	0.251	0.126	1.512
$v_4=10$	2	0.200	0.302	0.151	1.510
$v_5=8$	2	0.250	0.377	0.189	1.52
$v_6=6$	2	0.333	0.503	0.251	1.506

t_1 —3#飞剪剪刀启动到剪刀重合的时间，一般为剪切周期的二分之一；

l —从剪刀启动到剪刀重合对应长度。

由表四可以看出3#飞剪剪切周期与成品机架线速度是成反比的，经过长时间生产现场的实际测量，不同线速度从剪刀启动到剪刀重合对应的长度 l 取1.5m

第四节 高速成品飞剪过程控制方式

通过对高速成品3#飞剪优化配尺的分析和数学模型的建立，可以很方便地确定成品高速飞剪优化配尺剪切的过程控制方式，如图3-6所示。

由7#台设置飞剪的电机速度，8#台进行精调并设置倍尺长度和控制时间设定，当钢通过成品机架之后的光标后，由成品钢材通过标准定尺所经过的时间 t_3 和成品机架线速度值 V 进行预调节量计算，并根据数学模型设置各个剪切时间，同时对1HMD、2HMD、3HMD进行判断和确定是正常段或是末尾段配尺，对测量值进行计算，确定 k_1 、 k_2 最终确定 T_0 、 t_1 （除第一刀之外，3#飞剪定长倍尺段剪切延时时间）、 t_2 、 t_4 值控制剪切。

通过上述正常段优化剪切和尾段配尺优化控制，对任何一根钢坯来说，只有最后一段成品不是9m或者12m倍尺，其余段全是9m或者12m倍尺，这样，经过成品冷剪去头切尾，整根钢轧成成品之后，保证仅有一段成品材小于9m或12m，其余全为定尺，提高了定尺率和成材率，通过生产使用证明这种优化配尺剪切控制方案是比较成功的，首先通过在线线速度检测，解决了由于成品机架速度调整的不准确和成品机架换辊换槽引起的线速度变化，其次，考虑了离合器的综合响应和3#飞剪从剪刀启动到定位时间与线速度的关系，弥补了PLC发剪切信号到剪刀重合对成品切段的影响。通过试验和实时相结合，得到了一系列的参数和关系应用到了优化配尺控制中去。再次，考虑了不

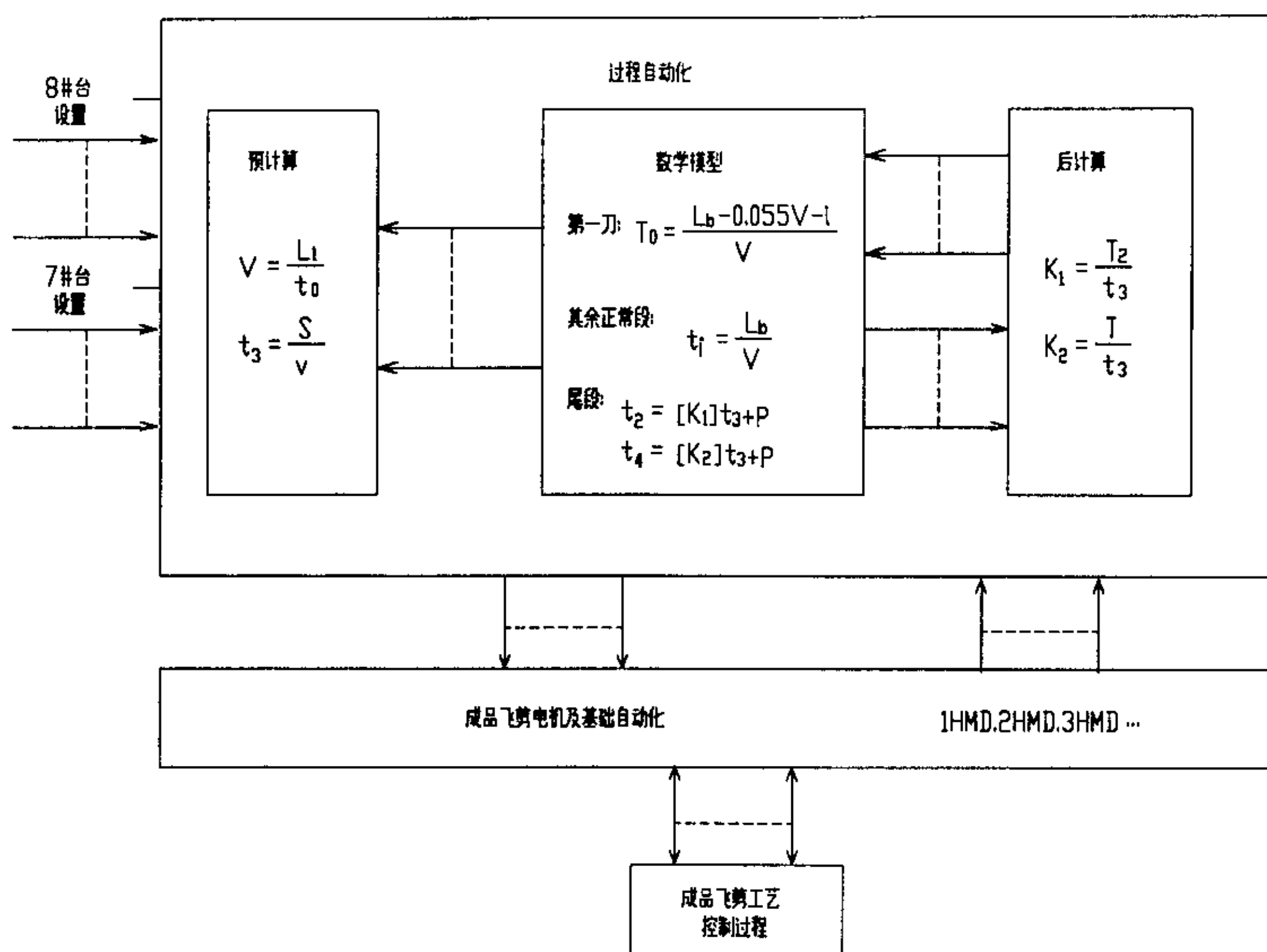


图 3-6 成品飞剪剪切过程控制系统

同规格热态到冷床后的冷缩因素，进行了剪切调整，保证了剪切配尺误差。

第四章 高速成品飞剪优化配 尺剪切控制的实现

第一节 电机传动系统的实现

在棒材连轧生产线上的3#飞剪电机传动系统控制采用的是SIMOREGK 6RA2481全数字直流调速装置，测速反馈采用测速机，构成全数字直流调速传动控制系统。

一、SIMOREG K 6RA24的配置及功能

SIMOREG K 6RA24是一种紧凑式全数字直流调速装置，具有较高的技术水平，主要应用于中、小功率的直流调速传动领域。其额定电压为400-750V，额定电流为15-1200 A，通过并联SITOR晶闸管功率单元可以将额定电流扩展至3600 A。小容量的SIMOREG K 6RA24还可以附带最大励磁电流为30 A的励磁控制装置，构成集电枢控制与励磁控制于一体的完整的直流调速传动控制系统。

SIMOREG K 6RA24基于高性能的16位微处理器，采用参数组态方式用软件实现直流调速控制系统的各种控制功能，它以硬件作为控制的基础，以控制软件作为控制的核心。

1. 硬件配置

SIMOREG K 6RA24的硬件采用模块组合、紧凑布置的结构，由各种标准插件板及模块组成，各组件易于拆卸，方便维护及检修，主要分为功率单元及控制单元。

(1) 功率单元

对于附带励磁控制装置的SIMOREG K 6RA24，其功率单元由电枢主电路及励磁主电路组成；对于不带励磁控制装置的SIMOREG K 6RA24，其功率单元只由电枢主电路组成。其中电

枢主电路采用三相全控桥接线，一、四象限运行可选，对于四象限运行的电枢主电路，采用逻辑无环流双桥反并联接线；励磁主电路采用单相半控桥接线。额定电流15-600 A 的功率器件采用晶闸管模块，额定电流640-1200 A 的功率器件采用平板式SITOR晶闸管组件。

(2)控制单元

由主控制板、高级工艺控制板选件及各种接口板选件组成，具有RS232/RS485标准自动化接口、模拟输入/输出接口、数字输入/输出接口。主控制板上主要装有高性能的16位微处理器模块、EPROM模块、各种接口模块及简易操作面板，而在装置或控制柜的门上可以安装操作面板选件。3#飞剪可控硅控制系统采用的是附带励磁控制的SIMOREG K 6RA2481系统，其应用配置如图4-1所示。

在图4-1中，3#飞剪直流传动系统由一个SIMOREG K 6RA2481组成，即电动机的电枢控制及励磁控制均采用同一个附带励磁控制装置的SIMOREG K 6RA2481(电枢主电路为三相全控桥B6C，励磁主电路为单桥)，构成集成的直流调速控制系统。

该直流电动机的控制系统SIMOREG K 6RA2481均附带PT10高级工艺控制板选件及CS51通信接口板选件。

2.软件组态及功能

SIMOREG K 6RA24的控制软件采用功能模块组合方式，与控制单元的硬件相配合，可以实现各种开/闭环控制、监视及辅助功能，各功能模块的有机组合，即构成了直流调速控制系统的控制模式，而各功能模块的性能及采用与否要由输入的控制参数来决定，即所谓的参数组态。

对于附带励磁控制装置的SIMOREG K 6RA2481，其控制件主要由电枢闭环控制及励磁闭环控制两组功能模块组成。

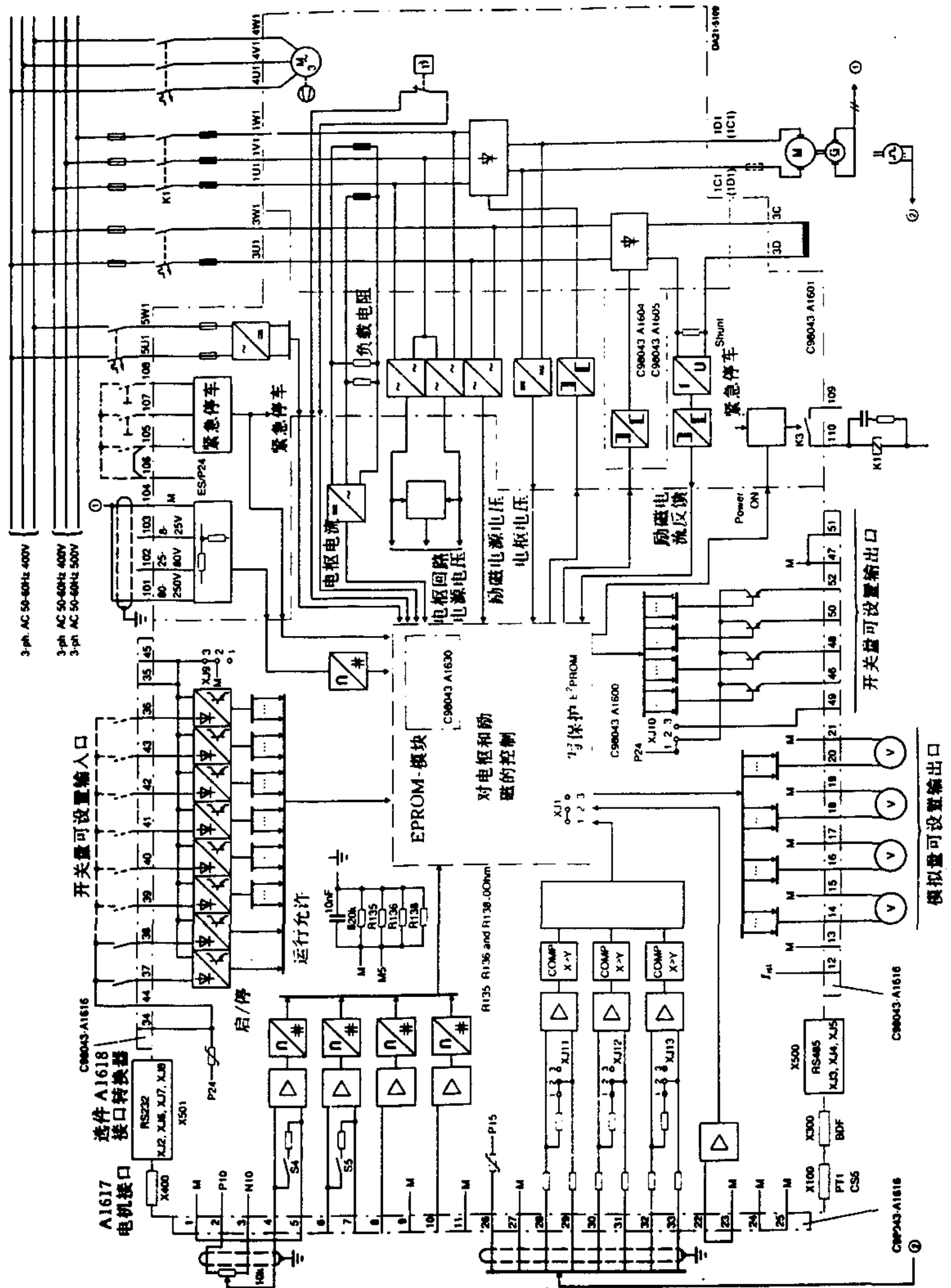


图 4-1 直流传动SIMOREG K 6RA2481应用配置图

SIMOREG K 6RA2481的基本控制模式为速度及电流闭环的双环控制系统，根据需要可以附加高级工艺控制功能模块作为直流调速传动控制系统的外环。

SIMOREG K 6RA2481控制系统主要包括给定值、工艺调节器、斜坡函数发生器、速度实际值、速度调节器、转矩限幅、电流限幅、电流实际值、电流调节器、电流预控制器、触发单元等功能模块。其中各调节器均为PI调节器，用于实现各种闭环控制功能。

在该控制系统中，用工艺调节器作为直流调速传动控制系统的外环，与PT10高级工艺控制板选件相配合，可以实现张力、比率、位置、功率或压力等工艺过程的闭环控制；用速度调节器实现速度的闭环控制，通过将转矩给定值加到速调的输出上，可以实现速度环的前馈控制，以改善速度环的动态响应；用电流调节器实现电流的闭环控制，通过将电流预控制器与电流调节器并联，可以实现电流环的前馈控制，以改善电流环的动态响应确保触发单元无论在电流连续或断续，甚至在转矩反向时都能迅速、准确地发出触发脉冲。

触发单元产生功率单元晶闸管的触发脉冲，触发同步电压取自功率单元。

励磁闭环控制主要包括反电势给定值、反电势实际值、反电势调节器、反电势预控制器、励磁电流限幅、励磁电流实际值、励磁电流调节器、励磁电流预控制器、触发单元等功能模块。其中，反电势调节器为PI调节器，用于实现反电势环的自动控制，通过将反电势预控制器与反电势调节器并联，可以实现反电势环的前馈控制，以改善反电势环的动态响应。其它励磁电流调节器、励磁电流预控制器、触发单元等功能模块的功能与电枢闭环控制中相应的功能模块类似。

我们可以根据生产工艺的要求输入相应的控制参数来确定直

流调速控制系统的控制模式, 是否采用某个功能模块以及某个功能模块的性能, 从而用参数组态的方法构成所希望的直流调速传动控制系统。

二、SIMOREG K 6RA2481的特点

SIMOREG K 6RA24模块化的软硬件结构, 参数化的功能组态以及实用的运行方式, 使其具有以下特点:

(1)输入/输出接口的功能可选

通过参数组态可以选择模拟及数字输入/输出接口的功能, 以满足实际需要。

(2)多种速度给定值及速度实际值选择

通过参数组态可以选择模拟/数字输入接口、内置电子电位器、串行通信接口、高级工艺控制板选件等作为速度给定值。通过参数组态可以选择测速发电机、脉冲发生器、反电势作为检测速度实际值的3种基本方式, 以适应不同控制精度要求; 此外, 利用模拟输入接口或标准自动化接口作为速度实际值源, 用于实现高级工艺过程控制。

(3)灵活的操作方式

既可应用主控制板上的简易操作面板(或装置及控制柜门)上的操作面板选件实现就地操作, 又可应用上级自动化控制系统(或PC机)实现远程操作, 而便捷的紧急停车功能, 可以实现紧急情况下的快速停车, 无需微处理器的干预。

(4)可实现各种形式的通信控制

RS232串行通信接口可以完成SIMOREG K 6RA24与PC机或各SIMOREG K 6RA24之间的点-点通信; RS485串行通信接口可以完成SIMOREG K 6RA24与上级自动化控制系统之间的连网通信。通过CS51通信接口板选件, 可以更方便、更有效地实现上述功能。

(5)可以实现控制性能的自动优化

在调试过程中, SIMOREG K 6RA24可以自动进行相关调节器的优化运行、控制系统参数的匹配及偏差补偿以确保直流调速传动控制系统具有最佳的控制性能。

(6)灵活的参数组态

通过输入不同的控制参数即可方便、灵活地组态直流调速传动控制系统的控制功能, 构成各种型式的直流调速传动控制系统, 简化了工程设计、系统调试及运行过程, 提高了工作效率。这也是SIMOREG K 6RA24最主要的特点。

(7)全面的状态监视、故障诊断及信号跟踪

其状态监视及故障诊断系统可以全面显示运行状态、输入输出信号状态、实际检测值、各种内/外部报警及故障等信息。最近发生的三个故障信息被存储在跟踪存储器中, 供检测分析故障用; 在跟踪存储器中可以存储 8 个不同的实际检测值, 以供随时调用。

(8)功能强大的SIMOVIS服务程序

应用SIMOVIS服务程序可以实现对SIMOREG K 6RA24全面、高效、灵活、友好的参数组态、运行控制、状态监视及故障诊断。

SIMOREG K 6RA24还具有动态性能好, 控制精度高, 过载能力高, 结构设计合理等特点。

第二节 优化配尺剪切控制的硬件设计

一.系统组成

C200H PC系统为模块式结构, 其结构框图见图4-2, CPU单元为系统的核心, 包括电源、微处理器、系统存储器、控制逻辑和接口电路等。其基本组成为: 一个母板(安装机架)提供系统总线和模块插槽, 一个CPU单元, 一个存储器单元、一

个编程器及基本I/O单元若干个。基本I/O单元的个数视系统I/O点数及母线上的点数而定，最多可控制384点I/O，同时还可以配置智能I/O模块。因为CPU单元内装电源，所以系统不需再配电源单元。

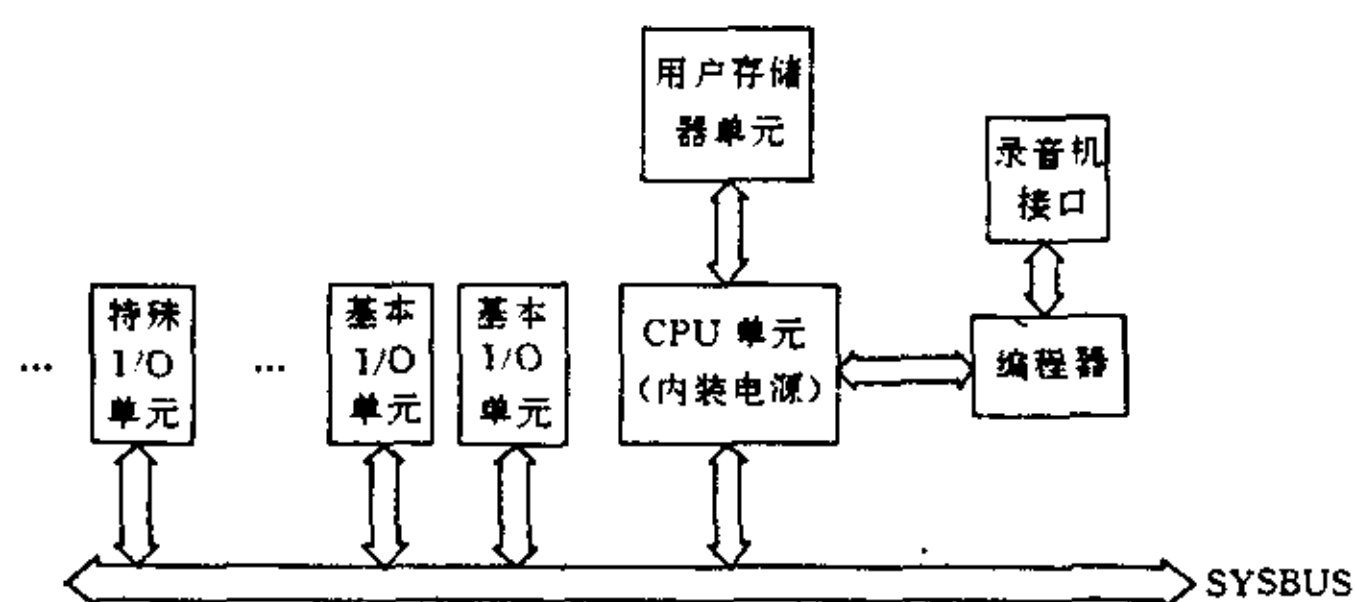


图4-2 C200H PC结构框图

二.系统特点

C200H PC采用模块化结构，能适应多样化的要求，组成系统方便灵活，适用于中小型控制系统。C200H PC采用了先进的微处理器，使其功能和处理速度都超出了一般小型机，其特点如下：

(1) 处理速度：基本指令执行时间 $0.75\mu\text{s}$ 条,高机能指令执行时间一般为 $2.25\mu\text{s}$ 条；

(2) 编程容量：最大8K字；

(3) 指令系统：除12条基本指令以外，还拥有133条多功能应用指令可实现多种数据处理功能，如按位、字、块进行逻辑操作、比较和几种数制的转换等；以4位或8位BCD数和4位16进制数进行加、减、乘、除运算；浮点除法和平方根运算；微分指令、子程序调用和中断功能等，使得编程简便、灵活、实用；

(4) 编程方式：使用简易编程器时只能用助记符命令语句表编程，使用图形编程器或智能编程器时可用梯形图及高级语

言编程：

(5) I/O点数：当系统采用I/O扩展母板方式配置时，最大基本I/O点数为384点，如果采用远程I/O系统配置时，则可再扩展560点基本I/O；

(6) 定时器和计数器：系统内部提供512个定时器和计数器，可由用户编程使用；

(7) 内部数据存储区：2K字；

(8) 输入类型：开关量，模拟量，脉冲；

(9) 输出类型：继电器，晶体管，可控硅，模拟量，脉冲；

(10) 抗干扰能力：PC内装信号调节和滤波电路，具有良好的抗电子噪音干扰性能，不需配备隔离变压器，在CPU单元及每个具有光电隔离的I/O模块中，对电源进行多重滤波。控制器可抗峰-峰值为1000V的噪音干扰；

(11) 特殊功能I/O单元及智能单元：为满足用户对于扩展I/O、过程控制、运动控制等多方面需要，C200H PC还可配置多种特殊I/O单元和智能单元，如多点I/O单元可提供32点I/O单元；高速计数单元可连接编码器，对50KCPS的高速脉冲输入进行计数等。

为了实现飞剪全数字直流控制系统的起停车运行和优化配尺剪切均采用C200H PC来完成过程控制、信息处理和数据的运算与输出，从而达到了工艺要求和各项功能。其硬件配置如图4-3所示。

三.各单元特点及功能

1. CPU单元

CPU单元结构框图如图4-4所示，单元内部包括电源电路、微处理器及控制逻辑、系统程序存储器、用户数据存储器、外设接口电路、I/O总线接口电路及输入输出电路等部分。其中电

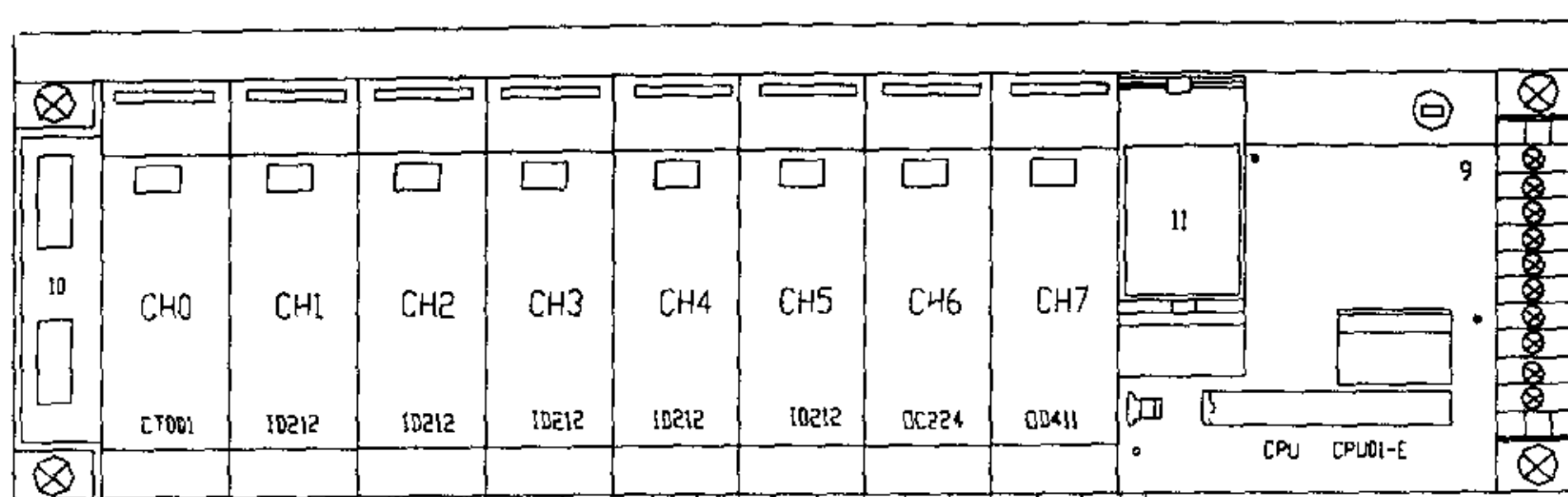


图4-3 优化配尺控制的PLC硬件配置

源电路对交流电源进行整流、滤波和稳压，为其它部分提供可靠的工作电源。

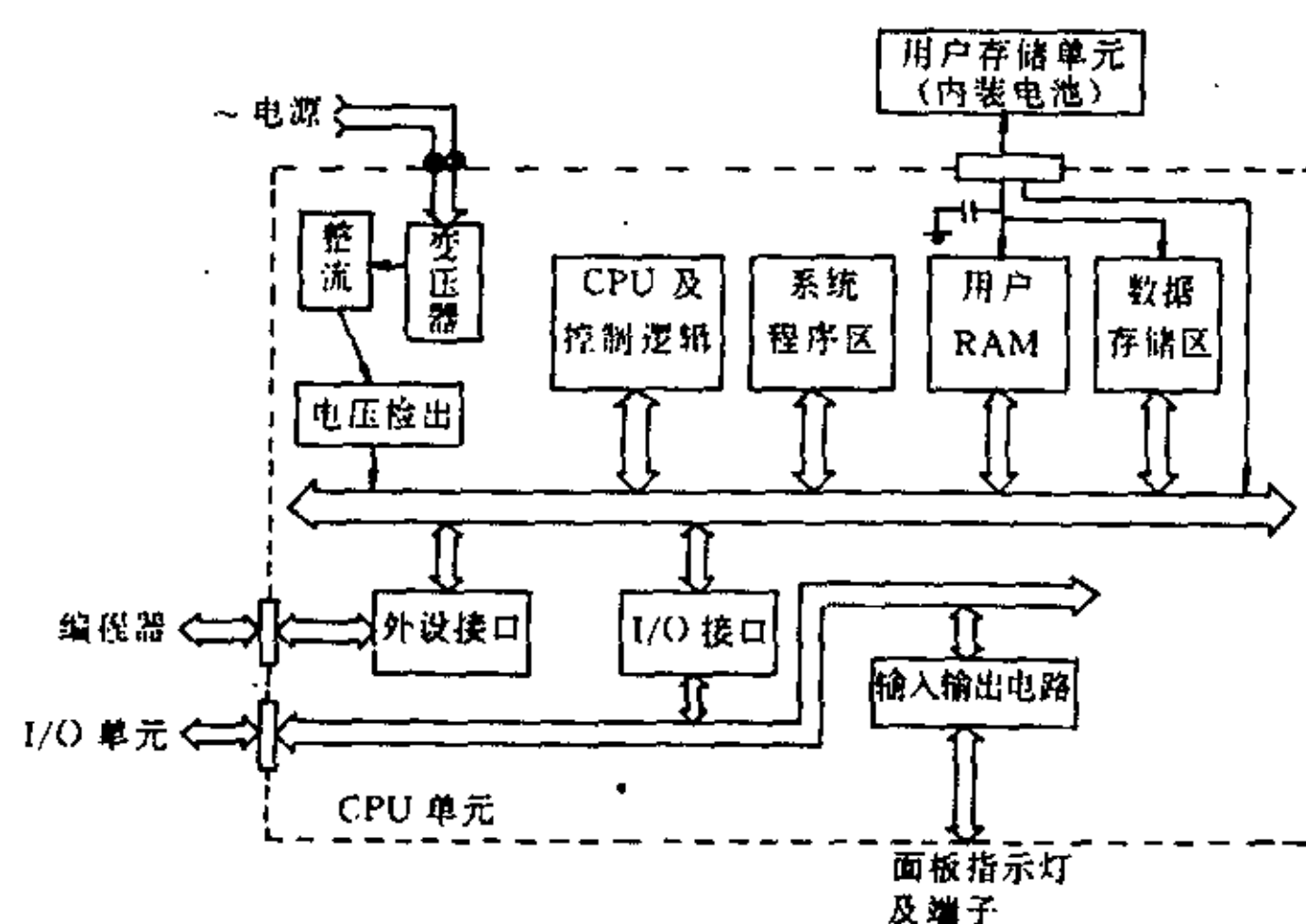


图4-4 CPU单元结构图

CPU单元外部除了编程器接口和I/O总线接口插槽外，还有用户存储接口插槽，用于安装用户程序存储器。

CPU单元面板上设有电源指示、系统指示、报警批示和负载屏蔽指示以及电源保险。

2. 存储器单元

C200H PC的存储器单元安装在CPU单元上，分为三大类：RAM、EPROM和EEP-ROM。该系统的存储器单元选用的是EEP-ROM单元，型号为C200H-ME431，存储容量8K字，用户程序

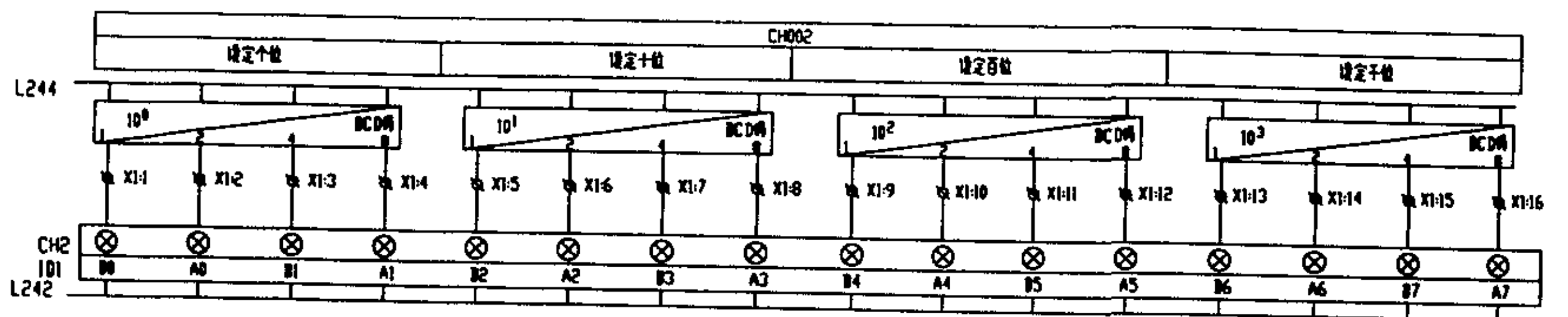


图4-5 CH2输入模块ID212配置图

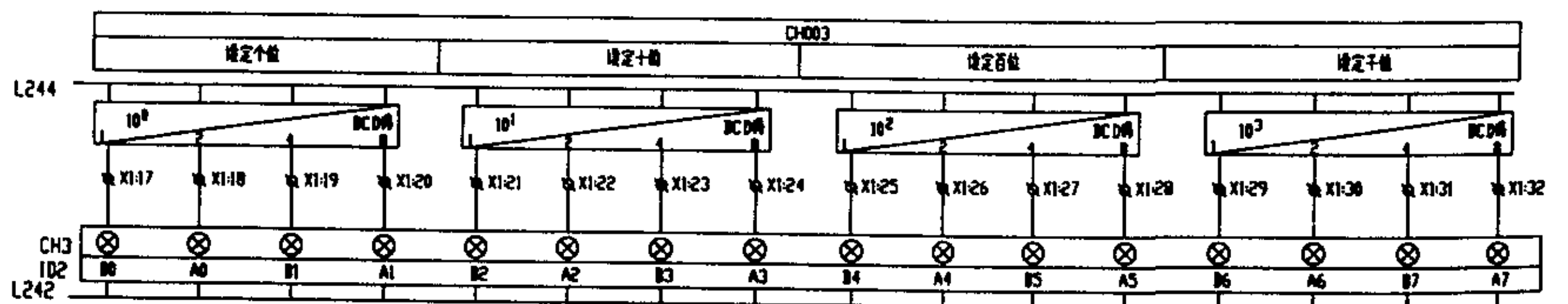


图4-6 CH3输入模块ID212配置图

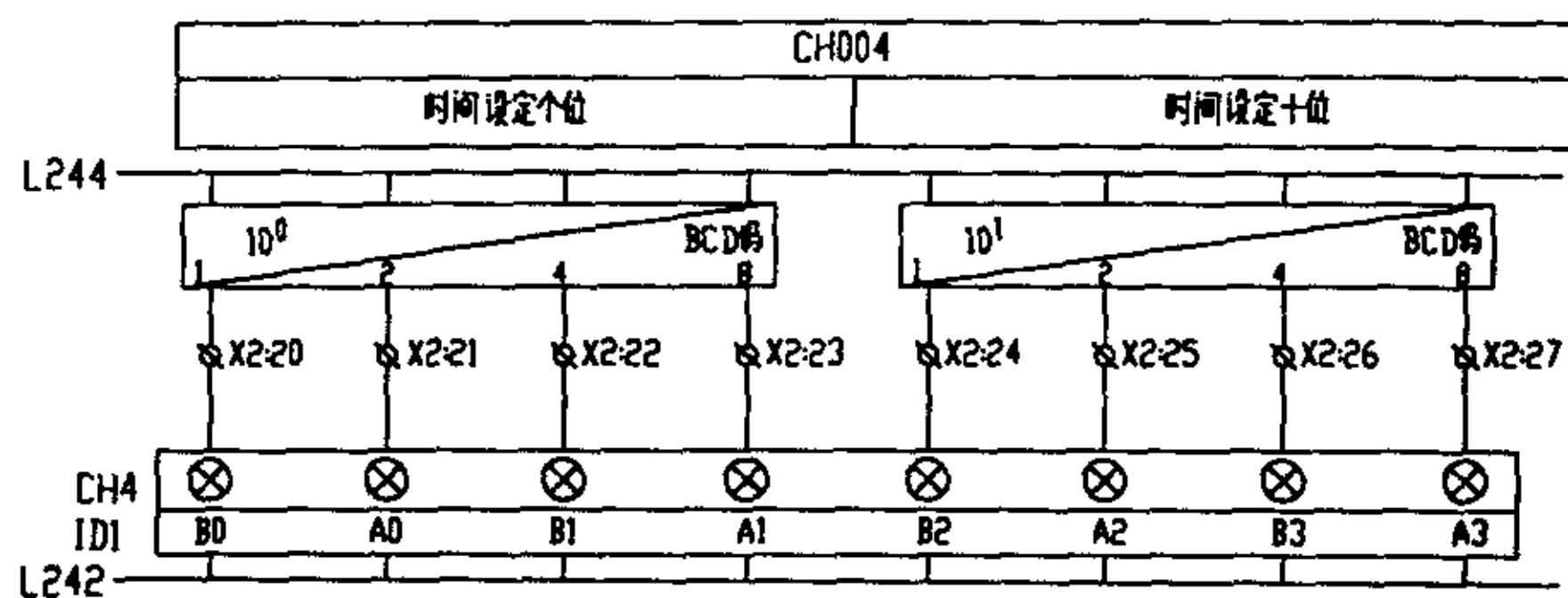


图4-7 CH4输入模块ID212配置图

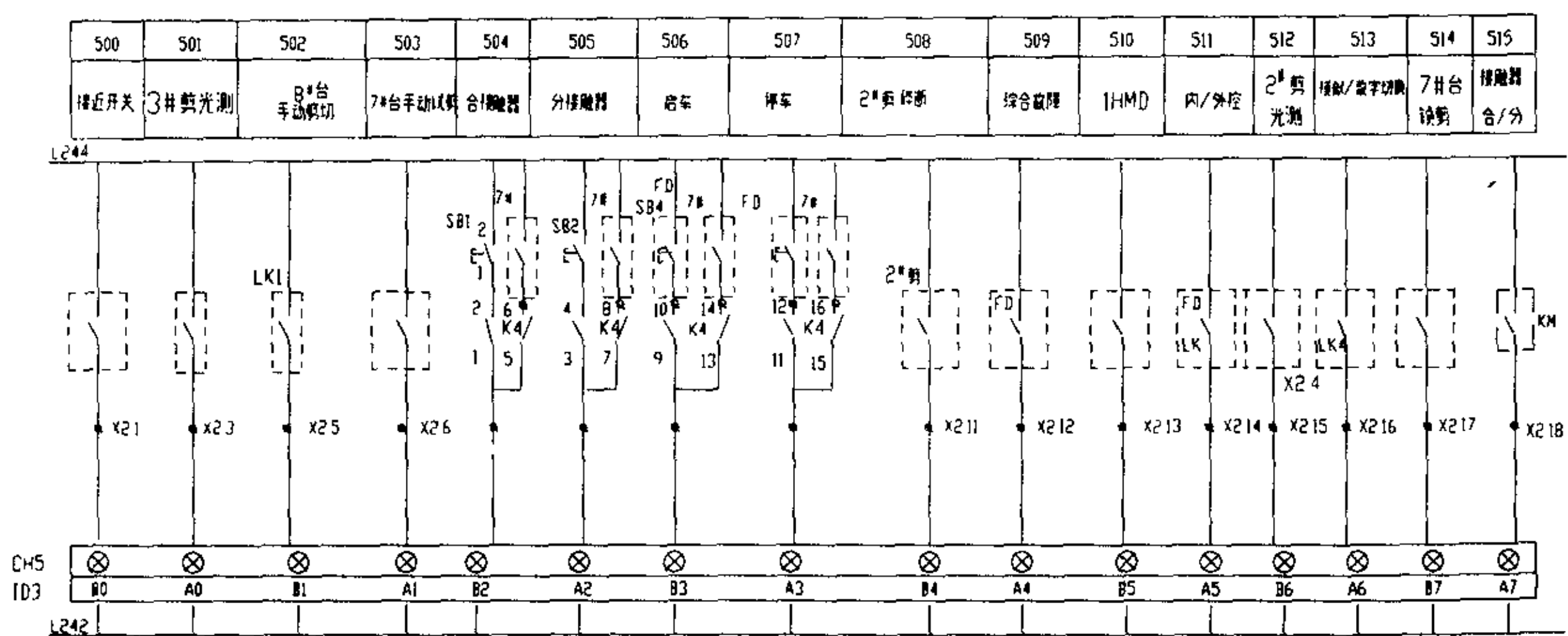


图4-8 CH5输入模块ID212配置图

可使用字数为2878字，且EEP-ROM可随时进行程序的读写，而且不需电源支持。

3. 直流输入单元 (ID212)

ID212直流输入单元为16点输入，只可接24VDC，其CH2槽位（16点）的主要功能是8#台对剪切定长倍尺长度设定值Lb的输入，如图4-5所示。

CH3槽位（16点）的主要功能是8#台对配尺时间设定器T1的输入，如图4-6所示。

CH4槽位（16点）的主要功能是8#台对配尺时间设定器T2的输入，如图4-7所示。CH5槽位的主要功能是对三个光电检测器（1HMD-3HMD）、用于定位的接近开关以及试剪、电机启停车等功能的控制，同时还承担备用可控硅控制系统的切换输入等作用，如图4-8所示。

4. 继电器输出单元 (OC224)

OC224单元规格为250VAC/24VDC 2A独立接点，点数为8点，电源极性可根据负载要求决定方向。OC224（CH6槽位）主要作用是供全数字直流控制系统7#台主设定和8#台微调的给定控制，同时还控制主接触器的合闸和2HMD、3HMD的状态显示，如图4-9所示。

5. 晶体管输出单元 (OD411)

OD411单元的规格为12-48VDC 1A 8点输出，一般来说寿命大于继电器输出单元，且比继电器输出单元动作要快一个数量级。OD411单元（CH7槽位）的主要作用是直接驱动离合器和制动器阀线圈信号，使离合器和制动器阀动作快捷可靠，同时OD411单元还控制6RA2481的通/断、使能和1HMD的状态显示，如图4-10所示。

6. 高速计数单元(CT001)

由于PC是按周期扫描的方式工作的,所以对于高频变化的输

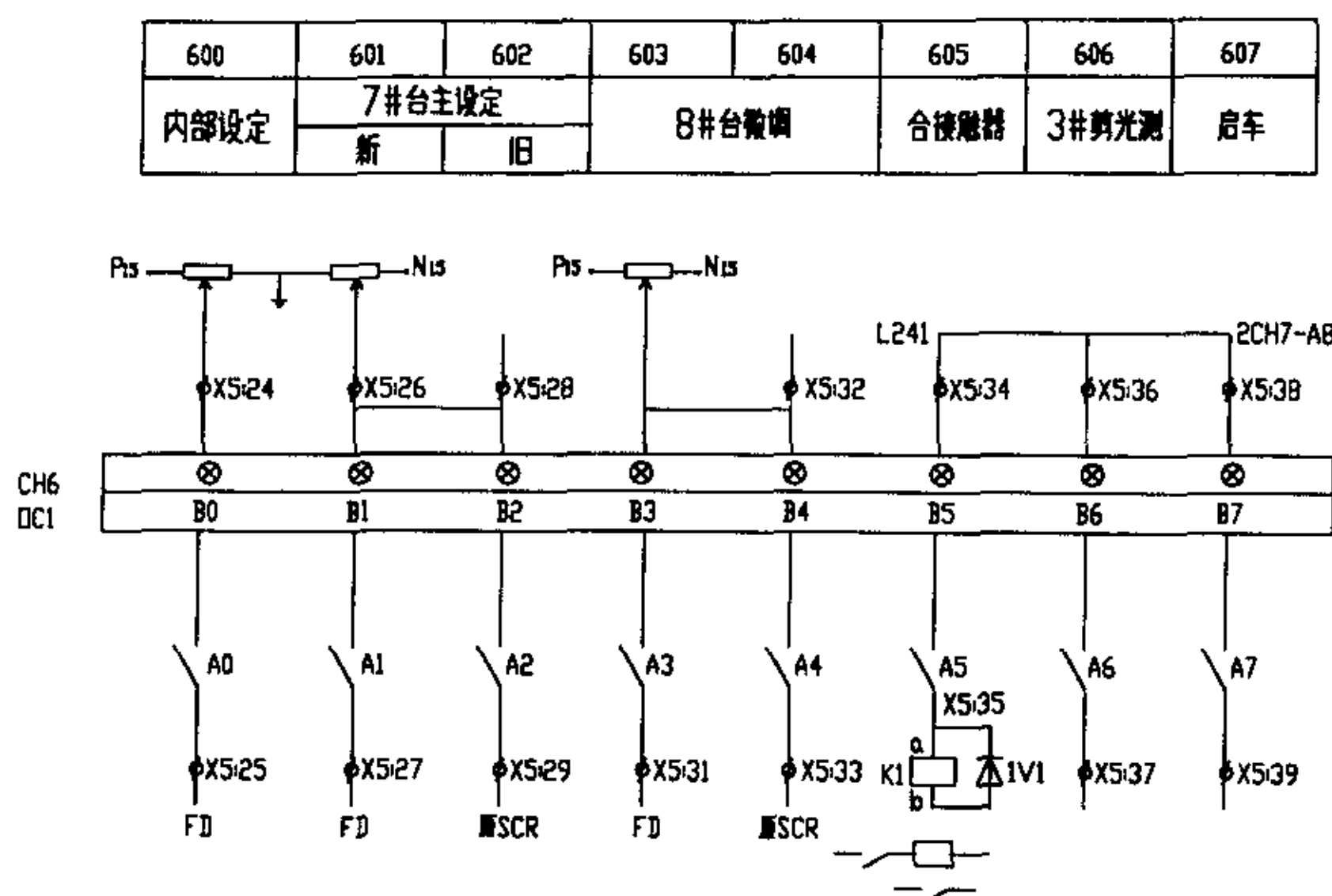


图4-9 输出模块OC224配置图

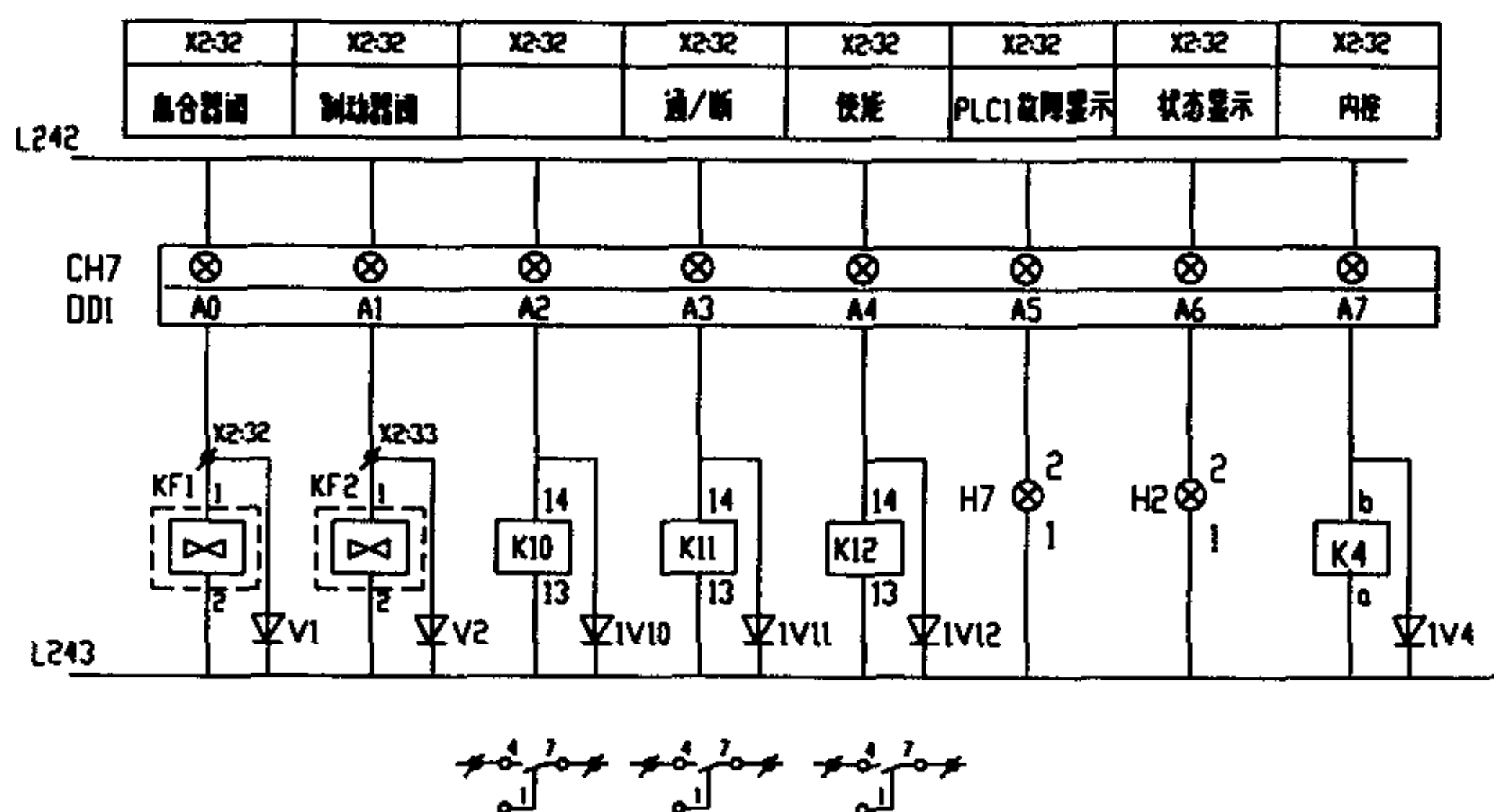


图4-10 输出模块OD411配置图

入信号(周期小于扫描时间),PC来不及响应,将会造成系统工作不正常。为此,可采用C200H-CT001单元,它是C200H PC的智能I/O接口单元之一,是高速可逆计数单元,可对50KCPS以内的脉冲输入进行计数。本系统采用的是CT001的量测功能,工作模式为采样计数器,即在一个工作周期内对输入脉冲计数。主要作用是对定位的偏差值进行计数,便于下次控制的变量修改。

综上所述, C200H PC控制系统的主要配置为完成电机控制、优化配尺剪切控制提供了硬件结构。

第三节 优化配尺剪切控制的软件设计

成品飞剪全数字SCR系统的起停车运行和优化配尺剪切均由PLC来完成过程控制, 信息处理和数据运算与输出, 从而达到工艺要求的各项功能, 成品飞剪能够正确地运行, 同时PLC同现场的热金属检测器一起配合判断是否是尾段状态。

为了实现上述功能和满足工艺及优化配尺剪切控制模型, 对每支钢坯轧制过程按控制功能进行分解, 同时设计了故障检测、报警、显示等。

计算机控制系统的主要功能包括:

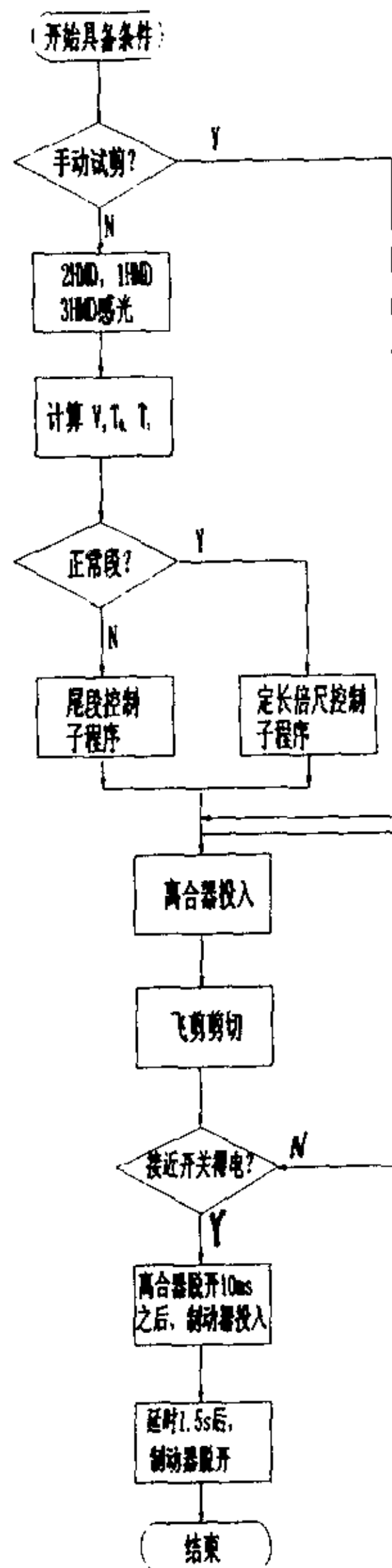
- 1.电气传动系统的控制, 包括起动、运行、停车的顺序控制和给定值控制;
- 2.连锁、指示灯控制;
- 3.优化配尺控制。

用户程序采用梯形图编程, 具有定时、计数、传输、数值运算以及数据处理的能力、大大增强了PC的功能和编程的灵活性, 其优化配尺剪切控制程序框图如图4-11所示。

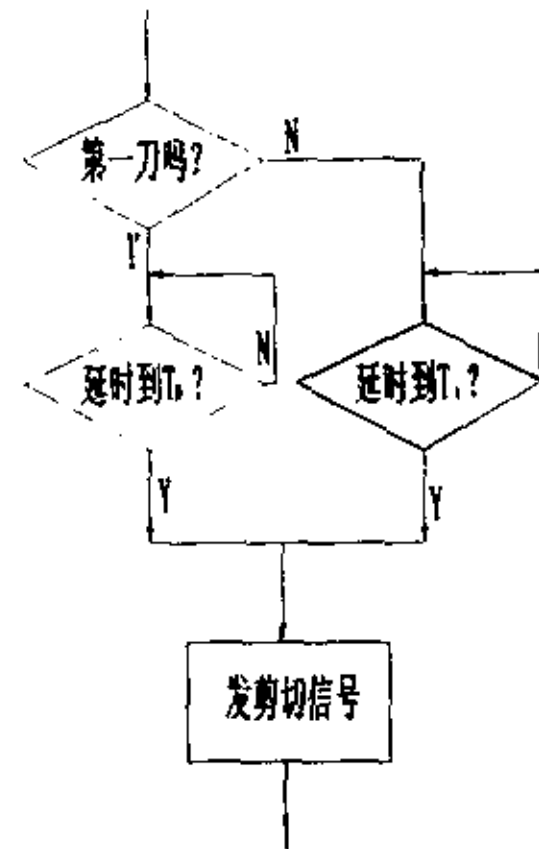
第四节 飞剪剪刀定位控制分析与实现

一.位置控制的基础要求

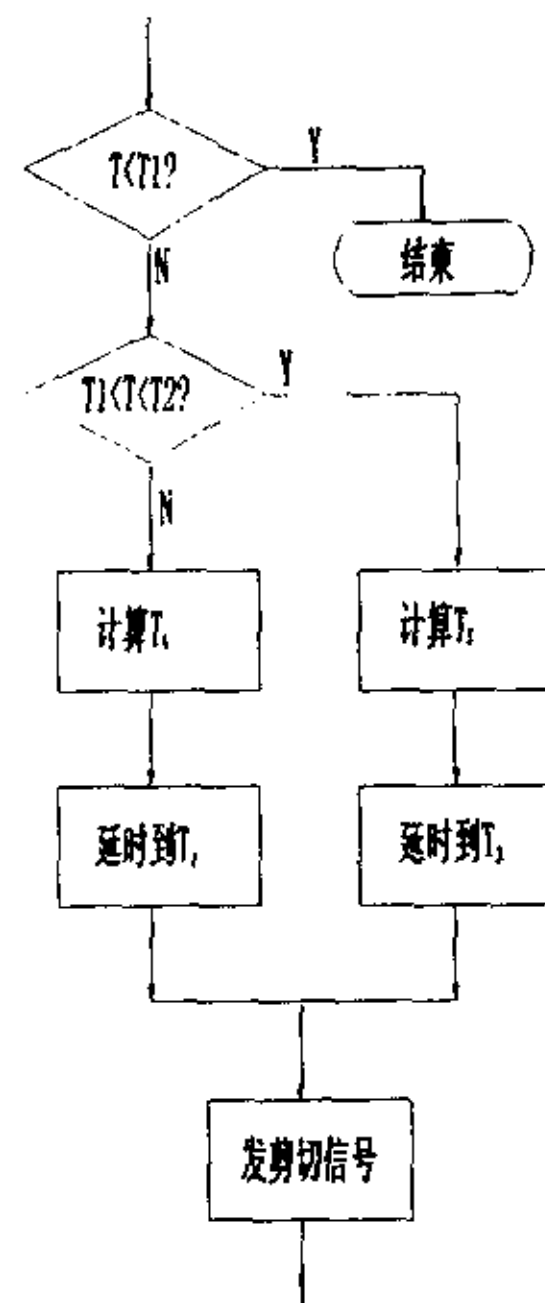
被控对象位置的改变, 是通过离合器和制动器的协调控制来实现的, 而飞剪剪刀的速度控制一般是按梯形速度图来进行控制。在不同的使用情况下, 最优的或最合理的速度图是不同



a. 优化配尺主程序



b. 定长倍尺优化剪切子程序



c. 尾段优化配尺控制子程序

图4-11 优化剪切控制程序框图

的。图4-12和4-13是两种最常用的速度图。所以能保证时间最省。图4-13中加减速阶段的角速度近似于指数函数。开始时角加速度逐渐增大，可以避免冲击，减速阶段到最后的角减速度越来越小，有利于准确地停在目标位置上，两种速度曲线下的面积都应该等于所要求的角位移量。

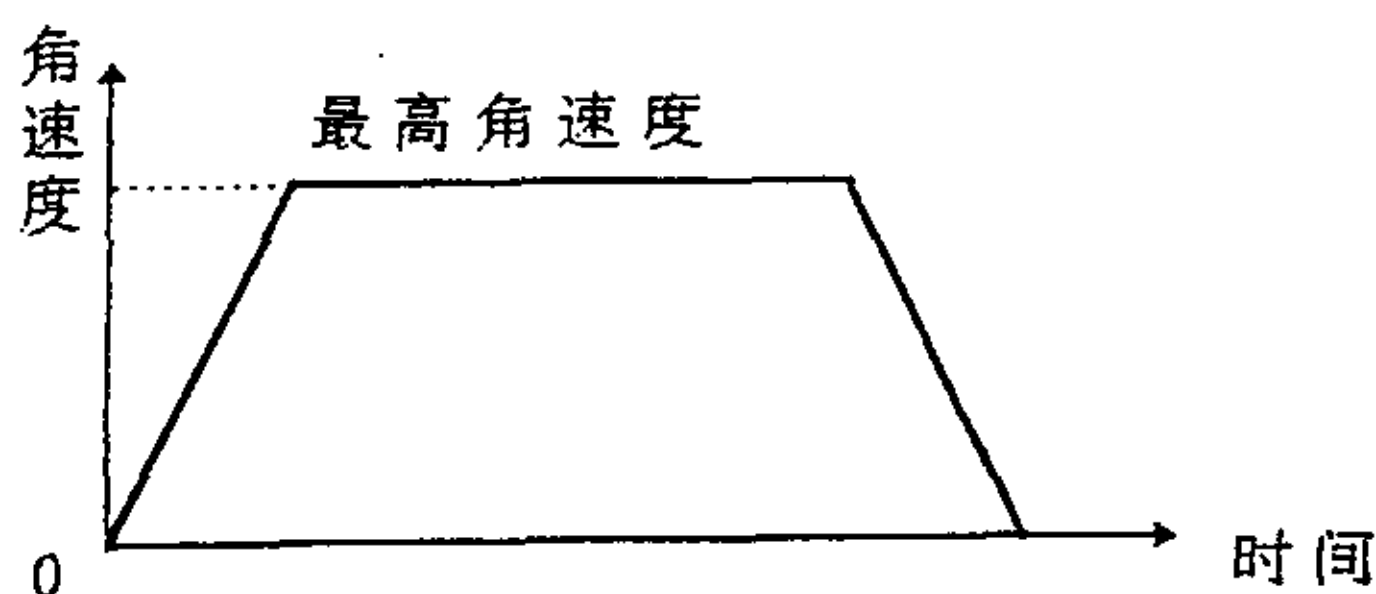


图4-12 等加减速时速度图

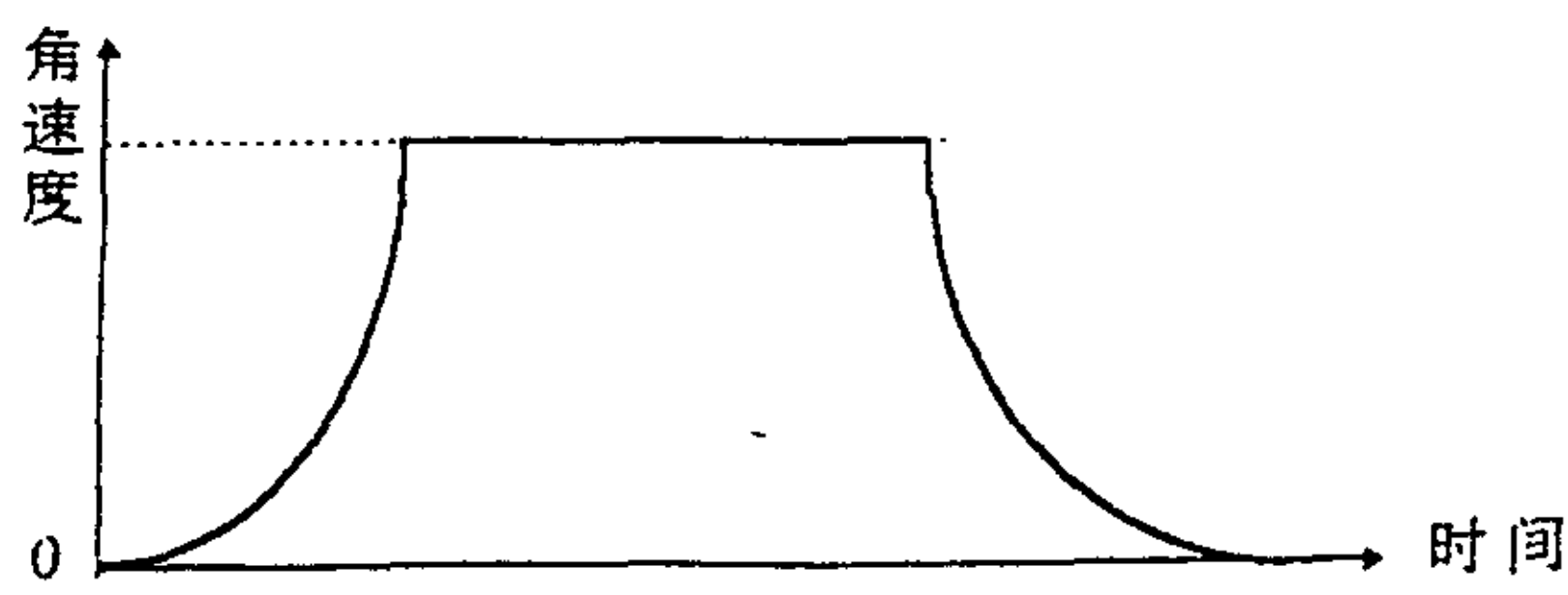


图4-13 指数曲线加减速时的速度图

为了准确地进行位置控制，一般对位置自动控制有以下几点要求：

- (1) 能在最短时间内完成定位动作，并且定位符合规定的精度要求；
- (2) 在控制过程中不应产生严重超调现象，并且系统应稳定。

为满足上述要求，必须按最佳控制曲线来进行控制。对于CV型飞剪，剪刀的定位精度受到制动器性能的影响，其制动时间（或制动角）不仅取决于制动器的综合响频和电动机的转速

而且与系统的气体压力有关。电动机的转速越高，制动时间越长，制动角越大，呈线性关系。

二、实际飞剪剪刀定位控制

为了解决影响飞剪定位的问题，首先选取压力输出稳定的风系统，为系统提供了稳定可调整的压缩风。其次，控制方式：当剪机接收到剪切信号后，在确定制动器已脱开情况下，离合器投入运行，剪切之后剪臂接近开关SA1感应发一高电平信号，将剪切信号复位，为使剪刀能准确定位在初始设定位置，为下一次剪切做准备，必须对剪刀的定位过程进行控制。由于不同规格轧机运行速度不同，因此要根据不同的速度在剪断轧材后进行变角度控制剪刀在不同的点进行制动，其变角度制动由接近开关来实现制动点的检测，由光电旋转编码器来实现制动偏差校正量的检测，由可编程控制器实现变角度制动的总体控制，使剪刀制动到初始位，从而保证剪机的剪切定尺精度，其控制信号示波图如4-14所示。

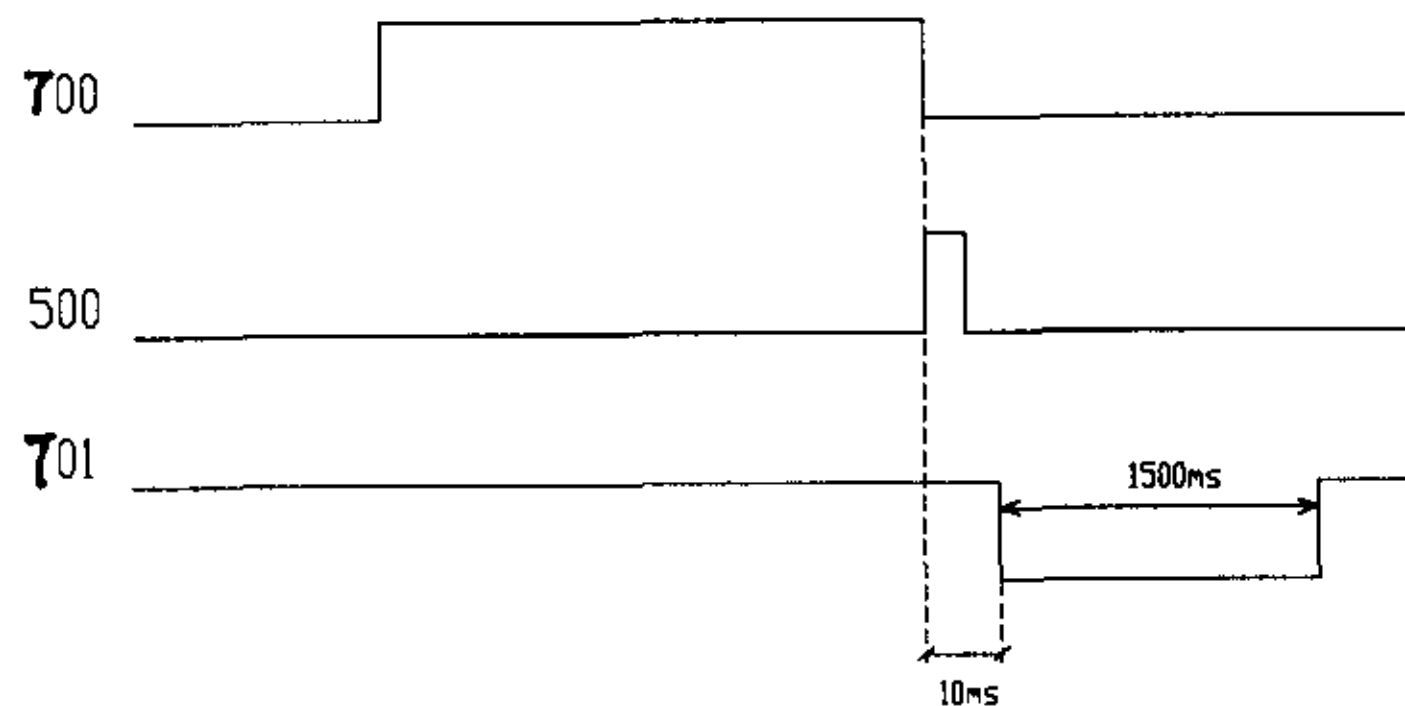


图4-14 控制信号示波图

同时为了精确测量剪机工作过程中的主轴转角，利用光栅码盘的脉冲信号和其它信号的相关关系，即可得出剪机运动过程中的主轴随时间变化的转动角度，又可获得剪刀运行轨迹的变化规律，见图4-15所示。光栅码盘的脉冲输出为每周1024个电脉冲。剪机的停车制动指令是由接近开关（行程开关）发送，

行程开关位置固定。采用这一装置，剪刀的停车定位不会产生累积误差，定位的随机误差由码盘脉冲计数，通过计算机编程控制延时的办法加以整定，从而保证了剪机的剪切定尺精度。



图4-15 剪刀实际运动速度示意图

第五章 高速成品飞剪参数 实际设置及应用检验

第一节 高速成品飞剪在线运行状态测试

为了确保飞剪的稳定、可靠运行，对3#飞剪进行了不同电机转速时的空切和实切试验，不同剪切速度时的空切综合测试数据见附表01~04，以铝棒为试件的模拟剪切试验综合测试数据见附表05和附表06，在线实切综合测试数据见附表07~09。

从上述综合测试数据表中可以看出，当剪切速度达到17.8m/s时，启动阶段的启动角约为80度；稳速阶段的稳速时间约为60ms，稳速转角约为20度，制动阶段的制动时间约为130ms，制动角约为155度。可以看出：剪机可以在设计范围内平稳启动和制动，在任一剪切速度时，实现在稳速阶段的惯性剪切。

生产过程中，对该设备的运行状况和性能参数，在现行工况条件下，进行了综合测试。图5-1为在线综合实测示波图，附表7和附表8为在线实切综合测试数据表。从图中可以看出：飞剪在 $\Phi 22$ 螺纹钢轧制时，启动和制动过程平稳，在剪刀重合点附近由剪切力引起的剪切力矩波形变化较小。由此可以推断：现工艺和工况条件下，负荷水平较低，设备比较安全；实际应用过程中，影响性能的主要因素是离合器和制动器的动态特性及气动系统性能，在日常使用与维护中，气动系统压力要稳定可靠，使离合器与制动器在良好的条件下工作，保证飞剪的定尺剪切与定位精度，进一步提高产品的质量。

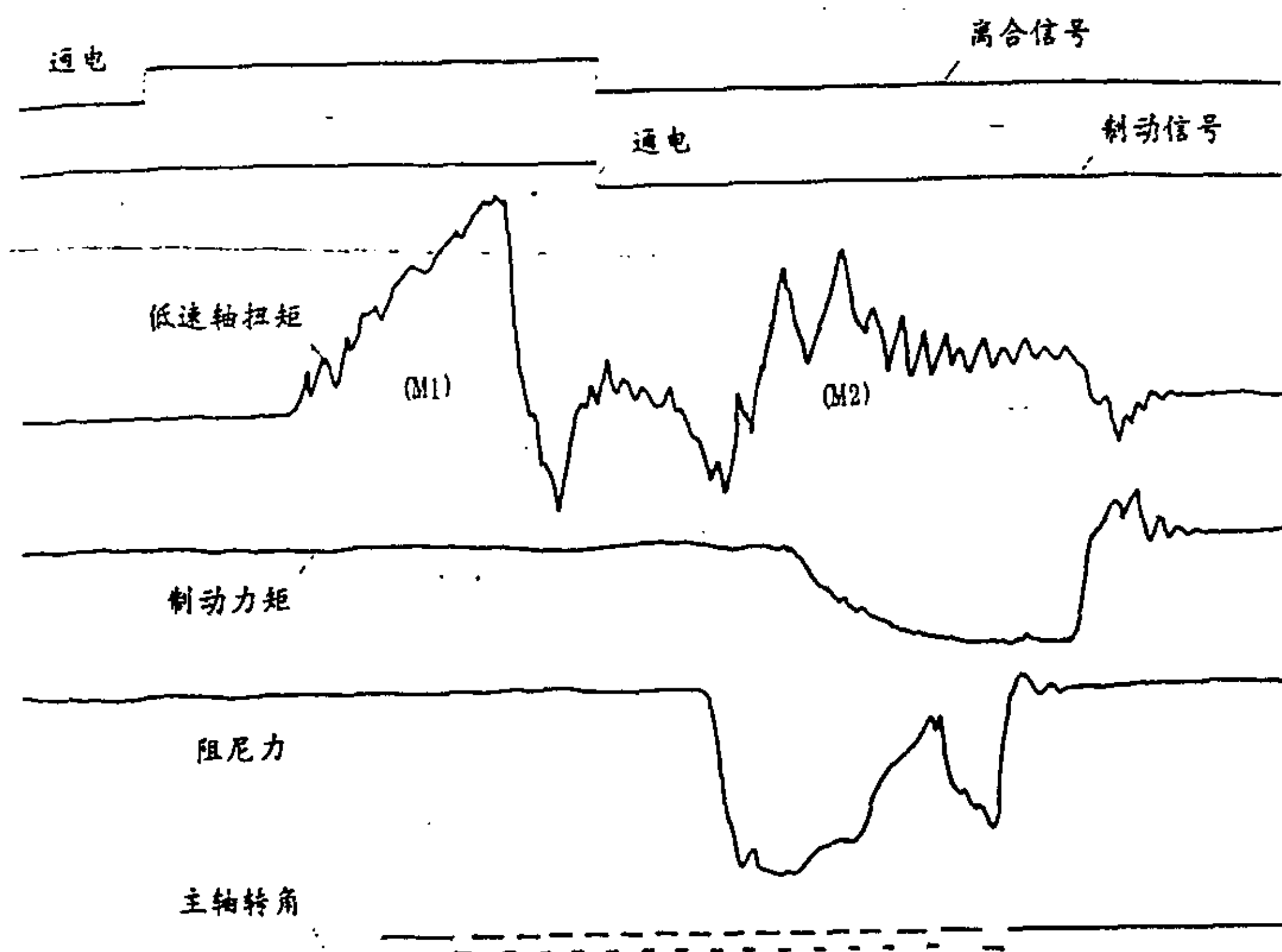


图5-1 飞剪在线综合实测示波图

第二节 高速成品飞剪优化配尺 参数实际设置

为实现 3 # 成品飞剪的优化配尺剪切，根据第二章所述的控制方式和数学模型，在 8 # 台 8 C T - 2 设置三个拨码开关），如图以 $\Phi 22$ 螺纹钢生产过程来说明正常倍尺剪切和尾段处理的实际设置情况。

一. 飞剪定长倍尺优化剪切参数设置

某一根轧件在成品机架之后的在线检测线速度为 12.42m/s ，

生产定尺长度 9 m, 8 # 台按定长倍尺长度 $L_b=99.5\text{m}$ 设置, 使冷剪去头切尾之后为 10 刀 11 段 9 m 定尺。这样当轧件头部通过 3 HMD 时, 可编程控制器立即开始记时, 第一刀定长倍尺记时时间为:

$$T_0 = \frac{L_b - t_1 - l}{V} = \frac{99.5 - 0.055 \cdot 12.42 - 15}{12.42} = 7.83\text{s}$$

当 3# 飞剪剪切第一刀之后, 正常倍尺段剪切延时时间为:

$$t_1 = \frac{L_b}{V} = \frac{99.5}{12.42} = 8.010\text{s}$$

上述情况下, 剪切上冷床长度基本在 $99.5^{+0.5}_{-0.2}$ 之间, 满足生产工艺要求。

二. 飞剪尾部配尺优化剪切设置

对于轧 $\Phi 22$ 螺纹钢, 成品轧机速度在 $12.5^{+1}_{-1} \text{ m/s}$ 情况下, 8# 台时间设定器 T_1 设置为 0100, 即 $T_1 = 1\text{s}$, 时间设定器 T_2 设置为 0450, 即 $T_2 = 4.5\text{s}$ 。

1、当 3# 飞剪剪切后, 2# 剪光头 2HMD 失光时间 T 小于 1s 内失光, 即 $0 < T < 1\text{s}$, 尾段轧件不予剪切。

此情况下上冷床轧件长度为:

$$L_{\max} = L' + V \cdot T_1 = 97 + 12.42 \cdot 1 = 109.42\text{m}$$

$$L_{\min} = L' = 97\text{m}$$

式中 $\Phi 22$ 螺纹 $L' = 97\text{m}$

2、3# 飞剪剪切之后, 2HMD 失光时间 T 在 T_1 和 T_2 之间时, 即 $1\text{s} < T < 4.5\text{s}$, 3# 飞剪延时到 t_2 剪切一刀, 余段不再剪切。

$$t_2 = [K_1] \cdot t_3 + P = 7 \cdot 0.725 + 0.04 = 5.115\text{s}$$

$$\text{式中 } t_3 = \frac{S}{V} = \frac{9}{12.42} = 0.725\text{s} \quad P = 40\text{ms}$$

$$[K_1] = [T_2 / t_2] = [4.5 / 0.725] = [6.21] = 7$$

此情况下，上冷床轧件长被分两种极限情况：

第一种情况：3#飞剪剪切后，2HMD刚好大于1秒就失光，到 t_2 切一刀。

上冷床轧件长度

$$L_{\max} = t_2 \cdot V = 5.115 \cdot 12.42 = 63.52\text{m}$$

$$L_{\min} = (L' - T_1 V) - L_{\max} = 97 - 1 \cdot 12.42 - 63.52 = 45.9\text{m}$$

第二种情况下：3#飞剪剪切之后，2HMD接近4.5s时失光，到 t_2 时切一刀。

上冷床轧件长度：

$$L_{\max} = L' = 97\text{m}$$

$$L_{\min} = t_2 \cdot v = 5.115 \cdot 12.42 = 63.52\text{m}$$

3、3#飞剪剪切后，2HMD延时 T 大于4.5s 情况下失光，3#剪到 t_4 剪切。例如某轧件尾段 $T=5.2\text{s}$ 情况下2HMD失光。

$$t_4 = [K_2] \cdot t_2 + P = 8 \cdot 0.725 + 0.04 = 5.84\text{sec}$$

$$\text{式中 } [K_2] = \left[\frac{T}{t_2} \right] = \left[\frac{5.2}{0.725} \right] = [7.17] = 8$$

上冷床轧件长度：

$$L_{\max} = L' - (t_4 - T)V = 97 - (5.84 - 5.2) \cdot 12.42 = 89.05\text{m}$$

$$L_{\min} = t_4 \cdot V = 5.84 \cdot 12.42 = 72.53\text{m}$$

综合上述， $\Phi 22$ 螺纹钢在成品线速度为13m/s左右情况下，8#台的实际设置为：

1— L_b 设置为0995，即99.5m

2— T_1 设置为0100，即 $T_1 = 1\text{s}$

3— T_2 设置为0450，即 $T_2 = 4.5\text{s}$

由此可以看出在任何轧制情况，3#飞剪剪切的最长段为

$L_{\max}=109.42\text{m}$,最短段为 $L_{\min} \geq 40\text{m}$,确保了工艺要求。

第三节 不同辊径不同线速度

同一规格优化倍尺实际剪切校验

根据上述优化控制思想,在不同线速度,不同的辊径状态,对轧制 $\phi 22$ 螺纹钢成品机架线速度为 12.5 m/s ,辊径为 $280 \sim 330\text{mm}$, 3#飞剪切成成品上冷床之后冷状态下的定长倍尺剪切长度进行了随机抽取15段倍尺进行测量,结果如下:(单位m):

99.58	99.42	99.47	99.62	99.38
99.55	99.70	99.61	99.41	99.60
99.74	99.35	99.68	99.50	99.65

该3#飞剪优化剪切正常工作时: $\phi 22$ 螺纹要求剪切后上冷床后冷状态下每段的倍尺平均长度为 99.5m , 3#飞剪剪切每倍尺段的长度服从正态分布($\alpha=0.05$),通过对上述随机抽测数据进行假设检验,分析3#飞剪倍尺剪切是否按预期的要求正常工作。

此问题就是对假设 H_0 :数学期望 $\mu=99.5$ 检验。

由于方差 δ^2 未知,故用t检验,由所测数据可算出:

$$\text{样本均值 } \bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_{1i} = 99.55$$

$$\text{样本方差 } S_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 = 0.0512$$

$$\text{样本标准差 } S_1^* = 0.123$$

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \mu}{S^* / \sqrt{n_1}} = \frac{99.55 - 99.5}{0.123 / \sqrt{15}} = 1.5744$$

对于 $\alpha=0.05$ 。查自由度为14的t分布表

$$t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)=t_{0.025}(14)=2.1448$$

由于 $|t|=1.5744 < t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)=2.1448$

所以接受假设 H_0 ，因而认为该3#飞剪剪切工作正常。

同理对 $\phi 18$ 螺纹钢倍尺剪切校验可知，3#飞剪剪切也处于正常运行状态。

第四节 不同辊径不同线速度不同规格优化配尺剪切的检验

下面分析该优化剪切对不同规格、不同成品速度、不同的3#飞剪速度状态下，倍尺剪切对同样倍尺段是否有显著差异。

$\phi 18$ 螺纹钢：要求倍尺段为99.5m，服从正态分布，随机抽取10个数据如下： $(\alpha=0.05)$

99.73 99.62 99.43 99.57 99.39
99.49 99.54 99.68 99.50 99.52

假设 $H_0: \mu_{\phi 18} = \mu_{\phi 22}$ ，显著水平为 $\alpha=0.05$ ，自由度为 $n_1 + n_2 - 2 = 15 + 10 - 2 = 23$ 。

查t分布上侧分位数表得：

$$t_{\frac{\alpha}{2}}(n_1 + n_2 - 2) = t_{0.025}(23) = 2.0687$$

再由样本值算出：(对 $\phi 22$ 见上述计算)对 $\phi 22$ 螺纹

$$\bar{x}_1 = 99.55$$

$$(n_1 - 1)S_1^2 = \sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 = 0.2117$$

对 $\phi 18$ 切螺纹抽测:

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} x_{2i} = 99.547$$

$$(n_2 - 1)S_2^{*2} = \sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2 = 0.1016$$

$$S^{*2} = \frac{(n_1 - 1)S_1^{*2} + (n_2 - 1)S_2^{*2}}{n_1 + n_2 - 2} = \frac{0.2117 + 0.1016}{23} = 0.01362$$

$$S^* = 0.1167$$

$$\text{则 } T = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} S^*} = \frac{99.5 - 99.547}{\sqrt{\frac{1}{15} + \frac{1}{10}} \times 0.1167} = 0.99$$

由于 $T = 0.99 < t_{\frac{\alpha}{2}}(23) = 2.0687$ 故接受 H_0 , 认为成品飞剪优化倍尺剪切对 $\phi 18$ 切分和 $\phi 22$ 无显著差异。

由上述可以说明, 3# 飞剪对于任何规格在正确调整情况下, 安全可以满足优化剪切, 对成材率和定尺率的提高起到了决定性的作用。

第五节 飞剪优化配尺剪切投入运行前后综合指标分析

1. 3# 飞剪研制投入运行之后, 综合指标分析

96年6月前一车间所用的成品飞剪是飞剪连续运转采用轧线摆槽控制剪切。飞剪剪臂每转三周, 飞剪剪刀重合一次, 剪切精度非常低, 以至于3#飞剪研制之前, 定尺率仅为85.96%, 成材率为90.36%, 96年6月份研制出CV型飞剪投入运行之后, 成材率和定尺率得到一定的提高, 见表五:

表五 一九九六年6-12月一车间综合指标统计

(3#飞剪研制之后)

单位: 万吨

序号	月份	投入量	产量	定尺产量	定尺率(%)	成材率(%)
1	96.6	4.56	4.15	3.55	85.86	91.09
2	96.7	5.23	4.78	4.23	88.42	91.33
3	96.8	5.20	4.75	4.20	88.38	91.39
4	96.9	3.72	3.42	2.98	87.19	91.85
5	96.10	5.10	4.71	4.17	88.62	92.35
6	96.11	4.76	4.34	3.82	88.08	91.19
7	96.12	5.01	4.60	4.17	99.06	91.81
8	合计	3.58	30.75	27.13	88.23	91.57

由表五可以看出, 3#飞剪研制投入运行之后, 定尺率提高了1.28%, 达到88.23%, 成材率提高了1.21%, 达到了91.57%, 按目前市场价格定尺与通尺钢材的吨差价计算, 成品与废品钢材的吨差价950元计算, 共取得经济效益为:

$$\frac{30.75}{91.57\%} (88.23\% - 86.95\%) \cdot 168 + \left(\frac{30.75}{90.36\%} - \frac{30.75}{91.57\%} \right) \cdot$$

$$950 = 499.4 (\text{万元})$$

2. 3#飞剪优化配尺剪切之后综合指标分析

在CV型飞剪投入运行的基础上, 97年元月份对成品飞剪进行认真的研究和分析, 组织实施了高速成品飞剪优化配尺剪切控制, 自97年投入运行之后, 定尺率得到显著的提高, 见表六。

由表六可知, 在97年元月份-98年12月份18个月的运行过程中, 定尺率由优化配尺投入之前的88.23%, 达到优化配尺运行之后的94.73%, 提高6.6%, 成材率由原来的91.57%, 提高到了92.18%, 提高了0.61%, 共取得经济效益:

$$\frac{83.53}{94.73\%} (94.73\% - 88.23\%) \cdot 168 + \left(\frac{83.53}{90.36\%} - \frac{83.53}{92.18\%} \right)$$

$$950 = 962.8 + 573.4 = 1536.2 (\text{万元})$$

表六 1997年1月-1998年6月份一车间综合指标统计
(3#飞剪优化配尺研制之后) 单位: 万吨

序号	月份	投入量	产量	定尺产量	定尺率(%)	成材率(%)
1	97.1		4.44	4.10	92.15	90.86
2	97.2		4.43	4.16	93.80	91.89
3	97.3		4.72	4.52	95.85	92.08
4	97.4		4.36	4.12	94.67	92.30
5	97.5		5.55	5.25	94.57	92.49
6	97.6		4.79	4.58	95.48	91.83
7	97.7		4.14	3.88	93.66	89.54
8	97.8		4.43	4.16	93.86	91.41
9	97.9		3.43	3.28	95.43	91.32
10	97.10		4.48	4.27	95.34	91.45
11	97.11		4.91	4.67	95.07	93.16
12	97.12		5.31	5.03	94.84	92.58
13	98.1		5.05	4.79	95.86	92.54
14	98.2		4.81	4.59	95.49	93.14
15	98.3		5.05	4.84	95.16	92.91
16	98.4		4.46	4.21	94.33	92.70
17	98.5		4.91	4.70	95.77	93.05
18	98.6		4.20	3.98	94.64	93.04
19	合计		83.52	79.12	94.73	92.18

3. 3#飞剪投入优化配尺剪切之后理论指标与实际指标差值分析

根据成品飞剪优化配尺剪切控制, 可以计算出各规格品种最大理论定尺率和最小理论定尺率, 如表七所示:

表七 一车间各品种规格定尺率理论指标

规格	成品轧件长度(m)	按99.5m倍尺分段数	定尺量(m)	总量(m)	最大理论定尺率	最小理论定尺率
Φ16切	546	5*99.5	540	543.5	99.25%	98.36%
Φ18切	411	4*99.5	405	409	99.0%	97.8%
Φ20切	348	3*99.5	342	346.5	98.7%	97.4%
Φ22	421.5	4*99.5	414	419.5	98.68%	97.9%

由表七可以看出, 自97年元月份投入优化配尺以来, 到1998年6月份止, 共生产钢材83.5万吨, 综合定尺率为94.73%, 实际定尺率比理论定尺率少3%以上, 其主要原因为:

- (1)、在操作过程中, 8#台的参数 L_0 设置的不尽合理。
- (2)、齐头辊不能正常投入运行, 造成钢材不能齐头, 特别是小规格Φ16切、Φ18切, 齐头辊线速度太快, 易顶弯钢。
- (3)、冷床上料控制系统不稳, 易下坑撞套, 造成部分短钢, 既影响了成材率, 又影响了定尺率。

第六节 实际应用中存在的问题和解决办法

从程序运行来看: 当2#剪2HMD断光, 只是说明进入尾段处理, 当一根钢经过2#飞剪情况下,

- (1)若2HMD不感光, 3#剪3HMD感光, 表现为整根钢不剪切。

(2)若2HMD感光,3HMD不感光,表现仍为整一根钢不剪切。

(3)若2HMD感光,3HMD没计时到设定值时,3#剪3HMD断光,之后又感光,重新计时,前一段不剪切。

(4)3#剪3HMD感光,当3#剪切完任一刀之后,由于各种原因,3#剪3HMD断光,后一部分无论感光与否,3#剪均不再剪切。

(5)当钢被13#轧机咬入时,引起的2#剪2HMD断光,而本支钢只有到达3#剪光头,才开始计时,由此可以断定,在钢到达3#剪3HMD之前,2#剪稳定与否,均对正常切钢不会造成影响,但钢过3#剪3HMD后,2#剪2HMD必须稳定感光。

第六章 结 论

中小型材成品飞剪无论是采用先进的启停式控制或是电机连续运转的气动离合器控制，只是提高了飞剪本身的控制精度，但对成品机架线速度变化的影响等，飞剪本身的控制精度解决不了该问题，本文提出的中小型材成品高速飞剪优化配尺剪切方案，解决多方面因素的影响，硬件环节简单，维护方便，运行可靠，在中小型材生产领域内有其指导意义。此外在97年元月份优化配尺投入运行以来到98年6月份连续18个月基本是处于无故障运行，满足了生产工艺要求，在投入运行后这十八个月内，共生产了83.51万吨钢材。成材率、定尺率从飞剪优化配尺投入前的91.57%和88.23%分别提高了0.61%和6.6%，达到了92.18%和94.74%，平均月效益90.9万元，实现了“三提高，一降低”，即提高了定尺率、成材率和经济效益，降低了维护、检修工时和费用。

该台飞剪机自优化定长配尺剪切的投入运行，始终保持正常运行，实现了全自动控制，达到了增加效益、降低成本的目标，由于定尺率的提高，不仅给第二型材厂带来了巨大的经济效益，同时对该厂提高产品质量，取得良好的企业形象，为企业的经营和发展创造了很好的基础条件。

发表论文

- [1]微粒微漆收线的恒张力控制 冶金自动化学会第二届
控制理论及应用学术年会论文集 1989.5 P10-1---P10-19
- [2]中小型材成品高速飞剪优化配尺剪切的研究 轧钢
Aug.1999 No.4 P34-36

致 谢

本文是在导师刘建昌教授和陆业钊高工的悉心指导下完成的,两位导师学识之渊博,治学之严谨,为人之宽厚使学生深受教益,敬奉为今后工作和做人的楷模。

在中小型材成品高速飞剪优化配尺剪切的研制过程中,与东北大学的诸位老师和课题组学友结下了深厚的友谊,在此表达对他们的敬意。

衷心感谢首钢总公司的各位领导们,给予这次难得的学习机会;衷心感谢第二型材厂的诸位领导,他们对作者给予了有力的支持和帮助,使作者能够集中精力完成学业。

最后,真诚地感谢我的妻子和我的家人,是他们在我攻读学位的近三年时间里给予了我极大的精神鼓励和生活上无微不至的关怀,使得本人能够全身心地投入课题研究和论文撰写,在此谨向我的爱人和家人表示衷心的感谢。

李建设

一九九九年十月十日

空切试验综合测试数据表

试验条件：不同剪切速度时的空切，系统气压0.7-0.75MPa 附表：01

序 号	剪刀剪 切速度 (m/s)	运 动 参 数								离合器 响应时 间(ms)	制动器 响应时 间(ms)	低速轴扭矩 (KN.M)		备 注
		运 动 周 期		启 动 阶 段		稳 速 阶 段		制 动 阶 段						
		T(ms)	(度)	T1(ms)	(度)	T2 (ms)	(度)	T3 (ms)	(度)					
10-1	10.0	398	357.5 ⁰	80	33.0 ⁰	220	249.0 ⁰	98	75.5 ⁰	51	76	7.2	6.4	
12-1	12.0	357	357.5 ⁰	87	45.4 ⁰	164	214.9 ⁰	106	97.4 ⁰	50	77	8.1	7.0	
12-2	12.0	363	362.3 ⁰	88	42.5 ⁰	171	224.9 ⁰	106	94.9 ⁰	51	74	8.1	6.8	
12-3	12.0	355	357.4 ⁰	87	45.3 ⁰	162	217.3 ⁰	106	94.8 ⁰	52	77	8.1	6.8	
12-4	12.0	357	359.5 ⁰	87	44.0 ⁰	162	216.0 ⁰	108	99.5 ⁰	50	74	8.1	7.7	
12-5	12.0	358	359.0 ⁰	87	45.3 ⁰	163	215.4 ⁰	108	98.3 ⁰	52	72	8.1	7.6	
12-6	12.0	356	360.0 ⁰	87	47.8 ⁰	161	216.0 ⁰	108	96.2 ⁰	52	75	8.3	7.3	
12-7	12.0	356	359.5 ⁰	87	46.6 ⁰	161	214.7 ⁰	107	98.2 ⁰	51	72	8.3	7.2	
14-1	14.0	329	360.0 ⁰	98	64.0 ⁰	121	187.7 ⁰	110	110.3 ⁰	51	72	8.9	6.8	

空切试验综合测试数据表

试验条件：不同剪切速度时的空切，系统气压0.7-0.75MPa

附表：02

序 号	剪刀剪 切速度 (m/s)	运 动 参 数								离合器 响应时 间(ms)	制动器 响应时 间(ms)	低速轴扭矩 (K.N.M)		备 注
		运 动 周 期		启 动 阶 段		稳 速 阶 段		制 动 阶 段				启动时 (M1)	制动时 (M2)	
		T(ms)	(度)	T1(ms)	(度)	T2 (ms)	(度)	T3 (ms)	(度)					
14-2	14.0	325	362.0 ⁰	97	63.8 ⁰	114	180.0 ⁰	114	116.2 ⁰	52	75	8.9	7.0	
14-3	14.0	327	366.7 ⁰	97	63.2 ⁰	116	180.0 ⁰	114	123.5 ⁰	51	76	8.9	7.6	
14-4	14.0	325	363.1 ⁰	97	62.8 ⁰	112	176.0 ⁰	116	124.3 ⁰	51	75	8.9	7.2	
14-5	14.0	332	364.0 ⁰	97	62.0 ⁰	123	192.0 ⁰	112	110.0 ⁰	51	72	9.5	7.2	
14-6	14.0	323	361.0 ⁰	98	62.0 ⁰	115	181.0 ⁰	110	118.0 ⁰	52	76	9.1	6.8	
16-1	16.0	316	365.3 ⁰	105	68.3 ⁰	95	166.3 ⁰	116	130.7 ⁰	52	75	13.0	8.2	
16-2	16.0	308	343.9 ⁰	104	67.0 ⁰	85	156.6 ⁰	119	120.3 ⁰	51	75	13.4	7.6	
16-3	16.0	318	364.5 ⁰	105	70.2 ⁰	95	164.5 ⁰	118	129.8 ⁰	52	76	13.2	6.6	
16-4	16.0	314	358.6 ⁰	103	69.1 ⁰	95	159.8 ⁰	116	129.7 ⁰	52	74	13.0	6.6	

空切试验综合测试数据表

试验条件：不同剪切速度时的空切，系统气压0.7-0.75MPa

附表：03

序 号	剪刀剪 切速度 (m/s)	运 动 参 数										离合器 响应时 间(ms)	制动器 响应时 间(ms)	低速轴扭矩 (K.N.M)		备 注
		运 动 周 期		启 动 阶 段		稳 速 阶 段		制 动 阶 段		启动时 (M1)	制动时 (M2)					
		T(ms)	(度)	T1(ms)	(度)	T2(ms)	(度)	T3(ms)	(度)							
16-5	16.0	302	351.5°	105	70.0°	81	148.0°	116	135.5°	51	72	13.0	7.2			
16-6	16.0	303	355.0°	105	72.0°	82	148.0°	116	135.0°	50	71	13.2	7.6			
16-7	16.0	310	366.6°	104	72.6°	92	162.0°	114	132.0°	52	70	13.4	7.6			
18-1	18.0	293	356.5°	110	85.8°	61	121.6°	122	149.1°	52	75	13.8	8.2			
18-2	18.0	300	366.1°	110	83.1°	63	126.0°	127	157.0°	52	74	14.1	8.0			

空切试验综合测试数据表

试验条件：空切带阻尼制动，系统气压0.7-0.75MPa，阻尼系统油压3.0MPa，剪切速度16米/秒。 附表：04

序 号	运 动 参 数				离合器 响应时 间(ms)	制动器 响应时 间(ms)	低速轴扭矩 (KN.M)		阻 尼 力 (KN)			
	运 动 周 期		启 动 阶 段				稳 速 阶 段		制 动 阶 段		上 缸	下 缸
	T(ms)	(度)	T1(ms)	(度)			T2 (ms)	(度)	T3 (ms)	(度)		
30-1	303	353.0°	105	72.0°	80	144.0°	118	137.0°	9.9	7.4	14.0	6.0
30-2	305	357.8°	104	71.4°	82	150.5°	119	137.9°	9.9	7.6	15.9	5.0
30-3	312	374.3°	104	72.5°	94	168.3°	114	133.5°	9.7	7.6	16.2	5.0
30-4	304	356.0°	104	71.0°	81	147.0°	119	138.0°	9.7	7.6	16.2	5.0
60-5	308	368.5°	104	73.3°	98	171.0°	106	124.2°	9.7	7.6	28.0	18.5
60-1	298	353.0°	105	71.5°	86	151.7°	108	129.8°	9.9	7.6	29.0	19.0
60-2	306	362.0°	105	73.0°	89	156.0°	112	133.0°	9.7	7.6	28.5	19.0
60-3	304	356.5°	105	72.0°	89	156.5°	110	128.0°	9.5	7.4	30.0	18.0
60-4	304	354.6°	105	73.6°	87	154.2°	112	126.8°	9.5	7.4	28.2	17.0
60-5	305	360.1°	105	73.0°	87	154.8°	113	132.3°	9.9	7.6	30.0	18.5

空 切 试 验 综 合 测 试 数 据 表

试验条件: 以合金铝棒为试件的模拟剪切, 系统气压0.7-0.75MPa, 剪切速度16米/秒.

附表: 05

序 号	运			动			参 数			离合器 响应时 间(ms)	制动器 响应时 间(ms)	低速轴扭矩 (K.N.M)			剪切力 (KN)	备 注
	运动周期		启动阶段	稳速阶段		制 动 阶 段										
	T(ms)	(度)	T1(ms)	(度)	T2 (ms)	(度)	T3 (ms)	(度)								
4-1	330	363.0°	97	61.0°	123	192.0°	110	119.0°	50	70	9.5	7.6	2.7	81.0	Φ16单根	
5-2	316	360.0°	96	61.1°	120	188.2°	100	110.7°	50	70	9.5	7.6	2.5	67.0	同上	
6-3	321	355.0°	96	60.5°	123	191.5°	102	103.0°	51	70	9.5	7.2	2.7	65.0	同上	
6-4	326	365.0°	96	61.0°	121	186.0°	109	118.0°	51	70	9.5	7.6	2.7	65.0	Φ16双根	
7-5	320	356.0°	96	61.5°	119	179.5°	105	115.0°	51	70	9.7	7.4	2.7	96.0	Φ20单根	
7-6	327	366.5°	96	62.0°	123	192.5°	108	112.0°	51	72	9.7	7.6	3.5	113.0	同上	
7-7	325	362.0°	97	61.3°	120	180.2°	108	120.5°	51	72	9.7	7.6	3.7	104.0	同上	
7-8	323	362.1°	97	61.2°	119	188.9°	107	112.0°	51	71	9.7	7.6	3.1	104.0	同上	
7-9	329	363.3°	97	60.3°	120	182.0°	112	121.0°	50	72	9.7	7.6	2.5	67.0	Φ16单根	

空切试验综合测试数据表

试验条件：在线实切无阻尼，系统气压0.5-0.6MPa，轧件为Φ22（20MnSi）

附表：07

序 号	剪刀剪 切速度 (m/s)	运 动 参 数						离合器 响应时 间(ms)	制动器 响应时 间(ms)	低速轴扭矩 (K.N.M)		制 动 力 矩 (K.N.M)	上 缸 阻 尼 力 (KN)
		运 动 周 期		启 动 阶 段		稳 速 阶 段				制 动 阶 段			
		T(ms)	(度)	T1(ms)	(度)	T2 (ms)	(度)			T3 (ms)	(度)		
S-1	13	339	355.0 ⁰	94	58.0 ⁰	105	162.0 ⁰	105	135.0 ⁰	9.7	7.0	18.0	未加入
S-2	13	337	356.0 ⁰	95	58.5 ⁰	106	164.5 ⁰	106	133.5 ⁰	9.7	7.0	18.0	同 上
S-3	13	345	365.0 ⁰	94	59.5 ⁰	111	170.0 ⁰	111	135.5 ⁰	9.9	7.0	18.0	同 上
S-4	13	340	362.0 ⁰	94	58.0 ⁰	106	169.0 ⁰	106	135.0 ⁰	9.9	7.4	18.0	同 上
S-5	13	336	355.0 ⁰	94	59.0 ⁰	108	167.5 ⁰	108	129.0 ⁰	9.9	8.3	18.0	同 上
S-6	13	340	359.0 ⁰	94	59.0 ⁰	108	166.0 ⁰	108	134.0 ⁰	9.9	8.1	18.0	同 上
S-7	13	339	354.0 ⁰	95	59.5 ⁰	104	158.0 ⁰	104	136.5 ⁰	9.5	8.6	18.0	同 上
S-8	13	342	361.0 ⁰	94	59.0 ⁰	108	167.0 ⁰	108	135.0 ⁰	9.7	7.8	18.0	同 上
S-9	13	341	352.5 ⁰	94	58.5 ⁰	110	160.0 ⁰	110	160.0 ⁰	9.5	7.8	18.0	同 上

空切试验综合测试数据表

试验条件：在线实切有阻尼，系统气压0.5-0.6MPa，轧件为Φ22（20MnSi） 附表：08

序 号	剪刀剪 切速度 (m/s)	运 动 参 数						离合器 响应时 间(ms)	制动器 响应时 间(ms)	低速轴扭矩 (KN.M)			制 动 力 矩 (KN.M)	上 缸 阻尼力 (KN)
		运 动 周 期		启 动 阶 段		稳 速 阶 段				制 动 阶 段				
		T(ms)	(度)	T1(ms)	(度)	T2 (ms)	(度)			T3 (ms)	(度)			
S-10	13	331	356.5°	94	59.0°	102	157.5°	135	140.0°	9.7	8.3	18.0	未加入	
S-11	13	334	352.5°	94	59.5°	104	160.0°	136	133.0°	9.7	7.0	18.0	同 上	
S-12	13	338	357.5°	94	59.5°	108	162.5°	136	135.5°	9.9	7.8	18.0	同 上	
S-13	13	340	359.5°	94	59.5°	109	164.0°	136	136.0°	9.7	8.3	18.0	31.0	
S-14	13	336	358.0°	94	59.0°	110	165.0°	132	134.0°	9.5	7.6	18.0	31.0	
S-15	13	344	368.0°	94	58.0°	114	175.0°	136	135.0°	9.5	8.3	18.0	31.0	
S-16	13	339	359.5°	94	58.5°	110	168.0°	135	133.0°	9.5	8.0	18.0	31.0	
S-17	13	341	352.0°	94	59.0°	107	158.0°	140	135.0°	9.9	8.3	17.5	31.0	
S-18	13	346	371.0°	94	60.0°	115	175.0°	137	136.0°	9.9	8.3	17.5	31.0	

空切试验综合测试数据表

试验条件：在线实切有阻尼，系统气压0.5-0.6MPa，轧件为Φ22（20MnSi）

附表：09

序 号	剪刀剪 切速度 (m/s)	运 动 参 数						离合器 响应时 间(ms)	制动器 响应时 间(ms)	低速轴扭矩 (KN.M)		制 动 力 矩 (KN.M)	上 缸 阻尼力 (KN)
		运 动 周 期		启 动 阶 段		稳 速 阶 段				制 动 阶 段			
		T(ms)	(度)	T1(ms)	(度)	T2 (ms)	(度)			T3 (ms)	(度)		
S-19	13	331	348.5 ⁰	94	59.5 ⁰	103	156.0 ⁰	136	133.0 ⁰	10.1	8.0	18.0	30.0
S-20	13	349	373.0 ⁰	94	58.0 ⁰	115	175.0 ⁰	140	140.0 ⁰	10.1	8.5	17.5	30.0
S-21	13	334	350.0 ⁰	95	59.0 ⁰	102	151.0 ⁰	138	134.0 ⁰	9.9	8.5	17.5	30.0
S-22	13	340	359.0 ⁰	93	58.0 ⁰	110	167.0 ⁰	137	134.0 ⁰	9.9	7.8	17.5	29.0

参考文献

1. 晏宪华 棒材定尺飞剪计算机控制系统的研制 武汉钢铁学院研究生论文 1992年
2. 首钢高速棒材飞剪机工程测试分析报告 北方工业大学计量与测试研究所 1996年
3. 朱善君 翁樟 邓丽曼 周卓伦 可编程序控制系统原理.应用.维护 清华大学出版社 1992年 第一版
4. SIEMENS SIMOREG K 6RA24全数字直流调速装置 1996年
5. 周世成 全数字直流调速装置在棒材连轧生产线上的应用 冶金自动化 1999年 第23卷 第1期 P34-P37
6. 刘松斌 李军生 郑朝栋 邹正铮 太钢热连轧飞剪数字传动及位置控制系统 冶金自动化 1996年 第1期 P11-P14
7. 徐怀玉 酒钢高速线材生产线飞剪的控制原理及故障分析 冶金自动化 1996年 第2期 P19-P21
10. 丁林根 泰国BNS公司棒材轧机的自动控制系统 冶金自动化 1998年 第6期 P45-P47
11. 付瑞华 纪有礼 么晓明 丁军 PLC在高精度定尺剪切控制系统中的应用 冶金自动化 1998年 第5期 P41-P43
12. 高越农 史清源 陈胜波 楚林 起停式切头飞剪采用PLC控制的设计与调试 电气传动自动化 1999年 第21卷第3期P53-P54
13. 葛钢 杨艳秋 范湘钧 候立功 郝国利 棒材轧机的PLC控制系统 冶金自动化 1996年 第6期
14. 沈士慈 现代高速线材及棒材生产中飞剪机的新技术

冶金设备 1996年 第4期

15. Flying Shear Control Snsstem EI:EIM 9005-022233

16. 李建设 中小型材高速成品飞剪优化配尺剪切的研究

轧钢 1999年 第4期 P34-P36

17. 孙莹 高速计数器在飞剪控制系统中的应用 电气传动

1990年 第6期 P37-P42

18. 李富 飞剪冷床程序控制系统 冶金自动化 1989年 第5

期 P58-P61