

分类号 _____

密级 _____

UDC _____

学 位 论 文

高速线材自动控制系统的设计与优化

作者姓名：孙伟

指导教师：石海彬 副教授 东北大学信息科学与工程学院

张国强 高级工程师 首钢自动化信息公司

申请学位级别：硕 士 学科类别：专业学位

学科专业名称：控制工程

论文提交日期：2011年11月 论文答辩日期：2011年12月23日

学位授予日期： 答辩委员会主席：高宪文 教授

评阅人：郑艳 副教授 赵淑艳 高级工程师

东 北 大 学

2011年12月

A Thesis in Control Engineering



Design and Optimization of Automatic Control System on High Speed Wire

By Sun Wei

Supervisor: Associate Professor Shi Haibin
Senior Engineer Zhang Guoqiang

Northeastern University

December 2011

独创性声明

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

学位论文作者签名：孙伟

日期：2011.12.20

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者和指导教师完全了解东北大学有关保留、使用学位论文的规定：即学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人同意东北大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索、交流。

作者和导师同意网上交流的时间为作者获得学位后：

半年 一年 一年半 两年

学位论文作者签名：孙伟

签字日期：2011.12.20

导师签名：石海彬

签字日期：2011.12.20

高速线材自动控制系统的设计与优化

摘要

线材是钢铁产品的重要品种之一，广泛应用于建筑和线材制品工业。高速线材生产线具有轧制速度高，盘重大和产量高的特点，线材生产自动控制水平的提高可以降低操作人员的劳动强度，减少人为因素对生产的干扰，保证线材生产和质量的稳定，从而有助于新产品的开发和降低生产成本。首钢第一线材厂的高速线材生产线于 2005 年 10 月投产至今，在工程建设中引入自动控制理论，取代了大部分的人工操作，并将此设计在生产中不断优化完善。

本文的研究内容主要包括以下几个方面：

1、阐述了高速线材工序的生产过程、工艺要求，在此基础上对高速线材的自动化控制进行了详细的研究，从而为控制系统的具体实现提出主要的控制目标，将控制目标区分为加热炉控制系统、轧线控制系统以及状态记录事故碎断系统等几个部分，并对各个系统的控制目标进行了分析。

2、详细研究了控制系统的实现方式，并对系统中用到的部分关键技术进行了解析。例如，系统运用编码器检测控制钢坯对中，用时间和步距双补偿控制步进梁动作的精确度；对活套和水箱的控制也分别引入 PID 算法和集中控制的理念。

3、根据控制对象分布广，功能要求复杂等特点，系统运用 PLC 控制技术和现场总线技术，在硬件设计上选用 Siemens 公司的 S7 系列产品，软件选用 Siemens 公司的 Step7 编程软件和 Wincc 组态软件，说明了它们的技术原理、控制思路以及应用特点。在软件设计上，以加热炉自动控制系统为例，给出了详细的控制思路。

4、结合现场生产实践，发现问题，提出问题，拿出解决方案，详尽设计了自动控制系统的优化改造方案，给出了相关优化程序，并说明了运行情况。

本文在研究过程中，深入研究生产工艺，在满足工艺要求的基础上建立自动控制理念，并结合生产需求进行优化改进，进而为降低操作人员的劳动强度、稳定工艺质量、提高成材率提供了技术保障，最终达到研究目的，取得了良好的效益。

关键词：高速线材；时间和步距双补偿；现场总线技术；优化

Design and Optimization of Automatic Control System on High Speed Wire

Abstract

Wire is one important type of iron and steel products, widely used in construction and wire products industry. High speed wire rod production line with high speed rolling, plate material and high yield characteristics, wire production automatic control level rise can reduce the labor intensity of operators, reduce man-made factors on the production of interference, to ensure the production and quality of stability, thus contributing to the development of new products and reduce the cost of production. The first mill of high-speed wire production line in 2005 October has been put into production, in the process of engineering construction introduces the theory of automatic control, to replace most of the manual operation, and this design in the production of continuous improvement.

The main content of this paper includes the following aspects:

Firstly, elaborated the high speed wire process production process, technological requirements, based on the high speed wire rod control system is studied in detail, so as to control the system to achieve specific put forward the main control objective, the control objective is divided into the control system of heating furnace, rolling control system and state records of accident of breaking system several components, and the system control target are analyzed.

Secondly, expounds the realization of the control system, and the system used in the part of key technology are analyzed. For example, the system using the encoder control billet on, time and distance of step double compensation control of walking beam action accuracy; the looper and the water tank are respectively introduced into the PID algorithm control and centralized control concept.

Thirdly, according to the controlled object wide distribution, functional requirements is complex wait for a characteristic, system uses PLC control technology and field bus technology, the hardware design using Siemens S7 company's products, selection of software company Siemens Step7 programming software and Wincc configuration software, it

illustrates their technical principle, control method and characteristics of application. In software design, to heating furnace automatic control system as an example, gives a detailed control thinking.

Finally, combining with the production practice, discover a problem, put forward the question, come up with solutions, elaborates on the optimization scheme of automatic control system, gives the related optimization program, and illustrates the operation.

Generally, In this paper, in the course of the study, in-depth study of the production process, in the process to meet the requirements on the basis of the establishment of the automatic control theory, combined with the production needs improvement, in order to reduce the labor intensity of operating staff, stable quality, improve the yield has provided technical support, and ultimately achieve the research goal, achieved good results.

Keywords: high speed wire rod; the time and distance of step double compensation; field bus technology; optimalize

目 录

独创性声明	I
摘 要	II
Abstract	III
第 1 章 绪 论	1
1.1 课题研究背景	1
1.2 高速线材自控系统发展的作用与现状	1
1.3 本论文研究的目的和主要内容	3
1.3.1 本论文研究的目的和意义	3
1.3.2 本论文研究的主要内容	3
第 2 章 高速线材的轧制工艺	5
2.1 高速线材的生产流程	5
2.2 控制对象介绍	7
2.2.1 加热炉自动控制系统	7
2.2.2 轧线控制系统	11
2.2.3 状态记录及事故碎断系统	15
第 3 章 控制系统的设计	17
3.1 控制系统的功能设计	17
3.1.1 控制目标分析	17
3.1.2 控制系统的实现方式	17
3.1.3 加热炉设备控制设计	21
3.1.4 活套系统的控制设计	25
3.1.5 水冷集中控制设计	31
3.2 控制系统的硬件设计	32
3.2.1 Siemens 公司及产品介绍	32
3.2.2 系统的网络设计	33
3.2.3 系统硬件的选择	35
3.2.4 各部分硬件的功能	37

3.3 控制系统的软件设计	39
3.3.1 系统的编程环境	39
3.3.2 控制软件 STEP7 V5.3	39
3.3.3 上位监控软件 WINCC 6.0	41
3.3.4 系统的 PLC 控制程序设计	42
第 4 章 控制系统的优化	47
4.1 系统优化提出的原因	47
4.2 系统优化的设计与实施	48
4.2.1 水冷系统的优化	48
4.2.2 活套控制系统的优化	51
4.2.3 事故碎断系统的优化	52
4.3 系统优化运行情况说明	54
第 5 章 总结与展望	55
5.1 总结	55
5.2 研究工作展望	56
参考文献	57
附 录	59
致 谢	61

第1章 绪论

1.1 课题研究背景

线材是钢铁产品的重要品种之一，广泛应用于建筑和线材制品工业。我国改革开放的深入发展对线材生产提出了新的要求，就线材轧机的生产和建设而言，面临的任务十分艰巨，主要有优化工艺和设备、提高自动化控制水平、提高线材质量、增加和开发线材新品种等，从而达到提高产品的高技术含量、高附加值，增加产品的市场竞争力，以获取最高的经济效益的目的。高速线材生产线具有轧制速度高，盘重大和产量高的特点，整个轧制过程对机械化、自动化程度要求很高。随着计算机技术、网络通讯技术以及图形显示技术的发展，对自动控制系统方面的要求也有很大的提高。线材自动化控制水平的提高可以进一步改善操作人员的工作环境，降低劳动强度，减少人为因素对生产的干扰，保证线材生产和质量的稳定，优化生产工艺、过程和生产计划，从而降低生产成本，同时也有助于新产品的开发。而我国线材的自动化控制水平与国际先进水平相比仍然存在着一定的差距，因此开发研制高速线材自动化控制系统是摆在我们面前的一项紧迫的任务。尤其是首钢在线材生产方面的自动化控制水平相对落后，因此首钢总公司决定对首钢第一线材厂二车间进行改造，目的是将原有的复二重轧机改造成为全数字化的自动控制程度高的摩根五代技术的精品线材生产车间，以适应竞争日益激烈的线材市场和开发出高附加值的品种钢。所以结合首钢线材生产的实际情况和第一线材厂二车间改造的时机，通过总结消化吸收国内外先进技术，首钢自主研发高速线材自动化控制系统，这对提高我们的线材自动化控制水平和生产品种钢具有非常重要的意义，具有显著的经济效益和社会效益^[1]。

1.2 高速线材自控系统发展的作用与现状

进入20世纪90年代，在信息技术和控制技术的迅猛发展和广泛应用的推动下，钢铁工业向高精度、连续化、自动化、高效化快速发展，使钢铁生产工艺、产品和技术装备呈现出如下特点：（1）流程短、投资少、能耗低、效益高、适应性强和环境污染少的新技术、新工艺被不断应用。（2）提高产品的外形尺寸精度、改进表面形貌和改善内部质量的技术受到重视。（3）生产技术装备向大型化、现代化、连续化迈进。（4）信息技术、控制技术使检测和执行设备取代

了传统的人工操作，工艺参数的检测方法和检测仪表得到了高速发展。

在现代钢铁生产过程控制中，计算机技术的应用已深入各个领域，仿真技术在钢铁工业中日益广泛应用，不仅用于控制系统的培训和新工艺、新控制方法的研究，而且易于模拟生产设备调试，指导生产和参与生产。此外，可视化技术和监控系统为无人化工厂提供了条件：从现场总线到车间网、工厂网、企业网的综合网络系统构成了企业的信息高速公路^[2]。

从八九十年代开始，随着工业自动化过程控制理论和计算机技术的迅猛发展以及对工业自动化过程控制系统的可靠性、复杂性、功能的完善性、系统的可维护性、人机界面的友好性、数据的可分析可管理性等各个方面都提出了愈来愈高的要求，同时也为工处自动化过程控制系统的发展指明了方向：

- (1) 系统的处理能力应满足应用的需求，应保证迅捷的响应。
- (2) 系统集成中采用的各项软、硬件技术和产品都应具有开放性，遵循现有的各种国际标准或工业标准。
- (3) 系统界面又简洁友好、易学易用、可操作性强。
- (4) 系统规划设计应充分考虑系统的管理与维护，便于集中对系统上的设备进行监控^[3]。

目前，国内外高速线材生产线的控制系统均能够实现如下的一些功能：步进梁控制、对轧机各设备的联锁、微张力控制、活套控制、级联控制、模拟轧钢、自学习、水冷控制、轧件跟踪、飞剪控制以及复杂的计算等各项功能，均能达到了预期的目的。许多电气公司的产品都能够应用于高速线材生产线的基础控制级中。比如：西门子电气公司的SIMATIC S7系列，ABB公司的MASTER MRC集散型控制系统，施耐德公司推出的QUANTUM系统等^[4]。

当前国内的高速生产线基于成本等多方面因素逐步由全进口转入国产化设备，其中就包括自动化系统的研制，由于各单位水平参差不齐，对研制的自动化系统往往对适应国内设备生产线的控制或多或少存在控制精度差、设备运行不稳定、自诊断、检测不全面等问题，由此来看，我们国内在研制高速线材生产线自动化控制系统的同时，需要向具备完善的自检测、自诊断功能，完善自控系统本身稳定性以及适应不同品种生产的工艺要求等方面不断努力。

1.3 本论文研究的目的和主要内容

1.3.1 本论文研究的目的和意义

高速线材自动控制系统是高速线材生产的重要组成部分,利用先进的计算机技术、网络通讯技术、图形显示技术,设计出功能完善的自动控制系统,提高对线材整个生产过程的监视、操作、自动化控制水平,从而提高线材的生产效率和产品质量,是十分有意义的。首钢现有的线材生产线自动化水平相对比较落后,通过首钢精品线材自动控制系统的研制,大大地提高首钢线材生产的自动化控制水平,增加了首钢线材产品的品种、规格,提高了产品质量,生产出高附加值的产品,进而提高首钢线材产品的市场竞争力。同时,通过精品线材自动化控制系统的研制和应用,完成此项技术的成果转化,不断开拓国内市场^[5]。

本人参与完成了首钢第一线材厂二车间大修改造项目的自动化控制系统、仪表以及传动系统的设计和调试,选此题目为详细阐述首钢高速线材车间的控制系统硬件配置、软件设计和网络结构,通过利用加热炉自动控制系统、主轧线控制系统,实现了生产工艺设备的自动/手动操作及保护、步进梁精确控制、活套系统的稳定运行、水冷系统、监控画面动态显示、历史和实时趋势显示纪录、事故碎断系统等的设计过程。同时,在投入生产的过程中,又针对生产线发生的问题对设计进行了优化改造。

1.3.2 本论文研究的主要内容

本论文主要对自动化控制技术在高速线材生产中应用进行研究。在对高速线材工艺要求和控制要素了解的基础上,通过对控制对象的分析和工艺要求的研究对控制系统的硬件和软件进行合理的设计,实现整个线材轧制生产过程的全自动控制。同时,在本论文中还通过研究生产过程和工艺要求,从而通过分析提出有效的自动控制改造方案。

本论文研究的主要内容有:

(1) 对控制对象高速线材生产过程的研究

概要阐述了高速线材工序的生产过程、工艺要求,并在此基础上对高速线材的控制系统进行了详细的说明,从而为高速线材自动化控制系统的具体实现提出主要的控制目标。使我们对控制对象有一个清楚的认识和了解,以利于选取恰当的控制手段来实现各方面控制要求。

(2) 高速线材自动控制系统中所用到的技术的论述

在这次工程实践中, 自动控制系统的核心PLC选用Siemens公司S7系列产品, 本论文特别对其以下几方面应用技术进行了研究: PLC在步进梁上的精确控制、活套系统、水冷控制、事故碎断等方面的应用; 现场总线技术及工业以太网的应用, 介绍了它们的技术原理、控制思路, 以及应用特点。

(3) 高速线材自动控制系统的实现(硬件和软件)

在对高速线材工艺特性、监控要求分析研究的基础上结合Siemens公司S7系列产品的特性详细给出硬件配置及配置参数。在组态软件中我们采用Wincc上位机监控软件。

(4) 高速线材自动控制系统的优化与改造

针对当今高速线材研究的主要课题, 结合现场生产实践, 发现问题, 提出问题, 拿出解决方案, 具体研究了高速线材自动化控制系统的优化改造方案, 并说明运行情况。

第 2 章 高速线材的轧制工艺

2.1 高速线材的生产流程

北京首钢第一线材厂二车间大修工程高速线材工程设计年产量为 40 万吨。产品规格为 $\Phi 5.5 \sim \Phi 20\text{mm}$ 热轧光面圆钢盘条，最大设计速度 113.26m/s，保证速度 90m/s（轧制 $\Phi 5.5 \sim \Phi 6.5\text{mm}$ ）。坯料采用 $160 \times 160 \times 12000\text{mm}$ 连铸坯，坯料全部由首钢公司提供。产品目录如表 2.1 所示。

表 2.1 高速线材产品目录表
Table 2.1 High speed wire rod product catalog

产品品种	代表钢号	产品规格 (mm)				合计	比例 (%)	
		$\Phi 5.5 \sim 6.0\text{mm}$	$\Phi 6.5 \sim 8.0\text{mm}$	$\Phi 8.5 \sim 12.0\text{mm}$	$\Phi 12.5 \sim 20.0\text{mm}$			
优质碳素结构钢	钢帘线	B70Lx、B77Lx	10000			10000	2.5	
	胎圈钢丝	SWRH72AB	10000	20000		30000	7.5	
	预应力钢丝、钢绞线	SWRH82AB		50000	50000	50000	150000	37.5
冷镦钢	优质冷镦钢	B35VB、B20MnTiB		20000	20000	40000	10	
	一般冷镦钢	SWRCH10~20A		40000	40000	40000	120000	30
弹簧钢	汽车用途	60SiCr、55SiCr、50CrV	5000	5000		10000	2.5	
	一般用途	B65Mn、65Si2Mn		5000	15000	20000	40000	10
合计			25000	120000	125000	130000	400000	100
比例 (%)			6.25	30	31.25	32.5	100	

由炼钢车间运入的连铸坯在原料跨，将钢坯在钢坯架内一字码放。电磁起重机将钢坯成排吊运至上料台架上，每次吊运量 $160 \times 160\text{mm}$ 的最多为 8 根。钢坯堆垛使用电磁吊堆垛。

上料台架将钢坯逐根向前推进，钢坯逐根被放到入炉辊道上。钢坯在入炉辊道上运行至升降挡板处测长、称重，超长、超短及超弯钢坯由废钢剔除机构剔除，并在废钢收集槽中收集。合格钢坯通过炉内入炉悬臂辊送入加热炉内加热。

根据不同钢种的加热制度要求，钢坯在步进式加热炉内加热到 $950 \sim 1150^\circ\text{C}$ 。再根据轧制节奏的要求，由出炉悬臂辊将加热好的钢坯逐根送出炉外。钢坯通过高压水除鳞装置，以除去钢坯表面氧化铁皮。然后钢坯由出炉辊道送入粗轧机^[6]。

车间轧机共 28 架，分为粗轧、中轧、预精轧及精轧机组。其中粗轧机 6 架、中轧机 6 架、预精轧机 6 架、精轧机 10 架，全线共 28 个轧制道次。轧件依次进入各机组。全轧线为无扭轧制，在预精轧机组间、精轧机组前设活套装置，用于保证轧件的无张力轧制，以提高产品的尺寸精度。根据轧制程序表要求， $\Phi 5.5\sim 6.5\text{mm}$ 线材轧制 28 道次，其它规格则相应减少轧制道次。精轧机组为顶交 45° 无扭轧机，10 架轧机集体传动，采用碳化钨辊环，在精轧机组内轧件为微张力无扭轧制。根据生产规格的不同，轧件在精轧机组内轧制 2~10 道。保证速度为 90m/s（轧制 $\Phi 5.5\sim \Phi 6.5\text{mm}$ ）。

在粗轧机组后、中轧机组后及精轧机组前设飞剪(碎断剪)，用于轧件切头切尾和事故碎断；在粗轧机组前、预精轧机组、精轧机组前设气动卡断剪用于设备故障时卡断轧件，以保护设备。

精轧机组前设两段水冷段，以降低进入精轧的轧件温度。轧件温度控制范围为 $850\sim 950^\circ\text{C}$ 。

精轧机组轧出的线材，首先通过设有 5 个水箱的水冷段，将线材温度冷却至 $800\sim 900^\circ\text{C}$ ，然后再通过夹送辊进入吐丝机，形成螺旋状线圈，并落至散卷冷却线的辊道上。

散冷线为辊式延迟型，共分 13 段，设有保温罩和 12 台大风量冷却风机。可根据所生产线材钢种、规格以及对性能要求不同，调节冷却风机的开启台数和风量，对散卷线材进行缓冷或自然风冷，以获得符合力学性能要求的线材。冷却风机的风道中有 8 台带有手动佳灵装置，可以调节沿辊道宽度方向的风量分布；散冷线设有 6 个跌落段，以消除线圈搭接热点，保证整根线材力学性能均匀性。线材冷却到 $\leq 400^\circ\text{C}$ 时，落入带有双芯棒的集卷筒内。集卷筒带有布圈器，使线卷在芯棒上均匀分布。一卷线材收集完成后，分离指闭合将浮动芯棒托起，承卷芯棒即旋转至水平位置，由运卷小车将盘卷运送至 P & F 线的钩子上，同时另一芯棒旋转至垂直承卷位置，到位后分离指打开，继续收集下一卷线材。

盘卷在 P & F 线上继续冷却，并在运输过程中人工取样、检查。当盘卷运行至打捆机位置时，对盘卷进行压实、打捆。然后盘卷在电子秤处称重、挂牌。最后在卸卷站卸下，由电磁吊车吊运入库^[7]。生产工艺流程如图 2.1 所示。

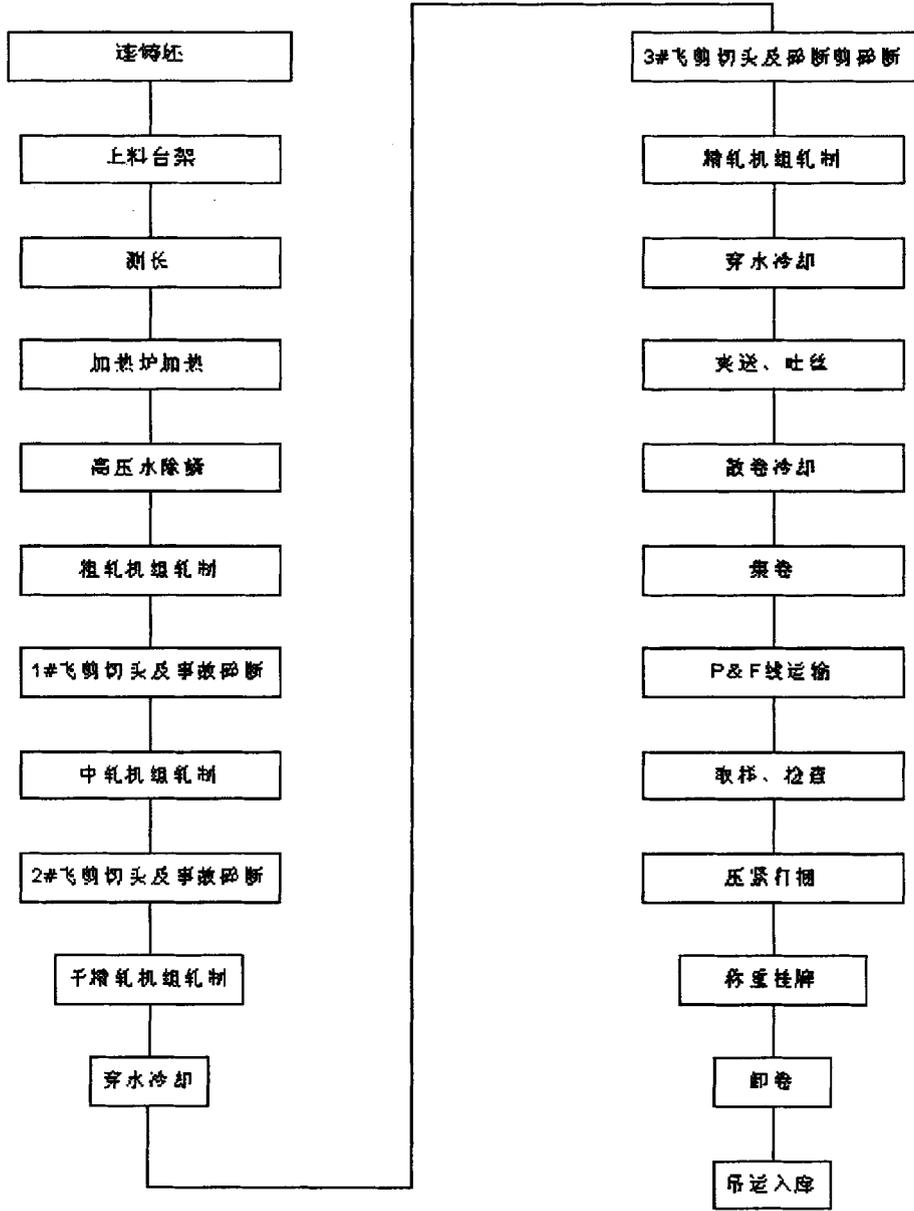


图 2.1 高速线材生产工艺流程
Fig. 2.1 High-speed wire production process

2.2 控制对象介绍

2.2.1 加热炉自动控制系统

该系统包括钢坯的上料、入炉对中定位、步进系统正循环和逆循环控制、出炉控制。

(1) 上料系统控制：主要完成上料台架、上料小车、受料辊道、称重辊道、入炉

辊道、入炉悬臂辊道、坯料的称重和测长、坯料对中的控制。

上料系统主要是将合格的方坯从上料台架运送到入炉悬臂辊道上，在运送过程中完成钢坯的测长和称重，判断钢坯是否合格，如果不合格，废料剔出，如果合格，完成坯料对中。整个上料系统程序流程如图 2.2 所示。

坯料对中的目的是为了使得钢坯入炉定位准确。在距离入炉炉口 2.1 米处装一台光栅，入炉悬臂辊上装有脉冲编码器，光栅检测到坯料尾部通过时，激活脉冲编码器开始计数，这样记数距离只有 3 米多；同时计数器中采用 A、B 脉冲 4 倍频的技术方式使得记数距离与实际距离误差大大减小。由于采用脉冲编码器计数定位，对中定位效果相当好。

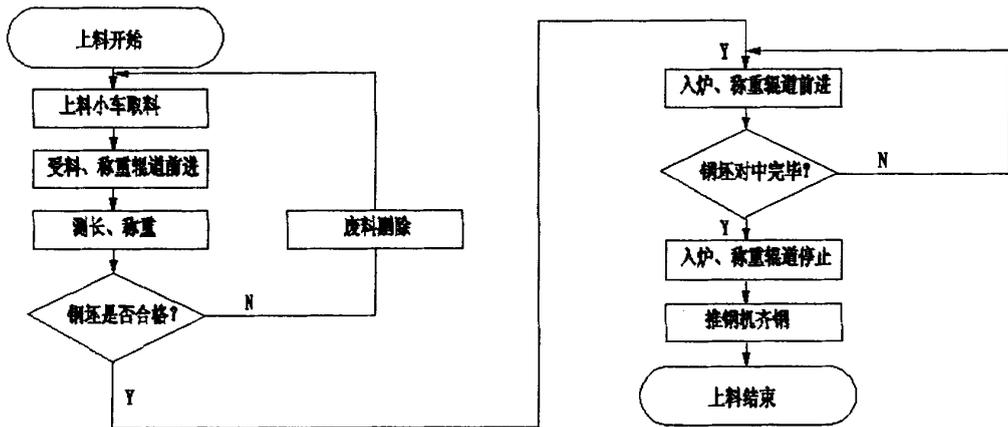


图 2.2 加热炉上料系统程序流程图

Fig. 2.2 Heating furnace feeding system program flow chart

(2) 步进梁控制：主要完成上升、下降、前进、后退、踏步、半升控制。这也是整个自动控制系统的重点和难点。

炉内步进梁的运行轨迹，采用分别进行平移运动和升降运动的矩形轨迹，步进梁的原始位置设在后下极限位置，步进梁在垂直上升过程中将钢坯从固定梁上托起至上极限位置，步进梁顶面由低于固定梁顶面升到高于固定梁顶面。步进梁前进一步，钢坯在炉内向前水平移动一个步距，平移结束，步进梁垂直下降，将钢坯放置在固定梁上。步进梁继续下降到下极限位置，然后向后水平移动一个步距，回到原始位置，完成一个步进动作。如此多次循环，钢坯从炉子装料端一步步向出料端移动，至出料炉门处钢坯已被加热到预定的温度。步进梁在运动过程中速度是变化的。其目的在于保证平移运动和升降运动的开始和停止，以及在固定梁上托放钢坯时能缓慢地进行，防止步进机械产生冲击和震动，避免钢坯底面在加热过程中出现缺陷和氧化铁皮脱落，损坏水管上的绝热材料。

步进梁的运动方式有以下几种情况：踏步：即步进梁只作升降运动，不做前进和后

退运动。当轧线短期停轧，为减少钢坯黑印，采用此功能，使钢坯与步进梁动梁和固定梁的接触时间相等；点动：主要用于调试和事故情况下，此时操作者可在循环的任何一点启动和停止步进梁，或者说单独运行升、降、进、退行程中的某一项；正循环：步进梁由原始位上升、前进、下降、后退完成一个周期运动，可以输送钢坯前进一个步距；逆循环：步进梁由原始位前进、上升、后退、下降完成一个周期运动，可以输送钢坯后退一个步距，主要用于事故倒钢；半升：即中间位置保持，当轧机停轧时间较长，炉子长时间不出钢时，为防止钢坯下弯，要求步进梁动梁上表面与固定梁上表面停在一个标高处，即动梁与固定梁同时支撑钢坯。

由循环的起点为“1”位启动。

正循环的位序：“1”位启动：1→2→3→4→1

逆循环的位序：“1”位启动：1→4→3→2→1

另外步进梁还有如下功能：

- 1) 步进梁与固定梁之间有慢速交接钢坯的功能（即“轻托慢放”）。
- 2) 步进梁只做升降不作进退的功能（称“踏步”），位序为1→2→1。
- 3) 步进梁在“0”位可长期停留，当由于某种原因停留位置发生漂移且达到一定程度（ $\leq 25\text{mm}$ ）时，系统有自动复位的功能。

步进梁的行程：

升降：200（100+100）mm

平移：可调，最大300mm

步进周期：38sec

步进梁动作与前后设备的连锁：

- 1) 步进梁的升降与平移绝对不能同时进行
- 2) 步进梁在4~1位之间（包括1、4位）不影响任何设备动作。
- 3) 步进梁从0→2→3位时，装料辊道不能装料，推钢机在原位。

（3）步进梁的结构形式

传动机械主要有三种：偏心轮式、拉杆托辊式和双轮斜辊式。偏心轮式的升降运动由电动机带动，平移运动则使用液压缸，因而按其传动方式又称作组合方式；后两种按其传动方式又称全液压方式^[8]。人们对这三种机械在操作维护方面的评价并不完全一致，本系统采用的是双轮斜辊式。

双轮斜辊式传动机械有两层互相独立的框架，上层是平移框架，下层是升降框架。由于多用了一层轮组，所以炉子基础比曲柄摇杆式深1m左右，但便于安装调整，易于

配置良好的定心装置。升降框架是一个整体结构，框架上下各有若干个带有自调心轴承的轮子，在炉宽方向分两列布置。下面的轮组可沿固定在基础上的斜轨座运动，上面的轮组支承整个平移框架。下定心装置安装于升降框架和炉子基础上，上定心装置安装于升降框架和平移框架上，使炉底框架等沿炉子中心线运动，减少钢坯在炉内的跑偏量。步进梁的多个立柱和水封槽被牢固地固定在平移框架上，随平移框架而运动，因此平移框架须按布满最大规格的钢坯设计并考虑设备自重。升降框架除承受上面轮组传递的载荷外还需要考虑设备自重。每一个框架都由大型型钢制成，为了承受载荷和液压缸产生的水平应力和垂直应力，框架上有横梁和斜撑。刮渣板则固定在炉底钢结构上。升降运动由一对液压缸驱动，它们靠整体升降框架的刚性同步；水平框架的运动由一只液压缸驱动。加热炉步进梁液压系统如图 2.3。以往轮子的中心距在 2500mm 左右，使炉子下部空间比较拥挤，现在多为 5000—6000mm，和另外两种传动机械的步进框架的距离相近。轮子的中心增大后，轮组间有足够的空间，改善了炉底作业的环境，便于设备维修。另外，斜轨座轨道端部设安全止挡，升降液压缸的设计是超行程的，检修时可使框架下降，靠止挡支承，液压缸处于无负荷状态，易于液压缸的拆装。

运行时由一对升降液压缸推动下面的轮组开始提升运动，提升过程完成后一个平移液压缸活塞杆伸长使平移框架移动规定的步距，升降液压缸活塞杆缩回，整个框架降低；平移液压缸活塞杆缩回使平移框架回到初始位置。步进梁作升降运动期间平移液压缸被锁定，作平移运动期间升降液压缸被锁定。升降缸与平移缸都和相应的框架相连并固定在炉子基础上。在平移液压缸和升降液压缸上装有线性位移传感器，通过 PLC 可实现精确定位，并可实现位移误差的自动补偿，实现同步运行。当钢坯在步进梁和固定梁之间转移时，液压控制使上升和下降运动速度减慢使钢坯对滑轨的冲击力最小。这种形式的步进机械也能将步进梁、步进框架及步进机械分成两段，既能实现前后两段步进梁的分段运动，又能实现同步运动。

(4) 出炉系统控制：通过出炉悬臂辊道和出炉辊道将加热后的钢坯运送到 1#轧机直至咬入。

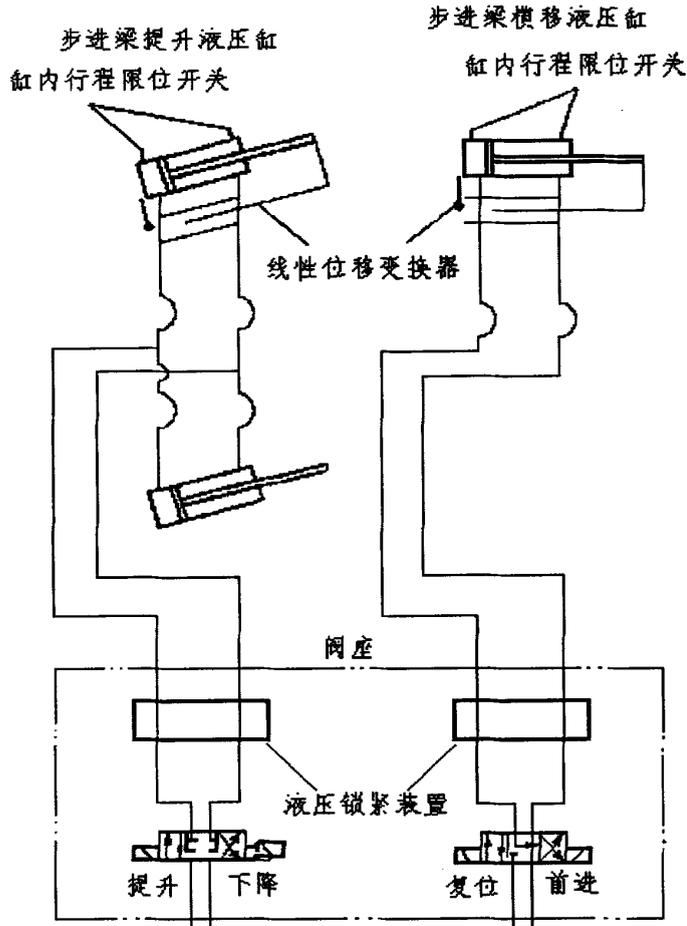


图 2.3 加热炉步进梁液压系统

Fig. 2.3 Hydraulic system of walking beam heating furnace

2.2.2 轧线控制系统

(1) 主轧线主辅传动的启停车控制

轧线启停车分为全线启\停、区域启\停、单机启\停。启停车时间为 15s，急停时间为 5s。各检测点信号正常，设备方可启动。检测点发出故障信号时，轧机延时或立即停车。

(2) 轧机速度级联调节

以成品机架为基准机架，逆轧制方向调节。以精轧机为基准机从 5# 轧机开始全线轧机为逆调；1~4# 轧机与其它轧机脱头，以 4# 轧机为准逆调；夹送辊、吐丝机与精轧机之间为顺调，以精轧机的速度为基准，当精轧变速时，夹送辊，吐丝机必须同步按比例调速。级联逆调设有快速、慢速二种变速方式，调整量分别为：慢速=额定值 0.25%/s，快速=额定值 1%/s。调速率在实际中可修改。

——单动单调：设备单独启车，调整至设定转速，必要时进行单独微调，不影响其它轧线设备转速。

——联动联调：在级联调模式下，可以以任意机架为基准，对该轧机及其上游设备进行级联调节。

(3) 活套系统的控制

预精轧前水平活套、精轧前水平活套、预精轧间立式活套活套调节方式为全线级联逆调，按比例积分方式进行调节。活套投入数量及套量由操作台给定。

1) 起套控制

当满足下列条件之一时 1#~7#活套的推套器推出，同时活套扫描器投入使用，上游机架级联升速：

活套扫描器检测到轧件头部并达到设定延时时间。

自动起套时间程序：当热金属检测器与下游轧机中心线相对位置确定后，起套延时时间（T）需系统自动确定。公式如下：

$$T=(S+0.5)/V \quad (2.1)$$

式中：

S——热金属检测器与下游轧机中心线的距离

V——上一轧机实际线速度（计算机系统自动给出）

当活套下游第一个机架的电流值超过空载电流的 2 倍时。

活套最大调节量为套高设定值的 $\pm 30\sim 50\text{mm}$ 之内。活套自动调节量非特殊给定一般为轧机设定转速的 $\pm 5\%$ 。此调节量可根据实际情况进行修改。

2) 收套控制

当满足下列条件之一时推套器收回，活套扫描器推出调节，活套退出同时上游机架级联降速，3#、7#水平活套的夹尾器投入使用，待轧件尾部离开活套后夹尾器复位：

前一个活套扫描器检测到轧件尾部

前一个机架的电流值恢复到空载电流值时

3) 活套参数

1#活套为立式活套，套量控制在 250~350mm 范围内，设定值为 300mm；

2#活套为立式活套，套量控制在 250~350mm 范围内，设定值为 300mm；

3#活套为水平活套，套量控制在 350~450mm 范围内，设定值为 400mm；

4#-6#活套为立式活套，套高控制在 100~200mm 范围内，设定值为 150mm；

7#活套为水平活套，套高控制在 350~450mm 范围内，设定值为 400mm。

(4) 飞剪自动控制

飞剪的工作制度：启停式

飞剪的控制内容：剪刀的位置、剪切长度、剪切速度

剪切速度：飞剪的剪切速度的设定以前一架架的线速度为基准，乘以一超前系数1.0~1.5。超前系数精确到1%。

1) 1#飞剪：

手动切头（尾）；

自动切头（尾）：设定切头（尾）长度，计算机根据前一架轧制速度及热金属检测器感光时间，计算飞剪切头（尾）启动时间，以保证飞剪切头（尾）长度（150~800mm）。事故时用于碎断轧件。

自动切头程序：当热金属检测器与剪刀中心线相对位置确定后，热金属检测器检测到轧件头部，自动切头延时时间（T）需系统自动确定。公式如下：

$$T = (S + L) / V \quad (2.2)$$

式中：

S——热金属检测器与剪刀中心线的距离

L——切头长度

V——上一轧机实际线速度（计算机系统自动给出）

自动切尾程序：当热金属检测器与剪刀中心线相对位置确定后，热金属检测器检测到轧件尾部，自动切尾延时时间（T）需系统自动确定。公式如下：

$$T = (S - L) / V \quad (2.3)$$

式中：

S——热金属检测器与剪刀中心线的距离

L——切尾长度

V——上一轧机实际线速度（计算机系统自动给出）

剪切精度：0~10mm

调速方式：逆调

2) 2#飞剪：

手动切头（尾）；

自动切头（尾）：设定切头（尾）长度，计算机根据前一架轧制速度及热金属检测器感光时间，计算飞剪切头（尾）启动时间，以保证飞剪切头（尾）长度（150~800mm）。事故时用于碎断轧件。

切头（尾）时间计算公式同上。

剪切精度：0~20mm

调速方式：逆调

3) 3#飞剪及碎断剪

工作方式：3#飞剪启停式，碎断剪连续式。

手动切头（尾）；

自动切头（尾）：设定切头（尾）长度，计算机根据前一架轧制速度及热金属检测器感光时间，计算飞剪切头（尾）启动时间，以保证飞剪切头（尾）长度（400~1200mm）。事故时转辙器自动由切头位转入碎断位由碎断剪碎断轧件。

切头（尾）时间计算公式同上。

剪切精度：0~50mm

调速方式：逆调。碎断剪速度始终与3#飞剪速度相同且保持同步。

（5）冷却工艺装置的控制

控制冷却装置的控制冷却程序设计为逻辑系统控制。在操作台控制水箱的投入/退出选择、水箱中喷水嘴投入数量的选择。水箱投入后的自动开水及关水时间由逻辑系统自动给定。

预水冷段的控制：分别控制两段水箱的投入/退出选择、水箱中喷水嘴投入数量的选择、水箱投入后的自动开水及关水时间的设定（时间由系统自动给定）。

预精轧机组后热金属检测器检测到轧件头部后延时，一段水箱自动开水，再延时启动二段水箱。当预精轧机组后热金属检测器检测到轧件尾部后延时，一段水箱自动（时间由系统自动给定）关水，再延时关闭第二段水箱。

精轧后水冷的控制：分别控制5段水箱的投入/退出选择、水箱中喷水嘴投入数量的选择、水箱投入后的自动开水及关水时间的设定。

精轧后水箱自动开水及关水时间的设定。

（6）模拟轧制

用于检测轧线设备及电气化仪表等是否具备过钢条件。

（7）轧件跟踪

在主画面仅显示轧件在轧制过程中的轧件运行情况。

（8）换辊的操作与控制。

（9）收集系统的控制。

（10）轧制程序及控制冷却程序的存储、调用、修改及删除。

主控室需存贮 300 条轧制程序, 500 条冷却程序, 从内存可调用任一轧制或冷却程序, 经修正后用于生产, 并能重新命名存贮下来。旧程序可将其删除。

轧制程序的个别参数的修改由键盘输入完成, 其余相关计算由计算机自动完成(含如换辊后工作辊径变化引起的轧制程序变化等在内)。

2.2.3 状态记录及事故碎断系统

系统要求对设备历史趋势和设备故障记忆量为 27 天。故障显示内容如下: 粗轧、中轧的电气、润滑故障的分类显示, 报警。精轧、预精轧的电气、润滑故障及冷却水故障的分类故障显示, 报警。1~3#飞剪、1#~3#卡断剪、精轧机内拉线开关和精轧机保护罩的分类故障显示, 报警。夹送辊, 吐丝机, 斯太尔摩线辊道, 风机, 集卷站电气、润滑、水箱中压反冲水压力故障的分类报警显示。轧区各稀油润滑站故障、各液压站故障、精轧机油气润滑系统、冷却水系统故障等分类报警显示。主传动电机转数超过 95% 时的超速报警。

故障处理:

(1) 粗、中轧机重故障(润滑站重故障、润滑油参数不正常、电机温升过高、电气故障等), 设备不能启车, 轧制中该设备, 自动通知加热炉仪表室停止要钢, CS2 操作台面报警灯亮并伴有警报声音。轻故障时, 轧机不停车, 自动通知加热炉仪表室暂停要钢, CS2 操作台面报警灯闪烁。

(2) 精轧机重故障(润滑站重故障、润滑油参数不正常、电机温升过高、电气故障等), 该机架不能启车; 在轧制中则停车, 同时 2#卡断剪卡断, 2#飞剪转入碎断, 3#飞剪转辙器转入碎断位碎断剪进行碎断, 3#卡断剪自动卡断。自动通知加热炉仪表室不再进钢, CS2 操作台面报警灯亮并伴有警报声音。

(3) 当斯太尔摩线首段辊道出现传动故障、精轧机内拉线开关拉线断发出憋钢信号时, 精轧机立即自动停车, 3#卡断剪自动卡断, 2#飞剪自动碎断, 2#卡断剪卡断, 3#飞剪转辙器自动转入碎断位碎断剪自动进行碎断, CS2 操作台面报警灯亮并伴有警报声音, 同时自动通知加热炉仪表室, 不再出钢。

(4) 当精轧机、夹送辊、吐丝机设备出现传动故障后, 2#、3#卡断剪自动卡断, 2#飞剪自动碎断, 3#飞剪转辙器自动转入碎断位碎断剪自动进行碎断, CS2 操作台面报警灯亮并伴有警报声音, 同时自动通知加热炉仪表室, 不再出钢。

(5) 凡预精轧处于停车状态时, 2#卡断剪必处于闭合状态。预精轧机启车运行达到设定值时, 2#卡断剪自动打开。启车后卡断剪未打开, 则为卡断剪故障, 由计算机画

面显示卡断剪故障。

(6) 凡精轧机组及其以后任一设备处于停车状态时, 3#卡断剪必须处于闭合状态。精轧机及其以后设备全部启车运行达到设定值时, 3#卡断剪自动打开。启车后卡断剪未打开, 则为卡断剪故障, 由计算机画面显示卡断剪故障。

由上述对高速线材自动控制工艺要求的分析, 我们可以看到, 高速线材生产作业过程较为复杂、自动化程度要求较高、生产的安全保安要求很高而且影响生产的因素很多。因此采用 PLC 集中控制是一个比较好的选择, 此外, 现场设备较为分散, 可以采用工业现场总线技术把各个 PLC 的控制点联系起来集中控制, 从而完成高速线材生产的控制和监控。

第 3 章 控制系统的设计

3.1 控制系统的功能设计

3.1.1 控制目标分析

首钢第一线材厂二车间高线自动控制系统功能与技术应满足下列目标：

- (1) 加热炉区设备自动控制。
- (2) 主轧线设备自动控制，如轧机启停控制，飞剪自动控制，活套自动控制，水冷自动控制，轧线设备状态显示以及事故碎断自动控制等。
- (3) 系统支持实时以及历史趋势显示、报警储存等功能。

3.1.2 控制系统的实现方式

高速线材生产线距离长、控制设备多、分布广，唯有通过现场总线技术才能较好的完成整个控制功能的实现。整个自动化控制系统网络配置如图 3.1 所示。

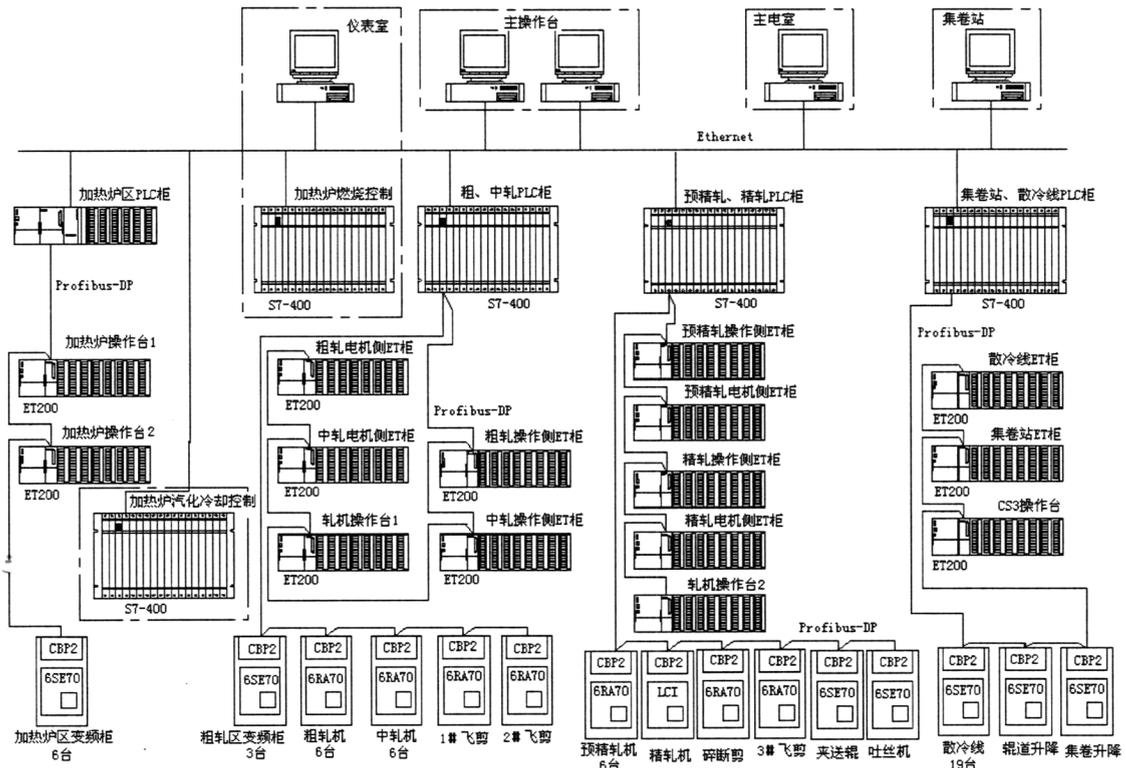


图 3.1 精品线材自动化控制系统网络图

Fig. 3.1 The fine wire automatic control system network diagram

全轧线共设三个主控台和 10 个机旁箱来满足生产需要。

(1) CS1 主控台控制:

1) 主操作台 (出料侧)

主操作台上设置的操作和显示: 步进梁升、进、降、退、半升、踏步、正循环及逆循环等操作按钮; 出料炉门开启、关闭操作按钮; 出料辊道正转、停、反转多位手柄操作开关; 点动/单动/自动转换开关; 步进梁操作地转换开关; 操作状态及位置显示; 正常/故障等声光显示。配置电气常规灯钮。

2) 装料操作台

装料操作台上设置的操作和显示: 装料炉门开启、关闭操作按钮; 装料辊道正转、停、反转多位手柄操作开关; 装料推钢机推钢、返回操作按钮; 点动/单动/自动转换开关; 步进梁允许操作显示灯; 操作状态及位置显示; 急停按钮。配置电气常规灯钮。

(2) 机旁箱布置及控制内容

以 1#机旁箱 (CT1) 为例: 所控制设备 1H 前卡断剪, 1H、2V、3H、4V 轧机。主要完成以下功能:

近程/远程开关处于近程位时, 主控室 CS2 无法启动轧机, 近程操作机旁箱上所有开关有效。1) 近程/远程选择; 2) 卡断剪开启/闭合; 3) 机架选择; 4) 轧机正反转爬行及零位; 5) 机架夹紧/松开; 6) 主轴托架夹紧/松开; 7) 机架提升机构上升/下降; 8) 轧机冷却水开/闭; 9) 机架横移前进/退出; 10) 横移缸到操作侧位显示; 11) 横移缸到传动侧位显示; 12) 横移缸到后极限位显示; 13) 灯测试; 14) 机架提升快/慢速选择; 15) 压下装置控制抬起/压下; 16) 机架提升装置到上极限位显示; 17) 机架提升装置到下极限位显示; 18) 机架提升装置到拔托架销子位; 19) 换辊小车前进/退出; 20) 换辊小车到前极限显示; 21) 换辊小车到后极限显示。

(3) CS2 主控台控制:

1) 控制设备:

粗轧机 6 架, 1#飞剪, 中轧机 6 架, 2#飞剪、预精轧机 6 架, 预精轧机前立活套, 预精轧间水平活套, 预精轧间立式活套, 精轧前水平活套, 3#飞剪, 预水冷线, 精轧机组, 水冷线, 夹送辊, 吐丝机, 斯太尔摩线, 冷却风机, 轧区所有的液压、润滑站, 1#、2#、3#卡断剪。

2) 控制内容:

启停车：分全线启停、区域启停、单机启停。

全线启车：从零速到设定的轧制转速时间为 15s；

全线停车：从工作转速到零时间为 15s；

区域启停车：粗轧、中轧、预精轧、精轧区域各自独立的启车从零到设定转速时间均为 15s，停车时间为 15s。

单机启停车同区域启停车。

全线、区域、单机急停从工作转速到静止时间为 5s；

粗轧机 6 架的启、停及单机架速度微调；

中轧机 6 架的启、停及单机架速度微调；

预精轧机 6 架的启、停及单机架速度微调；

夹送辊、吐丝机的启停及速度微调；

精轧机组的启、停及速度微调；

1#、2#、3#飞剪的启停及速度微调；

散卷冷却线辊道、风机的启、停及投入数量的选择、变频风机转速的调节、各段辊道速度的设定，辊道速度级联/单独微调及级联关系调整。

轧制过程中轧件跟踪、报警及事故处理；

速度基准值的设定；

速度基准值根据轧制程序表设定，以精轧机为基准机架进行速度调节。

速度设定可依换辊、换槽以及辊缝补偿调节及活套的删选等由操作者人工修改，但原程序值不变。

夹送辊的速度基准值的设定以精轧机的出口机架线速度为基准，乘以一个修正系数，一般夹送辊速度超前 0.9~1.1（夹尾），1.0~1.10（全夹及夹头）。

吐丝机的速度设定以夹送辊速度为基准，乘以一个修正系数（1.00—1.10）。

1~3#飞剪手动/自动转换；在操作台的画面上输入切头长度值，此值参与飞剪的时序控制。1~2#飞剪切头长度 150~800mm，3#飞剪切头长度 300~1000mm。

速度的级联调节；

以精轧机为基准机架，全线为逆调；

级联逆调设有快速、慢速二种变速方式，调整量分别为：慢速=额定值 0.25%/s，快速=额定值 1%/s。速率应可在实际生产中修改。

精轧机，夹送辊，吐丝机之间为顺调，以精轧机的速度为基准，当精轧变速时，夹送辊，吐丝机必须同步按比例调速。

夹送辊的工作方式:

尾端夹送工作制;

全程夹送工作制;

头部夹送工作制;

轧制程序及控冷程序的存贮及调用:

调出轧制程序时应使其出口线速度,各架速度等参数直接进入控制系统,进行轧制过程控制。

轧制程序调出以后,亦可以在操作台通过操作键进行修改,且保持原存贮程序不变。

轧件不冷却长度:设定一个控制水箱开、停数量和延时时间,以控制轧件头部、尾部和不冷却长度。

水箱、水量、风机及辊道速度的设定。

活套的控制:活套投入运行数量的选择、套量由操作台数字分别给定。

油气润滑系统的启、停连锁。

夹送辊、吐丝机的启/停。

1~3#飞剪的启/停(工作状态常开)

与加热炉仪表室之间的出钢信息交换,轧线发生事故时,加热炉仪表室控制加热炉不能出钢。

操作台需要的信号:

加热区,1~28#轧机,飞剪,水箱,夹送辊,吐丝机,散卷冷却线辊道,散卷冷却线冷却风机的启、停、故障信号。

加热区,粗轧,中轧的电气故障,急停及冷却水故障的分类显示,报警。

精轧,预精轧的电气故障,急停及冷却水故障的分类故障显示,报警。

1~3#飞剪、卡断剪的分类故障显示,报警。

夹送辊,吐丝机,斯太尔摩线,集卷站电气故障的分类报警显示。

轧区各稀油润滑故障,各液压站故障,冷却水系统故障等分类报警显示。其中,粗、中轧润滑站、预精轧润滑站、精轧润滑站、集卷液压站、精轧主电机润滑站的故障报警信号根据一线材要求在故障显示画面中显示出报警的故障点名称原因,例如:油温过高、过滤器堵塞等。

电机转数超过95%时的超速报警。

轧线的所有事故停车,急停。

(4) 主控台 CS3 控制:

完成收集区域散冷辊道、提升指、分离指、承卷平台、芯棒、收料小车等设备的控制。

3.1.3 加热炉设备控制设计

(1) 上料系统控制: 主要完成上料台架、上料小车、受料辊道、称重辊道、入炉辊道、入炉悬臂辊道、坯料的称重和测长、坯料对中的控制。

上料系统主要是将合格的方坯从上料台架运送到入炉悬臂辊道上, 在运送过程中完成钢坯的测长和称重, 判断钢坯是否合格, 如果不合格, 废料剔出, 如果合格, 完成坯料对中。

坯料对中的目的是为了使钢坯入炉定位准确。在距离入炉炉口 2.1 米处装一台光栅, 入炉悬臂辊上装有脉冲编码器, 光栅检测到坯料尾部通过时, 激活脉冲编码器开始计数, 这样记数距离只有 3 米多; 同时计数器中采用 A、B 脉冲 4 倍频的技术方式使得记数距离与实际距离误差大大减小。由于采用脉冲编码器计数定位, 对中定位效果相当好。整个上料系统程序流程如图 3.2 所示。

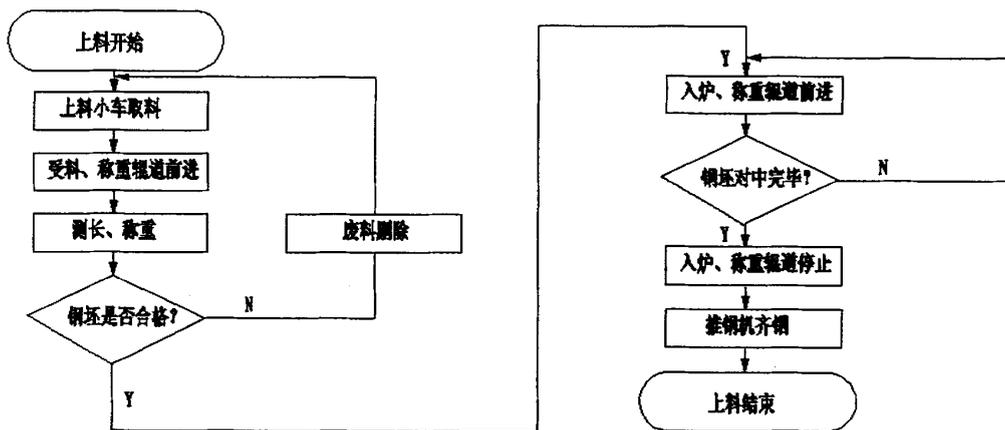


图 3.2 加热炉上料系统程序流程图

Fig. 3.2 Heating furnace feeding system program flow chart

(2) 步进梁控制: 主要完成上升、下降、前进、后退、踏步、半升控制。这也是整个自动控制系统的重点和难点。

炉内步进梁的运行轨迹, 采用分别进行平移运动和升降运动的矩形轨迹, 步进梁的原始位置设在后下极限位置, 步进梁在垂直上升过程中将钢坯从固定梁上托起至上极限位置, 步进梁顶面由低于固定梁顶面升到高于固定梁顶面。步进梁

前进一步，钢坯在炉内向前水平移动一个步距，平移结束，步进梁垂直下降，将钢坯放置在固定梁上。步进梁继续下降到下极限位置，然后向后水平移动一个步距，回到原始位置，完成一个步进动作。如此多次循环，钢坯从炉子装料端一步步向出料端移动，至出料炉门处钢坯已被加热到预定的温度。步进梁在运动过程中速度是变化的。其目的在于保证平移运动和升降运动的开始和停止，以及在固定梁上托放钢坯时能缓慢地进行，防止步进机械产生冲击和震动，避免钢坯底面在加热过程中出现缺陷和氧化铁皮脱落，损坏水管上的绝热材料。

步进运动的行程和速度控制是相当关键的。步进梁升降或平移运动是把 PLC 输出的电压值加在比例阀的放大器上，通过控制比例阀阀芯的开口度，从而控制液压缸油流的流量，驱动液压缸运动，与此同时，液压缸中的位置传感器将活塞的位置反馈给 PLC，在下一次动作时对上一次行程进行修正。步进梁运动控制基本控制原理如图 3.3 所示。

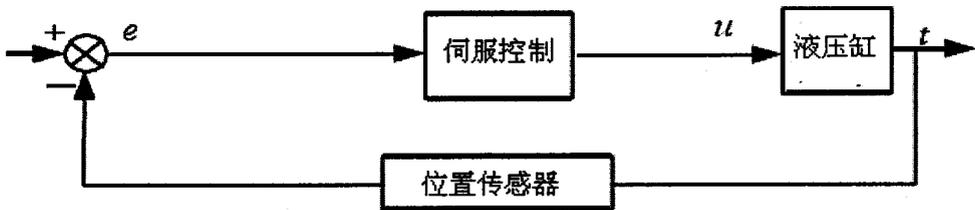


图 3.3 步进梁液压控制原理图

Fig .3.3 Walking beam hydraulic pressure control principle diagram

步进梁的行程和钢坯入炉前的弯曲程度、坯料的宽度以及坯料之间的间隙有关，一般是 160—300mm，它还要和炉子的有效长度相配合。移动速度通常是 30—100mm/s。提升速度慢些有利于减小提升过程中的炉底震动和电动机功率。有时为了节能和缩短步进周期，让步进梁在下降和后退时的速度尽量快些。坯料宽度相差较大时，必要情况下步进梁可以有几种步进行程。步进框架及步进机械分两段时，加热段和均热段液压缸的平行行程往往是预热段液压缸平移行程的 1—2 倍。只有一套步进机械时钢坯在炉内的最大移动速度就是平移行程和最短步进周期之比，此速度必须和装出料机械的节奏和炉子的产量协调。液压系统中采用比例阀，可以很方便的进行加减速控制，在升降行程和平移行程的起点和终点，做到炉底设置缓慢启动、平稳停止；在升降行程中部，实现坯料的轻托轻放。

为了控制炉底机械运行的位置，可以采用无触点开关、光电开关、限位开关、液压缸内置或外置线性位移传感器等。为了减小钢坯跑偏，除了设置定心装置外，

步进梁传动机械的制造和安装时要求保证规定的精度，左右两套升降机构必须要求同步(使用同步轴、同步液压缸、同步油马达、伺服阀等)，装钢时尽量按中心线对称布料。

设计中提升行程检测采用 LH 型内置式位移检测装置(液压缸自带)，行程值：940mm，电源：DC 24V，输出信号：4-20mA；控制方程式为 $Y1=X1 \times \sin 13^\circ$ (Y1：框架上升量；X1：提升缸位移量)

平移行程检测装置也采用 LH 型内置式位移检测装置(液压缸自带)，行程值：350mm，电源：DC 24V，输出信号：4-20mA；控制方程式为 $Y2=X2$ (Y2：框架平移量；X2：提升缸位移量)

本控制系统总升降行程为 200mm，平移行程为 300mm，运行周期为 38S。加热炉的步进梁控制是加热炉控制的重点，步进梁控制不仅要求移动的距离精度高，而且动作既要快同时又要平稳，步进梁与固定梁之间有慢速交接钢坯的功能(即“轻托慢放”)步进梁的升、进、降、退动作互为连锁关系，间隔 0.5 秒允许其一动作，严禁出现重叠动作，步进运行要具有纠偏功能。通过程序实现了步进梁的动作曲线模型，同时在软件上采用每步补偿法，把补偿分配到了具体的每一次周期动作中，用下一周期的动作补偿前一周期的动作，即用固定步距加上当前实际动作步距与给定步距的偏差作为下次动作的位置给定，同时把前进速度曲线的最后减速拐点看成一个变量，让它随着步距的补偿改变，而减速斜率不变，这样就形成了步距和时间的双补偿，更好地保证了动作周期和动作精度的要求。使得平移距离精度很高，单步控制精度小于 2mm。而纵向跑偏也不超过 10mm，符合国家黑色冶金行业标准 YB/T018-92 中坯料在炉内移动时其跑偏量应满足《步进梁式加热炉技术条件》的规定，即步进梁式加热炉钢坯跑偏位移差均不应大于步进炉有效炉长的千分之一。

步进梁的动作过程中，既要满足时间的要求，又要满足平稳的要求，如果速度斜坡过陡，步进梁将产生一个较大的加速度，直接影响步进梁的运动稳定性，产生振动，长期将缩短机械设备的使用寿命。所以在调试的过程中，我们不断的改变输入到比例阀放大器的电压曲线，使步进梁升降运动曲线的速度斜坡变缓，即减小步进梁的加速度。但是，为了满足生产时间的要求，又必须保证步进梁具有一定的速度，经过多次的修正、试验，我们调试出合理的速度位移曲线。步进梁在矩形轨迹上的运行速度变化曲线如图 3.4 所示。

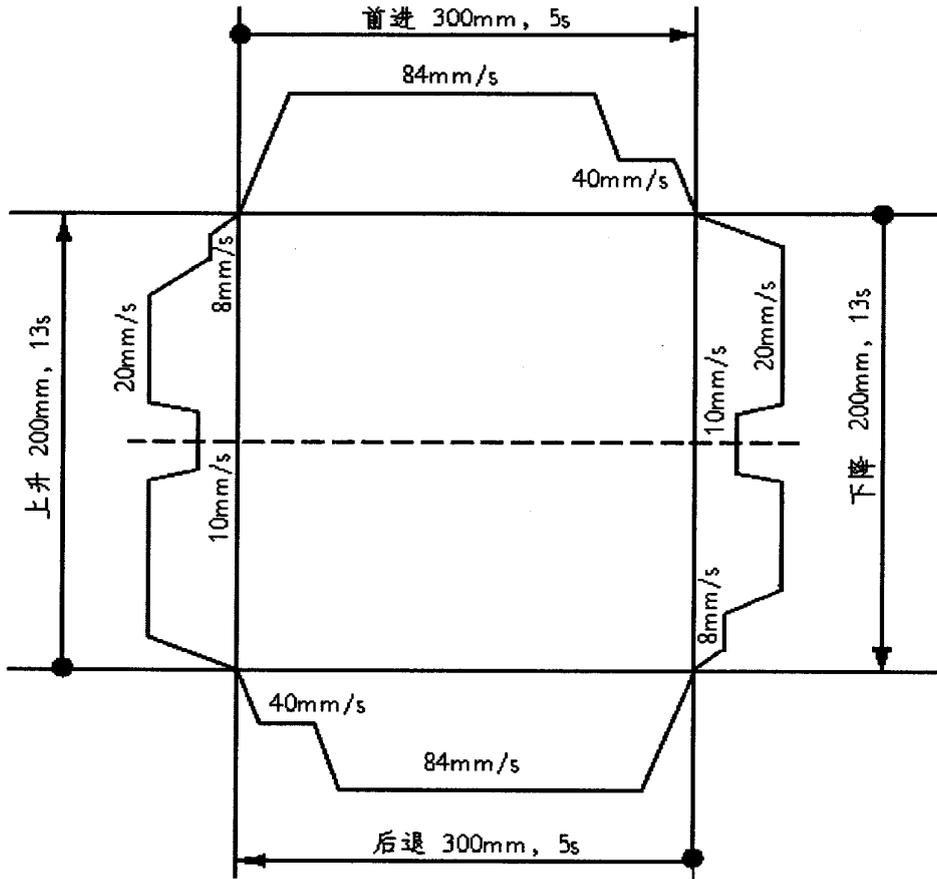


图 3.4 步进梁步进周期内运行速度变化曲线

Fig .3.4 Walking beam step period of variation of the running speed curve

为了提高平移行程的控制精度，就必须需要输出信号以及反馈输入信号的精确、稳定，经过考察和筛选，对平移液压缸的比例放大器采用进口的带位置闭环的比例放大器，型号是力士乐公司的 VT 11077-2X 型，控制框图如图 3.5^[9]所示，比例阀采用带电位移反馈的先导式比例阀。该比例放大器具有差动输入、斜坡发生器、感应式位移测量值的振荡器和解调器、阀芯位置控制用的 PI 调解器、两个互锁输出端口及释放开关等。

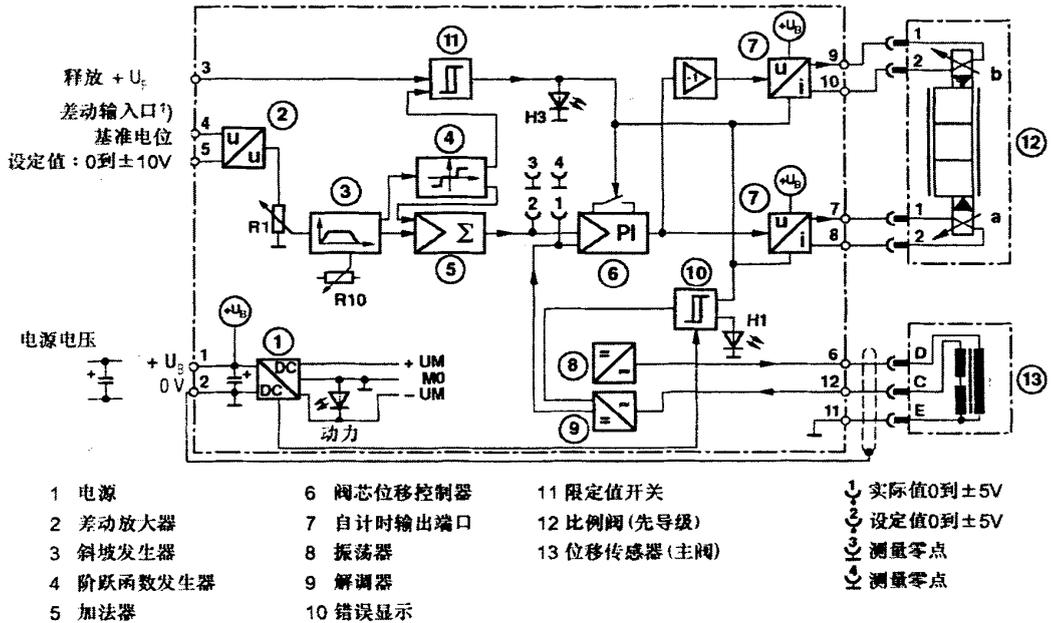


图 3.5 比例放大器控制框图

Fig. 3.5 The proportional amplifier control block diagram

3.1.4 活套系统的控制设计

在高速线材轧机中，不论单线还是双线轧机，为保证轧出优质线材，其主要因素之一是要保证预精轧各机架之间、中轧和预精轧机间以及预精轧和精轧机间实现无张力轧制。由于轧制速度快以及其它方面原因的影响，要完全靠两机架本身的调速控制系统来保证无张力轧制而又不堆钢是难以实现的，因此，在这些机架之间设置活套控制环节，保证轧件在这些机架间有一定的套量下进行轧制，以实现无张力轧制的要求，多活套控制也是本系统的重点和难点。活套的形式根据工艺布置有二种。一种是水平活套，即活套构成的平面与水平面平行，套的形成是靠调节相应机架的速度自由形成或靠推套辊帮助起套，它对套量的存贮相对要大些；另一种是立活套，即活套构成的平面与水平面垂直，立活套由推套辊帮助起套并靠推套辊支撑^[10]。

(1) 活套控制系统的组成 活套控制系统主要实现预精轧、精轧区轧机之间的无张力轧制的控制。活套系统由 7 个活套组成，包括 5 个立活套和 2 个水平活套。

一个活套控制环节主要由三大部分组成：活套调节部分、逻辑控制部分和实际套量检测部分即活套扫描器。

活套调节部分主要是由 PID 调节器构成，其作用是对实际套量进行调节，改善系统的动态性能。活套设定为套高，通过模型计算转为套量给定。活套反馈信号经计算，也转换成套量信号。

调节器输出改变机架速度，保证活套稳定。

活套的逻辑控制部分用于处理活套调节的逻辑联锁关系和顺序控制。

活套扫描器是套量的检测元件，它的灵敏度和精度直接影响着活套控制系统能否正常工作。

1) 套量的计算

活套量一般定义为物料活套的弧长减去此弧对应的弦长。虽然人机接口设定的活套控制参数为活套的高度，但为了提高控制精度在活套控制系统中把套高转换成套量来进行控制，在实际程序运算中，也是按照套量作为算法的控制对象。

下面我们来分析套量与活套高度存在什么关系。

首先我们假定活套形状为一弓形圆弧，在控制过程中弓形圆弧的弦长为常数，弓形圆弧的弦高将随设定高度而变化，因此形成的曲率半径是一个变量。

由图 3.6 中圆的几何关系可得：

$$\left(\frac{1}{2}k\right)^2 + (R-h)^2 = R^2 \tag{3.1}$$

$$R = (k^2/4 + h^2)/(2h) \tag{3.2}$$

根据余弦定理可得：

$$k^2 = 2R^2 - 2R^2 \cos\varphi \tag{3.3}$$

$$\cos\varphi = (2R^2 - k^2)/(2R^2) \tag{3.4}$$

$$\varphi = \arccos\left[1 - k^2/(2R^2)\right] = \arccos\left[1 - 2k^2h^2/(k^2/4 + h^2)^2\right] \quad 0 \leq \varphi \leq \pi \tag{3.5}$$

根据弦长与半径、圆心角的对应关系，可得弧长 L 为：

$$L = R\varphi = \begin{cases} \left[\frac{(k^2/4 + h^2)}{(2h^2)}\right] \arccos\left[1 - 2k^2h^2/(k^2/4 + h^2)^2\right] & 0 \leq \varphi \leq \pi \\ k & \varphi = 0 \end{cases} \tag{3.6}$$

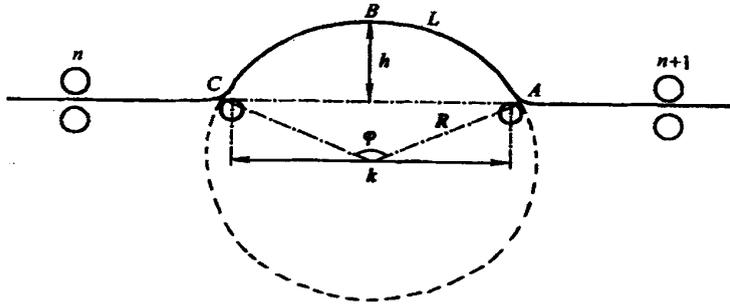


图 3.6 活套量的计算

Fig .3.6 Looper quantity calculation

h —弦高; k —弦长; R —半径; φ —与弓形圆弧对应的圆心角; L —弧长 (ABC 弧)

套量为:
$$\Delta L = L - k \tag{3.7}$$

由于 k 为常数, 所以 ΔL 与 L 成正比。

取 k 为某一值, 分别取一组 h_i 值, 代入上式求出一组 L_i 值, 然后作图找出 $L = f(h^2)$ 的关系, 可得出 $L \propto h^2$ 。

所以可以认为:
$$\Delta L = Ch^2 \tag{3.8}$$

这里, C 为比例系数, 由此可知套量与套高的平方成正比, 用此公式作为计算套量的数学模型, 比前面的公式更容易实现, 更利于工程应用。在实际的活套控制中就采用了该数学模型, 效果不错。

2) 实际活套高度的测量

实际套量检测一般都采用活套扫描器, 活套扫描器直接检测的是实际套高, 需要采用上面的数学模型转换成实际套量。活套扫描器任务就是将套高值转换成模拟量的电信号。活套扫描器的精度直接影响活套控制系统的精度和稳定性。

活套扫描器内部主要由光学组、CCD 传感器板、逻辑板、电源板组成。光学组包括 35mm/f4 的成像透镜、红外线滤波器和密封保护玻璃。CCD 传感器板由 2048 像素 CCD 阵列成像传感器、阻抗适配器、放大器、采样电路及信号转换电路组成, 它适合的红外光谱范围为 780~1000nm。热钢通过光学透镜在 2048 像素 CCD 阵列成像传感器上成象, 通过信号转换电路转换成标准的电压或电流信号, 热钢高度变化活套扫描器的输出信号随着线性变化, 从而通过输出信号的变化反映热钢高度的变化。

检测的高度范围与安装的距离有关，最大检测高度用 H 表示，距离用 L 表示，扫描器的检测视角用 ϕ 表示，则存在如下关系：

$$L = H / (2 * \text{tg}(\phi / 2)) \tag{3.9}$$

由此，根据检测的高度范围确定活套扫描器的安装距离。

活套扫描器输出的标准电信号有多种形式，如表 3.1 所示。

表 3.1 活套扫描器输出的标准信号的类型
Table 3.1 Loop scanner output standard signal type

低位	0V	+10V	-5V	+5V	0V	-10V	+10V	-10V	4mA
高位	+10V	0V	+5V	-5V	-10V	+10V	-10V	0V	20mA
没检测到	+10V	0V	+10V	-5V	-10V	+10V	-10V	0V	20mA

3) 活套调节器的控制算法

在实际活套控制中活套调节器一般采用 PID 调解器，在 PLC 中采用的是数字 PID 控制算法。

数字 PID 控制算法是以连续系统的 PID 控制规律为基础的，然后再将其数字化，写成差分方程。PID 调节器的微分方程为：

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt}] \tag{3.10}$$

式中：

$u(t)$ —— PID 调节器的输出量；

$e(t)$ —— PID 调节器的输入量；

K_p —— 比例系数；

T_I —— 积分时间常数；

T_D —— 微分时间常数。

在计算机控制系统中，使用数字 PID，因此将上式离散化，令：

$$u(t) \approx u(k) \tag{3.11}$$

$$e(t) \approx e(k) \tag{3.12}$$

$$\int_0^t e(t) dt = T \sum_{j=0}^k e(j) \tag{3.13}$$

$$\frac{de(t)}{dt} = \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \tag{3.14}$$

其中 T 为采样周期，必须足够短，才能保证精度。写成差分方程为：

$$u(k) = K_p \left\{ e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\} \tag{3.15}$$

$$= K_p e(k) + K_I \sum_{j=0}^k e(j) + K_D [e(k) - e(k-1)] \tag{3.16}$$

式中：

$$K_I = K_p \frac{T}{T_i} \quad \text{—— 积分系数；}$$

$$K_D = K_p \frac{T_D}{T} \quad \text{—— 微分系数。}$$

其控制结构运算如图 3.7 所示：

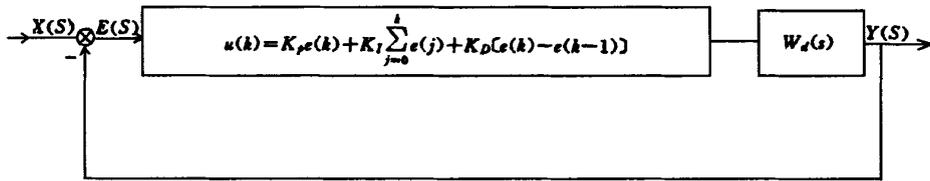


图 3.7 控制结构运算图
Fig. 3.7 The structure of control arithmetic

数字 PID 参数的实际整定采用凑试法。凑试法是根据调节器参数 K_p 、 K_I 、 K_D 对系统响应的作用反复凑试，以达到满意的输出响应。

比例系数 K_p 的作用是对偏差作出的响应，使系统向减小偏差的方向变化。 K_p 增大有利于增加响应速度，但太大也容易增大系统的超调，稳定性变坏，甚至产生震荡。

积分系数 K_I 的作用是消除系统的静态误差，但 K_I 太大不利于减小超调和震荡，使系统不稳定，系统静差的消除反而减慢。

微分系数的作用是加快系统的响应，对偏差的变化作出响应，按偏差量趋向进行控制，使超调减小，稳定性增加，但对扰动的抑制能力减弱。

凑试法的步骤是：先比例，再加积分，最后加微分。

活套控制的 PID 调节器结构图如图 3.8 所示。

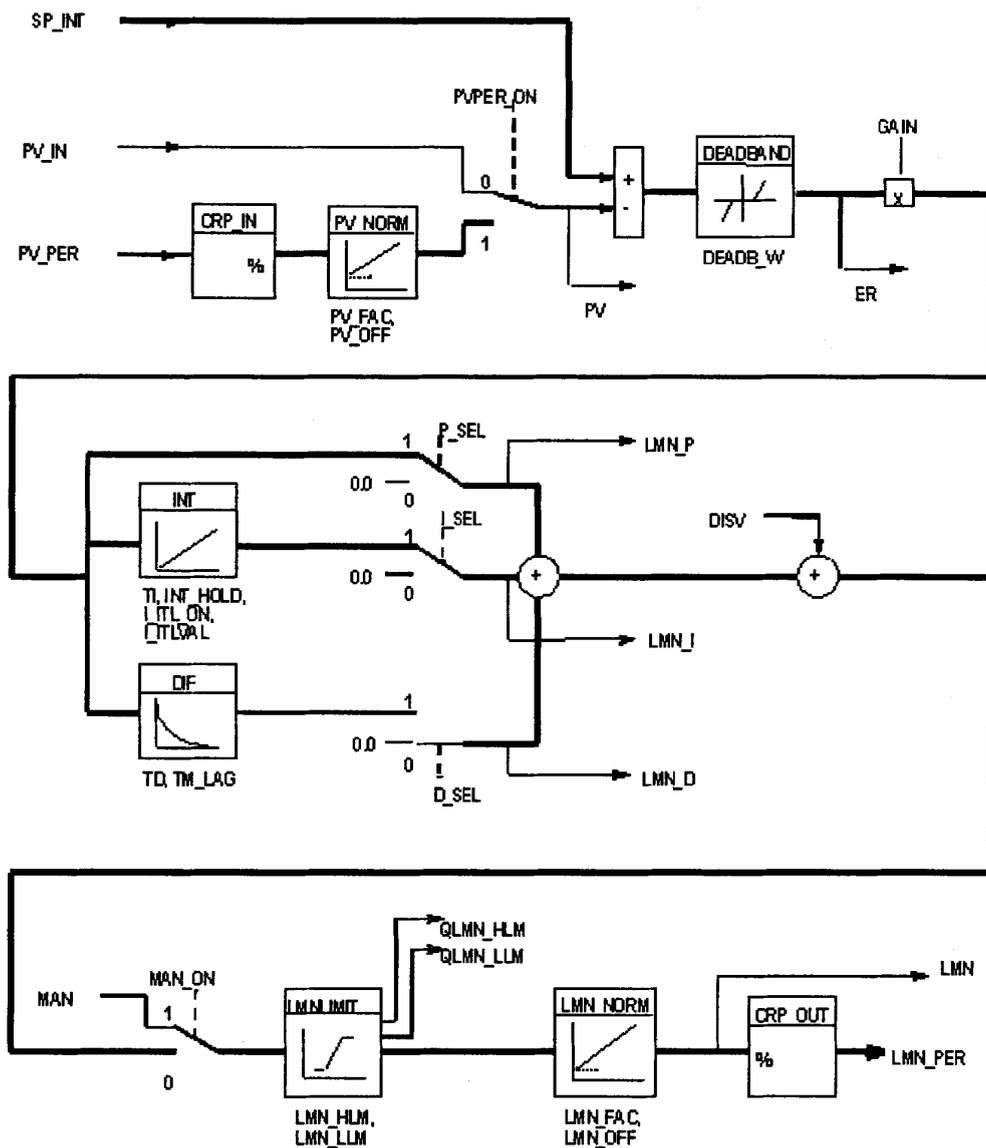


图 3.8 PID 调节器结构图

Fig. 3.8 PID controller structure diagram

(2) 活套的控制方式

每个活套调节器有两种控制方式：“OFF”活套不参与控制，只起轧材跟踪作用和 PID 调节。

两种方式根据轧制状况进行选择。

(3) 活套系统的逻辑控制：

1) 自动起套时间程序：

当活套检测器与下游轧机中心线相对位置确定后,起套延时时间(T)需系统自动确定。公式如下:

$$T=(S+0.5)/V \quad (3.17)$$

式中:

S——活套检测器与下游轧机中心线的距离

V——上一轧机实际线速度(计算机系统自动给出)

当活套下游第一个机架的电流值超过空载电流的2倍时。

活套最大调节量为套高设定值的±30~50mm之内。活套自动调节量非特殊给定一般为轧机设定转速的±5%。此调节量可根据实际情况进行修改。

2) 收套控制时间程序:

当满足下列条件之一时推套器收回,活套扫描器推出调节,活套退出同时上游机架级联降速,3#、7#水平活套的夹尾器投入使用,待轧件尾部离开活套后夹尾器复位。

前一个机架的电流值恢复到空载电流值时;

前一个活套扫描器检测到轧件尾部。

3.1.5 水冷集中控制设计

水冷控制的目的是控制不同钢种的进精轧机温度和吐丝温度,以保障产品的工艺性能。冷却水控制在精轧机区PLC中完成,这台PLC的控制对象为精轧前水冷段,精轧机内水冷阀、精轧机后各水冷段中的电磁阀及调节阀、轧线上温度的检测等。由工艺工程师编制的冷却规程存贮在PC机内,可由操作人员根据生产计划调出,在实现轧件自动跟踪的前提下,冷却规程可自动调出,在冷却规程下装到控制PLC中后,分别对水冷段数,阀门开启数,以及水量调节进行设定。冷却控制以两点温度为目标,精轧机进口温度,吐丝温度。精轧进口温度由精轧前两段水冷段及内部水阀实现温度控制,吐丝温度由精轧后五段水箱控制温度。水冷的集中控制分为手动/自动两种方式,手动则由操作人员通过人一机接口对每个水冷段内开启的阀进行开/关设定,由于轧机的速度是恒定的,所以单位时间内的水量由阀门开启的多少决定,精轧前后七水箱配备了调节阀,操作人员可对水量进行设定和调节。自动控制的情况下,PLC计算机系统根据轧制程序自动下装冷却程序,自动设定和调节各段的水阀及辊道速度。在自动控制方式下,仍保留人工干预的方式。为完成冷却控制,不管开、闭环控制,轧线上均需安装温度测

量装置,在吐丝机后,精轧前均设置了相应的温度测量装置^[11]。

设计之初采取了五段水箱分段延时控制给水的方案。预精轧后5#热检和6#活套扫描器来控制开水,两者任一感光时,精轧后五段水箱依次按照CS2操作室HMI上操作界面设定的延时时间给水(其中从一段到五段水箱的延时时间是累加的,这样也便于操作人员更好地控制水箱的开启)这样一方面保证轧件头部最小程度受到水冷的冲击,另一方面保证了头部的冷却控制的精确度,减少了头部废品率。

夹送辊前热金属检测器失光后,精轧后五段水冷箱同时停水。

3.2 控制系统的硬件设计

高速线材自动控制工程的设计遵循先进性与实用性相结合的原则,充分考虑到满足设备控制要求,完善现场检测功能,在检测元件选型方面适应现场环境恶劣、距离长等特点,具有控制准确、维护量小、使用寿命长等优点。

本系统采用的PLC(可编程序控制器)是以微处理器为基础,综合了计算机技术与自动控制技术为一体的工业控制产品,是在硬接线逻辑控制技术和计算机技术的基础上发展起来的。通常把PLC认为是由等效的继电器、定时器、计数器等元件组成的装置^[12]。

西门子S7系列可编程控制器采用模块化结构。能够实现热插拔,硬件损坏时更换方便。它具有适于工业环境,抗干扰性好,可靠性高,价格较低等特点。因此我们选择了西门子公司产品来实现工程。现场控制站选用性能可靠、功能强大的S7-400中央控制器,通过现场总线和可带电插拔的ET200M分布式I/O连接,提高控制系统灵活性,做到真正的分散控制。

3.2.1 Siemens公司及产品介绍

德国的西门子(SIEMENS)公司是欧洲最大的电气、电子制造商,一直以品质精良的电气、电子产品闻名于世,也是国际上较早研制和生产PLC产品的主要厂家之一。目前使用最广泛的西门子PLC产品是SIMATIC S7系列,它在自动化各个领域都得到广泛应用,它具有的各种功能、各种尺寸、各种结构适用于许多应用场合,有适合于起重机械或各种气候条件的坚固型,有使用于狭小空间具有高处理性能的密集型,有运行速度极快且有优异的扩展能力的机型,可配置种类繁多的输入/输出模块、智能模块、编程器、软件、过程通信和显示部件等,所以在逻辑控制、运动控制、过程控制以及工厂全集成自动化系统中均得到广泛的应用。

西门子公司于 20 世纪 90 年代中期推出的 SIMATIC S7 系列 PLC 取得了巨大成功,得到了广泛的应用,它包括 S7-200、S7-300、S7-400 三大类。

S7-200 系列小型 PLC 是整体式结构,它结构小巧,可靠性高,运行速度快,指令丰富。S7-200 的功能很强已经向日本的小型 PLC 提出了严峻的挑战。

S7-300 系列中型 PLC 是模板式结构。其模板品种齐全,各种数字量和模拟量 I/O 模块(包括用于危险场所的 EX I/O 型)、功能模板、通讯模板等,以各种不同方式组合在一起可将控制系统设计成完全符合应用的需要。其指令系统包括 350 多条指令。单机架配置时,最大是 256 个 I/O;多机架配置时,最多可达 1024 个 I/O,若使用 PROFIBUS-DP 的分布式系统,最多可以连接 65536 个 I/O。S7-300 一般称为通用型 PLC,它能够满足绝大部分普通工业应用。

S7-400 系列大型 PLC 也是模板式结构。它被成为功能最强大的 PLC,适宜于自动化生产和过程工程中做高级控制应用。它有多种不同性能档次的 CPU 可供选择。在一个 S7-400 中央控制器中可包括多个 CPU,它可以使不同的功能分离开来。如可以用一个 CPU 完成实时处理功能,同时另一个 CPU 完成非实时功能。另外 S7-400H 是一种容错(冗余)的 PLC, S7-400F/FH 是一种故障安全型 PLC^[13]。

3.2.2 系统的网络设计

(1) 系统网络的选择

现场总线与工业以太网是近年来自动化控制领域出现的高新技术,它集中厂自动化控制技术、网络通信技术、计算机等多种科技成果。由它组成的双向、串行、数字化的开放式自动化控制系统,在国内外得到了迅速发展,使传统的自动化控制系统发生了重大的变化,其技术革命的深度和广度在自动化控制领域是空前的,越来越受到电力、冶金、交通、石化、楼宇、建材、轻工、纺织、矿山、环保、机械制造等行业的广泛重视和应用。现场总线是一种工业数据总线,它是自动化领域中计算机通信系统最底层的低成本网络。根据国际电工委员会 IEC 61158 标准定义:现场总线是指安装在制造或过程区域的现场装置与控制室内的自动装置之间的数字式、串行、多点通信的数据总线。

现场总线技术基本内容包括:以串行通信方式取代传统的通过电流、电压传输模拟信号,一条现场总线可为众多的可寻址现场设备实现多点连接、支持底层的现场智能设备与高层的系统利用公用传输介质交换信息。

现场总线技术的核心是它的通信协议,这些协议必须根据国际标准化组织的计

计算机网络开放系统相互连的参考模型来判定，它是一种开放的七层网络协议标准，多数现场总线技术只使用其中的第 1、第 2 和第 7 层协议^[14]。

西门子自动化产品中的 SIMATICNET 具有两大类通信网络。一类是符合国际标准的通信网络，另一类是西门子公司内部的专用通信网络。

国际标准的通信网络包括以下网络：

1) 工业以太网按照 IEEE802.3(以太网)国际标准设计的通信网络，能应用各种传输介质(同轴电缆、工业双绞线、光纤)，传输速率可达 10Mb/s。最近又推出符合 IEEE802.3U 国际标准，传输速率为 100Mb/s 的“快速以太网”。

2) Profibus 网络是一种功能强大、并且开放的工业现场总线。它满足 IEC61158 国际标准和 EN50170 欧洲标准的要求。针对不同的范围和功能，Profibus 又分为三个兼容的部分，即 Profibus-DP、Profibus-FMS 和 ProfibusS-PA。

3) AS-I 接口即传感器-执行器接口，它符合 IECTG17B 国际标准和 EN50295 欧洲标准。它通过直接相连的电缆(双绞线)传输简单的二进制编码的信号，连接长度为 100m。

专用通信网络包括以下网络：

1) MPI 网络，也称 MPI 多点接口。MPI 接口集成在 S7 系列 PLC(包括 S7-200, S7-300, S7-400 等)、PC/PG, HMI 等内部，可在 PLC 与 PLC、编程、监控设备(如 PG/PC)之间进行数据通信。它不需要额外的硬件和软件，不但成本低，而且用法简便，传输速率可达 187.5Kb/s。

2) PPI 网络，即 I 通信协议是西门子公司专门为 S7-200 系列 PLC 开发的通信协议。可通过普通的两芯屏蔽双绞电缆进行联网。传输速率可达 187.5Kb/s

3) 点对点接口也称自由通信方式。它是 S7-200, S7-300 系列 PLC 的一个很有特色的功能，它使得 PLC 可以与任何通信协议公开的其他设备控制器进行通信，即可以由用户自己定义通信协议(如 ASCII 协议)^[15]。

我厂高速线材自控系统整个自动化控制系统采用两级网络通讯，第一级采用工业以太网，用于 PLC 之间及 PLC 与上位监控 PC 之间交换数据。工业以太网通讯速率为 10MB/S，采用 802.3 国际标准，通讯介质为光缆。按照 IEEE 标准，本网络段最多可有 100 个节点，目前设计网络上只有十几个节点左右，对采用载波监听，碰撞检测方式的 ETHERNET 不会造成通讯速率的衰减。

第二级网络采用 PROFIBUS-DP 网络协议，用于 PLC 向传动系统发送控制指令及传动系统返回工作状态。PROFIBUS-DP 网络是国际上普遍采用的现场总线网

络, 通讯速率 1.5MB/S, 通讯介质采用屏蔽双绞电缆, 最大通讯距离取决于通讯速率, 若保证 1.5MB/S 的通讯速率, 最大通讯距离<200M, 每段总线上最多可有 32 个节点(不带 REPEATER)。PROFIBUS-DP 网络为带有主从方式的令牌网络, 适用于工业实时控制, 可以自动检测网络节点的加入和退出。

(2) 网络通讯接口:

1) PLC 集成通信接口:有些公司的 PLC 上的集成通信接口实际上仅仅只是编程接口, 若在运行中要联网通信则必须另配置通信模块。而西门子 S7 系列 PLC 的集成通信接口是真正意义上的通信接口, 编程通信只是通信功能之一。

2) PLC 通信模块:包括接口模块(IM)、接口子模块(IF)和通信处理器(CP)。它们能将 PLC 连接到相应的网络中去, 它们是智能化通信模块, 能大大减轻 CPU 的通信负担, 并能实现各种通信功能。

PC/PG 通信适配器(卡)它们可将 PC/PG 连接到相应的网络中去, 同样具备强大的通信功能。

(3) 网络通讯功能

SIMATIC NET 可实现多种网络通信功能:

1) PG/OP 通信:它具有集成的通信功能, 它能在 S7 系列 PLC 和人机界面 HMI 单元(包括 OP 操作面板等)以及 PG 编程器(STEP7)之间进行数据通信。PPI, MPI, PROFIBUS 和工业以太网等均支持 PG/OP 通信。

2) S7 基本通信:这是 S7 系列(S7-300, S7-400)CPU 中集成的通信功能软件模块集(SFC)。它由用户编程调用。S7 基本通信由 MPI 网实现。

3) S7 通信: S7 通信是扩充的集成软件通信模块集(SFB)。用户编程时调用相关的 SFB 软件模块。S7 通信可用 MPI, PROFIBUS 以及工业以太网实现。

4) S5 兼容通信:这种功能用于 S7 系列 PLC 与 S5 系列 PLC 之间、S7 系列 PLC 之间进行通信。它只能通过 PROFIBUS 和工业以太网实现。

5) 标准通信:对于 PROFIBUS 网络而言, 标准通信是指 FMS 通信, 它可用于不同供应商的 PLC 系列之间传输数据。对于工业以太网而言, 标准通信有三种类型, 即 IT 通信(采用 E-mail 和 Web 技术)、Socket 通信和 MAP 通信^[16]。

3.2.3 系统硬件的选择

整个自动化控制系统控制器选用采用 SIEMENS 公司的 S7-400 和 S7-300 PLC, S7-400 为 CPU416-2DP, S7-300 为 CPU315-2DP; 远程 I/O 站选用与 S7-300

模块通用、种类齐全的 ET200M；上位监控采用研华工业计算机。

主轧机和飞剪采用 SIEMENS 公司的 6RA70 全数字可控硅直流调速装置，6RA70 控制方式为统一指令的双闭环速度自动控制系统，并具有电流自适应功能和速度自适应功能。有过压、过流、超速、欠磁、过磁、快熔熔断等完善的保护，并记忆所发生的故障以便查找和处理^[17]。

精轧机采用 SIEMENS 公司的 SIMOVERT S 电流源交-直-交全数字大功率变频调速装置 (LCI)，LCI 控制单元采用 SIMADYN D 全数字控制系统，它是一种可以自由组态的多微机高速全数字控制系统，也是变频器的核心部分，主要实现各种开/闭环控制、运算、检测、监视、报警、诊断等功能，其全部功能均由软件来实现，并由各微处理器按功能分类进行实时处理，控制采样时间可以小于 1ms。

辅传动采用 SIEMENS 公司的 6SE70 系列电压源型矢量控制变频调速装置，由模块化及高性能系统元件组成，软件功能强大：具有手自动切换、数据组切换、电机辨识、自动再启动、动能缓冲、捕捉再启动、工艺调节器（如压力控制或功率控制等）、直流制动、变频器间同步运转、摆动发生器、抱闸控制等^[18]。

S7-400 是 SIEMENS 公司研制的高性能 PLC，适用于中、大规模的应用。它硬件安装简单、快捷，具有多种扩展模板，能满足用户的不同需要。它使用 Step7 编程，指令丰富，运算速度快，硬件组态方便，通讯功能强大，可方便的使用 MPI, Profibus 等多种通讯协议进行通讯。S7-400 的 CPU 能力超强，位操作、字操作、定点加等只需要 0.1 微秒，浮点加也只要 0.6 微秒，内置用户存储器可达 20MB，最大 I/O 处理量可以达到 128K 开关量和 SK 模拟量。它采用标准尺寸和无风扇设计，结构坚固，性能可靠稳定。CPU 带有 RAM 存储器来存储系统数据和用户程序，并带有 2 个后备电池，当其中一个电池停止工作时，备用电池自动切换到工作状态，更换其中一个电池也不会影响 CPU 的正常工作^[19]。CPU 上集成了 MPI 和 PROFIBUS-DP 接口，可以同现场 I/O 单元或操作管理层连接。

S7-400 的电源模块、CPU 及通信模块等所有模块均具有自动故障检测功能，并通过面板上的 LED 指示灯直观地显示出工作状态。机架上的所有插槽均相同，安装输入、输出模块时可按自己的喜好任意排列，并可带电插、拔输入、输出模块^[20]。

基于 SIEMENS PLC 强大的控制性能，也根据我厂高线自控系统工程设备的实际情况以及控制工艺的要求，我们确定了以下控制系统 I/O 及上位监控计算机等设备。

操作站、工程师站：DELL(2.SG/256M/80G/19” LCD)；

CPU：S7-400 系列的 6ES7416-2XG04-0AB0；S7-300 系列的 6ES7315-1XG03-0AB0；

以太网通讯处理器：CP443-1, 6GK7443-1EX11-0XE0；

电源模块：6ES7407-1KA01-0AA0；

电源模块：6ES7307-1KA01-0AA0；

ET200M 组件：6ES7153-1AA03-0XB0；

安装机架：6ES7400-1JA01-0AA0；

安装导轨：6ES7390-1AF30-0AA0；

前连接器：6ES7392-1AM00-0AA0；

I/O 模块(I/O 点数量，按预留 20%的余量考虑)

DI 模块：32 通道，6ES7321-1BL01-0AA0；

DO 模块：32 通道，6ES7322-1BL01-0AA0；

AI 模块：8 通道，6ES7331-7KF02-0AB0；

AO 模块：8 通道，6ES7332-5HF00-0AB0；

PLC 控制柜配置：

PLC 系统共配置四面 PLC 控制柜及七面 ET 柜，分别为：

- (1) PLC1 柜：加热炉控制柜；
- (2) PLC2 柜：粗中轧控制柜；
- (3) PLC3 柜：预精轧及精轧控制柜；
- (4) PLC4 柜：集卷区域控制柜；

ET 柜：安装、布置中间继电器，对所有的 PLC 输入、输出信号进行中间。

3.2.4 各部分硬件的功能

(1) 现场控制站的 S7-400 中央控制器是自控系统的控制中心。它通过高速工业以太网与系统的操作站或工程师站相连接，它通过 IM460/IM461 近程扩展 PROFIBUS-DP 现场总线与各个 I/O 站连接。它的主要功能是：将各个 I/O 站采集来的数字量或模拟量信息经过处理后传送到系统操作站或工程师站，使系统操作站或工程师可查看到系统所有设备的工作状态及各种工艺参数，同时可以处理、执行来自系统操作站或工程师站的各种控制指令和参数设置指令；更重要的是，中央控制器能完成系统生产工艺流程中各种闭环回路的自动控制和各种电气设备

的自动联锁控制^[21]。

(2) 操作站(HMI)

操作站的任务是：

- 主轧线设备的全线监控操作，过程动态图形显示及过程参数的显示。
- 轧制参数的设定、计算，对轧机速度设定、修改。
- 轧机主电机速度的级联调参数的设定。
- 轧机主电机冲击速降补偿的参数设定。
- 粗、中轧微张力控制的参数设定。
- 预精轧、精轧前活套的高度和控制参数设定。
- 设置飞剪切头、切尾的长度及控制参数设定。
- 显示系统起、停条件。
- 轧材温度检测、水量调节及人工干预操作画面。
- 轧制规程管理，轧制表的生成、调用、修改、存储下装。
- 轧件跟踪及状态显示。
- 故障报警、显示、存储。
- 轧制根数的显示纪录。
- 工艺及机械参数设定输入。
- 模拟轧钢，检查各系统准备情况。
- 进行网络连接，实现相互通讯。

(3) 工程师站

工程师站的任务：

- 完成硬件配置；
- 完成系统控制软件开发；
- 可以方便调用标准功能块；
- 能在线或离线编程；
- 系统在线调试；
- 挂在以太网上，对任意 PLC 进行编程^[22]

综上，高速线材自动控制系统包括了 SIEMENS SIMATIC NET 以太网操作站高可靠大容量的控制器采用 IM460/IM461 近程扩展 PROFIBUS 过程现场总线技术的分散型 I/O 等子系统。该系统体系结构具有的特点：

- (1) 全系统操作站是联网、协调工作的

无论是从生产管理系统的角度还是从生产控制系统的角度来看整个系统是一个联网、协调工作的大系统先进系统运转可靠、数据分布合理、操作速度快、人机界面友好、使用方便。

(2) 标准的以太网(IEEE Ethernet 802.X)

工业以太网、PROFIBUS 过程现场总线所构成的二级网络的体系结构保证了系统数据通讯的高可靠性、无阻塞和高速度^[23]。

(3) 控制器为高可靠性、大容量的 S7-416

系统各操作站是全透明的,通过 PLC 的功能它们之间可以实现互相替代。PLC 的应用保证了网络系统数据传输的抗现场干扰能力和高可靠性^[24]。

3.3 控制系统的软件设计

3.3.1 系统的编程环境

系统采用主流 PC 机作为编程器,需要安装西门子系列编程软件包,具体配置如下:

操作系统:MS Windows XP professional SPI

PLC 编程软件包:SETP7 Version5.3

人机界面软件包:Wincc 6.0

相应软件的授权

控制系统选用全集成自动化系统中的标准组件,系统软件开发平台选用 WINCC 组态软件和 SIMATIC STEP7 编程软件,工程师可用它对整个自控系统进行硬件配置、软件编程、在线调速、故障诊断。系统各个操作站均采用双屏显示模式,操作人员只需一个键盘和一个鼠标就可对两个屏幕的现场设备进行操作,提高了操作人员的视野及灵活性,便于生产过程状态监视和操作控制。操作站设有操作级别,为提高操作安全性,采用全中文界面,简单易用。

3.3.2 控制软件 STEP7 V5.3

Step7 V5.3 可采用 LAD(梯型图)、STL(语句表)、FBD(逻辑框图)进行程序设计,硬件设备的组态,故障诊断等。操作站编程软件可对整个控制系统进行编程,它提供了一系列工具与功能,从而使控制系统程序开发变得简便易行。

Step7 V5.3 是一种基于 Microsoft Windows 环境的编程工具,提供包括 FBD、

LAD、STL 等多种编程语言的单一开发环境，用于生成控制系统程序。使用汇集在一个应用中的熟悉的标准化的编辑器，能够生成逻辑、通信和诊断，并将他们与同一数据库和选择的 3 个编辑器集成在一起。

Step7 V5.3 遵守 Microsoft Windows 图形用户接口 (GUI) 并成为第一种采用用于可编程逻辑控制器的 IEC1131-3 国际标准，所以它的编辑器是统一的，使用简单。

Step7 V5.3 包括从程序生成到内置的简单易用的复杂算法等强有力的工具，来满足设计和维护人员的要求。这些强有力的工具为传统的平面梯型逻辑程序开辟了一个第三维的空间。由于将复杂的控制结构载入基本逻辑中，减少了应用的复杂性，简化了维护。

Step7 V5.3 使用强有力的搜索功能简化了程序开发。搜索功能允许您搜索变量，发现错误和识别未用的变量。其它功能包括 Step7 V5.3 的分层结构，它简化复杂的程序并提供易于读出的监控概况。

Step7 V5.3 提供易于使用的接口、可重复使用的程序、强有力的搜索功能、自由格式图形编辑器和在线帮助程序，简化了 S7 系列自动化控制系统的写入文件编制和维护。

Step7 V5.3 软件具有下列功能：

(1) 程序开发

以最简单的方式产生最好的程序。为产生梯形图逻辑程序，Step7 V5.3 提供给工作人员一系列特殊功能。

梯形图逻辑和参数号注解的编程可以更清楚地理解程序。

以符号编程可使编程人员能比记数码更为直观地记住特殊含义的报文。

下拉式菜单，快速键及上下文帮助，可减少击键次数且可提供命令和指令的详细说明。

切割、拷贝、剪贴和参数号偏移性能为复制梯形图显著地减少工作量。以保存改变状态的方法来防止所编辑的内容丢失，即使在编程器掉电时也是如此。

顺序功能图编程(SFC)，以过程自身的排列说明一个顺序的过程，以更好地组织编程。

梯形图逻辑宏功能，它可简化编程，对于重复的程序内容可只写入一次但可经常使用，即使有新的参数号也允许。

输入和输出注释的 ASCII 文件，它允许你使用字处理器，这样具有更好的编辑能力^[25]。

(2) 在线检查和调试

Step7 V5.3 这一特点使检查及调试过程简化, 充分支持网络随时使你可以使用高速网络。

点追踪到它所在网络, 这样简化了对某个特殊输出接点的检索。

观察 I/O 模块以确定正在运行的 I/O 是否良好。

把一个功能块移向监视器或改变与块表有关的参数。

同时修改 PLC 梯形图逻辑和在线文件。

在进行在线更改时修改离线注解, 这就使你保持了 PLC 中实际程序的一个历史状态。

分别进行组态、编程、ASCII 信息和参数号的装载/汇录/校验, 可以节省时间。

使用 SFC 可确定现在正解算的逻辑, 观察屏幕就可发现在过程中有问题的点。

监视梯形图逻辑程序中的参数值, 能够观察相关的参数而确保指定的操作。

S7 主机的扫描速度可高达 0.1k/ms, 在逻辑复杂、网络数较多以及有多个远程的时候, 充分支持网络, 因此可以随时可以使用高速网络。可以利用系统结构的解读逻辑与对 I/O 站服务的并行处理手段来优化系统的吞吐量, 即用段调度来修改逻辑的解读顺序, 以提高关键 I/O 的吞吐量, 改进系统的性能和改善通讯端口的服务^[26]。

3.3.3 上位监控软件 WINCC 6.0

上位监控在自动化控制系统中, 以直观友好的图形操作界面, 广泛用于对工业现场的设备及数据进行集中管理和监控^[27]。

上位监控软件选用的是西门子的上位监控软件 WINCC, 该软件具有强大的数据处理能力, 能实时、动态地监控现场过程, 并具有配方功能, 能将一批预先存储的参数一次调出并下传给 PLC 执行。它含有强大的图形工具集, 可进行方便的画面设计、报警显示、历史数据存储、数据趋势显示、报表处理等有利于操作工积累经验, 迅速熟悉生产线的特性。

WINCC 是 Siemens 自动化软件家族中的 HMI 组件, 是基于 Windows NT 或 Windows 2000 的对生产过程监视和控制的自动化解决方案。WINCC 是所有需要采集, 管理可视化数据的企业必备工具, 同时可以控制关键性的过程和操作。

WINCC 组态软件的特点:

*过程可视化

- *实时和历史趋势
- *监视性控制
- *数据采集和数据管理
- *用户综合报表
- *报警和报警管理
- *基于用户的分级安全管理
- *网络功能
- *在线组态
- *事件计划
- * WinCC 历史数据库或超级历史数据库 (OSI)
- *基于对象的图形界面^[28]

3.3.4 系统的 PLC 控制程序设计

PLC 控制程序使用 SIEMENSSTEP7 软件根据分块管理、结构化编程的原则进行编写。由于全轧线实现的控制功能较多，仅以加热炉区域自动控制为例阐述。

加热炉区的控制 PLC 为西门子公司的 S7-300，它作为 PROFIBUS-DP 主站下挂两台 ET-200（分别在 CS1.1 和 CS1.2 炉区操作台中）和 6 台西门子 6SE70 变频器。S7-300 的硬件配置中有一块开关量输入、一块开关量输出、一块 FM350 计数器和一块以态网模块，其中开关量模块用于程序逻辑控制，以态网模块用于 PLC 间的以态网通讯，计数器模块用于入炉钢坯在悬臂辊道上的定位；CS1.1 操作台上的 ET-200 有两块开关量输入、两块开关量输出、一块模拟量输入和一块模拟量输出模块，其中模拟量输入模块用于接收两路从加热炉步进梁液压缸位置传感器返回的 4~20mA 位置信号，模拟量输出模块用于分别提供 0~10V 信号给步进梁升降平移比例放大器，用以控制两个液压缸的动作速度；CS1.2 操作台上的 ET-200 有两块开关量输入和一块开关量输出模块。6 台变频器用于分别控制受料辊道、称重辊道、入炉辊道、入炉悬臂辊道、出炉悬臂辊道和出炉保温辊道。

其中，以加热炉正循环的为例见图 3.9，说明控制程序编写的思想和逻辑：

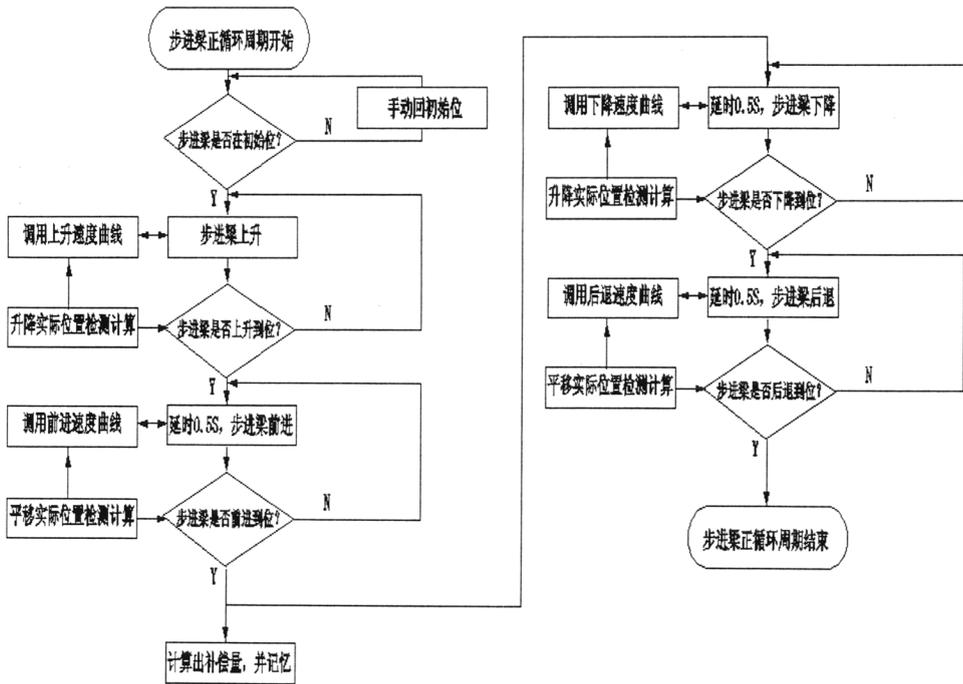


图 3.9 步进梁正循环自动控制流程图

Fig. 3.9 Walking beam positive cycle automatic control flow chart

加热炉程序包含 9 个 OB 组织块, 18 个 FC 功能块和 6 个 DB 数据块。

OB1 块用于调用控制功能块, OB100 块用于程序数值的初始化和计数器模块地址的参数化, 其它组织块均为系统用, 无编程指令。

FC10 功能块用于控制上料台架。上料台架的动作顺序是上升-->前进-->下降-->后退, 四个动作的连续是靠低位、高位、前位和后位四个接近开关控制。上料台架有手动、单动和连动三种操作方式。手动的条件是在 CS1.1 操作台上选择“上料手动 (I6.4)”信号, 然后用操作台上的动作按钮控制不同的动作; 单动是指台架动作一个周期, 条件也是“上料手动”, 然后通过操作台上的“上料台架单动作 (I6.1)”按钮来启动, 启动指令是脉冲信号, 启动条件是台架在低位 (I5.2)、在后位 (I5.4), 同时台架前端的光电开关没有检测到钢坯信号 (I1.0), 另外在台架动作过程中, 可以用“上料自动 (I6.5)”、“上料连动运行 (I10.6)”、“急停 (I6.0 和 I15.0)”信号来随时中断动作; 台架连动的条件是在操作台上选择“上料自动 (I6.5)”信号, 启动条件与单动时一样, 台架会一直动作直到前端光电开关感应到钢坯信号, 此时无论台架是否前进到位都会立刻中断前进动作, 而启动下降, 然后退回。如果在连动过程中撤消了“上料连动运行”信号, 台架不会立刻停止, 而

是会走完本周期，回到起始位后停止，如果在动作过程中“上料连动停止 (I10.7)”、“上料手动”和“急停”信号来了，台架会立刻停止，要想继续动作，只能先用手动控制让台架回到起始位后，再继续操作。

FC7 功能块用于控制上料小车。小车的动作顺序是前进-->上升-->后退-->下降，小车的手动条件同样是在 CS1.1 操作台上选择“上料手动”，小车自动动作的连续靠八个接近开关控制，八个开关分别装在小车东西两侧，因此在动作指令的复位时是两个开关信号并着用，而在电磁阀的通断电时是两个信号串着用。小车的启动条件是受料辊道停止 (M201.2)，同时光电开关信号 I1.0 已来，I1.1 没有，也就是台架前端有钢，受料辊道上没有钢时小车才能启动。

FC11 功能块用于控制受料辊道和称重辊道的启停。受料辊道的启停信号为 M101.0，手动条件依然是选择“上料手动”，然后用操作台上的旋钮“受料辊道电机正转 (I10.4)”和“受料辊道电机反转 (I10.5)”来控制，当选择电机反转时，通过改变变频器的给定值正负来改变辊道的运行方向，受料辊道变频器的给定控制字为 PQW290；称重辊道的启停信号为 M103.0，同样是通过改变给定方向来改变辊道运行方向，给定控制字为 PQW302。

FC8 功能块用来控制电子称重装置、升降挡板的升起落下和废料剔除装置的动作，同时判断坯料长度、弯度是否合格。

FC12 用于入炉区域的控制，包括装料炉门的升起落下，入炉辊道的动作，入炉悬臂辊道的动作，炉内推钢机的动作，并且判断炉内装料位是否有料。入炉辊道的启停信号为 M105.0，速度给定字是 PQW314；入炉悬臂辊道的启停信号为 M107.0，速度给定字为 PQW326。入炉辊道和入炉悬臂辊道的方向控制在 CS1.1 操作台上是一个旋钮“入炉及入炉悬臂辊电机正反转”，控制指令是 Network9。

FC13 块用于控制炉内步进梁动作的逻辑关系，FC80 块为步进梁正循环动作前进后退的速度曲线，FC81 块为步进梁正循环动作上升下降的速度曲线，FC180 块为步进梁逆循环动作前进后退的速度曲线，FC181 块为步进梁逆循环动作上升下降的速度曲线。步进梁的动作分为正循环和逆循环两种，正循环的动作顺序为上升-->前进-->下降-->后退，逆循环的动作顺序为前进-->上升-->后退-->下降；对于步进梁的操作有手动方式 (M124.0)、自动方式 (M14.5)、单动方式 (M14.6)、踏步控制和中间保持操作。

步进梁单动操作方式在调试阶段分为周期单动和四个动作单独控制，在满足单动条件 M14.6 的情况下，周期单动可以通过 CS1.2 操作台上的“步进梁单动按钮

I13.7”或机旁箱上的“单动按钮 I18.4”启动，步进梁将按照固定的速度曲线动作一个完整的周期，四步动作间的时间间隔现为 500ms。现有的步进梁动作速度曲线是以步进梁的动作行程为 X 轴（单位为 mm），以输出给液压缸比例放大器的电压值为 Y 轴（单位为 V）。步进梁平移液压缸的位置输入信号为 PIW518，程序中间规格化地址为 MD304，升降液压缸的位置输入信号为 PIW516，中间规格化地址为 MD300。

对于正循环，步进梁上升行程为 MD836，下降行程为 MD844，前进行程为 MD812，后退行程为 MD828，上升动作完成并激活前进动作的条件为步进梁行程 MD836 大于等于 200 或者 MD300 大于等于 204；前进动作完成并激活下降动作的条件为前进的行程 MD812 达到了设定值 MD816，因为在步进梁的行程上做了步距补偿，因此这个中间变量 MD816 是随动的，同时因为这个补偿是补偿在前进曲线最后速降段前的恒速段，因此速降段的斜率和距离不变，起点值 MD900 和终点值 MD816 随补偿值 MD820 变化，MD900 的初始值为 249，MD816 的初始值为 299，MD820 是由步进梁的实际行程值 MD812 与固定步距参考值 299 做比较得到的，同时给 MD820 限幅在正负 3 个毫米内；下降动作完成并激活后退动作的条件为 MD844 大于等于 200 或者 MD300 小于等于 10，后退动作完成的条件是行程 MD828 大于等于 300 或者 MD304 小于等于 33。

对于逆循环，步进梁上升行程为 MD868，下降行程为 MD876，前进行程为 MD852，后退行程为 MD860，前进动作完成并激活上升动作的条件为 MD852 大于等于 300，上升动作完成并激活后退动作的条件为 MD868 大于等于 200 或者 MD300 大于等于 206，后退动作完成并激活下降动作的条件为步进梁行程 MD860 大于等于设定值 MD880 或者 MD304 小于等于 28，后退动作的补偿也在最后的恒速段，起点变量为 MD896（初始值为 243），终点变量为 MD880（初始值为 298），补偿变量 MD884 是由步进梁实际行程 MD860 与参考值 298 比较所得，限幅也为正负 3 毫米，下降动作完成的条件是行程 MD876 大于等于 205 或者 MD300 小于等于 11。

步进梁中间保持操作的启动停止指令可以通过 CS1.2 操作台上的“步进梁半升(I15.5)”按钮实现，启动时步进梁必须在 1 位(M20.1)。按一下按钮步进梁将选择中间保持操作，步进梁半升至中间零位(M20.0)停止，若步进梁自己下降至“中间操作保持点(M20.7)”，步进梁将自动下降至 1 位，停顿 5 秒后又自动升至 0 位保持；再按一下“步进梁半升”按钮，取消中间保持操作，步进梁下降至 1 位停止。

步进梁在动作过程中有可能出现动作不连续的情况，一般原因有三个，一是因为中间点 M136.5 条件不满足，无法对下一动作的指令置位；二是因为给定电压和液压缸的关系使得某个动作的行程值和位置实际值都没有达到设定的标准，可以通过手动复位步进梁然后重新动作或者在程序上修改一下设定值来解决；三是比例放大器的给定输出为 0，原因有可能是程序中某条指令强制输出为零（具体情况通过具体逻辑关系分析）或者放大器不工作。

FC14 为出炉设备的控制，包括出料炉门的正反转控制（Network2~7）、出炉悬臂辊道的控制（Network8~16）、保温辊道的控制（Network17~23）和除鳞装置、保温罩的控制。通过改变变频器给定值正负来改变辊道的运行方向，出炉悬臂辊道的启动信号为 M109.0，出炉悬臂辊道变频器的给定控制字为 PQW338；保温辊道的启停信号为 M111.0，给定控制字为 PQW350。

FC16 功能块用于判断步进梁的位置信号。

FC17 主要是模拟量信号的转换，包括步进梁位置信号和比例放大器的给定转换。

FC100 功能块用于炉区 PLC 与轧线 PLC 的数据通讯。

FC102 功能块用于入炉钢坯在入炉悬臂辊道上的定位，当钢坯头部通过入炉口的光电开关时，FM350 模块开始计数，从 FM350 的专用数据块 DB200 中读出码盘数，用这个数除以码盘基数 1000，再除以电机到辊道的减速比，然后乘以辊道的周长，得到钢坯的行程值 MD400，用这个变量与固定的钢坯行走距离 15.1 米比较来控制辊道的减速和停止，同时计数器停止工作。6 个 DB 块为用于炉区与上位通讯的 DB100、DB102、DB104，用于计数器模块的 DB200，用于炉区与轧线通讯的 DB210、DB211。

第4章 控制系统的优化

首钢第一线材厂高速线材顺利的投产以来,围绕如何稳步提高产品成材率和工艺质量等要求,针对自控系统的控制优化在不断推进。在此次的高线生产的自动控制系统优化中,从当今高速线材生产实际出发,结合现场生产实践,发现问题,提出问题,提出解决方案。较好地完成了高线自动化控制系统的优化,提高了高速线材的成材率和生产作业率,并大大降低了工人的劳动强度。

4.1 系统优化提出的原因

随着我厂二车间高速线材生产线的投产和达产,对自动化系统提出了更高的要求,初期自动控制系统基本能较好地完成控制任务,并且运行比较稳定。但是,随着生产的深入进行和达产的需要,自控系统需要不断改进以适应工艺生产、安全以及设备保护等各方面需要,于是,在仔细深入的研究下,提出以下问题。

(1) 水冷系统存在的问题

由于二车间高速线材车间其产品中约 25%比重的产品为 X 规格线材,总结 X 规格线材轧制的特点,我们发现 X 规格线材与其他规格的线材轧制具有不同的特性。拿 X 规格线材与 Y 规格线材相比,虽然在直径上仅差 1mm,但其生产工艺有很多不同之处。X 规格线材断面小、纯轧时间长、轧制速度高、轧件温降快。在轧制过程中稳定性差,工艺参数的波动,都会在高速、成品轧制区引起较大变化,因而极易发生堵钢事故,使轧制控制难度大,生产事故率高^[29]。根据我车间实际统计,轧机中间堵钢按次数计算,80%发生在精轧区域。

经过分析我们发现,除去成品导位、来料尺寸等因素外,由于轧件比较细,精轧后五段水箱依次开水的冲击对轧件头部的冲击影响是很大的,高速运行的轧件有一点阻力,造成抖动的现象,很容易精轧区域堆钢。此外,由于水冷箱的水阀采用的是气动弹簧式水阀,平时也有关闭慢的现象发生,很容易造成下根钢到来时水阀还没有关闭,从而引起抖憋。

而如果延长给水的延时,减少冲击力,势必会使轧件前头很长一段穿不到水,满足不了性能要求,这部分钢只能作为二级品减去,对成材率造成很大的影响。

(2) 活套控制系统存在的问题

在实际生产中,活套系统在调节线材在轧机中的堆拉关系中起着至关重要的作用,它是保障预精轧机组间无张力轧制的主要手段^[30]。但在实际生产中,活套

系统在使用过程中遇到了以下几个问题：1) 由于轧机辊环均有水冷进行冷却，造成雾气较大，一定程度上干扰了活套扫描器的扫描精度，我们在扫描器后加装风机进行吹雾，虽然效果不错，但是长时间运行带来的震动会造成扫描器角度的偏差，从而造成扫描器扫描反馈不准，造成憋钢。2) 原来的收套方式在某些规格产品生产上会由于收套时间较晚造成后尾尺寸不好控制，造成减废。

(3) 事故碎断联锁系统的问题

在高速线材的生产实践中，由于预精轧憋钢造成的处理时间比较长，原因是预精轧保护罩内产品尺寸比较大，速度为 7 至 10m/s 的速度，而由于预精轧保护罩内无法安装鱼线装置，所以憋钢后工人反应时间为 10s，预精轧保护罩内至少憋钢 70 米至 100 米，每次憋钢工人都需要处理 1 小时左右，给生产和作业率带来较大的影响。

4.2 系统优化的设计与实施

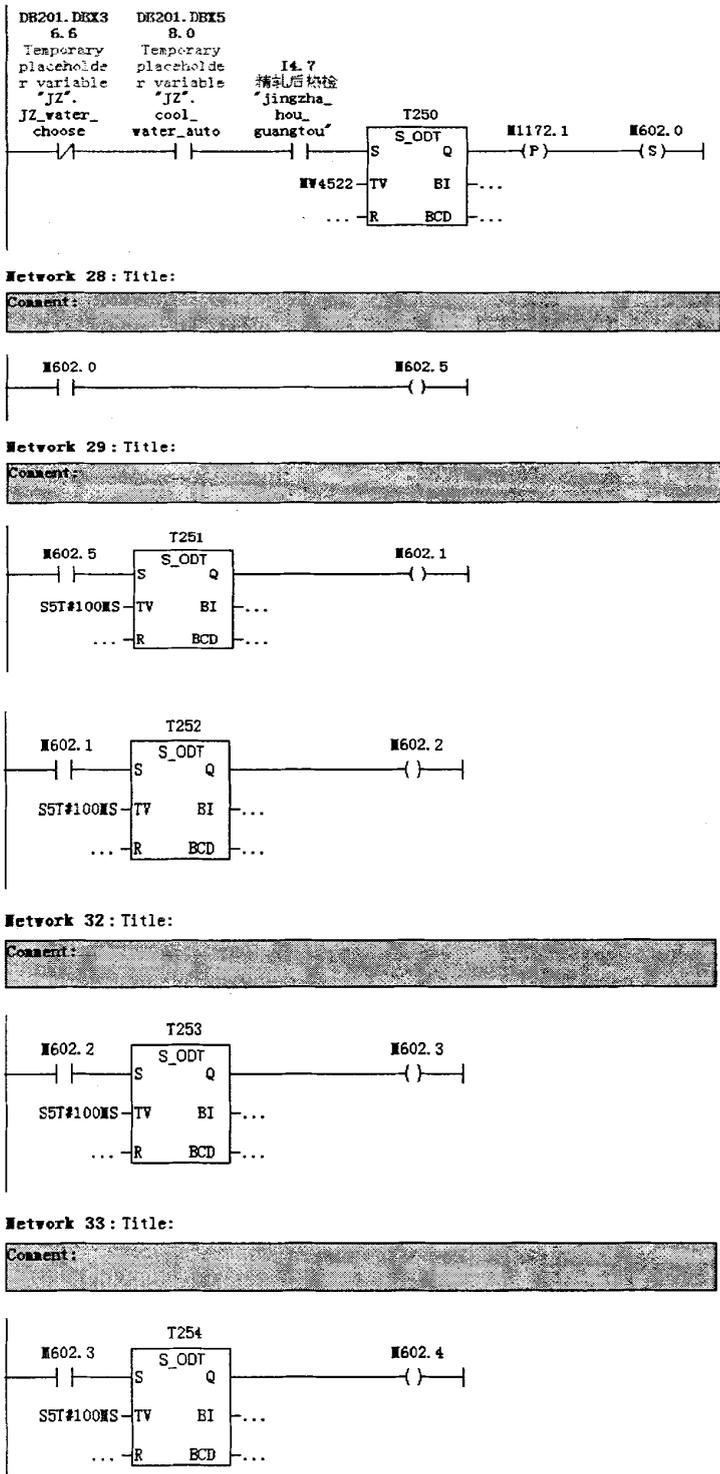
针对高线自动控制系统存在的问题，积极组织 and 实施了大量的现场实验，并通过与工艺专业、机械专业以及现场操作工的沟通、分析，确定了以下的优化方案，并予以实施，从根本上解决了生产过程方面存在的各种问题。

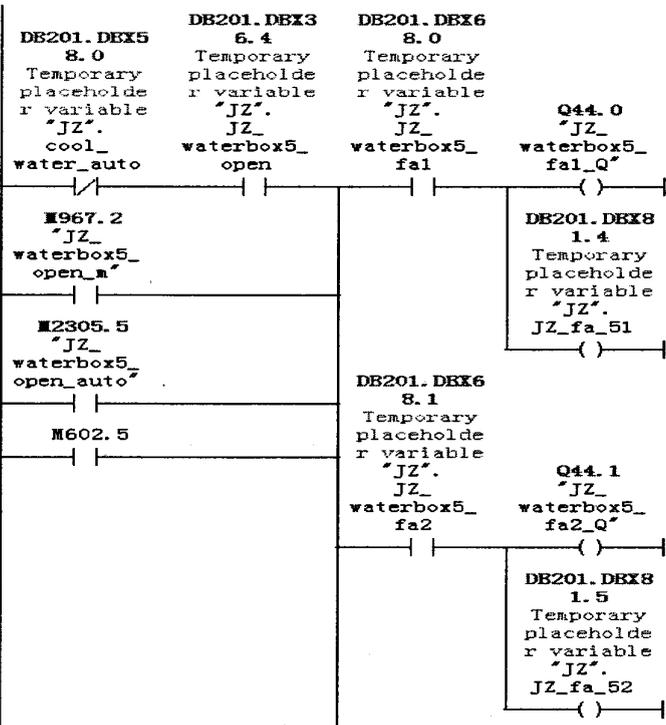
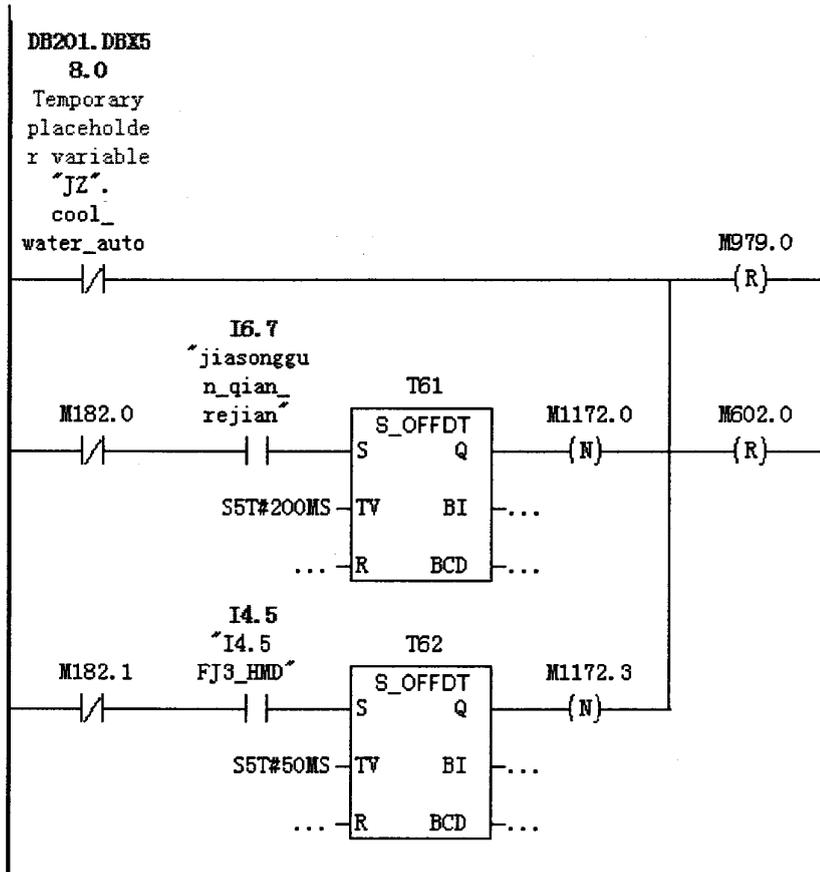
4.2.1 水冷系统的优化

经过对 X 规格生产工艺的分析，在不增加轧件前头未穿水量的前提下，为保证轧件头部在精轧后水冷箱内水冷却的冲击最小，我们采取反向穿水的冷却方式。

具体控制方式为精轧后五段水箱待线材前头信号来临时，经过延时（延时的设定范围为 10ms~1000ms）由第五段依次到第一段反向给水。可以从监控电脑上正向穿水冷或反向穿水冷的选择，这样保证满足某些规格线材正向穿水冷，X 规格线材逆向穿水冷的冷却效果。高速线材水冷反向控制运用时在监控电脑上，选择逆向给水方式，只需要点击操作界面选择即可。从监控电脑上设定穿水延时进行控制线材前头和后尾的不穿水冷长度。线材前头信号由精轧机组出口热金属检测器提供，热金属检测器通过红外光的检测来判断钢是否到达此位置。在精轧后水冷箱停水控制上，针对 X 规格线材的特点，我们在尾部停水上将它与其他规格进行了区别，精轧后水箱自动关水控制如下：CS2 操作台操作旋钮当打到“X 规格”时，精轧后热检失光，延时同时停水，延时时间可在 HMI 操作界面上设定。当打到“其他规格”时，夹送辊前热金属检测器检测到轧件尾部（失光）

时，水箱自动关水。相关控制优化程序如图 4.1 所示：





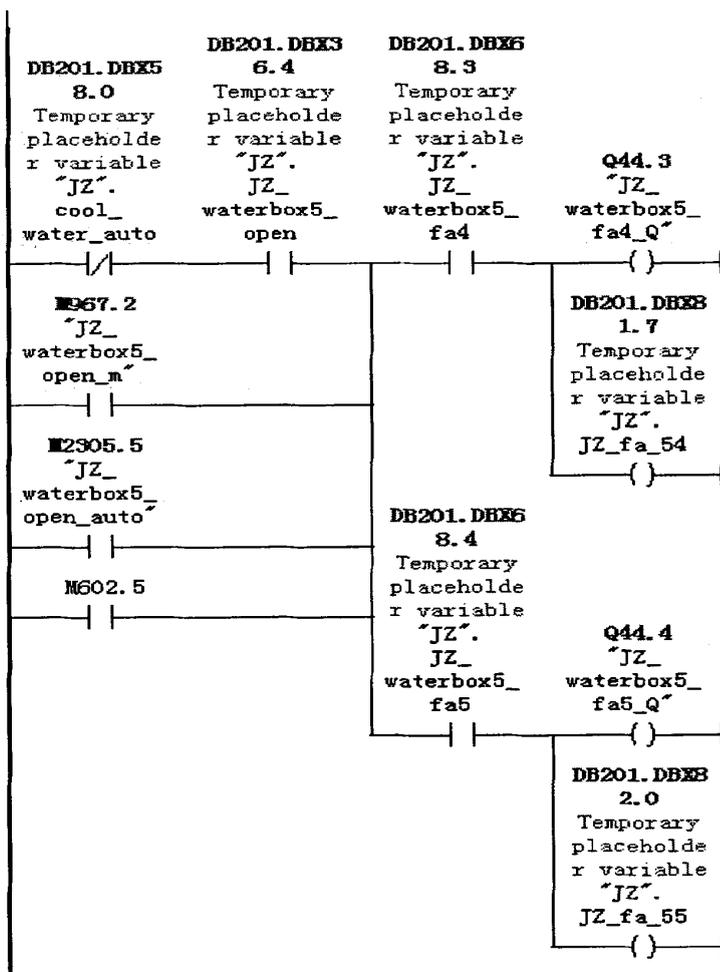


图 4.1 水冷系统控制优化程序图

Fig.4.1 Water cooling system control optimization program

4.2.2 活套控制系统的优化

(1) 针对由于多方面震动带来的活套扫描量的变化，我们发现多是由于原来活套扫描器安装的零位在 1V 及以下，这样在震动后扫描器的零位多低于 1V，而在 1V 一下，反馈回来的信号编译后非线性关系，所以造成活套的不易控制。为此，我们重新用活套校验棒将活套扫描器零位设定为 1.1V，并保证每个月一校正。

(2) 保持活套起套方式不变，改进活套收套方式。为适应不同规格以及速度对收套的要求，以 2#飞剪前热金属检测器为信号，延时依次收套，延时时间在上位机界面中输入，方便职工随时对收套情况进行监控和调整。为保证控制精度，还加入了扫描器信号以及电流信号作为辅助条件。

相关控制优化程序图如 4.2 所示。

轧后热检没感光、3 号飞剪前热检没感光且 18 架轧机（或 16 架轧机，由 CS2 根据轧制规格确定预精轧出口架次）无咬钢电流，说明预精轧憋钢，2 号卡断剪卡断，2 号飞剪自动碎断。相关控制优化程序见图 4.3 所示。

```

L 1.700000e+001
L m16_velocity MD4040
/R
L 1.000000e+002
RND
ITB
T MW 2372

```

Network 4: 'HMD_6' 'I49.0' -> nilomrope

Comment:

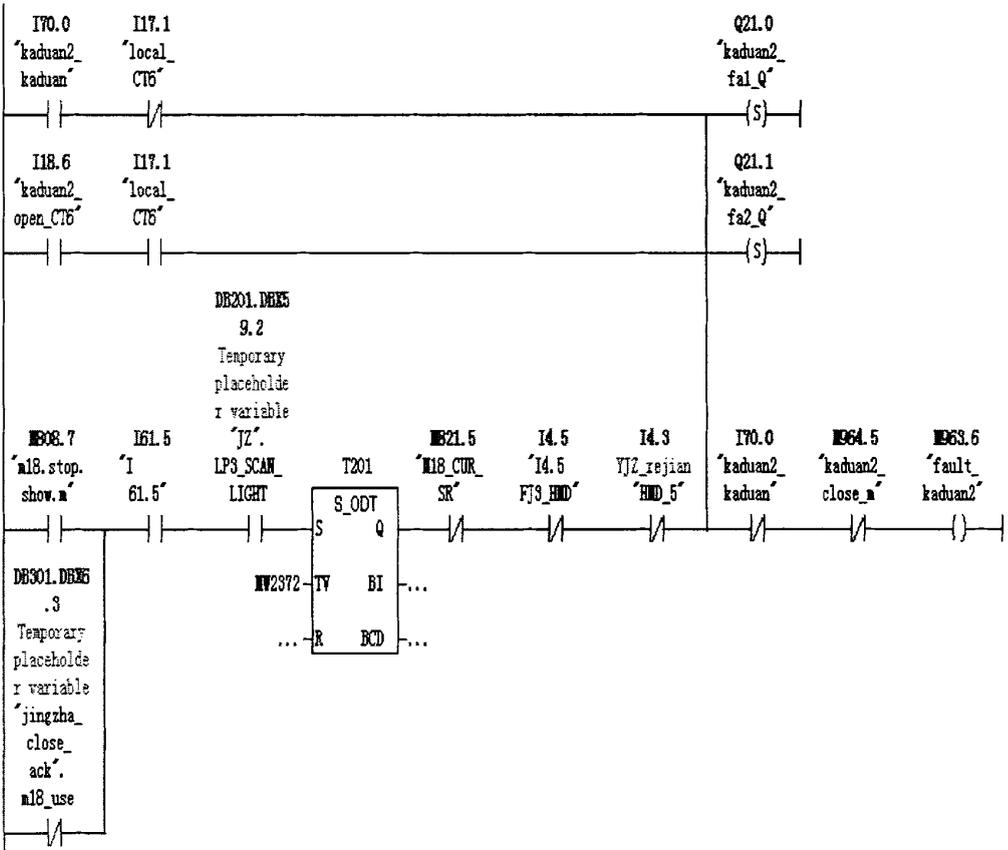


图 4.3 事故碎断系统优化程序图

Fig. 4.3 Accident breaking system optimization program

4.3 系统优化运行情况说明

经过以上系统的优化改造,高速线材生产 X 规格成材率得到了大幅度的提高,成材率提高了 1.5%,达到了 97.8%。活套系统运行稳定,控制精度高,控制精度均小于 10mm。预精轧憋钢后 2 秒钟就会自动响应事故碎断程序,由原来每次憋钢处理 1 小时减少为 15 分钟,为生产和作业率的提高提供了基础。

经生产实践证明,高速线材自动化控制系统的优化,提高了生产稳定性,降低了职工的劳动强度和事故处理的危险性,为高线车间的稳产高产奠定了基础。

总体来说,高速线材自动控制系统的运行和控制优化带来的经济效益是相当可观的。该系统自投入使用以来,运行稳定可靠、功能完善,减少了事故处理时间,提高了生产效率,显著提高产量。此套系统设计全年产量 40 万吨,由于自动化系统的高效运行、提升产值,2009 年 1~12 月份,产量已达到 51.8 万吨,若每吨利润按 150 元计,此项创造直接经济效益 1770 万元。

效益 1: $(51.8-40)$ 万吨 \times 150 元/吨 = 1770 (万元)

由于该系统的投入使用使线材产品质量提高,品种增加,按每吨价格提高 15 元计算,此项增加经济效益 777 万元。

效益 2: 15 元 \times 51.8 万吨 = 777 (万元)

X 规格成材率提高了 1.5%,按照目前二车间生产任务量来说,每月产量 1.2 万吨,按吨钢 4500 元计:

效益 3: 4500 元 \times 1.2 万吨 \times 12 月 \times 1.5% = 972 (万元)

经过最近几年的统计,预精轧憋钢每个月为 10 次,预精轧憋钢自动碎断投入后,减少处理时间 45 分钟,按照即时产量平均 70 吨,吨钢利润按照 150 元计算:

效益 4: 10 次 \times 12 月 \times 45/60 小时 \times 70 \times 150 = 94.5 (万元)

直接经济效益合计 = 效益 1 + 效益 2 + 效益 3 + 效益 4 = 1770 + 777 + 972 + 94.5 = 3613.5 (万元)。

第 5 章 总结与展望

5.1 总结

高速线材自动控制系统是一个庞大复杂的，对控制可靠性、控制精度、安全要求高的控制系统。首钢第一线材厂二车间高速线材自动控制系统采用 PLC 控制的过程控制系统，严格按照高速线材工艺的技术规格控制要求进行设计，实现了全区域和全过程的自动控制，完成了加热炉区设备自动控制，步进梁运行的连锁及控制，主轧线轧机启停控制，飞剪自动控制，活套自动控制，水冷自动控制，集卷区域自动控制，轧线设备状态显示以及事故碎断自动控制，实时以及历史趋势显示、报警储存等功能。

高速线材自动控制系统的设计，是高速线材生产线能否实现控制稳定、品种钢开发、稳产高产的关键。论文研究工作的主要创新点如下：

(1) 加热炉的步进梁控制，加热炉的步进梁控制和钢坯对中控制是加热炉控制的难点。

1) 采用以位移为参考量的速度位移曲线模型，同时进、退采用每步补偿的方法，提高了位移控制精度。

2) 采用由 PLC 完成加减速斜率的控制，而不采用比例放大器的积分器，调整方便，控制精度高。

3) 在钢坯对中采用脉冲编码器双倍计数定位，对中定位效果很好。

(2) 轧区的多活套控制，活套调节采用数字 PID 控制算法，实现了活套的自动调节，同时调节量采用套量调节，套量调节比套高调节更利于提高动态性能，同时对活套的收套方式进行优化，增加了活套控制的稳定性以及控制精度。

(3) 线材冷却控制：

精轧后水冷段根据不同规格采取了五段水箱分段延时给水和反向穿水的两种控制方式的方案，这样一方面保证轧件头部最小程度受到水冷的冲击，另一方面保证了头部的冷却控制的精确度，减少了头部废品率。

首钢一线材厂二车间高速线材自动化控制系统自 2005 年 10 月投入使用以来，运行稳定，轧制速度和产品精度达到设计要求，系统完全采用自行研制、自主开发的技术，控制软件有较强推广应用价值，同时也体现了我们在自动控制领域的技术创新实力，整个自动化控制系统具有国内先进水平。

5.2 研究工作展望

由于设计研究时间和相关条件的限制，本系统仍有许多后继工作需要探讨。

1、当成品线材经过吐丝机时，头部很容易栽到散冷线辊道的辊缝间隙间，造成第一段辊道卡线。为了避免这种情况的发生，必须对吐丝机进行定位控制，使成品线材经过吐丝机时，其头部按给定的位置从吐丝管出来。根据一般对吐丝机头部定位的技术要求，线材头部从吐丝机输出位置（角度）=给定位置（角度） $\pm 60^\circ$ 。

目前，对吐丝机定位控制有两种方式：一是通过改变精轧机前的飞剪剪切长度对吐丝机的头部进行定位控制，其原理是通过增加精轧机前的飞剪起动时间使轧件头部延迟到达吐丝机管口，从而达到控制吐丝机头部定位的目的；二是通过改变吐丝机的转速，实现对吐丝机的头部定位，其原理是通过检测设定点位置与轧件实际头部位置误差，经积分器产生位置给定，再与轧件头部实际位置相比较，产生速度给定值后，送吐丝机传动控制装置，调节吐丝机电机速度，而使轧件头部按照给定的位置从吐丝机管口出来，达到定位控制的目的。

我们虽然掌握了吐丝机头部定位的原理，但在现场的实施中遇到了较大的困难，应当说是不成功的，主要问题是控制精度以及吐丝机变频器响应速度等影响，所以以后还要在这个问题上进行深入研究。

2、根据生产实践的不断深入，在一些控制功能上还有待优化。比如加热炉物料跟踪系统，针对安全、机械保护等方面的连锁控制等功能的研发和改造。

参考文献

1. 何蔚. 首钢第一线材厂二车间大修改造可行性研究[J], 首钢科技, 2004, (5): 3-4.
2. 王晨, 李波. 钢铁生产过程自动化的发展与展望[J], 河南冶金, 2005, (1): 25-26.
3. 李杰训, 徐晶, 石少敏. 计算机过程控制系统的应用与发展[J], 油气田地面工程, 2003, (11): 33-34.
4. 宋道峰. 高速线材轧机电气自动化现状与展望[J], 电气控制与通信技术, 2002, (4): 11-14.
5. 张国强. 高速线材自动化控制研究[J], 首钢科技, 2004, (6): 25-27.
6. 周洁丽. 线材工艺过程控制现状[J], 莱钢科技, 2009, (4): 22-23.
7. 张征. 高速线材工艺布置设计与研究[J], 首钢科技, 2006, (2): 13-15.
8. 张令琴. 偏心轮式步进梁的机械设计与运算[J], 重型机械, 2009, (6): 69-75.
9. 高强. 力士乐比例放大器的设计[J], 机械自动化, 2002, (3): 43-44.
10. 周东, 段志霞, 方洁. 活套控制改进及应用[J], 轧钢, 2008, (2): 36-37.
11. 游光明, 唐修昌, 周永明. 高速线材生产线控冷水箱改造[J], 轧钢, 2004, (1): 23-24.
12. 朱雪璇. 浅谈 PLC 在工业自动化控制领域中的应用[J], 无线互联科技, 2011, (8): 15-16.
13. 姜凤魁. 浅析西门子 PLC 的特点和使用方法[J], 中国电子商务, 2010, (12): 36-38.
14. 谢希仁. 基于 PROFIBUS 现场总线的可编程逻辑控制器监控网络的实现 [J], 计算机测量与控制, 2004, (2): 10-12.
15. 杨钢, 王鹏飞, 马俊朋. PROFIBUS 现场总线通讯技术及其应用研究[J], 工业仪表与自动化装置, 2007, (4): 26-28.
16. 陈欣, 郎朗, 陈跃东. 西门子 PLC 组网技术的研究与应用[J], 自动化与仪器仪表, 2007, (6): 39-41.
17. A Janus. The Control Function of Siemens Simoreg DC Master 6RA70 Introduction[J], Siemens Drive, 2010, (3): 68-70.
18. L. Reicher. The Control Function of Siemens Simovert Master Drives 6SE70 Introduction [J], Siemens Drive, 2011, (1): 53-55.

19. 陈权权. 基于西门子 PLC 的参数化控制编程[J], 中国科技纵横, 2011, (15): 13-14.
20. Kuters. Siemens Function Bloke Diagram for S7-300 and S7-400[M], Germany: SIEMENS, 2010, 223-225.
21. T. Fored. Siemens.Progranuning with STEP7[M], Germany: SIEMENS, 2006, 213-214.
22. 张国强, 张智科等. 首钢高速线材 PLC 一级功能描述[M], 北京: 首钢出版社, 2005, 35-45.
23. Thomas Vontz. Development and research of network configuration[J], Network control and research, 2009, (7): 26-27.
24. L. Reicher. Siemens Configuring Hard ware with STEP7[M], Germany: SIEMENS, 2004, 255-257.
25. 张西中, 王利民, 刘立新. 基于 WINCC 和 STEP7 的 S7-400H 冗余系统的实现[J], 工业控制计算机, 2007, (1): 54-55.
26. 程荣. 基于西门子 STEP7 的设备故障诊断与维修[J], 设备管理与维修, 2011, (1): 32-33.
27. 剑思庭. 浅析组态软件的结构[J], 可编程控制器与工厂自动化, 2010, (10): 58-59.
28. 卢翠艳. WINCC 在 DIET 生产线监控系统上的应用[J], 制造业自动化, 2005, (8): 42-43.
29. 高海建. 直径 5.5mm 线材轧制工艺的分析与测定[J], 轧钢, 2000, (1): 33-34.
30. 邹俊, 傅新, 杨华勇. 精轧活套系统研究[J], 浙江大学学报, 2007, (12): 2.

附录

攻读学位期间发表的论著

文章名	书（期刊）名称	年（期次）	作者
高速线材夹送辊夹送控制方式改造	首钢青年技术创新创效项目选集	2008	孙伟

参加过的课题项目

- 2004 年-2005 年 参加首钢第一线材厂二车间高速线材自动化和传动系统的调试和优化，个人并列获得 2006 年首钢科学技术一等奖。
- 2008 年-2009 年 作为主设计人完成高速线材逆向穿水技术的研究和开发，由于效益突出，已申请国家发明专利，目前国家知识产权局已受理，受理号为 201010232325.4。
- 2009 年-2010 年 参加首钢长治钢铁有限公司高线车间自动化控制及仪表改造项目

致 谢

本课题的研究是在东北大学石海彬老师的指导下完成的。从选题到成稿，石老师一直给予我重要的指导和帮助，为我解开了很多的困惑，提供了很多关键性的建议。石老师正直的人品、宽广的胸怀、和蔼可亲的为人、兢兢业业的工作作风、诲人不倦的师者风范使我终身受益，在此谨向导师表示衷心的感谢！

这里，要感谢我单位的领导和同事，他们给了我这次学习的机会。我会将所学的知识应用在以后的工作中，为首钢贡献自己的力量，以此来感谢厂对我的栽培。

同时，感谢将给予我的论文评阅和将参加我的论文答辩的专家教授。

最后，我还要感谢我的妻子，在我学习期间，是她承担了家庭的重担，是她的理解、支持及默默奉献和帮助使我能胜利完成了学业。亲人的鼓励与支持永远是我前进的动力。

论文的完成是上述及许多未提及的人们共同支持的结果，在论文完成之际特向他们表示感谢。