

5050

分类号 _____

密级 _____

UDC _____

华中科技大学
硕士学位论文

广钢高速线材厂热轧生产线
电气传动及自动化控制系统

学位申请人： 罗小玲

学科专业： 电子与通信工程

指导教师： 彭容修 教授

论文答辩日期 2005年4月28日 学位授予日期 _____

答辩委员会主席 胡用时 评阅人 胡用时 刘锋 彭幼生

摘要

本文介绍广钢股份公司高速线材热轧生产线的电气及自动化控制系统的软硬件设计及轧线几个子系统的控制功能。这个系统的设计涉及 PLC 自动化、交直流传动、电力供电和网络通讯等多方面的技术，应用到自动控制、电气传动、钢铁轧制等多种理论。

论文阐述了课题的背景、意义、内容、达到的目的，同时也简要介绍了冶金自动化在国内外的现状和发展趋势。本文主要从以下几个方面进行讨论：轧线的工艺指标和工艺流程；轧线自动化控制系统的设计任务及轧线自动化控制的技术要求；系统的总体设计（包括网络结构、通讯协议、自动化设备和传动装置的选型）；系统功能的实现方法与原理；自动化控制系统的软件设计。

该控制系统的电气传动装置及自动化控制设备均采用美国 GE 公司的工业自动化产品。本系统自动控制网络结构采用分级式层次结构，由 PLC、传动装置和 HMI 构成两层网络，基础自动化级中用于现场设备逻辑顺序控制、功能运算、电气传动、信号检测等，过程监控级主要完成生产过程监控、管理、数据处理和储存。网络共采用三种协议，分别是工业以太网、PROFIBUS-DP 和 GENIUS 总线。

本论文中针对高速线材生产控制中较为重要的部分作了详尽的阐述，包括：逻辑顺序控制，微张力控制，活套控制，主轧线上的速度级联调和动态补偿，飞剪的控制，斯泰尔摩线冷却控制功能，操作站监控功能等。

实际运行状况表明，该系统将逻辑控制、仪表控制及传动控制一体化，该电气及自动化控制系统的设计满足广钢轧线生产线的工艺要求，系统配置合理，硬件可靠性高，并具有较强的的人机界面功能，自动化程度高，稳定可靠。完全满足生产工艺的要求，取得了令人满意的控制效果。

关键词：高速线材；热轧；电气传动；自动化控制

Abstract

The design of electric and automatically control system of steel wire hot-rolling assembly line at Guangzhou Iron and Steel Enterprise is introduced in this thesis, and the control of several sub-system is described too. The technique about PLC control, alterably current and direct current driver, electric power and industry network communication are related to design of the task. many theories about auto-control, electric driver, iron and steel rolling is applied in the task.

Technological target, technological process of the assembly and the technological require of automatic control and electric driver are elaborated in the thesis. And ways to meet the assembly demand, and rule of system function, the software design of the system, the configure of system are elaborated too. Networks configure, protocol, choosing of automatic installation and driver unit are included in configure of system.

The products of GE Fanuc. are used in the electric driver and the automatic control equipment of this system. A two-class construct is used in the network configure of PLC, driver and HMI. The Local logical control is completed in the basic class. Remote control and data processing of the assembly process are completed in process control class. The industry Ethernet, Profibus-DP and Genius LAN are used in the network.

The control mode of the electric driver, the networks configure and the importance parts in the control system of high-speed wired rolling are elaborated in the thesis. Logical control system, stable state control and dynamic control of the speed adjusting system, micro-pulling force control system, fly-shear speed control system, Stelmor-line control, the computer control system of product primary rolling are included in the thesis.

The design of automatic control and electric system can meet technological require of this assembly are demonstrated by the actual result. The system has high automatic degree, and can work steadily and dependable are demonstrated too.

Key words: High velocity wire rod. Hot-rolling. Electric driver. Automatic control

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到，本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：罗小玲

日期：2005年4月20日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、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电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权华中科技大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本论文属于 保密，在_____年解密后适用本授权书。
 不保密。

(请在以上方框内打“√”)

学位论文作者签名：罗小玲

日期：2005年4月20日

指导教师签名：蔡修

日期：2005年4月20日

1 绪论

1.1 课题的背景和意义

为了扩大与优化钢材品种,填补了广东市场高速线材生产的空白,适应市场的需求,提高企业经济效益,广钢于 2001 年改造建成了一个大高速线材生产厂。其采用的生产工艺与技术装备先进适用、流程合理、自动化控制具备较高水平,改造工程最终达到高产优质、节能降耗、经济高效、安全生产的目标。

广钢股份公司高线改造工程是把原有中型热轧开坯生产线改造为高速线材热轧生产线,工程除保留厂房主体重饰外,其它单元系统均重新设计安装。

改造后的轧线具有下列特点和装备水平:

- 1) 用 150×150mm 连铸方坯一火成材,节能降耗。
- 2) 轧件在中轧、预精轧、精轧机组进行微张力轧制,保证了成品的高质量和产量要求。
- 3) 精整工序设有完善的水冷和风冷控制冷却装置以及集卷、运输、压紧打捆、称重、标记、卸卷装置,可提高成品通条机械性能、表面质量和产品的外观质量。
- 4) 中轧、预精轧、精轧机组均采用直流电动机驱动,以适应轧制程序和调整控制的极大灵活性。
- 5) 全轧线有关部位设有活套检测、温度检测、热金属探测和摄像头等检测仪表。
- 6) 全轧线采用一级计算机系统,与电气全数字控制系统和自动化仪表控制系统组成合理整体,生产自动化水平高。

改造工程的工艺指标使热轧生产线达到 78m/s 的轧制水平,年产 25 万吨的生产能力,加工原料轧件为 150×150mm 方坯,可轧制 $\phi 5.5\sim\phi 13\text{mm}$ 规格的线材。

要达到这些工艺指标,没有先进、稳定的电气传动及自动化控制系统将难以实现。

1.2 课题的内容和目的

将从加热炉出来的轧件经过粗轧、中轧、预精轧和精轧机组进行连续轧制。粗轧机组 5 架轧机；I 中轧、II 中轧各 4 架轧机，全水平布置，每台轧机各由 450KW 直流电机传动，机架间实现微张力控制；预精轧机组共 4 架轧机，每台轧机各由 1 台 450KW 直流电机传动，悬臂辊环式，平立交替布置；预精轧机组前后各设一个水平活套，中间设 3 各立活套，实现无张力轧制。预精轧后，轧件经一段中间水箱控制冷却和飞剪切头后，进入 10 架 75/15 度无扭微张力精轧机组轧成高精度线材。线材自精轧机组出后，进入三段控制冷却水冷段，然后由夹送辊送入吐丝机。散卷均匀分布到斯太尔摩风冷线上，通过控制鼓风机开启台数及调节风门进行冷却。在集卷站收集成盘卷，盘卷翻平后由挂卷小车挂到 P/F 运输机上运至成品筐，经压紧打捆后，称重、标记、卸卷^{[1][2]}。

该生产线的电气及自动化控制系统的建立，可以实现以下控制功能：对各轧机主传动电机转速进行精确设定和调节的级联调控制，对轧机实现无张力轧制的活套控制，轧机主速度控制，实现轧件的顺利咬入和提高线材质量的飞剪控制，夹送辊速度和动作控制，吐丝机速度控制，动态速降补偿，线材冷却控制，集卷控制等。

1.3 生产线的工艺流程

高速线材热轧生产线的轧制流程如图 1.1 所示。

下面简单介绍一下主要的工艺流程环节^[3]。

1) 加热炉：把轧件加热到一定温度，供后续工序轧制。

2) 粗轧机组：把加热炉加热的轧件由 150×150mm 方坯轧制至 80×80mm 方坯。粗轧机组有 5 个机架（1H、2H、3V、4H、5V），1H、2H、4H 机架为水平二辊机架，3V、5V 机架为立式二辊机架。1H、2H、3V 机架为连续式布置。3V 机架与 4H 机架之间有一条保温辊道，用于为过渡状态下的轧件堆积提供一定的缓冲空间，调节轧制节奏，并保持轧件温度。4H、5V 机架为连续式布置。

3) 切头、切尾采用起停式控制，要求在整个轧制速度范围内按设定长度完成

华中科技大学博士学位论文

剪切，并实现剪刀位置的控制。应保证足够的剪切精度，一方面保证切除轧件头尾轧损的部分；另一方面又尽量少切掉合格部分，以提高成材率。碎断功能是在轧线故障情况下，飞剪连续运转，将轧件碎断，以减少故障处的轧件堆积，缩短停车处理时间。

4) II中轧机组：位于N1飞剪之后，把轧件由 $\phi 52\text{mm}$ 轧制至 $\phi 29\sim\phi 32\text{mm}$ 。II中轧机组有4个机架（5H、6H、7H、8H），4个机架均为水平二辊机架，4个机架连续式布置。

5) 1#活套：位于II中轧机组之后。活套的设立可保持机架间无张力，并为过渡状态下的轧件堆积提供一定的缓冲空间。1#活套为水平活套。

6) 1#卡断剪：位于1#活套之后，预精轧机组之前。当预精轧机及下游轧机出现故障时，卡断剪卡断正在送入预精轧机的进料或阻止来料。

7) 预精轧机组：位于1#卡断剪后，把轧件由 $\phi 29\sim\phi 32\text{mm}$ 轧制至 $\phi 17\sim\phi 22\text{mm}$ 。预精轧机组有4个机架（9H、10V、11H、12V），9H、11H机架为水平二辊机架，10V、12V为立式二辊机架，4个机架按平/立/平/立连续式布置。预精轧机组的机架之间均有1个立式活套。

8) 2#、3#、4#活套：分别位于9H-10V、10V-11H、11H-12V机架之间。活套的设立可保持机架间无张力，并为过渡状态下的轧件堆积提供一定的缓冲空间。2#、3#、4#活套为立式活套。

9) 0#水冷箱：位于预精轧机组之后，作用是使用导管将线材从预精轧机组引导至N2飞剪。导管为水冷导管，调节水冷箱水流量，水冷导管对线材快速冷却，以达到进入精轧机组的温度要求。

10) N2飞剪及转撇器：位于0#水冷箱之后，进行轧件的切头、切尾和当其下游设备出现故障时分断轧件并导入碎断剪进行碎断。N2飞剪为回转式切头剪。切头、切尾采用起停式控制，要求在整个轧制速度范围内按设定长度完成剪切，并实现剪刀位置的控制。应保证足够的剪切精度，一方面保证切除轧件头尾轧损的部分；另一方面又尽量少切掉合格部分，以提高成材率。分断功能是在轧线故障情况下，飞剪运转一个周期将轧件分成两段，转撇器由“剪切位置”转至“切废位置”，以利于后半段轧件进入碎断剪进行碎断。

华中科技大学博士学位论文

11) 碎断剪: 位于转撇器“切废位置”之后, 预精轧机组后的轧线出现故障时, 对 2#飞剪分断且由转撇器导入的后半段轧件进行碎断。

12) 5#活套: 位于转撇器“剪切位置”之后, 活套的设立可保持机架间无张力, 并为过渡状态下的轧件堆积提供一定的缓冲空间。5#活套为水平活套。

13) 2#卡断剪: 位于 5#活套之后, 精轧机组之前。当精轧机组及其下游轧机出现故障时, 卡断剪卡断正在送入精轧机组的进料或阻止来料。

14) 精轧机组: 位于 2#卡断剪之后, 把轧件由 $\phi 17\sim\phi 22\text{mm}$ 轧制至 $\phi 5.5\sim\phi 13\text{mm}$ 的线材。精轧机组有 10 个机架 (13#~22#), 10 个机架均采用悬臂式 $75^\circ/15^\circ$ 轧机架, 10 个机架连续式布置。

15) 1#、2#、3#水冷箱: 位于精轧机组之后, 作用是使用导管将线材从精轧机组引导至吐丝机前夹送辊。导管为水冷导管, 调节水冷箱的水流量, 水冷导管对 $1000\sim 1100^\circ\text{C}$ 的线材快速冷却至 $750\sim 850^\circ\text{C}$, 以避免大量氧化铁皮的生成, 并为散卷风冷及金属相变创造良好条件, 最终获得所要求性能的成品线材。

16) 夹送辊: 位于 3#水冷箱之后, 吐丝机之前。其作用是帮助穿水冷却段来的线材顺利通过吐丝机。

17) 吐丝机: 位于夹送辊之后, 吐丝机以圆周运动把由夹送辊送来的轧制成品 $\phi 5.5\sim\phi 13\text{mm}$ 线材吐布成平均直径为 $\phi 1050\text{mm}$ 的线圈, 并连续抛落到斯太尔摩冷却运输辊道上, 以便进一步对线圈进行控制冷却。

18) 斯太尔摩冷却运输辊道: 接受吐丝机吐出的线圈, 并将线圈以一定的距离平稳地输送到集卷区。在运输过程中完成线材的二次压线冷却, 改变线材组织性能。根据不同钢种的冷却要求, 通过调节风机风量、辊道速度、保温罩开闭个数实现对不同规格线材的不同控制要求, 从而获得最优的材料综合性能。

19) 集卷装置: 位于斯太尔摩冷却运输辊道之后, 把散状的线圈收集成卷运至挂卷小车上, 挂卷小车及时把松散盘卷卸下并送到 P/F 运输线的“C”型钩上。

20) P/F 运输线: 即钩式运输机, 将挂在“C”型钩上的松散盘卷送到打捆机、称重装置及卸卷装置等。

1.4 国内现状和发展趋势

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。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,传统的计电仪功能划分不再明显;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;人工智能技术已经广泛应用,包括模糊控制、专家系统和神经网络在各个工序的应用已取得可喜成果和经济效益;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^[4]。

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,同时也为工业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。
- 5) 系统设计时,充分考虑可能出现的问题,以便采取各种技术,尽量减少系统故障,保证系统具有良好、持续的运行性能。

6) 在满足应用需求的前提下, 系统要有高性价比。

本改造工程的设计能力轧线速度最大 75m/s, 年产 25 万吨。在轧制速度和设备装备方面处于国内先进水平。

工业自动化系统通常分为三类: 一类是控制开关量的逻辑控制系统, 一类是控制慢连续量的过程控制系统, 一类是控制快连续量的运动控制系统对于这三种控制系统使用不同的控制装置^[5]。逻辑控制用电控装置(即电气控制装置即继电器接触器控制柜), 过程控制用电仪装置(电动单元组合仪表), 运动控制用电传装置(电气传动控制装置)。所谓三电指的就是电控、电仪、电传^[6]。

从现代控制装置^[7]来看, 无论是逻辑控制、过程控制、还是运动控制都使用计算机开发的控制装置, 计算机成为三电一体的物质基础^[8]。可编程序控制器(PLC)及其网络是构成现代工业自动化最广泛使用的自动化设备。

本项目的电气及自动化控制系统选用美国通用电气公司的 90 系列自动控制设备、300 系列传动装置和控制软件、监控软件。该公司美国通用电气公司是全球最大的公司, 生产的产品以技术先进和高可靠性著称。90 系列的 PLC 和 300 系列的传动装置是美国 90 年代中期的产品, 在美国的大型钢铁企业上使用。

2 轧线自动控制系统设计的要求

2.1 轧线系统的设计任务

由于高速线材轧制生产线速度高，精度高及可靠要求高，轧制线控制采用计算机全数字控制系统，该系统的设计任务包括由保温辊道直到集卷装置的流程控制，涉及各轧机、辊道、飞剪、碎断剪、卡断剪、夹送辊、吐丝机、集卷装置、水冷线、风冷线等的调速及不调速电气传动、机构装置的液压传动和气压传动等自动控制，以及该范围与 P/F 运输线、打捆机、液压站、润滑站、冷却水处理等系统的联锁。

基础自动化系统能够实现中轧机架间微张力控制，活套控制，冲击速降补偿，堆钢检测，飞剪控制，级联调控制，水冷控制，夹送辊，吐丝机控制，Stelmor 风冷线控制，盘卷称量，卸卷控制，轧制节奏控制，轧机速度设定，轧制程序存储，冷却程序存储，原始数据及实时控制系统的数据管理，物料跟踪，CRT 画面显示及生产，故障报表的生成与打印等^[9]。

2.2 轧线自动控制系统的技术要求

该轧线自动化系统要求实现的控制功能要求如图 2.1:

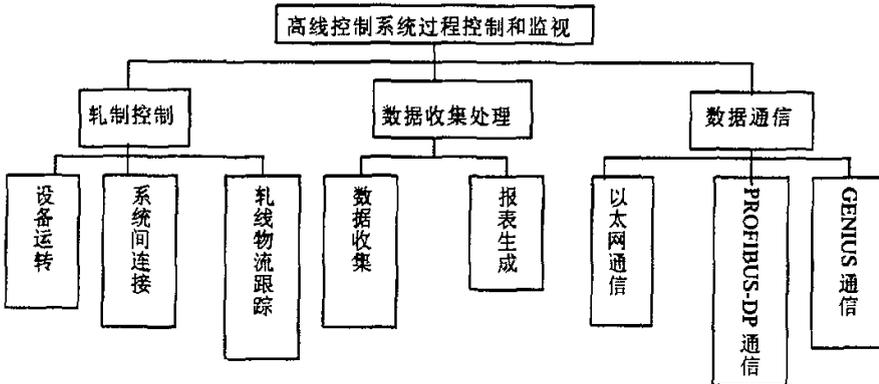


图 2.1 高线生产控制系统功能图

轧线上的自动控制系统要求实现的功能包括:

- 1) 计算机对主轧线的联锁监控。

- 2) 微张力校正。
- 3) 活套控制。
- 4) 飞剪控制。
- 5) 主轧线速度的级联调和动态补偿。
- 6) 夹送辊的速度和动作控制。
- 7) 吐丝机的速度控制。
- 8) 轧制水平的调节。
- 9) 轧制程序的存储。
- 10) 模拟轧钢。
- 11) 各机架速度设定。
- 12) 故障诊断及废品检测处理。
- 13) 轧件头尾跟踪。
- 14) 各液压站润滑站的联锁。
- 15) 集卷装置控制等。

高线改造工程传动控制包括从中轧机前的输入辊道开始，直到卸卷站全部电机。

PLC 和传动装置之间能够通信，传动装置的状态、报警信号及运行数据通过网络可以上传 PLC，PLC 的速度设定、装置使能、装置起动等信号可下传传动装置。

直流传动要求实现的功能包括：

- 1) 电枢回路交流进线侧短路、过流、过压保护。
- 2) 电枢回路直流出线侧短路、过流、过压保护。
- 3) 电枢电压指示。
- 4) 电机速度反馈。
- 5) 磁场回路交流进线侧短路、过流、过压保护。
- 6) 磁场回路交流出线侧短路、过流、过压保护。
- 7) 励磁电流指示。
- 8) 与电机散热风机、装置风机、控制柜风机等的联锁。

9) 与轧线的联锁。

交流传动要求实现的功能包括：

- 1) 电机的短路、过流保护。
- 2) 电机的欠压、缺相保护。
- 3) 电机的电流、电压指示。
- 4) 与轧线的联锁。

3 系统的总体设计

自动化控制系统中，控制系统可分为三层，即 PLC 控制部分、数字传动部分和监控操作站部分。

PLC 控制部分应用美国 GE 公司 90 系列 PLC，处理全线的生产控制，完成系统功能、网络的信息交换。

数字传动部分应用美国 GE 公司的 AV/DV-300 数字调速装置，处理中轧机组、预精轧机组、飞剪、精轧机组、夹送辊、吐丝机的运行。

监控操作站部分应用 GE 公司的画面监控软件 CIMPLICITY，处理轧制规程作业表的生成、全线操作、事故监控报警、生产记录和报表等任务。

3.1 网络拓扑

依靠先进的工业网络技术可以迅速有效地收集、传送生产和管理数据。因此，网络在自动化系统集成工程中的重要性越来越显著。

PLC 具有通信联网的功能，它使 PLC 与 PLC 之间、PLC 与上位计算机以及其他智能设备之间能够交换信息，形成一个统一的整体，实现分散集中控制。多数 PLC 具有 RS-232 接口，还有一些内置有支持各自通信协议的接口。

对于一个自动化工程(特别是中大规模控制系统)来讲，选择网络非常重要的。首先，网络必须是开放的，以方便不同设备的集成及未来系统规模的扩展^[10]；其次，针对不同网络层次的传输性能要求，选择网络的形式，这必须在较深入地了解该网络标准的协议、机制的前提下进行；再次，综合考虑系统成本、设备兼容性、现场环境适用性等具体问题，确定不同层次所使用的网络标准^[11]。

系统网络结构如图 3.1 所示。

本系统自动控制网络结构采用分级式层次结构，由 PLC、传动装置和 HMI 构成两层网络，包括过程监控级和基础自动化级。基础自动化级中用于现场设备逻辑顺序控制、功能运算、电气传动、信号检测等，过程监控级主要完成生产过程监控、

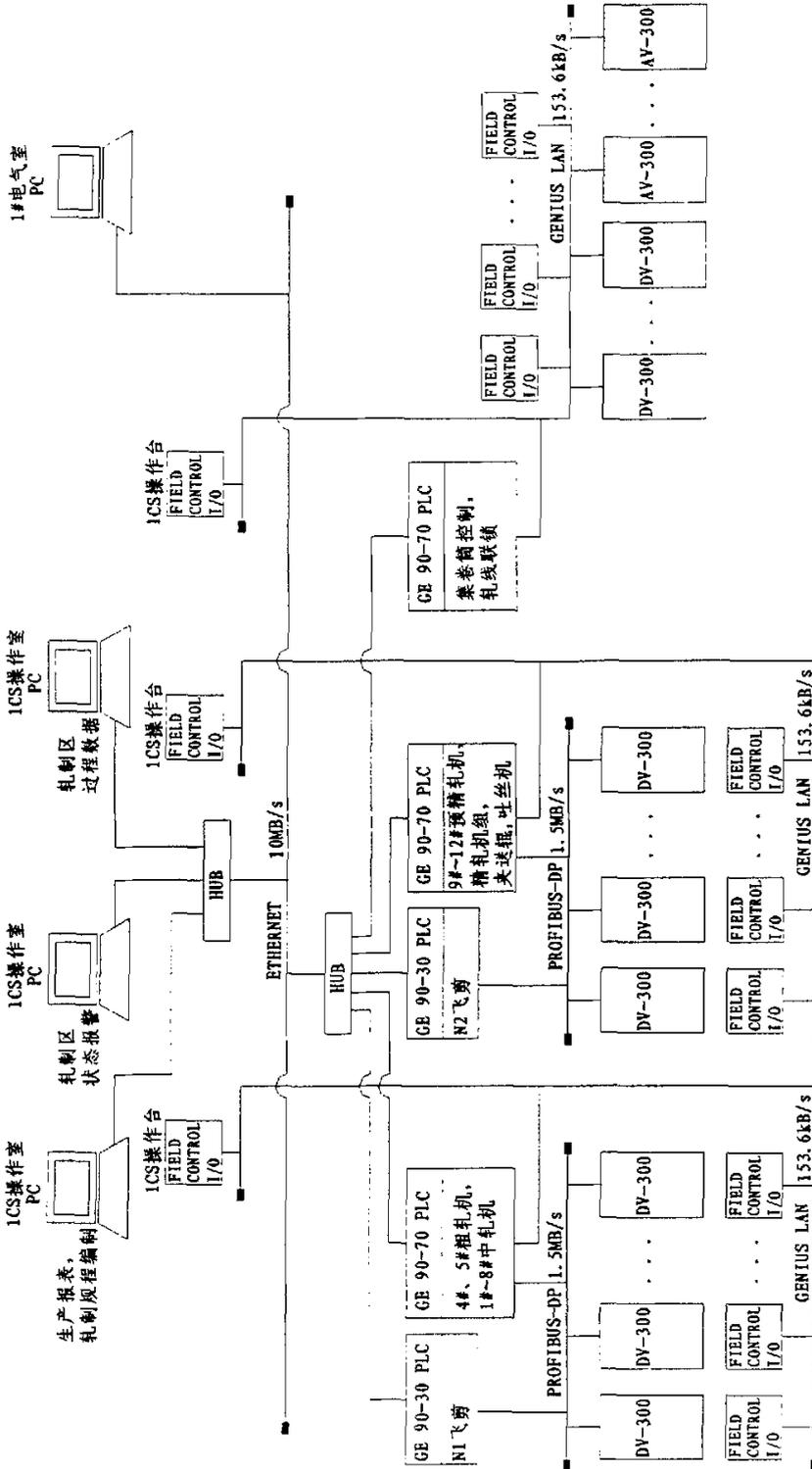


图3.1 系统网络拓扑简图

管理、数据处理和储存。网络共采用三种协议，分别是工业以太网、PROFIBUS-DP、GENIUS。

过程监控级采用工业以太网，通过 HUB 实现于 PLC 与上位机之间，PLC 与 PLC 之间的通信。

基础自动化级采用 GENIUS LAN 和 PROFIBUS-DP。根据它们的传输特性，在轧线主传动装置与 PLC 间选用 PROFIBUS-DP 进行联网通信，辅传动装置及远程 I/O 与 PLC 间选用 GENIUS 网进行联网通信。

3.1.1 工业以太网

过程监控级采用工业以太网^[12]，通过 HUB 实现于 PLC 与上位机之间，PLC 与 PLC 之间的通信，速率 10Mbps；ETHERNET 网络通过 HUB 把 PLC 和 HMI 连成一体。网络规模可达 1024 站，传输距离可达标 1.5km(电气网络)或 200km(光纤网络)^{[13][14]}。

各 PLC 将以下控制信号和数据发送到工业以太网上，上位机根据需要采集这些信号和数据：各设备的运转信号；电机的转速、电流；轧件的跟踪信号；活套的高度值；操作台、操作箱的信号；各设备的报警信号。

各 IPC 将以下控制信号和数据发送到工业以太网上，PLC 根据需要进行采集：轧制参数；活套高度设定值；机架选择及起/停；轧线控制方式；各飞剪起/停、剪切参数、碎断信号；单调/级联方式；模拟轧钢信号；清故障。

上位机及 PLC 通过以太网通讯，其网络地址分配如下：

上位机:	GX1	CIMPLICITY Server	3.0.0.13
	GX2	CIMPLICITY Viewer	3.0.0.14
	GX3	CIMPLICITY Viewer	3.0.0.15
	GX4	工程师站	3.0.0.16
PLC:	PLC5	粗、中轧机组控制	3.0.0.5
	PLC6	预精轧机、精轧机组控制	3.0.0.6
	PLC7	集卷站控制	3.0.0.7

华中科技大学硕士学位论文

PLC8	N1 飞剪控制	3.0.0.8
PLC9	N2 飞剪控制	3.0.0.9

子网掩码: 255.255.0.0

3.1.2 PROFIBUS-DP 现场总线

PROFIBUS 是近年来国际上最为流行的现场总线,也是目前数据传输率最快的一种现场总线(传输率可达 12M 波特),因此在很多领域内有广泛地应用。

PROFIBUS 的网络协议^[15]是以 ISO 颁布的 OSI 标准七层参考模型为基础的,只是对第三层到第六层进行简化,因此可以说它的标准适应性强。此外它的三种模块(FMS、DP 和 PA)又可以适应不同的应用对象和通信速率方面的要求,开放性也好。

PROFIBUS 现场总线基于令牌协议加主从总线的介质存取方式,主站以主从方式与从站通讯,各主站之间由令牌协议决定总线控制权。站点数可达 127 个。传输介质为屏蔽双绞电缆。

PROFIBUS-DP 响应时间非常短,只有 1ms,传输速率 12Mbps,抗干扰能力强,满足轧线的高速轧制要求。正是基于 PROFIBUS 现场总线技术上的成熟和开放性,以及实际应用后的经济效果,因此我们在自动化控制系统中采用了它^[16]。

PROFIBUS-DP 组态说明:

(1) 硬件组态

在本系统中,PROFIBUS-DP 现场总线分为两部分:粗中轧区与预精轧、精轧区。在粗中轧区,90-70PLC 作为 Master,站号设定为 0;其余均为 Slave,它们分别是:04H、05V 粗轧机两组传动装置,站号设定分别为 2、3;中轧机八组传动装置,站号设定分别为 4、5、6、7、10、11、12、13.;N1 飞剪及剪前夹送辊两组传动装置,站号设定分别为 8、9。在预精轧、精轧区,90-70PLC 作为 Master,站号设定为 0;其余均为 Slave,它们分别是预精轧机 4 组传动装置,站号设定分别为 2、3、4、5;精轧机一组传动装置,站号设定为 8;N2 飞剪一组传动装置,站号设定为 6;N3 碎断剪一组传动装置,站号设定为 7;吐丝机及夹送辊两组传动装置,站

华中科技大学硕士学位论文

号设定分别为 9、10。主站上应用 90-70PLC 的 CPU，BUS 终端器设定为 ON。从站中 AV/DV300 设备应用 PROFIBUS 适配模块 NPBA-02，BUS 终端器设定为 OFF。BUS 终端器设定一定要正确，即 BUS 两端为 ON，中间节点为 OFF。通讯距离约为 500m。PROFIBUS-DP 的布线要严格按照适配模块的说明来接线，通讯电缆用西门子公司专用 DP 电缆或屏蔽双绞两芯电缆。屏蔽层的接线一定要保证单端接地，同时结合现场总线的抑制干扰技术可以保证系统通讯的正常运行。

(2) 软件组态

软件组态前，必须先在 Lm90 PLC 编程软件中，利用该软件内的功能块 VME-WRT，参照 SST5136-PFB-VME 硬件手册中的参数规定，编制好 SST 5136-PFB-VME 接口模板的初始化程序并下装到 PLC 中来匹配 PROFIBUS 的组态。

在 Master 站 PLC 上，要对 DP 进行组态，通过 STEP7 软件包结合 ProfiDrive 的定义程序来进行。组态的关键是正确地选择 PROFIBUS-DP 的方式，即 PPO 的类型。在该系统中为 PPO-2 型，通讯字有十个数据字。由于线路的长度约为 500m，故通讯速率选择为 500Kbps，根据实际的应用效果看，该速率满足系统的信号交换要求。在 Slave 站上，同样要正确地组态通讯参数。从站的接口适配模块为 NPBA-02，在驱动和 NPBA-02 之间建立联系，即 PLC 与传动装置之间建立通讯，有八个组态参数必须组态^[17]，组态参数见表 3.1。

表 3.1 PLC 与传动装置的组态参数

参数号	参数名称	本系统组态设定	参数号	参数名称	本系统组态设定
40.01	模块型号	1/NPBA SW2.0	40.05	DATA SETS 号	2/4 个信息通讯字
40.02	PROFIBUS 方式	2/DP-PPO2	40.06	DATA SETS 偏移量	0
40.03	从站号	N(4-10)	40.07	通讯切断时间 ms	30
40.04	波特率选择	6/AUTO	40.08	通讯 PTOFILE	0/ABB DRIVES

(3) 程序编制

经过上述两方面软硬件的正确组态后，PROFIBUS-DP 总线就建立起来了。PROFIBUS-DP 总线经过软硬件的组态建立起来后，Master 和 Slave 之间的信息交

换还必须在主/从站内部来规定，即在双方要用软件来定义其传输信息的内容。

在我们的自动化控制系统中，Master 站应用了 8 个字来记录所有的交换信号，包含 DI12 点，DO6 点，AI3 点，AO1 点。应用 SST5136-PFB-VME 内的标准功能块 VME—WRT 和 VME—RD 来接收和发送 DP 上的信号。Slave 站同样用相应的 8 个字来对应 Master 站，即由主→从应用 4 个字和由从→主应用 4 个字。

我们便通过 PROFIBUS-DP 总线接收和发送 DI、AI、DO 及 AO 等生产过程信号，进行高速、准确的生产控制。

3.1.3 GENIUS 网络总线

GENIUS LAN 通讯速度为 153.6Kbps，该网络为令牌总线网，有全球数据和 DATAGRAM 两种数据传输方式。每段网络最多可连接 31 个装置，装置间最大通讯距离为 7500ft，插在 PLC 机架的 GENIUS 总线控制模块 (GBC) 最多可安装 32 个，可在一台 PLC 上支持多段或多层 GENIUS LAN^[18]。

(1) PLC 系统设置

运行 PLC 编程软件 Lm 90-70，进入到 PLC 的硬件配置界面，对 GBC 模块的设置进行修改。对于 GENIUS 网络中的每一个结点（即：每台设备），必须指明其站地址、通讯数据的类型、起始地址和长度。例如 04H 轧机，其站地址设置为 18，通讯数据是速度和电流，所以类型为模拟量输入 (AI)，地址为 AI228、AI230。

(2) 传动装置系统设置

在完成网络中每个结点的 PLC 系统设置后，便需对每台传动装置（包括直流传动和交流变频装置）上的 GENIUS 网卡进行与 PLC 系统配置相对应的设置^[19]。用电缆连接电脑和传动装置，运行传动装置的配置软件 ToolBox，在 GENIUS 网络设置一栏中进行结点站地址、通讯数据的名称、类型和长度进行配置。值得注意的是，同一结点的参数设置必须保持传动装置的设置与 PLC 系统设置一致。同样以 04H 轧机为例，运用 ToolBox 软件进行传动装置 GENIUS 网卡的配置中，其站地址为 18，数据传输方式选择 Global Data[Device Master]，并在 Global Data Configuration 设置栏中将 Word 0 配置为 Actual Speed (实际速度)，Word 1、Word 2 配置为 Motor

Current (电机电流)。这样,在 PLC 对传动装置进行数据采集是各参数便能一一对应。

3.2 PLC 控制系统

在工业生产过程中,大量的开关量顺序控制,它按照逻辑条件进行顺序动作,并按照逻辑关系进行连锁保护动作的控制,及大量离散量的数据采集。传统上,这些功能是通过气动或电气控制系统来实现的^{[20][21]}。1968 年美国 GM (通用汽车)公司提出取代继电气控制装置的要求,第二年,美国数字公司研制出了基于集成电路和电子技术的控制装置,首次采用程序化的手段应用于电气控制,这就是第一代可编程序控制器,称 Programmable Controller (PC)。

PLC 的定义有许多种。国际电工委员会 (IEC) 对 PLC 的定义是:可编程控制器是一种数字运算操作的电子系统,专为在工业环境下应用而设计。它采用可编程序的存贮器,用来在其内部存贮执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令,并通过数字的、模拟的输入和输出,控制各种类型的机械或生产过程。可编程序控制器及其有关设备,都应按易于与工业控制系统形成一个整体,易于扩充其功能的原则设计。

上世纪 80 年代至 90 年代中期,是 PLC 发展最快的时期,年增长率一直保持为 30~40%。在这时期,PLC 在处理模拟量能力、数字运算能力、人机接口能力和网络能力得到大幅度提高,PLC 逐渐进入过程控制领域,在某些应用上取代了在过程控制领域处于统治地位的 DCS 系统^[22]。

PLC 具有通用性强、使用方便、适应面广、可靠性高、抗干扰能力强、编程简单等特点。PLC 在工业自动化控制特别是顺序控制中的地位,在可预见的将来,是无法取代的^[23]。

从结构上分,PLC 分为固定式和组合式(模块式)两种。固定式 PLC 包括 CPU 板、I/O 板、显示面板、内存块、电源等,这些元素组合成一个不可拆卸的整体。模块式 PLC 包括 CPU 模块、I/O 模块、内存、电源模块、底板或机架,这些模块可以按照一定规则组合配置。

华中科技大学硕士学位论文

CPU 是 PLC 的核心,起神经中枢的作用,每套 PLC 至少有一个 CPU,它按 PLC 的系统程序赋予的功能接收并存储用户程序和数据,用扫描的方式采集由现场输入装置送来的状态或数据,并存入规定的寄存器中,同时,诊断电源和 PLC 内部电路的工作状态和编程过程中的语法错误等。进入运行后,从用户程序存储器中逐条读取指令,经分析后再按指令规定的任务产生相应的控制信号,去指挥有关的控制电路。

CPU 主要由运算器、控制器、寄存器及实现它们之间联系的数据、控制及状态总线构成,CPU 单元还包括外围芯片、总线接口及有关电路。内存主要用于存储程序及数据,是 PLC 不可缺少的组成单元。

CPU 的控制器控制 CPU 工作,由它读取指令、解释指令及执行指令。但工作节奏由震荡信号控制。运算器用于进行数字或逻辑运算,在控制器指挥下工作。寄存器参与运算,并存储运算的中间结果,它也是在控制器指挥下工作。

CPU 速度和内存容量是 PLC 的重要参数,它们决定着 PLC 的工作速度,IO 数量及软件容量等,因此限制着控制规模。

PLC 与电气回路的接口,是通过输入输出部分(I/O)完成的。I/O 模块集成了 PLC 的 I/O 电路,其输入暂存器反映输入信号状态,输出点反映输出锁存器状态。输入模块将电信号变换成数字信号进入 PLC 系统,输出模块相反。I/O 分为开关量输入(DI),开关量输出(DO),模拟量输入(AI),模拟量输出(AO)等模块。

开关量是指只有开和关(或 1 和 0)两种状态的信号,模拟量是指连续变化的量。常用的 I/O 分类如下:

开关量:按电压水平分,有 220VAC、110VAC、24VDC,按隔离方式分,有继电器隔离和晶体管隔离。

模拟量:按信号类型分,有电流型(4~20mA,0~20mA)、电压型(0~10V,0~5V,-10~10V)等,按精度分,有 12bit,14bit,16bit 等。

除了上述通用 IO 外,还有特殊 IO 模块,如热电阻、热电偶、脉冲等模块。

按 I/O 点数确定模块规格及数量,I/O 模块可多可少,但其最大数受 CPU 所能管理的基本配置的能力,即受最大的底板或机架槽数限制。

华中科技大学硕士学位论文

PLC 电源用于为 PLC 各模块的集成电路提供工作电源。同时，有的还为输入电路提供 24V 的工作电源。电源输入类型有：交流电源（220VAC 或 110VAC），直流电源（常用的为 24VAC）。

大多数模块式 PLC 使用底板或机架，其作用是：电气上，实现各模块间的联系，使 CPU 能访问底板上的所有模块，机械上，实现各模块间的连接，使各模块构成一个整体。

在高速线材生产过程的电气、仪表自动控制系统中，控制点数较多，其中：

模拟量输入 (AI):	104 点	模拟量输出 (AO):	64 点
数字量输入 (DI):	1331 点	数字量输出 (DO):	807 点
合共:	2306 点		

由于控制点数较多，根据系统检测和控制情况，我们选用美国 GE 公司 90 系列 PLC 及 Field Control I/O 进行配置。该系统是具有数字量处理能力的专用计算机系统^{[24][25]}，具有模块化、可扩展的体系结构，控制灵活方便，很好地满足本系统要求。

整个控制系统包括三套 90-70PLC、二套 90-30PLC、十套 Field Control I/O 及 4 台工控机，对轧线生产进行监控生产线上的公用信号，如热金属检测器信号、液压、润滑站联锁信号等进入主 PLC。各架机架起停、联锁和操作信号，则进入 Field Control I/O。

1CC (90-70PLC) 负责预精轧到吐丝机区域的轧制过程控制和活套控制、2#、3#润滑站、液压站联锁控制、该区域的变压器信号监控等；

2CC (90-70PLC) 负责 04H、05V 粗轧机至 II 中轧机区域的轧制过程控制和活套控制、1#润滑站、液压站联锁控制、该区域的变压器信号监控等；

4CC (90-70PLC) 负责斯泰尔摩线至卸卷站区域的速度、集卷等控制。

1#飞剪 PLC (90-30PLC) 负责 1#飞剪的定位、速度给定、使能、剪切控制；

2#飞剪 PLC (90-30PLC) 负责 2#飞剪的定位、速度给定、使能、剪切控制。

现场的公用信号由 PLC 的 I/O 模块采集和控制，各轧机机架和各辅助设备的联

锁和操作信号由其对应的 Field Control I/O 进行采集。Field Control I/O 检测现场信号，通过 Genius LAN 送到 PLC 进行运算和数值转换，参与轧线上设备的联锁控制 [26]。

PLC 通过信号的联锁控制轧线上各设备的起停、移动等动作，并在 HMI 上显示轧制过程和模拟轧制过程的轧件位置。

所选的 90-70PLC 的 CPU 板为 IC697CPX782，90-30PLC 的 CPU 板为 IC693CPU350，其指令功能强，除能进行基本逻辑运算外，还可以进行浮点运算，并且能进行多种码制变换，控制灵活方便，可以很好地满足系统精确的数据计算要求。

Field Control I/O 由 1 个总线接口单元 (BIU)，1 个可选的现场逻辑处理器，多达 8 个现场 I/O 模块组成。Field Control I/O 由密封的铝外壳保护，适应严酷的外界环境。

PLC 软件选用 GE 公司配套的编程软件 Logic Master90-70 和 CIMPLICITY CONTROL；Field Control I/O 采用 90-30/Micro 编程软件。

Logic Master90-70 和 CIMPLICITY CONTROL 具有以下特点：

- 1) 使用结构化编程方法，程序由多个程序块组成，主程序块可调用其它程序块，程序块可嵌套调用。
- 2) 可对 PLC 进行在线、离线的软件组态，修改程序和参数。
- 3) 完善的文档和注释功能。
- 4) 软件具有四级保护口令。
- 5) 具有程序库管理功能。
- 6) 具有“热键”功能，可随时调用软件中的帮助信息等。

3.3 轧线交直流设备电气传动控制

轧线交直流传动设备^[27]的电气控制传动装置选用美国 GE 公司 AV/DV-300 系列全数字调速装置，控制方式为统一指令的双闭环自动控制系统^[28]。具有数字调节、传动保护、顺序操作、自诊断及通讯功能^[29]。传动装置设计为双闭环控制系

华中科技大学硕士学位论文

统,利用电流环和速度环控制提高控制精度和响应速度^[30]。本设计具有过压、过流、欠磁、过磁的保护功能,提高受控设备的可靠性,延长了设备的使用寿命。它具有以下特点:

标准的保护特征:交流进线熔断器,直流熔断器,相序、缺相、欠压、过压检测,可编程瞬时过电流设定,可编程定时过电流设定,测速反馈丢失保护,超速保护。

标准的控制特征:微处理器控制的数字调节器,速度、电枢电流、磁场电流调节器,定时加减速时间,故障联锁、跳闸。

DV-300 装置内加装 TBO 卡(I/O 扩展卡)、GENIUS BUS 接口卡、PROFIBUS-DP 网络通信卡。AV-300 装置内加装 TBO 卡(I/O 扩展卡)、GENIUS BUS 接口卡。TBO 卡用于扩展装置的 I/O 数量。GENIUS BUS 接口卡、PROFIBUS DP 网络通信卡用于 PLC 和传动装置之间的通信,传动装置的状态、报警信号及运行数据通过这条网络可以上传 PLC, PLC 的速度设定、装置使能、装置起动等信号可下传传动装置。

标准配置的 I/O 接口:3AI, 4DI, 2 路编码器反馈输入, 1 路测速发电机反馈输入, 1 个 RS485 串行口及可选接口卡。

本控制系统共用 33 套直流传动装置 DV-300 和 2 套交流传动装置 AV-300。

中轧机组,精轧机组主传动电机采用电枢不可逆,磁场可逆的整流线路方案,预精轧机组及夹送辊,飞剪,吐丝机等辅助传动采用电枢可逆,磁场不可逆的整流线路方案。控制方式为统一指令的双闭环自动控制系统。

采用直流传动装置 DV-300 的电机有:

- 主传动设备 16 套:04H、05V 粗轧机, I、II 中轧机, 9# -12#预精轧机和精轧组

- 辅传动设备 17 套:1#、2#飞剪, 飞剪夹送辊, 碎断剪, 吐丝机前夹送辊, 吐丝机, 斯太尔摩线辊道和集卷站

采用交流传动装置 AV-300 的电机有:

- 立式机架换辊升降电机、中轧前辊道和斯太尔摩线可调辊。

调速柜防护等级为 IP20, 采用双柜并柜式结构。

直流调速柜内标准电气元件配置：进线隔离开关、进线三相熔断器、励磁变压器、装置和调速柜风机开关、风机接触器、磁场快熔、磁场接触器、电枢回路进线电抗器、磁场回路进线电抗器、DC MASTER 传动装置、OP1S 操作面板、内控/外控按钮、速度给定电位计、安全停车按钮等。

不调速的传动装置选用 MCC 抽屉柜控制。

3.4 监控操作站控制

监控操作站控制主要完成生产过程监控、管理、数据处理和储存、参数设定、轧件跟踪、轧制规格存储、过程数据管理、模拟轧制^[31]。

轧线上配置 4 台工业 PC，3 台用于主轧线监控，1 台用于主电室内的监控、诊断。另外还配置 2 台便携式手提电脑用于现场调试。

PC 机上安装 GE 公司的画面监控软件 CIMPLICITY，操作系统为 WINNT4.0。

CIMPLICITY 监控软件^[32]具有以下特点：

- 1) 分布式和开放式的系统。
- 2) 信号的高速传输和实时访问。
- 3) 报警生成。
- 4) 历史趋势和实时趋势。
- 5) 数据采集和分配。
- 6) 数据库登录等。

4 轧线控制系统的控制功能设计

广钢高速线材厂轧线的速度设定以中轧机组为基准。全线各机组的速度设定都是根据金属秒流量相等的原理来进行的。现将速度设定过程说明如下：一般情况下，轧线的各机组速度设定都是从最后一道次机组的速度开始往前进行速度分配的。但由于线材厂的中轧机转速恒定，故速度设定以中轧机末架出口线速度为基准速度，中轧机末架出口线径为 $\phi 21\sim\phi 24\text{mm}$ ，根据金属秒流量相等的原理可求出精轧机及预精轧机的出口线速度，夹送辊及吐丝机的线速度设定略高于精轧机的出口线速度，飞剪切头时的速度设定值取 2#预精轧机的出口线速度的 1.03~1.05 倍^{[33][34]}。

轧线主要控制功能有：

- 1) 逻辑顺序控制。
- 2) 活套控制。
- 3) 轧线速度的级联调和动态补偿。
- 4) 飞剪控制。
- 5) 夹送辊速度和动作控制。
- 6) 吐丝机速度控制。
- 7) 轧制水平调节。
- 8) 轧制程序的存储。
- 9) 轧钢。
- 10) 斯泰尔摩线冷却控制。
- 11) 轧件头尾跟踪。
- 12) 操作站控制。
- 13) 集卷装置控制等。

现在将设计的几个主要的控制功能说明如下：

4.1 逻辑顺序控制

我们设计的全线逻辑顺控程序的基本思想是：首先检查所有运行条件及启动条件是否准备好，若一切条件 OK，则调用速度子程序，以完成所有机架的速度设定（含实际速度设定、动态速降补偿及手动速度修正值，各机架的速度设定通过轧制规程表完成计算）。在轧制生产时，当 FZ8 热金属检测器检测信号为 1 且 FZ9 热金属检测器检测信号为 0 时，则判断为轧件头部，当 FZ8 热金属检测器检测到线材头部时，延时 T1 秒，若 1#预精轧机的咬钢信号为 1 或 FZ8 热金属检测器检测到线材头部后延时 1 秒，则打开 LS1 水平活套起套管；同理，当 1#热金属检测器检测信号为 0 且 FZ8 热金属检测器检测信号为 1 时，则判断为轧件尾部，延时 T2 秒后，调用 LS1 水平活套收套子程序。

当轧件头部到达 FZ8 热金属检测器检测位置时，延时 T3 秒，若 FZ9 热金属检测器未检测到线材头部，则预精轧机故障报警，启动 1#预精轧机卡断剪卡住轧件，进行故障处理。故障处理后，各机组恢复到待轧状态；反之，若 2#预精轧机的咬钢信号为 1 时，则推出 LS2 立活套起套辊，同理，当 FZ8 热金属检测器检测信号为 0 且 FZ9 热金属检测器检测信号为 1 时，则判断为轧件尾部，延时 T4 秒后，调用 LS2 立活套收套子程序。

同理，用 FZ9、FZ10、FZ11 热金属检测器检测，对 LS3、LS4 立活套进行起套、收套控制。

当 FZ12 热金属检测器检测信号为 1 时，硬接线触发计数器 1 计数，当计数值达到设定值时，调用飞剪切头子程序；同理，当 FZ12 热金属检测器检测信号为 0 且 FZ11 热金属检测器检测信号为 1 时，则判断为轧件尾部，当 FZ12 热金属检测器检测信号为 0 时，硬接线触发计数器 1 计数，当计数值达到设定值时，调用飞剪切尾子程序；当 FZ12 热金属检测器检测信号为 1 且 2#预精轧机传动速度为 0 时，则自动模拟剪切一次。

当 FZ11 热金属检测器检测信号为 0 且 FZ12 热金属检测器检测信号为 1 时，则判断为轧件尾部，延时 T5 秒后，调用 LS5 水平活套收套子程序。

当 FZ12.1 热金属检测器检测到轧件头部时, 延时 T6 秒, 若 FZ12.2 热金属检测器未检测到线材头部或鱼线开关动作时, 启动 2#卡断剪卡住轧件, 同时启动飞剪对线材进行自动碎断。

当 FZ20 热金属检测器检测信号为 1 时, 延时 T7 秒, 调用穿水冷子程序, 对轧件进行冷却控制; 同理, 当 FZ20 热金属检测器检测到轧件尾部时, 延时 T8 秒, 穿水冷停止喷水。

当 FZ22 热金属检测器检测到线材头部时, 延时 T9 秒, 夹送辊压下, 再延时 T10 秒后, 夹送辊抬起; 当 FZ22 热金属检测器检测到线材尾部时, 夹送辊压下, 再延时 T11 秒后, 夹送辊抬起。当精轧机、预精轧机咬钢后, 所有活套进入速度级联控制。

4.2 微张力控制

在轧制过程^[35]中, 由于各个机架的压下量和轧制速度设定值不太合适、轧件头部被轧辊咬入时的冲击会引起一定的速度降、沿轧件长度方向上其厚度和宽度有波动、沿轧件长度方向有水冷黑印和头尾温度差、轧件头部温度降低、轧辊热膨胀、轧辊磨损和轴承中油膜厚度的变化、以及加减速时的过渡速度响应性能差等都会在轧件上产生一定的张力作用, 张力会引起线材尺寸、形状等的波动。轧制过程中的无张力控制, 实际指生产上作用于轧件上的张力很小, 从而保证了线材尺寸、形状的精确性。通常线材轧机取应力 $0.4\text{kg}/\text{mm}^2$ 以下作为微张力基准, 微张力调节范围约为 $\pm 3\%$ 。在本系统控制中, 粗轧和中轧区域有微张力控制部分(预精轧和精轧区由于轧制速度过高, 不宜进行微张控制)^[36]。

4.2.1 微张力控制原理

微张力控制实质上是通过检测对相邻两工作机架上的电机转距进行检测, 加以记忆存储, 形成表示钢坯内张力大小的实际值, 与设定的张力给定值的偏差, 通过比例、积分控制校正上游机架的速度, 协调两机架之间的关系, 实现微张力控制。其控制

的关键是准确测量各轧机的轧制力矩。系统通过检测对应机架的电枢电流 (I_a) 间接得到该值。

而轧件尚未进入下架轧机时, 系统计算出的力矩便是本轧机的轧制力矩值。当下机架的轧机也咬钢时, 从新计算得到新的力矩, 两力矩之差是轧件上的张力力矩。若偏差值为正, 表示机架间堆钢; 若偏差值为负, 表示机架间拉钢。系统根据偏差值的正负和大小, 给出相应的速度修正来平衡轧机的速度, 保证机架间的张力被限制在一定的范围内, 实现微张力控制。

由于微张力控制将两相邻机架通过轧件联系起来, 使其存在耦合关系, 系统不具备鲁棒性, 为此, 引入速度校正因子进行解耦。当微张力控制开始时, 速度校正因子进行自我补偿调节, 通过不断的自动修正, 消除初始偏差, 在两轧机间形成协调的速度。微张力控制原理如下图 4.1:

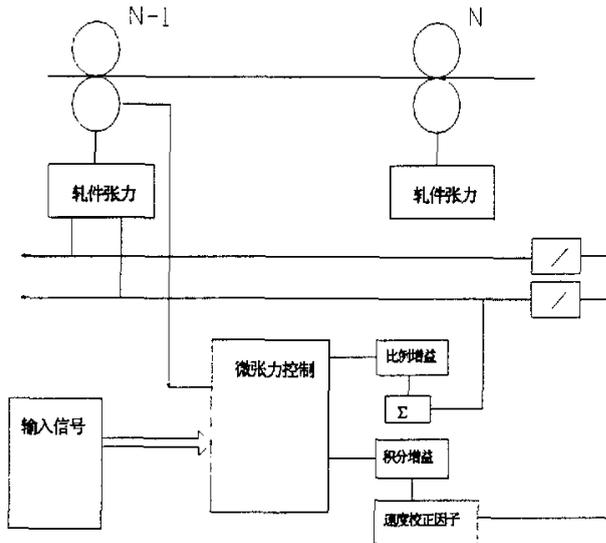


图 4.1 微张力控制原理

4.2.2 控制过程

轧机转矩的变化是一个非线性量, 滤波元素接受上游机架的波形转矩参数后, 乘于转矩常数得到张力级联参数并存储本机架张力值。将张力进行比较后得到一个

华中科技大学硕士学位论文

张力偏差，该张力偏差值分别进行比例和积分运算，积分运算值作为速度校正因子参与速度级联控制，得到上游机架的速度。

轧机速度设定主要由两部分组成：一部分是决定轧钢生产速度主信号，由最末机架出口速度为基准向上游分配，即每过一个辊缝，除于一个速度校正因子；另一部分是叠加在主基准上的速度修正值。这样在主级联速度给定的基础上通过速度修正调整上游机架的速度给定，协调上、下游机架间的速度关系，使钢坯在微张力控制下正常轧制。

由此可见，微张力控制实质上是在上游轧机主传动控制上增加张力外环，由微张力给定值与检测值形成的偏差，与比例增益相乘形成微张力控制的比例速度校正值；偏差值与增益常数形成速度校正因子，传递给控制环节形成自整定的速度校正，调节上游轧机的速度，实现微张力控制。

微张力控制一般采用：机架间速度控制、电流记忆、力矩记忆和轧制力记忆等来直接控制粗轧、中轧机架的速度。

本系统微张力控制采用电流记忆方式，基本思想是：以轧件在上一机架中轧制时所计算出来的力臂（ a ）作为轧件在前后两机架连轧时的力臂，然后按双机架连轧时的张力与前一机架的电枢电流（ I_a ）的关系，通过前机架的电流变化反映张力的变化。

在轧制过程中，采用间隙法控制张力的投入。即在轧件头部进入轧机后延续一段时间投入微张力控制，电流变化在 $\pm 3\%$ 时撤出，当机架电流变化超过 $\pm 5\%$ 时，再投入张力控制。

根据双机连轧时作用于轧件上的张力（ T ）

$$M_{\text{单轧}} - M_{\text{连轧}} = M'_{\text{连轧}} = T \times R^{[37]} \quad (\text{式 4-1})$$

其中： R —前机架工作辊半径

$M'_{\text{连轧}}$ —双机连轧时张力所产生的力矩

$$M_{\text{单轧}} = C_m \times \Phi \times I_a \quad (\text{式 4-2})$$

其中： C_m —电机特性常数

Φ —电机磁通

I_a —电枢电流

4.3 活套控制

活套控制是线材轧机机组控制功能的核心部分，活套控制的好坏直接影响线材产品的质量^[38]。本生产线的活套系统由五个活套组成，三个立套和二水平套一起投入使用。活套的控制可分三部分进行——前、后段快速返回的高速控制和中间段的PI调节控制。

活套的基本控制功能分为活套调节、起套和收套逻辑控制两部分。

4.3.1 活套调节

活套调节系统采用逆调方式，调节器输出改变上游机架速度，为减少起套时对轧线速度的扰动，在起套形成活套时采用顺调方式。只改变咬钢机架的速度给定，在活套形成后，自动回复到逆调方式。活套控制在1#90-70PLC中完成。

活套套量设定公式：
$$L=L_2-L_1 \quad (\text{式 4-3})$$

其中： L_1 —活套前后辊间直线距离

L_2 —活套前后辊间轧件总长度

在实际中通过检测活套高度的方法间接计算出套量。活套高度由活套扫描器来完成。

套量调节方法：活套量等于活套入口处轧件与出口处轧件线速度之差的积分。当入口速度大于出口速度时，套量逐渐增加；反之套量逐渐减少；相等时套量维持不变。

活套调节采用PI调节器，活套套高设定由定积分器产生，积分常数与轧制速度成正比，调节器输出改变机架速度，保证活套套高的稳定。利用活套扫描器检测套高，通过PI调节器进行活套零位修正和套量过高检测。

利用活套调节器（PI控制）维持活套高度的设定值不变，从而实现前后机架正

确的速度配合。

活套系统利用轧线上的热金属探测器对轧件的头尾进行跟踪，根据头部位置和轧制速度决定推杆动作和形成活套的时间；根据对尾部位置的跟踪，计算收套时间，完成收套控制，防止抽尾。

4.3.2 起套和收套逻辑控制

其起套过程由于工艺的特殊性，中轧机的速度无法调节，精轧机的速度尽量保持不变。因此，五个活套的起套过程如下：

LS1 水平活套起套过程：预精轧机组在穿钢时降速 3% 来使 LS1 水平活套起套，在 10# 机架咬钢后取消其速度分量，让活套保持在自由状态。

LS2、LS3、LS4 立活套起套过程：预精轧机组在穿钢时靠轧机本身的动态降速来起套，由于金属秒流量的不平衡和机械特性，可以保证立活套的形成且保持在自由状态。

LS5 水平活套起套过程：精轧机组咬钢的同时使预精轧机组升速 1.5% 使 LS5 水平活套起套，在精轧机咬钢延时 T 后取消其速度分量，让活套保持在自由状态。

活套的收套速度处理是：

当 LS1 水平活套收套时，其活套设定值切换为最小收套量，并将其活套速度变化量 ΔV 叠加到下游各机架，使预精轧机组、精轧机组、夹送辊、吐丝机同时升速，当 LS1 活套高度降到允许的最小套量时，其活套速度变化量 ΔV 将自动消除，下游各机架的线速度值将恢复到原速度设定值；

当 LS2 立活套收套时，其活套设定值切换为最小收套量，并将其活套速度变化量 ΔV 叠加到 1# 预精轧机，使 1# 预精轧机减速，当 LS2 活套高度降到允许的最小套量时，其活套速度变化量 ΔV 将自动消除，1# 预精轧机的线速度值将恢复到原速度设定值；

同理，LS3、LS4 立活套收套与 LS2 一样调节 2#、3# 预精轧机的线速度；

当 LS5 活水平套收套时，其活套设定值切换为最小收套量，并将其活套速度变化量 ΔV 叠加到 4# 预精轧机，使 4# 预精轧机减速，当 LS5 活套高度降到允许的最

小套量时，其活套速度变化量 ΔV 将自动消除，4#预精轧机的线速度值将恢复到原速度设定值。

4.4 主轧线上的速度级联调和动态补偿

轧线速度控制分为速度给定和速度调节两部分。

速度级联调节是以轧制水平对应的轧制线速度为基础加入活套调节的修正系数，对机架进行速度调整，达到机架间速度的精确配合。

级联速度设定及自动级联调节综合产生的机架线速度，需要根据对应机架的工作辊径及传动比等因素折算为电机转速，然后线性变换为速度给定值信号，通过 PROFIBUS-DP 总线传输到调速装置。

速度给定是以精轧机第一个机架的速度为基准，下游机架按照金属秒流量相等的原理按比例设定，即

$$F_1 \times V_1 = F_2 \times V_2 = \dots = F_{s-1} \times V_{s-1} = F_s \times V_s \quad (\text{式 4-4})$$

其中： s —机架号

V_s —机架线速度

F_s —机架孔型面积

机架转速设定公式： $N_s = 60V / (\pi \times D_s \times i)$ (式 4-5)

其中： V —线速度

D_s —轧机轧辊工作直径

i —传动比

s —机架号

级联系数： $Q = N_{s+1} / N_s$ (式 4-6)

速度调节属于动态调节。本系统采用精轧机最后一个机架为基准的逆调方式进行速度级联调节。为保证出口成品的质量，对轧制不同规格和在不同精轧机辊径情况下，由速度控制 PLC 完成夹送辊、吐丝机超前系数、速度及加速度同步、夹送辊和精轧机间张力、吐丝系数的计算和控制。

动态补偿是在机架咬钢前加大速度的给定值，用于补偿咬钢时的动态速度降，

使轧制速度尽快恢复。速度动态补偿量为 3%，延时适当时间（根据轧制设定的速度按公式运算，不同机架延时时间不同）后撤除。

4.5 飞剪的控制

为保证轧件顺利咬入和提高产品质量，一般在中轧和精轧机入口都配有切头、切尾飞剪^[39]。飞剪是在轧件运动过程中，剪刀产生相对运动而将轧件切断的设备。为保证剪切速度和轧件速度一致，剪刀的速度应与上游机架的线速度一致^[40]。以下就广钢高线厂的 N1 飞剪作详细的阐述：

在广钢高线厂的生产过程中，N1 飞剪位于 I 中轧机与 II 中轧机之间，用来对 $\Phi 52\text{mm}$ 轧件进行切头和事故碎断时进行剪切。剪切采用起停式控制，要求在整个轧制速度范围内按设定长度完成剪切，并实现剪刀的位置控制。碎断功能是在轧线故障的情况下，飞剪连续运转将轧件碎断，以减少故障处的轧件堆积，缩短停车处理时间。

为保证剪切质量，该系统控制要求快速、精确，一方面保证切除轧件头尾轧损的部分，另一方面又尽量少切除合格的部分，以提高成材率。因此，该系统采用 PLC 对飞剪的剪切、剪切长度、停车、定位等进行控制，整个飞剪的电控系统由可编程控制器、电气传动装置及检测设备等组成。

4.5.1 飞剪的工作原理

当飞剪系统接到剪切信号后，飞剪剪刀从起动位置以最大的加速度加速到同步速度。此时剪刀速度达到轧件速度，飞剪保持剪切同步速度对轧件进行剪切，确保线材剪断后，要进行减速制动和定位控制返回到起动位置。

4.5.2 飞剪的控制

飞剪控制包括飞剪定位、剪切速度给定、制动等。飞剪的加速、制动、定位控制由全数字传动装置与 GE 公司 90-30 PLC 系统配合完成。飞剪控制采用三环系统（位置、速度、电流），由全数字传动装置 DV-300 完成飞剪的速度、电流环控制，

位置环控制由 90-30 PLC 系统完成。

1. 电气控制

N1 飞剪由一台直流电动机拖动，电机型号：Z4-355-4A-03，额定功率 215KW，电压 440V，电流 540A，励磁电压 220V，电流 26A，转速 627rpm。对电机进行闭环调速控制，以达到剪切的速度和精度要求。

N1 飞剪的传动装置采用美国 GE 公司 DV-300 系列传动装置，型号为：6KDV31150Q4G440B1，功率 215KW，其控制方式为统一指令的双闭环自动控制系统，并具有电流自适应功能，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。

其传动控制装置由控制柜及功率柜双柜合成，在控制柜中，在主回路交流进线侧设置了抑制 di/dt 限制电流上升率的交流进线电抗器，同时设置了分断闭合交流主回路的交流接触器。

PLC 通过 PROFIBUS-DP 将起停、使能等信号传到装置。装置将其装置 OK、零速等信号通过数字量输出口传送给 90-30 PLC 进行控制。装置故障时，通过 PROFIBUS-DP 网络通讯上传到上位机控制系统。

2. 检测仪表控制

系统用一个热金属检测器及一个预设定高速计数器来检测轧件头部位置，计数脉冲取自飞剪前一机架电动机轴端的脉冲发生器，热金属检测器 HMD 检测到轧件头部时起动计数器，高速计数器对光电编码器脉冲进行计数，当计数值和设定值相等时，发出飞剪起动信号，完成线材定长剪切。

剪刀的位置控制采用位置伺服系统，由装在剪刀回转轴上的光电编码器作出位置反馈保证飞剪的准确停位置。

剪刀的空间位置用与剪刀同轴的脉冲发生器来检测，剪刀每转一周，脉冲发生器发出 4096 个脉冲，剪刀的空间位置与脉冲计数一一对应，计数器输出到比较器与各个位置设定的脉冲数比较，当剪刀到达该位置时，两数值相等，输出相应的逻辑控制信号（剪切、反爬、停车等）。

3. PLC 控制

华中科技大学硕士学位论文

电机调速采用闭环 PID 控制方式，用脉冲发生器提供反馈信号，使电机转速保持与给定无静差。

在 N1 飞剪的控制系统中，与轧线有关的控制及联锁都通过 Ethernet 网上传到轧线的控制系统中去了，本系统主要完成飞剪线速度的计算，剪切启动时间的计算，完成启动速度的控制、制动和定位控制，以及各种开关信号的逻辑处理和逻辑控制等。

其控制特点为：

(1) 控制点数少：模拟量信号 1 个，数字量信号 3 个，编码器信号 1 个。

(2) 控制要求快速、准确：从 HMD 光头检测到轧件开始，飞剪开始动作，剪刀加速到剪切速度并进行剪切，剪切完成后要求快速准确停位，以免导致堆钢、误剪。定位要求准确，以保证下一个剪切周期的正常动作。

(3) 主要的与轧线有关的控制及联锁由主轧线 PLC 完成。

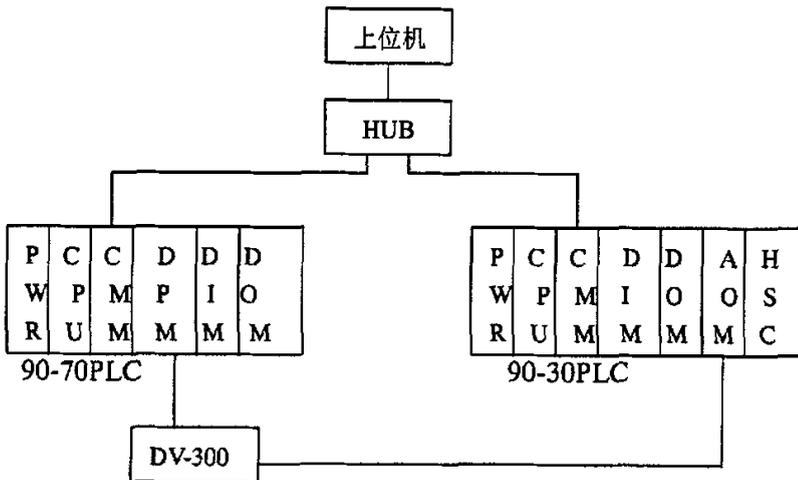


图 4.1 N1 飞剪的 PLC 控制系统

根据以上特点，在 90-30 系统中配置 C693 APU300 高速计数器模块^[41]、两块数字量输入模块和一块模拟量输出模块。PLC 配置如图 4.1。

该系统 CPU 选用 IC693CPU350，其指令功能很强，除能进行基本逻辑运算外，还可以进行浮点运算，并且能进行多种码制变换，控制灵活方便，具有 32K 指令内存，可以很好地满足本系统精确的数据计算的要求。

华中科技大学硕士学位论文

它与整个轧线系统的 90-70PLC 及上位机的通讯选用 IC693CMM321 模块，通过 Ethernet 网络通讯。根据网络上输入的工作方式（同步、自动、切头、切尾、碎断）信号等，系统作出相应的控制。

输入输出模块选用 IC693 MDL646（16 位 24V 输入）、IC693 MDR390（8 位 24V 输入 8 位继电器输出）、IC693 ALG390（2 位模拟量输出）及 IC693 APU300（高速计数器输入）。

飞剪的速度给定信号直接从 90-30 PLC 的 AO 模块输出给飞剪的传动装置。

4.控制算法

(1) 确定飞剪剪切线速度 V_1

飞剪控制 PLC 系统通过以太网 Ethernet，从轧线 PLC 系统中获得的飞剪前一架轧机的线速度 V ，将 V 乘以一个剪切超前量 K_1 ，便得到剪刀剪切线速度 V_1 ，即：

$$V_1 = K_1 \times V \quad (\text{式 4-7})$$

式中， K_1 ——由上位机设定。

(2) 确定飞剪启动延时时间 T

在计算剪子起动车间时，由于轧线后段线材运动的速度很快，剪刀剪钢的时间很短，传动装置起动车间必须考虑信号传输和电气元件（如继电器等）动作的时间，否则容易使切头长度过长而切尾长度过短甚至切不到尾部。经过调试数据计算，N1 飞剪的信号传输和装置动作时间是 90ms。

① 计算飞剪由停车点加速到剪切点所需的时间 T_1

$$T_1 = V_1 / a \quad (\text{式 4-8})$$

式中， a 飞剪加速度常数。

② 计算飞剪由剪切点匀速运行到剪刀闭合点所需的时间 T_2

$$T_2 = (S - S_1) / V_1 \quad (\text{式 4-9})$$

式中， S ——闭合点到剪切点弧长 $S = 0.75 \times$ 剪刀旋转周长；

S_1 ——停车点到剪切点弧长， $S_1 = 0.5 \times a \times T_1^2$ ；

③ 计算飞剪由 A 点先加速后匀速运行到 O 点所需的时间 T_3

$$T_3 = T_1 + T_2 \quad (\text{式 4-10})$$

④计算飞剪启动延时时间 T

$$T = (L + L_1) / V - T_3 - K_2 \quad (\text{式 4-11})$$

式中, K_2 ——考虑干扰时的修正常数

L ——热金属检测器 HMD 到剪刀闭合时的距离, L_1 ——切头设定长度。

(3) 确定飞剪定位线速度 V_s

飞剪控制的重点是解决剪子的定位和确定剪子剪钢的加速度^[42]。剪子在圆周上可分为定位区、反爬区、剪钢区、正爬区四部分, 在剪钢区设置一个零位 (为容易校正选择上下剪刀正对的点), 当剪刀过零位时马上对剪刀位置反馈信号 (脉冲编码器输出值) 清零, 消除计算误差, 保证精确定位; 定位区设在离零位 1/3 圆周处, 当剪刀停在停车位 (定位区内) 且飞剪前 1.5 米处的光电开关得电时马上计算剪钢的加速度和剪子起动时间, 向传动装置传送控制信号 (装置使能信号和速度给定信号) 进行剪切控制, 剪钢后剪子进入停车控制状态, 利用 $y=x^3$ 离原点越远曲线斜率越陡惯性越大的物理特点, 确定以剪刀停车位为原点, 按照停车控制的给定速度公式

$$V_s = [(4096/3 - AI) / (4096/3)]^3 \times V_{ref} \quad (\text{式 4-12})$$

其中: AI ——剪刀位置反馈信号

V_{ref} ——给定的线速度

计算剪子停车的速度^[43], 使无论在正爬区还是在反爬区, 离停车位越远, 剪子给定的速度越大, 剪刀动作越快, 离停车位越近, 给定速度就越小, 剪刀动作越慢。

4.6 斯泰尔摩线冷却控制功能

线材厂在轧制硬线时, 对穿水冷后的温度要求较高, 如果冷却控制不好, 就容易造成线材的金相组织不理想, 大块铁素体的集聚, 降低了线材的拉拔性能, 使得在拉拔中容易产生拉断现象。因此线材冷却是提高质量的关键。

为了使线材能得到较理想的金相组织, 在理论上应使线材的组织在快速冷却到一个较为理想的温度下转变, 然后再缓慢冷却, 使之组织转变所发生的热继续均匀

的散掉，尽可能的得到等温转变过程，使组织由奥氏体转变成细致的片状珠光体，而并不析出共晶体，这就是控制冷却所遵循的原理^[44]。

当检测到线材头部进入水箱时，启动正向流量调节、逆向流量调节和空气冷却控制。

正向流量调节，首先根据所轧的钢种、规格的吐丝温度与入口水箱温度值进行比较后预设一个水阀开度值，然后将吐丝温度作为水温调节的设定值，再根据实测的出口水箱温度值作为水温调节的实际值，温度调节器的输出作为流量调节的设定值，流量检测值作为流量调节的实际值，根据流量调节器的输出来决定调节阀的开度。

逆向流量调节，根据所轧的钢种、规格的吐丝温度值作为水温调节的设定值，然后根据实测的出口水箱温度值作为温度调节的实际值，温度调节器的输出作为流量调节的设定值，流量检测值作为流量调节的实际值，根据流量调节器的输出来决定调节阀的开度。

空气冷却控制，当线材头部进入水箱时，将空气冷却阀打开，进行冷却，当线材尾部出水箱后关闭。

4.7 操作站控制功能

轧制时，由上位机对轧线进行操作，其操作界面有：

轧钢状态参数图

在该画面中显示轧线的工艺流程图和各电气设备的主要参数（各电机的线速、转速、电流、R 系数，各活套的活套量值、起套、收套延时等参数）。通过选择它的子菜单可详细显示各设备的工艺参数和曲线。

轧制程序表

在该画面中工艺工程师计算并输入轧线生产是各电机设备控制速度所有需要输入的工艺参数。

轧线生产模拟操作

在该画面中显示轧线生产操作的主要按钮，用于控制轧线生产。通过在该画面

华中科技大学硕士学位论文

的“允许励磁/主回路合闸指示”指示按钮可详细了解该状态未满足的信息。通过在该画面的“允许全线联动启动指示”指示按钮可详细了解联动启动未满足的信息。

电流棒图

在该画面中显示各电机传动柜的主要参数和设备状态以及电流的棒状图。

历史数据查询管理

通过该画面可查询每跟钢生产时，轧线各电机设备的主要数据曲线（电机线速、电机转速、电机电流等）。

报警浏览图

该画面对轧线设备生产时出现的故障事件进行报警管理。

另外，还有配方画面、R系数监控画面、轧线尾部显示画面、温度画面、液压站润滑站控制、冷却程序表（水冷）画面、冷却程序表（风冷）画面、集卷画面、卸卷画面等。

5 软件设计

自动控制程序的设计包括 PLC 控制程序的设计和上位机监控软件的设计。对于 PLC 控制程序的设计,采用了 GE FAUNAC 公司的 Logic Master 90—70 PLC 编程软件和 CONTROL 软件,设计包括:硬件配置、主程序与子程序等。子程序分为:初始化、PROFIBUS 网卡初始化、PROFIBUS 网卡通讯、工作方式选择、轧机合分闸、轧机起/停车、传动装置运行控制、点动功能、故障处理、轧线跟踪、速度调节、活套控制、冷却控制、各 PLC 之间的数据传输控制等。对于上位监控软件的设计,采用了 GE 公司的 CIMPLICITY 软件,设计包括:项目建立、设备配置、点的配置、画面制作、脚本编写、配方设置、项目测试等。上位监控画面由“轧钢状态图”、“空冷程序”、“水冷程序”、“轧制度程序表”、“报警浏览”、“设备运行趋势图”、“液压润滑站控制”、“R 系数监控”等画面组成。

5.1 PLC 编程

5.1.1 轧线主控制系统 90-70 PLC 选用 Logic Master90-70 编程软件,它是一个基于 DOS 的编程软件,该软件设计简单、直观、显示高级诊断和可靠的通信能力。

90-70 编程软件使用结构化编程方法,程序由多个程序块组成,主程序块可调用其它程序块,程序块可嵌套调用;可对 PLC 进行在线、离线的软件组态、修改程序和参数;完善的文档和注释功能;软件具有四级保护口令;具有程序库管理功能;具有浮点运算功能。

轧线主程序主要完成逻辑顺序控制、电机设备启停控制、速度级联调控制、微张力控制、冷却控制等功能。程序结构如图 5.1 所示。

5.1.2 系统 90-30 系列 PLC 选用 GE 公司的 CIMPLICITY CONTROL,它是一个 32 位、基于 Microsoft Windows 的编程软件与 Windows 95 和 Windows NT 兼容的 PLC 编程软件包,该软件设计简单、直观、显示高级诊断和可靠的通信

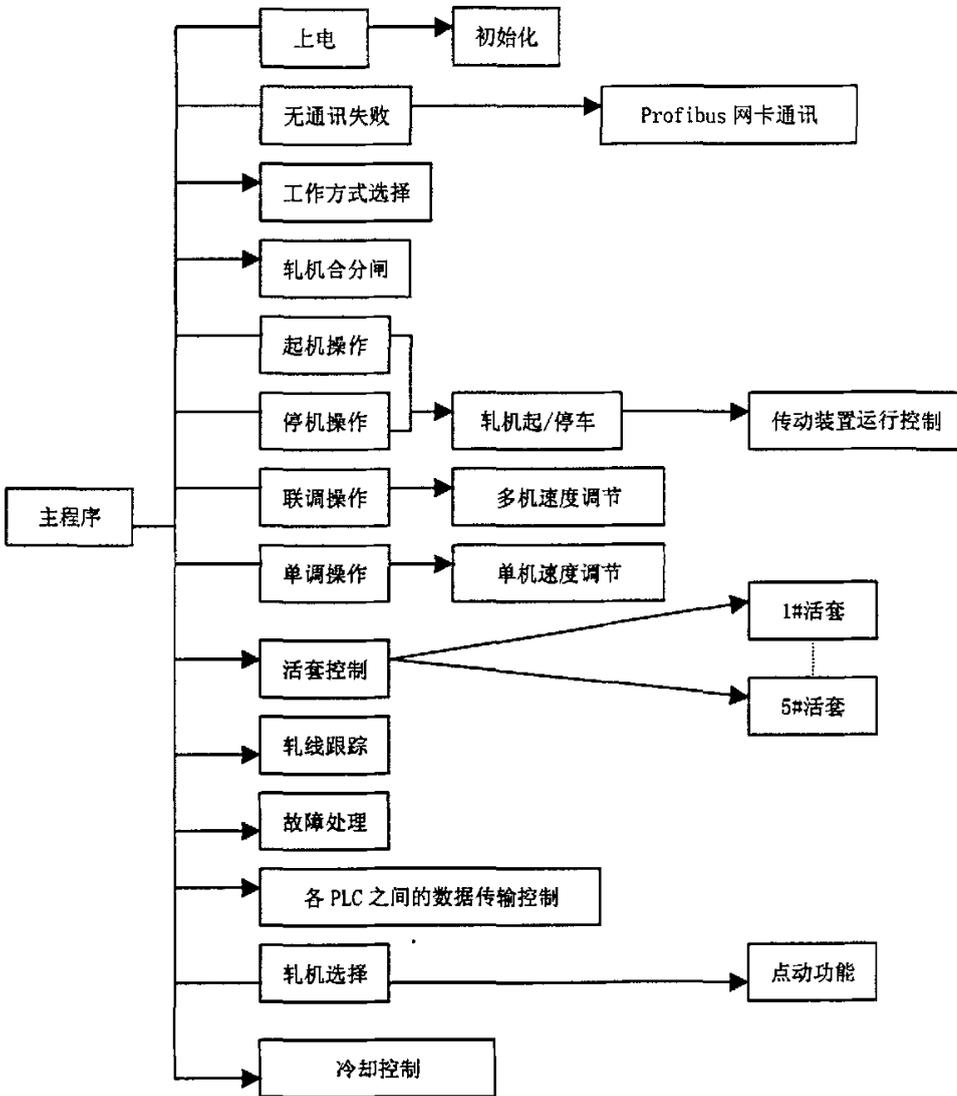


图 5.1 程序结构图

能力。它作为 DDE 用户允许其它窗口应用程序与 90 系列 PLC 通过 Ethernet 网交换数据，遵循 IEC1131-3 国际标准规定的五种编程语言，并可使用第三方应用专用语言，该软件包是用于 GE90 系列产品的组态工具，具有离线程序开发、在线程序维护、I/O 模块状态监视和过程诊断功能。

华中科技大学硕士学位论文

本控制系统通过 CIMPLICITY CONTROL 软件包对 PLC 的 I/O 口进行设置和地址分配, 选用梯形图作为 PLC 编程语言。根据 I/O 模块输入/输出数据的类型编写数据处理程序, 建立满足控制要求的 90-30PLC 与 90-70PLC 通信的数据及下位机数据库以便上位机存取工艺参数。

下面以 1#活套控制作一个较为详细的说明。

1#预精轧机的咬钢信号为 1 或 FZ8 热金属检测器检测到线材头部后延时 1 秒, 则 1#活套起套; 当 1#热金属检测器检测信号为 0 且 FZ8 热金属检测器检测信号为 1 时, 则判断为轧件尾部, 延时 0.5 秒后, 1#收套。起套时通过检测活套升到或降到的高度实际值和套高度设定值进行 PID 调节。利用 PID 控制维持活套高度的设定值不变, 从而实现前后机架正确的速度配合。其地址参数分配见表 5.1。

表 5.1 1#活套控制地址参数分配表

地址	功能描述	地址	功能描述
I00002	FZ4 检测到钢坯	Q00001	1#活套推套
I00003	FZ8 检测到钢坯	Q00002	1#活套收套
I00017	1#活套推套器处于低位未推套	Q00140	1#活套升返回灯
I00066	9H 预精轧转换开关在运动位置	Q00148	1#活套降返回灯
I00067	9H 预精轧转换开关在点动位置	Q00321	9H 预精轧咬钢
I00087	1#活套起套辊推出	R00084	1#活套高度设定值
I00088	1#活套起套辊收回	R00159	1#活套高度实际值
I00252	1#活套升	R00349	1#活套调节量
I00260	1#活套降	R00381	1#活套起套延时时间计算值
I00642	7H 机架抛钢		

5.2 上位机人机界面编程

工控机的操作系统采用 Windows NT Server V4.0。监控软件采用 CIMPLICITY 软件, 该软件采用客户/服务器体系结构, 运行在 Windows NT Server V4.0 操作系统环境下, 具有完善的功能及良好的开放性, 使得系统上位机方便地实现了以下功

能:

- 1) 参数设定: 轧机速度设定、轧机参数设定。
- 2) 生产过程的动态显示。
 - (1) 整个系统的图形显示。
 - (2) 监控每个轧机速度、电流、负载。
 - (3) 显示传动、I/O、电机和其它设备的状态。
- 3) 趋势曲线的显示。
- 4) 动态操作控制。
 - (1) 对设备进行模拟和控制。
 - (2) 在屏幕上的按钮进行对设备控制。
- 5) 显示和设备故障信息。
- 6) 记录报警和生产数据。
- 7) 自动打印功能。
- 8) 历史数据查询功能, 技术人员可以通过查询生产工艺的历史数据记录、分析问题。
- 9) 操作密码设定。

CIMPLICITY 软件的开发界面如图 5.2 所示。

利用该监控软件, 通过项目建立、设备配置、点的配置、画面制作、脚本编写、配方设置、项目测试等, 便可建立起生产所需的轧钢状态参数图、电流棒图、配方画面、水冷程序、轧制度程序表、报警浏览、设备运行趋势图、液压润滑站控制、R 系数监控等画面。

软件上实现了轧线的联锁和监控: PLC 和 HMI 完成对轧线各台设备的联锁和监控, 包括单机架启停车、成组或全线启停车, 机旁手动点车, 换辊爬行操作, 各电机温度、油压、电机冷却风机的风压风温、水冷线的水压、液压站润滑站油压等状态和参数, 均可在 HMI 画面上显示, 并在 PLC 内形成启停车的联锁条件。

主电机的 SCR 传动设备向操作人员反馈电机的转速、电流、转动装置的状态, 包括欠磁、过流、电子板故障、可控硅功率单元故障等。机架的启停车联锁还包括



图 5.3 轧钢状态参数图画面

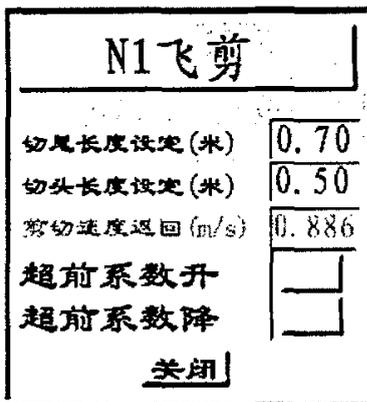


图 5.4 飞剪控制面板

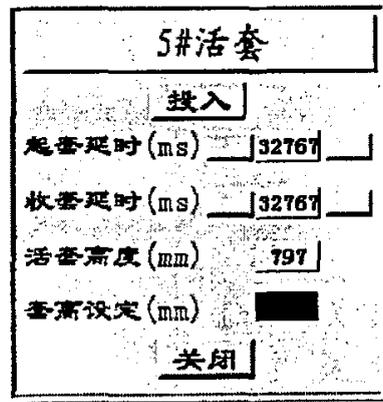


图 5.5 活套控制面板

用鼠标左键单击“轧钢状态参数图”中的活套标识字符，弹出相应活套的控制面板，如图 5.5。由此可决定活套是否投入，修改起套和收套延时，设定起套高度。

投入活套 用鼠标左键单击“投入”按钮，“轧钢状态参数图”画面上显示活套图符，同时按钮变为“不投”按钮，此时允许活套工作。

不投活套 用鼠标左键单击“不投”按钮，“轧钢状态参数图”画面上活套图

华中科技大学硕士学位论文

11.0 ($\phi 11.0\text{mm}$)、12.0 ($\phi 12.0\text{mm}$)、13.1 ($\phi 13.0\text{mm}$)、14.1 ($\phi 14.0\text{mm}$)。

其中，水冷程序表包括各段水箱冷却水阀使能、空气清洗阀使能、冲刷阀使能。空冷程序表包括各段运输辊线速度、风门角度、风机使能、风机入口翻板角度。见图 5.7，图 5.8。

1号水箱喷淋(件/分钟)		冲刷		冷却		冲洗		2号水箱喷淋(件/分钟)											
冲刷	冷却	冲刷	冷却	冲刷	冷却	冲刷	冷却	冲刷	冷却	冲刷	冷却	冲刷	冷却	冲刷	冷却	冲刷	冷却	冲刷	冷却
使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能
流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量

图 5.7 水冷程序表

各段运输辊线速度		风门角度		风机		入口翻板	
速度	角度	速度	角度	速度	角度	速度	角度
1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#
使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能	使能

图 5.8 空冷程序表

轧制程序表包括各架轧机轧辊工作辊径、电机转速、N1 剪前夹送辊辊径、吐

华中科技大学硕士学位论文

丝机前夹送辊电机电流、轧制水平、精轧机出口机架号、张力设定值、张力调节范围。这些参数中，轧辊工作辊径、张力设定值、张力调节范围等参数，在轧线工作过程中，可重新设定并立即生效；轧机电机转速、轧制水平、吐丝机前夹送辊电机电流、精轧机出口机架号等参数，在轧线工作过程中，也可修改，但需重新启动轧机才可生效。轧制程序表见图 5.9。

当轧辊直径改变后，标准配方表的参数需修改才能使用，方法如下：

(1) 用配方下传功能下传标准配方表；例： $\phi 6.5\text{mm}$ 线材，下传 N45D65 配方。

(2) 选择系数配方，用鼠标左键单击“轧制程序表”画面中“选择产品规格”按钮，弹出“Download a Recipe”对话框，在“Recipe”栏选定系数配方，按“OK”完成。例： $\phi 6.5\text{mm}$ 线材，选择名为“6.5”的系数配方。

(3) 修改轧辊直径，在“轧制程序表”画面中，按实际情况修改轧辊直径。

(4) 用鼠标左键单击“轧制程序表”画面中“自动计算”按钮，生成正确的工作辊径和电机转速。

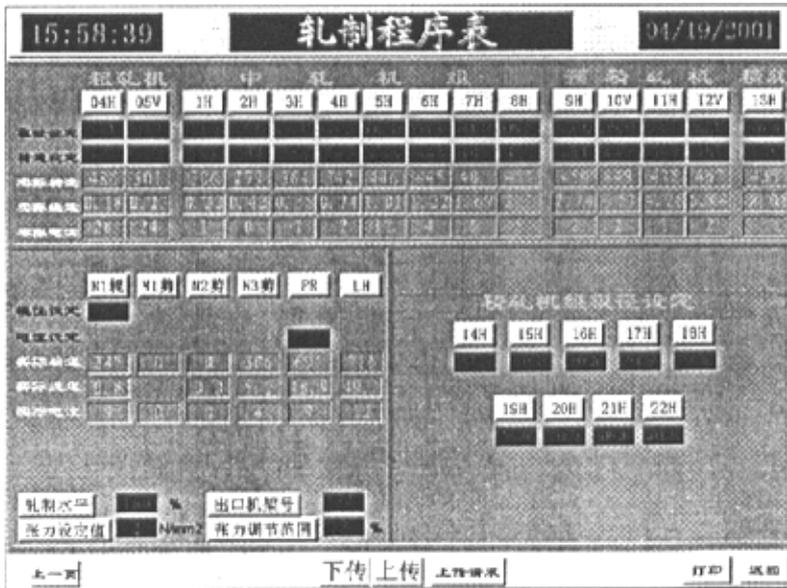


图 5.9 轧制程序表

6 总结

高速线材热轧生产线是当今线材热轧生产的一种先进技术，该种生产技术产品规格覆盖范围广，生产成本低，产量高。本设计的高速线材热轧生产线成品线材，正适销于目前国内的建筑钢材市场，为市场需求量较大的商品。

高速线材热轧生产线要实现高速轧制、成本低廉、产品质量好和保持高作业率，因而对电气传动及自动化控制系统的要求十分高。本文设计的高速线材热轧生产线的电气传动及自动化控制系统参考了一些同类型高速线材热轧生产线的设计经验，采用了目前较先进的自动控制技术和设备，以及应用了较先进的轧制工艺原理。该电气传动及自动化控制系统自动化程度高，系统稳定、可靠，功能齐全，响应速度快，通讯传输迅速。

在高速线材热轧生产线的电气传动与自动化控制系统中，本人主要负责了全线电气传动装置的编程及联机调试，粗轧机到精轧机组的逻辑控制，微张力控制，活套控制及飞剪控制部分的程序编制以及调试工作。

广钢高线的电气传动与自动化控制系统 2001 年投入运行以来一直运行良好，电气传动与自动化控制系统稳定可靠，响应速度快，通讯传输迅速，HMI 监控画面操作直观简单，系统状态和过程数据更新及时，报警联锁安全可靠，生产报表和轧制程序快速生成，轧制水平容易调节。

目前该高速线材热轧生产线已经达到了 78m/s 的轧制速度，已轧制出由 $\phi 5.5\sim\phi 13\text{mm}$ 多种规格的成品线材，产品质量好，机械性能稳定，实现了改造设计的目标。随着生产线员工的操作熟练程度、轧制经验、对自动化系统的了解程度不断提高，并不断根据实际轧制要求进行技术改进，生产线生产的规格、产量会比设计能力增加很多。

致 谢

值此论文完成之际，我谨向尊敬的导师彭容修教授致以衷心的感谢。彭教授在论文的完成过程中从原理答疑到设计指导，给我毕业设计带来很大帮助，并及时指出我的缺点和错误，使我得以改进和提高。感谢汪秉文教授在论文完成工作给予了极大帮助与支持。还要感谢刘锋副研究员在我的学习过程中给予的极大帮助。

在课题进行和软件编制过程中，首钢电子公司郑泰高级工程师、张国强工程师等给予了很大的帮助。他们在整个改造工程中，教会了我许多实践的技能，使我能将理论与实践有机地结合起来，使得我的毕业论文能顺利进行。

在此，谨向所有帮助和关心我的老师、同学及家人致以衷心的感谢。

参考文献

- [1] 高速轧机线材生产编写组. 高速轧机线材生产, 北京: 冶金工业出版社, 1995: 25
- [2] 马鞍山钢铁设计研究院, 广州钢铁集团有限公司中轧分厂改造工程可行性研究报告, 1997.9:1-3
- [3] 北京首钢电子有限公司主编, 广钢高线改造工程电气传动及自动控制系统功能规格书, 1999.4: 8-12
- [4] 漆永新, 王巍巍. 钢铁企业信息化知识读本, 北京, 2001.12.6-11
- [5] 刘宝坤主编. 计算机过程控制系统. 北京: 机械工业出版社, 2001
- [6] 何克忠等. 计算机控制系统, 北京:清华大学出版社, 2001.7
- [7] 朱善君. 可编程控制系统, 北京:清华大学出版社
- [8] Shinkey F. G. Process Control systems. 3rd. ed. McGraw-Hill, 1998
- [9] 钢铁工业自动化功能规范, 北京:冶金工业部科学技术司, 1993.7
- [10] Hamedy S. Exploring the Simple Network Management Protocol, Prentice Hall. 中译本: 北京:电子工业出版社. 1998
- [11] Sibley M J N. Optical Communications. New York: McGraw—Hill, Inc.. 1990
- [12] 周晓兵, 费敏锐. 以太网在工业自动化领域中的应用现状和发展前景. 自动化仪表, 2001. 10: 1-4
- [13] Forouzan B A. TCP/IP Protocol Suite. McGraw—Hill, Inc. 中译本: 北京:清华大学出版社, 2000
- [14] Stevens W R. TCP/IP Illustrate. Vol 1.1 Addison—Wesley. 中译本: 北京:机械工业出版社, 1994
- [15] Manfred Popp:PROFIBUS-DP Grundlagen,Tips and Tricks fuer Anwender,1998
Huething Verlag Heidelberg
- [16] 周明.现场总线控制.北京:中国电力出版社.2002
- [17] PROFIBUS International Support Center. PROFIBUS Technical Description.

华中科技大学硕士学位论文

Germany,1999

- [18] 90-70 PLC Genius™ Bus Controller,GE Fanuc,2001
- [19] Genius™ Modular Redundancy Flexible Triple Modular Redundant (TMR) System Technical Product Overview;GE Fanuc,February,1998
- [20] 李景学, 金广业. 可编程控制器应用系统设计方法, 北京:电子工业出版社, 1995
- [21] 陈春角, 李景学. 可编程控制器应用软件设计方法与技巧, 北京:电子工业出版社,2002
- [22] 皮壮行等. 可编程序控制器的系统设计与应用实例, 北京:机械工业出版社, 2001
- [23] 徐德, 孙同景. 可编程序控制器(PLC)应用技术, 济南:山东科学技术出版社,2001
- [24] Shinkey F. G. Process Control systems. 3rd. ed. McGraw-Hill. 1998
- [25] Mikell P.Groover. Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing . 北京:清华大学出版社.2002.
- [26] 邱公伟. 可编程控制器网络通信及应用. 北京:清华大学出版社, 2000
- [27] 段文泽, 童明淑编著. 电气传动控制系统及其工程设计方法. 重庆:重庆大学出版社, 1989
- [28] 夏超英, 交直流传动系统的自适应控制, 北京:机械工业出版社, 1999
- [29] DV-300 Adjustable Speed Drives, GE, 1999: 37
- [30] 郑萍, 现代电气控制技术, 重庆: 重庆大学出版社, 2001
- [31] 马国华, 监控组态软件及其应用, 北京:清华大学出版社, 2001.8
- [32] CIMPLICITY HMI for Windows NT and Windows 95 Base System, GE Fanuc, 2001
- [33] 吕立华. 轧制理论基础, 重庆:重庆大学出版社,1991.5
- [34] 管克智.冶金机械自动化. 北京:冶金工业出版社,1986
- [35] 第6届国际轧钢会议译文集3,中国金属学会轧钢学会,1994.11

华中科技大学硕士学位论文

- [36] 5届国际轧钢会议译文选——轧件精度控制（专辑），宝钢钢铁研究所，1991.4
- [37] 杨节.轧制过程数学模型,北京:冶金工业出版社,1983
- [38] 杨友良,尹凤领.热连轧活套控制系统.冶金自动化(2004年增刊),2004.8(28):
134-136
- [39] 飞剪（专辑），北京:首都钢铁公司钢铁研究所情报室,1989
- [40] 李优新,廉迎战,童怀等.旋转飞剪 DSP 控制系统的研究.电气传动,2000.5:
18-21
- [41] SUN FUCHUN,SUN ZENGQI,Sliding mode control of a servocontrol system.控制理论与应用,1997,14(4):467-472
- [42] 潘裕焕编著.生产过程自动化中的数学模型.北京:科学出版社,1997
- [43] 孙一康.适用于轧钢过程的计算机控制系统.中国工程科学,2000(1):73
- [44] Massimo Lestani, Roderto Nini.轧制特殊钢线材的复式组合机组（TMB）.冶金设备和技术,1999

作者: [罗小玲](#)
学位授予单位: [华中科技大学](#)

参考文献(44条)

1. [高速轧机线材生产编写组 高速轧机线材生产](#) 1995
2. [马鞍山钢铁设计研究院 广州钢铁集团有限公司中轧分厂改造工程可行性研究报告](#) 1997
3. [北京首钢电子有限公司 广钢高线改造工程电气传动及自动控制系统功能规格书](#) 1999
4. [漆永新, 王巍巍 钢铁企业信息化知识读本](#) 2001
5. [刘宝坤 计算机过程控制系统](#) 2001
6. [何克忠 计算机控制系统](#) 2001
7. [朱善君 可编程控制系统](#)
8. [Shinkey F G Process Control systems](#) 1998
9. [钢铁工业自动化功能规范](#) 1993
10. [Harnedy S Exploring the Simple Network Management Protocol, Prentice Hall](#) 1998
11. [Sibley M J N Optical Communications](#) 1990
12. [周晓兵, 费敏锐 以太网在工业自动化领域中的应用现状和发展前景\[期刊论文\]-自动化仪表](#) 2001(10)
13. [Forouzan B A TCP/IP Protocol Suite. McGraw-Hill, Inc](#) 2000
14. [Stevens w R TCP/IP Illustrate. Vol 1. 1 Addison-Wesley](#) 1994
15. [Manfred Popp PROFIBUS-DP Grundlagen, Tips and Tricks fuer Anwender](#) 1998
16. [周明 现场总线控制](#) 2002
17. [PROFIBUS International Support Center PROFIBUS Technical Description](#) 1999
18. [90-70 PLC GeniusTM Bus Controller](#) 2001
19. [GeniusTM Modular Redundancy Flexible Triple Modular Redundant \(TMR\) System Technical Product Overview](#) 1998
20. [李景学, 金广业 可编程控制器应用系统设计方法](#) 1995
21. [陈春角, 李景学 可编程控制器应用软件设计方法与技巧](#) 2002
22. [皮壮行 可编程序控制器的系统设计与应用实例](#) 2001
23. [徐德, 孙同景 可编程序控制器\(PLC\)应用技术](#) 2001
24. [Shinkey F G Process Control systems](#) 1998
25. [Mikell P Groover Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing](#) 2002
26. [邱公伟 可编程控制器网络通信及应用](#) 2000
27. [段文泽, 童明淑 电气传动控制系统及其工程设计方法](#) 1989
28. [夏超英 交直流传动系统的自适应控制](#) 1999
29. [DV-300 Adjustable Speed Drives](#) 1999
30. [郑萍 现代电气控制技术](#) 2001
31. [马国华 监控组态软件及其应用](#) 2001
32. [CIMPLICITY HMI for Windows NT and Windows 95 Base System](#) 2001
33. [吕立华 轧制理论基础](#) 1991

34. [管克智 冶金机械自动化](#) 1986
35. [第6届国际轧钢会议译文集](#) 1994
36. [5届国际轧钢会议译文选——轧件精度控制](#) 1991
37. [杨节 轧制过程数学模型](#) 1983
38. [杨友良, 尹凤领 热连轧活套控制系统](#)[期刊论文]-[冶金自动化](#) 2004(z1)
39. [飞剪](#) 1989
40. [李优新, 廉迎战, 董怀, 何鸿肃, 王鸿贵, 赵鹏飞 旋转飞剪DSP控制系统的研究](#)[期刊论文]-[电气传动](#) 2000(5)
41. [SUN FUCHUN, SUN ZENGQI Sliding mode control of a servocontrol system](#) 1997(04)
42. [潘裕焕 生产过程自动化中的数学模型](#) 1997
43. [孙一康 适用于轧钢过程的计算机控制系统](#)[期刊论文]-[中国工程科学](#) 2000(1)
44. [Massimo Lestani, Roderto Nini 轧制特殊钢线材的复式组合机组\(TMB\)](#) 1999

相似文献(10条)

1. 会议论文 [Paul Josef Mauk 小辊径轧辊热轧一棒材和线材轧制的工艺可行性](#) 2002
 本文研究表明,小辊径轧辊除了明显高的延伸率外,轧件尺寸的波动也由此得到很大的改善,这时提高成品断面的尺寸精度很有帮助.
2. 会议论文 [崔荣合 热轧优质碳素结构钢线材力学性能预报研究](#) 2002
 采用系统工程多变量系统统计分析方法,对优质碳素结构钢线材的生产数据进行了回归分析,得到其各力学性能的回归方程及各回归函数的标准方差,并对钢材性能的定量预报进行了探讨.
3. 会议论文 [刘大为, 李娜, 王玲, 龚彦红 宣钢高线厂品种钢开发简介](#) 2006
 宣钢高线厂于2005年6月开始大规模开发新品种,此前一直以生产普碳钢为主.开发新品种主要分为焊接用钢盘条、优质碳素钢热轧盘条、钢筋混凝土用热轧带肋钢筋、合金结构钢等,利用其先进的生产工艺水平,制定严格的控制轧冷工艺制度,通过对轧件的变形、开轧温度、吐丝温度的控制,达到要求的成品尺寸精度、力学性能、晶粒度,开发出了具有较高附加值的热轧圆盘条.
4. 会议论文 [张素萍, 郑永瑞, 刘振民 轨枕钢丝用钢45Si2Cr热轧盘条的研制实践](#) 2009
 本文对轨枕钢丝用钢45Si2Cr的高线轧制工艺试制情况进行了介绍,并对45Si2Cr钢的试制工艺进行了分析和研究.
5. 会议论文 [苏光浩, 尧福旺, 王展宏, 董宏亮, 游涛 提高低碳线材热轧性能合格率的研究](#) 2006
 本文对提高低碳线材热轧性能合格率进行了研究.轧制工艺对Q195线材性能有较大影响,提高轧制和吐丝温度,降低冷却速度,有利于Q195热轧线材铁素体晶粒尺寸增大,降低抗拉强度,从而提高性能合格率.
6. 会议论文 [吕晓云, 杨一江 应用电子技术, 推动太钢发展](#) 1996
7. 会议论文 [张立文, 岳重祥, 阮金华, 廖舒纶, 高惠菊 棒线材热连轧过程微观组织演变的预测](#) 2009
 本文借助MSC.Marc软件及其二次开发功能,结合GCr15钢的微观组织演变模型与TTT曲线,分别建立了GCr15钢棒线材控制轧制过程与控制冷却过程的有限元模型.预测了GCr15钢棒线材控制轧制过程的温度与奥氏体晶粒尺寸的演变情况,控制冷却过程的温度变化与组织转变情况.模拟得到的温度、奥氏体晶粒尺寸及最终组织均与实际结果吻合较好.
8. 会议论文 [贺肖, 吴明光, 霍璞明 高速线材生产微张力计算机自动控制系统](#) 1996
9. 期刊论文 [熊建良, XIONG Jian-liang 高碳钢线材轧制中显微组织演变规律 -轧钢2005, 22\(4\)](#)
 通过理论分析和实验数据回归计算,建立了高碳钢线材热轧过程中临界应变的数学模型,并开发了奥氏体组织演变模拟软件.实践证明,该软件预测精度较高.
10. 会议论文 [余万华, 韩静涛, 张永军, 卿俊峰, 刘勇, 王绍斌 高速线材控冷段温度及性能预报系统](#) 2009
 本文对北京科技大学与重庆钢铁股份有限公司联合开发的高速线材控冷段温度及性能系统进行了介绍.该系统采用隐式有限差分方法计算生产过程中温度的演变及最终产品的各项性能,由于该模型耦合了钢种连续冷却转变曲线,可预测相变热及相变区间,为新钢种开发及现有生产工艺的优化提供直接帮助.

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y778403.aspx

授权使用: 西安建筑科技大学(xajzdx), 授权号: 08fb3485-bd6b-4f2b-95aa-9ea30115ecb5

下载时间: 2011年3月11日