

分类号_____密 级_____

UDC _____

学 位 论 文

首钢京唐冷轧重卷控制系统的研究与分析

作 者 姓 名： 韩景辉

指 导 教 师： 郑艳 副教授 东北大学信息科学与工程学院

王绪 高级工程师 北京首钢自动化信息技术有限公司

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： 2012 年 12 月 1 日 论文答辩日期： 2012 年 12 月 7 日

学位授予日期： 2012 年 月 日 答辩委员会主席： 高宪文

评 阅 人： 高立群 王朝利

东 北 大 学

2012 年 12 月

A Thesis Degree in Control Engineering



Research and Analysis of the Recoiling & Inspection Line Control Systems in the ShougangJingtang

by Han Jinghui

Supervisor : Professor Zheng Yan

Senior Engineer Wang Xu

Northeastern University

December 2012

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：韩景辉

日期：2012.12.1

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：韩景辉

导师签名：郑艳

签字日期：2012.12.1

签字日期：2012.12.1

首钢京唐冷轧重卷控制系统的研究与分析

摘 要

近年来,冷轧卷的消费量急剧增加,特别是轻工市场需求很大,自行车、洗衣机、电冰箱、搪瓷制品、钢木家具等大幅度增加,国内带钢生产也逐年增加,特别进入 2000 年以后,冷轧带钢生产迅速增加,首钢集团战略调整结构更是新建了多条冷轧带钢生产线。冷轧钢板必须有较高的表面质量和良好的板形才能适应市场的要求,作为产品的最后一道工序,重卷生产线起着至关重要的作用。

本文在研究了重卷生产线工艺流程及开卷机、矫直机、卷取机等生产线重点设备基础上,以首钢京唐公司 1700 重卷检查机组控制系统为背景,深入研究了重卷生产线控制系统的组成和系统实现过程。结合重卷线西门子控制系统解决方案,对系统中顺序控制(SSF)、物料跟踪(MTR)、全线协调器(LCO)、主斜坡发生器(MRG)的不同功能进行研究,分析各自功能的实现方式。对生产线的张力控制策略做了重点研究,分析了恒张力控制、直接张力控制、间接张力控制、间接恒张力控制等 4 种控制策略,并做了相应的对比。通过对活套张力控制和位置控制的深入分析,更加透彻的解析了张力控制策略。对重卷线上纠偏装置进行研究,分析纠偏检测原理,重点对纠偏控制的操作进行研究,实现对纠偏控制的掌握,更好的服务于生产,保证生产线稳定运行。

通过本论文的深入研究,全面掌握了重卷生产线控制系统,有力地保障了重卷生产线的顺利生产。本项目的研究对首钢京唐冷轧二期项目及以后项目积累了宝贵的实践经验,具有重要的现实意义和推广价值,必将为首钢集团占领冷轧产品市场奠定良好的基础。

关键词: 冷轧; 重卷检查; 张力控制; 纠偏控制

Research and Aanalysis of the Recoiling & Inspection Line Control System in the ShougangJingtang

Abstract

In recent years, the consumption of cold rolled coil increased dramatically, especially in light industrial market demand, bicycles, washing machines, refrigerators, ceramic products, steel and wood furniture such as a significant increase, in domestic the strip production also increased year by year, especially into 2000 years later, cold-rolled strip steel production is increasing rapidly, the Shougang Group strategic adjustment of the structure is to build multiple cold-rolled strip steel production lines. Cold-rolled steel must have a high surface quality and good shape to meet the requirements of the market, as the product of the last step, recoiling production line plays a vital role.

In this paper ,based on the study of the recoiling production line process and the key equipment of the production line such as uncoiled, straightening machine, coiling machine, etc.. As the background to the Recoiling & Inspection Line Control System in the ShougangJingtang, the control system of the recoiling production line composition and system implementation process are studied in-depth . Combined with the recoiling line Siemens control system solutions, the different functions of Sequence and Support Functions (SSF), Material tracking (MTR), Line Coordinator (LCO), the master ramp generator (MRG), are studied , and each function to achieve is analyzed . Focus on the tension control strategies, four tension control strategy, including constant tension control, direct tension control, indirect tension control, and indirect constant tension control, are analyzed and contrasted. Through in-depth analysis of the looper tension control and position control, the paper thoroughly analyses the tension control strategy. Then corrective devices of the recoiling online has been discussed, and corrective detection principle has been analyzed , with a focus on the operation of the corrective control, to achieve mastery of corrective control, and better services to the production to ensure the stable operation of the production line.

Through in-depth study of the paper, have complete control of the recoiling production line control system to safeguard the smooth production of the recoiling production line. The project has accumulated valuable experience for the ShougangJingtang cold rolled II project and after the project, and has important practical significance and promotes the value of the occupation of cold-rolled products market, Shougang Group will lay a good foundation.

Key words: Cold-rolling; recoiling checks; tension control; corrective control

目 录

独创性声明 -----I

摘 要 -----II

Abstract ----- III

第 1 章 绪 论 ----- 1

1.1 概述 ----- 1

1.2 国内重卷生产线状况及京唐冷轧重卷生产线技术特点 ----- 2

1.3 课题研究技术应用背景及应用价值 ----- 3

1.4 本文主要研究的内容 ----- 5

第 2 章 重卷系统工艺流程 ----- 7

2.1 重卷机组设备组成 ----- 7

2.2 主要设备工作原理研究 ----- 7

2.2.1 上卷小车 ----- 7

2.2.2 开卷机 ----- 8

2.2.3 开卷机对中系统（CPC system） ----- 8

2.2.4 拉弯矫直机 ----- 9

2.2.5 活套 ----- 9

2.2.6 卷边机 ----- 9

2.2.7 卷取机 -----10

2.3 重卷机组工艺研究 -----11

2.3.1 工艺流程简介 -----11

2.3.2 原料规格 -----13

2.3.3 成品规格 -----14

2.3.4 机组技术参数 -----14

2.3.5 机组有效工作时间的核算 -----15

2.4 本章小结 -----15

第 3 章 重卷控制系统组成和分析 ----- 17

3.1 控制系统概况----- 17

 3.1.1 整体系统架构 -----17

 3.1.2 工业以太网 -----17

 3.1.3 PROFIBUS-DP 网 -----18

3.2 自动控制系统实现 -----22

 3.2.1 项目结构 -----22

 3.2.2 重卷自动化控制层次结构 -----23

3.3 系统软件配置分析 -----24

3.4 HMI 监控计算机的画面形式 -----24

 3.4.1 模拟工艺流程画面 -----25

 3.4.2 设定调整数据窗口 -----27

 3.4.3 记录数据、联动提示及故障报警信息的数据表格显示-----27

3.5 控制系统实现研究 -----28

 3.5.1 顺序控制实现（SSF） -----29

 3.5.2 物料跟踪（MTR） -----32

 3.5.3 全线协调器功能结构（LCO） -----33

 3.5.4 主斜坡发生器（MRG） -----35

3.6 本章小结 -----41

第 4 章 张力控制策略研究----- 43

4.1 直接张力控制系统 -----43

4.2 间接张力控制系统 -----44

4.3 间接恒张力控制原理分析 -----45

4.4 活套的张力和位置控制的研究 -----46

 4.4.1 活套张力控制原理分析 -----46

 4.4.2 带钢的张力控制研究 -----49

 4.4.3 活套小车的位置控制分析 -----52

4.5 本章小结 -----57

第 5 章 纠偏控制系统研究----- 59

5.1 纠偏装置研究 -----59

5.2 纠偏检测原理分析 -----63

5.3 纠偏操作及参数设置 -----64

 5.3.1 调试检验-----64

 5.3.2 通过 ECU01 进行控制系统的参数设置 -----64

 5.3.3 操作模式控制 -----66

 5.3.4 线性位移传感器 KLW 的（位置）调节 -----67

5.4 本章小结 -----68

第 6 章 结论与展望 ----- 69

6.1 结论 -----69

6.2 展望 -----69

参考文献 ----- 71

致 谢 ----- 74

第1章 绪 论

1.1 概述

冷轧板带材具有精确的尺寸、较宽的厚度范围、可变的表面（光面、麻面、镀锌、镀锡、镀合金、涂塑等）、良好的工艺性能（可冲压性、可剪切性、可弯曲性、可焊接性等）优点，广泛应用于汽车、食品、化工、日用、建筑、电力等领域。各行各业对冷轧板带材尺寸精度、表面状况、板面平直度、物理性能等要求的不断提高，促进了冷轧生产技术的不断创新和发展，新工艺、新设备和新技术层出不穷^[1]。

（1）在尺寸精度方面：冷轧带钢的尺寸要求无论是纵向还是横向厚度精度的偏差均小于 $\pm 10\mu\text{m}$ ，并有向小于1%发展的趋势。这就要求现代化的冷轧机上配备完善的厚度自动化控制系统，包括高精度的测量装置，测量精度误差要小于 $\pm 2\mu\text{m}$ ；高响应的液压压下装置，相应速度要高达3ms；合理的高精度控制模型以及计算机控制系统。

（2）在板型精度方面：如汽车板的板型要求达到小于10I，镀锡板的要求更高，达到小于5I。这就要求带钢冷轧机不仅是具有板型控制功能强的HC、CVC和ZR系列新型轧机；而且要求都配有倾辊调整、液压弯辊、轧辊分段冷却等快速调节辊型手段；同时还要求设置板型自动检测系统，实现对板型的自动控制^[2]。

（3）在表面质量方面：不仅要求冷轧带钢表面光洁，还要求具有一定的物理和化学性能。比如汽车覆盖件所需要的烘烤硬化高强度钢板；为防止金属被腐蚀、延长冷轧带钢制品的使用寿命而生产的镀层（镀锡和镀锌等）和涂层（涂塑和涂油漆等）钢板。

（4）在带钢性能方面：对冷轧带钢性能的要求越来越高。如冷轧带钢需要量最大的汽车制造业，既需要冲压性能特别高的超深冲“无间隙原子钢”钢板（IF钢板）作为覆盖件，又需要含磷高强度冷轧板制作车身。冷轧钢板性能要求促使轧后退火工序的技术发展。冷轧生产还有双金属或多层金属板^[3]。

首钢京唐公司为一冷轧厂设计了一条重卷检查机组，该机组的机械供货商是西安重型机械研究所，电气供货商是西门子（中国）公司，另外，单独引进德国乔格公司圆盘剪。

重卷检查机组具备的主要功能有：改善板型、力学性能、表面质量、进行带钢表面的涂油等；根据用户需求调整成品卷单重；对实际板厚、板宽和表面擦痕及板形进行检查并除去不合格部分；修整来料卷的塔形、松卷以及边部弯曲等功能^[4]。

重卷线自动化控制系统采用典型的多电机调速控制技术，具有国际最成熟的

生产工艺,最优化的生产模式,最尖端的自动化控制水平^[5]。深入掌握该系统的核心技术,有助于生产系统的顺利维护,利于重卷线维护人员的技术能力的提高并在此基础上进一步深化为技术改造、技术输出。

本控制系统采用模块式编程方法,大大提高了程序的可移植性和通用性,在某些情况下,只需要稍微做些改动,就可以使程序满足不同的工艺要求,从而使程序在多电机调速系统的环境下重复使用。

自动化控制系统以西门子 S7-400 和 ET200M 为硬件载体,以 STEP7 软件为手段,实现了大部分自动过程控制^[6]。在主控室装有两台工控机,采用 WINCC 为上位软件,供操作人员进行生产的监视与控制。

工艺段的弯曲拉矫机的作用是使带钢达到充足的塑性变形,以去除由于带钢表面不平和平两边长度不一致产生的残余应力,从而达到良好的板带平直度^[7]。弯曲拉矫机矫直效果的好坏取决于根据板带厚度和材质设定的辊缝形状(操作工手动调节)和延伸率^[8],西门子精确的延伸率控制确保了板带张力的稳定要求。

重卷线主线传动交流调速装置控制方式为矢量控制,可满足高精度速度要求的多电机传动,提高了传动利用率。配置一套共用整流电源的公共直流母线,对交流传动装置的多个逆变单元供电。在直流母线上加装制动单元,以实现直流母线上能量调节功能,机组的辅助调速设备传动采用 V/F 控制方式。

1.2 国内重卷生产线状况及京唐冷轧重卷生产线技术特点

冷轧带钢生产规模近年来不断扩大,起产量从几万吨、几十万吨,发展到上百万吨,甚至达到年产量200万吨以上^[9]。而且产品品种包括冷轧带卷、冷轧板、镀锡板、镀锌板、涂层板、压型板等多种规格,是冷轧带钢的生产规模异常庞大。为满足生产工艺和产品品种要求,由酸洗、冷轧、热处理、平整、镀涂层、剪切线、重卷线及包装线等生产工序的机组组成数十条生产线,进行连续化作业;而且把多到生产工序连接起来,组成更加集中的连续化、自动化的生产线^[10]。如酸洗和轧制机组的组合,酸洗、轧制和连续退火机组的组合,镀、涂层机组和剪切机组的组合等^[11]。这些机组都采用了高度的自动化和计算机控制,摆脱了人员密集型生产,是各机组的速度达到高速化。目前,现代盐酸酸洗工艺段速度达到360m/min以上,连轧机出口速度最高达到45m/s,连续退火机组工艺段的速度最高达到880m/min。这些机组的诞生,无疑将提高机组作业率,提高生产率,稳定产品质量,提高金属的收得率,缩短生产周期,提高企业的生产效益^[12]。

首钢集团公司在冷轧生产上起步较晚,在上世纪80年代曾经引进过冷轧生产线,但由于种种原因没有形成生产规模,进入21世纪以后,特别是北京申办2008年奥运会,首钢开始实施搬迁调整,实现产品结构调整转型,打造高端板材和精品长材,先后在顺义、迁安、曹妃甸兴建新的钢铁基地,同时开始了冷轧板材的生产,几个基地的冷轧生产规模不断扩大,冷轧带钢产量接近600万吨的规模,

在曹妃甸首钢京唐公司分别建起来一冷分厂、二冷分厂，设计年产80万吨的第三冷轧已经兴建，2013年6月即将投产。在这样大规模冷轧生产机组中，都分别设计了配套的重卷生产线，京唐公司一冷轧设计了一条年产18.4万吨产量的重卷生产线，二冷轧厂设计了两条年产15万吨的重卷生产线。

一冷重卷生产线是由西安重型机械研究所设计完成的。西安重型机械研究所自建院（所）50多年来，自主创新研制的国产大型成套技术装备创造了180余项“中国第一”。2004年2月为天津市冷轧薄板厂开发设计并成套的大型拉伸弯曲矫直重卷机组，生产线规格1500mm，拉矫速度250m/min，矫正后正品平直度31，为国内首创。2006年3月投产的1850毫米拉矫重卷机组，最大板宽1650毫米，采用了张力活套装置，保证了在中间分卷时拉伸弯曲矫直机连续运转，并设计了重卷和拉矫重卷两种工作模式，为国内首创。首钢京唐重卷检查机组是西重所建院（所）50多年来，自主创新研制的国产大型成套技术装备之一，经过不断的改进，具有以下技术特点。

- 1) 机组配有 EMG 厂家的高精度的纠偏系统和边部对中系统，以便机组运行过程中有效对中。
- 2) 开卷机及卷取机卷筒设置橡胶套筒，能够有效防止卷筒涨紧对钢卷内圈产生的压痕，提高成材率。
- 3) 采用武汉凯奇公司的窄搭接焊机，可焊接高强钢的冷轧板，焊接周期短，焊接质量高，减少穿带时间。
- 4) 机组的工艺段设有西重所自主研发的“二弯二矫”张力拉矫机，可以有效改善带钢板型。
- 5) 机组的出口段设有立式活套，保证带钢在分卷过程中拉矫机的连续工作。
- 6) 采用高精度纠偏系统，使带钢在圆盘剪入口处对中机组作业线，提高切边精度。
- 7) 采用德国进口的具有宽度自动设定的高精度乔格（GEORG）圆盘剪和半自动的废边卷取机，能够保证机组的连续运行，并可以提高剪边质量和减少因宽度变化带来的麻烦。
- 8) 机组设有垂直及水平检查站，供停机对带钢表面进行磨石和板型检查。
- 9) 采用武汉科技大学的静电涂油机，油膜薄而均匀，油膜厚度可自动控制。
- 10) 机组出口设置分切剪，可进行切焊缝、切头尾、取样和分小卷的工作。
- 11) 采用进口信诺单头半自动打捆机，在成品卷中部进行打捆作业。

1.3 课题研究技术应用背景及应用价值

随着冷轧处理线生产过程的稳定，冷轧退火处理卷、冷轧镀锌处理卷、罩式退火钢卷产量和生产速度的逐渐增加，首钢京唐公司为第一冷轧厂配套设置了一条重卷检查机组，为了满足部分高表面质量要求的冷轧商品卷生产，可对退火后

的带钢进行拉矫、切边、检查、涂油、分卷处理，满足部分高表面要求的产品生产，设备配置达到国内外先进水平。

重卷机组采用的西门子控制系统，具有良好的开放性、兼容性及可移植性。凭借该系统先进、成熟、可靠地技术装备，将大大提高产品的质量，节省成本，提高生产效率，为市场提供高技术含量、高附加值的板材产品。

本文依托重卷机组工艺及重要设备，对重卷线的控制系统进行了分析和研究，讨论了重卷控制系统的组成和实现方式，重点研究了张力控制系统和纠偏控制系统，掌握了整体的控制策略，为维护设备稳定，保证生产线的顺稳生产创造了条件。

在冶金、造纸、纺织等行业，有各类卷绕设备，因此存在着张力控制问题。张力控制问题是整个系统的核心问题，恒张力控制是产品质量和数量的可靠保证。所谓张力控制是指采用某种方法以维持张力恒定的电气控制系统，用于各类具有卷绕设备的连续生产线。张力控制系统在连续生产线的整个控制系统中成了相当重要的环节，它是一个多台电机联合控制的复杂控制系统，当系统的工艺参数发生变化时，张力控制的精度受到影响^[13]。张力控制一般可分为直接控制和间接控制这两种。直接控制又称反馈控制，它利用张力传感器测得实际张力，将其与给定张力比较，由偏差产生控制作用，使实际张力与给定张力相等。适用于高精度、高速度的张力控制场合，具有控制精度高，实时性能好等优点。间接控制又称补偿控制，它通过对影响张力稳定的参数的调节补偿可能出现的张力变化，间接地保持张力稳定，即只给定张力设定值，不用检测器采集张力的实际值，对张力不形成闭环控制，而是通过对被控电流的控制来间接对张力进行恒定控制^[14]。目前，在张力控制系统中，较成熟的技术一般采用最大力矩方式或恒功率方式进行间接张力控制，且广泛应用在生产实际设备中。为进一步提高张力控制的动态及静态精度，还采取高精度卷径记忆措施，自适应控制技术，智能化控制方法等。所谓张力控制，是指采用某种方法以维持张力恒定的电气控制系统，用于各类具有卷绕设备的连续生产线，能使卷绕设备的整个连续生产线的张力保持恒定的控制系统。在张力控制系统中，被控对象运行速度的变化，卷径的变化，机械传动系统转动惯量的变化和机械损耗的变化均构成对张力的扰动。在卷取过程中，直径的变化是张力变化的主要原因，但在小张力卷取和非恒速运行（加减速过程）应用中，还要对机械系统的空载转矩和动态转矩进行补偿，以确保张力控制的精度^[15]。

张力在冷轧生产过程中起着非常重要的作用。其一是张力在轧制中自动地调节带钢的横向延伸，是指均匀化，在张力的作用下，若轧件出现不均匀延伸，则沿轧件宽度方向上的张力分布将会发生相应的变化。在延伸大的一侧，张力自动减小。在延伸小的一侧，张力自动增大。张力沿轧件宽度方向得到自动调节，调节的结果是轧件沿宽度方向纵向延伸均匀化。在整个轧制过程，张力的自动调节在不断进行，以确保轧件沿宽度方向的延伸分布均匀，以消除轧制过程中出现带

材跑偏、撕裂、断带等现象。其二是张力轧制能降低轧制压力，轧制出更薄的产品。在轧制过程中，轧制压力愈大，轧辊辊面的弹性压扁愈大。当轧辊辊径较大、轧制压力增大到一定值时，轧辊对轧件就如同两个平板对工件的压缩^[16]。

在冷轧带钢的连续生产线和后续处理线中，经常遇到带钢跑偏的问题。由于带钢断面不均匀、带钢张力波动、机组中的辊组偏差、振动、张力失调、辊面粗糙度不同、来料钢卷收卷不齐及镰刀弯等原因，造成带钢边缘或带钢某一纵向标志线与机组的中心线不平行或不重合，导致带钢的横向跑偏。带钢在运行的作业线上应在一定的横向公差范围内对准机组中心线(或设定位置)，否则就会刮坏设备或者断带停产。因此，带钢的纠偏控制是带钢连续作业线上必不可少的环节。

EMG 公司的 CPC 系统的 SPC16 控制器主要由 TEA16、MCU16、SEV16、DAU16 等构成。其中 MCU16 是 16 位的微处理器是系统的中央处理单元。TEA16 用来显示变量、参数等可以通过 TEA16 来进行系统的参数设定也可以通过它来读取系统检测值如带钢位置、液压缸的位置等。DAU16 是功率放大单元用来驱动伺服系统。对于控制器的参数设定可以通过 TEA16 单元也可以通过 EMG 专用的软件 CAD。但是 MCU16 在初次使用要通过 PC 下装程序参数和程序一旦设定下装完毕之后通常就不需要改动。而且程序、参数都是可以在系统断电的情况下保存的。

带钢测量传感器目前共有电感式、电容式、光电式等 3 种类型。控制器 CPC 系统的核心部件对传感器检测的信号进行处理然后将控制信号发送至执行装置由执行装置驱动纠偏机架对带钢的位置进行调节控制^[17]。执行装置现有液压缸和电动缸 2 种。纠偏机架根据生产线的实际情况可以选用以下几种比例调节纠偏机架、比例积分调节纠偏机架、积分调节纠偏机架、三辊纠偏机架。带钢测量传感器和位置变送器带钢测量传感器是用来检测带钢在生产线上的位置根据不同的环境使用不同类型的传感器。EMG 公司的 BMI 传感器主要由两组感应传感器组成，每组传感器由发射线圈和接收线圈构成分别检测对应的带钢的边部。发射线圈提供 9V 的正弦电压根据带钢在线圈中间的具体位置在接收线圈上得到相对应的电压。对比两组传感器工作侧和传动侧的接收线圈的电压差经过 A/D、放大、D/A 等运算即可得到带钢偏离中心线的偏差量。系统就可以根据检测到的偏差量对带钢的位置进行纠偏。根据生产线的要求可以选择不同精度的传感器如果在活套等要求不高的位置上可以选择 BMI2 系列保证纠偏精度在 $\pm 5\text{mm}$ 之内如果在轧机、切边剪等要求较高的位置上则要选择精度较高的 BMI-HP 系列保证纠偏精度在 $\pm 1\text{mm}$ 之内。

1.4 本文主要研究的内容

本文主要研究首钢京唐冷轧重卷机组的控制系统组成及实现，主要内容如下：

第一章为绪论部分，主要介绍了市场对冷轧板材的要求，进而分析重卷机组

的技术特点，提出课题背景，重点研究张力控制系统和纠偏控制系。

第二章主要研究了重卷机组的主要设备组成及主要设备的动作工作原理，对生产线整体工艺作了详细阐述，研究重卷机组的来料规格、成品规格、机组技术参数、机组有效工作时间等，为整体掌握重卷生产线的控制结构奠定了基础。

第三章主要研究了重卷机组的控制系统架构，分析了工业以太网、PROFIBUS-DP 网的特点，给出了重卷自动化控制结构层次，阐述了控制系统软件配置及人机接口界面。

第四章主要研究了西门子设计的重卷控制系统的解决方案，分别从顺序控制（SSF）、物料跟踪控制（MTR）、全线协调控制（LCO）、主斜坡发生器控制（MRG）四个方面给出了整个自动化控制系统的组成，分析了控制方法原理。。

第五章主要研究了重卷生产线的张力控制策略，连续生产线离不开张力控制，因此本论文把研究的重点对象放到张力控制上，通过对几种不同的张力控制系统原理研究，分析对比各自特点。通过对活套张力控制和位置控制的深入分析，更加透彻的解析了张力控制策略，对重卷线设备维护、故障处理打下良好基础。

第六章详细研究了重卷生产线的纠偏装置，给出带钢纠偏采用的措施，分析纠偏检测原理，重点对纠偏控制的操作进行研究，实现对纠偏控制的掌握。

第七章为结论与展望。

第2章 重卷系统工艺流程

2.1 重卷机组设备组成

重卷检查机组主要由鞍座、入口钢卷小车、开卷机、开头机（由伸缩导板和转向夹送辊组成）、CPC 系统（用于开卷机对中伺服控制）、五辊矫直机、切头剪、1#夹送辊、立导辊、焊机、2#夹送辊、入口张力辊、拉弯矫直机、出口张力辊、1#转向辊、活套、活套出口张力辊、纠偏辊、切边圆盘剪、检查台、涂油机、分切剪、EPC 系统、卷取机、打包机、称重和液压站等设备组成。另外，辅助系统有供气系统和供油系统。

2.2 主要设备工作原理研究

2.2.1 上卷小车

上卷小车横移为交流变频调速电机驱动，升降为比例阀控制的液压缸驱动。上卷小车的动作分别由小车升降和横移操作开关操作。小车升降设有两个接近开关：小车下限位置；V 形鞍座（检测有无钢卷）。小车横移设有三个光电开关：小车内极限位置；小车外极限位置；小车在开卷机前位置（高度对中位置。横移过程中还设有一对光电开关用于钢卷的宽度测量和测径光电开关。在 1#、2#、3#鞍座各设有一对光电开关，用于检查鞍座上有无钢卷。

上卷小车横移与升降均设有绝对式光电编码器，用于自动上卷时的宽度和高度自动对中。上卷的操作过程分为人工操作与自动操作。人工操作是由目测结合手动操作完成小车运送钢卷至开卷机的芯轴上。

自动上卷过程则由两部分操作完成：

自动取卷：小车下降到下极限位置，上卷小车处于任意位置，发出指令后，判断若 1#卷位有卷则自动行走走到 1#鞍座中心位置；若 1#卷位无卷，2#卷位有卷则自动行走走到 2#鞍座中心位置。若 1#卷位、2#卷位均无卷，3#卷位有卷则自动行走走到 3#鞍座中心位置。

自动上卷：上卷小车处于 1#或 2#鞍座位置，发出指令后，小车按照上升托起钢卷、自动测宽、自动测卷径、高度对中、宽度对中、卷筒涨径、小车下降、支撑升起、压辊压下的顺序自动完成上卷过程。

如果开卷机卷筒、支承不具备上卷条件，自动上卷在完成高度对中后暂停后续动作，等到开卷机卷筒、支承具备上卷条件后，经人工确认再次发出自动上卷指令，小车继续自动完成宽度对中等后续动作。

机组联动工作时小车只能在存料台与测径位置之间横移运动。若想让小车横移至卷筒下位置,必须使小车降低到下极限位置才能够实现。

2.2.2 开卷机

开卷机主传动由交流变频调速电机驱动,分为单动(点动)工作状态和联动(张力)工作状态。与开卷机工作相关的辅助设备有开卷机压辊。开卷机压辊用于开卷时压住带头,由液压缸驱动完成压下动作,液压马达驱动完成压辊与带卷同步运转动作。开卷机压辊的压下、抬起动作由手动操作控制开关完成。压辊的旋转转向控制与开卷机的正反向点动控制联动完成,即压辊处于压下位置,开卷机进行点动操作时,压辊应以相同转向随之一起转动,压辊处于抬起位置时压辊则停止转动。开卷机压辊设有“压辊抬起”位置检测信号,用于机组联动开机条件。

开卷机的卷筒涨缩动作由三位阀控制,大卷径时涨径腔通油保持涨径压力,当卷筒上带钢圈数小于5~3圈时,电磁阀复位保持当前卷筒直径,防止带尾松卷擦伤带钢。

开卷机的卷筒涨缩操作由手动操作开关完成。根据圈数电磁阀复位自动控制完成。

开卷机的“点动速度”是指线速度点动。

开卷机设有机械变档机构,由换档油缸驱动。高、低速位置各设有一个接近开关检测状态,机组设有高、低速转换操作开关,由人工操作。根据指令开卷机与卷取机同时换档。稀油润滑系统中装有油流检测开关。

2.2.3 开卷机对中系统(CPC system)

对中系统设备主要由BMI2电感式探测头或BMIH高精度电感式探测头、SPC数字控制单元、KLW线性位置传感器、HST液压控制站几部分构成。

CPC纠偏系统是一个连续的闭环调节系统;BMI系列电感式探测头是EMG公司的免维护高技术产品。由探测头连续地测量行进板带的位置变化,将板带的位置偏差信号输入到电控器,电控系统的输出与电液伺服阀相连;伺服阀驱动液压油缸带动开卷机进行左右移动;使板带侧向移动,以调整跑偏板带回到预定的中心线上,实现板带自动对中功能。

CPC系统为一个独立的完整系统,用于开卷机对中伺服控制。CPC对中装置的操作分为两地操作,其系统本身带有电控柜可以进行机旁操作^[18]。另外可以在入口操作台上进行部分应用操作。CPC液压动力源,由机组液压动力站提供。在入口操作台上应能进行CPC自动/单动/开卷机找中的选择操作,单动状态下开卷机的进/退操作。

2.2.4 拉弯矫直机

拉弯矫直机主要由两个弯曲辊系、两个矫直辊系、入口通带辊、出口通带辊和换辊小车组成。四个辊系的四个上辊固定，上辊分别由三个液压缸锁紧机构和一个机械锁紧机构固定。四个下辊分别安装在两个由液压缸驱动的机座上，通过液压缸的同时动作实现四个辊系的下辊快速打开与闭合。两个机座上设有两个升降“上极限”检测开关，用于机组联锁。机组联动工作时两个机座应处于上极限位置。

四个辊系的下辊分别由四台非调速交流电机驱动实现四个辊缝的微调。辊缝的检测由安装在四个辊系上的直线位移传感器实现，在 MMI 上可以显示四个辊系的辊缝值，并能够根据设定值自动调整四个辊系的辊缝。辊缝调整极限由直线位移传感器信号控制。

入口通带辊、出口通带辊用于焊缝通过时支撑带钢偏离矫直作业线，防止焊缝和带头擦伤矫直辊，分别由两个液压缸驱动升降，通带辊升起位置设有“上极限”位置检测开关，用于机组联锁。机组联动工作时入口通带辊、出口通带辊应处于上极限位置。

液压缸锁紧机构、辊系快速打开机构的操作，均由人工通过操作转换开关实现。

2.2.5 活套

活套为立式结构，由垂直运动的活套小车、活套架、固定导辊、配重和活套小车升降拖动机构组成。由交流变频调速电机提供活套张力。活套小车升降极限分别设有光电开关，小车的升降位置由一台绝对式光电编码器检测，用于活套位置控制。

活套始终处于张力工作状态，活套位置和活套运动速度由活套入口、出口速度差控制。

活套出口张力辊由 9#、10#张力辊组成，均为交流变频调速电机单独拖动。10#张力辊上带有液压缸驱动的压紧辊，用于机组速度为零的时候压住带钢。压紧辊抬起设有“上极限”位置检测开关，用于机组联锁。机组单动时，10#压紧辊的压下、抬起动作，由人工操作转换开关控制单独动作；自动时 10#压紧辊根据速度状态自动完成压下、抬起动作。

2.2.6 卷边机

卷边机用于卷取切边剪切下的废边。主传动电机为交流变频调速电机，具

有单动/点动、单动/任意调速和联动三种工作状态。

“单动/点动”工作状态是指卷边机可以点动速度正反向运转，速度固定。

“单动/任意调速”工作状态是指卷边机在机组联动工作状态时，仍可独立进行操作，其转速可在允许的调速范围内任意手动调节，调节手段为电位器操作，但运转方向仅为卷取方向。

“联动”工作状态是指卷边机的运转速度可与机组联动同步进行，同时可以通过操作加速按钮对卷边机同步工作速度进行手动干预。同步速度是指卷边机在最大卷径时的线速度与机组工作速度同步。

卷边机还有四个动作由液压缸驱动完成。卷边机压辊的压下、抬起动作，用于卷边时压实废边卷，最大卷径与抬起位置设有位置检测信号(同一信号源)用于卸卷操作联锁的条件。工作时压辊压下位置会随废边卷卷径的增大而改变，达到最大卷径位置时及时发出报警提示。卸卷操作时必须首先抬起卷边机压辊，最大卷径位置信号用于动作联锁。

卷边机卷轴的抽出动作用于卸废卷时将卷轴抽离废边卷。卷轴的“工作位置”和“抽出位置”是驱动油缸的两个极限位置，均设有位置检测信号，用于动作联锁。

卷边机拨板的摆动动作用于卸卷时将废边卷推出卷边机。卷边机卷轴处于抽离位置拨板才能摆动。拨板的初始位置设有位置检测信号，用于动作联锁。

上述四个设备动作的操作均由操作转换开关来完成。卷边机操作单独设有一个操作点，可根据具体情况选择卷边机的运转工作状态或进行卸卷操作，不受机组联动工作状态的限制。操作点上设有卷边机的停机按钮，可随时进行卷边机的停机操作。

2.2.7 卷取机

卷取机一般构成有核心设备卷筒(卷轴)、辅助卷取设备(辅助成型设备)助卷辊(成形辊)等。在产品卷取过程中，产品主要在卷轴上成型，卷轴一般由电机拖动，辅助卷取设备助卷辊一般采用电机拖动进行转动，流体液压缸驱动助卷辊移动，以帮助顺利成卷^[19]。

卷取机主传动为交流变频调速电机驱动，分为单动(点动)和联动两种工作方式。单动时可由转换开关控制，以点动速度正反向运转。联动工作时，以恒张力的方式卷取带钢。

卷取机卷筒有两个工作直径(508mm/610mm)。使用时加装弹性胶套。因此，卷筒涨缩有三个直径，工作直径、卸卷直径、卸胶套直径。卷筒带有钳口，卷取带钢有两种工作方式，使用钳口工作或者使用助卷器工作。

卷筒设有钳口位置检测接近开关，用于钳口准确定位控制。

卷取机卷筒涨缩至三个直径由人工手动操作转换开关完成。

卷取机压辊用于卷取机收尾时压住带尾，它设有抬起位置“极限”开关与助卷器相互联锁，两者不能同时动作。压辊为空转辊，升降动作由液压缸驱动，人工手动操作转换开关完成控制。

卷取机设有机械变档机构，由换档油缸驱动。高、低速位置各设有一个接近开关检测状态，机组设有高、低速转换操作开关，由人工操作。根据指令开卷机与卷取机同时换档。

2.3 重卷机组工艺研究

2.3.1 工艺流程简介

重卷机组由单卷生产发展为连续生产，用于对冷轧板材进行检查、切边、涂油、分卷等工作。首钢京唐第一重卷检查机组机械商为西安重型机械研究所，也是项目的总承包商；电气供应商是中国西门子公司。此外，主要的机电一体化设备还包括：凯奇焊机，武汉科技大学涂油机，信诺半自动打捆机，德国乔格公司的切边圆盘剪，美国 UNILUX 的频闪仪。重卷机组工艺流程简图见图 2.1。

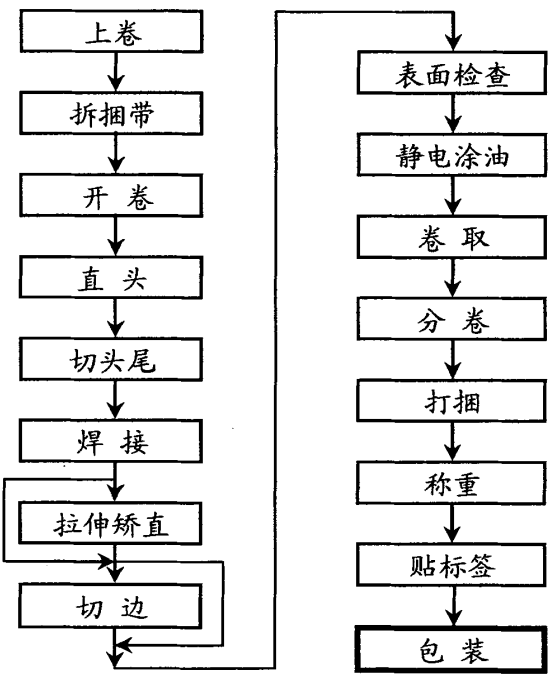


图 2.1 生产工艺流程图

Fig. 2.1 Production process flow diagram

本机组用于将冷轧带卷经拉伸弯曲矫直、切边和检查后进行分卷。该机组的来料带卷由车间的天车吊运到机组前部的来料存料鞍座上,鞍座带有带卷检测传感器。采用手动上卷或自动上卷的方式。

手动上卷时,上卷小车手动横移到存料台带卷的下方,将带卷托起并横移,在带卷进入卷筒之前,有人工目测操作小车的鞍座升降,使带卷的中心在高度方向对准开卷机卷筒中心。高度方向对准后,小车继续横移,根据开卷机卷筒上的标尺和人工目测进行操作控制使带卷基本上对准机组中心线,将带卷到开卷机的卷筒上。

自动上卷时,高度方向、水平方向自动定位,高度方向传感器检测带卷与传感器距离,并计算卷径,卷材宽度由光电开关和光电编码器检测,按自动上卷方式完成上卷过程。轴头支撑抬起支撑卷筒,小车的鞍座下降,同时开卷机卷筒涨径再将压辊压下,小车下降到最低位,上卷完成。

开头时,先将带头旋转到合适位置,由人工在开卷机后侧将带卷上的捆扎带剪断。开头机的刮板摆起伸出至工作位置。点动开卷机,让带卷转动,使带头打开并沿着开头机的刮板前进进入开头机,开头机的上辊压下夹住带材。

开头机的刮板缩回摆下点动开卷机和开头机,使带材继续前进,经过五辊矫直机的直头后,带材头部进入切头剪。完成带卷的开头。CPC系统此时未投入工作。开头机与开卷机间张力开卷。

切头时,首先将切头剪后的摆动导板台摆起。开头机、五辊矫直机向前送料,带头进入切头剪,送料停止。切头剪进行剪切,将带头切断。切下的废带头掉入废料小车。根据需要重复该过程,完成带材的切头。或设定剪切长度,自动切头。

带材继续向前送进,人工辅助带头经过焊机。当带头通过1#张力辊后,1#张力辊压下,继续向前送料,带头依次通过2#、3#、4#张力辊后,2#张力辊压下,1#、2#、3#、4#张力辊与前面设备一起向前送带,使带材通过矫直机本体,并通过5#、6#、7#、8#张力辊后,3#、4#压辊压下;5#、6#、7#、8#张力辊与前段设备一起联动送料。

带材穿过转向辊、活套、活套出口张力辊后,活套出口张力辊的压辊压下,活套出口张力辊与前段设备一起联动送料,使带材穿过出口纠偏辊。带材进入切边圆盘剪进行切边。切边后的带材经过台架继续前进。切下的废带边经过圆盘剪上的废边导槽向下进入废边地坑。人工将废边头引出废边地坑至卷边机,并将其插入卷边机的卷轴上,点动卷边机,将废边卷取。然后将其置于联动状态。

带头经过检查台,送至夹送辊,夹送辊与前一段设备一起向前送料,经过涂油机,经过分切剪通过转向辊,将带材沿卷取机导板导入助卷器,借助于助卷器将带材卷到卷取机的卷筒上。卷取机低速卷取几圈带材,助卷器打开。

EPC投入工作,开卷压辊抬起,开头机、五辊矫直机辊缝打开,拉弯矫直机出口、入口张力辊的压辊打开、活套出口张力辊的压辊打开。活套出口、入口张力辊投入,检查台的导板台退出机组外,3#夹送辊打开,卷取机导板摆下,助卷

器后退。当这些联动条件满足后,人工设定延伸率,机组开始建立张力,矫直机辊系投入,低速调整板型,升速并正常生产。

当卷取机上的带材重量接近设定值时,机组自动减速停车,撤销张力。卷取机压辊压下,分切剪进行剪切,将带材剪断。卸卷小车的鞍座升起托住带卷,结束后启动带尾到卷取机定位,自动完成带尾到卷取机。卷取机压辊抬起,卷取机卷筒收缩。

确认轴头支撑退回后,卸卷小车向存料台方向横移至卷取机前位置,并下降到横移高度。继续横移至1#鞍座位置,下降到打捆高度后进行一道打捆。打捆完成后,小车上升至横移高度,将钢卷放到步进梁1号鞍座位置。卸卷小车的鞍座下降,将带卷放到存料台架上,下降到低位后,自动运行至卷取机下方等待接下一卷。

在卷取段停车时,3#夹送辊上辊压下,活套出口张力辊的压辊压下,活套前部设备继续以爬行速度矫直带材并使矫直的带材贮存于活套中,这种工况下,3#夹送辊与活套出口张力辊一起向卷取机送料,当带材在卷取机上卷取3-5圈后,卷取机加张力、全线升速进行正常生产。

当一个大卷完成后,即当开卷机上的带卷生产完后,五辊矫直机的上矫直辊压下,对带尾进行矫直、剪切处理带尾,并使带尾停在焊机处。下一个带卷经过开头、矫直、切头后,并经立导辊对中带头后,将带头送至焊机处进行窄搭接焊。机组停车并开始焊接及冲孔,当焊接工序完成后,继续向前送带,焊缝至月牙剪处,剪去边部焊缝。开头机、五辊矫直机辊缝打开,拉弯矫直机出口、入口张力辊的压辊打开、活套出口张力辊的压辊打开,检查台的导板台退出机组外,3#夹送辊打开,机组进入低速联动工作状态(延伸率回零)焊缝通过拉伸弯曲矫直机(当焊缝接近弯曲矫直辊时,拉弯矫直机辊系自动打开使焊缝通过,当焊缝通过后,辊系自动压下投入),焊缝到达切分剪后,3#夹送辊的上辊压下,带材活套出口张力辊的压辊压下,切掉焊缝,将有焊缝的废带收走,活套前部设备继续以爬行速度充套,将焊缝处理完后,将带头穿至卷取机,进行正常生产。

当一个大卷生产完时,重复进行带材由焊接、分切到卷取机的穿带过程,进行剪切矫直分卷或重卷作业。剪切取样在分切剪处进行。取样时,由人工操作控制试样送料长度,由分切剪进行剪切,剪切下的样品由小车运输到线外,人工取出。

2.3.2 原料规格

来料状态:连续退火、热镀锌的冷轧带钢卷

钢种:低碳钢、超低碳钢、碳素结构钢、优质碳素结构钢、低合金高强度钢。

代表钢号: IF, 08AL, Q195, Q215, Q235, 16Mn

机械性能:	$\sigma_b \leq 590 \text{ MPa}$ $\sigma_s \leq 280 \text{ MPa}$
带材厚度:	0.3~2.5 mm
带材宽度:	750~1580 mm
卷材内径:	$\phi 610 \text{ mm}$
卷材外径:	$\leq \phi 2180 \text{ mm}$
单位卷重:	max. 24 kg/mm; 平均 18 kg/mm
卷材重量:	$\leq 35 \text{ t}$

2.3.3 成品规格

带材厚度:	0.3~2.5 mm
卷材内径:	$\phi 610 / \phi 508 \text{ mm}$
卷材外径:	$\leq \phi 1850 \text{ mm}$
单位卷重:	max. 15 kg/mm
卷材重量:	$\leq 20\text{t}; \geq 5\text{t}$; 平均卷重:8t
带钢宽度:	750~1580 mm
圆盘剪切边量:	5~25mm
废边卷内径:	$\phi 210 / \phi 250\text{mm}$ (锥柱形)
废边卷外径:	$\phi 650\text{mm}$
废边卷宽度:	630 mm
废边卷重量(max):	1.50t

2.3.4 机组技术参数

穿带速度:	24m/min
工作速度:	200m/min(max) (1.6~2.5mm 及拉矫工作状态) 400m/min(max) (<1.6mm)
带钢检查速度:	90m/min
开卷张力:	5.5~55 kN
开卷方式:	上、下开卷
卷取张力:	7.0~70 kN
卷取方式:	上、下卷取
拉矫最大延伸率:	3%
涂油方式:	静电涂油
液压系统工作压力:	12MPa
气动系统工作压力:	0.4~0.6 MPa
年处理量: 入口	184000 t
出口	180000 t

2.3.5 机组有效工作时间的核算

日历时间:	$24\text{h/d} \times 365\text{d} = 8760\text{h}$
维护时间:	700h
操作时间:	$8760 - 700 = 8060\text{h}$
设备事故时间:	460h
生产时间:	$8060 - 460 = 7600\text{h}$
剪刀更换时间:	400h
有效工作时间:	$7600 - 400 = 7200\text{h}$
净工作时间:	不大于 6500 小时

2.4 本章小结

本章主要研究了重卷机组的主要设备组成及主要设备的动作工作原理，对生产线整体工艺作了详细阐述，研究重卷机组的来料规格、成品规格、机组技术参数、机组有效工作时间等，对整体掌握重卷生产线的控制结构奠定了基础。

第 3 章 重卷控制系统组成和分析

3. 1 控制系统概况

3. 1. 1 整体系统架构

控制系统由 4 个 S7-400 的 PLC、一台服务器、一台 PDA、一台工程师站、两台操作员站通过以太网建立通讯连接。机组控制系统的网络拓扑结构如图 3. 1 所示。

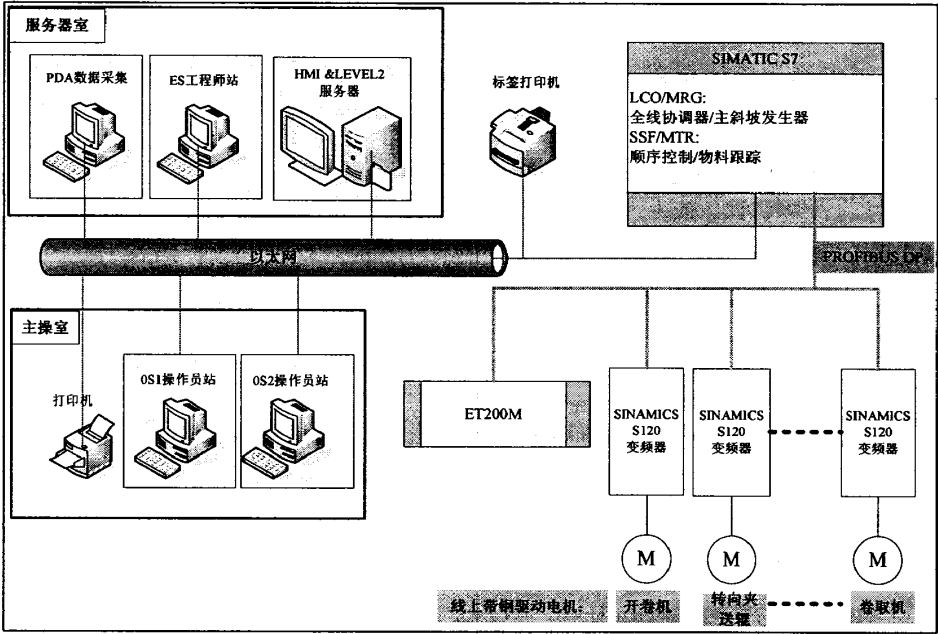


图 3. 1 重卷检查机组控制系统网络拓扑结构

Fig. 3.1 The recoiling check unit control system network topology

3. 1. 2 工业以太网

工业以太网是基于 IEEE802. 3 (Ethernet) 的强大的区域和单元网络。利用工业以太网，SIMATIC NET 提供了一个无缝集成到新的多媒体世界的途径。企业内部互联网(Intranet)、外部互联网(Extranet)以及国际互联网(Internet)提供的广泛应用不但已经进入今天的办公室领域，而且还可以应用于生产和过程自动化。继 10M 波特率以太网成功运行之后，具有交换功能，全双工和自适应的 100M 波特率快速以太网(Fast Ethernet，符合 IEEE 802. 3u 的标准)也已成功运行多

年。采用何种性能的以太网取决于用户的需要。通用的兼容性允许用户无缝升级到新技术^[20]。

工业以太网(TCP/IP)将过程控制计算机、PLC、HMI 联接到一起,通过 TCP/IP 协议进行数据通讯,实现信息交换。并且可与工厂管理自动化系统(L3)通讯。骨干网采用光纤作为数据传输载体,具有极好的抗干扰性能。采用环形网络具有冗余功能,任何一点的网络故障不会影响数据的正常通讯。

工业以太网是应用于工业控制领域的以太网技术,在技术上与商用以太网(即 IEEE 802.3 标准)兼容,但是实际产品和应用却又完全不同。这主要表现在普通商用以太网的产品设计时,在材质的选用、产品的强度、适用性以及实时性、可互操作性、可靠性、抗干扰性、本质安全性等方面不能满足工业现场的需要。故在工业现场控制应用的是与商用以太网不同的工业以太网^[21]。工业以太网有以下优点:

(1) 应用广泛

以太网是应用最广泛的计算机网络技术,几乎所有的编程语言如 Visual C++、Java、VisualBasic 等都支持以太网的应用开发。

(2) 通信速率高

目前,10、100 Mb/s 的快速以太网已开始广泛应用,1Gb/s 以太网技术也逐渐成熟,而传统的现场总线最高速率只有 12Mb/s(如西门子 Profibus-DP)。显然,以太网的速率要比传统现场总线要快的多,完全可以满足工业控制网络不断增长的带宽要求。

(3) 资源共享能力强

随着 Internet/Intranet 的发展,以太网已渗透到各个角落,网络上的用户已解除了资源地理位置上的束缚,在联入互联网的任何一台计算机上就能浏览工业控制现场的数据,实现“控管一体化”,这是其他任何一种现场总线都无法比拟的。

(4) 可持续发展潜力大

以太网的引入将为控制系统的后续发展提供可能性,用户在技术升级方面无需独自的研究投入,对于这一点,任何现有的现场总线技术都是无法比拟的。同时,机器人技术、智能技术的发展都要求通信网络具有更高的带宽和性能,通信协议有更高的灵活性,这些要求以太网都能很好地满足。

3.1.3 PROFIBUS-DP 网

PROFIBUS-DP 网将 PLC、各个操纵台、远程 I/O 站及交流变频传动系统连为一体。实现信息交换。最大传输速率为 12Mbps。采用这种现场总线可以大大减少故障率,方便维护,减少投资。

(1) PROFIBUS-DP 特点

PROFIBUS-DP 的 DP 即 Decentralized Periphery。它具有高速低成本, 用于设备级控制系统与分散式 I/O 的通信。它与 PROFIBUS-PA(Process Automation)、PROFIBUS-FMS(Fieldbus Message Specification) 共同组成了 PROFIBUS 标准。

用于现场层的高速数据传送。主站周期地读取从站的输入信息并周期地向从站发送输出信息。总线循环时间必须要比主站 (PLC) 程序循环时间短。除周期性用户数据传输外, PROFIBUS-DP 还提供智能化设备所需的非周期性通信以进行组态、诊断和报警处理。

①传输技术: RS-485 双绞线、双绞电缆或光缆。波特率从 9.6K bit/s 到 12M bit/s。

②总线存取: 各主站间令牌传递, 主站与从站间为主一从传送, 支持单主或多主系统。总线上最多站点 (主一从设备) 数为 126。Profibus 的理论地址范围: 0~127 (127 为广播地址)。最多可用 32 个主站, 总的站数可达 127 个 (多主)。

③通信: 点对点 (用户数据传送) 或广播 (控制指令)。循环主一从用户数据传送和非循环主一主数据传送。

④运行模式: 运行、清除、停止。

⑤同步: 控制指令允许输入和输出同步。同步模式: 输出同步; 锁定模式: 输入同步。

⑥功能: DP 主站和 DP 从站间的循环用户有数据传送。各 DP 从站的动态激活和可激活。DP 从站组态的检查。强大的诊断功能, 三级诊断诊断信息。输入或输出的同步。通过总线给 DP 从站赋予地址。通过部线对 DP 主站 (DPM1) 进行配置, 每个 DP 从站的输入和输出数据最大为 244 字节。

⑦可靠性和保护机制: 所有信息的传输按海明距离 $HD=4$ 进行。DP 从站带看门狗定时器 (Watchdog Timer)。对 DP 从站的输入/输出进行存取保护。DP 主站上带可变定时器的用户数据传送监视。

⑧设备类型: 第一类 DP 主站 (DPM1) 是中央可编程控制器, 如 PLC、PC 等。第二类 DP 主站 (DPM2) 是可进行编程、组态、诊断的设备。DP 从站是带二进制值或模拟量输入输出的驱动器、阀门等; 同时也可以智能从站, 即从站支持可编程, 一般智能从站即另外一个 PLC 主机。

(2) PROFIBUS-DP 规范

Profibus 的传输速率为 9.6K~12Mbps, 最大传输距离在 9.6K~187.5Kbps 时为 1000m, 500Kbps 时为 400m, 1500Kbps 时为 200m, 3000K~12000Kbps 时为 100m, 可用中继器延长至 10km。其传输介质可以是双绞线, 也可以是光缆, 最多可挂接 127 个站点。

Profibus 支持主一从系统、纯主站系统、多主多从混合系统等几种传输方式。主站具有对总线的控制权, 可主动发送信息。对多主站系统来说, 主站之间采用令牌方式传递信息, 得到令牌的站点可在一个事先规定的时间内拥有总线控制权, 并事先规定好令牌在各主站中循环一周的最长时间。按 Profibus 的通信

规范，令牌在主站之间按地址编号顺序，沿上行方向进行传递。主站在得到控制权时，可以按主—从方式，向从站发送或索取信息，实现点对点通信。主站可采取对所有站点广播(不要求应答)，或有选择地向一组站点广播^[22]。

(3) PROFIBUS-DP 插头的使用

在 PROFIBUS 插头上，有一个进线孔 (In) 和一个出线孔 (Out)，分别连接至前一个站和后一个站。

当各站点通过插头连接以及网线连接到网络上时，根据 RS485 串口通讯的规范，每个物理网段支持 32 个物理设备，且在物理网段终端的站点应该设置终端电阻防止浪涌保证通讯质量。而每个 PROFIBUS 插头上，都内置了终端电阻，需要是可以接入 (On) 和切除 (Off)。当终端电阻设置为 “On” 时，表示一个物理网段的终结，因此连接在出线端口 “Out” 后面的网段的信号也将被中断。因此，在每个物理网段两个终端站点上的插头，需要将网线连接在进线口 “In”，同时将终端电阻设置为 “On”，而位于网段中间的站点，需要依次将网线连接在进线口 “In” 和出线口 “Out”，同时将终端电阻设置为 “Off”^[23]。PROFIBUS 插头的连接和设置见图 3.2。

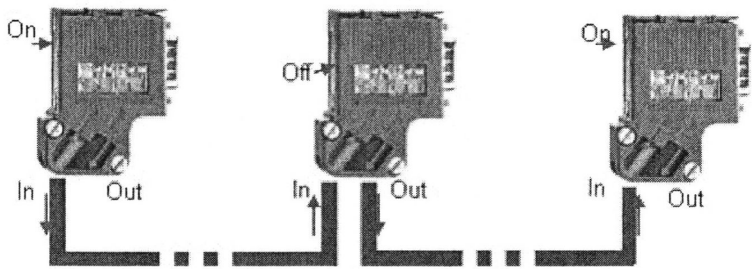


图 3.2 PROFIBUS 插头的连接和设置

Fig. 3.2 The PROFIBUS plug connection and setting

需要注意的是，PROFIBUS 插头有一种带编程口 (PG 口) 的，建议至少每个网段的两个终端站点处的插头尽量使用带编程口的，便于系统的诊断和维护。

(3) PROFIBUS-DP 终端电阻

PROFIBUS 电缆的两端应该连接终端电阻。终端电阻是为了消除在通信电缆中的信号反射。在通信过程中，有两种原因导致信号反射：阻抗不连续和阻抗不匹配。阻抗不连续：信号在传输线末端突然遇到电缆阻抗很小甚至没有（例如：短路）或者阻抗很大（例如：断线），信号在这个地方就会引起反射。这种信号反射的原理，与光从一种媒质进入另一种媒质要引起反射是相似的。消除这种反射的方法，就必须在电缆的末端跨接一个与电缆的特性阻抗同样大小的终端电阻，使电缆的阻抗连续。由于信号在电缆上的传输是双向的，因此，在通讯电缆的另一端可跨接一个同样大小的终端电阻^[24]。

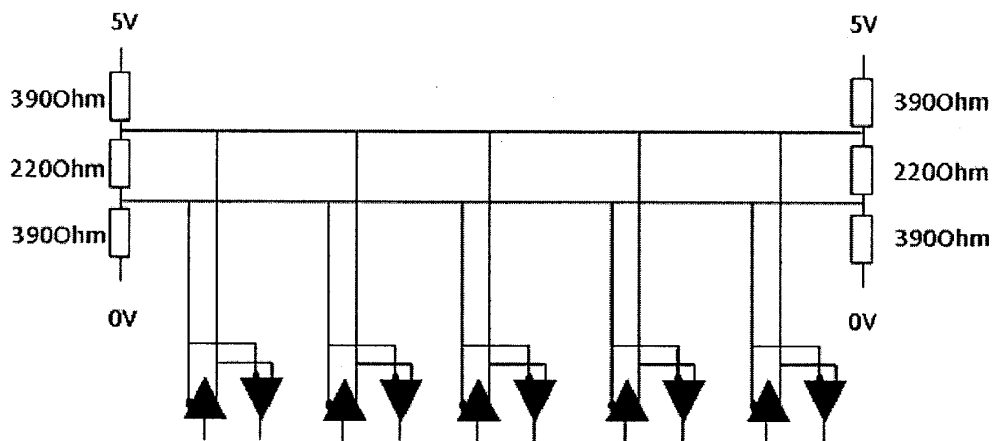


图 3.3 网络中的设备连接和终端电阻

Fig. 3.3 Network device connection and termination resistors

引起信号反射的另一个原因是数据收发器与传输电缆之间的阻抗不匹配。这种原因引起的反射，主要表现在通讯线路处在空闲方式时，整个网络数据混乱。在 EIA RS-485 中规定的端接电阻 R_t 是以下拉电阻 R_d （与数据地 DGND 连接）和上拉电阻 R_u （与正电压 VP 连接）做补充。当没有站进行传输（即空闲时间）时，这个补充迫使不同的状态电压（即导体间的电压）趋于一个确定值^[25]。

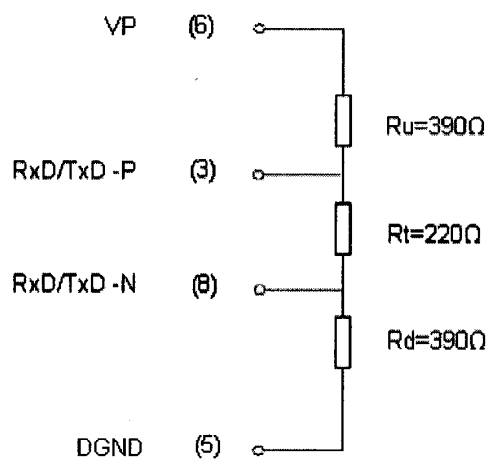


图 3.4 终端电阻的形成

Fig. 3.4 The formation of the terminal resistor

在一个物理网段中，但是如果终端和总线电缆阻抗不匹配，则最大通讯距离会减少一半。因而，在一个物理网段中，应该保证在网络的两个终端各有一个终端电阻，不能增加也不能减少，否则我们的总线上的网线与终端电阻将会出现不匹配的问题。

3.2 自动控制系统实现

3.2.1 项目结构

重卷的自动化控制项目是一个多工程项目，SIMATIC 管理器中显示的项目结构是：

- 1) 01_S7: S7 工程，其中包括所有的 MRG/LCO/SSF/MTR。
- 2) 02_HMI: HMI 工程，其中包含除单体设备外的 HMI 系统。

工程项目特点：

- 1) 不包含 WinCC 部分的 S7 项目非常的小。
- 2) HMI 部分为单独的项目，能够非常方便的从 WinCC 服务器拷贝到工程师站上进行下一步的处理，例如，添加功能等。

重卷自动化控制项目结构如图 3.5 所示。

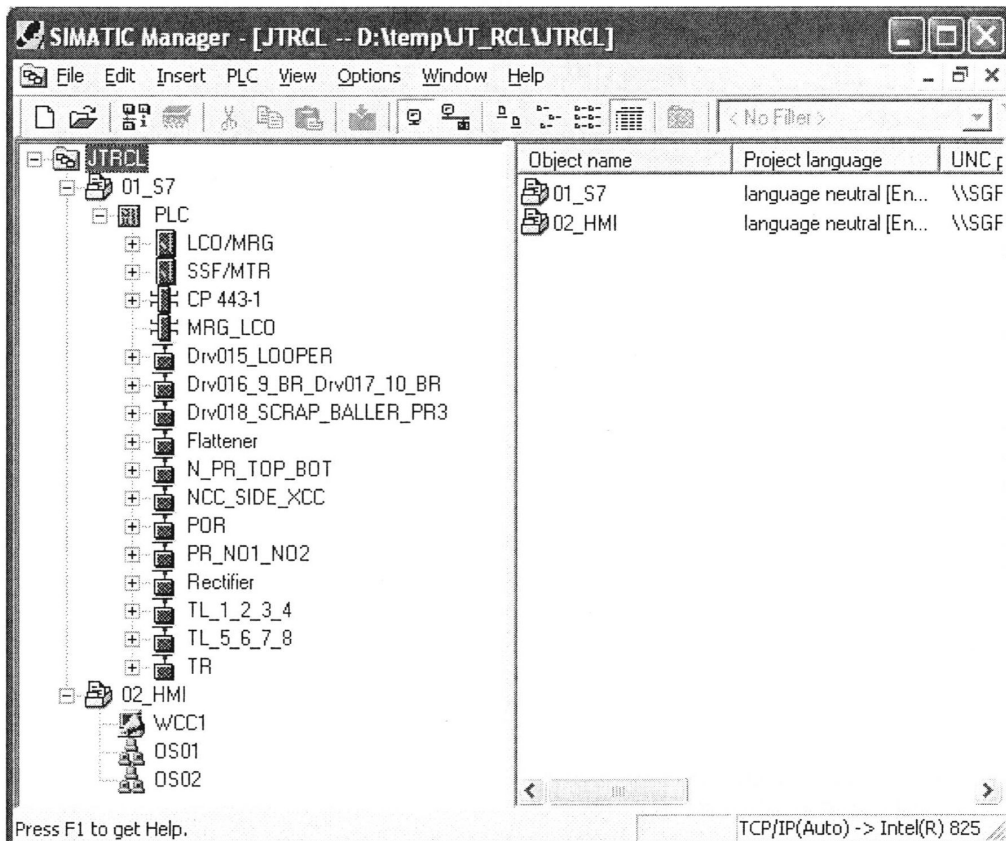


图 3.5 重卷自动化控制项目结构

Fig. 3.5 Recoiling automatic control project structure

3. 2. 2 重卷自动化控制层次结构

冷轧重卷控制系统大致可以分为 2 级系统控制：一级自动化控制系统（L1）和二级过程控制系统（L2）组成。控制层次结构见图 3.6 所示。下面将对其组成及功能逐一予以研究。

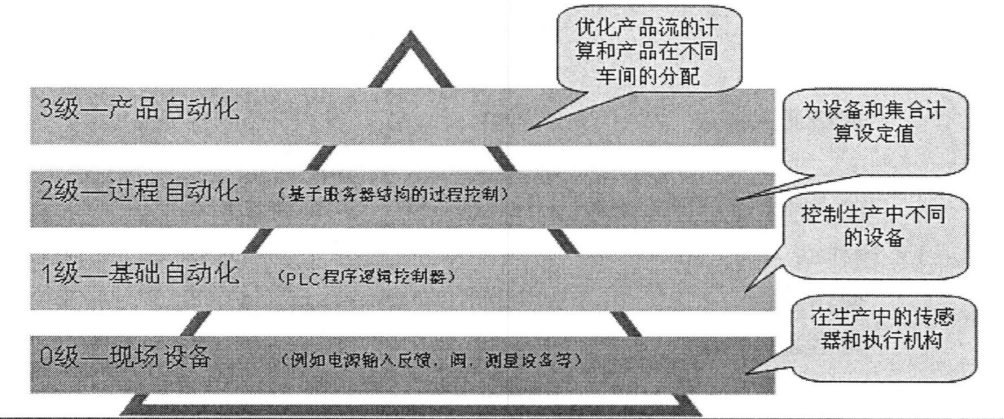


图 3.6 重卷自动化控制层次结构

Fig. 3.6 The recoiling automation control hierarchy

一级控制系统硬件主站采用两套西门子 S7-400 系列 PLC, 选用西门子 ET200M 做现场远程 I/O 站进行信号采集和控制信号输出; 现场操作台上设置部分选择开关和按钮实现设备的现场手动点动, 操作灵活; 整个系统采用分区式急停系统, 即保证了整个系统的安全性, 又最大限度的减少局部故障对整个系统造成的影响, 在操作室设 2 台上位机, 使用 WinCC 软件编制的人机操作界面 (HMI), 操作人员通过 HMI 对整个机组的运行情况进行控制和监视。

二级硬件系统主要由二级服务器和二级用户操作员站组成, 二级系统作为整个机组的指挥和管理系统。具有以下几点创新:

- 1、钢卷的全程跟踪
- 钢卷从入口鞍座, 经过钢卷扫描仪的扫描, 钢卷信息传输到一级系统, 跟踪区域具体到线上焊缝位置。最终, 完成处理并称重完成。
- 2、多通讯方式
- 与 HMI 通信: 服务器与 HMI 所传输的数据量较大, 数据的实时性要求高, 但可允许偶尔丢失少量数据, 基于此选用 TCP/IP 通讯方式^[26]。
- 与一级通信: 由于一级所用的系统配置是 S7-400, 基于此选用 TCP/IP 通讯方式。由于 PLC 的限制, 采用多端口进行通信, 对于不同意义的数据包在不同的端口上进行传输。
- 现场 ET 站间通讯: 采用 PROFIBUS-DP 协议, 传输速率快。
- 3、高度自动化

3.3 系统软件配置分析

系统中各计算机软硬件配置分别如下:

1、 L2 数据库服务器

操作系统	WINDOWS 2003 SERVER
数据库系统	Microsoft SQL Server2000
开发工具	MS VSTUDIO.NET
	MS Office2003
网络通讯协议	TCP/IP
	防病毒软件 (单机)

L2 与 L3 通讯管理软件

2、 L2 操作站

操作系统	WINDOWS XP Professional SP2
网络通讯协议	TCP/IP
	防病毒软件 (单机)

L2 数据管理软件

3、 L1 HMI 操作员站

操作系统	WINDOWS XP Professional SP2
开发工具	Simatic WinCC6.0 SP3 (256 RC)
	WinCC/Server
	Simatic Net Software
	防病毒软件 (单机)
网络通讯协议	TCP/IP
应用软件	

4、 ES 工程师站软件配置

操作系统	MICROSOFT WINDOWS XP Professional
开发工具	Simatic Step7 5.3 编程软件
	SIMATIC PROTOOL V6.0
	DRIVES ES 传动操作及监控软件
	MS Office2003
	防病毒软件 (单机)
网络通讯协议	TCP/IP

3.4 HMI 监控计算机的画面形式

本工程所采用的 WinCC (Windows Control Center——视窗控制中心) 系统

软件包是 HMI 的核心软件,它具有数据采集、监视和控制自动化过程的强大功能,是基于个人计算机的操作监视系统。其显著特点就是全面开放,在 Windows XP 标准环境中,它很容易结合标准的和用户的程序建立人机界面,精确地满足生产实际要求,确保安全可靠地控制生产过程。WinCC 还可提供成熟可靠的操作和高效率的组态性能,同时具有灵活的伸缩能力。因此,无论简单或复杂任务,都能胜任^[27]。

WinCC 软件可与通用数据库软件及电子表格软件兼容,能很方便地交换数据,便于生产的组织、管理,方便生成各种报表。

同时,该软件由中文操作系统,如 Win2000、Windows NT、Windows XP 中文版支持,实现全中文操作画面,便于使用及操作。

HMI 的画面形式有四种。模拟工艺流程画面配以运行工艺参数显示。设定调整数据的数据窗口显示。记录数据、联动提示及故障报警信息的数据表格显示。监控系统帮助说明窗口。

3. 4. 1 模拟工艺流程画面

模拟显示机组生产工艺状态,显示设备状态,主要工艺参数。机组生产工艺状态包括单动/联动状态、高速/低速状态、联动开机条件等。设备状态是指电控系统、液压系统、设备润滑系统是否存在故障。主要工艺参数是指机组运行速度、开卷卷取工作张力、卷取重量或长度、开卷卷取卷径等。入口段 HMI 画面如图 3.7 所示。

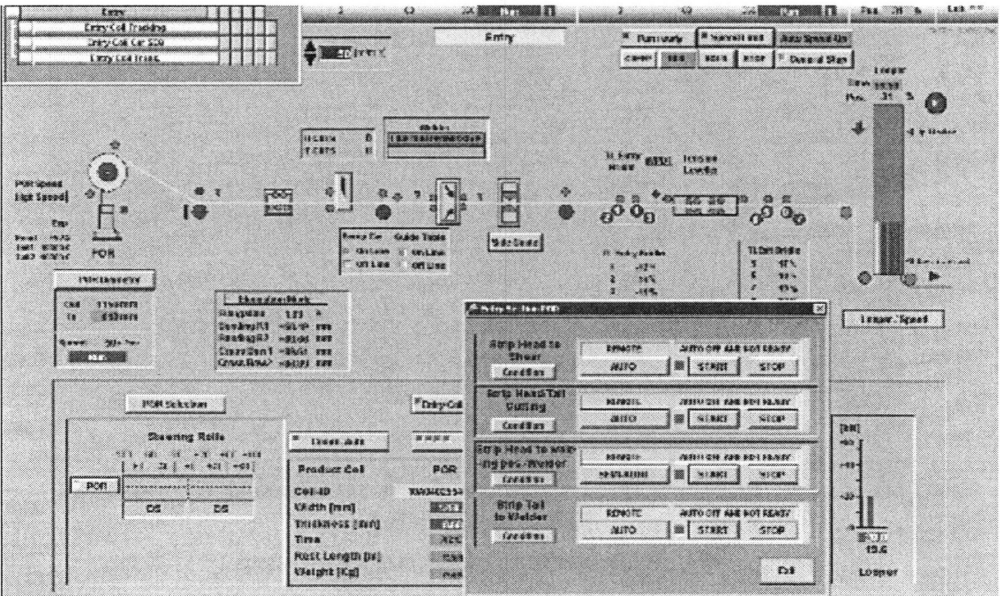


图 3.7 入口段画面
Fig. 3.7 Entry HMI

液压系统工作状态模拟画面显示如图 3.8 所示。提示工作泵运转状态、压力、油温、油位是否正常、减压阀是否减压、滤油器是否堵塞、出现故障后的故障位置。

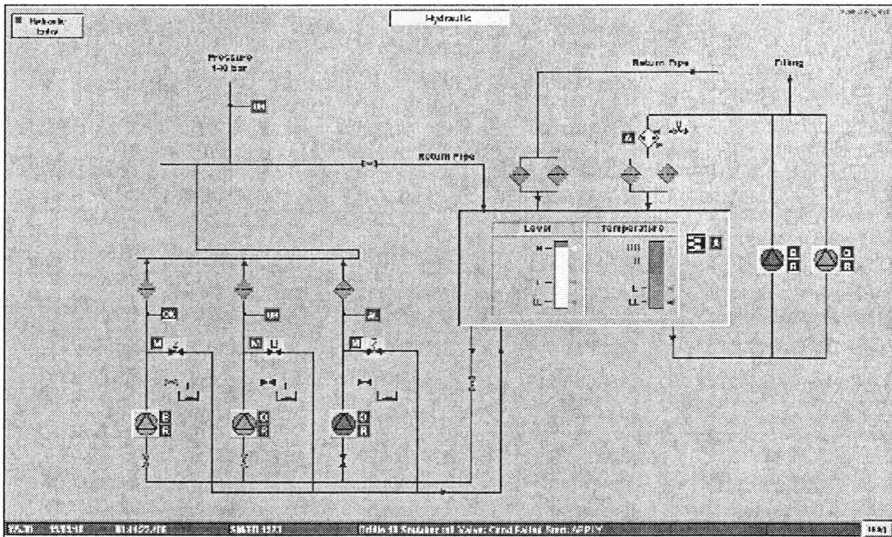


图 3.8 液压站 HMI

Fig. 3.8 Hydraulic station HMI

电气配电系统工作状态模拟画面，提示配电开关是否闭合、各非调速电机是否运转正常、出现故障后的故障位置。电气传动系统工作状态模拟画面，提示各变频调速电机的电气传动系统是否工作正常、各电机的运行电流、频率、速度等参数。各设备状态如图 3.9 所示。

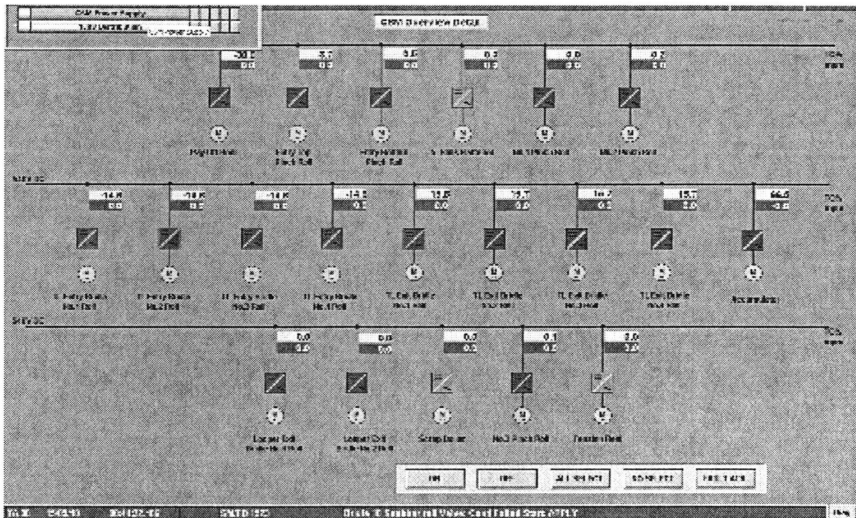


图 3.9 变频供电状态

Fig. 3.9 Variable frequency power supply status

3. 4. 2 设定调整数据窗口

机组生产工艺参数的设定，包括来料规格（厚度、宽度）、成品规格、开卷单位张应力、卷取单位张应力、延伸率、卷取重量或长度、机组允许最高运行速度、机组允许最大张力等。

圆盘剪设备调整参数的设定是指圆盘剪的开口度，通常可由成品规格确定，也可人为设定。圆盘剪控制界面如图 3. 10 所示。

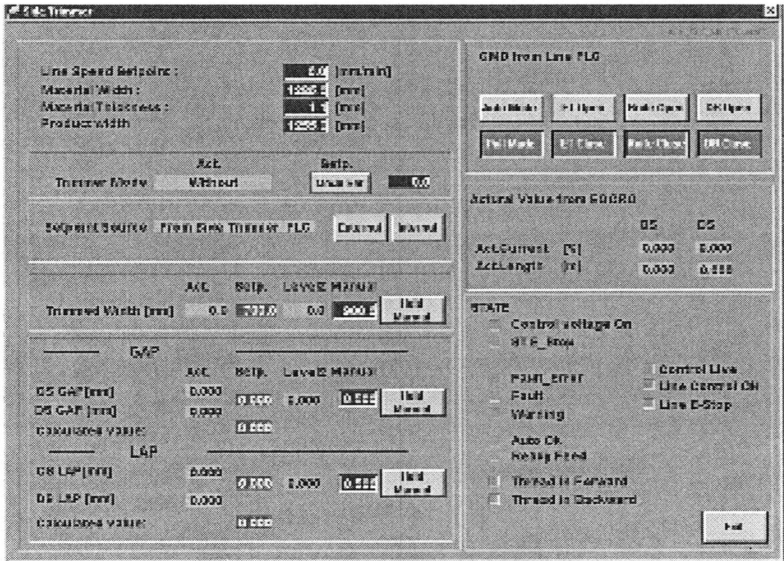


图 3. 10 圆盘剪控制界面

Fig. 3.10 Disc Shear control interface

3. 4. 3 记录数据、联动提示及故障报警信息的数据表格显示

机组生产过程数据的统计表格显示、报表打印：包括成品卷的长度、计算重量、残次品的等级与位置、最高运行速度、运行时间、本班次生产卷数、统计重量等。

机组生产过程中的开卷张力、卷取张力、矫直机入口出口张力、1#~8#张力辊的各段张力、矫直机四个辊系的辊缝位置等。

联动提示信息的显示，包括联锁条件、设备位置、提示时间等内容。机组故障信息的报警显示及汇总报表打印：包括故障类型、原因、位置、故障日期时间等内容。这些信息的及时提报，对设备运行状况做到实时显示、实时记录，当发生故障时，可根据所记录的数据进行分析，判断故障原因，提高故障判断的准确性和快速性，对操作人员和维护人员都是很有帮助的。图 3. 11 就是报警信息记录。

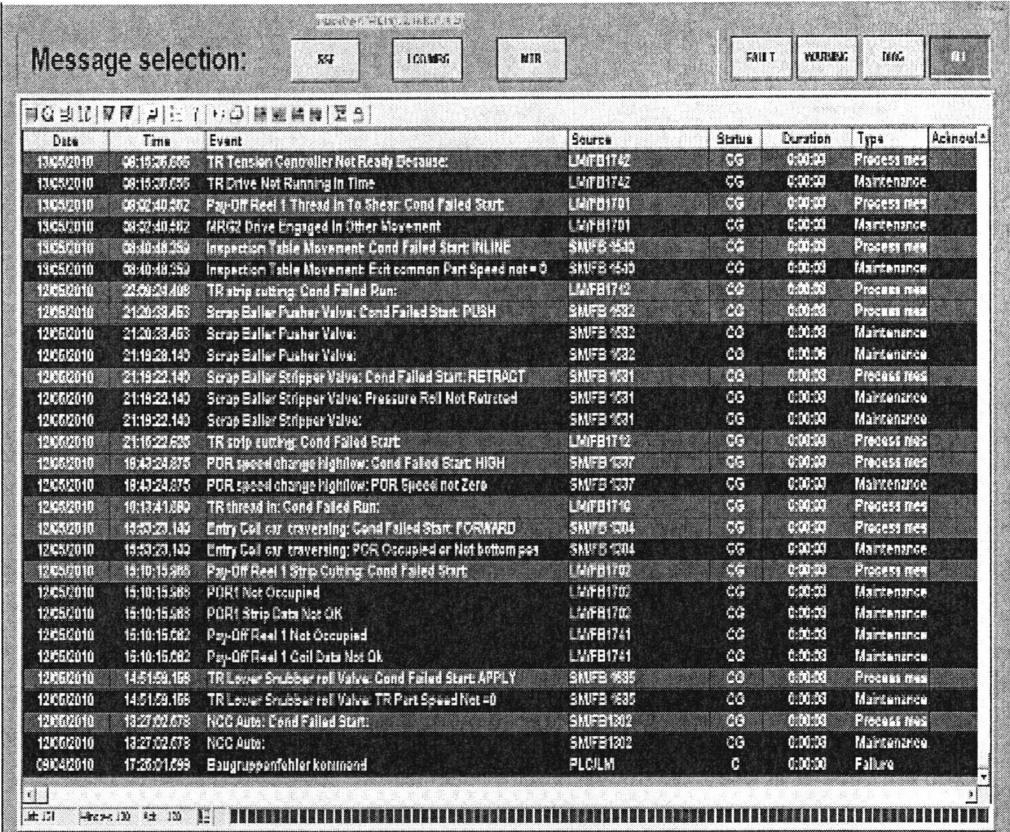


图 3.11 报警信息画面

Fig. 3.11 Alarm information HMI

3. 5 控制系统实现研究

重卷线控制系统是由西门子公司专门针对冷轧生产线设计的控制方案 SIROLL PL™，在西门子承担的冷轧连退、镀锌、重卷等产线上应用并在国内外各大钢厂得到了广泛的推广。该控制方案采用单机架多 CPU 结构，CPU 均采用 S7 400 系列模块，每个 CPU 各有独立的控制功能：顺序控制（SSF，Sequence and Support Functions）、全线协调（LCO，Line Coordinator）、主斜坡发生器（MRG，the Master Ramp Generator）、物料跟踪（MTR，Material tracking）。下面分别对顺序控制、全线协调、主斜坡发生器、物料跟踪进行研究。图 3.12 显示出各功能 CPU 在机架中的排列。

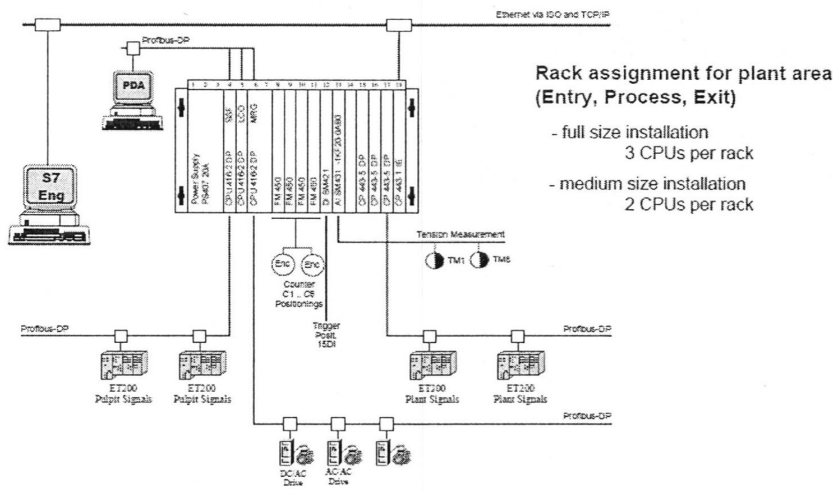


图 3.12 CPU 在机架排列
Fig. 3.12 CPU in the rack arrangement

3. 5. 1 顺序控制实现（SSF）

机组各设备的顺序控制，由操作人员在操作台进行操作，再由 PLC 根据工艺要求进行联锁后，输出给各设备的执行机构进行顺序控制。

下面是钢卷小车自动上卷、卸卷顺序过程：

上卷时，钢卷小车托起钢卷上升，当钢卷的上部到达安装的一对光电管时，PLC 发出指令，钢卷小车停止。此时，PLC 通过安装在升降装置上的光电编码器计数，计算出经过头部处理后的钢卷直径。随后，钢卷小车下降，PLC 控制使钢卷的中心线在垂直方向上与开卷机卷筒的中心线重合时准确停车，完成高度自动对中。高度自动对中完了，钢卷小车横移前进，PLC 通过安装在横移小车的光电编码计数，计算出小车前进的距离，当钢卷的中心线在水平方向上与机组中心线重合时准确停车，完成水平方向自动对中。水平自动对中完了，PLC 发出指令，卷筒涨径，压辊落下，小车随后下降返回，完成自动上卷过程。

卸卷时，位于卷筒下方的钢卷小车上升，PLC 根据卷取机传动装置计算出的直径值，通过安装在升降装置上的光电编码器计数，计算出小车上升的高度，控制小车准确托住钢卷，并且转为压力控制，同时停止上升。随后，卷取机缩径，经几秒钟延时后，钢卷小车托住钢卷横移，将钢卷从卷筒上卸下，并将钢卷运送至输出步进梁，完成自动卸卷功能。

根据所使用的驱动块的不同类型，重卷的顺序控制程序有三种结构：FB635(FB_1D1V)、FB634(FB_2D1V)、FB633(FB_2D2V)，下面只对典型 TY_1D1V 程序控制块作为研究对象重点研究。

典型的一个方向一个速度的控制功能块，控制对象一般是阀或者电机。例如，液压站的泵，液压站的主泵和循环泵，能够从 HMI 的液压站画面或者通过本地操作箱的按钮启动和停止。本地操作箱上切换到维护模式时，泵的启动将不会受到连锁条件的限制。泵运行的连锁条件包括液压站的油温、液位、管道的压力等。编制程序中所用到的程序块见表 3.1：

表 3.1 程序块列表

Table 3.1 Program block list

块	缩写	描述
FC896	HMI_CMD	来自 HMI 操作命令
FC897	HMI_OPM	来自 HMI 操作模式
FB635	FB_1D1V	一个方向，一个速度的驱动控制
FB880	DIAGCOND1	4 个启动条件，10 运行条件诊断块
FB804	8_Messages_Bits	消息块
FC891	STAT2_HMI	HMI 状态
FC892	OPM_HMI	HMI 显示操作模式

下面对几个主要功能分别进行分析：

FC896 的功能：

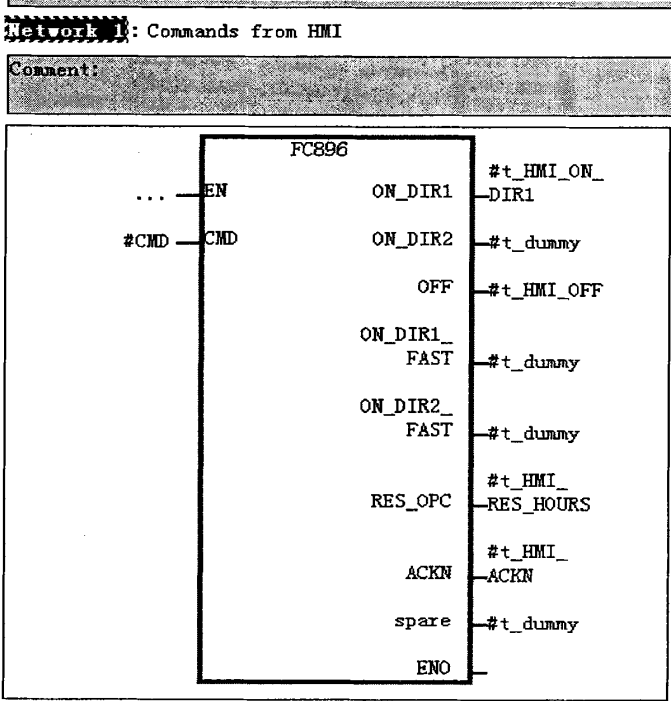


图 3.13 调用 FC896

Fig. 3.13 Call FC896

其中，CMD 为来自 HMI 的命令。FC896 的功能是将 CMD 的低字节转化成位。每个位的功能和 WINCC 中定义的相同，对于用不到的位统一由临时变量“t_dummy”代替。此时，上图中用到的命令“t_HMI_ON_DIR1”、“t_HMI_OFF”、“t_HMI_RES_HOURS”、“t_HMI_ACKN” 分别对应下图 3.14、图 3.15 上的“ON”、“OFF”、“Reset operation hours”、“ACKN” 按钮。

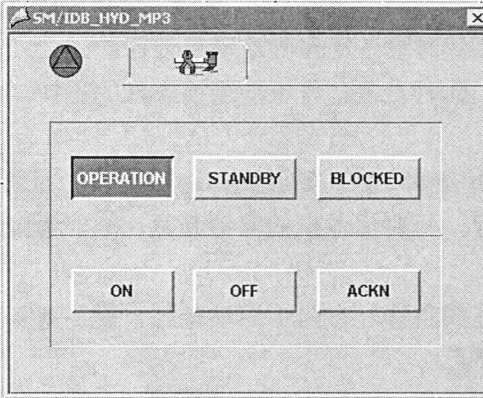


图 3.14 操作按钮

Fig. 3.14 Operate button

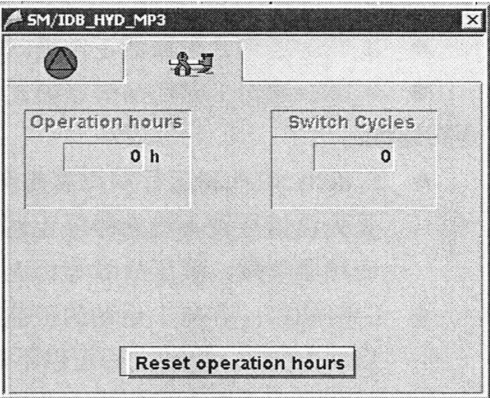


图 3.15 复位操作时间按钮

Fig. 3.15 Reset operate hour button

FC897 的功能：

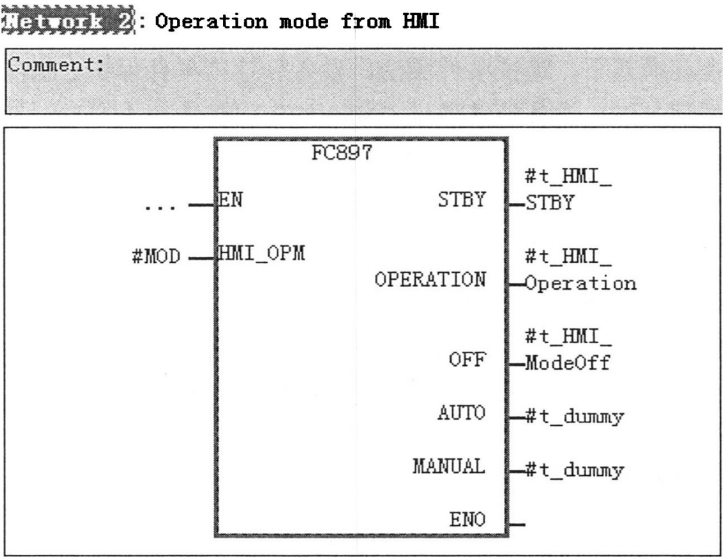


图 3.16 调用 FC897

Fig. 3.16 Call FC897

其中，MOD 为来自 HMI 的命令，即在端口声明中其属性 S7_m_c 为 true.FC897 的功能是将 MOD 的低字节转化成位。每个位的功能和 WINCC 中定义的相同，对于用不到的位统一由临时变量“t_dummy”代替。此时，上图中用到的命令“t_HMI_ON_STBY”、“t_HMI_Operation”、“t_HMI_Modeoff” 分别对应图 3.14 上的“STANDBY”、“OPERATION”、“BLOCKED 按钮。

FB635: FB_1D1V 块

该块的典型应用是用于控制液压泵的启停。

当 PARAM 的 bit0(方向 1)置“1”时,方向 1 驱动命令将会保持,当 PARAM 的 bit1(方向 2)置“1”时,方向 2 驱动命令将会保持。只有一般条件不满足或者急停信号复位输出命令。

模式选择:

- M_UNL=逻辑 0 时激活正常模式,此时设备动作受连锁条件保护。
- M_UNL=逻辑 1 时激活解锁模式,此时设备动作不受连锁条件的保护。

逻辑连锁:

- C_RUN: 启动和运行期间需要保持逻辑“1”,如果没有达到极限位置之前丢失该信号设备将立即停止运行。一般与电机的保护开关、MCC 故障、变频器故障、液压故障等相连。
- C_START1: 方向 1 启动的工艺连锁条件,方向 1 启动条件,满足才可以启动方向 1,启动之后可以不满足。
- C_RUN1: 方向 1 运行的工艺连锁条件。方向 1 运行期间必须保持,如果没有达到极限位置之前丢失该信号设备将立即停止方向 1 运行。在方向 1 的极限位置该运行条件无效。

启动停止:

- NORM1S: 正常模式下的启动命令输入端。M_UNL=“0”时设备为正常模式,在此模式下,连锁条件激活,设备受连锁条件保护。当所有的连锁条件都满足时,设备能够通过“NORM1S”引脚的命令启动。该命令来自就近设备的操作台、HMI 画面的启动按钮。
- NORMOFF: 正常模式下的停止命令输入端,一般连到就近设备的操作台按钮。
- UNL1S: 解锁模式下的启动命令输入端,一般连到就近设备的操作台按钮。
- CO_1S: 启动命令的输出端。该输出端一般接到继电器,控制继电器的吸合,达到控制电机主回路接触器闭合启动电机的目的。

3.5.2 物料跟踪 (MTR)

物料跟踪 (Material Tracking System, 简称 MTR) 包括卷的跟踪和线上带钢的跟踪两部分。可以短时间内不受二级电脑断网影响而继续生产。物料跟踪系统包括以下主要项目: 卷跟踪, 带钢跟踪, 动作点。物料和焊缝跟踪通过一个焊孔。物料跟踪激活新的设定值和初始化某一动作, 例如, 拉矫机的在焊缝通过时快速打开。物料跟踪以操作工在入口鞍座确认钢卷开始, 以出口称重完成结束。

卷的跟踪: 入口区域第一个鞍座到开卷机之间的卷跟踪, 例如, 入口 1 号鞍座、入口 2 号鞍座、入口 3 号鞍座、入口上卷小车鞍座、开卷机。出口区域从卷

取机到最后一个鞍座之间的卷跟踪，例如，卷取机、出口卸卷小车鞍座、打捆机位置、步进梁鞍座。

带钢跟踪：开卷机到卷取机之间的带钢跟踪。用到两个焊缝检测仪，分别位于拉矫机入口侧和切边剪前。用到两个编码器，安装位置分别是一号张紧辊操作侧和九号张紧辊驱动侧。

物料跟踪的典型应用就是自动分卷，自动分卷分三种方式：按长度、按重量、平均分卷。

按长度分卷时，开卷机、卷取机的变频调速装置通过 T400 工艺板自动计算出钢卷的卷径值，该卷径值经 PROFIBUS-DP 网传输给 PLC，PLC 根据带钢的厚度，实时计算出开卷机与卷取机上钢卷的长度，根据操作人员设定的分切长度，当卷取机上钢卷的长度达到(等于、大于)该剪切长度时，PLC 自动给出机组降速的命令，使机组自动降速，并准确停车，由分切剪进行剪切。

按重量分卷时，PLC 根据开卷机、卷取机的实际卷径值及带钢的厚度和长度，实时计算出开卷机与卷取机上钢卷的重量，与操作人员设定的分切重量比较，当卷取机上钢卷的重量达到(等于、大于)该剪切重量时，PLC 自动给出机组降速的命令，使机组自动降速，并准确停车，由分切剪进行剪切。

平均分卷时，PLC 根据来料的厚度和卷径，自动计算出带材的长度，根据操作人员设定的分切卷数，计算出每卷的长度。当卷取机上钢卷的长度达到(等于、大于)该剪切长度时，PLC 自动给出机组降速的命令，使机组自动降速，并准确停车，由分切剪进行剪切。

3.5.3 全线协调器功能结构（LCO）

全线协调器（LCO）的功能如图 3.17 所示。

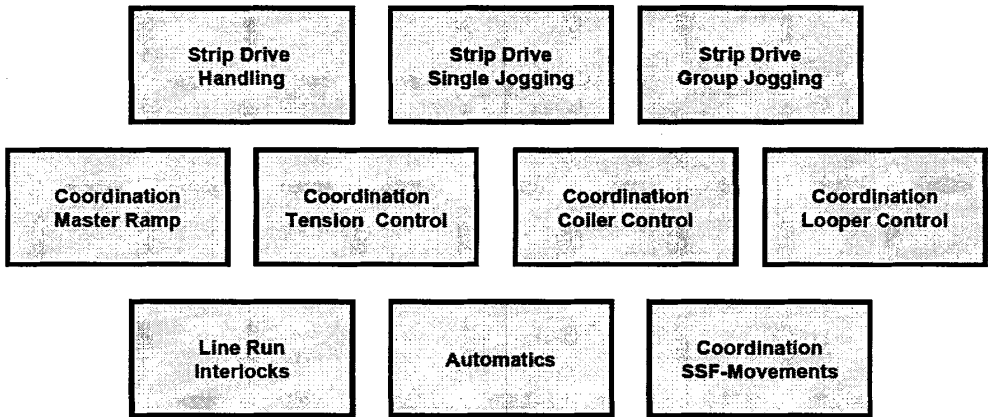


图 3.17 LCO 的功能
Fig. 3.17 Function of LCO

其中，自动控制功能中，用于带钢行走精确定位的功能块是 FC900，使用范围包括：

- 带钢甩尾降速停止
- 入口带尾到焊机
- 焊缝从焊机到月牙剪
- 开卷机处带头到剪子
- 带头到剪切位置
- 焊机前起小套
- 焊缝停到出口分切剪
- 焊缝停到切边剪前
- 带尾到卷取机甩尾
- 带头到卷取机穿带

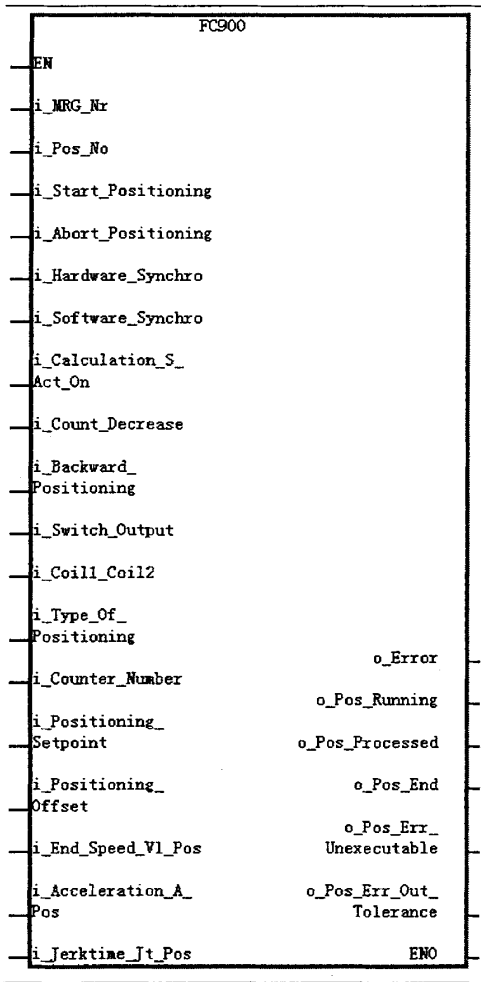


图 3.18 调用 FB900

Fig. 3.18 Call FC900

FC900 功能块的用途是定位控制，和 MRG 之间接口，该块各引脚功能见表 3.2。

表 3.2 FC900 引脚含义

Table 3.2 Pin meaning of FC900

引脚	类型	描述
i_MRG_Nr	INT	MRG 号码，有效值为 1 到 6
i_Pos_No	INT	定位号码，（MR1: 1-20; MR2: 21-30; MR3: 31-40）。
i_Start_Positioning	BOOL	触发定位功能，上升沿启动定位。
i_Abort_Positioning	BOOL	定位停止，“1=”放弃定位。
i_Hardware_Synchro	BOOL	Synchronisation is done by means of a hardware signal in MRG('0'=>software bit)
i_Software_Synchro	BOOL	Software synchronisation bit
i_Calculation_S_Act_On	BOOL	激活实际路径计算
i_Count_Decrease	BOOL	定位期间计数器减计数(0 为增计数)
i_Backward_Positioning	BOOL	定位回退，例如倒带点动。
i_Switch_Output	BOOL	开关量输出
i_Coill_Coil2	BOOL	指定到卷 1（'0'）或者卷 2（'1'）
i_Type_Of_Positioning	BYTE	定位类型：0=长度，1=剩余长度，2=直径，3=重量，4=圈数，5=角度。
i_Counter_Number	BYTE	使用的计数器，有效值 1 到 8。
i_Positioning_Setpoint	REAL	定位设定值，按照定位类型相关的单位。
i_Positioning_Offset	REAL	定位补偿值（第二设定值）
i_End_Speed_Vl_Pos	REAL	速度设定值
i_Acceleration_A_Pos	REAL	加速度
i_Jerktime_Jt_Pos	REAL	Jerk time T_POS [s] 猝然移动时间
o_Error	BOOL	参数配置错误
o_Pos_Running	BOOL	定位正在被处理。
o_Pos_Processed	BOOL	Positioning with smallest residual path to be processed
o_Pos_End	BOOL	定位完成
o_Pos_Err_Unexecutable	BOOL	定位错误：不能执行 unexecutable
o_Pos_Err_Out_Tolerance	BOOL	定位错误：定位结束超过容差。

3.5.4 主斜坡发生器（MRG）

MRG 在我们的控制系统中起到了一个衔接的作用，一方面接收 LCO 的控制字

并向其反馈状态字，另一方面给变频器发送控制字，变频器给 MRG 反馈状态字。各个 CPU 之间的通讯至关重要，下面我们分别从硬件和软件两个方面简述 LCO、MRG、变频器之间的通讯。

在西门子 step7 的硬件组态中，可见系统将各变频器均组态到 MRG 的 CPU 所属在的 DP 网中。如图 3.19 硬件配置所示，所有变频器设备均挂在网络之中。

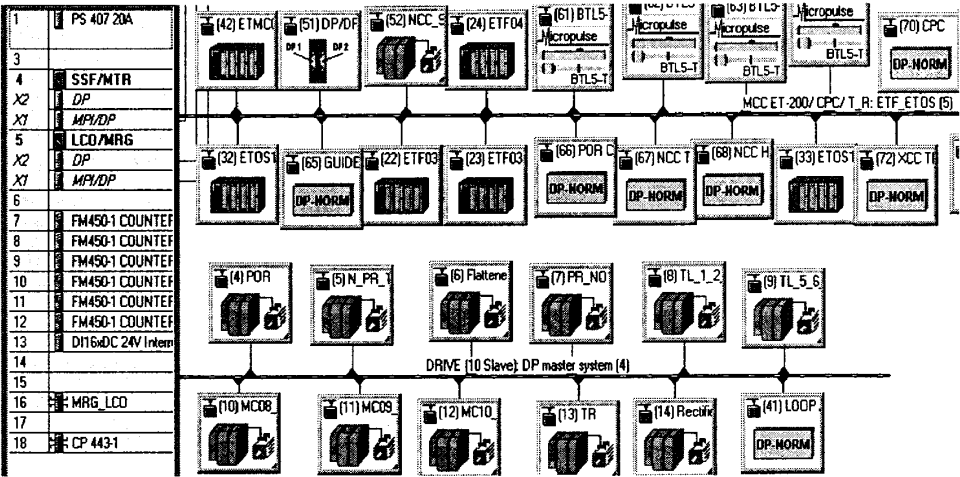


图 3.19 硬件配置

Fig. 3.19 Hardware configuration

MRG 与 SSF、LCO 等之间通讯，接收、发送数据的过程通过通讯程序 OB36 中调用 FC205 实现，由通讯功能块 FC208、FC209、FC288、FC389 各功能块实现数据的读取。如图 3.20 所示数据收发流程图。

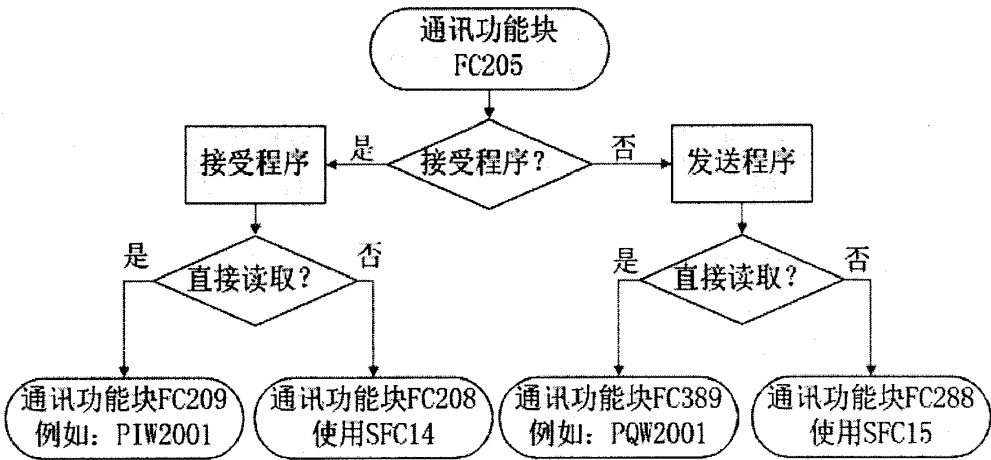


图 3.20 数据收发流程图

Fig. 3.20 Data sending and receiving flow diagram

在 FC1448 中，执行 OPN #i_DB_DRIVE 打开电机数据块，如图 3.21 读取数据。

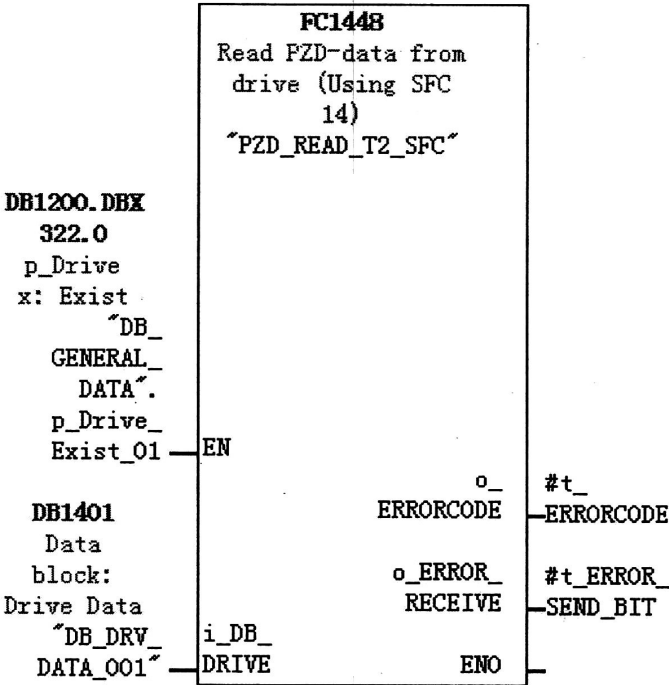


图 3.21 FC4418 读取数据
Fig. 3.21 FC4418 read data

通过图 3.21 可知，打开数据块 DB1401，在该程序之后如调用该数据块的数据，则不用再指派，默认即为该数据块。

```
L      DBW    62
T      #t_STARTADDRESS
```

因为之前打开了 DB1401，故上段程序实现将 DB1401.DBW62 的数据赋值给临时变量 t_STARTADDRESS。如图 3.22 所示的变量赋值。

60.0	p_DP_Slave_Number	INT	4	4	p_DP-slave Number (3...125)
62.0	p_DP_Slave_Address	INT	2001	2001	p_Start_address of the DP-slave (first periphery address) (e.g.
64.0	p_DP_Slave_Diag_Address	INT	16381	16381	p_Diagnostic address DP-slave
66.0	p_DP_Slave_Unit	INT	1	1	p_Slave unit: Unit number/Slave (e.g. Till 4 units/drive) (1..4)

图 3.22 变量赋值
Fig. 3.22 Variable assignment

由图 3.22 可以知到，临时变量 t_STARTADDRESS 值为 2001，即对应硬件组态中该点的地址。从图 3.23 的硬件组态中很明显就看到了该地址范围就在其中。

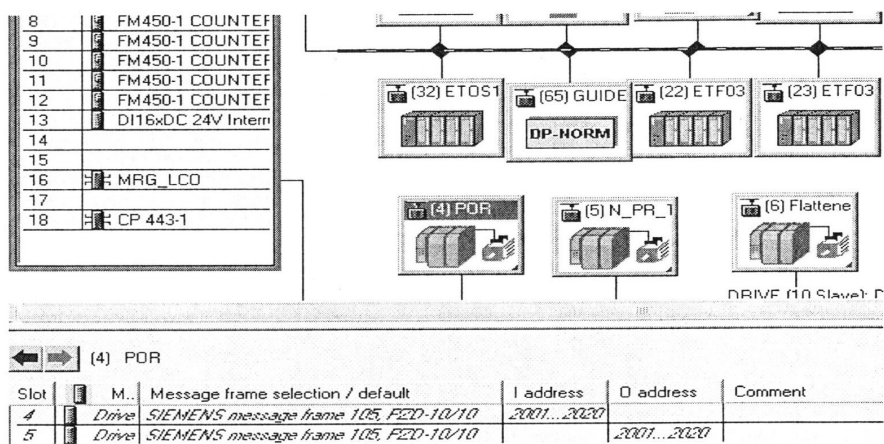


图 3.23 硬件地址

Fig. 3.23 Hardware address

```
CALL "DPRD_DAT"  
LADDR :=#t_STARTADDRESS  
RET_VAL:=DBW904  
RECORD :=#t_DESTINATION_AREA
```

DPRD_DAT 即为 SFC14，通过调用该程序读取指定变频器数据。读取数据保存在 t_DESTINATION_AREA 中，为临时变量中定义的数组。见图 3.24 所示。

	Name	Data Type	Address	Comment
t_STARTADDE	t_STARTADDRESS	Word	0.0	Start address of PZD-area in Profibus-telegram (Sinamics)
t_DESTINATIO	t_DESTINATION_AREA	Array...	2.0	Destination area which contains the data received from the DP-slave
t_DEST_AREA	t_DEST_AREA_EXTEND	Array...	22.0	Destination area which contains the data received from the DP-slave(extend tel)
t_ERROR_DP	t_ERROR_DP	Bool	54.0	Error Profibus DP bit
t_CycleTime	t_CycleTime	Real	56.0	Program Cycle time

图 3.24 临时变量数组

Fig. 3.24 Temporary variable array

依次将该数组数据进行整合，将两个字节，例如 t_DESTINATION_AREA[1]和 t_DESTINATION_AREA[2]合并为一个字保存到 DBW 1950，即 DB1401.DBW1950 中，其中 t_DESTINATION_AREA[1]左移，因为低字节要保存在字的高位。对应 DB 块如图 3.25 所示。

+1950.0	Receive_PZD_01	WORD	W#16#0	Process data word 1 (STSW1)
+1952.0	Receive_PZD_02	WORD	W#16#0	Process data word 2 (N_Act)
+1954.0	Receive_PZD_03	WORD	W#16#0	Process data word 3 (I_Act)
+1956.0	Receive_PZD_04	WORD	W#16#0	Process data word 4 (TQ_Act)
+1958.0	Receive_PZD_05	WORD	W#16#0	Process data word 5 (ALARM_Nr)
+1960.0	Receive_PZD_06	WORD	W#16#0	Process data word 6 (FLT_Nr)
+1962.0	Receive_PZD_07	WORD	W#16#0	Process data word 7 (STSW2)
+1964.0	Receive_PZD_08	WORD	W#16#0	Process data word 8 (N_CNTR_YI)
+1966.0	Receive_PZD_09	WORD	W#16#0	Process data word 9 (STSW3)
+1968.0	Receive_PZD_10	WORD	W#16#0	Process data word 10
+1970.0	Receive_PZD_11_extend	WORD	W#16#0	Process data word 11 (DRV_CNT_H)
+1972.0	Receive_PZD_12_extend	WORD	W#16#0	Process data word 12 (DRV_CNT_L)

图 3.25 数组数据存储

Fig. 3.25 Array data storage

从变频器读取的数据包括状态字，转速实际值，电流实际值，转矩实际值等。在 FC205 中，如果选择直接通过外设读取变频器参数，则调用 FC209。

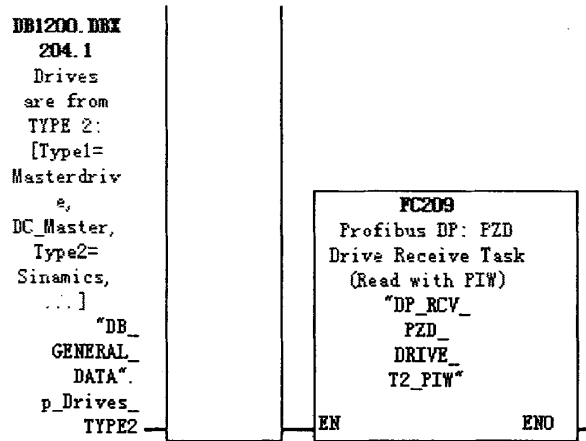


图 3.26 调用 FC209
Fig. 3.26 Call FC209

在 FC209 中，根据不同电机，统一调用 FC1458 进行数据读取，并根据 DB 数据块不同，将数据保存到相应数据块中，如电机 1 为 DB1401，见图 3.27。

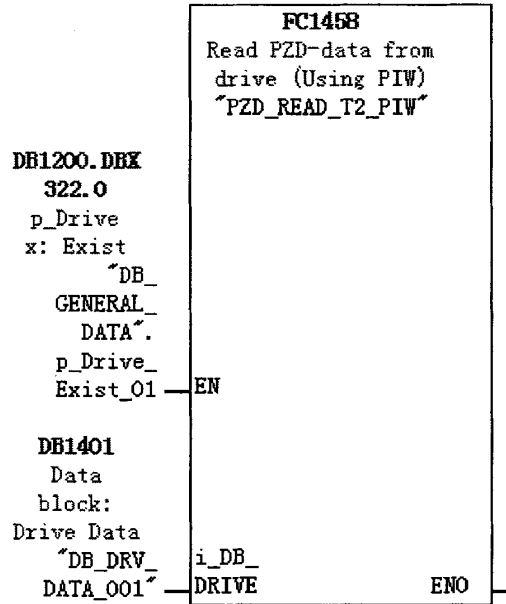


图 3.27 FC1458 读取数据
Fig. 3.27 FC1458 read data

在 FC1458 中，执行程序分析如下

```
OPN  #i_DB_DRIVE
```

打开指定数据块。

```
L      DBW    62
```

```
T      #t_STARTADDRESS
SLD    3
T      #t_ADDRESS_POINTER_FORMAT
LAR1
```

读取该 DB 块的 DBW62 中的地址，保存在临时变量 t_STARTADDRESS 里，并经过左移三位处理，转换成地址指针格式，保存到临时变量 t_ADDRESS_POINTER_FORMAT 中，并调用 LAR1，将该地址指针保存到地址寄存器 1 中。

将地址指针中读取的数据进行调用，例如，在 DB1401 中，该值为 1000，因 P#0.0 表示偏移量为 0，故表示调用 PID1000，将该值发送给 DB1950。对应 P#4.0 则表示将地址指针偏移 4 个字节，即将 PID1004 发送给 DBD1950，依次类推，将通过外设直接读取的数据保存到 DB1401 的 DBD1950 开始的数据块中。NW4 进行发送命令判断，若进行发送则执行下面程序。

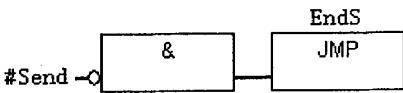


图 3.28 发送命令

Fig. 3.28 Send command

同样是根据通讯方式和变频器类型选择 4 种通讯程序中的一种进行数据发送。与接收基本相同。

在 FC205 的 NW5 中根据通讯方式选择调用 FC388 或 FC389 进行数据发送。FC388 中，调用 FC1447 针对各变频器进行分别发送。见图 3.29。

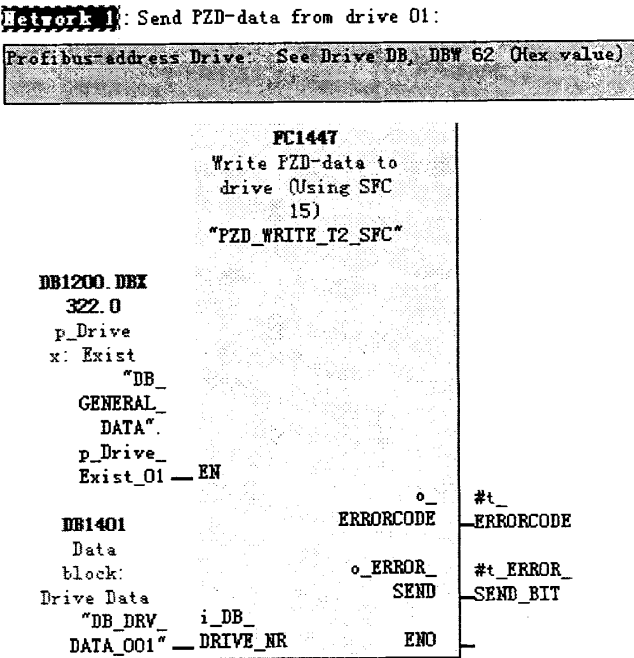


图 3.29 FC1447 数据发送

Fig. 3.29 FC1447 send data

在 FC1447 中, 读取 DB1401 的数据, 由 DBW1900 到 DBW1918, 保存到临时数据变量#t_SOURCE_AREA。

在硬件组态和软件编程的时候我们一定要保证两者之间的通讯数据有效, 通讯长度固定, 不能丢字节。MRG 的程序中主要包括线速度的计算, 张力控制, 活套控制, 卷径计算, 定位这几大部分, 每个部分都有独立的控制器, 各个控制器输出速度相加才得到了电机的最终设定速度。

主斜坡发生器的作用主要就是确定生产线上的速度, 通过控制加速度, 当加速度由 0 达到设定值这段时间内, 使线速度曲线的开始端和终端呈圆弧型, 当加速度达到设定值后速度开始线性增长或者减小, 通过圆弧状的开始端和终端, 实现设备的平稳运行, 防止损坏设备。LCO 对 MRG 进行控制, 发出爬行、运行、正常停止、快停、急停等命令, 这些命令都有各自对应的设定速度和加速度, 设定速度和加速度确定了, 速度变化的斜率就确定了, 我们的动力系统(变频电机)只要按照 MRG 给定的速度运行就可以了。

3.6 本章小结

本章本章主要研究了重卷机组的控制系统架构, 分析了工业以太网、PROFIBUA-DP 网的特点, 给出了重卷自动化控制结构层次, 阐述了控制系统软件配置及人机接口界面。并且研究了西门子设计的重卷控制系统的解决方案, 分别从顺序控制 (SSF)、物料跟踪控制 (MTR)、全线协调控制 (LCO)、主斜坡发生器控制 (MRG) 四个方面给出了整个自动化控制系统的组成, 分析了控制方法原理。通过对控制一级程序的研究, 掌握了重卷生产线的控制核心, 对重卷生产线的维护及技术改造方面打下了扎实基础。

第 4 章 张力控制策略研究

开卷机、卷取机的工作状态为两种，一种是机组单动状态下的速度（转速）控制，用于设备的正反向点动。另一种是机组联动状态下的张力控制，以适当的开卷、卷取张力保证机组平稳运行。如果张力不恒定就会出现断带、松卷、窜层等现象。张力偏小会造成带卷松卷、层间窜动，损坏带钢表面质量；张力过大则会造成带卷过紧，严重时会导致带卷轧断或损坏设备。因此在机组升降速或稳速轧制过程中，工艺要求必须实现恒张力控制。为了充分提高系统运行时的稳定性、成品带钢的质量以及生产效率，首先必须要钻研清楚张力系统的控制原理，进而研究实现出恒张力控制策略。

开卷机、卷取机从速度控制状态转变为张力控制状态是机组联动开机的必要条件之一。加载与卸载张力的操作由人工操作转换开关来实现。机组速度不为零时，卸载张力的操作无效。工作张力值大小的设定根据生产带材的规格从数据库中读取张力值，也可以通过人工操作在 HMI 上输入经验值来调整张力的设定值^[28]。

常见的恒张力控制系统一般可分为直接张力控制系统和间接张力控制系统两种类型^[29]。直接张力控制系统通过张力计检测出张力的实际值，作为张力调节器的反馈量直接构成张力负反馈系统；间接张力控制系统通过数学方法模拟计算出变化的带钢卷径，控制其电枢电流按相应的变化趋势而变化，从而达到恒定张力控制的目的。

4.1 直接张力控制系统

直接张力控制方式通过应变片式张力传感器测量带钢实际张力，转换成相应的电信号，反馈到张力调节器的输入端与张力给定值进行比较，构成张力 PID 闭环调节系统^[30]。如果实际张力小于张力给定值，张力控制系统则增大电机转矩，提高转速，增大张力；如果实际张力大于张力给定值，张力控制系统则减小电机转矩，降低转速，减小张力；反复调节，从而使张力基本保持不变。其简单的原理示意图如图 4.1 所示。

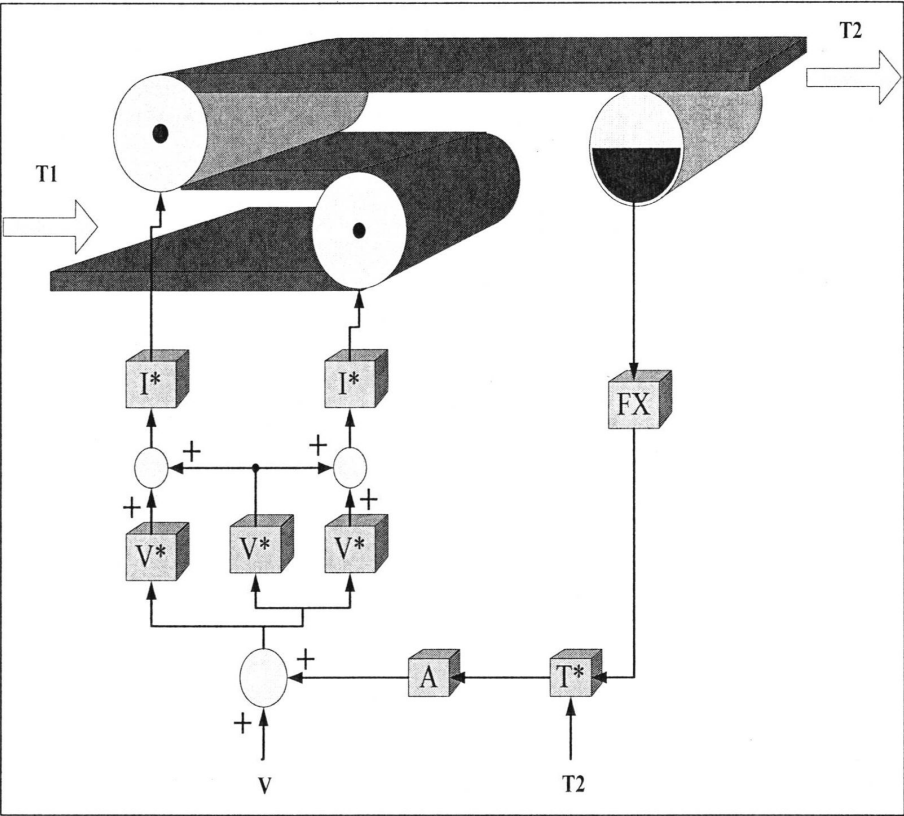


图 4.1 直接张力控制原理

Fig. 4.1 Direct tension control principle

直接张力控制系统的优点主要是控制结构简单，张力控制平稳，避免了卷径变化、速度变化和空载转矩等对张力的影响，可以确保更高的张力控制精度，张力闭环系统可在速度变化很大时将张力控制在 5% 以内。但需要注意的是应加大对张力传感器的维护，初投资较大且系统容易振荡。

4.2 间接张力控制系统

间接张力控制系统只对给定张力进行设定，不需要使用张力计采集张力的实际值，对张力不形成闭环控制，而是通过对开卷或卷取机电流的控制来间接对张力进行控制^[31]。间接张力控制系统实际是一种张力的扰动补偿控制系统，就是根据开卷或卷取过程中各参数之间的相对关系，找出影响张力的各个参数，运用数学方法计算出来，加以补偿控制，间接地保持张力近似不变。这种控制系统通常只补偿一两个主要扰动量，主要有最大力矩法和恒电流电势法两种。

当生产线稳定运行时，其张力的主要扰动量是带钢卷径 D 和线速度 V 。当线速度不变时，张力的主要扰动量则是卷径 D 的变化。在实际张力控制系统中，张力给定还需加入动态张力补偿，以确保机组升速或降速过程中张力的恒定。因为

在线速度发生突变(即加减速过程)时,存在着 dv/dt ,这就要求开卷机或卷取机额外付出一部分转矩以克服带卷的机械惯性,保持转矩恒定,从而实现张力恒定。

实际加速过程中,电磁转矩应附加正的动态转矩,以补偿需吸收的能量;减速过程中,电磁转矩应附加负的动态转矩,以补偿需释放的能量。一般间接张力系统的控制精度比直接张力控制系统的精度稍差,但在实际生产过程中,系统运行稳定,带钢张力平稳,故障率低,各项性能指标均能达到生产技术指标,所以有着广泛的应用。

4.3 间接恒张力控制原理分析

卷取机的卷取过程实际上是一个带卷卷径不断增大、卷取机电机速度不断减小的过程。为了保证卷径变化时张力基本保持不变,要求卷取机的参数必须随卷径的变化而处于动态调整中。

从传动功率的角度来看,根据电机驱动功率与负载功率相匹配的原则,只要保持电机输出功率恒定,就可以近似地保持张力和线速度的恒定,所以常常张力控制系统被设计成电机的功率负反馈系统,从而间接地保持张力的恒定^[32]。

由电机学原理可知电机的电磁输出功率为:

$$P = N \cdot T / 974 \quad (4.1)$$

式中: N 为电机转速 (rpm), T 为电机转矩 (kgm)

$$T = K_1 \phi I_a \quad (4.2)$$

式中: K_1 为转矩常数, ϕ 为电动机磁通量, I_a 为电动机电枢电流。

根据法拉第电磁感应定律和电机学知识可知,电动机反电势为:

$$E = K_2 \Phi N \quad (4.3)$$

式中: K_2 为电势常数, ϕ 为电动机磁通量, N 为电机转速。

由式 (3.1)、(3.2)、(3.3) 可求得,

$$P = \frac{E}{974 K_2 \phi} (K_1 \phi I_a) = K_3 E I_a = FV \quad (4.4)$$

式中: K_3 为常数, F 为张力, V 为线速度。

由式(3.4)可知,通过保持电枢电流不变,输出功率不变,就可实现张力和线速度的基本恒定。根据力矩的定义,在稳速运行时忽略其他损耗,开卷机对带卷产生的阻力矩与张力,及卷径 D 的关系可表示如下:

$$T = F \cdot D / 2 = K_1 \Phi I_a$$

$$F = 2K_1 \Phi \frac{I_a}{D} \quad (4.5)$$

在基速以下时,磁通 Φ (额定磁通)为常数,恒定不变。由式(3.5)可知只要保证开卷机电机电枢电流随卷径成比例变化,同时对机组升降速给以必要的补偿,就可实现恒张力控制。这种控制方式属于恒转矩调速控制,也可称作最大力矩法。

在基速以上时,为弱磁升速阶段,此过程实际上是电机反电势 E 恒值调节过程,即反电势 E 保持不变^[33]。由于卷径 D 与带卷线速度与开卷电机转速存在如下关系:

将 $D = \frac{V}{\pi \cdot N}$ 代入式(4.5)中,可得式(4.6)。

$$F = \frac{2K_1 \cdot \pi}{K_2} \frac{I_a}{V} = K \frac{I_a}{V} \quad (4.6)$$

由上式可见,在基速以上,只要保证开卷机电枢电流如随带卷线速度成比例变化,就可实现恒张力控制。这种控制方式属于恒功率调速控制,也可称作恒电流电势法。

开卷过程是一个动态时变过程。由于张力波动是由线速度波动引起的,所以张力恒定即线速度恒定,而若使线速度恒定,就需功率恒定^[34]。因此,某种程度上,也可称恒张力控制、恒线速度控制、恒功率控制三者是相同的。为了更好地解析张力系统,下文以重卷机组活套张力系统为例进行说明。

4.4 活套的张力和位置控制的研究

4.4.1 活套张力控制原理分析

活套除检修状态外,始终处于张力工作状态。张力大小与卷取张力相同,并随同卷取张力同步调整^[35]。活套传动系统与工作原理图4.2、4.3所示。

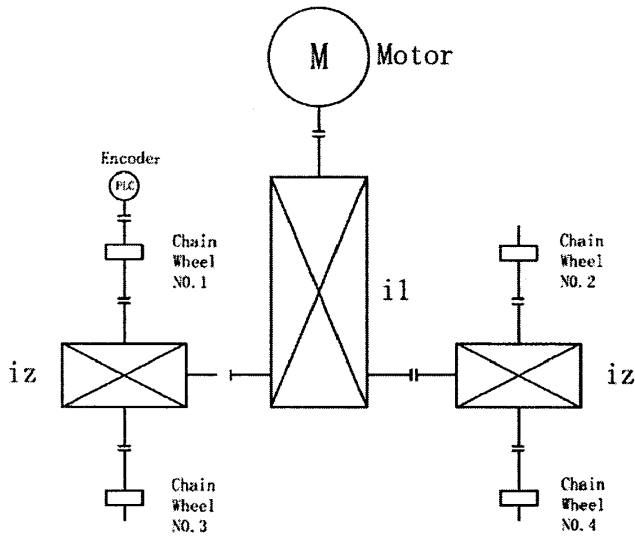


图 4.2 活套传动系统

Fig. 4.2 The looper drive system

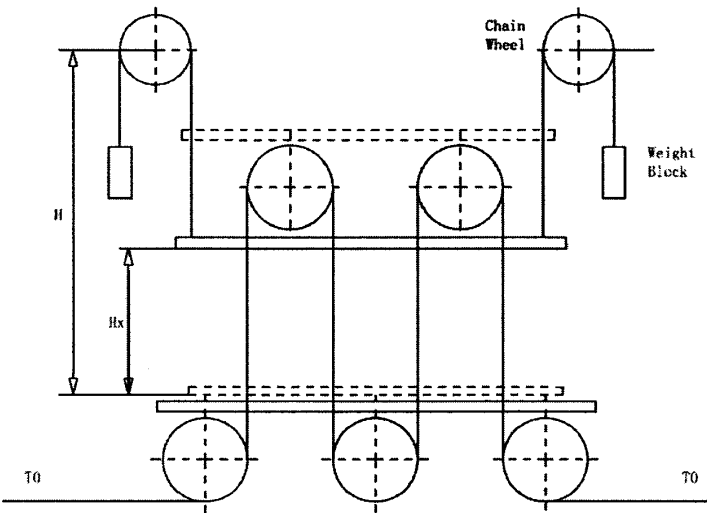


图 4.3 活套工作原理

Fig. 4.3 The looper Working Principle

在机组分卷时活套要控制其活套车位置在允许的范围内变化，同时要保证活套入口、出口张力 T 保持不变。随着活套车的位置 H_x 的变化，活套中的带钢重量和提升活套车的链条重量也随之变化。因此活套电机需要根据活套位置的变化调整输出转矩，消除由于带钢和链条重量的变化所引起的活套张力变化，保证活套入口、出口张力始终恒定^[36]。

如图 4.3 所示，链轮活套车侧的负载由四部分组成。

(1) 带钢张力形成的负载： T (N)

$$T = 4 \times T_0 \tag{4.7}$$

(2) 活套车自身重量形成的负载: G_c (N)

该负载为定数, 设备设计、制造完成后可以得到准确数值。

(3) 活套内带钢重量形成的负载: G_s (N)

该负载由固定重量 G_{s0} 和变化重量 G_{sx} 两部分组成。

$$G_{s0} = b \times h \times L_0 \times \rho_s \times g \quad (4.8)$$

$$G_{sx} = b \times h \times 4 \times H_x \times \rho_s \times g \quad (4.9)$$

$$G_s = G_{s0} + G_{sx} = b \times h \times (4H_x + L_0) \times \rho_s \times g \quad (4.10)$$

式中

b : 带钢的宽度(M);

h : 带钢的厚度(M);

L_0 : 活套车处于下极限时, 车内最小带钢长度(M);

H_x : 活套车距下限位置的距离(M);

ρ_s : 带钢的比重;

g : 重力加速度;

(4) 活套侧配重链条重量形成的负载: G_{lc} (N)

链条为四根, 如果四根链条长度相等。则:

$$G_{lc} = 4(H - H_x) \times \rho_L \times g \quad (4.11)$$

式中: H : 链轮中心距活套车下极限位置的距离;

ρ_L : 链条的线比重;

如图 5.3 所示, 链轮配重侧负载由两部分组成。配重重量形成的负载: G_e (N)

配重为四组, 每组重量为 G_{e0} (kg), 如果四组配重重量相同, 则:

$$G_e = 4G_{e0} \times g \quad (4.12)$$

配重侧链条重量形成的负载: G_{le} (N)

如果四条链条长度相等。则:

$$G_{le} = 4 \times [L_{c0} - \pi \cdot r - (H - H_x)] \times \rho_L \times g \quad (4.13)$$

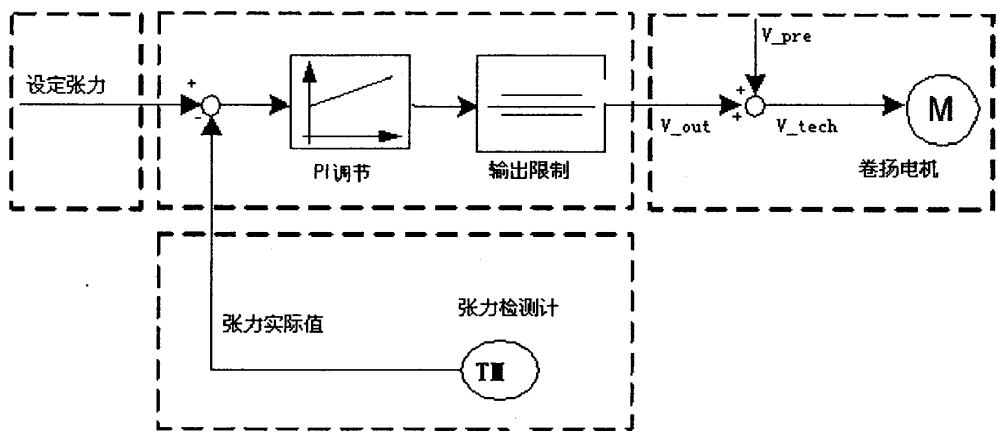


图 4.5 活套张力计算

Fig. 4.5 Looper Tension Calculation

从图 4.5 可知，张力的实际值由现场的张力计检测得来。设定张力值与实际值的差经过 PI 控制器计算出的输出速度 V_{out} 要有限制，否则就会引起张力振荡，另外还要根据实际情况对张力进行预控制速度 V_{pre} 。预控制速度 V_{pre} 与输出速度 V_{out} 相加就得到了建张所需要的速度 V_{tech} 。

生产中的活套会频繁的进行抽套和充套，活套入口和出口在加减速的时候对活套的张力会有很大的影响，消除这方面因素需要引进另一个速度 V_{tech1} 。下面为速度 V_{tech1} 的程序计算。

```
L    #t_A_IN
L    #i_VTECH2_A_IN_FACT
*R
L    #t_A_OUT
ENT
L    #i_VTECH2_A_OUT_FACT
*R
-R
T    #s_VTECH2_INERTIA_LOOPER
T    #o_VTECH2_INERTIA_LOOPER
```

通过程序控制，我们容易得出速度 V_{tech1} 的计算公式为：

$$V_{_tech1} = (A_{_in} \times factor) - (A_{_out} \times factor) \quad (4.16)$$

式中 $A_{_in}$ 为活套入口带钢的加速度, $A_{_out}$ 为活套出口带钢的加速度, $factor$ 是经过长期测试得来的经验值, 对不同的产线需要调试, 经过调整数值的大小来保证活套的稳定运行。

活套塔中的带钢数量会随着排套和充套变化, 另外不同规格的带钢也会对张力产生影响, 为了消除这两方面的影响引进 $V_{_tech2}$ 。下面程序为 $V_{_tech2}$ 的计算。

```

L      #t_A_IN
L      #i_VTECH3_A_IN_FACT
*R
L      #t_A_OUT
ENT
L      #i_VTECH3_A_OUT_FACT
*R
+R
L      #i_STRIP_LENGTH_RATIO
*R
L      #i_STRIP_SECTION_RATIO
*R
L      #i_SPEC_WEIGHT_RATIO
*R
T      #s_VTECH3_INERTIA_STRIP
T      #o_VTECH3_INERTIA_STRIP

```

通过程序控制得到 $V_{_tech2}$ 的计算公式为:

$$V_{_tech2} = [(A_{_in} \times factor) + (A_{_out} \times factor)] \times l \times s \times \rho \quad (4.17)$$

式中 l 为实际活套量的百分比, s 为正在生产的带钢的规格与极限规格宽厚之积 (例如产线极限规格: 0.0025m*2.08m) 的比值, ρ 为带钢的密度。

通过上面得出控制张力所需的速度值:

$$V = V_{_tech} + V_{_tech1} + V_{_tech2} \quad (4.18)$$

PI 控制在活套张力控制中起到关键的作用, 精确调整比例系数 K_P 和积分时

间常数 T_I ，可迅速、准确、平稳的消除偏差，达到良好的控制效果。PI 控制的特点是只要实际值与设定值有偏差，控制器就有输出，因此能够快速稳定调节，使实际值与设定值保持一致^[38]。见图 4.6 所示，当张力的实际值大于设定值时，控制器输出值减小；当张力的实际值小于设定值时，控制器输出值增加。

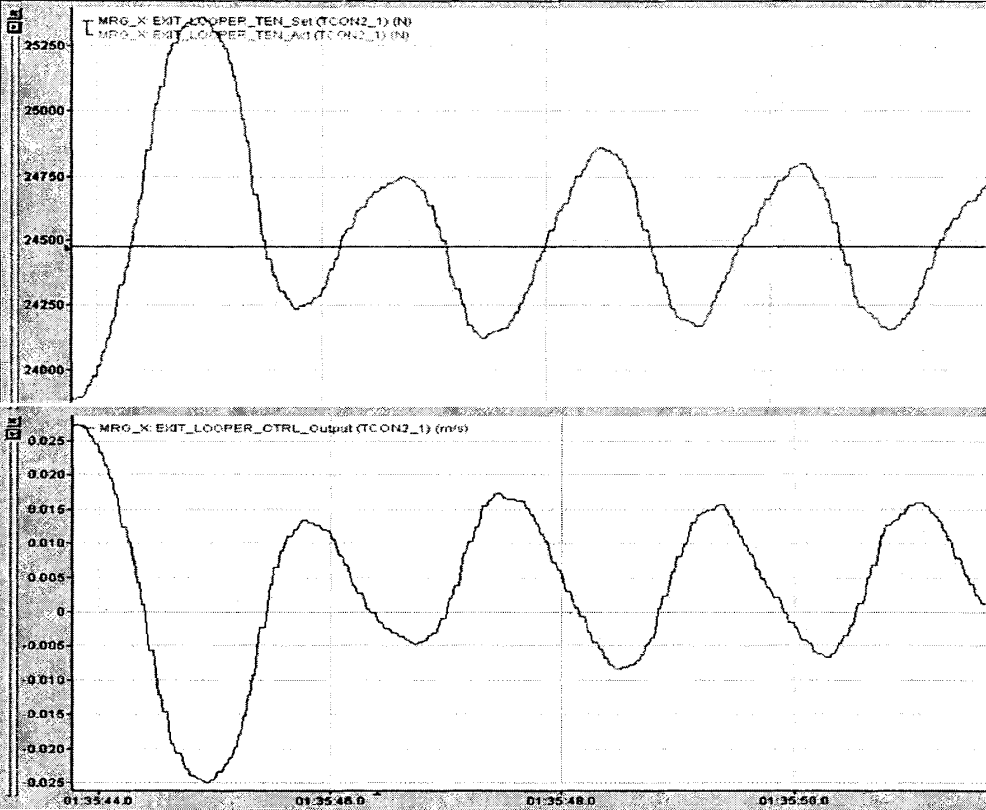


图 4.6 活套张力

Fig. 4.6 Looper Tension

4. 4. 3 活套小车的位置控制分析

(1) 活套的作用主要是衔接两个不同的工艺段，只要活套的出口和入口有速度，卷扬就不会停下来。当入口速度大于出口的时候，活套卷扬充套，为生产积攒能量；当入口速度小于出口速度的时候，活套卷扬排套。因此如何控制好活套的套量，防止活套满套和空套影响生产就至关重要。控制活套的套量其实就是所谓的活套位置控制。活套套量的计算主要是根据现场绝对值编码器传过来的数值转化为脉冲个数，再计算出每个脉冲数对应的活套量上升下降的高度就能计算出活套的套量。现场的绝对值编码器直接与 PLC 上的计数模块相连，CPU 直接从计数模块读取数据。活套位置控制见图 4. 7。

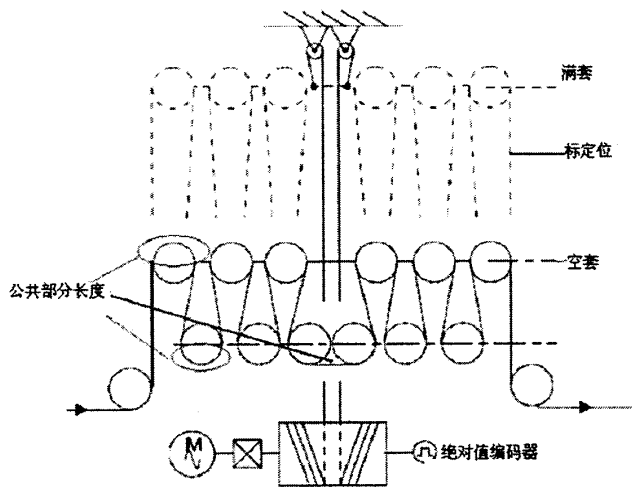


图 4. 7 活套位置控制

Fig. 4.7 Looper position control

(2) 每个脉冲量对应的活套小车上升下降的高度 H 的计算在计算活套量里至关重要。编码器安装在卷扬上，那么卷扬每转一圈的长度是固定的值等于 $\pi * D$ (D 为卷扬辊筒的直径)。而绝对值编码器旋转一周的脉冲数是 4096 个。而且编码器和辊筒是同轴连接轴的，因此齿轮比为 1。辊筒和带钢之间有 6 跟钢丝绳，因此辊筒旋转一周，活套小车只上升 $1/6$ 的距离。

综合上面的可以得到高度 H 的计算公式为：

$$H = \pi * D / 6 * 1 * 4096 \tag{4.19}$$

公式里面参数现在都是已知的，所以现在的高度 H 值是已知的。

(3) 从上图 4. 7 上可以看到有一个标定位，这个标定位的位置是固定的数值 $L1$ ，必定位的检测是一个磁性开关，当活套小车经过这个磁性开关的时候，会给 PLC 发一个脉冲信号告诉 CPU 小车到达标定位，但是 CPU 是否对编码器的数值进行标定是有条件的。自动标定的主要条件有：

- 1、到达标定位的时候程序的计算值和标定值的差不能超出一定的数值 0. 03%。
- 2、活套降套或者速度为 0。
- 3、带钢的速度要大于 0. 1m/s 并且小于 0. 55m/s。
- 4、LCO（线协调）发出允许标定的命令。
- 5、编码器的脉冲数范围是 0——2147483647，不能超限。

上面说的都是 CPU 自动标定，在特殊的情况下当然也是可以手动强制标定的。

(4) 上面计算出了编码器每个脉冲活套车上升的距离 H ，由于满套 $L=100\%$ 的长度是固定的，那么就可以计算出满套的脉冲数 $L100\%/H$ 。那么当从编码器读

出一个数值后小车对应的高度 S_{act} 和百分比数就得到了。为了防止脉冲溢出，可以在计算套量的时候按照把零位定成是 50%套量位置，在计算实际套量的时候再减去 50%所对应的脉冲数。

(5) 从图 4.7 中可以看到红色标注的公共部分，顶辊的上半圆和底辊的下半圆都是公共部分。另外还有一段斜的带钢的长度，如图 4.8 的深黑色部分，根据三角形定理很容易计算出斜边的长度 S ；长直边的长度就等于图 4.8 的 $S_{offset} + S_{act}$ ；短直边的长度是机械固定量 S_1 。

$$S = \sqrt{(S_{offset} + S_{act})^2 + S_1^2} \tag{4.20}$$

把所有的斜边的长度 S 、长直边的长度（带钢在活套中有直的有斜的），还有公共部分相加，就得出了活套内部带钢的长度。

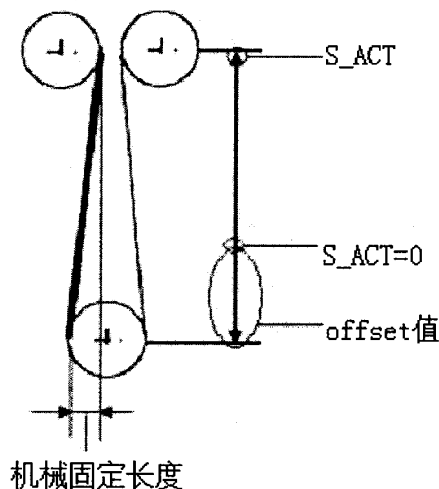


图 4.8 带钢长度计算

Fig. 4.8 Strip length Calculation

(6) 满套的剩余时间计算程序如下：

```
L    #i_V_in
L    #i_V_out
-R
T    #t_RESULT_1                // V_in - V_out
L    1.660000e-002
>R
JC    C_12
L    9.999990e+005                // V_in - V_out < ... m/s
```

```

T      #o_RESID_TIME_FILL
JU     E_12
C_12: L      1.000000e+000          // V_in - V_out < ... m/s
L      #i_S_ACT_PROC (实际套量百分比)
-R
L      #i_S_100_PROC (小车提升的最大高度为 25.45m)
*R
L      #i_NUMBER_LOOPS (小车上带钢的根数为 24)
*R
L      #t_RESULT_1                // V_in - V_out
/R
T      #o_RESID_TIME_FILL
E_12: NOP

```

当入口速度大于出口速度的时候, 并且差值大于 0.0166m/s 的时候才开始计算冲套剩余时间, 反之冲套剩余时间为 99999.9s。根据上面的程序得出满套剩余时间 T 的计算公式为:

$$T = (1 - S_{act}) \times 25.45 \times 24 \div (V_{in} - V_{out}) \quad (4.21)$$

式中 S_{act} 为实际套量的百分比, V_{in} 和 V_{out} 为活套入、出口的速度

(7)、空套剩余时间计算程序如下:

```

L      #i_V_out
L      #i_V_in
-R
T      #t_RESULT_1                // V_out - V_in
L      1.660000e-002
>R
JC     C_13
L      9.999990e+005              // V_out - V_in < ... m/s
T      #o_RESID_TIME_EMPTY
JU     E_13

```

```

C_13: L    #i_S_ACT_PROC                // V_out - V_in < ... m/s
      L    #i_S_100_PROC
      *R
      L    #i_NUMBER_LOOPS
      *R
      L    #t_RESULT_1                  // V_out - V_in
      /R
      T    #t_RESULT_3
      L    #i_S_SETP_PROC
      *R
      L    #t_RESULT_3
      TAK
      -R
      T    #o_RESID_TIME_EMPTY
E_13: NOP

```

当出口速度大于入口速度的时候, 并且差值大于 0.0166m/s 的时候才开始计算排套剩余时间, 反之排套剩余时间为 99999.9s。根据上面的程序得出排套剩余时间 T_1 的计算公式为:

$$T1 = S_{-act} \times 25.45 \times 24 \times (1 - S_{-set}) \div (V_{in} - V_{out}) \quad (4.22)$$

式中 S_{-act} 为实际套量的百分比

S_{-set} 为设定最小套量的百分比

V_{in} 和 V_{out} 为活套进出口的速度

需要注意的是上面提到的 V_{in} 和 V_{out} 都指的是活套入、出口的带钢的速度。在进出口速度变化或者活套的位置变化的情况下, 活套的张力保持稳定是非常重要的。当活套的实际位置大于活套的设定位置时, 活套进行排套动作; 当活套的实际位置小于活套的设定位置时, 活套进行充套动作; 当活套的实际位置等于活套的设定位置时, 活套保持当前位置。正常线运行时, 活套保持在设定位置。

4.5 本章小结

本章为此论文的核心部分，研究了重卷生产线的张力控制策略，连续生产线离不开张力控制，因此本论文把研究的重点对象放到张力控制上，通过对几种不同的张力控制系统原理研究，分析对比各自特点。通过对活套张力控制和位置控制的深入分析，更加透彻的解析了张力控制策略，对重卷线处理故障、分析问题打好了基础。

第 5 章 纠偏控制系统研究

在带钢处理线上,带钢的跑偏可能由于不同的原因所产生,跑偏可能导致产品的损坏或生产设备的损坏。为了避免带钢跑偏,带钢对中控制系统应安装在处理线的合适的位置,以使带钢能够保证在机组中心线^[39]。

带钢跑偏既可能是由产品本身的原因(如:镰刀弯或浪形,带钢焊缝处的错位或歪斜),也有可能是机组设备的原因,如支撑或压辊的倾斜或只作用于带钢一边、加热和冷却不均匀等。固定式感应带钢中心检测架是免维护的并且在带钢的对中调整过程中不接触测量带钢的中心位置检测设备。感应带钢中心检测架也可以应用于非磁性金属材料如铜、铝、黄铜或镍铬合金的处理线。板带中心位置相对应于机组中心线的偏差的检测,是同带钢纠偏系统相连,取决于电气输出信号,其可以通过模拟量,ModolBus 或 CANBUS 输出^[40]。

5.1 纠偏装置研究

无论是连续机组还是非连续机组,在生产中带钢都是在机组的中心运行,而在实际生产过程时,在带钢连续机组中,带钢板型不良、辊子轴线不平行、旋转辊表面状态和设备制造安装精度差等均会使带钢出现跑偏现象^[41]。一般说来,机组速度越高,跑偏越严重。在生产中,为防止带钢发生跑偏现象,常采取如下措施:

(1) 保证辊子圆柱表面制造精度及机组安装精度。这是防止跑偏的办法之一,但不是唯一的办法。如上所述,即使保证了安装精度,在投产以后,由于基础下沉,辊面磨损,轴承不均匀磨损等,也会直接影响安装精度及初始制造精度。因此,保证辊子圆柱形表面制造精度及安装精度是前提,但并没有从根本上解决跑偏问题。

(2) 增大张力。这样可以减少带材跑偏,但不能完全消除。由于张力增大使设备重量增大,投资也相应的增大,若张力超过弹性极限时,会引起带材边部呈波浪形、斜纹或橘皮状,张力很大时,还可能拉断带钢。

(3) 放宽辊子面宽度。这样可以达到粗定心,但是这个办法是消极的,很不经济的。在某些情况(如卷取端)是不适用的。

(4) 降低机组速度,可以减少跑偏。但是这样要使机组的产量大大降低。

上述措施,由于经济效果差,不是十分理想的办法。因此,实际上是不经常单独采用的。目前常采用下述方法来控制跑偏:

- (1) 采用定心辊及定心辊组,能使带材自动定心;
- (2) 采用带自动控制系统的摆动辊;

- (3) 采用带自动控制系统的浮动开卷机；
- (4) 采用带自动控制系统的浮动卷取机；
- (5) 采用其他定心装置。

根据不同机组，选用上述不同控制跑偏方法。在京唐公司重卷机组采用了上述 (2)、(3)、(4) 的方法进行带钢的纠偏。

在这里，研究一下重卷机组中纠偏辊的工艺设计参数的选取，纠偏辊的主要工艺参数包括纠偏辊的辊径、纠偏辊的辊身长度、纠偏量和纠偏精度。

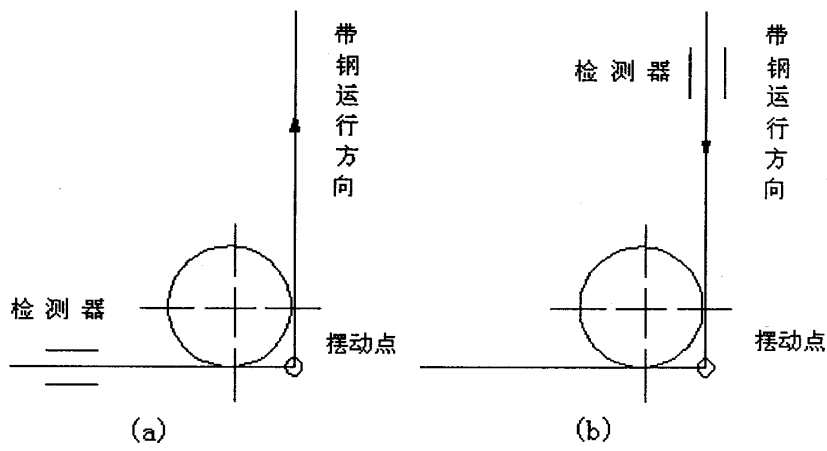
纠偏辊的辊径选取与张力辊辊径选取相同。纠偏辊的辊身长度一般比带钢的最大宽度大 200~300mm。

检测器是纠偏系统中不可缺少的原件，检测器位置与机组速度、摆动辊摆点位置有关。原则上可以这样来确定：自检测器发出信号至摆动辊产生动作的总时间是很难精确计算的，因此，计算确定检测器位置是比较困难的。一般来说，固定摆点位置、检测器位置根据现场调试确定。设计摆动辊时，还应注意下面几点：

- (1) 摆动点置于钢带入口端圆周之下，如图 5.1 所示。

(2) 摆动方向，当检测器放置在进料端时，水平进料，水平摆，如图 5.1a 所示；垂直进料，垂直摆，如图 5.1b 所示。当检测器放置在出料端时，垂直进料，水平摆；水平进料，垂直摆。

- (3) 采用下流式摆动辊时，如图 5.2 所示，应使 $L>2b$ (b 为带材宽度)，否则张力变化较明显。



(a) Horizontal direction swing (b) Vertical direction swing

图 5.1 摆动辊的摆点和摆动方向的确定

Fig. 5.1 Determination of the pendulum swing roller and swing direction

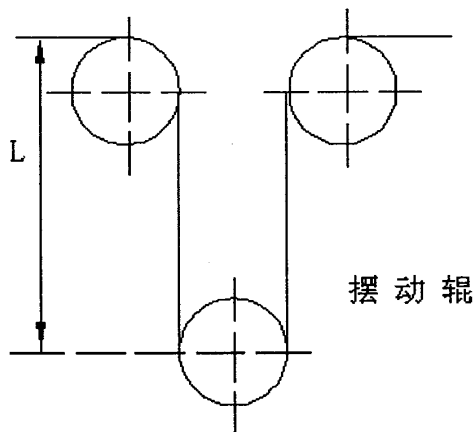


图 5.2 下流式摆动辊
Fig. 5.2 The downflow swing roller

摆动辊定心作用是依靠带钢与辊面摩擦力来纠偏的。一般说来，摩擦力越大，纠偏效果越好。而摩擦力的大小与接触面积有关（即与包角有关）。因此，建议摆动辊应在包角大于 90° 的场合下采用。为了增加摩擦，一般在摆动辊表面上包有橡胶。

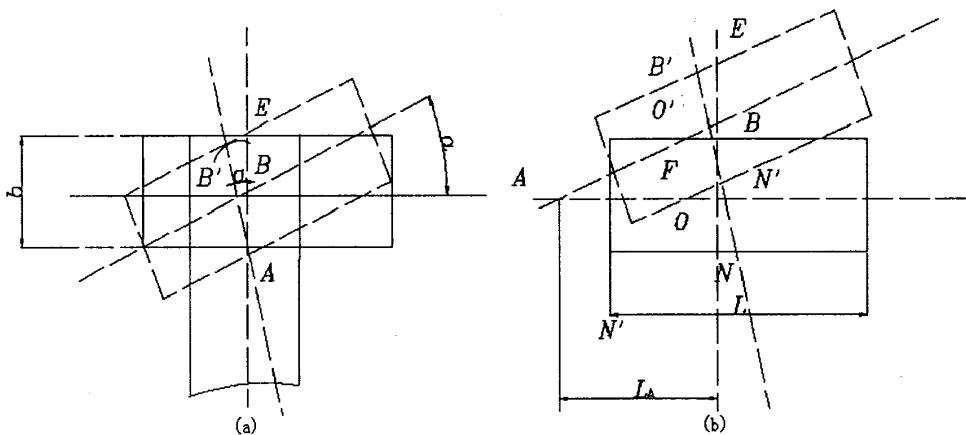
摆动辊摆动角度大些，其纠偏值可大些。纠偏值还与摆动点所选的位置有关。不同摆点位置，有不同的纠偏值 δ 。如图 5.3 所示，摆动点不同，纠偏值不同。

摆动点位置在中心线下方时，如图 5.3a 所示，纠偏值 δ 为

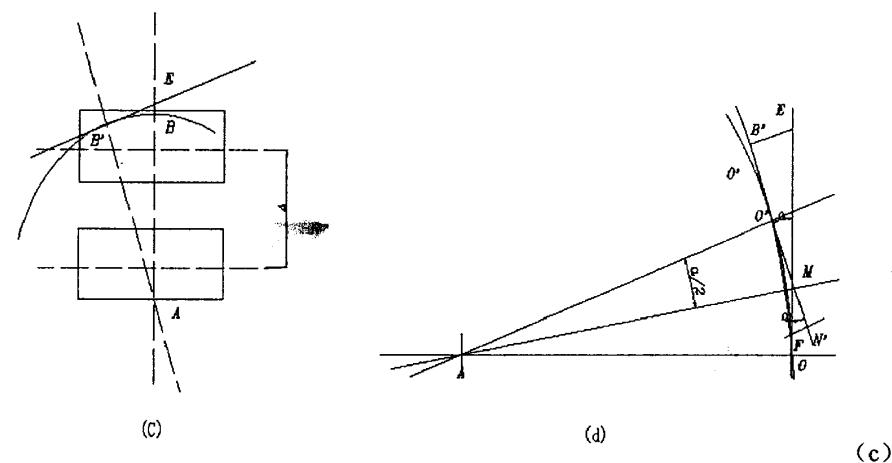
$$\delta = D \times \tan \alpha$$

(5.1)

式中 D —摆动辊直径；
 α —摆动辊摆动角度。



(a) 摆动点 A 在中心线下方； (b) 摆动点 A 在左侧；
(a) Swing point A below the centerline (b) Swing point A on the left



双摆辊摆动点 A 在中心线下方； (d) 摆动点 A 在左侧时放大图
(c) Swing point A of double-swing roller below the centerline (d) Swing point A in the left enlargement

图 5.3 纠偏值与摆动点 A 位置有关

Fig. 5.3 Corrective values and position of the swing point A

(2) 摆动点位置在左侧时，如图 6. 3b 所示，令 $AO = AO' = L_A$ ，纠偏值 δ 为

$$\delta = B'E = \left(\frac{D}{2} + L_A \tan \frac{\alpha}{2}\right) \tan \alpha \tag{5.2}$$

式中 L_A —摆动点 A 至摆辊中心的距离。

(3) 双摆辊，即两个摆辊安装在统一底座上，绕摆动点摆动，如图 5. 3c 所示，其纠偏值 δ 为

$$\delta = (D + A) \tan \alpha \tag{5.3}$$

摆动角 α 一般在 $1^\circ \sim 5^\circ$ ，因此摆动角如果太大，会使带钢在纠偏过程中变形，严重影响带钢质量。上述三种摆动点不同的摆辊装置，国内外都采用。摆辊一般带有开环自动控制系统。根据带钢跑偏情况，它由自动控制系统中检测器发出信号，控制执行机构使摆辊摆动。

纠偏速度一般可由带钢速度来决定。原则上说，纠偏速度等于跑偏速度。而跑偏速度，则由机组速度、设备安装精度、带钢板型等情况来决定。实际上是很难确定的。在初步设计计算时，可参考表 5. 1 按机组速度来选用。

表 5. 1 机组的纠偏速度

Table 5.1 The rectification speed of the production line

序号	机组速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	纠偏速度/ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
1	0~1	10
2	1~1.5	15
3	2.5~5	20
4	5~15	30
5	15 以上	40

5. 2 纠偏检测原理分析

感应带钢中心检测装置的测量系统是按在生产线上被处理的最大和最小带钢宽度设计，所以检测传感器没有必要根据带钢的边部位置调节。

感应式带钢中心检测设备的基本组成为两个发送和两个接收线圈。根据外界条件，这些线圈被分成两组：“主动发送线圈”或“从动接收线圈”，通过一套单独的附加电路（在高温或危险的环境情况下）补偿测量设备和电路之间线/电缆的损失。

- 装置内部微处理器处理检测信号和其它控制附件的功能：
- 1) 给传感器/感应线圈电供应；
 - 2) 处理接收器/接收线圈的电信号；
 - 3) 断开和短路传感器的电路。

上述 3 个监控动作被输出作汇集信息“Messeinrichtung OK”(检测设备 OK)，检查带钢是否在控制位，输出信号“Bandlage OK”(带钢位置 OK)。

为了检测金属带钢的中心位置，设备采用了两对传感器，这些传感器被安装在同机组中心相对称的位置。每对传感器分别用于检测带钢的一个边；其中一个传感器用作发射装置，相对应的另一个用作接收装置，见图 5. 4。

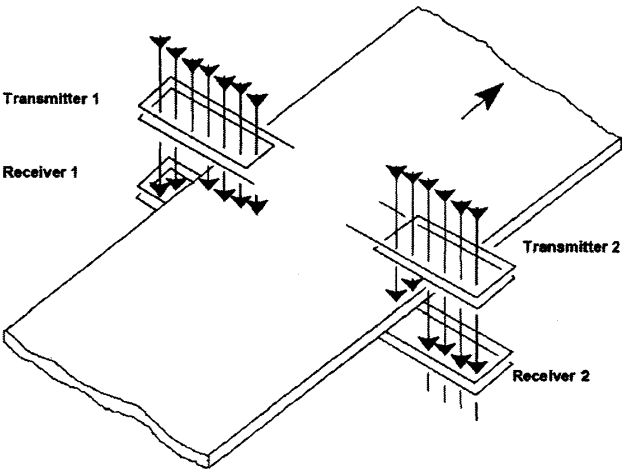


图 5. 4 测量原理

Fig. 5.4 Measurement principle

每对线圈本身又是有方向的空心变压器。带钢在通过这些接收器和发送器时，在所连接的线圈之间产生磁通量差异，该差异就被作为测量结果。

发射线圈提供一个有规则的正弦电压波形。根据带钢在框架中的位置，在接收线圈中将感应产生一个相应的电压波形。两个接收通道值相减并放大，我们就

可以得出带钢偏离机组中心线的一个连续位置信号。

5.3 纠偏操作及参数设置

5.3.1 调试检验

通过 ECU01 按键和显示来进行基本的参数设置(参照原始参数清单)。在第一次试车时,应该对所有的控制方向参数进行设置,一般情况下是对原始数据不进行任何的改变或者是根据附录中的参数列表中的参数进行设置。

注意:对于变动的参数设置一定要进行记录,以便在修改的参数不合适时修正回去。

5.3.2 通过 ECU01 进行控制系统的参数设置

在 ECU01 上的显示有 4 行,同时显示的有 2 个测量值,2 个参数值或者 1 个测量值和 1 个参数值。

- M = 测量值, 为 3 位显示 (例如, M001=1 号测量值)
- P = 参数值, 为 3 位显示 (例如, P001=1 号参数值)

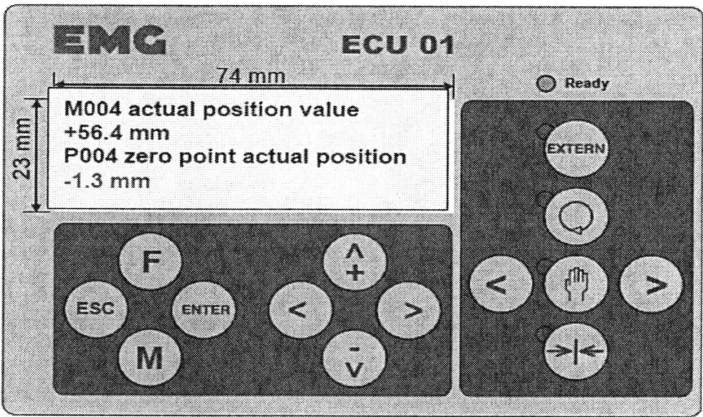


图 5.5 薄膜操作键盘

Fig. 5.5 Film operate the keyboard

在绿色区域的功能按键说明（操作模式下的预选择）见图 5.6 所示。

按键	作用
	带指示灯按键 当 EXTERN 指示灯亮时，此操作模式被锁定，再按此 EXTERN 键后，此操作模式被取消。
	带指示灯按键 指示灯指示自动模式被激活 只有在远程控制模式没有被激活的情况下，AUTO 键才能有效
	带指示灯按键 指示灯指示手动模式被激活 只有在远程控制模式没有被激活的情况下，手动控制键才能有效
	按键 只有远程控制模式并且手动模式被激活的条件下，MANUAL -> 控制键才可以被激活，并且按住此按键后，传动的动作就会按照选择的方向速度进行移动。
	按键 只有远程控制模式并且手动模式被激活的条件下，MANUAL <- 控制键才可以被激活，并且按住此按键后，传动的动作就会按照选择的方向速度进行移动。
	带指示灯按键 当对中模式被选择时指示灯闪烁。当到达中心位置时指示灯将停止闪烁 只有在远程控制被取消的状态下，才可以操作对中模式。

图 5.6 操作模式

Fig. 5.6 Mode of operation

在蓝色区域的功能键说明（输入参数设置/测量值选择）见图 5.7 所示。

按键或者组合按键	作用
	-标准显示转换（只是转换到基本画面） -增加参数号码（标准显示） -增加当前变量参数值或者增加参数号码（输入模式） -将当前变量设为 1（输入模式，二进制变量）
	-减小参数号码（标准显示） -减小当前变量参数值或者减小参数号码（输入模式） -将当前变量设为 0（输入模式，二进制变量）
	-激活操作对应的参数显示位置（标准显示下的触发） -游标向右动作（输入参数模式下的变量参数）
	-测量值与参数设定值之间的转换激活键（触发） -游标向左动作（输入参数模式下的变量参数）
	-输入动作完成或者接受变量/设定的更改
	-操作终止 -返回上级菜单
  	M 按键组合 接口选择（RS232/RS422） ECU01 工作状态（包括语言选择） 控制器程序状态（基本画面） （其他没有给出的按键组合没有得到应用）
   	功能按键组合 激活输入模式（进入参数设置模的 PASSWORD） 选择输入模式（参数改变） 激活参数号码输入 恢复先前值 （其他没有给出的按键组合没有得到应用）

图 5.7 操作键

Fig. 5.7 Operation keys

5.3.3 操作模式控制

系统主要有以下操作模式（自动，手动，对中）：

- 1. 内部的控制是由 ECU01 控制面板实现
- 2. 远程控制是由数字量控制
- 3. 远程的控制通过将现场 PROFIBUS 与内部的中央处理器 MCU24.2 连接来实现控制过程（选项）

模式 1：

如果远程控制没有在控制面板上选择（ECU01 面板显示）

通过按键“EXTERN”键（外部控制指示灯未亮）

控制方法主要是数字量控制或者现场总线控制。

该模式可以通过外部控制或者现场总线来实现。

模式 2 和 3：

当选择远程控制时（通过按键“EXTERN”来实现选择，指示灯有显示）此时可以通过上位画面操作，如图 5.8 所示：

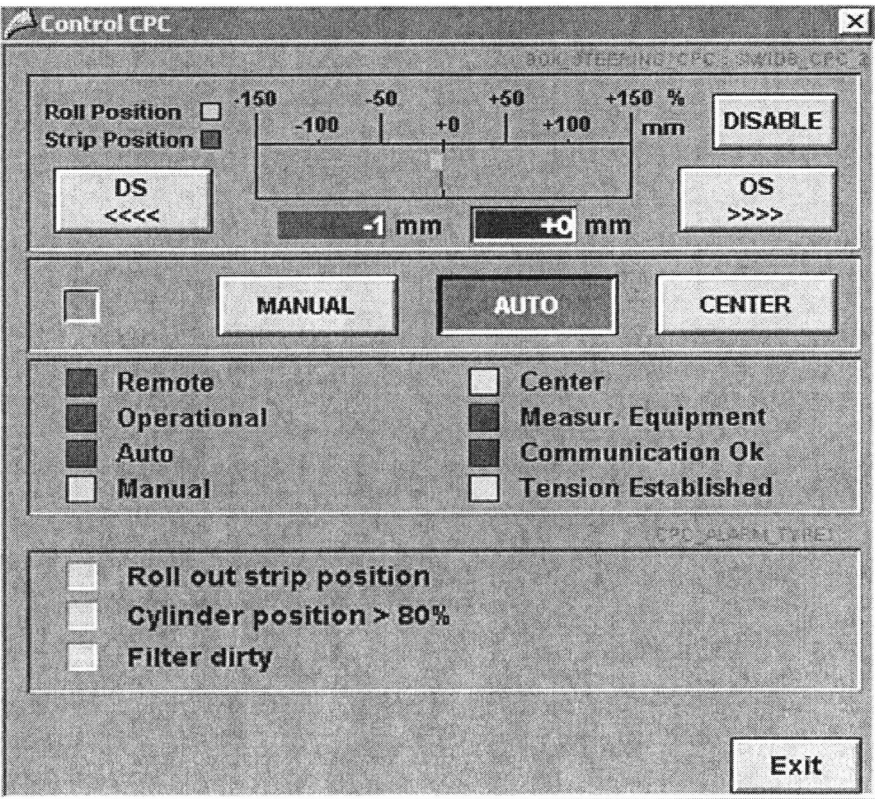


图 5.8 远程操作画面

Fig. 5.8 Remote operation screen

控制方法主要是数字量控制或者是现场总线控制，现场总线控制的选择是通过在 ECU01 控制器上释放参数 P001 来实现的。

P001= “1” 表示当前控制方式是现场总线控制

P001= “0” 表示当前控制方式非现场总线控制

数字量控制的选择是通过在 ECU01 控制器上释放参数 P028 来实现的。

P028= “1” 表示当前控制方式是数字量控制

P028= “0” 表示当前控制方式非数字量控制

如果两种控制方式同时被选择系统就会默认当前的控制方式为现场总线控制。

5.3.4 线性位移传感器 KLV 的（位置）调节

线性位移传感的主要作用是检测执行器液压缸的动作位置。或在对中，手动过程的位置控制和自动模式的位置控制信号（只有在有反馈的情况下）

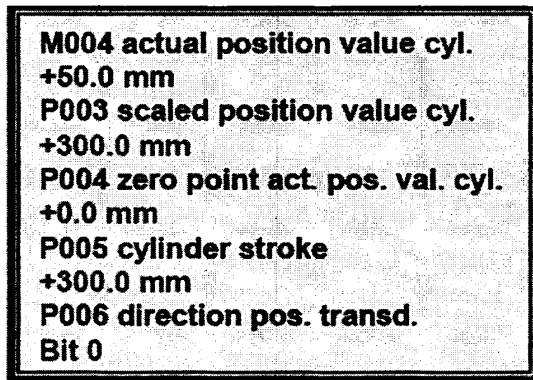


图 5.9 液压缸位置

Fig. 5.9 The position of the hydraulic cylinder

将 ECU01 打到本地控制模式，启动液压

注意：为了防止液压缸动作超出位移传感器的动作范围而造成位移传感器的机械损坏，一定要在调试前进行机械位置的确认调试。并且一定要确保传动装置的动作一定要小于位移传感器的动作范围。

（1）线性位移传感器零点位置调节

选择测量参数 M004

在手动模式下，通过 ECU01 上的动作键使动作传动装置动作到缸的中心位置。线性位移传感器的动作必须与传动装置动作必须是同步的。

如果不是上述情况：机械动作位移传感器的位置，观察参数 M004→直到读数为 0.0mm 为止。

（2）线性位移传感测量方向调节

在手动模式下通过 ECU01 将传动装置伸出，位置的显示应该是增加的。如果相反的话更改参数：P006→Bit=“0”或者 Bit=“1”。

(3) 线性位移传感器量程标定

将传动装置相对中心位置移动 50mm，关掉液压来停传动装置。

调节 P003 参数→（以 0.1mm 为单位调节）直到 M004 读数为→50mm.

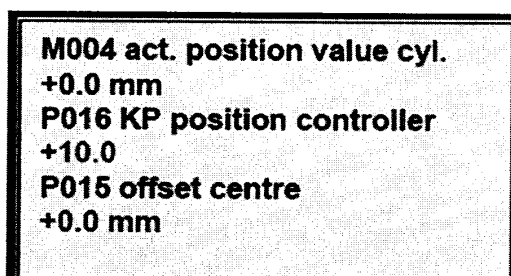


图 5.10 量程标定

Fig. 5.10 Span calibration

通过参数 P005 来根据需要选择线性位移传感量程。

5.4 本章小结

本章详细研究了重卷生产线的纠偏装置，给出带钢纠偏采用的措施，分析纠偏检测原理，重点对纠偏控制的操作进行研究，实现对纠偏控制的掌握，为日后的维护工作顺利开展奠定了良好的基础。

第6章 结论与展望

6.1 结论

课题的主要成果包括以下几个方面：

本课题以首钢京唐冷轧第一重卷生产线机组为研究对象，研究了重卷生产线工艺流程，重点设备工作原理，生产能力以及生产线控制系统组成和实现，重点研究和分析张力控制系统和纠偏控制系统。整条生产线控制系统按层次结构可分为一级控制和二级控制，一级控制硬件部分采用最先进的 S7-400 PLC 控制系统，此系统运算精确，编程灵活，运行稳定，保证了重卷生产线的稳定。二级控制主要用于生产线产品控制，包括来料计划，生产规格，产品控制参数，成品卷信息等，通过 HMI 接口界面使生产线控制合理化，人性化，实现了生产数据自动化流程。

通过此论文的研究，在对重卷线开卷机、矫直机、卷取机等生产线重点设备有了深入的学习和了解，在此基础上，通过深入研究重卷线的控制系统，学习和探讨了 PLC 控制理论、Step7 硬件结构、软件编程、上位 Wincc 画面编程、网络通讯等知识，掌握了核心张力控制系统的原理，纠偏系统的操作、工作原理等。通过对这些知识的学习，使我的理论知识得到了充分的补充，我会将所学知识应用到日常自动化设备维护工作之中，快速处理出现的各种故障，使得重卷生产线能够长期稳定运行，提高生产出的产品合格率。在论文工作中，学习到的张力，纠偏控制理论知识，可扩展应用到冷轧各条后处理生产线中，提高对京唐公司整个冷轧生产线系统的维护工作能力，为首钢京唐冷轧厂生产能力提供了技术支持和保障，必将为京唐公司提高冷轧产品质量、生产高端冷轧板创造有利条件。

6.2 展望

虽然本文对冷轧重卷生产线控制系统进行了比较深入的研究，分析了控制系统的组成和实现过程，但在广度和深度上还需要进一步探索。对活套张力控制策略进行了解析，但在实际生产过程中，张力波动的问题一直存在，影响张力稳定的因素也比较多，因此对活套张力控制还要结合生产因素做更多的研究工作，更好的解决生产面临的实际问题。

纠偏控制在平稳生产，提高机组效率方面作用很大，生产中还存在纠偏达到极限停车的隐患，对纠偏控制尚需从板型上多加考虑，控制前道酸轧工序板型控制及连退、镀锌、罩退等产线平整机、光整机的板型控制，尽量减少到重卷线上因为板型问题引起纠偏超过极限现象，这需要多道生产工序的联合考虑，也是生

产中工序服从的重要体现，对生产组织和沟通能起到指导作用。

冷轧生产线上涉及的自动控制不只是重卷线涉及的这些控制系统，还有很多独特、先进的控制系统值得做进一步的研究，特别现在首钢京唐公司第三冷轧厂正在工程施工，将于明年 6 月份陆续投产酸轧、镀锡、罩退等生产线，应该有好多我没有接触到的控制系统，甚至控制系统的解决方案不是西门子公司的，更值得去熟悉和研究，期待着通过新工程的调试到投产，对新产线上自动控制系统有更多的接触，拓宽知识视野，掌握先进技术，为首钢京唐公司冷轧产品“上质量、占市场”的目标做出努力。

参考文献

1. 张景进. 板带冷轧生产[M], 北京: 冶金工业出版社, 2006, 11-12.
2. 韩强, 潘英. 瑞典 ABB 活套自动控制系统介绍[J], 宝钢科技, 2005, 31 (1):50-52.
3. 张向英. 冷连轧带钢机组工艺设计[M], 北京: 冶金工业出版社, 2009, 136-137.
4. 苍安, 萧志斌. 基于专家控制器补偿的开卷机恒定张力控制[J], 冶金设备, 2009, 12 (1):18-19.
5. 薛兴昌, 马竹梧, 沈标正, 张剑武. 钢铁工业自动化[M], 北京: 冶金工业出版社, 2006, 351-359.
6. 刘立华, 阳春花. 活套控制技术及应用[J], 湖南冶金, 2005, 11 (1):51-52.
7. 李训铭, 张乐宁. 无张力反馈的开卷机张力控制[J], 河海大学常州分校学报, 2006, 2(11):21-23.
8. 王文天. 鞍钢集团热连轧厂 1780mm 精轧机活套控制功能分析[J], 冶金自动化, 2005, 7(12):292-294.
9. 徐乐江. 板形控制与机型选择[M], 北京: 冶金工业出版社, 2007, 3-5.
10. 刘玠. 冷轧生产自动化技术[M], 北京: 冶金工业出版社, 2006, 87-92.
11. 王洪斌, 刘今禹, 雷云. 高速冷轧机开卷机恒张力控制系统[J], 自动化仪表, 2008, 3(8):5-6.
12. (美)金兹伯格著, 马东清译. 板带轧制工艺学[M], 北京: 冶金工业出版社, 2009, 13-14.
13. Cold Rolling Mill and Processing Lines Technologies Shougang Iron & Steel PLTCM Vol II/II Annex 2 Technical Specification[J], 2007, 32 (3): 65-67.
14. Cold Rolling Mill and Processing Lines Technologies Shougang Iron & Steel PLTCM Vol I/II Annex 2 Technical Specification [J], 2007, 64 (3): 34-37.

15. Bald W, Beisemann G, Feldmann H, et al. Continuously Variable Crown (CVC) Rolling [J]. Iron and Steel Engineer, 1987, 64 (3): 34-37.
16. 杨金奇, 刘学军. 工业以太网技术及其应用现状与发展[J], 四川工业学院学报, 2002, 10(8):8-9.
17. 张志学, 肖志怀, 李朝晖. 以太网与现场总线[J], 工业控制计算机, 2001, 5 (1): 35-36.
18. 胡建. 西门子 S7-300 PLC 应用教程[M] 北京: 机械工业出版社, 2007, 21-25.
19. 夏继强, 梁超众, 耿春明, 陈学军. PROFIBUS-DP 主站网关设计及其关键技术[J], 北京航空航天大学学报, 2011, (8):12-13.
20. 胡敏. 深入浅出西门子 S7-300 PLC[M], 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005, 2-9.
21. 郭巧菊. 计算机分散控制系统[M], 北京: 中国电力出版社, 2008, 89-97.
22. 刘华波等. 组态软件 WINCC 及其应用[M], 北京: 机械工业出版社, 2009, 78-79.
23. 陈章平. 西门子 S7-300/400 PLC 控制系统设计与应用[M], 北京: 清华大学出版社, 2008, 45-47.
24. 白焰等. 分散控制系统与现场总线控制系统基础[M], 北京: 中国电力出版社, 2007, 34-37.
25. Gary A. Mintchell: Machine Control Strategies It' s Only Logical[J], CONTROL ENGINEERING, 1998, (13):92-100.
26. Jeffery. R. Integrating Scales Weight Information and PLCs[J]. Australian Journal of Instrumentation and Control. 1998, (13):10-16.
27. 天津电气传动设计研究所著. 电气传递自动化技术手册第二版[M], 北京: 机械工业出版社, 2005, 805-807.
28. Brace M, Rutherford D A. Theoretical and Linguistic Aspects of The Fuzzy Logic Conrtoller[J]. Automatica, 1979, 15(5):29-33.
29. Ross T J. Fuzzy Logic Engineering APplication[M]. The McGraw-Hill Companies, 1995, 17-26.

30. Fu K S. Learning Control System-Review and Outlook[J], IEEE. Trans. Automatic Control, 1970, 15(2) :36-39.
31. Feigenbaum E A. et. The Handbook of Artificial Intelligence[J], Los Altos William Kaufman Inc, 1981, (1):59-63.
32. Sousa J M, Kaymka U. Model Predictive Control Using Fuzzy DECISION Functions[J], IEEE Trans. SMC, 2001, PartB:31(1):17-25.
33. Michael A Goodrich, et al. Model predictive Satisficing Fuzzy Logic Control[J], IEEE Trans. Fuzzy Systems, 1999, (7) :23-28.
34. SIEMENS. SIEMENS SIMATIC Programming with STEP 7 V5. 3 Manual[M], 北京: 西门子内部资料, 2000, 52-76.
35. 唐凤谋. 现代带钢冷连轧机的自动化[M], 北京: 冶金工业出版社, 1995, 57-58.
36. 王廷溥. 板带材生产原理与工艺[M], 北京: 冶金工业出版社, 1995, 138-139.
37. 徐乐江. 冷轧板带生产技术的现状与发展[J], 轧钢, 1997, 7(2):3-8.
38. 陈龙官等. 冷轧薄带钢酸洗工艺与设计[M], 北京: 冶金工业出版社, 2005, 33-34.
39. 杨宗毅. 实用轧钢技术手册[M], 北京: 冶金工业出版社, 2005, 103-104.
40. 孙一康. 适用于轧钢过程的计算机控制系统[J], 中国工程科学, 2002, 3(2):73-76.
41. F. G. . Shinsky 著, 萧德云, 吕伯明译. 过程控制系统应用、设计与整定 (第3版) [M], 北京: 清华大学出版社, 2004, 78-81.

致 谢

本论文是在我的导师郑艳教授的悉心指导和热情帮助下完成的。从论文选题到研究工作的每一步进展,郑教授都给我提出了许多宝贵的建议,使我受益匪浅,并能够顺利地完成工程硕士课题的研究工作和最终论文的撰写。郑教授渊博深厚的学术知识和严谨求实的治学态度,给我留下了极其深刻的印象。郑教授孜孜不倦的工作作风为我以后的工作树立了楷模。在此,特别向郑教授致以最诚挚的敬意和最衷心的感谢!

我衷心地感谢东北大学信息科学与工程学院的各位老师,他们在专业课上的谆谆教导使我扩展了基础理论知识,为写好论文打下了坚实的基础,同时也为我的工作提供了很大的帮助。

在我的课题研究和论文写作过程中,我的同事宋振言、徐立勇、胡佳明等为我提供了许多帮助,使我有有了很大的进步和提高,在此也向他们表示衷心感谢。

特别感谢我的爱人,多年来,无论是工作还是学习方面,她都给予了我无限的关心、支持和鼓励,特别论文撰写阶段鼓励我、督促我尽快完成。特别向她表示感谢!

感谢所有在我撰写论文期间给予我支持与帮助的朋友、同事!