

分类号 _____
学校代码 10488

学号 201204703022
密级 _____

武汉科技大学

硕士学位论文

基于伺服飞剪系统精度的 模糊控制研究

学位申请人： 刘锐

学科专业： 控制科学与工程

指导教师： 刘惠康 教授

答辩日期： 2015 年 5 月

**A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Professional Degree of Master in Engineering**

**The Research of the fuzzy control to
improve the system precision based on flying
shear**

Master Candidate:

Liu Rui

Major:

Control Theory and Control Engineering

Supervisor :

Prof. Liu Hui Kang

Wuhan University of Science and Technology

Wuhan, Hubei 430081, P.R.China

May,2015

武汉科技大学

研究生学位论文创新性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立进行研究所取得的成果。除了文中已经注明引用的内容或属合作研究共同完成的工作外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

论文作者签名： 刘锐 日期： 2015.5.26

研究生学位论文版权使用授权声明

本论文的研究成果归武汉科技大学所有，其研究内容不得以其它单位的名义发表。本人完全了解武汉科技大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关部门(按照《武汉科技大学关于研究生学位论文收录工作的规定》执行)送交论文的复印件和电子版本，允许论文被查阅和借阅，同意学校将本论文的全部或部分内容编入学校认可的国家相关数据库进行检索和对外服务。

论文作者签名： 刘锐
指导教师签名： 刘惠军
日 期： 2015.5.27

摘 要

我国是一个工业大国，拥有武钢、首钢、宝钢等大型钢铁生产基地，虽然我国保持着较高的钢铁生产产量，但在钢材质量生产方面，距离世界强国却有不小的差距。制约我国钢铁行业向前发展的主要原因是我国钢铁设备普遍老化，自动化程度不高。

在高速轧钢生产中，其中一个重要的环节就是对线材头尾进行精加工环节即飞剪剪切环节。

本文设计了一种新型的飞剪智能控制系统。该系统对飞剪系统进行了优化并且应用了最新的模糊控制理论，并结合上最新的西门子 PLC 产品，能够有效的提升飞剪生产线的剪切精度。相比复杂的设备改造，该系统仅仅通过 PLC 编程就可以实现模糊控制，改造成本低，最后达到的控制效果满足实际生产需求。

本文结合武汉钢铁集团公司紧凑式带钢生产线改造的实际情况，对于飞剪剪刀的定位原理进行了分析，对直交流调速的优缺点进行了比较，对于交流调速装置和控制方法进行了解析。给出了优化的抛物线停车曲线与对阶梯型位置环改造的方案。并且采用新的智能控制算法提高了系统精度。硬件部分用西门子 400 系列 PLC 得以实现，软件在 STEP7 环境中得以实现。

关键词：飞剪；位置控制；模糊控制；S7-300；连铸；板坯

Abstract

China is one of the industrial countries. The large iron and steel production base such as Wuhan Iron and steel, Baosteel, Shougang is built in China. Although China remains the high iron and steel production, but the quality of steel falls behind the world standard, and it is not a small gap. The main reason restricting the development of China's iron and steel industry is China's iron and steel equipment is severely underdeveloped, the degree of automation is not high.

In the high speed steel rolling production, one of the most important aspect is on Precision machining of its head and tail, that is the flying shear. This paper designs a new type of intelligent control system of flying shear. The system of flying shear system is optimized and the application of the fuzzy control theory is used in this system, combined with the latest Siemens PLC products. It can effectively improve the cutting precision shearing in production line. Compare with the transformation of complex equipment, the new system only through the PLC programming to realize the fuzzy control, the transformation cost is low, the control effect is achieve the final meet and the actual production requirements.

Combining with the actual situation of Wuhan Iron and Steel Group Corp compact strip production line transformation, This paper analyze the positioning principle of flying shear, and compared the advantages and disadvantages of DC and AC speed regulation. This paper analyze AC speed control device, and control method, And give the optimization that is the parabola curve in the flying shear parking and ladder type position loop transformation plan. The practical application of the new intelligent control algorithm improves the accuracy of the system. The hardware part is realized by the Siemens 400 series, software is realized in STEP7 environment.

Key words: Flying shear;Position control;Fuzzy control;S7-300;Continuous cast;Slab

目录

摘 要	I
Abstract	II
第一章 绪论	1
1.1 课题的研究背景及应用	1
1.2 飞剪位置控制国内外研究现状分析	2
1.3 飞剪位置控制的研究目的	2
1.4 本文的主要工作	3
第二章 飞剪控制系统	5
2.1 武钢 CSP 轧钢生产线工艺流程介绍	5
2.2 飞剪的工艺要求	6
2.3 飞剪控制系统	7
2.3.1 飞剪剪切过程分析	7
2.3.2 飞剪的启动与停止	8
2.4 本章小节	8
第三章 飞剪系统的传动控制	9
3.1 电气传动概述	9
3.2 矢量变频介绍	10
3.3 矢量控制坐标变换	10
3.4 传动 6SE70 系统	11
3.5 本章小节	13
第四章 剪刀位置算法优化研究	14
4.1 飞剪启动与停止控制算法	14
4.2 飞剪运动算法的优化	15
4.3 位置环优化	19
4.4 本章小节	20
第五章 飞剪模糊控制算法研究及仿真	21
5.1 传统的 PID 控制	21
5.2 模糊控制理论	22
5.3 模糊自适应 PI 控制	24
5.4 模糊控制器设计	25
5.4.1 模糊量化因子的选择	25
5.4.2 确定隶属度函数	26

5.4.3 确定量化关系	27
5.4.4 模糊控制规则的建立	27
5.4.5 解模糊	28
5.5 优化后的飞剪模糊控制系统	29
5.6 仿真	30
5.7 本章小节	31
第六章 基于西门子 S7-400PLC 系统的实现	32
6.1 西门子 400 系列硬件选择	32
6.2 飞剪系统软件的设计	34
6.3 模糊控制环节的实现	35
6.4 现场实际应用效果	37
6.5 本章小节	38
第七章 结论与展望	39
致 谢	40
参考文献	41
附录 1 攻读硕士学位期间发表的论文	43

第一章 绪论

1.1 课题的研究背景及应用

近些年来，随着计算机水平的不断提高与电力电子技术的高速发展，传统钢铁加工领域加工检测技术逐渐被新型的自动化技术所慢慢代替。自动化程度的普及极大程度上推进了钢铁行业的向前发展。线材精轧生产线作为钢铁加工中的重要一个环节，直接输出铁路、汽车、桥梁等行业中的原材料。随着我国造船，汽车、建筑业的发展，对钢铁需求的增加，进一步对钢材的质量提出了更高的要求。轧钢生产中有不同类型的输出产品，按照其样式各不相同分为板材、线材以及管材。其中这些产品在高速生产加工过程中，需要对其头尾进行精加工处理，因此在这一环节上采用了剪切工艺。利用剪切工艺剪切掉产品不平整的部分，剪切工艺的精确度直接影响到生产线的工作效率^[1]。

飞剪是剪切工艺的核心，飞剪能否可靠而精确的运行是线材轧制生产能否拥有良好控制品质的关键因素^[2]。而飞剪精确运行的关键在于剪刀能否按照预期的设定完成其剪切效果。定尺线材的长度与精度是否合格就在于飞剪的剪切精度。生产的线材板材误差小的关键，就在于生产线是否能拥有一个精准的剪刀位置控制系统。很多科研人员对能否在复杂的工艺生产环境中能保持稳定飞剪剪刀的位置控制进行了大量的研究。在早年时候，由于技术的不完善，定长剪切方式不具备智能判断功能，达不到剪切效果引起废钢，带来不必要的浪费。近些年来，随着技术的发展，更先进剪切技术和传感技术的出现，推进了剪切技术的快速发展。

因此重中之重，是能否拥有一个精确稳定性强的位置控制技术^[3]。在生产线投产中，按照客户需求的板坯尺寸，将其要求设定好剪切的长度，通过智能控制理论确保飞剪的剪刀在剪切过程中，剪刀位置能始终与设定的位置相一致。在传统的自动控制中，绝大部分的飞剪机型选用的为直流调速传动系统，为了使得系统能够直接方便的控制，则采用了传感器技术，实时的对工业现场剪刀的数据如电流、速度、位置等进行实时的监控。虽然直流调速系统简单易行，但是运行及维护成本很高。而且对于复杂的现场环境中，传感器等检测设备虽然检测非常精确，但是受现场强干扰的影响后，检测结果会不准确造成误差并引起误差累计。在电力电子跟微机技术不断高速发展的时代，陆续出现了矢量变频技术，交流调速系统逐渐变成了主流。并且交流调速系统维护和运行成本相比直流调速系统降低了很多，并且伴随着矢量变频技术的完善^[4]，交流电机能弥补更多的不足与缺陷，在性能上面不断的提升。飞剪剪切的技术跟精度得到了跨越式的发展。如今，利用非常完善的矢量变频交流调速系统配合上新型的智能控制理论，使得飞剪的控制更加精确，抗干扰能力能强，维护更易行。

1.2 飞剪位置控制国内外研究现状分析

伴随着如今生产要求精度越来越高，因此对板坯的生产标准和剪切精度提出了更高的标准，要想使生产出来的板坯能够合格，不仅依赖的是剪切技术，在 1980 年以前，轧钢生产线飞剪采用继电接触器控制技术。通过按钮作用于电动机，来带动减速机进行飞剪的连续剪切^[5]。虽然电气控制线路比较简明，但是因为生产过程中电机长时间的过载及其带负荷运行，机械设备出现故障的频率高，剪切精度不高，达到的控制效果可以说是很不理想的。而且控制回路触点频繁启动，容易损坏。

到了 1990 年的时候，伴随着 PLC 和大规模集成电路的发展，飞剪系统有了跨越式发展，将 PLC 技术应用于轧制回路的控制，并在轧件的头尾的位置引入热金属检测仪，对其进行跟踪，并将信号通讯到 PLC。短短的十几年，飞剪控制技术得到了迅速发展，与发达国家的技术差距在不断的缩小。

到目前为止，飞剪位置控制技术仍在不断发展和进步，高速轧钢生产控制技术在国内外为完全连续的自动控制^[6]，并在系统中监测与执行机构与 PLC 相连接，在不断的监测输入实时检测信号，并不断的输出调节信号来对系统进行实时调节，并且引用了数据处理技术等多种控制功能。结合先进的变频技术理论，位置控制系统时能够在拥有高性能的矢量变频装置的帮助下出色的完成对剪刀位置的调节。在 PLC 选型方面，选用目前应用最为广泛的西门子 S7-400 系列。可以方便的与高性能矢量变频装置相结合，现场实际运用中，西门子 S7-400 能使 6SE70 的参数设置工作简单化^[7]，包括计算剪刀的角度、转矩、剪刀的瞬时速度等功能。并且随着智能算法的不断出现，如模糊控制与神经网络控制等新兴的控制算法。也极大程度上面弥补了传统的 PID 控制的缺陷，在新兴算法中的专家经验具有更稳定与更贴合现场应用实际的工艺算法。新的算法终将代替旧的算法，更先进的工艺也逐渐将代替掉落后的工艺流程，这个是一个知识经济的时代，以 PLC 为核心的智能控制系统不断的进步，终将给传统的钢铁制造业的发展带来巨大的转变！

1.3 飞剪位置控制的研究目的

我国是一个工业大国，其中钢铁发展，尤其在八十年代开始，我国的 GDP 每年飞速增长，其中，钢铁行业是国民经济的重要支撑，对 GDP 的增长起了举足轻重的重要。其中，钢铁行业的发展直接关系和影响到我国建筑、铁路、造船、家电等行业的发展。这些行业的发展都会消耗掉大量的钢材，因此我国对钢铁的需求急遽增长，钢铁的产量快速的增长，其中国内粗钢的发展最为明显，已经从最开始的 1 亿吨水平发展到 2012 年的 7.16 亿吨，并且保持 2% 的年均增速。但是我们目前钢铁行业中有一个最大的挑战就是，我国在生产粗钢方面，其中粗钢的生产产量已经严重过剩，而在生产高标准的钢材上面质量无法达到要求。因此高

质量高品质的钢铁因国内技术生产水平的落后，需要进口。我国钢铁行业为了摆脱困境，必须发展先进的炼钢与轧钢技术，生产出规格更高，更具国际标准的钢材^[8]。

本课题的来源是武汉钢铁股份公司 CSP（紧凑带钢生产）的生产线，该生产线集成连铸连轧两个生产过程，其中，连铸机末端的摆剪设备是衔接连铸和轧钢的关键设备之一，它将连铸机拉出的板坯按照定尺进行切割，分块送入均热炉，最后由输入辊道送入轧机进行轧制。摆剪是将连铸机连续生产转换为轧机断续生产咽喉设备，是保障紧凑带钢生产顺利进行的关键^[9]。为了对飞剪剪刀进行控制，在飞剪剪刀的同轴安装有对位置进行测量的光电码盘，用于计算飞剪电机的实际速度和计算剪刀的位置^[10]。

在生产中，理想的情况是轧机的前后级速率相一致，这样才不会因为造成堆钢或者拉钢等情况影响生产线的生产顺行，在实际工业生产中，实际生产会出现各种现场干扰，如大电流干扰、编码器信号的误差干扰、机械振动的干扰，变频器的干扰、谐波干扰等一系列扰动的存在，会造成飞剪的剪刀定位不准确^[11]，而且因为这些干扰因素的影响，会导致轧机前后级流量不相一致，增加了安全事故发生率，降低生产效率。自从 CSP 厂 2011 年 3 月 7 日试运行以来，生产线板坯长度误差均在 $\pm 5\text{mm}$ 左右，最大达到 $\pm 10\text{mm}$ ，对后续生产造成很大的影响。因此选用一个更为先进的控制理论和更精切的剪切模糊，是该厂亟待解决的问题^[12]。

为了解决上述问题，本文在系统中，增加了一个模糊自适应 PI 控制。通过位置偏差来修正速度环。输入量为位置偏差及其位置偏差的变化率，通过接受到系统的位置偏差，经过专家经验的模糊控制规则，来调节速度调节器达到最优的控制效果，生产实际结果表明，采用模糊 PI 控制提高了剪切精度，具有更好的鲁棒性。另外本文在分析了传统的位置环控制后，了解到其位置环纯比例调节器的缺陷，因此将其优化为新颖的阶梯型位置控制环，根据不同的位置偏差输出不同的速度调节量，使其在面对小偏差的时候也能起到最优的调整。

1.4 本文的主要工作

本文根据飞剪系统面临大电流干扰、编码器信号的误差干扰、机械振动的干扰，变频器的干扰、谐波干扰等一系列扰动的实际生产现场的特点，依托武汉钢铁集团公司 CSP 厂飞剪系统改造工程实际，构造了一个阶梯型位置控制环。在速度环中，根据自适应模糊规则实时不断调整 PI 参数。通过 6SE70 变频器实现飞剪剪切和剪刀的位置控制。通过西门子 S7-400 来实现整个系统流程，通过智能控制降低了设备成本，提高系统精度。

(1)查阅并了解了相关武钢 CSP 连铸连轧轧钢生产线的相关资料，了解了目前轧钢系统在国内外的生产状况，了解了剪刀位置位置的发展及其特点，结合武钢 CSP 厂飞剪系统改造工程的实际情况，确立了研究与改造的方案。

(2)在了解了传统的飞剪工艺中剪刀的位置控制，并给出改造的阶梯型位置控制环。

(3)论述了矢量变频技术的应用原理，阐述了本文中选用的西门 SIMOVERT MASTERDRIVES 矢量变频器。

(4)对西门子 S7-400 的原理和通讯方式进行了介绍，并详细说明了将基于构造的阶梯型控制环运用到飞剪位置控制。

(5)针对生产实际中的干扰，增加了一个模糊 PI 控制。通过位置偏差来修正速度环。并用 MATLAB 软件进行了仿真。

(6)在仿真实验可行的基础上，重点介绍如何用西门子 S7-400 来实现改造系统的模糊控制环节，最后对本次研究进行了深入总结。

第二章 飞剪控制系统

轧钢生产是连续自动化生产，飞剪是该过程中重要环节

2.1 武钢 CSP 轧钢生产线工艺流程介绍

武钢 CSP 生产线的生产流程概括的可以说为是下面的几个关键步奏^[14]，如图 2.1 所示。

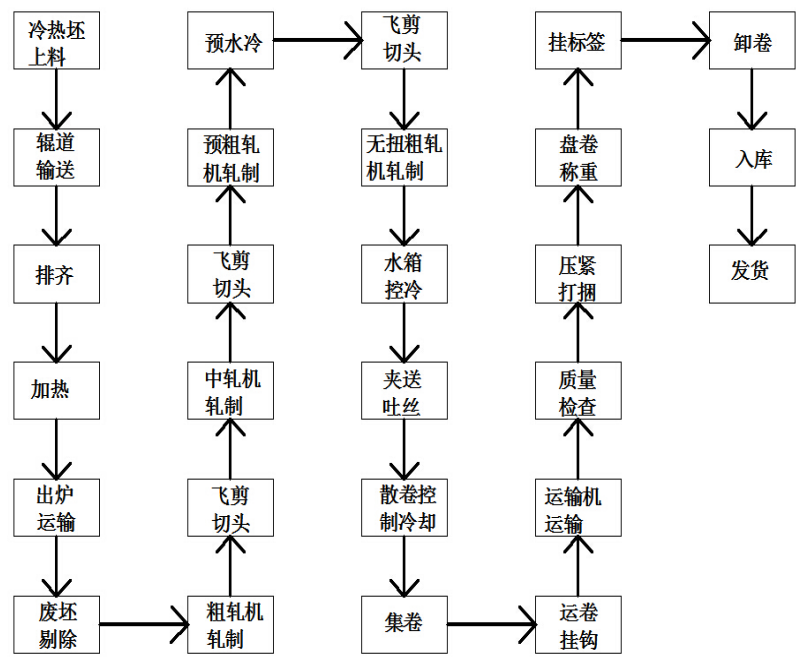


图 2.1 飞剪生产工艺流程

首先将炼钢厂生产出来的连铸钢坯送到加热炉，根据钢材种类的差异加热到 1100 摄氏度左右，钢材因加热就会变软，因此易于轧制。轧制分为粗轧、中轧和精轧。首先将加热的板坯经过粗轧反复的轧制以后送入中轧^[15]，中轧后进入预精轧机组轧制，最后经过精轧成成品，然后经过冷却后下一步进入集卷筒，经过集卷后打包库存。

下面简单说明一下武钢硅钢精整剪切生产线的主要技术特性：
CSP 工厂的基本资料如表 2.1。

表 2.1 CSP 生产线基本资料

工作地海拔高度	61m
最热 / 冷月平均大气压力	96KPa / 100KPa
最热 / 冷月平均大气温度	34.3℃ / 10.5℃
最热 / 冷月平均相对湿度	75% / 58%
年平均大气压力	98KPa
年平均大气温度	22.4℃
年平均相对湿度	66%
供电系统低压电源	380 / 220 ± 10% VAC ± Hz
供电系统控制电压	DC24V
压缩空气系统压力	0.4 ~ 0.6MPa

2.2 飞剪的工艺要求

飞剪对线材进行加工与剪切，切除线材中头尾不整齐的部分，有利于后续生产的加工^[16]。在即在剪切前，热金属检测器 HMD 感应到有带钢进入，将检测信号传送给 PLC，PLC 则命令机架上的脉冲码盘开始进行计数，并且不断的与设定的计数值进行比较，一旦计数值与设定值相同的时候，这个时候就意味着线材已经达到了预设的长度，PLC 开始发出剪切命令启动剪刀对轧件进行剪切。从零速开始加速到设定速度时，此时飞剪就可以切割轧件的头部，而后减速并快速落回原始位。在当热金属检测仪感应到线材的尾部有抛钢时，这个时候将感应信号送入 PLC，达到设定长度时候，又对轧件进行切尾^[17]。飞剪剪刀的精确性和可靠性对生产线生产高标准高质量的钢材起着不可估量的作用。为了生产出高质量，高产量，高速线材。在高速线材生产线应配备多个飞剪机，当一旦出现事故的时候，可以立马进行碎断。因此飞剪系统必须具有能迅速调节飞剪电机的速度，并且飞剪剪刀的控制精度要更高，整个系统必须稳定。在生产的时候，故障率要低能易于维修和调试等特点。

CSP 生产线对飞剪的要求：

(1)在水平方向上，当进行切头时，应使飞剪剪刀速度略高于轧制速度。否则容易造成堆钢。切尾时，应该使剪刀速度相等或略小于轧件速度，这样可以利用剪刀使得轧件尾部产生一个拉力，因此轧件的尾部可以很快离开。

(2)飞剪可以剪切长度与规格各不同线材，而且可以使得剪切精度能满足客户要求。

(3)因为飞剪电机需要在长时间内处于超负荷运行的情况下，有时会出现停止或者堵塞，并且还要经常处于启停的状态，在出现偏差的时候，还要对电机的速

度不断的进行修正，则需要电机能易于调速且能拥有极高的稳定性^[18]。

2.3 飞剪控制系统

在整个飞剪的剪刀控制中，其中最重要的两个控制，一为剪刀的定位控制，通过光电编码器感应到的剪刀此时的位置，与设定位置的不同时，即对剪刀进行控制^[19]。二为剪刀的速度控制，因为飞剪经过加速、匀速与减速，在每个时间节点上面的速度是固定的，一旦速度出现偏差，即对剪刀进行控制。整个飞剪分为三个控制环，其中为电流、速度、位置控制环。如 2.2 所示，在硬件设施中，由检测设备如光电传感器，金属检测仪等设施组成了检测设备组，交流传动部分由变频器与交流电机组成，接下来的控制系统由西门子 PLC 组成。其中位置控制是依靠依靠飞剪系统的位置环来提高控制精度。通讯采用 ProfiBus-DP 网络进行通信，在 PLC 与交流传动系统相互进行通讯，最终由 PLC 输出位置位置命令调节飞剪的速度来提高飞剪位置的控制精度。

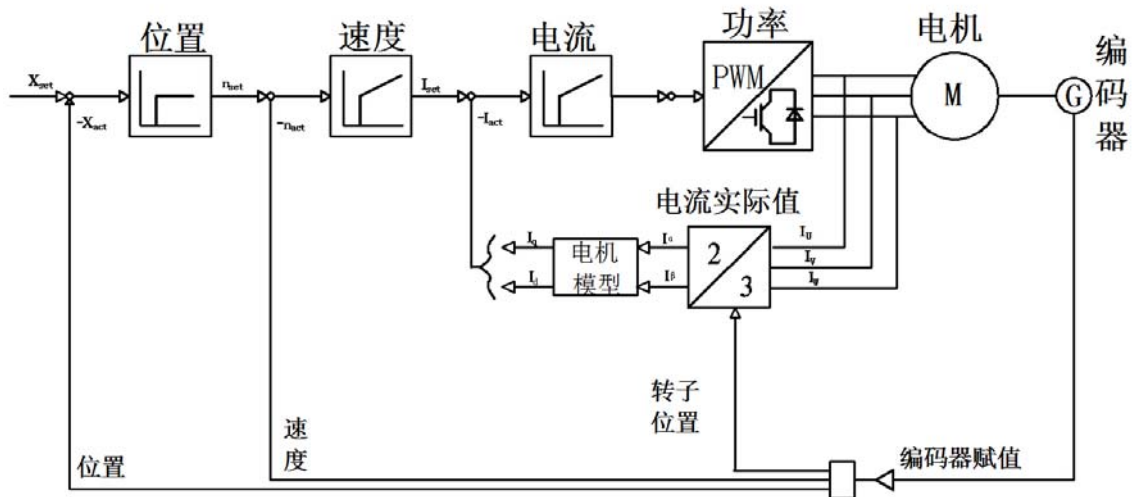


图 2.2 飞剪控制总体框图

2.3.1 飞剪剪切过程分析

未进行剪切时，飞剪剪刀停止在原始位置。设轧件匀速运动的速度为 V ，当启动飞剪时，剪刀从起始位置开始加速至 164.1 度角的剪切位置，此时剪刀以略高于轧件的速度同步运动。剪切完成后，剪刀开始进行减速运动，此时要增大电动机的反向电流，当此电流到达最大并且恒定，是最优的减速制动。剪刀的位置控制将剪刀准确的停在起始位置，等候下一次的切割^[20]。

因为飞剪经过减速，匀速回到原位的过程中，剪刀能都准备的回到正负 15 度非常关键，要求保证飞剪在减速制动过程中，能够以最短的时间减速下来并且停在减速制动区域，因此要求飞剪的以最快的速度能制动并且在启动过程中，能够

以最快的速度启动并且加速达到剪切速度。所以飞剪必须以最大的加速度启动，并且在减速制动过程中，以最大的反向电流并且保持恒定，结束制动^[21]。

2.3.2 飞剪的启动与停止

由于飞剪需要以最大的加速度启动，故飞剪的启动需要利用的是飞剪能在最大扭矩时，使飞剪能启动，所以在这里，充分的利用电动机的过载能力能使得飞剪剪刀以最大的加速度启动，飞剪的质量和加速条件对于飞剪在工作状态中的功率有着决定性因素^[22]。

在飞剪剪刀开始减速时，在减速区间内，制动时间越短越好，即要求剪刀在最短的时间回到起始位置。但是在剪切线材时，剪刀有较大的速度转矩惯量，要是剪刀能够以最大的减速制动，有不小的难度。所以说通过增加制动转矩的方式，能使得剪刀在制动过程中以最快的方式制动停车，飞剪在制动过程中保持匀减速并且制动转矩维持最大值。当速度为零，反向电流为零，制动过程的结束^[23]。

2.4 本章小节

本章首先介绍了飞剪生产线的工艺流程，板坯从加热炉出来到最后打包入库的过程，并且介绍了 CSP 生产线对于飞剪系统的要求，因为飞剪生产线属于连续生产，所以对精度要求较高，并且由于飞剪生产线经常属于启停与负载状态，因此对于电机调速要求较高。最后分析了飞剪剪切过程与飞剪的启动与停止过程。

第三章 飞剪系统的传动控制

3.1 电气传动概述

电气传动是根据工艺现场要求,要求对电动机的机械转速进行控制的系统^[24]。因为其调速系统主要是调整电动机的速度,根据电机的两种分类电气传动系统又分为直流传动系统与交流传统系统,其中最先出现的是直流调速系统,但是因其维护成本较高,逐渐的出现了交流传动系统。下面将主要的介绍这两种调速系统。

(1)直流调速系统

在早年的时候,在交流调速系统还没有出来以前,直流调速系统是唯一的调速方式,在速度控制系统中,直流电机的电源是稳压电源,直流调速是直接改变回路中电阻的大小来调节速度^[25]。其中最早的电源是通过以蓄电池的电,来提供稳定的直流电。这样的调速方式虽然简易,但是这样的调速方式有着很明显的缺陷就是,调速范围不大,而且在这样的直流调速方式中,调速的性能并不太好。不能适应大范围的速度的调节,因此,这样的通过改变回路电阻的方式来调速的方法只能在一些功率较小,速度变化不大的电机中应用。随着时代的进步,到1930年以后,这个时候出现了发动机-电动机的系统,该系统极大程度上解决了之前通过电阻调速中,调速范围小的缺陷。并且在调速的性能方面,该系统调速性能更好。但是与此同时,缺点也较为明显,就是维护成本极高,并且该系统一般体积都比较大,因此要求设备有着比较宽敞的工作环境要求。随着科学生产水平的不断的进步,将晶闸管作为直流调速系统的功率元件。可靠性高,系统具有较好的精度,并且变流效率高,变流器的响应速度很快。并且随着如今的发展,越来越多的传动技术开始应用数字化。近些年来,全数字化直流调速装置不仅拥有非常优良的控制性能,也非常易于操作,简单易行^[26]。

(2)交流调速系统

直流调速系统有着非常优良的控制效果,在很长的一段时间内,直流调速一直被非常广泛的应用在各个领域。虽然直流电机有着种种不错的调速性能,但是与此同时,直流调速的弊端也一直都存在,直流调速无法在大容量的调速系统中应用。并且最重要的是直流电机维护成本较高。人们在研究交流电机的时候,交流电机相比直流电机有着非常明显的优势,其结构相比直流电机简单,并且维护成本较直流电机低。因此慢慢的出现了交流电气传动。至1970年以后,人们慢慢着手进行研究更高性能的交流调速系统。同时,随着科学技术的进步和发展,极大地保证了交流调速电力拖动前进。至1980年以后,随着交流传动技术的发展,逐渐解决了交流传动方法实现起来困难的这个缺陷,其中在所有的交流调速的方法中,其中最为可靠的一种调速方式为变频调速。随着技术的不断进步,交流调

速系统调速的缺陷也在不断被克服。所以说交流调速系统也正在不断的改进和进步^[27]。

3.2 矢量变频介绍

变频调速是交流电气传动系统中应用最多最广泛的技术，是变频技术和微电子技术的结合起来最广泛应用的产物。随着矢量变频技术的提出，将交流电机是空间矢量变成直流电机的平面向量。因此矢量变频技术的提出，具有极大程度上的跨时代的意义。

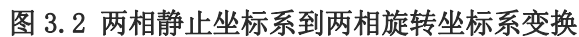
直流调速相比交流调速，直流调速最大的优点就是在直流调速中，它在控制电动机的转矩方面性能非常优良。直流电机能获得不错的控制效果，在于直流电机转矩公式控制简单，很容易可以获得控制效果。并且在直流电动机中，主级磁场在空间是固定不动的，直流电机的电枢电流跟磁通我们可以近似的认为是正交的，并且两者是独立控制的，所以是相互独立的。因在直流电机控制中，可以直接对 I 与 Φ 进行单独的调节，达到控制转矩的要求。而在交流电机中 I 与 Φ 并不是相互独立的，而且在分析两者的数学模型中，发现两者也并不是正交的并且两个量不是相互独立的。在控制一个量的时候，必然会引起另外一个量的变化。因此这给交流异步电机的转矩控制，增大了难度。

在建模时，交流电机建模后最后会得到一个非常复杂系统。很难对其数学模型进行分析。因此我们希望能建立一个模型可以像直流电机那样来完成对异步电动机转矩的简单易行的控制。因为交流电机的各种参数如电流电压等都是矢量，即同时标注有大小方向的量。通过对定子电流的拆分后，因此通过对磁通和力矩进行调整来控制电流矢量来进一步使得异步电机的输出转矩进行控制。因此坐标转换是重中之重^[28]。

3.3 矢量控制坐标变换

我们在进行坐标变化时，当坐标系改变时，很多量都会发生相应的变化，但是在矢量控制坐标中，必须在保证功率不发生改变，而且相对应的磁动势相等。磁场大小转速转向不变。

矢量控制的重点就是在于控制异步电机定子各项电流的瞬时控制，这样就可以完成对异步电机转矩的有效控制。首先定子坐标系，其中三相绕组的轴线构成了(A,B,C)三相坐标系，从异步电机的坐标系可以看到主要有三种变化，我们简要的介绍每一种变化的坐标系的图形，图 3.1 为三相静止到两相静止坐标系变换。图 3.2 为两相静止坐标系到两相旋转坐标系。还有一种是直角坐标系到极坐标系的变换。



武钢紧凑式连铸连轧生产线飞剪电机选用的是 6SE70 矢量控制变频器，其中 6SE70 变频器是隶属于 SIMOVERT Masterdrives 中变频器的一种，该种矢量变频器能为电机提供非常优良的变频控制。并且结合光电编码器，能在检测到剪刀位置出现偏差的时候，快速的反应并且提供速度改变量，将其位置调整到理论上的正确的位置。并且整套系统采用西门子 S7-400 能为位置环控制提供强大的算法功能。整个系统框图如图 3.3 所示。

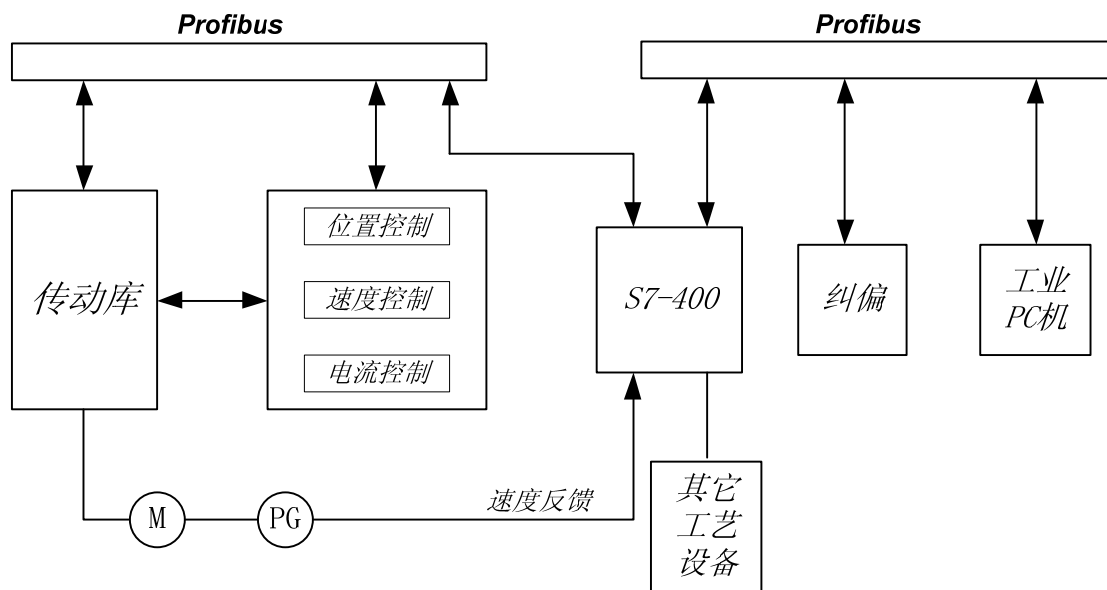


图 3.3 传动系统结构图

该系统有如下几个特点：

(1)该生产线采用的主要控制系统为 S7-400, 西门子 S7-400 相比较前几个系列, 例如 200 或 300 系列, 它能运用于大型的控制系统, 运算速度快, 并且由于中大型的结构均为模块化结构, 因此用户在应用到这些模块的时候, 可以根据不同的功能与不同的要求, 对这些模块进行不同程度的拓展, 在西门子 S7-400 中, 最大可以扩展到 300 多个模块, 并且能满足非常复杂的生产环境需求。在中国所有的制造行业中, 西门子 S7-400 凭借强大的通讯功能与快速的高性能, 在中国的大型制造业中的应用占有极大比例。目前中国的中大型机以西门子 S7-400 为主^[29]。

(2)在西门子 S7-400 中, CPU 带有 Profibus 接口, Profibus 有着非常庞大的支持的厂家集体, 并且总线旗下支持的产品更以最快的速度增长。因此本系统中采用的通讯是采用的 PROFIBUS-DP 通信, PROFIBUS-DP 有着不同的拓扑结构, 能在分散设备之间相互通讯, 并且各个部分能与总系统相互传输, 在自动化程度应用较高的领域或者设备应用比较广的领域, 因此可以实现全部零散系统的网络化集中控制。其应用程度非常高。它能够以 12Mbit/S 这样的速度高速传输与通信数据。并且具有非常不错的快速响应时间。采用 PROFIBUS-DP 通信能极大程度节省了传统通讯中, 大量的电缆的费用。并且节约了系统的维护成本, 并且选用数字信号传输, 安全型与可靠性极大程度的得到了增强。

(3)本系统的主驱动器的选用额定电源电压为 380V, 额定功率为 55KW。并且在扩展插槽口, 加入了 CBP 通讯板。

(4)本系统安装有光电编码器。本系统中使用的光电编码器是将目标物理量的位移量通过转换, 转换成为脉冲数字量的传感器。在电动机在工作时, 电动机每旋转过一个角度, 就会有相应的脉冲发出, 因此每个脉冲信号和信号的数量是与

不同的角度相对应。检测装置检测并且收集到这些信号，并对其进行分析，即可知道目前电动机的位置并且可以计算出此时电机的瞬时速度，并且可以根据相位差得到方向信号。

(5)飞剪系统主电机采用绕线式异步电机，虽然相比鼠笼电机，绕线电机结构复杂，但是绕线电机相比鼠笼电机，飞剪剪刀的启动时需要用最大转矩启动的，并且会经常的带极大负荷的运行并且经常启停。鼠笼电机虽然结构简单但是其启动转矩小不可以调速。因此本系统结合复杂的生产环境，选用能够结构稳定可靠并且易于调速的绕线式异步电机。

3.5 本章小节

本章通过介绍电气传动的发展历史，通过对比了直流与交流调速的优缺点。在本文中选用维护性能更好的交流调速，并介绍了矢量变频技术的特点与矢量坐标变换，最后结合飞剪系统与西门子 S7-400PLC，给出了整体的传动结构图，说明了整体框架图中的几个主要特点。

zkq 20150910

第四章 剪刀位置算法优化研究

飞剪在其运行的三个阶段中，控制剪切精度的核心即在于控制飞剪加速与减速区间里面的速度控制，特别是对于剪切完后，飞剪剪刀能准确的回到起始位置，而传统的匀减速为了实现能以最快的速度停车，因此需要一个较大的开环系数，这样使得剪刀很难精确的停在零位。因此本文给出了抛物线算法，能使飞剪在一个非常平稳的区间里面能稳定的回到起始位置，起始位置。并且对于飞剪位置控制的比例调节，不能快速跟随系统，优化为阶梯型控制环。

4.1 飞剪启动与停止控制算法

当热金属检测器 HMD 检测到有线材靠近时，帧脉冲编码器的上游开始计数，当检测到的板坯的长度等于设定的长度，剪刀由起始位置开始加速到剪切位置，进行剪切，而后制动回到初始位置。飞剪剪切过程如图 4.1 所示。

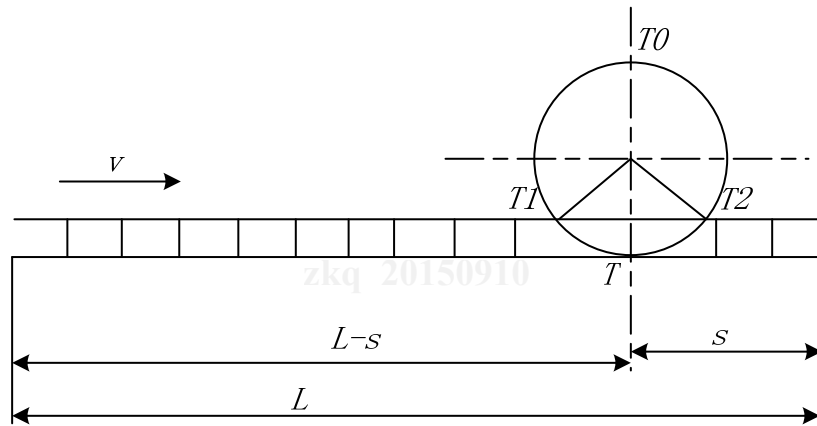


图 4.1 剪切过程图

设剪切线材以定尺 L 的长度来剪切，轧件的线速度为 V ，剪刀由起始位置到剪切位置用时为 t_0 ，当剪切完成后，剪刀开始制动带起始位置所用的时间为 t_1 ，其位置为 x_1 ，这一完整运动周期的用时为 t_2 ，因此

$$t_2 = \frac{L - S}{V} \quad (4-1)$$

$$x_0 = \frac{L - S}{V} \quad (4-2)$$

$$t_1 = \frac{C_0 - C - x_0}{V} = \frac{x_1}{V} \quad (4-3)$$

$$x_0 = L - S - C_0 + C \quad (4-4)$$

其中 C_0 —圆周轨迹周长， C —飞剪剪刀的实时位移， S —板坯通过的长度。

飞剪剪刀的启动时间是有要求的，必须是在剪刀启动后刚好达到剪切点的时候，线材刚好通过满足切头或者切尾的要求。设剪刀的位置为 x_0 ，其中 x_0 必须满足 $x_0 \geq L - S - C_0 + C$ 时候，剪刀才能开始启动。由公式中可以看出， S 是一个变量。

当飞剪的剪刀经过匀速剪切完线材后，开始脱离线材并且匀减速运动，并且停止在起始位置。一旦飞剪的一次剪切没有能准确的回到起始位置，下次剪切的起始位置就不精确并造成了每个周期均出现误差，会造成误差累计并且引起了极大的浪费。为了确保飞剪能完成每一次剪切都精确的停止在回零区域，因此就要对飞剪剪刀在整个剪切过程中的每一个位置进行跟踪与定位，一旦出现偏差能迅速进行调整。因此飞剪剪刀位置的检测的任务就依靠光电编码器来实现，剪刀的每一个位置就与光电编码器对应的发出的脉冲数相匹配。并且为了能对这些脉冲数进行准确的累加，在 PLC 里面响应的配置了计数模块，由编码器里面发出的每个脉冲都会被高速计数器检测到并且将每一个脉冲进行累加。因此我们通过直接的看到计数器里面的数值就可以知道剪刀此时的瞬时位置。当剪刀经过一个剪切周期回到起始位置时候，我们可以对这个起始位置进行检测，看其是否为零位，这样可以避免下一个剪切周期的起始位置不准确，一旦检测到剪刀未达零位时候，这个时候 PLC 可以对剪刀进行控制，让其微调回零位继续进行下一个剪切周期。

4.2 飞剪运动算法的优化

在上小节中，当飞剪在运行到任意时刻与位置的时候，当检测到飞剪此时的位置与设定的位置不相符，这个时候飞剪的定位控制就起到了作用。其中 PLC 计算出来检测信号与设定实际值的偏差后，输出速度调节信号给 6SE70 变频器，通过传动装置改变电机的速度，再将改变后的位置通过编码器反馈到 PLC，反复进行对比，反复不断的输出速度调节值，这样的循环可以使得飞剪的位置偏差越来越小，最终达到理论上的设定位置。为了能快速的达到理论的要求，因此我们需要有一个稳定的飞剪运行模型，并且出现较大的超调，并且能在最短的时间启动制动。因此我们需要对传统的飞剪运行进行优化，其原理图如图 4.2 所示。

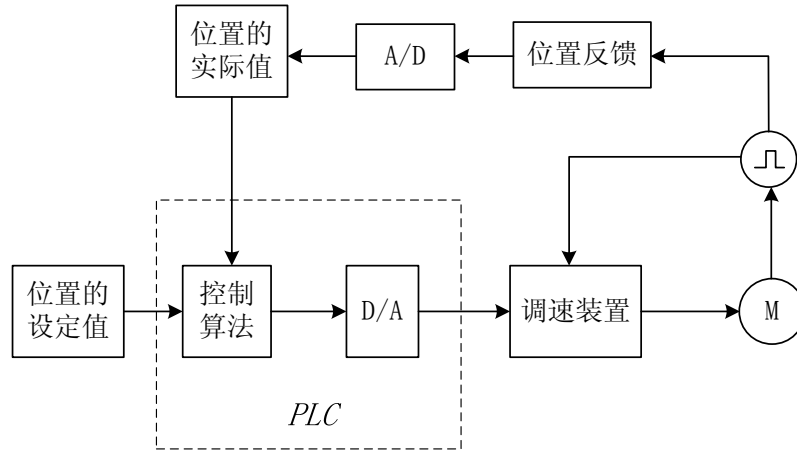


图 4.2 飞剪位置控制系统

理想的定位曲线如图 4.3, 设飞剪的最大加速度为 a_m , 飞剪最大的线速度为 v_m , 当电动机从起始位置启动时, 设任一时刻飞剪剪刀距离起始位置偏差为 P

$$v = a_m t \quad (4-5)$$

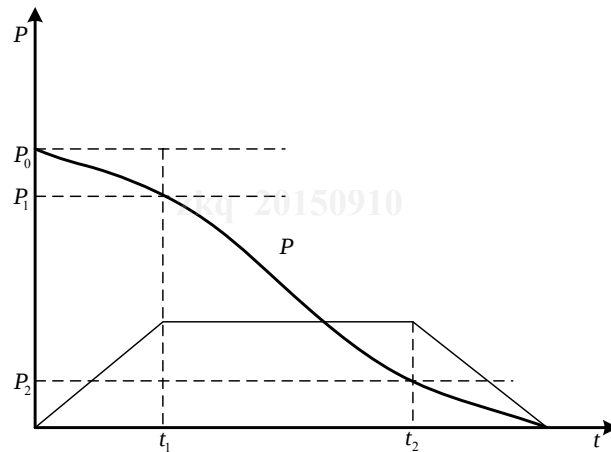


图 4.3 飞剪定位理想曲线

其中位置偏差 P 满足:

$$P = P_0 - \int_0^t v dt = P_0 - \int_0^t a_m t dt = P_0 - \frac{1}{2} a_m t^2 \quad (4-6)$$

其中偏差初始为 P_0

到达 v_m 的时间为:

$$t_1 = \frac{v_m}{a_m} \quad (4-7)$$

把代入式 (6) 中可得

$$P_1 = P_0 - \frac{v_m^2}{2a_m} \quad (4-8)$$

以上可以得到飞剪剪刀定位过程最理想的分为加速、匀速、减速制动三个阶段，首先是剪刀以最大的转矩加速到 v_m ，然后以恒定运行 P_2 ，从 P_2 处开始以加速度为 a_m 的减速运动减速到 $v_m = 0, P = 0$ 。

以上是传统的定位控制，但是受生产实际的干扰，机械振动还有感应并且反应的落后，因此在减速过程中，如果按照原来的传统的减速过程，一旦出现干扰后，很难进行调整。因此为了使得飞剪剪刀能在减速中，能够准确而又稳定的能回到零位，因此需要对传统的飞剪剪刀的减速制动模型进行优化。如图 4.4 所示。

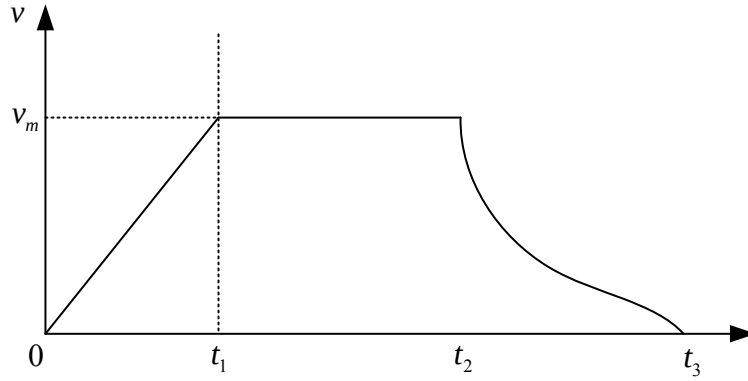


图 4.4 飞剪电机速度优化曲线

飞剪在 P_2 处开始进行脱离线材开始减速时

$$v = v_m - a_m(t - t_2) \quad (4-9)$$

$$P = P_2 - \int_{t_2}^t v dt \quad (4-10)$$

因此可以得出：

$$v = \sqrt{2a_m p} \quad (4-11)$$

从公式 11 中可以看出 v 与 P 成抛物线关系。飞剪以保持不变的加速度减速制动，在飞剪转回到起始位置时，虽然 P 为 0，但速度的变化率较大，即：

$$\lim_{p \rightarrow 0} \frac{dv}{dp} = \infty \quad (4-12)$$

在 $\Delta p \rightarrow 0$ 的情况下，为了实现最理想的减速过程，需要一个较大的开环放大系数，但是在匀减速制动过程中很难快速的回到零位，所以需要传统的匀减速运动进行优化。在这里，我们考虑到用抛物线的运动曲线，因为抛物线比较平滑，各种启动制动可以变化的非常平稳。

传统的减速过程中

$$t_0 = \frac{v_m}{a_m} \quad (4-13)$$

a_m – 减速过程中的加速度 t_0 - 减速所用时间

当采用曲线减速时, 设 $v = kP$, $a' = k^2 P$, 因此控制算法如下:

(1) 当 $a'_m \leq a_m$ 时, 可以从最大线速度开始按进行减速, 开始减速条件为:

$$a'_m = k^2 P_2, P = P_2 = \frac{v_m}{k}。$$

因此减速时间:

$$t' = -\int \frac{dP}{v} = \frac{1}{k} \ln \frac{v_m}{kP_1} \quad (P_1 \text{ 为定位精度}) \quad (4-14)$$

(2) 当 $a'_m \geq a_m$ 时, 如果在最先就采用 $v = kP$, 将有可能出现 a'_m 大于 a_m 的情况。因此在这里优化为, 最开始剪刀以速度 a_m 进行减速制动, 当速度达到 $v = \frac{a_m}{k}$, 再用 $v = kP$ 减速。如图 4.5 所示

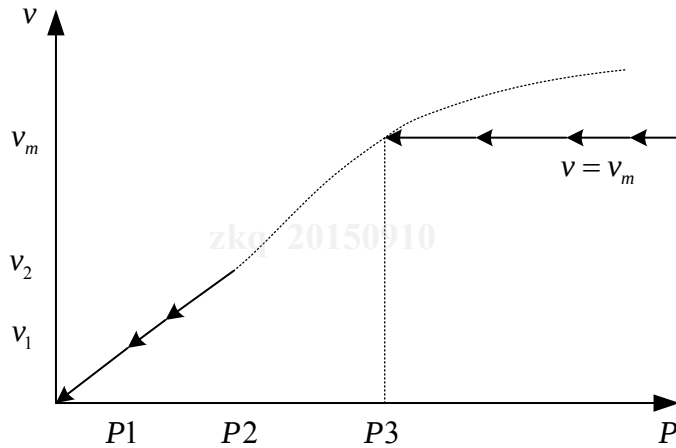


图 4.5 飞剪电机减速速度图

a_m 的减速阶段中

$$a_m = -\frac{dv}{dt} \quad (4-15)$$

利用 15 式, 可以求得:

$$P_3 - P_2 = -\frac{1}{a_m} \int v dv = \frac{v_m^2}{2a_m} - \frac{a_m}{2k^2} \quad (4-16)$$

因此有:

$$P_3 = \frac{v_m^2}{2a_m} + \frac{a_m}{2k^2} \quad (4-17)$$

由 P_2 到 P_1 减速时所用的时间为 t_1 :

$$t_1 = -\frac{1}{a_m} \int_{v_1}^{v_2} dv = \frac{v_m}{a_m} - \frac{1}{k} \quad (4-18)$$

最后由到的减速时间为：

$$t'' = t_1 + t_2 = \frac{v_m}{a_m} - \frac{1}{k} + \frac{1}{k} \ln \frac{a_m}{k^2 p_1} \quad (4-19)$$

选用优化后的算法后，相比传统的直线型位置控制，在选用了平稳的抛物线算法后，在飞剪的位置出现偏差后，改变其速度能使得飞剪快速的进行反应并且能明显的加快系统的响应速度，并且飞剪在回零的定位中，相比较传统的回零定位更加准确，有效的减少了线材的废品率。

4.3 位置环优化

原系统中剪刀位置环采用离散比例调节器，如图 4.6 所示，当剪刀位置偏差 $\Delta S \geq 2\text{mm}$ 时，输出的电动机速度调节量 Δn 为额定速度的 2%，即 2%。当 ΔS 增大，或者 ΔS 较小未达到响应的动作阈值 2mm 时，则无法快速跟随并适应系统，造成剪切不精确，并会在接下来的周期中形成误差累积。在分析了误差产生的原因后，在 PLC 里设定：

$$\begin{cases} \Delta S < 1\text{mm} \text{ 时, } \Delta n = 0 \\ 1\text{mm} \leq \Delta S < 2\text{mm} \text{ 时, } \Delta n = 1\% n_e \\ 2\text{mm} \leq \Delta S < 3\text{mm} \text{ 时, } \Delta n = 2\% n_e \\ \Delta S \geq 3\text{mm} \text{ 时, } \Delta n = 3\% n_e \end{cases}$$

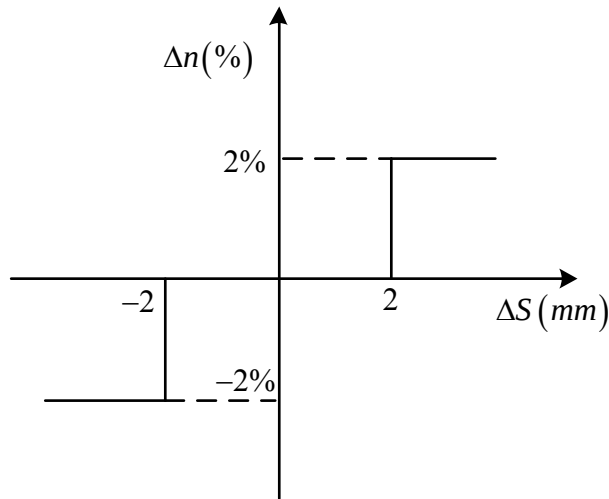


图 4.6 传统位置环

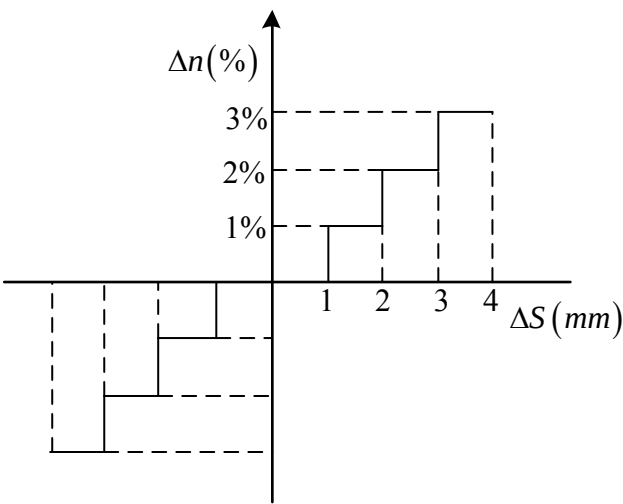


图 4.7 优化位置控制环

优化后位置环如图 4.7 所示，相对于原调节系统，优化后的位置环反应更快、更灵敏，跟随性比传统环节更好。

4.4 本章小节

本章在分析了传统飞剪的启停算法以后，因为传统的算法在制动停止过程中，在一个匀减速的过程中，无法快速的减速定位会造成飞剪的回零不准确，因此在分析了传统算法的劣势后，给出了新型的抛物线的停车模型。并且在传统的比例控制的位置环中，相比传统比例模型，构造了阶梯型位置控制环。从而进一步提升了剪切精度。

第五章 飞剪模糊控制算法研究及仿真

在如今的控制系统中，很多时候需要对机械的实时的位置与速度进行监控，并且使得被控制的器件按照预先设定的曲线和运动参数进行动作。特别是对于飞剪剪刀这样的需要对飞剪剪刀的位置和速度都有着极高要求的生产工艺现场，对于位置控制的要求更是要求精益求精。但是在这样的一个要求准确度很高的控制系统中，由于国内的生产环境，会受到很多外界因素的干扰，并且发现实际生产中由于非线性因素和干扰因素的影响及编码器模拟信号的偏置均对剪切误差有一定影响。并且随着这些干扰因素的加入，本来属于低阶的系统变为非线性的高阶系统。在飞剪的控制系统中，传统的控制依然是沿用的是 PID 控制，经典的 PID 控制虽然被广泛的应用。但是其缺点是被控的对象需要有一个非常准确的数学模型。但是由于现场干扰的存在，高阶的系统数学模型及其难建立与分析。如今随着智能控制技术的出现，因此在本文新加入了模糊控制。因为模糊控制可以加入非常成熟的专家经验，并且能根据被控系统的不同的模型可以随时的进行在线的调整。不管系统的数学模型有多么复杂，都可以对于系统进行比较准确的控制，因此模糊控制被称为如今智能化的控制算法^[30]。

5.1 传统的 PID 控制

自从 PID 控制问世以来，PID 控制因其结构简单，具有极高的稳定性而被广泛的推广及其应用，PID 的研究方法也随着科学进步越来越先进，不同的新理论与思想也在不停的提出^[31]。Ziegler 与 Nichols 展示了 PID 参数整定后，PID 参数的整定被广泛的应用到各领域的整定中。如图 5.1 为原理图

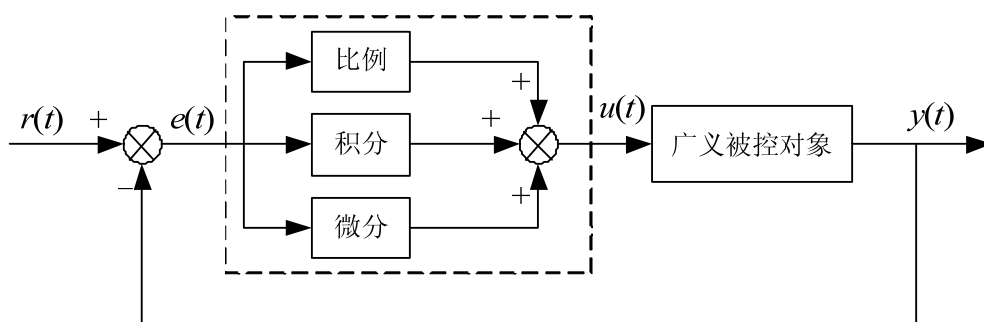


图 5.1 PID 控制原理图

将其 PID 控制建立数学模型后，其由比例单位，积分单位与微分单元组成其中 PID 控制器中，比例单位中其数学模型为

$$K_p \cdot e(t) \quad (5-1)$$

一旦系统出现偏差，则系统马上出现响应，为了使得被控制量的偏差减小，则 PID 调节器输出控制量使得偏差向减小的趋势变化，因此偏差越大，调节量越

强。当增大系统中的比例系数 K_p 时，则系统可以快速反应并且调节，能使系统反应时间最短，但是随着 K_p 的慢慢增加到一定临界值时，会造成系统越来越不稳定，超调增大，并且继续增大的时候，系统输出会发散。如果一个系统只存在有比例控制，则该系统会存在静态误差。

积分调节的表达式为

$$\frac{1}{T_i} \int e(t) dt \quad (5-2)$$

其中，因为系统在进入稳态以后，为了消除系统的稳态误差，因为引入了积分调节，对误差的调节取决于对时间 T_i 的积分，就算系统的误差极小，系统的调节作用也会随着时间的推移而越来越大，因此能使得系统的误差慢慢减小，但是积分作用需要一定的时间慢慢的积分慢慢的调节，所以对于系统响应来说，积分调节是有滞后性的，如果说增强系统的积分作用，则会影响系统的稳定加大超调^[32]。

其中微分调节的表达式为

$$T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (5-3)$$

在系统的微分作用中，系统的调节与误差的变化率成正比关系，系统在消除误差的自动调节中，难免会出现振动造成系统不稳定的情况。因为在系统中，总会存在滞后的元件，因此当误差出现时候，其控制信号总是落后于系统的误差的变化。因此为了使得系统的调节能够超前，引入了一个微分项，提前预测到系统误差变化的趋势。因此这样的一个超前项，就能极大程度上改善系统的动态性能。

PID 控制器的输入与输出的关系为

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (5-4)$$

对应传递函数为

$$H(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s) \quad (5-5)$$

5.2 模糊控制理论

自从 Zadeh 提出了模糊数学的观点后，人们的视野开始慢慢的从精确系统模型的控制转向当一个系统为不确定系统的控制中，因为在很多领域方向，系统要考虑的因素太多，系统因为外界的相互干扰，引入了变量也极多。如果使用传统的控制，高阶复杂的系统的控制会变的非常复杂，对于这样的难以精确描述的系统，这样的控制理论是无济于事的。因此，在引入了模糊的概念后，可以极大程度的简化此系统的动态情况，并引入了人类的思维模式与人工的经验方法，可以分析与计算外界的复杂的情况和模式，做出模糊决策。最后使得控制效果能达到

最优。在最近在十几年来，模糊控制理论在生活和生产中取得很多进步，如工业领域还有家电领域中，目前出现了模糊控制的洗衣机与微波炉等，日后随着技术的不断的更新，随着模糊控制领域的不断完善，越来越多的系统会引入此智能控制算法^[33]。

如图 5.2 所示，由几下部分组成了完成的模糊控制系统，其中模糊控制器为最重要的环节。模糊控制器的性能直接影响到最后的控制效果，在模糊控制器中，最核心的部分莫过于模糊规则，模糊规则的数量也是衡量一个模糊控制器性能的一个核心因素。

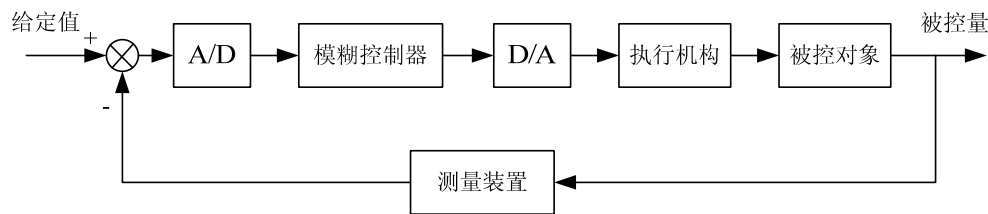


图 5.2 模糊控制系统

模糊系统最开始的流程是首先由系统中的检测装置将被控制量此时的状态和数值检测出来，并且将此数值与预先设定的数值进行比较，并且得到两者之差。定义变量这个两者之差即为误差信号，将其模糊化后，作为模糊控制器的输入。然后模糊控制器模仿人类下判断时候的概念，对模糊规则进行编辑后，完成模糊推理过程，最后得到模糊控制信号，其中逻辑判断推理是模糊控制的精髓。最后一步将推理所得到的模糊控制信号转化为精确的控制信号，作为系统的明确的调节值，输入到被控对象中，对被控对象进行调节^[34]。

经过上述的步奏可以看出，模糊控制器需要经过以下几个步奏，首先定义输入与输出，定义被检测的状态及其定义输出动作，在普遍的控制问题中，一般输入变量为误差与误差的变化率，同时将控制变量作为输出。定义好变量后，利用合适的比例转换到论域中，并用日常的口语化变量来表述被控量的误差变化范围，在此经过模糊推理决策后，再经过解模糊化这几个过程。如图 5.3 所示。

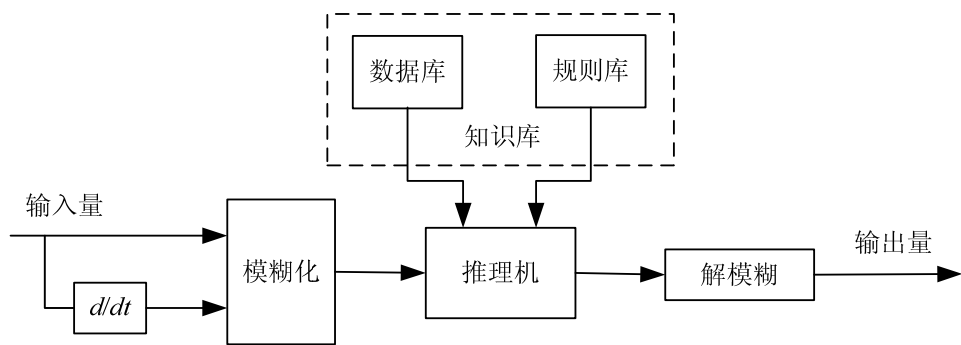


图 5.3 模糊控制器内部结构图

在本系统中，我们选取双输入，即剪刀的实际位置与设定位置的偏差，还有剪刀位置偏差变化率，该变化率反应了剪刀位置偏差的变化趋势跟方向，输出变量为电动机速度环速度调节信号。

5.3 模糊自适应 PI 控制

由于 PI 控制的种种优势的存在，在工控中被广泛的应用，但是在由于现场的扰动和干扰，机械振动，编码器测量误差等不确定因素存在，工业现场传统的 PI 控制无法适应复杂的环境与高阶复杂的被控对象，因为按照常规的整定中，一般我们是将调节器的参数设定在无干扰跟波动时候的调节，如果说系统一旦出现波动或者扰动，传统的 PI 控制无法快速跟上或者适应这个时候的响应，因此传统的 PI 控制对于一个实时数据会出现变化跟波动的系统时候，会达不到预先设想的调节效果。而新型的模糊控制理论中，模糊控制对数学模型的依赖较弱，并且利用模糊法则来完成各系统变量之间的相互关系，具有优秀的鲁棒性跟适应性。并且模糊控制器用的是日常易懂的语言来描述，这样非常方便现场实际的操作人员来进行随时的操作与调试。在本文中，本文结合了两种控制方法的优劣之处，设计了飞剪剪刀位置控制模糊自适应 PI 控制^[35]。

飞剪控制系统在武钢 CSP 厂的电机同轴连接有一个光电编码器，以模拟电信号形式将飞剪机的实时位置的发送到 PLC 中，转换为数字量，通过运算并与预先设定的位置对比，就可以得到这一时刻的飞剪位置偏差。位置偏差值即为位置的预设值和光电编码器测量实际值的差。模糊化后的采样周期内位置偏差变化率反映了位置偏差的变化速度和变化方向。将其作为模糊控制器的输入信号，并且输出信号是飞剪电动机中，速度环的速度调节信号，因为飞剪速度环是一个 PI 控制器，因此模糊控制器的输出信号就是调节速度环中 P、I 的这两个参数的调节信号。我们通过模糊推理，对不断运动中的飞剪位置进行不断的调节，充分的满足系统的实时调整功能，如图 5.4 为模糊自适应的整体结构图^[36]。

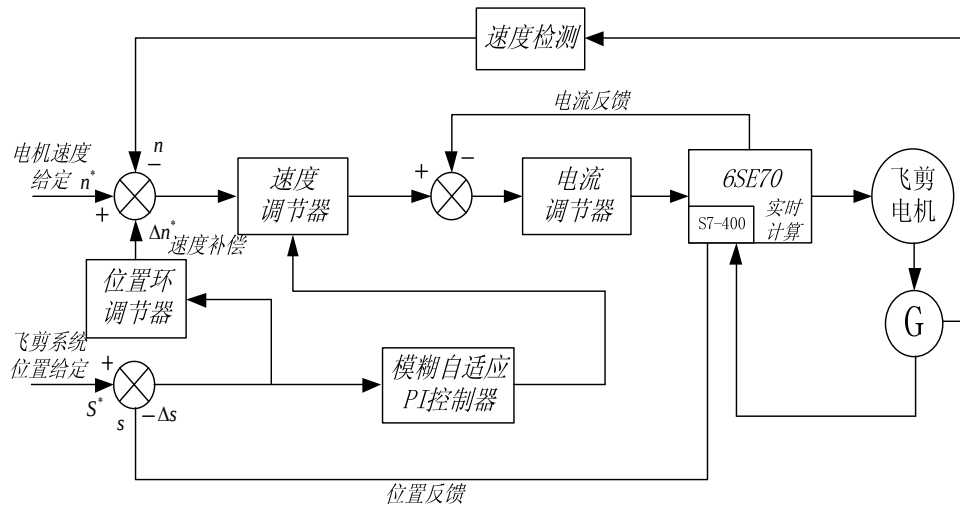


图 5.4 飞剪模糊控制自适应结构图

模糊控制器中，最后的输出是对飞剪速度环中参数 K_p 、 K_I 的调节，通过飞剪速度的改变来改变位置。我们通过运行过程中，依靠光电编码器与 PLC，不断的将系统的实时位置与设定位置进行比较，得出位置偏差 e 和变化率 ec ，并且根据预先设定好由专家经验得出的模糊规则，即可对这两个参数进行实时的调整。我们对 K_p 、 K_I 因其在系统中作用的不同，给出了不同的整定要求。

(1) 若系统就检测到飞剪的位置与实际设定的位置偏差误差较大，即 e 较大。这个时候得让系统快速的跟上预先设定值，则增大 K_p 快速让系统进行相应。同时为了防止系统的震荡及其超调，应该尽可能的对 K_I 加以限制。

(2) 如果偏差值 $e \approx 0$ ，则为了防止调节值对随着时间的增加而变大，则应该减少 K_I ，同时这个时候为了增加系统的稳定性，并且增强系统的抗干扰的能力，应该增大 K_p 。

(3) 如果偏差值 e 适中，则为了防止系统的超调限制 K_p ，取适当的 K_I 。

5.4 模糊控制器设计

在输入中，我们考虑到，如果采用一维的控制器，只是采用位置偏差作为输入，位置偏差随着时间的变化率及其变化方面无法描述则无法对系统进行准确的判断。而三维控制器结构复杂，所以在这里我们选用常用的二维模糊控制器。

输入变量设定为飞剪剪刀位置设定值和检测到的位置实际值之间的偏差 $e = S_{set} - S_{act}$ ，以及位置偏差变化率 ec ，输出变量设置成速度环中 PI 控制器两个校正参数 ΔK_p 、 ΔK_I 。

5.4.1 模糊量化因子的选择

定义和变化范围即是模糊集上的论域 $e, ec = \{-0.3, -0.2, -0.1, 0, 0.1, 0.2, 0.3\}$ 其中，论域上面的模糊子集定义为 $e, ec = \{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$ ，其中对应的含义分别为：负偏差较大、负偏差适中、负偏差较小、无偏差、正偏差较小、正偏差适中与正偏差较大。同时， ΔK_p 、 ΔK_I 的论域为 $\{-0.3, -0.2, -0.1, 0, 0.1, 0.2, 0.3\}$ ，对应的模糊子集为 $\{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$ 。

武钢 CSP 生产线飞剪最大变化范围在 $\pm 11mm$ ，而模糊控制的范围是在 $4mm \leq |\Delta e| < 11mm$ ，小于 $4mm$ 使用传统控制。因此在要求的范围内设定好飞剪剪切实际与设定之间的误差值。按照生产的实际情况，可以划分为七个模糊子集。 $10mm \leq |\Delta e| < 11mm$ 为负大(NB)；

$9mm \leq |\Delta e| < 10mm$ 为负中(NM)；

$8mm \leq |\Delta e| < 9mm$ 为负小(NS)；

$7mm \leq |\Delta e| < 8mm$ 为零(Z)；

$6mm \leq |\Delta e| < 7mm$ 为正小(PS)；

$5mm \leq |\Delta e| < 6mm$ 为正中 (PM)；

$4mm \leq |\Delta e| < 5mm$ 为正大(PB)；

5.4.2 确定隶属度函数

在确定好模糊变化后，接下来需要确定的是隶属度函数，其中，能否正确的确定好隶属度函数是模糊控制的关键之一，隶属度函数是随每个人对同一事物认识模糊概念的理解，其既有客观性又有主动认识的差异性，在隶属度函数曲线的选择中，我们这里控制器的输入与输出曲线选用最常用的正态型高斯分布曲线，为了使得系统具有更高的灵密度，我们在一般会令隶属度函数分布密集一点，如图 5.5 跟图 5.6 为输入和输出的隶属度函数曲线。

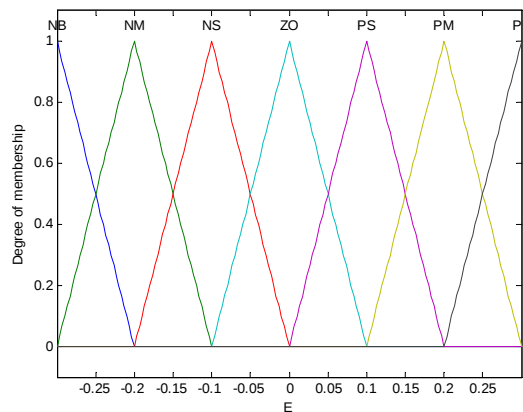


图 5.5 E 和 Ec 隶属度函数图

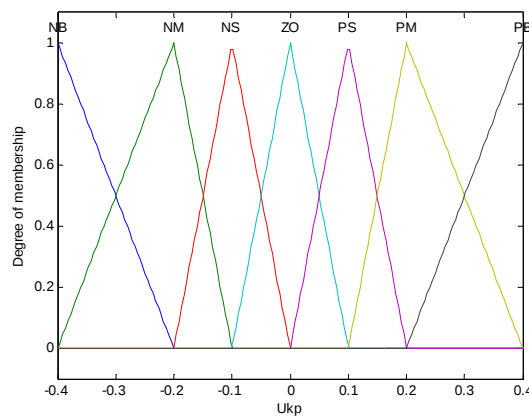


图 5.6 ΔK_p 和 ΔK_i 隶属度函数图

5.4.3 确定量化关系

在生产实际中，根据长期的观察和统计， E 的变化范围为 $[-10\text{mm}, 10\text{mm}]$ ， E_c 的变化范围为 $[-0.01\text{mm/min}, 0.01\text{mm/min}]$ 。位置偏差最大值 10mm 对应论域最大值 0.3 ，则 E 的量化因子 $K_e = 0.3/10 = 0.03$ ，同 E_c 的量化因子等于 30 。

5.4.4 模糊控制规则的建立

在飞剪位置控制系统生产线实际运行中，因为飞剪在一个周期时间内运行的时间较短，所以需满足当系统一旦出现偏差时候能快速反应和响应，因此系统的检测时间必须快，响应时间也应该在毫秒级别，根据多年的车间运行人工经验，根据专家经验我们建立了如下基于飞剪位置模糊控制的模糊控制规则，模糊规则如下：

采用 if A and B then C 的控制规则，以输出 ΔK_p 为例

(1) If e is NB and E_c is NB, then ΔK_p is NB

在这里我们一共可以得到 49 条规则，由这些规则得到控制状态表 5.1, 表 5.2, 表 5.3，将这些规则输入 Matlab 的 FIS 编辑器。模糊控制查询表如表 5.3。

表 5.1 ΔK_p 的模糊控制规则表

EC	E						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	NB
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	NM
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	NS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	ZO
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PS
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PM
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表 5.2 ΔK_I 的模糊控制规则表

EC	E						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PM	PM	PS	PS	PS	ZO	ZO
NS	PM	PS	PS	ZO	ZO	NS	NM
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PS	PM	PM	ZO	NS	NS	NM	NB
PM	PM	PS	ZO	NM	NM	NB	NB
PB	PS	ZO	NS	NM	NB	NB	NB

表 5.3 模糊规则查询表

EC	E						
	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3
	$\Delta K_p/\Delta K_I$						
-0.3	-0.3/0.3	-0.3/0.3	-0.2/0.2	-0.2/0.2	-0.1/0.1	0/0	-0.3/0
-0.2	-0.3/0.2	-0.3/0.2	-0.2/0.1	-0.1/0.1	-0.1/0.1	0/0	-0.2/0
-0.1	-0.3/0.2	-0.2/0.1	-0.1/0.1	-0.1/0	0/0	0.1/-0.1	-0.1/-0.2
0	-0.2/0.2	-0.2/0.2	-0.1/0.1	0/0	0.1/-0.1	0.2/-0.2	0/-0.3
0.1	-0.2/0.2	-0.1/0.2	0/0	0.1/-0.1	0.1/-0.1	0.2/-0.2	0.1/-0.3
0.2	0/0.2	0/0.1	0.1/0	0.1/-0.2	0.2/-0.2	0.3/-0.3	0.2/-0.3
0.3	0/0.1	0/0.0	0.1/-0.1	0.2/-0.2	0.2/-0.3	0.3/-0.3	0.3/-0.3

5.4.5 解模糊

经过模糊规则的判决与决策，我们得到了模糊的控制输出量，接下来我们需要将这些模糊的控制输出量通过解模糊化将模糊输出量、转化成精确控制量。其中的方法有例如最大隶属度法、加权平均法（重心法）、中位数法等，在这里我们利用 MIN-MAX-重心法，通过 Matlab 模糊工具箱计算出精确量 ΔK_p 、 ΔK_I 的输出曲面，如图 5.7、5.8 所示。

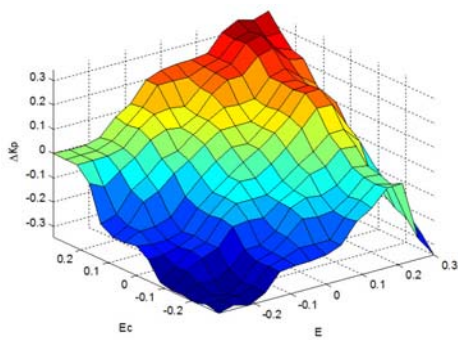


图 5.7 ΔK_p 的输出曲面

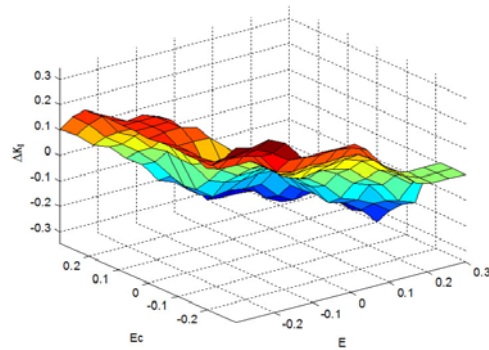


图 5.8 ΔK_i 的输出曲面

5.5 优化后的飞剪模糊控制系统

图 5.9 是武钢 CSP 生产线飞剪系统的改造的实际情况，采用模糊自适应 PID 进行优化后的飞剪模糊控制系统

从图中可以看出，我们在系统中的位置环和速度环之间，添加了模糊控制环节，原来系统的输出是采用单一的系统自带速度环的控制的速度调节，如今我们采用位置偏差值来对位置的反馈进行修正后，输出速度调节信号 ΔK_p ， ΔK_i 。如果说系统在工作过程中，飞剪系统出现较大的位置偏差，系统不能良好的调节导致误差累计。

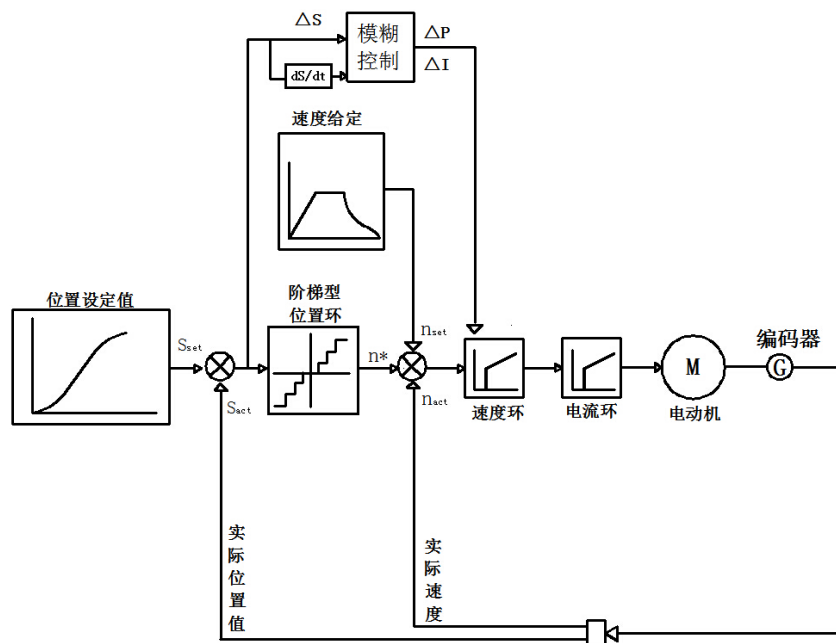


图 5.9 基于模糊自适应 PI 控制全图

从图 5.9 中可以看出，我们在系统中的位置环和速度环之间，添加了模糊控制环节，原来系统的输出是采用单一的系统自带速度环的控制的速度调节，如今我们采用位置偏差值来对位置的反馈进行修正后，输出速度调节信号 ΔK_p ， ΔK_i 。

如果说系统在工作过程中，飞剪系统出现较大的位置偏差，系统不能良好的调节导致误差累计，因此我们根据模糊自整定的算式：

$$\begin{cases} K_p = K_{p0} + \Delta K_p \\ K_I = K_{I0} + \Delta K_I \end{cases} \quad (5-6)$$

其中 K_{p0} 、 K_{I0} 为速度环模糊修正前 PI 参数， K_p 、 K_I 为模糊修正后的 PI 参数， ΔK_p 、 ΔK_I 为模糊修正值。 K_p 值的设定为 3.5， ΔK_p 的变化范围是 $[-0.5, 0.5]$ 。则 K_p 的数值在 $[3, 4]$ 之间。同理 K_I 的数值在 $[0, 1]$ 之间

系统将偏差值 $e = S_{set} - S'$ 与偏差变化率 $ec = \frac{de}{dt}$ ，进行模糊化的处理后，则可得 K_p 、 K_I 的调整值 ΔK_p 、 ΔK_I ，那么就能够完成对 K_p 、 K_I 的实时参数调整，因此可以取得二阶系统的最优控制效果。

5.6 仿真

在本文模糊控制的设计中，本文通过利用 MATLAB 中的 Simulink 工具箱进行仿真，通常电枢绕组的电感很小，电动机转子存在的转动惯量，故而常将电气常数忽略，传递函数为一个一阶惯性感觉，电机传递函数为 $G(S) = \frac{0.6}{10s+1}$ 。在这里，我们把通过采用模糊控制的系统与未采用模糊控制的系统进行对比。如图 5.10 所示。我们在系统中加入白噪声来模拟生产中会有可能出现的各种干扰。为了体现效果，我们设定的干扰值较大。

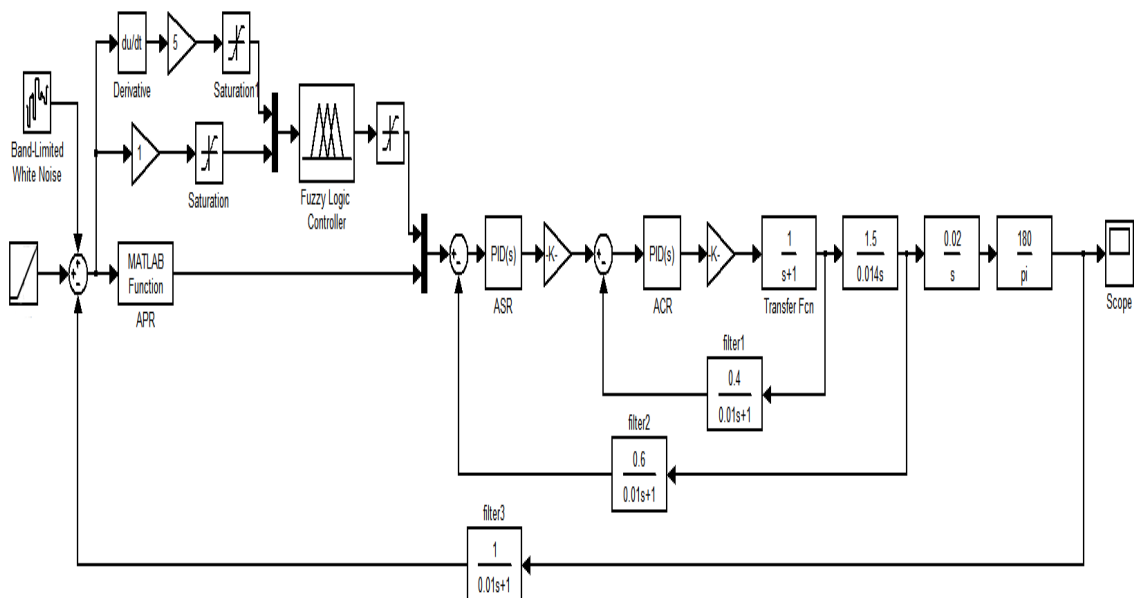


图 5.10 系统仿真

仿真后图如图 5.11 与 5.12 所示。通过仿真对比说明，采用模糊自适应 PID 控制与传统的 PID 控制相比，明显加快的响应的时间，使得飞剪在调节过程中，一旦系统出现了强扰，原系统最大偏差值为 176mm，而采用智能算法优化后系统的最大偏差减小到 80mm。能更快的反应并且跟随系统，具有更好的控制精度。

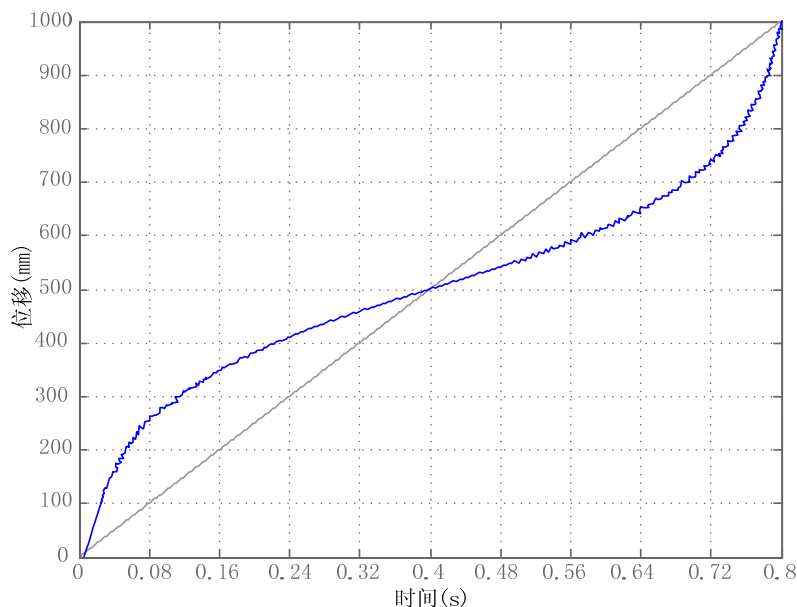


图 5.11 传统 PID 控制响应图

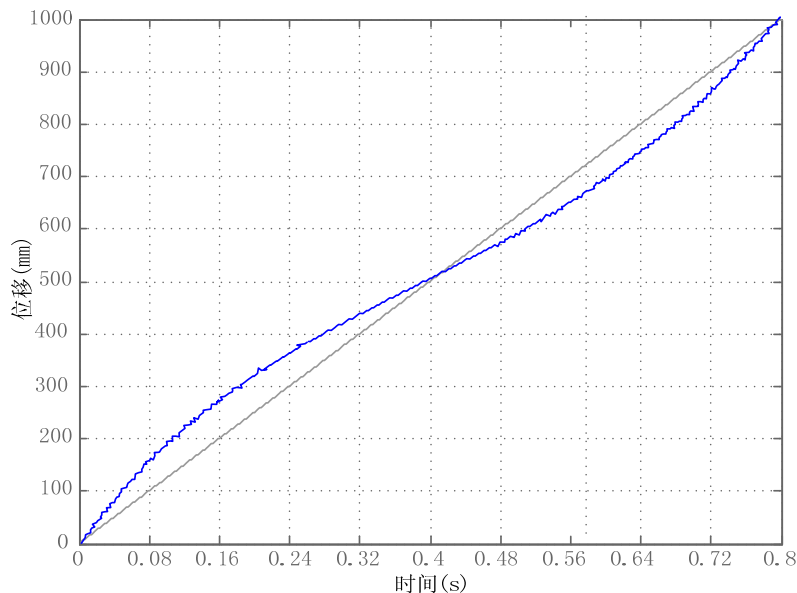


图 5.12 模糊自适应 PI 优化后的响应图

5.7 本章小节

本章介绍了飞剪控制系统中所使用的新型智能控制模糊自适应 PI 控制，根据专家经验的模糊控制规则，实时的对剪刀的速度不断的进行调整，给出了模糊控制器完整的设计，并采用 MATLAB 中的 Simulink 来对飞剪系统进行了仿真，说明该方案的理论可实行性。

第六章 基于西门子 S7-400PLC 系统的实现

6.1 西门子 400 系列硬件选择

整个系统采用西门子 S7-400 对飞剪系统的光电编码器连接的高速计数器的数字的提取，对飞剪位置偏差的计算并且在 PLC 中通过模糊控制算法输出位置调节信号到变频器。

本系统中选用的西门子 400 系列的产品是由机架、电源模块、CPU、数字输入/输出模块，模拟量输入/输出模块，通信处理器，功能模块，接口模块组成。

相比西门子的前几个系列，400 系列的产品在执行程序方面，它能够能够在极短的时间运算并且制定命令，安全可靠，因此在能使用大型的控制系统，在运算情况很复杂的情况中，400 系列的产品运算速度快。并且因为其分布式的内部总线，P 总线可以与输出模块与输出模块之间进行数据交换。K 总线可以连接到 CPU 的 MPI 接口。并且模块方面添加与拆卸，由于中大型的结构均为模块化结构，因此用户在应用到这些模块的时候，可以根据不同的功能与不同的要求，对这些模块进行不同程度的拓展，并且能满足非常复杂的生产环境需求。在 400 系列中并可以扩展 S7-300 的模块，最多拓宽到八个模块，连接 256 个输入/输出接口。并通过非常简单易行的 STEP7 V6.0 界面，通俗易懂^[37]。

由于西门子 S7-400 中模块极多，接下来我们就针对每个部件的作用的不同，选择我们适合飞剪系统的模块。如表 6.1 是 400PLC 在飞剪系统中实现的功能。

表 6.1PLC 控制功能实现

控制功能	说明
根据设定长度进行自动剪切	根据上位机发出的剪切长度、线材行走的速度及剪刀的实际位置等算出对飞剪剪刀进行控制的参数
剪切数的自动计算	自动的累加计算剪切的数目
控制飞剪电机	控制交流调速装置
检测线材的运行速度	实时的检测线材行走速度
编码器脉冲计数	实时的计算飞剪剪刀的实际位置
与上位机进行数据交换	接受上位机发出的各种控制参数，并将采集现场数据上传到上位机

(1)CPU 的选择

跟计算机中 CPU 中作用相同，西门子 400 系列的 CPU 是按照系统的程序进行指挥 PLC 系统能有条不紊的工作，并且当用户程序中出现语法错误的时候，CPU 能检测出来并且执行程序的处理跟运行^[38]，并且完成数据的处理和传输。S7-400 有七种常用的 CPU，其 CPU 的分类如表 6.2。

表 6.2 CPU 的分类及适用

CPU种类	CPU421-1 CPU412-2	CPU414-2 CPU414-3	CPU416-2 CPU416-3	CPU417-4	CPU414-4H CPU417-4H
说明	适用于中小型 和比较经济型 的项目	比中等性能范 围有更高性能 的地方	高性能高要求 的地方	最强大的性能 用于复杂的场 合	可配置为容错 式或兼安全型

在这里我们选择 CPU414-2DP

(2)电源的选择

西门子 S7-400PLC 电源的作用是为 PLC 中的 CPU 供电，同时也能为 PLC 的底板供电，在这里我们选择的电源模块是 PS704-10A，其额定工作电压分为 5V 或者 24V，输出电源分为 4A、10A、20A。并对 S7-400 和 IM 接口模块进行供电。

(3)输入输出模块的选择。

数字量输入模块选 SM421(D116×DC24V)，数字量输出模块选择 SM422(D032X24V / 0.5A)。模拟量输入模块选择 SM431(A18×13bit)，模拟量输出模块选择 SM432(A08X13bit)。

(4)机架的选择

在一个机架安装 CPU 模块，电源模块，接口模块等组成一个完整的 PLC 系统，一般指大型的 PLC，如西门子 300、400，三菱 Q 系列等等。在西门子 400 系列中，我们选用选择 UR2 的通用框架，机架具体分类及应用如图表 6.3 所示。

表 6.3 机架的分类

机架	插槽 总数	能用 总线	应用 领域	具体说明
UR1	18	I/ O总线 通信总线	CR或ER	适合所有模块类型
UR2	9			
ER1	18	受限I/ O 总线	ER	适于SM、IM、PS模块 I/ O总线受以下限制： 1、不会影响模块中断 2、不能使用24V供电模块 3、不使用电源模块的后备 电源供电，不通过外加给 CPU或接受IM的电压加电。
ER2	9			
CR2	18	分段I/ O 总线连续 通讯总线	分段CR	适应除了接收IM以外的 所有模块I/ O总线分2段， 分别占10个和8个槽
CR3	4	I/ O总线	标准系统的 CR	适应除了接收IM以外的所有模块 CPU41X - H仅限单机操作
UR2 - H	2×9	分段I/ O 总线连续 通讯总线	紧凑安装容 错型系统分 为CR或ER	适于除了接收IM以外的所 有模块I/ O总线和通信总线 分2段，每段占9个槽

再把所有的配置单都配置好以后，最终的 PLC 配置如表 6.4

表 6.4 最终 PLC 配置表

内容	型号	序列号
机架	UR2	6ES7400-1JA01-0AA0
电源模块	PS407 10A	6ES7407-0KA01-0AA0
CPU	CPU414-2DP	6ES7414-2XG04-0AB0
数字量输入 模块	SM421	6ES7421-7BH00-0AB0
数字量输出 模块	SM422	6ES7422-7BL00-0AB0
模拟量输入 模块	SM431	6ES7431-1KF00-0AB0
模拟量输出 模块	SM432	6ES7432-1HF00-0AB0
高速计数器	FM450-1	6ES7450-1AP00-0AE0

6.2 飞剪系统软件的设计

飞剪控制系统的核心为剪切模块，当 PLC 检测到光电编码器连接的高速计数器的数值满足剪切条件时，则 PLC 发出命令启动飞剪，如果不满足启动条件时候则跳过。并且飞剪在开始运行过程中，不断的对飞剪运行的速度与位置进行监测，并不断的与最开始预先设定的值不断的进行比较与对比，如果出现偏差则控制 6SE70 变频器随时立马进行速度调整。飞剪经过加速、匀速到减速后，最后根据高速计数器积累的数字量，判断飞剪是否回到零位。若飞剪已经判断回到了原位，则认定完成了这次剪切任务并记下此时剪切轧件的个数^[39]。流程图如图 6.1。

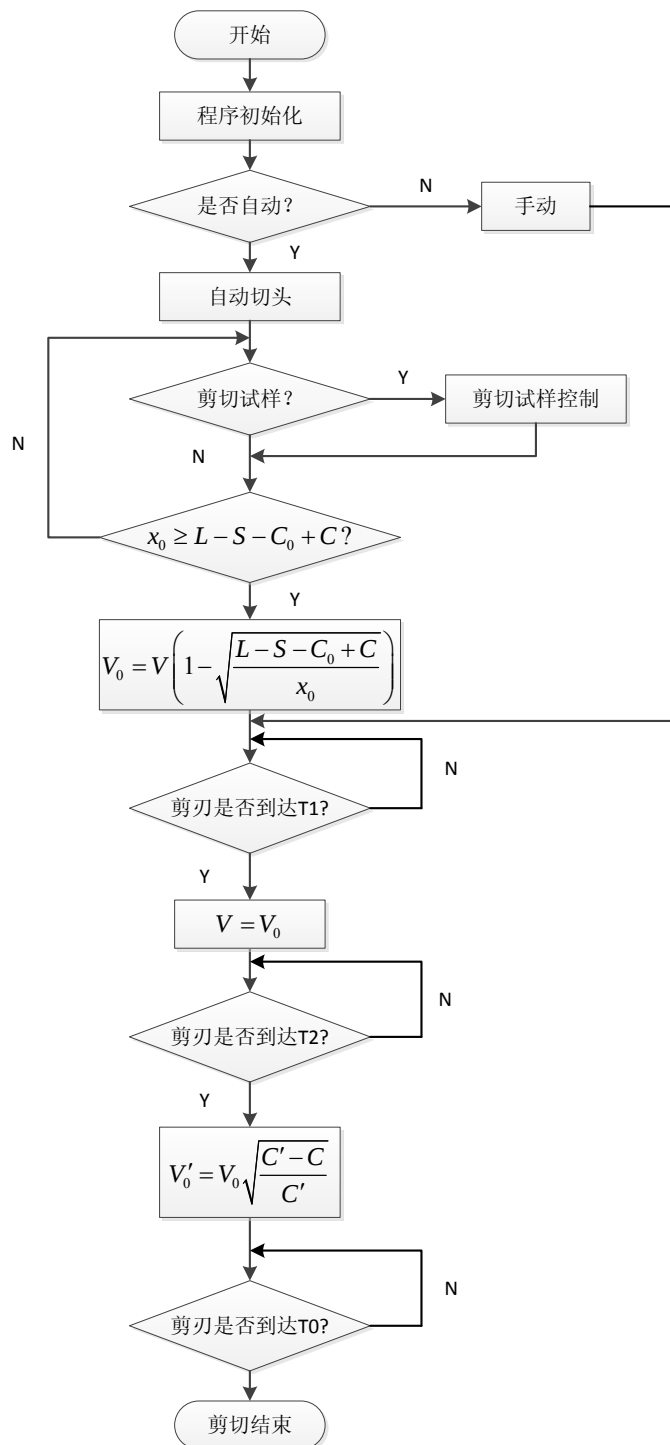


图 6.1 剪切系统流程图

6.3 模糊控制环节的实现

编制软件程序主循环程序模块 OB1 调用各种功能块 FB 和功能 FC 完成控制任务。功能块 FB1、FB2 设置成为为模糊控制器模块。功能块 FB3 为位置环优化模块，用比较指令 CMP 实现按位置偏差输出不同速度调节值的功能。模糊控制算法程序流程如图 6.2 所示。

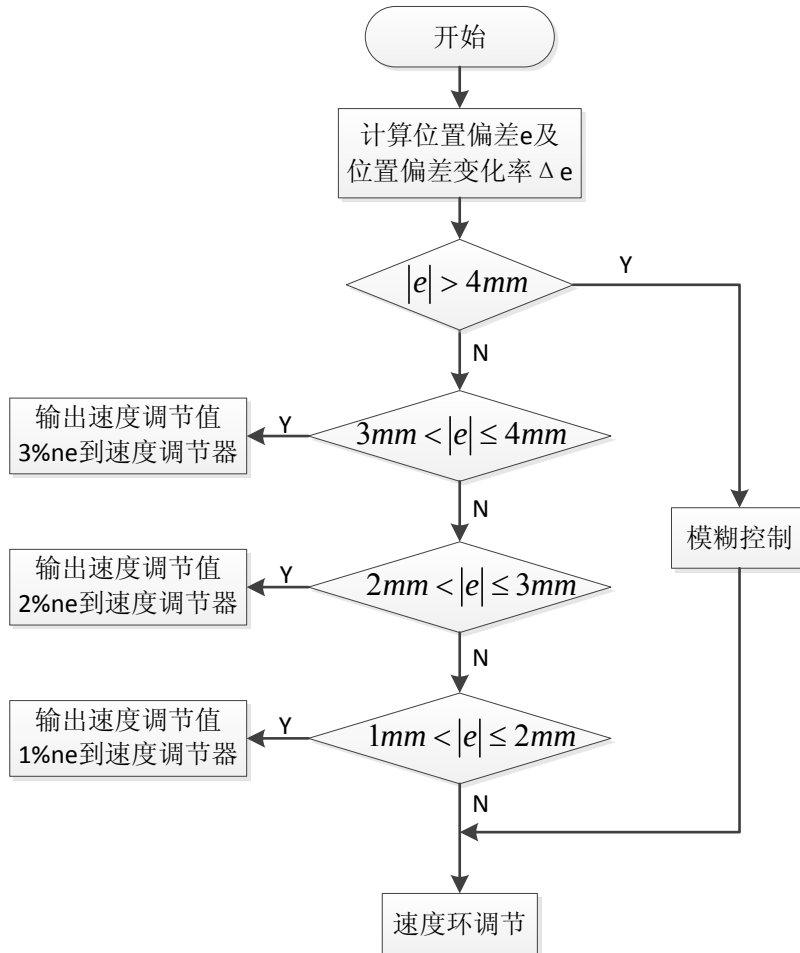


图 6.2 模糊算法流程图

首先将量化因子 K , K_{EC} 分别写入 PLC 的数据寄存器 DB3.DB4、DB3.DB8 中, 然后采样 e 和 Δe , 置入 DB1.DB36 和 DB1.DB48; 计算得出的模糊控制量、放入 DB1.DB68、DB1.DB60, 解模糊得到的精确控制量放入 DB1.DB76、DB1.DB64 中。

在模糊控制算法中, 查表程序是关键。将模糊论域的元素 $\{-0.3, -0.2, -0.1, 0, 0.1, 0.2, 0.3\}$ 转换为 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 以便于寻址查询, 然后采用“基址地址+变址地址”寻址的方式将模糊控制量表中的 PI 控制结果按从上到下, 从左到右的顺序填入 PLC 的数据寄存区 DB1.0 ~ DB1.192、DB2.0 ~ DB2.192。控制量的基址为 0, 其偏移地址为 $0 + EC \times 7 + E$, 寻址找到后, 得到模糊输出量, 经过解模糊即得精确控制量。查表程序分别在 FB1、FB2 中进行实现^[40]。表 6.5 为在 STEP7 中建立的控制量 ΔK_p 的查询表。

表 6.5 Step7 中建立的 ΔK_p 查询表

地址	块名	类型	数值
+0.0	DB__VAR0	REAL	0.102000
+4.0	DB__VAR1	REAL	0.301000
+8.0	DB__VAR2	REAL	0.301000
+12.0	DB__VAR3	REAL	0.302000
+16.0	DB__VAR4	REAL	0.302000
+20.0	DB__VAR5	REAL	0.302000
+24.0	DB__VAR6	REAL	0.102000
+28.0	DB__VAR7	REAL	0.102000
+32.0	DB__VAR8	REAL	0.198000
+36.0	DB__VAR9	REAL	0.198000
+40.0	DB__VAR10	REAL	0.198000
+44.0	DB__VAR11	REAL	0.198000
+48.0	DB__VAR12	REAL	0.198000
+52.0	DB__VAR13	REAL	0.198000

PLC 将计算好的 ΔK_p , ΔK_I 与设定 K_{p0} 、 K_{I0} 相加后得到的 K_p 、 K_I 通过 Profibus 协议传送到 SFC15 模块, SFC15 接受数据后, 通过 Channel 0 通道将修正后的 PI 数值传送到 6SE70 变频器 K3001 与 K3002 字里, 在变频器的控制菜单使 P238 的值等于 K3001, P241 的值等于 K3002。即可实现对 PI 参数的的在线实时调整。如图 6.3 所示

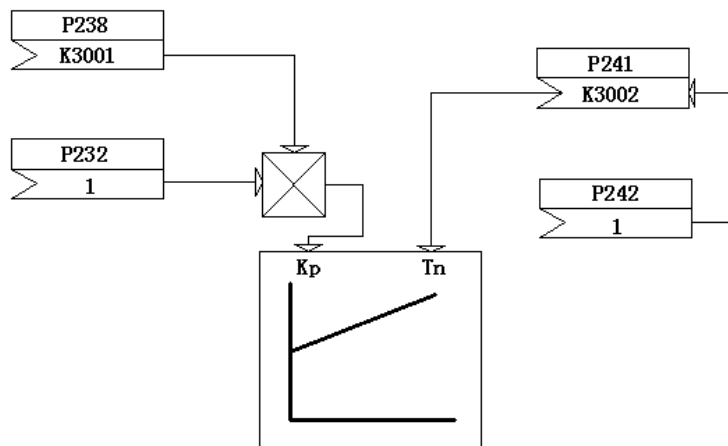


图 6.3 变频器实时调整 PI 参数

6.4 现场实际应用效果

通过西门子的组态软件监控功能可以得到两种控制方案对于加入现场干扰以后, 系统调节的变化曲线。

图 6.4、6.5 横坐标为飞剪运行的时间, 纵坐标为飞剪的位置

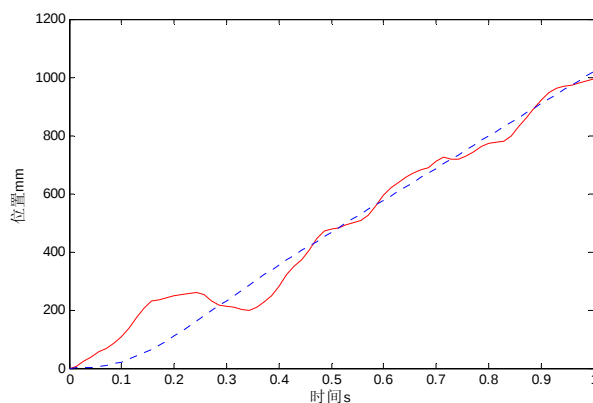


图 6.4 未加入模糊控制模块输出

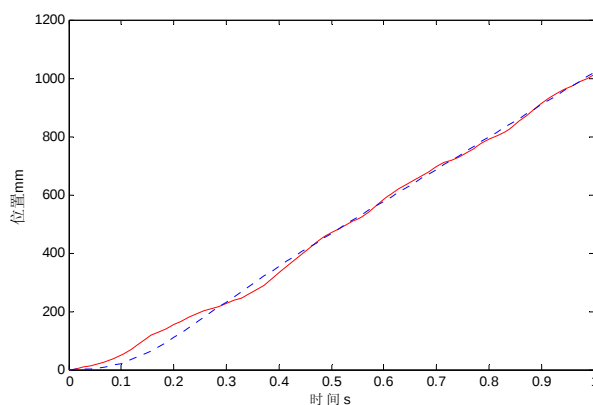


图 6.5 加入模糊控制模块输出

从两个曲线图可发现，在飞剪一周期 1S 内，加入 PI 参数的变化量后，在有干扰的情况下，传统系统需要 0.75 秒左右才能跟随上预定系统曲线，而加入模糊控制模块在 0.45S 左右即可跟随上预定值。对系统位置偏差反应能力更快，偏差小，系统的精确度更高，系统稳定也得到了提升，抗干扰能力更强，对轧钢钢板的精度得到了提升，相比传统系统有明显优势。

6.5 本章小节

本章主要介绍飞剪模糊控制系统的 PLC 实现部分，在 PLC 的选型方面，还有飞剪模糊控制的软件方面给出了完整的设计方案，在软件中则应用了流程图得以实现。

第七章 结论与展望

随着我国制造加工业水平的不断提升，对于钢材生产的质量与要求也在不断的提升，在如今高速连续化的生产中，生产线对于设备的要求也越来越高。很多企业都通过引入国外设备或者技术来提升生产水平，本文深入研究飞剪控制系统，并且依托武钢 CSP 厂飞剪系统改造工程的实际情况，优化了飞剪控制系统并且结合最新的智能控制理论，使得飞剪系统的可操作性及其维护性得到了极大的提升。相比大规模通过更换硬件来提升剪切精度，本文通过 PLC 的软件编程即可完成模糊控制。改造成本较低。在现场实用效果而言，实用效果较好。本文主要的研究成果如下：

(1)介绍了武汉钢铁集团公司 CSP 轧钢生产线的生产流程及其工艺，给出了自动控制的方案。

(2)通过对于飞剪的定位系统进行分析，进行了新型飞剪控制的设计，在电力传动方面选用可维护性较高的交流传动系统。

(3)在研究了飞剪的停车算法后，优化为抛物线算法，相对于传统的直线算法而言，调节能力更好。同时结合最新的矢量传动技术与新型的模糊控制理论，通过检测到飞剪电机位置环的位置偏差对电机速度环的 PID 参数进行实时调整。极大程度上增强了系统的抗干扰与自动调节性。

(4)利用 MATLAB 软件中的 Simulink 进行了系统的仿真分析，最后硬件实现部分给出了西门子 PLC400 系列的选型与软件实现部分的流程图。

虽然本设计方案在实际的现场应用效果可以满足生产实际要求，但是本文仅仅对当出现位置偏差的时候，系统飞剪进行调整这一小部分内容进行了分析与研究，并且本文在很多条件下是基于理想的情形讨论的，当线材厚度改变时对剪切位置的影响等因素对位置环的影响依然需要我们不断的进行研究跟探讨。并且交流变频调速虽然在逐渐的克服与直流调速之间相比的缺点，但是还是存在线路与控制方式较为复杂的弊端。并且在最初的安装与投入中，最初的成本也投入过高。因此随着技术的发展，也需要不断的进行改进。

致 谢

在整个研究生毕业论文期间，感谢实验室的同学对我的无私帮助。最先感谢我的尊敬的导师刘惠康老师，刘老师在这三年期间，以其严谨的治学态度使我深深的体会到学术的严谨性。特别是刘老师对我的无微不至的关心跟学术上悉心的指导，我一直铭记在心。而且刘老师无论工作多么繁忙，只要有任何问题跟任何疑惑，刘老师总会放下手里的事情对我进行专业的解答。刘老师作为一个导师，不仅是学术上的导师，我觉得更是我在走入社会的导师。在这里，衷心的感谢刘老师的指导与帮助并且祝愿刘老师工作一切顺利，身体健康。

感谢杨永利教授在论文方面，给予了我很大的帮助，给出了很多建设性的意见。特别要感谢我的学弟李俊同学，在我编写论文的时候，给了我很多无私的帮助，当写论文中出现疑点跟不足的时候，我们两个进行了深入的研究，最后改正了文章中不严谨的地方。对此特别感谢李俊同学。

感谢我的朋友们与家人。有你们默默的支持与陪伴，也使得我的生活变的丰富多彩。

感谢所有支持我并且一路陪伴我的导师与同学，虽然我们快毕业了，但是研究生期间的点点滴滴，我难以忘记。感谢武汉科技大学给我的研究生培养的机会，感谢信息学院所有的同学跟老师！

参考文献

- [1] 胡仁安.钢铁工业自动化的新技术(上).冶金自动化.2001, 第1期:1-20.
- [2] 林滋泉.我国轧钢生产技术的进步和展望.轧钢.2002(12):3-8.
- [3] 胡仁安.钢铁工业自动化的新技术(下).冶金自动化.2001, 第2期:6-11.
- [4] 西门子“SIMORREG DC Master 6RA70 系列全数字直流调速装置”使用说明书.第11版, 天津, 2006.
- [5] 陈宇.可编程控制器基础及编程技巧[M].广州: 华南理工大学出版社.1999.
- [6] 邱公伟.可编程控制器网络通信及应用[M].北京: 清华大学出版社.2000.
- [7] 徐世许.可编程控制器 原理² 应用² 网络.北京: 中国科学技术大学出版社.
- [8] 刘美俊.Profibus 现场总线智能化 DP 从站的设计.化工自动化及仪表.2004, 31(3):33-34.
- [9] 孔凡才主编.晶闸管直流调速系统.北京: 北京科学技术出版社.1985.
- [10] 张世铭等主编.直流调速系统.武汉: 华中理工大学出版社.1989.
- [11] 诸静.模糊控制原理与应用及其现状.电工技术杂志.1993(3):18-22.
- [12] 于仲安, 周克良.Profibus-DP 现场总线技术及其应用.电子技术 2004 (10):28-31.
- [13] 徐士浩.飞剪控制研究.冶金自动化.2005.
- [14] 张建民.智能控制原理及应用.北京: 冶金工业出版社.2003(2).
- [15] 李庆尧, 杨弘鸣.带钢冷连轧机过程控制计算机及应用软件设计.现代钢铁工业技术.1995.
- [16] 胡志平.PLC 控制的设计应用.矿冶 2004(9):72-75.
- [17] 孙炜, 朱俊杰.基于模糊控制的交流伺服系统.电气传动自动化.2000(2).
- [18] Gerald A.Moberg.AC and DC Motor Control.1987.
- [19] 陈伯时主编.电力拖动自动控制系统.北京: 机械工业出版社.1992.
- [20] 天津电气传动研究所编著.电气传动自动化技术手册.北京: 机械工业出版社.1992.
- [21] 张世铭等主编.直流调速系统.武汉:华中理工大学出版社.1989.
- [22] 袁志学, 杨林浩主编.高速线材生产.北京:冶金工业出版社.2005.
- [23] 廖常初.S7-300/400PLC 应用技术.北京:机械工业出版社.2005.

- [24] Eduardo Tovar. Real-Time Fieldbus Communications Using Profibus Network. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 1999, 46(6):1241-1251.
- [25] 苏昆哲, 何华. 深入浅出西门子 WINCC V6. 北京: 北京航空航天大学出版社. 2004
- [26] 崔坚. 西门子工业网络通信指南. 机械工业出版社. 2004.
- [27] Bimal K B. Modern Power Electronics and AC Drive. 北京: 机械工业出版社. 2003
- [28] 冯信康, 杨兴瑶. 电力传动控制系统原理与应用. 北京: 中国水利水电出版社. 1985.
- [29] Hausen G. AC Main drive for rolling mill Iron and Steel Engineer(V). 1980.
- [30] Mamdani E H. Applications of Fuzzy Algorithms for simple Dynamic Plant Proc IEEE. 1974, 121: 1585-1588.
- [31] 吴重光. 仿真技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000:117-160.
- [32] 华建新, 王贞祥. 全连续式冷连轧机过程控制[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000:1-16,30-97.
- [33] 林艳生, 李杰, 易泽龙. 棒材轧线冷飞剪 PLC 控制系统[J]. 冶金自动化, 2014,38,(4):49-52.
- [34] 吴四清, 易清. 影响飞剪切头精度的因素及改进措施[J]. 冶金自动化, 2009,33(2):69-70
- [35] 丁修堃. 轧制过程自动化[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992.171-192
- [36] 孟立军, 杨德林. 曲柄摇杆飞剪径向匀速机构的数学模型 [J]. 机械传动, 1999, 23(2):15-18.
- [37] 张永胜, 高宏力, 刘庆杰. 基于模糊控制理论的同步带恒张力控制系统[J]. 机械设计与制造, 2012(6):15-17.
- [38] 王海文. 轧钢机械设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [39] 刘锐, 刘惠康, 周文玲. 基于 S7-300PLC 的飞剪模糊控制系统[J]. 冶金自动化 2015(2):62-67.
- [40] 刘锐, 刘惠康. 伺服飞剪系统的位置优化研究[J]. 机床与液压 2015(7):16-19.

附录 1 攻读硕士学位期间发表的论文

[1]第一作者.基于 S7-300PLC 的飞剪模糊控制系统 [J].冶金自动化, 2015 (2):62-67.

[2]第一作者.伺服飞剪系统的位置优化研究[J].机床与液压, 2015(7):16-19.