

中图分类号: TH39
学科分类号: 080202

论文编号: 1028705 18-SZ035

硕士学位论文

高精度冷拔钢管 制造工艺的智能化研究

研究生姓名	柯 斌
专业类别	工程硕士
专业领域	机械工程
指导教师	薛建彬 副教授
企业导师	吕菊明 工程师

南京航空航天大学

研究生院 机电学院

二〇一八年三月

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics
The Graduate School
College of Mechanical and Electrical Engineering

**Research on intelligent manufacturing
process of high precision cold drawing steel
pipes**

A Thesis in
Mechanical Engineering
By
Ke Bin

Advised by
Associate Prof. Xue Jianbin
And
Engineer Lv Juming

Submitted in Partial Fulfillment

of the Requirements

for the Degree of

Master of Engineering

March, 2018

承诺书

本人声明所呈交的硕士学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得南京航空航天大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。

本人授权南京航空航天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，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后适用本承诺书）

作者签名： 柯文武
日期： 2018.3.29

摘 要

普通的冷拔钢管需要进行机械加工后才可以使用在汽车发动机的凸轮轴，而高精度冷拔钢管可以直接用做凸轮轴的原材料。本文研究高精度冷拔钢管的制造工艺，在其制造过程中的关键工艺进行智能化改进，以保证高精度冷拔钢管的质量。

首先简要介绍了冷拔钢管的制造工艺，探讨了国内外冷拔工艺以及智能化现状，阐述了冷拔工艺中各个工艺步骤对产品质量的影响，分析了传统冷拔工艺之中的不足之处，并提出智能化改进的具体需求。根据冷拔钢管的技术要求，设计了高精度冷拔工艺的总体规划，提出了多代理的生产工艺系统。根据生产工艺路线，分别对退火、酸洗、钢管的冷拔过程以及产品质量检测，设计了4个智能代理单元，每个单元使用传感器进行监测，获取现场状态，并通过代理的智能化处理，调整和控制整个生产过程。使用一个总控制器来统一调度这4个代理，实现生产过程的分布式管理。

通过对冷拔工艺中的冷拔过程和产品质量检测的深入研究，设计了冷拔过程和无损检测的两个智能代理单元，使用速度传感器和压力传感器获取冷拔夹头的夹紧力和钢管的冷拔速度等工艺信息，使用S3C2440控制器对这些信息进行分析处理，控制夹头的夹紧力，保证生产过程的顺利进行，使用漏磁检测系统发现并剔除存在缺陷的钢管。还设计了基于CAN总线的分布式架构，通过CAN收发器、CAN控制器以及智能代理单元之间的连接，实现了整个生产系统的信息交互。

最后，搭建了高精度冷拔钢管的智能化制造平台，在企业现场进行了部分试验，试验结果表明，通过对生产现场的工艺参数进行控制，改善了冷拔钢管的质量，提高了冷拔钢管的精度。

关键词：高精度冷拔工艺，智能化改进，冷拔，无损检测，CAN总线

ABSTRACT

The normal cold-drawn steel tube needs to be machined before it can be used in the camshaft of the car engine, and the high-precision cold-drawn steel tube can be used directly as the raw material for the camshaft. In this paper, the manufacturing process of high precision cold-drawn steel tube is studied, and the key process in its manufacturing process is intelligently improved to ensure the quality of high-precision cold-drawn steel tube.

First briefly introduced the cold drawn steel tube manufacturing technology, discusses the intelligent cold drawing process and the status quo at home and abroad, this paper expounds the cold drawing process influence on product quality, each process steps in the analysis of the deficiency of traditional cold drawing process, intelligent and put forward specific requirements for improvement. According to the technical requirements of cold drawing steel tube, the overall scheme of high precision cold drawing technology was designed, and the multi-agent production process system was put forward. Separately on the basis of the production process of annealing, pickling, steel tube cold drawing process and product quality testing, the design of the four intelligent agent unit, each unit to use sensors to monitor, access to the state, through the intelligent agent and processing, adjust and control the whole production process. A master controller is used to coordinate the four agents to achieve distributed management of the production process.

Through the cold drawing process of the further research of cold drawing process and product quality testing, the design of cold drawing process and nondestructive testing two intelligent agent unit, the use of a speed sensor and pressure sensor to obtain the cold drawing chuck clamping force and speed of steel pipe cold drawing process information, such as using S3C2440 controller to analyze the information processing, control clamp clamping force, ensure the smooth progress of the production process, the use of magnetic flux leakage inspection system to find and eliminate defects in steel pipe. The distributed architecture based on CAN bus is also designed, and the information interaction of the whole production system CAN be realized through the connection between CAN transceiver, CAN controller and intelligent agent unit.

Finally, set up a high precision cold drawn steel tube of intelligent manufacturing platform, some tests are carried out at the scene of the enterprise, the test results show that through to control the scene of the production process parameters, improve the quality of the cold drawn steel tube and the precision of cold drawn steel tube.

Keywords: high-precision cold-drawing process, intelligent improvement, cold drawing, nondestructive testing, CAN bus

目录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	II
图表清单.....	6
第一章 绪论.....	1
1.1 引言.....	1
1.2 课题来源及研究意义.....	2
1.3 高精度钢管冷拔工艺智能化生产的国内外发展现状.....	3
1.3.1 钢管冷拔工艺国内外发展现状.....	3
1.3.2 钢管冷拔中智能制造的国内外发展现状.....	5
1.4 钢管冷拔工艺的智能化技术研究.....	6
1.5 论文的组织架构及章节安排.....	7
1.6 本章小结.....	9
第二章 高精度冷拔钢管的生产工艺研究.....	10
2.1 引言.....	10
2.2 高精度冷拔管生产工艺介绍.....	10
2.3 高精度冷拔管工艺对产品质量影响的研究.....	12
2.3.1 冷拔预处理工艺对产品质量影响.....	12
2.3.2 冷拔过程对产品质量的影响.....	14
2.3.3 冷拔后对产品质量的保证.....	15
2.4 智能制造在高精度冷拔钢管中应用的研究.....	16
2.4.1 传统制造方式的缺陷分析.....	17
2.4.2 智能制造在高精度冷拔中的应用.....	18
2.4.3 高精度冷拔工艺智能化改进的预期目标.....	19
2.5 本章小结.....	20
第三章 高精度冷拔管制造工艺的智能化改进与系统设计.....	21
3.1 引言.....	21

3.2 智能化的高精度冷拔工艺系统结构	21
3.3 制造的智能化改进和检测系统设计	22
3.3.1 生产系统的整体控制	23
3.3.2 高精度冷拔的物料跟踪	24
3.3.3 物联网环境下的生产过程控制	25
3.3.4 高精度冷拔的生产控制	26
3.4 高精度冷拔钢管生产工艺参数的检测	27
3.4.1 高精度冷拔钢管的工艺路线	27
3.4.2 检测信号的处理	28
3.5 退火过程的智能化改进	29
3.5.1 退火检测方案设计	29
3.5.2 退火信号的处理	30
3.6 磷化皂化槽及酸洗过程的智能化改进	32
3.6.1 磷化皂化及酸洗检测方案设计	33
3.6.2 磷化皂化以及酸洗信号处理	33
3.7 高精度冷拔工艺冷拔过程和质量检测过程需求分析	35
3.8 本章小结	36
第四章 高精度冷拔钢管的智能检测与控制模型研究	37
4.1 引言	37
4.2 高精度冷拔钢管智能化改造的整体设计	37
4.3 高精度冷拔控制模块的设计	40
4.3.1 冷拔模块设计	40
4.3.2 产品质量检测模块设计	51
4.4 钢管出现缺陷时的控制过程	54
4.4.1 冷拔过程缺陷的控制	54
4.4.2 无损检测过程的控制	56
4.5 本章小结	57
第五章 高精度冷拔钢管制造主要软件界面设计及实验验证	58
5.1 引言	58
5.2 人机交互界面设计	58

5.2.1 总控制界面设计	58
5.2.2 冷拔界面设计	59
5.2.3 质量检测界面设计	59
5.2.4 工厂中智能检测器件的搭建	60
5.3 智能化改进的实验验证	61
5.3.1 生产过程中数据的获取	61
5.3.2 最终产品比较	62
5.4 本章小结	63
第六章 总结与展望	64
6.1 总结	64
6.2 展望	65
参考文献	66
攻读研究生学位期间的研究成果	70

图表清单

图 1.1 漏磁检测装置.....	4
图 1.2 PLC 智能检测系统结构图.....	5
图 1.3 自动扫描装置结构示意图.....	6
图 1.4 文章总体框架图.....	9
图 2.1 高精度冷拔管.....	11
图 2.2 冷拔工艺路线图.....	11
图 2.3 等径冷拔钢管管壁中残余应力分布图.....	13
图 2.4 冷拔示意图.....	13
图 2.5 钢管冷拔过程.....	14
图 2.6 冷拔模具内模.....	15
图 2.7 漏磁无损检测原理图.....	16
图 2.8 现场控制简图.....	19
图 3.1 Agent 基本要素图.....	21
图 3.2 高精度冷拔工艺系统结构图.....	22
图 3.3 系统总体框图.....	23
图 3.4 整体控制模型.....	24
图 3.5 制造商对物料的跟踪过程图.....	25
图 3.6 物联网整体架构设计.....	26
图 3.7 冷拔 Agent 结构示意图.....	27
图 3.8 工艺路线图.....	28
图 3.9 退火温度测量.....	30
图 3.10 退火过程控制.....	30
图 3.11 退火工艺流程.....	32
图 3.12 磷化、皂化以及酸洗示意图.....	33
图 3.13 冷拔溶液处理.....	34
图 3.14 磷化皂化以及酸洗工艺.....	35
图 4.1 检测单元结构图.....	38
图 4.2 CAN 总线电路图.....	39
图 4.3 系统通信实现图.....	40
图 4.4 无缝钢管冷拔受力简图.....	41
图 4.5 上料装置实物图.....	43
图 4.6 下料装置实物图.....	44
图 4.7 冷拔夹紧力检测.....	45
图 4.8 冷拔速度检测.....	45
图 4.9 冷拔检测控制整体模型图.....	47
图 4.10 电压信号放大图.....	47
图 4.11 分压电路.....	48
图 4.12 电压正向放大图.....	48

图 4.13 蜂鸣器控制电路图.....	49
图 4.14 冷拔程序流程图.....	51
图 4.15 无损检测整体结构布局图.....	52
图 4.16 缺陷识别原理图.....	53
图 4.17 钢管缺陷统计.....	54
图 4.18 冷拔缺陷信号处理.....	54
图 4.19 PID 控制原理图.....	55
图 4.20 无损检测信息处理.....	56
图 5.1 生产状态显示.....	58
图 5.2 冷拔工艺人机界面.....	59
图 5.3 无损检测人机界面.....	60
图 5.4 生产的钢管样本.....	62
图 5.5 未使用智能化改进生产的钢管.....	62
表 2.1 毛坯管参数.....	11
表 2.2 高精度冷拔管参数要求.....	11
表 2.3 毛坯管及轧头质量要求.....	12
表 3.1 退火炉状态变量.....	31
表 4.1 生产过程合格率的划分.....	53
表 5.1 生产参数对比.....	63

第一章 绪论

1.1 引言

在科技创新迅速发展的大环境下，互联网、新能源、新材料和生物技术正在以极快的速度形成巨大产业能力和市场，将使整个工业生产体系提升到一个新的水平，推动一场新的工业革命，为此，德国人率先制定了“工业 4.0”的战略规划，紧接着美国也提出了智能制造的概念，都是为了在新兴的工业发展过程中取得先机。

“工业 4.0”及智能制造的发展是信息化和工业化融合的深度体现，能够提高生产过程中的生产效率、技术水平和生产质量，依靠信息技术、传感技术等来对工业化生产过程中的各项指标进行智能化的控制，使得生产过程高度的自动化，对产品的质量有着严格的保证。这是一种让信息在生产过程中传递的生产模式，使生产环节不再像以往那样相对孤立，而是让各个生产环节能够进行交流，具有一定的柔性，在共同协作下完成生产任务。

自第一次工业革命以来。机械化的生产模式得到广泛的应用，制造业也在此时大规模的发展起来，随着后来电力的广泛应用以及计算机技术、微电子技术的发展，使得制造业转向自动化的方向发展，而当今信息技术的深度发展以及应用，使得制造业向着智能化的方向发展。这也使得智能制造研究领域涉及经济学、管理学、制造科学、信息科学等多个学科^[1]。相比以往，智能制造更加强调“以人为本”的理念，让制造业更加满足社会需求，将制造业“从厂家制造什么样的产品，市场才拥有该产品”，转向“市场需求什么，厂家就去制造什么样的产品”，生产过程以市场为导向。

国民经济的发展需要依靠制造业，而现在我国的制造业发展状况并不乐观，我国虽然是一个制造业大国，但是大部分制造业只是重复性的工作，创造力不足，并非是制造业强国，因此我国提出了“中国制造 2025”的概念，为的是通过对制造业产业结构的调整，提高制造业的创新力，通过“三步走”实现制造强国的战略目标^[2]，在全球大趋势的条件以及国家政策的支持下，我国的制造业开始向智能化的方向转型，制造过程逐步趋向于自动化、智能化，生产的柔性化提高。

我国的制造业本身就处于起步晚、基础差的尴尬地位，虽然“中国制造”在世界上享有盛名，但是所谓的“中国制造”很多都是低端的制造，技术含量比较低。为了面对世界市场竞争的压力，我国的制造业必须进行转型，增加制造过程中的技术含量，要抓住智能化制造这一契机，提高我国制造业发展水平，实现制造大国向制造强国的转变。

1.2 课题来源及研究意义

本课题来源于常熟市无缝钢管有限公司，该公司通过冷拔工艺生产多种用途的长度、壁厚等参数多种的无缝钢管，例如：自来水管、空心轴等等。相比于实心钢管，无缝钢管具有相同的抗弯抗扭强度，但是无缝钢管使用的材料更少，更加轻便，广泛应用于机械产品的结构制造之中。无缝钢管通过普通的冷拔工艺生产，生产出的产品表面较为粗糙，需要经过一定的机械加工后才能够投入使用。

2015年开始，该公司开始研发一种新的无缝钢管，采用自动化的生产方式生产，主要用于汽车发动机凸轮轴。以前该公司只需生产出精度要求不高无缝钢管，然后再由汽车生产商进行机加工为最终成品，而现在汽车公司方面不再进行机加工，要求直接生产出该类型钢管的成品。由于该公司主要进行的工作是钢管的冷拔生产工艺，没有对钢管进行专业加工的设备，又考虑到请第三方公司进行加工会增加生产成本，综合考虑之下决定采用高精度冷拔的工艺方式进行生产。

以高精度冷拔的方式对钢管进行生产的过程中，钢管的生产工艺要求提高了，这样对钢管生产线的监控检测要求也相应的提高，需要对钢管的各项工艺参数进行检测，例如：由于钢管冷拔是通过机械变形来生产产品，变形过程中就有可能对钢管造成损伤；钢管在冷拔过程中受到很大的应力作用使其发生变形，需要进行退火处理，退火的温度也要实时的进行检测等等。

在原有的高精度冷拔工艺的基础上，考虑到现有生产线上的不足，决定对该生产线进行智能化的改进。智能制造能够成为当今的热点话题不仅仅是因为各国对制造业战略规划，而是因为智能化的制造确实能极大的提高生产水平。相比于传统的制造方式，智能制造有着诸多的优点，相比于传统的生产模式，智能制造是对企业生产模式的一种改革，能够对工艺流程进行优化，很大程度上提高了劳动效率和生产效率，是一种高效率的生产模式，这种生产模式还能够有效地推动产业链的协作与整合，其在生产中的应用有效地促进了研发、设计、生产、制造等环节的协同合作，推动了产业链的协作与整合，能够进一步的提高生产效率，通过应用当前先进的互联网信息技术，使得生产模式从传统的生产组织型向服务组织型转变，能够实现服务型制造业，进一步的提高企业的生产创新能力，智能化的制造还需要实现生产信息的共享，这样才能够进一步的提高劳动生产效率，进一步提升产品质量。对于高精度冷拔工艺的智能化改进主要是通过生产线上添加智能化的检测设备，实现对高精度冷拔工艺生产线的智能化控制，实现高管生产工艺信息的内部共享，提高生产效率以及产品质量，保证生产工艺的正常运行，降低生产成本。

而且非智能化的冷拔工艺需要大量工作人员对制造现场进行管理，而冷拔工艺生产现场的工作环境相对恶劣，钢管运输时会使用吊带，有着安全隐患，退火时退火炉周边温度很高，可能给工作人员带来身体上的不适，以及对钢管冷拔前处理时使用的化学试剂挥发对工作人员的身

体也有危害。采用智能化的生产方式可以有效的减少工作人员的工作强度，提高安全保障，但是智能化的生产方式对工作人员的个人素质有着较高的要求，这就需要提高工作人员的个人素质。

总之，为了提高无缝钢管的生产质量及效率，也是为了向新时代的先进的生产方式转变，在考虑多方面的因素影响下，本课题致力于研究一套应用于无缝钢管高精度冷拔生产线上的智能智能化改进方案，用以检测生产过程中的各项参数，能够进行自我监测以及反馈，实现对生产过程的控制，保障生产过程的顺利进行，并将其信息传递给工作人员，提高产品的整体质量以及生产效率，并改善工作人员的工作环境。

接下来对高精度冷拔工艺以及智能制造在其中应用的国内外发展现状进行介绍。

1.3 高精度钢管冷拔工艺智能化生产的国内外发展现状

钢管在生产生活中的广泛应用使得人们对其也有着诸多的研究，国内外的学者对钢管的冷拔工艺进行了深入的研究，使得钢管的冷拔工艺日渐成熟；同时，近些年新兴的计算机信息行业被应用到钢管的冷拔制造之中，对钢管行业的生产带来了新的改革。

1.3.1 钢管冷拔工艺国内外发展现状

传统的冷拔工艺生产出的钢管还需要进行机械加工才能投入使用，而往往进行冷拔生产的厂商并不进行机械加工，还需要第三方公司来进行加工，这使得钢管的生产周期比较长，生产效率较低，成本较高，在激烈的市场竞争中处于劣势。而高精度冷拔工艺是在原有的冷拔工艺的基础之上进行改进，使得生产出的产品各项尺寸参数满足使用需求，可以直接投入使用，从而实现生产过程的优化，对推动钢管行业的发展起到重要的作用。

高精度冷拔的研究起源于二十世纪，在二十世纪末期，发达国家纷纷对高精度冷拔工艺进行了深入的研究，例如：日本科学家 M. Murakawa 等人运用冷拔技术和液压技术开发出了全新的冷拔工艺，设计出新型冷拔设备^[3]。在此之后，高精度冷拔工艺逐渐成为一种主导的生产工艺，在钢管的生产过程中有着举足轻重的作用。Choi Y, Kim D U, Kang B Y 等研究了一种具有高强度、高精度的传动轴的铝管的生产过程，其采用的是空心坯料并对拉拔工具进行了优化^[4]。S Yuan 等对轨道客车所使用的销零件的冷拔、旋锻精密成形技术的研究中，通过分析零件所受的载荷，讨论了变形机理以及产品质量^[5]，通过一系列的实验及生产表明，该工艺能够有效地提高产品的质量，是一种先进的精密成形技术。在对高精度冷拔的研究过程中，学者主要对各项工艺进行了深度的研究，Hirsch TK 等对 45 号钢的高精度冷拔的残余应力进行了研究，探讨了残余应力对冷拔精度以及表面质量的影响^[6]。随着高精度冷拔工艺的日渐成熟，其在生产中的应用也更为广泛，通过高精度冷拔管工艺生产出来的产品也被广泛应用于医疗、汽车、工业机器以及生产生活之中。

高精度冷拔管凭借其优势在制造行业中占有不可替代的作用，高精度冷拔工艺也是在生产过程中被逐步完善。国内对高精度冷拔工艺的研究虽然起步比较晚，但是通过不断地摸索研究，近些年高精度冷拔工艺的发展也日趋成熟，广泛的应用到生产当中。从 1987 年起，我国陆续新建了全液压预应力高精度冷拔管机^[7]，随着高精度冷拔工艺的市场需求不断增大，有很多学者对该工艺进行了深入的研究。杨传柱在对高精度冷拔钢管的研究中针对现有普通链式拉拔设备条件下的生产工艺进行分析^[8]，研究了其控制要求以及生产过程中的局限性。高精度冷拔工艺生产的过程中对着各项工艺有着严格的要求，国内也有很多学者对此进行了研究，邹玉萍就酸洗温度、酸液浓度和酸洗速度等酸洗工艺参数对不同规格钢材酸洗质量的影响展开了研究，对酸洗工艺进行了优化^[9]，王家聪等通过对高精度冷拔钢管残余应力的分析，并给出了其消除方法，对高精度冷拔管的退火过程进行了研究^[10]，无缝冷拔管生产完之后还需要对其进行无缝检测，确保产品质量，现在较为通用的检测方法有涡流检测法、漏磁检测法以及超声检测法等^[11]，如图 1.1 为一种可消除端部检测盲区的漏磁检测装置结构图。

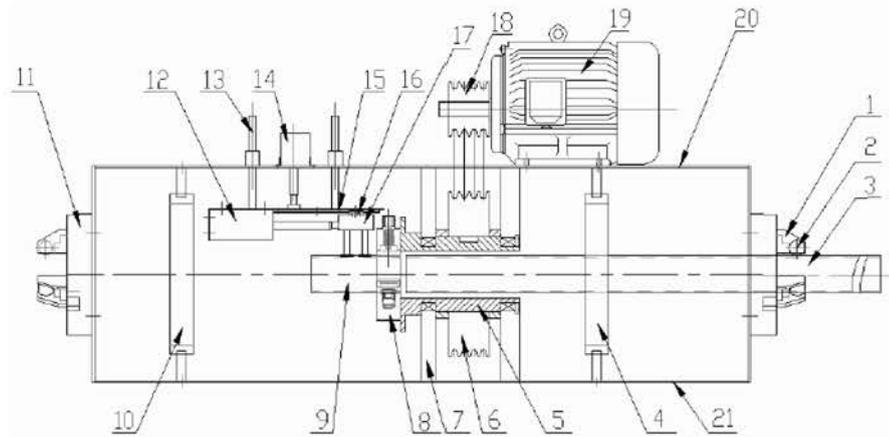


图 1.1 漏磁检测装置

该方案通过在端部添加一个钢管引导体，使得钢管端部变成“管身”，即可实现对钢管的无盲区的漏磁无损检测。在冷拔工艺的研究中，我国在一些研究领域已经达到了世界先进水平，但是仍然有着不足的地方，需要我们在后续的生产中通过不断地积累经验对其进行改进、优化，提高工艺水平。

现在的日常生活已经离不开钢管的使用，而高精度冷拔工艺作为一种优秀的生产方式必然会成为一种主导的生产方式。虽然在冷拔方面国内相比于国外在某些方面还略有不足，但是整体上国内外的高精度冷拔工艺已经较为成熟，已经应用到生产之中，并且取得了良好的效果。

1.3.2 钢管冷拔中智能制造的国内外发展现状

随着信息技术和电子技术的不断深入发展，给人类的生产生活带来了颠覆性的变化，生活中各类信息化的电子产品极大地提高了人们的生活质量；相同的，信息技术与电子技术等应用到制造业的生产之中，不仅能够提高产品的质量，更能降低生产成本，提高生产效率。早在上个世纪末期就已经有小部分发达国家提出了智能制造的概念，并对其进行了一些试探性的研究。日本作为最早发展智能制造的国家之一，早在 1990 年就提出了智能制造的相关概念，进入 21 世纪，美国、德国、欧盟等都将智能制造作为国家发展的重要战略，智能制造俨然成为未来工业发展的主要方向。大量的学者研究智能化技术在生产过程中的应用，R Zhang 等人研究了托卡马克机的优化制造工艺，并对其基本结构进行了研究，还提出了托卡马克机智能制造系统可以有效地节约成本，提高产品质量^[12]；Marilza A. Lemous 和 Eduardo V. Liberado 研究了智能系统在机器人装配过程中的应用^[13]，高世一在对提高制造系统的生产控制性能的研究中，建立了基于多智能体的混合控制模型^[14]，能够有效地对生产过程中的各个环节进行有效地管理，实现各个智能体之间的相互协作，进行分布式的控制。如图 1.2 是 PLC 智能检测系统在冷拔钢管生产中应用的系统结构图。

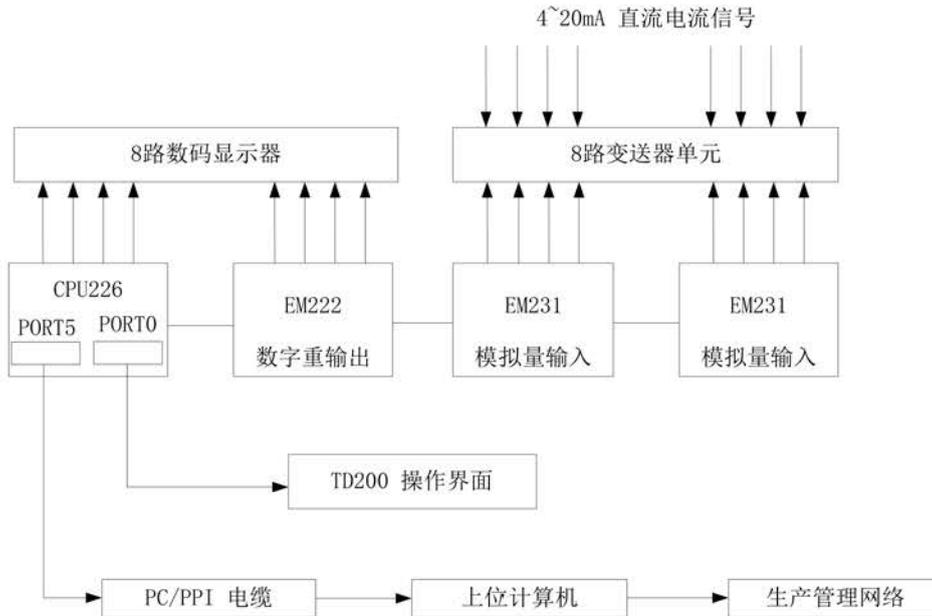


图 1.2 PLC 智能检测系统结构图

随着智能化技术在工业生产领域内的不断发展，其在钢管的冷拔生产中的作用也受到了关注，很多学者开始对其进行研究。XQ Wan 等对智能型全液压无缝管钢管冷拔机床液压系统进行了研究^[15]，对整个床体的结构、调速系统、液压挤头机构以及液压系统进行了分析，克服了原有机床质量不能保证的缺点，从技术上保证了产品的质量，显著地提高了产品质量；J Gou 等研

究了 CAPP 技术在钢管冷拔工艺设计中的应用^[16]，阐述了冷拔钢管时计算机辅助设计在冷拔钢管生产中的作用，分析了其组成结构和设计方法，并研究了一种新型的 CAPP 系统，对钢管的冷拔工艺进行设计，能够提高生产过程中的智能性，且实用性较强，能够投入生产中使用；菅宸龙等人针对传统的磷化设备通过人工的方式进行生产，在生产效率方面较低的问题，研究了一种能够自动控制的钢管公端的磷化自动控制系统^[17]，该设备由西门子公司的 PLC 为控制核心，结合工业现场的传感器，实现对公端磷化设备的自动控制，有效地提高了钢管生产过程中的生产效率；黄维秋等人研究了钢管生产工艺中过程计算机系统的应用，介绍了过程计算机系统的总体布局、网络结构，以及其主要的功能和功能完善工作^[18]，根据实际生产中在某公司中的应用情况，分析了整个系统的运作方式以及其在生产过程中的优势；胡恒法就智能制造在钢产品的生产过程中的应用进行了探讨，阐述了智能制造的内涵，分析了智能制造在提高企业竞争力上的作用^[19]，针对钢工业发展的特点，叙述了智能制造在钢工业生产中信息化生产、力学性能预测、产品质量保障等各方面的应用经过一系列的努力。如图 1.3 是对钢管信息追踪中一种条码自动扫描装置结构示意图。

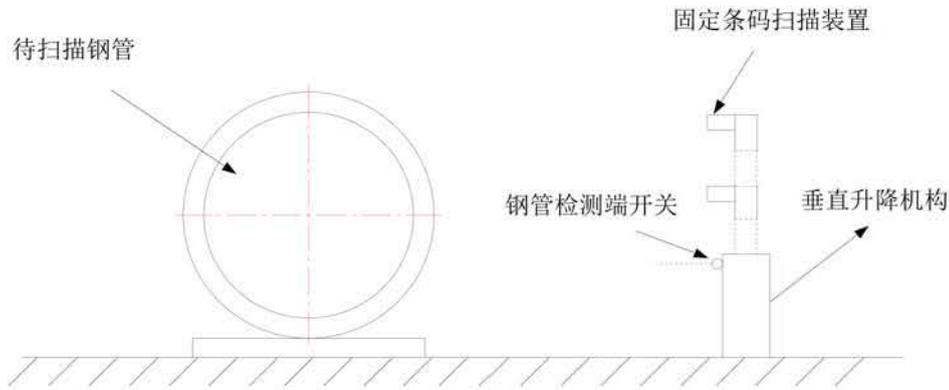


图 1.3 自动扫描装置结构示意图

当钢管到达指定位置后通过垂直升降器调整高度，对钢管进行识别，如果在规定时间内没有检测到有效的识别信号就会发出警报。虽然钢管的冷拔工艺没有完全的达到智能生产水平，但是相比于初期的冷拔工艺生产线，冷拔钢管生产工艺的自动化、智能化程度已经有了很大的提高，生产效率、产品质量上也有很大的提高。

智能化是当今的一个热点话题，也是发展的主要方向，智能化带来了极大的便利的同时也带来了巨大的挑战。制造业一直是衡量国家实力的一个重要因素，而智能化的制造可以极大的提高一个国家的制造业水平，在提高生产效率、产品质量，降低生产成本上有着极大的作用。因此，发展智能化的制造是现阶段工业发展的首要任务。

1.4 钢管冷拔工艺的智能化技术研究

钢管的冷拔工艺主要是对钢管进行冷拔前处理、冷拔以及冷拔后质量的检查，如有需要还

会对钢管进行矫直、切断等简单加工，在冷拔前处理的过程中，退火、酸洗、润滑三个工艺对产品的质量影响最大，冷拔时拉力等因素也会影响钢管的最终质量，而质量检测则是对钢管质量的保障。传统的无缝钢管冷拔生产中，生产工艺是否按照预期目标严格执行是由操作人员来控制的，人在生产加工中本身就具有不稳定因素，不同的操作人员针对相同的生产工艺评价标准也不尽相同，这就是为什么按照同一种方法生产同一种产品，不同的工人生产的产品质量是不同的。针对传统的钢管冷拔生产工艺的这一缺陷，使用传感器、微机等智能元器件，对生产线进行智能化的改进，使生产工艺严格按照同一标准执行，达到提高生产效率、降低生产成本、提高产品质量的目标。

钢管冷拔前处理工艺主要包括了退火、酸洗、磷化皂化工艺，可以使用光电传感器对参与工艺的钢管进行计数，并且可以通过该信号判断生产线上设备的工作状态，三个工艺对生产时的温度以及进行工艺的时间都有着一定的要求，可以使用温度传感器检测工艺现场的温度，将该信息传递给控制器用以控制现场的执行机构，此外控制器还会通过其内部的计数器来控制工艺进行的时间；钢管在进行冷拔时的平稳性很重要，这就需要冷拔的拉力尽量恒定（理想状态下应该是恒定不变的），这个平稳性在生产线上表现出来就是冷拔时钢管的移动速度较为恒定，没有很大的波动，可以使用速度传感器检测钢管的移动速度，一旦出现波动就将信号传递给控制器，让控制器终止冷拔工作并发出警报信号，提醒工作人员出现故障；产品检测工艺是在原有的基础上添加一个控制器，控制器需要结果将不合格的产品剔除，以替代过去人工剔除不合格产品，并且控制器会对不合格产品以及产品总量进行计数，并计算出产品合格率，当该值低于一定的数值时，会发出警报提醒工作人员生产线出现故障。

通过智能化改进的高精度冷拔生产工艺，是将整个生产工艺按照生产过程中的作用分成几个部分，每个部分都有着自己的控制器，对该部分生产工艺进行控制，并且各部分还会通过一个总控制器进行信息的交互。每个生产工艺的各部分相对独立，通过总控制器相关联，共同协作完成生产任务，在后文中再进行详细介绍。

1.5 论文的组织架构及章节安排

根据现今制造业发展的主要方向，为了提高生产效率、产品质量，降低生产成本，减少工作人员的工作强度，改善工作环境，在常熟市无缝钢管有限公司现有的高精度冷拔工艺的生产线基础之上，通过添加智能化的设备以及提高生产过程中的自动化水平，实现高精度冷拔工艺的智能化改进，论文的各章节内容安排如下：

第一章：绪论，对课题来源以及高精度冷拔和智能制造的国内外研究现状进行了分析，介绍了冷拔工艺以及智能制造在冷拔工艺中应用的实例，对课题的研究意义进行了分析，并对论文的研究方向进行了阐述。

第二章：对高精度冷拔工艺进行了介绍，以一种高精度冷拔管的生产工艺为例，分析了工艺参数对产品质量的影响。根据对产品生产工艺的分析，提出了对高精度冷拔工艺参数的检测内容以及控制要求，初步分析了智能化改进所需要实现的功能。

第三章，首先对非智能化的高精度冷拔工艺进行了分析，指出了现有生产工艺的不足之处，然后对高精度冷拔工艺智能控制系统进行设计，进一步设计高精度冷拔智能化改进的功能，对生产线的智能化改进以及整个检测系统进行整体设计。根据生产线的现实条件拟定工艺参数的检测方案，并根据生产条件制定生产线的控制方案，提出了退火工艺以及酸洗磷化皂化工艺的智能化改进方案，对其信息采集和控制过程进行了设计。最后分析了冷拔过程和质量检测过程的功能需求。

第四章，根据前一章对高精度冷拔智能化改进系统的整体设计，针对冷拔工艺中的两个关键工艺“冷拔过程”和“质量检测过程”进行了研究，提出了智能化改进的方案，对冷拔过程和质量检测过程的进行了改进，根据生产中的现实需求，选用适合的生产零部件，对生产工艺信息的采集、处理及控制过程进行了设计，并设计了 CAN 总线的通信方案，使用 CAN 总线实现生产的通信过程。

第五章，对高精度冷拔工艺智能化生产的控制界面进行了设计，实现了生产数据在 Web 网络上的传输，并按照设计要求改造了高精度冷拔工艺生产线，试制出了高精度冷拔钢管，并与之前的生产工艺进行了比较，验证了所设计方案的可行性。

第六章，总结，对智能化的高精度冷拔生产线尚存在的问题进行总结并展望。

如图 1.4 为文章总体框架图。

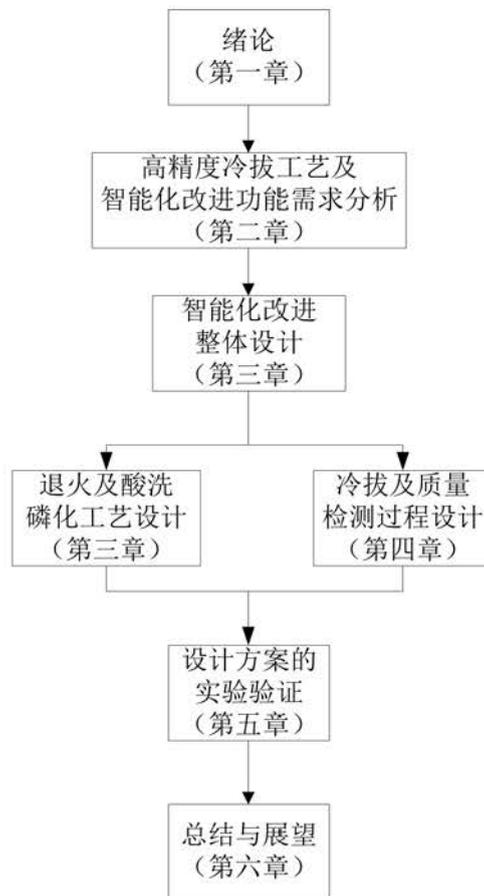


图 1.4 文章总体框架图

1.6 本章小结

本章通过对智能制造的话题讨论以及现实生产中的需求，引出了本文讨论的课题，对高精度冷拔工艺的智能化改进，讨论了课题研究的意义，随后介绍了冷拔工艺的国内外发展现状以及智能制造在冷拔过程中的应用现状，最后对文章的组织架构和章节安排做了简单的介绍。

第二章 高精度冷拔钢管的生产工艺研究

2.1 引言

在日常生活中,无缝管钢管的使用随处可见,从家用自来水管到一些发动机是用的空心轴,以及运输天然气的管道,都是无缝钢管所制成的产品,不同的产品对钢管的工艺要求虽然不同,但是现今所使用的无缝钢管绝大多数都是通过冷拔工艺所生产的。

当今市场竞争越来越激烈,工业生产越来越追求低成本、高效率的生产方式,在生产过程中尽可能的减少生产步骤,这样不仅可以降低生产成本,而且能够缩短生产周期,提高产品的竞争力。通过传统的冷拔工艺生产出的无缝钢管还需要进行机械加工才能够投入使用,然而一般生产冷拔钢管的公司都不具备对其进行机械加工的能力,需要将钢管送到机械加工的生产商进行加工才能够投入市场,这使得无缝钢管的生产周期变得很长,而使用无缝钢管的产品的生产周期更长。这样的生产方式在当今强调生产效率的市场竞争中会使产品错失先机,影响产品的竞争力。而且为了给机械加工预留加工余量,传统的冷拔工艺生产出的钢管比高精度冷拔工艺生产的钢管要消耗更多的原材料,还在产品中增加了机械加工的成本,采用高精度冷拔工艺不仅可以节约资源,还能够降低生产过程中的成本,逐渐成为各钢管生产商所青睐的生产方式。

高精度冷拔钢管生产工艺是在传统冷拔工艺基础上进行改进,生产出满足使用的形位公差、尺寸公差等要求,可以直接投入使用,这就减少了中间机械加工的环节,降低了无缝钢管的生产周期,同时由于减少了机械加工这一环节,也降低了生产成本。

2.2 高精度冷拔管生产工艺介绍

如图 2.1 为高精度冷拔管,该图中对钢管进行了切割,可看出高精度冷拔无缝钢管表面精度较为良好。



图 2.1 高精度冷拔管

由于高精度冷拔工艺是通过普通的冷拔工艺进行优化改进而进行生产的，所以其工艺也是主要包含了退火、酸洗润滑、冷拔等几个步骤，现以一种型号的无缝钢管的生产为例，简述高精度冷拔工艺步骤。如下表 2-1 和表 2-2 为毛坯管和成品管的参数。

表 2.1 毛坯管参数

项目	外观	外径	内径
项目参数	无灰尘、锈蚀	$34 \pm 0.2\text{mm}$	$6.0 \pm 0.5\text{mm}$

表 2.2 高精度冷拔管参数要求

管理项目	外观	外径	内径	圆柱度	硬度
项目参数	无灰尘、锈蚀	$\phi 25^{+0.05}_{-0.05}\text{mm}$	$\phi 15_0^{0.2}\text{mm}$	0.05mm	HRB90~100

根据毛坯管和成品管的尺寸参数，制定了通过两道次冷拔的生产工艺，生产工艺路线如图 2.2 所示。

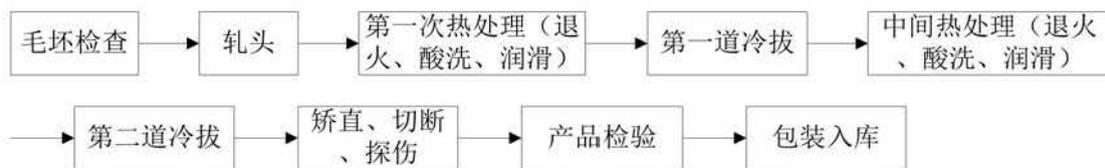


图 2.2 冷拔工艺路线图

毛坯管是通过普通冷拔生产的，为了使冷拔模具能够很好地与钢管接触、降低冷拔时钢管与模具之间的摩擦以及提升钢管的冷拔性能，在冷拔前需要钢管进行一系列的处理，考虑到毛坯和成品之间的形变量较大，采用了两次冷拔成型的工艺。由于冷拔是通过塑性变形来进行生产的，在这个过程中就有可能对钢管造成损伤，因此在产品入库前，必须对其进行无损检测，以保证产品的质量。针对不同的无缝钢管，生产工艺可能稍有不同，由于形变量的原因，有些

钢管只需一次冷拔成型，或者需要多次冷拔成型，但是整体上的工艺路线基本相同。

2.3 高精度冷拔管工艺对产品质量影响的研究

在对无缝钢管进行高精度冷拔的时候，冷拔前的处理工作、冷拔工艺以及后期的产品质量检测对无缝钢管产品质量都有着重要的影响。前期的处理是为了使得钢管具有良好的冷拔性能，不至于在冷拔时出现开裂等状况；冷拔时需要注意受力状况等因素，要保证冷拔过程平稳的进行；无损检测是为了保证无缝钢管产品的最终质量。冷拔过程中有诸多因素都会对产品的最终质量产生影响，对于这些因素对钢管产品质量的原因有着很多的研究，在智能制造的时代，各种智能化的功能应用到钢管的生产之中，这也进一步促进了整个钢管行业的发展。

2.3.1 冷拔预处理工艺对产品质量影响

任何生产工艺在进行生产之前，首先都需要对原材料进行检查，高精度冷拔工艺也需要对毛坯管进行检查，并且还需要对其进行轧头，使得冷拔模具能够很好的与钢管嵌套上，但是进行轧头的部分在冷拔完是被当作废弃的部分切除，因此轧头的长度应该在能够保证正常生产的情况下尽可能地短一些，如表 2.3 为毛坯管及轧头参数要求。

表 2.3 毛坯管及轧头质量要求

项目	要求	检测方法
外观	无锈蚀、凹痕、擦伤	肉眼检查
直径	34.0±0.2mm	外径千分尺
厚度	6.0±0.5mm	壁厚千分尺
轧头直径	23±5mm	直尺
轧头长度	170±30mm	皮尺

这两步不是高精度冷拔的关键工艺，这里不再赘述。在上述预处理工艺中，退火、酸洗润滑对无缝钢管产品的质量有着重要的影响。

1) 退火工艺

退火是为了使冷拔管的材料柔韧性适中，因为毛坯管在生产的过程中会发生加工硬化，存在残余应力，这使得毛坯管的力学性能不一定适合进行高精度冷拔，并且理论上的等径冷拔很难实现，钢管在冷拔时内外表面的变形量是有着一定的差别的，这个变形差越大导致残余应力越大，将变形差记为 σ ，变形差的计算公式为式 2-1。

$$\sigma = \left(\frac{d_0 - d_1}{d_0} - \frac{D_0 - D_1}{D_0} \right) \times 100\% \quad (2-1)$$

其中 d_0 、 D_0 为冷拔前钢管内外径； d_1 、 D_1 为冷拔后钢管内外径。

残余应力对钢管的后期加工影响很大，而且大部分残余应力对于生产过程都是有害的，残

余应力很可能导致生产过程中某一部分钢管受力过大，使得钢管出现开裂等不可修复的现象，而且钢管的残余应力分布也是有区别的，如图 2.3 为钢管等径冷拔钢管管壁中残余应力分布^[22]。

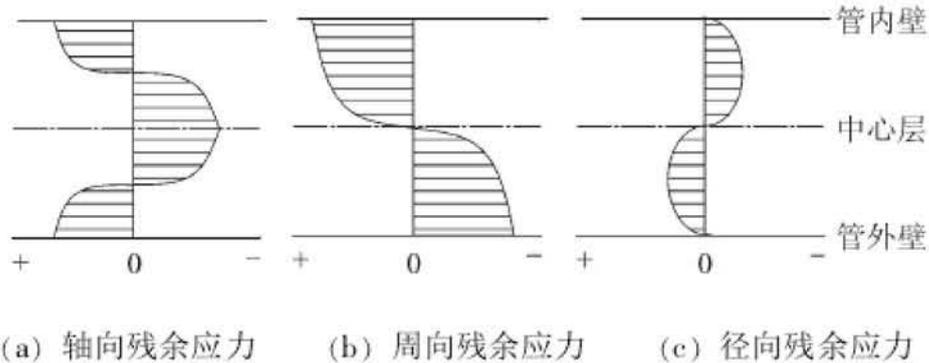


图 2.3 等径冷拔钢管管壁中残余应力分布图

而冷拔是通过塑性变形来进行生产，冷拔过程中会产生很大的形变，这个形变表现在钢管内部就是受到强外力的作用，残余应力在钢管上的存储能量被释放出来，这时钢管所处的室温环境下不能够使得钢管内部的晶相发生变化^[20]，这个能量的释放就表现为钢管的开裂等不良现象，严重影响了冷拔钢管产品的质量，必须要对其进行退火。

退火的温度需要控制在一定的范围内，不仅能够去除钢管内的残余应力，而且要保证钢管的力学性能，保证在冷拔过程中钢管不受到损伤的同时是钢管具有一定的物理特性。最后一次冷拔之后不需要退火，利用钢管冷拔过程中的加工硬化使得钢管外硬内韧，符合产品的要求。

2) 酸洗、磷化皂化工艺

由于退火过程对钢管进行了加热，在钢管表面已发生氧化反应，钢管表面会附着氧化皮，需要清除这层氧化皮，对钢管进行酸洗，防止其在冷拔时对钢管表面造成损伤。进行酸洗时需要控制好酸洗时间，需要将氧化膜进行充分化学反应但又不能损伤到钢管，消耗原材料。

由于外模和内模的挤压，沿着钢管冷拔方向所受到的垂直压力很大，根据摩擦力的计算公式这就会使得钢管在冷拔时受到的摩擦力很大，如图 2.4 是冷拔过程的示意图。

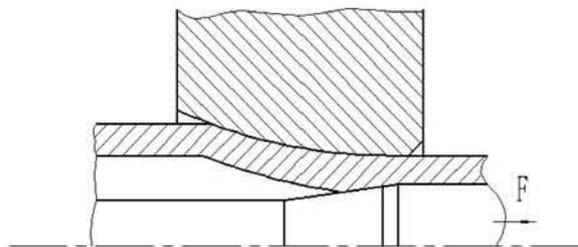


图 2.4 冷拔示意图

拉力 F 将钢管向一侧拉动, 钢管受到拔模挤压成型, 在钢管内外表面受到的挤压压力很大, 根据摩擦力公式 2-2。

$$F_{\text{摩}} = \mu F_{\text{压}} \quad (2-2)$$

在接触面一定的时候, 摩擦系数 μ 是一个常量, 当压力很大的时候, 摩擦力也会很大, 为了防止过大的摩擦力使钢管在冷拔时表面受到损伤以及将钢管拔坏, 需要对钢管进行润滑, 通过减小摩擦系数的方式减小钢管受到的摩擦力。润滑的过程是对毛坯管进行磷化皂化, 使其在钢管表面形成一层磷化膜, 在钢管进行拔制的时候起到润滑的作用。

酸洗、磷化皂化需要合理的配比酸溶液和磷化液, 而且要合理的安排进行该工艺的时间以及各溶液的温度, 酸洗在室温下即可进行, 时间约为 30min, 酸洗时间过长或酸液浓度过高, 会对钢管酸蚀过度而产生麻点、凸凹, 反之则达不到酸洗的效果, 无法去除钢管表面的氧化皮等^[21], 磷化时的温度至少要 60℃ 但是不要超过 80℃, 磷化液配比不当, 或加热时间和温度不当就会影响磷化膜的形成, 会影响钢管冷拔时的减磨、抗磨性, 使冷拔时的摩擦阻力增大^[22], 冷拔的摩擦阻力过大会使得拉拔过程难以实现, 需要更大的拉力才能够实现冷拔, 严重时拉力超过钢管所能承受的极限拉力可使钢管断裂。

2.3.2 冷拔过程对产品质量的影响

在做好预处理工作之后就可以开始对钢管进行冷拔, 钢管的冷拔中最重要的就是虎钳的夹紧力以及冷拔时所需要的拉力。对钢管进行冷拔时需要控制虎钳的夹紧力, 在冷拔过程中不能使钢管松动, 并且钢管受到的拉力不能有很大的波动 (理想状态下拉力应该为恒定值), 冷拔的过程应当平稳, 如图 2.5 为钢管冷拔过程。



图 2.5 钢管冷拔过程

冷拔时的轴向拉力不能过大, 要控制好冷拔的速度, 由于冷拔时模具和钢管之间的摩擦力在做功, 会发出大量的热, 速度过快会使得冷拔时摩擦力的功率变大, 摩擦产生的热量不能够及时的散去, 使得局部温度过高, 对钢管表面质量造成不良的影响。但是冷拔过程又需要保证一定的冷拔速度, 不能因此影响生产效率。而且冷拔时如果拉力不均匀会使得冷拔过程产生震

动，钢管在冷拔时产生震动会引起钢管表面与拔模发生碰撞等不良后果，影响表面质量，而且还会对钢管的圆柱度产生影响，会严重影响钢管产品的质量。

因此冷拔时采用冷拔夹头夹住轧头进行冷拔，冷拔夹头夹紧力大，冷拔过程中可以恒定的施加轴向力，使得冷拔的过程平稳的进行，冷拔模具采用硬质合金钢，硬质合金钢不易磨损，可以防止冷拔过程中由于模具磨损而带来的误差，如图 2.6 为冷拔模具内模。



图 2.6 冷拔模具内模

通过冷拔内模可以看出采用的是锥形模，选用锥形模是因为锥形模可以较好的改善冷拔时钢管的受力状态，能够减小金属变形时的所受切向拉应力的影响，从而进一步保证钢管的表面质量。

2.3.3 冷拔后对产品质量的保证

为了保证产品的质量，在冷拔之后还要对冷拔管进行矫直、检测等处理，其中尤为重要是入库前的产品质量检测。在冷拔过程中即使是在最理想的状态下也有可能由于各种因素的影响而使得钢管的质量产生一定的瑕疵，虽然这只是会出现在少量的无缝钢管上面，但是为了保证产品整体的质量，在生产完无缝钢管后需要对产品质量进行检测。

对无缝钢管的质量检测是采用无损检测的办法，常用的检测方法有：

- 1) 超声检测。将具有较强穿透能力的超声波导入钢管中，在遇到前后声阻抗不一致的界面时一部分声波会被反射回来，产生回波，系统可检测到这些回波，并进行放大处理，转换成数字信号，呈现在屏幕上，反射回来的能量大小与界面两边介质声阻抗的差异和交界面的取向、大小有关。
超声检测是无损检测过程中应用较为广泛的一种手段，超声检测探测深度很深，这是其最为突出的特点，此外超声检测的灵敏度高、周期短、效率高^[23]，超声检测适用于表面相对平整光滑的产品，对于厚度尺寸较大的产品，使用超声检测最为适合。
- 2) 漏磁检测。可以采用漏磁纵向探伤装置对管材进行纵向探伤，采用漏磁横向探伤装置探测裂纹及表面缺陷。磁化之后，由没有缺陷钢管感应出的磁力线矢量绝大部分会平行的通过管壁，而有缺陷的钢管感应出的磁力线由于铁磁性材料的导磁性和缺陷处空气的导磁性有差异，会使得磁力线矢量发生弯曲，部分磁力线矢量会漏出管壁。通过对钢管表面漏磁场进行拾取，对此信号进行拾取与分析，就可以得到钢管表面数量的

信息。

在进行漏磁检测时，利用探头线圈对钢管表面的漏磁场进行检测，探头线圈内部会产生一个感应电压，将漏磁场信号转化为电信号，通过对电信号的进一步分析和处理，就可以确定钢管的质量信息^[24]，其原理如图 2.7 所示。

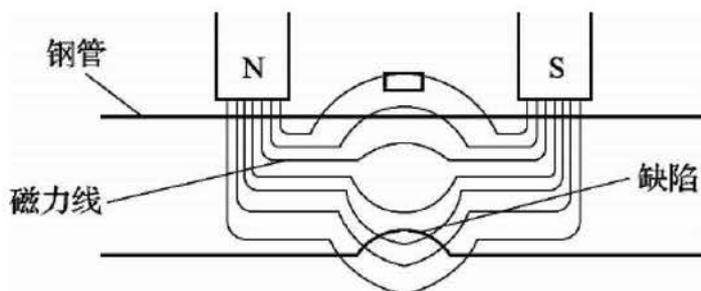


图 2.7 漏磁无损检测原理图

- 3) 涡流检测。利用电磁感应原理在钢管表面形成涡流，有缺陷的钢管与合格产品的涡流会有所不同，通过检测涡流就可以检测钢管的质量。涡流检测可以不通过耦合介质，也不需要接触就可以进行，检测表面缺陷的灵敏度很高，可以准确指示出缺陷位置，并且检测效率高，易于实现生产过程中的自动化。
- 4) 涡流检测是将被测物体等效成一个线圈，利用电磁场中电磁转换的基本定律，分析线圈内部阻抗的变化^[25]，就可以得到钢管是否有缺陷，通过进一步分析家可以知道缺陷的形状、大小等信息。并且通过使用多频涡流检测^[27]、频带涡流检测^[27]，还可以增加涡流检测的深度，增大检测范围等，使涡流检测适用范围更为广泛。

在生产过程中三种检测手段各有优点缺点，在一些对产品要求较为苛刻的生产过程中还会使用组合检测的技术。相比于单一的检测方法只能对无缝钢管的部分参数进行检测，组合检测技术可以对钢管进行质量的全面检测，例如：以采用超声探伤手段对无缝钢管的气孔和砂眼进行检测，采用涡流探伤和磁粉探伤对裂纹进行检测^[28]。

考虑到生产成本、实现的难易程度以及现场的工作状况等诸多因素，采用了涡流检测的方法对产品进行检测。虽然涡流检测不能检测结构复杂的物体，并且只能检测深度较低，但是无缝钢管结构比较简单，而且壁厚不是很大，可以采用涡流检测对其进行无损检测。

2.4 智能制造在高精度冷拔钢管中应用的研究

智能制造的生产方式正在改善传统生产中的各种不足之处，它能够有效的提高生产效率，改善生产过程中工作人员的工作环境，提高产品的质量，能够实现对生产过程的整体控制，协调生产过程，提高生产中的柔性化程度。

2.4.1 传统制造方式的缺陷分析

在传统的生产过程中，只有在生产车间内才能够了解生产的状况，对于没有进入生产车间的人来说，生产过程仅仅相当于一个黑箱，对里面的状况不能够了解。然而在很多时候，人们希望即使不在生产车间，也能够实时获得生产信息，这样才能够更好的控制生产过程的进行。

以往在生产时，一旦调整好工艺参数后，就认为可以进行正常的生产，可是工业生产环境是很复杂的，生产设备也有可能发生故障，从而导致生产出不合格的产品。这时再回过头来考虑生产工艺中对产品的影响，一一检查可能对不合格产品造成影响的工艺，从而发现生产过程中的问题；这样的生产方式不仅使得在检查时效率低下，而且产品已经出现不可逆转的缺陷，已经造成了经济损失，并且不容易检测出是在什么时候出现故障，对于已经进入仓库的产品质量也是一种安全隐患。智能制造的环境下，会实现对物料的跟踪，将整个生产工艺分为几个部分，对每一个部分分别进行控制，并且在每一个部分生产完成后都会对产品（半成品）进行一次检测，从而达到对生产工艺的实时检测，当生产线出现故障时，可以迅速的找到事故地点，并发出警报提醒工作人员及时的解决生产故障，可以有效的提高生产效率以及产品的质量。

在传统的生产模式中，没有对物料进行跟踪，当物料运输到生产设备旁时，没有对物料进行“感知”，直接对物料进行加工，这就有可能发生物料运输出现问题，将本应由一种生产设备加工的物料放入了其它生产设备中进行生产加工，或者使得某些没有完成上一步工艺的物料也混入了加工物料之中却不能察觉，这会对产品的质量有着很大的影响。智能化的生产中，物料运输系统“知道”物料的信息，并且能够感知到需要将物料运输到什么地点，生产设备在物料进入时可以通过与物料运输系统进行信息交互或者主动读取物料信息来判断是否对该物料进行加工。

在传统工业生产的过程中，人的参与量占有很大的比重，生产过程中很多工艺参数有工作人员来判断是否合格，各项工艺参数的数值也是由工作人员来设定的，这就使得工作人员的个人状态对产品的质量有着重要的影响：当工作人员个人素质高、状态良好时，生产出的产品质量就好；反之则有可能生产出不合格的产品。智能制造能够改变这一现状，通过使用传感器、控制器使得对工艺参数的控制严格的按照一定的标准规来进行，降低人在工业生产中的参与，将个人对生产过程的影响降到最低。

传统生产过程中，只有在生产车间才能够了解到生产数据，外部环境下去想知道生产车间内的信息是比较困难和麻烦的，需要去现场测量记录，然后再将数据传递给相关人员，这样采集到的数据时效性差，而且不能观察到工业现场生产工艺参数的变化情况，假若采集到的数据有问题，再去改正生产工艺参数，这是可能已经生产出很多按照错误的工艺标准生产的产品。智能化的生产可以在检测现场生产状态的同时，将检测到的数据通过现场总线、物联网技术等传递出来，供操作人员以及其它部门人员进行查看，这样采集的数据时效性较高，能够反映生

产车间的生产状态，而且工艺参数出现误差时可以及时的进行修正，能够提高生产效率。

总之，传统的生产模式对生产信息不能及时的了解，出现了故障后检测困难，工作人员对生产的产品质量影响大等不足之处，在现今日益激烈的市场竞争的环境条件下，处于劣势地位。在市场变化日益剧烈的条件下，生产效率显得极为重要，传统生产模式的缺陷使得生产的效率较低，在智能化的生产条件下，生产前向控制器内输入设定的工艺参数标准，生产过程通过控制器进行控制，能够及时的检测、了解生产状况，出现问题时能够及时的解决，能够显著提高生产效率。

2.4.2 智能制造在高精度冷拔中的应用

钢管的使用关系到人们的生产生活，冷拔钢管的生产是一个传统的行业，而这个行业劳动强度大、工作环境恶劣，这就影响了操作人员的工作效率和工作质量，针对这一现状，对其进行智能化改造。智能化的改造是通过添加传感器等智能元器件，将以前人工控制的工艺改造成通过机器控制，为生产工艺划分统一的标准，降低生产过程中的不稳定因素。

任何产品的生产过程中，信息的管理是十分重要的，钢管冷拔过程也不例外。在生产过程中，可以使用 MES (Manufacturing Execution System) 生产执行系统来对钢管的生产车间的状况进行信息化的管理^[29]，将产品质量、人力资源、生产的调度以及生产设备的信息等进行统一化的管理，现场的终端通过交换机与数据库进行通信，实现信息的采集、存储、处理等功能。对在生产线上正在进行加工钢管信息追踪是信息管理的一个关键部分，它反映了钢管的实时状态，可以通过条码技术实现，条码技术是现在工业中信息的采集应用的最多的标识技术，使用起来成本较低，可以支持实现生产过程的信息化，该技术包括了条码喷印、条码识别、产品条码信息查询三个部分^[30]，使用防磨墨水将条码喷于钢管外壁，然后通过条码进行识别就可以识别条码内的信息，实现数据的交换和对生产过程的控制，这种做法可以实现钢管信息的回溯跟踪，能够很大程度上提高产品的自动化水平。在钢管的退火、酸洗磷化皂化酸洗和冷拔过程中也可以实现智能化的改进，可将温度控制系统应用在酸洗工艺上^[32]，针对传统的酸洗工艺中对生产线上设备的腐蚀，设计了针对冷拔的酸洗温度控制系统，很好的控制了酸溶液的挥发，降低了冷拔车间设备因为酸腐蚀而导致的使用寿命的降低，该系统还可以应用在磷化皂化工艺；退火炉的退火也可以实现自动控制^[33]，通过使用微机、智能仪表以及变速器等器件，设计了退火炉的自动控制系统，大大降低了能源消耗，提高了生产效率，提高了钢管退火质量；以及通过 PLC 实现钢管冷拔机的电气控制^[34]，将这些控制过程加上一个上位机进行控制，并实现信息的传递等功能，则可以使得生产过程变得更加智能。而且现在还有通过 PLC 控制的智能检测系统已经运用到生产之中^[35]，利用了 PLC 在计数计长方面的特点，设计了检测装置，这个系统能够对冷拔时间、冷拔长度、根数等进行统计，实现冷拔过程的控制。

近几年，随着智能制造的兴起，对钢管生产工艺的智能化改进的研究也不断地深入，但是大多数都是对某一个工艺过程进行研究，将各个生产工艺综合起来考虑的研究相对较少。生产过程是各个工艺过程共同作用的结果，需要将各个部分的信息进行交互、统一管理，才能实现整个生产线的智能化，大幅度提高生产线的生产能力。

2.4.3 高精度冷拔工艺智能化改进的预期目标

通过分析各个工艺步骤对无缝钢管产品质量的影响，可以确定为了保证冷拔过程的顺利进行所需要检测的各项参数，将检测到的参数转化成数字量传递给控制器，控制器可以根据检测到的参数对生产设备进行控制。现场 I/O 口采集现场的数据传递给控制模块，控制模块根据采集到的信息向执行机构发出指令并向上位机传递数据，操作人员可以通过人机交互界面了解生产线上的工作状态，根据现场的工作状态通过控制模块对工作现场进行控制，整个系统的概念如图 2.8 所示。

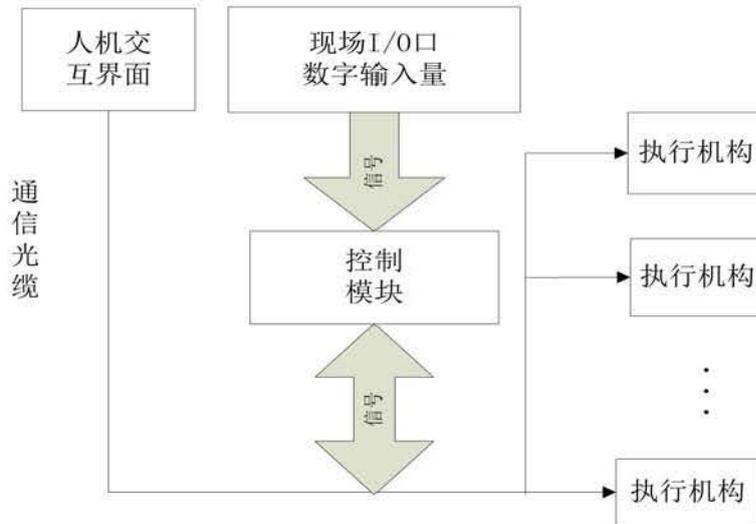


图 2.8 现场控制简图

无缝钢管的生产不仅要选用合适的生产工艺，并且还要保证这些生产工艺能够落实，这样生产出的钢管才能够符合要求，这就需要对生产工艺各项参数进行检测。检测到的信息会被传递给控制器以及上位机，作为判断生产线工作状态的重要依据。

退火过程中不仅要控制退火的温度在一定的范围内，还需要保证退火时间的合理性，因此在退火过程中需要检测退火温度以及退火时间两个量，退火温度可以通过传感器测量，退火的时间通过计时器统计，将统计到的信息传递给计算机统一进行管理，并对信息进行存储。在对退火温度进行检测时本应选择退火材料进行检测，但是由于直接对材料的温度进行检测难度很大，可以选择退火炉内部的气体温度作为检测参数，该温度与材料的温度十分接近，可以作为被控制的退火温度。磷化皂化时，不仅需要合适溶液的酸碱度，钢管在溶液中浸泡的时间应

该足够充分，才能在钢管表面形成磷化膜，并且还需要翻转浸泡在溶液中的钢管，防止钢管之间互相接触的地方没有进行磷化皂化。这就需要通过计算机以及 I/O 设备对溶液的酸碱度进行测量，并且对浸泡时间计时，浸泡过程中还要晃动钢管，以保证钢管能够充分的磷化皂化。酸洗的过程与磷化、皂化类似，这里不再赘述。冷拔时需要检测拉力以及冷拔的速度，保证冷拔过程平稳的进行，当出现波动时，检测的信号会有突变，可以将这个突变信号传递给控制器来判断工作状态。无缝钢管的生产都会对钢管的缺陷进行检测，该无缝钢管采用涡流检测的方式。本课题在其检测装置的基础上将检测到的信息采集，根据采集到的信息将有缺陷的钢管按照缺陷类型分类，将合格产品也归为一类，分别发出不同的信号，并将信号传递给上位机，由上位机对信息进行统一的管理。

在对高精度冷拔工艺进行控制的过程中，首先要能够对整个生产线进行启停的控制，这一部分由总控制器来完成。当生产线出现较大的问题时，例如：冷拔时钢管断裂、产品合格率过低、某一部分设备出现故障等现象时，总控制器能够发出信号给各个部分的控制器，停止生产作业，终止生产线的运行。各个部分的控制器分别对前期处理工艺、冷拔过程、检测过程等进行控制，控制器之间能够进行信息的交流，共同协作完成生产任务。在冷拔前处理的工艺中需要对退火的温度、时间进行测量，并且还需要对退火炉进行判断是否能够进行工作，要合理的进行物料的运输控制；酸洗、磷化皂化时需要使用控制器控制执行机构适当的翻动物料，合理控制反应温度以及时间。当该部分出现故障时，将信息传递给总控制器，并能够中断该部分工艺，防止进行错误生产。冷拔时对冷拔力、冷拔速度等信息进行测量，控制冷拔过程平稳进行。当检测装置检测出不合格产品时，能够自动将产品进行剔除，并自动计算产品的合格率。对高精度冷拔工艺进行智能化改进之后，能够实现物料的自动运输，对生产线上的工艺参数能够自动进行检测，能够进行自我调整，当出现不可调整的故障时，发出警报，提醒工作人员排除故障。整个生产线在正常生产过程中可以实现智能化的生产并具有一定的自我调节能力，只有出现严重故障时才会需要工作人员进行参与，并且生产线上的工艺信息能够通过控制器传递到上位机，实现远程的信息交互。

2.5 本章小结

本章首先对高精度冷拔工艺做了简单的介绍，然后针对该工艺中的关键工艺，详细分析了其在生产过程中的作用，以及对最终产品的影响，对生产过程中工艺的要求做了简单的分析。接下来根据工艺中工艺参数的要求，在原有的生产线的基础上提出了智能化改进的大致方案，对各部分的控制进行了简单的分析。最后总结了智能化改进的总体要求，对智能化改进的目标进行了简述。

第三章 高精度冷拔管制造工艺的智能化改进与系统设计

3.1 引言

随着计算机技术以及现代工业的发展，为了适应全球化市场的复杂需求变化，工业生产的智能化已经成为一种不可逆转的发展趋势。相比于人占绝对主导地位的生产方式，智能化的制造有着其独特的优势，智能化的工厂已经成为现代工业生产的目标之一。在智能制造中，通常将一个能够与外界环境进行信息的交互，并且能够与其它物理或逻辑实体进行“交流”的单元，称为一个 Agent^[36]，如图 3.1 所示为 Agent 基本要素图，在工业生产中，一般需要多个 Agent 共同协作，完成生产任务，称为多 Agent 系统 (Multi-agent system, MAS)。一个 Agent 一般具有感知部分、执行部分、知识库、决策部分以及通信部分，感知部分负责将外界信息采集起来，知识库和决策部分共同作用于这些信息，最后传递给执行机构指导其运行，通信部分主要负责 Agent 之间的信息交流，共同协调，完成生产指令。

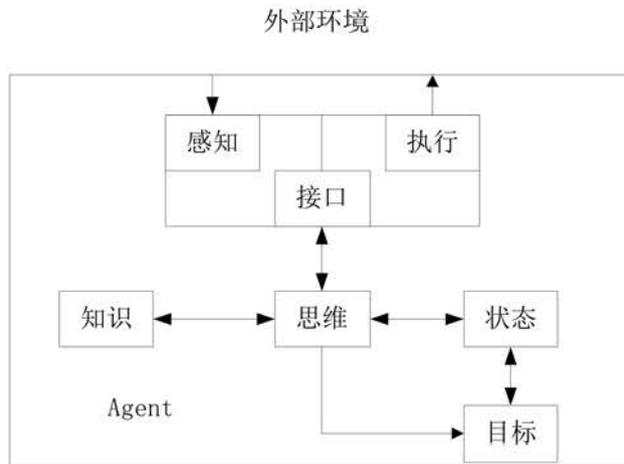


图 3.1 Agent 基本要素图

虽然“智能制造”概念的明确提出并没有多久，但是早在上个世纪末期，就已经对其进行了一定的研究，也取得了一定的进展。Marilza A. Lemous 和 Eduardo V. Liberado 研究了智能系统在机器人装配过程中的应用^[37]。J Gausemeier, G Gehnen 在智能制造网络通信方面进行了一定的研究^[38]。在对多智能体的研究方面，建立了多种生产控制系统的模型，并且在企业信息控制、车间控制以及智能焊接等方面有着广泛的应用^[39~42]。并且基于物联网的智能系统也得到重视，被应用于柔性的输送系统、生产信息的传递等^[43~45]。

3.2 智能化的高精度冷拔工艺系统结构

在以传统的生产方式生产高精度冷拔管时有着很多的缺陷，虽然通过操作人员的自主控制

可以将不利因素降到很低的水平，但是这样的生产方式存在着很多不确定因素，影响产品的最终质量。对高精度冷拔工艺的智能化改进就是为了最大限度地克服这些缺陷，降低生产中的不稳定因素，提高高精度冷拔工艺生产的现代化水平，提高产品的质量，如图 3.2 为高精度冷拔工艺系统结构图。

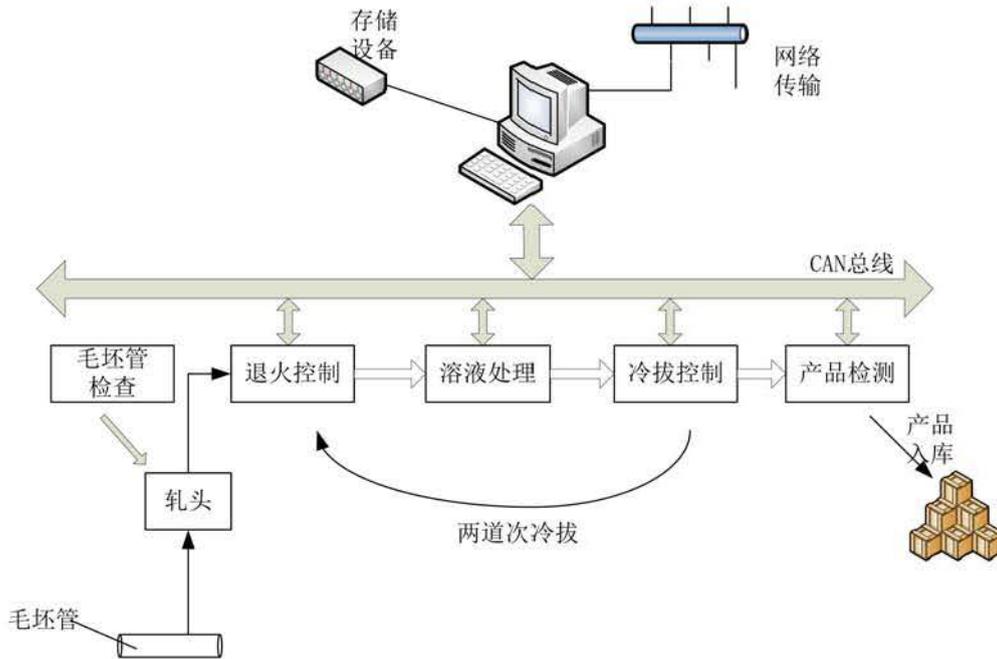


图 3.2 高精度冷拔工艺系统结构图

在进行高精度冷拔工艺时，现场的工艺信息等参数通过 CAN 总线传输到总控制器，这些信息会被存储起来，作为以后生产的经验数据，并且工作人员也可以不需要在生产现场就能够获得生产信息，生产过程能够实现自我的检测调控。

高精度冷拔工艺的智能化改进是参考其它领域内的智能化生产方式，以及结合现有的冷拔生产过程中的智能化研究，在此基础上对整个生产线进行智能化的改进，实现高精度冷拔工艺的信息共享，提高生产的自动化水平。

3.3 制造的智能化改进和检测系统设计

要想使生产过程智能化，对生产过程进行实时的检测，就需要对物料进行跟踪，给物料贴上“标签”，并且将生产的各个环节设计为一个 Agent，物料在进行工艺生产前会被生产设备所识别，通过各个 Agent 和总控制中心的信息交互共同完成生产过程，总控制中心负责控制物料的流向以及协调各个 Agent 之间的生产作业。

生产的智能化是通过使用传感器等感知期间以及控制器来实现的，在原有的生产工艺的基础上，添加对工艺参数的检测装置，并将信息传递到控制器，由控制器来对生产过程进行控制，系统的总体框图如图 3.3 所示。整个智能化的系统由很多控制部分组成，本文主要针对高精度

冷拔工艺生产线上的几个部分进行研究，对退火、酸洗、磷化、冷拔、产品的质量检测等进行智能化改造，对这几个部分的物料运输进行控制，对产品的质量进行统计，以及实现这几个部分的信息共享。

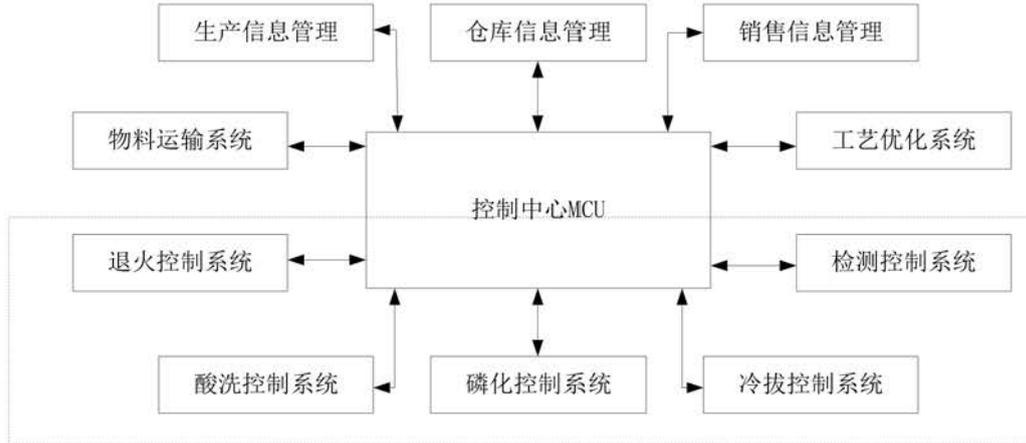


图 3.3 系统总体框图

3.3.1 生产系统的整体控制

生产过程不仅仅是各个 Agent 各自完成生产任务，还需要互相进行信息交互，共同完成生产任务，这不仅仅需要各个 Agent 之间进行信息交互，而且需要总控制中心进行协调。钢管的冷拔工艺是一个顺序的执行过程，总控制中心可以控制物料的运输以及统计各个生产部分的信息，以便于合理的规划整个生产过程。在生产时各个 Agent 需要进行信息交互，与物料运输系统以及仓库之间也有信息的交互，这样就难免会发生冲突，总控制中心负责解决这些问题。各个部分在进行信息交互的时候需要先向总控制中心发出请求，在总控制中心确定当前条件下两者可以进行信息的交互时，信号才能够传递，如图 3.4 为冷拔整体控制模型。

总控制中心对各个生产工艺不进行直接的控制，通过对物料运输系统的控制以及与各个 Agent 之间的交流来协调整个生产过程，总控制中心可以控制各个 Agent 的控制器来达到控制生产过程的运作。每一个 Agent 对各自的生产装置进行控制，接收来自生产设备的信息，实现 Agent 内部的自我反馈控制，Agent 之间通信需要经过总控制器的“同意”，才能进行数据之间的传输。

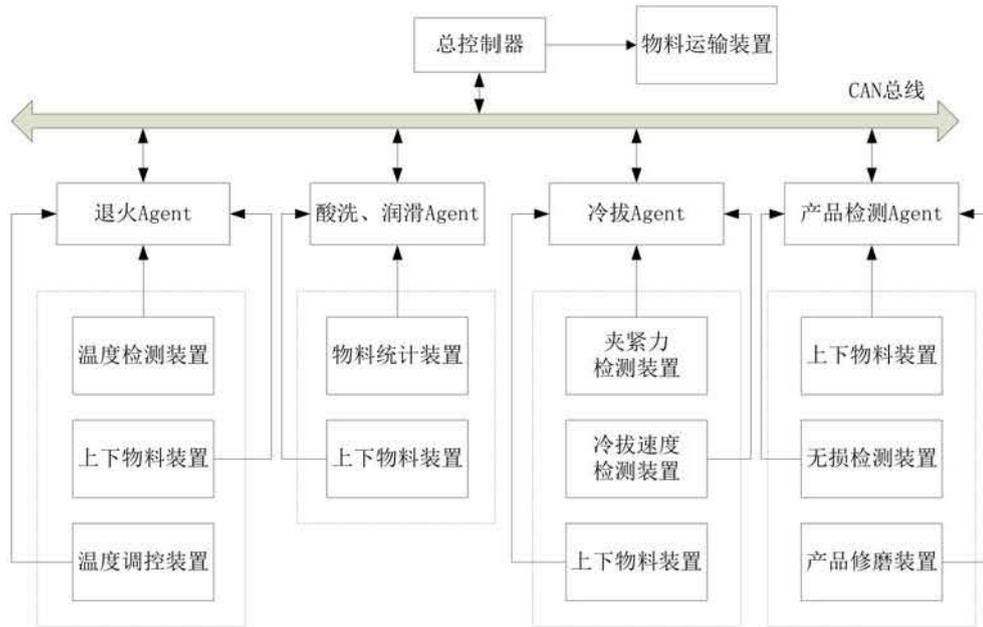


图 3.4 整体控制模型

生产中的各个控制器之间采用了 CAN 总线作为现场总线进行数据的传递，使用 CAN 总线是考虑到了其拓展较为方便，在冷拔工艺后续添加新功能时可以迅速的添加到智能化的模块之中，并且 CAN 总线实现的开发周期较短。

3.3.2 高精度冷拔的物料跟踪

在工业生产中，产品的质量是首要的，而产品是由原材料加工而成，如果能够对物料进行监控，就可以更好的保证产品的质量，而且能够及时的发现生产过程中的操作失误，对其进行修正，如图 3.5 为钢管制造商对物料的跟踪过程。

对物料的跟踪即给其贴上一个“标签”，这个“标签”内含有该物料的独有的一个编码，可以通过这个编码查找到该物料的详细信息，而这个“标签”可以成为智能物件^[8]，可以是无线射频识别（RFID）、无线传感器网络（WSNs）或者一个条形码等，在工业生产中通过对这个“标签”的识别来了解物料信息。进购原材料后，在原材料入库之前对其贴上“标签”，将物料的信息录入信息管理系统，在物料进行加工的每一个阶段会对标签内的信息进行修改，并重新存储到信息管理系统之中，相关工作人员只需要查看产品信息库即可了解到钢管的生产状态。

在生产加工时，每一个 Agent 都会对物料上的“标签”进行识别，从而判断是否需要物料进行加工，总控制器也通过该信息来调度物料运输系统，整个生产过程都是通过物料信息来综合管理原材料、半成品以及最终产品，从而实现物料运输和产品仓库的智能管理。

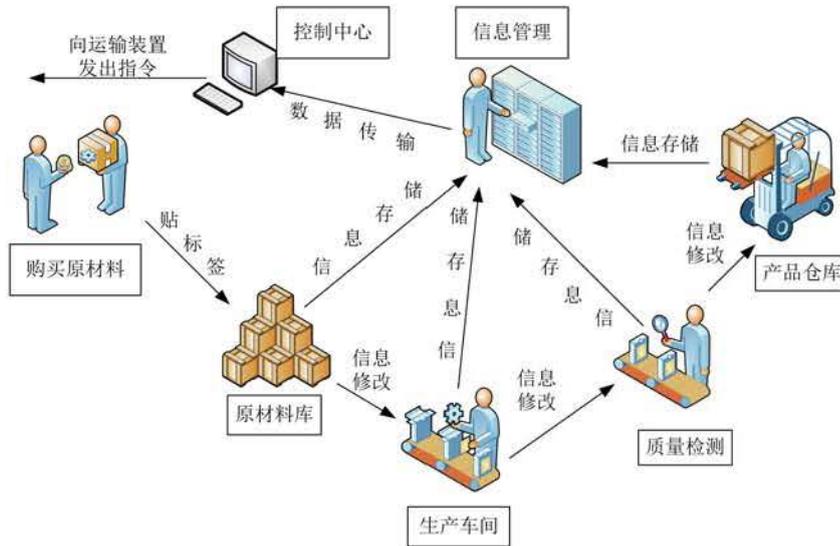


图 3.5 制造商对物料的跟踪过程图

3.3.3 物联网环境下的生产过程控制

物联网是通过使用各种信息传感设备，并且与互联网结合而形成的网络系统，使得在该网络内的所有物品都可以进行远程感知以及远程控制，使用者能获取实时的生产信息，并且相关操作人员能够对生产进行远程控制。物联网主要分为感知层、控制层、网络层以及综合应用层，上文所述的检测及控制装置可以作为物联网系统的感知层和控制层，要想实现冷拔管生产的物联，还需要设计网络层和综合应用层。

本系统通过使用 CAN 接口，可以实现以工业以太网通信协议为基础的网络互连，可以实现生产过程的远程控制；当不使用该功能时，总控制器控制现场工作。该功能通过远程登录总控制中心来控制生产过程的运行，将现场的总控制器当作一个服务器端接收命令，并且能够对命令进行响应，回传数据，如图 3.6 为物联网整体架构设计。远端控制设备（如：PC 机等）通过登录总控制器来控制各个生产工艺部分，可以通过直接输入指令来修改工艺参数标准，通过对总控制器的控制来间接达到对生产线的控制。

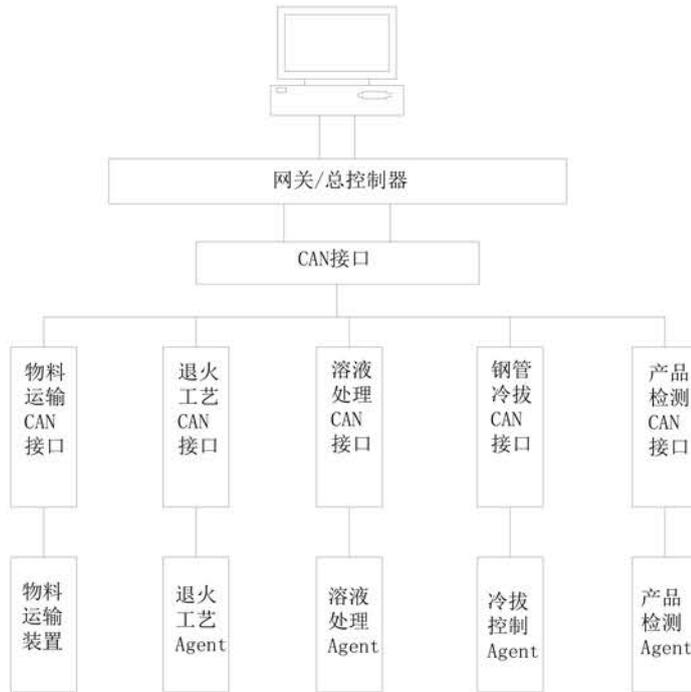


图 3.6 物联网整体架构设计

3.3.4 高精度冷拔的生产控制

要想生产出合格的产品，必须要对生产工艺进行严格的控制，保证生产的正确进行。在智能制造的条件下，将各个生产工艺都看作一个 Agent，它包含了通信、感知、执行以及决策等功能。

Agent 通过感知装置来检测生产环境（包括外在环境以及自身生产工艺环境），通信装置负责与其它 Agent 或者控制中心进行信息的交互，这些信息包括物料信息、生产工艺信息以及与其它 Agent 的交互信息，Agent 还具有一个知识库，通过对感知器和信息交流获得的信息进行判断，来做出决策，并控制执行机构进行相关的生产作业。如图 3.7 为一个冷拔 Agent 结构示意图。通过传感器进行感知，Agent 控制器内有着标准参数，起到了知识库的功能，通过现场总线完成信息交互，冷拔设备是执行机构。

进行生产作业时，每一个 Agent 与其它 Agent 和控制中心进行信息的交互并自主的进行生产作业，共同完成生产任务。Agent 通过感知器来确定生产工艺参数，依赖其知识库是否符合生产要求，从而确定执行机构的动作，并向控制中心以及其它 Agent 发出信息，控制中心依赖该信息来调节物料运输以及整个生产线的生产作业。

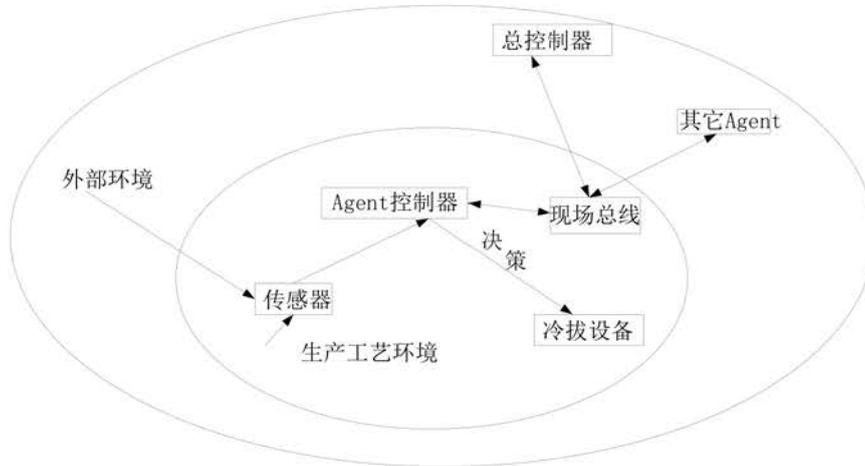


图 3.7 冷拔 Agent 结构示意图

每一个 Agent 在完成各自的生产任务时应当是一个独立的个体，在明确工作任务后，能够独立的完成自身的生产任务；而在整个生产环境下，它又是一个分支，通过生产信息的传递以及控制器的协调，与其它 Agent 或者功能模块共同的完成生产任务。

3.4 高精度冷拔钢管生产工艺参数的检测

在高精度冷拔管生产过程中，对于各个工艺采用 ARM9 系列的芯片作为控制器，该芯片可以通过对其 I/O 口操作，实现自主控制功能，并且支持 I²C 通讯协议，通过对其串口/并口操作，依赖于生产车间的现场总线，使其实现工业生产设备之间以及与上位机的通信功能。

在进行高精度冷拔管生产时，各传感器等设备采集到的信号传递给相应的控制器，控制其内部预先设定好的程序对这些信号进行判断，从而发出指令，通过现场总线控制执行机构（实际的生产设备等），或者与其它控制器或上位机进行信息的交互，得到反馈信息后再对执行机构进行相应的控制。

生产过程中采集到的信息不仅用作控制生产过程的条件，而且还会通过网络传递给相关部门，可以使非操作人员希望了解生产数据时，不需要进入生产车间，可以在远端查看生产数据。

3.4.1 高精度冷拔钢管的工艺路线

高精度冷拔的工艺流程在第二章中已经介绍，在该工艺中，对冷拔管质量有决定性影响的工艺是其中的热处理工艺以及对钢管的冷拔，需要对这些工艺进行检测，确保冷拔工艺的正常进行。

对于物料的追踪，考虑到退火工艺对“标签”的影响，将物料的追踪分为 4 个部分，将轧头之后并且合格的钢管放在仓库的半成品区 A；将进行第一道冷拔工艺后并且合格的钢管放在

仓库的半成品区 B；将进行第二道冷拔工艺后并且合格的钢管放在仓库的半成品区 C；最后将生产出的合格产品放入产品仓库。在每一个部分内对物料进行跟踪，实时的监测物料的状态，这样就可以实现生产工艺的分段管理，通过计算各个阶段产品的合格率，出现问题时可以更准确地发现错误地点，及时的进行修正，如图 3.8 所示。

这几个部分主要进行的工作有：退火；酸洗、润滑；冷拔；产品检测这几项工作，可以将整个生产线的控制分为 4 个 Agent：退火工艺，酸洗润滑工艺，冷拔工艺，产品检测。这 4 个部分能够自主独立的完成自身的生产工艺，并且具备信息交互的能力，生产工艺中其余的部分由总控制中心来统一调度。其中除了产品检测 Agent，其它三个部分都在生产过程中多次参与，生产设备可以根据钢管自身的信息来判断应该进行的是哪一步工艺生产，并且放入相应的地点，等待后续的生产工艺。

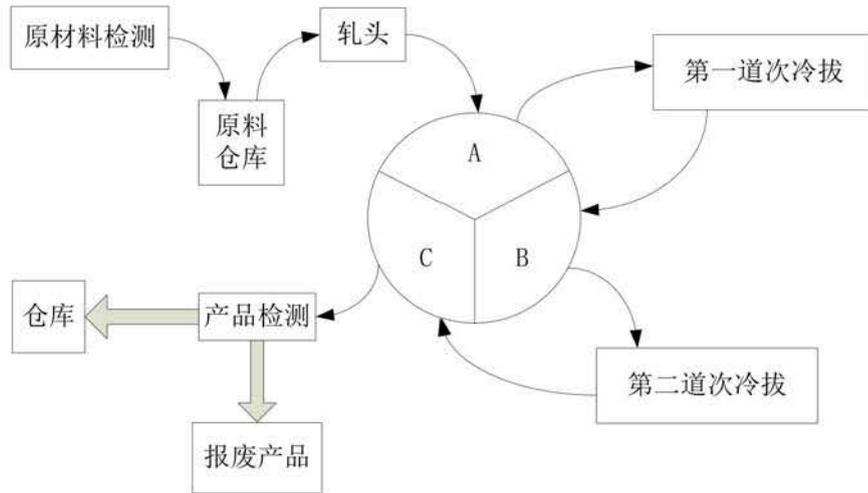


图 3.8 工艺路线图

3.4.2 检测信号的处理

智能化的生产过程对物料追踪采用的是给物料贴上“标签”，根据应用的场合不同，所贴的“标签”也不同，考虑到钢管生产时需要对钢管录入当前的信息，选择使用 RFID 标签。在进行加工之前，预先在 RFID 标签内填入钢管的信息，并预置钢管所需要进行的生产工艺以及工艺参数要求，标签中的信息在进行过每一道工艺时会根据生产情况进行更新。由于钢管的生产工艺是按照一定顺序进行生产的，可以通过在 RFID 内设置相关信息来控制生产工艺的正确进行，通过标签内的信息可以知道钢管已经进行过的工艺以及下一步将要进行的工艺，主控制中心通过读取该信息，向物料运输系统发出指令，控制钢管的物料运输，将其送到下一步工艺的生产地点，而各个生产工艺的控制器通过读取标签内的信息来进一步判断是否应该进行本工艺，从而进一步保证生产工艺的顺序进行。

而在生产工艺进行时，会使用非接触式传感器、网络通信以及对 REID 标签进行读写来实现

生产过程的信息交互。传感器收集到相关信息后会触发一个信号，信号处理设备收集到信号后对该信号进行必要的处理，然后传递给执行机构，同时传感器还对执行机构进行检测，将信号传给信号处理设备，形成反馈回路。

3.5 退火过程的智能化改进

需要进行退火的钢管有两种：一种是经过检验合格的原材料由总控制中心控制物料运输系统运输到轧头机处进行轧头工作，然后将钢管按批次准备好并给其贴上标签，表示其已经进行完轧头工作，等待进行退火工作，物料运输系统读取到该标签后将信息反馈给总控制中心，将钢管运输到半成品区 A，物料运输系统会从该处取退火原材料；另一种是已经经过一次冷拔之后的钢管，被放在半成品区 B。物料运输系统通过读取标签内的信息来判断其来源以及后续生产工艺，并且将钢管运输到相应的退火炉进行退火工作。退火炉也会读取标签内的信息，经过退火部分控制器的确定，判断是否进行退火工作。

3.5.1 退火检测方案设计

为了消除加工硬化等因素的影响，钢管在冷拔前都需要进行退火，退火时需要保证退火温度在一定的范围内，而且必须保证退火时间，如图 3.9 是对退火过程温度检测的示意图。使用非接触式的温度传感器测量退火炉内部温度，将温度信息传递给控制该工艺的控制器，控制器内存有预先制定的温度范围，通过与传感器采集到的温度相比较来确定对退火炉的控制指令，并且退火炉内设有定时器，定时器设置了需要进行退火的时间，并且进行完一次退火之后能够进行重置，当钢管进入退火炉是进行计时，以保证钢管的退火时间。

通过之前的冷拔工艺可以看出，冷拔时需要进行两次退火，退火工艺控制器内存储了该次工艺是第几次冷拔前退火，通过判断所来的物料是半成品区 A 还是半成品区 B 来决定退火工艺的进行。总控制中心负责控制物料的运输，将相应区的物料送到相应的退火工艺区进行退火。

如图 3.10 所示为退火过程控制，在物料进入退火炉之前将信息传递给控制器，控制器根据这个信息来控制退火设备的工作状态，并且使用温度传感器监测退火炉内部温度，将温度信息传递给控制器，对退火炉形成反馈控制，当退火过程出现故障时，控制警报装置发出警报。退火之后给钢管打上“标签”，记录下钢管已经完成的工艺等信息，并传递到总控制中心，可以通过此信息来判断下一步工艺，并且后续工艺可以通过该信息来判断到达的钢管是否可以该工艺。

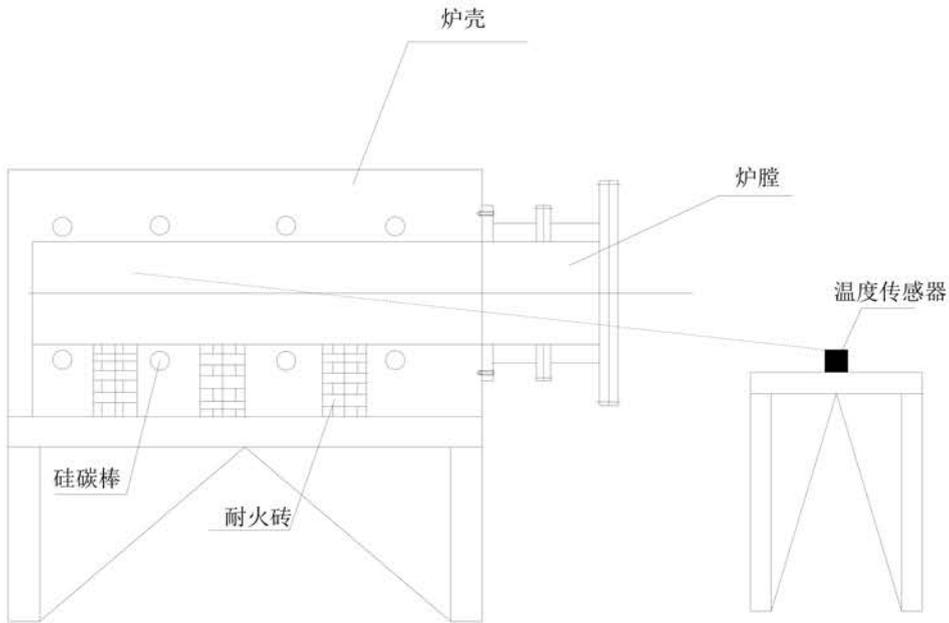


图 3.9 退火温度测量

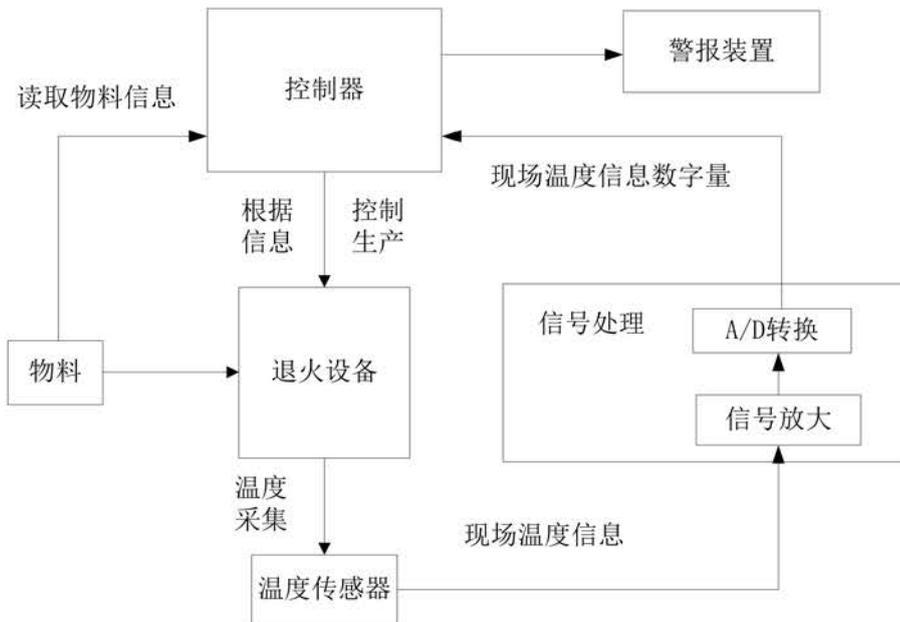


图 3.10 退火过程控制

3.5.2 退火信号的处理

退火过程需要使用两个传感器，一个用于检测退火炉的温度的温度传感器，一个用于检测钢管进入\退出退火炉的计数传感器。退火炉的工作状态变量定义如表 3.1。

表 3.1 退火炉状态变量

变量名	取值	意义
AT	00	非工作状态
	01	温度低
	10	温度高
	11	温度合适

在控制器内设置变量 AT (Annealing Temperature) 为退火温度控制变量, 使用两位来表示退火炉的 4 种工作状态, 温度传感器检测退火炉内部状态, 将信号上传到控制器, 温度检测本应测量钢管自身的温度, 但是这种做法难度很大, 而退火炉内部气体温度与钢管温度接近, 可作为退火温度值。预先控制器每过一个时间 t 采集一次这个信号, 根据这个信号给 AT 赋值, 再根据 AT 的值, 控制器给退火炉以及物料运输系统发出信号, 控制其工作。

当物料运输系统将钢管输送进入退火炉时, 将有一个传感器检测到该信息, 此时会向控制器发出一个脉冲, 控制器内预先设有计时器, 此时计时器开始工作, 当退火时间到时, 控制器向物料运输系统发出信号, 将钢管从退火炉内取出, 同时传感器检测到该信号, 并对控制器发出一个信号, 使计时器重置, 等待下一次操作进行, 如图 3.11 为退火流程。

当控制器读取到钢管标签内的信息, 确定需要进行退火操作之后, 控制器会去读取温度传感器和计数传感器的信号, 判断退火炉的工作状态以及是否有钢管正在退火。当退火炉满足当前工作状态时, 物料运输系统将钢管送入退火炉, 同时计数传感器发送一个信号给退火炉控制器, 退火炉正在工作, 该信号也会传入总控制器控制该部分物料运输装置进入等待状态, 当退火工作完成, 钢管退出退火炉, 计数传感器给出信号, 表示退火炉进入等待状态, 下一批次钢管可以进入退火炉。整个退火期间, 温度传感器每隔 10s 以中断方式向控制器发出信号, 监测退火炉内部温度。退火过程进行完之后, 将该批次钢管打包, 向标签内添加内容, 表示其已经退火完成, 并且物料运输系统根据标签内的信息判断下一步工序, 将钢管运输到相应的地方。

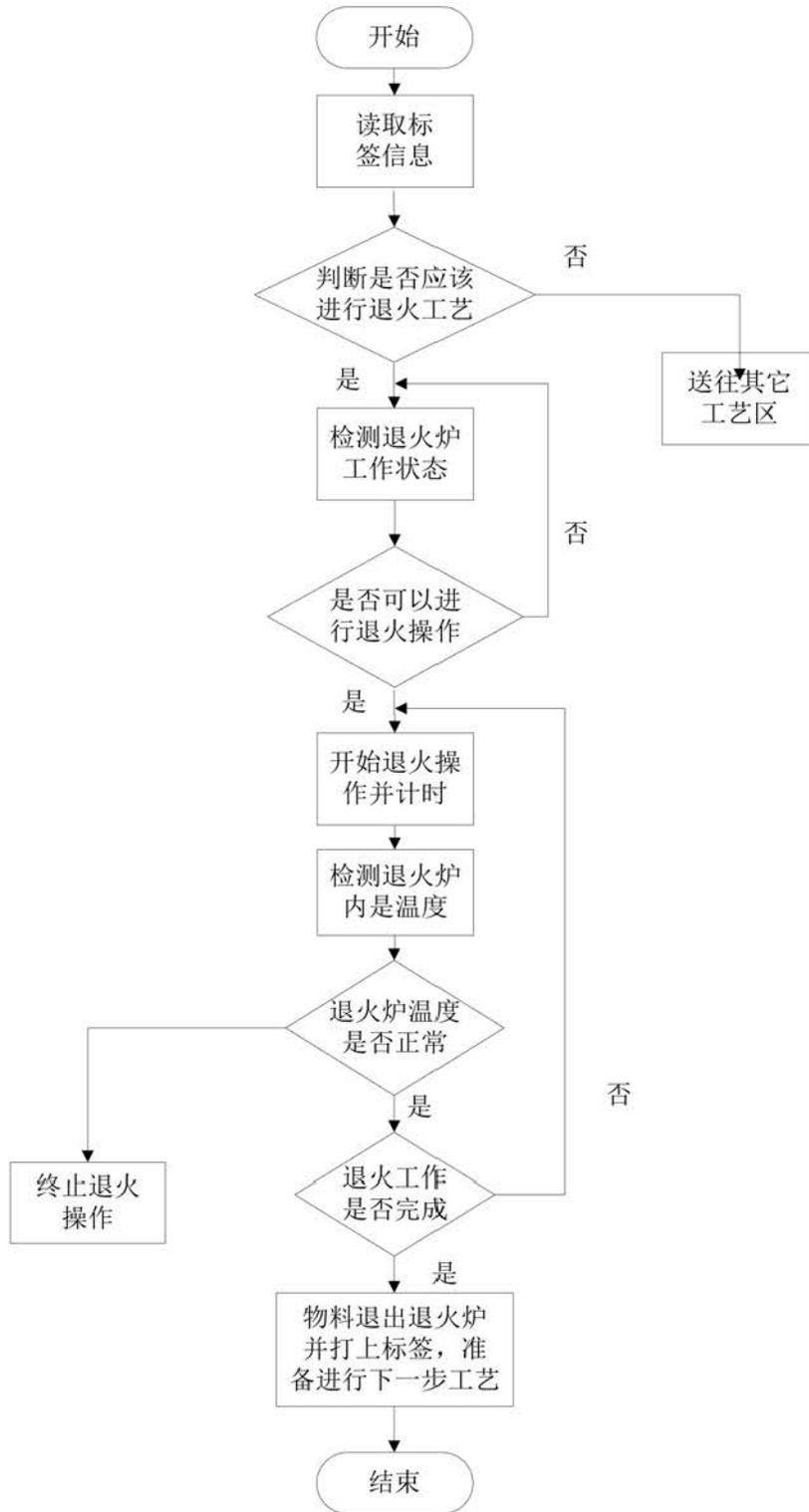


图 3.11 退火工艺流程

3.6 磷化皂化槽及酸洗过程的智能化改进

在冷拔工艺中，两次退火过程之后都需要进行磷化皂化和酸洗的处理，需要进行该工艺的

两类钢管原材料标签内部的信息是不同的，生产系统就是根据这个信息来区分这两个钢管，从物料运输系统将其运输到相应的液体槽中进行相应的处理。

3.6.1 磷化皂化及酸洗检测方案设计

钢管在冷拔之前需要进行磷化、皂化以及酸洗，这可以使钢管表面覆上一层磷化膜，减小钢管冷拔时的摩擦力，而这些溶液在对一定批次的钢管作用之后，溶液的浓度就不能够达到要求，需要进行定期的更换，所以在槽上安装传感器用来测量钢管进行该工艺的时间，并且记录进行该工艺钢管的数量，用来作为仓库的信息管理，如图 3.12 所示。

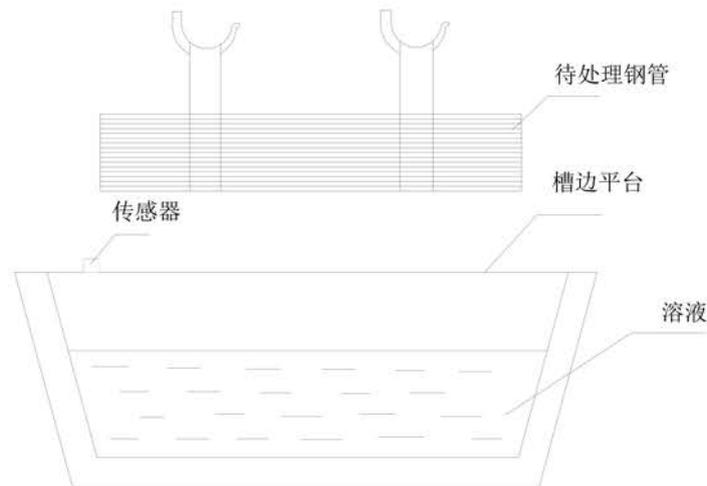


图 3.12 磷化、皂化以及酸洗示意图

同时总控制中心也能够发出信息告诉磷化、皂化以及酸洗的控制器需要进行该工艺的钢管数量，可以计算出需要更换几次溶液，当需要更换溶液时，控制器向工作人员发出请求，并将内部记录钢管数量的计数器重置，进行新一轮的计数。当钢管到达磷化、皂化以及酸洗槽时，通过读取其标签了解到物料来源，物料运输系统会根据该信息将钢管送到相应的生产工艺加工地点，进行相关工艺操作。进行完该部分工艺之后，给物料重新打上标签，以便于后续工艺的生产加工以及物料运输的控制。

3.6.2 磷化皂化以及酸洗信号处理

对于该工艺进行一次生产的计时功能与退火过程类似，不再赘述，但是与退火过程有区别的是：为了使磷化皂化酸洗的过程比较充分，在进行该工艺是需要将计时分为两段，在经过一段时间，控制器发出信号，将钢管翻转一下，防止钢管因相互接触而导致部分区域没有进行该工艺。

该工艺还要对钢管进行计数，通过现场总线将数据传递给总控制器，可以对产品进行统一

的管理。当钢管进入盛有溶液的槽时，传感器检测到该信息，产生一个信号，该工艺的控制接收这个信号，并记录下进行该工艺的钢管的数量，通过现场总线将每批次钢管的数量传递给总控制器，从而实现对钢管数量上的追踪，如图 3.13 为钢管的溶液处理。

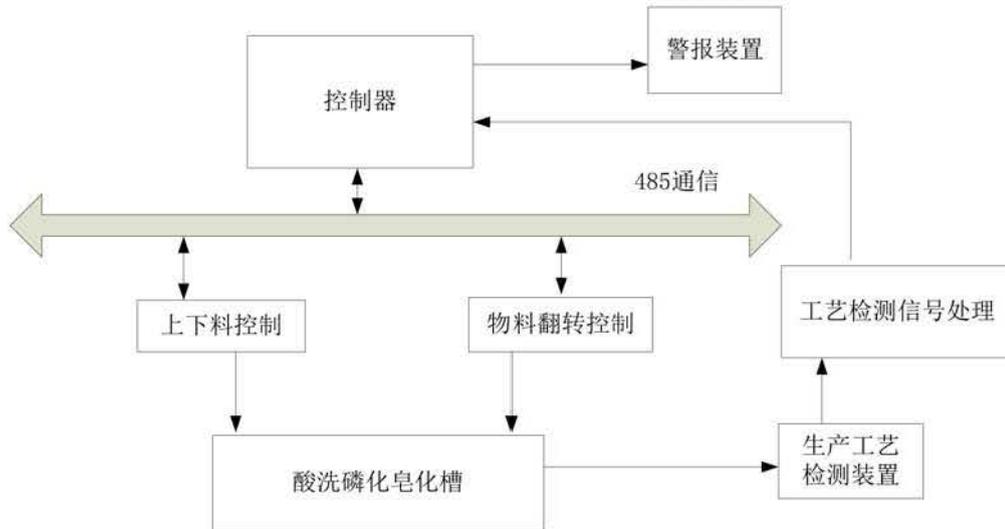


图 3.13 冷拔溶液处理

控制器的主要工作是根据检测到的生产工艺信息对溶液槽中的生产过程进行控制，控制器与生产电机之间以 485 通信的方式进行数据传递，合理控制钢管液体处理的时间，使钢管得到合适的、均匀的磷化膜。

溶液在进行生产时会产生消耗，当对一定数量钢管进行生产之后，溶液的参数将不能够达到标准。在生产前，将配置一次溶液可进行生产钢管的数量预先存储在变量之中，通过记录计数器内所记录钢管的数量与之相比较，当达到该数量时，发出警报，提示工作人员更换溶液，并自动重置该变量的值。如图 3.14 为磷化皂化以及酸洗工艺流程。

磷化皂化以及酸洗工艺控制器在得到物料确实应该进行该工艺的信号时，通过传感器上传给控制器的信号确定设备状态良好后，该 Agent 控制器与物料运输系统进行信息交互，将物料运输到相应的槽内进行工艺加工，当钢管进入槽内时，传感器检测到信号，并将槽的使用状态由空闲改为工作，让物料运输装置进入等待状态，经过一段时间，控制器内部计时器的计时时间到，发出一个信号，控制吊钩晃动吊带，使钢管进行翻转，进行完工艺加工后，修改标签内的信息，并控制物料运输系统将钢管运输到冷拔机前准备进行冷拔操作。控制其内部在传感器记录钢管进出溶液时会对钢管的批次进行技术，当溶液进行完一定次数的生产之后，会发出警报信号，提醒工作人员更换溶液，并重置计数器。

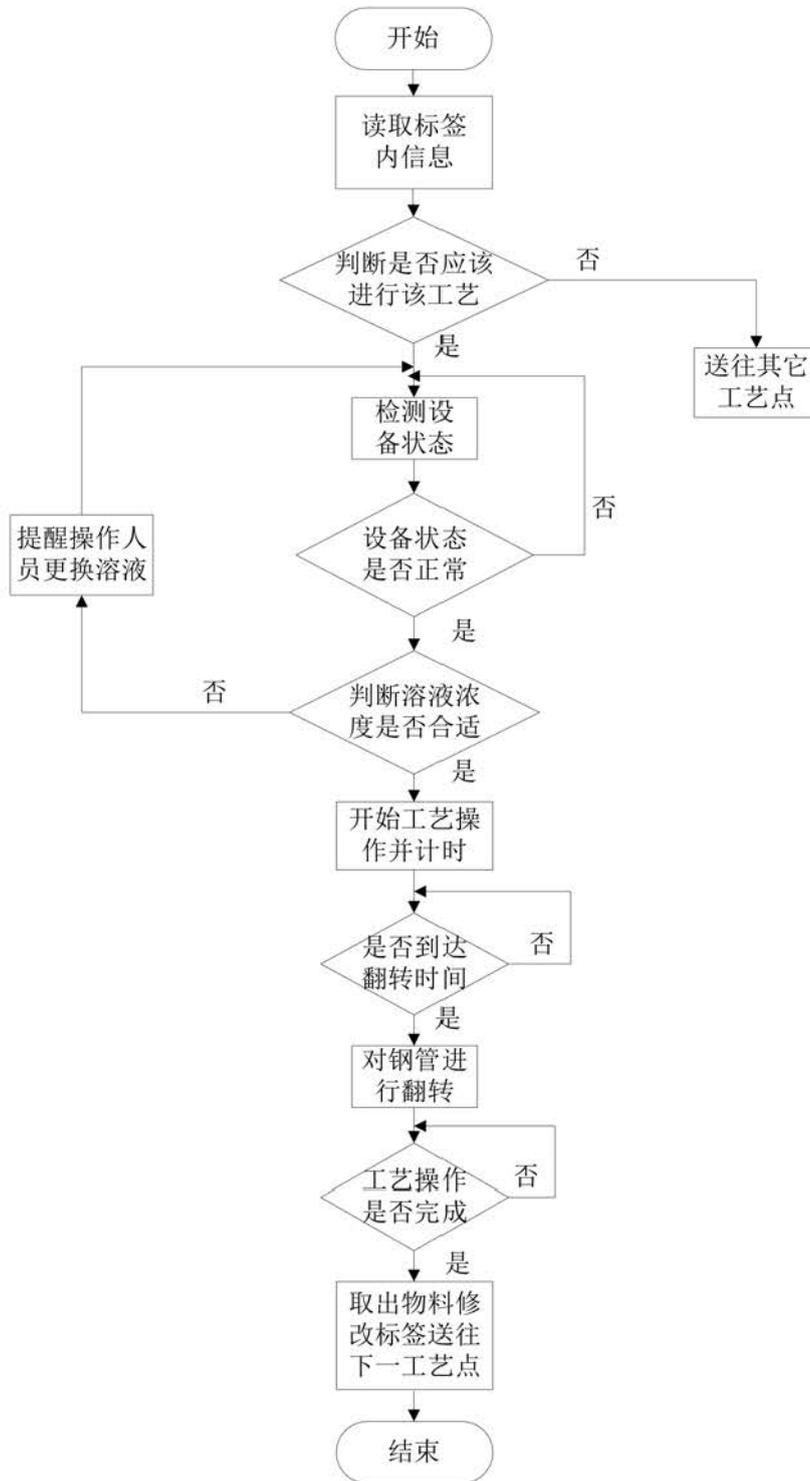


图 3.14 磷化皂化以及酸洗工艺

3.7 高精度冷拔工艺冷拔过程和质量检测过程需求分析

在之前准备工作做完之后，就需要对钢管进行冷拔操作。根据物料标签内的信息，可以知

道进行的是哪一步冷拔操作，从而控制物料运输装置将钢管送到相应的冷拔机处进行冷拔。冷拔过程是最为关键的工艺，直接决定了钢管产品的质量，冷拔过程出现瑕疵会直接导致产品质量的降低，甚至使产品报废。

本工艺将物料的追踪分为了 4 个部分，因此，在每个部分完成时都需要对产品进行检测；对于半成品的检测较为简单，只需检测其尺寸是否合格，从其“标签”中读取是否正确完成该部分工艺，进入仓库后，即对其标注为“合格品”，可以不再区分，后续工艺可以直接进行使用；对于最后一步成品的检测较为复杂，需要检测的参数较多，不仅需要对其尺寸进行检测，还需要检测其直线度、圆柱度、硬度等，当检测合格之后，该产品“标签”中含有钢管自身的信息，进入成品仓库，以实现对其产品的管理和销售。

虽然在每个工艺环节之后都会对产品（半成品）进行检测，可以将这个环节融入到各个 Agent 之中，但是这样的做法并不好。首先负责检测工艺的 Agent 之中多添加了一个检测产品的功能，增加了 Agent 的负担，此外对最终成品需要进行检测，还要统计产品的合格率，这与检测各个部分的过程类似，可以融合到一起，而且还方便对各个工艺的产品合格率做出比较，找出生产中的薄弱环节进行进一步的改进，当产品出问题时，也可以通过比较各个环节产品（半成品）的合格率，迅速找出问题所在点。

对这些产品进行检测时，检测装置会读取产品上的标签，通过标签内的信息自动选出相应的检测方案，然后发出信号给物料运输系统，将产品运输到相应的地点进行检测，并统计检测结果。高精度冷拔工艺冷拔过程以及质量检测过程在下一章中进行深入研究。

3.8 本章小结

本章的主要内容是根据高精度冷拔工艺的生产状况，设计了总体控制模型，实现分布式的控制功能。对生产过程中的数据传递方式进行了研究，设计了以 CAN 总线为现场总线的生产数据传输的以及生产过程控制的系统架构。将其生产控制模块分为了 4 个部分，分别为：退火工艺，酸洗润滑工艺，冷拔工艺，产品检测。然后对这 4 个部分中的退火和酸洗磷化皂化部分的控制功能进行了设计。最后对冷拔过程和产品质量检测过程的功能需求进行了分析。

第四章 高精度冷拔钢管的智能检测与控制模型研究

4.1 引言

根据上一章讨论的方案,本章对高精度冷拔工艺中冷拔过程以及产品质量检测过程的智能化改进方案进行研究。智能化的实现需要依靠传感器等智能元器件,将智能元器件安装到生产设备上可以实现生产设备的智能化改进。将现场的模拟信息采集,通过一定的电路处理转化成为电信号,通过这个电信号可以实现生产信息的传递,最终实现生产过程的控制以及生产信息的共享。本章主要针对生产过程中的冷拔以及产品检测工艺进行研究。

生产的控制过程采用了分布式控制的方法,这样就需要使用工业总线进行通讯,而 CAN 总线的通讯方式已经在工业生产中运用的十分广泛。将各个控制器都设计成一个 CAN 节点,控制器与 CAN 芯片之间使用 SPI 通讯方式传递数据, CAN 芯片通过 CAN 总线将这些数据在各个 CAN 节点之间传输^[48~51]。使用传感器对生产信息进行采集是工业生产中的一个重要的手段,通过采集到的信息经过控制器的处理实现对工业生产的控制,控制器以 485 通讯的方式控制生产线上电机的运行,从而达到控制效果^[46]。

4.2 高精度冷拔钢管智能化改造的整体设计

要实现生产过程智能化,首先需要选择一个合适的控制器,控制器的选择要根据实际生产情况,在保证能够完成生产任务的情况下选择价格较为低廉的元器件,使生产设备具有良好的性价比,对控制器的选择指标主要是处理性能、技术指标、功耗、软件支持等因素^[47],处理性能指的是控制器的时钟频率、内部寄存器大小等性能,而技术指标是说控制器内部芯片集成程度,对于工业生产的控制来说,芯片的功耗并不重要,但是在其他条件差不多的情况下优先选择功耗低的,软件支持可以改善系统功能的实现,以及在出现新的需求时对系统功能外拓有着优化作用。考虑到诸多性能上的因素以及在价格方面的考虑,选择 ARM9 架构的 S3C2440 开发板作为控制器,其输入输出功能强大,能够很方便的进行外设的扩展,这对于工业生产中需要控制多个条件非常契合,对于高精度冷拔工艺智能化改进,该芯片性价比较为优良。

高精度冷拔工艺的智能化改进通过传感器对现场的工艺参数进行检测,将检测到的信号传递给控制器,另外控制器还对产品检测的信号进行读取,统计产品信息,根据读取到的信息,控制器对生产线进行反馈控制,该信息操作人员可以通过操作人际交互界面进行了解,并可以直接控制生产线,如图 4.1 为检测单元结构图,图中的 Agent 控制器代表着一个生产工艺模块,因为控制器有多个输入输出端口,可以连接多个该模块,实现对多个工艺的控制,每一个控制器都对本工艺电源以及参与本工艺的电机进行控制,产品检测模块统计成品信息,所有的信

息最终都会传递到总控制器，经过处理后，将操作人员需要知道的信息传递到人机交互界面，并且控制着整个生产线的启停，操作人员也可以通过人机交互界面对生产线进行控制。在工业现场采集到的信号会通过一定的电路转换再传给控制器，只有当采集信息的元器件本身集成了转换的功能才会直接连接到控制器，现场的信息通过总线传送。

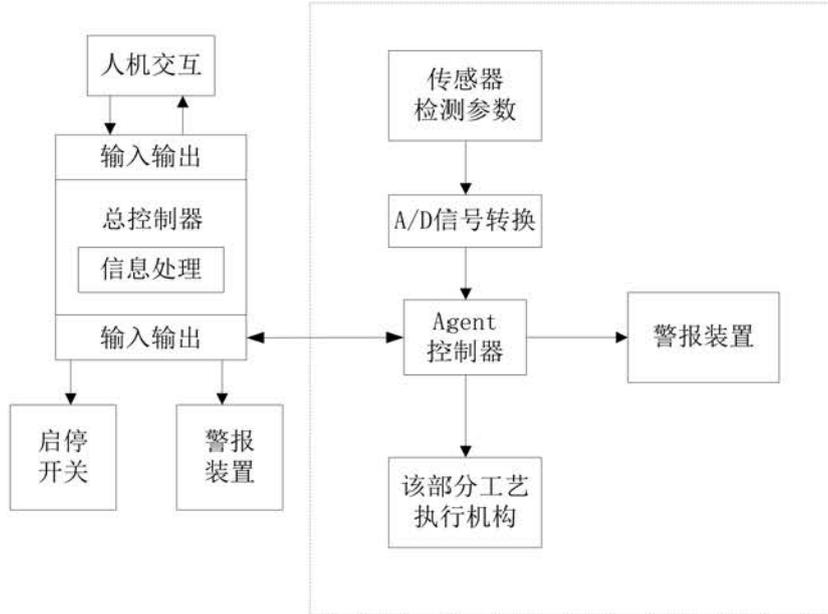


图 4.1 检测单元结构图

高精度冷拔工艺的重点是对上图右侧的部分进行设计，将生产线上的各项工艺参数以及生产状况的信息采集起来，让各自的控制器对该生产部分进行控制。需要控制的 4 个部分都可以简化成右侧的模块，所设计的模块在总控制器允许的条件下能够独立的运行，同时能够与总控制器进行信息的交互。总控制器与 Agent 控制器之间的采用 CAN 总线的方式进行通信，CAN 总线的通信方式首先在汽车的电子控制系统里面最先被使用，经过多年发展被规范化，成为应用最多的现场总线之一。CAN 总线已经成为国际标准化的现场总线，其总线访问的优先权由报文的标示符决定，通过逐位竞争的仲裁方式向总线发出数据，取代了很多通信方式所采用的站地址编码的方式，可以直接对所发送通信数据进行编码，这大大提高了数据的实时性，并且对系统的可靠性和灵活性也有较高的保证。CAN 总线具有完善的通信协议，可以通过 CAN 控制芯片（CAN 收发器等）以及接口芯片来实现其通讯过程，这也降低了 CAN 通信的开发难度，缩短了开发周期，适合应用于工业生产之中，被认为是最有潜力的现场总线之一，如图 4.2 是实现 CAN 总线的电路图。

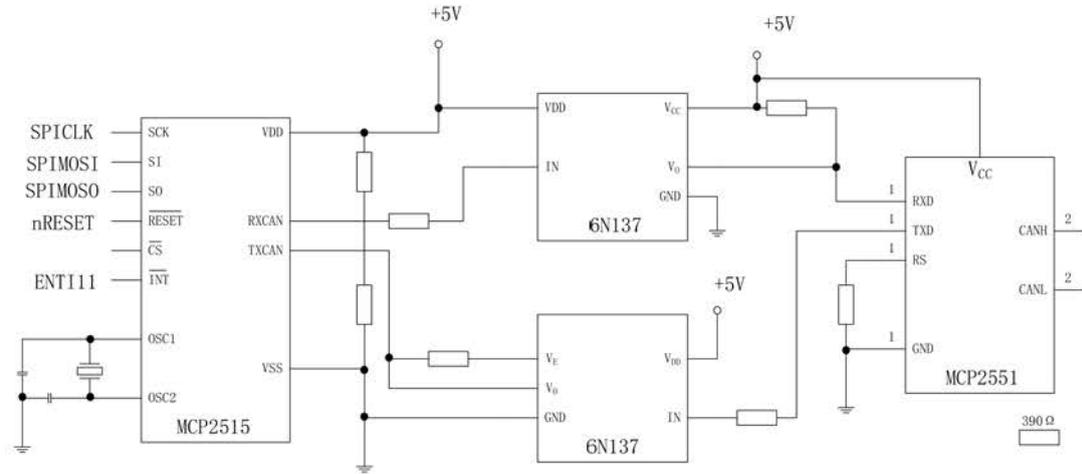


图 4.2 CAN 总线电路图

CAN 控制器 (MCP2515) 通过 SPI 总线与 S3C2440 控制器连接进行数据传输，各个 CAN 节点之间通过 CAN 收发器 (MCP2551) 传递数据，CAN 报文的数据通过 CANH 和 CANL 两条总线进行传递，其数据优先级通过报文中仲裁段决定，标准报文仲裁段有 11 位，扩展报文有 29 位，通过逐位比较电平的显隐性来判断数据发送优先级。CAN 控制器和 CAN 收发器之间通过 6N137 芯片相连接，实现输入与输出之间的电气隔离。

CAN 控制器上有 SPI 通信模块，与 S3C2440 控制芯片之间通过 SPI 通信方式进行数据交换，通信过程如图 4.3 所示。操作人员通过人机交互界面操作控制芯片，各个控制芯片通过 SPI 接口与 CAN 控制器之间相连，实现控制器的 CAN 接口扩展，生产数据通过 CAN 芯片，经由 CAN 总线在生产线上传递。

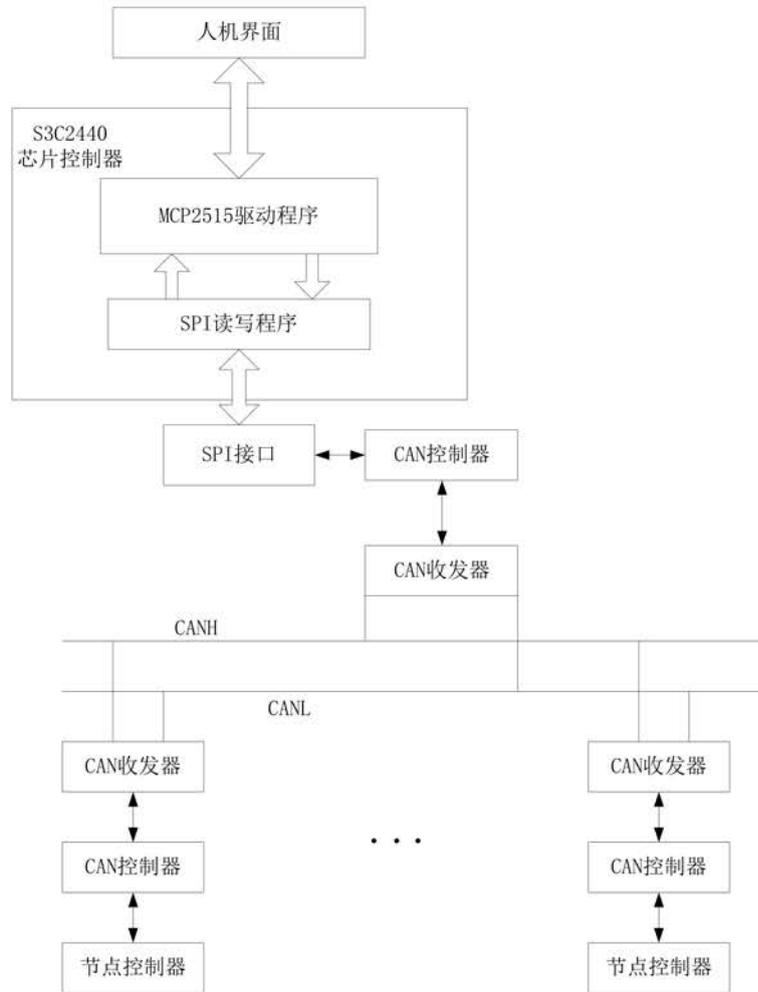


图 4.3 系统通信实现图

4.3 高精度冷拔控制模块的设计

4.3.1 冷拔模块设计

1) 冷拔过程的检测方案设计

冷拔时最重要的就是要保证冷拔力的恒定，如果冷拔力出现波动，需要向工作人员发出故障警报。当钢管受到恒定的力进行冷拔时，其移动的速度也是稳定的，只有当一次冷拔过程结束时，由于力的瞬变，会产生一次速度变化，这个变化是周期性的、有规律的。根据这个原理，就可以在夹住钢管的冷拔夹头上安装速度传感器，将信号传输到控制器上，当发生周期性速度变化时，就可以对进行冷拔的钢管进行计数，当检测到速度的波动不是规律性变化时，控制器发出错误警报，提醒工作人员检查设备状态。

因为工业现场干扰因素较多，测量速度时，在恒定拉力下速度也会在小范围内波动，控制器在设置参数时，可以选取正常工作时的数据作为参考，按照正态分布的计算方法，选取在 3 个 σ 内的数值作为正常工作时的数值。

控制中心会发出信号告诉控制器该次工艺是第几道冷拔，同时控制器从需要冷拔的钢管上读取“标签”，了解该钢管需要进行第几道冷拔工艺，只有控制中心发出的信号与“标签”上的信息相对应时，控制器才会发出进行冷拔的指令。

2) 冷拔夹头的夹紧力及冷拔力分析

虽然钢管在生产中的拉力以及夹紧力是通过现场测量而得到的，但是仍需要通过计算的方式来获得所需参数的理论值，以保证更加合理与精确的控制。钢管冷拔是一种通过塑性变形来达到产品要求的一种生产方式，其生产过程是冷拔模具与冷拔力共同作用的结果，在二者的共同作用下使钢管发生相应的塑性变形，从而生产出满足预期工艺要求的产品。无缝钢管冷拔时的受力简图 4.4 如下所示。

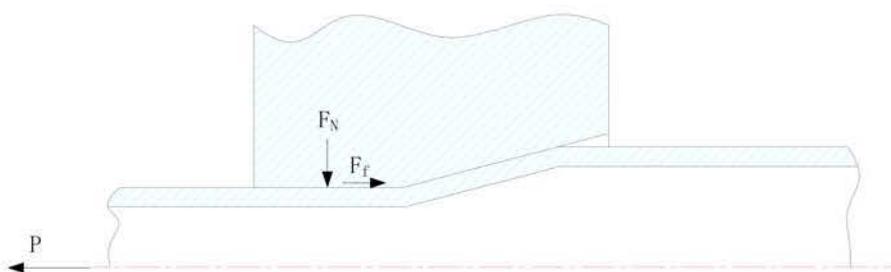


图 4.4 无缝钢管冷拔受力简图

图 4.4 中 P 是冷拔时所需要的拉力， F_N 是模具对钢管的压力， F_f 是模具与钢管之间的摩擦力，钢管在进行冷拔时受到这三个力的共同作用，发生塑性变形。这 3 个力体现在微观上就是钢管的径向压应力 σ_x ，周向压应力 σ_y ，以及钢管所受到的轴向拉应力 σ_z 。而根据塑性方程^[55]，如式 4-1。

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \beta \sigma_s \quad (4-1)$$

式中， σ_1 ——最大主应力，MPa；

σ_2 ——最小主应力，Mpa；

σ_s ——单项拉伸时的屈服应力极限，Mpa；

β ——中间主应力的影响系数，一般为 $1 \sim 1.5$ 。

在冷拔生产过程中，钢管所收到了轴向拉应力为最大的主应力，而最小的主应力是钢管的径向压应力和周向压应力中较小的那一个，这两个力的方向是相反的。由上式可知，冷拔过程中发生形变时，不论在任何方向的主应力，其数字值都不会大于 $\beta \sigma_s$ ，而为了保证冷拔过程中钢管不发生断裂，这就要求冷拔时的拉力要小于经过冷拔之后钢管的屈服极限。在冷拔时由于得钢管的变形抗力下降，从而钢管的塑性较差，这就需要控制好冷拔拉力，使钢管在冷拔时发生塑性变形而又不至于裂开。

为了保证冷拔过程的顺利进行，冷拔的拉力应该满足式 4-2。

$$\sigma_F = \frac{P}{S} < \sigma_s \quad (4-2)$$

式中， σ_F ——钢管冷拔所受拉应力；

P ——冷拔拉力；

S ——冷拔后钢管的横截面面积；

σ_s ——冷拔后钢管的屈服极限。

而且，冷拔开始的瞬间会引起动载荷、摩擦条件和钢管的机械性的突然升高，并且考虑到钢管可能存在强度较为薄弱的截面^[56]，这就需要通过制定一个安全系数 λ 如式 4-3，从而规定冷拔拉力 σ_F 的数值。

$$\lambda = \frac{\sigma_s}{\sigma_F} = \frac{\sigma_s S}{P} \quad (4-3)$$

λ ——安全系数，其取值一般为 1.1~1.2。

冷拔的拉力受钢管的形变量的影响，当钢管形变量较大时，冷拔拉力也就相应较大，反之，冷拔拉力相对较小。根据以上分析可知，钢管在进行多道次冷拔时，在增加变形量的同时需要降低冷拔时的拉力。

钢管冷拔时的拉应力计算如式 4-4 所示^[55]。

$$\sigma_F = \sigma_s \left[1 - \frac{1 - \frac{\sigma_{xa}}{\sigma_s}}{e^{C_s}} \right] \quad (4-4)$$

式中， $C_s = \frac{4fl_a}{D_A - d_a}$ ；

D_A ——钢管定径部分的外径，mm；

d_a ——钢管定径部分的内径，mm；

l_a ——钢管定径部分的长度，mm；

σ_s ——材料的屈服极限，Mpa。

然后根据前式计算冷拔拉力 P ，如式 4-5。

$$P = \sigma_F \times \frac{\pi}{4} (D_a^2 - d_a^2) \quad (4-5)$$

式中， D_a ——冷拔后钢管外径，Mpa；

d_a ——冷拔后钢管内径，Mpa。

根据以上的公式可以计算出冷拔时所需要拉力的理论值，依据这个理论值对冷拔夹头的控

制方法进行设计，使冷拔夹头能够有效地夹住钢管进行冷拔作业，出现故障时能够及时的发出警报，并进行调整。

3) 冷拔控制功能分析

冷拔时需要测量参数主要有冷拔夹头夹紧时对钢管的夹紧力以及冷拔时拉力的稳定性，前者可以通过使用压力传感器测量冷拔夹头拉拔钢管时对钢管的压力来实现，后者通过前面分析可以测量冷拔时的速度来保证。将压力传感器安装在冷拔夹头内侧，当夹紧钢管时即可通过压力传感器测量出夹紧力；将速度传感器安装在虎头钳的下部，冷拔进行时冷拔夹头移动即可测量冷拔速度，从而检测拉力的稳定性。

其中夹紧力的测量信号还可以作为冷拔装置工作状态的信号，只有夹紧力的值存在时，速度传感器测量得到的值才有效，此时冷拔设备处于工作状态，下一个需要进行冷拔的钢管处于等待状态，夹紧力的值为零并且保持一定的时间，才将物料运输到冷拔装置，然后夹紧，此时夹紧力由零变成一个数值，冷拔过程开始，速度传感器开始检测数值，在进行完一次冷拔时，虎头钳的速度会很快降低到零，近似于一个突变，速度传感器检测到该信号，然后冷拔夹头松开，压力传感器检测到的值为零，钢管被运送离开冷拔装置。

在冷拔生产的过程中需要对冷拔机的上下料进行控制，如图 4.5 和图 4.6 为无缝钢管上下料实物图。



图 4.5 上料装置实物图



图 4.6 下料装置实物图

当接收到开始生产的信号时，控制上料装置挡板，使钢管到达滚轮处，然后控制滚轮移动钢管进行上料；当接收到生产完成的信号时，打开挡板，使得钢管进入下料架，等本伦次的生产全部完成时，再将产品运送到相应存放地点。

此外，控制电路还连有警报装置，当传感器检测到的数值和预期的不相同或者电机不能够正常运转时发出警报。在进行批量生产前会进行产品的试生产，确定需要测量的产品参数，这个参数会被设为预期值，当测量到的值不在预期值的范围内，就发出一个信号给警报装置，并且根据故障类型控制各个电机，将故障信息传送给总控制器。警报装置选用蜂鸣器，不同的故障让控制器发出信号，使蜂鸣器发出不同时间间隔的声音。

传感器检测到并发出的信号是一个模拟量，需要将之隔模拟量转换为信号量传递给控制器，而且这个模拟量的值往往不够大，需要将其放大。在传感器和控制器之间还需要有放大电路和 A/D 转换电路，使控制器能够读取采集到的信号。控制器通过驱动器控制电机，通讯方式采用 485 通信，选用 Modbus 通信协议进行通信。

4) 冷拔过程信号的处理

在对钢管进行冷拔时，理想状态下拉力是一个恒定的数值，所以理想状态下安装在虎头钳的传感器所测量到的速度也是一个恒定的值，但是由于工业现场是一个复杂的环境，传感器所检测到的速度不可能是恒定的，因此控制器需要知道速度在什么范围内波动才是正常工作状态。预先在控制器内设置的速度范围应该包括几乎所有的正常数值范围，正态分布的 3σ 原则可以包括 99.74% 的数据，可以作为对该数据的选择标准。

生产之前的准备工作中，先测量正常冷拔时得到的速度数据 $(v_1 v_2 v_3 \dots v_i)$ ，将这些数据按照正态分布的公式进行计算，如式 4-6。

$$f(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(v-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4-6)$$

其中 μ 为速度平均值， σ 为速度标准差， e 为自然数；速度 v 取在 $\pm 3\sigma$ 内时，包含了几乎所有的正常工作时的数值，在控制器内选取该范围为约束，当传感器检测到的信号在该范围内时，冷拔装置正常工作，否则发出警报并控制冷拔装置停止工作，如图 4.7 和图 4.8 分别为冷拔拉力和速度的检测流程。

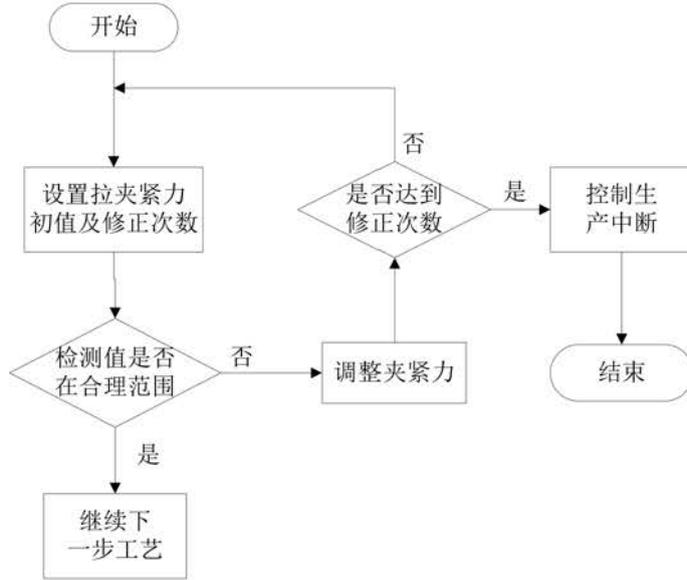


图 4.7 冷拔夹紧力检测

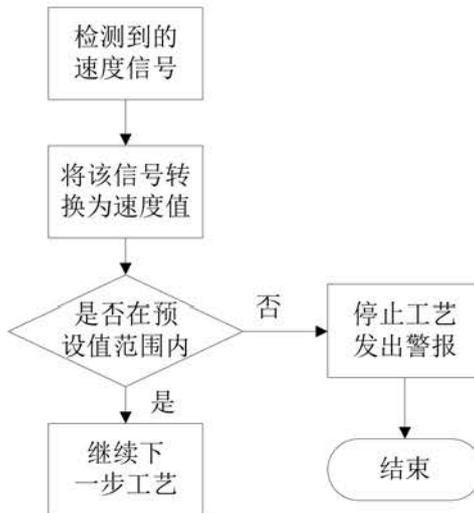


图 4.8 冷拔速度检测

由于在冷拔开始时冷拔夹头夹住钢管以及冷拔结束时钢管尾端脱离模具的时候由于受力突然变化，会产生速度突变，测量速度的传感器记录这两个脉冲信号，作为测量冷拔过程的开始和结束信号，也可以通过记录其中一个信号发出的次数来记录钢管数量。只有在冷拔开始和结束两个信号之间检测到的数值才被看作有效地输入参数。

5) 控制电路元器件选择、安装整体设计

在对冷拔过程的检测及控制中，控制器采用的时 S3C2440，电机仍然使用元生产线上的设备，但需要对控制程序和控制电路进行重新设计。在此过程中主要添加了对工艺参数的检测，需要选用合适的传感器对参数进行测量，并且设计放大电路，选用 A/D 转换芯片，是信号能够顺利传递。

使用压力传感器测量冷拔夹头的夹紧力，压力传感器的种类有很多种，按照工作原理可分为压阻式压力传感器、压电式力传感器、陶瓷压力传感器等，由于测量的是冷拔夹头的夹紧力，需要保证能够夹紧而又不会损坏钢管，考虑到功能及价格上的因素，使用压阻式压力传感器。传感器要安装在冷拔夹头内部，对传感器高度有一定的限制，因此选用轮辐式的结构。

由于压力传感器测量表面面积较小，需要在其上方添加一个垫片，垫片由弹簧支撑，在未夹紧时不与传感器相接处，垫片一侧时平整的，与压力传感器相接处，另一侧为虎头钳的齿型，可以夹紧钢管。为了保证测试数据的有效性，在冷拔夹头上放置三个压力传感器，成三角形放置，这样检测到的为冷拔夹头表面整体的压力状态。生产时，冷拔夹头与垫片夹紧钢管，同时压缩弹簧，垫片与传感器接触使其受到压力产生输出电压，这个电压输出量需要经过放大电路进行放大然后传送给 A/D 转换器。

冷拔拉力的稳定性是通过测量冷拔夹头移动的速度来确定的，测量其速度可以使用光电传感器，将传感器安装在冷拔夹头底部，并且在冷拔夹头下方贴上反光带，冷拔夹头移动时传感器跟随移动经过反光带，此时传感器会发出信号，将这个信号经过放大以及 A/D 转换后传送给控制器，通过测量这个信号的时间间隔以及反光带之间的距离则可以计算出速度，实际上这个时间间隔能够保持为一个稳定的值，那么就能保证速度的稳定，则冷拔的拉力是稳定的。光电传感器输出值为电流信号，在进行 A/D 转换之前需要将该信号转化为电压信号，可以通过外接分压电路的方式实现，将电流通入一组串联的电阻接地，在电阻上即可获得电压信号。

警报装置采用蜂鸣器，可以控制蜂鸣器声音的持续时间、发出声响的次数以及发出声响的时间间隔来分别对应夹紧力不足/过大，冷拔拉力不稳定，电机故障。控制器发出的信号不能够直接驱动蜂鸣器，需要一个驱动电路对蜂鸣器进行驱动，将控制器的信号转变为能够驱动蜂鸣器的信号。

整个系统通过传感器采集生产信息，然后经过一定的处理传递到控制器，控制器根据这些信号来对生产过程进行控制，形成反馈控制回路，必要时发出警报信号，控制电路的整体模型如图 4.9。

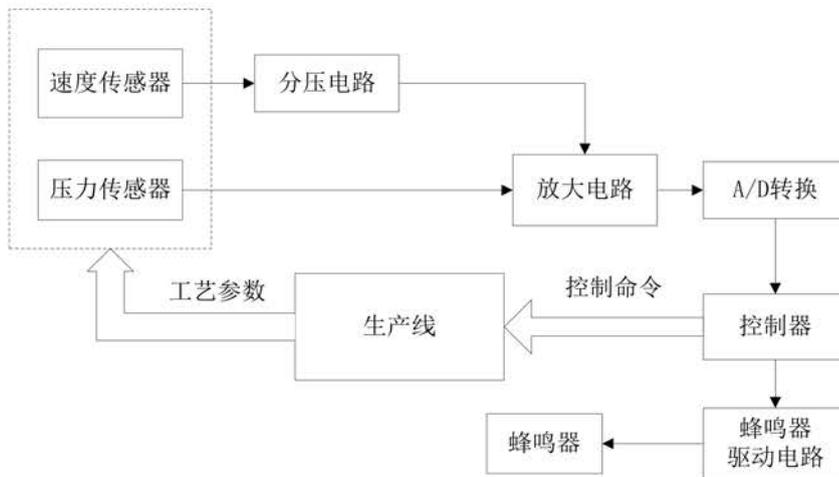


图 4.9 冷拔检测控制整体模型图

要使钢管发生塑性变形，需要使钢管受到超过其屈服极限的拉力，本产品所使用的 45 号钢的屈服强度为 355Mpa，原材料的外径为 34mm，内径为 28mm，经过第一次冷拔之后外径为 28.1mm，内径为 17.6mm，最终产品的外径为 25mm，内径为 15mm，由此根据前文计算理论冷拔拉力的公式可以得出两次冷拔所需要的拉力大约分别是 $1.3 \times 10^5 \text{N}$ 和 $1.1 \times 10^5 \text{N}$ ，这个力与夹紧时的摩擦力平衡，钢与钢之间的摩擦因数大约为 0.25，由于冷拔夹头的结构可以很大提高摩擦因数，由此可以选择量程为 $6.0 \times 10^5 \text{N}$ 传感器即可满足要求。由于传感器输出信号较弱，需要将该信号放大，如图 4.10 为电压信号放大。

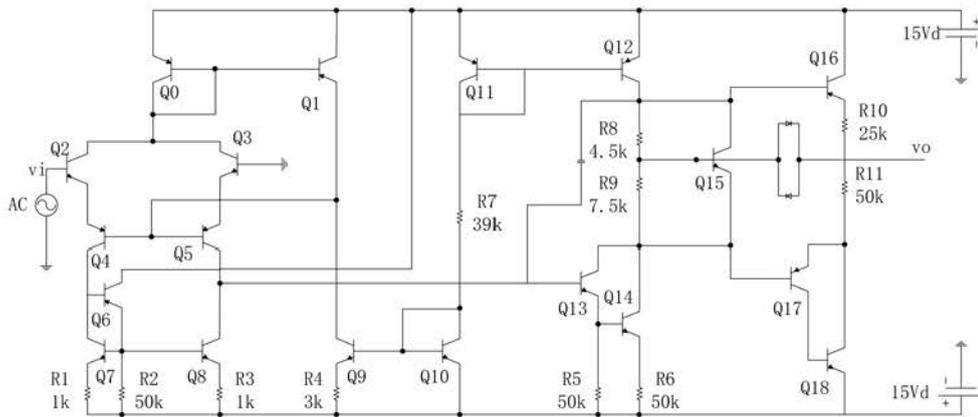


图 4.10 电压信号放大图

电压的放大采用三级放大电路，分别为差分放大电路、普通放大电路和互补对称电路。差分放大电路作为信号放大的输入级，主要作用是消除传感器信号中的干扰信号，突出所需要的电压信号，该级由 Q2、Q3、Q4、Q5 构成，并且 Q7、Q8 构成了有源负载，能够有效地抑制共模增益放大差模信号。Q2、Q3 采用共集电极接法，差模输入电阻较大，Q4、Q5 采用共基极接法，可以实现电压放大，有源负载能够提高放大倍数，并改善整个电路的频率响应。第二级为普通

放大电路，由 Q13、Q14 构成，主要是为了获得较高的放大倍数，是三级放大电路的主要放大环节。输出级是由 Q16、Q17、Q18 构成的互补对称电路，具有良好的带负载能力，并且设计有过载保护电路。

对于冷拔夹头的速度测量采用的时激光测速传感器，使用激光的多普勒效应以非接触的方式测量物体速度。该传感器输出的是电流信号，而芯片所接收的是电压信号，将传感器的输出电流信号转换为电压信号后传递给 A/D 转换器，再传送给控制器，先采用分压电路将电流值转换为电压值，接入 A/D 转换器，如图 4.11 所示。

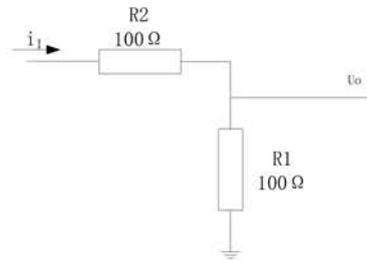


图 4.11 分压电路

分压电路的计算公式为式 4-7。

$$u_o = i_i R_1 \quad (4-7)$$

其中 i_i 为传感器最大输入的电流 20mA，使用 R1 为 100 Ω 的电阻分压，得到输出电压，R2 为电路的保护电阻，值与 R1 相同即可。得到的输出电压通过 LM741 芯片放大后得到输入 A/D 转换芯片的信号，如图 4.12 所示。

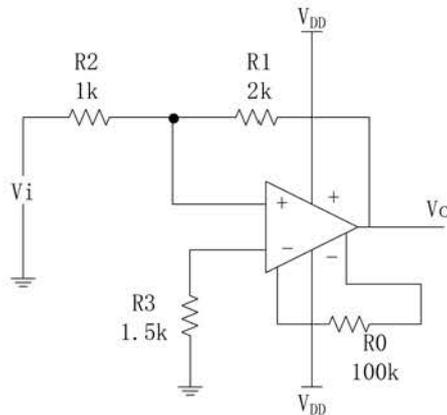


图 4.12 电压正向放大图

经过分压电路之后得到的最大输入电压为 2V，芯片所接收的电压值为 3.3V 以上才能得到高电平信号，则需要将电压放大 2 倍之后接入转换芯片。不能够直接将分压电路的电压直接接入 A/D 转换芯片，因为该信号含有较多的干扰信号，经过 LM741 芯片放大可以起到去噪作用。该电压放大电路为同相放大，根据放大电路的原理，如式 4-8。

$$u_o = \frac{R_1}{R_2} u_i \quad (4-8)$$

其中 v_i 为分压电路输入电压, v_o 为放大电路输出电压, 图中 R_3 是用来平衡由于输入偏置造成电流失调的平衡电阻, 取 R_1 为 $2k\Omega$ 则 R_2 为 $1k\Omega$, 放大倍数为 2 倍。 R_3 为平衡电阻, R_3 的值为 R_1 和 R_2 并联值, 可取为 $1.5k\Omega$, R_4 为调零电阻。将速度传感器安装在冷拔夹头移动方向的导轨上, 激光速度传感器会发出一束激光, 通过分光器将其分为两束后相交而形成干涉条纹, 这就会产生散射光, 激光速度传感器通过一个光接收器接收到散射光并将其转换为电信号, 这个电信号就包含了所需要的速度信息, 根据光接收器接收到的光的强度, 可以判断运动物体 (即冷拔夹头) 的速度。

蜂鸣器控制电路如图 4.13 所示, 图中 R_1 为保护电阻, 为了保护电路的元器件, 电阻值可以取的较大, 三极管相当于一个开关电路, 当工作在饱和区时, 开关导通。选择使用有源蜂鸣器, 当控制芯片给出信号时, 使得三极管导通, 蜂鸣器即可发出声响, 可以通过控制器控制引脚信号的时间长短以及时间间隔, 针对不同的故障信息使蜂鸣器发出不同类型的声响。

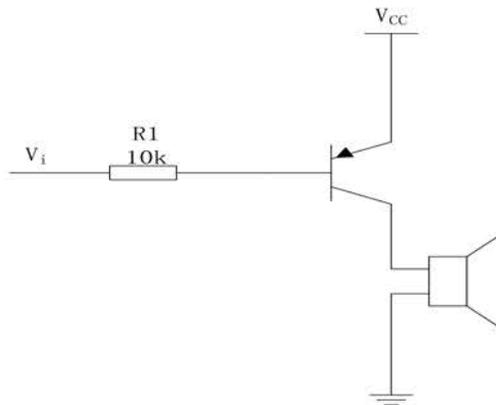


图 4.13 蜂鸣器控制电路图

6) 控制过程的软件设计

冷拔开始的信号是判断夹紧力由零突变成一定的数值, 而结束信号则相反, 使用一个参量表示这个信号, 为 ‘0’ 的时候表示开始, ‘1’ 表示结束。为了防止动作之间的干涉, 会使用到延时程序, 在每一个动作最后都会调用延时程序, 延时程序使用带参数的函数实现, 该参数为需要延时的时间, 可以根据每一步的实际情况具体设定。对于控制器的输入采用中断的方式进行读取, 读取到有效的信号后进入中断程序对生产进行控制, 冷拔过程中函数执行的控制条件如下:

```
Chip_Init(); //对控制芯片的初始化
Parameter_Init(); //对参数的初始化

ST = Start_Input(); //读取输入信号

while (ST & Production_Count)
{
    生产过程中对各个设备的控制
    . . .

    Adjust_ST (ST); //根据夹紧力的值的变化修改 ST 的值
    Produce_End_Adjust_ST (Production_Count, ST); //判断本轮生产是否完成
}
```

软件以生产一根钢管为一个周期进行设计，程序的开始以上一次压力传感器检测到的力突变为零开始，由于第一次冷拔没有上一次的值，则程序启动时会预先设置该条件，然后等待一段时间，待处理好上一次产品后进行下一轮生产，流程如图 4.14 所示。生产过程的程序采用模块化设计，将各个生产步骤分别使用函数来控制，主函数中只调用这些函数，这样的做法可以使控制程序更具有通用性，当进行另一种冷拔钢管工艺生产时，只需要修改相关模块的控制程序即可。

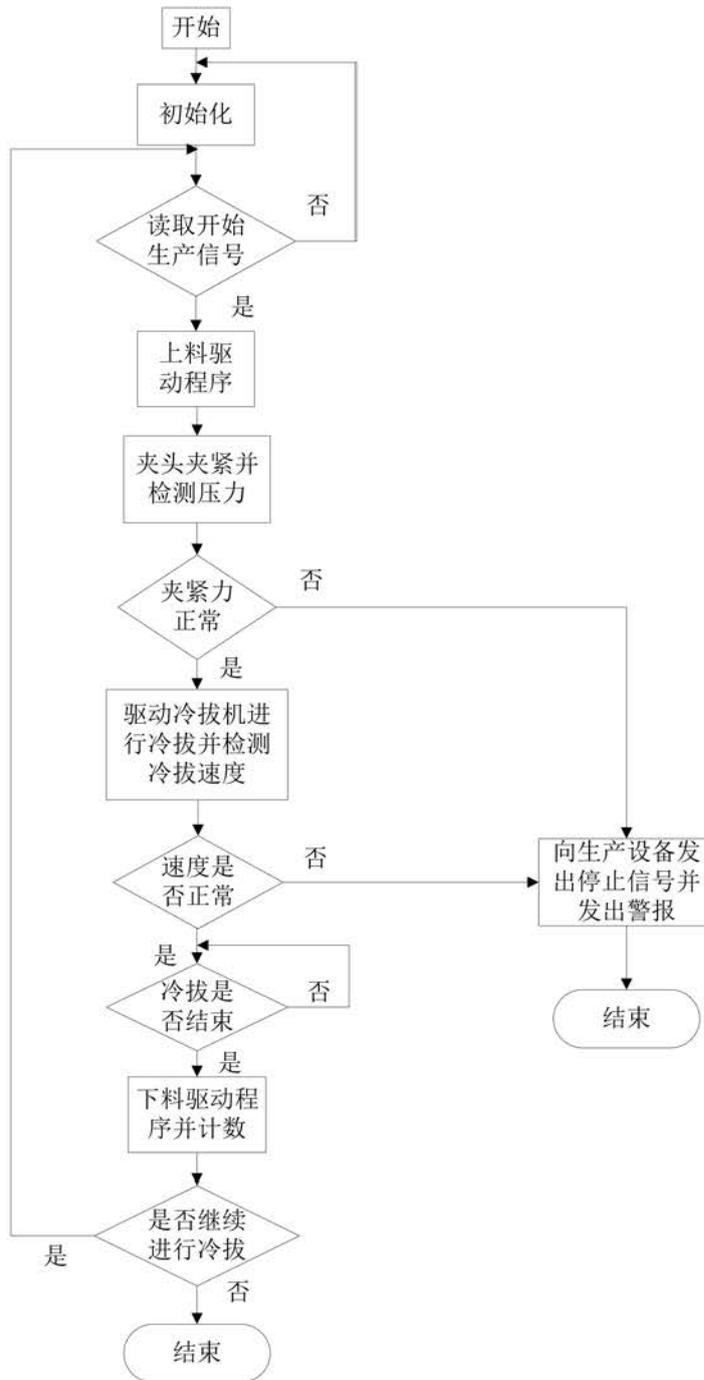


图 4.14 冷拔程序流程图

4.3.2 产品质量检测模块设计

在生产中出现次品是在所难免的，高精度冷拔工艺采用的时漏磁检测技术对产品进行无损检测。原本的检测仅仅能够检测出不合格的产品，对于检测出的不同缺陷不进行分类处理，这

使得操作人员不能够针对具体的缺陷问题进行分析，进一步改善生产工艺，而且在出现合格率较低的状况时不能够及时的停止生产线的运作，无形中增加了生产成本。而且对于有缺陷的钢管，并不代表钢管就是报废的，有些钢管经过修磨之后仍然可以使用，因此在检测过程中还要对经过修磨之后的钢管进行检测，整体结构布局如图 4.15。

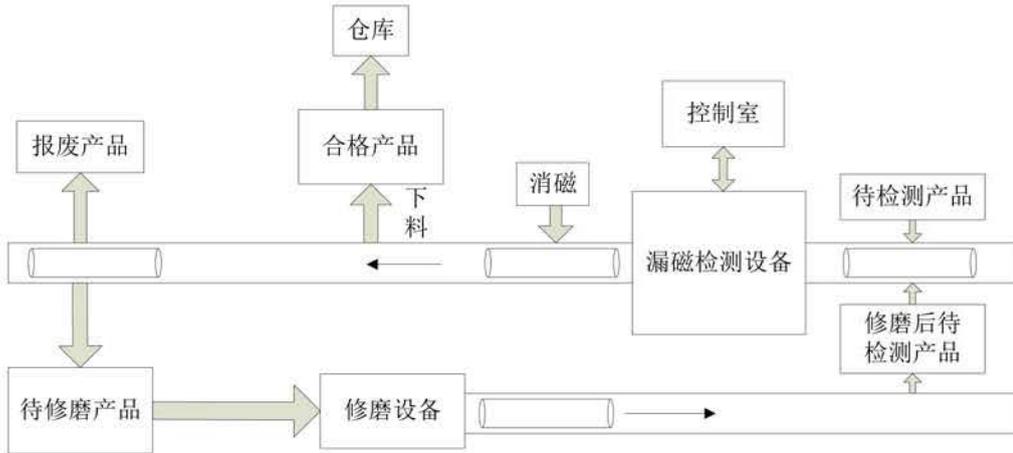


图 4.15 无损检测整体结构布局图

漏磁检测通过对钢管进行磁化，使用磁敏传感器对漏磁进行采集到输入信号，该信号通过低通滤波获得实际的漏磁信号，然后经过一个放大器进行放大得到能够进行处理的数字信号，通过对该信号进行小波去噪，然后进行特征的提取识别，可以输出缺陷信号。漏磁信号的人工神经网络系统可以识别缺陷信息，输出缺陷的具体信息，缺陷识别原理如图 4.15，在此基础上添加对产品合格率的计数部分，以及能够自动将合格产品与不合格产品区分，对缺陷信息进行分类统计，并将这些信息传递给总控制器，总控制器依据对这些信息进行判断生产线的生产状态是否良好，如果次品数量超出预期，则发出警报并中断生产过程的进行(图4.16中虚线部分)。

当提取到缺陷特征时，不仅将该信息输入人工神经网络，还会将其输入给控制器，控制器得到该信号以后对不合格产品以及产品总量进行计数，可在控制器内设一个初值 `count`，每当总量达到 `count` 时，将信息通过 CAN 总线输入到总控制器；在控制器内还会设置一个初值，用来判断合格率是否达标，当合格率不达标时，发出警报，将信息反馈给总控制器，对生产线的启停进行控制。因为在生产的时候有可能出现类似于第一根钢管是次品，但是后面的产品都是合格的情况，因此对于生产开始的时候效率的标准与总体要求的合格率会有差别，对于生产过程合格率的划分如表 4.1。在钢管生产数量较低的时候可将合格率的要求降低，随着生产总数的增加，对该参数的要求逐渐增加，这样可以防止某些极端情况而导致的生产线的停止运作。

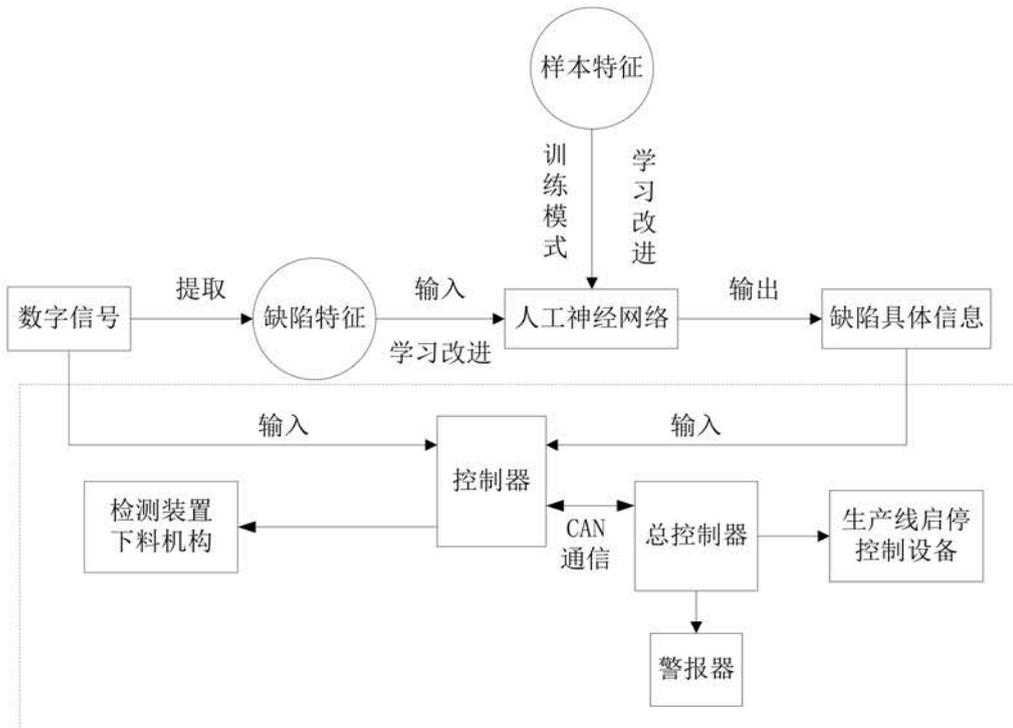


图 4.16 缺陷识别原理图

表 4.1 生产过程合格率的划分

钢管数量（根）	合格率（%）	钢管数量（根）	合格率（%）
10	—	100	80
20	50	500	90
50	70	>500	95

此外，原本的生产过程中只会对合格产品自动下料，需要人工剔除不合格产品，在此基础上添加对不合格产品的自动下料机构，并添加自动标记装置，在检测到缺陷的位置附近标上记号，方便后期对缺陷进行具体的分析，由于钢管移动的速度可以确定，在检测到缺陷时开始计时，则可以计算出缺陷位置。第一次检测不合格的钢管会被传送到次品区，等待经过修磨处理再次检验，如果再次检验仍然不合格，则会被放入废品区。

在神经网络输出缺陷的具体信息同时，对缺陷的信息进行分类，根据输出的信息的不同对缺陷进行分类统计，如图 4.17 所示。将冷拔产品的次品按照缺陷种类进行分类有助于了解生产线上的不足之处，能够通过分析统计数据中缺陷出现较高的原因，对生产线进行优化，进一步提高生产质量。



图 4.17 钢管缺陷统计

4.4 钢管出现缺陷时的控制过程

冷拔工艺的智能化改进是为了能够在出现生产工艺参数不是预期参数的状况时，智能器件能够检测到这些参数，并将这些参数传递给控制器，控制器根据现有的生产状况做出反应，对生产过程进行调整或者中断生产，当出现的问题较为严重时，将信息传递给总控制器，对生产过程实行合理的控制。

4.4.1 冷拔过程缺陷的控制

拉拔过程的操作不当会使钢管出现直道、壁厚不均以及开裂等缺陷，当出现这些缺陷时，必然也会使得冷拔的过程不平稳，影响冷拔夹头的夹紧以及冷拔夹头的运动平稳性，此时压力传感器以及光电传感器就能够检测到异常数据，将这个异常数据反馈给控制器，由控制器做出相应的判断，如图 4.18 所示。

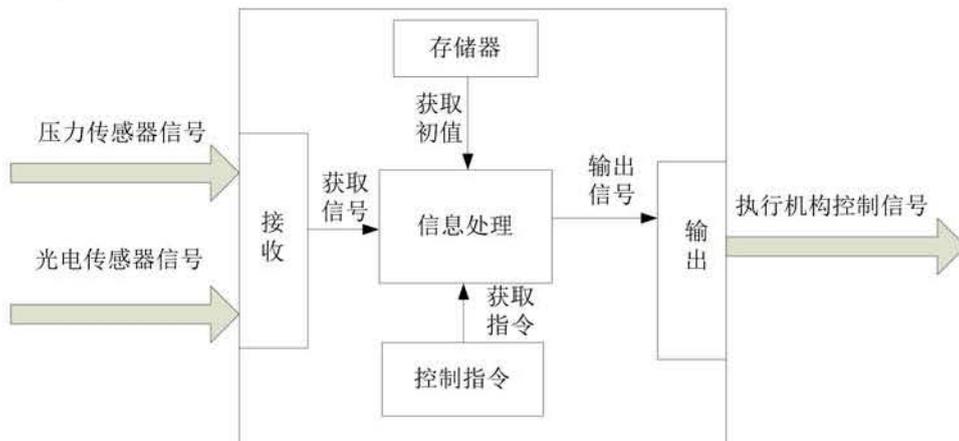


图 4.18 冷拔缺陷信号处理

当钢管进行冷拔时，如果某一段出现开裂的状况，钢管开裂过程会对冷拔设备的拉力造成影响，而壁厚不均以及直道的缺陷会影响钢管发生形变时所需要的总应力以及钢管与冷拔模具之间的摩擦力这必然会对冷拔拉力造成影响，使得冷拔夹头的运行速度产生波动，激光测速传感器则可以检测到这个信号。此外，当速度波动过大时还会对冷拔夹头的夹紧造成影响，使夹紧力产生波动，能够通过压力传感器检测出来。

随着冷拔夹头沿着导轨方向移动时，激光测速传感器检测到冷拔夹头的移动速度，并将检测到的信号经过分压电路以及电压放大电路传递给控制器，当冷拔夹头的运动不平稳的时候，激光测速传感器检测到的信号与预先设定在控制器内部的值不同，控制器通过获取这些值，就可以判断生产状态是否正常。同时冷拔夹头的钳口会发生震动，导致夹紧力发生波动，压力传感器检测到这些信号经过放大电路后传递到 A/D 转换电路，转换成数字量之后被控制器接收，与初值进行比较。

控制器通过对生产线上的液压系统进行控制来实现对生产过程的控制。当检测到的夹紧力以及冷拔速度数值与预期的数值不同时，控制器就会对元生产线上的 PLC 控制系统发出信号，PLC 控制系统对液压装置进行控制调整。对冷拔夹头夹紧力和冷拔速度的控制过程中采用的是 PID 控制法，通过对检测值和预期值的偏差进行 PID 调节，然后通过控制液压系统的溢流阀来控制夹紧力和冷拔拉力来调节冷拔夹头的夹紧力以及冷拔速度。实现 PID 控制的原理图如图 4.19 所示。

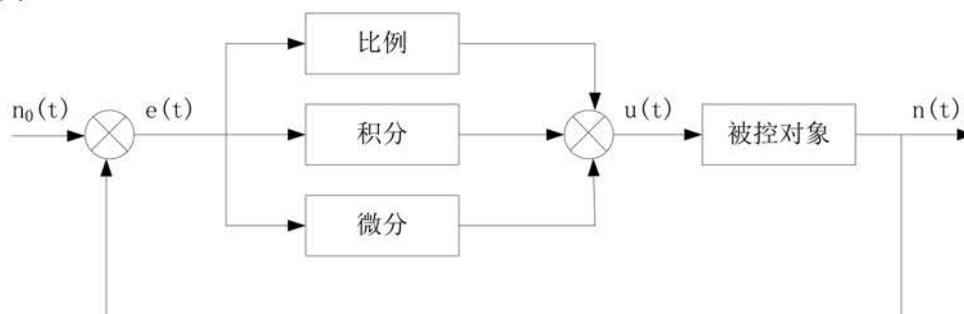


图 4.19 PID 控制原理图

将检测到的实际值 $n(t)$ 与理论值 $n_0(t)$ 进行比较得到差值 $e(t)$ ，对这个差值进行 PID 调节，可以得到一个控制信号，从而实现对冷拔夹紧力和冷拔拉力的调节。要实现精确的 PID 控制，首先要确定其各个环节的控制参数，PID 控制环节的主要参数有比例系数 K_p 、积分常数 T_i 和微分常数 T_d 。在工业生产中对这几个参数的主要获取方法是通过实验获取，先调节比例系数获取最快的响应系数，然后调节积分环节，使得控制系统保持良好的动态特性，最后调节微分环节，调整系统的超调量为合理值。经过多次对 PID 控制系统的调试，选取 $K_p=200$, $T_i=300\text{ms}$, $T_d=50\text{ms}$ 。

如果在一定的时间里控制器依旧不能够将冷拔夹紧力以及冷拔速度调整到合理的范围内，控制器会对现场冷拔工序的控制电路给出信号，切断生产电路供电，停止冷拔生产作业的进行，

将事故的损失降到最低，然后发出警报，提醒现场的工作人员对发生生产故障的设备进行必要的处理，并且会通过 CAN 总线将生产出现故障以及是否做出反应的信息传递给总控制器，由总控制器在人机交互界面反馈给相关技术人员，及时解决故障。

在人机交互界面上有通过手动的方式对冷拔过程进行控制的部分，在对故障问题进行解决时，可通过人工控制来确定生产过程是否恢复正常，当故障解决后，由人工对冷拔生产设备进行复位操作。在冷拔控制器进行了复位操作之后，会对总控制器发出故障解除的信号，然后总控制机器人机界面中冷拔过程的信息恢复正常。

4.4.2 无损检测过程的控制

冷拔过程中钢管的内部缺陷例如钢管内部的细小裂纹、内部气孔等缺陷，在进行生产时不会影响生产过程的进行，但是在使用中却有着极大的危害，这些都是通过无损检测来识别的，无损检测识别到的信号经过神经网络处理可以分析钢管具体的缺陷，无损检测部分的控制器需要获取这些缺陷信息，对其进行统计，如图 4.20 所示。

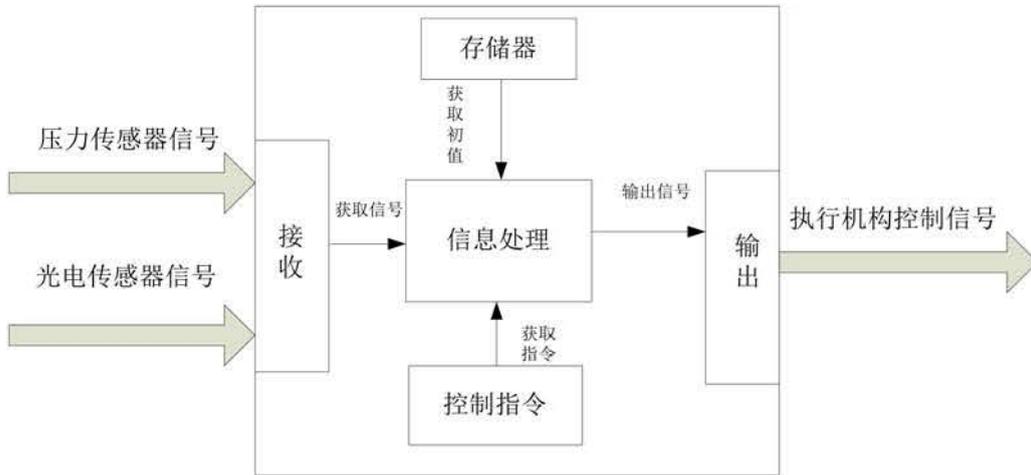


图 4.20 无损检测信息处理

无损检测过程所采用的时漏磁检测，首先会对钢管进行磁化，使用磁传感器检测钢管内部缺陷时，由于有缺陷的钢管表面产生的磁信号不同，使得传感器会产生一个电压信号，对这个电压信号获取之后经过放大电路放大，控制器和人工神经网络分别获取到该信号。控制器获得该信号对产品合格率做出统计，而人工神经网络获取该信号之后对信号进行处理，对缺陷信息进行具体识别，之后再将信号反馈给控制器，控制器会根据这个信号将缺陷划分到预先规定的缺陷种类之中。

无损检测中的合格产品分为两种，一种是冷拔之后合格的钢管，还有一种是冷拔之后经过打磨修复之后合格的钢管，这两类钢管分别在漏磁检测装置的不同侧上料，控制器控制上料装置时自身也会得到一个反馈信号，此时控制器便能够知道该钢管是否经过修磨。如果钢管未经

过修磨检测出不合格，控制器控制滚轮将钢管移动到待修磨区的位置，控制下料装置将钢管放入待修磨区；经过修磨之后还未合格的钢管控制器会控制滚轮将其运送到废品区一侧，控制下料装置将钢管放入废品区；合格的钢管会被放入成品区。控制器通过获取到的信号来控制继电器系统，发出控制信号对上料下料的电机进行控制，从而实现无损检测过程中的物料自动上下，而这个控制信号也是判断产品的质量信号。

控制器不仅读取磁传感器的信号判断钢管产品质量，将其合理摆放到相应位置，还会计算钢管产品的合格率，该控制器自身不会对生产线进行控制，但当产品的合格率过低时，会通过 CAN 总线向总控制器发送信号，通过总控制器来对生产线进行控制，该信号的优先级仅次于总控制器对生产线发出控制信号的优先级。并且控制器还会接收由神经网络处理的磁传感器信号，对缺陷信息分类，方便技术人员能够很好的了解生产线上的不足之处，以便在后续的生产加工之中进行改进。

4.5 本章小结

本章的主要内容是对高精度冷拔工艺中的冷拔过程和无损检测过程进行了智能化的改进，设计了冷拔过程和无损检测过程中参数获取、处理以及控制的方案，并且设计了 CAN 总线的实现方案，搭建了这两个工艺部分的控制系统。

第五章 高精度冷拔钢管制造主要软件界面设计及实验验证

5.1 引言

对高精度冷拔工艺的智能化改进在前文中已经基本设计完成，为了更好地实现智能化的生产，使操作人员能够很好的了解生产线上的状况，并且能够较为便利的对生产过程进行控制，需要使用人机交互界面。

5.2 人机交互界面设计

本文所设计的高精度冷拔工艺智能化改进系统是在 Linux 环境下运行的，Linux 环境下的人机界面的设计工具有很多，可以下载合适的安装包，按照教程在 Linux 环境下安装好所需要的工具，实现在该环境下的人机交互界面的设计。

5.2.1 总控制界面设计

总控制界面的功能有两个，首先要反映生产线上各个生产过程的生产状态是否正常的信息参数界面，其次还需要能够对生产过程进行控制的控制界面，总控制界面中的生产信息界面只需要反映生产过程中的大致状况，而具体的生产信息由各个控制部分的人机界面给出，控制部分需要能够对整个生产线的功能进行控制，如图 5.1 为生产状态显示界面。



图 5.1 生产状态显示

生产信息界面中显示各个工艺环节的状态，分别为：正常工作、休息、故障检查以及故障仍在生产这四个状态，当出现“故障仍在生产”状态时，就需要人工对生产线进行控制，以免

出现不必要的损失。

总控制界面中只需要能够对生产总体过程进行控制，当出现生产故障时，按下“紧急制动”按钮，信息就会通过现场总线传递给各个 Agent，当接收到该信号以后，各控制器对生产设备做出相应控制。

5.2.2 冷拔界面设计

冷拔界面中需要显示当前的夹紧力以及冷拔速度，并且需要将预期的冷拔工艺过程的参数也显示出来，可以方便工作人员进行查看，防止报警过程出现故障，可以人工进行控制，并且还要显示已经加工过的钢管数目，并且还设有启停按钮，能够实现对冷拔过程的手动控制，如图 5.2 所示。



图 5.2 冷拔工艺人机界面

5.2.3 质量检测界面设计

质量检测界面中需要显示钢管产品的合格率，并且将一次生产就合格的产品与经过打磨之后合格的产品数量分别显示出来，还会显示产品的合格率等信息，并不对生产线进行控制，当出现合格率偏低而生产还在继续的情况时，可以通过信息发送按钮向总控制器发出请求，并且能够发出警报，如图 5.3 所示。



图 5.3 无损检测人机界面

5.2.4 工厂中智能检测器件的搭建

1) 平台搭建

根据前文中所描述的对冷拔过程以及无损检测过程的方案设计，根据需求以加工及采购的方式获得所需要的元器件。作为对原有生产的智能化改进，所添加的功能不能够阻碍到原有的生产过程，所以在安装的过程中要考虑到新添加的元器件对原有生产工艺的影响，根据现场的实际情况进行安装。

冷拔夹头的钳口内部安装压力传感器时需要将三个传感器成三角形放置，并且需要保证传感器的高度要保持一致，这样才能保证冷拔夹头夹紧时所有的压力传感器都完全接触，保证夹紧时的平稳性，此时三个传感器上均受到了冷拔夹头的压力，能够准确的测量出夹紧力。测量冷拔夹头移动速度时会在导轨处安装激光测速传感器，安装时需要注意所装的部件不能够影响冷拔夹头在导轨上的运行，需要在安装时使得这个光信号能够投射到被测物体冷拔夹头上，这样夹头在移动时才能够通过传感器检测出其运行的速度是否平稳，从而确定冷拔拉力的平稳性。

在无损检测设备的入口即出口处都需要安装光电传感器，用来对钢管进行计数，并标记出钢管缺陷位置。钢管缺陷位置的计算是通过检测到钢管进入无损检测设备的信号，然后检测出缺陷，接受到这个信号，根据两个信号之间的时间间隔以及传送带的速度来计算其位置，这就需要知道传感器与检测设备之间的安装距离，在后续标记缺陷位置时能够进行补偿，以便准确的计算出缺陷位置。

由于工作现场的震动等环境因素，将控制器放置在与生产设备之间相距一段距离的地方，这样进行检测的元器件与控制器之间需要较长的现场总线进行连接，由于现场设备大多数为金

属，在安装现场总线时需要做好绝缘工作，总线的线路应当集中，并且尽可能保证只有少部分线路靠近生产设备，防止对生产过程产生干涉。总线的集中放置以及远离生产设备还可以方便后续对其进行维护。

2) 参数获取

冷拔过程中需要检测到冷拔拉力以及虎钳运行速度与设定值进行比较，该值可以通过经验数据进行给出或者通过人工试生产来测量得出，由于之前并没有对该项生产数据的统计，所以通过试生产的方法来获得生产数据的初值，以 10 次试生产得到合格的产品，将这些数据进行处理之后作为控制器内部的初值。

检测夹紧力时由于是三个传感器共同测量，所以还要求这三个传感器检测到的值相差不大的情况下才有效，否则需要对传感器的安装等影响因素进行检查调整，然后取这三个值的平均值作为一次检测的有效值。测量冷拔过程稳定性时，一次测量可以得到多个传感器经过反光带的时间间隔数据，这些数据值相近的情况下为有效值，将这些值取平均数作为该次测量的有效值。对上述过程进行 10 次测量，在 10 次试生产出合格钢管的状态下测量出 10 组有效数据。

对这 10 组数据进行处理，去掉明显偏大或偏小的数据，将余下的数据进行求方差等数学处理，最终可以得到一个期望值，将该值作为控制器的初值，该值的浮动范围由方差的数学模型 3σ 的范围来确定。

5.3 智能化改进的实验验证

调整好各项生产参数以后，按照第二章叙述的工艺生产路线进行生产，由于实验条件的限定，首先生产一捆（约 50 根左右）钢管验证改进方案的合理性，对其生产过程中的数据进行统计，并对生产结果进行分析。

5.3.1 生产过程中数据的获取

在进行冷拔工艺的生产时，主要通过获取冷拔过程以及产品质量检测过程中的数据，通过对数据的分析，以及与结果进行对比，判断智能化改进的合理性。当钢管进入冷拔过程时，上料装置自动上料，等钢管位置就绪后，虎钳对钢管进行夹紧，能够获取夹紧力数值，然后开始冷拔，可以读取到光电传感器的数值；进行产品质量检测时能够对钢管数量进行计数，对缺陷钢管标记，生产数据能够通过现场总线传递个控制器并显示出来。

由于生产过程中没有出现较大的故障，认为的给生产过程模拟生产故障，将冷拔的夹紧力增大/减小，以及对冷拔夹头的速度进行设置，将产品的故障率人工输入过高，生产线均能做出正确反应，发出警报。

5.3.2 最终产品比较

在进行完冷拔工艺的生产后，在产品入库前，需要将产品上残留的磷化膜等起润滑作用的物质清洗掉，然后按照要求将钢管产品打包入库，如图 5.4 为生产出的钢管样本，图 5.5 为未使用智能化改进生产出的钢管能够满足客户的使用需求。

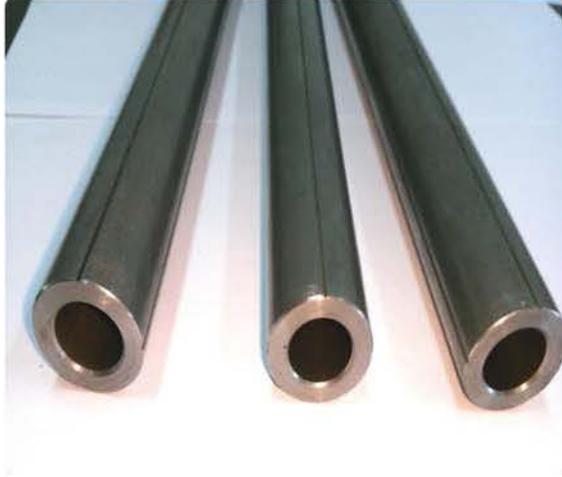


图 5.4 生产的钢管样本



图 5.5 未使用智能化改进生产的钢管

虽然使用智能化改进前后生产出的钢管都能够满足使用要求，但是从图中可以看出，在使用智能化改进之后生产出的钢管表面质量更加良好，在端口处未出现毛刺等不良现象，钢管内侧的表面质量也较为良好，证明了本设计的合理性。表 5.1 为一些生产数据的对比。

表 5.1 生产参数对比

	改进前	改进后
总生产时间 (捆/min)	约 250	约 230
次品率	要求<10%	约为 8%
表面跳动 (mm)	在 0.05 上下波动	基本在 0.05 以内
垂直度 (mm)	<0.05(能够保证在 0.030 左右)	<0.05 (大部分在 0.025 以下)
端口毛刺状况	<10%出现毛刺状况	<5%出现毛刺状况
硬度要求 (HRB)	93.8	94.1

从表 5.1 中可以看出在进行了智能化的改进之后产品质量能够满座使用要求，但是生产时间上缩短了，提高了生产的效率，在产品次品率方面有着略微的提高，并且改善了钢管的表面质量，减少了钢管端口的毛刺。

5.4 本章小结

本章主要内容是设计了高精度冷拔工艺智能化改进方案的人机界面，然后通过对设计方案的实验验证，证明了方案的可行性，并对实验的结果进行了对比，证明了改进方案不仅满足生产要求，对生产性能有大幅度提高。

第六章 总结与展望

6.1 总结

生产的智能化已经成为工业发展的一个主要方向，现代化的制造业也正朝着智能化的方向进行不断地改善。钢管在日常生产生活中应用的十分广泛，钢管的制造工艺已经发展的较为成熟，但是钢管生产的智能化程度不高，这也阻碍着钢管制造业的进一步发展。本文研究课题就是对高精度无缝冷拔钢管生产工艺进行智能化改进，在原有的无缝钢管冷拔工艺生产过程的基础之上添加智能化的器件，对生产过程中的关键工艺进行检测，通过对获取到的工艺参数信息进行处理、分析，实现了对生产线的控制过程。为了实现高精度无缝钢管冷拔工艺的智能化改进，本文主要完成了以下工作：

- (1) 学习了冷拔工艺的基本知识，对钢管的冷拔工艺的发展现状进行了分析，对目前冷拔过程中智能化的应用进行了了解，引出了对高精度冷拔的生产工艺进行智能化改进的研究课题。
- (2) 分析了高精度冷拔工艺的工艺路线，对各项工艺参数对钢管产品的影响做出了阐述，对现有冷拔工艺存在的问题进行了分析。根据对高精度冷拔工艺的分析结果，提出了智能化改进的预期目标。
- (3) 根据前文中对高精度冷拔工艺智能化改进的预期目标，对冷拔生产工艺进行了模块化的设计，按照生产工艺路线将控制部分分成了4个，分别为：退火工艺，酸洗润滑工艺，冷拔工艺，产品检测。这四个部分均使用一个控制器进行控制，并且通过CAN总线与总控制器进行信息的交互，由总控制器进行统一的调度，实现分布式的控制过程。在此基础上对这4个部分的生产控制流程进行了设计，对以CAN总线为现场总线的控制体系架构进行了设计，设计了高精度冷拔工艺智能化改进的整体模型。
- (4) 针对高精度冷拔工艺中冷拔过程以及产品检测过程两个重要工艺部分进行了智能化的改进。设计了通过传感器检测现场工艺参数的信息获取及处理部分，以S3C2440控制器为核心，对现场获取到的信息进行分析处理，根据处理得到的结果对生产线进行合理的控制。设计了CAN控制器、CAN收发器以及控制器之间的CAN总线连接线路，实现总控制器的控制功能。

依据论文的设计，对高精度冷拔工艺中的冷拔过程和产品质量检测过程进行了改进，并进行了试验，取得了良好的效果，验证了设计的可行性。

6.2 展望

由于冷拔工艺是较为传统的制造生产行业，多年来生产模式较为固定，在对其智能化改造时难免会对原有的生产方式造成影响，这也限制了对高精度冷拔工艺生产线的智能化改造，而且本文所研究的只是在原有的生产工艺的基础之上进行的智能化改进，并且重点只针对冷拔过程和产品质量检测过程进行了智能化改进，所设计的方案难免会存在诸多考虑不全的问题。对高精度冷拔工艺进行智能化的改进顺应了现代制造业向智能化发展的方向，对其进行的方案有绝对的可行性，本文所设计的高精度冷拔工艺智能化的改进方案，取得了一定的研究成果，但由于时间等因素的限制，所设计的系统还存在很多需要提高的方面。后续工作有：

- (1) 由于设计时间的原因，主要针对冷拔和产品检测过程进行重点设计，但整个冷拔工艺还包含有其它关键工艺，需要进一步的考虑生产过程中的各种因素，进一步的提高生产的智能化水平。
- (2) 目前生产系统只是在是生产的过程中取得了成果，但是要真正的应用到批量化的生产过程中，还需要对系统进行进一步的优化。

参考文献

- [1] 王友发, 周献中. 国内外智能制造研究热点与发展趋势[J]. 中国科技论坛, 2016(4):154-160.
- [2] 周济. 智能制造--“中国制造 2025”的主攻方向[J]. 中国机械工程, 2015, 26(17):2273-2284.
- [3] Murakawa M, Koga N, Ohkawa K, et al. Production of a Precision Tube for Photosensitive Drum by DI Process [J]. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 1988, 37(1):263-266.
- [4] Choi Y, Kim D U, Kang B Y, et al. Forming of the precision aluminum tube for a light weight propeller shaft[J]. Journal of Mechanical Science & Technology, 2013, 27(11):3445-3449.
- [5] Yuan S, Wang X, Liu G, et al. The precision forming of pin parts by cold-drawing and rotary-forging[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1999, 86(1-3):252-256.
- [6] Hirsch T K, Rocha A D S, Nunes R M. Characterization of local residual stress inhomogeneities in combined wire drawing processes of AISI 1045 steel bars[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 70(1-4):661-668.
- [7] 王家聪. 我国高精度冷拔钢管发展前景浅析[J]. 钢管, 1999(2):5-8.
- [8] 杨传柱. 冷拔精密无缝钢管生产工艺控制[J]. 冶金丛刊, 2014(1):43-45.
- [9] 邹玉萍. 酸洗条件对不同规格钢种酸洗效果的影响研究[J]. 甘肃冶金, 2011, 33(1):37-41.
- [10] 王家聪, 李亚森. 高精度冷拔钢管残余应力的分析与消除[J]. 钢管, 2005, 34(1):17-19.
- [11] 章合滢. 无缝钢管漏磁检测技术的研究[D]. 南京航空航天大学, 2015.
- [12] Zhang R, Liu X, Liu L, et al. Research on an Intelligent Manufacturing System for Tokamak Machine[J]. Journal of Fusion Energy, 2014, 33(6):648-652
- [13] Lemos M A, Liberado E V, Marques M A, et al. TOWARDS INTELLIGENT MANUFACTURING[J]. Ifac Proceedings Volumes, 2007, 40(19):73-78.
- [14] 高世一, 赵明扬, 邹媛媛, 等. 基于多智能体的制造系统生产控制建模研究[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(6):1066-1070.
- [15] Wan X Q, Yang B L. The Design of the Hydraulic System for Intelligent Hydraulic Cold-drawing Seamless Steel Tube Machine Tool[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2004.
- [16] Gou J, Xu X, Mingxiang X, et al. APPLICATION OF CAPP TECHNOLOGY FOR PROCESS DESIGN FOR COLD-DRAWN STEEL TUBES[J]. Steel Pipe, 1997.
- [17] 菅宸龙, 唐滨. 钢管公端磷化装置自动控制系统的應用[J]. 天津冶金, 2015(1):61-62.
- [18] 黄维秋, 孙双林, 孙建国. 过程计算机系统在钢管生产中的应用[J]. 钢管, 2002, 31(3):38-41.
- [19] 胡恒法. 智能制造技术在钢产品生产中的应用探讨[C]// “宝钢学术年会”. 2015.
- [20] 王家聪, 杨立志, 王志远, 等. 冷拔钢管的残余应力测试与结果分析[J]. 钢管, 2017,

46(3):54-59.

- [21] 陆峰. 精密冷拔钢管的回复退火[J]. 煤矿机械,2003(5):55-56.
- [22] 李雪伟, 朱燕燕. 冷拔钢管关键工序控制及缺陷消除[J]. 煤矿机械,2004(8):77-78.
- [23] 赵毅, 张钺. 超声波无损检测技术在钢管检测中的应用[J]. 中国新通信,2012(17):78-79.
- [24] 章合滔, 薛建彬, 方灿娟, 等. 无缝钢管漏磁无损检测自动化系统研究与开发[C]// 中国计量协会冶金分会 2013 年会论文集. 2013.
- [25] 侯维娜, 屈双惠. 涡流检测的现状与新进展[J]. 重庆理工大学学报, 2007, 21(15):67-70.
- [26] 林俊明. 第一专题 多频涡流检测原理及应用[J]. 无损检测, 1996(1):23-26.
- [27] 谭明娟, 马信山. 涡流检测中传递函数方法研究[J]. 电工技术学报, 1998(5):42-46.
- [28] 杨永锋, 党晓刚. 组合无损检测技术在无缝钢管探伤中的应用[J]. 科技创新导报, 2013(17):67-67.
- [29] 邓建民, 李凌勇, 戴立操. 基于钢管生产流程的 MES 开发[J]. 工业控制计算机,2016, 29(8):109-110.
- [30] 王婧, 朱军, 李中祥, 等. 钢管信息跟踪系统的设计与实现[J]. 制造业自动化,2013, 35(19):116-119.
- [31] 翟祥民. 罩式炉退火过程控制系统研究与应用[D]. 中南大学, 2011.
- [32] 李明波. 温度控制系统在冷拔材酸洗中的应用[C]// 全国冶金安全环保学术交流会. 2011.
- [33] 孔庆虎, 王建华. 退火炉自动控制系统设计[J]. 山东冶金, 1999(1):44-45.
- [34] 陶海燕. PLC 在钢管冷拔机电气控制系统中的应用[J]. 钢管, 2010, 39(6):57-59.
- [35] 郭方卫, 李伟, 李威, 等. PLC 智能检测系统在冷拔钢管生产中的开发应用[C]// 全国. 2003:148-150.
- [36] 赵福民, 王治森, 高锷, 等. Agent 技术在智能制造系统中的应用研究[J]. 机械工程学报, 2002, 38(7):140-144.
- [37] Lemos M A, Liberado E V, Marques M A, et al. TOWARDS INTELLIGENT MANUFACTURING[J]. Ifac Proceedings Volumes, 2007, 40(19):73-78.
- [38] Gausemeier J, Gehnen G. Integrated Network for Decentral Intelligent Manufacturing Control and Automation[J]. Ifac Proceedings Volumes, 1997, 30(14):7-11.
- [39] 朴永杰, 林涛, 邱涛, 等. 多智能体系统在焊接柔性制造系统中的应用[J]. 焊接学报, 2002, 23(5):87-90.
- [40] 高世一, 赵明扬, 邹媛媛, 等. 基于多智能体的制造系统生产控制建模研究[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(6):1066-1070.
- [41] 覃小斌, 石柯. 敏捷制造环境下基于多智能体的车间控制系统[J]. 华中科技大学学报自然

- 科学版, 2002, 30(2):32-34.
- [42] 臧传真, 范玉顺. 基于智能物件的制造企业信息系统研究[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(1):49-56.
- [43] 徐尉, 孙力娟, 王汝传,等. 基于物联网/传感网的智能节能系统[J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(s2):366-371.
- [44] 王敏, 武阳, 王宁,等. 基于物联网架构的智能照明系统的设计与实现[J]. 电工技术学报, 2015(s1):110-114.
- [45] 王世勇, 万加富, 张春华,等. 面向智能产线的柔性输送系统结构设计与智能控制[J]. 华南理工大学学报:自然科学版, 2016, 44(12):30-35.
- [46] 陈海明, 崔莉. 面向服务的物联网软件体系结构设计与模型检测[J]. 计算机学报, 2016, 39(5):853-871.
- [47] 张立为, 陈浩, 陈坚. 选择嵌入式系统主处理器的几个重要参考因素[J]. 中国新通信, 2015(3):32-34.
- [48] 张才军, 叶水生, 王万兵. Linux 下基于 MCP2515 的 CAN 总线驱动程序设计[J]. 数字技术与应用, 2016(4):179-179.
- [49] 温震宇. 基于 ARM9 和 Linux 的 CAN 节点的设计与实现[D]. 吉林大学, 2009.
- [50] 刘金梅, 姚晓琼, 韦雪洁. 基于 MCP2515 和 S3C2440 组建 CAN 总线通信系统的设计与实现[J]. 北华航天工业学院学报, 2012, 22(1):10-12.
- [51] Chen X W. Application of Simulated SPI Based on CAN Controller MCP2515-I/SO [J]. Computer Knowledge & Technology, 2009.
- [52] 万贤杞, 杨冰莲. 智能型全液压无缝钢管冷拔机床液压系统设计[J]. 液压与气动, 2004(3):31-33.
- [53] 何英. 基于 8098 单片机的位置及速度检测装置的设计[J]. 科技广场, 2009, 2009(9):169-172.
- [54] 宋跃, 杨雷, 雷瑞庭,等. 基于 ARM9 与 LINUX 的 RS485 总线的通信接口设计[J]. 仪表技术与传感器, 2014(5):35-37.
- [55] 魏人杰. 20 钢冷拔前处理工艺优化及冷拔过程研究[D]. 江苏大学, 2016.
- [56] Geng H F, Liu F S. Microstructures of Ti - Ni - Fe wire after severe cold-drawing and annealing[J]. 稀有金属(英文版), 2013, 32(6):550-554.

致谢

时光匆匆如白驹过隙，两年半的硕士生涯就要迎来毕业的那天，在这段短暂却充实的时光中，我获益颇多。回首在南航度过的这两年时间，我的心里充满了感激，从刚来读研时对自己无知的惶恐和对前途的迷茫，到现在终于有勇气走上社会选择了自己喜欢的工作，离不开薛建彬老师的谆谆教导和各位同学们的悲喜与共。

首先我要衷心地感谢我的导师薛建彬副教授，在这两年时间里给予了我无私的指导和亲切的关怀。薛老师为人和蔼可亲，关心我生活中遇到的问题，用心地开导劝勉我保持积极向上的生活态度。薛老师的工作态度勤勤恳恳，拥有渊博的学识和宝贵的经验，在我的研究学习遇到瓶颈时，总能给我指出问题所在，让我有了继续攻关的方向；其次我要感谢吕菊明导师在学习生活上给予我的帮助，吕老师平易近人，对于我的学术研究给予了极大的帮助。本次论文从选题到完稿都是在薛老师的悉心指导下完成的，中间遇到过很多不解的难题，都得到了薛老师大量真诚无私的帮助。薛老师对于生活工作的态度深深影响了我，我将在今后的工作中兢兢业业、努力奋斗、不断进取。

然后我还要感谢教研室的宫小飞、王庆伦、谢小明、徐青、陈凯、李惠和胡长伟等同学，在这段朝夕与共的学习生活中，他们给了我很多的帮助和鼓励。生活上我们互相关心，学习上我们互相勉励，遇到问题时我们互相讨论，这些都教会了我今后与人相处时真诚的重要性。

最后要感谢的是我的家人，他们永远是我坚实的后盾，不管我在哪儿，都能拥有一个温暖的港湾，没有他们的关心我将步履维艰。

在此我想对一直关心支持我的所有人说一句：祝愿幸福平安。

柯 斌

2017年12月

攻读研究生学位期间的研究成果

- 1.柯斌, 薛建彬, 吕菊明. 基于多代理的高精度冷拔管制造工艺智能化改进[J]. 机械与电子, 2018(1):75-80.