本科毕业设计（论文）

带钢冷连轧生产系统的智能质量控制研究

贾向明

燕 山 大 学

2012 年 6 月

本科毕业设计（论文）

带钢冷连轧生产系统的智能质量控制研究

学院（系）：电气工程学院

专　　业：自动化

学生 姓名：贾向明

学　　号：080103010169

指导 教师：赵新秋

答辩 日期：2012 年 6 月

燕山大学毕业设计（论文）任务书

学院：　　系级教学单位：

<table>
<tr><td>学号</td><td>080103010169</td><td>学生姓名</td><td>贾向明</td><td>专 业
班 级</td><td>计算机控制 2 班</td></tr>
<tr><td rowspan="4">题目</td><td>题目名称</td><td colspan="4">带钢冷连轧生产系统的智能质量控制研究</td></tr>
<tr><td>题目性质</td><td colspan="4">1.理工类：工程设计 （　　）；工程技术实验研究型（　　）；
理论研究型（　　）；计算机软件型（　　）；综合型（　　）
2.管理类（　　）；3.外语类（　　）；4.艺术类（　　）</td></tr>
<tr><td>题目类型</td><td colspan="4">1.毕业设计（　　）　　2.论文（　　）</td></tr>
<tr><td>题目来源</td><td colspan="4">科研课题（　　）　生产实际（　　）自选题目（　　）</td></tr>
<tr><td>主要内容</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>基本要求</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>参考资料</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>周 次</td><td>第 ～ 周</td><td>第 ～ 周</td><td>第 ～ 周</td><td>第 ～ 周</td><td>第 ～ 周</td></tr>
<tr><td>应完成的内容</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">指导教师：
职称：　　年　月　日</td><td colspan="3">系级教学单位审批：
年　月　日</td></tr>
</table>

摘要

带钢冷连轧质量控制主要是板厚和板型的控制，本论文主要是对板厚的控制研究。随着国民经济的快速发展，科学技术的不断进步，汽车、机械制造业、电器和电力电子行业对板材及带材的产量和质量也提出了更高的要求。而厚度控制是衡量板材及带材的非常重要的质量指标之一，已成为国内外冶金行业最受关注的焦点。

厚度自动控制 AGC(AutomaticGaugeContr01)是一个多变量、强耦合、非线性的实时实地控制过程，目前，以现代控制技术来实现控制性能的最高水平和以智能控制技术来实现系统的灵活性、多样性。两方面的要求相互融合，开发出了高精度的厚度自动控制系统是 AGC 控制技术发展的最大趋势。

本文还对冷连轧的工艺流程以及对冷连轧厚度控制的基本理论进行了较为系统地阐述，综合分析了模糊控制在厚度控制的应用。应用 MATIAB 仿真软件建立实验模型，证明本文提出模糊控制器，不管是动态性能还是静态性能都非常良好，进一步验证了本文方法的可行性和实用性。

关键词：AGC 系统；模糊控制；Matlab 仿真

Abstract

Cold strip rolling quality control mainly plate thickness and flatness control,This thesis is mainly on the plate thickness control study, type of other relevant information is described in detail, then do research.

Automatic gauge control (AutomaticGaugeContr01 AGC) is a multi variable, strong coupling, nonlinear and real-time control process, at present, to the modern control technology to achieve the control performance to the highest level and, with intelligent control technology to realize the system's flexibility, diversity.Two aspects of the pursuit of mutual integration, development of high precision thickness automatic control system AGC control technology development trend

The cold rolling process and cold rolling mill thickness control of the basic theory for a more systematic exposition, a comprehensive analysis of the fuzzy control and neural network and fuzzy neural network in control of the thickness of the application.Application of MATIAB simulation software to establish the experimental model with the traditional control, through the comparative analysis of the results, the results prove that whether it is dynamic or static properties are superior to the traditional control, further demonstrates the feasibility and practicability of the method.

Keywords： AGC system; Fuzzy Control ;Matlab Simulation；

目 录

摘要 I

Abstract II

第 1 章　绪论 1

1.1　课题背景 1

1.2　国内外研究现状 2

1.3　本文的主要研究内容 3

第 2 章　轧机板带质量控制的理论基础 4

2.1　冷连轧轧制过程简述 4

2.2　弹跳方程 5

2.2.1　弹性_塑性方程图解法——P-h 图 5

2.2.2　基于 P-h 图的冷轧带钢厚度波动原因 7

2.3　几种常用的 AGC 控制方式 10

2.3.1　厚度计式（反馈式）AGC 及其控制原理 10

2.3.2　张力 AGC 12

2.3.3　秒流量 AGC 12

2.3.4　前馈 AGC 13

2.3.5　反馈 AGC 15

2.4　液压 AGC 数学模型 17

2.4.1　液压 AGC 系统的组成 17

2.4.2　阀控液压缸 18

2.4.3　伺服阀的数学模型 18

2.4.4　位移传感器数学模型 19

2.4.5　液压 AGC 电液伺服数学模型 19

2.5　本章小结 20

第 3 章　带钢冷连轧生产系统的智能质量控制 21

3.1　模糊智能质量控制的理论基础 21

3.1.1 模糊控制的特点.....21
3.1.2 模糊控制的基本理论.....21
3.1.3 隶属度函数.....24
3.1.4 模糊推理规则.....27
3.2 模糊控制器的设计.....28
3.2.1 确定模糊控制器结构.....28
3.2.2 输入输出变量的模糊化.....28
3.2.3 模糊推理决策算法设计.....30
3.2.4 输出变量解模糊化.....30
3.3 本章小结.....31
第 4 章 系统仿真.....32
4.1 仿真实现.....32
4.1.1 仿真结构图.....32
4.2 仿真结果及分析.....33
4.3 本章小结.....34
结论.....35
参考文献.....36
致谢.....38
附录 1 开题报告.....39
附录 2 文献综述.....40
附录 3 中期报告.....41
附录 4 外文翻译.....42

第 1 章 绪论

1.1　课题背景

21 世纪世界钢铁制造工业发展的一个显著特点就是钢材市场竞争愈演越烈，竞争的焦点即是钢材的质量和成本。钢材应用部门的连续化自动化作业的迅猛发展，除了要求钢材的性能均匀以外，还要求钢材尺寸精度高。同时，随着国民经济的高速发展，科学技术的不断进步，汽车、机械制造、电器和电子行业对板材及带材的质量提出了更高的要求。而钢材产品的精度主要指产品的外形尺寸精度，对于板带钢来说，外形尺寸包括厚度、宽度、板型、板凸度、平面形状等等。在所有的尺寸精度指标中，厚度是衡量板材及带材的最重要的质量指标之一，已成为国内外冶金行业普遍关注的一个焦点，厚度自动控制(AutomaticGaugeContr01)已成为现代化板带材生产中不可缺少的组成分。

我国近年来从发达国家引进的一些大型的现代化的板带材轧机，其关键技术是高精度的板厚控制和板型控制。板厚精度关系到金属的节约、结构件的重量以及强度等使用性能，为了获得高精度的产品厚度，系统必须具有高精度的压下调节系统及控制系统的支持。我国板厚控制技术虽然已经应用多年，但是应该看到，由于轧机的压下控制技术综合了众多学科领域的知识，在实际的应用生产上，仍存在着诸多的问题。国内在厚控系统的软件开发、检测仪器仪表、液压伺服系统元件的生产水平、精度上存在差距。即使从国外引进的厚控系统，实际使用中也存在自动控制系统没有完全投入的情况。同时，由于带钢厚度受到液压伺服系统、自动控制系统、工艺的瞬时条件和原料的随机变化等几方面的共同影响，使得控制系统具有不确定性。因此有必要对轧制过程进行仿真研究，以便了解这些因素对板厚精度影响的规律，提出消除或减小该影响的方案。电液伺服位置系统是板厚控制的核心技术，如果这个问题解决不好，就有可能使得调试现场的控制器整定周期较长，控制策略不恰当，非线性因素不易解决，影响板厚精度。因此，为控制方法的更好实现，对电液伺服位置系统作进一步的理论研究，将有助于控制参数的选取，缩短现场调试周期。另一方面，液压伺服系统中的一些非线性环节也影响到板厚精度，采用传统的控制方法对这些非线性环节的适应是非常有限的，因此有必要引入先进的控制方法，开展智能控制方法在此类对象控制中的实际应用和仿真探讨，不仅具有相当重要的理论意义，而且对促进我国自动化技术的发展，提高人工智能领域的研究水平，亦具有积极的意义。

1.2 国内外研究现状

近年来，国内外在带钢冷连轧质量控制尤其是板型板厚等控制技术方面取得了许多新的发展，大大提高了板带材的几何尺寸精度。为满足汽车制造、食品包装、家用电器、机械、轻工、仪表、通讯和军事工业等各领域的需要，生产出更高精度的板带材产品，占领国际市场，各国相继投入了大量的人力、物力，开发研制了许多种现代化大型轧机。具有代表性的有日本日立公司研制的工作辊可轴向移动的 HC 轧机，德国西马克公司研制的连续可变凸度 CVC 轧机，中间辊既可弯曲又可移动的 UC 轧机，日本三菱公司研制的成对轧辊交叉式的 PC 轧机，德国曼内斯曼．德马科公司的 UPC 轧机等。这些轧

机配以现代化控制手段，可实现多功能精密轧制，生产出微米级厚度精度的板带材产品。尤其是近 20 年来，发达国家工业结构变化和发展中国家国民经济增长对冷轧带钢质量、品种和数量提出了新的要求，为 SLN 过程的控制进一步增加了难度，用传统的方法已经很难进一步提高控制水平了。因此，一些国家开始全面、有计划的开发智能控制如模糊控制技术、神经网络技术等以适应更高精度的要求。日本、美国、德国、法国等，在烧结、炼钢、连铸及轧钢等钢铁生产领域已经获得了成功应用。尤其是日本，在这方面投入了很大力量，并获得了许多成果。例如，日本神户钢铁公司加古川厂五机架冷轧机的神经模糊板型控制系统、日本日立公司森吉米尔轧机的神经模糊板型控制系统等等。

我国在高精度轧制技术方面也作了大量的研究开发工作。新中国成立后为实现工业化，从外国引进了大型冶金设备和技术，我国技术人员经过多年的学习和消化，在此基础上结合我国的实际情况，自行开发出一些有关提高产品精度的基础理论和实用的先进工艺设备，其中有些技术已经达到或超过国外的先进水平。并且我国将智能控制技术在轧机中也进行了一定的应用，像鞍钢中板厂 2350 四辊轧机智能控制的开发研究、济钢中板轧机液压 APC 系统中模糊控制技术的应用等。这些国内外的例子均说明智能控制具有极好的前景。但总体上来说，我国自行研制的轧机，技术含量不高，生产出的产品竞争力不强，每年尚需进口大量的高精度板带材产品，许多轧机的生产状况尚不能令人满意，厚度精度急待提高，许多理论问题及所采用的先进技术，尚待进一步消化研究。

1.3　本文的主要研究内容

本文是以鞍钢 6 机架冷连轧 AGC 控制系统为依托，以第一机架液压 AGC 系统为研究对象，主要研究内容为：基于板带质量控制的板带厚度控制研究。

（1）在收集和消化大量国内外相关文献的基础上，对板带质量控制中板带轧机厚度控制的基本理论进行了分析。

（2）根据第一机架液压 AGC 系统的构成，确定了一个较全面、准确、通用性好、便于研究控制特性的数学模型。

（3）介绍了模糊控制的基本理论及其在质量控制中 AGC 中的应用。

（4）设计了模糊控制器，将其应用于 AGC 控制系统，并进行了系统仿真，证明此控制器具有较好的动态性和智能性，适合于带钢冷连轧生产系统的动态智能质量控制（DIQC）.

第 2 章 轧机板带质量控制的理论基础

2.1 冷连轧轧制过程简述

冷轧带钢是带材的主要成品工序，其所生产的冷轧薄板属于高附加值钢材品种。由于冷轧的带钢、薄板产品具有表面质量好，尺寸精度高和优良的机械、工艺性能等优点，因而被广泛地应用于航空、汽车、电子、化工、家电、造船、建筑、食品及民用五金等国民经济各个部门。冶金钢铁工业具工序间的紧密衔接程度，大致可分为四个主要工序：炼铁工序(iron-making)、炼钢工序(primary steel-making)、热轧工序(hot—rolling)和精加工冷轧工序(cold—r011ing)。冷轧工序属于钢铁企业的尾部工序之一[1]。最初的冷轧带钢是在单机架上反复经多道次轧制成型的。这种单轧机的生产方式速度低，生产出的冷轧带钢质量差[2]。后来大规模、高产量的冷轧带钢生产都采用连续式多机架冷轧机。目前的连续式冷轧机一般有四机架、五机架、六机架等几种配置形式。一般四机架连轧机由于总变形量小，大都用于生产比较厚的带钢，成品的厚度在 0.35 毫米以上[3]。而五机架及六机架连轧机主要用于生产薄规格产品，成品厚度最薄可达 0.15 毫米。而六机架冷连轧机不管生产薄规格带钢的能力，或是实际生产速度的提高，并不比五机架冷连轧机具有太大的优越性，因此五机架冷连轧机便成为当今带钢冷连轧机的主流[4]。

带钢冷连轧机生产线上除了五机架连轧机主体设备以外，还包括头部的上料设备、开卷机、以及尾部的卷取机。在旧式无头轧制的连续冷轧带钢生产线上，轧制线头部还有矫直机、焊接机及活套等设备。这些设备不仅要与五机架冷连轧机密切配合，做到动作步调一致，而且必须保证五机架冷连轧机上位置控制、厚度控制、张力控制、速度控制以及板形控制的顺利进行。由此可见，五机架冷轧机生产线操作是极其复杂的，仅依靠人力操作很难完全胜任此项工作。因此，五机架冷连轧机的出现必须要有自动控制和计算机技术发展作为基础。

由于冷轧原料——热轧卷终轧温度高达 800-900℃，其表面生成的氧化铁皮层必须在冷轧前去除，因此目前冷连轧机组都配有连续酸洗机组。

传统五机架冷连轧机组工作流程为：经过酸洗处理后的热轧带卷用吊车吊到上料步进梁送到钢卷小车以装到开卷机上，通过开卷刮刀，夹送辊将带头送到矫直辊准备进入轧机实现穿带过程，带钢以穿带速度逐架咬入各机架(逐架建立机架间张力)，当带头进入卷取机卷筒并建立张力后机组开始同步加速至轧制速度(20.35m/s)，并进入稳定轧制阶段，各自动控制系统相继投入，稳定轧制段占整个轧制过程的 95％以上，在带钢即将轧完时轧机开始减速以使带尾能以低速(2m/s 左右)离开各个机架避免损坏轧辊及带尾跳动，带尾进入卷取机后自动停车，卸卷小车上升，卷筒收缩以便卸卷小车将钢卷卸出并送往输出步进梁，最终由吊车吊至下一工序。

四机架冷连轧机机组工作流程与其相仿，主要用于轧制中厚板[5]。冷连轧生产流程如图 2-1 所示。

近年来随着一批新建热连轧机的投产，我国冷连轧建设的迫切性进一步加大。在今后的一段时间内，冷连轧机与其配套的镀层等处理线将是我国冶金工业的重点建设项目。

2.2　弹跳方程

2.2.1　弹性_塑性方程图解法——P-h 图

弹跳方程是分析厚度自动控制系统的一个有效工具，通过它不但可以弄清各种因素对厚度的影响，而且还可以定量地分析各种厚度控制方案。一种直观简易的分析方法是将变形区中的轧制力 P 作为纵坐标，而把厚度作为横坐标，做成所谓 P-h 图，在此图上，可以综合地研究变形区中轧件和轧辊间相互作用又相互联系的力和变形关系，如图 2-2 所示。

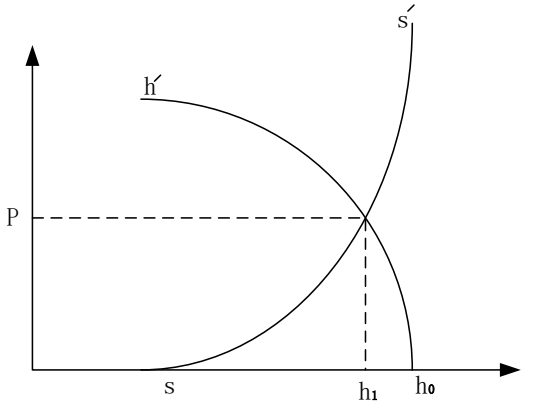


图 2-2　P-h 图

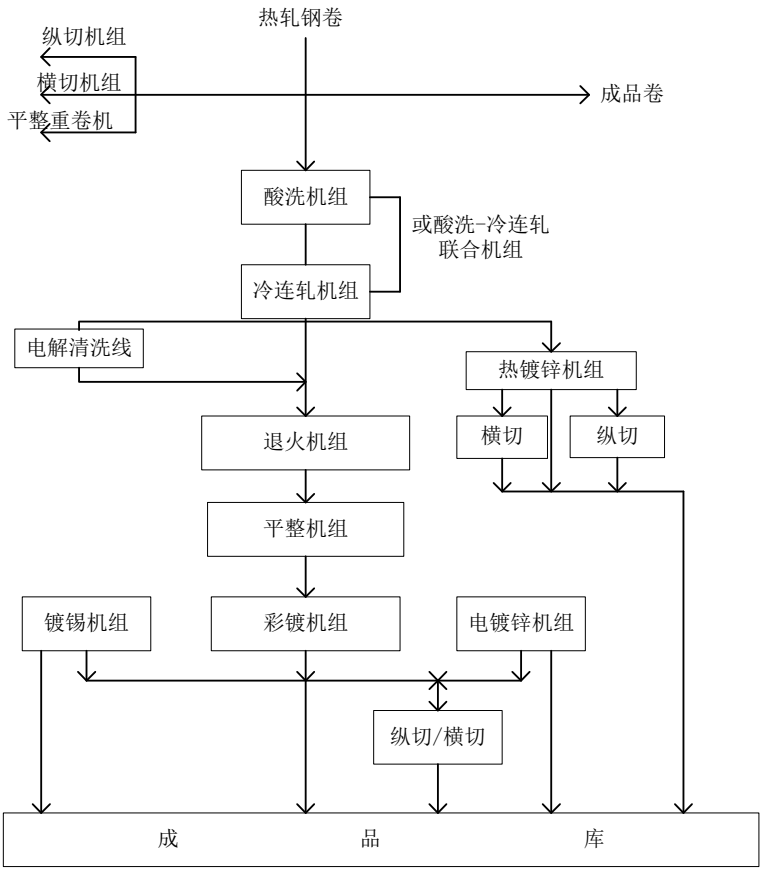


图 2-1 冷连轧生产流程

图中 SS’为轧机弹性变形的弹性方程曲线 hh’为反映轧件塑性变形的塑性方程曲线。当轧件(来料厚度 ho)咬入空载辊缝为 S 的轧辊时，轧辊将给轧件一个轧制力力 P 使其产生塑性形变(由 h_0 变形到出口厚度 h_1)，而轧件也将给轧辊一个反作用力 P，使轧机产生弹性形变，因而有载辊缝将变为 S_h，由于辊缝和轧件最终处于平衡状态，因此 S_H =h，也就是弹性方程曲线和塑性方程曲线相交点横坐标为轧出厚度 h_1，纵坐标为轧制力 P。当有扰动使弹性曲线变动或使塑性曲线变动时，产生厚差。

P-h 图在定性上比较直观，是目前讨论厚差和厚度控制现象的一个有用工具。由于轧出厚度 h 即为“有载”辊缝值，因此在横坐标 h 上也很清楚地表达了“空载辊缝”值 S_0，轧出厚度 h 和机座弹跳量。这样在 P-h 图上可以同时表达出轧机弹性形变和轧件塑性形变的情况[6]。

2.2.2　基于 P-h 图的冷轧带钢厚度波动原因

利用 P-h 图可以很直观地分析造成厚差的各种原因。造成冷轧成品厚差的原因有[7-8]：

(1)热轧钢卷(来料)带来的波动，属于这类的有：热轧卷带厚不匀，这是由于热轧设定模型及 AGC 控制不良造成的(来料厚度波动)；热轧卷硬度(变形阻力)不匀，这是由于热轧终轧及卷取温度控制不良造成的(来料硬度波动)。来料厚差将随着冷连轧厚度控制而逐架变小，但来料硬度波动却具有重发性，即硬度较大(较小)的该段带钢进入每一机架都将产生新的厚差。

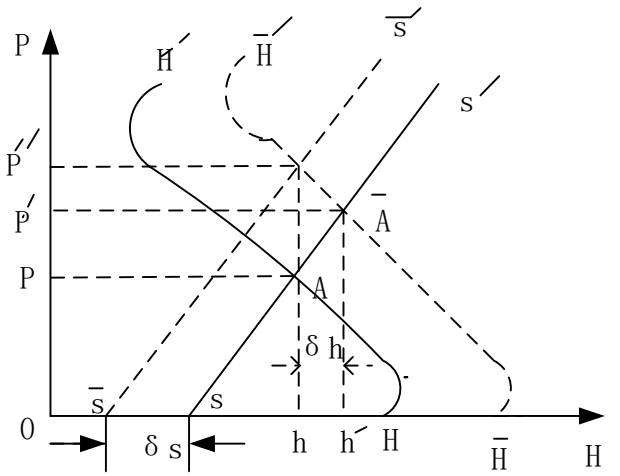


图 2-3 来料厚度影响及 AGC 控制

图 2-3 表示了来料厚差δh为正时，即塑性方程曲线由 HH′变为$\overline{H}\overline{H}'$时将使弹性曲线交叉点由 A 变为$\overline{A}'$，产生厚差$\delta h$。造成的后果为$\delta h = h' - h$，$\delta P = P' - P$。当移动压下 SS′ $\overline{S}\overline{S}'$，即控制压下消除厚差，结果是$\delta h$=0 及$\delta P' = P'' - P'$.图 2-4 表示了来料硬度变动（HH′变为 HH′′）造成的后果及控制压下（移动 SS′到$\overline{S}\overline{S}'$）消除厚差的结果。

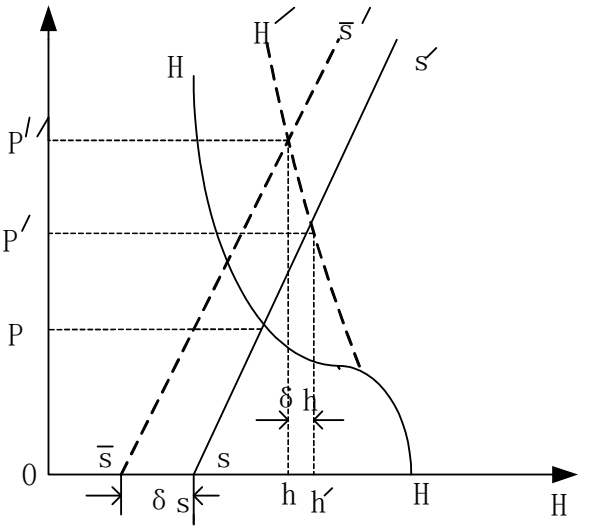


图 2-4 来料硬度变动的影响及 AGC 控制

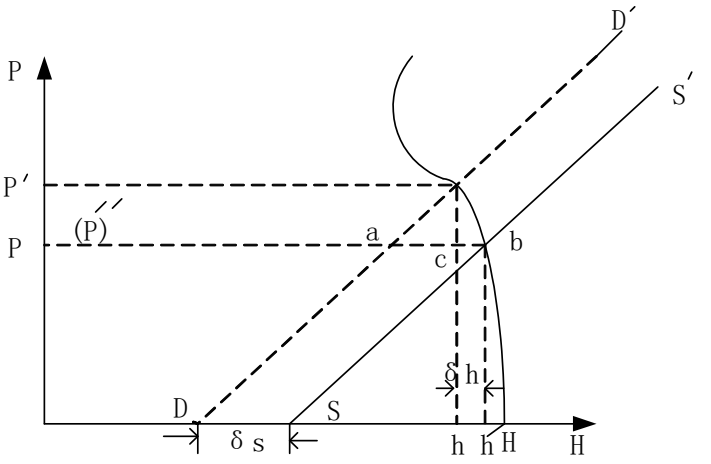


图 2-5 偏心影响及偏心控制

（2)冷轧机本身的扰动，属于这类的有：不同速度和压力条件下油膜轴承的油膜厚度将不同(特别是加减速时油膜厚度的变化)；轧辊椭圆度(轧辊偏心)；轧辊热膨胀和轧辊磨损。其中轧辊偏心为高频扰动。

图 2-5 表示了由于轧辊热膨胀、磨损或偏心造成的后果(SS'线变为DD'，)以及控制压下(移动DD'到SS')的结果。对图 2-3(或图 2-4)及图 2-5 的比较可看出，来料厚度及硬度波动将造成轧制力变动，并通过轧机弹跳而影响厚度，轧机本身的扰动则主要通过改变实际辊缝值(辊缝仪信号不变)而影响厚度，这两类原因所产生的现象及控制策略是完全不同的。

(3)由于工艺等其他原因造成的厚差，属于这类的有：不同轧制速度条件下轧辊一轧件间轧制摩擦系数不同(包括加减速时摩擦系数的波动)；全连续冷连轧或酸洗一冷轧联合机组在工艺上需要进行动态变规格，因而将产生一个楔形过渡段；酸洗焊缝或轧制焊缝通过轧机时造成的厚差。

这一类厚差属于非正常状态的厚差，不是冷轧 AGC 所能解决的，是不可避免的。

2.3　几种常用的 AGC 控制方式

2.3.1　厚度计式（反馈式）AGC 及其控制原理

在轧制过程中，任一时刻的轧制力 P 和空载辊缝 S_0 都可以检测到，因此可以用弹跳方程计算出任一时刻的实际轧出厚度 h。在这种情况下，就等于把整个机架作为测量厚度的“厚度计”，这种检测厚度的方法称为厚度计法(GM)，根据弹跳方程得出的厚度和厚度偏差信号进行厚度自动控制的系统称 GM-AGC 或 P-AGC。厚度计式 AGC 系统结构图如图 2-7 所示。

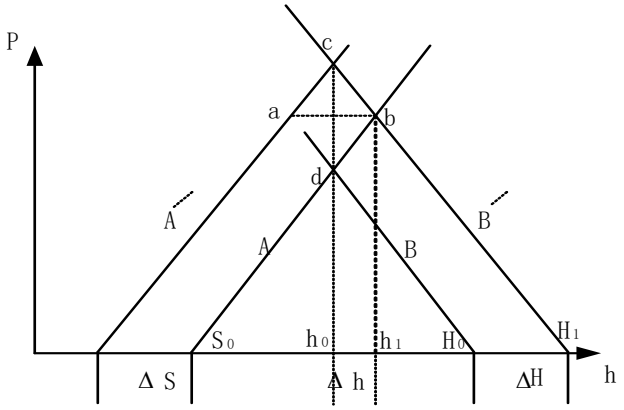


图 2-6 P-H 图

根据 P-H 图 2-6 可求 Δs 。

图 2-6 中：H_0--设定入口厚度；

H_1--实际入口厚度

$$\Delta h = db = cd / M \tag{2-1}$$

$$\Delta s = cd + db = \frac{cd}{K} + \frac{cd}{M} = cd(\frac{K+M}{KM}) \tag{2-2}$$

即：
$$\Delta s = \frac{K+M}{K}\Delta h \tag{2-3}$$

式 K--平面变形阻力（又称硬度）。

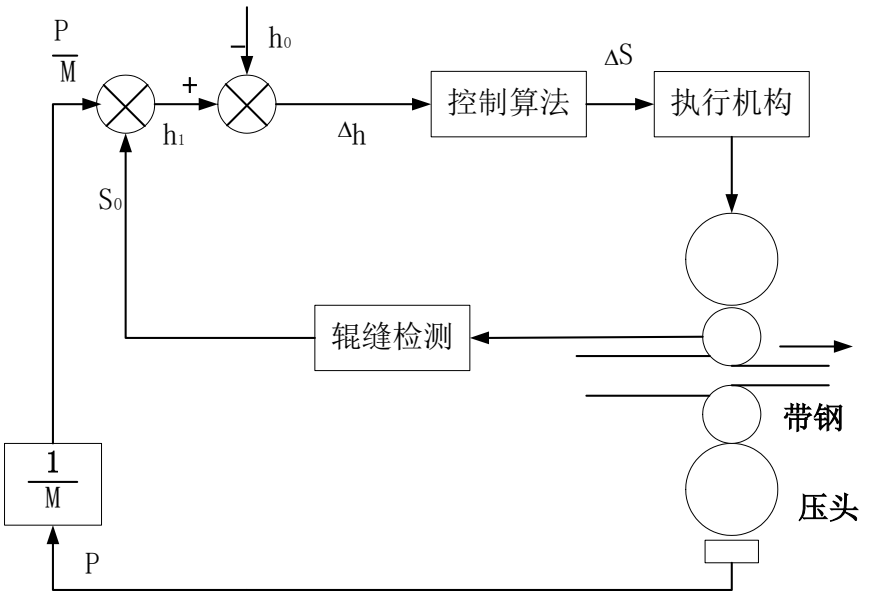


图 2-7 厚度计式 AGC 系统结构图

h_0--出口厚度给定值；

h_1--出口厚度实际值；

Δh--厚度偏差； $\Delta h = h_0 - h_1$；

S_0--辊缝实际值；

Δs--消除厚差Δh所需的辊缝调整值；

M--轧制力矩；

式（2-3）即为厚度计式 AGC 的控制算法。

由于来料厚度发生变化（由H_0变为H_1），带钢的塑性曲线由 B 变为B'，这样产生的厚差Δh。辊缝调节Δs 之后，弹性曲线由A变为A'，这样，出口厚度又恢复到h_0，且Δh=0。只要检测到厚度偏差Δh，便可以计算出为消除此厚度偏差应作出的辊缝调节量Δs。

这种方法可以克服传递时间滞后，但是对于压下机构和机械系统，以及计算机运行的时间滞后仍不能消除。该控制系统从本质上讲属于反馈控制。

2.3.2 张力 AGC

张力 AGC 是根据轧机出口侧测厚仪测得出口厚度偏差来调节后张力的方式，依靠张力变化影响带材塑性系数改变带材出口厚度。冷轧带钢，特别是后面机架，带钢越来越薄及越来越硬，因而其塑性变形越来越难，亦即其 Q 值越来越大，因而使压下效率越来越小。

$$\Delta S = \frac{C+Q}{C}\Delta h = K\Delta h \tag{2-4}$$

式中 K 为压下效率。

当 Q 远远大于 C 时，为了消除一个很小的厚差需移动很大的 ΔS。采用液压压下后由于其动作快使这一点得到一定的补偿，但对于较硬的钢种，轧制较薄的产品时精调 AGC 还是要借助于张力 AGC。当然张力 AGC 有一定限制，当张力过大时需移动液压压下使张力回到极限范围内以免拉窄甚至拉断带钢。控制模型与监控 AGC 控制模型基本相同，都是反馈型 AGC。主要区别就是监控 AGC 输出的是辊缝调节量，而张力 AGC 输出的是张力调节量。张力 AGC 不能与监控 AGC 同时使用，只能选择一种

通常条件下，各种方案的冷连轧自动厚度控制(AGC)基本上由以下子功能组成：前馈 AGC，间接测厚反馈 AGC，测厚仪反馈 AGC，张力 AGC，监控 AGC，轧辊偏心补偿，加减速补偿，以及近年来迅速发展的流量 AGC。

不同机架按照控制功能的需要，配备若干种厚度控制方法，实际生产过程中可以选用。

2.3.3　秒流量 AGC

秒流量 AGC 基于机架间的秒流量相等的原理，即进入轧辊咬入区的带钢质量必须与离开轧辊咬入区的带钢质量相同，将传统 AGC 多变量控制变成速度控制，只要使带钢入口秒流量始终保持恒定，自动速度控制环精度越高，出口厚度偏差就越小。如果变形区内宽展忽略不计的话，根据流量恒定可得到；$E_1 \times V_1 = E_2 \times V_2 = E_3 \times V_3 = E_4 \times V_4 = E_5 \times V_5$，

其中：E_i 是 i 号轧机出口钢带的厚度；V_i 是 i 号轧机钢带的出口速度。

$$v_{IN} \times H = v_{OUT} \times h \tag{2-5}$$

式中　v_{IN} ——入口速度；

H ——入口设定厚度；

v_{OUT} ——出口速度；

h——出口厚度。

如果带钢入口实际厚度 H 与设定值 H^* 存在偏差 ΔH，可以给设定入口速度一个修正值 Δv_{IN}，使得出口厚度偏差得到补偿。

$$\left(v_{IN}+\Delta v_{IN}\right)\times\left(H+\Delta H\right)=v_{OUT}\times h \tag{2-6}$$

$$v_{IN}\times H+v_{IN}\Delta H+\Delta v_{IN}\Delta H=v_{OUT}\times h \tag{2-7}$$

由于 Δv_{IN} 和 ΔH 都很小，忽略高次项 $\Delta v_{IN}\Delta H$，可得：

$$\Delta v_{IN}=-v_{IN}\times\frac{\Delta H}{H} \tag{2-8}$$

通过此种方法将入口厚度偏差转换为速度修正值。

2.3.4 前馈 AGC

使用入口厚度的测量值为所选的执行器计算纠正值。基本目的是为了在轧辊咬入时补偿入口厚度引入的变动。考虑到来料厚差 Δh_0 是冷轧带钢产生厚差的重要原因之一，因此冷连轧一般在 1#轧机前设有测厚仪，可直接测量来料厚差用于前馈控制，机架间亦设有测厚仪用于下一机架的前馈控制。前馈控制器使用入口厚度的测量值为所选的执行器计算纠正值，根据来料扰动 Δh_0 计算出需要控制的ΔS 量以消除 Δh_0 的影响，减少由其产生的 Δh_1，基本目的是为了在轧辊咬入时补偿入口厚度引入的变动。引入的测量偏差在咬入之前的一段距离内测量，这种测量必须保持到对应的带钢到达轧辊咬入处，此时偏差值用于计算校准值，物料跟踪会完成这个任务。前馈的优点是可提前控制[9]，可完全去掉信号检测及机构动作所产生的滞后，必要时还可提前 $\Delta\tau$ 进行控制，使阶跃性 Δh_0 得到更好的控制。

但前馈的缺点是精度完全依靠计算的正确性，因前馈属于开环控制，不能保证轧出厚度精度，因此前馈控制应和反馈以及监控 AGC 相结合“预控”和“反馈”是两个相对立的控制观点，预控不是根据过程进行完的结果，而是根据来料情况，提前调整，以达到预期的目标[10]。这只能应用相应的数学模型才能实现，其优点是可以克服时间上的滞后，缺点是预控属于开环控制。因此，对一些突变性厚差用预控调整比较有效。下图说明了根据实测来料 Δh_0 并将 Δh_0 延时后，控制将要进入机架的辊逢，以保证调节效果。

当采用位置内环厚度外环时，由厚度方程可知

$$\Delta h=\frac{1}{C_P+Q}\left(\frac{\partial P}{\partial h_0}\Delta h_0+C_P\Delta S\right) \tag{2-9}$$

由于前馈控制无法实测 ΔK，上式中已设 $\Delta K=0$，$\Delta\tau_b=\Delta\tau_f=0$ 以及 $\Delta S_F=0$。

通过前馈控制，在存在 Δh_0 情况下提前调节压下 ΔS 使 $\Delta h=0$，因此

$$\Delta S=-\frac{Q}{C_P}\Delta h_0 \tag{2-10}$$

利用机架前测厚仪实测 Δh_0 后延时到具有此 Δh_0 的该段带钢将进入变形区时再进行上式所得的 ΔS 的控制，即给位置内环加上给定：

$$S_{REF}=S_{SET}+\Delta S \tag{2-11}$$

当采用轧制力内环厚度外环时，ΔP 的计算需考虑两个分量。

当轧件进入轧机后，来料厚差 Δh_0 产生的 ΔP_H 需在轧制力给定加以补偿。

$$\Delta P_H=\frac{C_PQ}{C_P+Q}\Delta h_0 \tag{2-12}$$

轧件进入轧机后产生的厚差：

$$\Delta h=\frac{Q}{C_P+Q}\Delta h_0 \tag{2-13}$$

为使此 $\Delta h\to 0$，需提前压下：

$$\Delta S=-\frac{C_P+Q}{C_P}\Delta h=-\frac{C_P+Q}{C_P}\frac{Q}{C_P+Q}\Delta h_0=-\frac{Q}{C}\Delta h_0 \tag{2-14}$$

此 ΔS 压下将引起轧制力变化为：

$$\Delta P_S=-\frac{C_PQ}{C_P+Q}\Delta S=\frac{C_PQ}{C_P+Q}\frac{Q}{C_P}\Delta h_0=\frac{Q^2}{C_P+Q}\Delta h_0 \tag{2-15}$$

所以厚度外环应给轧制力内环的总的轧制力给定为：

$$P_{REF}=P_{SET}+\Delta P \tag{2-16}$$

$$\Delta P=\Delta P_S+\Delta P_H=\frac{Q^2}{C_P+Q}\Delta h_0+\frac{C_PQ}{C_P+Q}\Delta h_0=\frac{Q\left(Q+C_P\right)}{C_P+Q}\Delta h_0=Q\Delta h_0 \tag{2-17}$$

式中 Δh_0 由机架前测厚仪实测，此实测 Δh_0 应存储到 FIFO 表中，表中数据随带钢运动而前移。当具有此 Δh_0 的该段带钢进入变形区时提前取出 FIFO 表中的 Δh_0 通过上式求得 ΔP，并与 P_{SET}

相加作为压力内环给定进行厚度控制。提前一定时间取出的目的是为了克服液压缸动作所需时间造成的滞后。

2.3.5 反馈 AGC

反馈属于闭环控制，即出口厚差产生后加以检测并反馈回去控制。它将使厚差越来越小，但由于存在滞后，因此效果将受影响。如何减小滞后是反馈控制成败的关键。

如果采用机架后测厚仪进行反馈，滞后十分大，特别是低速轧制时从变形区出口运行到测厚仪往往要几百毫秒。大滞后的反馈容易使系统不稳定[27-29]，因此目前普遍采用利用弹跳方程对变形区出口厚度进行检测，然后进行反馈控制。这将大大减少滞后，但由于弹跳方程精度不高，虽然加上了油膜厚度补偿等措施仍不能保证精度，这正是当前推出流量 AGC 的原因。安装了激光带速测量仪后可精确实测前滑，因而流量方程精度大为提高，用变形区入口及变形区出口流量相等法则根据入口测厚仪及机架前后激光测速仪信号可精确确定变形区出口处实际厚度，因而提高了反馈控制的精度。

有一些轧机的 AGC 系统，为了克服测厚仪信号的大滞后引入了预测思想，用此预测结果进行反馈控制亦可提高控制精度。

对常规的位置内环厚度外环方式，由于内环本身是位置环，厚度环只需要给出位置给定 S_{REF} 即可。

设各机架间张力通过张力控制恒定，并设稳速轧制时 $\delta_\mu=0$ 以及忽略 ΔS_F 影响。

由厚度方程可知

$$\Delta h=\frac{1}{C_P+Q}\left[\frac{\partial P}{\partial h_0}\Delta h_0+\frac{\partial P}{\partial K}\Delta K+C_P\Delta S\right] \tag{2-18}$$

即当原料具有 Δh_0 及 Δk 扰动时将产生厚差 $\Delta h_h+\Delta h_k$

$$\Delta h_h=\frac{\dfrac{\partial P}{\partial h_0}}{C_P+Q}\Delta h_0 \tag{2-19}$$

$$\Delta h_k=\frac{\dfrac{\partial P}{\partial K}}{C_P+Q}\Delta K \tag{2-20}$$

为了消除此误差，应调节压下：

$$\begin{aligned}\Delta S &= -\frac{1}{C_P}\left[\frac{\partial P}{\partial h_0}\Delta h_0 + \frac{\partial P}{\partial K}\Delta K\right] \\ &= -\frac{C_P + Q}{C_P}\left[\Delta h_h + \Delta h_k\right] \\ &= -\frac{C_P + Q}{C_P}\Delta h_\Sigma\end{aligned} \tag{2-21}$$

式中 Δh_Σ 为由各种扰动产生的总的厚度，由此可得 $S_{REF}=S_{SET}+\Delta S$，用于位置内环的控制，即可消除外扰造成的厚差。

对轧制力内环厚度外环方式，计算较为复杂一些，由于内环为轧制力环，厚度环的输出是 S_{REF}。

ΔP 的确定需分析各种外扰情况及其控制量的变动。

(1)偏心外扰　为了消除偏心需采用恒轧制力控制，即当偏心使轧制力变化时，应自动调节压下，使轧制力回到设定值，这样即可消除偏心产生的厚度，因此对偏心外扰来说，不需要在 P_{REF} 后加 ΔP 项即 $P_{REF}=P_{SET}$。

(2)来料厚差 Δh_0 外扰 Δh_0 将产生两个结果，一是产生出口厚差 Δh_0：

$$\Delta h \approx \frac{Q}{C_P + Q}\Delta h_0 \tag{2-22}$$

二是产生轧制力变动 ∂P_H：

$$\Delta P_H = \frac{C_P\dfrac{\partial P}{\partial h_0}}{C_P + Q}\Delta h_0 \tag{2-23}$$

δP_H 也可以写成：

$$\Delta P_H = \frac{C_P Q}{C_P + Q}\Delta h_0 = \frac{C_P Q}{C_P + Q}\frac{C_P + Q}{Q}\Delta h = C_P\Delta h \tag{2-24}$$

(3)来料硬度外扰 ΔK，它同样产生两个结果：

$$\Delta h = \frac{\dfrac{\partial P}{\partial K}}{C + Q}\Delta K \tag{2-25}$$

$$\Delta P_K = \frac{C_P\dfrac{\partial P}{\partial K}}{C + Q}\Delta K = \frac{C_P\dfrac{\partial P}{\partial K}}{C + Q}\frac{C + Q}{\dfrac{\partial P}{\partial K}}\Delta h = C_P\Delta h \tag{2-26}$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：
https://d.book118.com/277166112103006114