



ZHAZHI GUOCHENG
ZIDONGHUA JISHU

轧制过程自动化技术

郑申白 史东日 马劲红 编著



化学工业出版社



ZHAZHI GUOCHENG
ZIDONGHUA JISHU

轧制过程自动化技术

郑申白 史东日 马劲红 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

轧制过程自动化技术/郑申白, 史东日, 马劲红编著.
北京: 化学工业出版社, 2009.1
ISBN 978-7-122-03849-4

I. 轧… II. ①郑…②史…③马… III. 轧制-过程控制-自动控制 IV. TG334.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 155940 号

责任编辑: 刘丽宏

装帧设计: 张 辉

责任校对: 王素芹

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京市彩桥印刷有限责任公司

720mm×1000mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 257 千字 2009 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

前 言

近十年来国内轧钢企业的规模和技术水平提升很快，新上的车间基本上实现了用自动化技术进行轧制生产过程的控制。轧制过程自动化涉及计算机的应用与传感器、控制器、执行器、电力拖动等硬件，也涉及轧制理论、控制理论模型等多学科专业知识。从机械角度来看，所有硬件动作都有惯性，在控制信号执行时产生滞后或超调，而且在重负荷下易于振荡失稳。而计算机则有运算及传递的时间耽搁，这些都使系统控制出现不同的响应过程。

实际上，工艺选择水平高低、设备制造安装好坏、机电设备参数调整好坏、压下规程制定、计算机模型算法、计算机控制结构、通信速度都会影响轧制系统的操作稳定性和产品精度。为用好现代轧制设备，十分需要深入理解与自动化设备相关的计算机控制原理、轧制过程控制与设备特性分析。

为能反映轧制控制领域的基本技术与工作原理，本书第1章简要介绍了轧制过程自动化的基本知识。第2、3章介绍了现代轧制过程计算机控制系统及轧件跟踪方面的一些内容，以帮助读者了解现代轧钢车间计算机的应用。第4、5章从控制理论及机械设备的动态响应入手，介绍拖动系统时域微分方程的建立与时域输出响应的推导过程，为探讨重负荷下减少振荡干扰提供思路，从而对其他惯性过程分析时有所借鉴。第6章介绍厚度控制系统，对生产常用压力厚度计的复杂闭环控制方案加以总结。第7章首先指出传统张力概念及张力公式的不足，之后介绍笔者从运动力学原理出发，依据设备速度条件，推导出的由轧前工艺参数预测连轧后稳态张力的计算方法。第8章介绍板厚控制原理，对近年实践检验证明比较实用的板形CVC调整算法作了较为详细的介绍。第9、10章为位置控制和轧机传动系统的扭振。第11章专门介绍轧制过程计算机模块化仿真研究进展，强调了仿真平台选择的重要性和目前轧制动态模型存在的缺陷。

本书写作宗旨在于突出以往重视不够，而现场分析问题又急需的内容。这对已经掌握轧制工艺但缺少控制方面知识的人员来说，正好补充理论的不足，提高在现代连轧车间解决各种控制方面工程技术问题的能力。希望本书对推进国内轧钢自动化生产起到积极的作用。

书中第1、2、4、6、7、11章由郑申白编写，第3、9、10章由史东日编写，第5、8章由马劲红编写。

书中不当之处难免，恳请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 轧制过程自动化基本知识	1
1.2 轧制技术的现状	1
1.3 轧制过程自动化发展	3
第 2 章 轧制过程计算机控制系统	5
2.1 轧制过程计算机控制的发展	5
2.2 轧制生产自动化的特点	7
2.3 轧制计算机控制系统的基本结构	8
2.4 过程控制计算机应具备的功能	10
2.5 轧制过程控制计算机的基本内容和功能	13
2.5.1 L_1 操作计算机控制系统的功能	14
2.5.2 L_2 级计算机-轧制过程数学模型	18
2.5.3 L_3 级生产控制级作业内容	19
2.6 控制计算机系统的几种算法	23
2.6.1 过程控制计算机专用控制程序	23
2.6.2 自学习与自适应算法	25
2.6.3 动态设定(穿带自适应)模型	29
2.6.4 神经网络及其应用	29
2.6.5 模糊控制	32
2.7 模拟轧钢	33
第 3 章 轧件跟踪	34
3.1 轧制生产线上的数据区及数据流动	34
3.1.1 原始数据区及其数据的输入	34
3.1.2 轧件跟踪的方法	37
3.2 板带钢连轧生产线上轧件的跟踪	38
3.2.1 跟踪区域的划分和跟踪功能	38
3.2.2 加热炉入口侧板坯跟踪	39
3.2.3 加热炉处的板坯跟踪	41
3.2.4 轧制线上轧件的跟踪	43
第 4 章 装置自动控制系统	44
4.1 自动控制系统的基本组成和控制原理	44

4.1.1	控制系统的基本形式	44
4.1.2	闭环控制系统的基本组成和作用	47
4.1.3	自动控制的传递函数	48
4.2	自动控制系统的基本要求	50
第 5 章	轧机拖动系统的转速控制	52
5.1	轧机拖动系统动力学基础	52
5.1.1	轧机拖动系统动力学方程	52
5.1.2	对主传动电机的要求	57
5.2	轧机的调速范围	58
5.2.1	电机调速范围的要求	58
5.2.2	对静差率及控制系统精度要求	58
5.2.3	轧制过程对动态品质的要求	61
5.2.4	主传动速度制度的要求	65
5.2.5	对其他方面的要求	65
5.3	带钢连轧机主传动系统调速	66
5.3.1	连轧机主传动系统的速度特性	66
5.3.2	VC-M 系统模拟调速方法	66
5.3.3	主传动系统速度的数字给定控制器	69
第 6 章	厚度自动控制	70
6.1	板带钢厚度的变化规律	70
6.1.1	板带钢厚度波动的原因	70
6.1.2	轧制过程中厚度变化的基本规律	71
6.2	厚度自动控制的基本形式及其控制原理	73
6.2.1	用测厚仪的反馈式厚度自动控制系统	74
6.2.2	厚度计式厚度自动控制系统	76
6.2.3	前馈式厚度自动控制系统	80
6.2.4	张力式厚度自动控制系统	81
6.2.5	可变刚度控制	82
6.2.6	AGC 厚度控制补偿	86
6.3	带钢热连轧精轧机组的厚度自动控制	87
6.3.1	精轧机组 DDC-AGC 系统的基本组成	87
6.3.2	AGC 系统的控制框图及其控制运算	89
第 7 章	连轧张力和活套控制	96
7.1	轧制过程中张力的作用及其计算	96
7.1.1	前后张力和作用	96
7.1.2	张力的理论计算模型	98
7.2	活套支撑器	101

7.2.1	机架间恒张力活套的力矩计算	104
7.2.2	活套支撑器的使用	106
7.2.3	连轧时活套支撑器的自动控制系统	107
7.3	轧机出口到卷曲张力的控制方法	110
7.3.1	间接法控制张力的基本原理	111
7.3.2	直接法控制张力的基本原理	114
7.4	型钢连轧时的微张力自动控制	115
7.5	热连轧时的无活套轧制	117
7.5.1	无活套轧制的提出	117
7.5.2	双机架的微张力控制系统	118
7.5.3	无活套支撑器的微张力控制	118
第8章	带钢的板形自动控制	120
8.1	板形理论	120
8.1.1	板形的数量表示方法	121
8.1.2	板形出浪的残余应力条件	123
8.1.3	影响板、带钢凸度（横向厚差）的因素	124
8.2	板形控制方式	127
8.2.1	手工控制板形方式	127
8.2.2	板形自动控制	128
8.2.3	CVC 轧辊板形预控制	132
8.3	板、带钢凸度设定计算	135
8.4	带钢板形自动控制系统	137
8.4.1	板形自动控制概述	137
8.4.2	带钢板形自动控制系统实例分析	139
第9章	位置自动控制（APC）	150
9.1	位置自动控制系统的基本组成和结构	150
9.2	位置控制的基本要求和控制的基本原理	151
9.2.1	位置控制的基本要求	151
9.2.2	机械装置理想定位过程的理论分析和控制算法	151
9.2.3	位置控制量的实际计算和控制方式	153
9.2.4	液压压下装置与液压系统动态特性	155
9.3	飞剪机可编程序控制器的位置自动控制（PLC-APC）	160
9.3.1	可编程序控制器的基本含义和组成	160
9.3.2	飞剪机的 PLC-APC 的控制原理	160
第10章	轧机传动系统的扭振	166
10.1	轧机传动系统的扭振参数	166
10.1.1	轧机扭振力学参数	167

10.1.2	轧机传动系统的动力学模型	170
10.2	轧机扭振系统分析	171
10.2.1	单辊传动二质量系统的传递函数	171
10.2.2	无减速机四辊三质量系统的模型分析	172
10.2.3	有减速机四辊四质量系统的模型框图	173
10.3	轧机电机传动系统的扭振消除	174
10.3.1	单输入输出控制系统工程最佳设计	174
10.3.2	状态观测器的反馈控制	175
第 11 章	轧制过程的动态仿真	179
11.1	轧制过程仿真概述	179
11.2	轧制过程仿真平台选择	181
11.3	轧机动特性建模	182
11.4	轧制过程模块化仿真方法	183
11.4.1	使用形象模块的轧制仿真	184
11.4.2	测厚仪反馈式厚度自动控制系统仿真	186
11.4.3	厚度计式反馈控制系统仿真比较	187
11.5	连轧系统模块化图形仿真方法	190
参考文献		192

第①章 绪 论

1.1 轧制过程自动化基本知识

自动化是根据检测值与设定值的偏差，按预定方式自行调节控制量使输出稳定在设定范围的控制过程。从工程技术部门来看，可以把过程自动化具体理解为：在各种不同的生产过程中，采用自动检测、电动执行等自动化装置和电子计算机，组成控制系统，使各种过程变量（如成分、流量、温度、压力、张力和速度等）保持在所要求的给定值上，并在人的控制下合理地协调全部生产过程，实现稳定优质生产的一种手段。

生产过程实现自动化的目的是：提高工件质量，用有限资源，制造持久耐用的精美产品；在人力不能胜任的快速工作场合中实现自动操作；把人从繁重枯燥的体力劳动中解放出来，不轻易受人的情绪和技术水平的影响，稳定进行工序作业。实现自动化，可以提供质量好、性能稳定、价格合理的产品，为企业生存发展提供更大的空间。

轧制自动化实际上包括对轧制过程进行计算机系统控制和对装置的自动控制两部分。过程计算机控制是对复杂过程运用计算机完成采集、模型计算、实时判断处理、对整个生产系统进行控制管理，这对于包括加热、粗轧、精轧、冷却、卷取多个环节相互衔接配合的轧制生产是必不可少的，尤其在高速与高精度轧制时，更需要计算机高速准确地完成算法处理。计算机控制内容又分为计算机配置方式、信息跟踪方式和动态在线控制算法三大部分。装置自动控制主要指具体设备的闭环控制，它包括拖动系统和伺服系统，使系统可以跟随设定值进行及时调节。这种闭环系统加入数字调节，提高了设备控制性能，增加了通信能力，称为数字传动控制系统。

工艺、设备、负荷选择，计算机配备方案、计算机系统中模型算法和组合方式、计算机速度都对控制效果产生影响。而所有自动控制都是人们依照经验精心安排和制造装备的，即装置自动控制系统中检测水平、调试参数选择、设备制造材料选择、加工装配精度、负荷大小、执行机构性能、过程对象特点等都对系统的输出好坏产生影响，了解这些影响因素、学习一些分析方法，对用好设备都具有重要意义。

1.2 轧制技术的现状

钢铁材料要经过加工变形，才能均匀密实。轧制是各种变形手段中效率高、产

量大、成本低、成型精确的加工方式。20 世纪 60 年代以来,随着自动控制技术的广泛应用和整个科学技术水平的不断提高,轧钢生产技术也有飞跃的发展,其主要成果和特点如下。

(1) 轧钢生产日益连续化 带钢和线材轧制工艺的局部与整体过程的连续化更加完善,棒材也向全连轧发展,型钢实现少部分的全连轧,大大稳定轧制温度,缩小头尾温差,提高产品尺寸精度。连铸连轧、无头轧制有所进展,尤其薄板坯连铸连轧,突出连续作业、不放置冷坯的特点,为经济生产低档普板开辟出新的领域。

(2) 轧制速度的不断提高 细、薄的轧件温降快,容易使得轧制时温度不一致,严重影响整卷轧材的尺寸公差,提高轧速是解决这一问题的方法之一。轧制过程的连续化为轧制速度的高速化创造了条件。目前线材轧制速度已经达到了 130m/s 以上,带钢轧制速度已达到了 41.7m/s,极大地减少了大卷重头尾温差。而且轧件速度越高,自动控制装置水平就必须越高,建造价格也越加昂贵。

(3) 产品质量和精度日益提高 高尺寸精度和光洁表面可以为用户带来便利。不少加工部门广泛需要尺寸精度极高的轧制产品。例如电子、仪表、轻工和纺织的工业部门,大量需要的厚度为 0.1~0.2mm 冷板,其厚度偏差就是在 $\pm 0.005\text{mm}$ 左右。这就需要及时精密地在线控制和提供尺寸稳定的冷轧原料,两者缺一不可。这对热带生产也是一样,如热带粗轧设置两架以上,使延伸和控制中间坯尺寸的任务得到分离。同时采用计算机和液压 AGC,为最终产品减少尺寸公差提供保证。

(4) 生产过程计算机控制 与全线高刚度轧机相配合,对车间设备全面采用计算机控制,从原料送上加热炉辊道开始,尺寸、温度、轧制过程、冷却过程、卷取过程都实现程序设定和实时控制,满足轧制生产稳定、安全和高质量要求,生产出高精度、高档次的产品。计算机控制分布方式、计算模型选择、计算处理速度、通信速度都成为控制水平高低的影响因素。

实现轧制过程自动化后,可以带来以下几个方面效果。

(1) 能显著提高精轧的尺寸精度 原料尺寸、加热温度、表面状态总是在波动,轧辊本身也在不断磨损,采用厚度自动控制 (AGC) 系统,通过计算机与厚控系统技术的应用,方能改善精轧带钢的厚度精度。由某厂统计资料可知,当采用手动控制时,在热轧整卷带钢材中厚度偏差在 $\pm 0.05\text{mm}$ 以下的只占 57.7%,而十多年后采用计算机控制轧制时便可达 95.7%,或更高。尤其宽带钢尺寸精度控制更为重要。

(2) 能够迅速适应轧制程序的变换 当轧件尺寸规格有变化时,特别是在线变规格轧制时,就手动控制而言,必须有相当熟练的调整经验。而通过计算机的自动化控制就很容易实现产品厚度的变化。因为,计算机存储以往的压下规程和各种算法,只要适当改变设定或调换程序等便可以实现。

(3) 自适应和自学习修正 实际过程与理论数据总有差异,轧制力控制模型、宽展模型、板形模型也都存在模型偏差,必须能够根据轧制结果不断提高参数预报水平,自适应自学习就是在线积累数据,经过辨识确认,对模型系数自动加以

修正。

(4) **能稳定轧制时的工艺参数** 在自动化轧制过程中, 轧机的速度、张力, 轧件的厚度、宽度, 轧件温度等参数出现偏差可以得到及时调整, 使过程的稳定度得到大幅度提高。例如可以将温度偏差控制在 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 范围内。

(5) **提高操作水平** 在实现轧制自动控制后, 生产作业主要由设定程序完成, 与操作人员的情绪关联性大大减少, 成功的操作经验也易于保存总结。但对操作人员的技术知识要求也相应提高, 岗前培训任务更加繁重。

1.3 轧制过程自动化发展

由于连轧机生产效率高, 质量易于控制, 轧制过程连续, 易于实现自动化和机械化, 而且这种轧机产量大, 生产效率高, 质量易于控制, 经济效益非常显著。所以各种先进的科学成果都竞相应用于连轧过程, 大大促进了连轧过程的自动化的发展, 其中以热带连轧自动化的发展最为迅速和成熟。

轧制过程自动化的发展大致可以分为三个阶段: 第一阶段大约在 20 世纪 40~50 年代, 为单机模拟系统自动化阶段; 第二阶段在 60 年代, 为数字电子计算机和单机自动控制系统共存阶段; 第三阶段为 1970 年至今, 为多层次计算机管理阶段, 即原来依靠一台计算机包揽采集、计算、输出全面控制的 DDC 控制概念也完全被多层次分布计算机系统所替换。目前传动部分和伺服调节也全部采用计算机数字控制, 形成多层次的数字化系统。

为了适应轧制过程自动化的进一步发展要求, 应重视以下几方面问题。

(1) **轧制过程的数学模型** 直到现在对宽展、摩擦力分布、张力、轧制力的计算仍不很准确, 对轧机动态特性、液压系统老化特性、活套支撑器响应特性描述也不完善。新厂连轧实际过程参数与设定偏差较大, 控制模型需要大量现场数据自学习、自适应修正, 每当轧制新规格、新钢种时, 头几块坯尺寸就超差。完善理论模型可以更接近实际地设定轧机参数, 减少试轧次数。

(2) **进一步提高和完善检测仪表和变换系统的性能和功能** 在轧制速度越来越高, 产品范围越来越大, 质量要求越来越严格的情况下, 检测仪表的性能以及功能, 必须进一步增加和完善。例如有些轧机要求其速度精度为 0.02%, 有些轧机要求在线检测残余应力和组织, 由此可见对检测仪表的精度和功能要求是很高的。

(3) **改进计算机控制系统的性能** 为进一步提高计算机系统的可靠性和稳定性、拖动系统响应的快速性、维护检测的便利性, 充分及时利用计算机的最新发展, 改进过程控制计算机系统的性能。如提高通信速度、计算速度, 普遍应用直接数字控制的传动装置。同时组成分级集成控制系统, 使任务更明确, 可靠性更高, 出现故障后的影响范围更加缩小。

(4) **实现优化控制** 最优控制的基本思想是全面考虑已有机电设备、工艺和控制系统的工作条件, 实现稳定、优质、低功耗的生产, 这在计算机里改进程序算法

已不成问题。但深入考虑整个过程不很容易，客观情况和主观要求都在变化，尤其轧制过程，牵连因素较多，一些影响因素甚至未能量化。过程实现计算机控制就可以全面协调，动态调度，达到全程优化的控制。

(5) 培养轧制自动化技术人才和管理人才 现代大型轧钢设备动辄上亿元，正常生产争分夺秒，而出现事故每分钟都是在赔钱。因而如同飞行员培养一样，操作与管理技术人员需要岗前严格培训，对设备原理、控制原理要有一定程度的了解，使操作和管理更加科学。

总之，轧制生产在连续化、计算机化、专业化、大型化和自动化方向发展的很成熟，轧制生产过程的自动控制要求越来越高。工艺合理、设备精良、控制到位、模型恰当是现代轧钢车间的标志。为用好现代化轧钢设备，需要培养众多具有自动化知识的轧钢专业人才。

第②章 轧制过程计算机控制系统

轧制过程是复杂的综合性实时性极强的生产过程。合理安排生产计划,所有局部设备可靠工作才能保证生产正常进行,计算机应用到轧制生产当中正好适应了这种要求,因而促进了生产发展,计算机本身能力也得到极大的发挥。

2.1 轧制过程计算机控制的发展

在冶金工业中,带钢热连轧计算机控制系统是发展最迅速、最成熟和效果最明显的,计算机系统的应用不仅保证各工序环节的质量和数量,提高了生产效率,最重要的是大大改善了轧件尺寸精度和性能指标。

1924年美国轧钢工程师首先试验热带连轧机,用人工控制转速,实现活套自由轧制,提高热带生产效率。自此逐步实现设定转速的自动控制。到20世纪60年代以前,带钢热连轧机自动化发展主要集中在调速系统、压下机构辊缝调节系统、活套调节系统和厚度自动控制系统。第一套模拟厚度控制系统在1957年投入使用,到1962年,已经有40多套轧机装备了模拟厚度控制系统。

由于计算机可以快速获取多方面的过程信息,并按照事先编排的程序,快速作出判断和调整方案,向多个执行机构发出动作指令。因而,计算机在轧制过程中的作用开始被人们所考虑。

美国是计算机发明地,也是尝试在工业上应用计算机最早的国家。20世纪60年代初,在麦克劳思钢铁(McClouthSteel)公司的1525mm带钢热连轧机上开始使用计算机设定控制精轧机组的辊缝和速度,开创了轧线上应用计算机控制的先例。

20世纪60年代末,英国RTB钢铁厂实现了生产管理和过程控制相结合的应用,从加热炉到卷取机的整个带钢热连轧生产过程用小型计算机实现了调度与控制。

带钢热连轧计算机控制系统的应用,适应了带钢热连轧机自动化的发展,极大地促进了带钢热连轧生产的高速高精度发展,产生了可观的经济效益。

日本几家钢铁公司在20世纪60年代中期组成联合开发协会,引进了一套美国带钢热连轧计算机控制系统,虽然起步很晚,但研发速度很快。1964年新日本钢

铁公司的 1420mm 带钢热连轧机部分首先完成计算机控制改造。到 1971 年 11 月投产的新日本钢铁公司大分厂 2235mm 带钢热连轧机, 已经全部采用计算机控制, 成为引进、吸收、改造、发展的典型。

20 世纪 80 年代, 带钢热连轧计算机控制系统发展日臻成熟, 实现了高精度轧制和来料热装热送轧制 (直接轧制)。过程控制的范围也从热轧生产线向两侧扩展, 包括了对板坯库、钢卷库、成品库的控制和管理。由此出现多层次过程控制计算机体系。

轧制过程计算机控制是按照不同生产要求配置不同层次计算机, 完成压下规程分配、各种模型计算、在线过程控制、局部跟随控制等一系列生产任务。

我国于 1976 年开工建设的武汉钢铁公司 1700mm 热连轧机生产线, 引进了日本新日铁过程计算机系统, 大大提升了我国带钢热连轧计算机控制水平。为能掌握先进的计算机软硬件技术, 国家曾组织了冶金自动化所、各钢铁设计院自动化部、冶金重点高校专业人士进行了研究会战, 由于硬件条件的匮乏, 在这一领域一直依赖国外重复进口。

1993 年 11 月, 在武汉钢铁公司、重庆钢铁设计研究院、北京科技大学共同合作下, 完成了武汉钢铁公司 1700mm 热连轧计算机系统的更新。随后, 在 1995 年 5 月, 武汉钢铁公司、北京科技大学等单位又共同完成了太原钢铁公司 1549mm 热连轧计算机系统。

2001 年鞍山钢铁公司和北京科技大学 (高效轧制国家工程研究中心) 共同在鞍钢 1700mm 半连轧翻新改造项目中, 完成了自行设计的三级计算机控制系统, 运行几年来, 产品厚度、板形各项控制功能均达到了较先进的水平, 标志着我国已经有能力依靠自己的力量设计和开发像热连轧这样过程极为复杂、要求快速响应的计算机控制系统及其支持软件和应用软件。这也使国内轧制计算机软件系统的市场价格大大下降。

如果从 20 世纪 60 年代初算起, 带钢热连轧计算机系统的发展已经有 40 年历史, 这期间轧制行业计算机技术不断完善提高, 归纳起来, 主要有下列几项。

(1) 系统结构逐步分散化 实现系统的结构从单机集中控制、多级分区集中控制到分散控制这种变化, 是为了更好地满足热连轧生产技术发展的需要。

(2) 控制功能不断完善 从代替人工操作的设定控制, 发展到产品质量控制、故障诊断, 并实现了控制轧制。控制功能的不断完善, 从简单到复杂, 从低级到高级。

(3) 控制范围不断扩大 20 世纪 60 年代初期, 以控制精轧机为主, 主要是进行压下位置和轧机速度的预设定。20 世纪 60 年代中后期, 控制范围扩大到加热炉、粗轧机、精轧机、卷取机。20 世纪 80 年代, 控制范围又扩大到板坯库、钢卷库、成品库以及热平整线和热剪切线, 从而覆盖了整个热轧厂。

(4) 控制速度不断提高 随着控制功能不断完善, 对产品质量的控制精度也不断提高, 表 2-1 给出了 20 世纪 80 年代与目前的品质指标。

表 2-1 品质指标

项 目	20 世纪 80 年代		目前水平	
	偏差量	全长百分比/%	偏差量	全长百分比/%
厚度(小于 3.5mm)	$\pm 50\mu\text{m}$	95	$\pm 40\mu\text{m}$	99
宽度	$+2\sim 15\text{mm}$	95	$\pm 2\sim 6\text{mm}$	95
终轧温度	$\pm 30^\circ\text{C}$	95	$\pm 20^\circ\text{C}$	98
卷取温度	$\pm 30^\circ\text{C}$	95	$\pm 20^\circ\text{C}$	98
凸度	—	—	$\pm 20\mu\text{m}$	95
平直度	—	—	25I	95

2.2 轧制生产自动化的特点

轧钢自动化,特别是带钢热连轧自动化系统,不同于其他生产过程控制,其基本特点如下。

(1) **要求速度快** 由于控制对象是机电、液压系统,要求快速响应。现代轧机设备控制及工艺参数控制的周期一般为 $6\sim 20\text{ms}$ 。液压位置控制或液压恒压力控制系统的控制周期小于 3ms ,机电设备控制或工艺参数(厚度、宽度等)自动控制则亦应小于 20ms (温度控制周期可以适当放慢),计算机速度和通信速度都提出很高要求。

(2) **控制项目众多** 以带钢热连轧精轧机组为例,7个机架上集中了近10个机电设备的位置控制,20多个液压位置或恒压力控制,各种自动厚度控制(前馈、反馈、偏心补偿及监控 AGC),自动板形控制(前馈及反馈闭环自动板形控制),主速度(级联)控制,6个活套高度、活套张力控制或无活套控制,精轧机组终轧温度控制,自动加减及顺序控制,总共将近55个控制回路,因此要求采用多控制器,控制器内采用多处理器结构。

(3) **功能之间相互影响** 由于众多功能最终的影响都将集中到轧辊、轧件之间的变形区,因此功能间相互影响显著。例如:当自动厚度控制系统调整压下,调节厚度时,必将使轧制力发生变化,从而改变轧辊辊系弯曲变形而影响辊缝形状,最终影响出口断面形状和带钢平直度(板形),而当自动板形控制系统调整弯辊控制断面形状及平直度时,必将改变辊缝形状而影响出口厚度。

又如,当温度控制改变机架间喷水量或速度时,必将使各机架轧制温度变化,从而使轧制力变化,最终又将会影响到出口厚度和板形。因此功能间要互相协调,需要有补偿措施。

(4) **多个功能需共享输入输出模块** 例如:AGC 和 APC 都是用输出控制信号控制电动压下或液压压下;活套高度控制和主速度级联(ASC)都是控制主电机速度;AGC 和 ASC 都需要轧制力输入信号,AGC 和 APC 又都需要辊缝信号。

前两个特点要求系统采用处理能力强的快速 CPU，并采用多 CPU 控制器及多控制器系统，而后一特点是要求系统具有高速通信能力。

2.3 轧制计算机控制系统的基本结构

与普通个人电脑不同的是，控制用计算机增加光电隔离的模拟和数字输入输出接口，图 2-1 表示这种计算机系统结构。这种 DDC 系统可以是中、小型专用机，也可以是普通 PC 机。但在一些专用机里，工作程序固化在 ROM 里直接执行，不必采用通用计算机将程序调入内存中执行，随机内存 RAM 仅仅存储临时交换的数据，完全避免病毒的侵扰。

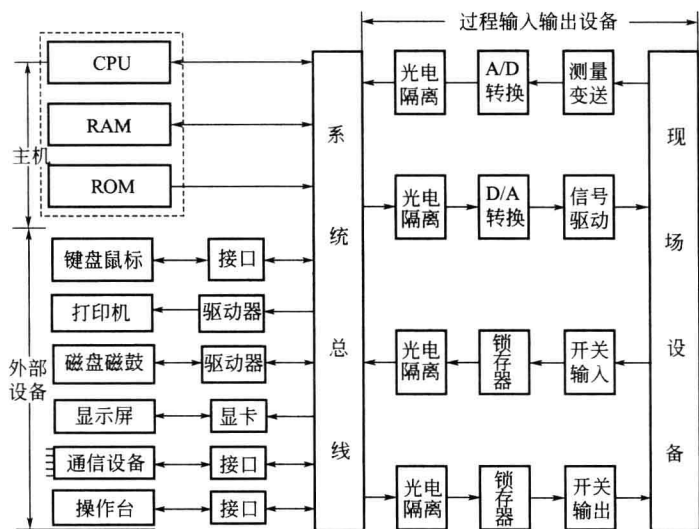


图 2-1 DDC 控制用计算机系统结构图

在轧制控制应用中，计算机控制是作为一个系统与生产过程结合在一起，一般要求这种系统同时起到多种作用。为了分散风险，尤其当今现代大生产，更是利用计算机组成多级控制管理系统，将各个过程自动控制系统都管理起来，组成一个统一的多层次的计算机生产管理统一体，使生产过程在所安排设计的工序规则下进行控制运行。

图 2-2 是轧制过程多级计算机控制系统结构图，各个控制级有不同的分工，现分别作如下说明。

L₀ 级也称数字传动级，它包括各种带数字调节器的执行设备，这些执行设备本身就是各自独立又有通信的闭环自动控制系统，可以对调节器进行比例、积分、微分等各种算法设置，如轧机拖动电机，加热炉前后步进托架、升降速辊道等。

数字控制器的任务是在给定设定值的情况下，每隔一定时间，根据一定的控制算法，算出应该给执行机构发出控制信号的大小和方向，再通过输出子系统向执行

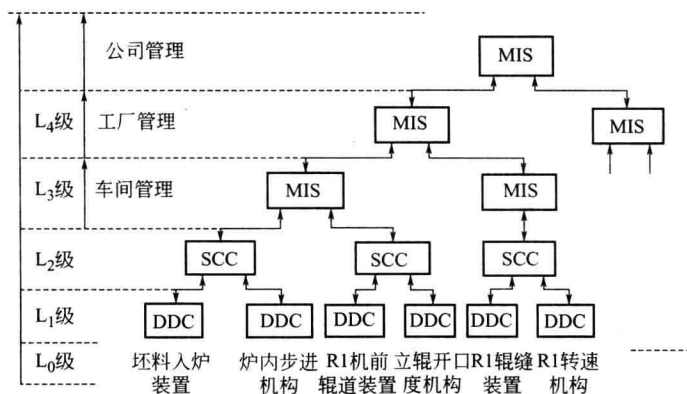


图 2-2 多级计算机控制系统结构图

机构输出。

每个执行设备可以独立调试，也可由上位机进行程序控制、顺序控制、比值控制、串级控制、前馈控制以及延迟补偿等各种的控制计算。

L₁级是DDC操作控制级（基础自动化），主要是在人工操作下进行轧制过程的具体控制，即所有相关设备工作的状态控制。L₁操作控制级计算机从总线接受L₂级传来的设定计算数据，采集所有现场有关轧制状态信息和设备工作信息，如润滑油压、轧件温度、轧制压力等。由于轧制过程中的各种过程变量是模拟变量，所以首先要将模拟量转换成数字量（称为模数转换，用A/D表示），送入计算机内存。计算机将这些数据经过适当的计算，将它换成所需要的数值，或进行其他的数学分析或数据加工。然后将其结果输出。这些结果可以打印出来存档，也可以输出到磁盘中，将它们储存起来。

在操作控制级还需要响应现场检测的各种中断，完成轧件跟踪、立辊位置控制、转速控制、压下控制、活套控制、水冷控制，甚至用点对点数据线指挥各个DDC装置的工作，完成控制任务。

L₂级过程控制级SCC（模型计算）按照产品要求和原料情况，制定压下规程，并按照各工艺环节的数学模型进行预报运算，包括厚度AGC、板形AFC等计算比较。同时接受L₁级实测的结果，进行轧件跟踪、滤波辨识、自学习修正模型系数，特别是控制轧制节奏。

L₃级（MIS）是生产控制级，它主要进行生产的计划和调度，安排L₂级和L₁级进行工作。这一级又可以按企业的规模和管理范围的大小，分成几级，例如分成车间管理、工厂管理和公司管理级。MIS级的计算机都是通信能力强大的通用计算机，要求数据处理和内外存的容量大。

L₃级还完成资源调度、质量控制、材料设计、合同跟踪等相应功能，以实现整个热轧生产线的生产控制、调度与管理。

L₄级是生产管理级，主要完成合同跟踪、成本核算、生产计划编制、各生产