

实用轧制工艺参数 检测技术

● 郑申白 牟文恒 编著

SHIYONG
ZHARZHU
GONGYI CANSHU
JIANCE JISHU



化学工业出版社

实用轧制工艺参数 检测技术

郑申白 牟文恒 编著

SHIYONG
ZHANLI
GONGYI CANSHU
JIANCE JISHU



化学工业出版社

· 北京 ·

元 00.38 / 份

图书在版编目 (CIP) 数据

实用轧制工艺参数检测技术/郑申白, 牟文恒编著.
北京: 化学工业出版社, 2008.6
ISBN 978-7-122-02869-3

I. 实… II. ①郑…②牟… III. 轧制-参数测试
IV. TG335

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 065249 号

著者 郑申白 牟文恒

责任编辑: 刘丽宏
责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 王晓宇

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 刷: 北京市振南印刷有限责任公司
装 订: 三河市宇新装订厂
850mm×1168mm 1/32 印张 9 1/4 字数 257 千字 2008 年 8 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: 25.00 元

版权所有 违者必究

前言

随着我国轧钢行业整体水平的不断提高,运用自动控制技术实现生产过程控制,已成为轧钢车间保证高作业率、高成材率下,生产多规格高精度产品和安全生产的不可缺少的手段。实现自动控制的前提是生产过程参数的可靠检测,因而对于现代化轧制车间而言,检测环节工作好坏对设备能否正常运转起到至关重要的作用。掌握一定程度的检测知识,对迅速判断故障,解决现场问题将带来极大的便利。

自动检测不但涉及传感器非电量转换技术,也涉及测量电路、低噪声放大、线路抗干扰等内容,现今还涉及计算机结构、采集接口技术、数字显示记录等学科领域。

检测与测试都是对事物特征参数的提取,都有检测方案的设计和测量仪器的使用,其原理一脉相承。检测侧重于长期作业,为生产获取过程参数。测试是具有试验性质的测量,偏重于随时随地快速地为科研获取数据。

在轧钢生产中各种轧机都有轧件尺寸、轧件温度、轧辊转速、轧辊辊缝、轧制力、张力、电机功率等参数需要检测。如轧制产品需要测量直径、板厚、板宽、腰高、腿长等尺寸。另外还有表面质量、内外缺陷以及组织性能的检验。除此之外,检测技术还包括在线检测设备的校准和易维护性。对自动控制而言,自动检测提供运行状态参数,因而是最重要的初始环节。检测装置应当具有高度的可靠性、稳定性、持久性和易维护性。

按照检测信号的物理性质,可分为非电信号和电信号。因为电信号传递方便、速度快、易于计算处理和存贮,而在线检测信号需要远传显示或参与控制,所以都需要转变为电信号,即获得在线的

不依赖人工测量操作的连续电信号。电信号快速传递到控制计算机，经过处理后，计算机才能发出指令交给执行机构执行。因此本书所介绍的各种参数检测都转换成电量，对电量再进行标度变换，得到测量数值。

检测信号不仅用于控制，还能用于分析装置的运行状态和动态响应，通过研究信号的频率组成，分析设备固有振动频率或可能的故障来源，这是当今检测技术应用的一个方面。

本书内容尽可能接近生产实际，编写中舍去部分繁琐理论推导与铺垫。在阐明轧制过程自动检测元件和测量电路方面，只选择与轧制行业相关的仪器。另外还增加一些计算机采集接口技术。全书力求反映现代检测技术的发展，包括它在轧制生产中的应用。有一些内容是编者的实践体会，供读者参考选用。书中第1、2、3、5、8、10章由郑申白编写，第4、7、9章由牟文恒编写，第6章为两人共同编写。

由于编者水平所限，书中不当之处难免，敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 检测技术基础	1
1.1 检测原理	2
1.1.1 测量误差	2
1.1.2 测量方法的分类	6
1.2 检测仪表功能与特性	7
1.2.1 检测仪表的功能	8
1.2.2 检测仪表的主要技术性能	10
1.2.3 检测系统的动态特性	11
第 2 章 传感器的工作原理及其特点	17
2.1 电阻式传感器	17
2.2 电容式传感器	23
2.3 电感式传感器	28
2.3.1 自感式传感器	28
2.3.2 差动变压器	32
2.3.3 电涡流式传感器	36
2.4 压磁式传感器	44
2.5 磁电式传感器	48
2.5.1 连续发电的磁电式传感器	48
2.5.2 脉冲式感应传感器	49
2.6 压电式传感器	52
2.7 霍尔元件传感器	53
2.8 数字式传感器	56

2.8.1	光栅传感器	56
2.8.2	磁栅传感器	60
2.9	热电传感器	66
2.10	光电传感器	68
2.11	激光式传感器	73
2.12	超声传感器	79
2.12.1	超声波的产生与接收	79
2.12.2	超声波的传播特性	81
2.12.3	超声波检测的基本原理	83
2.12.4	超声波能量转换器	84
2.12.5	超声参数的测量方法	85
2.13	红外传感器	87
第3章	传感器的测量电路与信号处理	93
3.1	传感器的信号形式及处理方法	93
3.2	传感器与检测电路的组合形式	95
3.3	基本放大电路	96
3.3.1	反相放大器	96
3.3.2	同相放大器	97
3.3.3	差动放大器	99
3.3.4	仪器放大器	100
3.4	阻抗匹配器	101
3.5	电荷放大器	102
3.6	电桥电路	104
3.6.1	直流电桥	104
3.6.2	交流电桥	106
3.6.3	电阻应变仪	106
3.7	传感器和微型计算机的使用	107
3.7.1	检测信号在输入微机前的处理	108
3.7.2	A/D 模数转换原理	112
3.7.3	采样保持电路及多路转换器	116

3.7.4	计算机数据采集装置	117
第4章	轧制力测量技术	123
4.1	轧制力测量	123
4.1.1	应力测量法	123
4.1.2	传感器测量法	124
4.1.3	电阻应变式传感器设计	126
4.1.4	剪切式传感器设计	131
4.1.5	圆板式压力传感器	133
4.1.6	传感器的标定和精度检验	134
4.2	旋转件的扭矩测量	136
4.2.1	采用应变片的扭矩测量	136
4.2.2	直接扭转测量方法	141
4.2.3	扭矩标定	142
4.3	轧件张力测量	144
4.3.1	单机座可逆式冷轧机张力测量	144
4.3.2	连轧机张力测量	147
第5章	轧制过程参数在线检测技术	149
5.1	带钢厚度检测	149
5.1.1	射线测厚仪	150
5.1.2	激光测厚仪	153
5.2	板凸度检测	155
5.3	板平直度检测	158
5.3.1	磁吸引式	158
5.3.2	中空分割法	159
5.3.3	弹性振动法	160
5.3.4	柱状光源法	161
5.4	板宽度检测	162
5.5	辊缝检测	163
5.6	轧件位置和切头形状检测	165

5.7	带钢表面缺陷检测	167
5.7.1	表面检测系统	168
5.7.2	带钢表面缺陷的测定与分类方法	172
5.8	型棒材在线尺寸检测	175
5.9	轧件运动速度检测	180
5.10	刚度测量	182
第6章	钢材无损检测技术	186
6.1	工件表面缺陷检测技术	186
6.1.1	磁力探伤法	186
6.1.2	涡流探伤法	190
6.2	工件内部缺陷检测技术	193
6.3	超声波探伤在轧钢生产中的应用	195
6.3.1	钢板的探伤	195
6.3.2	超声波探伤设备与缺陷判断	200
6.3.3	超声波在自动检测中的应用	204
6.3.4	钢轨的超声探伤	206
6.3.5	棒材的超声探伤	210
6.3.6	棒材探伤的作图法和 AVG 定量法	212
6.3.7	棒材表面和近表面缺陷的探伤	214
6.3.8	棒材芯部缺陷的探伤	215
第7章	电参数检测技术	217
7.1	直流电机电参数测量	217
7.1.1	直流电压变送器测量法	218
7.1.2	直流电流变送器测量法	219
7.1.3	直流功率变送器测量法	219
7.2	交流电机电参数测量	220
7.2.1	交流电压变送器测量	220
7.2.2	交流电流变送器测量	221
7.2.3	交流电机功率的测量	221

第 8 章 温度检测技术	224
8.1 温度和温度仪表	224
8.1.1 温度和温标	224
8.1.2 温度仪表的分类与性能	225
8.2 热电偶和热电阻	226
8.2.1 热电偶及基本定律	226
8.2.2 常用热电偶	229
8.2.3 温度显示仪表	239
8.3 辐射式温度计	240
8.3.1 辐射测温原理	240
8.3.2 热辐射的基本定律	242
8.3.3 光学高温计	244
8.3.4 全辐射温度计	245
8.3.5 比色温度计	246
8.3.6 红外温度计	249
第 9 章 信号分析与应用	252
9.1 现场振动测试信号的组成	253
9.2 振动信号分析原理	254
9.2.1 信号的分类	254
9.2.2 信号的描述	256
9.2.3 信号的频谱	257
9.2.4 非周期信号的频谱	260
9.2.5 频谱分析仪	267
9.3 轧机测试信号分析	268
第 10 章 检测装置的干扰抑制技术	270
10.1 干扰的来源	270
10.1.1 常见的干扰类型	270
10.1.2 噪声与信噪比	271
10.2 干扰的耦合方式及传输途径	272

10.3	差模干扰和共模干扰.....	276
10.4	干扰抑制技术.....	279
10.5	故障排查.....	284
参考文献		286

检测技术基础

在工业生产中，为及时了解设备运行情况及产品质量，自动为控制装置提供信息，就必须对生产过程涉及的物理参数，如尺寸、力、速度、位移、温度、功率、电流、电压等参数进行连续检测。生产检测任务无论是定性检测还是定量检测，一般都超出人体眼、耳、鼻、舌、身五官的感受能力，因而必须使用合适的检测仪表。一些简单测量用仪表可以直接显示测量结果，有些则是通过中间变量（电）的转换，最后得到测量结果。

电信号传递简单，速度快，易于变换并存储。在自动检测时，主要是传递电信号，故被测信号往往需要先转变为电量，再进一步放大处理。因而自动检测仪表分几个层次。一次仪表是将被测物理量（其中绝大部分是非电量）转换成便于传输和控制的物理量（如电压、电流、压力等）的装置，常常称为传感器。二次仪表指测量电路与信号的放大，包括标度变换、线性化以及 V/I 转换，以便于信号远距离传递或显示。随着集成电路的发展，传感器上可以直接配用测量电路，如将电路放在传感器内或做在半导体的硅片上，直接进行温度补偿或调制，输出电压、电流、数字信号或无线信号。三次仪表为通用仪表，完成数据的显示记录、保存复现、压缩以及波谱分析。

检测技术是人们为了对生产过程自动进行长期的定性了解和定量掌握所用仪器的一系列技术措施的总称。随着生产发展的需要，检测技术已经发展成为一门较完整的应用技术学科。学习和掌握检

测技术、检测原理及方法时，应了解检测所需要的技术手段（如敏感元件、传感器、测量电路与中间变换电路、传输线路、显示仪表和数据处理方法），组成恰当的检测系统，对过程参数进行长期在线测量。

1.1 检测原理

检测是含有检出、测量两种含义的过程。检出是获知被测量有无的定性操作。测量是将被测量与同种性质的标准量进行比较，确定被测量与标准量的倍数，并以数字形式表示这个倍数的过程。例如，用米尺测量金属棒的长度，就是用被测长度与标准长度进行比较，最后得出棒料的尺寸数值。

仪表测量经常是将标准量刻在表盘上，再进行测量的过程。电测法则是将被测量转换为电量，然后通过测量电路和放大环节，转成标准电流或电压。这时被测物理量和它的标准量不能直观看到，只是最后通过标度变换再显示出来，才能看到所测数值。

检测方法包括检测系统组成和检测仪表选择，不同的检测任务需要不同的测量方法和适当精度的仪表，它们关系到测量任务是否能完成。因此，要针对不同测量任务的具体情况进行分析，找出长期稳定可靠的检测方法，再选择合适的检测仪表，合理布置内外线路，才能组成实际生产运行的检测系统。

1.1.1 测量误差

测量是获取被测量的真实数值，但由于种种原因，在检测过程中，被测对象、检测系统、检测方法和检测人员都会受到各种变动因素的影响。而且，对被测量的转换，有时也会改变被测对象原有的输入输出关系。这就造成了检测结果和被测量的客观真值之间存在一定的差别。这一偏差称为测量误差。测量误差越小，仪表的精确度越高，测量越准确。误差公理指出：任何实验结果都是有误差的，误差自始至终存在于一切科学实验和测量之中，被测量的真值是永远难以得到的。尽管如此，我们仍然可以设法改进检测工具和

实验手段,并通过对检测数据的误差分析和处理,使测量误差处在允许的范围之内。或者说,达到一定的测量精度。这样的测量结果就被认为是合理的,可信的。

测量误差的主要来源可以概括为工具误差、环境误差、方法误差和人员误差等。

在分析测量误差时,人们采用的被测量真值是指在确定的时间、地点和状态下,被测量所表现出来的实际大小。一般来说,真值是未知的,所以误差也是未知的。但有些值可以作为真值来使用。例如理论真值,它是理论设计和理论公式的表达值。还有计量学约定真值,它是由国际计量大会确定的长度、质量、时间等基本单位。另外,考虑到多级计量网中计量标准的传递,高一级标准器的量值也可以作为相对真值。

为了便于对误差进行分析和处理,人们通常把测量误差从不同角度进行分类。按照误差的表示方法可以分为绝对误差和相对误差;按照误差出现的规律,可以分为系统误差、随机误差和粗大误差;按照被测量值与时间的关系,可以分为静态误差和动态误差等。

(1) 绝对误差和相对误差

① 绝对误差。绝对误差用下式定义

$$\Delta = X - L \quad (1-1)$$

式中, Δ 表示绝对误差, L 表示真值, X 表示测量值。绝对误差越小,说明测量结果越接近于被测量的真值。但如前所述被测量真值除理论真值外,是不大可能得到的。

采用绝对误差表示测量,不能很好说明测量结果的好坏。例如,温度测量的绝对误差 $\Delta = 5^{\circ}\text{C}$,若对体温来说它已到了荒谬的程度,但对上千度的钢水温度测量来说,它则是较小的测量误差。

② 相对误差。相对误差的定义由下式给出

$$\delta = \frac{\Delta}{L} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中, δ 表示相对误差,一般用百分数给出。

用相对误差表示法能够很好说明测量偏差占被测量的比例。在

实际测量中, 由于被测量的真实值 L 是不知道的, 常常用高一级测量值近似式(1-1)中真实值 L 去计算 Δ , 用示值 X 代替分母 L , 最后得到示值相对误差, 即

$$\delta_x = \frac{\Delta}{X} \times 100\% \quad (1-3)$$

许多场合 Δ 无法确定, 只好用一个最大限度来表示。

误差按产生的来源划分为工具误差和方法误差。工具误差是由测量设备中各个环节固有或调试不当而存在的偏差。方法误差是由测量方法不完善或理论上的缺陷所引起的误差。误差按出现的规律划分为系统误差、随机误差、渐变误差和疏失误差。

(2) 系统误差与随机误差

① 系统误差。在相同的条件下, 多次重复测量同一量时, 误差的大小和符号保持不变, 或按照一定的规律变化, 这种误差称为系统误差。其误差的数值和符号不变的称为恒值系统误差, 如零位误差。反之, 称为变值系统误差。变值系统误差又可分为累进性的、周期性的和按复杂规律变化的几种类型。

检测装置本身性能不完善、测量方法不完善、测量者对仪器使用不当、环境条件的变化等原因都可能产生系统误差。例如。某仪表刻度盘分度不准确, 就会造成读数偏大或偏小、从而产生恒值系统误差。温度、气压等环境条件的变化和仪表电池电压随使用时间的增长而逐渐下降, 则可能产生变值系统误差。

系统误差的特点是可以通过实验或分析的方法, 查明其变化规律和产生原因, 通过对测量值的修正, 或者采取一定的预防措施, 就能够消除或减少它对测量结果的影响。

系统误差的大小表明测量结果的正确度。它说明测量结果相对于真值有一恒定误差, 或者存在着某种按确定规律变化的误差。系统误差愈小。则测量结果的正确度愈高。

② 随机误差。在相同条件下, 多次测量同一量时, 其误差的大小和符号以不可预见的方式变化, 这种误差称为随机误差。随机误差是测量过程中许多独立的、微小的、偶然的因素引起的综合结果。

在任何一次测量中,只要灵敏度足够高,随机误差总是不可避免的。而且在同一条件下,重复进行的多次测量中,它或大或小,或正或负,既不能用实验方法消除,也不能修正。但是,利用概率论的一些理论和统计学的一些方法,可以掌握看似毫无规律的随机误差的分布特性,确定随机误差对测量结果的影响。

随机误差的大小表明测量结果重复一致的程度,即测量结果的分散性。通常,用精密度表示随机误差的大小。随机误差大,测量结果分散,精密度低。反之,测量结果的重复性好,密度高。

精确度是测量的正确度和精密度的综合反映。精确度高意味着系统误差和随机误差都很小,精确度有时简称为精度。图 1-1 形象地说明了系统误差、随机误差对测量结果的影响,也说明了正确度、精密度和精确度的含意。图 1-1(a) 的系统误差较小,正确度不高,而随机误差较大,精密度低。图 1-1(b) 的系统误差大,正确度较差,但随机误差小,精密度较高。图 1-1(c) 的系统误差和随机误差都较小,即正确度和精密度都较高,因此一切测量都应当力求精密而又正确。

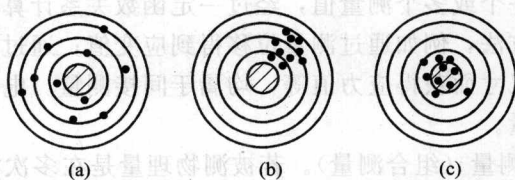


图 1-1 准确度、精密度和精确度示意图

③ 系统误差与随机误差的关系。虽然,系统误差和随机误差的性质不同,但两者并不是完全彼此孤立的。它们总是同时出现并对测量结果产生影响。实际上,很难把它们严格区分开来。人们一方面可以把难于完全掌握或过分复杂的系统误差当作随机误差来处理。另一方面,对某些随机误差的来源和变化规律有了更深入的了解后,就可以把它看成系统误差而加以修正或预防。

在实际生产检测时,常常对于准确度要求不是很高,或者不能及时修正系统误差,这时只能按照相对量指导生产,但从标度

角度来看,还是应当消除系统误差,尤其在自动控制系统中,各环节按标度变换,检测信号带有系统误差就难以控制输出量在目标值上。

渐变误差是随时间缓慢变化的误差,常常是由元件老化或由温度的缓慢影响而产生。疏失误差是一种人为过失误差,有时很大,用经验即可判断出来。

1.1.2 测量方法的分类

由于测量方法多种多样,从不同的角度出发,有不同的分类方法。

(1) 按测量手段分类

① 直接测量。在使用仪表进行测量时,对仪表读数不需经过任何运算,就能直接得到测量结果,称为直接测量。例如,用磁电式指针电流表测量电路中的电流,用机械式转速表测量电机转速等。直接测量的优点是测量过程简单而迅速,缺点是没有连续电量输出。

② 间接测量。被测量不能用或不易用直接测量的方法得到,而必须通过一个或多个测量值,经过一定函数关系计算得到被测量数值的测量方法,例如通过测量位移得到应变值;通过测量载荷和试件的截面尺寸而获得应力值等,均属于间接测量。电测法通过电量来间接测量。

③ 联立测量(组合测量)。若被测物理量是在多次测量后建立的方程中的未知数,就必须经过求解联立方程组或回归,才能得到最后结果,则称这样的测量为联立测量,如轧机刚度测量。进行联立测量时,一般需要改变测试条件,才能获得一组联立方程所需要的数据。

在实际测量过程中,应从实际出发经过具体分析后,再选定用哪种测量方法。

(2) 按测量方式分类

① 偏差式测量。测量过程中,用仪表指针或数字离开零点的数量(如偏转角)决定被测量的测量方法,称为偏差式测量法。它便于人们用感官直接读数,缺点是不易获得较高的精度。