

高等学校规划教材

GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

# 轧制测试技术

宋美娟 主编



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

要 容 内

高等学校规划教材

# 轧制测试技术

主 编 宋美娟

副主编 李立新 朱永祥

电 话 (010) 64027926 电子邮箱 kxmaster@comp.ustb.edu.cn

责任编辑 宋美娟 李 心 版式设计 张 青

责任编辑 侯 颖 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-302-4437-3

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2008年1月第1版, 2008年1月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 12.5印张; 333千字; 189页; 1-3000册

北 京

28.00元

冶金工业出版社 (010) 64027926

地址: 北京海淀区西四环北路1100711 电话: (010) 65289081

2008

(本教材在编写过程中, 曾蒙冶金工业出版社编辑部的热情帮助, 特此致谢)

## 内 容 提 要

本书为高等学校材料加工与控制工程专业教学用书。该书充分体现了实用性和先进性,内容包括材料加工生产中测试技术的基本原理、测试系统的组成、非电量电测法及各种传感器变换原理、力能参数的测量等,以及板带钢、型钢轧制过程中在线检测技术等。

本书可作为高等学校相关专业教材或技术培训教学用书,也可供研究生或现场技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

轧制测试技术/宋美娟主编. —北京:冶金工业出版社,  
2008.1

高等学校规划教材

ISBN 978-7-5024-4427-3

I. 轧… II. 宋… III. 轧制—测试技术—高等学校—  
教材 IV. TG33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 002618 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 俞跃春 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 侯 璐 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4427-3

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2008 年 1 月第 1 版,2008 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 12.5 印张; 333 千字; 189 页; 1—3000 册

28.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

## 冶金工业出版社部分图书推荐

| 书 名                  | 作 者    | 定价(元) |
|----------------------|--------|-------|
| 楔横轧零件成型技术与模拟仿真       | 胡正寰 等著 | 48.00 |
| 铝合金无缝管生产原理与工艺        | 邓小民 著  | 60.00 |
| 轧制工程学(本科教材)          | 康永林 主编 | 32.00 |
| 材料成形工艺学(本科教材)        | 齐克敏 等编 | 69.00 |
| 加热炉(第3版)(本科教材)       | 蔡乔方 主编 | 32.00 |
| 金属塑性成形力学(本科教材)       | 王 平 等编 | 26.00 |
| 金属压力加工概论(第2版)(本科教材)  | 李生智 主编 | 29.00 |
| 材料成形实验技术(本科教材)       | 胡炆福 等编 | 16.00 |
| 冶金热工基础(本科教材)         | 朱光俊 主编 | 30.00 |
| 塑性加工金属学(本科教材)        | 王占学 主编 | 25.00 |
| 轧钢机械(第3版)(本科教材)      | 邹家祥 主编 | 49.00 |
| 冶金技术概论(职业技术学院教材)     | 王庆义 主编 | 26.00 |
| 金属压力加工理论基础(职业技术学院教材) | 段小勇 主编 | 37.00 |
| 参数检测与自动控制(职业技术学院教材)  | 李登超 主编 | 39.00 |
| 有色金属压力加工(职业技术学院教材)   | 白星良 主编 | 33.00 |
| 黑色金属压力加工实训(职业技术学院教材) | 袁建路 主编 | 22.00 |
| 轧钢车间机械设备(职业技术学院教材)   | 潘慧勤 主编 | 32.00 |
| 轧钢基础知识(职业技能培训教材)     | 孟延军 主编 | 39.00 |
| 加热炉基础知识与操作(职业技能培训教材) | 戚翠芬 主编 | 29.00 |
| 中型型钢生产(职业技能培训教材)     | 袁志学 主编 | 28.00 |
| 中厚板生产(职业技能培训教材)      | 张景进 主编 | 29.00 |
| 高速线材生产(职业技能培训教材)     | 袁志学 主编 | 39.00 |
| 热连轧带钢生产(职业技能培训教材)    | 张景进 主编 | 35.00 |
| 板带冷轧生产(职业技能培训教材)     | 张景进 主编 | 42.00 |
| 轧制工艺润滑原理技术与应用        | 孙建林 著  | 29.00 |
| 轧钢生产实用技术             | 黄庆学 等编 | 26.00 |
| 板带铸轧理论与技术            | 孙斌煜 等著 | 28.00 |
| 小型型钢连轧生产工艺与设备        | 李曼云 主编 | 75.00 |
| 矫直原理与矫直机械(第2版)       | 崔 甫 著  | 42.00 |

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100717) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

双峰检

# 前 言

本书是冶金行业“十一五”规划教材。随着科学技术的不断发展,特别是轧制新工艺、新技术的不断涌现,轧制过程对测试技术提出了更高的要求。为了满足现代冶金技术专业人才培养和工程技术人员培训需要,编写了本教材。

本教材特别注重教学内容的针对性、实用性和先进性,紧密结合轧钢前沿新技术有关内容,增加了传感器与微机的连接内容,并将轧制过程在线检测作为重点章节内容。

本书由宋美娟担任主编,李立新、朱永祥担任副主编,参加编写的有重庆科技学院宋美娟(绪论、第7章),任蜀炎(第2、3章),朱永祥(第4章、附录),胡彬(第5章),阳辉(第6章),武汉科技大学李立新(第8章)。

重庆科技学院喻廷信老师对本书的初稿提出宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平所限,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2007年9月

# 目 录

|                     |    |
|---------------------|----|
| <b>1 绪论</b>         | 1  |
| 1.1 测试技术概述          | 1  |
| 1.2 测量方法            | 1  |
| 1.2.1 测量方法的分类       | 1  |
| 1.3 测量仪表和测量系统       | 2  |
| 1.3.1 测量仪表的功能与特性    | 3  |
| 1.3.2 测量系统的组成与特点    | 4  |
| 1.3.3 测量系统的主要技术指标   | 5  |
| 1.4 测试技术在轧制中的应用     | 6  |
| 1.4.1 轧制测试技术的任务     | 6  |
| 1.4.2 轧制测试技术经常测试的参数 | 6  |
| 1.5 本课程的内容和要求       | 6  |
| <b>2 常用传感器及其原理</b>  | 7  |
| 2.1 概述              | 7  |
| 2.1.1 传感器的定义        | 7  |
| 2.1.2 传感器的分类        | 8  |
| 2.1.3 传感器的命名法       | 8  |
| 2.1.4 对传感器性能的要求     | 9  |
| 2.1.5 传感器的发展趋势      | 10 |
| 2.2 电阻式传感器          | 10 |
| 2.2.1 电阻应变片         | 10 |
| 2.2.2 热电阻及热敏电阻      | 16 |
| 2.3 电容式传感器          | 22 |
| 2.3.1 电容式传感器的工作原理   | 22 |
| 2.3.2 电容式传感器的测量转换电路 | 23 |
| 2.3.3 电容传感器特点       | 23 |
| 2.3.4 电容式传感器的应用     | 23 |
| 2.4 电感式传感器          | 24 |
| 2.4.1 工作原理          | 24 |
| 2.4.2 电感计算及特性分析     | 26 |
| 2.4.3 转换电路和传感器灵敏度   | 29 |
| 2.4.4 零点残余电压        | 32 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 2.5 压磁式传感器 .....            | 35 |
| 2.5.1 压磁效应 .....            | 36 |
| 2.5.2 压磁式传感器工作原理 .....      | 37 |
| 2.5.3 压磁元件 .....            | 38 |
| 2.5.4 压磁传感器的应用 .....        | 38 |
| 2.6 压电式传感器 .....            | 38 |
| 2.6.1 压电效应与压电材料 .....       | 38 |
| 2.6.2 压电式传感器及其等效电路 .....    | 39 |
| 2.6.3 压电元件常用的结构形式 .....     | 39 |
| 2.7 磁电式传感器 .....            | 40 |
| 2.8 热电偶式传感器 .....           | 40 |
| 2.9 光电式传感器 .....            | 41 |
| 2.9.1 光电效应及光电器件 .....       | 41 |
| 2.9.2 光电式传感器的形式 .....       | 41 |
| 2.10 霍尔元件传感器 .....          | 42 |
| 2.11 激光式传感器 .....           | 43 |
| 2.11.1 激光传感器简介 .....        | 43 |
| 2.11.2 激光传感器应用 .....        | 43 |
| 2.11.3 激光传感器的发展前景 .....     | 43 |
| 2.12 CCD 图像传感器 .....        | 44 |
| 2.12.1 CCD 的主要特性 .....      | 44 |
| 2.12.2 像增强器与 CCD 的耦合 .....  | 44 |
| 2.12.3 CCD 图像传感器的发展趋势 ..... | 45 |
| 思考题 .....                   | 46 |
| 3 传感器的接口电路 .....            | 47 |
| 3.1 传感器的信号处理 .....          | 47 |
| 3.1.1 传感器输出信号的特点 .....      | 47 |
| 3.1.2 传感器信号的处理方法 .....      | 47 |
| 3.1.3 传感器与检测电路的一般结构形式 ..... | 48 |
| 3.2 阻抗匹配器 .....             | 49 |
| 3.3 电桥电路 .....              | 50 |
| 3.3.1 直流电桥及其特性 .....        | 50 |
| 3.3.2 交流电桥 .....            | 52 |
| 3.4 放大电路 .....              | 53 |
| 3.4.1 反相放大器 .....           | 54 |
| 3.4.2 同相放大器 .....           | 54 |
| 3.4.3 差动放大器 .....           | 54 |
| 3.4.4 电荷放大器 .....           | 55 |
| 3.4.5 传感器与放大电路配接的示例 .....   | 56 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 3.5 噪声的抑制 .....              | 58  |
| 3.5.1 噪声产生的原因 .....          | 58  |
| 3.5.2 噪声的抑制方法 .....          | 58  |
| 3.6 传感器与微机的连接 .....          | 60  |
| 3.6.1 传感器与微型计算机结合的重要性 .....  | 60  |
| 3.6.2 检测信号在输入微型计算机前的处理 ..... | 61  |
| 3.6.3 A/D 模数接口电路 .....       | 63  |
| 3.6.4 采样保持电路及模拟多路转换器 .....   | 65  |
| 3.6.5 电压频率转换电路 .....         | 65  |
| 3.6.6 动态应变数据采集分析系统 .....     | 66  |
| 思考题 .....                    | 67  |
| 4 力参数的测量 .....               | 68  |
| 4.1 应力应变测量 .....             | 68  |
| 4.1.1 应力应变关系 .....           | 68  |
| 4.1.2 单一变形时的应变测量 .....       | 70  |
| 4.1.3 复合变形时对某一应变成分的测量 .....  | 75  |
| 4.2 轧制压力的测量 .....            | 77  |
| 4.2.1 应力测量法 .....            | 77  |
| 4.2.2 传感器测量法 .....           | 79  |
| 4.3 金属塑性变形抗力的测量 .....        | 90  |
| 4.3.1 热变形抗力测量 .....          | 90  |
| 4.3.2 冷变形抗力测量 .....          | 91  |
| 4.4 扭矩的测量 .....              | 91  |
| 4.4.1 对集电装置的技术要求 .....       | 92  |
| 4.4.2 拉线式集电装置 .....          | 92  |
| 4.4.3 电刷式集电装置 .....          | 93  |
| 4.4.4 采用集电装置时的组桥 .....       | 94  |
| 4.4.5 扭矩的标定 .....            | 95  |
| 4.5 其他力参数测量 .....            | 98  |
| 4.5.1 轧件张力测量 .....           | 98  |
| 4.5.2 挤压力测量 .....            | 100 |
| 4.5.3 拉拔力测量 .....            | 101 |
| 思考题 .....                    | 101 |
| 5 电机电参数和转速测量 .....           | 102 |
| 5.1 电机电参数测量 .....            | 102 |
| 5.1.1 直流电机电压、电流的测量 .....     | 102 |
| 5.1.2 直流电机功率测量 .....         | 106 |
| 5.1.3 交流电参数测量的特点 .....       | 106 |

|       |                  |     |
|-------|------------------|-----|
| 5.1.4 | 交流电压、电流的测量       | 107 |
| 5.1.5 | 交流电机功率测量         | 108 |
| 5.2   | 电机转速测量           | 110 |
| 5.2.1 | 日光灯法测速           | 110 |
| 5.2.2 | 闪频法测速            | 110 |
| 5.2.3 | 光电数字测速           | 111 |
| 5.2.4 | 瞬时转速的测量          | 115 |
| 5.2.5 | 示波器转速测量法         | 116 |
| 5.3   | 现代电机测试技术         | 118 |
| 5.3.1 | 传感器技术及其在电机测试中的应用 | 118 |
| 5.3.2 | 数字仪器             | 119 |
|       | 思考题              | 121 |
| 6     | 温度测量             | 122 |
| 6.1   | 温度测量方法           | 122 |
| 6.1.1 | 温标               | 122 |
| 6.1.2 | 温度测量方法分类         | 123 |
| 6.2   | 热电偶温度计           | 124 |
| 6.2.1 | 热电偶测温原理          | 124 |
| 6.2.2 | 常用热电偶            | 126 |
| 6.2.3 | 热电势的测量方法         | 126 |
| 6.2.4 | 冷端补偿             | 127 |
| 6.2.5 | 标定               | 128 |
| 6.3   | 辐射温度计            | 129 |
| 6.3.1 | 热辐射的基本概念         | 129 |
| 6.3.2 | 热辐射的基本定律         | 130 |
| 6.3.3 | 辐射温度计的工作原理       | 131 |
| 6.3.4 | 辐射温度计的分类及应用      | 132 |
| 6.4   | 红外温度计            | 132 |
| 6.5   | 光导纤维温度计          | 133 |
| 6.5.1 | 物性型光导纤维温度计       | 133 |
| 6.5.2 | 结构型光导纤维温度计       | 134 |
| 6.6   | 轧钢生产中的温度测量       | 135 |
|       | 思考题              | 136 |
| 7     | 轧制过程在线检测         | 137 |
| 7.1   | 带钢厚度检测           | 137 |
| 7.1.1 | 射线式测厚仪的工作原理      | 137 |
| 7.1.2 | X射线测厚            | 138 |
| 7.1.3 | $\beta$ 射线测厚     | 139 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 7.1.4 $\gamma$ 射线测厚 .....     | 139 |
| 7.2 带钢宽度的测量 .....             | 140 |
| 7.2.1 热轧带钢板宽的测定方法 .....       | 140 |
| 7.2.2 冷轧带钢板宽的测定方法 .....       | 140 |
| 7.3 带钢长度的测量 .....             | 142 |
| 7.3.1 激光测长仪的结构和原理 .....       | 143 |
| 7.3.2 激光测长仪的应用 .....          | 144 |
| 7.4 带钢板形检测 .....              | 144 |
| 7.4.1 带钢板形概念 .....            | 144 |
| 7.4.2 板形检测技术 .....            | 148 |
| 7.5 辊缝的测量 .....               | 150 |
| 7.5.1 概述 .....                | 150 |
| 7.5.2 SGF 型辊缝测量仪工作原理 .....    | 151 |
| 7.6 轧件位置检测 .....              | 152 |
| 7.6.1 热金属检测器(HMD) .....       | 152 |
| 7.6.2 $\gamma$ 射线板边监测器 .....  | 152 |
| 7.6.3 冷金属检测器(CMD) .....       | 153 |
| 7.7 板材切头形状检测 .....            | 153 |
| 7.8 带钢表面缺陷检测 .....            | 155 |
| 7.8.1 检测系统 .....              | 155 |
| 7.8.2 带钢表面缺陷的测定和先进的分类方法 ..... | 157 |
| 7.9 型钢生产过程中的自动检测技术 .....      | 158 |
| 7.9.1 轧件尺寸的在线检测 .....         | 158 |
| 7.9.2 轧件位置检测和其他传感器 .....      | 162 |
| 思考题 .....                     | 163 |
| 8 钢材无损检测技术 .....              | 164 |
| 8.1 涡流检测 .....                | 164 |
| 8.1.1 涡流检测原理 .....            | 164 |
| 8.1.2 涡流探伤仪 .....             | 164 |
| 8.1.3 涡流探伤的应用 .....           | 165 |
| 8.2 磁粉检测 .....                | 165 |
| 8.2.1 磁粉检测原理 .....            | 165 |
| 8.2.2 工件的磁化方法 .....           | 166 |
| 8.2.3 缺陷的检验方法 .....           | 168 |
| 8.3 射线检测 .....                | 168 |
| 8.3.1 射线检测原理 .....            | 168 |
| 8.3.2 X射线探伤技术 .....           | 169 |
| 8.4 超声检测 .....                | 169 |
| 8.4.1 超声波检测的基本原理 .....        | 169 |

|       |            |     |
|-------|------------|-----|
| 8.4.2 | 超声波传感器     | 170 |
| 8.4.3 | 超声探伤技术     | 170 |
|       | 思考题        | 172 |
| 附录    | 轧制测试技术实验   | 174 |
| 实验一   | 电阻应变片的粘贴   | 174 |
| 实验二   | 组桥接线及防潮处理  | 176 |
| 实验三   | 电桥和差特性     | 178 |
| 实验四   | 动态应变测量     | 180 |
| 实验五   | 测力传感器的标定   | 182 |
| 实验六   | 扭矩的测量与标定   | 184 |
| 实验七   | 轧制力能参数综合测试 | 186 |
| 参考文献  |            | 189 |

# 1 绪 论

## 1.1 测试技术概述

测试技术是一门随现代科学技术发展而迅速崛起的科学技术。现代科学技术的发展离不开测试技术,同时对测试技术又不断提出更高要求,推动着测试技术不断向前发展。另一方面各种学科领域的新进展(新材料、微电子学和计算机技术等)也常常首先在测试方法和测试仪器的改进中得到应用。测试技术总是从其他相关科学中吸取营养而得到发展。

在材料成形的科学实验和工业生产中,为了及时了解实验进展情况和生产过程的控制情况以及为生产过程自动化提供信息,人们要经常对某些物理量,如质量、力、速度、位移、温度、功率、电流、电压等参数进行测量。这时人们就要选择合适的测量仪表,采用一定的测试方法去进行测量。

测试技术就是人们为了对自然现象进行定性了解和定量掌握所从事的一系列技术措施。测试技术包括两个方面的含义:一方面是对物理现象的定性了解,如检查设备外壳是否带电,电机运转时是否发热等;另一方面,是对物理现象的定量掌握,如热加工时测量材料的加工温度是多少,变形力有多大等。

测试技术这门学科所涉及的内容比较广泛,它从被测物理量的实际出发,首先探讨能够用什么物理原理,将被测物理量(其中绝大部分是非电量,例如力能参数:压力、拉力、扭矩等;热工参数:温度、流量、液位等;机械量参数:位移、速度、加速度、形状、尺寸等)转换成便于传输和处理的物理量(如电压、电流、压力);其次研究信号的放大和加工变换方法,以便于信号远距离传输;进而研究信号的接收与显示方法,最后还要研究数据的处理方法以及相应的技术处理的措施。

学习和掌握了测试技术的目的,就能够在科学研究和生产中正确地选择测量原理和方法,正确地选择测试所需的技术工具(如敏感元件、传感器、变换器、传输电缆、显示仪表和数据处理装置),组成恰当的测量系统,完成所提出的测试任务。

## 1.2 测量方法

测量就是在某一特定条件下,通过实验的方法,将被测的物理量与所规定的标准量进行比较的过程。如测量轧件长度,就是用米尺与轧件比较,得到轧件长度的数值。

测量过程中,会遇到许多被测物理量和它的标准量不能直观看到,也不容易将它们放在一起进行比较的情况,这就需要采用比较复杂的方法进行转换。

### 1.2.1 测量方法的分类

对于测量方法,从不同的角度出发,有不同的分类方法。按测量的方式分有:直接测量、间接测量、联立测量。按测量的读数分有:偏差式测量、零位式测量、微差式测量。除此以外还有许多其他的分类方法,例如,接触式测量和非接触式测量;静态测量和动态测量;主动式测量和被动式测量等。

#### 1.2.1.1 按测量的方式分

##### A 直接测量

被测的物理量可直接与标准量进行比较的测量方式称为直接测量。如用米尺测量长度,用

测力计测力值,用温度计测温度等。

### B 间接测量

被测的物理量不能够或不易于直接与标准量进行比较,但它与几个有关变量呈函数关系,可对这几个变量直接测量,然后再代入函数式中,求出被测的物理量。如测量导线的电阻率  $\rho$ ,必须先对导线的长度  $l$ 、直径  $d$ 、电阻  $R$  进行直接测量,然后再通过下式计算

$$\rho = \frac{\pi d^2 R}{4 l}$$

这是生产过程和实验研究中用得最多的测量方法。

### C 联立测量(组合测量)

若被测物理量必须经过求解联立方程组,才能得到最后结果,则称这样的测量为联立测量。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。解联立方程组后,才可求得最后所需要的结果。

联立测量的测量过程中,操作过程很复杂,花费时间长,是一种特殊的精密测量方法,只适用科学实验的特殊场合。在测量过程中,应从实际出发经过具体分析后,再选定用哪种测量方法。

#### 1.2.1.2 按测量的读数方式分

(1) 偏差式测量(直读法)。它是以测量仪表指针的偏转或位移量读出被测物理量的数值(如电流表)。

(2) 零位式测量(零读法)。它是在测量仪表中用已知的标准量与被测量比较。并调节平衡,使仪表指针指零位,并由该已知的标准量读出测量值(如用平衡电桥测量电阻)。

(3) 微差式测量。微差式测量综合了偏差式测量和零位式测量的优点,而提出的测量方法。这种方法是将被测的未知量与已知量进行比较得出差值,然后用偏差法测得比差值。因此,在测量过程中不需要调整标准量,而只需测量两者的差值。

设:  $N$  为标准量,  $X$  为被测量,  $\Delta$  为二者之差。则  $X = N + \Delta$ , 即被测量是标准量与偏差值之和。

由于  $N$  是标准量,其误差很小并且  $\Delta \leq N$ , 因此,可选用灵敏度高的偏差式仪表测量  $\Delta$ 。即使测量  $\Delta$  的精度较低,但因  $\Delta \leq X$ , 故总的测量精度仍较高。

微差式测量法的优点是反应快,测量精度较高,它特别适用于在线控制参数的检测。

## 1.3 测量仪表和测量系统

在工业生产控制和科学实验研究过程中都离不开测试。在测试任务面前,首先考虑应用怎样的测量原理,采用何种测量方法;在解决了测量原理、测量方法之后,还要正确地选择测试所需的技术工具(测量仪表)才能进行测量。

广义上的测量仪表包括敏感器、传感器、变换器、运算器、显示器、数据处理装置等。测量仪表的好坏直接影响测量结果的可信性。了解测量仪表的功能和构成原理,有助于正确选用仪表。

测量系统是测量仪表的有机组合,对于比较简单的测量工作只需一台仪表就可以解决问题。但是,对于比较复杂的、要求比较高的测量工作,往往需要使用多台测量仪表,并且按一定规则,将它们组合起来,构成一个有机整体——测量系统。

在现代化的生产过程和实验中,过程参数的检测都是自动进行的,即测试任务是由测试系统自动完成的。因此,研究和掌握测量系统的功能和构成原理是十分必要的。

### 1.3.1 测量仪表的功能与特性

测量过程中测量仪表要完成的主要任务有:物理变换功能、信号的传输和测量结果的显示。

#### 1.3.1.1 变换功能

在生产和科学实验中经常会碰到各种各样的物理量,其中大多数是非电量。例如:热工参数的温度、压力、流量;机械量参数中的转速、力、位移、扭矩;物性参数中的酸碱度,比重、成分含量等。对于这些物理量想通过与其对应的标准量直接进行比较,一步得到测量结果,往往非常困难,有时甚至是不可能实现的。为了解决实际测量中的这种困难,在工程上解决的办法是依据一定的物理定律,将难于直接同标准量“并列”比较的被测物理量经过一次或多次的信号能量转换,变换成便于处理、传输和测量的信号能量形式。在工程上,电信号(电流、电压)是最容易处理、传输和测量的物理量。因此,往往将非电量被测量按一定的物理定律,严格地转换成电量(电压、电流),然后再对变换得到的电量进行测量和处理。例如,在测量加热炉炉膛温度时,经常利用热电偶的热电效应将被测温度转换成直流毫伏(热电势)信号进行传输和显示。

变换功能分为二类:

(1) 单形态能量变换。这种变换的特点是变换时所需要的能量,取自被测介质,不需外界补充能量,但要求变换器中消耗的能量尽量少。

(2) 双形态能量变换。这种变换的特点是变换时所需要的能量,不是从被测对象取得的而是从附加的能源(参比电流源)取得。

研究仪表变换功能机理是很重要的课题,设法将新发现的物理定律引入传感器中,作为物理量变换的依据,往往会产生崭新的传感器和测量方法。

#### 1.3.1.2 传输功能

被测量经变换的信号,要经过一定距离的传输后,才能进行测量,显示出最后结果。即仪表在测量过程中完成的第二功能就是将信号进行一定距离的传输。

随着生产的发展,自动化水平的不断提高,集中控制和现场检测越来越普遍。一般生产现场与中央控制室的距离较远,位于现场的传感器及变送器将被测参数变换与放大后,经过较长距离的传输才能将信号送到控制室。工业上应用比较多的是有线传输,即用电缆或导线传输电压和电流信号。在信号的传输过程中要解决信号的失真和抗干扰问题。

#### 1.3.1.3 显示功能

测量的最终目的之一是将测量的结果用于人眼观察的形式表示出来,这就要求测量仪表能完成显示功能。仪表的显示方式概括为模拟显示和数字显示二类。模拟显示有:指针显示和记录曲线;数字显示有:数码显示和数字式打印记录等。

#### 1.3.1.4 测量仪表的特性

测量仪表的特性,一般分为静特性和动特性两种。当测量仪表进行测量的参数不随时间而变化或随时间变化很慢,可不必考虑仪表输入量与输出量之间的动态关系而只需考虑输入量与输出量之间的静态关系时,联系输入量与输出量之间的关系式是代数方程,不含时间变量,这就是所谓的静特性。

当测量随时间变化很快,必须考虑测量仪表输入量与输出量之间的动态时间关系时,联系输入量与输出量的关系是微分方程,含有时间变量,这就是所谓的动特性。

静特性与动特性彼此并不是孤立的。当静特性显示出非线性和随机性质时,静特性会影响动态条件下的测量结果。这时描写动特性的微分方程变得十分复杂,甚至在工程上无法解决。

例如干摩擦、间隙、磁滞回线等都能使静特性出现非线性和带有随机性。遇到这种情况只能做工程上的近似解。

### 1.3.2 测量系统的组成与特点

“测量系统”是测试技术发展一定阶段的产物。随着科技和生产的发展,当生产中面临着只有用多台测量仪表有机组合才能完成检测任务时,测量系统便初步形成了,尤其是自动化生产出现以后,要求生产过程参数的检测能自动进行,这时就产生了自动检测系统。

#### 1.3.2.1 测量系统的组成

一个完善的测量系统应包括信息的获得、转换、显示和处理等几部分。以非电量电测法测力为例,它包括传感器、测量电路、放大电路、指示仪或记录仪,以及数据处理仪器。它们之间的组成关系,如图 1-1 所示。

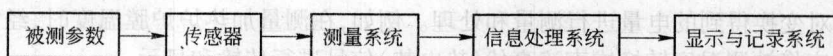


图 1-1 测量系统的组成

#### A 传感器的作用

将感受到的非电量转换成电量,以便进一步放大、记录或显示。传感器由两部分组成:一部分是直接承受非电量作用的机械零件或专门设计的弹性元件;另一部分是敏感元件(如应变片等)。

#### B 测量系统的作用

把传感器的输出变量变成电压或电流信号,以便能在指示仪上指示或记录仪中记录。测量电路的类型常由传感器的类型而定,如电阻式传感器需要采用电桥电路把电阻值变换成电流或电压输出,所以它是信号的转换部分。

#### C 信息处理系统的作用

对测量系统输出的微弱电信号进行放大,补偿(线性、温度、材质等),数学运算(四则,对数函数,三角函数),模数转换等信息处理工作。信息处理工作靠各种模拟电路来实现。微处理机问世以来多采用微处理机。

#### D 显示与记录系统的作用

用于模拟量的显示和记录(各种数字显示和屏幕显示),显示出经过信息处理系统处理后的被测机械量的数值,并用曲线记录或用数字打印。此数值有的用被测量的绝对值表示,也有的用被测机械量与给定值的差值即偏差表示。

#### 1.3.2.2 非电量电测法的特点

非电量电测法的特点主要有以下几种:

(1) 灵敏度高。在整个测量范围内,应有足够大的输出信号。用应变片和电阻应变仪目前可测到 5 个微应变(即  $5 \times 10^{-6}$ ),甚至可以精确到 1 个微应变。

(2) 精度高。在一般条件下,常温静态应变测量可达到 1% 的测量精度。

(3) 尺寸小、重量轻。基长最短为 0.3 mm,基宽最窄达 1.4 mm,中等尺寸的应变片为 0.1~0.2 g。对于测量的试件来说,可以认为它没有惯性,故把它粘贴在试件表面上之后,不影响试件的工作状态和应力分布。

(4) 频率响应快。由于应变片的重量很轻,在测量运动件时,其本身的机械惯性可以忽略,

故可认为对应变的反应是立刻的。可测量的应变频率范围很广,从静态到数十万赫的动态应变乃至冲击应变。

(5) 测量范围广。不仅能测量应变,而且能测量力、位移、速度等。不仅能测量静止的零件,而且也能测量旋转件和运动件。

(6) 能多点、远距离、连续测量和记录。它易于实现自动化、数字化和遥测。

### 1.3.3 测量系统的主要技术指标

测量系统的主要技术指标有以下几种:

(1) 仪表的量程。量程是指仪表测量范围的指标(上下限范围),例如:100~1250T(指力)或0.1~8 mm(指尺寸)。

(2) 准确度。准确度又称精度,它是表示仪表测量误差的性能指标。准确度的表示方法有相对额定误差、绝对误差和相对误差三种。

$$\text{相对额定误差} = \frac{\text{绝对误差的最大值}}{\text{仪表的量程范围}} \times 100\%$$

绝对误差是指仪表的量程范围内各点测量误差都不超过某一个值。例如:测径仪的误差小于 $\pm 0.01$  mm;测长仪的误差小于0.1 mm。这种表示方法很容易换算成相对额定误差。

相对误差是指某点的绝对误差和该点的真实值之比。可表示为

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{真实值}} \times 100\%$$

由于测量值与真实值相差不多,因此计算相对误差时可采用测量值。用相对误差表示的仪表精度,是指在全部测量范围内(或某挡量程范围内)各点相对误差都不超过某个值。例如:测厚仪的误差小于测量值的 $\pm 1\%$ 。

仪表的相对误差和相对额定误差数值相同的两台仪表,前者要比后者高很多。例如,相对额定误差为1%的仪表,被测值为满量程时相对误差为1%,而被测值为满量程的20%时相对误差明显上升,最大可达5%。

(3) 灵敏度。灵敏度是指仪表的输出量与输入量之比,比值越大灵敏度越高。输入量是机械量,而输出量一般是指显示器的指示值,也有时指检测器的输出量。灵敏度的定义为

$$S = \frac{dy}{dx}$$

式中, $S$ 为灵敏度, $y$ 为输出量, $x$ 为输入量。

如果输出量与输入量是线性关系,则灵敏度为常数,如果两者是非线性关系则灵敏度为变量。

(4) 噪声。噪声是指仪表输出量为零时,仪表的显示器指示值围绕零点抖动的宽度。一般噪声用显示的输入量表示,例如多少毫伏。

(5) 稳定性。定义为仪表的输入量为零时,在某段时间,仪表的指示值偏离零点的误差。稳定性有时也称漂移。

(6) 重复性。仪表的输入量不变,在短时间内仪表多次重复测量,每次测量值之间的误差。

(7) 响应时间。响应时间是动态性能指标,表示仪器测量速度的快慢,是一项十分重要的性能指标。特别是用作自动控制生产过程的机械量过程仪表,一般多要求测量速度快。响应时间的定义不统一,从原则上定义为:从测量开始到仪表显示出被测量值为止的一段时间。

(8) 平均无故障间隔时间。为了表征仪表的全面质量,应当规定平均无故障间隔时间。

## 1.4 测试技术在轧制中的应用

### 1.4.1 轧制测试技术的任务

轧制测试技术的任务主要有以下几种:

- (1) 摸清现有轧制设备的负荷水平,在保证设备安全运转条件下,充分发挥现有设备潜力,以达到高产、优质、低成本之目的。
- (2) 通过对现有设备和新安装设备主要部件的受力状态、运动规律的测试,从而判断该设备的性能是否符合设计要求。
- (3) 利用现代的测试手段研究和鉴别生产过程中发生的物理现象,以对现有工艺、设备、产品质量等进行剖析,明确进一步改进的方向。
- (4) 通过对测试结果的综合分析,可为科研人员验证现有理论和建立新理论,设计人员确定最佳设计方案,工艺人员确定最佳工艺参数等提供科学依据。
- (5) 在自动化生产过程中,通过对力能参数的检测来调节和控制生产过程。
- (6) 在轧制过程中进行质量检测,可以及时纠正轧制缺陷的继续产生;轧制成品的检测,可以真实而准确地检查出成品是否合格,杜绝废品出厂。

### 1.4.2 轧制测试技术经常测试的参数

轧制测试技术经常测试的参数主要有以下几种:

- (1) 力参数——力、力矩、张力等。
- (2) 工艺参数——轧件宽度、长度、厚度和温度等。
- (3) 电参数——电流、电压和电功率等。
- (4) 运动参数——设备及轧件运行速度、加速度和位置等。
- (5) 检测产品有无缺陷,并确定其位置、性质以及尺寸大小等。

## 1.5 本课程的内容和要求

本门课程之目的在于使学生通过测试技术的基础理论学习和实验,初步掌握轧制参数的测试方法和技能,为以后的生产实验和科学研究打下必要的基础。学习本课程应注意下列几方面:

- (1) 本门课程是一门综合性的应用科学,它除了与专业有密切联系之外,还涉及到数学、物理学、电学、光学和化学等方面的基础知识,要注意复习这些基础知识。
- (2) 本门课程又是一门实践性很强的应用科学,除了学习基本理论之外,还必须重视实验技能的训练。实验课在本课程中占有极重要的地位,必须予以充分重视。
- (3) 本课程侧重于测试方法,而把测试仪器当做工具,但正确使用仪器,可以减小测量误差,提高测量精度。