



劳动和社会保障部培训就业司推荐  
冶金行业职业教育培训规划教材

# 热工仪表及其维护

REGONG YIBIAO JIQI WEIHU

张惠荣 主编



冶金工业出版社

劳动和社会保障部培训就业司推荐  
冶金行业职业教育培训规划教材

# 热工仪表及其维护

主 编 张惠荣  
副主编 王国贞 张秀芳

北 京  
冶 金 工 业 出 版 社  
2007

## 内 容 提 要

本书为冶金行业职业技能培训教材,是参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业热工仪表的特点和岗位群的技能要求编写的,并经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过。

本着“理论够用、重在实用”的原则,书中介绍了冶金生产中大量应用的温度测量仪表、压力测量仪表、流量测量仪表、显示仪表及智能重量变送器的基本原理,着重阐述了它们在使用过程中的相关特性,选用、安装、校验等实用技术及常见故障的判断、维护等知识。对于近年来生产中采用的新的测量方法和仪表,也作了相应介绍。本书中大部分内容都是取自生产实践中的工作总结,指导性强,通俗易懂,是一本实用性较强的书籍。

本书也可作为职业技术学院相关专业的教材,或工程技术人员的参考用书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

热工仪表及其维护/张惠荣主编. —北京:冶金工业出版社, 2005.3 (2007.6 重印)  
冶金行业职业教育培训规划教材  
ISBN 978-7-5024-3575-2

I. 热… II. 张… III. 热工仪表 IV. TH810.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 122277 号

出 版 人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 宋 良 美术编辑 王耀忠

责任校对 杨 力 李文彦 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-3575-2

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

2005 年 3 月第 1 版, 2007 年 6 月第 2 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 10 印张; 239 千字; 147 页; 5001—10000 册

26.00 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

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 冶金行业职业教育培训规划教材

## 编辑委员会

**主 任** 王子林 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会  
主任委员;唐山钢铁公司 副总经理

曹胜利 冶金工业出版社 社长

**副主任** 董兆伟 河北工业职业技术学院 院长

鲁启峰 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会  
副主任委员;中国钢协职业培训中心 副主任

**顾 问** 北京科技大学 曲 英 王筱留 袁 康 施东成  
**委 员**

|            |     |     |         |     |
|------------|-----|-----|---------|-----|
| 首钢总公司      | 舒友珍 | 何智广 | 宝山钢铁公司  | 杨敏宏 |
| 太原钢铁公司     | 贾宝林 | 孟永钢 | 武汉钢铁公司  | 孙志桥 |
| 马鞍山钢铁公司    | 王茂龙 | 陈 宣 | 本溪钢铁公司  | 张春雨 |
| 唐山钢铁公司     | 宋润平 | 冯柄晓 | 江苏沙钢公司  | 黄国刚 |
| 济南钢铁公司     | 陈启祥 | 赵树俭 | 天津天铁公司  | 王金铭 |
| 南京钢铁联合公司   | 陈龙宝 | 朱朝全 | 钢协培训中心  | 宋 凯 |
| 承德钢铁公司     | 魏洪如 | 高 影 | 济源钢铁公司  | 靳沁萍 |
| 石家庄钢铁公司    | 侯 敏 | 冷学中 | 滦河集团公司  | 王爱民 |
| 首钢迁安钢铁公司   | 王宝军 | 王 蕾 | 河北冶金研究院 | 彭万树 |
| 邯郸钢铁公司     | 张晓力 | 李 阳 | 河北冶金设计院 | 周建宏 |
| 宣化钢铁公司     | 张聪山 | 李豪杰 | 港陆钢铁公司  | 赵福桐 |
| 淮阴钢铁公司     | 刘 瑾 | 王灿秀 | 邯钢衡水薄板厂 | 魏虎平 |
| 邢台钢铁公司     | 张力达 | 孙汉勇 | 半壁店钢铁公司 | 刘春梅 |
| 纵横钢铁公司     | 王建民 | 阚永梅 | 鹿泉钢铁公司  | 杜会武 |
| 河北工业职业技术学院 | 袁建路 | 李文兴 | 河北立国集团  | 郭志敏 |
| 山西工程职业技术学院 | 王明海 | 史学红 |         |     |
| 冶金工业出版社    | 宋 良 |     |         |     |

(010-64027900, 3ba@cnmip.com.cn)

# 序

吴溪淳

改革开放以来,我国经济和社会发展取得了辉煌成就,冶金工业实现了持续、快速、健康发展,钢产量已连续数年位居世界首位。这其间凝结着冶金行业广大职工的智慧 and 心血,包含着千千万万产业工人的汗水和辛劳。实践证明,人才是兴国之本、富民之基和发展之源,是科技创新、经济发展和社会进步的探索者、实践者和推动者。冶金行业中的高技能人才是推动技术创新、实现科技成果转化不可缺少的重要力量,其数量能否迅速增长、素质能否不断提高,关系到冶金行业核心竞争力的强弱。同时,冶金行业作为国家基础产业,拥有数百万从业人员,其综合素质关系到我国产业工人队伍整体素质,关系到工人阶级自身先进性在新的历史条件下的巩固和发展,直接关系到我国综合国力能否不断增强。

强化职业技能培训工作,提高企业核心竞争力,是国民经济可持续发展的重要保障,党中央和国务院给予了高度重视。在2003年的全国人事工作会议上,中央再一次明确了人才立国的发展战略,同时国家已开始着手进行终身学习法的制定调研工作。结合《职业教育法》的颁布实施,职业教育工作将出现长期稳定发展的新局面。

为了搞好冶金行业职工的技能培训工作,河北工业职业技术学院同冶金工业出版社和中国钢协职业培训中心密切协作,联合有关的冶金企业和职业技术学院,编写了这套冶金行业职业教育培训规划教材,并经劳动保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,给予推荐。河北工业职业技术学院的各级领导和教师在时间紧、任务重的情况下,克服困难,辛勤工作,在有关单位的工程技术人员和教师的积极参与和大力支持下,出色地完成了前期工作,为冶金行业的职业技能培训工作的顺利进行,打下了坚实的基础。相信本套教材的出版,将为企业生产一线人员的理论水平、操作水平和管理水平的进一步提高,企业核心竞争力的不断增强,起到积极的推进作用。

随着近年来冶金行业的高速发展,职业技能培训工作也取得了巨大的成绩,

大多数企业建立了完善的职工教育培训体系,职工素质不断提高,为我国冶金行业的发展提供了强大的人力资源支持。我个人认为,今后的培训工作重点,应注意继续加强职业技能培训工作者的队伍建设,继续丰富教材品种,加强对高技能人才的培养,进一步加强岗前培训,加强企业间、国际间的合作,开辟新的局面。

展望未来,任重而道远。希望各冶金企业与相关院校、出版部门进一步开拓思路,加强合作,全面提升从业人员的素质,要在冶金企业的职工队伍中培养一批刻苦学习、岗位成才的带头人,培养一批推动技术创新、实现科技成果转化的带头人,培养一批提高生产效率、提升产品质量的带头人;不断创新,不断发展,力争使我国冶金行业职业技能培训工作跨上一个新台阶,为冶金行业持续、稳定、健康发展,做出新的贡献!

# 前 言

---

本书是按照劳动和社会保障部的规划，受中国钢铁工业协会和冶金工业出版社的委托，在编委会的组织安排下，参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范，根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的。书稿经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过，由劳动和社会保障部培训就业司推荐作为冶金行业职业技能培训教材。

本书阐述的重点内容是：冶金生产过程中各种常用热工参数的测量原理与方法；各种常用测量仪表的工作原理、基本结构、安装、校验、选用、常见故障处理和维护的基本方法；近年来生产中采用的新的测量方法和仪表；热工测量中采用的模拟、数字显示仪表。本书内容注重实际，指导性强，通俗易懂，便于自学。

本书由河北工业职业技术学院张惠荣任主编，河北工业职业技术学院王国贞、石家庄钢铁公司张秀芳任副主编。张惠荣编写了第3章和第4章；王国贞、张福仁编写了第1章和第2章；张秀芳编写了第5章和第6章。石家庄钢铁有限责任公司陈明、姜俊审阅了全稿，并提出宝贵意见。全书由张惠荣负责统稿。

因编者水平所限，书中不妥之处，望读者予以指正。

编 者

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>1 热工测量基本知识</b> .....   | 1  |
| 1.1 测量的定义及方法 .....        | 1  |
| 1.1.1 测量的定义 .....         | 1  |
| 1.1.2 测量方法 .....          | 1  |
| 1.2 热工测量仪表的组成及分类 .....    | 2  |
| 1.2.1 热工测量仪表的组成 .....     | 2  |
| 1.2.2 热工测量仪表的分类 .....     | 3  |
| 1.3 测量误差 .....            | 4  |
| 1.3.1 系统误差 .....          | 4  |
| 1.3.2 随机误差 .....          | 5  |
| 1.3.3 粗大误差 .....          | 5  |
| 1.4 仪表的质量指标 .....         | 6  |
| 1.4.1 准确度 .....           | 6  |
| 1.4.2 稳定性 .....           | 7  |
| 1.4.3 灵敏度 .....           | 7  |
| 1.4.4 不灵敏区 .....          | 7  |
| 1.4.5 变差 .....            | 7  |
| 1.4.6 时滞 .....            | 8  |
| 1.4.7 复现性 .....           | 8  |
| 复习思考题 .....               | 8  |
| <b>2 温度测量仪表及其维护</b> ..... | 10 |
| 2.1 温度测量的基本概念 .....       | 10 |
| 2.1.1 温度与温标 .....         | 10 |
| 2.1.2 测温方法及测温仪表分类 .....   | 11 |
| 2.1.3 测温仪表的选用 .....       | 12 |
| 2.2 热电偶温度计 .....          | 13 |
| 2.2.1 热电偶的测温原理 .....      | 13 |
| 2.2.2 热电偶的基本定律 .....      | 15 |
| 2.2.3 热电偶的种类及其特性 .....    | 16 |
| 2.2.4 热电偶的结构 .....        | 18 |
| 2.2.5 热电偶的维护 .....        | 20 |
| 2.3 热电阻温度计 .....          | 27 |
| 2.3.1 热电阻测温原理 .....       | 27 |



|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| 2.3.2 工业用热电阻 .....             | 27        |
| 2.3.3 热电阻的结构 .....             | 28        |
| 2.3.4 热电阻的维护 .....             | 30        |
| 2.4 温度变送器 .....                | 31        |
| 2.4.1 热电偶温度变送器 .....           | 31        |
| 2.4.2 热电阻温度变送器 .....           | 34        |
| 2.4.3 直流毫伏转换器 .....            | 34        |
| 2.4.4 一体化温度变送器 .....           | 34        |
| 2.5 接触式温度计的安装 .....            | 35        |
| 2.5.1 热电偶或热电阻在管道（设备）上的安装 ..... | 35        |
| 2.5.2 连接导线与补偿导线的安装 .....       | 37        |
| 2.6 非接触式测温仪表 .....             | 38        |
| 2.6.1 物体热辐射能力与温度的关系 .....      | 39        |
| 2.6.2 辐射高温计 .....              | 39        |
| 2.6.3 光学高温计 .....              | 41        |
| 2.6.4 红外线温度计 .....             | 42        |
| 复习思考题 .....                    | 43        |
| <b>3 压力测量仪表及其维护 .....</b>      | <b>44</b> |
| 3.1 概述 .....                   | 44        |
| 3.1.1 压力的单位及其表示方式 .....        | 44        |
| 3.1.2 压力表的分类 .....             | 45        |
| 3.1.3 压力表的选择 .....             | 46        |
| 3.2 液柱式压力计 .....               | 47        |
| 3.2.1 液柱式压力计的结构形式 .....        | 47        |
| 3.2.2 液柱式压力计的维护 .....          | 48        |
| 3.3 弹性式压力表 .....               | 51        |
| 3.3.1 弹性元件 .....               | 51        |
| 3.3.2 弹簧管压力表 .....             | 52        |
| 3.3.3 膜片压力表 .....              | 53        |
| 3.3.4 膜盒压力表 .....              | 54        |
| 3.3.5 波纹管压力表 .....             | 54        |
| 3.3.6 弹性式压力表的维护 .....          | 55        |
| 3.4 压力、差压变送器 .....             | 63        |
| 3.4.1 力平衡原理变送器 .....           | 63        |
| 3.4.2 微位移原理变送器 .....           | 65        |
| 3.4.3 智能型变送器 .....             | 69        |
| 3.5 调校、安装和维护 .....             | 74        |
| 3.5.1 力平衡式差压变送器的调校、安装和维护 ..... | 74        |

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 3.5.2 1151 系列变送器的调校、安装和维护 ..... | 78        |
| 复习思考题 .....                     | 85        |
| <b>4 流量测量仪表及其维护 .....</b>       | <b>87</b> |
| 4.1 概述 .....                    | 87        |
| 4.1.1 流量测量的意义 .....             | 87        |
| 4.1.2 流量的定义和单位 .....            | 87        |
| 4.1.3 流量仪表的分类 .....             | 87        |
| 4.2 流量测量仪表的选用 .....             | 88        |
| 4.3 差压式流量计 .....                | 88        |
| 4.3.1 节流现象及其原理 .....            | 89        |
| 4.3.2 标准节流装置 .....              | 90        |
| 4.3.3 节流装置的维护 .....             | 93        |
| 4.3.4 差压计 .....                 | 95        |
| 4.3.5 差压流量计的安装 .....            | 100       |
| 4.3.6 差压流量计的使用 .....            | 104       |
| 4.4 涡街流量计 .....                 | 104       |
| 4.4.1 涡街流量计的工作原理 .....          | 104       |
| 4.4.2 涡街流量计的结构 .....            | 105       |
| 4.4.3 涡街流量计的安装 .....            | 107       |
| 4.4.4 涡街流量计的使用与维护 .....         | 108       |
| 4.5 涡轮流量计 .....                 | 108       |
| 4.5.1 涡轮流量计的结构和原理 .....         | 108       |
| 4.5.2 涡轮流量计的安装 .....            | 109       |
| 4.5.3 涡轮流量计的使用与维护 .....         | 109       |
| 4.6 转子流量计 .....                 | 110       |
| 4.6.1 转子流量计的工作原理 .....          | 110       |
| 4.6.2 转子流量计的结构形式 .....          | 111       |
| 4.6.3 转子流量计的安装与使用 .....         | 112       |
| 4.7 电磁流量计 .....                 | 114       |
| 4.7.1 电磁流量计的工作原理 .....          | 114       |
| 4.7.2 电磁流量计的特点 .....            | 115       |
| 4.7.3 电磁流量变送器的结构 .....          | 115       |
| 4.7.4 电磁流量计的选用与安装 .....         | 116       |
| 4.7.5 电磁流量计的使用与维护 .....         | 116       |
| 4.8 超声波流量计 .....                | 117       |
| 4.8.1 工作原理 .....                | 117       |
| 4.8.2 SP-2 系列智能型超声波流量计简介 .....  | 118       |
| 复习思考题 .....                     | 119       |

---

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>5 显示仪表</b> .....        | 121 |
| 5.1 模拟显示仪表 .....           | 121 |
| 5.1.1 动圈式显示仪表 .....        | 121 |
| 5.1.2 自动平衡式显示仪表 .....      | 127 |
| 5.2 数字式显示仪表 .....          | 132 |
| 5.2.1 概述 .....             | 132 |
| 5.2.2 数字式显示仪表的构成原理 .....   | 133 |
| 5.2.3 模-数转换 .....          | 134 |
| 5.2.4 参数信号的标准化及标度变换 .....  | 136 |
| 5.2.5 非线性补偿 .....          | 138 |
| 复习思考题 .....                | 141 |
| <br><b>6 智能重量变送器</b> ..... | 142 |
| 6.1 概述 .....               | 142 |
| 6.2 原理框图简介 .....           | 143 |
| 6.3 技术性能 .....             | 143 |
| 6.4 键功能说明 .....            | 144 |
| 6.5 串行通讯 .....             | 144 |
| 6.5.1 通讯接口标准 .....         | 144 |
| 6.5.2 通讯数据格式 .....         | 145 |
| 6.5.3 通讯规程 .....           | 145 |
| 6.6 常见故障处理及维护 .....        | 146 |
| 复习思考题 .....                | 146 |
| <br><b>参考文献</b> .....      | 147 |

# 1 热工测量基本知识

## 1.1 测量的定义及方法

人类在从事科学研究、工程技术及其他一切生产活动时，为了取得各种有价值的数据，就必须进行测量。测量是获得各种事物之间定量关系的必要手段。长期以来，人类所得到的大量科研成果，都包含着测量的功绩。随着科学技术的进步，要求有更精确的测量技术作为基础。因此，测量已成为一项专门技术，并得到迅速的发展。

不同的科技领域，有不同的测量项目及测量特点，热工测量是指热力过程中各种热工参数及物理量的测量，如温度、压力、流量、物位等。热工测量是保障生产安全经济运行以及实现自动控制的基本条件之一。

### 1.1.1 测量的定义

测量就是采用测量工具（或仪表），通过实验方法将被测量与同性质的标准量（即测量单位）进行比较，以确定出被测量是标准量多少倍数的过程。其所得倍数就是被测量值，即

$$L \approx \frac{x}{b} \quad (1-1)$$

式中  $x$ ——被测量；

$b$ ——标准量（测量单位）；

$L$ ——所得被测量值。

因此，被测量应由测量值及测量单位两部分组成，即  $x \approx Lb$ 。式 1-1 取近似相等，是因为任何测量都必然存在误差。测量工作包括测量方法和测量设备的选择以及测得数据的处理（确定误差的界限和测得结果的可靠程度）。

### 1.1.2 测量方法

测量是一项实验工作，为了获得准确可靠的数据，必须根据被测对象特点，选择合理的测量方法。如果方法不当，即使有精密的测量仪器和设备也不能得到理想的结果。测量方法的分类有许多种，随着研究问题的不同而采用不同的分类。

根据获得测量结果的程序不同，测量可分：

(1) 直接测量：即用被测量直接与标准量比较而得到测量值的测量方法。如用尺测量长度，用玻璃管水位计测量水位，用压力表测量容器中气体的压力等。此法简单迅速。

(2) 间接测量：这是已知被测量与某一个或若干个其他量具有一定的函数关系，通过直接测量这些量值，用函数关系式计算出被测量值的测量方法。例如，通过测量长度和宽度求面积，通过测量导线电阻、长度及直径求电阻率，则面积和电阻率等都是间接的测量结果。

(3) 组合测量：组合测量是在测量出几组具有一定函数关系的量值基础上，通过解联立方程组求取被测量的方法。例如，在一定温度范围内铂电阻与温度关系为

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

式中,  $R_0$  为  $0^\circ\text{C}$  时的电阻值;  $R_t$  为  $t^\circ\text{C}$  时的电阻值;  $A$ 、 $B$  为温度系数 (常数)。为了求出温度系数  $A$ 、 $B$ , 可以分别直接测出  $0^\circ\text{C}$ 、 $t_1^\circ\text{C}$ 、 $t_2^\circ\text{C}$  三个不同温度值及相应温度下的电阻值  $R_0$ 、 $R_{t1}$ 、 $R_{t2}$ , 然后解联立方程组:

$$\begin{cases} R_{t1} = R_0(1 + At_1 + Bt_1^2) \\ R_{t2} = R_0(1 + At_2 + Bt_2^2) \end{cases}$$

求得  $A$ 、 $B$  数值。

根据检测装置动作原理不同, 测量可分为:

(1) 直读法: 被测量作用于仪表比较装置, 使比较装置的某种参数按已知关系随被测量发生变化, 由于这种变化关系已在仪表上直接刻度, 故直接可由仪表刻度尺读出测量结果。例如, 用玻璃管水银温度计测量温度时, 可直接由水银柱高度读出温度数值。

(2) 零值法 (平衡法): 将被测量与一个已知量进行比较, 当两者达到平衡时, 仪表平衡指示器指零, 这时已知量就是被测量值。例如, 用天平测量物体质量, 用电位差计测量电势都是零值法测量方法。

(3) 微差法: 当被测量尚未完全与已知量相平衡时, 读取它们之间的差值, 由已知量和差值可求出被测量值。用不平衡电桥测量电阻就是微差法测量的例子。

零值法及微差法测量对于减小测量系统误差很有利, 因此测量精度高, 采用较广泛。

根据仪表是否与被测对象接触, 测量可分为:

(1) 接触测量法: 仪表的一部分与被测对象接触, 受到被测对象的作用才能得出测量结果的测量方法。例如用玻璃管水银温度计测温度时, 温度计的温包应该置于被测介质之中, 以感受温度的高低。

(2) 非接触测量法: 仪表的任何部分都不必与被测对象直接接触就能得到测量结果的测量方法。例如用光学高温计测温, 是利用测温对象所产生的热辐射对仪表的作用而实现测温的, 因此仪表不必与对象直接接触。

## 1.2 热工测量仪表的组成及分类

### 1.2.1 热工测量仪表的组成

冶金厂中的热工参数, 多数不能直接测量, 一般是借助于一些物质的物理、化学性质的关联性把被测参数转变为其他便于直接测量的相关量, 以间接得出被测参数的数值。因此, 各种测量仪表尽管工作原理、结构外形等有所不同, 但从其各部分结构的功能和作用上看, 总不外乎包括三个部分, 即感受部件、传输变换部件及显示部件, 如图 1-1 所示。

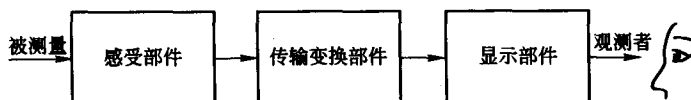


图 1-1 热工仪表组成方框图

#### 1.2.1.1 感受部件

感受部件是测量仪表中直接与被测对象发生关系的部件, 它感受到被测量 (被测信

号)的大小,并产生一个相应的其他量(输出信号)输送至传输变换部件。例如,玻璃管水银温度计的感受部件是温包(图1-2),它感受被测对象的温度高低并转变成玻璃管内水银柱的高度变化。

仪表能否快速、准确地反映被测量值,很大程度上取决于感受部件。对感受部件的具体要求是:

(1) 输出信号与被测参数变化呈单值函数关系,并有较高的灵敏度,即有较小的被测量变化时,输出信号就有较显著的变化。

(2) 对于非被测量的变化,感受部件输出应不受影响或受影响极微。

(3) 反应快,迟延小。输出信号与输入被测量变化最好呈线性关系。

感受部件要完全满足上述条件一般比较困难,因而通常在仪表内部采取一些措施加以弥补。例如设置中间放大环节弥补感受部件灵敏度的不足,设置补偿环节克服非被测量的影响以及采用线性化环节克服非线性等。当然这样将使得仪表复杂一些,造价也会提高。

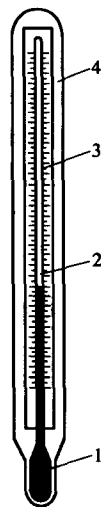


图1-2 玻璃管水银温度计

1—温包; 2—毛细管;  
3—标尺; 4—外壳

### 1.2.1.2 传输变换部件

传输变换部件接受感受部件送入的信号,并输送到显示部件。根据信号的强弱,传输变换部件可以直接将信号传输或将信号放大后传输到显示部件。当感受部件的输出信号不便于远距离传送,或者因某些特定要求需变为统一的某种信号送到显示部件时,传输变换部件可以将感受部件的输出信号变换为相应的其他输出量(如电流、电压、气压等)再传输到显示部件,这种传输变换部件往往构成一独立完整的器件,通称为“变送器”。

### 1.2.1.3 显示部件

显示部件接受传输变换部件送入的信号并转变为测量人员可以辨识的信号,它是与人直接联系的部件。例如,玻璃管水银温度计温包内水银感受温度后的体积膨胀量,通过毛细管的传输,变成水银柱的高度变化,人们从刻度尺上就可以读到被测温度的数值。毛细管及刻度尺就是玻璃管水银温度计的显示部件。

根据仪表显示方式不同,一般分模拟显示及数字显示。模拟显示通过指针、液面、光标或图像等形式,反映被测量的连续变化;数字显示则用数字量显示出被测量的大小。

有些仪表根据不同需要,还具有记录、累计、报警及调节等功能,有些还可以巡回检测多个不同的参数。

如果测量仪表的感受部件或变送器与显示部件相距较远,并各自成为一完整的仪表,则习惯称为感受仪表(一次仪表)及显示仪表(二次仪表)。

## 1.2.2 热工测量仪表的分类

根据仪表用途、原理及结构等不同,热工仪表可分为多种类型。

(1) 按被测参数不同,可分温度、压力、流量、物位、成分分析及机械量(位移、转速、振动等)测量仪表。

- (2) 按用途不同, 可分标准用、实验室用及工程用仪表。
- (3) 按显示特点不同, 可分指示式、记录式、积算式、数字式及屏幕式仪表。
- (4) 按工作原理不同, 可分机械式、电气式、电子式、化学式、气动式及液动式仪表。
- (5) 按装置地点不同, 可分就地安装式及盘用仪表。
- (6) 按使用方式不同, 可分固定式和携带式仪表。

在热工生产现场, 大多采用结构牢固, 能适应较为恶劣环境的工程用仪表, 标准仪表常作为实验室校对工程用仪表及作为标准传递之用。

### 1.3 测量误差

在进行测量工作时, 由于仪表本身不完善, 测量人员操作不恰当, 测量时客观条件的变化以及尚未为人们所认识的种种原因, 都会使得测量值与被测量的真实值不符, 即存在测量误差。测量误差可表示为

$$\delta = L - A_0$$

式中  $\delta$ ——绝对误差;

$L$ ——测量值;

$A_0$ ——真实值 (真值)。

真值系指所测参数的理论值或定义值, 其数值难以得到, 在常规测量中, 真值常用比所用测量仪表更精确的标准仪表的测量值  $A$  代替,  $A$  称为实际值。这样测量绝对误差通常表示为

$$\delta = L - A \quad (1-2)$$

除了绝对误差表示形式之外, 测量误差还可以用相对误差及折合误差形式表示。相对误差为绝对误差与实际值之比, 常用百分数表示, 即

$$\gamma = \frac{\delta}{A} \times 100\% = \frac{L - A}{A} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中  $\gamma$ ——相对误差。

对于大小数值不同的测量值, 以相对误差更能比较出测量的准确程度, 即相对误差越小, 准确程度越高。

折合误差为绝对误差与所用测量仪表的量程之比, 也以百分数表示, 即

$$\gamma_0 = \frac{\delta}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中  $\gamma_0$ ——折合误差;

$A_{\max}, A_{\min}$ ——分别为测量仪表上限及下限刻度,  $A_{\max} - A_{\min}$  称为测量仪表的量程。

按照测量误差的最基本的性质和特点, 可以把测量误差分为三大类: 系统误差、随机误差和粗大误差。

#### 1.3.1 系统误差

在相同测量条件下多次重复测量同一量时, 如果每次测量值的误差基本恒定不变, 或者按某一规律变化, 这种误差称为系统误差 (或确定性误差)。误差值基本恒定的称为恒值系统误差 (恒系差); 误差值变化的称为变值系统误差 (变系差)。

变值系统误差按其变化规律又可分为累进性的、周期性的及按复杂规律变化的系统误差等

几种。

系统误差主要来源于以下几个方面：

(1) 测量仪器和测量系统不够完善：例如仪表本身刻度不准；校验该仪表的标准仪表有误差；仪表所依据的测量原理本身就不完善等，都会造成测量系统误差。

(2) 仪表使用不当：如测量设备和电路的安装、布置、调整不当，测量人员操作不熟练、读数不准等引起的系统误差。

(3) 外界环境不能满足仪表使用条件：如仪表使用时的环境温度、湿度、电磁场等不满足要求引起的系统误差。

由于系统误差的出现一般是有规律的，其产生原因往往是可掌握的，因此应尽可能设法预见到各种系统误差的具体来源，并极力消除其影响；其次应设法确定出未能消除的系统误差数值并加以修正，以提高测量的准确程度。

系统误差的大小表明了一个测量结果偏离真值的程度，这种测量值偏离真值的程度通常用“正确度”这一词汇表达。系统误差愈小，则表明测量正确度愈高。

### 1.3.2 随机误差

当设法消除了系统误差之后，在同一条件下反复测量同一量时（亦称等精度测量），每次测量值仍会出现或大或小、或正或负的微小误差，这种误差称为随机误差。由于从表面上看毫无规律，似纯属偶然原因产生，故亦称偶然误差。

随机误差是由于人们认识事物有局限性，对某些复杂的微小变化因素一时还无法掌握或控制而引起的。这种误差虽然表面上看不出有什么明显的规律，但是随着重复测量的增加可以发现：小误差比大误差出现的机会多，正、负误差出现的机会基本相同，即随机误差与其他大量随机事物一样，遵循一定的统计规律。研究随机误差的规律，对估计某一测量系统的精密程度很有意义。浅显地说，如果在一组等精度测量中，绝对值小的随机误差出现率越高，则表明该测量系统的测量“精密度”高，即多次测量值的一致性较好。应用统计学方法处理随机误差，即以测量结果的算术平均值作为被测实际值的最佳估计值。

多次测量所得测量值的算术平均值可表示为

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n} \quad (1-5)$$

式中  $L_i$ ——第  $i$  次的测量值；

$n$ ——总测量次数。

### 1.3.3 粗大误差

由于测量人员操作错误和粗心大意等原因造成测量结果显著偏离被测量的实际值所对应的误差，称为粗大误差（图 1-3b、c）。粗大误差常表现为数值较大，且没有什么规律。因此在测量时测量人员应有高度责任感并熟悉操作技术，避免出现粗大误差。由于粗大误差严重歪曲测量结果，故应通过理论分析或统计学方法发现并舍弃不用。

由以上误差分析可知，“正确度”反映了测量系统误差的大小，“精密度”反映了随机误差的分散程度。一个好的测量系统，应该既“精密”又“正确”，即系统误差和随机误差都要小，一般用“准确度”（或精度）这一词汇概括。图 1-3 以射击靶纸为例，示意出了精密度、正确度及准确度三者的意义。图 1-3a 精密度高而正确度低；图 1-3b 正确度高而精密度低；只



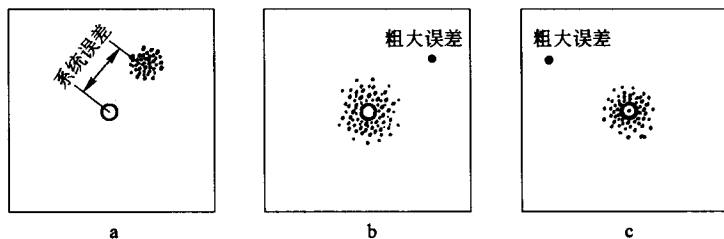


图 1-3 精密度、正确度、准确度概念说明示意图

有图 1-3c 才是准确度高。

提高测量准确度，可以通过设计合理的测量系统，提高测量人员的技术水平以及正确处理测量数据等方式来实现。

## 1.4 仪表的质量指标

为了正确地选择和使用仪表，必须了解有关评价仪表质量的一系列指标。

### 1.4.1 准确度

准确度是表征仪表示值与被测量实际值接近程度的质量指标，用基本误差来表示。仪表的基本误差是指仪表在规定的使用条件下的最大误差。它一般用折合误差的形式表示，即

$$\text{仪表基本误差} = \frac{|\delta_{\max}|}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中  $A_{\max} - A_{\min}$  ——仪表的量程；

$|\delta_{\max}|$  ——仪表最大的绝对误差（绝对值），仪表最大绝对误差通常采用逐点与标准仪表进行示值比较而得出。

国家根据各类仪表的设计制造质量不同，对每种仪表都规定了基本误差的最大允许值，即允许误差。允许误差去掉百分号（%）的数值，就是仪表的精确度等级。

我国目前规定的准确度等级有 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 4.0, 5.0 等级别。数值越小，准确度越高。准确度等级通常用阿拉伯数字标在仪表刻度盘上，等级数字外有一圆圈。

由于仪表都有一定的准确度等级，因此其刻度盘的分格值不应小于仪表允许误差（绝对误差）值，小于允许误差的分度是没有意义的。

【例 1-1】有一支量程为 0 ~ 1000℃，准确度等级为 0.5 级的温度计，问该表在规定使用条件下的最大测量绝对误差为多少？仪表分格值应为多少？

解：由准确度等级定义可得该仪表基本误差应不大于 0.5%，即

$$\frac{|\delta_{\max}|}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\% \leq 0.5\%$$

$$\text{故 } |\delta_{\max}| \leq 0.5 \times \frac{A_{\max} - A_{\min}}{100} = 0.5 \times \frac{1000 - 0}{100} = 5(^{\circ}\text{C})$$

因此，该仪表在规定使用条件下使用时，其最大测量误差为  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ；仪表分格值应不小于