

# 安全检测监控 技术

**A** NQUAN JIANCE  
JIANKONG  
JISHU

# 安全检测监控技术

主 编 高洪亮 刘章现 涂义勇  
参 编 李喜玲 田好敏 时鹏辉  
王福斌 孙兰会

中国劳动社会保障出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

安全检测监控技术/高洪亮主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2009  
ISBN 978-7-5045-7706-1

I. 安… II. 高… III. 安全管理-监测-技术 IV. X924.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 163277 号

**中国劳动社会保障出版社出版发行**

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

\*

北京华正印刷有限公司印刷装订 新华书店经销  
787毫米×1092毫米 16开本 22印张 505千字  
2009年9月第1版 2009年9月第1次印刷

定价:43.00元

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64927085

出版社网址:<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64954652

# 内 容 提 要

本书以生产安全检测和监控技术作为主要研究对象，研究了生产安全的检测和监控问题。

本书主要内容包括：绪论、安全检测监控技术的基础知识、安全检测与监控传感器技术、温度检测与监控安全技术、红外气体浓度监测技术、以声发射理论为基础的安全检测技术及其应用、微弱信号监测技术、煤矿安全检测技术、职业安全检测技术、典型生产场合安全检测技术、人工神经网络及其在安全工程领域的应用、现场总线技术及其应用、监控组态软件及其应用。

本书内容深入浅出，结构严谨，内容丰富。可作为高等院校相关专业大专生和本科生专业的教科书或教学参考书，也可作为企业安全管理人员、安全技术人员以及广大工人的培训教材和自学用书。

# 前 言

安全生产是我国的一项基本国策，是保护劳动者安全健康、保证经济建设持续发展的基本条件。我国对安全生产预防监控技术的研究十分重视，早在2002年6月29日，国家就颁布了《中华人民共和国安全生产法》。

目前，我国正处于经济转型期。尤其是近几十年，由于科技进步和工业生产的迅猛发展，安全生产形势比较严峻，矿山、道路交通、建筑、危险化学品等领域的灾难事故不断发生，令人触目惊心。安全事故的频繁发生，给人民群众的生命与财产造成了重大的损害，严重影响了社会的稳定与和谐，影响了我国的国际形象，制约了我国在国际市场上的竞争力。开展安全检测与监控技术的研究，能够对事故发生的可能性进行预测，以便有效地减少或防止事故的发生，从而对保障我国的国家经济与社会的可持续发展具有重大的意义。

随着科学技术的发展和社会的进步，安全检测与监控学科也得到了快速发展，作为一门多学科综合交叉的技术科学，它已从应用技术发展到理论研究，并逐渐形成自己的理论体系。本书是作者多年教学科研工作的总结和充实，大部分内容是作者多年积累的教学成果。本书主要介绍了安全监控传感器、数据采集与信号处理技术、温度检测与监控安全技术、红外气体浓度监测技术、声发射监测技术、微弱信号监测技术、煤矿安全检测技术、职业安全检测技术、典型生产场合安全检测技术、人工神经网络及其在安全工程领域的应用、现场总线技术及其应用、监控组态软件及其应用，并把近年来国内外在安全检测领域的有关新理论、新技术、新方法和新仪器设备等方面的知识作了介绍。

本书由高洪亮、刘章现和徐义勇提出选题，担任主编并组织编写和统稿。全书共13章，其中第一章由河南城建学院刘章现编写，第二章由乌海职业技术

学院李喜玲、王福斌编写，第三、五、六、七章由中原工学院徐义勇编写，第四、十一、十三章由中原工学院高洪亮编写，第八章由河南城建学院田好敏编写，第九章由河南城建学院时鹏辉编写，第十章由河南城建学院孙兰会编写，第十二章由乌海职业技术学院李喜玲、王福斌编写。全书力图包含安全检测与监控技术所涉及的主要内容，以便使学生学完后，能对安全检测与监控有一个整体性的认识。本书在叙述上力求做到准确简明，便于学生学习和掌握。

本书在编写过程中参阅了大量的有关资料，但由于本学科所涉及的知识面极为广泛，加之编著者的水平所限，虽经多次修改，不妥之处仍在所难免，希望广大读者批评指正。

**作 者**

2009年1月于郑州

# 目 录

<b>第1章 绪论</b> .....	1
1.1 安全监控技术的发展 .....	1
1.2 安全监控的意义 .....	2
1.3 安全监控的目的 .....	3
1.4 安全监控技术的发展概况 .....	3
习题与思考题 .....	6
<b>第2章 安全检测监控技术的基础知识</b> .....	7
2.1 测量误差分析与测量数据处理 .....	7
2.2 数据采集处理技术.....	17
2.3 信号处理技术.....	38
习题与思考题 .....	68
<b>第3章 安全检测与监控传感器技术</b> .....	69
3.1 概述.....	69
3.2 温度检测与监控用传感器.....	72
3.3 压力传感器.....	77
3.4 流量传感器.....	80
3.5 物位传感器.....	85
3.6 气体传感器.....	92
习题与思考题 .....	95
<b>第4章 温度检测与监控安全技术</b> .....	97
4.1 概述.....	97
4.2 红外测温技术.....	97
4.3 基于彩色三基色理论的温度测量技术 .....	118
4.4 分布式光纤温度测量技术 .....	120
习题与思考题.....	126
<b>第5章 红外气体浓度监测技术</b> .....	127
5.1 概述 .....	127

5.2	红外气体浓度监测的基本原理 .....	127
5.3	非色散红外吸收气体浓度监测技术 .....	133
5.4	红外大面积气体泄漏监测技术 .....	137
	习题与思考题 .....	139
<b>第6章</b>	<b>以声发射理论为基础的安全检测技术及其应用 .....</b>	<b>140</b>
6.1	概述 .....	140
6.2	声发射安全检测的基本原理 .....	141
6.3	声发射安全检测用基本仪器 .....	150
6.4	声发射安全检测技术的工程应用 .....	152
	习题与思考题 .....	154
<b>第7章</b>	<b>微弱信号监测技术 .....</b>	<b>155</b>
7.1	相关检测原理 .....	155
7.2	锁定放大器 .....	159
7.3	取样积分器 .....	162
7.4	光子计数技术 .....	169
	习题与思考题 .....	175
<b>第8章</b>	<b>煤矿安全检测技术 .....</b>	<b>176</b>
8.1	风速测定 .....	176
8.2	矿井通风阻力的测定 .....	178
8.3	瓦斯检测 .....	184
8.4	一氧化碳的检测 .....	193
8.5	氧气检测 .....	196
8.6	温度检测 .....	197
8.7	煤矿安全检测监控系统 .....	210
	习题与思考题 .....	213
<b>第9章</b>	<b>职业安全检测技术 .....</b>	<b>214</b>
9.1	工作场所空气中粉尘的检测 .....	214
9.2	工业噪声的检测 .....	229
9.3	放射性危害因素的检测 .....	232
9.4	工作场所空气中金属类毒物的检测 .....	240
9.5	工作场所空气中有机物毒物的检测 .....	243
9.6	工作场所空气中无机物毒物的检测 .....	249
9.7	其他危害因素的检测 .....	252
	习题与思考题 .....	255



---

<b>第 10 章 典型生产场合安全检测技术</b> .....	256
10.1 土木工程结构的安全检测技术 .....	256
10.2 石化储罐区安全检测与监控系统 .....	262
10.3 石化生产中的安全检测技术 .....	268
10.4 轻纺行业的安全检测技术 .....	273
10.5 烟花爆竹生产企业的安全检测技术 .....	278
10.6 核电站安全主要仪表和控制系统 .....	281
习题与思考题 .....	285
<b>第 11 章 人工神经网络及其在安全工程领域的应用</b> .....	287
11.1 概述 .....	287
11.2 人工神经网络应用的理论基础 .....	289
11.3 神经网络在火灾烟雾识别中的应用 .....	293
习题与思考题 .....	297
<b>第 12 章 现场总线技术及其应用</b> .....	298
12.1 概述 .....	298
12.2 现场总线的发展背景与趋势 .....	299
12.3 现场总线的特点与优点 .....	300
12.4 几种典型的现场总线技术 .....	302
12.5 现场总线的应用 .....	305
习题与思考题 .....	309
<b>第 13 章 监控组态软件及其应用</b> .....	310
13.1 监控组态软件及其发展 .....	310
13.2 监控组态软件的核心组成 .....	319
13.3 监控组态软件的扩展功能 .....	328
13.4 监控组态软件在罐区监控系统中的应用 .....	338
习题与思考题 .....	342

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 安全监控技术的发展

现代安全监控技术是由早期的闭路监控系统发展而来。闭路监控系统是随着电视和摄像机的出现发展壮大起来的。在短短的几十年的发展历程中，伴随着电子技术、计算机技术飞速发展，监控技术的发展经历了如下 6 个阶段。

#### 1. 一对一监控系统

最早期的产品，多以摄像机与监视器（电视）一对一监视系统为主，连接方式是靠视频电缆一对一直接相连，有多少个摄像机就有多少个监视器，没有任何技术含量，是闭路监控发展的最初级阶段。

#### 2. 控制电路系统

人们在实践中慢慢地发现，一对一监控模式对监视器是一种极大的浪费，随之逐渐出现了视频切换器，来弥补这一不足。而对监视范围进一步扩大的要求和变倍镜头及云台的引入，则导致了控制器的出现。此时的切换控制电路系统因受技术的限制，只是简单的硬件电路组合，视频切换和控制是独立的，控制多是采用多路开关，配合多芯电缆一对一直接连接的线控方式。传输距离近，布线复杂，操作烦琐，难以实现多中心控制，系统容量小，扩展困难，不能实现区域联网。

#### 3. 处理器监控系统

二十世纪七八十年代，随着新技术革命的兴起，微处理器进一步普及和发展起来，闭路监控系统真正拥有了一颗自己的“芯”，将切换和控制合二为一，是一个不小的进步。但随着时代的变迁，这一微处理监控系统越来越跟不上时代的步伐。因采用非标系统，受单片机（8 位、16 位芯片）的限制，系统功能容量及运行速度有限，体积大，容易死机，无对话式屏幕菜单，缺乏良好的人机界面，操作步骤多，可编译性差，联动控制方式一旦确定难以修改，系统分控采用专用通信方式，无法与标准计算机联网，兼容性差，系统升级困难。

#### 4. 外挂多媒体的监控系统

二十世纪九十年代，伴随着计算机多媒体技术的萌芽发展，人们慢慢地从简单的计算机编译和控制方式，向计算机多媒体化过渡，利用计算机显示器的高解析度，将一路视频传输进来，通过视频捕捉卡采集到计算机显示。但是，控制及切换主机仍为传统单片机主机，只是通过串口与计算机相连，完成简单控制工作，这一模式的监控系统就称为外挂多媒体的监控系统。尽管它有较为良好的人机界面，但仍不能称其为真正的多媒体系统，其根本原因在于

系统设计的出发点不是基于计算机，而是基于传统的微处理器监控模式，为了适应突飞猛进的计算机多媒体技术的发展和客户的需求，只是被动地在原有基础上加以改进拼装，在大部分时间里，计算机只是在充当一个外部监视器，并没有发挥其真正的作用。并且，传统微处理器监控系统所固有的弊病并没有克服，通信协议的多样化及专用化很难统一，导致已有计算机资源远无法满足多种设备的需求。目前，较为先进的监控设备，都带有 RS-232 串口通信功能，但试想将切换器、云台控制器、报警控制器等堆加在一起，计算机又有多少串口可以提供服务呢？而在联动连接方式上依然只是线缆的组合，无法真正地实现计算机智能化管理。

### 5. 过渡型数字视频监控系统

二十世纪九十年代末，随着数字视频技术的飞速发展，数字化的概念逐渐被人们所接受。一些从事视频板制作的厂商看到这一领域有利可图，将本身用于民用的一些视频技术转化过来，推出了自己的视频系统应用于监控领域。由于这些厂商以前没有监控领域的背景和实际经验，设计出来的产品也许在视频处理上有一定的特长，但往往不符合安全要求和行业规范。一个成熟完善的监控系统，不仅仅要完成视频处理，还要有处理大量控制、报警、联动等数据的指令，完成用户各种复杂的功能要求。这类系统以韩国系列为代表，虽然有一个漂亮的界面，标榜为数字化系统，但在功能需求上不符合公安部安防标准，存在安全隐患，并且只能用于 16 路以下功能简单的小系统，无法进行系统扩展，这是这类产品的致命伤。术业有专攻，要想真正达到实际监控设计要求，还有一段很长的路要走，况且这些公司一旦发觉此领域无利可图肯定会转行，很难有持续发展性，同时售后服务很难保证。

### 6. 数字多媒体监控管理系统

真正意义上的数字多媒体监控管理系统是指完全基于计算机，以其为核心，结合安全监控的实际要求及多年来不断完善的安全理论和经验，运用最新的数字视频技术、现场总线技术、网络通信技术建立的软硬件相结合、崭新、完整的安防体系。它通过优化内部结构，减少不必要的环节，来提高整体性能和反应速度，适应新技术不断发展的需要，并向用户提供全面的增值服务，提供针对不同行业不同需求的数字媒体监控管理全面解决方案，将监控从安全防范提高到管理的高度，以视频为主线结合相关实际业务渗透到各行各业中去，促进生产力的不断发展，并为其发展提供全面服务，是未来监控系统发展的方向。

## 1.2 安全监控的意义

随着现代工业生产的发展和科学技术的进步，现代生产装置的结构越来越复杂，功能越来越完善，自动化程度也越来越高，相应的安全问题也日益严重，导致灾难性事故不断发生。如国内外曾经发生的空难、煤矿透水、瓦斯爆炸、天然气井喷和火灾等恶性事故，其造成的人员伤亡和经济损失都十分惊人。

表 1—1 列出了 2000—2007 年间世界部分国家发生的一些特大事故及其后果。这些特大灾难性事故的后果令人触目惊心，不但造成巨大的经济损失，而且造成很大的人员伤亡和环境污染，在社会上引起了强烈的反响，严重影响了全球经济的可持续发展和社会稳定。

表 1—1 2000—2007 年间世界部分国家发生的一些特重大事故及其后果

年份	国别	起 因	后 果
2000	肯尼亚	空客 A310 飞机在阿比让机场起飞爬升时坠毁	169 名旅客遇难
2001	中国	广西南丹龙泉矿总厂拉甲坡锌矿发生特大透水事故	81 人死亡
2002	中国	重庆“长运 1 号”渡船与湖北宜昌“宜盛”轮船在重庆长寿港区碰撞，“长运 1 号”沉没	7 人生还，40 人死亡
2003	中国	重庆开县西南油气田分公司川东北气矿发生天然气井喷事故，造成硫化氢中毒	243 人死亡
2004	俄罗斯	两架图 - 134、图 - 154 飞机同一天坠毁	106 人死亡
2005	中国	黑龙江七台河东风煤矿发生爆炸事故	171 人死亡
2006	德国	一列磁悬浮列车在测试轨道上与一辆维修车相撞	23 人死亡
2007	中国	湖南省凤凰县沱江大桥垮塌事故	64 人死亡

2004 年 10 月 20 日，位于河南新密市平陌镇的郑煤集团大平煤矿发生瓦斯爆炸事故，这次事故爆炸威力大，波及面广，很多巷道冒项，井下瓦斯、一氧化碳浓度高，造成 148 人死亡，32 人受伤。事故发生后，国务院总理温家宝主持召开国务院常务会议，严肃处理事故相关责任人，研究加强煤矿安全生产工作，并立即派出调查组，聘请专家协助调查。河南省委、省政府要求从 2004 年 11 月至 2005 年 1 月，省属六大国有煤矿一律限产，全省 44 所县办煤矿一律进行整顿，凡有安全隐患的一律停产，所有小煤窑一律关停。而且在我国，煤矿透水、天然气井喷和瓦斯爆炸等特大恶性伤亡事故也已引起国际社会的关注。

因此，开展安全监控技术研究，全面提高我国安全监控的科学技术水平，对有效减少事故隐患，预防和控制重特重大事故的发生，遏制群死群伤、重大经济损失和保障国家经济与社会的可持续发展有重大现实意义。

### 1.3 安全监控的目的

1. 及时地、正确地对生产系统的运行参数和运行状况做出全面监测和控制，预防和消除事故隐患。

2. 对系统的运行进行必要的指导，提高系统运行的安全性、可靠性和有效性，以期把运行系统发生事故的概率降到最低水平，将事故造成的损失减到最低程度。

3. 通过对运行的系统进行监测和控制、隐患分析和性能评估等，为系统的结构修改、设计优化和安全运行提供数据和信息。

总的来说，进行安全监控的目的就是确保系统的安全运行，预防和消除事故隐患，避免事故发生。

### 1.4 安全监控技术的发展概况

安全监控是以过程异变检测和动态系统故障检测与诊断技术为基础发展起来的一个新兴

研究领域。其主要研究对象包括过程的异常变化或动态系统功能性故障，研究内容涉及过程故障检测、故障幅度辨识、故障时间推断、故障机理诊断、故障影响分析以及针对不同类型故障应该采取的处理措施或对策等。

过程故障检测及其相关技术的研究在现代化生产过程中有着深刻的理论价值和不容忽视的重要性。已有研究成果证实，技术过程与工程系统中很多与过程异常变化或系统故障有关以及可转化成为这类问题的致因，诸如设备运行过程的状态检测、计算机集成制造系统维护、生产流水线质量监测、航天器发射过程安全控制、核电站安全保障、测控系统管理、航天器轨道与姿态监视、导航系统监视、地震等灾变事件预警、控制系统故障检测与诊断、人体病理检查、心电图和脑电图分析等，都可以在安全监控理论研究框架下得到解决。

近年来，安全监控已经成为构成系统可靠性、安全性、维修性等的关键技术之一。安全监控是以提高系统运行过程可靠性和安全性为主要目的，以过程故障检测、故障幅度辨识、故障时间推断、故障机理推断以及故障处理为主要任务的一门新兴的边缘性学科。

### 1. 安全监控的对象

安全监控的主要对象是过程运行时出现的异常变化或系统部件非先天性功能性故障。

#### (1) 过程异常变化

异常变化是一个建立在过程基础之上的概念，主要是指被监控对象所处状态或其本身某一方面特征发生了异常改变。

过程监控领域讨论的异变，通常是指过程状态发生偏离常态的改变。例如，系统运行过程中出现的各种瞬时或持续的、缓慢或突发的、局部或整体的异常改变。

过程异变，通常划分为渐变和突变两大类型。根据异变持续的时间长短，突变又可以进一步划分为脉冲型突变、阶跃型突变和复合型突变等多种类型。

#### (2) 系统故障

通常意义下，系统故障至少有两种不同含义：一是指系统功能部件“先天”固有的缺点、缺陷；二是指系统在使用或者运行过程中发生的功能性异常变化。作为过程监控主要对象的动态系统故障，大多是指后一类情形。

过程的异变与系统故障之间，既有紧密联系，二者内涵和外延又不尽相同。杨叔子院士指出，系统故障是指该系统工作能力的破坏，即在一定时间内系统主要功能指标超出规定的范围。吴今培教授指出，系统故障主要是指系统运行处于劣化状态，这种劣化状态可导致系统相应功能失调，或导致系统相应行为（输出）超出允许范围，使系统功能低于预期或规定的水平。

对于大多数工程系统，过程异变通常是由于系统功能部件或分系统发生故障以及操作过失引起的。例如，机械制造、生产加工、电网调度、航天测控、飞行控制、制导与导航等各种人造系统的运行过程中发生的异常变化。但是，并非所有异变都是由通常意义下所谓的故障引起的。例如，环境、气候、社会、经济、心理、生理等自然系统的异常变化，既可能是因为外界环境灾变或系统内部病变引起的，也可能是其他因素引起的，甚至有些过程其状态或特征的改变既不是“故障”也不是“灾变”的结果，例如，语音信号高低转换、电波信号频率切换、潮汐等。

## 2. 安全监控的任务

安全监控的目的是监视系统运行状态,检测系统是否发生故障,并对故障系统的异变幅度进行定量分析,判明故障类型、时间、幅度、表现形式、作用方式、影响程度,在必要时提出相应的维护与改进措施。

安全监控的核心是过程故障检测。对于大多数动态系统而言,过程故障检测涉及故障检测、故障幅度辨识、故障类型识别以及故障处理对策等方面的内容。

### (1) 故障检测

监视系统运行状态,检测动态系统运行规律或演化趋势是否在某时间点之后发生了异常变化,并推断出发生变化的起始时间。

### (2) 故障辨识

如果动态系统发生了异常变化,识别变化类型,估计变化幅度,以便对过程故障程度进行评估。

### (3) 故障识别

判断过程的异常变化是由多维过程的哪个分量、动态系统哪个部件或系统运行过程的哪个环节引起的,以查明故障形成的原因。

### (4) 故障对策

根据过程故障可能带来的不利影响制定相应处理对策,以确保系统能正常运行或避免系统发生灾变。

显然,上述4方面的分析与研究,对于提高设备或系统运行过程可靠性,强化制造与生产过程的质量控制,准确发现故障、及时进行灾变监测、有效实施维护,都有重要的理论意义和应用价值。

## 3. 安全监控的一般步骤

安全监控是一项复杂的系统工程。监控任务的完成,主要由数据采集、信号处理、故障检测与诊断以及监控决策等阶段组成。其中,监控信号处理和过程故障检测与诊断构成一个集成的整体,其相关理论和方法合称为安全监控技术。

### (1) 数据采集

采集数据的主要工具是传感器(或敏感器)。对动态系统运行过程而言,传感器或测量设备输出信息通常是以等间隔或不等间隔的采样时间序列的形式给出的。

监控过程的数据采集,必须同时兼顾到采集过程的工程可实现性和采样数据有效性。所谓数据有效性,主要是指采样的测量数据与过程系统故障之间必须有内在关联性。

### (2) 信号处理

一般地,在对过程进行故障检测与诊断之前必须借助滤波、估计或其他形式的数据处理与特征信息技术对过程系统采样时间序列进行信息压缩,使之更适合于故障检测与诊断。

### (3) 故障检测

过程故障检测的首要任务是依据压缩之后的过程信息或借助直接从测量数据中提取的反映过程异常变化或系统故障特征的信息,判断系统运行过程是否发生了异常变化,并确定异常变化或系统故障发生的时间。

简而言之,变化检测就是判断并指明系统是否发生了异常变化及异常变化发生的时间。

例如，对于正在运行的系统或按规定标准进行生产的设备，辨别其是否超出预先设定或技术规范规定的无故障工作极限。

通常，依据处理方式和处理时限不同，安全监控可区分为在线监视和离线检测两大类。其中在线监视可以对设备运行状况或系统功能进行实时的检测，一旦发现有异常征兆则及时报警，是实时监控系统和过程安全控制系统的核心。

#### (4) 故障诊断

所谓故障诊断，是指通过足够数量测量设备（例如传感器）观测到的数据信息、过程系统动力学模型、系统结构知识以及过程异常变化的征兆与过程系统故障之间内在联系，对系统的运行状态进行分析和判断，查明故障发生的时间、位置、幅度和故障模式。

依据故障诊断时所凭借的冗余信息类型的不同，过程故障诊断可划分为基于硬件冗余、解析冗余和知识冗余以及基于多种冗余信息融合等不同方式。

#### (5) 监控对策

对具体工程活动而言，分析出故障产生的原因及部位后，下一步必须考虑故障的处理方法。较典型的故障处理方法有顺应处理、容错处理与故障修复等三大类。

在实施安全监控时，必须根据系统具体情况，并综合考虑研究对象、故障特点及影响程度等多方面的因素，针对不同故障制定不同的处理对策。

## 习题与思考题

1. 列出你身边的安全监控技术应用的例子。
2. 概述安全监控技术的定义。
3. 安全监控工作的基本任务是什么？
4. 安全监控全过程所包含的基本环节有哪些？
5. 典型的安全监控系统由哪几部分组成？

## 第 2 章

# 安全检测监控技术的基础知识

### 2.1 测量误差分析与测量数据处理

#### 2.1.1 基本概念

##### 1. 误差和偏差

##### (1) 真值 ( $x_i$ )

在某一时刻和某一位置或状态下, 某量的效应体现出的客观值或实际值称为真值。真值包括:

- 1) 理论真值。例如三角形内角之和等于  $180^\circ$ 。
- 2) 约定真值。由国际计量大会定义的国际单位制包括基本单位、辅助单位和导出单位。由国际单位制所定义的真值叫约定真值。
- 3) 标准器 (包括标准物质) 的相对真值。高一级标准器的误差为低一级标准器或普通仪器误差的  $1/3 \sim 1/20$  时, 则可认为前者是后者的相对真值。

##### (2) 误差及其分类

由于被测量的数据形式通常不能以有限位数表示, 同时由于认识能力不足和科学技术水平的限制, 使测量值与真值不一致, 这种矛盾在数值上的表现即为误差。任何测量结果都有误差, 并存在于一切测量的全过程之中。

1) 误差按其性质和产生原因, 可分为系统误差、随机误差和过失误差。

①系统误差。又称可测误差、恒定误差或偏倚 (bias), 指测量值的总体均值与真值之间的差别, 是由测量过程中某些恒定因素造成的, 在一定条件下具有重现性。系统误差并不因增加测量次数而减少, 它可以由方法、仪器、试剂、恒定的操作人员和恒定的环境所造成。

②随机误差。又称偶然误差或不可测误差, 是由测定过程中各种随机因素的共同作用所造成, 随机误差遵从正态分布规律。

③过失误差。又称粗差, 是由测量过程中犯了不应有的错误所造成, 它明显地歪曲测量结果, 因而一经发现必须及时改正。

2) 按误差的表示方法, 可分为绝对误差和相对误差。绝对误差是测量值 ( $x$ , 单一测量值或多次测量的均值) 与真值 ( $x_i$ ) 之差, 绝对值有正负之分。

$$\text{绝对误差} = x - x_i$$

相对误差指绝对误差与真值之比 (常以百分数表示), 即:



$$\text{相对误差} = \frac{x - x_i}{x_i} \times 100\%$$

### (3) 偏差

个别测量值与多次测量平均值的偏离称为偏差，包括绝对偏差、相对偏差、平均偏差、相对平均偏差和标准偏差等。

绝对偏差 ( $d$ ) 是测定值与均值之差，即：

$$d_i = x_i - \bar{x}$$

相对偏差是绝对偏差与均值之比（常以百分数表示），即：

$$\text{相对偏差} = \frac{d}{x} \times 100\%$$

平均偏差是绝对偏差绝对值之和的平均值，即：

$$\begin{aligned} \bar{d} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |d_i| \\ &= \frac{1}{n} (|d_1| + |d_2| + \cdots + |d_n|) \end{aligned}$$

相对平均偏差是平均偏差与均值之比（常以百分数表示），即：

$$\text{相对平均偏差} = \frac{\bar{d}}{x} \times 100\%$$

### (4) 标准偏差和相对标准偏差

1) 差方和。也称离差平方或平方和，是指绝对偏差的平方之和，以  $S$  表示：

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

2) 样本方差用  $s^2$  或  $V$  表示：

$$\begin{aligned} s^2 &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \\ &= \frac{1}{n-1} S \end{aligned}$$

3) 样本标准偏差用  $s$  或  $s_D$  表示：

$$\begin{aligned} s &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{n-1} S} \\ &= \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}} \end{aligned}$$

4) 样本相对标准偏差。又称变异系数，是样本标准偏差在样本均值中所占的百分数，记为  $C_v$ 。

$$C_v = \frac{s}{x} \times 100\%$$

5) 总体方差和总体标准偏差分别以  $\sigma^2$  和  $\sigma$  表示：