

《工业自动化仪表与系统手册》编辑委员会 编

# 工业自动化仪表与系统 手 册

上 册

PRACTICAL HANDBOOK



中国电力出版社  
www.cepp.com.cn

TH86-62/2

:1

2008

# 工业自动化仪表与系统 手 册

上 册

《工业自动化仪表与系统手册》编辑委员会 编



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

《工业自动化仪表与系统手册》分为基础理论与产品两部分。基础理论部分着重介绍工业自动化仪表与系统常用术语和资料、检测与控制技术、可靠性工程、环境适应性试验与防爆安全技术；产品部分介绍各种检测（含热工量、机械量、成分量）、显示、控制、执行仪表与系统。手册共有 24 篇，包括总论 1 篇、基础部分 7 篇、产品部分 16 篇，分上下两册出版。

本手册内容完整、门类齐全、产品丰富、专业覆盖面广，基本上反映了工业自动化仪表与系统技术和产品的全貌，是一部较完整的工业自动化仪表与系统专业手册。

本手册在表达方式上力求做到深入浅出、简明扼要、直观易懂、归类便查。读者在了解工业自动化仪表与系统技术和产品的同时，可起备查、提示、启发的作用。

本手册可供工业自动化仪表与系统行业的科研、设计、制造、应用方面的工程技术人员参考使用，也可供大专院校有关专业师生参阅。

#### 图书在版编目（CIP）数据

工业自动化仪表与系统手册. 上册/《工业自动化仪表与系统手册》编辑委员会编. —北京：中国电力出版社，2008

ISBN 978-7-5083-7117-7

I. 工… II. 工… III. ①工业仪表：自动化仪表-技术手册②工业-自动化系统-技术手册 IV. TH86-62 TP27-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 043457 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

策划：周娟 责任编辑：高军 齐伟 吕允英 杨淑玲 责任印制：陈焊彬 责任校对：李亚

北京盛通印刷股份有限公司印刷·各地新华书店经售

2008 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

880mm×1230mm 1/16·52.75 印张·2154 千字

定价：130.00 元（上、下册总价：260.00 元）

#### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话（010—88386685）

# 《工业自动化仪表与系统手册》

## 编辑委员会

### 主任委员

- 孙叔平 上海工业自动化仪表研究所所长  
刘广峰 中国电力出版社副社长、总编辑  
吴幼华 中国仪器仪表学会秘书长

### 副主任委员

- 史美纪 中国仪器仪表学会过程检测控制仪表分会名誉理事  
孟力 中国仪器仪表学会副秘书长  
周娟 中国电力出版社副总编辑  
张永江 上海工业自动化仪表研究所高级工程师  
居滋培 上海理工大学计算机与电气工程学院教授  
费敏锐 上海大学机电工程与自动化学院副院长  
俞金寿 华东理工大学信息科学与工程学院教授  
戴景民 哈尔滨工业大学电气工程及自动化学院教授  
夏德海 中国仪器仪表学会常务委员

### 委员

- 吴钦炜 上海工业自动化仪表研究所教授级高级工程师  
付志中 上海理工大学计算机与电气工程学院教授  
应启夏 上海理工大学计算机与电气工程学院教授  
许伟明 上海理工大学计算机与电气工程学院副教授  
徐建平 上海工业自动化仪表研究所教授级高级工程师  
蒋爱平 华东理工大学信息科学与工程学院副教授  
陈成良 华东理工大学信息科学与工程学院讲师  
孙自强 华东理工大学信息科学与工程学院教授  
王华忠 华东理工大学信息科学与工程学院副教授  
余光伟 上海大学机电工程与自动化学院副教授  
原桂彬 哈尔滨工业大学电气与自动化工程学院副教授  
陈荣保 合肥工业大学电气与自动化工程学院副教授  
周兴吉 华东理工大学信息科学与工程学院高级实验师  
付敬奇 上海大学机电工程与自动化学院教授  
郭丙君 华东理工大学信息科学与工程学院教授  
孙鑫 上海大学机电工程与自动化学院副教授  
刘士荣 杭州电子科技大学自动化学院教授  
陈德琨 上海大学机电工程与自动化学院教授

# 序

工业自动化仪表与系统是实现生产过程信息的获取、传递、转换、处理的自动化技术工具，广泛用于冶金、电力、石油化工、化学、机械、医药、轻工、纺织、建材等工业企业中，在农业生产、科学技术、国防建设以及人民日常生活中都有应用。

在现代化建设中，工业自动化仪表与系统产业是带动国民经济各部门技术进步、新老企业技术改造、提高劳动生产率、改善经济效益、开发和节约能源与材料、发展科学技术的先导性产业。工业自动化仪表与系统的装备水平在很大程度上反映出一个国家的生产力发展和现代化科学技术水平。

随着信息技术、控制技术、计算机技术和网络技术的高速发展，工业自动化仪表与系统的新技术、新产品、新系统不断涌现，为了认真总结我国工业自动化仪表与系统的科学技术成就和吸收国外的先进经验，提高广大工程技术人员的研究和应用水平，促进我国工业自动化仪表与系统的技术进步，中国仪器仪表学会、上海工业自动化仪表研究所、中国电力出版社共同组织编写了《工业自动化仪表与系统手册》。

本手册包括基础理论和产品两大部分。基础理论部分由总论和1~7篇组成，重点介绍工业自动化仪表与系统的共性技术和常用资料。产品部分有16篇，涵盖各种检测（热工量、机械量、成分量）、显示、控制、执行仪表与系统。

本手册具有如下特点：

1. 内容完整。能较全面地反映近期工业自动化仪表与系统国内外水平，门类齐全，产品丰富，覆盖专业面广。

2. 技术先进。根据近年来国内外科技、生产的发展，侧重编写先进的基础理论与产品，对工业自动化仪表与系统产业有一定的指导作用。例如，在基础理论中，编写了新型检测与控制技术、可靠性工程、环境适应性试验技术、防爆安全技术等内容；在产品中，编写了视频监控系统、可编程序控制器、集散控制系统、计算机控制系统、现场总线与以太网、自动化软件和管控一体化等新内容。

3. 科学论证。本手册具有科学性，原理正确，结构合理，图表、公式、数据经得起论证和推敲。

4. 突出实用。在基础篇中，着重推介各类产品在研究、设计、制造等方面的知识；在产品篇中，重点介绍应用技术方面的内容，如产品的安装、使用、维护、修理、校验与测试等。

《工业自动化仪表与系统手册》是一部专业手册，主要供国民经济各部门中从事工业自动化仪表与系统的工程技术人员查阅，也可供相关专业及教学、管理和其他有关人员参考。

中国仪器仪表学会秘书长

上海工业自动化仪表研究所所长

## 编 辑 说 明

(一) 为了总结我国工业自动化仪表与系统行业的科学技术成就和吸收国外的先进经验,发展我国工业自动化仪表与系统事业,努力为我国国民经济建设服务,中国仪器仪表学会、上海工业自动化仪表研究所与中国电力出版社共同发起和组织编写了《工业自动化仪表与系统手册》。

(二) 这是一部专业手册,主要供工业自动化仪表与系统行业的科研、设计、制造、使用方面的工程技术人员查阅,也可供工业自动化仪表与系统的教育、管理和其他有关部门的人员参考。

(三) 《工业自动化仪表与系统手册》共有 24 篇,包括总论 1 篇,基础部分 7 篇,产品部分 16 篇,分上下两册出版。上册由总论、基础部分 7 篇及产品部分的检测仪表热工量与机械量 5 篇组成;下册由检测仪表物性与工业分析 2 篇和显示、控制仪表及系统 9 篇组成。

(四) 本手册内容完整,门类齐全,产品丰富,专业覆盖面广,基本上反映了工业自动化仪表与系统技术和产品的全貌。

(五) 本手册贯彻“三性”:一是科学性,基础理论与产品原理具有科学依据,公式、图表、数据经得起论证和推敲;二是先进性,产品部分全面地反映本专业国内外先进技术水平,侧重介绍新技术、新产品、新系统;三是实用性,重点推介各类产品的应用技术与实践经验,使手册具有较大的实用价值。

(六) 本手册在表达方式上,力求做到深入浅出、简明扼要、直观易懂、归类便查。读者在了解工业自动化仪表与系统技术和产品的同时,可起备查、提示、启发的作用。

(七) 参与本手册编写工作的单位有:中国仪器仪表学会、上海工业自动化仪表研究所、上海理工大学、上海大学、华东理工大学、哈尔滨工业大学、合肥工业大学、浙江大学、杭州电子科技大学等。

### (八) 编辑机构

总 编 辑 史美纪 周 娟

副 总 编 辑 张永江 居滋培 俞金寿 费敏锐 戴景民

编辑部负责人 陆菲洲

(九) 在手册的编写过程中,许多单位和科技人员对本手册的有关工作给予了大力支持与帮助,在此表示衷心感谢。

由于我们缺乏编辑出版专业手册的经验,漏误之处,在所难免,热忱希望广大读者提出批评和建议。

# 《工业自动化仪表与系统手册》

## 主要编写人员

|                       |         |
|-----------------------|---------|
| 总论                    | 吴钦炜     |
| 第1篇 工业自动化仪表与系统常用术语和资料 | 付志中     |
| 第2篇 检测技术              | 应启夏     |
| 第3篇 自动控制理论基础          | 许伟明     |
| 第4篇 自动控制系统            | 俞金寿     |
| 第5篇 可靠性工程             | 居滋培     |
| 第6篇 环境适应性试验技术         | 徐建平     |
| 第7篇 防爆安全技术            | 徐建平     |
| 第8篇 温度测量仪表            | 蒋爱平     |
| 第9篇 压力测量仪表            | 陈成良     |
| 第10篇 流量测量仪表           | 孙自强     |
| 第11篇 物位测量仪表           | 王华忠     |
| 第12篇 机械量测量仪表          | 余光伟     |
| 第13篇 物性分析仪表           | 原桂彬     |
| 第14篇 工业分析仪表           | 原桂彬 李朝辉 |
| 第15篇 视频监控系统           | 陈荣保     |
| 第16篇 显示调节仪表           | 周兴吉     |
| 第17篇 执行机构与控制阀         | 付敬奇     |
| 第18篇 可编程序控制器及系统       | 郭丙君     |
| 第19篇 集散型控制系统          | 孙鑫      |
| 第20篇 工业计算机控制系统        | 刘士荣     |
| 第21篇 现场总线控制系统与工业以太网   | 付敬奇     |
| 第22篇 工业自动化软件          | 孙鑫      |
| 第23篇 管控一体化            | 陈德琨     |

# 目 录

## 上 册

序  
编辑说明

### 总论

## 第 1 篇 工业自动化仪表与系统常用术语和资料

|                              |    |                                  |    |
|------------------------------|----|----------------------------------|----|
| 第 1 章 工业自动化仪表与系统常用术语         | 9  | 2 常用的量和单位                        | 39 |
| 1 通用术语                       | 9  | 2.1 空间和时间的量和单位                   | 39 |
| 1.1 基础通用术语                   | 9  | 2.2 周期及其有关现象的量和单位                | 40 |
| 1.2 数据和信号术语                  | 10 | 2.3 力学的量和单位                      | 41 |
| 1.3 静态和动态特性术语                | 10 | 2.4 热学的量和单位                      | 42 |
| 2 功能术语                       | 12 | 2.5 电学和磁学的量和单位                   | 44 |
| 2.1 功能通用术语                   | 12 | 2.6 光及有关电磁辐射的量和单位                | 45 |
| 2.2 信号和通信术语                  | 12 | 2.7 声学的量和单位                      | 47 |
| 2.3 测量术语                     | 13 | 2.8 物理化学和分子物理学的量和单位              | 48 |
| 2.4 控制术语                     | 17 | 2.9 常用的原子物理学、核物理学及固体物理学<br>的量和单位 | 49 |
| 3 硬件术语                       | 21 | 2.10 常用的核反应和电离辐射的量和单位            | 50 |
| 3.1 硬件通用术语                   | 21 | 2.11 特征数                         | 50 |
| 3.2 测量硬件术语                   | 22 | 3 单位换算                           | 51 |
| 3.3 控制和计算硬件术语                | 25 | 3.1 空间和时间的单位                     | 51 |
| 3.4 终端控制元件术语                 | 26 | 3.2 力学单位                         | 53 |
| 3.5 监视硬件术语                   | 26 | 3.3 热学单位                         | 55 |
| 3.6 辅助硬件术语                   | 26 | 3.4 电学和磁学的单位                     | 56 |
| 3.7 结构硬件术语                   | 27 | 3.5 光学、声学 and 电离辐射的有关单位          | 57 |
| 3.8 安全硬件术语                   | 28 | 第 3 章 物质的性能和数据                   | 58 |
| 4 数字技术术语                     | 28 | 1 基本与常用物理常数                      | 58 |
| 4.1 数字技术通用术语                 | 28 | 2 一些固体物质的热性质                     | 59 |
| 4.2 语言术语                     | 29 | 2.1 元素的物理性能                      | 59 |
| 4.3 程序设计术语                   | 29 | 2.2 常用固体材料的性能                    | 62 |
| 4.4 有关保证措施的术语                | 30 | 2.3 节流件和管道常用材质的线膨胀系数             | 63 |
| 4.5 数字通信术语                   | 30 | 3 一些液体的热性能                       | 64 |
| 4.6 数字硬件术语                   | 31 | 3.1 化工测量中常见液体的热性能                | 64 |
| 5 保证和可靠性术语                   | 33 | 3.2 几种油的热性能                      | 65 |
| 5.1 保证和可靠性通用术语               | 33 | 3.3 常用隔离液的热性质                    | 65 |
| 5.2 有关试验的术语                  | 33 | 4 一些气体的热性能                       | 65 |
| 5.3 有关程序的术语                  | 34 | 4.1 常用气体的热性质                     | 65 |
| 5.4 有关可靠性和维护性的术语             | 34 | 4.2 气体的热导率、相对热导率及温度<br>系数        | 66 |
| 6 工作条件术语                     | 34 | 4.3 常见气体在不同温度下的粘度和重度             | 66 |
| 6.1 工作条件通用术语                 | 34 | 4.4 空气在不同温度和不同压力下的热性质            | 67 |
| 6.2 有关温度、湿度和大气压的工作条件术语       | 35 | 4.5 空气的相对湿度和露点                   | 69 |
| 6.3 有关电源的工作条件术语              | 35 | 4.6 大气压力、温度与海拔的关系                | 69 |
| 6.4 有关机械影响的工作条件术语            | 35 | 5 水和水蒸气的热性质                      | 69 |
| 6.5 有关腐蚀和侵蚀影响的工作条件术语         | 36 | 5.1 在不同大气压下水的沸点                  | 69 |
| 第 2 章 物理量的符号、单位              | 37 | 5.2 饱和水、干饱和水蒸气及过热水蒸气的热<br>性质     | 70 |
| 1 法定计量单位                     | 37 | 5.3 饱和气体的水分含量                    | 72 |
| 1.1 我国法定计量单位的构成              | 37 | 5.4 水和水蒸气的动力黏度                   | 73 |
| 1.2 国际单位制                    | 37 | 6 物质的电、磁及其他性能                    | 75 |
| 1.3 可与国际单位制单位并用的我国法定计量<br>单位 | 38 |                                  |    |
| 1.4 法定计量单位的使用方法              | 39 |                                  |    |



|                              |    |                                  |     |
|------------------------------|----|----------------------------------|-----|
| 6.1 常用材料的电性能                 | 75 | (SAC/TC124)                      | 87  |
| 6.2 液体的电导率及其温度系数             | 76 | 4 基础性和通用性标准                      | 87  |
| 6.3 物质的热电子发射常数和二次电子常数        | 76 | 4.1 概述                           | 87  |
| 6.4 物质的功函数                   | 76 | 4.2 术语                           | 87  |
| 6.5 物质的电离电压、激励电压和超电导跃迁<br>温度 | 77 | 4.3 符号                           | 88  |
| 6.6 光的临界波长                   | 77 | 4.4 工作条件                         | 91  |
| 6.7 氧浓差电池的氧浓差电动势与<br>氧浓差的关系  | 77 | 4.5 尺寸模数系统和表壳、机箱、机柜、仪<br>表盘等结构装置 | 93  |
| 6.8 软磁材料和硬磁材料的性能             | 78 | 4.6 安全                           | 94  |
| 6.9 热轧和冷轧硅钢片的电磁性能            | 78 | 5 产品标准                           | 94  |
| 6.10 电磁波谱和不同波长产生的颜色          | 79 | 6 标准的制订和修订                       | 95  |
| 6.11 媒质中的光速和折射率              | 80 | 6.1 制订标准的原则                      | 95  |
| 6.12 介质中的声速                  | 80 | 6.2 制订标准的组织形式                    | 95  |
| 6.13 某些物质的辐射吸收系数             | 81 | 6.3 制订标准的程序                      | 96  |
| <b>第4章 工业自动化仪表与系统标准化</b>     | 82 | 6.4 标准的编写方法                      | 96  |
| 1 标准与标准化                     | 82 | 6.5 标准的修订和复审                     | 97  |
| 1.1 标准                       | 82 | 附录                               | 98  |
| 1.2 标准化                      | 82 | 附录 1-1 我国主要地区气象表                 | 98  |
| 1.3 标准化的作用                   | 82 | 附录 1-2 基础标准                      | 98  |
| 1.4 标准化的任务                   | 82 | 附录 1-3 温度仪表标准                    | 100 |
| 2 标准的分类和编号                   | 82 | 附录 1-4 压力仪表标准                    | 100 |
| 2.1 标准的分类                    | 82 | 附录 1-5 流量与物位仪表标准                 | 101 |
| 2.2 标准的编号                    | 83 | 附录 1-6 检测和记录仪标准                  | 102 |
| 2.3 标准文献的分类                  | 83 | 附录 1-7 工业控制机与计算机技术应用装置<br>标准     | 103 |
| 3 国际标准化机构和国际标准               | 84 | 附录 1-8 自动控制与遥控装置标准               | 103 |
| 3.1 国际标准化组织 (ISO)            | 84 | 附录 1-9 调节器标准                     | 104 |
| 3.2 国际电工委员会 (IEC)            | 85 | 附录 1-10 执行器标准                    | 105 |
| 3.3 国际标准化组织和国外标准             | 86 | <b>参考文献</b>                      | 106 |
| 3.4 全国工业过程测量和控制标准化技术委员会      |    |                                  |     |

## 第2篇 检测技术

|                   |     |                   |     |
|-------------------|-----|-------------------|-----|
| <b>第1章 检测技术基础</b> | 109 | 3.1 常用微波法元件及传感器   | 135 |
| 1 工业过程检测的基本知识     | 109 | 3.2 微波法检测         | 136 |
| 1.1 工业过程检测的特点     | 109 | 4 超声波             | 137 |
| 1.2 检测仪表的特性       | 109 | 4.1 超声的物理基础       | 137 |
| 1.3 检测仪表的分类       | 109 | 4.2 超声波的发射和接收     | 138 |
| 2 误差理论基础          | 110 | 4.3 超声法检测         | 140 |
| 2.1 误差概念与概率分布     | 110 | 5 核辐射法            | 140 |
| 2.2 误差传递、分配和合成    | 112 | 5.1 放射性同位素和核辐射    | 140 |
| 3 检测系统及其一般特性      | 113 | 5.2 常用核辐射探测器      | 142 |
| 3.1 系统的组成         | 113 | 5.3 常用的放射性同位素和放射源 | 144 |
| 3.2 系统的静态特性       | 113 | 5.4 核辐射的应用        | 144 |
| 3.3 系统的动态特性       | 114 | 6 半导体效应           | 146 |
| <b>第2章 常用检测原理</b> | 115 | 6.1 半导体概述         | 146 |
| 1 电磁法             | 115 | 6.2 半导体的磁电效应      | 148 |
| 1.1 电阻法检测         | 115 | 6.3 半导体的压敏效应      | 149 |
| 1.2 电容法检测         | 116 | 6.4 半导体的光电效应      | 149 |
| 1.3 电感法检测         | 124 | 6.5 半导体的热电效应      | 150 |
| 1.4 电势法检测         | 125 | 6.6 半导体的其他特性      | 150 |
| 1.5 利用磁性检测        | 129 | 7 电化学分析           | 151 |
| 2 光学法             | 129 | 7.1 电导分析法         | 151 |
| 2.1 光的性质与光谱       | 129 | 7.2 电位分析法         | 151 |
| 2.2 红外法检测         | 131 | 7.3 电解分析法和库仑分析法   | 152 |
| 2.3 激光法检测         | 133 | 8 气相色谱分析          | 152 |
| 3 微波法             | 135 | 8.1 工业气相色谱仪的基本原理  | 152 |

|                         |     |                             |     |
|-------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 8.2 定性和定量分析 .....       | 153 | 4.1 FIR 数字滤波器 .....         | 174 |
| 9 质谱分析 .....            | 154 | 4.2 模拟滤波器 .....             | 177 |
| 9.1 质谱仪器的基本原理 .....     | 154 | 4.3 IIR 数字滤波器 .....         | 181 |
| 9.2 质谱分析法 .....         | 156 | 5 随机信号的统计分析、检测和估计 .....     | 183 |
| <b>第3章 数字信号处理</b> ..... | 157 | 5.1 平稳遍历性随机信号的统计分析 .....    | 183 |
| 1 信号与系统 .....           | 157 | 5.2 噪声中的信号检测 .....          | 184 |
| 1.1 信号分析、变换和处理 .....    | 158 | 5.3 噪声中的信号估计 .....          | 185 |
| 1.2 数字信号处理简介 .....      | 159 | 附表 3-1 常用傅里叶变换表 .....       | 187 |
| 2 连续时间信号与系统 .....       | 160 | 附表 3-2 拉普拉斯变换和 Z 变换表 .....  | 188 |
| 2.1 傅里叶级数 .....         | 160 | <b>第4章 流体力学与传热学基础</b> ..... | 189 |
| 2.2 傅里叶变换 .....         | 161 | 1 流体力学基础 .....              | 189 |
| 2.3 拉普拉斯变换 .....        | 163 | 1.1 流体的一般性质 .....           | 189 |
| 2.4 沃尔什变换 .....         | 165 | 1.2 流体静力学 .....             | 191 |
| 3 离散时间信号与系统 .....       | 165 | 1.3 不可压缩流体的流动 .....         | 192 |
| 3.1 一般概念 .....          | 165 | 1.4 气体动力学基础 .....           | 199 |
| 3.2 采样定理 .....          | 165 | 1.5 气动仪表典型元件内流体动力学分析 .....  | 201 |
| 3.3 Z 变换 .....          | 168 | 2 传热学与传质学基础 .....           | 204 |
| 3.4 离散傅里叶变换 .....       | 169 | 2.1 传热学基础 .....             | 204 |
| 3.5 离散希尔伯特变换 .....      | 169 | 2.2 传质学基础 .....             | 210 |
| 4 数字滤波器 .....           | 171 | <b>参考文献</b> .....           | 213 |

### 第3篇 自动控制理论基础

|                             |     |                                    |     |
|-----------------------------|-----|------------------------------------|-----|
| <b>第1章 概论</b> .....         | 217 | 2 相平面法 .....                       | 235 |
| <b>第2章 线性连续反馈控制系统</b> ..... | 218 | 2.1 相平面的概念和相迹绘制方法 .....            | 235 |
| 1 基本概念 .....                | 218 | 2.2 由相迹求取时间间隔 .....                | 236 |
| 1.1 反馈控制系统工作原理 .....        | 218 | 2.3 相图的主要特性 .....                  | 236 |
| 1.2 反馈控制系统的组成 .....         | 218 | 2.4 非线性系统的相图分析 .....               | 239 |
| 1.3 反馈控制系统的分类 .....         | 218 | 3 描述函数法 .....                      | 240 |
| 1.4 反馈控制系统的性能要求 .....       | 218 | 3.1 描述函数法的基本概念 .....               | 240 |
| 2 静态特性和线性化 .....            | 218 | 3.2 非线性元件描述函数 .....                | 240 |
| 3 动态特性的数学描述 .....           | 218 | 3.3 典型非线性特性描述函数 .....              | 241 |
| 3.1 微分方程 .....              | 218 | 3.4 用描述函数法分析非线性系统的稳定性 .....        | 241 |
| 3.2 传递函数 .....              | 219 | 3.5 用描述函数方法消除非线性系统中的<br>自激振荡 ..... | 241 |
| 3.3 频率特性 .....              | 219 | <b>第4章 线性离散控制理论简介</b> .....        | 242 |
| 3.4 单位阶跃响应 .....            | 222 | 1 概述 .....                         | 242 |
| 4 系统的框图和信号流程图 .....         | 222 | 2 信号的采样与复现 .....                   | 242 |
| 4.1 框图 .....                | 222 | 2.1 信号的采样 .....                    | 242 |
| 4.2 环节的串联 .....             | 222 | 2.2 信号的复现 .....                    | 242 |
| 4.3 环节的并联 .....             | 222 | 3 线性离散系统的 Z 变换 .....               | 243 |
| 4.4 反馈连接 .....              | 223 | 3.1 Z 变换的定义 .....                  | 243 |
| 4.5 复杂系统的传递函数计算 .....       | 223 | 3.2 Z 变换方法 .....                   | 243 |
| 4.6 信号流程图 .....             | 224 | 3.3 常用函数的 Z 变换和 Z 变换的性质 .....      | 243 |
| 5 稳定性 .....                 | 225 | 3.4 Z 反变换 .....                    | 244 |
| 5.1 稳定判据 .....              | 225 | 4 离散系统的稳定性 .....                   | 244 |
| 5.2 稳定余量 .....              | 227 | 4.1 劳斯稳定判据和赫尔维茨稳定判据 .....          | 244 |
| 6 稳态偏差 .....                | 227 | 4.2 朱利稳定判据 .....                   | 244 |
| 7 动态品质分析 .....              | 228 | 5 离散系统的动态性能 .....                  | 245 |
| 7.1 品质指标 .....              | 228 | 6 离散系统的稳态误差 .....                  | 245 |
| 7.2 分析方法 .....              | 228 | 6.1 用终值定理求稳态误差 .....               | 245 |
| 8 系统的校正 .....               | 230 | 6.2 离散系统的型别 .....                  | 245 |
| 8.1 串联校正 .....              | 230 | 6.3 离散系统的静态误差系数 .....              | 245 |
| 8.2 局部反馈校正 .....            | 232 | 6.4 典型输入下的稳态误差 .....               | 245 |
| <b>第3章 非线性控制系统</b> .....    | 234 | 7 离散系统数字校正设计方法简介 .....             | 245 |
| 1 概述 .....                  | 234 | 8 扩展 Z 变换 .....                    | 246 |
| 1.1 非线性控制系统的特点 .....        | 234 | <b>第5章 状态空间法简介</b> .....           | 247 |
| 1.2 典型非线性性 .....            | 234 |                                    |     |

|                                     |     |                                   |     |
|-------------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| 1 概述 .....                          | 247 | 7 线性反馈控制系统的设计 .....               | 250 |
| 2 基本概念 .....                        | 247 | 7.1 状态反馈和输出反馈 .....               | 250 |
| 3 状态空间表达式的建立 .....                  | 247 | 7.2 反馈系统的极点配置 .....               | 250 |
| 3.1 根据系统机理建立状态空间表达式 .....           | 247 | 8 李雅普诺夫稳定性分析 .....                | 251 |
| 3.2 由系统结构图建立状态空间表达式 .....           | 248 | 8.1 李雅普诺夫稳定性 .....                | 251 |
| 3.3 由系统微分方程或传递函数建立状态<br>空间表达式 ..... | 248 | 8.2 标量函数定号性 .....                 | 251 |
| 4 线性定常系统状态方程的解 .....                | 249 | 8.3 二次型标量函数 .....                 | 251 |
| 5 连续时间状态方程的离散化 .....                | 249 | 8.4 李雅普诺夫稳定性定理 .....              | 251 |
| 6 可控性和可观性 .....                     | 249 | 8.5 线性系统李雅普诺夫稳定性分析 .....          | 252 |
| 6.1 线性定常系统的可控性和可观性定义 .....          | 249 | 9 最优控制问题 .....                    | 252 |
| 6.2 线性定常系统的可控性和可观性判别方法 .....        | 249 | 10 状态观测器 .....                    | 252 |
| 6.3 系统输出可控性 .....                   | 250 | 10.1 全维状态观测器 .....                | 252 |
| 6.4 对偶原理 .....                      | 250 | 10.2 降维状态观测器 .....                | 253 |
|                                     |     | 参考文献 .....                        | 254 |
| <b>第 4 篇 自动控制系统</b>                 |     |                                   |     |
| <b>第 1 章 概论</b> .....               | 257 | 4 控制阀选择 .....                     | 279 |
| 1 控制理论的发展状况 .....                   | 257 | 4.1 结构形式的选择 .....                 | 279 |
| 2 自动控制系统 .....                      | 259 | 4.2 口径大小的选择 .....                 | 279 |
| 2.1 概述 .....                        | 259 | 4.3 控制阀作用方式的选择 .....              | 279 |
| 2.2 闭环控制与开环控制 .....                 | 259 | 4.4 流量特性的选择 .....                 | 280 |
| 2.3 自动控制系统的组成及框图 .....              | 260 | 4.5 阀门定位器的选择 .....                | 281 |
| 2.4 自动控制系统的分类 .....                 | 261 | 5 控制器控制规律选择 .....                 | 281 |
| 3 自动控制系统的过渡过程及品质指标 .....            | 261 | 6 控制器的参数整定 .....                  | 281 |
| 3.1 静态与动态 .....                     | 261 | 6.1 经验整定法 .....                   | 281 |
| 3.2 自动控制系统的过渡过程及品质指标 .....          | 262 | 6.2 临界比例度法 .....                  | 282 |
| <b>第 2 章 过程建模和特性</b> .....          | 264 | 6.3 衰减曲线法 .....                   | 282 |
| 1 稳态数学模型 .....                      | 264 | 6.4 反应曲线法 .....                   | 282 |
| 1.1 机理建模 .....                      | 264 | 7 控制系统的投运 .....                   | 282 |
| 1.2 经验模型 .....                      | 264 | 7.1 投运前的准备工作 .....                | 283 |
| 1.3 机理与经验方法的组合 .....                | 265 | 7.2 投运过程 .....                    | 283 |
| 2 过程动态数学模型 .....                    | 265 | <b>第 5 章 复杂控制系统</b> .....         | 284 |
| 2.1 概述 .....                        | 265 | 1 串级控制系统 .....                    | 284 |
| 2.2 机理模型 .....                      | 267 | 1.1 串级控制系统的基本原理和结构 .....          | 284 |
| 2.3 过程辨识与参数估计 .....                 | 268 | 1.2 串级控制系统的特点 .....               | 285 |
| <b>第 3 章 控制器的控制规律</b> .....         | 270 | 1.3 串级控制系统的设计 .....               | 285 |
| 1 双位控制 .....                        | 270 | 1.4 串级控制系统控制器参数的整定 .....          | 286 |
| 2 比例控制 .....                        | 270 | 2 比值控制系统 .....                    | 286 |
| 3 比例积分控制 .....                      | 271 | 2.1 基本原理和结构 .....                 | 286 |
| 3.1 积分控制 .....                      | 271 | 2.2 比值系数的计算 .....                 | 287 |
| 3.2 比例积分控制 .....                    | 272 | 2.3 比值控制系统设计和工程应用中的问题 .....       | 288 |
| 3.3 积分饱和 .....                      | 273 | 3 均匀控制系统 .....                    | 288 |
| 4 比例微分控制 .....                      | 273 | 3.1 均匀控制系统的基本原理和结构 .....          | 288 |
| 4.1 微分控制 .....                      | 273 | 3.2 均匀控制系统的控制规律的选择及参数<br>整定 ..... | 289 |
| 4.2 比例微分控制 .....                    | 273 | 4 前馈控制系统 .....                    | 289 |
| 5 比例积分微分控制 .....                    | 274 | 4.1 基本原理 .....                    | 289 |
| 6 离散比例积分微分控制 .....                  | 274 | 4.2 前馈控制的主要结构形式 .....             | 290 |
| <b>第 4 章 简单控制系统</b> .....           | 276 | 4.3 前馈控制系统的设计及工程实施中若干<br>问题 ..... | 290 |
| 1 简单控制系统的组成 .....                   | 276 | 5 选择性控制系统 .....                   | 291 |
| 2 被控变量和操纵变量选择 .....                 | 277 | 5.1 基本原理和结构 .....                 | 291 |
| 2.1 被控变量的选择 .....                   | 277 | 5.2 选择性控制系统设计和工程应用中的问题 .....      | 292 |
| 2.2 操纵变量的选择 .....                   | 277 | 6 分程控制系统 .....                    | 292 |
| 3 检测变送器选择 .....                     | 278 | 6.1 不同工况需要不同的控制手段 .....           | 292 |
| 3.1 仪表精度等级和量程的选择 .....              | 278 | 6.2 扩大控制阀的可调范围 .....              | 292 |
| 3.2 动态测量误差对控制质量的影响 .....            | 278 |                                   |     |
| 3.3 测量信号的处理 .....                   | 279 |                                   |     |

|                           |     |                        |     |
|---------------------------|-----|------------------------|-----|
| <b>第 6 章 先进控制系统</b> ..... | 293 | 5.2 自适应史密斯预估补偿控制 ..... | 298 |
| 1 基于模型的预测控制 .....         | 293 | 6 解耦控制系统 .....         | 299 |
| 1.1 预测控制基本原理 .....        | 293 | 6.1 系统的关联 .....        | 299 |
| 1.2 预测控制软件包的发展 .....      | 294 | 6.2 减少与解除耦合途径 .....    | 299 |
| 1.3 我国预测控制应用 .....        | 294 | 6.3 串接解耦控制 .....       | 299 |
| 2 推断控制 .....              | 294 | 7 自适应控制 .....          | 300 |
| 3 软测量技术 .....             | 295 | 7.1 简单自适应控制系统 .....    | 300 |
| 3.1 软测量技术概述 .....         | 295 | 7.2 模型参考型自适应控制系统 ..... | 301 |
| 3.2 软测量工程设计 .....         | 296 | 7.3 自校正控制系统 .....      | 301 |
| 3.3 工业应用实例 .....          | 296 | 8 智能控制系统 .....         | 301 |
| 4 双重控制系统 .....            | 297 | 8.1 专家系统 .....         | 301 |
| 4.1 基本原理和结构 .....         | 297 | 8.2 模糊控制 .....         | 302 |
| 4.2 系统设计与实施中的一些问题 .....   | 297 | 8.3 神经网络控制 .....       | 302 |
| 5 纯滞后补偿控制系统 .....         | 298 | <b>参考文献</b> .....      | 304 |
| 5.1 史密斯预估补偿控制方案 .....     | 298 |                        |     |

## 第 5 篇 可靠性工程

|                                |     |                                 |     |
|--------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| <b>第 1 章 可靠性基本原理</b> .....     | 309 | 3.2 一次抽样 .....                  | 332 |
| 1 可靠性的基本概念 .....               | 309 | 3.3 失效率定级和 MTBF 验证 .....        | 332 |
| 1.1 可靠性的定义 .....               | 309 | 3.4 复式抽样和序贯抽样 .....             | 334 |
| 1.2 狭义可靠性和广义可靠性 .....          | 309 | 4 寿命试验的数据处理方法 .....             | 336 |
| 1.3 固有可靠性和使用可靠性 .....          | 309 | 4.1 图分析法 .....                  | 336 |
| 2 可靠性指标 .....                  | 309 | 4.2 极大似然估计 .....                | 339 |
| 2.1 可靠性工程中的概率论和数理统计 .....      | 309 | 4.3 参数的区间估计 .....               | 340 |
| 2.2 可靠性工程中常用的概率分布 .....        | 310 | 4.4 非参数估计 .....                 | 342 |
| 2.3 可靠性工程中的特征量 .....           | 311 | <b>第 4 章 提高仪表可靠性的设计方法</b> ..... | 344 |
| 3 失效率的基本类型和产品的失效规律 .....       | 314 | 1 影响仪表可靠性的故障机理 .....            | 344 |
| 3.1 早期失效型 .....                | 314 | 1.1 概述 .....                    | 344 |
| 3.2 恒定失效率型 .....               | 314 | 1.2 磨损 .....                    | 344 |
| 3.3 耗损失效型 .....                | 314 | 1.3 环境应力作用 .....                | 344 |
| 3.4 产品的失效规律 .....              | 314 | 1.4 一些仪表元部件的失效内因及其改进 .....      | 348 |
| 4 寿命分布 .....                   | 315 | 2 提高仪表可靠性的设计方法 .....            | 350 |
| 4.1 指数分布 .....                 | 315 | 2.1 概述 .....                    | 350 |
| 4.2 威布尔分布 .....                | 316 | 2.2 元部件的选择 .....                | 351 |
| 4.3 正态分布和对数正态分布 .....          | 316 | 2.3 降额设计 .....                  | 352 |
| 5 可靠性特征量的选取 .....              | 317 | 2.4 冗余设计 .....                  | 353 |
| 5.1 指数分布 .....                 | 317 | 2.5 环境适应性设计 .....               | 353 |
| 5.2 正态分布 .....                 | 317 | 2.6 简化设计和退化分析 .....             | 354 |
| 5.3 其他分布或未知分布 .....            | 317 | 2.7 最坏情况设计法 .....               | 354 |
| 5.4 可靠性特征量选取序列 .....           | 318 | 2.8 过应力保护设计 .....               | 355 |
| <b>第 2 章 可靠性预计、分配和分析</b> ..... | 319 | 2.9 屏蔽设计 .....                  | 355 |
| 1 可靠性预计 .....                  | 319 | 2.10 接地设计 .....                 | 356 |
| 1.1 概述 .....                   | 319 | 2.11 抑制干扰的一些方法 .....            | 356 |
| 1.2 元器件(零部件)的失效率预计 .....       | 319 | 2.12 概率设计工程方法 .....             | 357 |
| 1.3 系统可靠度预计 .....              | 320 | <b>第 5 章 提高仪表可靠性的工艺措施</b> ..... | 360 |
| 2 可靠性分配 .....                  | 323 | 1 老化筛选 .....                    | 360 |
| 2.1 可靠性分配的目的 .....             | 323 | 2 装配与焊接 .....                   | 361 |
| 2.2 可靠性分配的方法 .....             | 323 | 2.1 装配 .....                    | 361 |
| 3 系统可靠性分析 .....                | 324 | 2.2 焊接 .....                    | 361 |
| 3.1 失效模式及效应分析 .....            | 324 | 3 工艺卫生 .....                    | 362 |
| 3.2 系统故障树分析法 .....             | 327 | 4 工艺质量控制 .....                  | 362 |
| <b>第 3 章 可靠性试验</b> .....       | 331 | 4.1 质量控制图及其界限的确定 .....          | 362 |
| 1 试验的目的 .....                  | 331 | 4.2 几种常见的质量控制图 .....            | 362 |
| 2 可靠性考核 .....                  | 331 | 5 控制图的检验能力 .....                | 363 |
| 3 抽样检验 .....                   | 331 | 6 QC 活动与无缺陷运动 .....             | 363 |
| 3.1 随机抽样和两类错误 .....            | 331 | <b>附录</b> .....                 | 364 |

|   |     |                                     |     |
|---|-----|-------------------------------------|-----|
| 附录 5-1 $\chi^2_D$ 分布下侧分位数 $\chi^2_P(\nu)$ (1) ..... | 364 | 附录 5-4 标准正态累积分布函数 .....             | 371 |
| 附录 5-2 $\chi^2_D$ 分布下侧分位数 $\chi^2_P(\nu)$ (2) ..... | 367 | 参考文献 .....                          | 374 |
| 附录 5-3 $\Gamma(1+1/m)$ 数值表 .....                    | 370 |                                     |     |
| <b>第 6 篇 环境适应性试验技术</b>                              |     |                                     |     |
| 概论 .....  | 377 | 5 太阳辐射试验 .....                      | 394 |
| <b>第 1 章 环境试验和环境适应性技术</b> .....                     | 378 | 5.1 概述 .....                        | 394 |
| 1 概述 .....  | 378 | 5.2 试验目的 .....                      | 394 |
| 2 环境参数分类与严酷度等级 .....                                | 378 | 5.3 严酷度等级 .....                     | 394 |
| 2.1 环境参数 .....                                      | 378 | 5.4 试验方法 .....                      | 394 |
| 2.2 环境参数分类 .....                                    | 378 | 5.5 性能判据 .....                      | 394 |
| 2.3 环境参数严酷度等级 .....                                 | 378 | 6 沙尘试验 .....                        | 395 |
| 3 环境适应性技术主要研究内容 .....                               | 378 | 6.1 概述 .....                        | 395 |
| 3.1 工作条件 .....                                      | 378 | 6.2 试验目的和方案选择 .....                 | 395 |
| 3.2 环境试验技术 .....                                    | 379 | 6.3 严酷度等级 .....                     | 396 |
| 3.3 环境适应性设计技术 .....                                 | 379 | 6.4 试验方法 .....                      | 396 |
| 4 环境适应性技术的作用和地位 .....                               | 379 | 6.5 性能判据 .....                      | 396 |
| <b>第 2 章 工业自动化仪表与系统的工作条件</b> .....                  | 380 | 7 盐雾试验 .....                        | 396 |
| 1 气候条件 .....  | 380 | 7.1 概述 .....                        | 396 |
| 1.1 气候条件的分级 .....                                   | 380 | 7.2 试验目的和方案选择 .....                 | 396 |
| 1.2 空调场所 (A 级) .....                                | 380 | 7.3 严酷度等级 .....                     | 396 |
| 1.3 升温和(或)降温的封闭场所 (B 级) .....                       | 380 | 7.4 试验方法 .....                      | 397 |
| 1.4 掩蔽场所 (C 级) .....                                | 380 | 7.5 性能判据 .....                      | 398 |
| 1.5 户外场所 (D 级) .....                                | 380 | 8 腐蚀性气体试验 .....                     | 398 |
| 1.6 气候条件参数 .....                                    | 380 | 8.1 概述 .....                        | 398 |
| 2 动力条件 .....  | 381 | 8.2 试验目的 .....                      | 398 |
| 3 机械影响 .....  | 382 | 8.3 严酷度等级 .....                     | 398 |
| 3.1 振动 .....  | 382 | 8.4 试验方法 .....                      | 399 |
| 3.2 冲击 .....  | 383 | 8.5 性能判据 .....                      | 399 |
| 4 腐蚀和侵蚀影响 .....                                     | 383 | 9 霉菌试验 .....                        | 399 |
| 4.1 非固体物质 .....                                     | 383 | 9.1 概述 .....                        | 399 |
| 4.2 固体物质 .....                                      | 384 | 9.2 试验目的 .....                      | 400 |
| <b>第 3 章 工业自动化仪表与系统环境试验总则</b> .....                 | 385 | 9.3 严酷度等级 .....                     | 400 |
| 1 概述 .....  | 385 | 9.4 试验方法 .....                      | 400 |
| 2 环境参数的主要影响 .....                                   | 385 | 9.5 性能判据 .....                      | 401 |
| 3 试验顺序 .....  | 386 | 10 雨淋试验 .....                       | 401 |
| 4 标准大气条件 .....                                      | 387 | 10.1 概述 .....                       | 401 |
| <b>第 4 章 工业自动化仪表与系统的气候环境试验</b> .....                | 388 | 10.2 试验目的 .....                     | 401 |
| 1 概述 .....  | 388 | 10.3 严酷度等级 .....                    | 401 |
| 2 温度试验 .....  | 388 | 10.4 试验方法 .....                     | 402 |
| 2.1 各种环境温度的含义和应用说明 .....                            | 388 | 10.5 性能判据 .....                     | 402 |
| 2.2 低温试验 .....                                      | 388 | <b>第 5 章 工业自动化仪表与系统机械环境试验</b> ..... | 403 |
| 2.3 高温试验 .....                                      | 389 | 1 概述 .....                          | 403 |
| 2.4 温度变化试验 .....                                    | 390 | 2 振动试验 .....                        | 403 |
| 3 湿热试验 .....  | 391 | 2.1 概述 .....                        | 403 |
| 3.1 概述 .....  | 391 | 2.2 正弦振动试验 .....                    | 404 |
| 3.2 试验目的和方案选择 .....                                 | 392 | 2.3 随机振动试验 .....                    | 406 |
| 3.3 严酷度等级 .....                                     | 392 | 3 冲击试验 .....                        | 407 |
| 3.4 试验方法 .....                                      | 392 | 3.1 概述 .....                        | 407 |
| 3.5 性能判据 .....                                      | 393 | 3.2 严酷度等级 .....                     | 408 |
| 4 低气压试验 .....                                       | 393 | 3.3 试验方法 .....                      | 409 |
| 4.1 概述 .....  | 393 | 3.4 性能判据 .....                      | 410 |
| 4.2 试验目的 .....                                      | 393 | 4 碰撞试验 .....                        | 410 |
| 4.3 严酷度等级 .....                                     | 393 | 4.1 概述 .....                        | 410 |
| 4.4 试验方法 .....                                      | 394 | 4.2 严酷度等级 .....                     | 410 |
| 4.5 性能判据 .....                                      | 394 | 4.3 试验方法 .....                      | 411 |

|                            |     |                               |     |
|----------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| 4.4 性能判据 .....             | 411 | 2.7 电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验 ..... | 422 |
| 5 倾跌与翻倒试验 .....            | 411 | 2.8 共模、串模抗扰度试验 .....          | 423 |
| 5.1 概述 .....               | 411 | 2.9 电源电压频率变化抗扰度试验 .....       | 424 |
| 5.2 试验方法 .....             | 411 | 3 发射试验 .....                  | 424 |
| 5.3 性能判据 .....             | 411 | 3.1 谐波电流发射试验 .....            | 424 |
| 6 自由跌落试验 .....             | 411 | 3.2 电压波动和闪烁限制试验 .....         | 425 |
| 6.1 概述 .....               | 411 | 3.3 传导骚扰试验 .....              | 426 |
| 6.2 严酷度等级 .....            | 411 | 3.4 辐射骚扰试验 .....              | 427 |
| 6.3 试验方法 .....             | 412 | 第7章 工业自动化仪表与系统电气安全技术 .....    | 429 |
| 6.4 性能判据 .....             | 412 | 1 概述 .....                    | 429 |
| 7 倾斜和摇摆试验 .....            | 412 | 1.1 什么是电气安全 .....             | 429 |
| 7.1 概述 .....               | 412 | 1.2 电气安全主要研究内容 .....          | 429 |
| 7.2 试验目的 .....             | 412 | 1.3 电气安全标准体系 .....            | 429 |
| 7.3 严酷度等级 .....            | 412 | 2 安全原则 .....                  | 429 |
| 7.4 试验方法 .....             | 412 | 2.1 总则 .....                  | 429 |
| 7.5 性能判据 .....             | 412 | 2.2 危险分类 .....                | 430 |
| 8 稳态加速度复合试验 .....          | 413 | 2.3 材料和元器件 .....              | 430 |
| 8.1 概述 .....               | 413 | 3 电气安全试验 .....                | 430 |
| 8.2 试验目的 .....             | 413 | 3.1 标记和使用说明 .....             | 430 |
| 8.3 严酷度等级 .....            | 413 | 3.2 防电击 .....                 | 431 |
| 8.4 试验方法 .....             | 413 | 3.3 防机械危险 .....               | 433 |
| 8.5 性能判据 .....             | 413 | 3.4 防机械冲击和碰撞 .....            | 433 |
| 第6章 工业自动化仪表与系统电磁兼容试验 ..... | 414 | 3.5 防火焰蔓延 .....               | 433 |
| 1 电磁兼容技术概述 .....           | 414 | 3.6 温度限制和耐热 .....             | 433 |
| 2 抗扰度试验 .....              | 414 | 3.7 防液体的危险 .....              | 433 |
| 2.1 静电放电抗扰度试验 .....        | 414 | 3.8 防辐射 .....                 | 433 |
| 2.2 射频电磁场抗扰度试验 .....       | 415 | 3.9 防气体释放、爆炸和炸裂 .....         | 433 |
| 2.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验 .....    | 417 | 3.10 元器件 .....                | 433 |
| 2.4 浪涌(冲击)抗扰度试验 .....      | 419 | 4 结束语 .....                   | 433 |
| 2.5 射频场感应的传导骚扰抗扰度试验 .....  | 420 | 参考文献 .....                    | 435 |
| 2.6 工频磁场抗扰度试验 .....        | 421 |                               |     |

## 第7篇 防爆安全技术

|   |     |                           |     |
|---|-----|---------------------------|-----|
| 概论 .....                                | 439 | 6.4 爆炸性气体分类、分级、分组举例 ..... | 446 |
| 第1章 防爆基础概要 .....                        | 440 | 6.5 可燃性粉尘分类和分组 .....      | 446 |
| 1 基本术语 .....                            | 440 | 7 危险场所的区域划分 .....         | 447 |
| 2 爆炸性环境的形成 .....                        | 442 | 7.1 目的意义 .....            | 447 |
| 3 爆炸原因 .....                            | 443 | 7.2 区域划分的判断因素 .....       | 447 |
| 3.1 燃烧与爆炸 .....                         | 443 | 7.3 危险场所的区域划分 .....       | 448 |
| 3.2 产生燃烧的原因 .....                       | 443 | 第2章 仪表防爆技术基础 .....        | 450 |
| 3.3 产生爆炸的原因 .....                       | 443 | 1 电气防爆基本原理 .....          | 450 |
| 4 爆炸三角形原理 .....                         | 443 | 2 仪表的分类、分级和分组 .....       | 450 |
| 4.1 爆炸三要素 .....                         | 443 | 3 主要防爆型式 .....            | 450 |
| 4.2 点燃源 .....                           | 444 | 3.1 隔爆型“d” .....          | 451 |
| 5 爆炸性混合物的特性参数 .....                     | 444 | 3.2 增安型“e” .....          | 451 |
| 5.1 爆炸极限 .....                          | 444 | 3.3 本质安全型“i” .....        | 451 |
| 5.2 最小点燃能量(MIE) .....                   | 444 | 3.4 正压外壳型“p” .....        | 452 |
| 5.3 爆炸压力 .....                          | 444 | 3.5 油浸型“o” .....          | 452 |
| 5.4 自燃温度(AIT) .....                     | 445 | 3.6 充砂型“q” .....          | 452 |
| 5.5 最大试验安全间隙(MESG) .....                | 445 | 3.7 浇封型“m” .....          | 452 |
| 5.6 最小点燃电流(MIC)及最小点燃<br>电流比(MICR) ..... | 445 | 3.8 “n”型 .....            | 453 |
| 6 爆炸性物质的分类、分级和分组 .....                  | 445 | 3.9 粉尘防爆型“DIP” .....      | 453 |
| 6.1 爆炸性物质的分类 .....                      | 445 | 4 防爆电气设备的选型 .....         | 453 |
| 6.2 爆炸性气体的分级 .....                      | 445 | 4.1 防爆电气设备的选型原则 .....     | 453 |
| 6.3 爆炸性气体的分组 .....                      | 446 | 4.2 爆炸性气体环境用电气设备的选型 ..... | 454 |
|   |     | 4.3 可燃性粉尘环境用电气设备的选型 ..... | 454 |

|                       |     |                               |     |
|-----------------------|-----|-------------------------------|-----|
| 5 防爆标志及其确定方法          | 454 | 1.4 安全系数                      | 476 |
| 5.1 防爆标志说明            | 454 | 2 本安仪表的设计准则                   | 476 |
| 5.2 防爆标志的确定原则         | 455 | 2.1 本安仪表的基本设计要求               | 476 |
| 5.3 各国防爆标志举例          | 459 | 2.2 本安电路设计                    | 477 |
| <b>第3章 防爆仪表通用技术要求</b> | 461 | 2.3 简单设备与简单电路                 | 495 |
| 1 中国防爆技术标准化现状         | 461 | 3 本安仪表的结构设计                   | 496 |
| 2 常见的仪表防爆型式           | 461 | 3.1 与本安有关的元件                  | 496 |
| 3 仪表通用设计要求            | 462 | 3.2 仪表结构要求                    | 497 |
| 3.1 使用环境温度            | 462 | 4 安全栅                         | 500 |
| 3.2 表面温度              | 462 | 4.1 安全栅的基本形式                  | 500 |
| 3.3 对内置大电容和加热元件的安全要求  | 463 | 4.2 齐纳式安全栅                    | 500 |
| 3.4 外壳材料要求            | 463 | 4.3 隔离式安全栅                    | 501 |
| 3.5 紧固件               | 463 | 4.4 安全栅的结构设计                  | 501 |
| 3.6 接线空腔和连接件          | 463 | 5 本安仪表安全参数的确定                 | 501 |
| 3.7 接地连接件             | 463 | 5.1 关联设备安全参数的确定               | 502 |
| 3.8 电缆和导管引入装置         | 464 | 5.2 本安设备安全参数的确定               | 502 |
| 3.9 专用规定              | 465 | 6 本安仪表标志                      | 503 |
| 3.10 设备标志             | 465 | 6.1 一般要求                      | 503 |
| 3.11 防爆电气设备型式检查和试验    | 465 | 6.2 本安防爆相关的标志                 | 503 |
| 3.12 防爆电气设备例行检查和试验    | 466 | 6.3 其他标志                      | 503 |
| <b>第4章 隔爆型仪表</b>      | 467 | 7 本安电路的检查和试验                  | 503 |
| 1 隔爆型仪表的设计依据及原则要求     | 467 | 7.1 型式试验                      | 503 |
| 1.1 防爆型仪表的设计依据        | 467 | 7.2 例行试验                      | 506 |
| 1.2 隔爆型仪表的设计原则        | 467 | 8 本安系统一般设计要求                  | 507 |
| 2 基本设计要点              | 467 | 8.1 本安系统基本概念                  | 507 |
| 2.1 隔爆外壳              | 467 | 8.2 常规本安系统设计要求                | 508 |
| 2.2 隔爆接合面             | 468 | 8.3 线性与非线性本安电路的组合             | 509 |
| 2.3 紧固件               | 473 | 9 现场总线本安防爆技术                  | 513 |
| 2.4 观察窗(透明件)          | 473 | 9.1 概述                        | 513 |
| 2.5 电缆和导线引入和连接        | 473 | 9.2 本质安全现场总线系统的结构             | 513 |
| 2.6 呼吸装置和排液装置         | 473 | 9.3 现场总线系统本安设计总体要求            | 514 |
| 2.7 隔爆型设备的标志          | 473 | 9.4 基于“参量认可”技术的总线系统安全性分析      | 516 |
| 2.8 检查和试验             | 473 | 9.5 一种新的本安现场总线系统认证技术——FISCO概念 | 518 |
| <b>第5章 本质安全仪表及系统</b>  | 475 | 9.6 FINCO 概念                  | 520 |
| 1 本质安全基本知识            | 475 | <b>参考文献</b>                   | 522 |
| 1.1 本质安全技术的发展过程       | 475 |                               |     |
| 1.2 本安防爆技术的基本原理及特点    | 475 |                               |     |
| 1.3 本安仪表的分类           | 476 |                               |     |

## 第8篇 温度测量仪表

|                       |     |                   |     |
|-----------------------|-----|-------------------|-----|
| <b>第1章 概论</b>         | 525 | 1.6 玻璃温度计的使用注意事项  | 532 |
| 1 温度测量方法的分类           | 525 | 1.7 玻璃温度计的误差源     | 533 |
| 2 温度测量仪表的分类及各类仪表的测量范围 | 525 | 2 双金属温度计          | 533 |
| 3 温标                  | 526 | 2.1 测温原理          | 533 |
| 3.1 摄氏温标              | 526 | 2.2 双金属片的材料       | 534 |
| 3.2 华氏温标              | 526 | 2.3 结构及分类         | 534 |
| 3.3 热力学温标             | 526 | 2.4 基本参数          | 535 |
| 3.4 国际实用温标            | 526 | 2.5 双金属温度计的使用注意事项 | 535 |
| 4 温度量值的传递             | 529 | 3 压力式温度计          | 535 |
| <b>第2章 膨胀式测温仪表</b>    | 530 | 3.1 测温原理          | 535 |
| 1 玻璃温度计               | 530 | 3.2 压力式温度计的分类     | 536 |
| 1.1 测温原理              | 530 | 3.3 感温介质的性能       | 536 |
| 1.2 感温液体和玻璃材料的特性      | 530 | 3.4 压力式温度计的结构     | 536 |
| 1.3 玻璃液体温度计的分类        | 531 | 3.5 基本参数          | 537 |
| 1.4 玻璃液体温度计的结构        | 531 | 3.6 压力式温度计的使用注意事项 | 537 |
| 1.5 基本参数              | 532 | <b>第3章 热电偶</b>    | 538 |

|                           |     |                          |     |
|---------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 1 热电偶的测温原理 .....          | 538 | 3.1 电阻与温度的关系特性 .....     | 556 |
| 1.1 测温原理 .....            | 538 | 3.2 工业用热电阻的基本参数 .....    | 556 |
| 1.2 热电偶的基本定律 .....        | 538 | 4 普通热电阻 .....            | 556 |
| 2 热电偶的材料 .....            | 539 | 4.1 云母骨架形式 .....         | 556 |
| 2.1 对热电偶的材料要求 .....       | 539 | 4.2 玻璃骨架形式 .....         | 557 |
| 2.2 标准热电偶材料 .....         | 539 | 4.3 陶瓷骨架形式 .....         | 557 |
| 2.3 非标准热电偶材料 .....        | 539 | 4.4 塑料骨架形式 .....         | 557 |
| 3 热电偶的特性及基本参数 .....       | 541 | 4.5 保护管及接线盒 .....        | 557 |
| 3.1 热电偶的热电动势与温度关系特性 ..... | 541 | 4.6 热电阻的绝缘电阻 .....       | 557 |
| 3.2 热电偶的基本参数 .....        | 541 | 4.7 热电阻的时间常数 .....       | 557 |
| 4 普通热电偶(装配式热电偶) .....     | 541 | 5 其他结构的热电阻 .....         | 557 |
| 4.1 热电极 .....             | 541 | 5.1 铠装热电阻 .....          | 557 |
| 4.2 绝缘套管 .....            | 541 | 5.2 铂(厚、薄)膜热电阻 .....     | 558 |
| 4.3 保护管 .....             | 542 | 5.3 端面热电阻 .....          | 558 |
| 4.4 接线盒 .....             | 542 | 5.4 隔爆热电阻 .....          | 558 |
| 4.5 普通热电偶的结构形式 .....      | 543 | 6 半导体热电阻 .....           | 559 |
| 5 铠装热电偶 .....             | 544 | 6.1 特点 .....             | 559 |
| 5.1 金属套管的材料 .....         | 544 | 6.2 热敏电阻的特性 .....        | 559 |
| 5.2 绝缘材料 .....            | 544 | 6.3 热敏电阻的结构 .....        | 559 |
| 5.3 测量端的结构形式 .....        | 544 | 7 低温热电阻 .....            | 560 |
| 5.4 安装固定形式 .....          | 545 | 7.1 概述 .....             | 560 |
| 5.5 参比端(接线盒)形式 .....      | 546 | 7.2 低温铂热电阻 .....         | 560 |
| 5.6 偶丝直径与电阻的关系 .....      | 546 | 7.3 铱铁热电阻 .....          | 560 |
| 5.7 时间常数 .....            | 546 | 7.4 锆热电阻 .....           | 560 |
| 6 专用热电偶 .....             | 547 | 7.5 渗碳玻璃热电阻 .....        | 561 |
| 6.1 多点式热电偶 .....          | 547 | 8 热电阻的导线连接方式 .....       | 561 |
| 6.2 薄膜热电偶 .....           | 547 | 8.1 二线制接法 .....          | 561 |
| 6.3 隔爆热电偶 .....           | 547 | 8.2 三线制接法 .....          | 561 |
| 6.4 表面热电偶 .....           | 548 | 8.3 四线制接法 .....          | 561 |
| 6.5 消耗型热电偶 .....          | 548 | 9 热电阻的应用 .....           | 562 |
| 6.6 压簧固定式热电偶 .....        | 548 | 9.1 热电阻的安装 .....         | 562 |
| 6.7 拱顶热电偶 .....           | 549 | 9.2 热电阻的误差分析 .....       | 562 |
| 6.8 吹气型热电偶 .....          | 549 | 9.3 热电阻的故障处理 .....       | 562 |
| 7 热电偶参比端温度的补偿方法 .....     | 549 | <b>第5章 辐射式测温仪表</b> ..... | 563 |
| 7.1 补偿导线延伸法 .....         | 549 | 1 辐射测温的基本定律和方法 .....     | 563 |
| 7.2 冰点法 .....             | 549 | 1.1 热辐射的基本概念 .....       | 563 |
| 7.3 计算修正法 .....           | 550 | 1.2 黑体辐射的基本定律 .....      | 564 |
| 7.4 仪表零点校正法 .....         | 551 | 1.3 表观温度 .....           | 565 |
| 7.5 补偿电桥法 .....           | 551 | 2 光学高温计 .....            | 565 |
| 8 热电偶测温线路 .....           | 551 | 2.1 概述 .....             | 565 |
| 8.1 典型测温线路 .....          | 551 | 2.2 隐丝式光学高温计 .....       | 566 |
| 8.2 热电偶反接(差动热电偶) .....    | 551 | 3 光电高温计 .....            | 567 |
| 8.3 热电偶并联 .....           | 551 | 3.1 概述 .....             | 567 |
| 8.4 热电偶串联(热电堆) .....      | 552 | 3.2 工作原理 .....           | 567 |
| 8.5 共用线路 .....            | 552 | 3.3 光电高温计的光学系统 .....     | 567 |
| 9 热电偶的应用 .....            | 552 | 4 全辐射温度计 .....           | 567 |
| 9.1 热电偶的安装 .....          | 552 | 4.1 概述 .....             | 567 |
| 9.2 热电偶的误差分析 .....        | 552 | 4.2 辐射感温器 .....          | 567 |
| 9.3 热电偶的故障处理 .....        | 553 | 4.3 感温组件 .....           | 568 |
| <b>第4章 热电阻</b> .....      | 555 | 5 比色温度计 .....            | 568 |
| 1 热电阻的测温原理 .....          | 555 | 5.1 概述 .....             | 568 |
| 2 热电阻的材料 .....            | 555 | 5.2 比色温度计的分类 .....       | 569 |
| 2.1 热电阻丝材料 .....          | 555 | 6 红外测温仪和红外热像仪 .....      | 569 |
| 2.2 绝缘骨架材料 .....          | 555 | 6.1 红外测温仪 .....          | 569 |
| 2.3 内引线材料 .....           | 555 | 6.2 红外热像仪 .....          | 570 |
| 3 工业用热电阻的基本参数及特性 .....    | 556 | 7 光纤辐射温度计 .....          | 571 |



|                         |            |
|-------------------------|------------|
| 7.1 光纤                  | 571        |
| 7.2 测温探头                | 572        |
| 7.3 光纤辐射温度计的构成          | 572        |
| <b>第6章 温度变送器</b>        | <b>573</b> |
| 1 温度变送器的分类              | 573        |
| 2 温度变送器的主要性能指标          | 573        |
| 3 四线制温度变送器              | 573        |
| 3.1 结构及特点               | 573        |
| 3.2 工作原理                | 573        |
| 3.3 直流毫伏变送器的量程单元        | 574        |
| 3.4 热电偶温度变送器量程单元        | 574        |
| 3.5 热电阻温度变送器量程单元        | 575        |
| 4 两线制温度变送器              | 576        |
| 5 一体化温度变送器              | 576        |
| 6 智能式温度变送器              | 576        |
| 6.1 特点                  | 576        |
| 6.2 结构及工作原理             | 577        |
| 6.3 非线性校正方法             | 577        |
| 6.4 数字信号输出              | 577        |
| <b>第7章 温度测量仪表的分度和校验</b> | <b>579</b> |

|  |            |
|--|------------|
| 1 分度和校验                                      | 579        |
| 1.1 定点法                                      | 579        |
| 1.2 比较法                                      | 579        |
| 2 检定设备                                       | 579        |
| 2.1 定点法的检定设备                                 | 579        |
| 2.2 比较法的检定设备                                 | 580        |
| 3 标准温度计                                      | 582        |
| <b>附录</b>                                    | <b>583</b> |
| 附录 8-1 8种国际标准化热电偶的分度常数                       | 583        |
| 附录 8-2 常用热电偶分度表 (ITS—1990)                   | 584        |
| 附录 8-3 常用热电阻分度表 (ITS—1990)                   | 613        |
| 附录 8-4 常用材料在 0.66 $\mu\text{m}$ 波长的光谱发射率近似值  | 617        |
| 附录 8-5 黑体的辐射函数值                              | 617        |
| 附录 8-6 亮度温度修正值 ( $\lambda=0.66\mu\text{m}$ ) | 618        |
| 附录 8-7 亮度温度修正值 ( $\lambda=0.9\mu\text{m}$ )  | 619        |
| 附录 8-8 辐射温度修正值                               | 619        |
| 附录 8-9 常用材料的全发射率                             | 619        |
| <b>参考文献</b>                                  | <b>621</b> |

## 第9篇 压力测量仪表

|                   |            |
|-------------------|------------|
| <b>第1章 概论</b>     | <b>625</b> |
| 1 压力的概念及单位        | 625        |
| 2 压力测量仪表的分类       | 626        |
| <b>第2章 液柱式压力计</b> | <b>628</b> |
| 1 液柱式压力计的分类及特点    | 628        |
| 2 液柱式压力计的结构及工作原理  | 628        |
| 2.1 U形管压力计        | 628        |
| 2.2 单管压力计         | 628        |
| 2.3 斜管压力计         | 629        |
| 2.4 补偿微压计         | 629        |
| 2.5 自动液柱式压力计      | 629        |
| 3 液柱式压力计的设计       | 630        |
| 3.1 工作液的选择        | 630        |
| 3.2 玻璃管的确定        | 630        |
| 4 液柱式压力计的误差分析及其修正 | 630        |
| 4.1 温度误差          | 630        |
| 4.2 重力加速度误差       | 630        |
| 4.3 毛细现象误差分析及其修正  | 630        |
| <b>第3章 弹性式压力表</b> | <b>631</b> |
| 1 弹性式压力表的分类及特点    | 631        |
| 2 弹性式压力表的结构及工作原理  | 631        |
| 2.1 弹簧管压力表        | 631        |
| 2.2 膜片压力表         | 632        |
| 2.3 膜盒压力表         | 632        |
| 2.4 波纹管压力表        | 632        |
| 3 弹性式压力表的设计       | 632        |
| 3.1 常用材料          | 632        |
| 3.2 常用的传动机构       | 633        |
| 3.3 常用的附件         | 633        |
| 4 常见弹性压力仪表及其技术指标  | 634        |
| 4.1 普通压力表         | 634        |
| 4.2 精密压力表         | 634        |
| 4.3 隔膜压力表         | 634        |
| <b>第4章 负荷式压力计</b> | <b>636</b> |

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| 1 负荷式压力计的分类及特点          | 636        |
| 2 负荷式压力计的结构及工作原理        | 636        |
| 2.1 活塞式压力计              | 636        |
| 2.2 浮球式压力计              | 636        |
| 2.3 钟罩式微压计              | 637        |
| 3 活塞式压力计的误差分析           | 637        |
| 4 常见负荷式压力计及其性能指标        | 637        |
| <b>第5章 压力传感器</b>        | <b>639</b> |
| 1 电阻应变片压力传感器            | 639        |
| 1.1 应变片及其应变效应和压阻效应      | 639        |
| 1.2 电阻应变片压力传感器的结构       | 639        |
| 1.3 电阻应变片压力传感器的测量桥路及其补偿 | 642        |
| 1.4 常见电阻应变片变送器及其技术参数    | 644        |
| 2 压电式压力传感器              | 645        |
| 2.1 压电式压力传感器的工作原理       | 645        |
| 2.2 压电式压力传感器的测量电路       | 646        |
| 2.3 常见压电式压力传感器及其技术参数    | 646        |
| 3 电容式压力传感器              | 647        |
| 3.1 电容式压力传感器的结构及工作原理    | 647        |
| 3.2 电容式压力传感器的测量电路       | 648        |
| 3.3 电容式压力传感器设计原则        | 650        |
| 3.4 常见电容式压力传感器及其技术参数    | 651        |
| 4 电感式压力传感器              | 652        |
| 4.1 电感式压力传感器的工作原理       | 652        |
| 4.2 电感式压力传感器的测量电路       | 653        |
| 4.3 差动自感式压力传感器的设计       | 654        |
| 4.4 常见电感式压力传感器及其技术参数    | 655        |
| 5 霍尔压力传感器               | 655        |
| 5.1 霍尔压力传感器的结构及工作原理     | 655        |
| 5.2 霍尔压力传感器的测量电路及其技术参数  | 657        |
| 6 振弦式压力传感器              | 658        |
| 6.1 振弦式压力传感器的结构及工作原理    | 658        |
| 6.2 振弦式压力传感器的测量电路       | 659        |