



石油化工仪表自动化培训教材



测量仪表

《石油化工仪表自动化培训教材》编写组 编



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

石油化工仪表自动化培训教材

测量仪表

《石油化工仪表自动化培训教材》编写组 编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书是《石油化工仪表自动化培训教材》的分册。全书共分两篇。第一篇讲述了过程测量仪表基本知识和误差基本理论,详细介绍了生产过程中压力、物位、流量、温度四大参数的测量原理、仪表构成,以及每一种参数各种不同的测量方法及特点、使用过程中的注意事项。第二篇具体介绍了压力变送器安装、维护及故障处理方法;高准质量流量计安装、组态、投用步骤;电磁流量计工作原理、参数设置与选型,以及常见故障处理。

该书由企业从事自动化操作与管理的技术人员执笔。实用性强,通俗易懂,可作为企业自动化专业的培训教材;亦可供自动化设备与装置技术人员和操作人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

测量仪表 / 《石油化工仪表自动化培训教材》编写组
编. —北京: 中国石化出版社, 2009
石油化工仪表自动化培训教材
ISBN 978 - 7 - 80229 - 996 - 2

I. 测… II. 石… III. 石油化工 - 测量仪表 - 技术培训 -
教材 IV. TE967

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 122455 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

[http://www. sinopec - press. com](http://www.sinopec - press. com)

E - mail: press@sinopec. com. cn

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 12.25 印张 307 千字

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

定价: 30.00 元

圣才学习网图书目录

(说明:详细书目参见圣才图书网 www.1000book.com)

国内经典教材习题详解系列 【经济类】

1. 高鸿业《西方经济学(微观部分)》(第4版)笔记和习题详解
2. 高鸿业《西方经济学(宏观部分)》(第4版)笔记和习题详解
3. 逢锦聚《政治经济学》(第3版)笔记和习题详解
4. 黎诣远《西方经济学》(第2版)笔记和习题详解(附历以宁《西方经济学》课后习题答案)
5. 宋承先《现代西方经济学》(第3版)笔记和课后习题详解
6. 尹伯成《西方经济学简明教程》(第5版)笔记和课后习题详解
7. 《政治经济学》(程恩富版、蒋学模版)课后习题详解
8. 《政治经济学》(于长春版、宋涛版)课后习题详解
9. 曼昆《经济学原理》(第2、3和4版)笔记和课后习题详解
10. 萨缪尔森《经济学》(第18版)笔记和课后习题详解
11. 斯蒂格利茨《经济学》(第3版)笔记和课后习题详解
12. 范里安《微观经济学:现代观点》(第6版)笔记和课后习题详解
13. 平狄克《微观经济学》(第6版)笔记和课后习题详解
14. 范里安《微观经济学(高级教程)》(第3版)课后习题和强化习题详解
15. 平新乔《微观经济学十八讲》课后习题和强化习题详解
16. 尼克尔森《微观经济理论-基本原理与扩展》(第9版)笔记和课后习题详解
17. 曼昆《宏观经济学》(第4和5版)笔记和课后习题详解
18. 多恩布什《宏观经济学》(第6、7和8版)笔记和课后习题详解
19. 布兰查德《宏观经济学》(第2版)笔记和课后习题详解
20. 萨克斯《全球视角的宏观经济学》笔记和课后习题详解
21. 罗默《高级宏观经济学》(第1和2版)课后习题详解
22. 巴罗《宏观经济学》(第5版)笔记和课后习题详解
23. 帕金《经济学》(第8版)笔记和课后习题详解

【金融类】

1. 黄达《金融学》笔记和习题详解
2. 博迪《金融学》笔记和课后习题详解
3. 博迪《投资学》(第6版)笔记和课后习题详解
4. 米什金《货币金融学》(第7版)笔记和课后习题详解
5. 赫尔《期权、期货和其他衍生品》(第5版)笔记和课后习题详解
6. 罗斯《公司理财》(第7版)笔记和课后习题详解
7. 罗森《财政学》(第7版)笔记和课后习题详解
8. 《金融学(货币银行学)》课后习题详解

9. 《国际金融学》课后习题详解

【管理类】

1. 周三多《管理学》笔记和习题详解
2. 罗宾斯《管理学》(第7版)笔记和课后习题详解
3. 罗宾斯《组织行为学》(第10版)笔记和课后习题详解
4. 德斯勒《人力资源管理》(第9版)笔记和课后习题详解
5. 科特勒《营销管理》(第11版)笔记和课后习题详解
6. 科特勒《市场营销原理》(第11版)笔记和课后习题详解

【公共管理类】

1. 张国庆《公共行政学》(第3版)笔记和课后习题详解
2. 《公共管理学》经典教材课后习题详解

【贸易类】

1. 《国际贸易》经典教材课后习题详解
2. 《国际经济学》经典教材课后习题详解
3. 克鲁格曼《国际经济学》(第6版)笔记和课后习题详解

【心理类】

●心理学公共课(师范类院校的必修课,通常为考查)

1. 《心理学(修订本)》(人教版)笔记和习题详解
配套教材:《心理学(修订本)》高等学校文科教材,人民教育出版社师范教材中心,人民教育出版社
2. 《心理学(第三版)》(人教版)笔记和习题详解
配套教材:《心理学(第三版)》全国高等师范院校公共课教材,人民教育出版社
3. 《心理学基础(第2版)》(科教版)笔记和习题详解
配套教材:《心理学基础(第2版)》十一五教材、高等师范院校公共课心理学教材,全国十二所重点师范大学联合编写,科学教育出版社

●普通心理学

1. 《普通心理学》笔记和习题详解
配套教材有:彭聃龄主编的《普通心理学》(修订版),北京师范大学出版社
2. 《普通心理学》(华东师大版)笔记和习题详解
配套教材:《普通心理学(第三版)》,梁宁建,华东师范大学出版社
3. 《心理学导论》(人教版)笔记和习题详解
配套教材:《心理学导论(第二版)》,黄希庭,人民教育出版社,国家级精品课程
4. 《心理学与生活》笔记和习题详解
配套教材:《心理学与生活》(第16版),【美】理查德·格里格著,王垒、王甦等译,人民邮电出版社

●教育心理学

1. 《发展与教育心理学》笔记和习题详解
配套教材有:林崇德主编的《教育心理学》(冯忠良等著,人民教育出版社)、陈琦和刘儒德主编的《当代教育心理学》(北京师范大学出版社)

● 实验心理学

1. 《实验心理学》笔记和习题详解

配套教材有：《实验心理学》（朱滢，北京大学出版社）、《实验心理学》（张春兴主编、杨治良著，浙江教育出版社）、《实验心理学》（孟庆茂、常建华编著，北京师范大学出版社）、《实验心理学纲要》（张学民、舒华编著，北京师范大学出版社）

● 心理测量与统计

1. 《心理与教育测量学》笔记和习题详解

配套教材有：戴海琦主编的《心理与教育测量（修订本）》（暨南大学出版社）、金瑜主编的《心理测量》（华东师范大学出版社）

2. 《心理与教育统计学》笔记和习题详解

配套教材有：《现代心理与教育统计学》，张厚粲、徐建平著，北京师范大学出版社

【教育类】

● 教育学

1. 《教育学原理》笔记和习题详解

配套教材有：王道俊、王汉澜主编《教育学（新编本）》（人民教育出版社）、全国12所重点师范大学联合编写的《教育学基础》（教育科学出版社）、孙喜亭著的《教育原理》（北京师范大学出版社）

2. 《教育学基础》笔记和习题详解

配套教材：全国十二所重点师范大学联合编写《教育学基础》，教育科学出版社

3. 《教育学》笔记和习题详解

配套教材：王汉澜、王道俊《教育学（新编本）》，人民教育出版社

4. 《当代教育学》笔记和习题详解

配套教材：袁振国《当代教育学（2004年修订版）》，教育科学出版社

● 中外教育史

1. 《中国教育史》笔记和习题详解

配套教材：以考研大纲为蓝本，参考多种《中国教育史》的经典教材

2. 《中国教育史》笔记和习题详解

配套教材：孙培青《中国教育史》，华东师范大学出版社

3. 《简明中国教育史》笔记和习题详解

配套教材：王炳照《简明中国教育史（第四版）》，北京师范大学出版社

4. 《外国教育史》笔记和习题详解

配套教材：以考研大纲为蓝本，参考多种《外国教育史》的经典教材

5. 《外国教育史教程》（人教版）笔记和习题详解

配套教材：吴式颖《外国教育史》，人民教育出版社

6. 《外国教育史》（北师大版）笔记和习题详解

配套教材：王天一、夏之莲、朱美玉《外国教育史（修订本 上、下册）》，北京师范大学出版社

● 教育心理学

1. 《教育心理学》笔记和习题详解

配套教材有：林崇德主编的《教育心理学》（冯忠良等著，人民教育出版社）、陈琦和刘儒德主编的《当代教育心理学》（北京师范大学出版社）、皮连生主编的《教育心理学（第三版）》（上海教育出版社）

● 教育研究方法

1. 《教育研究方法》笔记和习题详解

配套教材有：《心理与教育研究方法》（董奇著，北京师范大学出版社）、《教育科学研究方法》（李秉德主编，人民教育出版社）、《教育研究方法》（杨小微主编，人民教育出版社）等

【新闻传播类】（6本）

☞ 考硕考博辅导大系列

● 考研专业课辅导系列（43本）

● 全国名校考研专业课真题题库系列（10本）

● 考研数学辅导系列（6本）

● 教育硕士考试辅导系列（2本）

● 考博英语辅导系列

1. 考博英语全国名校真题详解
2. 考博英语词汇突破
3. 考博英语词汇重难点20天冲刺
4. 题解考博英语词汇核心词汇8000
5. 考博英语阅读理解150篇详解
6. 考博英语翻译及写作真题解析与强化练习
7. 考博英语全真模拟试题详解
8. 考博英语听力真题解析与强化练习
9. 考博英语历年词汇试题解析
10. 考博英语阅读理解试题分类解析
11. 北京大学考博英语真题解析与专项练习
12. 清华大学考博英语真题解析与专项练习
13. 中国人民大学考博英语真题解析与专项练习
14. 复旦大学考博英语真题解析与专项练习
15. 武汉大学考博英语真题解析与专项练习
16. 中国科学院考博英语真题解析与专项练习
17. 全国医学考博英语历年真题及模拟题详解
18. 题解医学考博英语过关必备3000词

● 考博专业课辅导系列（7本）

● 同等学力考试辅导系列（11本）

☞ 外语类考试辅导大系列

● 全国大学生英语竞赛辅导系列

1. 全国大学生英语竞赛A类（研究生）真题及模拟试题详解
2. 全国大学生英语竞赛B类（英语专业）真题及模拟试题详解

3. 全国大学生英语竞赛 C 类(本科生)真题及模拟试题详解

4. 全国大学生英语竞赛 D 类(专科生)真题及模拟试题详解

5. 题解全国大学生英语竞赛过关必备 3000 词

☞ 证券金融类资格考试辅导大系列

● 证券从业资格考试辅导系列

1. 证券市场基础知识过关必做 2000 题
2. 证券市场基础知识过关冲刺八套题
3. 证券交易过关必做 2000 题
4. 证券交易过关冲刺八套题
5. 证券发行与承销过关必做 2000 题
6. 证券发行与承销过关冲刺八套题
7. 证券投资基金过关必做 2000 题
8. 证券投资基金过关冲刺八套题
9. 证券投资分析过关必做 2000 题
10. 证券投资分析过关冲刺八套题

● 期货从业资格考试辅导系列

1. 期货基础知识过关必做 2000 题
2. 期货基础知识过关冲刺八套题
3. 期货法律法规过关必做 1500 题
4. 期货法律法规过关冲刺八套题

● 保荐代表人胜任能力考试辅导系列

1. 证券综合知识辅导教材
2. 证券综合知识过关必做 2000 题
3. 证券综合知识过关冲刺八套题
4. 投资银行业务能力辅导教材
5. 投资银行业务能力过关必做 2000 题
6. 投资银行业务能力过关冲刺八套题

● 基金销售人员从业考试辅导系列

1. 证券投资基金销售基础知识过关必做 2000 题
2. 证券投资基金销售基础知识过关冲刺八套题

● 证券经纪人专项考试辅导系列

1. 证券市场基础过关必做 2000 题
2. 证券经纪业务营销过关必做 2000 题
3. 证券市场基础过关冲刺八套题
4. 证券经纪业务营销过关冲刺八套题

● 金融理财师(AFP/CFP)考试辅导系列

1. 金融理财原理过关必做 2000 题
2. 投资规划过关必做 2000 题
3. 个人风险管理与保险规划过关必做 2000 题
4. 员工福利与退休计划过关必做 1500 题
5. 个人税务与遗产筹划过关必做 1500 题
6. 综合案例分析过关必做 1000 题
7. 金融理财管理(EFP)考试辅导教材
8. 金融理财管理(EFP)过关必做 2000 题
9. 金融理财管理(EFP)过关冲刺八套题

● 国家理财规划师(ChFP)认证考试辅导系列

1. 理财规划师基础知识过关必做 2000 题

2. 助理理财规划师专业能力过关必做 1500 题

3. 理财规划师专业能力过关必做 1500 题

● 中国银行业从业人员资格认证考试辅导系列

1. 公共基础过关必做 2000 题
2. 公共基础过关冲刺八套题
3. 个人理财过关必做 2000 题
4. 个人理财过关冲刺八套题
5. 风险管理过关必做 2000 题
6. 风险管理过关冲刺八套题
7. 公司信贷过关必做 1000 题
8. 个人贷款过关必做 1000 题

● 金融英语证书考试(FECT)辅导系列(3 本)

● CFA 考试辅导系列(13 本)

☞ 保险类资格考试辅导大系列

● 保险代理人/保险经纪人/保险公估人资格考试辅导系列

1. 保险代理从业人员资格考试过关必做 1500 题
2. 保险经纪相关知识与法规过关必做 1000 题
3. 保险公估相关知识与法规过关必做 1000 题
4. 保险原理与实务过关必做 1500 题
5. 保险代理从业人员资格考试过关冲刺八套题
6. 保险公估从业人员资格考试过关冲刺八套题
7. 保险经纪从业人员资格考试过关冲刺八套题

☞ 精算师资格考试辅导大系列

● 中国精算师考试辅导系列(8 本)

☞ 管理类资格考试辅导大系列

● 企业人力资源管理师考试辅导系列

1. 企业人力资源管理师(二级)过关必做习题集
2. 企业人力资源管理师(三级)过关必做习题集
3. 企业人力资源管理师(四级)过关必做习题集

● 物流师职业资格认证考试辅导系列

1. 现代物流概论过关必做习题集 [初级、中级、高级通用]
2. 物流实务过关必做习题集 [初级]
3. 物流管理过关必做习题集 [中级]
4. 物流系统工程过习题集 [高级]

● 质量专业技术人员职业资格考试辅导系列

1. 质量专业基础知识与实务(初级)过关必做 1500 题(含历年真题)
2. 质量专业综合知识(中级)过关必做 1500 题(含历年真题)
3. 质量专业理论与实务(中级)过关必做 1500 题(含历年真题)

☞ 统计类资格考试辅导大系列

● 统计从业资格考试辅导系列

1. 统计基础知识与统计实务历年真题与过关必做 600 题

详解

2. 统计法基础知识历年真题与过关必做 300 题详解

• 全国统计专业技术资格考试辅导系列

初级：助理统计师

1. 统计学和统计法基础知识(初级)历年真题与过关必做 600 题详解

2. 统计专业知识和实务(初级)历年真题与过关必做 300 题详解

中级：统计师

1. 统计基础理论及相关知识(中级)历年真题与过关必做 600 题详解

2. 统计工作实务(中级)历年真题与过关必做 600 题详解

☞ 外贸类资格考试辅导大系列

• 全国国际商务单证员考试辅导系列

1. 国际商务单证基础理论与知识过关必做习题集

2. 国际商务单证缮制与操作过关必做习题集

3. 全国国际商务单证员考试历年真题详解

• 全国国际货运代理从业人员岗位专业证书考试辅导系列

1. 国际货运代理理论与实务过关必做习题集

2. 国际货运代理专业英语(含英文单证)过关必做习题集

3. 全国国际货运代理从业人员岗位专业证书考试历年真题详解

☞ 全国经济专业技术资格考试辅导系列

• 全国经济专业技术资格初级考试辅导系列

1. 《经济基础知识(初级)过关必做 1500 题》

2. 《工商管理专业知识与实务(初级)过关必做 1000 题》

3. 《财政税收专业知识与实务(初级)过关必做 1000 题》

4. 《金融专业知识与实务(初级)过关必做 1000 题》

5. 《人力资源管理专业知识与实务(初级)过关必做 1000 题》

• 全国经济专业技术资格中级考试辅导系列

1. 《经济基础知识(中级)过关必做 1500 题》

2. 《工商管理专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

3. 《农业经济专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

4. 《商业经济专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

5. 《财政税收专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

6. 《金融专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

7. 《保险专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

8. 《运输经济(公路)专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

9. 《人力资源管理专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

10. 《邮电经济专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

11. 《房地产经济专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

12. 《旅游专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

13. 《建筑经济专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

☞ 国家职业资格全国统一鉴定考试辅导大系列
• 公共课

1. 职业道德过关必做 2000 题

• 全国社会工作者职业水平考试辅导系列

1. 社会工作综合能力(初级)过关必做 1000 题

2. 社会工作实务(初级)过关必做 1000 题

3. 社会工作综合能力(中级)过关必做 1000 题

4. 社会工作实务(中级)过关必做习题集

5. 社会工作法规与政策过关必做 1000 题

☞ 医学类资格考试辅导大系列

• 国家执业医师资格考试辅导系列(10 本)

• 国家执业药师资格考试辅导系列(2 本)

• 全国卫生专业技术资格考试辅导系列(16 本)

☞ 心理咨询师考试辅导系列

1. 心理咨询师理论知识过关必做 2000 题

2. 心理咨询师(三级)真题详解及强化习题

3. 心理咨询师(二级)真题详解及强化习题

☞ 教师资格考试辅导系列(8 本)

☞ 工程类资格考试辅导大系列

• 全国注册建造师考试辅导大系列(7 本)

• 全国注册土木工程师(岩土)考试辅导系列(3 本)

• 全国注册结构工程师考试辅导大系列(3 本)

• 全国造价工程师考试辅导系列(6 本)

• 全国注册安全工程师考试辅导系列(4 本)

购买图书请联系

中国石化出版社读者服务部

地址：北京安定门外大街 58 号

电话：010-84289974(兼传真)

前 言

随着石油化工生产装置的日趋大型化、连续化，企业对生产过程参数自动检测和控制在要求越来越高。在计算机技术广泛应用到检测仪表和自动控制系统后，检测仪表日趋智能化，控制系统向着冗余容错技术发展，现场总线技术已经在大型石油化工装置上得到成功应用。石化企业为炼油改造、乙烯二轮改造、资源优化等项目的实施，新增了一大批新型的检测仪表和控制系统，急需提高仪表专业技术人员和检维修人员的技术素质，以适应生产装置自动化程度不断提高的需求，现有的教材已经不能适应现实需求。

为提高仪表工程技术人员先进控制系统的应用能力，提高仪表维护人员的维护水平和故障处理能力，我们组织了《石油化工仪表培训系列教材》的编写工作。该系列教材共分九册：《自动控制基础理论》、《测量仪表》、《调节阀与阀门定位器》、《可编程序控制器》、《集散控制系统及现场总线》、《安全仪表控制系统(SIS)》、《旋转机械状态监测及控制系统》、《在线分析仪表》和《仪表及控制系统故障案例》。在教材中，除简要介绍了自动检测、自动控制基础知识外，重点讲述了常用检测仪表、在线分析仪表、控制系统(DCS、SIS、PLC、ITCC)的原理、使用方法和日常维护知识，并收集了近年来发生的仪表及控制系统故障案例与技术分析。该教材既可作为各炼化企业仪表专业人员培训教材，亦可供仪表专业工程技术人员和现场维护人员参考使用。

本教材编写组由齐鲁公司设备管理部、人力资源部、培训中心和各生产厂的管理人员、教师和工程技术人员组成，参与策划及审定的人员有王玉岗、李建民、潘慧、张会国、张道强、赵业文、王昌德、慕晓红、孙庆玉、卞洪良、苏耀东、赵林、生显林、张慧、徐磊、徐纪恩、张景春等，另有齐鲁公司各单位共计30余人也参加了编写工作。同时，还得到了各单位和车间的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

《测量仪表》共分两篇：第一篇讲述了过程测量仪表基本知识和误差基本理论，详细介绍了生产过程中压力、物位、流量、温度四大参数的测量原理、仪表构成，以及每一种参数各种不同的测量方法及特点、使用过程中的注意事项。第二篇具体介绍了罗斯蒙特和EJA压力变送器安装、维护及故障处理方法；高准质量流量计安装、组态、投用步骤；横河电磁流量计工作原理、参数设置与选型，以及常见故障处理。

参加本册编写的有孙庆玉、范文中、庄寿臣、黄德智、王利军、孟国庆、郭庆、王昌德、慕晓红等。

由于水平有限，不足及错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
----------	-------

第一篇 测量仪表理论基础

第一章 测量仪表基础知识	(3)
第一节 测量的概念	(3)
第二节 测量误差及处理	(4)
第三节 检测仪表的组成与分类	(8)
第四节 检测仪表的性能指标	(10)
第二章 压力检测仪表	(15)
第一节 概述	(15)
第二节 弹性式压力计	(17)
第三节 压阻式压力传感器	(21)
第四节 电容式差压变送器	(24)
第五节 智能型压力(差压)变送器	(26)
第六节 压力计的选择、校验与安装	(30)
第三章 物位检测仪表	(35)
第一节 概述	(35)
第二节 直读式液位计	(36)
第三节 浮力式液位计	(37)
第四节 差压式液位计	(46)
第五节 电容式物位计	(49)
第六节 雷达物位计	(52)
第七节 超声波式液位计	(56)
第四章 流量检测仪表	(59)
第一节 概述	(59)
第二节 差压式流量计	(60)
第三节 转子流量计	(69)
第四节 容积式流量计	(75)
第五节 漩涡流量计	(83)
第六节 质量流量计	(89)
第七节 电磁流量计	(93)
第八节 叶轮式流量计	(99)
第九节 超声波流量计	(103)
第五章 温度检测	(108)

第一节	概述	(108)
第二节	膨胀式温度计	(110)
第三节	热电偶温度计	(111)
第四节	热电阻温度计	(122)

第二篇 典型测量仪表应用

第一章	罗斯蒙特 3051 压力变送器	(125)
第一节	变送器的主要性能	(125)
第二节	变送器的安装	(126)
第三节	变送器组态	(132)
第四节	变送器使用和维护	(140)
第五节	故障处理及检修	(146)
第二章	EJA 智能压力变送器	(149)
第一节	基本情况介绍	(149)
第二节	变送器的安装	(152)
第三节	导压管的配装	(154)
第四节	变送器配线	(157)
第五节	变送器操作	(159)
第六节	智能终端 BT200 操作	(162)
第七节	变送器维修	(166)
第三章	高准质量流量计	(170)
第一节	传感器	(170)
第二节	仪表接线与上电	(171)
第三节	流量计组态	(176)
第四节	流量计投用及报警状态	(181)
第四章	横河电磁流量计	(183)
第一节	工作原理及安装注意事项	(183)
第二节	电磁流量计的选型	(184)
第三节	电磁流量计的参数设置	(188)
第四节	电磁流量计应用中常见故障的处理	(189)
参考文献	(190)

绪 论

在石油、冶金、化工、电站、供热、燃气输配及轻工、制药、食品等行业的生产过程中，所处理的介质一般是液态、气态流体。对这些液体的处理，往往是在密闭的设备、管道中连续进行的。只有借助于检测仪表与自动化装置进行检测和控制，才能正确地监控设备运行，指导生产操作。由于生产规模不断扩大，需要测控的工艺参数逐渐增多，只靠人工测量、手动操作已经无法适应现代工业生产的要求。为了确保安全生产，提高生产效率，改善劳动条件，必须把生产中的各项工艺参数控制在最佳值，使生产设备在最佳状态下自动地运行，即实现生产过程的自动化，而实现生产过程自动化的基础就是过程参数检测。

一、生产过程自动化与检测仪表

所谓生产过程自动化，是指在流程性、连续性的生产过程中，综合运用控制理论、检测仪表、计算机技术和其他技术，实现对生产过程的检测、控制、优化、调度、管理和决策，达到增加产量、提高质量、降低消耗、确保安全等目的的一类综合性技术。简言之，生产过程自动化就是在生产过程中，用自动化仪表来检测、控制生产的方法。由此形成的自动化产业具有技术密集、高投入和高效益等显著特征，是典型的高技术产业。

目前，我国各行业中，生产过程自动化技术已经得到了广泛的应用，仪表自动化已成为生产过程中必不可少的重要技术手段。工业生产对仪表自动化的依赖日益加重，特别是计算机技术、通信技术、微电子技术在自动化领域中的应用，提高了自动化系统和仪表的性能，提供了更有效的控制手段。

因此，对于从事生产过程自动化方面的技术人员，除了必须深入了解和熟悉生产工艺外，还必须学习和掌握自动化仪表方面的知识，这对于控制和管理工业生产过程是十分必要的。

一般地说，生产过程自动控制系统，由被控制对象(生产设备及流程)、检测仪表、控制仪表和执行机构(如调节阀)四个基本部分组成。其中检测仪表是过程控制系统的重要组成部分，不管采用何种控制方法、使用何种控制系统，检测仪表的功能是不能被取代的。检测仪表的性能是构成控制系统品质的基本要素。因此，掌握各种检测仪表的结构原理、性能特点是非常重要的。

二、过程检测仪表的作用与发展前景

检测意为检验测定，是指在工业生产过程中，为及时监视、控制生产过程，而对生产工艺参数进行的定性检查和定量测量的过程。因此，检测是意义更为广泛的测量，但通常我们所说的检测一般是指测量。实现生产过程参数检测的装置称为过程检测仪表。

现代工业生产过程中，检测技术几乎无所不在。检测仪表被广泛地应用于石油、化工、冶金和热电等国民经济各个重要的部门和领域。可以说现代工业生产离不开现代检测技术。

检测仪表既可以相对完事的形态出现，专具检测功能，如各种参数的就地指示仪表，能远传信号的变送器、传感器与显示记录仪、数据采集装置、计算机构成的自动检测系统。也可以出现在自动控制系统中，用于为控制器提供测量信号，反映被控参数的变化，或者兼而有之。

随着人类社会进入信息时代，以信息的获取、转换、显示和处理为主要内容的检测技术已经发展成为一门完整的技术学科，在促进生产发展和科技进步的过程中发挥着重要的作

用。过程检测仪表的作用主要表现在以下几个方面：

(1) 过程检测仪表是现代工业生产过程中产品检验和质量控制的重要工具。在传统检测技术基础上发展起来的在线检测技术，使检测与生产同时进行，并及时地利用检测结果对生产过程进行控制，使之适应生产条件的变化，自动地调整到最佳状态。因此，检测的作用不只是检查和监督，还要参与生产过程控制，从而进入质量控制的领域。

(2) 过程检测仪表在生产设备安全运行监测中应用广泛。在石油、炼油、化工、电力、供热等行业的生产设备通常在高温、高压状态下运行，保障生产过程中关键设备的安全运行具有重大意义。为此需要对设备的状态参数进行长期的动态监测，以便及时发现异常情况，达到早期诊断、故障预防的目的，以避免严重的突发事件，保障设备和人身安全，提高经济效益。

(3) 自动检测仪表与系统是自动控制系统中不可缺少的组成部分。在生产过程中，为了对生产过程和设备进行有效的控制，首先必须通过检测系统获取生产工艺参数和设备状态信息，然后才能进行分析、判断和控制。在实现自动化的过程中，对生产参数、设备状态等信息的获取与转换是极其重要的环节。只有准确、及时地将控制对象的各项参数检测出来，并转换成自动化装置及仪表能够识别和处理的信号，整个系统才能正常地工作，技术人员才能通过显示、记录仪表了解生产状况。因此，自动检测仪表与系统被形象地比喻为自动化系统的“眼睛”。

科学技术的迅猛发展，为检测仪表的现代化创造了条件，也促进了检测技术及仪表的发展。人们不断地将所发现的新的测量原理、新型材料和新的加工工艺用于制造现代检测仪表。随着新技术的不断涌现，特别是先进检测技术、现代传感器技术、计算机技术、网络技术和多媒体技术的出现，使传统检测技术及仪表发生了革命性的变化，产生了多传感器复合检测技术、微机械量检测技术、检测信息的融合处理技术。智能传感器和仪表、计算机多媒体化的虚拟仪表、现场总线和网络化仪表也如雨后春笋般不断涌现。检测与控制仪表步入了小型化、集成化、智能化和网络化的时代。

利用现代微电子技术和微加工技术制作的检测元器件，例如采用扩散硅和蚀刻技术制作的谐振硅压力测量敏感元件，可直接将压力信号转换成电信号，可以取代传统的检测元件及机械传动机构。微处理器在检测仪表中的应用，使检测仪表进一步小型化、电子化，结构更为小巧，功能更为强大。

检测仪表的集成化是另一个重要的发展趋势。将现代半导体制作工艺与集成电路制作技术相结合，更多地利用半导体材料将检测敏感元件和信息处理电路集成在一起，组成所谓的固态传感器。集成化的前提是电子化，由于可以将诸如信号输入电路、信号调制、功率放大、线性化处理、通信功能等模块都集成在一块芯片上，从而极大地缩小了仪表电子电路的体积，并且使仪表的性能更高、更稳定。

目前，利用单片机等微处理器技术进行信号处理的智能化仪表得到了迅猛发展。智能化仪表具备了数据计算和逻辑分析能力，仪表的功能增加、性能提高，使用更加灵活方便。除具有检测功能外，还具有计算、显示、报警、控制、诊断等功能。

在传统的检测控制系统中，大多采用标准制式的电流信号进行信号的远传，构成各种控制系统。随着网络技术的发展，尤其是现场总线进入到现场测控单元后，改变了常规的连接模式。各种仪表均可挂在一条网络线路上，以数字信号取代模拟电流信号进行传递，这样，既大大节省了线路的连接，同时也使得现场仪表实现了网络化。

第一篇 测量仪表理论基础

第一章 测量仪表基础知识

在化工生产过程中，为了有效地进行生产操作和自动控制，需要对工艺生产过程中的压力、物位、流量、温度等参数和产品的成分及物性进行自动检测。为满足工业生产过程的检测要求，尽可能地获得参数的真实值，需要对检测方法、检测系统的性能、测量误差及测量数据的处理等基础知识进行学习和讨论，以便有效地实施测量。

第一节 测量的概念

一、测量的定义

所谓测量，就是用实验的方法，借助专门仪器或设备，把被测量物理量(被测量)与同性质的单位标准量(测量单位)进行比较，得到被测量相对于标准量的倍数，从而确定被测量数值大小的过程。用数学公式可表示为

$$X = X_m V \quad (1-1-1)$$

式中 X ——被测量；

V ——测量单位；

X_m ——倍数值。

测量结果，即测量值，包括被测量的大小 X_m 、符号(正或负)及测量单位，也就是测量单位与倍数值乘积。

例如，我们要测量一个物体的长度，可以将一把测量单位为 mm 的直尺与被测量物体的两端比较。看物体两端对应于直尺所包含的 mm 刻度格的数量，如 100，则表明物体有 100mm 长。该数值即为测量值。

实际上，绝大多数被测变量是无法借助于像直尺这样的测量工具直接进行比较而完成测量的。往往需要将被测变量进行转换，将其转换成另外一个便于比较的量，并与被测量成正比或具有确定的函数关系。例如，玻璃体温计是利用下端玻璃泡里水银的热膨胀效应，将温度换成体积，膨胀的水银在温度计上方连通的毛细管里被转换成水银柱高度，与同时被转换成高度的温度测量单位——温度刻度值比较，就可以得到被测温度值。

所有用指针指示测量值的仪表，都必须利用某些物理、化学效应，将被测量转换为便于比较的信号形式(如指针位移)，并把单位标准量转换成标尺刻度，指针位置对应的刻度示值就是包含单位标准量的倍数，即为测量值。

所以说，测量过程都是将被测参数与其相应的测量单位进行比较的过程。测量过程实质上就是将测量与体现测量单位的标准量比较，对被测参数信号形式转换的过程，而检测仪表就是实现这种比较的工具。

二、测量方法

实现测量的方法很多,对于不同的测量参数和检测系统需采用最适合的测量方法,才能取得最佳的测量结果。如果按测量敏感元件是否与被测介质接触,可以将测量方法分为接触式测量和非接触式测量;按检测系统的结构分类,可分为开环式测量、反馈型闭环测量等。以下仅介绍按测量原理分类的几种测量方法:

1. 偏差法

偏差法是用测验仪表的指针相对于仪表刻度零位的位移(偏差)量直接表示被测量大小,如弹簧秤、压力表、体温表、体温计等指示式仪表。偏差法测量方式属于开环测量方式,仪表刻度是预先用标准仪器标定好的,测量结果的好坏取决于测量元件和转换放大环节的性能。偏差法测量的特点是直观、简便、速度快,相应的仪表结构简单,测量准确度较低,测量范围小。

2. 零位法

零位法是将被测量与已知标准量进行比较,当二者差值为零时,由标准量的值即可确定被测量的大小。零位法属于反馈型闭环检测方法,如用天平测量物体质量的方法就是零位法。在现代仪表中,零位法的平衡操作已经全自动完成了,如电子电位差计等就是如此。零位法测量具有测量准确度高、测量过程复杂等特点,不适用于测量快速变化的参数。

3. 微差法

微差法是将偏差法和零位法组合使用的一种测量方法。测量过程中将被测量的大部分用标准量平衡,而剩余部分采用偏差法测量。利用不平衡电桥测量热电阻的变化即是如此,桥路中被测电阻的静态电阻使电桥处于平衡状态,而热电阻的电阻变化量使电桥失去平衡,产生相应的电压输出,被测热电阻的大小等于其静态电阻与用电桥输出电压确定的电阻变化量之和。微差法具有测量准确度高、反应速度快等特点。

第二节 测量误差及处理

测量的目的是希望能正确地反映被测参数的真实值。但是,由于测量方法的局限性、检测仪表本身的质量缺陷、测量环境的干扰和测量者主观因素的影响,无论怎样努力,都不可能使测量结果绝对准确,而只能尽量接近真实值。测量值与真实值之间始终存在着一定差值,这一差值就是测量误差。要在测量数据中消除测量误差,甄选出真实结果,需要对测量数据进行处理。

真实值是一个理想的概念,因为测量值不能绝对准确地反映被测参数的真实值,真实值往往是不可知的。实际测量过程中,一般是把以下各值作为真实值:

(1) 约定真值 即是把国际公认的某些基准量(如长度、质量、时间等)作为真实值。例如规定在一个物理大气压下,水在气、液、固共存的三相点的温度为 100°C ,所指的就是约定真值。

(2) 相对真值 即利用准确度较高的标准仪表的指示值作为被测参数的真实值,称为相对真值。而测量误差通常就是检测仪表的指示值与标准仪表的指示值之差。

(3) 理论真值 即理论设计和理论公式的表达值,如平面三角形的内角之和恒为 180° 。

一、测量误差的形式

所谓误差,就是某一被测量的测量值与客观真实值之差。测量的目的是希望能正确地反

映被测参数的真实值，测量值与真实值之间始终存在着一定差值，这一差值成为测量误差。一个测量结果，只有知道其测量误差或指明其误差范围时，此结果才有意义。

测量误差通常用绝对误差、相对误差和引用误差表示。

1. 绝对误差

绝对误差 e_a ，是仪表的指示值 X 与真实值 X_t 之间的代数差，即

$$e_a = X - X_t \quad (1-1-2)$$

绝对误差有符号和单位，它的单位与被测量相同。引入绝对误差后，测量结果可以修正为

$$X_t = X - e_a = X + C \quad (1-1-3)$$

式中 $C = -e_a$ ，称为修正值。在计量工作中，通常采用加修正值的方法保证测量值准确可靠。仪表经上级计量部门检定的主要目的就是获得一个修正值，以便在测量过程中消除测量误差。

绝对误差的大小可以反映仪表指示值接近真实值的程度，但不能反映不同测量值的可信程度。例如，测量锅炉炉膛温度时，若炉温为 100°C ，绝对误差为 1°C 时，可以认为已经很准确了；而测量人体温度时，若体温为 37°C ， 0.5°C 的绝对误差就显得很大了。所以，仅凭绝对误差的大小无法判断测量结果的可信程度，例如上述测量结果前者的绝对误差虽然比后者大，但它相对于被测量却显得较小，为此引入了相对误差的概念。

2. 相对误差

相对误差 e_r 是检测仪表的绝对误差和“真实值”之比，常用百分数表示，即

$$e_r = \frac{e_a}{X_t} \times 100\% \quad (1-1-4)$$

相对误差越小，说明测量结果的可信度越高。相对误差可以用来判断测量结果的准确程度，比如上例中，测量加热炉温度时的相对误差为

$$e_r = \frac{1}{1000} \times 100\% = 0.1\%$$

测量人体温度时的相对误差为

$$e_r = \frac{0.5}{37} \times 100\% = 1.35\%$$

很显然，前一个测量结果更准确可信。

3. 引用误差

检查仪表的绝对误差 e_a 与仪表的量程 S_p 之比的百分数，称为引用误差，可以表示为

$$e_q = \frac{e_a}{S_p} \times 100\% \quad (1-1-5)$$

式中， $S_p = X_{\max} - X_{\min}$ 为仪表的量程，即仪表测量范围的上限值 X_{\max} 与下限值 X_{\min} 之差。

显然，具有相同绝对误差的两台仪表，量程大的仪表的引用误差小于量程小的仪表。引用误差可以表示检测仪表的准确程度，引用误差小，表明仪表产生的测量误差相对较小，测量结果相对可信度高。在实际应用时，通常采用最大引用误差来描述仪表的性能，称为仪表的满度误差，一般在误差值后标注字母 $F \cdot S$ 表示，即

$$e_{q\max} = \frac{e_{\max}}{S_p} \times 100\% (F \cdot S) \quad (1-1-6)$$

二、测量误差的分类

除了按测量误差的形式分为绝对误差、相对误差外，按误差的测量条件可分为基本误差

和附加误差，按误差的变化速度分为静态误差和动态误差。

基本误差是仪表在规定条件下(如温度、湿度、电源电压、频率等)，仪表本身具有的误差，其最大值不超过允许最大绝对误差。附加误差是当仪表偏离规定工作条件时所产生的新误差。仪表所产生的总误差为基本误差与附加误差之和。

在测量过程中，测量误差按其产生的原因不同，可以分为以下三类。

1. 系统误差

系统误差是在相同测量条件下，多次测量同一被测量时，测量结果的误差大小与符号均保持不变或按某一确定规律变化的误差。它是由于测量过程中仪表使用不当或测量时外界条件变化等原因所引起的。

必须指出，单纯地增加测量次数无法减少系统误差对测量结果的影响，但在找出产生误差的原因之后，便可通过对测量结果引入适当的修正值而加以消除。

2. 随机误差

随机误差是在相同测量条件下，对参数进行重复测量时，测量结果的误差大小与符号以不可预计的方式变化的误差。随机误差的大小反映对同一测量值多次重复测量结果的离散程度。产生随机误差的原因很复杂，一般是由许多微小变化的复杂因素共同作用的结果。

对单次测量来说，随机误差是没有任何规律的，既不可预测，也无法控制。但对于一系列重复测量结果来说，它的分布服从统计规律。通过统计分析，可以估计测量结果的可信程度，并通过统计处理，减少其影响。一般情况下，产生正负误差的概率通常相等。因此，可以采取多次测量求平均值的方法减小随机误差，取多次测量结果的算术平均值作为最终的测量结果。

3. 粗大误差

粗大误差是测量结果显著偏离被测值的误差，没有任何规律可循。产生粗大误差的主要原因是测量方法不当、工作条件显著偏离测量要求等，但更多的是人为因素造成的，如工作人员在读取或记录测量数据时疏忽大意。带有这类误差的测量结果毫无意义，应予以剔除。

三、测量误差的分析与处理

在测量过程中，如何处理带有未知误差的数据，甄选不同的测量误差，从繁杂的测量数据中筛选出被测变量的真实值，是保证测量质量的关键。分析过程中，一般先分析粗大误差，剔除粗大误差后分析系统误差，对测量结果进行修正，之后对随机误差进行统计分析。

1. 系统误差的分析与处理

系统误差的特性具有确定性、重视性和修正性。通过实验对比，用高准确度的测验仪表校验普通仪表时，可以发现固定不变的系统误差(定值系统误差)。通过对误差大小及符号变化的分析，来判断变化的系统误差(变值系统误差)。但是，通常不容易从测量结果中发现变值系统误差并认识其规律，只能具体问题具体分析，这在很大程度上取决于测量者的知识水平、经验和技巧。

为了减小系统误差的影响，可以从以下几方面入手进行处理：

(1) 消除系统误差产生的根源。合理选择测量方法，校验检测仪表，保证仪表的测量条件，防止产生系统误差。

(2) 在实际测量中，采用一些有效的测量方法，来消除或减小系统误差。可以采用的测量方法有交换法、代替法、补偿法等。

交换法 是将引起系统误差的某些条件相互交换，使产生系统误差的因素对测量结果起

相反的作用，从而在求两次测量结果的平均值时抵消系统误差。如用天平称量时，交换左右秤盘，可以消除天平臂长不同带来的系统误差。

代替法 是在测量条件不变的情况下，用已知标准量代替被测量，得到修正值，达到消除系统误差的目的。

补偿法 是在测量过程中，根据测量条件的变化、仪表某环节的非线性特性带来的系统误差，有针对性地采取补偿措施，自动消除系统误差。

(3) 对测量数据引入修正值以消除系统误差。通过机械调零、应用修正公式、增加自动补偿环节等措施消除系统误差，修正测量结果。

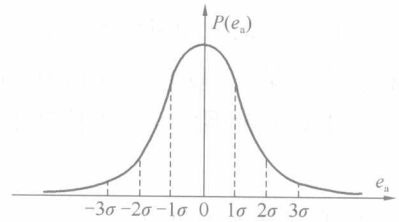


图 1-1-1 随机误差的正态分布

2. 随机误差分析与处理

随机误差在测量次数足够多时，一般呈正态分布规律，具有对称性、有界性和抵偿性，如图 1-1-1 所示。

图中，横坐标为随机误差（绝对误差） $e_a = X - X_t$ ，纵坐标为随机误差出现的概率 $P(e_a)$ 。对于随机误差来说，它对测量结果的影响可以用标准误差（又称均方根误差） σ 表示，即

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_{ai}^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_t)^2}{n-1}} \quad (1-1-7)$$

式中 n ——测量次数（趋于无限）；

$e_{ai} = X_i - X_t$ ——第 i 次测量产生的误差；

X_i ——第 i 次测量值；

X_t ——真实值。

实际情况下，测量次数是有限的，且被测变量的真实值又无法获得，因而实际分析随机误差时，标准误差一般表示为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (1-1-8)$$

式中， $X_i - \bar{X}$ 称为剩余误差； \bar{X} 为测量结果的算术平均值。

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1-1-9)$$

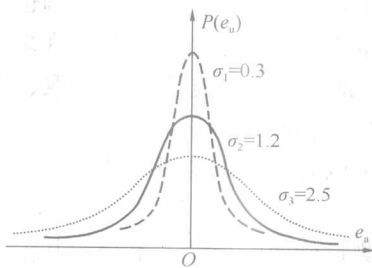


图 1-1-2 σ 值对随机误差分布的影响

标准误差反映测量结果的分散程度，如图 1-1-2 所示。 σ 越小分布曲线越尖锐，小误差出现的概率大，大误差出现的概率小。而 σ 越大分布曲线越平坦，大误差和小误差出现的概率相差不大。

理论计算表明，介于 $(-3\sigma, +3\sigma)$ 之间的随机误差出现的概率为 0.9973，随机误差出现在此区间之外的概率仅为 $1 - 0.9973 = 0.27\%$ 。因此，在 1000 次等准确度测量中，只有可能 3 次随机误差超过 $(-3\sigma, +3\sigma)$ 区间，实际上可以认为这种情况很难发生。