



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12.5" GUIHUA JIAOCAI

热工测量仪表

(第2版)

张华 赵文柱 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

热工测量仪表

(第2版)

张 华 赵文柱 编著

北 京

冶金工业出版社

2013

内 容 提 要

本书详细阐述了温度、压力、流量和物位四大热工参数的测量原理与方法、测量仪表组成与结构、仪表选型与安装、各种仪表的使用注意事项和误差分析等内容,并介绍了测量的物理基础、基本概念、主要测量仪表的应用实例和科研成果。

本书适用于高等院校仪表、自动化、机械、冶金、电力、热能、化工、电气、计算机、航天航空等相关专业,亦可供科研和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热工测量仪表/张华,赵文柱编著.—2版.—北京:冶金工业出版社,2013.12

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6435-6

I. ①热… II. ①张… ②赵… III. ①热工仪表—高等学校—教材 IV. ①TH81

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第286333号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号,邮编100009

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

责任编辑 杨 敏 宋 良 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6435-6

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京百善印刷厂印刷

2006年9月第1版,2013年12月第2版,2013年12月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;24.75印张;666千字;384页

46.00元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

第2版前言

本书第1版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，并于2013年荣获第二届冶金优秀教材一等奖，自2006年出版以来，共印刷8次，发行25000余册，得到了广大师生和科技工作者的一致好评。

本着加强基础、拓宽专业、培养学生的自学能力和知识更新能力的原则，在基本保持第1版体系结构的基础上，结合学科最新进展、读者反馈信息和生产实际需求等，我们对第1版进行了修订。主要修订内容包括：

(1) 为保持教材的高水平特色，根据国内外热工测量仪表的最新研究成果，新增以下内容：动态温度测量；V锥、弯管、威力巴等新型节流式流量计；基于回波测距原理的物位测量技术和采用射频导纳技术解决电容式物位测量仪表“挂料”问题等。并按国际和国家相关标准（ISO 5167，GB/T 2624）对标准节流装置进行全方位修订。

(2) 为加强实用性和突出对应用能力的培养，不仅增加了热工测量仪表的应用实例介绍，如熔融金属的温度测量、气流温度测量等，而且还增设了根据使用条件进行仪表选型、各种仪表的使用注意事项和误差分析等内容。介绍时，不是直接给出设计方案和应用情况，而是重点说明解决问题的方法和过程。这样不仅改革了单向传授的教学方式，适应边学习、边研究、边实践的需要，而且还有利于读者在接受某些知识的同时，掌握相应的学习和分析问题的方法。

(3) 读者普遍反映，第1版中不同方法的归纳总结和分析比较，有助于将零散的、相互联系不紧密的各个测量仪表整合与区分，掌握其中有共性和有规律性的内容，了解个体的差异。为此，在修订时除对第1版内容进行提炼补充外，还新增了以下知识的相同点分析和不同点比较：热电偶各种串并联电路；金属热电阻和半导体热敏电阻；节流式、浮子式和靶式流量计；用于测量导电介质和非导电介质的电容物位计；各种弹性元件性能和在压力计中的应用；压

阻式和应变式压力计；浮子式和浮筒式物位计等。

(4) 根据生产实际需求和作者的科研经历，增加了以下内容：热电偶各种实用测温电路剖析；接触式测温仪表共性问题研究，如热损失和插入深度；非接触式测温仪表共性问题研究，如发射率变化产生误差和光路中的干扰；温度、压力、流量和物位仪表的选择和使用等内容。

(5) 为适用不同专业读者的需求，也限于篇幅，删除了第1版中温度测量物理基础和光电器件基础等内容。在叙述上力求通俗易懂、深入浅出和突出重点，尽量避免烦琐的公式推导。

本书由东北大学张华和赵文柱编写，李新光统稿。东北大学为本书的出版提供了资助，杨为民、肖萌等同行为本书的编写工作提供了支持，我们对此深表感谢和敬意。

期望本书能更好地满足“先进性、创新性、适用性”的要求，更好地为广大读者服务。

由于水平所限，书中不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2013年6月

于东北大学

第1版前言

仪器仪表用于实现信息的获取,是信息工业的源头。热工测量仪表是仪器仪表的一个重要分支,对保证生产正常连续运行,确保产品质量和产量,实现安全、高效生产具有重要的意义。科学技术的迅速发展,特别是计算机、激光、红外技术以及系统分析技术、信号处理技术的应用为热工测量仪表的发展开辟了许多新的领域。

全书共分五章,第一章绪论,介绍了测量仪表的基本概念、测量误差分析与不确定度的评定、测量仪器的基本性能指标等,主要强调对概念的理解以及和实际应用的联系;第二章温度测量仪表,不仅详细介绍了接触式和非接触式测量方法和仪表,而且还增加了光导纤维测温技术、集成温度传感器测温技术和测温仪表的应用介绍;第三章压力、差压测量仪表,介绍了弹性式、负荷式、电气式等压力检测仪表,压力变送器和压力表的选择和安装;第四章流量测量仪表,主要介绍节流式差压流量计与其他9种流量计的测量原理、基本结构、仪表特点和应用等内容;第五章物位测量仪表,介绍了静压式、浮力式、电气式等10种物位测量的方法与仪表。

本着加强基础、拓宽专业、培养学生的自学能力和知识更新能力的原则,教材的内容安排突出了以下几点:

(1) 既介绍各种传统的测量原理、方法与技术,使知识结构具有系统性、渐进性;又以较大篇幅介绍新技术、新方法和发展方向,如光纤、激光、超声、红外等技术在热工测量中的应用,以满足“先进性、创新性、适用性”的要求。

(2) 鉴于热工测量仪表具有涉及学科面广、内容多而零散、各表面相互联系不紧密、逻辑性差的特点,因此着重提取各种测量方法、技术中有共性和有规律性的内容,并在此基础上进行归纳总结和分析比较,使读者能够具有一个系统、完整的概念。

(3) 为加强实用性和突出对应用能力的培养,不仅增加了热工测量仪表的

应用实例介绍和科研成果介绍,如熔融金属的温度测量、气流温度测量等,而且还增设了根据使用条件进行仪表选型、各种仪表的使用注意事项和误差分析等内容,重点说明解决问题的方法和过程,希望读者能在接受某些知识的同时掌握相应的学习方法。

(4) 为方便学生自学,在叙述上力求通俗易懂、深入浅出和突出重点,尽量避免繁琐的公式推导。在介绍概念的同时尽量说明相关知识的来龙去脉,并附有基础知识的介绍。

(5) 将整个教学内容分为五部分,每个模块相对独立,具有很强的灵活性、针对性、适应性和层次性,便于体系的更新和不同读者的取舍。

全书由张华和赵文柱编写,张华统稿。

本书的编写工作,得到了东北大学教务处和信息工程学院领导和同事的大力支持,谨表诚挚的谢意。

由于水平所限,书中不妥、错漏之处,恳请批评指正。

编 者
2006年2月
于东北大学

目 录

1 绪论	1
1.1 测量的基本知识	1
1.1.1 测量的基本概念	1
1.1.2 测量的意义	1
1.1.3 几个易混淆概念的区别	2
1.2 测量的构成要素	2
1.2.1 测量的构成要素	2
1.2.2 测量方法	2
1.3 测量分类	3
1.3.1 静态测量和动态测量	3
1.3.2 等精度测量和不等精度测量	4
1.3.3 电量测量和非电量测量	4
1.3.4 工程测量和精密测量	4
1.3.5 热工测量、成分测量和机械量测量	5
1.4 测量误差与测量不确定度	5
1.4.1 测量误差分析	5
1.4.2 测量不确定度的评定	10
1.5 测量系统	16
1.5.1 测量系统的组成	16
1.5.2 测量系统的静态特性	17
1.5.3 测量系统的性能指标	22
1.6 测量技术的发展状况	30
1.6.1 测量原理和测量方法的重大突破	30
1.6.2 测量仪表“二十化”的全方位发展	31
1.6.3 测量系统性能指标的全面提升	31
思考题	32
2 温度测量仪表	33
2.1 概述	33
2.1.1 温度和温标	33
2.1.2 温度测量仪表的分类	36
2.2 接触式测温仪表	38
2.2.1 膨胀式温度计	38

2.2.2 热电偶温度计	47
2.2.3 电阻式温度计	73
2.2.4 接触式测温仪表共性问题研究	85
2.3 非接触测温仪表	88
2.3.1 概述	88
2.3.2 亮度温度计	103
2.3.3 比色温度计	114
2.3.4 全辐射温度计	118
2.3.5 辐射温度计的性能对比和选择	122
2.3.6 非接触式测温仪表共性问题研究	124
2.4 其他测温仪表	129
2.4.1 复合测温方法与仪表	129
2.4.2 动态温度测量	130
2.4.3 光纤温度计	132
2.4.4 集成温度传感器测温技术	147
2.5 温度测量仪表的应用	153
2.5.1 熔融金属的温度测量	153
2.5.2 气流温度测量	156
2.5.3 基于 MAX1668 的多通道温度巡回检测系统	158
2.6 测温仪表的性能对比和选择	159
思考题	160
3 压力测量仪表	162
3.1 概述	162
3.1.1 基本概念	162
3.1.2 压力测量意义	163
3.1.3 压力的表示方式	163
3.1.4 压力测量仪表的分类	164
3.2 弹性压力计	165
3.2.1 弹性元件	165
3.2.2 基本原理	167
3.2.3 单圈弹簧管压力计	167
3.2.4 电接点弹簧管压力计	169
3.2.5 弹性压力计特点	169
3.2.6 常见故障与处理方法	170
3.3 电气式压力检测仪表	171
3.3.1 压电式压力计	171
3.3.2 电阻式压力计	174
3.3.3 振频式压力计	184

3.4 负荷式压力计	187
3.4.1 活塞式压力计	187
3.4.2 浮球式压力计	189
3.5 液柱式压力计	189
3.5.1 U形管压力计	190
3.5.2 单管压力计	191
3.5.3 斜管压力计	191
3.5.4 各种液柱式压力计比较	191
3.6 其他压力检测仪表	192
3.6.1 压磁式压力计	192
3.6.2 真空计	192
3.6.3 压力分布测量系统	193
3.7 压力变送器	194
3.7.1 电容式压力变送器	194
3.7.2 霍尔式压力变送器	196
3.8 压力表的使用与校准	198
3.8.1 各种测压仪表性能指标和用途	198
3.8.2 压力表的选择	199
3.8.3 压力表的安装	201
3.8.4 压力检测仪表的校准	204
思考题	205
4 流量测量仪表	206
4.1 概述	206
4.1.1 流量的定义及表示方法	206
4.1.2 流量计分类和主要参数	207
4.1.3 流量测量的理论基础	209
4.2 节流式差压流量计	215
4.2.1 概述	215
4.2.2 标准节流装置的结构	215
4.2.3 标准节流装置的测量原理和流量公式	226
4.2.4 标准节流装置的适用条件	229
4.2.5 流量公式有关参数的确定	234
4.2.6 节流装置流量测量不确定度的估算	236
4.2.7 标准节流装置的设计计算	239
4.2.8 标准节流装置的特点和选用	239
4.2.9 节流式差压流量计的安装	241
4.2.10 非标准节流装置	243
4.3 浮子流量计	245

4.3.1	结构原理和流量公式	245
4.3.2	刻度换算和量程换算	247
4.3.3	工作特性	250
4.3.4	浮子流量计的种类	251
4.3.5	浮子流量计的特点	252
4.3.6	浮子流量计的选用和安装	253
4.4	靶式流量计	254
4.4.1	工作原理	254
4.4.2	刻度换算	255
4.4.3	工作特性及测量误差	256
4.4.4	靶式流量计的特点	257
4.4.5	靶式流量计的选用与安装	258
4.5	其他差压式流量计	258
4.5.1	皮托管和均速管流量计	258
4.5.2	弯管流量计	261
4.5.3	V 锥流量计	263
4.5.4	威力巴流量计	264
4.6	叶轮流量计	265
4.6.1	涡轮流量计结构	265
4.6.2	工作原理和流量方程	267
4.6.3	涡轮流量计的特点和使用	268
4.6.4	家用自来水表简介	270
4.7	电磁流量计	270
4.7.1	工作原理	271
4.7.2	电磁流量计的结构	273
4.7.3	电磁流量计的特点和选用	276
4.7.4	电磁流量计的安装和使用	277
4.8	涡街流量计	279
4.8.1	工作原理	279
4.8.2	涡街流量计的结构	281
4.8.3	涡街流量计的特点	285
4.8.4	涡街流量计的选择、安装和使用	286
4.9	超声波流量计	287
4.9.1	超声波检测的物理基础	287
4.9.2	超声波流量计的分类和特点	291
4.9.3	速度差法超声波流量计	293
4.9.4	多普勒超声波流量计	302
4.10	容积式流量计	305
4.10.1	概述	305

4.10.2 转子型容积式流量计	306
4.10.3 刮板型容积式流量计	309
4.10.4 容积式流量计的误差分析	311
4.10.5 容积式流量计的选择与安装	313
4.11 质量流量计	314
4.11.1 概述	314
4.11.2 直接式质量流量计	314
4.11.3 间接式质量流量计	322
4.12 流量仪表的选择	323
思考题	324
5 物位测量仪表	326
5.1 概述	326
5.1.1 基本概念	326
5.1.2 物位测量的意义	326
5.1.3 物位测量仪表的分类	326
5.1.4 物位测量存在的主要问题	328
5.2 静压式物位测量仪表	329
5.2.1 压力计式物位计	329
5.2.2 差压式液位计	330
5.2.3 吹气式液位计	332
5.3 浮力式物位测量仪表	332
5.3.1 恒浮力式液位计	333
5.3.2 变浮力式液位计	340
5.4 电气式物位测量仪表	342
5.4.1 电容式物位测量仪表	342
5.4.2 电导式物位测量仪表	348
5.4.3 电感式液位计	350
5.5 超声波物位测量仪表	350
5.5.1 概述	350
5.5.2 连续式超声波物位计	351
5.5.3 定点式超声物位计	354
5.5.4 特点分析	356
5.6 微波式物位测量仪表	356
5.6.1 概述	356
5.6.2 典型微波物位计	358
5.6.3 特点分析	360
5.7 激光式物位测量仪表	361
5.7.1 激光液位计	361

5.7.2 激光料位计	362
5.8 核辐射式物位计	363
5.8.1 概述	363
5.8.2 基本原理	363
5.8.3 基本结构	363
5.8.4 γ 射线物位计的几种类型	364
5.8.5 核辐射式物位计的特点	365
5.9 机械式物位测量仪表	365
5.9.1 重锤式料位计	366
5.9.2 旋翼式料位开关	366
5.9.3 音叉式料位计	366
5.10 其他物位测量仪表	367
5.10.1 直读式液位计	367
5.10.2 热电式液位计	368
5.11 物位测量仪表的使用	368
5.11.1 静压式物位测量仪表的量程迁移	368
5.11.2 物位测量仪表的选型	371
5.11.3 物位测量仪表使用注意事项	372
思考题	373
附录	374
附录 A 标准化热电偶分度表	374
附录 B 主要热电偶的参考函数和逆函数	378
附录 C 黑体的辐射函数表	379
附录 D 亮度温度修正值	380
附录 E 辐射温度的修正值	381
附录 F 常用材料的表观温度和真实温度对比表	382
参考文献	383

1 绪 论

1.1 测量的基本知识

1.1.1 测量的基本概念

测量 (measurement) 是以确定被测对象量值为目的的操作, 是人类认识自然界中客观事物, 并用数量概念描述客观事物, 进而达到逐步掌握事物的本质和揭示自然界规律的一种手段, 是对客观事物取得数量概念的一种认识过程。

在这一过程中, 人们首先对被测对象、被测量和测量环境进行了解分析, 在此基础上, 采用恰当的测量方法, 借助于专门的工具或测量系统, 通过实验和对实验数据的分析计算, 求得被测量的值, 以获得对客观事物的定量概念和内在规律的认识。因此可以说, 测量就是为了取得未知参数值而做的全部工作, 包括测量的误差分析和数据处理等计算工作。该工作可以通过手动或自动的方式来完成。

从计量学的角度讲, 测量就是利用实验手段, 把待测量与已知的同性质的标准量进行直接或间接的比较, 以已知量作为计量单位, 确定两者的比值, 从而得到被测量量值的过程。其目的是获得被测对象的确定量值, 其关键是进行比较。若使测量结果有意义, 用来进行比较所用的方法和仪表必须经过验证, 用来进行比较的标准量应性能稳定且为国际或国家公认。

1.1.2 测量的意义

伟大的化学家、计量学家门德列耶夫曾说: “科学是从测量开始的, 没有测量就没有科学, 至少是没有精确的科学、真正的科学。” 诺贝尔奖获得者 R. R. Ernst 说过: “现代科学的进步越来越依靠尖端仪器的发展。” 我国“两弹一星”元勋王大珩院士也说过: “仪器是认识世界的工具; 科学是用斗量禾的学问。用斗去量禾就对事物有了深入的了解、精确的了解, 就形成科学。”

信息产业在 21 世纪初已成为世界发达国家的首要产业。信息产业的要素包括信息的获取、存储、处理、传输和利用, 而信息的获取正是靠仪器仪表来实现的。如果获取的信息是错误的或不准确的, 那么后面的存储、处理、传输都是毫无意义的, 所以仪器仪表工业是信息产业的龙头。

人类的知识许多是依靠测量得到的。测量技术是工业生产的“倍增器”, 科学研究的“先行官”, 军事上的“战斗力”, 以及现代社会活动的“物化法官”。在生产活动中, 新工艺、新设备的产生也依赖于测量技术的发展水平, 而且, 可靠的测量技术对于生产过程自动化、设备安全以及经济运行都是必不可少的先决条件。在科学技术领域, 许多新的发现、新的发明往往是以测量技术的发展为基础的, 测量技术的发展推动着科学技术的前进。无论是工业生产还是科学实验, 一旦离开了测量, 就必然会给工作带来巨大的盲目性。只有通过可靠的测量, 然后正确地判断测量结果的意义, 才有可能进一步解决自然科学和工程技术上提出的问题。因此,

测量技术的发展水平在很大程度上反映了一个国家的现代化水平。

1.1.3 几个易混淆概念的区别

在实际应用中,我们常接触到测量、检测、测试和计量等类似概念,它们之间既有联系又有区别。

测量是指将被测未知量与同性质的标准量进行比较,确定被测量对标准量的倍数,并用数字表示这个倍数的过程,即是为取得被测对象某一属性的量值(未知参数值)而做的全部工作。检测主要包括检验和测量两方面的含义,其中检验是分辨出被测量的取值范围,以此来对被测量进行诸如是否合格等相关判别。测试是具有试验性质的测量,是测量和试验的综合。计量是指用准确度等级更高的标准量具、器具或标准仪器,对被测样品、样机进行考核性质的测量,通常具有离线和标定的特点。

1.2 测量的构成要素

1.2.1 测量的构成要素

一个完整的测量包含6个要素,他们分别是:

- (1) 测量对象与被测量;
- (2) 测量环境;
- (3) 测量方法;
- (4) 测量单位;
- (5) 测量资源,包括测量仪器与辅助设施、测量人员等;
- (6) 数据处理和测量结果。

例如,用玻璃液体温度计测量室温。在该测量中,测量对象是房间,被测量是温度,测量环境是常温常压,测量方法是直接测量,测量单位是 $^{\circ}\text{C}$,测量资源包括玻璃液体温度计和测量人员,经误差分析和数据处理后,获得测量结果并表示为 $t = (20.1 \pm 0.02)^{\circ}\text{C}$ 。

1.2.2 测量方法

测量方法就是实现被测量与标准量比较的方法,按测量结果产生的方式,通常又分为以下3种。

1.2.2.1 直接、间接和组合测量

A 直接测量

将被测量直接与选用的标准量进行比较,或者用预先标定好的测量仪器进行测量,从而直接求得被测量数值的测量方法,称为直接测量法。例如,用水银温度计测量介质温度、用压力表测量容器内介质压力等,都属于直接测量法。

B 间接测量

通过直接测量与被测量有某种确定函数关系的其他各个变量,然后将所测得的数值代入该确定函数关系进行计算,从而求得被测量数值的方法,称为间接测量法。

该方法测量过程复杂费时,一般只应用在以下3种情况:

- (1) 直接测量不方便;
- (2) 间接测量比直接测量的结果更为准确;

(3) 不能进行直接测量的场合。

例如, 通过公式 $P = UI$ 测量电功率就属于间接测量, 式中, P 、 U 和 I 分别为功率、电压和电流。

C 组合测量

在测量两个或两个以上相关的未知量时, 通过改变测量条件使各个未知量以不同的组合形式出现, 根据直接测量或间接测量所获得的数据, 通过解联立方程组以求得未知量的数值, 这类测量的方法称为组合测量法。

例如, 用铂电阻温度计测量介质温度, 其电阻值 R 在 $0 \sim 850^{\circ}\text{C}$ 范围内与温度 t 的关系是

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

式中 R_t , R_0 ——温度分别为 $t^{\circ}\text{C}$ 和 0°C 时铂电阻的电阻值, Ω ;

A , B ——常数。

为了确定常数 A 和 B , 首先至少需要测得铂电阻在两个不同温度下的电阻值 R_t , 然后建立联立方程, 通过求解方程组确定 A 和 B 的数值。

组合测量法在实验室和其他一些特殊场合的测量中使用较多。例如, 建立测压管的方向特性、总压特性和速度特性曲线的经验关系式等。

注意: 间接测量法和组合测量法的区别。

间接测量法的直接测量量和被测量之间具有确定的一个函数关系, 通过直接测量量即可唯一确定被测量; 而组合测量法被测量和直接测量量或间接测量量之间不是单一的函数关系, 要求解根据测量结果所建立的方程组来获得被测量。

1.2.2.2 绝对测量和相对测量

绝对测量是用量具上的示值直接表示被测量大小的测量方法, 其特点是简单、直观, 但通常测量准确度不高。相对测量是将被测量同与它只有微小偏差的同类标准量进行比较, 测出两个量值之差的测量法, 其特点是仪表准确度相对较高, 但通常测量系统结构复杂、测量成本较高。

1.2.2.3 偏差法、零位法和微差法

偏差法是指利用测量仪表指针相对于刻度的偏差量来直接表示测量结果的方法。零位法则利用指零机构, 当其示值为零时, 表示被测量和已知标准量两者达到平衡, 则可根据标准量来确定被测量。微差法是偏差法和零位法的结合, 用前者测量被测量的余数, 用后者表示被测量和已知标准量两者达到近似平衡。

1.3 测量分类

在测量活动中, 为满足对被测对象的不同测量要求, 依据不同的测量条件, 可以从不同角度来对测量进行分类。除按 1.2 节所述, 根据测量结果的获得方式或测量方法对测量进行分类以外, 常见的测量分类方法有以下几种。

1.3.1 静态测量和动态测量

根据被测对象在测量过程中所处的状态, 可以把测量分为静态测量和动态测量。

1.3.1.1 静态测量

静态测量是指在测量过程中被测量可以认为是固定不变的, 因此, 不需要考虑时间因素对测量的影响。在日常测量中, 所接触的绝大多数测量都是静态测量。对于这种测量, 被测量和

测量误差可以当做一种随机变量来处理。

1.3.1.2 动态测量

动态测量是指被测量在测量期间随时间（或其他影响量）发生变化。如弹道轨迹的测量、环境噪声的测量等。对于这种测量，被测量和测量误差需要当做一种随机过程来处理。

相对于静态测量，动态测量更为困难。这是因为：被测量本身的变化规律复杂，测量系统的动态特性对测量的准确度有很大影响。实际上，绝对不随时间而变化的量是不存在的，通常把那些变化速度相对于测量速度十分缓慢的被测量的测量，简化为静态测量。

1.3.2 等精度测量和不等精度测量

根据测量条件是否发生变化，可以把对被测量进行的多次测量分为等精度测量与不等精度测量。

1.3.2.1 等精度测量

等精度测量是指在测量过程中，测量仪表、测量方法、测量条件和操作人员等都保持不变。因此，对同一被测量进行的多次测量结果可认为具有相同的信赖程度，应按同等原则对待。

1.3.2.2 不等精度测量

不等精度测量是指测量过程中，由于测量仪表、测量方法、测量条件或操作人员等中某一因素或某几个因素发生变化，使得对测量结果的信赖程度不同。对不等精度测量的数据应按不等精度原则进行处理。

1.3.3 电量测量和非电量测量

根据被测量的属性，可以把测量分为电量测量和非电量测量。

1.3.3.1 电量测量

电量测量是指电子学中有关量的测量，具体包括：

- (1) 表征电磁能的量，如电流、电压、功率、电场强度、噪声等。
- (2) 表征信号特征的量，如频率、相位、波形参数等。
- (3) 表征元件和电路参数的量，如电阻、电容、电感、介电常数等。
- (4) 表征网络特性的量，如带宽、增益、带内波动、带外衰减等。

1.3.3.2 非电量测量

非电量测量是指非电子学中有关量的测量，如温度、湿度、压力、气体浓度、机械力和材料光折射率等非电学参数的测量。随着科学技术的发展与学科间的相互渗透，特别是为了满足自动测量的需要，一些非电量都设法通过适当的传感器转换为属于电量的电信号来进行测量。因此，对于非电量测量的研究领域，也需要了解一些基本的电量测量知识。

1.3.4 工程测量和精密测量

根据对测量结果的不同要求，可以把测量分为工程测量和精密测量。

1.3.4.1 工程测量

工程测量是指对测量误差要求不高的测量。用于这种测量的设备或仪表的灵敏度和准确度比较低，对测量环境没有严格要求。因此，一般测量结果只需给出测量值。

1.3.4.2 精密测量

精密测量是指对测量误差要求比较高的测量。用于这种测量的设备和仪表应具有一定的灵