

上册

测量科学手册

[澳大利亚] P.H. 西登汉姆 主编

机械工业出版社

测量科学手册

上册

[澳大利亚]P.H.西登汉姆 主编

周兆英 林喜荣等 译

李清泉 校

机械工业出版社

内 容 简 介

本书是经国际测量学会高等教育委员会同意、由 P. H. 西登汉姆教授主编的一本全面论述测量科学各个方面的大型手册。全书共三十二章，分上、下两册。上册主要论述测量系统的理论基础，下册主要涉及测量系统的设计、应用和操作。

本书为上册，共14章，主要内容为测量的理论、方法、概念和术语，信号理论，离散信号和频谱，测量误差，模式识别，参数估计，信号滤波和处理，信噪比的改善，信号数据的转换和传输，以及反馈系统设计等。

本书内容全面新颖，物理概念清楚，理论联系实际，是一本有价值的参考书，可供高等院校测量，通信、信息和相近专业的师生，以及从事测量科学的有关科技人员参考。

Handbook of Measurement Science Volume 1 Theoretical fundamentals

Edited by P.H. Sydenham

John Wiley & Sons Ltd 1982

* * *

测 量 科 学 手 册

上 册

[澳大利亚]P.H. 西登汉姆 主编

周兆英 林喜荣等 译

李清泉 校

*

责任编辑：曲彩云

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

通县向阳印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张28¹/₄·插页2·字数686 千字

1990年11月北京第一版·1990年11月北京第一次印刷

印数 0,001—1,255·定价: 27.10元

新科技书目: 224—015

*

ISBN 7-111-01732-3/TB·79

译者前言

《测量科学手册》是经国际测量学会高等教育委员会同意、由澳大利亚的 P·H·西登汉姆教授主编的一本全面论述测量科学各个方面的大型工具书。参加本书撰写工作的共三十三位作者，他们来自英国、美国、澳大利亚、荷兰、德意志民主共和国、波兰、匈牙利和印度，都是从事测量科学的专家学者。全书共32章，分为上、下两册。上册14章，主要讲述设计测量系统所需的基本理论；下册18章，主要涉及测量系统设计、应用和操作等问题。

自有人类以来，人们一直进行着各种各样的测量活动，有关测量历史的记载已有三千多年了。然而，测量科学作为一门独立科学的时间并不长，直至70年代初期，测量科学仍未形成自己的完整科学体系。本书是首次全面系统地总结和论述测量科学的基本原理，测量方法，测量系统的设计、应用和操作，以及实现技术和发展前景的一本正式出版物。本书内容全面新颖，编辑得当，参加撰写工作的大多数作者都是测量科学方面的专家，这就保证了本书的质量，使它成为一本有重要参考价值的专著。因此，我们将它译出，供大学有关专业的师生、从事测量科学的科技人员以及对此有兴趣的读者参考。

本书前三章由王伯雄同志翻译，第4、5、9、10和12章由林喜荣同志翻译，第6、和14章由周兆英同志翻译，第7章由施昊同志翻译，第11章由李涛同志翻译，第13章由张茂之同志翻译。胡显章、竺宏和孙季丰同志分别参加了第2、3、12章和第1章的初稿翻译工作。全书经周兆英同志初校，最后由李清泉同志对全书进行统一校对。

限于译、校者水平，译文中定有许多不妥之处，敬请读者批评指正。

1989年9月10日于清华大学

编者序言

自有人类以来,人们就使用着测量系统。然而,直到最近几十年,很多人才认识到存在着一系列基本原理,这些原理部分或全部地适用于一切测量情况,而不管这些应用是怎样千变万化。

60年代,在各种各样的会议上开始讨论测量原理应当包含哪些内容。直到70年代初,争论仍仅限于应包含那些细节问题上,而没有涉及到核心内容本身。

1976年左右,我开始感觉到解决这个问题的必要性。解决的途径是用测量科学的观点出版一个正式文本,作为今后应用和比较的一个标准。随后我向国际测量学会(IMEKO)高等教育委员会(TC-I)里的同事们提出一个建议:委员会应当出版一本包括测量基本原理的论著。委员会决定由诸委员及其他人士协助我设计本书的结构和组织稿件,并由我主编出版这样一本手册。

1977年,我公布了一个由36章组成的编写提纲以及简单的内容提要,以征求同行专家的意见(这个大纲是我个人收集的教科书、复制品、讲稿以及个人经验进行分类整理,并抽去那些仅仅与应用有关的部分后拟出来的)。15名专家研究,并对其作出了略微修改后,认为这个大纲的格式表达了测量系统的基本内容。这样就使测量科学的内容稳定下来,满足了以系统严谨的方式进行教学和应用的要求。与此同时进行的另一项工作(由于它也支持了本手册的观点,因而在这里值得一提)是发表在《物理学杂志(E):科学仪器分册》上的征求意见的仪器科学专辑(1982年该分册作为《科学仪器与技术丛书,卷1》出版了,编者是B·E·琼斯,由布里斯托尔的亚当·希尔格公司出版)。在融会了所收到的这些意见之后,便制定了一个提纲性的文本,并将它送交给各位撰稿人。

本手册提供了目前绝大多数有关测量的书籍中尚未谈到的内容,即基本的设计原理。本手册的主要论题不打算搞成一个仪器应用的总结或应用产品目录。D.M.科西戴恩在他的《过程仪表和过程控制手册》(1975年)的序言中指出:“这项工作是对一门成熟学科的进一步完善”。本手册涉及许多仪器仪表学的实际应用问题。我相信,本手册将成为测量系统设计成熟阶段的另一个关键性文献,一本奠定了设计原理基础的书。

本书的内容是按照哲理性的顺序来组织的,即就一个测量系统来说,首先是构思,接着是设计、制造、安装和维护。为了方便起见,在原则上把全部题材分成两个方面:有关设计测量系统所需要的理论(上册);关于测量系统的专门设计、应用和维护的基本内容(下册)。

上册从测量的理论基础以及在于设计者与实际问题之间的基本联系开始。在第2章继续进行概念性的论述。第3章介绍所使用的名词术语。

第4章介绍信号理论,它可作为实现测量系统各阶段所涉及的许多信号理论的基础。从第5章所包含的内容可以感到数字信号日益增长的重要性。第6章讨论测量误差问题。

在测量中,最基本的要求是能把某一感兴趣的系统参数变换为一个数字等效量。在第7章的模式识别中,要求建立多对一的映照关系,这个问题在测量系统设计中是最重要的。第8章的参数估计涉及在随机环境下确定测量值的问题。当模拟信号或数字信号通过测量系统的环节时,总是需要选择某种形式的谱处理,第9章和第10章中将论及这方面的问题。

尽管仪表学的教科书不少,但几乎没有哪一本从实用的高度论述过在具有噪声源的情况

下提取信号的问题。而第11章就是专门针对这个问题的。第12章向读者介绍了模拟信号和数字信号之间转换的方法学。

与其它测量系统相比较,基于电子学方法的测量系统的一个最有价值的特点在于:传感器能安装在远离数据输出端的任一遥远的地方。这一特点意味着在系统布局上比机械的或其它早期信号传输方法有更大的灵活性。因此,数据传输是测量系统设计知识的一个重要的方面。第13章主要集中讨论数字数据网络,它们正在迅速地趋于规范化。上册的最后一章着重于反馈系统的设计,因为采用闭环系统能够极大地改善各测量阶段的性能。

下册从语言学和教学两个方面讨论传感器和变换单元的设计,它还讨论了仪器设计中人的因素,其中包括电量的测量以及三个主要的设计范畴(电子的,机械的和光学的)。

有几章是从理论的而不是从实践的观点来评述如何对普通变量进行转换。设置这些章节部分地是为了内容的完整性,以便读者能看到在其它章节中是如何运用这些材料的。有三章涉及测量系统的设计、制造和管理,还有一章专门用来论述测量硬件的定标、估算与鉴定。

编辑这本手册突出了测量学的多科性,但未能很好地解决的一个难题是术语和符号的使用问题。在许多情况下,任何想把符号完全统一为一套通用符号的尝试,都意味着那些对某章内容尚未入门的读者,在他们参考所引证的文献时,不得不重新学习这些符号的意义。因此在叙述某一学科内容的章节中,采用该学科业已接受的符号肯定会更有利些。本手册凡在符号变更的地方都已经尽可能提请读者注意。

除了我个人对本手册的热情之外,应当指出本书的完成应当全部归功于志愿合作的同行们。在此我衷心感谢伦敦市立大学L. Finkelstein (芬克尔斯坦)教授和台尔夫特技术大学的B. Veltman (维尔特曼)教授,在他们俩的帮助下,这项工作得以进行。美国HLD联合公司的Hank Daneman (汉克·戴恩曼)先生也曾协助进行早期的工作。

其次必须感谢诸位撰稿人,他们花去许多宝贵时间来总结在他们有兴趣的特殊领域中“每个年青人应当了解些什么知识”的看法。在这些人后面还有许多值得一提的协助这项工作的人员。在悉尼国家测量实验室,伦敦市立大学和南澳大利亚工学院利弗斯校园的一些图书馆的管理员和职员也为我补充了参考资料和校订了文献目录。在日常工作中,当我感到有必要校对送交的材料时,电子工程学校的主讲教师Mike Miller (迈克·米勒)先生就成了我的得力助手和顾问。每当需要重新打印原文时,我校秘书组的Elainne Milsom (伊莱恩·米尔索姆), Sue Wilkins (休·威尔金斯)以及Rachel Littler (雷切尔·利特勒)等都给了很大的帮助。

把一札原文打字稿和图表编排整理成通顺连贯的手册,其任务之繁重不亚于撰写它,为此我对英国奇切斯特的约翰·威利父子图书公司的工作人员特表感谢。

P·H·西登汉姆

目 录

译者前言

编者序言

第1章 测量理论和原理

1.1 引言	(1)
1.2 测量理论发展史概要	(3)
1.3 测量本质和特性——非形式的讨论	(4)
1.4 测量形式的理论基础	(6)
1.5 性质概念的形成	(7)
1.6 一些经验关系和直接的测量标度	(8)
1.6.1 目的和范围	(8)
1.6.2 广延测量	(8)
1.6.3 匹配标度	(9)
1.6.4 秩评定标度	(10)
1.7 间接测量	(10)
1.8 唯一性: 标度类型和意义	(12)
1.9 测量和其它形式的符号表示	(13)
1.10 测量、信息和信息机	(15)
1.10.1 信息	(15)
1.10.2 信息机	(15)
1.11 自然科学、社会科学和行为科学 中的测量理论	(16)
1.11.1 自然科学中的测量理论	(16)
1.11.2 社会科学和行为科学中的测 量理论	(17)
1.12 结论、趋势和发展	(18)
参考文献	(18)
附录	(19)

第2章 测量、模型与系统

2.1 引言	(22)
2.2 信号	(23)
2.3 建模	(24)
2.3.1 模型启发创造性	(24)
2.3.2 语言模型	(24)
2.3.3 图象模型	(24)
2.3.4 数学模型	(25)

2.3.5 物理模型	(25)
2.4 系统结构	(25)
2.5 数学模型的建立	(26)
2.6 测量在系统中的地位	(28)
2.7 测量接口模型	(29)
2.7.1 集论模型	(29)
2.7.2 通用定义模型	(29)
2.7.3 信息选择过程模型	(29)
2.8 测量状况的种类	(30)
2.8.1 系统和测量级之间的相互作用	(30)
2.8.2 到达系统测量节点的途径	(31)
参考文献	(32)

第3章 测量标准化、原理与实践

3.1 引言	(33)
3.2 测量的专门术语	(33)
3.2.1 测量科学的标准术语	(33)
3.2.2 测量以及仪器测量性能的术语	(35)
3.2.3 描述误差术语	(36)
3.2.4 描述测量方法论的术语	(37)
3.3 测量科学知识和实践的分类	(38)
3.4 物理量单位和确定这些单位的标 准装置	(39)
3.5 规范标准	(48)
3.6 国家测量体制	(56)
3.6.1 国家测量体制概念	(56)
3.6.2 可溯源性、标定和评价	(57)
3.7 有关的学术机构和活动	(58)
参考文献	(60)
附录	(63)

第4章 时域和频域中的信号与系统

4.1 引言	(66)
4.2 信号	(67)
4.2.1 信号的分类	(67)
4.2.2 频域信号	(69)
4.2.3 时域信号	(76)

4.2.4 时域与频域的关系以及它们之间的变换	(81)	5.6.2 周期图	(158)
4.2.5 信号的概率特征	(82)	5.7 快速傅里叶变换的算法	(163)
4.2.6 信号的几何表示	(86)	参考文献	(167)
4.2.7 典型信号	(88)	第6章 测量误差、概率论和信息论	
4.3 系统	(89)	6.1 引言: 测量误差的分类	(168)
4.3.1 系统的分类	(89)	6.1.1 概述	(168)
4.3.2 建模和线性化	(91)	6.1.2 测量误差的分类	(169)
4.3.3 时域系统	(95)	6.2 确定性的误差模型	(170)
4.3.4 频域系统	(101)	6.3 概率误差模型	(171)
4.3.5 时域与频域的关系以及它们之间的变换: 拉普拉斯变换	(107)	6.3.1 概述	(171)
4.3.6 稳定性	(112)	6.3.2 离散数字随机变量	(173)
4.3.7 近似	(114)	6.3.3 连续模拟随机变量	(174)
4.3.8 系统试验	(115)	6.3.4 随机测量误差的特性	(176)
4.3.9 典型系统	(116)	6.3.5 严重测量误差	(179)
4.3.10 关于最佳化问题的一些评述	(117)	6.3.6 不完全知道的系统测量误差	(179)
4.4 通信理论和信息论	(126)	6.3.7 测量结果的表述	(179)
4.4.1 通信理论	(126)	6.3.8 间接测量中的系统测量误差的传播	(179)
4.4.2 信息理论	(127)	6.3.9 间接测量中的随机测量误差的传播	(180)
4.4.3 信息论在测量中的应用	(130)	6.4 信息论的误差模型	(182)
4.4.4 编码理论	(131)	6.4.1 概述	(182)
4.4.5 调制理论	(135)	6.4.2 信息特征	(183)
参考文献	(140)	6.4.3 信息论的测量误差特性	(185)
第5章 离散信号和频谱		6.4.4 通道容量	(187)
5.1 引言	(141)	6.5 例题	(187)
5.2 离散时间序列	(142)	6.5.1 重复测量误差对测量结果的影响	(187)
5.3 离散傅里叶变换概述	(143)	6.5.2 附加测量误差对测量结果的影响	(190)
5.4 DFT的图解推导法	(145)	6.5.3 系统性测量误差对测量结果的影响	(190)
5.4.1 概述	(145)	6.5.4 随机测量误差对测量结果的影响	(190)
5.4.2 采样: 假频畸变	(145)	6.5.5 全部测量结果的构成	(190)
5.4.3 截尾窗函数及泄漏畸变	(146)	参考文献	(191)
5.4.4 频域采样	(147)	第7章 模式识别	
5.5 DFT的解析推导法	(149)	7.1 引言	(192)
5.5.1 引言及举例	(149)	7.1.1 模式识别的过程	(192)
5.5.2 DFT的频率分解	(151)	7.1.2 易变性	(193)
5.5.3 DFT的计算	(153)		
5.6 基于信号样点的谱分析	(155)		
5.6.1 引言	(155)		

7.1.3 特征	(194)	8.2 精度	(228)
7.1.4 模式识别的形式化描述	(194)	8.3 精确的估计	(231)
7.1.5 模式、特征以及模式识别系 统的类型	(194)	8.3.1 最大似然估计	(231)
7.1.6 模式识别和标称测量	(195)	8.3.2 线性最小二乘法	(233)
7.1.7 模式识别与测量	(196)	8.3.3 非线性最小二乘法	(236)
7.1.8 模式识别与其它学科	(196)	8.3.4 数值极小化	(237)
7.1.9 本章内容	(197)	8.4 差分方程或微分方程动力学模型 的参数估计	(239)
7.2 模式识别技术的综述	(198)	8.4.1 引言	(239)
7.2.1 引言	(198)	8.4.2 离散时间差分方程模型	(239)
7.2.2 统计学方法	(198)	8.4.3 自回归模型的参数估计	(241)
7.2.3 语言方法	(202)	8.4.4 由输入-输出观测值估计动力 学系统模型的参数	(243)
7.3 模式识别和图像处理传感器	(203)	8.4.5 试验信号	(247)
7.3.1 引言	(203)	8.4.6 微分方程模型和差分方程模 型之间的联系	(251)
7.3.2 机械扫描器	(204)	8.4.7 利用周期试验信号估计连续 时间系统	(254)
7.3.3 电视扫描器	(204)	参考文献	(255)
7.3.4 飞点扫描器	(205)	第9章 模拟信号的滤波与处理	
7.3.5 光电阵列	(206)	9.1 无源信号的处理	(257)
7.3.6 用于三维结构的特殊光学扫 描器	(207)	9.1.1 引言	(257)
7.3.7 确定内部结构的设备	(208)	9.1.2 低通滤波器函数	(259)
7.4 专门处理器	(210)	9.1.3 基本的低通滤波器设计	(266)
7.4.1 引言	(210)	9.2 有源信号处理	(272)
7.4.2 获得更高处理速度的一些可 用方案	(211)	9.2.1 引言	(272)
7.4.3 并行体系	(211)	9.2.2 采用缓冲器隔离的RLC网络 的综合	(272)
7.5 恢复	(213)	9.2.3 有源反馈	(273)
7.5.1 引言	(213)	9.3 时域分析	(279)
7.5.2 点分布函数	(213)	9.4 计算机辅助设计	(280)
7.5.3 逆滤波	(214)	参考文献	(281)
7.5.4 线性最小二乘滤波(维纳滤波)	(214)	第10章 数字信号的滤波与处理	
7.5.5 讨论	(215)	10.1 模拟技术的数字形式实现	(282)
7.6 增强	(215)	10.1.1 引言	(282)
7.6.1 引言	(215)	10.1.2 模拟滤波器的回顾	(282)
7.6.2 灰度尺度的变更	(216)	10.1.3 基本设计技术	(284)
7.6.3 空间灰度处理	(216)	10.1.4 设计假设的评述	(287)
7.6.4 分割图像处理	(217)	10.1.5 低通设计的推广	(289)
7.7 发展趋势	(218)	10.2 采样系统的分析方法	(289)
参考文献	(220)	10.2.1 引言	(289)
第8章 参数估计		10.2.2 采样	(289)
8.1 引言	(226)		

10.2.3 卷积.....	(290)	12.4.1 自然二进制码.....	(338)
10.2.4 Z变换.....	(291)	12.4.2 其它二进制码.....	(339)
10.3 采用双线性变换的滤波器设计.....	(292)	12.4.3 BCD 码.....	(341)
10.4 讨论.....	(293)	12.5 放大器和滤波器.....	(342)
参考文献.....	(293)	12.5.1 运算放大器和数据放大器.....	(342)
第11章 信噪比的改善		12.5.2 共模抑制比.....	(343)
11.1 引言.....	(294)	12.5.3 其它类型的放大器.....	(343)
11.2 噪声和噪声带宽.....	(295)	12.5.4 滤波器.....	(343)
11.3 信号和信噪比.....	(296)	12.6 建立时间.....	(344)
11.4 噪声匹配和前置放大器的选择.....	(297)	12.6.1 定义.....	(344)
11.5 输入联接、接地和屏蔽.....	(300)	12.6.2 放大器特性.....	(344)
11.6 基带(直流)信号的带宽缩减.....	(303)	12.7 D-A 变换器.....	(346)
11.7 调幅信号、镇定放大器.....	(305)	12.7.1 引言.....	(346)
11.8 信号平均.....	(313)	12.7.2 加权电流源D-A变换器.....	(346)
11.8.1 矩形波串平均器.....	(313)	12.7.3 R-2R型D-A变换器.....	(347)
11.8.2 多点式信号平均器.....	(315)	12.7.4 乘法和消閃D-A变换器.....	(348)
11.9 相关性.....	(320)	12.8 电压基准电路.....	(350)
11.10 光(脉冲)计数方法.....	(322)	12.9 A-D变换器.....	(351)
11.10.1 引言.....	(322)	12.9.1 计数型A-D变换器.....	(351)
11.10.2 泊松统计、散射噪声及暗计数.....	(323)	12.9.2 逐次逼近型A-D变换器.....	(351)
11.10.3 脉冲振幅鉴别器.....	(325)	12.9.3 并行(快速)A-D变换器.....	(352)
11.10.4 测速计和计数器.....	(326)	12.10 积分式A-D变换器.....	(353)
11.10.5 脉冲的堆积.....	(328)	12.10.1 间接A-D变换.....	(353)
11.11 结束语.....	(329)	12.10.2 双斜坡式A-D变换.....	(353)
参考文献.....	(331)	12.10.3 电荷均衡A-D变换.....	(354)
第12章 信号数据转换		12.11 模拟多路转换器.....	(354)
12.1 数据采集系统.....	(332)	12.11.1 模拟多路转换器的运行.....	(354)
12.1.1 引言.....	(332)	12.11.2 模拟多路转换器的特性.....	(355)
12.1.2 基本数据采集系统.....	(332)	12.11.3 模拟多路转换器的应用.....	(356)
12.1.3 基本数据分配系统.....	(333)	12.12 采样-保持电路.....	(356)
12.2 量化理论.....	(334)	12.12.1 采样-保持操作.....	(356)
12.2.1 引言.....	(334)	12.12.2 用作数据恢复滤波器的采样-保持电路.....	(357)
12.2.2 量化器的传递函数.....	(334)	12.12.3 其它的采样-保持电路.....	(357)
12.2.3 量化器分辨率和误差.....	(334)	12.12.4 采样-保持特性.....	(358)
12.3 采样理论.....	(335)	12.13 数据变换器的指标.....	(359)
12.3.1 引言.....	(335)	12.13.1 理想的与实际的数据变换器的比较.....	(359)
12.3.2 孔径时间.....	(335)	12.13.2 数据变换器误差的特性.....	(359)
12.3.3 采样-保持和孔径误差.....	(336)	12.13.3 温度的影响.....	(361)
12.3.4 采样数据系统和采样定理.....	(336)	12.14 数据变换器的选择.....	(361)
12.3.5 频率折叠和假频.....	(337)	参考文献.....	(362)
12.4 数字转换器的编码.....	(338)		

X

第13章 数据传输

13.1 引言	(363)
13.1.1 数据通信	(363)
13.1.2 数据通信的国际标准	(363)
13.2 终端设备和电路要求	(364)
13.2.1 引言	(364)
13.2.2 数据信号传输原理	(364)
13.2.3 异步或同步传输	(364)
13.2.4 电报失真	(365)
13.2.5 数据电路术语	(365)
13.2.6 数据网的设计	(365)
13.3 数据传输的一般原理	(366)
13.3.1 引言	(366)
13.3.2 码间干扰	(367)
13.3.3 直流信号传输	(367)
13.3.4 音频传输(VFT)系统	(368)
13.3.5 基带信号传输系统	(368)
13.3.6 数据调制解调器	(368)
13.3.7 再生中继器	(368)
13.3.8 时分多路转换	(368)
13.3.9 非同步多路转换器	(369)
13.4 基带信号传输	(369)
13.4.1 引言	(369)
13.4.2 线路编码	(370)
13.4.3 扰码	(371)
13.4.4 基带信号的频谱	(371)
13.4.5 典型的基带调制解调器	(372)
13.5 相位调制	(372)
13.5.1 引言	(372)
13.5.2 干扰对相位调制的影响	(374)
13.5.3 相位调制系统的同步和训练步骤	(375)
13.6 高速或宽带数据传输	(375)
13.6.1 引言	(375)
13.6.2 48kbit/s 基带系统	(375)
13.6.3 48kbit/s 残留边带传输的调制解调器	(376)
13.6.4 其它宽带数据技术	(376)
13.7 数据电路的传输特性	(377)
13.7.1 引言	(377)
13.7.2 音频电路的无源特性	(377)
13.7.3 动态特性	(377)

13.8 误码检测和校正	(379)
13.8.1 引言	(379)
13.8.2 字符奇偶校验位	(379)
13.8.3 字块奇偶校验	(379)
13.8.4 最佳数据块大小的确定	(380)
13.8.5 块错误概率	(381)
13.8.6 其它类型的误码检测和校正	(381)
13.9 报文转接系统	(383)
13.9.1 引言	(383)
13.9.2 报文保护	(384)
13.9.3 控制站的功能	(384)
13.9.4 信息集中器或小容量转接中心	(384)
13.9.5 通信量的计算	(385)
13.10 信号载体	(385)
13.10.1 作为子系统的载体	(385)
13.10.2 传输载体的种类	(385)
13.11 模拟信号传输与数字信号传输的比较	(388)
13.12 接口	(390)
13.13 过程工业遥测	(391)
13.14 在易燃易爆环境里的信号传输	(392)
参考文献	(393)

第14章 闭环系统

14.1 引言	(395)
14.2 用微分方程确定闭环系统的动态特性	(399)
14.2.1 拉普拉斯变换	(399)
14.2.2 具有粘性阻尼或速度反馈的简单位置控制系统的分析	(400)
14.2.3 阻尼比和无阻尼自然角频率的概念	(401)
14.2.4 频率响应	(402)
14.2.5 二阶相关性	(403)
14.3 传递函数及其应用	(404)
14.3.1 传递函数的概念	(404)
14.3.2 传递函数合并的规则	(404)
14.4 用传递函数估计性能	(405)
14.5 频率响应	(407)
14.6 设计规范	(410)

14.7 力学建模和模型阶的缩减.....	(410)	14.13.5 用Z变换分析闭环采样数据	
14.8 辨识.....	(410)	系统的稳定性	(418)
14.9 补偿.....	(411)	14.13.6 采样数据控制系统的补偿	
14.10 灵敏度分析.....	(413)		(418)
14.11 反馈仪器.....	(413)	14.14 非线性系统	(419)
14.12 计算机辅助设计.....	(413)	14.14.1 引言	(419)
14.13 闭环采样数据系统.....	(414)	14.14.2 研究非线性系统的方法	(420)
14.13.1 引言	(414)	14.14.3 相平面分析	(421)
14.13.2 保持电路的采用	(415)	14.14.4 描述函数法	(422)
14.13.3 采样数据系统的频率响应		14.15 结束语	(424)
分析.....	(415)	参考文献.....	(425)
14.13.4 闭环采样数据系统的时域		英汉名词对照.....	(427)
分析.....	(416)		

第1章 测量理论和原理

编者的话

测量是获取知识和控制系统的基本手段。许多教科书和文章都致力于测量实践的研究，这种研究在人类早期便已开始，并以各种人类事业的 活动 形式延续下来。然而令人惊奇的是，直到现在我们才开始试图去理解发生在测量接口中的原理过程，这些过程是用形式化了的数学模型来表示的。

数学的形式化允许人们用“人造机器”使一个课题机械化，比如19世纪产生的布尔代数最终导致了现代数字计算机系统的出现。数学的形式化还使得各种处理过程更加精炼。当我们研制出一种适用于所有测量问题的满意的形式处理方法，而人们又普遍地接受这种方法时，我们便能够更有效地设计和使用测量系统，更有效地重新处理过去收集到的数据。

本章回顾那些专业人员易于理解和应用的测量理论方面的进展。还分析了为什么测量是科学的基本手段的原因，并对测量的主要论述作了介绍。抽象哲学家的研究方法和实用仪器设计师的研究方法之间的空档正逐渐地连接起来。实际的硬件设计者对这种测量系统问题的训练，理解和注意大概都很差。如果打算灵活地运用在应用方面所取得的进展，解决上述问题将是实际成功的关键。现在迫切需要那些原理性的设计策略，即那些能为一般的工程师和科学家所运用的策略。

在几种可能的模拟测量接口的方法中，从长远来看数学方法似乎是最基本和最有效的方法。这时可根据集论来建模。为帮助理解，本章加了一个附录，其中概述了这方面有关的理论；在这一方面，Lin（林）和Lin的著作也是很有用的^[10]。

由本章可以看出，测量由什么组成以及什么种类的事件能被测量，仍然是人们经常争论的问题。这一事实反映测量原理尚未成熟，也反映它在测量实践中使用较少。后续章节还将介绍测量过程的其它描述。每章都对测量系统的设计或应用有一定帮助。

1.1 引 言

测量是把经验的和客观测定的数值赋予现实世界中的物体和事件的特性，从而来描述它们的一种过程。

测量是科学的最基本的手段。首先，科学的目标是对宇宙作客观的描述，因此，对所观察的现象进行测量正是科学研究的目。伽利略在他的纲领性的叙述中是这样来表达这一点的“计算可计算的，测量可测的，并使不可测的成为可测的。”通过测量能使我们用精确而简洁的数学语言表达科学的各种定律和理论。科学的目的是用数学形式体系所表达的实测数据来描述整个知识领域。知识的数学描述可以说是真正科学的标志。这个观点通常表达在常为人们所引用的Kelvin（凯尔文）勋爵的一段话里：“我常说，当你能够测量你正在谈到的事物并能够用数值表达它时，你对该事物就有所了解；而当你不能测量它、不能用数值表达它时，你在这方面的知识就是贫乏的、不能令人满意的；这也许是你对它认识的开端，但在你的思想中，无论如何你还远没有达到科学的阶段。”这种对测量本质的严格的阐述经常

受到那些从事于诸如社会科学和行为科学领域中的人们的非议，因为在这些领域中，测量的问题是困难的，那里有着许多客观的经验性的观察和定性的推理，但却难于进行测量。为此我们可能要问：那些完全建立在测量和数学形式体系上的自然科学是否还能成为其它知识领域的范例呢？不管怎样，测量重要性的普遍意义是不容争辩的。在 Sydenham 的著作中对这些问题以及其它的一些基本问题作了讨论^[28]。

当一个物体或一个事件的特性由数值来表征时，这个数值便载有该特性的信息。现代技术在研制获取客观物体和事件信息的仪器方面已经取得了巨大的进展。信息被编码为具体的信号，并能为各种信息机器所处理。信息可以数值形式输出，该数值表示一种具体的特性，换句话说，该数值表示一种度量，它可被用于决策或控制。这些获取和处理信息的强有力的现代化方法，构成了从化工厂、发电厂一直到飞机和宇宙飞船的大量的现代化技术系统的神经和大脑。而测量以及与它相关的过程也随之获得了非常重要的技术价值。Finkelstein 的著作进一步阐述了这些方面的问题^[11]。

因此，测量应用甚广，十分普及，这是因为这种测量物理性质的过程在直观上是显而易见的。从小我们就学习测量象长度或质量这样的性质。当测量一个物体的长度时，例如 15mm 的长度，或者当解释或处理这一测量信息时，在概念上不存在任何问题。由于这一原因，根据 Sydenham 的著作^[28]可知，大多数自然科学技术的教科书以往并不真正注意测量概念的定义或分析问题，因此人们很有理由要问，象这本主要研究测量实际问题的手册中，究竟该把对测量原理的讨论放在什么样的地位。然而，测量的基本概念既有它的基本重要性又有它的基本意义，同时还有它某些实际的意义。

只需观察一些简单的物理测量就能知道，测量的概念并非是十分清楚的。如果说某一物体的体积是另一物体的两倍，应该如何解释这“两倍”的含义？因为除法是对数值而非是对物体而定义的。又比如，说一个物体的温度是另一物体温度的两倍，这种说法的含义又是什么呢？

对某些具体的特性，存在有定义完善的测量标度，但还有一些特性，对它们进行合适的测量是很成问题的。硬度就是一个明显的例子。例如，材料的许多性质，在工程技术上是很重要的，但对它们却难于建立合适的测量标度。这方面可以举出这样的几个例子：黄油的“可涂抹性”，纸张的“可折度”以及煤的“强度”。“煤的强度”是指人们用工具来切割和加工煤的容易程度。测量理论将有助于人们在这些情况中有步骤地去建立合适的测量标度。

在如何形成测量标度的问题上，正是社会科学和行为科学以及他们在管理方面的应用，为这方面出现的实际的和原理性的问题提供了较好的例子。首先我们可以举出象味道和气味这样的心理学方面的性质，测量这些性质在技术上有重要意义，还可以举出象“智力”或“异化”这样的具有很高的理论和实际价值的性质。在研究社会时，会碰到象“一个共同体中冲突的程度”或“生活水平”这样的基本概念。对这些概念的测量还很成问题。最后，即使是看起来很精确的管理会计工作技术也给我们在测量利润水平时带来概念上的困难。

测量理论除了它的实际意义外，还是有它内在哲理方面的重要性。作为我们认识宇宙的基本工具，了解测量的本质是极为重要的。过去的几百年里，人们对数学和逻辑学基础的理解取得了巨大的和富有成果的进展，而这些科学在过去都是建立在模糊和直观的基础之上的。可将测量的理论和原理看作是这种进展的一部分。

本章简要概述测量的基本概念以及它们的原理背景。力图尽量简单地陈述这些概念，同时介绍形式测量理论的基本内容。

1.2 测量理论发展史概要

古希腊人是最早研究测量的哲学基础的,他们研究了几千年前古代美索不达米亚和埃及的城市革命进程中产生的手工业和商业中的实际测量问题。当时的Pythagoras (毕达哥拉斯) 学派研究了数和现实世界之间关系的哲学,并期望将算术作为物理学中的基础研究。柏拉图学院发展了一种广义数量理论,尽管该理论更多地是研究数的性质而不是分析测量的性质,Aristotle (阿里斯多德)在他的《形而上学》一书中曾研究过测量概念。(在象《Loeb 经典丛书》这样的著作中,希腊著作均被译成英文)

中世纪时期,人们对测量理论作过很多学究式研究,这些研究并未涉及到测量对科学观察的应用。随着现代科学的兴起,牛顿在他发展力学的过程中提出了物理学领域中第一个综合性数学理论。在他的《算术的一般性原理》一书中,提出了一种以算术为基础的数量理论。

现代测量理论的真正奠基人是Helmholtz (赫姆霍尔兹)^[12],他对计数和测量的认识论作了透彻的逻辑分析。他的工作是数学逻辑基础研究工作的开创部分,测量理论和数学逻辑基础是紧密相连的。Helmholtz 工作的一个重要发展是Hölder (霍尔德)所作的可加量测量的公理化研究^[14]。

英国物理学家 N. R. Campbell (坎贝尔)^[2]在他的《物理学基础》一书中,对物理量测量的基本理论作了清晰和透彻的分析。这本书现在读起来仍使人感到很有兴趣和益处。Campbell 的理论是基于能够对物理量的测量进行经验的相加运算。这种测量现在被称为广延测量。在“逻辑实证主义”的影响之下,这种理论已得到普遍承认^{[4]、[13]}。

从Helmholtz的测量理论到Campbell的测量理论、以及后来那些在他们工作基础上发展起来的有关具体测量的测量理论,都是以可加量及由这些量的导出量为基础的。然而在社会科学和行为科学中,许多性质无法进行经验相加,也无法从那些可加量中导出。这一点造成了巨大的原理上的难题。英国科学促进委员会的一篇关于定量方法的报告否定了那种不是以可加量为基础的测量,从而也否定了心理学测量的可能性,该报告甚至还对温度的热力学标度提出疑问。

社会科学和行为科学的工作已经突破了经典测量理论的这些僵硬论点。社会科学中研究“效用”概念的早期论述有Benthan (本瑟思)和Pareto (帕伦托)的著作,后来到1944年出现了Neumann (纽曼)和Morgenstern (摩根斯坦)的经典著作^[20]。他们所作的关于效用理论的公理化表述已经成为社会科学中许多有关测量理论和实践工作的基础。在心理学方面,Stevens (史蒂文斯)在研究如何恰当地分析测量本性方面作了许多基础性工作^{[24]、[25]、[26]}。其它一些值得一提的重要研究者是Torgerson (托格森),他精辟阐述了测量和定标的基本原理^[30],还有Coombs (库姆斯),他发展了一种数据理论^[5]。

美国的一次学术会议的会议录^[3]回顾了测量的经典方法,并将这些方法扩大应用到社会科学和行为科学方面。Ellis (埃利斯)的文章对测量作了最有用和最精采的哲理分析^[7]。该分析不落俗套,尽管它也考虑了非经典理论,但它主要还是涉及测量。

现代测量理论可以说是起源于Tarski (塔尔斯基)关于关联系统和模型理论的工作^[29]。不严格地说,这种叫做测量表示理论的理论是把测量看作是在下述两者之间建立对应关系:

一个是一种性质的一组表示和这些表示间的关系,另一个是一组数值和这些数值间的关系。文献[27],对这种理论作了清晰的阐述,在发展这种理论的过程中,Suppes(萨普斯)成了关键的研究者之一。Pfanzagl(费扎格)的著作是第一个用表示法来研究测量理论的专著^[22]。Krantz(克兰茨)等人1971年发表过他们对测量表示理论基础的详细而透彻的评论,尽管只是发表了他们著作中的一部分^[15]。关于该课题准备阶段的最新发表文章见文献[23]。

正当测量理论出现在大多数有关定量心理学、社会学等方面的现代教科书中时,在物理测量和仪器仪表方面的文献中有关这方面的理论却很少,或者是几乎没有引起过人们的注意。Finkelstein 对该理论的综述^{[8] [9]}促进了那些从事测量和仪器仪表工作的工程师对测量基础理论的了解。这些工程师已经着手填补当前在理论工作者和硬件设计者之间在理解测量系统的问题上所存在的巨大的认识论方面的空白。

1.3 测量本质和特性——非形式的讨论

在对测量过程作形式定义和分析之前,先对它作非形式的考察,目的是要突出测量系统的本质和特性的主要方面,但在叙述中不使用数学逻辑基础中那些严格的、但不为大家所熟悉的概念和符号。

让我们以本章开始时所给的测量的非形式定义来作为讨论的开始:

“测量是把客观测定的数值赋予现实世界中的物体和事件的特性,从而来描述它们的一种过程。”

现在我们来分析和讨论这一定义。

首先,测量是将一组数值赋予物体和事件的特性。因而测量是描述事件或物体的特性而不是描述事件或物体本身。例如,测量一个物体的长度、一个物体的温度等。测量预先假定一个特性有一个明确的概念,它是对整个一类物体的一种抽象,而这类物体中的各个实例或表现形式便是测量的课题。

这个定义表明,测量中所赋予的数值是用来描述物体或事件的性质。这层意思可解释如下:假定测量将一个数值或者是一个量度赋予一个物体的性质,采用同样的过程将其它数值赋予该性质的其它表现形式。那么这两种数值或量度之间的数值关系便蕴含有这种性质表现形式间的经验关系,或者说为这种经验关系所蕴含。这样,如果我们测量两个物体中的一个特定性质,并将数值赋予该特性的各个表现形式,倘若这两个数字是相等时,则意味着这两种性质的表现形式在经验上是不可区分的。反之也可以说,经验的不可区分性意味着测量值的相等性。同样,在一系列物体中对某一个特定性质进行测量时,如果能够按照增幅的顺序将数值赋予此特性的不同的表现形式,这意味着:有着这样一种经验关系,按照这种关系,就该性质而言,这些物体也存在着一个相同的排列顺序。反之也可以说,性质的表现形式中的经验顺序意味着量度的相同排列顺序。在量度间的数值关系和相应的性质表现形式间的经验关系之间的这种对应性,就是本章后面给出的更严格的形式定义的基本表达了。

上述表明,测量是一种比较过程,它把特性的一种表现形式同该性质的其它表现形式作比较。这是测量的许多非正式定义所共有的。然而,许多定义更进一步指明,一个特性的测量值表示该性质的值与一个取作单位值的标准值的比值。正如本章引言所述,这一说法提出了测量究竟是什么这一本质问题。对测量的许多标度来说,这一叙述是不真实的,它将使人

们无法测量许多性质。不存在有两种性质的比值，只有它们的度量值的比值。只要对应于两个测量值之比的经验关系有意义就必须对它进行分析，对于许多测量的标度来说，测量值并不对应于它与某个单位值的比值。一个明显的例子是：一个物体的摄氏温度并不是该温度对一个单位摄氏度的比值。另外一个例子是：一个人的智力是不能够将它和某个有单位智力的人的智力之比来度量的。

采用描述性赋值是否都适用于称为测量的过程，还存在意见分歧。一方面，在社会科学和行为科学中普遍认为：描述一种性质的表现形式的任何经验的、客观的数值赋值过程都可叫做测量。另一方面的意思是：只有那些以某种方式反映与一个性质的单位值之比的数值才是真正的测量值。这是经典的观点，也是物理学测量中大多数非形式定义的观点。许多其它的定义则认为：作为真正的测量，赋值至少必须蕴含有一个性质表现形式中的经验顺序，这个顺序根据数值大小来排列。本作者支持第一种观点^{[9] [10]}，但并不想将这种观点强加于别人。

本章后面还将讨论这个问题，那时将证明：实质上不是赋值，而是赋予符号才能十分接近于真正的测量。

需要讨论的测量定义的另一个方面是：测量是一个客观过程。这句话的意思是：通过测量对一个性质赋值必须在误差范围内而与观测者无关。某些性质，比如判断候选人对一个职位的适用性，采用0~10的标度进行评价。但不能把从这样一种评价中得出的数值看作是测量值，除非产生这样一种情形：即在可接受的误差范围内，采用同样的程序，从这个题目的任何评价过程中得到相同的数值。

测量的非形式定义强调测量是一种经验过程。这首先意味着测量必须是观察的结果而不是一种思维实验的结果。此外，被测性质的概念必须以一种经验关系为基础。例如，采用通用十进制进行图书分类，结果是把描述文件内容的数值赋给了各类文件。这种赋值基本上是客观的，因为由受过训练的观察者所进行的这种分类工作，出错率很小，不会把不同的数字赋给相同的文件。仅由于这个缘故，承认描述分类中全体成员的赋值是能测量的。即便如此，上述图书分类仍是不能测量的。理由是这种分类所依据的知识本质上是一种任意规定的习惯。

眼下我们可以方便地讨论一下在科学中起关键作用的测量的某些性质。

正如本章引言中所指出的那样，测量的客观性是第一位的。测量值是一种客观描述，因而也是一个合适的科学数据。反过来也可以说，如果我们能完全客观地描述一种性质的表现形式，那么我们也就是朝着测量跨出了最为重要的一步。

测量的第二个性质是其描述的简练性。一个单一的数值就足以告诉大家要用许多词汇才能表达的内容。

此外，测量还具有描述的精确性，用一个单一的数值便能准确地突出一个特定实体，而用词汇来描述时可能只是告诉人们一些相似的但却是不同的事情。

一个性质的测量值使我们能够用数学的形式语言来表达有关该性质的事实和常规，如果没有这套方便的语言符号^[6]，为了表达用来描述和解释宇宙的一系列复杂的归纳和演绎过程将会是非常麻烦的。

从上述讨论可以得出，数值描述法本身是没有价值的。测量的唯一价值在于利用了信息。科学并不只是数据的堆集，它依赖于分析和组织数据的方式。