



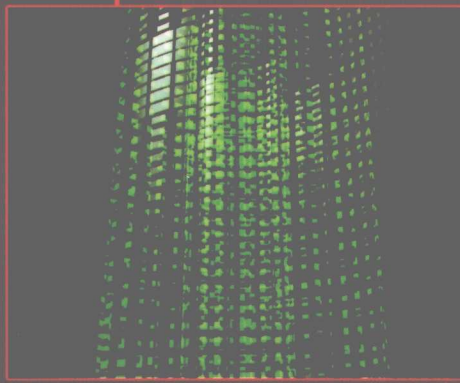
国际电气工程先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

电气测量 原理与应用

PRINCIPLES OF
ELECTRICAL
MEASUREMENT

(波) S. Tumanski 著
周卫平 夏立 郑帮涛 等译
吴正国 校



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际电气工程先进技术译丛

电气测量原理与应用

(波) S. Tumanski 著

周卫平 夏立 郑帮涛 等译

吴正国 校



机械工业出版社

本书介绍了电气测量基础知识和经典电气测量方法,着重讲述了经典测量仪表和手段的基本原理,包括指示式、机电式、动圈系、动铁系、电动系、感应系仪表以及示波器和电桥的基本原理等;研究了模拟测量信号处理的基本方法,包括信号调理、交流直流转换、电压-频率转换、信号放大、信号的模拟滤波等;研究了测量信号的数字化处理,包括模/数转换、离散傅里叶变换、短时傅里叶变换和小波变换、数字滤波等数字信号处理方法,以及人工智能、自适应滤波器、人工神经网络、模糊逻辑在测量中的应用等;最后分析了计算机测量系统和虚拟测量技术,包括智能传感器、灵巧传感器、数据通信接口和总线、虚拟测量系统等。

本书内容广博,包含了经典的电气量标准、仪器仪表、电桥、热电偶等知识,又结合了测量学科的最新进展,包含了到目前为止最为精确的铯原子钟、智能传感器、虚拟测量技术和LabVIEW软件等内容。本书着重研究基本原理,内容详细全面新颖,结合有大量的插图和示例,易于学习和理解。

本书可以作为理工科相关学科的高年级本科生、研究生的教学用书,也适合于从事电气工程、自动控制、信息工程和检测技术等领域的科研工作者和工程技术人员阅读或作为参考书使用。

Principles of Electrical Measurement/by S Tumanski ISBN 978-0-7503-1038-3

Copyright © 2006 by CRC Press.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, CRC 出版公司出版,并经其授权翻译出版,版权所有,侵权必究。

本书中文简体翻译版授权机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售,未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis Sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

本书版权登记号:图字 01-2007-3012

图书在版编目(CIP)数据

电气测量原理与应用/(波)图曼斯基(Tumanski, S.)著;周卫平等译. —北京:机械工业出版社,2009.10

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文:PRINCIPLES OF ELECTRICAL MEASUREMENT

ISBN 978-7-111-27626-5

I. 电… II. ①图…②周… III. 电气测量 IV. TM93

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第117770号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张俊红 责任编辑:林 桢

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:马精明 责任印制:杨 曦

保定市巾画美凯印刷有限公司印刷

2009年10月第1版第1次印刷

169mm×239mm·23印张·445千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-27626-5

定价:78.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

译者序

如果没有知觉和感觉,人们就不能进行正常的活动,知觉和感觉是人类活动的基础;同样,测量是科技、生活、生产等活动的基础,从生产过程控制、产品质量检测、科学实验结果的检测分析,到日常生活中的环境检测和商品交换等都离不开测量,测量是人们获取信息的手段,测量是人类一切活动的“眼睛”。随着科技的发展和人们对于测量准确度要求的提高,新的测试方法、手段和仪器得以不断涌现,人们也越来越重视检测技术的发展。检测技术与计算机技术、自动控制技术和通信技术构成了完整的信息技术学科。

检测的研究领域也随着科学技术的发展向微观领域和宏观领域的两个极限方向上不断扩展,检测技术的发展也呈现出“数字化”、“智能化”、“集成化”、“网络化”等的发展趋势,随着计算机和微电子技术的迅猛发展,相继出现了智能仪器、计算机测量系统、总线仪器、虚拟仪器等检测系统和设备,可见与计算机技术紧密结合是当代仪器与检测技术发展的主要方向,“数字化”和“智能化”正是该发展方向的核心,波兰华沙技术大学 S. Tumanski 教授编著的《电气测量原理与应用》一书,抓住了这个核心,并且内容涵盖了现代电气测量的主要领域。

本书首先介绍了电气测量基础知识和经典电气测量方法,着重讲述了经典测量仪表和手段的基本原理,包括指示式、机电式、动圈系、动铁系、电动系、感应系仪表,以及示波器和电桥的基本原理等;然后研究了模拟测量信号处理的基本方法,包括信号调理、交流直流转换、电压-频率转换、信号放大、信号的模拟滤波等;同时研究了测量信号的数字化处理,包括模/数转换、离散傅里叶变换、短时傅里叶变换和小波变换、数字滤波等数字信号处理方法,以及人工智能、自适应滤波器、人工神经网络、模糊逻辑在测量中的应用;最后分析了计算机测量系统和虚拟测量技术,包括智能传感器、灵巧传感器、数据通信接口和总线、虚拟测量系统等。

IV 电气测量原理与应用

本书着重研究基本原理, 结合有大量的插图和示例, 易于学习和理解; 内容广博新颖, 结合了测量学科的最新进展, 从基本的电气量的标准到智能传感器、灵巧传感器, 从补偿器到比较器, 从热电偶到目前为止最为精确的铯原子钟, 从电桥到 LabVIEW 虚拟测量软件以及计算机测量系统和虚拟测量技术等都是本书的内容。本书内容详细而又全面, 信息量饱满, 包含有大量的图表和公式。因而本书不愧是包含了学科最新进展情况、内容比较全面而又容易理解的好书。

夏立教授负责第 3、4 章的翻译工作; 郑帮涛负责第 6 章的翻译工作; 周卫平博士负责本书前言、第 1、2、5 章和附录的翻译工作, 同时负责本书的初校和统稿工作; 本书由吴正国教授校阅。此外, 杨忠林参与了第 3 章的翻译工作, 黄海参与了第 4、5 章的翻译工作, 李辉参与了第 5、6 章的翻译工作。在翻译过程中, 还得到了海军工程大学电气与信息工程学院杨宣访副教授、邵英副教授、王黎明讲师的指教和帮助, 在此顺致谢忱。同时还要感谢海军工程大学电气与信息学院和海军装备部有关部门的领导的关心和帮助。

本书可以作为理工科相关学科的高年级本科生、研究生的教学用书, 也适合于从事电气工程、信息工程、自动控制和检测技术等领域工作的科研工作者和工程技术人员阅读或作为参考书使用。

本书所涉及内容十分广泛, 我们在翻译过程中力求准确、严谨, 并做到忠于原著。但毕竟因水平、能力有限, 错误和欠妥之处在所难免, 恳请读者批评指正, 并且感谢读者通过 E-mail: buptzjh@163.com 与我们联系。

译 者

2009 年 7 月于武汉

前 言

在图书馆和书店里我们能发现各种不同的关于电气测量方面的图书，它们描述了电气测量各个不同方面的内容：数字或模拟技术、传感器、数据采集、数据转换等。然而，很难找到一本包括电气测量所采用的技术的完整手册。这显然是因为现代测量需要许多交叉学科的知识，比如计算机技术、电子学、信号处理、微米和纳米技术（micro - and nanotechnology）、人工智能方法等，实际上，作者一个人是不可能熟知，并且能够解释所有的这些学科的。因此，时常有可以买到的一些称为“手册”的书是由几十个合作者共同完成的。但是这些书更像是不同水平的百科全书条目，而不是一个全面而紧凑的有知识含量的图书。

这个问题的另一原因在于测量技术的发展非常快，每年都有新的进展。要准确把握测量技术的发展动态还真的有些困难，但是把重心集中在一个特定科目的一个特别的问题上，并以一个专题论文的形式来收集知识，却是容易得多。而对学生和工业工程师而言，所需要的往往是比较全面又容易理解的图书，并且最重要的是应该包括最新进展，比如计算机测量系统或虚拟测量方法。我对电气工程、机器人工程和信息工程的学生作电气测量方面的演讲时说，说实话我还没有发现一本关于所有这些主题合适的图书，因此我决定自己写一本。去年我把本书给学生“试用”，结果相当成功。大部分学生理解了电气测量的内涵，并且最重要的是，他们发现这门学科是很有趣的，甚至是让人着迷的。

让我们来关注现代测量技术的现状和远景。不容置疑，未来将由计算机测量系统所统治，今天一个简单的电动剃须刀，到那时候如果利用一个也是基于计算机测量的微控制器来进行控制也是不足为奇的。最近，计算机测量系统已经变成主要的测量工具和研究方向，直接导致这本书中讨论的许多重要主题，如“经典电气测量”，逐渐处在研究兴趣的边缘。然而这些主题的知识对于理解现代测量的原理是很重要的。

由于基于计算机和微电子学的测量系统的发展，使得对于不是专家的普通人，现在也是可以得到和使用它们了。过去曾经是保留专用品，比如高质量的模/数转换器和放大器，现在任何人都可以以一个合理的价格买到。使用界面友好的软件，例如 LabVIEW，给复杂的测量设备的设计提供了帮助。所谓的智能传感器现在依据“即插即用”技术设计，可以连接到全世界的计算机网络中。这样一来，测量技术对于每个人（包括与电气工程关系不大的人）都是开放的，但是重要的是要向他们说明该如何正确地进行测量。这带给我们一个基本的问

VI 电气测量原理与应用

题：哪一些测量知识是不可缺少的呢？

我理解的“电气测量原理”是所有类型电气测量共有的全部知识。这些共有的知识学科首先包括：信号处理技术（数字的和模拟的）、经典测量技术、测量结果的准确度和不确定度的估计方法、数据采集和信号调理、在测量和虚拟测量中的计算机和数字信号处理器的应用等。当掌握了这些学科的知识后（比如说在看完这本书之后，我希望如此），也就更容易学习实践性更强的科目了：“电气测量应用”——传感器、电气量和非电气量的测量、非破坏性测试和材料评估、测量设备设计等。

本书分为三个主要部分，在第1部分（第2、3章）中讲述了基本原理和经典测量方法（主要的术语和方法、标准和测量不确定度）；在第2部分（第4、5章）中集中于模拟和数字信号的信号处理技术；最后一部分（第6章）内容是关于计算机测量系统的。考虑到技术现状和前述的电气测量远景，我们就不难理解为什么“经典测量部分”大约只占本书内容的四分之一，而“数字信号处理和计算机测量系统”却超过了一半以上的内容了。

本书主要阅读对象是学生，但是对于工程师也是很有用的。前面说过，本书被华沙（Warsaw）技术大学的一些学生试用。我和大学的很多同事也进行了许多有价值的讨论和评述，我要感谢他们的帮助，我要特别感谢 Jerzy Barzykowski 教授、Marek Stabrowski 教授、Zygmunt Warsza 教授、Stan Zurek 博士（来自 Cardiff 大学）和 Slawomir Baranowski 博士生。

Slawomir Tumanski

目 录

译者序

前言

第1章 测量简介 1

参考文献..... 10

第2章 电气测量基础..... 11

2.1 主要术语及定义 11

2.1.1 测量技术的基本术语 11

2.1.2 测量的主要方法 15

2.2 测量的不确定度 21

2.2.1 误差、不确定度和信号处理的可靠性 21

2.2.2 统计学的基本词汇和概念 26

2.2.3 与测量设备有限准确度有关的不确定度的评估和校正方法 31

2.2.4 测量不确定度的估计 41

2.3 电气量的标准 44

2.3.1 标准、标准器具、校准和验证 44

2.3.2 由物理现象和定律描述的电气量标准 45

2.3.3 电气量的实物标准 49

2.3.4 参考万用表和校准器具 53

参考文献..... 55

第3章 经典电气测量..... 56

3.1 指示式测量仪器仪表 56

3.1.1 机电式仪器仪表与数字测量系统 56

3.1.2 动圈系仪表 56

3.1.3 动铁系仪表 61

3.1.4 电动系仪表——瓦特表 62

3.1.5 感应系电能表 65

3.2 记录与显示测量仪器 67

3.2.1 示波器的基本原理 67

3.2.2 记录与数据存储装置 71

3.3 电桥 72

3.3.1 平衡式与不平衡式电桥 72

3.3.2 零输出型直流电桥 73

3.3.3 交流电桥 75

3.3.4 变压器电桥 80

3.3.5 不平衡式电桥 81

3.3.6 电桥的替代电路——安德森回路 86

3.4 电位计与比较器 87

参考文献..... 91

第4章 模拟测量信号处理 92

4.1 信号调理 92

4.1.1 模拟测量信号 92

4.1.2 电阻、电容及电感参数的调整 95

4.1.3 交流/直流转换 99

4.1.4 电压/频率转换 108

4.2 信号放大 109

4.2.1 差分、运算和测量放大器 109

4.2.2 隔离放大器 112

4.2.3 微直流信号放大器 115

4.2.4 微交流信号放大器 118

4.2.5 极大输入电阻放大器 121

VIII 电气测量原理与应用

4.2.6 函数放大器	123
4.3 测量技术中的负反馈	129
4.4 模拟信号质量的改善	136
4.4.1 模拟信号的噪声和干扰	136
4.4.2 测量信号与放大器的 连接	140
4.4.3 信号的模拟滤波	145
参考文献	154

第5章 测量信号的数字化

处理	156
5.1 模/数转换器	156
5.1.1 信号取样、量化和编码	156
5.1.2 模/数转换器	166
5.1.3 模/数转换器的主要 规格	178
5.2 数/模转换器	181
5.2.1 模拟信号的重构	181
5.2.2 数/模转换器	183
5.2.3 数/模转换器主要技术 规格	187
5.3 数字信号处理方法和 工具	189
5.3.1 数字信号处理主要术语	189
5.3.2 离散傅里叶变换和快速傅 里叶变换	196
5.3.3 短时傅里叶变换和小波 变换	203
5.3.4 数字滤波器	208
5.4 数字信号处理技术在测量 中的应用实例	216
5.4.1 频谱分析	216
5.4.2 数字信号合成	223
5.4.3 信号质量的提高和信号 恢复	228
5.5 数字化测量仪器	235
5.5.1 数字万用表和频率表	235

5.5.2 数字示波器	240
5.5.3 功率和能量的数字化 测量	243
5.6 智能化数据分析	246
5.6.1 人工智能在测量中的 应用	246
5.6.2 自适应滤波器	247
5.6.3 人工神经网络	250
5.6.4 模糊逻辑	256
参考文献	260

第6章 计算机测量系统

6.1 引言	264
6.2 测量系统输入电路	267
6.2.1 数据调理和采集电路	267
6.2.2 含内置接口的传感器——智 能传感器	268
6.2.3 模拟和数字的传送器	270
6.2.4 数据记录仪	271
6.2.5 IEEE P1451 标准——灵巧传 感器	272
6.3 数据采集	275
6.3.1 插件式数据采集卡	275
6.3.2 外置式数据采集卡	277
6.4 计算机测量系统中的数据 通信	279
6.4.1 接口、总线和连接器	279
6.4.2 串行接口 RS-232C 和 RS-485	279
6.4.3 串行接口: USB 接口和火线 接口	284
6.4.4 并行 GPIB 接口 (IEEE488/IEC60625)	287
6.4.5 无线接口: 红外线、蓝牙 和 WUSB	291
6.4.6 移动电话的 GSM 和 UMTS 用于数据传输	294
6.4.7 无线数据采集和传输	297

6.4.8 使用以太网和因特网的计算机系统	299	6.6 虚拟测量系统	324
6.4.9 专用网络接口: CAN、I ² C、MicroLAN、SDI-12	303	6.6.1 虚拟测量设备概念	324
6.4.10 HART 接口和 4~20mA 标准	306	6.6.2 TestPoint 软件	326
6.4.11 工业通信标准——现场总线、Profibus、SCADA ...	307	6.6.3 Agilent VEE Pro 软件	330
6.4.12 模块化系统——VXI、PXI	310	6.6.4 国家仪器公司的 LabVIEW 软件	331
6.4.13 测量设备标准指令——SCPI	312	6.7 计算机测量系统实例	338
6.5 基于数字信号处理器的测量系统	314	6.7.1 测试磁性材料的测量系统	338
6.5.1 测量技术中的微控制器和数字信号处理器	314	6.7.2 任意波形励磁系统	341
6.5.2 微型接口——SPI 和 UART	321	6.7.3 磁场扫描成像设备	346
		参考文献	350
		附录	353
		附录 A 本书所用的一些符号	353
		附录 B 本书所用的缩略语	355

第1章 测量简介

法国剧作家莫里哀 (Molier) 的喜剧《小资产阶级绅士^① (The Bourgeois Gentleman)》中的主人公 Monsieur Jourdain 惊愕地宣称：“说实话，我写散文超过 40 年却并不了解它”。或许许多读者对于下面这个信息也会是感到惊讶：他们几乎每时每刻且处处进行测量，却不知道它。当我们说“今天比较寒冷”时，我们描述的是由我们的感觉器官（感受器）的测量判断的结果，这样的测量是以一个主观的方式进行的——另外的一个人可以在相同的情况下，说今天不寒冷，但是通常我们是用记忆中的温度作为一个参考的温度，并和现在的温度比较来进行温度估计的。我们就是这样地进行了测量的过程。

此外，当我们说“我今天感觉不太好”时，我们描述的是对于自身器官状态的分析结果。我们的感受器测试到了许多参数的不正常：血压、身体温度、脉搏、肾上腺素的水平等。我们身体内的测量系统，与在工业中应用的计算机测量系统的运行过程是非常相似的。感受器（传感器）决定了许多量的值：光、声音、味道、温度等。测知的结果以电信号的形式通过数十亿个神经纤维被传送到大脑^②，我们的大脑就充当为中央计算机单元——它控制着测量系统并处理所有的输入信号。值得提到的是，人体器官是一个非常优秀的温度调节器——它能够以 0.1℃ 的控制准确度将人体的温度稳定在 36.6℃。

牛津辞典对于“测量”术语的解释为：“通过使用一个经过标准单位标定的仪器或设备，或者通过与一个已知规模大小的物体相比较来确定（某物）的大小、数量或程度”（measure（测量）一词是从拉丁文 *mensurare* 转化而来的）^③。

对于在测量领域中从事专业工作的人们来说，这种解释是完全不能接受的。该解释包含了两个重要的部分，即断定（ascertainment）或更合适地称为（1）估计和（2）标准单位。但是缺少第三个部分，绝对是不可缺少的部分——估计的准确度，或更合适地称为估计的（3）不确定度。没有估计的不确定度的知识，整个的测量过程将是毫无价值的。对测量中主要术语的比较准确的讨论将在下章

① 或称为《自诩的绅士 (The Would-Be Gentleman)》或《中产阶级绅士 (The Middle-Class Gentlemen)》。

② 电流非常小，大约 100pA，但是我们使用 SQUID（超导量子干涉器件）超导方法可以测量这样大小的电流——我们依据该方法能够观测到在阅读不同字母时电流的变化量。

③ 与测量相关的大多数的术语在“国际基本和通用计量名词术语——ISO VIM”中有定义，国际标准化组织 (ISO)，日内瓦，1993（修订版 2004）。

中进行。然而在本章中，我们可以假设如下的直观的定义：测量是通过与标准单位的比较，来估计某一确定值的量（带有已知的不确定度）。这里给出的简单的定义强调了测量过程的重要方面——该行为在我们的生活中总是存在的。

实际上，几乎我们整个生命的活动都与测量有关，因为我们经常地比较各种不同的物体、评估它们的特性、确定它们的数量。我们坚持不懈地探索我们周围的世界，那么从本书书名中的“测量”的意义上讲，其限定在哪里呢？先考虑下面的例子：

我们在超市里用现金购物。它是测量吗？理论上上面定义中给出的所有要素都得到了满足。在支付现金时，我们清点钱的数量；数量有一个标准的单位（量子）——举例来说，一分钱或一个便士。如果我们心不在焉或是由于视力不好，我们点的钱数就会有一定程度的不确定度。

付款能用传统的方法实现，但是可以预测到的是，未来在超市里将不再需要收银员。所有的商品都是有标记的（比如说有磁性代码信号），而在门中的传感器能够探测到所有的信息。计算机系统计算总的费用，并将直接从我们的银行账户中收取所需数量的钱。这样的系统的可信度和准确度强烈地依赖于磁场传感器和磁性信号检测的质量。

还有其他的情形，我们为要粉刷的墙壁选择油漆颜色。这样的选择一般是非常主观的。但是颜色是可以用光波的波长来非常精确地描述的。在颜色混合情况下（举例来说，有 RGB 混合的——红色、绿色和蓝色，或是 CMYK 混合的——蓝绿色、红紫色、黄色和黑色），我们能精确地描述它们的百分比，此外还有特别的测定工具来测定颜色。我们能用不同的精度来描述各种颜色，甚至我们能使用模糊逻辑系统来描述不太精确的颜色。

还有其他的情形，表面上看与测量关系很远——摇滚音乐会。歌手唱歌时会使空气压力产生变化，这种变化被传声器检测到（传感器将空气压力转换为电信号），然后电信号就代表了声音（以频率和幅值为特征），并被处理和转换回我们能听到的声音。我们能利用记录下的声音（电信号）来进一步分析音乐会大厅的声学特性。

可以看出，日常生活行为以及测量技术是有关联的，但是区别是非常明显的（决定于该行为的目的）。

一个测量和一个日常事务之间的不同点在于这些行为的目标。测量是收集来自物理世界的数据的过程（Sydenham 等，1989），测量过程的这个特性是非常重要的。当然大多数的测量实际只有简单的目的，举例来说，当一个商店里的店员帮助我们称货物重量时，它帮助我们对购物的量（和价格）进行评估；当我们看温度计的时候，它帮助我们决定该穿什么衣服；工厂里的传感器帮助控制生产过程中的技术过程。但是把目光看得更远些——测量的重要性对于人类的文明有

着至关重要的意义。从人类有文明开始，人们试着去了解和领会周围这个世界，而测量科学（度量衡学）一直提供了实现人类的这些目的的更好的工具和方法。难怪如此多的诺贝尔奖是为那些在测量领域取得的成就而颁发的（比如说为通过量子霍尔效应（The quant Hall effect）的方法准确地测量电阻——1985年，为扫描透纳显微镜（The scanning tunneling microscope）——1986年，为铯原子钟——1989年，或为磁共振成像——2003年）。

测量的正式定义，被称为测量的可描述性（可追溯性，traceability）。这个术语的含义是所有的测量结果都可以利用标准和标准单位进行描述。标准以金字塔的形式排列，在这个金字塔的顶端就是国际标准（由国际计量局（BIPM）监管——巴黎）。从这个标准可以描述国家标准，从这个标准还可以描述得到认可的实验室标准，而在最后是我们的测量设备。同样地，在另一个金字塔的顶端上有SI（国际单位制）的七个主要的单位，从这些单位可以描述所有不同的量的各种导出单位。所有的量和它们的单位被ISO（国际标准化组织）标准收集。

目前，测量装置几乎到处都是，让我们来看看汽车。在一段时间以前，一辆典型的汽车只装备几个测量设备——用于检测燃油量、车速、发动机的温度。现在，在任何一款新汽车中都安装有几个甚至几百个各种不同的传感器（见图1-1）——从用于安全措施的重要的传感器（在防抱死制动系统（ABS）中测试

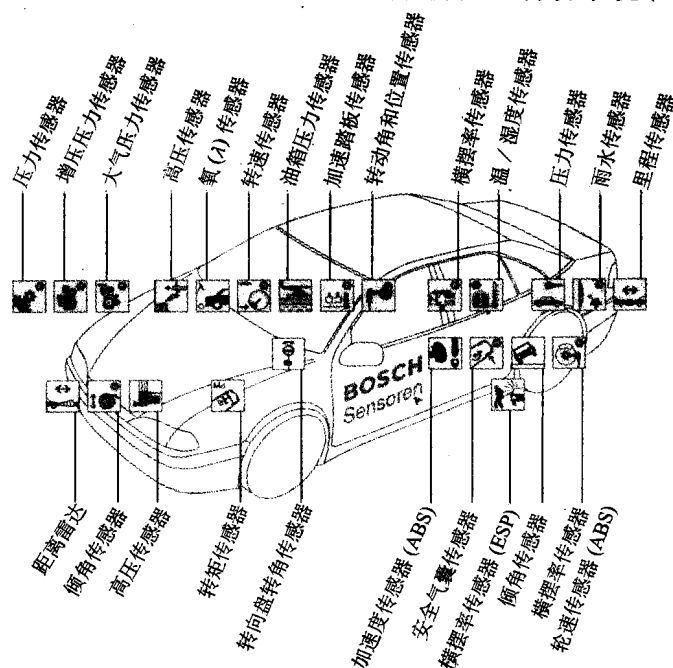


图 1-1 典型的汽车用传感器博世 (Bosch) (来自 Bosch 汽车传感器, 2002)
(得到了德国 Robert Bosch GmbH 公司许可)

每个车轮的转速)、时髦的记住座位位置的传感器 (Robert Bosch 2002, Jiri 2003) 到用于安全气囊的动作控制的应力传感器、通常控制挡风玻璃刮水板的降雨量传感器。许多驾驶者不知道在没有探测障碍物的超声波探测器时该如何倒车。现在当汽车装备了 GPS (全球定位系统) 也不足为奇。传感器的数量是如此的, 以至于需要一个由 Bosch 设计的、用于连接汽车上应用的智能传感器的专门 CAN (控制器局域网) 接口。现代传感器 (所谓的智能传感器或灵巧传感器) 装配了适当的接口 (以太网接口、CAN 接口、RS-232 接口), 而且它们是可以直接连接到网络系统的, 也有可以买到的配备了 CAN 输出接口的专用微控制器。

现代汽车还另外配备了几百个传感器以控制发动机的性能, 从 1996 年开始所有的汽车都配备了 OBDII (车载诊断) 系统 (Cox 2005、David P. 2002、David P. 2004、Delmar A. 2005)。图 1-2 给出了车载诊断系统使用的操作界面。

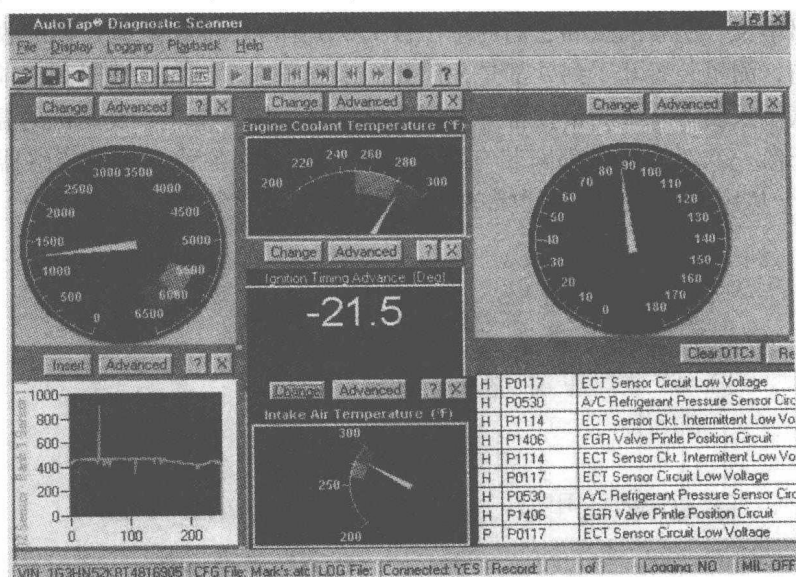


图 1-2 车载诊断系统的操作界面 (来自网站 www.autotap.com) (得到 autotap 的使用许可)

现代汽车的测试和诊断是连续进行的, 当某一部分出现故障时, 专用的指示灯就会提示驾驶员要尽快到服务站进行维修, 在服务站一个计算机系统被连接到那些专门的标准插座上, 这样就可以实际测试汽车的所有部件了, 甚至一些生产商已经为汽车装备了消费者版本的这样的系统。OBDII 系统帮助驾驶员将计算机或者是专门设计的掌上型计算机单元与汽车 (甚至还在路上行驶) 联接起来, 可能在不久的将来这样的系统将被引进到常见的汽车里。

最近测量技术进展非常显著, 由于信息学科、微电子学科、机电学科的发展, 我们才能够发现在测量上的真正的革命性的进展, 一般的测量设备被更复杂

的和通用的计算机测量系统所代替。计算机测量系统的广泛应用加速了传感器技术、接口系统、信号处理技术、数字信号处理器、测量软件（虚拟仪器）和智能数据分析方法的发展。许多测量设备在市场上消失了，在通常的应用中，只有几个设备还是“测量设备”的角色，比如说：数字万用表、数字示波器和任意波形发生器，使用这三种设备和计算机单元就可以设计组成不同的测量系统。但是也不要简单地认为现代测量技术就只是将模拟测量用数字测量代替，以及个人的一些操作由计算机代替就行了。测量的基本原理方法已经发生了改变——许多传统方法消失了，许多新方法得以涌现。

如图 1-3 所示为在一段时间以前的传统测量系统的构成，被研究物体（比如说工艺过程或物理现象）的性能由不同的测量设备、传感器、指示仪器、电桥等得到，它们通常都是直接安放在被测物体附近的，这样布局设备是由于它们大多没有输出接口的原因所导致的。有许多这样的设备，它们中的每一个都具有多种功能（电流表、电压表、功率表等），并且每一种设备经常能够测量不同的信号（动圈系仪表测量直流信号，动铁系仪表测量交流信号，电动系仪表测量功率等）。在这样的典型情况下，研究人员的身边就会包围许多仪器工具，就像是一位飞行员在喷气式飞机的驾驶员座舱中一样。通常实验需要研究人员到场操作（比如说为了平衡电桥或者为了改变仪器的量程）。即使在市场上出现了装备了输出接口的数字仪器时，也宁可更少地利用该接口。只有在工业的环境中，研

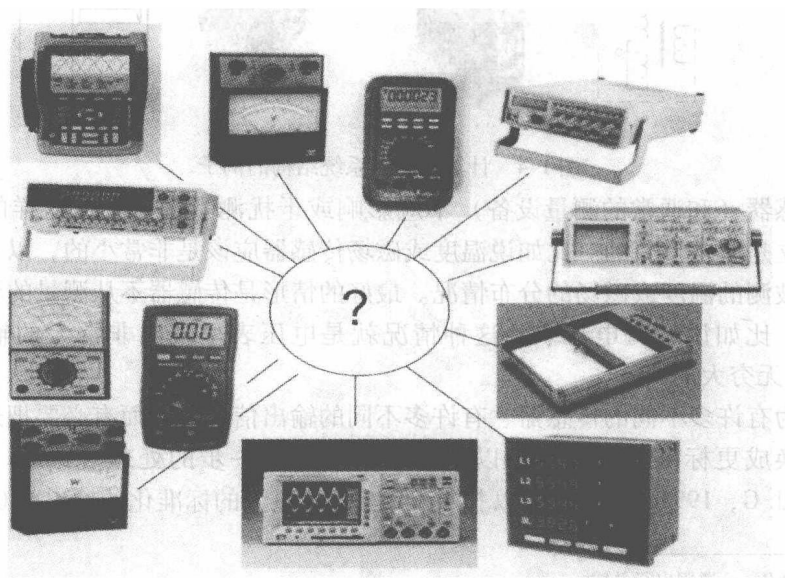


图 1-3 传统测量系统的构成

究人员的出现会是一个障碍的地方，才用到信号传输的方法。该方法在很久以前就被引进来了（有时信号为非电类的气动信号）。

图 1-4 给出了一个计算机测量系统结构的例子。被测物体（电类的和非电类的）的性能从应用的各种不同的传感器中得到，它们把测量的值转换为电信号（比如说热电偶应用于温度测量，霍尔传感器应用于磁场和电流测量，压力传感器应用于压力测量）。传感器可能是非常简单的——举例来说，位移传感器在形式上只是一个带移动电极的电容器，或热控管也只是一个随着温度而改变阻值的热敏电阻。但是传感器也可能是非常复杂的，由于微电子技术的进展，它们能做成集成电路——运算放大、校正电路、模/数转换器、甚至是微处理器。最近，配备了输出接口（USB[⊖]、RS-232C[⊖]或 Ethernet[⊖]）的所谓智能或灵巧传感器得到了应用。2005 年已经颁布的标准 IEEE P 1451 引入了传感器的“即插即用”技术标准，这使得通过因特网传输数据变得方便容易。

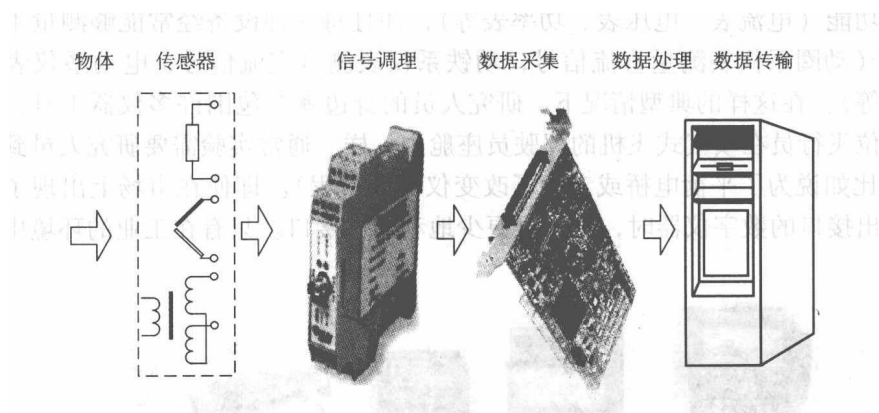


图 1-4 计算机测量系统结构的例子

传感器（和通常的测量设备）不应影响或干扰测量的环境，这样的测量条件的建立是非常重要的。比如说温度或磁场传感器应该是非常小的，以至于它不会影响被测的温度或磁场的分布情况。最好的情形是传感器不从测量的环境中吸收能源，比如说针对电压表，这种情况就是电压表呈现出非常大的输入阻抗（最好是无穷大的）。

因为有许多不同的传感器、有许多不同的输出信号，因而有必要把这些输出的值转换成更标准化的信号，以便于对信号作进一步的处理（Pallas - Areny, Webster J. G, 1991）。通常可以接受的电压或电流的标准化的输出为 0 ~ 5V 或

⊖ USB——通用串行总线。

⊖ RS-232C——推荐标准-232。

⊖ Ethernet——以太网，局域网（LAN）的最流行的通信系统。

0~20mA, 传感器相同的[⊙]输出信号有利于信号的进一步处理, 对于不同的传感器, 我们可以利用相同的输出设备。这就是为什么要使用所谓的信号调理设备(见图1-5)将各种不同的传感器信号转换为标准化形式的信号的原因。一些传感器直接提供对应于测量值的输出电压信号, 但是大部分传感器是参数(无源)类型的——它们把测量值转换成阻抗的变化, 时常是电阻的变化。这样信号调理的第一步就是将阻抗或电阻的变化转变为电压的变化。

模拟信号的处理通常是信号调理电路的第一步(Pallas - Areny, Webster 1999), 设计者通常被数字信号处理的可行性和软件灵活性所吸引而低估了该过程, 在不同的模拟处理技术里, 应该提到的主要方法是放大的方法, 当传感器的输出信号非常小时——比较典型的是模/数转换器需要的电压信号是0~5V, 这些方法就特别重要。第4章将讲述其他的一些模拟技术, 对于获得一个质量好的测量信号是很有用的, 比如在信号分布有噪声和干扰时。



图1-5 Macro Sensors公司的感应传感器信号调理单元(Macro Sensors 2005)
(得到Macro Sensors的许可)

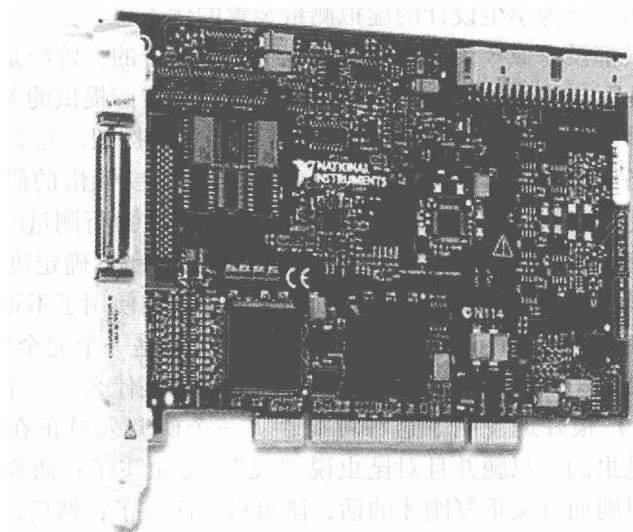


图1-6 外围设备接口(PCI)的数据采集卡的例子

[⊙] 应该为“标准化的”——译者注。