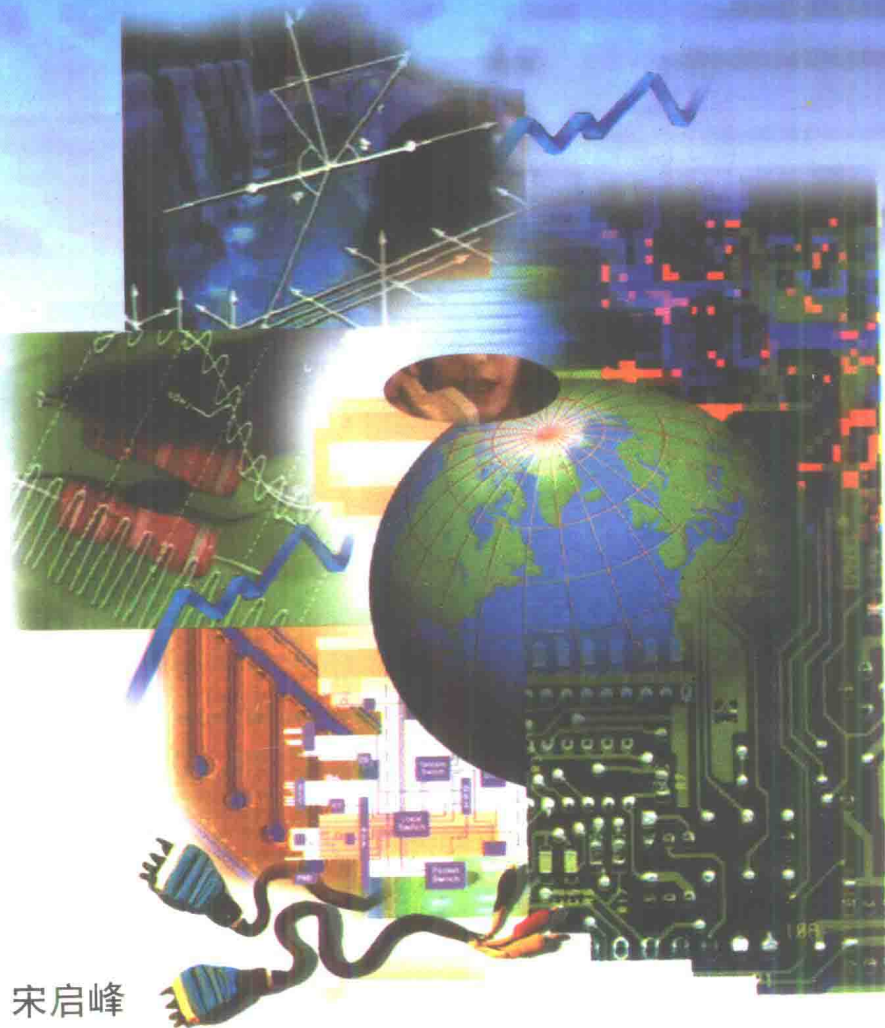


21 世纪高职高专信息类专业系列教材

电子测量技术



主 编 宋启峰
副主编 王 靖
主 审 胡焱山

重庆大学出版社

21

世纪高职高专信息类专业系列教材

电子测量技术

主 编 宋启峰

副主编 王 靖

主 审 胡焱山

重庆大学出版社

· 内 容 提 要 ·

本书按 60 学时编排。介绍了电子测量的原理方法,以及近代电子仪器的原理与应用,内容包括:误差分析与数据处理,示波器及其测量技术,电压、时间频率的测量技术,元器件参数的测量技术,信号源及扫频测量技术,微计算机化电子测量仪器。

本书理论以够用为度,注重实际操作的讲解,并配有参考实训方案,实用性较强。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量技术/宋启峰主编. —重庆:重庆大学出版社,2000.7
21 世纪高职高专信息类专业系列教材
ISBN 7-5624-2170-6

I . 电 ... II . 宋 ... III . 电子测量 - 高等学校:技术学校 - 教材
IV . TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 38502 号

21 世纪高职高专信息类专业系列教材
电子测量技术

主 编 宋启峰
副主编 王 靖
主 审 胡焱山

责任编辑 肖顺杰 何 明

★

重庆大学出版社发行
新华书店经销
重庆电力印刷厂印刷

★

开本:787×960 1/16 印张:18 字数:384 千
2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月第 1 次印刷
印张:1~5 000
ISBN 7-5624-2170-6/TN·36 定价:22.00 元

· 系列教材编委会 ·

主任单位：

重庆电子职业技术学院

副主任单位：

武汉职业技术学院

邢台职业技术学院

陕西工业职业技术学院

贵州大学职业技术学院

编委(以姓氏笔画为序)：

才大颖

王晓敏

王兆其

王柏林

刘真祥

刘业厚

刘建华

朱新才

李传义

吕何新

张学礼

张明清

张 洪

张中洲

张国勋

张西怀

李永平

杨滨生

林训超

赵月望

涂湘循

唐德洲

徐民鹰

曹建林

程迪祥

黎省三

· 系列教材参编学校(排名不分先后) ·

武汉职业技术学院
重庆电子职业技术学院
陕西工业职业技术学院
邢台职业技术学院
贵州大学职业技术学院
河南职业技术学院
三门峡职业技术学院
湖南工业职业技术学院
昆明大学
广西机电职业技术学院
成都电子机械高等专科学校
昆明冶金高等专科学校
珠海职业培训学院
广东交通职业技术学院
浙江省树人大学
江西工业职业技术学院
成都航空职业技术学院
辽宁仪器仪表工业学校
北京信息职业技术学院
徐州交通职业技术学院
重庆大学职业技术学院
重庆邮电学院
重庆工业高等专科学校
重庆石油高等专科学校
重庆职工大学
西南农业大学
长沙航空职业技术学院
番禺职业技术学院

总序

当今世界,科学技术的发展日新月异。在这空前的技术发展进程中,电子信息技术以其独特的渗透力和亲和力,正在迅速地改变着我们周围的一切。利用现代电子信息技术来改变我们的生活与学习,改造传统的各行各业,已成为当今社会人们的共识。

教育在我国社会主义建设发展进程中所具有的战略地位和基础作用已被越来越多的人所认识。职业技术教育、特别是高等职业技术教育在近二十年来得到了长足的发展,“高等教育法”、“职业教育法”的颁布与实施,使我国高等职业教育步入了法制轨道,国家与社会的进步与发展,需要高等职业教育,技术的进步与发展,也需要高等职业教育,高等职业教育成为世界教育发展的共同趋势。

在我国国内,高等职业教育毕竟是一种新型的教育类型,发展历史还不太长,在教育观念、教育体制、教育结构、人才培养模式、教育内容、教学方法、教材、教法诸方面,有不少问题需要研究与探索。重庆大学出版社从促进高等职业教育发展战略的角度,于1999年邀请国内三十余所长期开办电子信息类专业的学校,开展对电子信息类高职、高专教材的开发研讨。与会学校有独立设置的职业技术学院、高等专科学校、职业大学、普通高校中的职业技术学院、多年试办高职班的重点中专学校。大家一致认为,我国高等职业教育的教材建设非常薄弱,基本上没有自己的教材,从而导致针对性、适应性差。从电子信息类专业角度看,缺乏成体系的系统教材,从而导致不同层次教材的交叉重复现象严重;再者,现行教材中缺乏对新技术、新工艺、新产品相关内容的介绍。因此,开发适应新世纪高等职业技术教育的教材就成为当务之急,它的总的原则应是:根据培养应用型、技能型人才的目标,从职业岗位对专业知识的需要来确定教材的知识深度及范围,坚持“必须、够用”的原则;同时注意知识的应用价值在教材中的科学体现,力求构筑具有高职特色的理论知识体系;基本概念、基本原理以讲明为

度,同时将一些内容相近的部分进行合并。另外,针对高职教育培养技能型、现场型人才的目标,把训练职业能力的实践技能体系方面的内容,与理论知识体系有机地结合起来,力求在这方面有所突破。根据教育部在高职、高专教材建设方面采用先解决有无问题,再解决提高与系统性问题的原则,我们在一开始就力求站在一个较高起点上,先从电子信息类教材开发做起,然后再进一步开发其他专业大类的应用型高职教材。

经过近一年的努力,电子信息类高职、高专系列教材就要与大家见面了。本系列教材的编写原则、编写体例均是根据教育部高职、高专培养目标并由参与系列教材编写的全国三十余所相关院校经过数次研讨、反复论证确定的。尽管我们对它抱有较高的期望,但这毕竟是一个新生事物,是一种尝试,成功与否,还需要经过教学实践来检验。无论如何,既然已经起步,这条路我们会一直走下去。为了我们共同的高职教育事业,欢迎大家在使用过程中,指出它的不足,以利于我们今后的工作。

编委会

2000年7月

前 言

本书是 21 世纪高职高专信息类专业系列教材,根据教育部高职高专培养目标和对本课程的教学基本要求,结合全国高等职业技术教育信息类专业系列教材研讨会精神编写而成,经系列教材编委会审定。

《电子测量技术》是一门理论性和实践性都很强的课程。电子测量技术又是一门综合性的技术,由于取样技术、A/D 转换技术、锁相技术、频率合成技术和计算机技术等的重要性,教材中都作了较为系统的介绍。测量原理的介绍以电子测量仪器与方法为主线,测量仪器的介绍以方框图为主,对于仪器电路则介绍典型仪器的关键电路。为体现理论联系实际的原则,突出课程的实践性,还给出了与各章内容相适应的实训参考方案。采用实训方案这一形式,是为了各校发挥自身优势,根据实际情况指导学生进行实训。编者尽力按照系统性、实用性、先进性的原则组织教材内容;力求做到语言流畅、通俗易懂、利于教学、便于自学。

全书共分为四个部分。绪论及第一章测量误差与数据处理为本书的基础部分,介绍电子测量的基本概念、测量误差的基本理论、测量数据的处理技术与方法;第二部分为第二~七章,介绍基本电参数的测量技术,以信号发生器、示波器、图示仪、计数器、电压表、失真仪、扫频仪、频谱仪及阻抗测量仪为重点,介绍常用电子测量与仪器的原理、技术与方法;第八章现代电子测量仪器为第三部分,介绍智能仪器、个人仪器、自动测试系统和虚拟仪器的基本组成原理及应用,以及逻辑分析仪的基本原理与应用;第四部分包括一个实用的数据处理程序、部分习题的参考答案和参考文献。

本教材参考学时数为 60~80 学时。

本课程应在学完全部基础课及《微型计算机原理》课后进行。

本书绪论、第一、二、五、八章由宋启峰编写(武汉职业技术学院);第三章由王靖编写(贵州大学职业技术学院);第四章由尚冬梅编写(陕西工业职业技术学院);第六

章由徐书理编写(浙江树人大学);第七章由余德容编写(重庆电子职业技术学院);附录由宋烈武编写(武汉职业技术学院)。全书由宋启峰统稿并作技术处理,由胡焱山副教授主审(武汉职业技术学院)。

本书适用于高职高专、成教电子信息类各专业,也可作为电子技术人员的参考书。

在编写过程中,武汉职业技术学院及兄弟院校有关部门的老师,对本书的原稿提出了许多宝贵的意见,在此表示诚挚的谢意。由于编者水平所限,书中难免还存在一些不足和错误,希望广大读者批评指正。

编 者

2000年5月

目 录

1	绪论
1	第一节 测量与计量
3	第二节 电子测量概述
8	第三节 电子测量仪器概述
13	第四节 本课程的任务
13	小结
14	思考题与习题
15	第一章 测量误差与数据处理
15	第一节 测量误差的基本概念
24	第二节 测量误差的估计及处理
34	第三节 误差的合成与分配
40	第四节 测量数据的处理
46	小结
47	思考题与习题
48	实训参考方案
50	第二章 信号发生器
50	第一节 概述
57	第二节 常用信号发生器
69	第三节 合成信号发生器
76	小结
77	思考题与习题
77	实训参考方案
78	第三章 示波器与示波测量技术
78	第一节 波形显示原理
83	第二节 示波器的组成原理
88	第三节 通用示波器
95	第四节 示波器的多波形显示
98	第五节 取样技术在示波器中的应用
101	第六节 示波器的使用

105	第七节 晶体管特性图示方法
109	小结
110	思考题与习题
111	实训参考方案
113	第四章 时间与频率的测量
113	第一节 概述
117	第二节 电子计数器的功能
122	第三节 电子计数器的测量误差
127	第四节 电子计数器的应用
132	第五节 频率稳定度的测量
135	小结
136	思考题与习题
137	实训参考方案
138	第五章 电压测量技术
138	第一节 电压测量概述
142	第二节 交流电压的测量
153	第三节 电压的数字化测量方法
169	第四节 电压的计量与测量
172	第五节 失真度、调制度的测量
180	小结
181	思考题与习题
182	实训参考方案
184	第六章 频域测量
184	第一节 频率特性测试仪
193	第二节 光栅增辉式图示方法
196	第三节 扫频外差式频谱仪
199	小结
200	思考题与习题
201	实训参考方案
202	第七章 阻抗测量

202	第一节 电桥法测量 R、L、C
207	第二节 谐振法测量阻抗
213	第三节 阻抗的数字化测量方法
216	小结
216	思考题与习题
217	实训参考方案
218	第八章 现代电子测量仪器
219	第一节 智能仪器与个人仪器
231	第二节 自动测试系统
245	第三节 虚拟仪器
256	第四节 逻辑分析仪
268	小结
269	思考题与习题
269	实训参考方案
271	附录 数据处理系统
274	部分习题参考答案
275	参考文献

绪 论

第一节 测量与计量

一、测量及其重要意义

测量是人们认识客观事物并获得其量值的实验过程。在这个过程中,人们借助专门的设备,通过实验的方法,求出被测量的大小,并给出单位。测量的基本方法是比较。测量技术是研究测量的原理、测量仪器和测量方法及其相互关系的技术学科。

测量的作用表现在:为认识客观世界和改造客观事物,提供理论、方法并获得其数量概念;验证理论;探索新的事物和发现其线索。测量是揭示世界的规律,用数字语言描述周围世界,进而改造世界的重要手段。英国科学家 A. H. 库克(Cook)说:“测量是技术生命的神经系统……精密的测量是精确的知识和经济的设计所必需的,方便的测量是敏捷的通讯和有效的组织所必需的。”

一般说来,任何科学的结论,都是对实验数据进行统计、分析和推断的结果,而数据的获得,就要通过测量。近代自然科学,是从有了实验科学之后,才真正形成的。许多科学成果的取得,首先是因为有了新的实验手段。俄国科学家门捷列夫(Д. И. Менделеев)说:“没有测量,就没有科学。”

测量实践的历史几乎和人类的历史一样悠久。但是,作为一门科学技术,测量问世却不过几百年。而电子测量如同电子技术一样,也只有百余年的历史,电子测量的发展却非常快。20 世纪中叶以来,随着自然科学的发展,电子技术、计算机技术特别是微处理器的应用,电子测量技术和仪器发生了革命性的变化,并广泛应用于生产、科研、国防及社会生活的各个领域,极大地提高了人们认识和改造世界的能力。因此,提高测量的水平,降低测量成本,提高测量效益,就成为我们的重要工作。一个国家测量技术的水平,是衡量其进步程度的重要标志之一。

二、测量的任务

测量的任务来源于生产和科研的实际需要,即来源于一个工程项目、一个产品生产或产品的设计等。一般而言,在工业上,测试可分为三种类型:一是设计阶段的测试,用于改善或修改设计,并为材料、元器件及技术进行评价和选择。二是产品制造阶段的测试,按生产的进程,它包括:进货检验,以保证原材料质量;生产线检测,以保证生产的工序质量;出厂检验,以保证成品的质量。三是用户所进行的测试,即故障诊断和维修的测试。测量的任务包括以下三个方面。

①分析、理解被测对象及其测量要求,制订测量方案和测量方法。对被测对象分析得愈彻底、了解得愈深刻,制订的测量方案和测量方法就会愈简单、愈实用。

②选择和组建测试系统或制造测量仪器,为测量准备硬件。

③进行实际的测量操作,采集数据和处理数据,并以适当的形式(数据、曲线、图形、表格等)表示出被测对象最具有特征的信息。

其中①、③属于测量的软件技术,②属于测量的硬件技术。软、硬件技术是相互关联不能脱离的,当二者出现矛盾时,测量仪器或测量方法就要进行变革,这样来解决矛盾,促进了它们不断的进步和发展。进行测量的关键是以测量方法为基础的测量管理。人要分担测量的若干功能,是测量系统的有机组成部分,人在测量管理中的表现更为突出,仪器愈简单,人的作用就愈重要。测量技术的进步在于把某些功能交给机器去完成,现在计算机应用非常普及,测量过程中的许多功能可以由计算机完成,如控制、指挥和操作仪器,记录、存储和处理测量数据等。尽管如此,人的作用仍然非常重要,特别当信息极为复杂,要有机地组织各仪器来完成特定的信息检测任务时,人作为测试系统组成部分的特征是非常明显的。

随着科学技术的进步,生产规模和人类活动范围的扩大,信息情报变得愈来愈复杂和集中。以一定的准确度,迅速地从大量的被测对象中,检测出表现其最具本质特征的参数是测量的根本任务。因此,测量除了具有经典的比较意义之外,还有从一系列数据中提取最可靠、最有用的数据,以便直接利用这些数据的内容。所以,测量的过程包含了控制技术、检测及转换技术、数据采集技术、指示技术、信息处理技术的合理利用,以及测量原理、测量方法、测量仪器及其操作控制等方面的内容。

三、计量的基本概念

计量学是研究测量,保证测量的统一和准确的学科。它的研究内容包括计量单位及其基准,标准的建立、保存、传递、复制和使用,测量的方法和测量的准确度,计量器具以及计量管理和法制等。

计量有别于测量,又与测量有着密切联系。可以说计量是保证测量准确和统一的一种特殊测量。计量的主要工作是把未知量与经过准确确定、并经国家计量部门认可的基准或标准相比较加以测定。我国颁布的计量法已于1986年7月1日起施行。计量具有准确性、统一性和法制性。

计量的主要技术工作有:比对、校准、检定。比对是指在相同条件下对相同精度的计量器具之间的量值的比较过程。校准是确定和恢复计量器具的示值误差(或其他计量性能)的全部工作。检定是评定计量器具的计量性能(准确度、稳定度、灵敏度等),并确定其是否合格所进行的全部工作。

计量器具按其准确度和用途分为计量基准、计量标准和工作用计量器具。计量基准又分为主基准(国家基准)、副基准和工作基准。

主基准用于保存和复制计量单位,它具有现代科技和工艺水平所能达到的最高准确度,是经国家鉴定并批准,作为统一的全国计量单位量值的最高依据的计量器具。副基准和工作基准由主基准复制所得,用于基准量值的传递。

计量标准是符合规定准确度等级用作检定依据的计量器具,其量值由工作基准来传递。

工作用计量器具的量值由计量标准来传递,用于日常工作和生活。工作用计量器具需要进行定期检定以保证其计量性能,但不作为计量检定的依据。

计量单位必须以严格的科学理论为依据进行定义。我国和世界上许多国家都使用1960年第11届国际计量大会通过的国际单位制(SI)。基本单位是那些可以彼此独立地加以规定的物理量单位,国际单位制(SI)的基本单位有七个:长度单位 m(米)、质量单位 kg(千克)、时间单位 s(秒)、电流单位 A(安)、热力学温度单位 K(开)、发光强度单位 cd(坎)和物质的量单位 mol(摩)。其中,秒的定义为:“秒是 ^{133}Cs 原子基态的两个超精细能级之间跃迁的辐射周期的9 192 631 770 倍的持续时间”。根据定义、定律和函数关系派生出来的其他单位,称为导出单位。例如,频率的单位为 Hz,定义是:周期为1s的周期性现象的频率,即 $\text{Hz}=1/\text{s}$ 。国际单位制中包括两个辅助单位:平面角的单位 rad(弧度)和立体角的单位 sr(球面度)。

测量是计量联系生产实际的重要途径,是计量的基础。测量认为误差来源于被测量之外,计量则认为误差来源于被测量本身。计量是测量准确和统一的保证。测量与计量互相推动,共同发展,在国民经济的各个领域发挥着越来越重要的作用。

第二节 电子测量概述

广义地讲,凡是利用了电子技术的测量都可以称为电子测量。它的内容涉及到在

极宽的电磁频谱上对所有电磁量的测量,包括通过传感器对各种非电量的电测技术。狭义地讲,电子测量是指对电学量的测量。

一、电子测量的内容

通常所说的电子测量是指狭义上的含义,其基本内容如下:

- ① 电能量的测量 包括各种频率、波形的电压、电流等的测量。
- ② 电信号特性的测量 包括波形、频率、时间、相位、噪声以及逻辑状态等的测量。
- ③ 电路参数的测量 包括阻抗、品质因数、电子器件参数等的测量。
- ④ 导出量的测量 包括增益、失真度、调幅度等的测量。
- ⑤ 特性曲线的显示 包括幅频特性及器件特性等的测量。

二、电子测量的特点

电子测量的显著特点是频率范围极宽。除直流外,低端可达到 $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{Hz}$,高端可达到 100GHz 以上。因此,从测试信号的产生和测试功能的形成这两个方面,电子测量都能在很宽的频率内工作。与其他测量相比,电子测量还具有以下几个明显的特点。

1. 测量准确度高

电子测量和仪器的准确度一般都能达到相当高的水平,许多情况下是其他测量无法相比的。例如,长度测量的最高准确度也不过为 10^{-8} 量级。在电子测量中,特别是对时间和频率的测量,由于采用了原子频标(原子秒)作为基准,使测量的准确度可优于 10^{-13} 量级。正由于此,它在现代科学技术领域得到极其广泛的应用。如发射人造卫星,需要高精度的自动控制和遥测系统,如果测量控制不准,最后一级火箭若有 0.2% 的误差,卫星就会偏离轨道 100km ,真是“差之毫厘,失之千里”。在这样一些需要精密测量的地方,几乎都要采用电子测量和其他技术相配合的方法来进行测量。

2. 量程广

量程是测量范围的上限值与下限值之差。由于被测电量的大小相差极大,要求测量仪器的量程也极宽。由于电子技术的“灵活性”,电子测量仪器的量程可以做到很宽。例如一台普通的欧姆表,可测出几 Ω 几十 $\text{M}\Omega$ 电阻值,量程达 6、7 个数量级。一台高灵敏的数字电压表,可测出 $10 \text{nV} \sim 1 \text{kV}$ 以上的电压,量程达 11 个数量级。频率计的量程则更宽,可高达 17 个数量级。量程宽,正是电子测量仪器的突出优点。

3. 测量速度快

电子测量是通过电磁波的传播和电子运动来进行工作的,因而可以实现高速度测量,其他方法是无法比拟的。这也是它在现代科学技术领域得到广泛应用的一个重要原因。在现代科学技术中,许多物理过程都是瞬息变化的,没有测量过程的高速度,要控制和掌握这些过程是不可能的。同时,也只有提高测量的速度,才能使多次测量的测量条件基本维持不变,有利于利用求平均的方法来减小测量误差。因此,不断提高测量速度也是电子测量的一个重要方向。

4. 测量的灵活性

电子技术中,各种电量之间的相互转换是很容易实现的。在电子测量中,这种转换十分普遍,其目的在于将被测量转换成较容易测量的量,以满足对测量的各种不同的要求。人们有可能根据不同的对象、不同的要求以及现有的装备条件因地制宜地决策,以不同的方式方法尽可能好地完成测量任务。因而,电子测量具有非常灵活多变的特点。例如,它通过各种类型的传感器,可以将非电量(如热力学、光学以及机械学的物理量)转换为电量(如电压、电流、功率、频率等),完成其他办法难以完成甚至不可能完成的任务,这样就可以很方便地应用电子测量技术。

电子测量中,常用的转换技术有:分频、倍频、检波、斩波、 $U-T$ 、 $T-U$ 、 $U-F$ 、 A/D 、 D/A 等。例如,有时把电压变为频率或时间(如数字电压表),有时则反过来(如高性能的数字电压表)。

电子测量的显示方式比较清晰、直观。例如,发光二极管显示,荧光屏显示测量结果等。测量结果还便于打印、绘图、传输、指示或报警。

5. 易于实现遥测

电子测量的又一个可贵特点是它的远距离作用的可能性。由于远距离作用就能实现遥测遥控。所谓“远距离”,其含义包括远在天边,如人造卫星、导弹、其他星球、远处的地面、海洋等;近在面前,主要是指人体难以接近或不能接近的特殊场所,如人体内部、内燃机汽缸内部和原子反应堆内部现象的测量。对于那些需要长期不间断测量的场合,电子测量都有它独到的方便之处。

电子测量易于实现遥测和长期不间断测量等优点,使它在各领域得到了广泛的应用。

6. 易于利用计算机

近 20 年来,电子测量仪器与电子计算机相结合,得到了飞速的发展。借助于 A/D 、 D/A 转换技术、接口技术,电子测量过程和电子仪器及系统的智能化、自动化成为现实。目