



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

传感器与 自动检测技术

余成波 主编

▼
……
(第2版)
……
▲



高等教育出版社



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

传感器与 自动检测技术

余成波 主编

▼
……
(第2版)
……
▲



高等教育出版社

内容提要

本教材是编者在多年来从事传感器教学及科研的基础上写成的,内容丰富、全面、新颖,叙述力求由浅入深,对传感器原理力求讲清物理概念,对传感器的应用充分结合生产和工程实践,使教材具有一定的实用和参考价值。本教材突出应用性和针对性,强化实践能力的培养,将传感器和工程检测方面的知识有机地联系起来,使学生在掌握传感器原理的基础上,能更进一步地应用这方面的知识来解决工程检测中的具体问题。同时,在编写过程中,注意补充反映新器件、新技术的内容,力求使读者了解前沿学科。

全书共8章,其主要内容包括:传感器与检测技术概论、检测系统的误差合成、常用传感器的工作原理、常见非电参数的检测方法、微弱信号检测、检测系统抗干扰技术、测量信号的调理及处理、现代检测系统等。

本书内容全面而实用,适用面广,不仅可以作为电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、机电一体化、自动化、电子信息工程、测控技术与仪器等专业本科生教材,也可作为广大从事检测技术开发与应用的工程技术人员的自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与自动检测技术/余成波主编.—2版.—北京:
高等教育出版社,2009.7
ISBN 978-7-04-027306-9

I. 传… II. 余… III. ①传感器-高等学校-教材②自动检测-高等学校-教材 IV. TP212 TP274

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第105461号

策划编辑 李 慧 责任编辑 曲文利 封面设计 赵 阳 责任绘图 尹 莉
版式设计 范晓红 责任校对 金 辉 责任印制 宋克学

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京人卫印刷厂		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2004年2月第1版
印 张	34		2009年7月第2版
字 数	770 000	印 次	2009年7月第1次印刷
		定 价	35.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 27306-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010) 58581118

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要，满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求，探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系，全国高等学校教学研究中心（以下简称“教研中心”）在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上，组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校，进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索，在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果，并在高等教育出版社的支持和配合下，推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材，冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月，教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项，为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台，整体设计立项研究计划，明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式，分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现，组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组（亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组）。会后，教研中心组织了首批课题立项申报，有63所高校申报了近450项课题。2003年1月，在黑龙江工程学院进行了项目评审，经过课题领导小组严格的把关，确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月，各子课题相继召开了工作会议，交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题，确定了项目分工，并全面开始研究工作。计划先集中力量，用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是，“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上，紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要，努力实践，大胆创新，采取边研究、边探索、边实践的方式，推进高校应用型人才培养工作，突出重点目标，并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础，作为体现教学内容和教学方法的知识载体，在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作

面临的十分重要的任务。因此，在课题研究过程中，各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果，并和教学实际结合起来，认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革，组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师，编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案，以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信，随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入，特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施，具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

“传感器与检测技术”是一门仪器科学技术领域各学科的共同理论基础课程，通过这门课程的学习，学生应该学会选择各种传感器，并应用这些传感器构成系统，进一步能够解决工程、生产及科研中遇到的各种具体或特殊的传感与测试的问题。

本书的编写力求将系统性、实用性与先进性相结合，理论与实践相交融，既注重传统知识的讲授，又兼顾新技术、新成果的应用，具有如下特色。

1. 应用型特色——充分结合生产和工程实践

以“培养技术应用能力为主线”，突出应用性和针对性，强化实践能力的培养。将传感器和工程检测方面的知识有机地联系起来，使学生在掌握传感器原理的基础上，进一步应用这方面的知识以解决工程检测中的具体问题。

2. 课程体系创新——知识结构合理、知识体系完整

首先从检测技术基本概念与应用概述入手，以常用传感器工作原理分析来铺开传感器与检测技术的基本实现手段，并强调新型传感器的介绍及应用，最后对如何组成检测系统、计算机在检测系统中的应用及系统抗干扰和网络技术运用等作了分析。书稿内容翔实、结构合理、知识体系完整。

3. 内容丰富新颖——精选最新科技成果

注意补充反映新器件、新技术的内容，如 IP 传感器、无线传感器网络、智能传感器、微弱信号检测原理、网络监控系统等，力求使读者了解前沿学科。

4. 提供与本书配套的教学资源

除了提供各章的 PPT 讲稿、习题解答外，还提供我们自行开发的电子教学资源如试题库、虚拟测试仪器、网络测试仪器、课程设计与毕业设计指导等。本书电子教案和习题解答等教学资源可在中国高校电子电气课程网站免费下载，敬请登录 <http://ee.cncourse.com>；获取其他教学资源请联系本书主编余成波教授，邮箱地址 yuchengbo@cqut.edu.cn。

全书共 8 章，其主要内容包括：传感器与检测技术概论、检测系统的误差合成、常用传感器的工作原理、常见非电参数的检测方法、微弱信号检测、检测系统抗干扰技术、测量信号的调理及处理、现代检测系统等。本书目录中加 * 的章节为选学内容。教师可以根据专业的需要和学时的多少决定取舍，有些内容可以让学生通过自学掌握，不必全在课堂上讲授。

本书由余成波主编，负责全书的统稿和审校。其中，李洪兵编写第 1 章；陶红艳、陈鸿雁编写第 2 章、第 6 章；余成波、胡新宇、赵勇编写第 3 章；余成波、邢德周编写第 4 章；李彦林编写第 5 章；杨数强、秦华锋编写第 7 章；余成波、张莲编写第 8 章；另外参

加部分内容编写的还有谢东坡、李泉、龚智、胡柏栋、许超明、崔焱喆、张冬梅、彭秋、刘贺、刘彦飞、张方方、沈玉、吴佳伟、周召敏、李文娟等。

上海交通大学施文康教授在百忙中细致地审阅了书稿，提出了许多中肯的修改意见和建议，编者深表谢忱。本书在编写过程中也得到了众多高等学校、科研单位、厂矿企业等的大力支持和帮助，并获得了许多宝贵的意见。在此，一并表示衷心的感谢。

本书内容全面而实用，适用面广，不仅可以作为电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、机电一体化、自动化、电子信息工程、测控技术与仪器等专业本科生教材，也可作为广大从事检测技术开发与应用的工程技术人员的自学用书。

热忱地期望各位读者和同仁对本书的错误和不足提出指正和建议。

编 者
2009年3月

初版前言

本书在编写过程中力求使内容丰富、全面、新颖，叙述由浅入深。按照“少而精”及“理论联系实际”的原则，对传感器原理部分力争讲清物理概念，对传感器的应用部分则充分结合生产和工程实践。同时，在编写过程中，注意了补充反映新器件、新技术的内容，力求使读者了解前沿学科。本书编者借助多年来从事传感器与检测技术教学与科研的经验，还对传感器与检测技术的工程应用和技术实现的思想、思路作了引导，旨在帮助读者将传感器与工程检测方面的知识有机地联系起来，为解决实际的工程问题打下基础。此外，本书在各章节中针对新型传感器及其应用技术的介绍对于读者了解本领域的技术发展趋势也是非常有益的。

全书共有8章，首先从检测技术的基本概念与应用概述入手，以对常用传感器工作原理的分析来阐述传感器与检测技术的基本实现手段，并强调新型传感器的应用，最后对如何组成检测系统、计算机在检测系统中的应用、系统抗干扰技术和网络技术的运用作了分析。全书结构合理、知识体系完整、文字通顺。各章节之间既有机联系，又在知识点上相互独立，适合教学组织中针对不同专业特点进行侧重面的选择和学生自学参考。

本书由重庆工学院余成波和胡新宇、清华大学赵勇任主编，全书由余成波统稿。其中：第1章由余成波、陈鸿雁等编写；第2章由赵勇、余成波等编写；第3章由陈鸿雁、邢德周、赵勇、余成波、胡新宇、张莲等编写；第4章由余成波、胡新宇、邢德周、陶红艳等编写；第5章由余成波、陶红艳等编写；第6章由胡新宇编写；第7章由胡新宇、余成波等编写；第8章由余成波编写。本书由重庆大学温志渝教授主审。

许多兄弟院校的教师为本书的编写提出了许多宝贵的意见，在此，编者向他们表示衷心的感谢。

热忱地期望各位读者和同仁对本书的错误和不足之处提出指正和建议。

编者

2003年10月

目 录

第 1 章 传感器与检测技术概论	1	3. 10 光纤传感器	135
1. 1 检测技术概论	1	* 3. 11 超声波传感器	143
1. 2 传感器概论	9	* 3. 12 微波传感器	149
1. 3 传感器与检测技术的发展动向 ..	12	* 3. 13 红外传感器	153
1. 4 检测系统的静态特性与性能 指标	14	* 3. 14 核辐射传感器	156
1. 5 检测系统的动态特性与性能 指标	16	* 3. 15 化学传感器	160
习题	21	3. 16 数字式传感器	172
第 2 章 检测系统的误差合成	23	* 3. 17 生物传感器	205
2. 1 测量误差的基本概念	23	* 3. 18 智能式传感器	212
2. 2 随机误差及其处理	27	* 3. 19 微型传感器	217
2. 3 系统误差的处理	32	* 3. 20 模糊传感器	230
2. 4 测量粗大误差的存在判定准则 ..	37	* 3. 21 网络传感器	235
2. 5 测量系统的误差计算方法	38	习题	242
2. 6 测量系统最佳测量方案的确定 ..	41	第 4 章 常见非电参数的检测方法	246
习题	43	4. 1 力、压力和转矩的测量	246
第 3 章 常用传感器的工作原理	45	4. 2 位移、物位和厚度的测量	270
3. 1 电阻式传感器	45	4. 3 速度、加速度与振动的测量 ..	282
3. 2 电容式传感器	54	4. 4 转速的测量	303
3. 3 电感式传感器	66	4. 5 噪声的测量	309
3. 4 电涡流式传感器	74	4. 6 温度的测量	327
3. 5 压电式传感器	79	4. 7 流量的测量	339
3. 6 磁电式传感器	90	4. 8 成分量的测量	347
3. 7 热电式传感器	92	习题	355
3. 8 光电式传感器	108	* 第 5 章 微弱信号检测	358
3. 9 霍尔传感器	122	5. 1 微弱信号检测的基本概念	358
		5. 2 微弱信号检测方法	365
		5. 3 微弱信号检测技术	367
		习题	386

第 6 章 检测系统抗干扰技术	387	习题	464
6.1 干扰的分类	387	第 8 章 现代检测系统	466
6.2 干扰的引入	389	8.1 计算机检测技术	466
6.3 干扰的抑制方法	391	8.2 虚拟仪器	485
习题	401	*8.3 网络监控系统	510
第 7 章 测量信号的调理及处理	402	*8.4 视觉检测技术	520
7.1 信号调理电路	402	习题	530
*7.2 多传感器信息融合	453	参考文献	532

第 1 章 传感器与检测技术概论

1.1 检测技术概论

1.1.1 检测的定义

检测 (Detection) 是利用各种物理、化学效应, 选择合适的方法与装置, 将生产、科研、生活等各方面的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性或定量结果的过程。能够自动地完成整个检测处理过程的技术称为自动检测与转换技术。

在信息社会的一切活动领域中, 从日常生活、生产活动到科学实验, 时时处处都离不开检测。现代化的检测手段在很大程度上决定了生产、科学技术的发展水平, 而科学技术的发展又为检测技术提供了新的理论基础和制造工艺, 同时对检测技术提出了更高的要求。

1.1.2 检测技术的作用

随着科学技术的飞速发展和工程技术的迫切需求, 检测技术已越来越广泛地应用于工业、农业、国防、航空、航天、医疗卫生和生物工程等领域, 它在国民经济中起着极其重要的作用。

检测是科学研究的基础。科学上的发现和技术上的发明是从对事物的观察开始的。对事物的精细观察就要借助于仪器。

在机械制造行业中, 通过对机床的许多静态、动态参数如工件的加工精度、切削速度、床身振动等进行在线检测, 从而控制整个工艺流程及产品质量, 保证重大装备的安全可靠和高效优化运行, 是整个生产系统的神经中枢, 起着不可替代的重要保障作用。图 1.1 所示为汽车生产过程中的自动化测试生产线图。

在化工、电力等行业中, 如果不随时对生产工艺过程中的温度、压力、流量等参数进行自动检测, 生产过程就无法控制甚至产生危险。随着电力系统朝着高电压、大容量的方向发展, 保证电力设备的安全运行越来越重要, 停电事故给国民经济和人民生活带来的影响及损失越来越大。高压电力设备是组成电力系统的基本元件, 是保证电力系统运行可靠性的基础, 不论大型关键电力设备 (发电机、变压器、断路器等), 还是小型电力设备 (避雷器、绝缘子等), 一旦发生故障必将引起局部甚至全部地区的停电。为此, 电力设备在线监测与故障诊断技术, 在提高电力设备的运行可靠性方面起到关键性作用。图 1.2 所示为典型风力发电系统在线监测与故障诊断示意图。

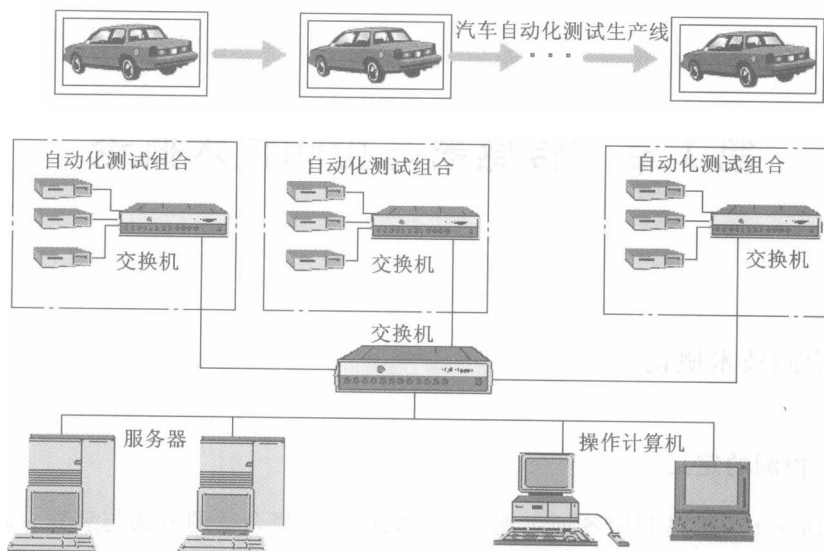


图 1.1 汽车生产过程中的自动化测试生产线图

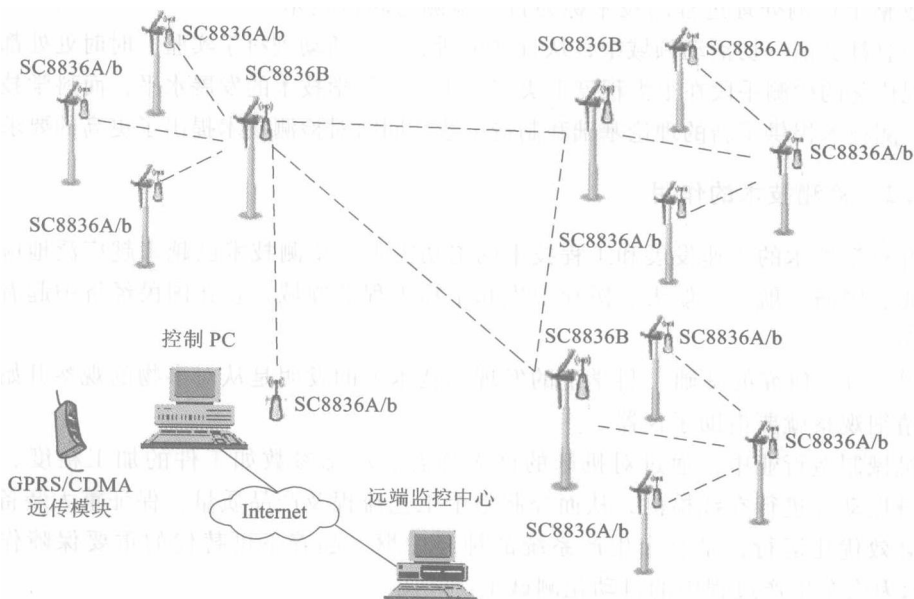
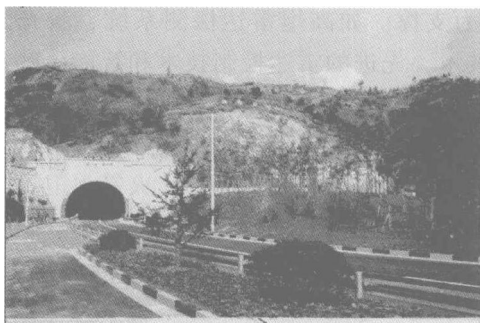


图 1.2 风力发电机网络测控示意图

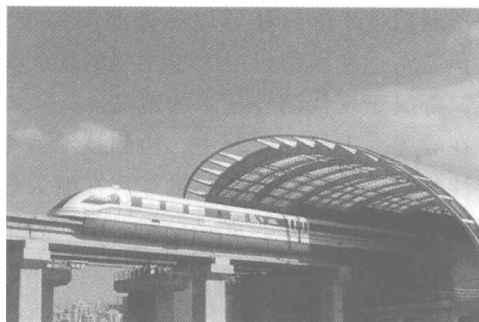
一个现代化火力发电厂需要多台计算机连网，来快速地测量锅炉、汽轮机、发电机上许多重要部位的温度、压力、流量、液位、燃烧状况、转速、振动、位移、应力等热工、机械参数，还必须测量发电机的电压、电流、功率、功率因数以及各种辅机的运行状态，然后进行综合处理，将各被监测的重要参数进行数字或模拟显示，自动调整运行工况，对某些超限参数进行声光报警或采取紧急措施。在上述这个系统中，需要数百个不同的传感器将各种机械、热工量转换成电量，由计算机采样和运算。

在交通领域，一辆现代汽车中的传感器就有十几种之多，分别用以检测车速、方位、

负载、振动、油压、油量、温度、燃烧过程等。此外，在交通领域的应用主要体现在：重要基础设施（管道、桥梁、隧道、铁道、机场、高速公路等）监控（如图 1.3 所示）、交通工具（飞机、火车、汽车、船等）监控。



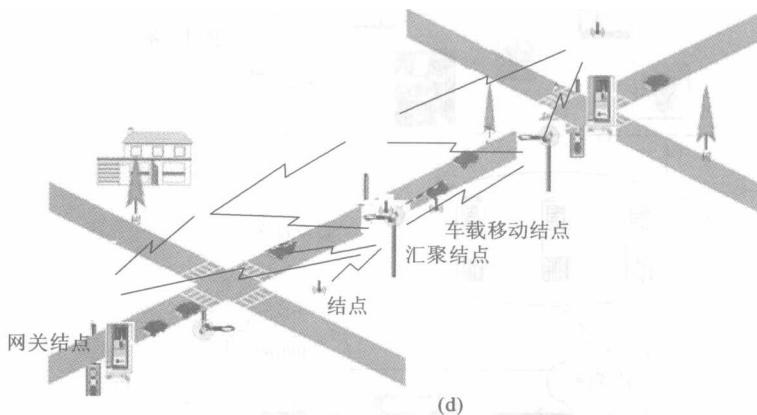
(a)



(b)



(c)



(d)

图 1.3 测控技术在交通领域监测中的应用

(a) 隧道、公路；(b) 铁路、桥梁、火车；(c) 桥梁；(d) 汽车运行

在国防科研中，检测技术用途更大，许多尖端的检测技术都是因国防工业的需要而发展起来的。例如，现代战争中，检测精度决定了武器系统的打击精度，检测速度、诊断能

力决定了武器系统的反应能力；研究飞机的强度，就要在机身、机翼上贴上几百片应变片并进行动态测量。国防安全系统的高科技含量很大程度上反映了一个国家的综合技术水平。现代武器系统离不开现代先进测控技术的支持，要实现武器系统的现代化，除了先进的武器制造技术外，还要以先进的测控技术作为支撑。如高炮雷达探测系统、激光测距仪、预警雷达和预警机中大量使用的现代测控技术、先进的雷达控制技术和智能传感器技术等，都属于现代测控技术的范畴。

在导弹、卫星的研制中，检测技术就更为重要，必须对它们的每个构件进行强度和动态特性的测试，运行姿势测量等。在航天领域，测控系统是直接为导弹、火箭、卫星等飞行器发射和运动服务的重要设施。例如，卫星工程包括卫星系统、运载火箭系统、发射场系统、测控系统和应用系统五大部分；载人航天工程包括载人航天器系统、航天员系统、运载火箭系统、发射场系统、着陆场系统、测控系统和应用系统七大分系统。无论是何种飞行器工程，测控系统都是航天发射和飞行必不可少的重要支持系统。而且，在每一种系统中都不同程度地含有自己的子测控系统和技术。

在工程技术领域中，工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能试验等，都离不开检测技术。近年来，随着家电工业的兴起，检测技术也进入了人们的日常生活中，现代生活和人类生存离不开检测技术。例如，自动检测并调节房间温度、湿度的空调机；自动检测衣服污度和重量、利用模糊技术的智能洗衣机；煤气和液化气的泄漏报警、路灯的声控等（如图 1.4 所示）。图 1.5 所示为智能楼宇的管理、监控、通信系统。

在环境监测中，网络化环境监测仪器可以动态监测环境变化，为大气监测、天气预报、自然灾害预防、航天航空等提供可靠信息和数据（如图 1.6 所示）。在环境保护工程中对江河水质、污染源等实时监测，都必须通过现代的检测仪器系统才能完成（如图 1.7 所示）。图 1.8 所示为滑坡位移监测仪及远程监测系统。

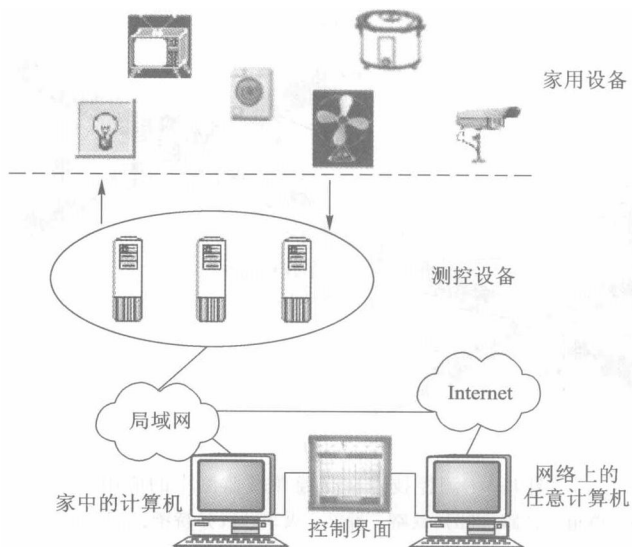


图 1.4 检测技术在智能家居中的应用

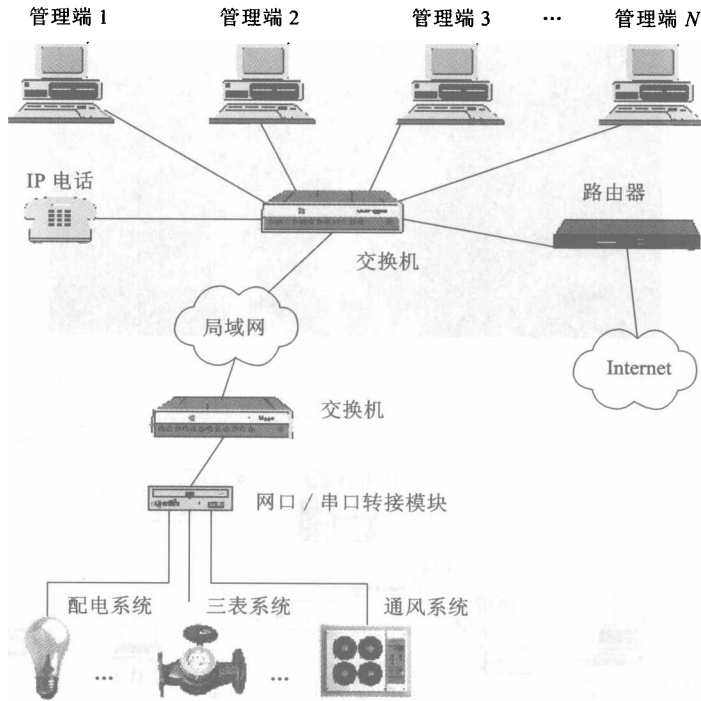


图 1.5 智能楼宇的管理、监控、通信系统

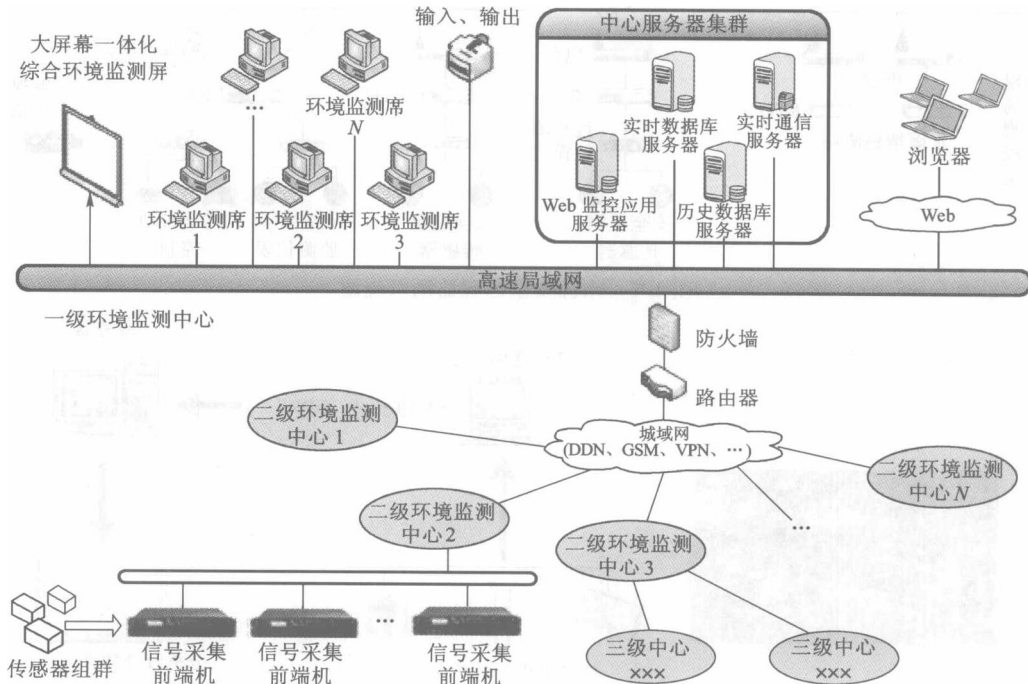


图 1.6 网络化环境动态监测系统图

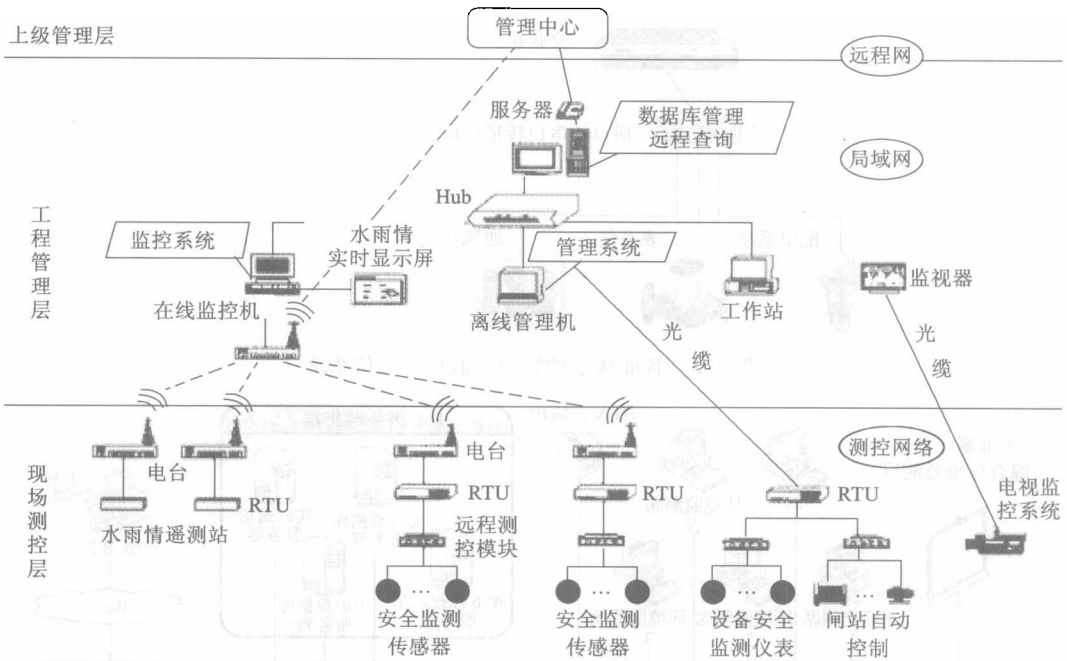
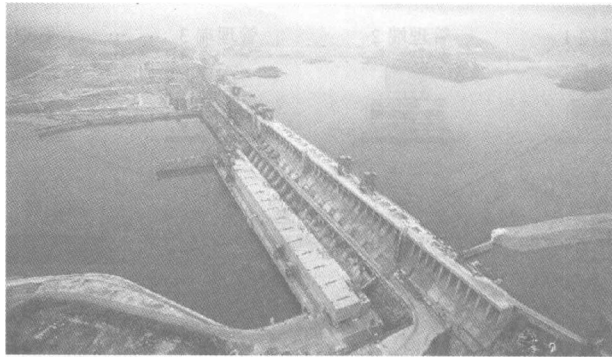


图 1.7 水源安全远程监测系统图

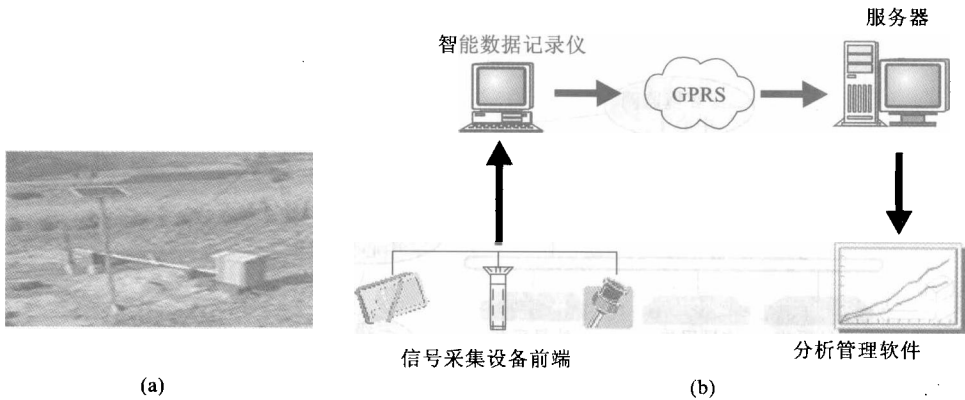


图 1.8 滑坡位移监测仪及远程监测系统图