



"十二五"普通高等教育本科国家级规划教材



普通高等学校测控技术与仪器专业规划教材

现代测控技术教育部重点实验室课题资助

传感器原理及检测技术

(第二版)

Sensors Principle and Detection Technology

主编 梁福平
主审 孔 力



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



"十二五"普通高等教育本科国家级规划教材



普通高等学校测控技术与仪器专业规划教材

现代测控技术教育部重点实验室课题资助

传感器原理及检测技术 (第二版)

Sensors Principle and Detection Technology



主 编 梁福平

副主编 苑惠娟 蔡利民
李恒灿 李志华 刘波峰

参 编 牛春晖 毛献辉
莫文琴 张双彪

主 审 孔 力



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书系统地介绍了传感器检测技术概论,包括传感器的基本概念、基本特性、技术性能指标及改善性能途径、传感器的标定和校准方法及传感器的发展和选用原则,并对各类传感器(如电阻式、电感式、电容式、热电式、光电式、压电式、磁电式、数字式和光纤传感器等)的工作原理、组成结构、特性及其在日常生活和生产过程中的典型应用作了较系统的阐述,并对其他现代新型传感器作了简要介绍。同时,介绍了常用的传感器信号调理电路和传感器检测系统。为推进物联网产业的发展,还增加了物联网检测技术一章。每章后面附有一定数量的思考题与习题,书末附有部分习题的参考答案。

本书可作为高等院校测控技术与仪器、机电一体化、电子信息工程、检测技术、自动化和仪器仪表、机械设计制造及其自动化、电气工程及其自动化、通信工程、光信息科学与技术、电子信息科学与技术、物联网等专业的教材,建议课时为48~64学时;也可作为其他相近专业高年级本科生和硕士研究生的学习参考书,同时还可作为与上述领域相关专业的科研人员和工程技术人员的参考书。

为了方便教学,本书还配有免费电子课件,如有需要,可与华中科技大学出版社联系(电话:027-81339688 转 2535;电子邮箱:171447782@qq.com)。

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理及检测技术/梁福平主编.—2版.—武汉:华中科技大学出版社,2018.5

普通高等学校测控技术与仪器专业规划教材

ISBN 978-7-5680-3906-2

I. ①传… II. ①梁… III. ①传感器-高等学校-教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 096762 号

传感器原理及检测技术(第二版)

梁福平 主编

Chuangangan Yuanli ji Jiancex Jishu(Di-er Ban)

策划编辑:万亚军

责任编辑:刘 飞

封面设计:原色设计

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉华工鑫宏印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:20

字 数:523千字

版 次:2018年5月第2版第1次印刷

定 价:42.80元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

作者简介



梁福平 教授，1946年5月出生，江苏溧阳人。1968年毕业于北京机械学院精密仪器专业，1981年天津大学精密仪器专业研究生毕业，为改革开放后的首批工学硕士。先后就职于工厂、研究所和高校，现就职于北京信息科技大学，从事传感器技术及其应用、测控技术及仪器、机电一体化技术及其应用等科研与教学工作，担任中国仪器仪表行业协会传感器分会理事、中国仪器仪表学会仪表元件分会和仪表工艺分会理事等学术兼职职务。

在上述研究领域，主持或承担并完成了十余项国家重点攻关项目、省部级科研项目等20余项科研课题。1983年获辽宁省重大科技成果三等奖，1984年获沈阳市重大科技成果二等奖，2002年获中国机械工业科学技术奖二等奖，2006年获中国机械工业科学技术奖一等奖，2007年获2007年度国家科学技术进步奖二等奖。2011年和2012年又获中国机械工业科学技术奖二等奖。主编出版著作4部（《传感器检测技术》《传感器原理及检测技术》《〈传感器原理及检测技术〉学习与实践指导》和《测控专业英语》），参编经典手册1部（《机械工程手册》（第二版）），参编专著《大型旋转机械运行状态趋势预测》和教材《数控与电控技术》；发表论文60余篇，多篇被EI和ISTP以及INSPEC（科学文摘）和SA（英国科学文摘）收录；获得国家实用新型专利1项。

“传感器原理及检测技术”是现代测控技术
与仪器、自动化、信息工程和机电仪一
体化不可或缺的重要环节，是近代物理
与高科技集成的结合，不仅用于民用工
业，而对宇航、军工等国防工业尤为重
要。

沈烈初



普通高等学校测控技术与仪器专业规划教材

编委会

主任:

钟毓宁

(湖北汽车工业学院校长, 教育部高等学校仪器科学与技术教学指导委员会委员)

副主任:

孔力

(华中科技大学教授, 教育部高等学校仪器科学与技术教学指导委员会委员)

许贤泽

(武汉大学教授, 教育部高等学校仪器科学与技术教学指导委员会委员)

委员: (以姓氏笔画为序)

王连弟 (华中科技大学出版社)

史红梅 (北京交通大学)

杨帆 (武汉工程大学)

张思祥 (河北工业大学)

胡春海 (燕山大学)

康宜华 (华中科技大学)

董浩斌 (中国地质大学(武汉))

王先培 (武汉大学)

李威宣 (武汉理工大学)

何涛 (湖北工业大学)

周荣政 (江汉大学)

郭天太 (中国计量学院)

梁福平 (北京信息科技大学)

曾以成 (湘潭大学)

秘书:

万亚军





总 序

测控技术与仪器专业是在合并原来的11个仪器仪表类专业的基础上新设立的专业，目前设有该专业的高校已经超过250所，是当前发展较快的本科专业之一。经过两届教育部高等学校仪器科学与技术教学指导委员会的努力，形成了《测控技术与仪器专业本科教学规范》（以下简称《专业规范》）。《专业规范》颁布后，各高校开始构建面向21世纪的测控技术与仪器本科专业的课程体系，并进行教学改革，以更好地满足科学技术和国民经济发展的需要。

华中科技大学出版社邀请多位教育部高等学校仪器科学与技术教学指导委员会委员和具有丰富教学经验的专家编写了这套“普通高等学校测控技术与仪器专业规划教材”，这对于满足各高校测控专业建设需要，加强高校测控专业的建设，进一步落实《专业规范》精神，具有积极的作用。

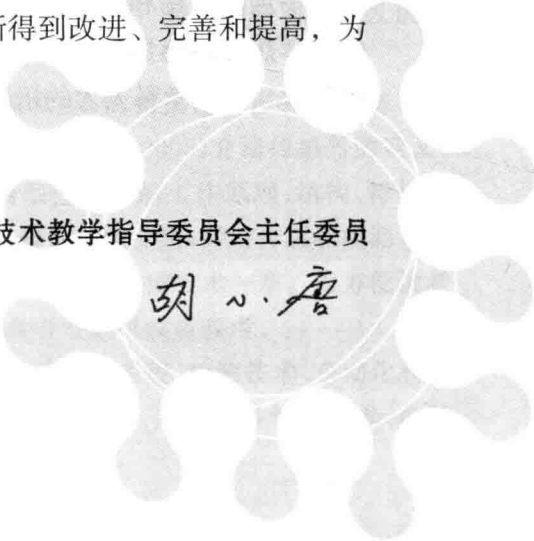
这套教材基本涵盖了测控技术与仪器专业的专业基础课程和部分专业课程，编写定位清晰，内容适应了加强工程教学的趋势，注重了教材的实用性和创新性教育的推进。这套教材的出版，是测控专业教学领域“百花齐放、百家争鸣”的一个体现，它为测控专业教学选用教材又提供了一个选择。

由于时间所限，这套教材可能存在这样那样的问题。随着这套教材投入教学使用和通过教学实践的检验，它将不断得到改进、完善和提高，为测控专业人才的培养做出积极的贡献。

谨为之序。

教育部高等学校仪器科学与技术教学指导委员会主任委员

刘 唐



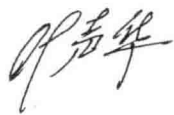


序

在现代科学技术的推动下，仪器科学与技术学科，也紧跟国际发展的步伐，在实现微型化、数字化、智能化、集成化和网络化等方面取得了显著的进展。测控技术与仪器专业属于仪器科学与技术学科领域，它研究信息的获取和预处理，同时对相关要素进行控制，是将电子、光学、精密机械、计算机技术和信息技术等多学科互相渗透融合而形成的一门高新技术密集型综合学科。目前设有该专业的高校已经超过250所，是当前发展较快的本科专业之一。在教育部高等学校仪器科学与技术教学指导委员会的指导下，华中科技大学出版社组织具有丰富教学经验的专家编写了这套“普通高等学校测控技术与仪器专业规划教材”，这对促进我国仪器科学与技术的人才培养是一件大好事。《传感器原理及检测技术》就是这套规划教材中的一本。

传感技术完成对信息的获取、传输和处理，是现代信息技术和物联网技术的源头，在信息技术中起着相当重要的作用。因此，“传感器原理及检测技术”是本科教学中的主干专业课，目前几乎所有有工科研究背景的院校都开设了相关的课程。本教材由多所院校多位教师编写，他们既有在工厂和研究所工作的实际经验，又有在高校教学的丰富经验。在编写过程中，能遵循简明、系统、实用、新颖的原则，力求理论联系实际，使教材具有一定的实用和参考价值。我相信，本教材的出版发行，一定会使更多的同学热爱传感器技术，学好传感器技术，应用好检测技术，一定会对仪器科学与技术学科人才的培养起到积极的推进作用。

中国工程院院士



第二版前言

我国“两弹一星”的元勋、“航天之父”、著名科学家钱学森明确指出：“发展高新技术，信息技术是关键；信息技术包括测量技术、计算机技术和通信技术；测量技术是关键和基础。”作为测量和测试技术集中体现的仪器科学与技术学科，在当今我国国民经济和科学技术发展中的作用日益明显。正如著名科学家、资深两院院士王大珩先生所指出的，“仪器仪表是工业生产的‘倍增器’，科学研究的‘先行官’，军事上的‘战斗力’，国民活动中的‘物化法官’”。这已广为人们所理解。

仪器是对物质世界的信息进行测量与控制的基础手段和设备，是我们认识世界的工具。而传感器技术则是我们认识世界的“先行官”，它与通信技术及计算机技术一起，完成对信息的获取、传输和处理，形成了信息技术系统的“感官”“神经”和“大脑”三大组成部分，构成了3C技术(Collection, Communication, Computer)。其中“感官”是信息的先行官，因此传感器是信息获取系统的首要部件，是现代信息技术和物联网技术的源头。

传感器技术涉及传感器的机理研究与分析、设计与研制、材料与工艺、性能评估与应用等综合性技术，是一门以传感器为核心，与测量学、物理学、微电子学、光学与光电子学、机械学、材料学、计算机科学等多门学科和多种技术相互交叉、互相渗透和结合的现代科学技术。

检测技术是多门学科和多种技术的综合应用技术，它涉及信息论、数理统计、电子学、光学、精密机械，以及传感技术、计量测试技术、自动化技术、微电子技术和计算机应用技术等学科知识和近代技术。

随着现代测量技术、控制技术、自动化技术，以及物联网技术的飞速发展，传感器技术越来越受到人们的重视，传感器检测技术在国民经济各领域和宇航、军工等国防建设中的应用也越来越广泛。因此，全国相关的理工科院校几乎都开设了传感器检测技术或传感技术的课程。由此可见本课程在信息技术中的重要地位。

本教材自2010年出版发行后，得到众多院校师生的厚爱，并荣幸地被评选为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。为了适应新技术的飞速发展，推进感知世界、引领未来，特对第一版的内容作了适当的调整与修改，以满足普及传感器的应用、推进物联网产业发展的需求。

本书遵循简明、实用、新颖的编写原则，力求理论联系实际，简要论述了传感器的基本概论，根据我国最新发布的《传感器通用术语》国家标准(GB/T 7665—2005)介绍传感器的定义、命名方法及代码和常用图形符号；对各种经典传感器和新型传感器的工作原理、结构、特性作了系统而简明的阐述，同时对各种传感器的应用等也作了较详细的介绍；并对传感器检测系统作了概要介绍；最后介绍了传感器的标定与选用，并增加了物联网检测技术一章。为方便读者巩固所学知识，每章都附有一些思考题和习题，书后附有参考答案供读者参考。

本书可作为高等院校测控技术与仪器、机电一体化、电子信息工程、检测技术、自动化和仪器仪表、机械设计制造及其自动化、电气工程及其自动化、通信工程、光信息科学与技术、电子

信息科学与技术、物联网等专业的教材,建议课时为 48~64 学时;也可作为其他相近专业高年级本科生和硕士研究生的学习参考书,同时还可作为与上述领域相关专业的科研人员和工程技术人员参考书。

全书共分 14 章,由 6 所院校 10 位老师参加本书的编写,由梁福平教授任主编。第 1、2、13 章由北京信息科技大学梁福平教授编写;第 3、8 章由哈尔滨理工大学苑惠娟教授编写;第 4、11 章由华北水利水电大学李恒灿编写;第 5 章由湖南大学刘波峰副教授编写;第 6 章由北京信息科技大学牛春晖副教授编写;第 7 章和第 12 章第 6 节由中国地质大学(武汉)李志华副教授和莫文琴博士编写;第 9 章由江汉大学蔡利民编写;第 10 章和第 12 章第 1~5 节由北京信息科技大学毛献辉博士(现就职于清华同方公司)编写,第 14 章由北京信息科技大学张双彪博士编写。全书由梁福平教授负责统稿,并由华中科技大学孔力教授主审。

在本书的编写过程中,各位作者结合教学与科研实践的经验,同时查阅和参考了大量文献。特别荣幸的是本书得到了原信息产业部吴基传部长和原机械工业部副部长、原国务院机电产品出口办公室主任、工学博士沈烈初教授的大力支持和有益的教诲,沈部长仔细审查了编写提纲,并提出了一些有益的建议,还特地为本书题词。中国工程院叶声华院士应邀为本书精心作序。此外,本书还得到了中国仪器仪表行业协会传感器分会副理事长王文襄教授、沈阳仪表科学研究院、现代测控技术教育部重点实验室、浙江高联科技发展有限公司、北京信息科技大学的苏中和李擎教授以及参编的各单位领导、兄弟院校许多老师的大力支持,在此一并表示诚挚的谢意!

由于编者水平所限,书中可能会有疏漏、欠妥之处,敬请读者不吝赐教。

编 者

2018 年 5 月

第一版前言

我国“两弹一星”的元勋、“航天之父”、著名科学家钱学森明确指出：“发展高新技术，信息技术是关键；信息技术包括测量技术、计算机技术和通信技术；测量技术是关键和基础。”作为测量和测试技术集中体现的仪器科学与技术学科，在当今我国国民经济和科学技术发展中的作用日益明显。正如著名科学家、资深两院院士王大珩指出的，“仪器仪表是工业生产的‘倍增器’，科学研究的‘先行官’，军事上的‘战斗力’，国民活动中的‘物化法官’”。这已广为人们所理解。

仪器是对物质世界的信息进行测量与控制的基础手段和设备，是我们认识世界的工具。而传感器技术则是我们认识世界的“先行官”，它与通信技术及计算机技术一起，完成对信息的获取、传输和处理，形成了信息技术系统的“感官”、“神经”和“大脑”三大组成部分，构成了 Collection、Communication and Computer，即 3C 技术。其中“感官”是信息的“先行官”，因此传感器是信息获取系统的首要部件，是现代信息技术和物联网技术的源头。

传感器技术涉及传感器的机理研究与分析、设计与研制、材料与工艺、性能评估与应用等综合性技术，是一门以传感器为核心，与测量学、物理学、微电子学、光学与光电子学、机械学、材料学、计算机科学等多门学科和多种技术相互交叉、互相渗透与结合的现代科学技术。

检测技术是多门学科和多种技术的综合应用技术，它涉及信息论、数理统计、电子学、光学、精密机械，以及传感技术、计量测试技术、自动化技术、微电子技术和计算机应用技术等学科知识和近代技术。

随着现代测量技术、控制技术、自动化技术和物联网技术的发展，传感器技术越来越受到人们的重视，传感器检测技术在国民经济各领域和宇航、军工等国防建设中的应用也越来越广泛。因此，全国相关的理工科院校几乎都开设了传感器检测技术或传感技术的课程。由此可见，本课程在信息技术中的重要地位。

本书遵循简明、实用、新颖的编写原则，力求理论联系实际，简要论述了传感器的基本概论，根据我国最新发布的《传感器通用术语》国家标准(GB/T 7665—2005)介绍传感器的定义、命名方法及代码和常用图形符号；对各种经典传感器和新型传感器的工作原理、结构、特性作了系统而简明的阐述，同时对各种传感器的应用等方面作了较详细的介绍；对传感器检测系统也作了概要介绍；最后，介绍了传感器的标定与选用。为方便读者巩固所学知识，章末附有思考题与习题，书后附有部分题目的参考答案供读者参考。

本书可作为高等院校测控技术与仪器、机电一体化、电子信息工程、检测技术、自动化和仪器仪表、机械设计制造及其自动化、电气工程及其自动化、通信工程、光信息科学与技术、电子信息科学与技术等专业的教材，建议课时为 48~64 学时；也可作为其他相近专业高年级本科生和硕士研究生的学习参考书，同时可供与上述领域相关专业的科研人员和工程技术人员参考。

全书共分 13 章，由 6 所院校 9 位老师参加本书的编写，由梁福平教授任主编。第 1、2、13 章由北京信息科技大学梁福平教授编写；第 3、6 章由哈尔滨理工大学苑惠娟教授编写；第 4、11 章由华北水利水电学院李恒灿编写；第 5 章和第 12 章第 6 节由中国地质大学(武汉)李志

华副教授和莫文琴博士共同编写;第7章由湖南大学刘波峰副教授编写;第8章由北京信息科技大学牛春晖博士编写;第9章由江汉大学蔡利民编写;第10章和第12章第1~5节由北京信息科技大学毛献辉博士编写。全书由梁福平教授负责统稿,并由华中科技大学孔力教授主审。

在本书的编写过程中,各位作者结合教学与科研实践的经验,同时查阅和参考了大量文献。特别荣幸的是本书得到了原信息产业部吴基传部长和原机械工业部副部长沈烈初教授的大力支持和有益的教诲,沈部长仔细审查了编写提纲,并提出了一些有益的建议,还特地为本书题词。中国工程院叶声华院士特地应邀为本书精心作序。此外,还得到了中国仪器仪表行业协会传感器分会副理事长王文襄教授、沈阳仪表科学研究院、浙江高联科技开发有限公司、现代测控技术教育部重点实验室,以及参编的各个单位的领导、兄弟院校许多老师的大力支持,同时受到华中科技大学出版社万亚军等编辑的热情帮助,在此一并表示诚挚的谢意!

由于编者水平所限,书中可能会有疏漏、欠妥和错误之处,恭请读者不吝赐教。

编 者

2010年5月

目 录

第 1 章 传感器检测技术概论	(1)
1.1 传感器的基本概论	(2)
1.2 传感器的基本特性	(13)
1.3 传感器的技术性能指标及改善性能的途径	(23)
1.4 传感器技术的现状与发展	(27)
思考题与习题	(32)
第 2 章 电阻式传感器	(33)
2.1 应变式电阻传感器	(33)
2.2 压阻式传感器	(51)
2.3 电位器式传感器	(59)
思考题与习题	(62)
第 3 章 电感式传感器	(64)
3.1 自感式传感器	(64)
3.2 差动变压器	(67)
3.3 零点残余电压	(70)
3.4 电涡流式传感器	(72)
3.5 压磁式传感器	(75)
思考题与习题	(78)
第 4 章 电容式传感器	(80)
4.1 电容式传感器的工作原理和特性	(80)
4.2 电容式传感器的测量转换电路	(84)
4.3 电容式传感器的应用	(90)
4.4 硅电容式集成传感器	(92)
思考题与习题	(95)
第 5 章 热电式传感器	(97)
5.1 热电阻温度传感器	(97)
5.2 热电偶	(103)
5.3 半导体温度传感器	(113)
5.4 温度传感器与仪表的选用	(118)
思考题与习题	(120)
第 6 章 光电式传感器	(122)
6.1 光电式传感器的组成及工作原理	(122)

6.2 光电式传感器及其应用	(136)
思考题与习题	(140)
第7章 压电式传感器	(141)
7.1 压电式传感器的工作原理	(141)
7.2 压电式传感器的测量电路	(145)
7.3 压电式传感器的应用	(148)
7.4 超声波传感器	(153)
思考题与习题	(157)
第8章 磁电式传感器	(159)
8.1 磁电感应式传感器	(159)
8.2 霍尔式传感器	(163)
8.3 磁栅式传感器	(166)
思考题与习题	(168)
第9章 数字式传感器	(170)
9.1 光栅传感器	(170)
9.2 感应同步器	(177)
9.3 编码器	(183)
思考题与习题	(189)
第10章 光纤传感器	(190)
10.1 光纤传感器的技术基础	(190)
10.2 光纤传感器的结构原理与分类	(194)
10.3 光纤传感器的应用	(204)
思考题与习题	(211)
第11章 其他传感器简介	(213)
11.1 气敏传感器	(213)
11.2 湿敏传感器	(218)
11.3 微波传感器	(222)
11.4 固态图像传感器	(223)
11.5 智能传感器	(227)
思考题与习题	(230)
第12章 传感器检测系统	(231)
12.1 传感器检测系统概述	(231)
12.2 常用的信号调理电路	(233)
12.3 传感器中的接口技术	(248)
12.4 传感器检测系统的设计	(254)
12.5 抗干扰问题	(258)
12.6 虚拟仪器	(262)
思考题与习题	(269)

第 13 章 传感器的标定与选用	(271)
13.1 传感器的标定与校准	(271)
13.2 传感器的选用	(281)
思考题与习题	(283)
第 14 章 物联网检测技术	(284)
14.1 物联网检测技术的基本概念	(284)
14.2 智能网络传感器	(285)
14.3 RFID 技术	(288)
14.4 WSN 技术	(292)
14.5 物联网检测技术的典型应用	(295)
思考题与习题	(299)
思考题与习题参考答案	(300)
参考文献	(303)

第1章 传感器检测技术概论

著名俄罗斯化学家德·伊·门捷列夫说过,科学是从测量开始的。我国“两弹一星”的元勋、“航天之父”、著名科学家钱学森明确指出:“发展高新技术信息技术是关键,信息技术包括测量技术、计算机技术和通信技术。测量技术是关键和基础。”作为测量和测试技术集中体现的仪器科学与技术学科,在当今我国国民经济和科学技术发展中的作用日益明显。正如著名科学家、资深两院院士王大珩先生所指出的,“仪器仪表是工业生产的‘倍增器’,科学研究的‘先行官’,军事上的‘战斗力’,国民活动中的‘物化法官’”。这已广为人们所理解。

在现代科学技术和生产力的推动下,测量控制与仪器仪表已成为完整的仪器科学与技术学科,它作为一个工程性学科,承担着各类仪器研究、开发、制造和应用的任务,包括有关新仪器的设计、制造,各类仪器运行、应用的基础理论研究,新技术、新器件、新材料、新工艺的开发研究及相关的传感器、元器件和材料等领域的研究工作。

仪器是对物质世界的信息进行测量与控制的基础手段和设备,是我们认识世界的工具。而传感器技术又是我们认识世界的“先行官”,它和通信技术及计算机技术一起,完成对信息的获取、传输和处理,形成了信息技术系统的“感官”“神经”和“大脑”三大组成部分,构成了3C技术(Collection, Communication, Computer)。其中“感官”是信息的“先行官”,因此传感器是信息获取系统的首要部件,是现代信息技术的源头。传感器技术已不再被视为制造产业的一个附属技术,它是现代信息技术的关键和基础。

由中国科学技术协会主编、中国仪器仪表学会编写的《仪器科学与技术学科发展报告》中指出:传感技术不仅是检测的基础,它也是控制的基础。这不仅是因为控制必须以检测输入的信息为基础,并且是由于控制达到的精度和状态,必需感知,否则不明确控制效果的控制仍然是盲目的。在《2011—2012 仪器科学与技术学科发展报告》中更明确指出:“传感器是信息获取的源头,是信息采集的关键基础元器件。在信息科学与技术进入‘智慧地球’概念的物联网时代,传感网和传感器,特别是智能传感器的不断完善和进步,是实现物联网的基础和关键所在。”

报告中还指出“信息获取、传感技术是仪器科学与技术学科的基础技术;新型传感器是发展高水平测量控制仪器仪表的基础。传感技术已成为制约测量控制仪器仪表发展的瓶颈。新型传感器及信息获取、传感技术主要是对客观世界有用信息的检测,它包括有用被测量敏感技术,涉及各学科工作原理、遥感遥测、新材料等技术、信息融合技术、传感器制造技术等。信息融合技术涉及传感器分布、微弱信号提取(增强)、传感信息融合、成像等技术;传感器制造技术涉及微加工、生物芯片、新工艺等技术。”

传感器制造技术是涉及传感器的机理研究与分析、设计与研制、材料与工艺、性能评估与应用等的综合性技术,是一门以传感器为核心逐渐外延,与测量学、物理学、微电子学、光学与光电子学、机械学、材料学、计算机科学等多门学科和多种技术相互交叉、互相渗透和结合的现代科学技术。

随着现代测量技术、控制技术、自动化技术和物联网技术的发展,传感器技术越来越受到