



高职高专城市轨道交通
■ 机电控制专业系列教材

■ 主 编 吴晓华
■ 副主编 杨永奇 颜月霞

城市轨道交通

传感器与检测技术

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高职高专城市轨道交通机电控制
专业系列教材

城市轨道交通 传感器与检测技术

主 编 吴晓华
副主编 杨永奇 颜月霞

中 国 铁 道 出 版 社

2014年·北 京

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通传感器与检测技术/吴晓华

主编. —北京:中国铁道出版社,2014.8

高职高专城市轨道交通机电控制专业系列教材

ISBN 978-7-113-18673-9

I. ①城… II. ①吴… III. ①城市铁路—轨道传感器—
检测—高等职业教育—教材 IV. ①U284.47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 113295 号

书 名: 高职高专城市轨道交通机电控制专业系列教材
城市轨道交通传感器与检测技术
作 者: 吴晓华

策划编辑:殷小燕

编辑部电话:(路)021-73420

责任编辑:殷小燕 李嘉懿 徐 清

电子信箱:dianwu@vip.sina.com

封面设计:崔丽芳

责任校对:龚长江

责任印制:陆 宁 高春晓

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:三河市宏盛印务有限公司

版 次:2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

开 本:787 mm×960 mm 1/16 印张:22 字数:411千

印 数:1~2 000册

书 号:ISBN 978-7-113-18673-9

定 价:45.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

高职高专城市轨道交通机电控制 专业系列教材编写委员会

主任：李建国

副主任：李军 仇海兵 杨永奇

委员：(按姓氏笔划为序)

丁楠	于涛	王珂	毛昱洁	曲秋蒨
吴晓华	肖俊超	柳志成	付建生	张兰
张利彪	纪争	李伟	李红莲	李培元
单晓涛	陈婷婷	崔曙辉	颜月霞	刘莉娜
高荣	周丽	禹宏鹏		

《城市轨道交通传感器与检测技术》

编写人员

主编：吴晓华

副主编：杨永奇 颜月霞

主审：李军 仇海兵

编著：第1章~第5章：吴晓华

第6章~第7章：吴晓华 杨永奇 颜月霞

第8章：吴晓华 丁楠 李伟

第9章：吴晓华 曲秋蒨

第10章：杨永奇 柳志成

序 言

伴随着我国经济的快速发展和城市化进程的日益加快,我国正以世界罕见的发展速度推进城市轨道交通建设,以地下轨道交通和高架轨道交通为代表的城市轨道交通将成为我国 21 世纪城市交通的重要构成部分。截止 2012 年底,全国已开通运营的城市轨道交通总里程达到 2 042 km,大陆地区拥有城市轨道交通的城市包括北京、上海、广州、深圳、南京和天津等,已经达到 14 个,正在规划建设轨道交通的城市有 35 个。到 2020 年,国内城市轨道交通总长将达到 6 000 km,每年增加大约 500 km,这样的建设速度在世界上是没有的。

现代城市轨道交通系统,大量采用了以计算机控制技术为核心的各种自动化控制设备,来代替传统的基于人工的行车组织,设备运行和安全保证系统。是一个集自动化、信息化、智能化为一体的综合性交通组织运行管理控制系统,涉及的机电设备种类繁多,功能各异,包括机械、电气、自动化、计算机和网络技术。主要控制系统包括电梯系统、自动售检票系统、环境与设备监控系统、火灾报警监控系统、安全门系统、给排水系统、低压配电与照明系统、人防系统和供电系统管理与自动化系统等 9 大系统,均各自形成网络,在 OCC 的统一指挥分级控制下,实现城市轨道交通多专业、多工种有序联动、高效运转的目标。轨道交通运营企业需要大批专业技术精湛的专业工程技术人员,来保证这些控制系统和设备的稳定运行,这是保证城市轨道交通正常运营的基础。城市轨道交通机电控制专业就是在这样一个大的背景下产生和发展起来的。

为了更好地满足城市轨道交通企业对机电控制类专业人员培训的需要,我们精心编撰了城市轨道交通各机电控制系统的核心教材,它们分别是《城市轨道交通安全门系统运行与维护技术》,《城市轨道交通动力照明系统运行与维护技术》,《城市轨道交通电梯系统运行与维护技术》,《城市轨道交通给排水系统的运行与维护技术》,《城市轨道交通环控系统的运行与维护技术》,《城市轨道交通消防系统运行与维护技术》,《城市轨道交通自动售检票系统运行与维护技术》和《城市轨道交通自动监控系统运行与维护技术》。同时为了加强城市轨道交通机电控制专业的基础建设,我们还编撰了《城市轨道交通传感器与检测技术》,《城市轨道交通自动化控制技术》,《城市轨道交通电工基础》和《城市轨道交通电子技术》等 4 本专业基础教材。

本系列教材编写的特点是以培养专业技能型人才为目的,实现院校专业培养与企业需求的无缝对接。我们认为一个合格的城市轨道交通机电专业技术人员,必须做到能够正确熟练维护保养设备,同时具有快速准确分析处理设备各种故障的能力。根据这一要求,教材从4个方面加强对学生实际工作能力的培养,第一是机械和电器设备结构的认知,第二是系统控制原理的了解,第三是系统维护和操作方法的学习,最后是掌握故障处理和分析的方法,并且达到能够举一反三,触类旁通。教材编写紧密结合企业实际工作需要,围绕实际工艺环境和工艺设备,重点培养学生实际动手解决问题和分析问题能力。

我们相信,通过系列教材的编撰,将大大推动城市轨道交通机电控制专业的发展,对本专业人才的培养发挥重要的作用。

教材编委会
2012年12月

前 言

传感器技术作为现代科技的前沿技术,与通信技术和计算机技术构成了信息技术的三大支柱,是现代信息系统和各种装备不可缺少的信息采集手段,也是国内外公认的最具发展前途的高技术产业,在城市轨道交通领域也得到了极为广泛的应用。“传感器技术强,则自动化产业强”的观点已为全世界所公认,传感器技术水平高低不但直接影响信息技术水平,而且还影响信息技术的发展与应用。目前,传感器技术已渗透到科学和国民经济的各个领域,在工农业生产、科学研究及改善人民生活等方面,起着越来越大的作用。许多尖端科学和新兴技术更是需要新型传感器技术来装备,新型传感器与计算机相结合,不但使计算机的应用进入了崭新时代,也为传感器技术展现了一个更加广阔的应用领域和发展前景。

现代轨道交通系统包括大量的以计算机处理技术为核心的各种自动化控制系统,如电梯系统、AFC 系统、BAS 系统、FAS 系统、安全门系统、给排水系统、低压配电与照明系统、人防系统和 SCADA(供电系统管理自动化)等,这些机电控制系统发挥各自不同的作用,在 OCC(控制中心)的统一指挥和控制下,确保城市轨道交通系统正常的运营。而保证这些系统和设备稳定运行的基础是大量自动化检测设备的应用。无论是 BAS 系统,还是 FAS 系统,每一类机电设备系统中都是以检测技术为基础的。检测技术是这些机电设备控制系统的基础性技术,是实现轨道交通自动化、智能化的基础和前提。而每一类机电控制系统中各类传感器的大量应用,实现了各种工艺参数和运行状态的及时准确检测,为各类控制系统提供了“眼睛”,使所有的机电控制系统有条不紊地按照预先确定的控制策略和要求精确控制,准确调节,满足地铁车站整体的控制要求,保证良好的运行秩序。

本教材具有如下特点:

(1)在内容的安排上,以轨道交通机电设备中的常见参数检测为主线,将知识点贯穿于各章节中。

(2)在内容的组织上,结合传感器的原理、结构、技术参数及特点,突出传感器的具体应用,来加深对以上内容的理解。

(3)在内容的承载方式上,增加了大量直观的图形、波形和实物,力求图文并茂,从而提高教材的可读性。

(4)为适应现代高职高专人才教育的特点和规律,简化了理论,不做过多的电

路分析和公式推导。

(5)为满足轨道交通机电设备的专业技术人员的基本技能要求,教材的每一章都把轨道交通的典型传感器及其维护保养的方法和故障处理的方法作为重要的一部分来进行说明,更适应于岗位的需求。

本书可作为高职高专机电类、自动化类、仪器仪表类等专业的教材,也可作为其他相关专业技术人员参考或自学用书。

本书在编写过程中,参考了大量文献资料和网络资料,在此向所有参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,加之时间仓促,错误和不妥之处在所难免,恳请广大专家和读者批评指正。

编者
2014年8月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 引 言	1
1.2 传感器和检测技术的概念与作用	5
1.3 传感器的组成、分类与特性	7
1.4 检测技术的内容	12
1.5 自动检测系统的构成	13
1.6 传感器和检测技术的发展	15
1.7 测量误差及其消除方法	18
第 2 章 温度的检测	23
2.1 温标及测温方法	24
2.2 热 电 偶	26
2.3 热 电 阻	42
2.4 热敏电阻	51
2.5 双金属温度计	56
2.6 轨道交通中常用的其他温度传感器	58
2.7 温度传感器常用的配套仪表	66
第 3 章 压力的检测	73
3.1 压力的概念及测压仪表	73
3.2 弹性式压力计	76
3.3 应变式压力计	81
3.4 电容式压力传感器	93
3.5 轨道交通中常用的其他压力传感器	105
第 4 章 流量的检测	109
4.1 流量测量的概述	109

4.2	差压式流量计	112
4.3	涡轮流量计	119
4.4	电磁流量计	124
4.5	超声波流量计	134
4.6	其他轨道交通中常用的流量传感器	141
第5章	液位的检测	146
5.1	浮力式液位计	147
5.2	压力式液位计	153
5.3	电容式液位计	159
5.4	超声波液位计	162
5.5	轨道交通中常用的其他液位传感器	169
第6章	运动量的检测	174
6.1	电涡流式接近开关	174
6.2	霍尔式传感器	185
6.3	光电式传感器	196
6.4	差动变压器式位移传感器	210
6.5	光栅位移传感器	218
6.6	轨道交通中常用的其他运动量传感器	224
第7章	成分与含量的检测	231
7.1	气敏传感器	231
7.2	湿敏传感器	242
7.3	轨道交通中常用的其他成分传感器	251
第8章	检测系统的信号转换与处理	259
8.1	电 桥	259
8.2	信号的放大与隔离	264
8.3	调制与解调	273
8.4	信号滤波电路	282
8.5	信号转换电路	289
8.6	线 性 化	297

第 9 章 检测系统的抗干扰技术..... 302

9.1 干扰的类型 302

9.2 干扰的产生 303

9.3 信噪比和干扰的叠加 304

9.4 干扰信号的耦合方式 305

9.5 电子测量装置的两种干扰 306

9.6 常用的抑制干扰措施 308

第 10 章 仪表日常维护 321

10.1 仪表日常维护要求..... 321

10.2 仪表就地校准..... 324

10.3 仪表常见故障及排除..... 332

参考文献..... 340

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

现代轨道交通系统包括大量的以计算机处理技术为核心的各种自动化控制系统,如电梯系统、AFC 系统、BAS 系统、FAS 系统、安全门系统、给排水系统、低压配电与照明系统、人防系统和 SCADA(供电系统管理自动化)等九大系统,这些机电控制系统发挥各自不同的作用,在 OCC(控制中心)的统一指挥和控制下,确保城市轨道交通系统正常的运营。而保证这些系统和设备稳定运行的基础是大量自动化检测设备的应用。无论是 BAS 系统,还是 FAS 系统,每一类机电设备系统中都是以检测技术为基础的。检测技术是这些机电设备控制系统的基础性技术,是实现轨道交通自动化、智能化的基础和前提。而检测系统最核心的单元就是传感器单元,任何参数的成功检测均离不开优良的传感器,它是检测技术实现的基础。每一类机电控制系统中各类传感器的大量应用,实现了各种工艺参数和运行状态的及时准确检测,为各类控制系统提供了“眼睛”,使所有的机电控制系统有条不紊的按照预先确定的控制策略和要求精确控制、准确调节,满足地铁车站整体的控制要求,保证良好的运行秩序和舒适的地铁环境。

1. 传感器与检测技术在地铁空调系统中的应用

空调系统监控的目的是既要提供温湿度适宜的环境,又要求节约能源。其监控范围为制冷机、热力站、空气处理设备(空气过滤、热湿交换)、送排风系统、变风量末端(送风口)等。其原理框图如图 1.1 所示。现代空调系统均具有完整的制冷、制热、通风功能,它们都在传感器和计算机的监控下工作。

在制冷机和热力站的进出口管道上,均需要设置温度传感器和压力传感器,系统根据外界气温的变化控制它们的工作;在新风口和回风口处,需要安装差压传感器。当它们的过滤网堵塞时,压差开关动作,给系统发出报警信号;在送风管道上,需要安装空气流量传感器,当风量探头在空气处理设备开动后仍未测得风量时,将给系统发出报警信号;在回风管上,需要安装湿度传感器,当回风湿度高于设定值时,系统将开启去湿装置;在各个房间内须安装 CO 传感器和 CO₂ 传感器,当房间内的空气质量趋于恶劣时,将向 OCC 发出报警信号,以防事故发生;在各个办公室内还可以安装热释电红外传感器,当该房间内长时间没有人活动的迹象时,自动关闭空调系统。

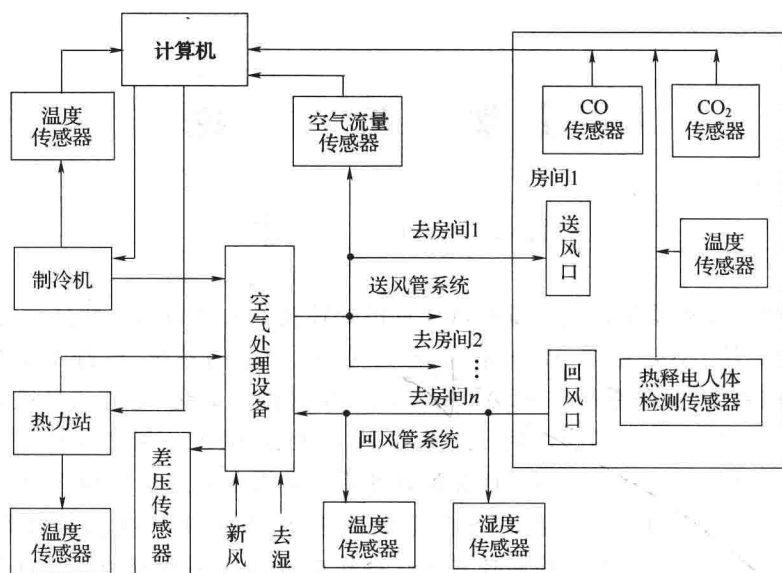


图 1.1 空调系统监控原理框图

2. 传感器与检测技术在地铁给排水系统中的应用

给排水系统的监控和管理由现场监控站和管理中心来实现,其最终目的是实现管网的合理调度。也就是说,无论水量怎样变化,管网中各个水泵都能及时改变其运行方式,保持适当的水压,实现泵房的最佳运行;监控系统还随时监视排水系统,并自动排水;当系统出现异常情况或需要维护时,系统将产生报警信号,通知管理人员处理。

给排水系统的监控主要包括水泵的自动启停控制,水位、流量、压力的测量与调节;用水量和排水量的测量;污水处理设备运转的监视、控制、水质检测;节水程序控制;故障及异常状况的记录等。现场监控站内的控制器按预先编制的软件程序来满足自动控制的要求,即根据水箱和水池的高、低水位信号来控制水泵的启、停及进水控制阀的开关,并且进行溢水和停水的报警等。当水泵出现故障时,备用水泵则自动投入工作,同时发出报警信号。给排水系统监控的原理如图 1.2 所示。

3. 传感器与检测技术在地铁供配电与照明系统中的应用

城市轨道交通的重要特点之一是节能,而照明系统在整个地铁的用电量中占有很大的比例。供配电系统对电压、电流、视在功率、功率因数、频率等指标进行监视,并自动进行功率因数补偿。为了节电,当传感器长期感应不到有人走动时,会自动关闭该区域的灯光照明。

当地铁内的供配电出现故障时,传感器和计算机必须在极短的时间里向 OCC

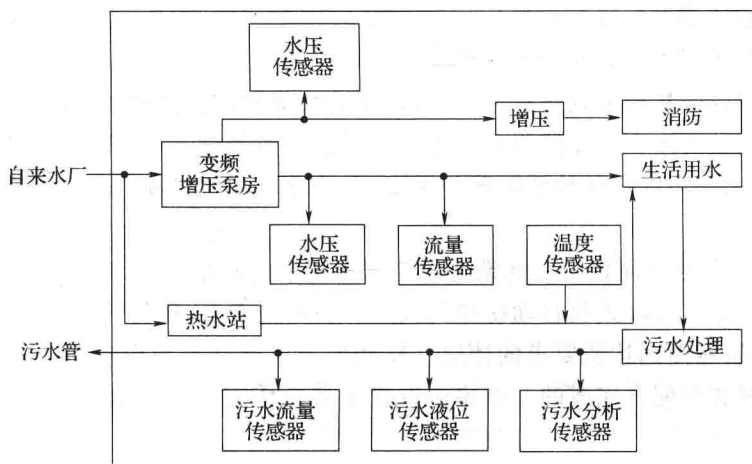


图 1.2 给排水系统监控原理框图

报告故障的部位和原因,供电系统将立即启动 UBS 或自备发电机,向重要供电对象(如计算机系统)提供电力,以免系统崩溃。

4. 传感器与检测技术在地铁 FAS 系统中的应用

地铁 FAS 系统的火情、火灾报警传感器主要有感烟传感器、感温传感器以及紫外线火焰传感器。从物理作用上区分,可分为离子型、光电型等;从信号方式区分,可分为开关型、模拟型及智能型等。在重点区域必须设置多种传感器,同时对现场加以监测,以防误报警,还应及时将现场数据经控制网络向控制系统汇总。获得火情后,系统就会自动采取必要的措施,经通信网络向有关职能部门报告火情,并对地铁内的防火卷帘门、电梯、灭火器、喷水头、消防水泵、电动门等联动设备下达启动或关闭的命令,以使火灾得到即时控制,还应启动公共广播系统,引导人员疏散。

5. 传感器与检测技术在地铁门禁系统中的应用

出入口控制系统又叫门禁管理系统。在地铁内的主要管理区、电梯厅、主要设备控制中心机房等重要部位的通道口,安装门禁控制装置,由中心控制室监控。

整个门禁系统由车站、主变电所、车辆段的电子读卡器、电控锁、门状态传感器、门禁控制器、综合监控系统工作站、综合监控为 ACS 系统提供的网络和现场设备组成。ACS 系统负责监控高度/中度保安等级的门状态、报警按钮的报警状态,遥控开启指定的专用门。

6. 传感器与检测技术在地铁屏蔽门系统中的应用

地铁是人们一种重要的出行方式,所以地铁安全是一个很重要问题,传感器作为自动化智能化设备的最佳仪器,接近传感器已大量投入到屏蔽门系统中,使地铁

事故在应用传感器后降到最低。

常用的接近开关传感器有涡流式、霍尔式、光电式、光栅式等。由于接近开关传感器能够以非接触方式进行检测,所以不会磨损和损伤检测对象,这也是它适合在地铁上安装的一个重要原因。随着接近传感器性能进一步提高,它将应用于更多的场合,未来不仅仅是地铁屏蔽门系统,在公交等其他屏蔽门系统上都会有广泛的应用。

7. 传感器与检测技术在地铁电梯控制系统中的应用

电梯有垂直升降式和自动扶梯两大类。轿厢是乘人、运货的设备。人、货进入轿厢后,随轿厢而到达所要求的楼层。轿厢的上下运动是由电动机、曳引机、曳引轮和配重等装置配合完成的。电梯中设置了多个传感器用于电梯控制,如选层控制、电梯的平层控制、门系统控制等。

电梯门有层门和轿门之分,层门设在每层的入口处,在层门旁有指示往上、往下的按钮;轿门设在轿厢靠近层门的一侧。层门和轿门的开启、关闭是同步进行的,在电梯门的入口处都安装有安全保护装置。

多数电梯采用光电式保护装置。在轿门边上安装两道水平光电装置,选用对射式红外光电开关,对整个开门宽度进行检测。在轿门关闭的过程中,只要乘客或货物遮断任一道光路,门都会重新开启,待乘客进入或离开轿厢后才继续完成关闭动作。

电梯即将到达层门位置时,进入平层减速运行状态。经过多段减速,安装在轿厢外侧面的“楼层位置感应器”(也称平层感应器)开始进入“隔磁板”的区域。感应器可采用干簧管式、霍尔式、光电式等传感器。隔磁板的典型长度为 250 mm。安装时,取中点距离为 125 mm,称为“125 mm 爬行”,如图 1.3 所示。

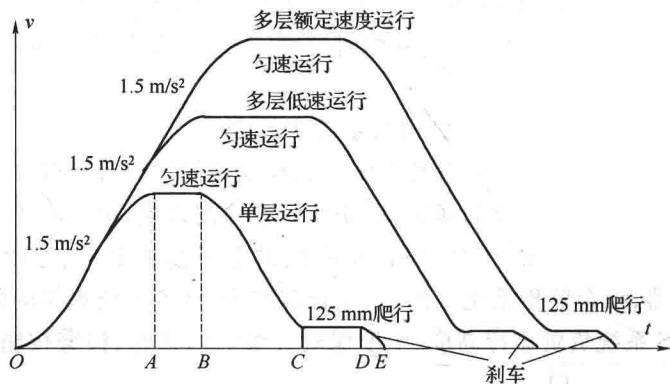


图 1.3 电梯平层运行曲线

OA— 1.5 m/s^2 加速段;AB—匀速段;BC—减速段;
CD—125 mm 爬行段;DE—刹车段

以电梯下行为例,PLC 将所预设的 125 mm 距离对应的角编码器脉冲数值与爬行开始的初始值进行比较,待两数值等同时,爬行停止,PLC 令刹车装置动作,使轿厢准确地停止,进入开门状态。上行时的工作过程与下行相同。安装时,平层感应器和隔磁板必须上下微调,使电梯轿厢的踏板恰好与楼层的地面齐平,并紧固。电梯平层装置原理示意图如图 1.4 所示,当干簧管与永久磁铁靠得较近(如 3 mm 左右)时,干簧管中的两根簧片被磁化,镀金触点处的极性恰好相反,异性相吸而接通,继电器 KA 得电。当软铁片向下运动,到达干簧管与永久磁铁之间时,继电器 KA 失电。

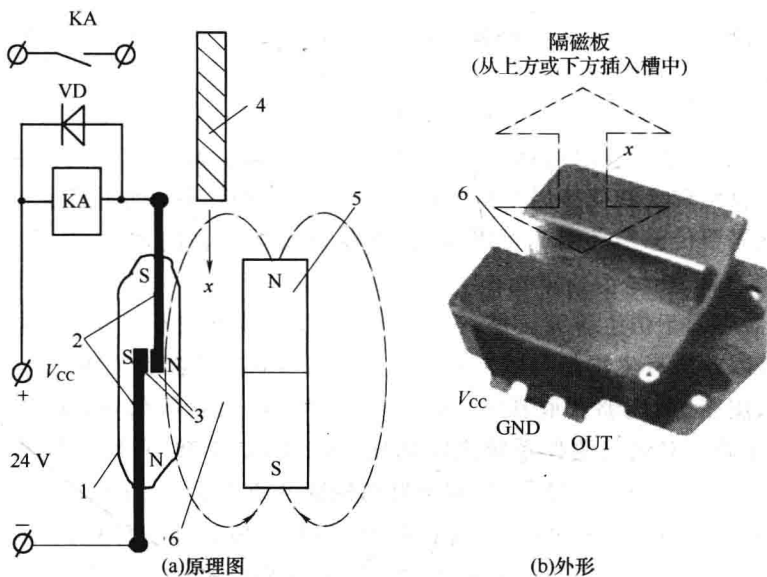


图 1.4 电梯平层装置原理示意图

1—干簧管玻壳;2—铁磁性簧片;3—镀金触点;4—安装在轿厢外壁的软铁片(隔磁板);
5—永久磁铁;6—隔磁板插槽

1.2 传感器和检测技术的概念与作用

1. 传感器的概念和作用

国家标准 GB 7665—87 对传感器的定义为“传感器是能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成。”这一概念包含以下四方面的含义:

- (1) 传感器是测量装置,能完成信号获取任务;
- (2) 它的输入量是某一被测量,可能是物理量,也可能是化学量、生物量等;

(3)它的输出量是某种物理量,这种量要便于传输、转换、处理、显示等,这种量可以是气、光、电量,但主要是电量;

(4)输出与输入之间应该有稳定的单值函数关系,且应有一定的精确度。

广义地说,传感器是指将被测量(一般为非电量)转换为另一种与之有确定对应关系并便于测量的量(一般为电量)的器件,它又叫探测器、换能器等。如温度、压力、流量等典型非电物理量通过相应的传感器都可以变换为标准电流信号(一般为 $0\sim 10\text{ mA}$ 或 $4\sim 20\text{ mA}$)或者标准电压信号(一般为 $0\sim 5\text{ V}$ 或 $1\sim 5\text{ V}$),可以用图 1.5 所示的框图简单表示。

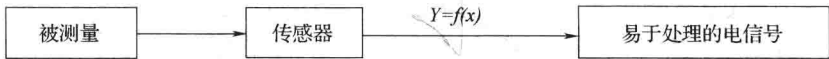


图 1.5 传感器的定义

人们为了从外界获取信息,必须借助于感觉器官。而单靠人们自身的感觉器官,在研究自然现象和规律以及生产活动中它们的功能就远远不够了。为适应这种情况,就需要传感器。因此可以说,传感器是人类五官的延长,又称之为“电五官”。

传感器起源于仿生研究。每一种生物在其生命周期内都需要经常与周围环境交换信息,因此所有生物都有感知周围环境或自身状态的器官或组织。如人的眼、耳、口、鼻、皮肤等,能够获取视觉、听觉、味觉、嗅觉、触觉等信息,如表 1.1 所示。传感器位于研究对象与测控系统之间的接口位置,是感知、获取与检测信息的窗口。一切科学实验和生产过程,特别是自动控制系统中要获取的信息,都要首先通过传感器获取并转换为容易传输和处理的电信号。传感器与计算机、通信和自动控制技术等一起构成一条从信息采集、处理、传输和应用的完整信息链。因此,传感器在信息技术领域具有十分重要的基础性地位和作用。

表 1.1 五官与传感器的比较

感官	传感器	物理基础	备注
视觉(眼)	光传感器	光电效应、光子放电	功能化、集成化
听觉(耳)	压力传感器 磁力传感器	压电效应、光穴效应、扰变效应	集成化
触觉(皮肤)	力传感器 温度传感器	压电效应、热电效应、扰变效应、热敏效应	
嗅觉(鼻)	气体传感器 温度传感器	吸附效应	
味觉(舌)	味觉传感器	研发中	生物器官