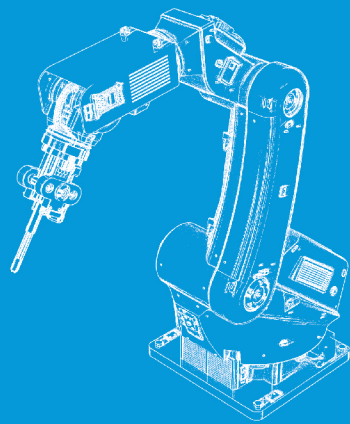


高等职业教育机电系列精品教材
校企“双元”合作开发新形态教材

机电一体化 技术应用 (第2版)

JIDIAN YITIHUA JISHU YINGYONG

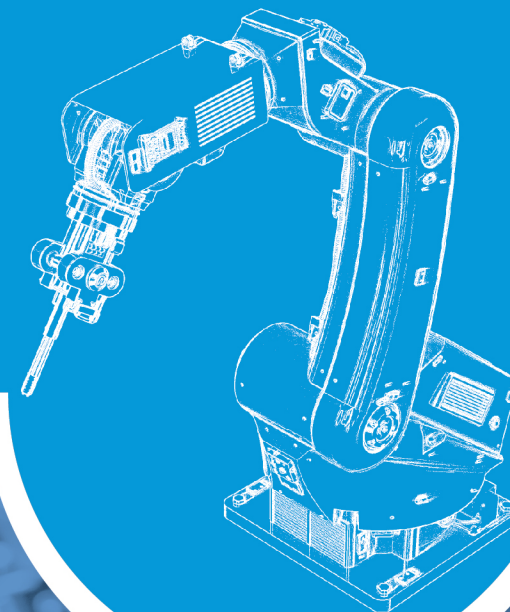


机电一体化技术应用 (第2版)

主编 张建忠

机电一体化 技术应用 (第2版)

主编 张建忠
主审 岳 鹏



策划编辑: 刘子嘉
责任编辑: 高 宇
封面设计: 黄燕美

ISBN 978-7-5635-7214-4



9 787563 572144 >

定价: 58.00元

北京邮电大学出版社



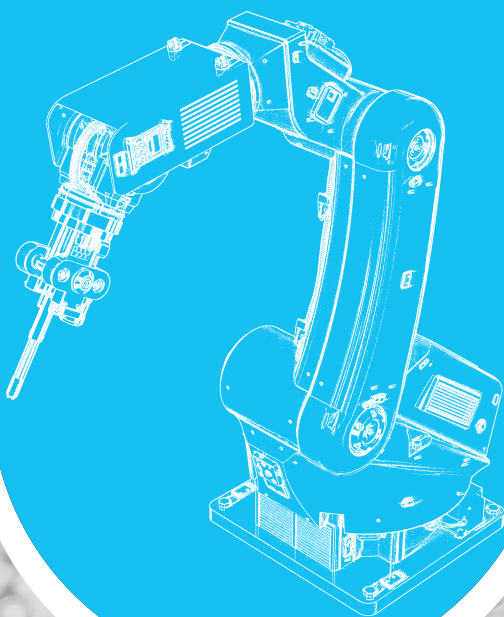
北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

高等职业教育机电系列精品教材

校企“双元”合作开发新形态教材

机电一体化 技术应用（第2版）

主 编 张建忠
副主编 王海博 王艳凤
主 审 岳 鹏



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书以运动控制为主线,介绍了目前工业主流控制系统的组成和使用,涉及工业中常用的机电一体化部件,如光栅尺和编码器位移检测部件、信号转换模块、步进电动机和伺服电动机、运动伺服可编程控制器(programmable logical controller, PLC)、计算机总线接口和机器视觉等。

本书可作为高等职业院校以及应用型本科院校的机电一体化技术、电气自动化技术、智能机电技术、工业机器人技术、智能控制技术等专业相关课程的教学与学习用书,也可作为从事自动化工作的工控人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化技术应用 / 张建忠主编. -- 2 版. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2024. 3

ISBN 978-7-5635-7214-4

I. ①机… II. ①张… III. ①机电一体化-高等教育-教材 IV. ①TH-39

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2024)第 066999 号

策划编辑: 刘子嘉 责任编辑: 高 宇 封面设计: 黄燕美

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市众誉天成印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 18.25

字 数: 378 千字

版 次: 2022 年 8 月第 1 版 2024 年 3 月第 2 版

印 次: 2024 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-7214-4

定 价: 58.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话: 400-615-1233

得益于信息技术的快速发展,智能化趋势在目前的工程应用中越加明显,利用模块化的自动化系统组装专门的自动机械成为工业应用特别是运动控制的主流。例如,机器视觉在工业中的快速普及,智能机器人更为“聪明”和灵活,智能驾驶等技术快速发展,这些都充分说明计算方法和数字网络传输技术为工业带来的革命性变革。为反映机电一体化领域的新知识和新技术,同时剔除一些不常用的内容,编者对本书第1版进行了修订。

本书契合高等职业教育“工学结合”的特点,内容以运动控制为主线,涉及感知和处理信号、控制电机的使用、运动伺服 PLC 使用和工业控制机的应用。本书以培养实际工作能力和激发学生兴趣为出发点,针对特定功能进行完整和偏重实践的论述,以求达到触类旁通的效果,提高学生的综合素质和应用技巧。

本书主要具有以下特点。

(1)以运动控制为主线,突出了运动控制系统的主体地位。

(2)以当前工业主流使用案例作为主要内容。在控制系统方面,由于数控系统的专业性较强,一般有专门课程加以介绍,因此本次修订时删去了其中的部分内容,而总线型运动伺服 PLC 在工业中的应用越来越多,在硬件连接上越发简单稳定,因此补充了总线型(CANopen)控制系统相关介绍;在工业控制机应用上,目前的视觉技术已经深入工业控制的各个方面,如视觉定位、检测等,尽管原理算法复杂,但是一般有相应的函数库(如 OpenCV 等)可供简单调用,因此增加了机器视觉编程的内容。

本书以项目化教学为背景编写而成,需要一定的前置课程(如机械设计、电工学、PLC 和 C 语言或 Python 高级语言等)作为基础;以机电一体化技术的应用方向划分项目内容,分为检测技术、信号处理、控制电机、运动伺服 PLC 和工业控制机等部分,涉及各种位置传感器和编码器、信号处理模块、总线型运动伺服 PLC、工业控制机的串口应用和图像处理过程等,以期使学生通过项目化的学习,达到知识“够用、能用”的目的。本书编写的目的主要是“用”,尽可能脱离深入底层原理和局部部件的知识设计模式,重点介绍控制系统的搭建和接口信号等内容。需要说明的是,本书的实践项目大多采用的是工程实际应用装备,这些软件和硬件连接有助于学生消除对工业设备的陌生感,建立工



业视野,对于培养学生的实践能力也有很大帮助。

本书由黄河水利职业技术学院张建忠任主编,黄河水利职业技术学院王海博和王艳凤任副主编,参与编写的还有曹丽芳、刘小红、陈俊潮。其中,张建忠和陈俊潮编写了绪论、项目一和项目五,王海博和曹丽芳编写了项目二和项目三,王艳凤和刘小红编写了项目四。全书由黄河水利职业技术学院岳鹏主审。

在编写本书的过程中,本书第1版的编者李自鹏、盛任、李冰、张恩胜等给予了很多帮助,陕西维视智造科技股份有限公司的杨阳工程师对于编写机器视觉部分提供了试用版工具,河南砥砺智控科技有限公司的陈小勇等对于试验台设计和制造提出了很多建设性的意见,在此一并感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请广大读者批评、指正。

编 者

目前,工程上的自动化趋势愈加明显,利用模块化的自动化系统组装成专门的自动机械已经成为工业应用的主流。这种趋势反映在教学上,要求学生不必非要掌握机电一体化系统的内部细节,而只需要针对特定任务组合功能模块形成完整的工作系统即可,所以教育者应着重传授数据采集/控制系统和执行装置的应用和有机组合等技巧知识。

本书根据高职高专“工学结合”教育的特点,以培养实际工作能力和激发学生兴趣为出发点,针对特定功能进行完整和偏重实践的论述,以求达到触类旁通的效果,提高学生的综合素质和应用技巧。

本书以项目化教学为背景编写而成,以机电一体化技术的应用方向为单元,简要介绍其效应原理、电路处理和性能参数,重点讲解各种机电一体化元件在实际工作中如位置检测、控制、输出的应用,结合实际的机械与自动控制工程讲解专用 PLC、数控系统、运动控制卡等现代检测和控制技术知识,以各种运动控制模块为主,图文并茂,使学生有直观的认识,达到“够用、能用”的实践目的。

全书尽可能脱离深入底层和局部部件的应用,重点介绍控制系统的搭建和接口信号等内容。需要说明的是,本书的实践项目采用的大多是工程实际的应用装备,这些软件和硬件连接有助于学生消除对工业设备的陌生感,建立工业感觉,对于培养学生的实践能力也会有很大帮助。

本书建议学时安排如下表所示。

项 目	任务及实训	学 时
绪 论	一、机电一体化应用技术的重要性与发展趋势 二、机电一体化系统的组成 三、机电一体化的常用组件 四、机电一体化常用的名词术语	2
工业现场环境下的 信号提取技术	任务一 光栅尺及数显表头的使用	2
	实训一 光栅尺精密位移检测	2
	任务二 编码器的使用	2
	实训二 光电编码器的角度测量	2



续表

项 目	任务及实训	学 时
信号传输与接口技术	任务一 变送器和变送模块	2
	实训一 变送模块的使用	2
	任务二 数/模转换	2
	实训二 PLC 变送模块的使用	2
控制电机的使用方法	任务一 步进电动机的线性定位	2
	实训一 利用脉冲发生器控制步进电动机	2
	任务二 伺服电动机	2
	实训二 伺服电动机的角度定位	2
	任务三 伺服电动机的选择和性能调试	2
	实训三 伺服电动机的性能调试	2
运动伺服 PLC 的使用	任务 PLC 控制伺服电动机	2
	实训一 丝杆和导轨的安装调试	2
	实训二 伺服电动机和 PLC 的连接与调试	2
	实训三 PLC 控制直线位移	2
数控系统的应用	任务一 数控系统控制	2
	实训一 数控系统中电子齿轮比参数的设置	2
	实训二 连接和调试数控系统输入和输出端口	2
	任务二 数控系统控制变频主轴	2
	实训三 数控系统控制变频器电机正反转和调整转速	2
计算机控制	任务一 工业控制机的应用	2
	实训一 计算机控制的串口应用	2
	任务二 运动控制卡的应用	2
	实训二 运动控制卡控制系统调试	2
总计		56

本书由黄河水利职业技术学院张建忠、李自鹏任主编，黄河水利职业技术学院盛任、李冰，开封黄河空分设备有限公司张恩胜，许昌职业技术学院张传斌和天门职业学院陈守标任副主编。具体分工为：张建忠编写绪论和项目六；张传斌和陈守标编写项目一；盛任编写项目二；李冰编写项目三；张恩胜编写项目四；李自鹏编写项目五。在本书编写过程中，台达电子工业股份有限公司的范昆仑工程师提供了很多有益的参考。本书主审为华东理工大学华云松博士。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏或不足之处，敬请广大读者批评、指正。

编 者

绪论 初步认识机电一体化	1
思考与练习	14
项目一 工业现场环境下的信号提取技术	15
任务一 开关量检测	15
实训 接近开关的特性检测	32
任务二 光栅尺及数显表头的使用	34
实训 光栅尺精密位移检测	39
任务三 编码器的使用	42
实训 光电编码器的角度测量	53
任务四 高精度激光位移传感器的使用	55
实训 使用高精度激光位移传感器检测物体高度差	63
思考与练习	68
项目二 信号变换技术	69
任务一 变送器和变送模块的认识	69
实训 变送模块的使用	78
任务二 数/模转换和模/数转换	80
实训 PLC 变送模块的使用	86
思考与练习	88
项目三 控制电机的使用方法	89
任务一 步进电动机的线性定位	90



实训 利用脉冲发生器控制步进电动机	94
任务二 伺服电动机的认知	100
实训 伺服电动机的角度定位	107
任务三 伺服电动机的选择和性能调试	114
实训 伺服电动机的性能调试	123
思考与练习	125
项目四 运动伺服 PLC 的使用	126
任务一 PLC 控制伺服电动机	126
实训一 滚珠丝杠和滚动导轨的安装调试	168
实训二 DVP-15MC 系列运动控制器通过运动指令控制伺服电机运转和停止	171
实训三 PLC 控制直线位移	182
实训四 使用 G 代码在运动控制器中实现直角坐标运动插补	187
任务二 PLC 控制变频器	189
实训 使用运动指令控制变频器 C2000 运转和停止	200
思考与练习	206
项目五 计算机控制	207
任务一 工业控制机的应用	207
实训 计算机控制的串口应用	232
任务二 机器视觉应用基础	234
实训 使用 VisionBank 软件实现机器视觉检测	273
思考与练习	281
参考文献	283



绪论

初步认识机电一体化

机电一体化(mechatronics)是涉及机械、电气、电子、控制工程、信息和计算机技术等多学科的综合性学科,是工业技术的重要发展方向。许多领域通过应用机电一体化技术,取得了技术和产品更新的显著效果。

机电一体化一词起源于日本的安川电机,是由机械和电子的两个英语单词合成的一个新的专有名词。其定义一般以日本机械振兴协会经济研究所 1981 年提出的观点为准,即机电一体化是在机构的主功能、动力功能、信息与控制功能上引入了电子技术,并将机械装置与电子设备以及软件等有机结合而成的系统的总称。它体现了机电一体化产品及其技术的基本内容和特征,具有指导性意义。

机电一体化是将机械、电子、信息处理和控制以及软件等现有技术进行综合集成的一种技术群体概念,体现了学科融合的思想。机电一体化一般研究怎样将机械装置、电子设备和软件等组成一个功能完善且具有柔性化的工程系统,从而为人类的生产和生活等各个领域的自动化服务。

当前,国际上以柔性自动化生产系统为主要特征的机电一体化产品和技术被日益广泛地应用到工业生产和生活服务中,如数控机床、机器人、智能洗衣机等。机电一体化已经成为当前世界机械工业发展的必然趋势,也是我国机械工业发展的必经之路。

一、机电一体化技术的优势与发展方向

1. 机电一体化技术的优势

机电一体化技术在产品设计、制造以及生产经营管理等方面的优势已经体现在生产与生活的各个领域。其主要表现如下。

(1)简化机械结构,提高精度。在机电一体化产品中,通常采用调速电机来驱动机械系统,从而缩短甚至取消了机械传动链,不但简化了机械结构,而且减少了由机械摩擦、磨损、间隙等引起的传动误差。还可以用闭环控制来补偿机械系统的误差,从而提高系统精度。例如,如果采用合理的机电一体化控制,取消汽车中的发动机和变速器,则可以简化汽车结构,提升性能和改善驾驶体验。

(2)易于实现柔性化和多功能。在机电一体化产品中,计算机控制系统取代其他信息处理控制装置,易于实现自动检测、数据处理、自动调节和控制、自动诊断和保护以及自动显示等。此外,计算机硬件和软件结合能实现柔性自动化,并具有很大的灵活性。

(3)产品开发周期短、竞争力强。机电一体化产品可以采用专业化生产的、高质量的机电部件,通过综合集成技术来设计和制造,因而产品的可靠性高,甚至在使用期限内无须维



修,缩短了产品开发周期,增强了产品在市场中的竞争能力。

(4)生产方式向高柔性、综合自动化发展。各种机电一体化设备构成的柔性制造系统(flexible manufacturing system,FMS)和计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system,CIMS),使得加工、检测、物流和信息流过程融为一体,可以形成少人或者无人生产线、车间和工厂。近年来,日本很多大公司已采用所谓的灵活的生产体系,即根据市场需要,在同一条生产线上分时生产批量小、型号和品种多的系列产品家族,如计算机、汽车、摩托车、肥皂和化妆品等。

(5)促进经营管理体制发生根本性变化。由于市场的导向作用,产品的商业寿命日益缩短。为了占领市场,企业必须重视用户信息的收集和分析,迅速进行决策,这迫使企业从传统的生产型向以经营为中心的决策管理体制转变,最终实现生产、经营和管理体系的全面计算机化。

机电一体化的应用范围广、覆盖面宽。主要应用领域有:工厂自动化(factory automation,FA),其中典型的有计算机集成制造系统、机器人、灵巧精密仪器、机器视觉和自动导引车系统;办公自动化(office automation,OA),其中的课题为信息处理、字符和图形处理、通信及数据与信息产品等;家庭自动化(home automation,HA),其中的课题为安全、能量控制、娱乐和家庭办公等。

近些年来,由于科学技术的迅猛发展和市场竞争的加剧,机电一体化不但向商业、银行、医疗和农业自动化领域拓展,而且在机械产品、工厂自动化领域也涌现出不少新技术,如微机械、智能机械或灵巧机械、快速原型、并行和同步工程、制造单元工程、智能制造控制、灵活敏捷制造。

机电一体化的出现不是孤立的,它是许多科学技术发展的结晶,是社会生产力发展到一定阶段的必然要求。当然,与机电一体化相关的技术还有很多,并且随着科学技术的发展,各种技术相互融合的趋势将越来越明显,机电一体化技术的发展前景也将越来越广阔。

2. 机电一体化技术的发展方向

未来机电一体化的主要发展方向如下。

(1)智能化。智能化是21世纪机电一体化技术发展的一个重要方向。人工智能在机电一体化建设者的研究中日益得到重视,机器人与数控机床的智能化就是重要应用。这里所说的智能化是对机器行为的描述,是在控制理论的基础上,吸收人工智能、运筹学、计算机科学、模糊数学、心理学、生理学和混沌动力学等新思想、新方法,模拟人类智能,使机器具有判断推理、逻辑思维、自主决策等能力,以求得到更高的控制目标。当然,使机电一体化产品具有与人完全相同的智能是不可能的,也是不必要的。但是,高性能、高速的微处理器使机电一体化产品具有低级智能或人的部分智能则是完全可能和必要的。

(2)模块化。模块化是一项重要而艰巨的工程。由于机电一体化产品的种类和生产厂家众多,研制和开发具有标准机械接口、电气接口、动力接口、环境接口的机电一体化产品单元是一项十分复杂而又非常重要的工作,如研制集减速、智能调速、电机于一体的动力单元,具有视觉、图像处理、识别和测距等功能的控制单元,以及各种能完成典型操作的机械装置等。这样,可利用标准单元迅速开发出新产品,同时也可以扩大生产规模。这需要制定各项标准,以便各部件和单元相匹配。由于利益冲突,很难制定国际或国内的标准,但可以通过组织一些大企业协作而促使标准逐渐形成。显然,从电气产品的标准化、系列化带来的好处可以肯定,无论是对生产标准机电一体化单元的企业还是对生产机电一体化产品的企业,模块化将给这些企业带来美好的前景。



(3)网络化。20 世纪 90 年代,计算机技术等的突出成就是网络技术。网络技术的兴起和飞速发展给科学技术、工业生产、政治、军事、教育及人们的日常生活都带来了巨大的变革。各种网络将全球经济、生产连成一片,企业间的竞争也呈现全球化。机电一体化新产品一旦研制出来,只要其功能独到、质量可靠,很快就会畅销全球。由于网络的普及,基于网络的各种远程控制和监视技术蓬勃发展,而远程控制的终端设备本身就是机电一体化产品。现场总线和局域网技术使家用电器网络化已成大势,利用家庭网络(home net)将各种家用电器连接成以计算机为中心的计算机集成家电系统(computer integrated appliance system, CIAS),使人们在家里分享各种高科技带来的便利与快乐。因此,机电一体化产品无疑将朝着网络化方向发展。

(4)微型化。微型化兴起于 20 世纪 80 年代末,指的是机电一体化向微型机器和微观领域发展的趋势。国外称微机电一体化产品为微电子机械系统,泛指几何尺寸不超过 1 cm^3 的机电一体化产品,并向微米、纳米级发展。微机电一体化产品体积小、耗能少、运动灵活,在生物医疗、军事、信息等方面具有不可比拟的优势。

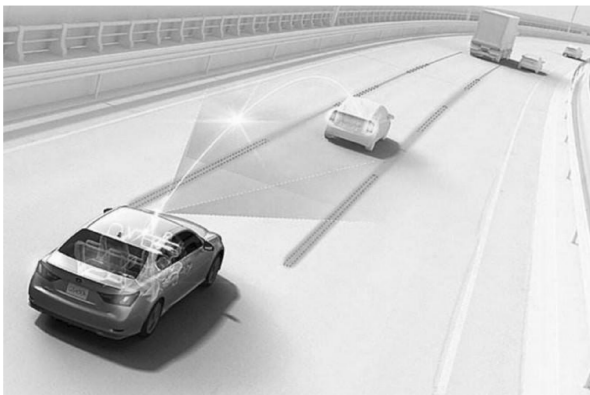
微型化的一种重要用途是嵌入式设备,如图 0-1 所示,观察可知这些应用场景的共同特点,如难以使用固定的电源,移动的空间和场地环境复杂,需要多种传感器和动力以及控制方法实现精确稳定的动作,所以采用微型化的嵌入式计算机,也即将计算功能合并入机械内部,作为控制单元是合理的。嵌入式机电一体化产品集检测、计算以及机械运动于一体,将计算功能嵌入功能性机械的内部,灵活轻巧地实现功能,减少机械产品的质量和体积,使单位质量或体积的效能尽可能最大。



(a) 搬运机器人



(b) 人形机器人



(c) 自动驾驶汽车



(d) 无人飞行器

图 0-1 嵌入式机电一体化产品的例子

(5)绿色化。工业的发展给人们的生活带来了巨大变化。一方面,物质丰富,生活舒适;另一方面,资源减少,生态环境遭到严重污染。于是,人们呼吁保护环境,回归自然。绿色产品概念在这种呼声下应运而生,绿色化是时代的趋势。绿色产品在其设计、制造、使用和销毁的生命过程中,符合特定的环境保护和人类健康的要求,对生态环境无害或危害极少,资源利用率极高。设计绿色的机电一体化产品,具有远大的发展前途。机电一体化产品的绿色化主要是指使用时不污染生态环境,报废后能回收利用。

(6)系统化。系统化的表现特征之一就是系统体系结构进一步采用开放式和模式化的总线结构。系统可以灵活组态,进行任意剪裁和组合,同时寻求实现多子系统协调控制和综合管理。系统化的表现特征之二是通信功能的大大加强,特别是人格化发展引人注目,即未来的机电一体化更加注重产品与人的关系。机电一体化的人格化有两层含义:一是机电一体化产品的最终使用对象是人,如何赋予机电一体化产品人的智能、情感、人性显得越来越重要,特别是对家用机器人,其高层境界就是人机一体化;二是模仿生物机理研制各种机电一体化产品。

二、机电一体化的系统组成及关键技术

1. 机电一体化系统组成

传统的机械产品一般由动力源、传动机构和工作机构等组成。机电一体化系统是在传统机械产品的基础上发展起来的,是机械与电子、信息技术结合的产物,除了包含传统机械产品的组成部分外,还含有与电子技术和信息技术相关的组成要素。一般而言,一个较完善的机电一体化系统包括机械本体、检测传感部分、电子控制单元(electronic control unit, ECU)、执行器和动力源,图 0-2 所示为各要素之间通过接口相联系的示意图。

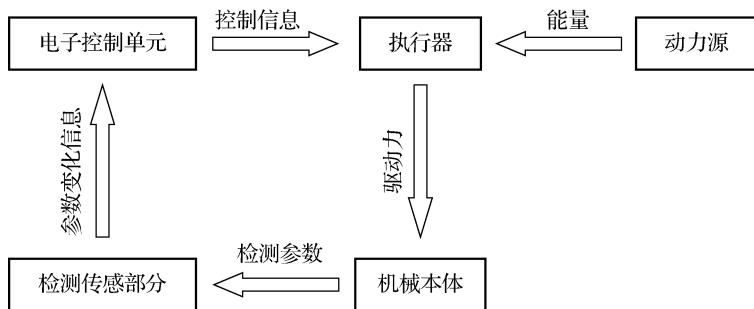


图 0-2 机电一体化系统示意图



(1)机械本体。机械本体包括机架、机械连接装置、机械传动装置等。所有的机电一体化系统都含有机械本体,它是机电一体化系统的基础,起着支撑系统中其他功能单元、传递运动和动力的作用。与纯粹的机械产品相比,机电一体化系统的技术性能得到提高,功能得到增强,这就要求机械本体在机械结构、材料、加工工艺以及几何尺寸等方面能够与之相适应,具有高效、多功能、可靠和节能、小型、轻量、美观的特点。

(2)检测传感部分。检测传感部分包括各种传感器及其信号检测电路,其作用就是监测机电一体化系统工作过程中有关参量的变化,并将信息传递给电子控制单元,电子控制单元根据检测到的信息向执行器发出相应的控制指令。机电一体化系统要求传感器精度、灵敏度和信噪比高,响应速度快;漂移小,稳定性高;可靠性好,不易受被测对象特征(如电阻、磁导率等)的影响,不受高频干扰和强磁场等外部环境的影响;对抗恶劣环境条件(如油污、高温、泥浆等)的能力强;体积小,质量轻,对整机的适应性好;操作性能好,现场维修处理简单;价格低廉。

(3)电子控制单元。电子控制单元是机电一体化系统的核心,负责将来自各传感器的检测信号和外部输入命令进行集中、存储、计算、分析,根据信息处理结果,按照一定的程序和节奏发出相应的指令,控制整个系统有目的地运行。电子控制单元由硬件和软件组成,硬件一般由计算机、可编程控制器(PLC)、数控装置以及逻辑电路、A/D与D/A转换模块、I/O接口和计算机外部设备等组成;软件为固化在计算机存储器内的信息处理和控制程序,根据系统正常工作的要求编写。机电一体化系统对电子控制单元的基本要求为:提高信息处理速度和可靠性,增强抗干扰能力以及完善系统自诊断功能,实现信息处理的智能化、小型化、轻量化和标准化等。

(4)执行器。执行器的作用是根据电子控制单元的指令驱动机械部件运动。执行器是运动部件,通常采用电力驱动、气压驱动和液压驱动等方式。机电一体化系统一方面要求执行器效率高、响应速度快;另一方面要求执行器对水、油、温度等外部环境的适应性好、可靠性高。由于尺寸上的限制,执行器的动作范围狭窄,还需考虑维修和实行标准化。随着电工电子技术的快速发展,高性能步进驱动电机、直流和交流伺服驱动电机已大量应用于机电一体化系统。

(5)动力源。动力源是机电一体化产品的能量供应部分,其作用是按照系统控制要求向系统提供能量和动力使系统正常运行。提供的能量形式包括电能、气能和液压能,以电能为主。除了要求可靠性好外,机电一体化产品还要求动力源的效率高,即用尽可能小的动力输入获得尽可能大的功率输出。

机电一体化产品的五个基本组成要素之间并非彼此无关或简单拼凑、叠加在一起,工作中它们各司其职、互相补充、互相协调,共同完成所规定的功能,即在机械本体的支持下,由传感器检测产品的运行状态及环境变化,将信息反馈给电子控制单元,电子控制单元对各种信息进行处理,并按要求控制执行器的运动,执行器的能源则由动力部分提供。在结构上,各组成要素通过各种接口及相关软件有机地结合在一起,构成一个内部合理匹配、外部效能最佳的完整产品。

例如,日常使用的全自动照相机就是典型的机电一体化产品,其内部装有测光、测距传感器,测得的信号由微处理器进行处理,根据信息处理结果控制微型电动机,由微型电动机驱动快门和变焦机构,对测光、测距、调光、调焦、曝光、闪光及其他附件的控制都实现了自动化。



又如,汽车上广泛应用的发动机燃油喷射控制系统也是典型的机电一体化系统。分布在发动机上的空气流量计、水温传感器、节气门位置传感器、曲轴位置传感器、进气歧管绝对压力传感器、爆燃传感器、氧传感器等连续不断地检测发动机的工作状况和燃油在燃烧室的燃烧情况,并将信号传给电子控制单元,电子控制单元首先根据进气歧管绝对压力传感器或空气流量计的进气量信号及发动机转速信号,计算基本喷油时间,然后根据发动机的水温、节气门开度等工作参数信号对其进行修正,确定当前工况下的最佳喷油持续时间,从而控制发动机的空燃比。此外,根据发动机的要求,电子控制单元还具有控制发动机的点火时间、怠速转速和废气再循环率以及故障自诊断等功能。

2. 机电一体化关键技术

如前所述,机电一体化是在传统技术的基础上由多种技术学科相互交叉、渗透而形成的一门综合性技术学科,所涉及的技术领域非常广泛。要深入进行机电一体化研究及产品开发,就必须了解并掌握这些技术。

概括起来,机电一体化的关键技术主要有检测与传感技术、信息处理技术、自动控制技术、伺服驱动技术、机械技术和系统集成技术。

(1)检测与传感技术。检测与传感技术指与传感器及其信号检测装置相关的技术。在机电一体化产品中,传感器就像人体的感觉器官,将各种信息通过相应的信号检测装置感知并反馈给控制及信息处理装置。因此,检测与传感是实现自动控制的关键环节。机电一体化要求传感器能快速、精确地获取信息并经受住各种严酷环境的考验。但是由于目前检测与传感技术还不能与机电一体化的发展相适应,不少机电一体化产品不能达到满意的效果或无法实现设计功能。因此,大力开展检测与传感技术的研究对发展机电一体化具有十分重要的意义。

(2)信息处理技术。信息处理技术包括信息的交换、存取、运算、判断和决策等,实现信息处理的主要工具是计算机,因此计算机技术与信息处理技术是密切相关的。计算机技术包括计算机硬件技术和软件技术、网络与通信技术、数据库技术等。在机电一体化产品中,计算机与信息处理装置指挥整个产品的运行,信息处理是否正确、及时,直接影响到产品工作的质量和效率。因此,计算机技术与信息处理技术已成为促进机电一体化技术和产品发展最重要的因素。人工智能、专家系统、神经网络技术等都属于计算机技术与信息处理技术。

(3)自动控制技术。自动控制技术范围很广,包括自动控制理论、控制系统设计、系统仿真、现场调试、可靠运行等从理论到实践的整个过程。由于被控对象种类繁多,所以自动控制技术的内容极其丰富,包括高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断、校正、补偿、示教再现、检索等。自动控制技术的难点在于自动控制理论的工程化与实用化,这是由于现实世界中的被控对象往往与理论上的控制模型之间存在较大差距,从控制设计到控制实施往往要经过反复调试与修改,才能获得比较满意的结果。由于微型机的广泛应用,自动控制技术越来越多地与计算机控制技术联系在一起,成为机电一体化中十分重要的技术。

(4)伺服驱动技术。伺服驱动技术的主要研究对象是执行元件及其驱动装置。执行元件有电动式、气动式、液压式等多种类型,机电一体化产品中多采用电动式执行元件,其驱动装置主要是指各种电动机的驱动电源电路,目前多采用电力电子器件及集成化的功能电路。执行元件一方面通过电气接口向上与微型机相连,以接受微型机的控制指令;另一方面又通



过机械接口向下与机械传动和执行机构相连,以实现规定的动作。因此,伺服驱动技术是直接执行操作的技术,对机电一体化产品的动态性能、稳态精度、控制质量等具有决定性的影响。常见的伺服驱动装置有电液马达、脉冲液压缸、步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。由于变频技术的进步,交流伺服驱动技术取得了突破性进展,为机电一体化系统提供高质量的伺服驱动单元,极大促进了机电一体化技术的发展。

(5)机械技术。机械技术是机电一体化的基础。机电一体化产品中的主功能和构造功能是以机械技术为基础实现的。在机械与电子相互结合的实践中,不断对机械技术提出更高的要求,使现代机械技术相对于传统机械技术发生了很大变化。新机构、新原理、新材料、新工艺等不断出现,现代设计方法不断发展和完善,以满足机电一体化产品对减轻质量、缩小体积、提高精度和刚度、改善性能等多方面的要求。在制造机电一体化系统的过程中,经典的机械理论与工艺应借助于计算机辅助技术,同时采用人工智能与专家系统等,形成新一代的机械制造技术。这里原有的机械技术以知识和技能的形式存在,是任何其他技术代替不了的。例如,计算机辅助工艺规程设计是目前 CAD/CAM 系统研究的瓶颈,其关键问题在于如何将广泛存在于各行业、企业、技术人员中的标准、习惯和经验进行表达和陈述,从而实现计算机的自动工艺设计与管理。

(6)系统集成技术。系统集成技术是一种从整体目标出发,用系统的观点和方法,将系统集成分解成相互有机联系的若干功能单元,并以功能单元为子系统继续分解,直至找到可实现的技术方案,然后把功能和技术方案组合成方案组进行分析、评价和优选的综合应用技术。系统集成技术包含的内容很多,接口技术是其重要内容之一,机电一体化产品的各功能单元通过接口连接成一个有机整体。接口包括电气接口、机械接口、人机接口。电气接口实现系统间电信号的连接;机械接口则完成机械与机械部分、机械与电气装置部分的连接;人机接口提供了人与系统间的交互界面。系统集成技术是最能体现机电一体化设计特点的技术,其原理和方法还在不断发展和完善之中。

三、机电一体化的常用组件

机电一体化的应用领域一般有两个方面:过程自动化和运动自动化。前者是关于生产过程的,如化学工业、生产线流程等的自动化;而后者则是自动定位,如数控机床和机器人等方面的自动化。这两种自动化的基本控制思想相同,即通过传感器采集信号,将信号传递到控制器中,控制器运算程序,将运算所得结果传递至执行器,然后传感器采集执行器执行结果信号。如此往复以达到平衡状态。不同之处在于它们所采用的传感器、控制器和执行器不尽相同。例如,在过程控制中传感器多为仪表,而在运动控制中传感器多为模拟量传感器,在过程控制中执行器多为阀,而在运动控制中执行器多为步进电动机和伺服电动机。在机械中,更多的情况是运动控制,本书主要介绍运动控制。

在运动控制中,经常会使用一些常用的组件进行组合以完成自动控制的功能,这些组件一般包括以下 4 种。

(1)机械部件。机械部件主要完成机械定位的功能,如导轨、丝杠、电主轴、转台、变速箱等。

(2)传感部件。传感部件主要完成信息采集功能,如位移/位置传感器、角度传感器、温度传感器、速度传感器、加速度传感器、机器视觉传感器等。



(3)控制部件。控制部件接收传感器部件传递的信息并进行计算后输出结果至执行器,如 PLC、工业控制计算机、数控系统等。

(4)执行器。执行器接收控制部件的结果并执行运动功能,如伺服电动机、步进电动机、直线电机等。需要说明的是,一般执行器并不只有机械部分,大多数情况下有相应的驱动器,即特定的电源供应,如伺服电动机需要特定的伺服驱动器等。

以上 4 种组件可以完成机电一体化的基本功能,其中需要在控制器中编写软件,以符合控制设计要求。所以,机电一体化的功能是软硬件共同完成的,它们的协同工作使得机电一体化系统成为可能。组成这种工业系统的关键点如下。

(1)传感器信息采集和控制器以及执行器之间的信号接口的匹配,即信号的定义应相同。如传感器的信号是 0~5 V 电压,而控制器的信号为 RS-232 串行口信号,则需要一个转换器将电压信号转换为串行口信号,将不匹配的信号强行连接有可能会烧坏电路,引起系统崩溃。所以,在进行信号连接前,一定要清楚各个信号接口的定义,如果不能匹配,则需要采用相应的工业转换器。

(2)驱动器的参数设置。一般的执行器大多带有相应的驱动器,现代驱动器为了适应更多的应用场合均设置有多种控制模式,这些参数需要依据说明书加以设定,特别是对于伺服电动机驱动器而言,这种情况更为普遍,变频率控制系统和伺服阀控制系统也有相应的多种控制模式。在现代控制系统中,有一些总线型的控制方式,使用两根线就可以实现多个设备的信息传递,是目前流行的控制方式。

(3)软件的编写。大多数情况下,机电一体化系统的软件编写和调试是最困难的,这种工作不仅需要经验和技巧,某些情况下还需要一定的理论计算能力,如需编制控制算法等。现代小型 PLC 控制器的程序一般使用较为简单的梯形图编写,某些先进的运动型 PLC 的程序还可以使用数控 G 代码编写。一般的计算机大多采用 C 语言控制。

综上所述,机电一体化系统使用的基本组件在大多数情况下均由生产厂家提供,使用者无须了解这些组件的内部运行情况,只需要知道组件的使用功能及参数功能设置即可。对于应用最困难的控制器的软件设计,设计者不仅要熟悉整个系统的功能和参数,还要有一定的理论计算能力。必要时,需要对某些参数进行假设,然后用试验的办法逐步修正,逐渐逼近正确结果。

四、机电一体化常用的名词术语

1. 信号

信号是运载消息的工具,是消息的载体。从广义上讲,它包含光信号、声信号和电信号等。信号存在于机电一体化系统的整个控制过程中,大多数情况下为电信号。工业中经常使用的标准电信号包括 4~20 mA 电流信号、0~5 V 电压信号、0~10 V 电压信号。这些信号又称为模拟量信号,显然,这种信号大多数情况下是由传感器经过放大器后产生的,并不能直接送入控制器中,一般采用 A/D 转换器(即模拟量/数字量转换器)先将模拟量信号转换为数字量信号再传入控制器中进行运算和操作。

计算机内部使用二进制进行数值计算,这种数值即为数字量,非“1”则“0”。例如,在电路中可以将大于某一个电压如 2.5 V 的量认为是“1”,而将小于 1.3 V 的电压认为是“0”,利用在相同时间两根导线端部电压相同的原理可以实现数据的传递,这样,可在相当宽的电压



范围内获得稳定的数值。也可利用逻辑门和加法器等数字逻辑部件实现数值计算,并利用软件和计算方法实现更为复杂和灵活的功能。由上分析可知,数字量的稳定性和可识别程度远大于模拟量,在现代自动化技术中得到广泛应用。

需要注意的是,模拟量/数字量转换需要一定的时间,这样,只能每隔一定时间进行一次转换和运算,连续两次进行转换的时间间隔称为采样时间,这是描述转换效率的重要指标。采样时间的倒数称为采样频率,如果要测量的运动频率超过采样频率,就不能得到准确结果,所以采样频率一定要在最大运动频率的 2 倍以上。

从另外一个角度看,在采样之前信号是随着输入量的变化而发生变化的,这种变化是连续的,故称为连续信号。而在采样之后信号反映的是一些时间点的值,信号是间断的,故称为离散信号。离散信号能不能真实地反映连续信号的情况,仍然要看信号变化的频率是否能够超过采样频率,如果超过 $1/2$ 则不能反映真实情况,这就是采样定理。如图 0-3 所示,测量以间隔 Δt 发生,记录当前时刻下测量的值,而真实值为连续曲线,如果 Δt 间隔过大,则可能出现圆点形成的曲线,很明显失去了测量真实值的意义,这种情况通常发生在连续过程的测量环节中。采样定理要求采样周期(测量的发生时间间隔)小于真实周期的 $1/2$ 才能获得真实的数据,换算为采样频率则为真实频率的 2 倍以上方可。

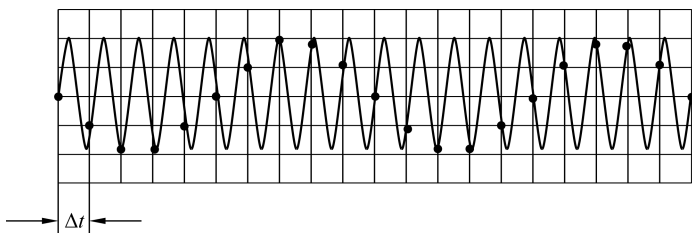


图 0-3 采样定理示意

随着时间变化的信号称为时域信号,这种信号在很多情况下并不能反映信号的特征。例如,对于振动等周期性信号,如果采用时域信号描述则无法确定其振动特性,而将时域信号转换成频率信号则可以很简单地对其振动特性进行描述,这时用到的数学工具即傅里叶变换。在离散情况下可以采用数字傅里叶变换和快速傅里叶变换,相应地将信号的时域描述转换为频率域描述,这样方便观察某一个频率的振动特征,可以揭示振动源经过系统的传递放大关系,在确定机械状态、排除故障等应用中有极其重要的作用。

2. 系统

系统是由一些相互联系、相互制约的若干组成部分结合而成、具有特定功能的一个有机整体,是加工信号的机构。

1) 对系统概念的理解

可以从以下 3 个方面理解系统的概念。

(1) 系统是由若干要素组成的。这些要素可能是一些个体、元件、零件,也可能其本身就是一个系统(或称为子系统),如运算器、控制器、存储器、输入/输出设备组成了计算机的硬件系统,而硬件系统又是计算机系统的一个子系统。

(2) 系统有一定的结构。一个系统是其构成要素的集合,这些要素相互联系、相互制约。系统内部各要素之间相对稳定的联系方式、组织秩序及失控关系的内在表现形式,就是系统



的结构。例如,钟表是由齿轮、发条、指针等零部件按一定的方式装配而成的,但一堆齿轮、发条、指针随意放在一起不能构成钟表;人体由各个器官组成,但各器官简单拼凑在一起不能成为一个有行为能力的人。

(3)系统有一定的功能,或者说系统要有一定的目的性。系统的功能是指系统在与外部环境相互联系和相互作用中表现出来的性质、能力和功能。例如,信息系统的功能是进行信息的收集、传递、存储、加工、维护和使用,辅助决策者进行决策,帮助企业实现目标。

与此同时,还要从以下几个方面对系统进行理解:系统由部件组成,部件处于运动之中,部件间存在着联系,系统各主量之和的贡献大于各主量贡献的和,即常说的 $1+1>2$;系统的状态是可以转换和控制的。

系统在实际应用中总是以特定系统出现的,如消化系统、生物系统、教育系统等,其前面的修饰词描述了研究对象的物质特点,即物性,而系统一词则表征所述对象的整体性。对某一具体对象的研究,既离不开对其物性的描述,也离不开对其系统性的描述。系统科学研究将所有实体作为整体对象的特征,如整体与部分、结构与功能、稳定与演化等。

2) 系统性能的评价指标

所有的机电一体化产品,如数控机床等均可以认为是一个系统。如图 0-4 所示数控机床中,由伺服电机驱动丝杠带动工作台移动,各个组成部件构成了一个系统,环节部件缺一则无法完成定位的功能,驱动环节为:伺服电机带动丝杠旋转,而固接于工作台的螺母将丝杠的旋转运动转换为工作台的前后移动运动,由伺服电机的传感器得到当前的位置,根据与所要达到的目标位置的位置差,确定伺服电机的转动方向和速度大小,进而使工作台逐步靠近定位目的地,这就是所谓“检测偏差用于控制偏差”的方法。以上方法说明各部分需要分工合作组成一个以功能为目的的控制系统,在结构的基础上加以控制,实现定位目的。

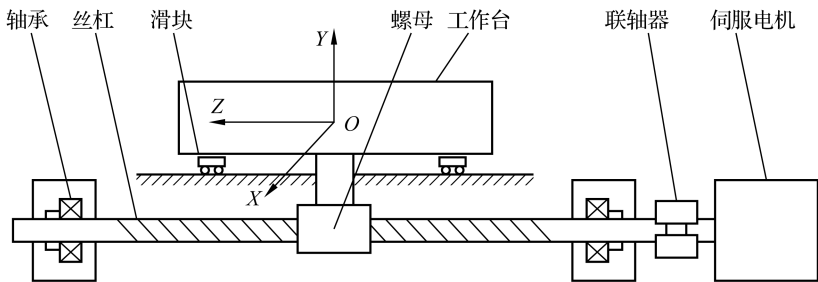


图 0-4 数控机床驱动系统

评价系统的 3 个性能指标如下。

(1)稳定性。系统稳定是第一位的,反映在某个机床系统中则是生产产品尺寸的一致性。如果系统不稳定,产品随着时间变化而发生改变,或者随着某些条件变化,则系统不可靠,一般认为使用性能欠佳。

(2)快速性。快速性是指系统在一个信号输入后应该能够快速地进行运算并做出相应的响应的性能。快速性体现了系统的反应能力,在工业生产过程中则为加工效率。快速性在某些情况下至关重要,如汽车的转弯系统,如果不能快速响应,则有可能发生危险。

(3)准确性。准确性体现了系统加工信号的精确程度,准确性越好,则控制精度越高,反映在机床上则为加工精度提高。



研究系统的目的是对由多个机电构件组合在一起的组件的性能进行评判。一般来讲,对于简单系统,只有一个输入和一个输出,多采用传递函数的方法进行研究,或者采用状态函数的方法进行研究。

3. 传感器

传感器是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并能将感受到的信息按一定规律变换成电信号或其他所需形式的信号输出,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求,是实现自动检测和自动控制的首要环节。

一般来说,检测工作的全过程包含的环节有:以适当的方式激励被测对象、信号的检测和转换、信号的调理、信号的分析、信号的显示与记录,以及必要时以电量形式输出检测结果。检测系统工作过程可采用图 0-5 的框图形式来表示。

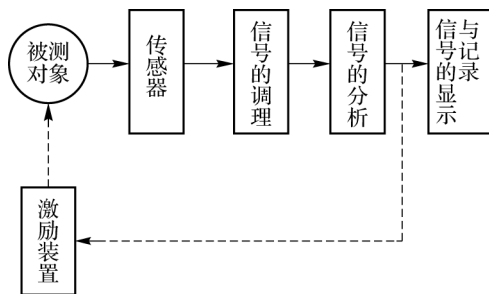


图 0-5 检测系统工作过程框图

客观事物多种多样,检测工作所希望获取的信息,有可能存在于某种可检测的信号中,如位移、温度信号等;也有可能尚未载于可检测的信号中,需要采用合适的方式对被测对象进行激励,使其性能能够充分表现出来并能被检测,如结构的共振频率等,就需要对结构施加一定频率的力或位移,检测其振动值间接反映其振动性能,可以为高速条件下的加工提供试验依据。因此,激励装置在检测系统特别是在动态检测中是必要的,某些情况下,可以采用现场检测方法作为激励,如检测汽车悬挂系统的平顺性,可以路面为激励装置,在车辆行进中检测动态力大小。激励装置有时需要调整参数,如激振频率和振幅,这种调整往往以检测结果的趋势为依据改变激励装置参数,如寻找共振频率等,所以有时需要引入检测结果信号到激励装置中。

传感器直接作用于被检测量并按一定规律将被检测量转换成同种或其他量值输出,这种输出通常是电信号,如电压或电流等。这种检测方法被称为非电量的电测法。

信号调理环节把来自传感器的信号转换成更适合进一步传输和处理的形式。所检测的信息经过传感器进行变换后成为电参量,如电压或电流等,但这类信号往往很微弱,难以直接显示或传递。因此,在传感器后一般均有放大电路。在信号放大过程中,不可避免地会出现其他不必要的干扰信号也被放大的情况,以至于影响真实信号的检测,所以一般后续电路均有过滤干扰的措施。这些电路一般集合封装为一体,形成专用模块。有时还需要将这些信号转换为计算机能够识别的数字信号并通过工业总线网络传给控制器如 PLC 等,或将这些信号进行分析和变换,使其成为更容易反映被检测量本质特性的量值,这种分析就是信号调理技术。



调理后的信号传输到信号分析模块。在许多检测场合中,可以忽略信号的具体物理性质,而将其抽象为变量之间的函数关系,特别是时间函数或空间函数,从中得出一些具有普遍意义的理论。这些理论极大地发展了检测技术,并成为检测技术的重要组成部分。事实上,这些分析往往是很多经验公式的来源,也是很多理论的试验依据。

信号的显示与记录环节以观察者易于识别的形式来显示检测的结果,或者将检测结果存储,供必要时使用。

4. 伺服系统

伺服系统是使物体的位置、状态等输出被控量能够跟随输入目标(或给定值)的任意变化而变化的自动控制系统,又称为随动控制系统。

伺服系统的主要任务是按控制命令的要求,对功率进行放大、变换与调控等处理,使驱动装置输出的力矩、速度和位置控制起来非常灵活方便。

1) 伺服系统的组成

伺服系统可分为开环、半闭环、闭环控制系统。如图 0-6 所示,闭环控制系统由位置检测部分、反馈部分、偏差比较部分、控制主体和受控系统(执行部分)组成。

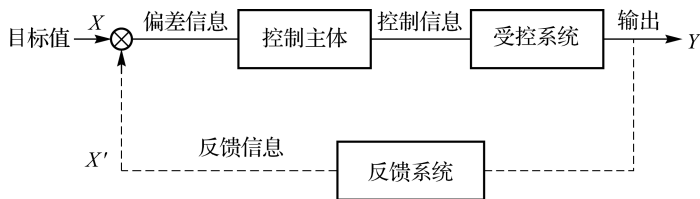


图 0-6 闭环控制系统示意图

图 0-6 中的虚线回路为反馈,即检测偏差用以纠正偏差,使用传感器对受控系统的输出,即控制结果进行测量,然后将测量结果与预设目标值进行比较,将比较的结果作为控制输出的依据,这种带有反馈性质的控制系统即闭环控制系统。显然,闭环控制能够提高精度。没有反馈回路的控制系统为开环控制系统。有些控制系统难以直接检测,因此使用间接方法进行测量,所得到的闭环控制系统称为半闭环控制系统。

2) 伺服系统的性能要求

伺服系统必须具备可控性好、稳定性高和适应性强等基本性能。可控性好是指信号消失后,能立即自行停止;稳定性高是指转矩随转速的增加而均匀下降;适应性强是指反应快,灵敏,响态品质好。

3) 伺服系统的种类

(1) 根据伺服驱动机的种类来分,伺服系统有电气式、油压式和电气-油压式 3 种。

(2) 按功能来分,伺服系统则有计量伺服和功率伺服系统、模拟伺服和功率伺服系统、位置伺服和加速度伺服系统等。

(3) 根据电气信号不同,可将电气式伺服系统分为直流伺服系统和交流伺服系统两大类。交流伺服系统又有异步电机伺服系统和同步电机伺服系统两种。

背景知识:自动机械系统的历史

试图建造自动机械系统有一段有趣的历史。福特汽车公司创造的术语“自动化”直到 20 世纪 40 年代以后才逐渐流行起来。它表示在一个加工过程中,机器将部件从一个工位移动



到另一个工位,并且为装配操作提供准确的定位。事实上,很早以前就出现了成功的自动机械系统。例如,公元前 300 年至公元前 1 年,在希腊出现了浮球调节水钟机构,如图 0-7 所示。

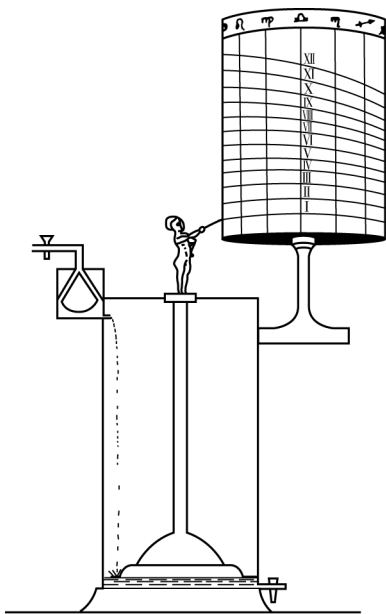


图 0-7 浮球调节水钟示意图

17—19 世纪,西方一些发明家发明了许多属于机电一体化的重要装备。荷兰人德勒贝尔设计的温度调节器是最初的反馈控制系统之一;1681 年,法国人帕潘设计了锅炉的气压安全调节阀,与现代压力锅近似;1765 年,俄国帕兹诺夫设计了水位调节阀,该设备使用一个随着水位变化而升降的球控制锅炉入水口的阀门。

控制理论的出现促进了自动化的发展。1769 年,瓦特发明了控制蒸汽机速度的飞球调速器,如图 0-8 所示。利用蒸汽机输出轴的转速驱使飞球转动,通过控制阀门的开启度来限制流入蒸汽机的蒸汽流量。随着蒸汽机速度的加快,调速器上的金属球在离心力的作用下向上运动,通过连杆机构使阀门关闭。这是一个典型的反馈控制系统。在该实例中,反馈信号和控制作用完全耦合于硬件中。

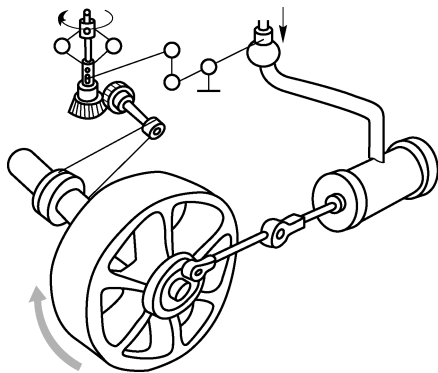


图 0-8 飞球调速器



这些早期的自动化装置是靠直觉、技巧和执着才能取得成功的,进一步的发展需要自动控制理论。20 世纪早期数学分析的方法被应用于自动控制工程中,如贝尔实验室的伯德、奈奎斯特和布莱克研究的反馈。20 世纪 40 年代,由于军事发展的需要,自动控制理论和实践得到了极大发展,出现了自动驾驶、枪支定位、雷达天线控制系统,同时,工业生产也需要自动控制。20 世纪 50 年代,麻省理工学院开发了数控机床,极大地提高了生产能力,而自动化生产线的使用更是极大地促进了生产效率的提升和成本的降低。

20 世纪 60 年代末,微处理器的发展促进了数控机床和飞机控制系统的发展,李雅普诺夫等推出的时域方法,以及俄国人庞特里亚金和美国人贝尔曼提出的最优控制理论,与广泛使用的高速计算机相得益彰,共同促进了控制理论在机械系统中的应用。

1969 年,日本的安川电气公司引入了“机电一体化”的术语,用于表征这类系统。1972 年,安川电气公司获得了“机电一体化”的商标权,随后于 1982 年放弃。自 1980 年后,机电一体化随着控制理论、伺服系统和计算机的发展在工业中得到了广泛应用。其中,机器人、数控机床、交通运输和智能家电等是机电一体化未来值得期待的发展领域。



思考与练习

1. 结合机电一体化的发展方向,试分析目前市场某个产品如扫地机器人的组成和特点。
2. 试分析图 0-4 中,如果控制的目标为工作台横向移出力恒定,那么如何实现控制?
3. 检测偏差用于纠正偏差是一般控制的主要方法,试举出例子说明如何实现。
4. 从使用系统的观点和检测偏差用于纠正偏差的观点,试述接住一个飞行中的篮球的观察判断以及动作的控制过程。



项目一

工业现场环境下的信号提取技术

实现控制的第一步是将工业现场环境的信号提取出来供控制器使用。在机电一体化产品中,无论是机械电子化产品(如数控机床)还是机电相互融合的高级产品(如机器人),都离不开传感器检测这个重要环节。如果没有传感器对原始的各种参数进行精确而可靠的自动检测,那么信号转换、信息处理、正确显示、控制器的最佳控制等都是无法进行和实现的。

检测系统是机电一体化产品中的一个重要组成部分,用于实现计测功能。在机电一体化产品中,传感器的作用就相当于人的感官,用于检测有关外界环境及自身状态的各种物理量(如力、位移、速度、位置等)及其变化,并将这些信号转换成电信号,然后通过相应的变换、放大、调制与解调、滤波、运算等电路将有用的信号检测出来,反馈给控制装置或显示设备。实现上述功能的传感器及相应的信号检测与处理电路,就构成了机电一体化产品中的检测系统。

随着现代测量、控制及自动化技术的发展,传感器技术越来越受到人们的重视,应用越来越普遍。凡是应用传感器的地方,必然伴随着相应的检测系统。传感器与检测系统可对各种材料、机件、现场等进行无损探伤、测量和计量以及对自动化系统中各种参数进行自动检测和控制。尤其是在机电一体化产品中,传感器与检测系统不仅是一个必不可少的组成部分,而且已经成为机械与电子有机结合的一个重要纽带。

任务一



开关量检测

知识目标

掌握传感器的基本概念,了解开关量传感器的使用情景,熟悉各种接近开关的环境特性和使用方法。

技能目标

通过对接近开关电路的分析与实践操作,了解各种接近开关的环境特性和使用方法,并能识别接近开关的基本参数,能使用简单的工具判别接近开关工作是否正常。



一、传感器

1. 传感器的定义及种类

传感器是接收信号或刺激并做出响应的器件,能将待测物理量或化学量转换成对应输出量。

传感器种类繁多,分类方法也有多种;可以按被测物理量分类,这种分类方法明确表达了传感器的用途,便于根据不同用途选择传感器;还可按工作原理分类,这种分类方法便于学习、理解和区分各种传感器。机电一体化产品主要以微型计算机作信息处理机和控制器,传感器获取的有关外界环境及自身状态变化的信息,一般反馈给计算机进行处理或实施控制。因此,这里将传感器按输出信号的性质分类,包括开关型(二值型)、模拟型和数字型,如图 1-1 所示。

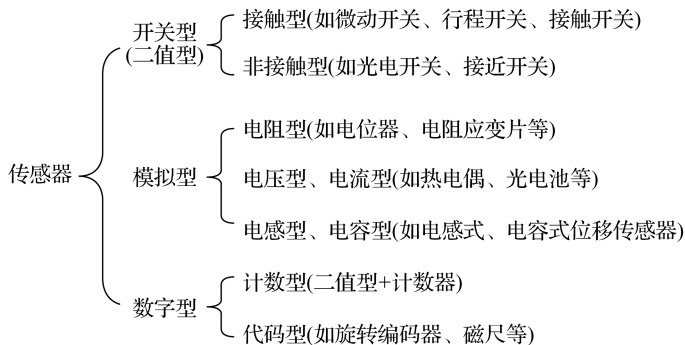


图 1-1 传感器按输出信号的性质分类

开关型传感器只输出 1 和 0 或开(on)和关(off)两个值。如果传感器的输入物理量达到某个值以上,其输出为 1(on 状态),在该值以下时输出为 0(off 状态),其临界值就是开、关的设定值。这种 1 和 0 组成的数字信号可直接送入微型计算机中进行处理。

模拟型传感器的输出是与输入物理量变化相对应的连续变化的物理量。传感器的输入/输出关系可能是线性的,也可能是非线性的。线性输出信号可被直接使用,而非线性输出信号则需先进行线性化处理后才能被使用。这些信号一般需进行 A/D 转换,将其转换成数字信号后再送给微型计算机处理。

数字型传感器有计数型和代码型两大类。计数型又称脉冲计数型,它可以是任何一种脉冲发生器,所发出的脉冲数与输入量成正比,加上计数器就可以对输入量进行计数了。计数型传感器可用于检测通过输送带上的产品个数,也可用来检测执行机构的位移量,这时执行机构每移动一定距离或转动一定角度就会发出一个脉冲信号,如光栅检测器和增量式光电编码器等。代码型传感器即绝对值式编码器,它输出的信号是二进制数字代码,每个代码相当于一个特定的输入量。代码中的 1 为高电平,0 为低电平,高低电平可用光电组件或机械式接触组件输出。绝对值式编码器通常被用来检测执行组件的位置或速度,如绝对值型光电编码器、接触型编码器等。



2. 传感器的基本特性

在机电一体化系统中有各种不同的物理量需要被监测和控制,这就要求传感器能感受被测非电量并将其转换成与被测量有一定函数关系的电量。传感器所测量的非电量处于不断变化之中,传感器能否将这些非电量的变化不失真地转换成相应的电量,取决于传感器的输入-输出特性。传感器这一基本特性可用静态特性和动态特性来描述。

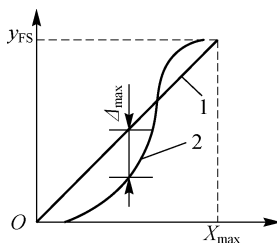
1) 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指当被测量处于稳定状态时,传感器的输入值与输出值之间的关系。传感器静态特性的主要技术指标有线性度、灵敏度、迟滞、重复性、分辨率和零漂等。

(1) 线性度。传感器的线性度是指传感器实际输入-输出特性曲线与理论直线之间的最大偏差与输出满度值之比,即

$$\gamma = \pm \frac{\Delta_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中, γ 为线性度; $\Delta_{\max}$ 为最大非线性绝对误差; y_{FS} 为输出满度值。线性度如图 1-2 所示,线性度的值实际上在数量上表达了非线性的误差。在实际应用中,一般希望线性度的值越小越好。在传感器的应用和选择中,线性度是一个非常重要的误差指标。



1—理论直线; 2—实际输入-输出特性曲线。

图 1-2 线性度示意图

(2) 灵敏度。传感器的灵敏度是指传感器在稳定标准条件下,输出量的变化量与输入量的变化量之比,即

$$S_0 = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-2)$$

式中, S_0 为灵敏度; Δy 为输出量的变化量; Δx 为输入量的变化量。

对于线性传感器来说,其灵敏度是个常数。观察图 1-2 就会发现,灵敏度指标实际上是曲线的斜率,即输出量对输入量的导数。这个值越大,测量系统对被测量的反映水平也就越高。

(3) 迟滞。传感器在正(输入量增大)、反(输入量减小)行程中,输入-输出特性曲线不重合的程度称为迟滞。迟滞误差一般以迟滞量相对于满量程输出(y_{FS})的百分数表示,即

$$\gamma_H = \pm \frac{\Delta H_m}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中, γ_H 为迟滞误差; ΔH_m 为输出值在正、反行程间的最大差值。迟滞特性一般由摩擦弹性变形引起,大多使用试验方法确定。

(4) 重复性。传感器在同一条件下对被测输入量按同一方向进行全量程连续多次重复测量时,所得输入-输出曲线的不一致程度,称为重复性。重复性误差用误差量相对于满量程输出的百分数表示,即



近似计算为

$$\gamma_R = \pm \frac{\Delta R_m}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1-4)$$

精确计算为

$$\gamma_R = \pm \frac{2 \sim 3}{y_{FS}} \sqrt{\sum \frac{(y_i - \bar{y})^2}{(n-1)}} \quad (1-5)$$

式中, γ_R 为重复性误差; ΔR_m 为输出最大重复性误差; y_i 为第 i 次测量值; $\bar{y}$ 为测量值的算术平均值; n 为测量次数。

重复性也用试验方法确定, 常用绝对误差表示。重复性实际上表示了测试系统在一段时间内的稳定性。

(5) 分辨率。传感器能检测到的最小输入增量称为分辨率, 在输入零点附近的分辨率称为阈值。对于标尺测量, 分辨率往往是最小刻度的一半。对于数字测量系统而言, 分辨率是显示值末位有效数字的最小变化。

(6) 零漂。传感器在零输入状态下输出值的变化称为零漂。零漂可用相对误差表示, 也可用绝对误差表示。产生零漂的原因是测量电路的温度影响, 而解决此问题的有效办法是采用差动电路。

2) 传感器的动态特性

传感器测量静态信号时, 由于被测量不随时间变化, 故测量和记录过程不受时间限制。而实际中大量的被测量是随时间变化的动态信号, 传感器的输出不仅需要精确地显示被测量的大小, 还要显示被测量随时间变化的规律, 即被测量的波形。传感器测量动态信号的能力用动态特性表示。动态特性是指传感器测量动态信号时输出对输入的响应特性。传感器动态特性的性能指标可以通过时域、频域以及试验分析的方法确定, 其动态特性参数包括最大超调量、上升时间、调整时间、频率响应范围、临界频率等。

动态特性好的传感器, 其输出量随时间的变化规律将再现输入量随时间变化的规律, 即它们具有同一时间函数。但是, 除了理想情况外, 实际传感器的输出信号与输入信号不会具有相同的时间函数, 由此引起动态误差。

3. 传感器的发展方向

由于传感器位于检测系统的入口, 是获取信息的第一个环节, 所以它的精度、可靠性、稳定性、抗干扰性等直接关系到机电一体化产品的整机性能指标。因此, 传感器的研究与开发一直受到人们的重视, 传感器的性能不断提高, 主要表现在以下几个方面。

1) 新型传感器的开发

鉴于传感器的工作机理是基于各种效应和定律的, 由此启发人们进一步发现新现象、采用新原理、开发新材料、采用新工艺, 并以此研制出具有新原理的新型物性型传感器, 这是发展高性能、多功能、低成本和小型化传感器的重要途径。总之, 传感器正经历着从以结构型为主转向以物性型为主的过程。

2) 传感器的集成化和多功能化

随着微电子学、微细加工技术和集成化工艺等的发展, 出现了多种集成化传感器。这类传感器, 或是同一功能的多个敏感组件排列成阵列型传感器; 或是多种不同功能的敏感组件集成一体, 成为可同时进行多种参数测量的传感器; 或是传感器与放大、运算、温度补偿等电路集成一体, 具有多种功能。例如, 高精度称量传感器有的甚至可以调整当地的重力加速度参数进行修正。



3) 传感器的智能化

智能化传感器不仅具有信号检测、转换功能,还具有记忆、存储、解析、统计处理及自诊断、自校准、自适应等功能。如果进一步将传感器与这些功能集成在同一芯片上,就成为智能传感器。

二、接近开关



微课

认识接近开关

工业中大量出现使用开关量检测的情况,如检查工件有无、物体移动是否到位等,这些信号均可以认为是开关量。事实上,工业中很多控制信号并不是复杂的模拟量或者数字量信号,而是简单的开关量,指示工作系统如何进行运转。很多复杂的控制量也可分解为几个简单的开关量,如物料运输,可以将距离控制转换为几个控制点的开关量,物料到,则相应的传感器检测信号变换,这样可以简化生产控制,增强系统的稳定性,减少生产成本。

将工业信号转换为开关量,使用以简单的传感原理实现电路的通断或者电平的高低变化而做成的专门的开关量传感器,可以避免复杂的后续电路,能有效地提高传感器的适应能力和减少检测成本。尽管开关量传感器传递信息量较其他种类的传感器少,但它是传感器中使用最多的种类。开关量是工业中的基本检测环节。

工业上,开关量检测结果可以方便地通过放大电路输出到继电器中,形成简单的通用控制器。行业中多使用开关型继电器作为检测和控制器件,如限位开关、液位开关、接近开关等,这些器件集合传感器、继电器和后续电路成为一体,使用方便稳定,在工业中灵活使用它们可有效地改善控制状态,降低检测难度,增加系统稳定性。

接近开关又称无触点行程开关,它的任务是检查特定环境下的特定工件的有无状态,输入信号一般为工件与传感器之间的距离,输出信号一般为电压,由于使用方便、稳定可靠,故在工业中得以大量使用。使用时,如果传感器敏感面与移动物体距离小于一定值,就输出电压信号。由于检测精度不高,接近开关通常采用6~36 V开关电源供电。接近开关种类众多,按照传感原理分类一般有霍尔效应型、感应型、光电效应型、电容型等形式,

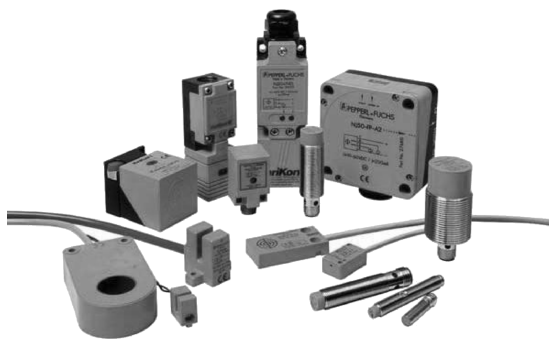


图 1-3 接近开关实物图

适用于不同工业环境,均有连接螺纹或者螺纹孔,便于安装调试,多直接从传感器本体给出信号引线,连接电源和负载。图 1-3 所示为常见接近开关实物图。

1. 霍尔效应型接近开关

霍尔效应型接近开关是将检测磁性物体的霍尔效应元器件集成至一个传感器继电器中而成的。由于普通情况下磁性很难自然生成,所以这种传感器检测灵敏且很少产生误报现象。但是,霍尔效应型接近开关只能检测磁性物体。霍尔集成电路具有无触点、无磨损、无火花、低功耗、寿命长、灵敏度高、工作频率高等特点,能在各种恶劣环境下稳定可靠地工作。



2. 光电效应型接近开关

光电效应型接近开关属于光电式传感器的一种。光电式传感器就是将光信号转化成电信号的一种器件,简称光电器件。要将光信号转化成电信号,必须经过两个步骤:一是先将非电量的变化转化成光量的变化;二是通过光电器件的作用,将光量的变化转化成电量的变化。这样就实现了将非电量的变化转化成电量的变化。

光电效应型接近开关是利用光电效应原理将光学量转换为电量的一种检测控制器件,利用被检测物对光束的遮挡或反射,由光敏元件控制电路通断,从而检测物体的有无。被检测物体不限于金属,所有能反射光线的物体均可被检测。但是光电效应型接近开关对于环境的依赖性较强,在不良光学环境下容易产生错误信号。



微课

光电效应型

接近开关

3. 感应型接近开关

置于变化磁场中的块状金属导体或在磁场中做切割磁力线运动的块状金属导体内将会产生旋涡状的感应电流,该现象称为电涡流效应。该旋涡状的感应电流称为电涡流,简称涡流。

感应式传感器也称为涡流式传感器,由振荡器、开关电路及放大输出电路三部分组成。振荡器产生一个交变磁场,当金属目标接近这一磁场并达到感应距离时,在金属目标内产生涡流,涡流反作用于接近开关,使接近开关振荡能力衰减,内部电路的电磁感应参数发生变化,由此识别出有无金属物体接近,进而控制开关的通断。



微课

感应型接近开关

如图 1-4 所示,将一个通以正弦交变电流 $\dot{I}_1$ (频率为 f) 的扁平线圈置于金属导体附近,则线圈周围空间将产生一个正弦交变磁场 $\dot{H}_1$,使金属导体中感应出电涡流 $\dot{I}_2$, $\dot{I}_2$ 又产生一个与 $\dot{H}_1$ 方向相反的交变磁场 $\dot{H}_2$ 。根据楞次定律, $\dot{H}_2$ 的反作用必然削弱线圈的磁场 $\dot{H}_1$ 。由于磁场 $\dot{H}_2$ 的作用,涡流要消耗一部分能量,导致传感器线圈的等效阻抗发生变化。线圈阻抗的变化取决于被测金属导体的电涡流效应。而电涡流效应既与被测物体的电阻率、磁导率以及几何形状有关,又与线圈的几何参数、线圈中激励电流的频率 f 有关,同时还与线圈与导体间的距离有关。

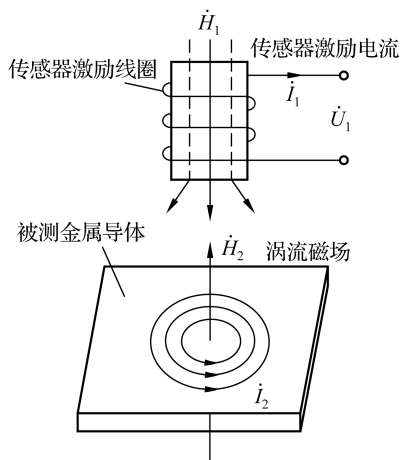


图 1-4 感应型接近开关的原理



这种接近开关所能检测的物体必须是金属物体。振荡器振荡及停振的变化被后级放大电路处理并转换成开关信号,触发驱动控制器件,从而达到非接触式检测的目的。

感应型接近开关的外形与其他种类的接近开关相似。

三、霍尔效应及霍尔元件

1. 霍尔效应

霍尔效应的产生是运动电荷在磁场作用下受到洛伦兹力作用的结果。如图 1-5 所示,把 N 型半导体薄片放在磁场中,通以固定方向的电流 i (从 a 点至 b 点),那么半导体中的载流子(电子)将沿着与电流方向相反的方向运动。从物理学上讲,任何带电质点在磁场中沿磁力线垂直方向运动时,均受到磁场力的作用,这个力又称为洛伦兹力。由于洛伦兹力的作用,电子向一边偏移,并形成电子积累,而另一边则积累正电荷,于是形成了电场。该电场将阻止运动电子继续偏移,当电场力与洛伦兹力相等时,电子的积累便达到了动态平衡。这时元件 c 、 d 两端之间建立的电场称为霍尔电场,相应的电势称为霍尔电势 (V_h),其大小为

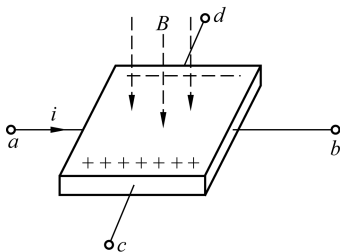


图 1-5 霍尔效应示意

$$V_h = K_h i B \sin \alpha \quad (1-6)$$

式中, K_h 为霍尔系数,取决于霍尔片材质、温度、元件尺寸,单位为 m^3/C ; i 为电流大小,单位为 A; B 为磁感应强度,单位为 T; α 为电流与磁场方向之间的夹角。

霍尔系数等于霍尔片材料的电阻率与电子迁移率的乘积。若要霍尔效应强,则希望有较大的霍尔系数,因此要求霍尔片材料有较大的电阻率和载流子迁移率。一般金属材料载流子迁移率很高,但电阻率很小;而绝缘材料电阻率极高,但载流子迁移率极低,故只有半导体材料才适于制造霍尔片。目前,常用的霍尔元件材料有锗、硅、砷化钢、锑化钢等半导体材料。其中 N 型锗容易加工制造,其霍尔系数、温度性能和线性度都较好。N 型硅的线性度最好,其霍尔系数、温度性能同 N 型锗。锑化钢对温度最敏感,尤其是在低温范围内温度系数大,但在室温时其霍尔系数较大。砷化钢的霍尔系数较小,温度系数也较小,输出特性线性度好。

根据式(1-6),如果改变 K_h 或者 i ,或者同时改变两者,就可以改变 V_h 值。运用这一特性,可以把被测参数转换为电压量的变化,如利用 K_h 变化引起霍尔电势 V_h 变化来检测不同材质,同样也可以检测磁性物体的接近程度。

2. 霍尔元件的结构及工作原理

霍尔元件是根据霍尔效应,使用半导体制成的元件,一般具有对磁场敏感、结构简单、输出电压变化较大及寿命长等优点。



霍尔元件的结构简单,由霍尔片、四根引线和壳体组成,如图 1-6(a)所示。霍尔片是一块矩形半导体单晶薄片,引出四根引线:1、1'两根引线加激励电压或电流,称为激励电极(或控制电极);2、2'引线为霍尔输出引线,称为霍尔电极。霍尔元件的壳体是用非导磁金属、陶瓷或环氧树脂封装的。在电路图中,霍尔元件一般可用两种图形符号表示,如图 1-6(b)所示。

通常,霍尔电势的转换效率比较低,为了获得更大的霍尔电势输出,可以将若干个霍尔元件串联起来使用。而在霍尔元件输出信号不够大的情况下,可以采用运算放大器对霍尔电势进行放大,如图 1-7 所示。当然,最好还是采用集成霍尔传感器。

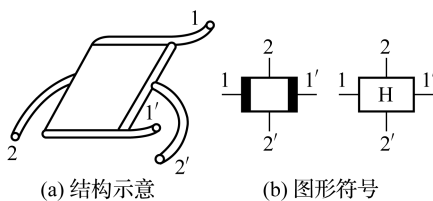


图 1-6 霍尔元件

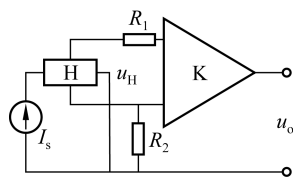


图 1-7 霍尔电势的放大

图 1-8 所示为一种微型的霍尔元件,正面为敏感面,导线由金属薄片所形成,各个金属薄片上均附有半导体结晶片(通常为硅芯片),而在结晶体中利用集成电路技术形成霍尔组件及信号处理电路。为防止整个组件性能的劣化,通常利用树脂加以封装。另外,为了方便施加磁场,其厚度也尽量减薄。

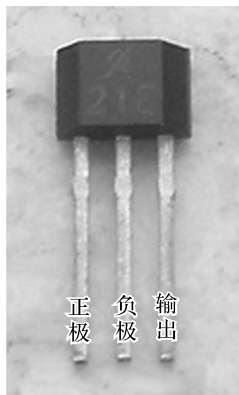


图 1-8 霍尔元件

这种霍尔元件可置于传感模块中,实现各种无接触传感器功能。只要磁力线与霍尔元件正面的夹角小于 90° ,当磁场接近霍尔元件时,磁场信号转换成电气信号。此信号经在同一元件中的信号处理电路放大后,取出信号电压。通常使用一根信号线串接电源负极,而从剩下的两根中的一根取出正极性的信号电压,并从另一根取出负极性的信号电压,如图 1-8 所示。需要注意的是,由于半导体材料的温度特性有较大的非线性,如果需要较高精度的检测,可采用差动检测的办法,选用两个霍尔元件串联使用的晶片作为传感器。

3. 霍尔元件的性能参数

(1) 额定激励电流。使霍尔元件温升 10°C 时所施加的激励电流称为额定激励电流。以



元件允许最大温升为限制所对应的激励电流称为最大允许激励电流。因霍尔电势随激励电流增加而线性增加,所以使用中希望选用尽可能大的激励电流以获得较高的霍尔电势输出。若激励电流受到最大允许温升的限制,还可以通过改善霍尔元件的散热条件,使激励电流增加。

(2)灵敏度。霍尔元件在单位磁感应强度和单位激励电流作用下的空载霍尔电势值,称为霍尔元件的灵敏度。

(3)输入电阻和输出电阻。霍尔元件激励电极间的电阻值称为输入电阻。霍尔电极输出电势对电路外部来说相当于一个电压源,其电源内阻即为输出电阻。以上电阻值是在磁感应强度为零,且环境温度为 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 时所确定的。

(4)不等位电势。当磁感应强度为零,霍尔元件的激励电流为额定值时,则其输出的霍尔电势应该为零,但实际不为零,用直流电位差计可以测得空载霍尔电势,这时测得的空载霍尔电势称为不等位电势。

产生不等位电势的主要原因有:

- ① 霍尔电极安装位置不对称或不在同一等电位面上。
- ② 半导体材料不均匀造成了电阻率不均匀或是几何尺寸不均匀。
- ③ 激励电极接触不良造成激励电流不均匀分布等。

(5)寄生直流电势。在外加磁场为零、霍尔元件用交流电激励时,霍尔电极输出除了交流不等位电势外,还有一直流电势,称为寄生直流电势。

产生寄生直流电势的原因有:

- ① 激励电极与霍尔电极接触不良,形成非欧姆接触,造成整流效果。
- ② 两个霍尔电极大小不对称,则两个电极点的热容不同,散热状态不同而形成极间温差电势。

寄生直流电势一般小于 1 mV ,它是影响霍尔片温漂的原因之一。

(6)霍尔电势温度系数。在一定磁感应强度和激励电流下,温度每变化 1°C 霍尔电势变化的百分率称为霍尔电势温度系数。它同时也是霍尔系数的温度系数。它与霍尔元件的材料有关,一般约为 $0.1\%/^{\circ}\text{C}$ 。

4. 霍尔元件的分类及相应的霍尔传感器

霍尔元件可分为开关型霍尔元件和线性霍尔元件两种。开关型霍尔传感器由稳压器、开关型霍尔元件、差分放大器 and 施密特触发器等组成,输出为开关量;线性霍尔传感器由线性霍尔元件、线性放大器和射极跟随器组成,输出为模拟量。据此,只要设定磁场位置,传感器就可以检测位移、速度、压力、压差和加速度等参量。

1) 开关型霍尔传感器

开关型霍尔传感器也称霍尔开关,是在霍尔效应原理的基础上,利用集成封装和组装工艺制作而成的,可把磁输入信号转换成实际应用中的电信号,同时具备工业场合实际应用易操作和可靠性的要求。霍尔开关的输入端信号是以磁感应强度 B 来表征的,磁感应强度达到一定值后,霍尔开关内部的触发器翻转,霍尔开关的输出电平状态也随之翻转。霍尔开关的外形如图1-9所示,当有磁性物体或者电磁场与图1-9中左下方的敏感端接近至一定距离时,信号灯亮,输出电平发生翻转。



图 1-9 霍尔开关

霍尔开关输出端采用晶体管,主要类型有 NPN 型、PNP 型、常开型、常闭型、锁存型(双极性)、双信号输出型等。PNP 与 NPN 型传感器一般有三条引出线,即 V_{CC} 电源线、0 V 线和 OUT 信号输出线。以常用的 NPN 型接近开关为例,一般有 NO 和 NC 型。对于 NPN-NO 型,没有信号触发时,输出线是悬空的,就是 V_{CC} 电源线和 OUT 线断开;有信号触发时,发出与 V_{CC} 电源线相同的电压,也就是 OUT 线和 V_{CC} 电源线连接,输出高电平 V_{CC} 。对于 NPN-NC 型,没有信号触发时,发出与 V_{CC} 电源线相同的电压,也就是 OUT 线和 V_{CC} 电源线连接,输出高电平 V_{CC} ;有信号触发后,输出线是悬空的,就是 V_{CC} 电源线和 OUT 线断开。

霍尔开关具有无触点、低功耗、使用寿命长、响应频率高等特点,内部采用环氧树脂封装为一体元器件,所以能在各类恶劣环境下可靠地工作。霍尔开关可应用于接近开关、里程表等仪器中。

2) 线性霍尔传感器

线性霍尔传感器常用在位移相量、转速计算和计数的场合。

(1) 霍尔式位移传感器。图 1-10 所示为一些霍尔式位移传感器的工作原理图。图 1-10(a) 中磁场强度相同的两块永久磁铁同极性相对地放置,霍尔元件处在两块磁铁的中间。由于磁铁中间的磁感应强度 $B=0$,因此霍尔元件输出的霍尔电势 V_h 也等于零,此时位移 $\Delta x=0$ 。若霍尔元件在两块磁铁中产生相对位移,霍尔元件感受到的磁感应强度也随之改变,这时 V_h 不为零,其量值大小反映出霍尔元件与磁铁之间相对位置的变化量。这种结构的传感器,其动态范围可达 5 mm,分辨率为 0.001 mm。

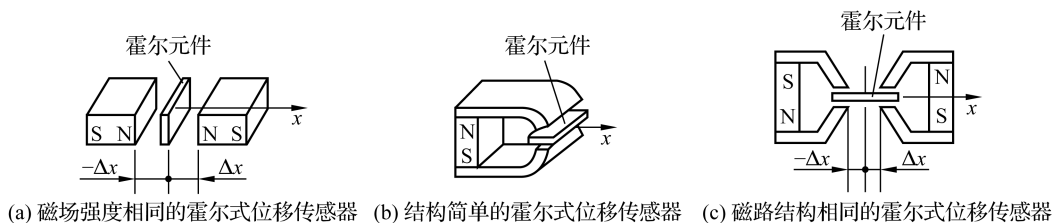


图 1-10 霍尔式位移传感器的工作原理图

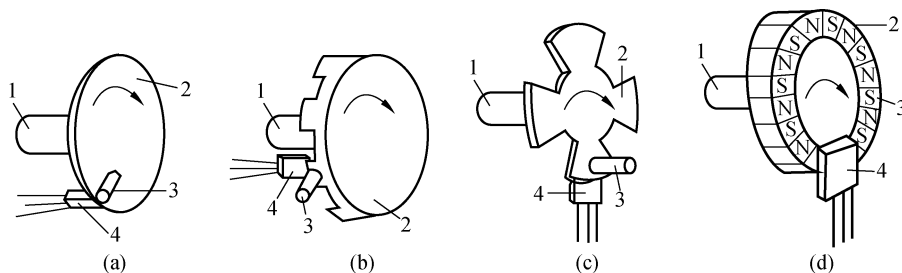
图 1-10 (b)所示的是一种结构简单的霍尔式位移传感器,是由一块永久磁铁组成磁路的传感器,在霍尔元件处于初始位置 $\Delta x=0$ 时,霍尔电势 V_h 不等于零。

图 1-10(c)所示的是一个由两个结构相同的磁路组成的霍尔式位移传感器,为了获得较好的线性分布,在磁极端面装有极靴,调整好霍尔元件的初始位置时,可以使霍尔电势 $V_h=0$ 。

霍尔式位移传感器灵敏度很高,但它所能检测的位移量较小,适合于微位移量及振动的测量。



(2)霍尔式转速传感器。图 1-11 所示的是几种不同结构的霍尔式转速传感器。转盘的输入轴与被测转轴相连,当被测转轴转动时,转盘随之转动,固定在转盘附近的霍尔传感器便可在每个小磁铁通过时产生一个相应的脉冲,检测出单位时间的脉冲数,便可知被测转速。根据磁性转盘上小磁铁数目多少就可确定传感器测量转速的分辨率。这实际上也是自行车等用于计算里程的方法。



1—输入轴; 2—转盘; 3—小磁铁; 4—霍尔传感器。

图 1-11 霍尔式转速传感器

(3)霍尔计数装置。集成霍尔元件是将霍尔元件和放大器等集成在一块芯片上,并结合电压调整电路、电流放大输出电路、失调调整及线性度调整电路等几部分组成的,有三端 T 形单端输出和八脚双列直插型双端输出两种结构。它的特点是输出电压在一定范围内与磁感应强度呈线性关系。霍尔计数装置的关键部分霍尔开关传感器(SL3501)是具有较高灵敏度的集成霍尔元件,能感受到很小的磁场变化,可对黑色金属零件进行计数检测。图 1-12 所示为霍尔计数装置对钢球进行计数的工作示意图和电路图。当钢球通过霍尔开关传感器时,传感器可输出峰值为 20 mV 的脉冲电压,该电压经运算放大器($\mu A741$)放大后,驱动半导体三极管 VT(2N5812)工作,输出端便可接计数器进行计数,并由显示器显示检测数值。

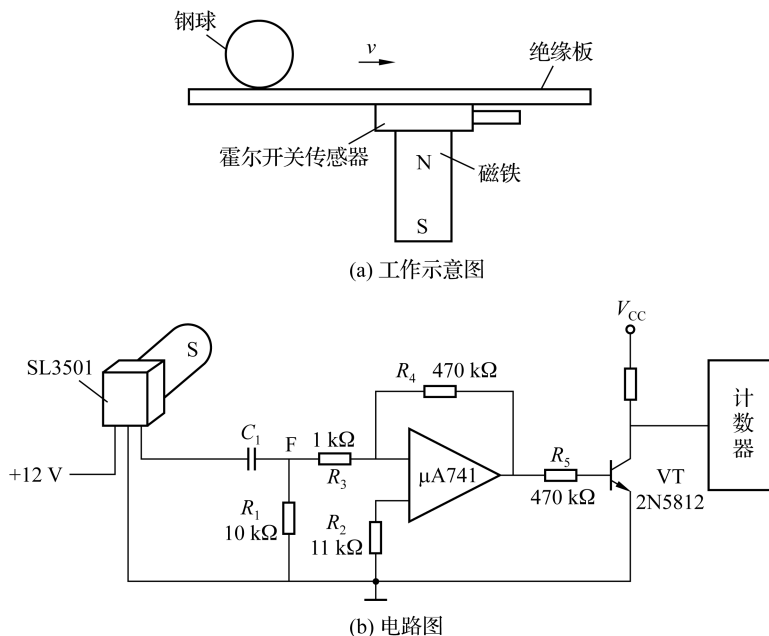


图 1-12 霍尔计数装置的工作示意图和电路图



四、光电效应及光电器件

1. 光电效应

光照射到某些物质上,引起物质的电性质发生变化,这类光致电变的现象统称为光电效应,如图 1-13 所示。更确切地讲,光电效应是指金属表面在光辐射作用下发射电子的效应,发射出来的电子称为光电子。光电效应分为光电子发射、光电导效应和光生伏打效应三种。前一种现象发生在物体表面,又称外光电效应;后两种现象发生在物体内部,称为内光电效应。光电现象是 1887 年赫兹在试验研究麦克斯韦电磁理论时偶然发现的。1888 年,德国物理学家霍尔瓦克斯证实光电效应是由于在放电间隙内有电荷出现。

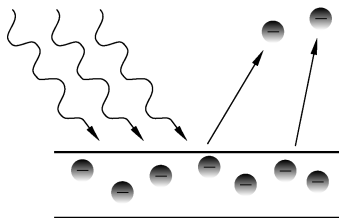


图 1-13 光电效应

光电效应在现代物理发展中具有极为重要的意义,如爱因斯坦通过研究光的电动力学而获得诺贝尔物理学奖。

2. 光电器件

基于光电效应制作的器件称为光电器件,也称光敏器件。光电器件的种类很多,但其工作原理都是建立在光电效应这一物理基础上的。光电器件的种类主要有光电管、光电倍增管、光敏电阻、光电二极管、光电三极管、光电耦合器、光电开关。

1) 光电管

光电管的典型结构如图 1-14 所示,其由玻璃壳、两个电极(阴极 K 和阳极 A)、引出插脚等组成。将球形玻璃壳抽成真空,在内半球面上涂上一层光电材料作为阴极 K,在球心放置小球形或小环形金属作为阳极 A。当阴极 K 受到光线照射时便发射电子,电子被带正电位的阳极 A 吸引,朝阳极 A 方向移动,这样就在光电管内产生了电子流,从而在外电路中便产生了电流。

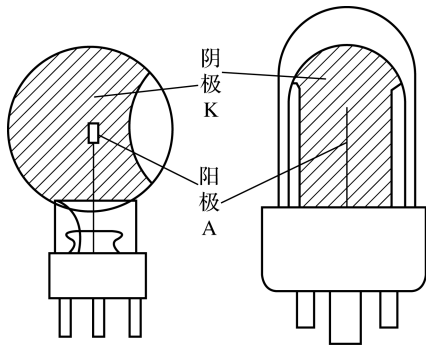


图 1-14 光电管的典型结构



光电管分为真空光电管和充气光电管两种。充气光电管的结构与真空光电管的结构基本相同,所不同的是充气光电管球内充了低压惰性气体。当光电极被光线照射时,光电子在飞向阳极的过程中与气体分子碰撞而使气体电离,从而使阳极电流急速增加,因此增加了光电管的灵敏度。

光电管的伏安特性曲线是指当光通量一定时,阳极电流与阳极电压之间的关系曲线,图 1-15 所示为真空光电管的伏安特性曲线,图 1-16 所示为充气光电管的伏安特性曲线。通过观察这两种伏安特性曲线图,在阳极电压的一段范围内,阳极电流不随阳极电压的变化而变化,达到了比较稳定的饱和区。这就是光电管的工作静态点。选择光电管的工作参数点时,就应选在阳极电流与阳极电压无关的区域内。

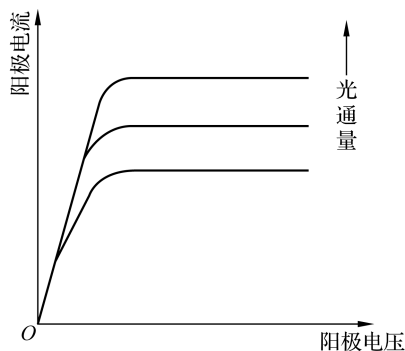


图 1-15 真空光电管的伏安特性曲线

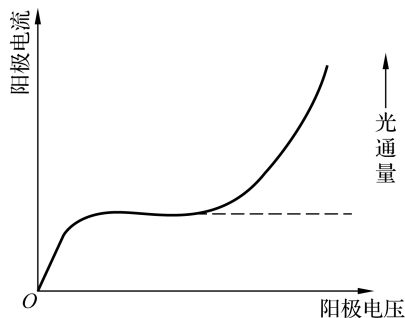


图 1-16 充气光电管的伏安特性曲线

这两种光电管比较而言,充气光电管的优点是灵敏度较高,但是灵敏度随电压变化的稳定性以及频率特性比真空光电管的差。总而言之,光电管的缺点是灵敏度低、体积大、易破损,适用于对比较强的光信号检测,使用时要注意防振动等事项。

2) 光电倍增管

光电倍增管是一种常用的灵敏度很高的光探测器,是把微弱光信号转变成电信号且进行放大的器件。光电倍增管的典型结构和工作原理如图 1-17 所示。光电倍增管主要由玻璃壳、阴极 K、阳极 A、倍增极 D、引出插脚等组成,并根据要求采用不同性能的玻璃壳进行真空封装。依据分装方法,光电倍增管可分为端窗式和侧窗式两大类。端窗式光电倍增管的阴极通常为透射式阴极,通过管壳的端面接收入射光,如图 1-17(a)所示。侧窗式光电倍增管的阴极则通过管壳的侧面接收入射光,它的阴极通常为反射式阴极,其工作原理如



图 1-17(b)所示。

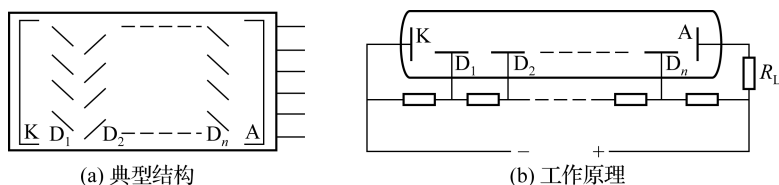


图 1-17 光电倍增管的典型结构和工作原理

阴极通常由脱出功较小的铯铷或钠钾铯铷的薄膜组成,阴极接负高压,各倍增极的加速电压由直流高压电源经分压电阻分压供给,灵敏检流计或负载电阻接在阳极 A 处,当有光子入射到阴极 K 上时,只要光子的能量大于阴极材料的脱出功,就会有电子从阴极的表面逸出而成为光电子。在 K 和 D_1 之间电场的作用下,光电子被加速后轰击第一倍增极 D_1 ,从而使 D_1 产生二次电子发射。每个电子的轰击可产生 3~5 个二次电子,这样就实现了电子数目的放大。 D_1 产生的二次电子被 D_2 和 D_1 之间的电场加速后轰击 D_2 ,以此类推。这样的过程一直持续到最后一级倍增极 D_n ,每经过一级倍增极,电子数目便被放大一次。倍增极的数目有 8~13 个,最后一级倍增极 D_n 发射的二次电子被阳极 A 收集,其电子数目可达阴极 K 发射光电子数的 14^6 倍以上。这使光电倍增管的灵敏度比普通光电管高得多,可用来检测微弱光信号。光电倍增管高灵敏度和低噪声的特点,使它在红外、可见和紫外波段检测微弱光信号时是最灵敏的器件之一,被广泛应用于微弱光信号的测量、核物理领域及频谱分析等方面。

若将灵敏检流计串接在阳极回路中,则可直接测量阳极输出电流,若在阳极串接电阻 R_L 作为负载,则可测量 R_L 两端的电压,此电压正比于阳极电流。

光电倍增管的测量原理如图 1-18 所示。标准光源发出的光经过聚光系统被聚焦在单色仪的入射狭缝 S_1 上,通过单色仪的色散作用,在其出射狭缝 S_2 处可以获得单色光。此单色光功率被光电倍增管所接收放大后,在阳极 A 上产生相应的电信号,可以由数字电压表直接读出。调整单色仪的色散系统(鼓轮),可以改变单色仪输出光的波长,就可以得到光电倍增管在不同波长的光照射下产生的阳极电信号。

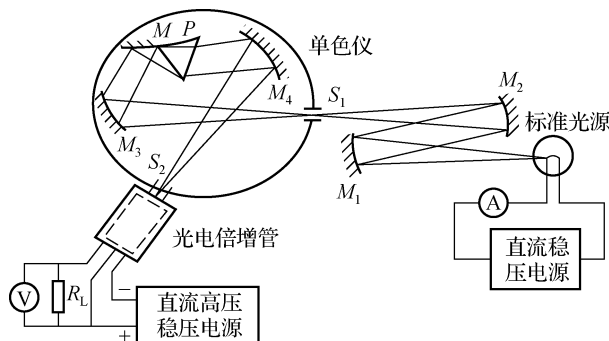


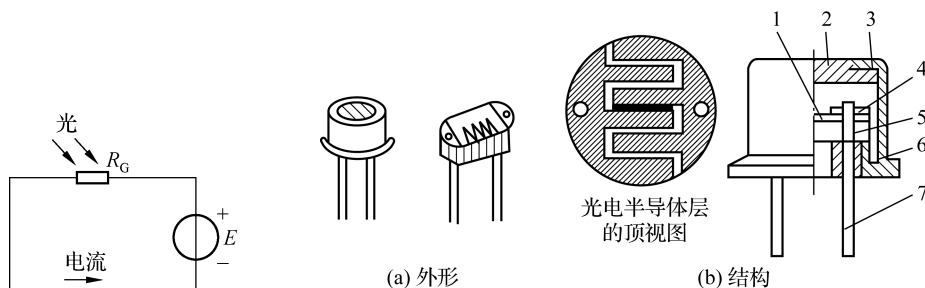
图 1-18 光电倍增管的测量原理

显然,光电倍增管在科学发现和太空领域具有很重要的价值。



3) 光敏电阻

光敏电阻是一种基于光电效应制成的光电器件,它没有极性,相当于一个电阻器件。光敏电阻的工作原理如图 1-19 所示。在光敏电阻的两端加直流或交流工作电压的条件下,当无光照射时,光敏电阻的电阻率变大,从而光敏电阻值(R_G)很大,电路中电流很小;当有光照射时,由于光敏材料吸收了光能,光敏电阻的电阻率变小,从而 R_G 呈低阻值状态,电路中电流很大。光照越强,阻值越小,电流就越大。当光照射停止时, R_G 又逐渐恢复高电阻值状态,电路中只有微弱的电流。光敏电阻的外形与结构如图 1-20 所示。它由一块两边带有金属电极的光电半导体组成,电极和半导体之间组成欧姆接触。由于是半导体吸收光子而产生光电效应的,而光仅仅照射在光敏电阻表面层,因此光电半导体一般做成薄层状。



1—光电半导体层; 2—玻璃; 3—金属壳; 4—电极;

5—绝缘衬底; 6—黑色绝缘玻璃; 7—引线。

图 1-19 光敏电阻的工作原理

图 1-20 光敏电阻的外形与结构

光敏电阻具有灵敏度高、可靠性及光谱特性好、精度高、体积小、性能稳定、价格低廉等特点,因此广泛应用于光探测和光自控领域,如用于照相机、验钞机、石英钟、音乐杯、礼品盒、迷你小夜灯、光声控开关、路灯自动开关以及各种光控动物玩具、光控灯饰灯具等方面。

4) 光电二极管和光电三极管

光电二极管、光电三极管是电子电路中广泛采用的光电器件。光电二极管具有单向导电性质,某些材料经过处理后对光线敏感,当光线照射时,光电二极管处于导通状态,否则电阻值极大,接近于断路状态。

光电二极管的结构与一般的二极管相似,其 PN 结对光敏感。将其 PN 结装在管的顶部,上面有一个透镜制成的窗口,以便使光线集中在 PN 结上。光电二极管是基于半导体光生伏特效应的原理制成的光电器件。光电二极管的结构和工作原理如图 1-21 所示。光电二极管工作时外加反向工作电压,没有光照射时,反向电阻很大,反向电流很小,此时光电二极管处于截止状态;有光照射时,在 PN 结附近产生光生电子和空穴对,从而形成由 N 区指向 P 区的光电流,此时光电二极管处于导通状态。当入射光的强度发生变化时,光生电子和空穴对的浓度也相应发生变化,因而通过光电二极管的电流也随之发生变化,光电二极管就实现了将光信号转变为电信号的输出。光电二极管是在反向电压作用下工作的,没有光照时,反向电流极其微弱,称为暗电流;有光照时,反向电流迅速增大到几十微安,称为光电流。光的强度越大,反向电流也越大。在家用电器、照相机中光电二极管用作自动测光器件。

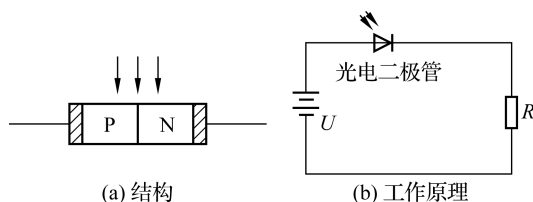


图 1-21 光电二极管的结构和工作原理

光电二极管的外形如图 1-22 所示。



图 1-22 光电二极管

光电三极管有 NPN 和 PNP 型两种,是一种相当于在基极和集电极之间接有光电二极管的普通晶体三极管,外形与光电二极管相似。光电三极管的工作原理与光电二极管很相似。光电三极管的结构和工作原理如图 1-23 所示,具有两个 PN 结。当光照射在基极-集电结上时,就会在集电结附近产生光生电子和空穴对,从而形成基极光电流。集电极电流是基极光电流的 β 倍。这一过程与普通三极管放大基极电流的作用很相似。所以光电三极管放大了基极光电流,它的灵敏度比光电二极管高出许多。采用光电三极管形式可将工作电流增加至几十毫安。

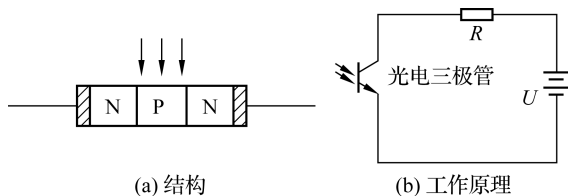


图 1-23 光电三极管的结构和工作原理

光电二极管和光电三极管可用于光线有无的检测。

5) 光电耦合器

光电耦合器是由发光元件(如发光二极管)和光电接收元件合并使用,以光作为媒介传递信号的光电器件。光电耦合器中的发光元件通常是半导体的发光二极管,光电接收元件有光敏电阻、光电二极管、光电三极管等。

光电耦合器的发光元件和接收元件都封装在一个外壳内,一般有金属封装和塑料封装两种。光电耦合器常见的组合形式如图 1-24 所示。

图 1-24 (a)所示的组合形式结构简单,成本较低,且输出电流较大,可达 100 mA,响应时间为 $3\sim 4\ \mu\text{s}$ 。图 1-24(b)所示的形式结构简单,成本较低,响应时间短,约为 $1\ \mu\text{s}$,但输出电流小,为 $50\sim 300\ \mu\text{A}$ 。图 1-24(c)所示的形式传输效率高,但只适用于较低频率的装置中。图 1-24(d)所示的是一种高速、高传输效率的新颖器件。对图 1-24 中所示无论何种形



式,为保证其有较佳的灵敏度,都考虑了发光与接收波长的匹配。

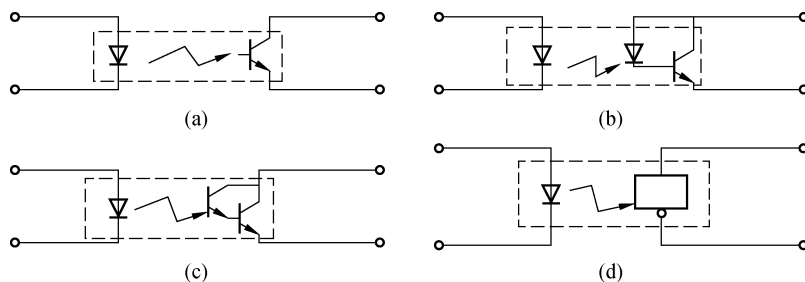


图 1-24 光电耦合器常见的组合形式

光电耦合器实际上是一个电量隔离转换器,它具有抗干扰性能和单向信号传输功能,广泛应用于电路隔离、电平转换、噪声抑制、无触点开关及固态继电器等场合。

光电耦合器的用途很广,除作为传感器以外,还可作为信号传输器件,如在制造工业中采用大功率器件较易造成电力不稳定,对检测系统会产生较大影响,还有可能损坏检测器件,而采用光电耦合器进行中间信号传递,可避免强电电路对一般弱电信号的干扰作用。

6) 光电开关

光电开关(也称光电传感器)是光电接近开关的简称,它利用被检测物体对光束的遮挡或反射,由同步回路选通电路,从而检测物体的有无。光电开关将输入电流在发射器上转换为光信号射出,接收器再根据接收到的光线的强弱或有无对目标物体进行探测。

同霍尔开关一样,光电开关使用电压一般为 6~36 V,也有 PNP 和 NPN 等种类的输出装置,图 1-25 所示为光电开关的外形。需要说明的是,光电开关对所检物体的材料要求不高,所检物体不限于金属,所有能反射光线的物体均可被检测。但光电开关对环境要求较高,如环境中有粉尘、飞溅物体等,有可能使光电开关产生误信号,影响传感的正确性。因此,在一些要求可靠性比较高的场合,需要根据环境情况酌情使用光电开关。



图 1-25 光电开关的外形

用光电开关检测物体时,大部分只要求其输出信号有高低电平(1 或 0)之分。图 1-26 所示为光电开关的基本电路示例。图 1-26(a)表示负载为 CMOS(complementary metal oxide semiconductor)比较器等高输入阻抗电路时的情况,图 1-26(b)表示用晶体管放大光电流的情况。