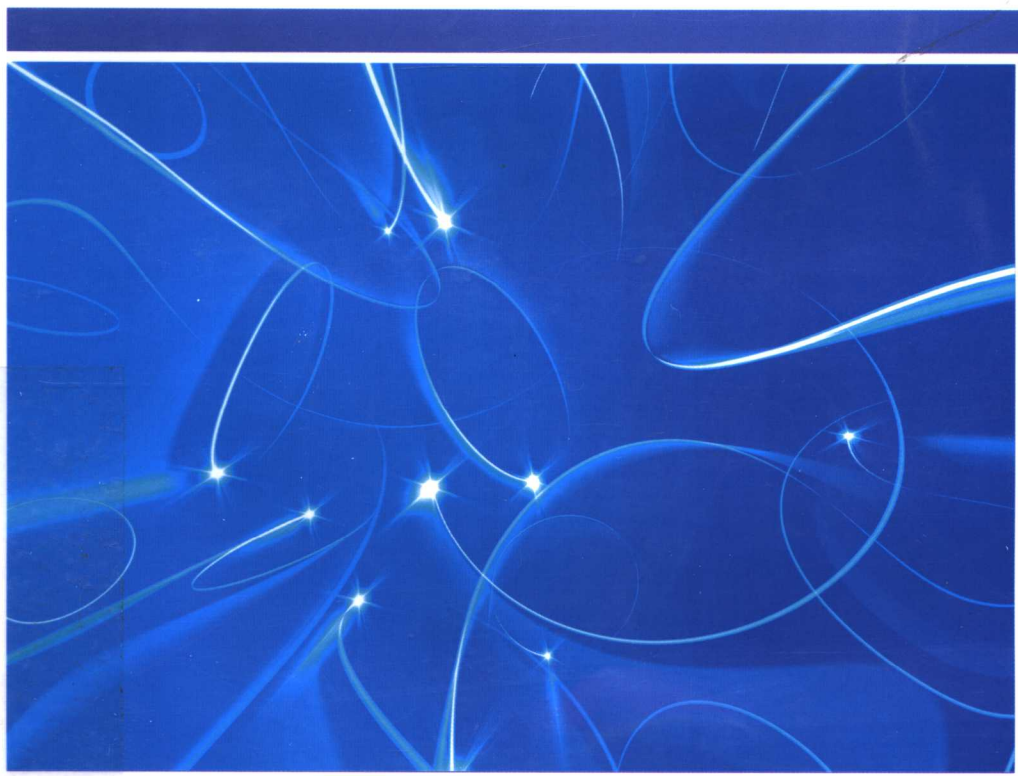


运动控制系统 分析与应用

姚舜才 温志明 黄刚 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

TP273/465

2008

运动控制系统分析与应用

姚舜才 温志明 黄刚 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

运动控制系统分析与应用/姚舜才,温志明,黄刚编著.
—北京:国防工业出版社,2008.2
ISBN 978-7-118-05297-8

I.运... II.①姚...②温...③黄... III.自动控制
系统—系统分析 IV.TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 113570 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 362 千字

2008 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

运动控制和过程控制是自动控制系统的两大分支,运动控制系统主要是针对一些控制对象的速度、位移以及姿态进行的,具有一定的动态性和实时性,是当前在控制工程领域的一门非常重要的学科。对于运动控制系统进行分析,不但能够提高运动控制系统自身的性能,而且还可以加深对控制理论的理解以及更新控制方法,以便能够更好地应用于实际的工程实践。

本书将几种形式的运动控制系统进行整合,不但着重叙述了电气传动的运动控制系统,而且将液压和气压传动技术也安排在一起。本书的内容主要包括:对于运动控制系统的概略性介绍;在闭环控制的运动控制系统中的检测和反馈元件的讨论和分析;电气传动系统的控制器与相关元件介绍;直流电机电气传动系统的理论分析与技术应用;交流电机电气传动系统的理论分析与技术应用;步进电机、磁阻电机运动控制系统的理论分析与技术应用;液压传动系统的分析与应用;气压传动系统的分析与应用。在叙述和讨论相关原理的基础上,本书中注意吸收了近几年来在运动控制方面的研究成果,便于读者对整个运动控制系统的发展趋势有一个大致了解,同时也在一定程度上起到管窥作用。本书的第1、5、7章,以及第4章第4.8节和第6章第6.1节的内容由姚舜才编写;第3章3.1节~3.7节,第4章4.1节~4.7节以及第6章第6.2节由温志明负责编写;第2、8章由黄刚负责编写。

运动控制系统的发展相当迅速,相关的控制理论、方法和技术不断更新,因此,本书恐有挂一漏万之嫌。另外,由于时间仓促以及编者的学识水平有限,难免存在一些错误和不当之处,恳请广大读者以及同行专家不吝赐教,以免谬种流传。

编 者
2007年7月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 运动控制系统的种类与基本构成	1
1.2 运动控制系统的发展历史与展望	2
第 2 章 运动控制中的传感器	5
2.1 引言	5
2.2 编码式传感器	5
2.2.1 光电开关	6
2.2.2 增量式编码器	10
2.2.3 增量式编码器的几个基本问题	11
2.2.4 绝对式编码器	12
2.2.5 编码式传感器的读码技术	14
2.2.6 光电码盘的应用	15
2.3 霍耳式传感器	15
2.3.1 霍耳效应	15
2.3.2 霍耳元件	17
2.3.3 霍耳式传感器的组成	18
2.3.4 霍耳传感器在运动控制系统中的应用	19
2.4 光栅传感器	20
2.4.1 光栅的基本结构	20
2.4.2 光栅传感器的工作原理	21
2.5 光纤位移传感器	24
2.5.1 概述	24
2.5.2 反射式光纤位移传感器	25
2.6 电荷耦合图像传感器	27
2.6.1 CCD 的结构	27
2.6.2 CCD 的工作原理	27
2.6.3 CCD 的主要性能参数	29
2.6.4 CCD 器件的应用举例	30

第3章 运动控制系统中的控制器及各部件的选择	34
3.1 引言	34
3.2 运动控制系统的总体性能要求和设计任务	35
3.3 运动控制系统中的控制器	36
3.3.1 可编程逻辑控制器	37
3.3.2 可编程计算机控制器	38
3.3.3 微处理器	40
3.3.4 ARM 微处理器	41
3.3.5 数字信号处理器	43
3.3.6 通用运动控制器	45
3.4 运动控制系统中各部件的选择	52
3.4.1 运动控制器的选择	52
3.4.2 执行电机的选择	54
3.4.3 功率驱动器的选择	59
3.4.4 位置和速度传感器的选择	61
第4章 直流电机拖动的运动控制系统	63
4.1 直流电机拖动系统概述	63
4.1.1 直流调速系统的主导调速方法	63
4.1.2 转速控制的要求和调速指标	63
4.1.3 直流调速系统用的三种可控直流电源	66
4.1.4 直流调速系统用的控制方式及工作象限	66
4.2 开环直流调速系统	67
4.3 单闭环直流调速系统	69
4.3.1 单闭环直流调速系统的基本构成	69
4.3.2 单闭环直流调速系统的性能分析与应用	70
4.3.3 几种改进的单闭环直流调速系统	75
4.4 双闭环直流调速系统	77
4.4.1 双闭环直流调速系统的基本构成	78
4.4.2 双闭环直流调速系统的性能分析与应用	80
4.4.3 双闭环直流调速系统的工程设计方法	83
4.5 直流脉宽调速控制系统	85
4.6 数字化控制的直流调速系统	90
4.6.1 预备知识	90
4.6.2 计算机数字控制双闭环直流调速系统的硬件和软件	94
4.7 直流多环调速系统	94

4.7.1	带电流变化率内环的三环调速系统	94
4.7.2	带电压内环的三环调速系统	97
4.8	直流电机拖动的位置伺服系统	99
第5章	交流电机拖动的运动控制系统	111
5.1	交流电机拖动系统概述	111
5.2	感应电机的数学模型	112
5.2.1	感应电机的传递函数	112
5.2.2	感应电机的多变量数学模型	115
5.2.3	坐标变换	120
5.2.4	感应电机在状态空间的数学模型	123
5.3	交流异步电机调速控制系统	128
5.3.1	鼠笼型转子的交流感应电机调速系统的性能分析与应用	129
5.3.2	绕线型转子的交流感应电机调速系统的性能分析与应用	147
5.4	交流同步电机的数学模型	151
5.5	交流同步电机的调速控制系统	157
5.5.1	他控式同步电机调速控制系统的性能分析与应用	157
5.5.2	自控式同步电机调速控制系统的性能分析与应用	158
5.6	交流电机的伺服控制系统	161
第6章	其他电力拖动的运动控制系统	168
6.1	步进电机运动控制系统	168
6.2	磁阻电机的运动控制系统	179
6.2.1	开关磁阻电机的基本结构和工作原理	179
6.2.2	开关磁阻电机数学模型及其控制方法	180
6.2.3	开关磁阻电机功率变换器	186
6.2.4	电机初始位置检测	189
6.2.5	开关磁阻电机调速系统的系统原理图	189
第7章	液压传动系统	190
7.1	液压传动系统的基本原理与力学基础	190
7.1.1	静止液体的特性	191
7.1.2	流动液体的特性	192
7.2	液压传动系统的基本构成	198
7.2.1	液压传动系统的动力元件与装置	198
7.2.2	液压传动系统执行元件	202
7.2.3	液压传动系统控制元件	204

7.3 液压传动系统的性能分析与应用·····	207
第8章 气压传动系统·····	218
8.1 气压传动理论基础·····	218
8.1.1 空气的物理性质·····	218
8.1.2 理想气体状态方程及其变化过程·····	220
8.1.3 气体在管道中的流动特性·····	223
8.2 气压传动工作原理组成·····	228
8.2.1 气动发生装置·····	228
8.2.2 气动执行元件·····	229
8.2.3 气动控制元件·····	232
8.3 气压传动系统实例·····	237
8.3.1 包装机气动系统·····	237
8.3.2 气动计量系统·····	238
8.3.3 气压混合控制系统·····	238
8.4 气压传动的特点·····	240
8.5 气压传动技术的应用和发展趋势·····	241
8.5.1 气压传动技术的应用·····	241
8.5.2 气压传动技术发展趋势·····	242
参考文献·····	243

第1章 绪论

从控制对象来说,自动控制系统可以分为运动控制和过程控制两大类。运动控制主要是对各种运动的设备和装置进行控制,主要涉及对这类受控对象的速度、位移以及姿态等方面进行控制和调节;过程控制则主要对一些过程量,如压力、流量、温度、湿度等进行调节和控制。这两种控制都需要控制理论来指导其工程实现,但与过程控制相比,运动控制系统的控制对象相对来讲更为复杂,更具有很大的动态性、实时性,因此,研究和学习运动系统的控制方法,分析其控制规律,对于理解控制理论在实际工程实践上的应用是很有帮助的。

1.1 运动控制系统的种类与基本构成

运动控制系统是由提供动力的原动机、传动方式以及相应的工作机构来组成的。原动机主要是提供运动所需要的能量,将各种形式的能量转换为机械能量,如在电气拖动系统中的电动机(简称电机)、液压传动系统中的液压泵等;传动方式主要是处在原动机与工作机构之间,起传递和“握手”的作用,如齿轮减速箱等;而工作机构则具体完成运动控制系统所发出的各种指令,实现对运动状态的实时控制。

从运动控制系统的能量提供方式以及传动的具体构件来分类,运动控制系统可以大致分为电气传动系统(或称为电力拖动系统)、液压传动系统以及气压传动系统三类。这三类运动控制系统在工程实践上各有特色,同时也有着不同的应用领域。电力传动系统主要使用电气设备进行能量的传递和信号的控制,具有传送方便、自动化程度比较高的优点,但与此同时也有其部件耗用较多的金属资源、大惯性、受环境影响较大以及容易引起一定的电网公害和不易进行大功率控制等缺点。液压传动的运动控制系统的输出功率大,可以方便地进行无级调速,长期使用不易磨损;但也存在传动精度不高、油液容易引起污染等问题。气压传动的运动控制系统结构简单、成本低,不会形成污染,可以工作在恶劣环境下;但其传动的功率却限制了其更为广泛的应用。总之,这三类运动控制系统各有千秋,而且相互融合,取长补短,形成了诸如电液混合控制系统,电、液、气控制系统等各种新型控制系统,使运动控制系统得到了长足的发展。本书着重介绍电气传动的运动控制系统,同时也兼顾到其他两种运动控制系统,使读者对整个控制系统能够有一个较为全面的了解。

从运动控制具体控制的物理量来分类,运动控制系统还可以分为调速系统和伺服系统两大类。调速系统主要是对控制系统的速度进行调节:在整个系统处在静态或稳态的阶段时,要求调速系统能够“稳速”,即在一定的误差范围内能够将速度稳定下来,不致有较大的偏差,以便完成相应的工作;在启动和制动阶段,要求调速系统保持一定的快速性,使运动系统能够以较短的时间进入稳态或从稳态静止、停机。伺服系统则着重强调系统的跟随性能,也叫做“随动”系统,顾名思义,就是要让系统能够以很快的速度跟随外界的变化,同时也要保持有一定精度。其实“伺服”一词是“Servo”的音译,但同时也有一定程

度上保留了这个外来词的意义。可以看出,不论哪种系统,对其要求都还是围绕着“稳、准、快”这三个性能指标的。

从控制理论的角度来分类,运动控制系统又可以分为开环控制系统和闭环控制系统两类。开环控制的运动系统具有结构简单、稳定性好的优点,但是一般来讲,开环控制系统的精度都比较差;闭环控制系统的结构复杂,容易引起震荡,但其控制精度比较好,因此,很多运动控制系统都采用闭环控制系统。一般的闭环控制系统,都包含比较器、控制器(或调节器)、功率驱动装置、执行装置以及检测和反馈环节。其中,前面几个环节属于控制理论中前向通道的范畴。具体的控制框图如图 1.1 所示。

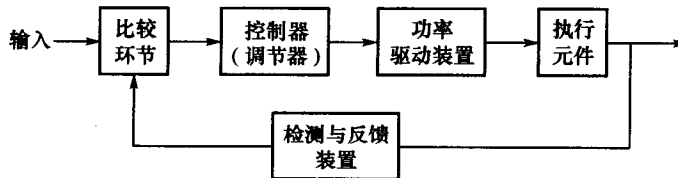


图 1.1 运动控制系统的控制框图

比较环节是将输入或给定的信号与反馈的信号进行比较,得出一个偏差值,然后利用这个偏差值进行控制;控制器或调节器是整个控制系统的精髓所在,主要进行各种控制算法的计算及其实现,控制算法可以从最简单的 PID 控制算法到相当高深的控制算法,总的一个目的就是要实现控制系统的指标要求;由于在控制过程中实现的是“信息”的控制,而不是能量的控制(如诺伯特·维纳所言“信息不是一种物质,也不是任何形式的能”),因此,在驱动执行元件动作时又必须进行功率的放大和驱动,功率驱动装置主要完成这部分工作;执行元件将获得的能量和控制信号转换为机械运动信号,实现对系统的运动动作的控制;检测和反馈环节是构成闭环控制系统必不可少的组成部分,它决定了整个系统的控制精度和控制效果,因此,这部分环节在整个运动控制系统中具有非常重要的作用。

1.2 运动控制系统的发展历史与展望

人类对于运动的控制可以追溯到我国古代(公元 78 年—139 年)用来指示方向的一种具有自动离合齿轮系装置的车辆,它是一种马拉的双轮独辕车。如图 1.2 所示。

车箱上立着一个伸臂的木人,车箱内装有能自动离合的齿轮系。当车子转弯偏离正南方向时,车辕前端就顺此方向移动,而后端则向反方向移动,并将传动齿轮放落,使车轮的传动带动木人下的大齿轮向相反方向转动,恰好抵消车子转弯产生的影响,使车上的木人始终指向一个方向。这个装置巧妙地运用了负反馈的原理,非常类似于现在的恒值控制系统。此外,还陆续地出现了诸如计里鼓车、水运仪象台等对于运动的控制装置。但非常可惜的是,这些装置大多用来进行展示,并没有进行实际应用的探讨和推广。

真正将运动控制装置用于工业化生产的是在工业革命以后的事情。首先是对于蒸汽机运动的控制。例如,在 1788 年 J. 瓦特将离心式调速器(即飞球调节器)与蒸汽机的阀门连接起来,构成蒸汽机转速的闭环自动调速系统。如图 1.3 所示。重锤(即飞球)控制套筒的上下运动,可以控制蒸汽的流量,当蒸汽流量大时,转速上升,飞球向上运动,活塞就将蒸汽输出口关得小一些;当蒸汽量小时,转速下降,飞球向下运动,活塞就将蒸汽输出口打开

一些。如果各项参数调整得好,就可以使蒸汽量保持恒定,同时转速也就稳定下来了。此后,随着各种运动执行装置的不断发明和更新,运动控制系统也就逐渐发展起来了。

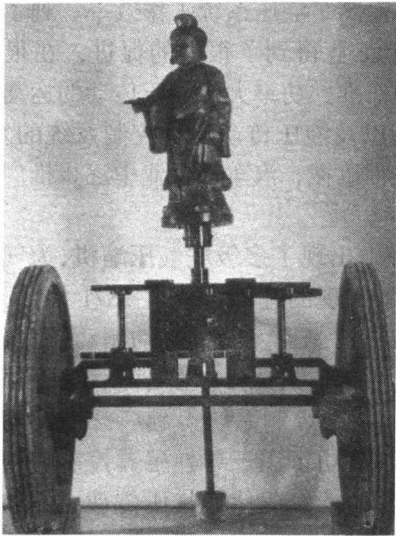


图 1.2 指南车模型

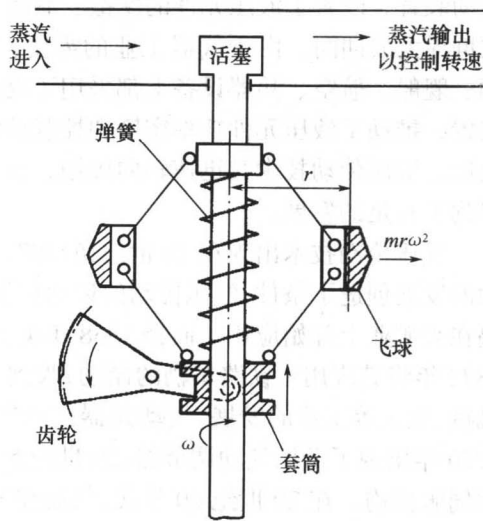


图 1.3 飞球调节器示意图

电气传动(电力拖动)的运动控制系统是在电机发明之后发展起来的,从 1821 年法拉第发现电磁感应定律到 1888 年特斯拉(Tesla)发明了感应电机,电力拖动的运动控制系统开始提上日程并不断得到发展。在这期间,交流、直流两大电气传动相互并存、相互促进,而且在各个领域都有不同程度的体现和应用。由于直流电机出现较早,所以 19 世纪 80 年代以前,直流电机作为执行元件的电气传动是唯一的电气传动方式。在出现了感应(异步)电机之后,交流电气传动在工业中逐步地展开。但是由于对于交流电机的运动控制的相应理论还没有进行大规模的研究,因此,在工业领域中形成了直流调速和伺服系统一统天下的局面,交流电机只作为大功率驱动的执行元件进行使用。直流电机的运动控制系统不断发展:由早先的旋转变流机组控制发展为磁放大器控制,到用静止的晶闸管装置和模拟调节器实现直流调速,再到后来的可控整流和 PWM 控制电路实现数字化的直流调速,使整个系统性能得以不断提高。但在技术发展的同时,也逐渐显示出了其弱点,例如,直流电机的制造工艺复杂,成本高,不易进行高电压和大功率控制等。这时一直蛰伏的交流电机运动控制系统被提出来了。由于交流电机本身的优势,交流运动控制系统逐渐取代直流调速,而且也成了趋势。随着控制理论和交流电机理论的不断发展和相互促进,交流电机的运动控制系统成本的逐步降低,不仅原来的直流调速系统不能望其项背,而且,原来使用继电器或挡板控制的交流传动系统也渐渐向高级的交流调速系统过渡。另外,其他类型的电气传动运动控制系统也崭露头角,步进电机的运动控制系统、磁阻电机的运动控制系统在中小功率的控制系统中也占有相当的份额,成为在电气传动运动控制系统中引人注目的新兴力量。

相对电气传动系统来讲,液压传动的运动控制系统显得历史悠久一些。如果从 17 世纪中叶帕斯卡提出静压的传递原理、18 世纪末英国制成世界上第一台水压机算起,液压传动已有 300 年的历史,但真正运用于工业生产却也是在 19 世纪。同样的控制理

论等学科为液压传动与运动控制系统提供了有力的理论支持。在 20 世纪初,美国人 Janney 将矿物油引入液体传动作为传动介质,并设计研制了第一台轴向柱塞泵及其液压驱动装置,改善了液压元件的摩擦、润滑和泄漏,提高了液压系统工作效率。到了第二次世界大战期间,由于武器工业的需要,机械制造工业得到了很大的促进,在很多车辆、舰船、航空、兵器设备上都采用了反应快、动作准、功率大的液压传动的运动控制装置,推动了液压元件功率密度和控制性能的提高以及液压传动运动控制系统的发展。战后,液压传动技术又迅速转向民用,在机床、工程机械、汽车等行业中逐步推广,并得到了长足的发展。

气压传动技术出现在 19 世纪初,1829 年在工程上出现了多级空气压缩机,为气压传动的发展创造了条件,气压传动的运动控制系统有了实现的基础。到了 1871 年,气压风镐在采矿业上开始应用。而在 1868 年美国人 G. 威斯汀豪斯发明了气动制动装置,并在 1872 年将其应用于铁路车辆的制动,收到了很好的效果。进入 20 世纪以后,随着武器、机械、化工等工业的发展,气动元器件和气压传动的运动控制系统得到广泛的应用。在 1930 年出现了低压气动调节器,20 世纪 50 年代研制成功了用于导弹尾翼控制的高压气动伺服机构。在 20 世纪 60 年代,射流和气动逻辑元件的发明使得气压传动更加如虎添翼,在工程实践上有了很大的发展。

一段时间以来,在运动控制系统中,这三种传动方式相互配合,取长补短,形成了很多混合式的运动控制系统。电—液伺服系统兼有液压传动的输出功率大、反应速度快的优点和电气控制的操作性控制性良好、自动化程度高的优点。因此,电—液伺服系统在要求控制准确、响应速度和程序灵活的场合广泛应用,如工业机器人、飞行模拟器、雷达天线目标跟踪、自行火炮的自动调平以及飞机起落架防滑制动等方面。不但如此,由数字化设备控制的数控液压伺服控制系统更是集机械、电子、液压三项高科技技术于一体,应用先进的微电子技术,具有控制精确、应用范围广、可靠性高的优点。经过液压放大作用获得大的动力,与其他类型的控制系统比较,具有突出的优点。电—气开关/伺服系统采用数字信号控制的开关阀做电—气信号转换元件。这类系统成本低,对工作环境要求不高,且易于计算机控制,在实现气缸在目标位置定位等方面的控制上显示了其特有的控制效果和功能。

在气压传动控制中,气体的压缩性大、黏度小、刚度低等因素,会引起气动运动的不平稳性以及定位精度不高等问题。为了提高其定位精度及运动平稳性,同时又充分发挥气动的优点,工程上考虑采用气—液混合的控制系统来提高系统的性能。压缩空气为气—液混合传动控制系统的动力源,代替液压传动系统的油泵推压油液,同时也用于其他气缸的直接传动。在保证活塞与缸筒壁、活塞杆与缸盖之间的配合精度的基础上,这样的运动控制系统可以在很大程度上改变气—液系统的性能。

当前,随着控制理论的不断发展和数字、网络技术的广泛应用,新型的控制方法和手段正在不断被应用到运动控制系统的各个方面,例如,模糊控制、自抗扰控制、鲁棒控制等,这些理论和技术的应用,使各种单一或混合的运动控制系统性能有了很大程度的改善。与此同时,各种运动控制系统又为控制理论的发展提供了实际问题和检验平台,反过来促进控制理论不断向前发展,形成良性循环的趋势。

可以预见,在不远的将来,随着控制理论、控制方法以及控制器件的不断发展,运动控制系统的发展必将日新月异,臻于至善。

第2章 运动控制中的传感器

2.1 引言

传感器是一种以一定的精确度将被测量(如位移、力、加速度等)转换为与之有确定对应关系的、易于精确处理和测量的某种物理量的测量部件或装置。常用的传感器是将非电量转换成电量输出。运动控制中所使用的传感器都是将某种运动信号转变成电信号的装置。

传感器一般是由敏感元件、转换元件和基本转换电路一起组成,如图 2.1 所示。其中,敏感元件直接感受被测量,并以确定关系输出一个物理量。运动控制系统中测量反馈的质量直接影响到运动控制系统的质量,测量反馈的质量体现在反映的准确性和适时性等一系列静态和动态指标上,测量反馈的结果在时间响应和准确度上与被控参数越接近,就能越有效地协助控制达到期望的控制效果。运动控制系统中主要测量反馈的位移、速度、转矩、力等物理量,本章主要讨论位移、速度的测量元件。

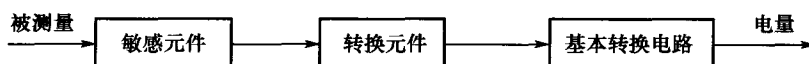


图 2.1 传感器组成框图

在运动控制系统中常用的位置传感器有电位器、旋转和直线光电编码器、旋转变压器等。表 2.1 是这些位置检测元件的对照表。

表 2.1 常用位置检测元件对照表

位置传感器	运动方式	特 点
电位器	旋转或直线	输出模拟信号,价格低廉、精度低
相对式旋转光电编码器	旋转	输出两路正交信号和定位信号
绝对式旋转光电编码器	旋转	直接输出二进制位置编码信号
直线光电编码器	直线	输出两路正交信号和定位信号
旋转变压器	旋转	输出模拟幅值或相位信号

2.2 编码式传感器

运动控制系统要获得高速、高精度的控制效果,就必须使用闭环控制方法。运动控制系统中一般采用光电编码器作为位置检测元件,而采用测速电机作为速度检测元件。直流测速电机的构造和直流电机类似,在电机学等课程中已有介绍,在这里主要介绍光电编码器的原理和应用。

编码器可以将模拟量转变为数字量,同时用信号圆盘将机械旋转位置量数字化。根据编码器的输出,分为增量式和绝对式两种。增量式编码器输出与旋转角成比例的周期信号,然后用计数器对这一周期信号进行计数,从而得知相应的结果。而绝对式编码器是以基准位置作为零位置,测量出各位置的绝对值,然后以二进制符号来表示。以这些编码器的角度位置——电压转化器来分,有以下几种:光电式、电磁式和电刷式。光电式以其分辨率高而应用最广泛。

编码式传感器主要由两部分组成:编码部分和读码部分。直接编码式传感器是一种机、光、电三种技术结合的产物。由于它结构简单,具有很高的测量精度、分辨率和可靠性,因而在很多需要进行自动检测技术的方面获得了广泛的应用。

在高性能的运动控制系统中,不论是调速系统还是伺服系统都需要高精度的传感器。实现电机位置和转速的数字检测是提高系统性能的关键技术之一。现有的位置传感器和速度传感器品种很多,有的既可以检测位置,又可以测量转速,用户要根据具体控制对象的要求,选择合适的传感器。目前常用增量式编码器检测转速,绝对式编码器检测转角,旋转变压器辅加轴变换器可以同时检测位置和转速。它们的主要特点概述如下。

(1) 增量式编码器。优点是数据处理电路简单。因为是数字信号,所以噪声容限较大,容易实现高分辨率,检测精度高。缺点是不耐冲击及振动,容易受温度变化影响,适应环境能力较差。

增量式编码器图案均匀,其光信号脉冲一样,因而可把任意位置作为基准点。从该点开始将位移或转角按一定的量化单位检测,计量脉冲数即可折算为位移或转角。用带狭缝的像分析器测量刻线尺或刻度盘是最简单的增量式编码器(不可辨向的脉冲发生器)。常用的增量式传感器多采用光栅技术的测长、测角装置。这种方法由于没有确定的测量点,一旦停电则失掉当前的位置。此外,在高速移动时,高频脉冲使计数装置不能实时地跟踪,以及由于噪声的影响造成的计数误差会逐渐积累等是该方法的缺点。但是它的零点可以任意预置,并且测量范围仅受计数器容量限制而与光学器件无关,这是它的优点。

(2) 绝对式编码器。绝对式编码器上有许多圈槽,为获得高分辨率就要求很高的机械加工精度,导致成本很高。

绝对式编码器图案不均匀,其光信号脉冲不一样,它是在可运动的光学元件的各位置坐标上刻制出表示相应坐标的代码形式的绝对地址,在元件运动过程中读取这些代码,既能实时测得坐标的变化。这种方法的优点是:和带读数刻线尺的目视测量一样,坐标是固定的,与测量以前的状态无关,因此不需要启动时的位置重合;抗干扰能力强;没有误差的累计;长期工作可靠性高、再现性好;切断电源信号虽消失,通电后能恢复原来状态;在不读数的范围内移动速度可超越极限响应速度;不需要方向判别和可逆计数,信号是并行传送的等。绝对式编码器的缺点是:结果复杂,价格高;为提高分辨率需要提高码道数目或者使用减速齿轮机构组成双码盘机构;将任意位置取做零位时需进行一定的运算。

本章先介绍最简单的编码器——光电开关,然后分别介绍增量式与绝对式编码器的原理和应用。

2.2.1 光电开关

光电开关也可以说是一种特殊形式的光电耦合器件,不过其发光部和受光部不是一

个封闭的整体。它们之间可插入被测物体。因此,当被测物体改变光路的通断状态,将引起电路的通断,起到开关和继电器的作用。所以,它又可称为光断续器或光继电器。由于其通断代表了“1”、“0”信号,所以也可以看做是一种最简单的编码器。利用它可简单地实现自动控制与自动检测。

最常见的光电开关由红外发光二极管和硅光敏三极管组成,按结构不同,光电开关可分为透过型和反射型两种(图 2.2)。

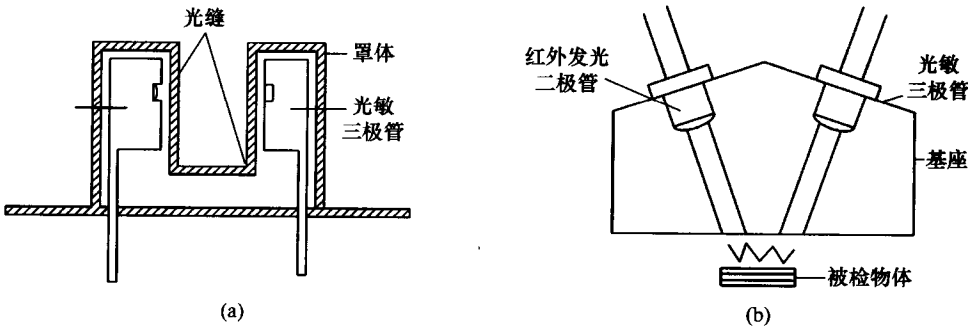


图 2.2 光电开关示意图
(a) 透过型光电开关; (b) 反射型光电开关。

透过型光电开关是通过将相互之间保持一定距离的发光器件和光敏器件相对组装而制成的。它可以检测物体通过两器件之间时所引起的光量变化。反射型光电开关则是通过把发光和光敏器件按相同方向并联组装而制成的。光电开关可以用在数字控制系统中组成编码器,在高速印刷机中,做印字头的位置检测的工具。反射型光电开关日益广泛地应用在传真、复印机等的纸检测或图像色彩浓度的调整等。即使是在民用电器和儿童玩具中,都会用到光电开关。例如,将反射型光电开关靠近旋转着的电机,利用电机转轴上的反射小片,使发光管的发射光不断反射到光敏管上,通过计数显示可直观地记录电机的运转速度(图 2.3)。此外,采用透光型光电开关还可制成圆盘光栅式读取装置。如图 2.4 所示。

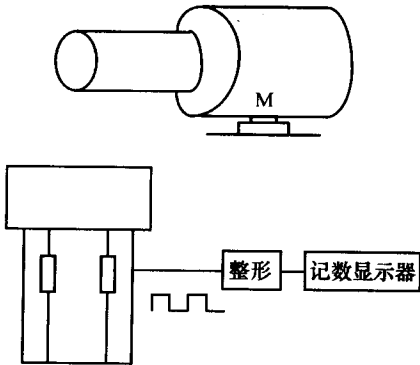


图 2.3 反射式光电开关测量转速示意图

光电开关作为转速测量装置能检测出转动物体的转速和转动方向,这在液面控制和电子秤中也同样应用。用此法时,在被测物体上要事先设置如图 2.4(a)所示的光孔板,

并且至少采用两组工作特性相近的光电开关,以便判断转动方向。如图 2.4(b)中所示开关 A、B,布置得相隔 90°的电相移图 2.4(c),得到两组脉冲输出。A、B 信号组成的逻辑辨向电路可指示出转动方向。用计数器计数脉冲数目和速率可以测量出瞬时转角和转速。

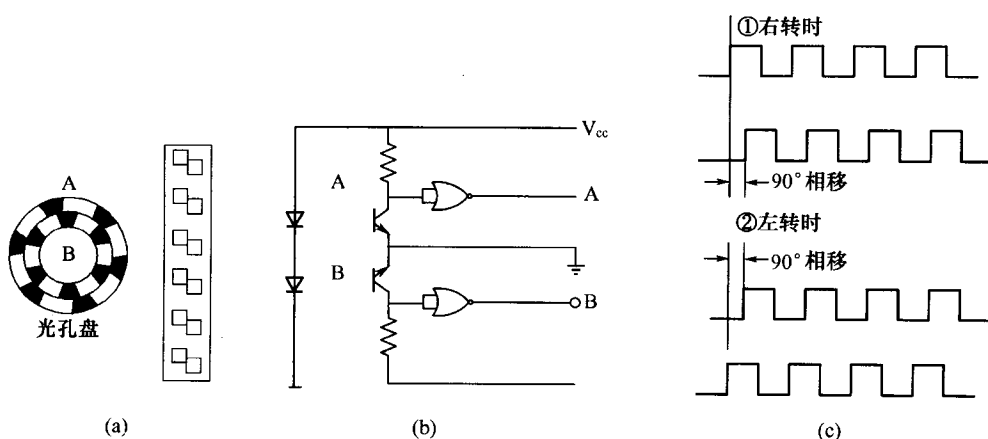


图 2.4 用光电开关测量转速和方向

(a) 光孔板; (b) 开关 A、B; (c) 90°相移图。

逻辑辨向电路能根据两路具有一定相位关系的测量信号判断出运动(转动和位移)的方向,在许多需要判断方向和极性的测量场合常常用到。最常用的辨向电路称做电位—脉冲辨向器。图 2.5 表示在正反方向两种运动时两路相差 90°相位的 A、B 信号波形。首先可以看到,在正向运动时 A 波形超前于 B 波形,其次发现只有当 A 为高电平之后才发生 B 波形的正向跳变,反转时具有类似的规律。设 A、B 分别表示两信号的高电平,以及 $a = dA/dt$; $b = dB/dt$ 表示与方波正跳变对应的微分脉冲,则产生正向计数脉冲 m^+ 和反向计数脉冲 m^- 的条件分别是 $m^+ = A \cdot b$; $m^- = B \cdot a$;据此,组成逻辑电路则可形成与转动方向有对应关系的计数脉冲。图 2.6 表示了该电路的方块图。图中用“与”门 1 和 2 分别在正反转时形成计数脉冲 m^+ 和 m^- 。可以单独用两个计数器做正反转计数,但通常采用一个可逆计数器来累积正反运动的结果。此时用“或”门累加 m^+ 和 m^- ,作为计数脉冲。同时用 m^+ 和 m^- 脉冲控制方向触发器产生控制可逆计数器加减运算的控制电平。

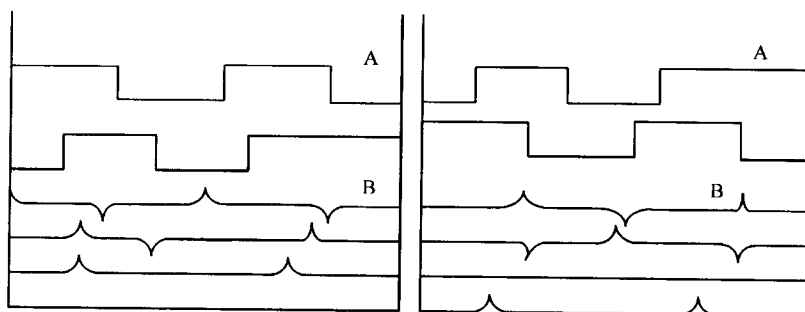


图 2.5 正反运动时 A、B 两路信号的相位关系

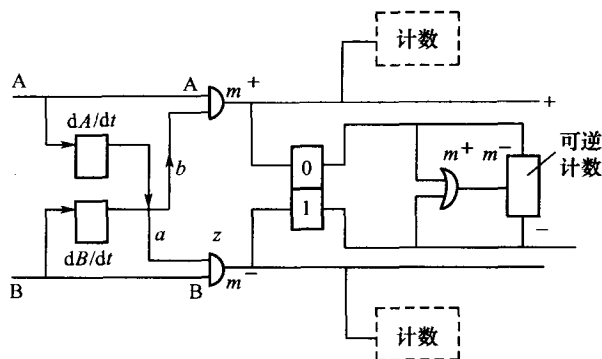


图 2.6 电位—脉冲辨向电路

光电开关作为代替人类视觉的最简单的传感器已经发展了各种形式。也可采用单个红外发光二极管与光敏管设计组装成各种遥控或远距离检测的光电开关(图 2.7)。

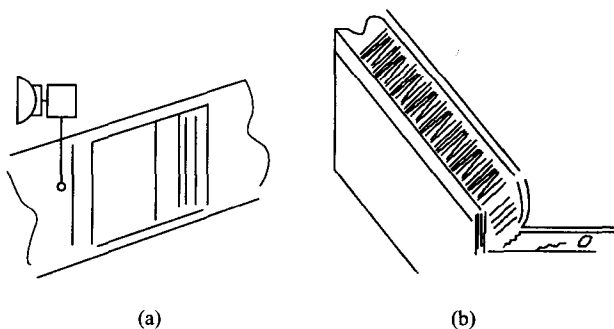


图 2.7 遥控检测的光电开关
(a) 门窗防盗报警；(b) 自动扶梯自动启停。

这类光电开关在设计时要解决的两个主要问题是光线的对准和消除环境光的干扰。光线的对准可在机械安装上利用步枪的瞄准原理来设计；消除环境光干扰可从结构和线路两方面加以考虑，结构上可在红外光敏管上加套筒和透镜(图 2.8)，线路上可选用调制光，即采用脉冲源或经高频调制的脉冲源去驱动发光器件。采用经高频调制的脉冲光，则光敏管的电信号在放大、滤波后，还需经与发光二极管的驱动脉冲同步开启的门电路送出所需的脉冲信号。再经检波把由高频脉冲运载的真信号检出。最后，再利用整形电路进行整形，输出合适的脉冲信号。

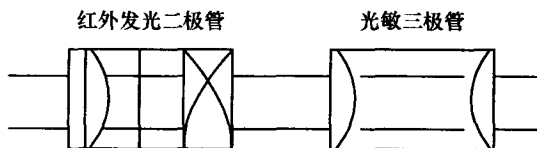


图 2.8 避免环境光的直接干扰

从原则上说，不管在什么情况下，光电开关的使用都不允许其输入、输出电参数超过产品手册中规定的最大允许值，并且要防尘、防水汽、防外界光干扰。防尘是防止长期使