

现代控制工程

绪方胜彦 著

科学出版社

现代控制工程

绪方胜彦 著

卢伯英 佟明安 罗维铭 译

科学出版社

1978

内 容 简 介

本书全面地阐述了自动控制的基本理论。重点介绍惯用(古典)控制理论,但同时介绍了近十余年来发展起来的现代控制理论。全书共十六章:第一章至第三章介绍控制理论方面的基本知识和必要的数学基础;第四章讨论物理系统的数学模型;第五章至第十章介绍分析和设计线性控制系统的一般方法(瞬态分析法、根轨迹法和频率法);第十一章至第十二章介绍分析研究非线性系统的描述函数法和相平面法;第十三章讨论离散系统和 z 变换法;第十四章至第十六章介绍现代控制理论的状态空间分析法、李雅普诺夫稳定性分析以及最佳和适应式控制系统。本书具有较强的工程性,联系实际广泛,适用面宽。书中选编了大量的工程实例和例题,对读者(特别是初学者)掌握和运用控制理论很有帮助。

本书可供化工、冶金、机械、宇宙航空和电子工程等领域中与自动控制有关的工人、技术人员和科研人员参考,也可供大专院校有关专业的师生参考。

KATSUHIKO OGATA
MODERN CONTROL ENGINEERING
Prentice-Hall, 1970

现 代 控 制 工 程

诸方胜彦 著

卢伯英 佟明安 罗维铭 译

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

朝阳六六七厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1976年9月第一版 开本: 787×1092 1/32
1978年6月第11次印刷 印张: 39 1/2
印数: 15,371—41,470 字数: 931,000

统一书号: 15031·130

本社书号: 698·15-8

定价: 4.00 元

译 者 的 话

随着我国工农业生产和科学技术的迅速发展,许多工农兵群众和工程技术人员,迫切希望学习和运用自动控制理论.为了适应这种要求,遵照毛主席关于“洋为中用”的教导,我们翻译了《现代控制工程》这本书.

近十余年来现代控制理论获得了迅速发展,它在解决大型复杂的控制问题时,具有许多突出优点,但是它不能够完全取代惯用(古典)控制理论.根据不同的应用情况,两者各有所长,互为补充.本书正是基于这种观点组织内容的.因此,本书既包含了惯用控制理论,又介绍了现代控制理论,内容比较丰富、新颖而全面.

作者通过大量的工程实例和例题,来阐述基本理论和分析问题解决问题的方法,为读者深入理解和具体应用控制理论创造了有利条件.本书联系实际的范围比较广,因而适用面也比较宽.

从内容安排上看,本书做到了由浅入深,层次分明,物理概念阐述得比较清楚;书内专门介绍了必要的数学基础,而且每章后面备有大量的习题供读者练习,所以很适于初次接触本学科的读者自学.

本书在第六章内专有一节介绍了模拟计算机的应用,遗憾的是没有涉及到数字计算机的模拟与计算问题.另外,如果能将第十四章、第十五章内的状态空间法和稳定性内容,与前面介绍的惯用理论有机的结合起来,将会更加充分地显示出状态空间概念的优越性来.

译者对第一章的个别地方进行了删节.对于书中的重要公式、定理也进行了推证,对个别不妥之处,译者均作了订正,并在重要之处加了注释.

肖顺达、章再贻、曹长修等同志对本书译稿进行了校阅,并提出了许多宝贵意见,谨此致谢.

由于译者对马列主义、毛泽东思想学得不好,业务知识浅薄,缺点错误在所难免,诚恳地希望读者批评指正.

目 录

译者的话

第一章 控制系统绪言	1
1-1 引言	1
1-2 定义	1
1-3 闭环控制和开环控制	2
1-4 控制系统示例	5
1-5 控制系统的设计原则	8
1-6 本书概貌	10
例题和解答	10
习题	12
第二章 数学基础——拉普拉斯变换	13
2-1 引言	13
2-2 拉普拉斯变换	16
2-3 拉普拉斯变换定理	19
2-4 拉普拉斯反变换	28
2-5 用拉普拉斯变换方法解线性微分方程	33
例题和解答	34
习题	37
第三章 数学基础——矩阵	38
3-1 引言	38
3-2 矩阵的定义	38
3-3 矩阵代数	41
3-4 矩阵变换	44
3-5 矩阵的微分和积分	48
例题和解答	49
习题	50
第四章 物理系统的数学模型	52
4-1 引言	52
4-2 传递函数	54
4-3 非线性数学模型的线性化	62
4-4 方块图	66
4-5 物理系统传递函数的推导	71
4-6 多变量系统和传递矩阵	90
4-7 信号流图	92

例题和解答	98
习题	113
第五章 基本控制作用和工业自动控制	118
5-1 引言	118
5-2 比例控制器	123
5-3 微分和积分控制作用的产生	133
5-4 积分和微分控制作用对系统性能的影响	140
5-5 利用反馈减小参数的变化	145
5-6 射流技术	147
例题和解答	151
习题	160
第六章 瞬态响应分析	164
6-1 引言	164
6-2 脉冲响应函数	165
6-3 一阶系统	167
6-4 二阶系统	170
6-5 高阶系统	188
6-6 劳斯稳定判据	192
6-7 模拟计算机	197
例题和解答	206
习题	213
第七章 误差分析和系统最佳化概述	216
7-1 静态误差系数	216
7-2 动态误差系数	222
7-3 误差准则	226
7-4 系统最佳化概述	230
例题和解答	234
习题	238
第八章 根轨迹法	240
8-1 引言	240
8-2 根轨迹图	240
8-3 两个示例	245
8-4 作根轨迹图的一般规则	253
8-5 控制系统的根轨迹分析	258
例题和解答	270
习题	282
第九章 频率响应法	285
9-1 引言	285
9-2 对数坐标图	289

9-3	极坐标图	303
9-4	对数幅-相图	309
9-5	奈魁斯特稳定判据	310
9-6	稳定性分析	320
9-7	相对稳定性	326
9-8	闭环频率响应	337
9-9	传递函数的实验确定法	346
	例题和解答	350
	习题	361
第十章	设计和校正方法	363
10-1	引言	363
10-2	初步设计研究	365
10-3	超前校正	369
10-4	滞后校正	378
10-5	滞后-超前校正	396
10-6	控制系统校正方法小结	396
	例题和解答	400
	习题	404
第十一章	非线性控制系统的描述函数分析	406
11-1	非线性系统概述	406
11-2	非线性控制系统	409
11-3	描述函数	411
11-4	非线性控制系统的描述函数分析	417
11-5	小结	421
	例题和解答	422
	习题	428
第十二章	相平面分析	430
12-1	引言	430
12-2	相轨迹作图方法	433
12-3	由相平面图求时间解	440
12-4	奇点	444
12-5	线性控制系统的相平面分析	448
12-6	非线性控制系统的相平面分析	451
12-7	结论	460
	例题和解答	460
	习题	470
第十三章	离散系统和 z 变换法	473
13-1	离散系统引论	473
13-2	z 变换	475

13-3	用 z 变换法解差分方程	480
13-4	z 反变换	482
13-5	脉冲传递函数	485
13-6	z 平面内的稳定性分析	494
	· 例题和解答	496
	习题	505
第十四章	控制系统的状态空间分析法	507
14-1	引言	507
14-2	系统的状态空间表达式	509
14-3	定常系统状态方程的解法	518
14-4	传递矩阵	525
14-5	线性时变系统	529
14-6	离散-时间系统的状态空间表达式	532
14-7	离散-时间状态方程的解法	535
	例题和解答	540
	习题	547
第十五章	李雅普诺夫稳定性分析	550
15-1	引言	550
15-2	定义	550
15-3	李雅普诺夫第二方法	553
15-4	线性系统的稳定性分析	557
15-5	动态系统瞬态响应性能的估算	561
15-6	非线性系统的稳定性分析	564
15-7	小结	569
	例题和解答	570
	习题	575
第十六章	最佳和适应式控制系统	577
16-1	引言	577
16-2	可控性	580
16-3	可观测性	587
16-4	时间-最佳控制系统	593
16-5	基于二次型性能指标的最佳控制系统	599
16-6	模型参考控制系统	605
16-7	适应式控制系统	608
	例题和解答	613
	习题	622
参考文献		625

第一章 控制系统绪言

1-1 引言

在工程和科学的发展过程中,自动控制起着重要的作用。除了在宇宙飞船、导弹制导和飞机驾驶系统等领域中,自动控制系统具有特别重要的作用之外,它已变成现代机器制造业和工业生产过程中的重要而不可缺少的组成部分。例如,在生产过程中对压力、温度、湿度、粘性和流量的控制,自动控制都是其重要的组成部分;在机器制造业和其它许多部门中,象机器零件的加工、处理和装配,都广泛地采用着自动控制。

随着自动控制理论和实践的不断发 展,给人们提供了获得动态系统最佳性能的方法,提高了产品的质量,降低了生产成本,扩大了劳动生产率,同时它还能够使人们从繁重的体力劳动和重复的手工操作中解放出来。因此大多数工程技术人员和科学工作者,现在都必须具备一定的自动控制知识。

1-2 定义

在这一节内,我们将对控制系统中采用的一些术语下一个定义。

对象 是一个设备,它是由一些机器零件有机地组合在一起的,其作用是完成一个特定的动作。在本书中,我们称任何被控物体(如加热炉,化学反应器或宇宙飞船)为对象。

过程 麦里亚-韦伯斯特(Merriam-Webster)字典对过程的定义是:一种自然的逐渐进行地运转或发展,其特征是,有一系列逐渐的变化以相对固定的方法相继发生在运转或发展状态中,并且最后导致一个特定的结果或状态;或者也可以定义为人造的或随意的连续进行的运行状态,这种运行状态由一系列被控制的动作和一直进行到某一特定结果或状态的有规则的运动构成。在本书中,我们称任何被控制的运行状态为过程。其具体例子如化学过程,经济学过程和生物学过程。

系统 系统是一些部件的组合,这些部件组合在一起,完成一定的任务。系统不限于物理系统。系统的概念可以应用于抽象的动态现象,如在经济学中遇到的一些现象。因此,“系统”这个词应当理解为包含了物理学,生物学和经济学等现象的系统。

扰动 扰动是一种对系统的输出量产生相反作用的信号。如果扰动产生在系统的内部,称为内扰;扰动产生在系统外部,则称为外扰。外扰是系统的输入量。

反馈控制 反馈控制是这样一种控制过程,它能够在存在扰动的情况下,力图减小系统的输出量与参考输入量(或者任意变化的希望的状态)之间的偏差,而且其工作也正是基于这一偏差基础之上的。在这里,反馈控制仅仅是对无法预计的扰动(即那些预先无法知道的扰动)而设计的,因为对于可以预计的或者是已知的扰动来说,总是可以在系统中加以校正的,因而对于它们的测量是完全不必要的。

反馈控制系统 反馈控制系统是一种能对输出量与参考输入量进行比较,并力图保持两者之间的既定关系的系统,它利用输出量与参考输入量的偏差来进行控制。

应当指出,反馈控制系统不限于工程范畴,在各种非工程范畴内,诸如经济学和生物学中,也存在着反馈控制系统。例如,人的机体在某种意义上说,就类似于一个具有许多控制变量的化工设备。在这种运输和化学反应网络的过程控制中,包含着许多控制回路。事实上,人的机体是一个极其复杂的反馈控制系统。

随动系统 随动系统是一种反馈控制系统,在这种系统中,输出量是机械位移、速度、或者加速度。因此,随动系统这个术语,与位置(或速度,或加速度)控制系统是同义语。在现代工业中,广泛地采用着随动系统。例如,采用程序指令的机床的全自动化操作,就可以应用随动系统来完成。

自动调整系统 自动调整系统是一种反馈控制系统,在这种系统中,参考输入或希望的输出量,或者保持常量,或者随时间而缓慢地变化,而这种系统的基本任务,正是要在存在扰动的前提下,将实际的输出量保持在希望的数值上。

用恒温器作为控制器的室内加温系统,就是一种自动调整系统。系统中恒温器的温度给定值(即希望温度值),用来与室内的实际温度进行比较。室外温度变化是该系统的扰动。调整系统的任务,是保证所要求的室内温度不受室外温度变化的影响。自动调整系统的例子很多,例如,压力的自动控制以及电压、电流和频率等电学量的自动控制。

过程控制系统 当自动调整系统的输出量是温度、压力、流量、液面或pH值(氢离子浓度)等这样一些变量时,就叫过程控制系统。过程控制在工业中获得广泛应用。象在加热炉的温度控制中,炉温是根据预先制定的程序进行控制的,叫做程序控制。程序控制是经常采用的一种过程控制系统。例如,预先制定的程序可以是:炉温在一定的时间间隔内,先上升到某一给定温度,然后在另一段时间间隔内再下降到另一给定温度。在这类程序控制中,给定量是按照预先制定的规律变化的。而控制器则保证炉温紧紧地跟随着给定量变化。应当指出,大多数程序控制系统都包含有随动系统,作为系统的积分部件。

1-3 闭环控制和开环控制

我们首先来定义,什么是闭环控制系统和开环控制系统。然后对这两种控制类型进行比较。最后再引出适应式控制和学习控制的概念来。

闭环控制系统 凡是系统输出信号对控制作用能有直接影响的系统,都叫做闭环系

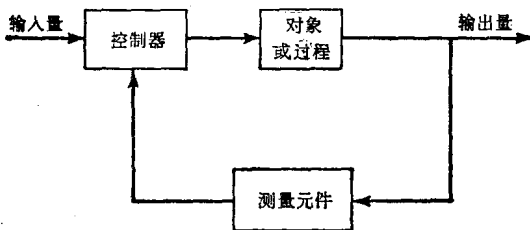


图 1-1 闭环控制系统

统。这就是说,闭环控制系统也就是反馈控制系统。输入信号和反馈信号(反馈信号可以是输出信号本身,也可以是输出信号的函数或导数)之差,称为误差信号*。误差信号加到控制器上,以减小系统的误差,并使系统的输出量趋于所希望的值。换句话说,“闭环”这个术语

* 原文为作用误差信号,为简明起见,本书中均译为误差信号。——译者注

的涵义，就是应用反馈作用来减小系统的误差。图 1-1 表示了闭环控制系统的输入量与输出量之间的关系。这种关系图叫做方块图。为了进一步说明闭环控制系统的概念，我们举一个热力系统的例子，如图 1-2 所示。在这里，人起了控制器的作用。他希望使热水的温度保持在给定温度上。为了测量热水的实际温度，在热水的输出管道内安装了一支温度计。温度计测得的温度，就是系统的输出量。操纵者始终监视着温度计，当发现温度高于希望值时，就减少输送到系统中的蒸汽量，以降低其温度；当发现温度低于希望温度时，操纵者就反向操纵蒸汽阀门，使进入系统的蒸汽量增大，以提高这一温度。

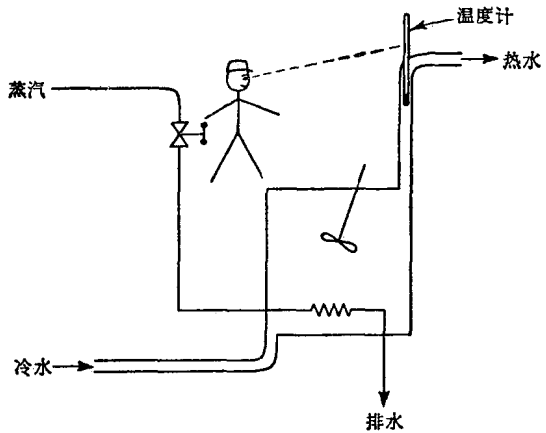


图 1-2 热力系统的人工反馈控制

这种控制作用，就是基于闭环控制原理的。在这个例子中，输出量的反馈(水温)与参考输入量的比较，以及控制作用，都是通过人来实现的。这就是一种闭环控制系统。这类系统，可以叫做人工反馈系统，或叫做人工闭环控制系统。

如果用自动控制器来取代人工操作，如图 1-3 所示，就变成自动控制系统，或叫自动反馈或自动闭环控制系统。

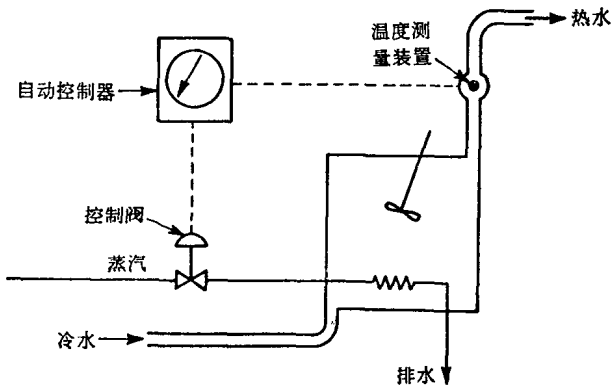


图 1-3 热力系统的自动反馈控制

将自动控制器刻度盘上指针的位置，标定在希望的温度。系统的输出量，即热水的实际温度，由温度测量装置予以测定后，与希望的温度值进行比较，以产生误差信号。为此，在进行比较之前，需通过变送器将输出温度变成与输入量(即给定值)相同的物理量。(变送器是将信号从一种物理量变换成另一种物理量的装置。)在

自动控制器中，产生的误差信号经过放大后，作为控制器的输出量，加到控制阀上，从而改变控制阀的开度，使进入系统的蒸汽量发生相应变化，最后使实际的水温得到校正。如果没有误差信号，当然也就不必改变阀的开度了。

在上述系统中，环境温度的变化，以及输入冷水温度的变化等，都可以看作是系统的外扰。

上述人工反馈和自动反馈控制系统的工作原理是相似的。操纵者的眼睛类似于误差测量装置；操纵者的头脑类似于自动控制器；而操纵者的肌体则类似于执行机构。

在复杂的控制系统中，由于系统中各变量之间存在着错综复杂的关系，所以就很难进行人工操纵了。应当指出，即使在简单的系统中，采用自动控制器也有利于消除人工操纵造成的误差。所以，如果要求精确控制，就必须采用自动控制系统。

在工业和日常生活中,广泛应用着闭环控制系统。例如,所有的随动系统,大多数的程序控制系统,室内冷藏设备,自动热水加热器和带有恒温控制的室内空调系统等,都是闭环控制系统。

开环控制系统 若系统的输出量对系统的控制作用没有影响,则叫做开环控制系统。在开环系统中,既不需要对输出量进行测量,也不需要将输出量反馈到系统输入端与输入量进行比较。图 1-4 表示了这类系统的输入量与输出量之间的关系。洗衣机就是这种系统的实际例子。浸湿、洗涤和漂清过程,在洗衣机中是依次直线进行的。在洗衣机中,无需对其输出信号,即衣服的清洁程度进行测量。

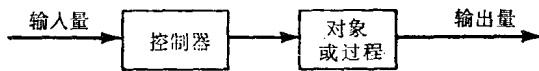


图 1-4 开环控制系统

在任何开环控制系统中,系统的输出量都不被用来与参考输入进行比较。因此,对应于每一个参考输入量,便有一个相应的固定工作状态与之对应。这样,系统的精度便决定于校准的精度。(为了满足实际应用的需要,开环控制系统必须精确地予以校准,并且在工作过程中保持这种校准值不发生变化。)当出现扰动时,开环控制系统就不能完成既定任务了。如果输入量与输出量之间的关系已知,并且不存在内扰与外扰,则可以采用开环控制。显然,这种系统不是反馈控制系统。应当指出,沿时间坐标轴单向运行的任何系统,都是开环系统。例如,采用时基信号的交通管制,就是开环控制的另一个例子。

闭环与开环控制系统的比较 闭环控制系统的优点是采用了反馈,因而使系统响应对外扰和内部系统参数变化很不敏感。这样,对于给定的控制对象,就有可能采用不太精密的成本低的元件,构成精确的控制系统。相反,在开环系统的情况下,则不能做到这一点。

从稳定性的观点出发,开环控制系统比较容易建造,因为对开环系统来说,稳定性不是重要问题。另一方面,在闭环控制系统中,稳定性始终是一个重要问题,因为闭环系统可能引起过调,从而造成系统作等幅振荡或变幅振荡。

应当强调指出,当系统的输入量能预先知道,并且不存在任何扰动时,建议采用开环控制。只有当存在着无法预计的扰动和(或)系统中元件参数存在着无法预计的变化时,闭环系统才有其优越性。还应当指出,系统输出功率的大小,在某种程度上确定了随动系统的成本、重量和尺寸(或者在商业系统中,确定了主要投资和人力等)。为了减小系统所需要的功率,在可能情况下,应当采用开环控制。将开环和闭环控制适当地结合在一起,通常比较经济,并且能够满足整个系统性能要求。

直接控制与间接控制 为了获得最好的控制结果,需要对表征系统工作状态或产品质量的物理量进行直接地测量和控制。例如在过程控制系统中,我们希望对产品的质量进行直接地测量和控制。但是,因为产品的质量很难进行测量,所以就提出了一项很难解决的问题。在这种情况下,常常需要去控制所谓第二变量。例如某些变量(象温度和压力),它们与产品质量直接相关,并且可以进行控制。因为其它变量可能影响质量与被测变量之间的关系,所以系统的间接控制效果通常不如直接控制好。因此,虽然有困难,我们仍应力争控制第一变量,以期达到直接控制。

适应式控制系统 由于种种原因的影响,大多数控制系统的动态特性不是恒定的,这

些影响因素,如系统中元件随着使用时间的增加而老化,参数和环境的变化(如在宇宙飞船控制系统中,质量和大气条件的变化)。虽然在反馈控制系统中系统的微小变化对动态特性的影响可以被减弱,但是当系统的参数和环境变化比较显著时,只有采用具有一定适应能力的系统,才能够满足要求。所谓适应能力,就是系统本身能够随着环境条件或结构的不可预计的变化,自行调整或修改系统参量。这种本身具有适应能力的控制系统,叫做适应式控制系统。

在适应式控制系统中,动态特性必须随时识别,以便调整控制器参数,从而获得最佳性能。这一概念对系统设计人员有很大的吸引力,因为适应式控制系统除了能适应环境变化以外,还能够适应通常的工程设计误差或参数变化,并且对小的系统元件的损坏,也能进行补偿,因而增加了整个系统的可靠性。

学习控制系统 如果把操作人员看作为控制器,完成输入量与输出量的比较,并且根据它们的差值即误差进行修正控制,那么许多开环控制系统都可以转化成闭环控制系统。

如果我们要对这种人工控制的闭环控制系统进行分析,我们就会碰到一个要求列写描述人的动作的微分方程式的困难问题。在这种情况下,操作人员的学习能力是许多复杂的因素之一。当操纵者得到了丰富的经验后,他就会起一个较好的控制器的作用,在分析这种系统时,就应当予以考虑。这种具有学习能力的控制系统,称之为学习控制系统。这是一个非常新颖的概念,有待于今后作进一步的探讨。

在一些文献中报道了适应式和学习控制系统应用的最新发展,但是要在工程上广泛采用这些系统,还有待于将来进一步研究。

1-4 控制系统示例

在这一节中,我们将介绍一些闭环控制系统的具体例子。

压力控制系统 在图 1-5 上表示一个压力控制系统。炉内的压力由挡板的位置控制,并且由压力测量元件进行测量。测出的压力信号传递到控制器中,与希望值进行比较。

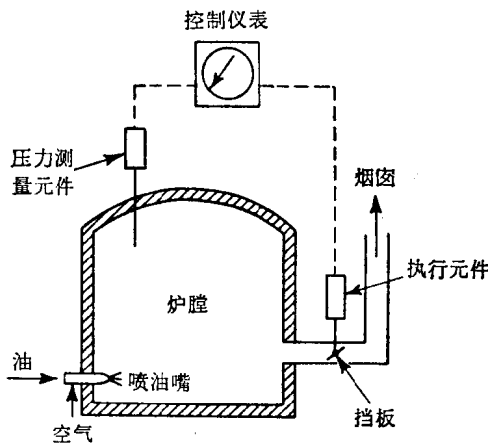


图 1-5 压力控制系统

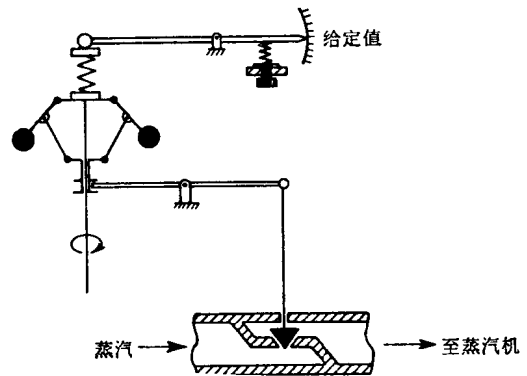


图 1-6 速度控制系统

较。比较后若有差值即误差存在,控制器便将输出量送到执行机构,执行机构便相应地转动挡板,以减小误差。

速度控制系统 图 1-6 表示出蒸汽机上瓦特调速器的基本原理。进入蒸汽机汽缸中的蒸汽量,可根据蒸汽机的希望转速与实际转速的差值自动地进行调整。

其作用原理如下: 根据希望的转速, 设置参考输入量(给定值)。如果实际转速降低到希望的转速值以下, 则调速器的离心力下降, 从而使控制阀上升, 进入的蒸汽量增加, 蒸汽机转速随之增大, 直至上升到希望的转速值时为止。反之, 若蒸汽机的转速增大到超过希望的转速值, 调速器的离心力便会增大, 造成控制阀向下移动。这样就减少了进入的蒸汽量, 蒸汽机的转速也随之下降, 直至下降到希望的转速值时为止。

数字控制系统 数字控制是一种用数字来控制机器部件运动的方法。在数字控制中, 工作台的运动可以由纸带上的二进制信息来控制。

在这种控制系统中, 利用电的(或其它形式的)信号, 可以将数字符号转化为物理量(大小或数量), 这样就把电码译成直线运动或圆周运动。这里采用的信号或者是数字的(脉冲), 或者是模拟的(时变电压)。

图 1-7 表示出系统的工作原理: 按照对工件 P 的要求, 在纸带上进行二进制编码。首先起动系统, 于是纸带上的信息通过读出器送进系统, 输入调频脉冲信号与反馈脉冲信号

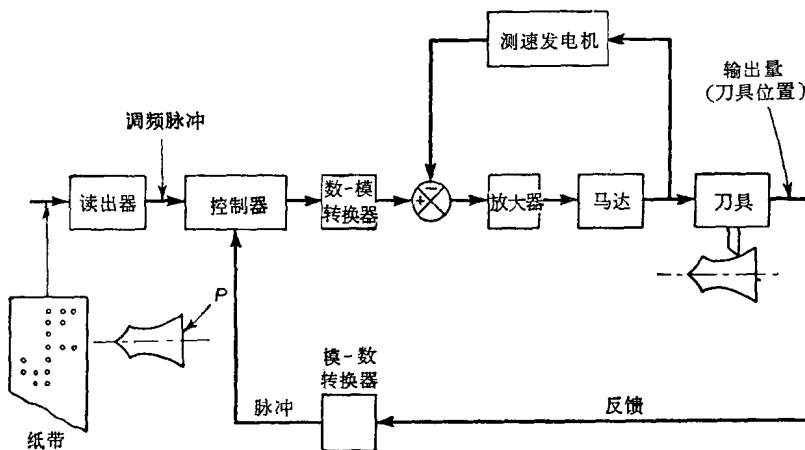


图 1-7 机床的数字控制

进行比较。随后数-模转换器将脉冲信号转变为模拟信号, 即转变为具有一定数值的电压值, 从而使伺服马达转动起来。刀架的位置由伺服马达的输入信号控制。与刀盘连结在一起的转换器, 将刀具的运动转变为电信号, 然后通过模-数转换器, 又将它转变为脉冲信号。这一脉冲信号与输入脉冲信号进行比较。控制器根据脉冲信号的差值进行数学运算。如果在两个脉冲信号之间存在某一差值, 便有信号电压输送到伺服马达, 以减小这一差值。

数字控制的优点是, 可以在铣床上以最大的速度加工复杂的零件, 而公差保持不变。

计算机控制系统 图 1-8 是一个鼓风炉计算机控制的原理图。鼓风炉是一个高达 100 呎的庞大设备。一座现代化的鼓风炉, 每天可以生产 4000 吨生铁, 而且由于熔化过程的性质, 还必须保持炉子连续工作。

铁矿石, 焦炭和石灰石, 应按照一定的比例从炉顶装进炉膛内。(生产 1 吨生铁, 大约需要 2 吨铁矿石, 1 吨焦炭, 1/2 吨熔剂和 4 1/2 吨空气。) 在熔炼过程中, 空气是非常重要的, 必须将空气在热风炉内加热, 然后由鼓风机将热风吹进炉膛内。炉内的热量是由焦炭

燃烧而产生的,由于燃烧过程的不完全,在炉膛内还产生了一氧化碳气体。一氧化碳气体与焦炭一起,使炉内的铁矿石还原为金属铁,而作为熔剂的石灰石,则将杂质化为矿渣。熔化的铁水沉在炉底,而液态的矿渣则漂浮在表面上。熔化的铁水和液态矿渣定期的从专用排出口放出炉外。

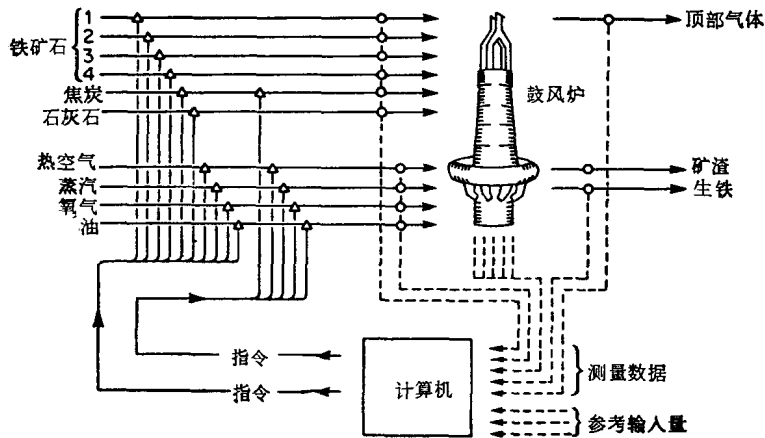


图 1-8 鼓风炉的计算机控制

因为生铁中所含的碳、锰、硅、硫、磷等杂质的数量,主要取决于采用的矿石、焦炭和石灰石的成分,所以用人工来控制从炉内流出的生铁的化学成分,是非常困难的。

当在这种炉子中采用计算机控制时,则可将有关生铁、矿渣和炉顶气体的成分方面的信息,以及炉内的温度、压力和有关矿石、焦炭、石灰石的成份方面的信息,在一定时间内,一并送入计算机内。通过计算机的复杂运算,即可确定应当送进炉内的各种原料的最佳数量。这样就能够保证生铁的成分满足要求。同时,也能够保证鼓风机在满意的条件下稳定地运转。

但是应当指出,在这种计算机控制过程中,必须有一个合适的数学模型。而要推导一个合适的数学模型,往往是一件很困难的事情,因为并非所有影响系统动态特性的因素都是已知的。还应当指出,在计算机控制中,所需要的各种变量的测量,可能是很困难的,甚至是不可能的,在这种情况下,对那些不能进行测量的变量,必须用统计的方法予以估值。

交通管制系统 正如 1-3 节所述,采用按时基控制的交通管制系统,是一种开环控制系统。但是如果城市交通拥挤的地方,对等待通行信号的汽车数量进行不断的测量,并将这种信息传递到发出通行信号的中心控制计算机,则这种系统就变成了闭环控制系统。

交通枢纽的车辆运行情况是非常复杂的,因为其交通量的变化与时间有很大的关系,在一周内的每一天,每一小时都是不一样的,同时交通量还与其它一些因素有关。有时,在交叉点上到达的车辆,可以假定按泊松 (Poisson) 分布,但这对于所有的交通问题来说,不一定是有效的。事实上,为了减小车辆的平均等待时间,是一个很复杂的问题。

生物学系统 我们来研究两种细菌的竞争,它们的个数分别为 x_1 和 x_2 。由于它们吃相同的食物,所以在这种意义上说,它们是竞争的。在一定的条件下,两种细菌的个数

x_1 和 x_2 随时间按下列规律变化:

$$\dot{x}_1 = a_{11}x_1 - a_{12}x_1x_2$$

$$\dot{x}_2 = a_{21}x_2 - a_{22}x_1x_2$$

式中 a_{11} , a_{12} , a_{21} 和 a_{22} 为正的常数, 而 x_1 和 x_2 不能为负值. 这一组方程被叫做瓦尔特拉 (Volterra) 竞争方程.

如果在细菌中加进一定的化学药品, 则细菌的数量将按下列方程变化:

$$\dot{x}_1 = a_{11}x_1 - a_{12}x_1x_2 - b_1u$$

$$\dot{x}_2 = a_{21}x_2 - a_{22}x_1x_2 - b_2u$$

式中 b_1 和 b_2 为正的常数, 而 u 则为控制输入量 (在本例中为化学药品的量). 在这里, 一个有意义的问题是, 在给定的时间内, 如何使 x_1 达到最少, 而同时使 x_2 达到尽可能大的数量. 这就是一个可以应用控制理论的生物学系统的例子.

1-5 控制系统的设计原则

对控制系统的一般要求 任何控制系统必须是稳定的. 这是对控制系统的—个基本要求. 除了绝对稳定性之外, 控制系统还必须具有适当的相对稳定性; 也就是说, 响应速度必须相当快, 同时响应还应当有合理的阻尼. 控制系统应能使误差减小到零或减小到某一允许的最小值. 任何有实用价值的控制系统, 必须满足这些要求.

合理的相对稳定性要求与稳定准确度之间是有矛盾的. 因此在设计控制系统时, 必须在这两项要求之间, 选择一种最有效的折衷方案.

控制系统设计中的基本问题 图 1-9 是控制系统的方块图. 根据参考输入量和输出量的大小, 控制器产生出—定的控制信号. 在实际情况中, 总是还有一些扰动作用在对象上. 这些扰动可能来源于外界, 也可能产生于系统内部, 可能是随机的, 也可能是可以预测的. 控制器必须考虑到扰动的影响, 实际上扰动会影响输出量.

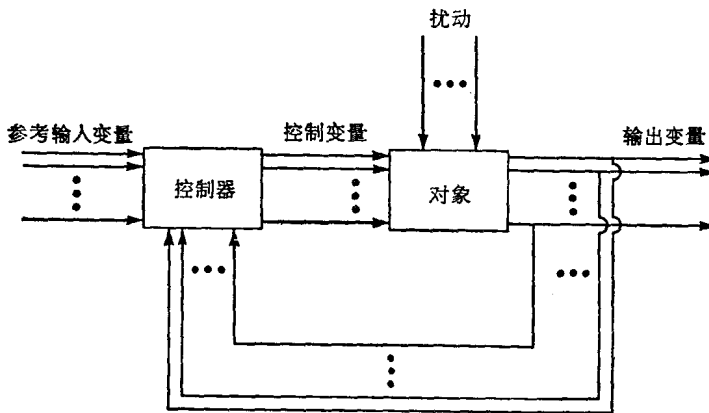


图 1-9 控制系统方块图

为了确定最佳控制信号, 必须规定—些性能指标. 这些指标实际上是系统对理想性能偏离大小的度量. 在整个工作时间内, 控制信号的变化规律叫做控制规律. 从数学的观点来看, 基本控制问题是在各种工程及经济上的约束条件下, 确定最佳控制规律, 从而

将给定的性能指标减到最小。

对于比较简单的系统,可以通过解析的方法得到控制规律。对于复杂的系统,便要借助于在线数字计算机来产生最佳控制规律。

分析 所谓控制系统的分析,就是指在特定的条件下,对数学模型已知的系统的性能,进行研究。

因为任何系统都是由元件组成的,所以分析工作首先从列写每一个元件的数学表达式开始。一旦整个系统的数学模型推导出来,则进行分析的方法就与物理系统本身无关,即不论系统是气动的、电气的、还是机械的等等,都与分析过程无关。

设计 所谓设计系统,就是指找一个能完成给定任务的系统。一般来说,设计过程不是一个简单的一次能完成的过程,而是一个逐步试探的过程。

综合 所谓综合,就是指用直接的步骤,寻找一个按既定要求完成任务的系统。通常这种方法从设计过程开始到结束,完全是一些数学方法。综合方法目前对于线性网络和最佳线性系统是有效的。

控制系统设计的基本方法 设计任何实际控制系统的基本方法,必然要包含试探法。线性控制系统的综合,在理论上是可能的,因此控制工程人员可以顺利地确定为完成给定任务而必需的元件。但是实际上,系统可能受到许多限制,或者说系统可能是非线性的,目前来说,这时就不能完全采用综合方法了。此外,元件的特性也并非十分清楚的。所以,试探法总是不可缺少的。

在实践中,控制工程人员常常会碰到这种情况,即对象是已知的,要求设计系统的其它部分,并且设计出来的整个系统,在完成给定任务的过程中,满足给定的技术要求。应当指出,系统的技术要求必须化成数学形式。

特别应当指出,有些技术要求可能是不现实的。在这种情况下,必须在设计工作的初始阶段,就对这些要求进行修改。

在很多情况下,控制系统的设计可依据下列步骤进行:工程人员在开始进行设计阶段,首先应该熟悉技术要求或性能指标,了解给定对象的动态特性和元件的动态特性,其中包括元件的设计参数。控制工程人员在可能时应采用综合方法,以及采用其它一些方法,建立起系统的数学模型。

一旦将设计问题表示为数学模型的形式,就可以用数学的方法进行设计,从而获得设计问题的数学解答。(在这一阶段,在计算机上对数学模型进行模拟是很重要的。而且应当指出,在这一设计阶段中,最佳控制理论是很有用的,因为对于给定的性能指标,它可以给出系统性能的上限。)

数学方法设计完成以后,控制工程人员就可以将数学模型排到计算机上,对设计出来的系统在各种信号和扰动作用下的响应进行测试。通常,系统的初型是不能令人满意的。因此,必须对系统进行再设计,并完成相应的分析。这种设计和分析过程反复进行,直到获得满意的系统时为止。此后,就可以制造物理系统的样机了。

应当指出,建造系统样机的过程,是系统模拟的反过程。系统样机是物理系统,它以适当的精度代替了系统的数学模型。当样机被建成后,工程技术人员就可以对样机进行实验,看其是否满足性能要求。如果满足要求,设计便告结束。如果不满足要求,就必须对样机进行修改,并重新试验。这种过程,一直要进行到系统样机完全满足要求时为止。