

高等学校试用教材

焊接自动控制基础

天津大学 赵家瑞 合编
沈阳工业大学 董挺

GAO DENG XUE
XIAO JIAO CAI

机械工业出版社

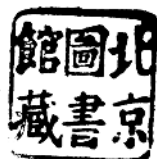
高等学校试用教材

焊接自动控制基础

天津大学 赵家瑞
沈阳工业大学 董挺 合编



机械工业出版社



B733606

前 言

焊接自动控制是保证高效率、高性能、高可靠的现代化生产中必不可少的技术手段。这就要求从事焊接的工程技术人员必须具备焊接自动控制的基本知识。基于这种迫切的要求,近年来许多院校焊接专业均先后开设有关焊接自动控制的课程。但目前尚缺乏适用的教材。本书就是为了适应这种急需,同时也是适应我国焊接自动化发展的要求而编写的。

本书主要从实用考虑,着重介绍基本的自动控制理论和技术知识。全书共分六章。第一章主要介绍有关焊接自动控制的基本知识和要求。第二章介绍自动控制系统理论分析时必备的数学基础知识,为自动控制系统性能分析打基础。第三章介绍焊接自动控制中常用的传感器,着重讨论目前国内外最关注的弧焊自动跟踪焊缝传感器。第四章介绍了焊接自动控制常用的执行元件。第五章介绍了微型计算机控制技术的基本知识。第六章介绍了自动控制系统目前应用最多的经典控制理论分析方法,最后还讨论了系统校正方法。各章均尽量应用焊接生产中的实例进行讨论,便于读者联系实际,举一反三。

本书编写时,选材尽量注意了内容的系统性、完整性和先进性。阐述时尽量做到深入浅出,循序渐进和简明扼要,为了便于选读,各章也具有一定独立性。为了读者查阅方便,与本书有关的数学知识附于附录中。

本书由天津大学赵家瑞教授与沈阳工业大学董挺教授编写。第一、三、四章由董挺教授编写;第二、五、六章由赵家瑞教授编写。全书由赵家瑞教授统稿。

本书由吉林工业大学李树槐教授主审。清华大学张人豪教授、沈阳工业大学电气工程系主任郭庆鼎教授参加了审稿。他们对本书的编写目的、任务、深浅程度、课程体系以及各章内容安排进行了认真细致的讨论,提出了许多宝贵意见。谨在此致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免。敬请读者批评指正。

编 者

1989年2月20日

目 录

第一章 绪论..... 1	二、电弧的传递函数..... 60
§ 1-1 焊接自动控制的发展概况..... 1	§ 2-6 TIG 焊熔宽控制系统的数学模 型..... 63
§ 1-2 自动控制的基本概念..... 3	一、控制系统操作量的选择..... 63
一、自动控制与自动控制系统..... 3	二、确定控制系统的模型..... 64
二、开环控制系统和闭环控制系统..... 4	三、焊接过程的数学模型..... 64
§ 1-3 自动控制系统的类型..... 8	四、计算机数据处理的数学模型..... 65
一、自动镇定系统与随动系统..... 8	思考题与习题..... 66
二、线性系统与非线性系统..... 8	第三章 焊接自动控制系统中常用 的传感器..... 68
三、单输入单输出系统和多输入多输 出系统..... 9	§ 3-1 焊接自动控制系统中传感器的职 能与分类..... 68
四、有静差系统和无静差系统..... 10	§ 3-2 焊缝跟踪系统中常用传感器..... 68
§ 1-4 焊接自动控制的特点..... 11	一、接触式跟踪传感器..... 68
一、被控制量选择的特点..... 11	二、电磁式跟踪传感器..... 69
二、干扰因素多..... 12	三、光电式跟踪传感器..... 75
三、控制方式的特点..... 13	四、电弧跟踪传感器..... 78
§ 1-5 对自动控制系统的要求..... 14	§ 3-3 焊接质量自适应控制中常用的 传感器..... 80
§ 1-6 本课程的任务..... 15	一、熔深控制方法及其传感器..... 81
思考题..... 16	二、深宽控制方法简介..... 85
第二章 自动控制的数学基础..... 17	三、电阻焊中常用的压力传感器..... 86
§ 2-1 概述..... 17	§ 3-4 新型传感器..... 87
一、数学模型的分类..... 17	一、固态图象传感器..... 88
二、数学模型的建立..... 17	二、光纤传感器..... 91
三、非线性模型的线性化..... 19	思考题..... 96
§ 2-2 傅里叶变换和拉普拉斯变换..... 22	第四章 焊接自动控制系统中的伺 服电动机..... 98
一、傅里叶变换..... 23	§ 4-1 焊接自动控制系统中伺服电动 机的分类及特点..... 98
二、拉普拉斯变换..... 25	§ 4-2 直流伺服电动机..... 98
§ 2-3 传递函数..... 30	一、直流伺服电动机的分类及其结 构..... 98
一、传递函数的概念..... 30	二、直流伺服电动机的特性..... 111
二、典型环节及其传递函数..... 34	三、直流伺服电动机的控制..... 115
三、自动控制系统的方块图..... 40	四、直流伺服电动机的选用..... 116
§ 2-4 采样系统的数学表达式..... 46	§ 4-3 力矩电动机..... 117
一、采样系统..... 46	
二、信号的采样..... 47	
三、Z变换..... 49	
四、Z传递函数..... 56	
§ 2-5 焊接电弧的传递函数..... 59	
一、约束条件..... 59	

一、直流力矩电动机	118	§ 6-1 时域分析法	206
二、交流力矩电动机	122	一、典型初始状态及外作用	206
三、力矩电动机的选用	123	二、时域性能指标	208
§ 4-4 步进电动机	127	三、一阶系统分析	209
一、反应式步进电动机的构造和工作原理	128	四、二阶系统分析	212
二、步进电动机的基本特性	131	五、稳定性与代数判据	219
三、步进电动机的驱动电源	138	六、稳态误差分析	223
四、步进电动机的选用	142	§ 6-2 频域分析法	228
§ 4-5 永磁式同步电动机简介	143	一、频率特性	229
思考题	150	二、频率特性的获得	230
第五章 微计算机控制技术	151	三、典型环节的对数坐标图	234
§ 5-1 过程通道	151	四、系统开环对数频率特性	241
一、过程参数的采样原理	153	五、稳定判据	244
二、过程参数的巡回检测	156	六、稳定裕度	247
三、模/数和数/模转换	159	§ 6-3 控制系统的校正	249
四、过程通道的抗干扰措施	167	一、控制系统校正的概念	249
§ 5-2 电阻焊的微机控制	173	二、校正装置的工作原理	249
一、微机控制多点焊机的动作程序	173	三、校正装置线路	251
二、微机控制电阻点焊质量	177	§ 6-4 焊接电弧控制系统分析	257
§ 5-3 电弧焊的微机控制	181	一、等速送丝焊接电弧控制系统	257
一、TIG脉冲焊机的微机控制	182	二、均匀调节电弧控制系统	260
二、CO ₂ 弧焊过程的微机控制	184	三、均匀调节和电弧自调共同作用的电弧控制系统	262
§ 5-4 微计算机图象处理技术控制焊接对中	189	思考题及习题	263
一、对中系统	189	附录	265
二、图象预处理	190	附录一 回归分析	265
三、对中偏差量的计算	191	一、一元线性回归	266
四、调整量计算及输出	191	(一) 一元线性回归的数学模型	266
§ 5-5 微计算机模式识别技术自动检测焊缝缺陷	192	(二) 参数 β_0 、 β 的最小二乘估计	266
一、检测系统	193	(三) 回归方程的显著性检验	268
二、焊缝x光片的图象处理	193	(四) 利用回归方程进行预报和控制	270
三、焊接缺陷的微机识别	197	(五) 非线性回归化为线性回归	275
§ 5-6 焊接机器人	200	二、多元线性回归	275
一、对焊接机器人的一般要求	201	(一) 多元线性回归的数学模型	276
二、电阻焊机器人	201	(二) 参数 β 的最小二乘估计	276
三、电弧焊机器人	203	(三) 回归方程的显著性检验	279
思考题	205	(四) 举例	280
第六章 自动控制系统分析	206	附录二 常用函数拉普拉斯变换对照表	284
		附录三 拉氏变换、z变换对照表	286
		参考文献	288

第一章 绪 论

随着焊接技术不断地发展,它在生产建设中的应用日趋广泛,到目前已成为一种重要的加工手段。从日常生活用品,如家用电器、水暖设备、铁木家具等的生产,到飞机、潜艇、火箭、飞船等尖端科技产品的制造都离不开高效率、现代化的焊接技术。因此,进一步提高焊接质量、改善劳动条件、提高劳动生产率,已成为所有焊接工作者的强烈愿望。而采用自动控制技术则是达到上述目的的正确途径。近年来焊接自动控制在外国发展较快,同时也受到较大的重视,第32届国际焊接年会,首次组织了关于焊接自动化的专题讨论会,并出版了焊接自动化文集。1980年在苏联基辅又召开了一次国际性焊接自动化的讨论会,在这些会议中,焊接自动控制成为讨论的核心议题。

50年代,自动焊机是焊接自动控制的主要装置,它仅限于焊丝的自动送进和焊炬(焊接小车)的自动行驶;仅能实现自动引弧、维持电弧电压(或焊接电流)的稳定和依靠轨道沿焊缝的仿形等功能。而80年代的焊接自动控制装置与50年代完全不同了。一个完整的自动化焊接系统涉及的问题很多。由于焊接产品制造过程中,除焊接工序本身外,必然还有许多其它工序与其配合,因此,“焊接自动控制”一词,可理解为焊接工序本身的自动控制,也可以理解为整个焊接产品制造的综合自动控制。本课程讲述的主要内容是焊接自动控制的基础理论及焊接工序本身的自动控制问题,其核心为焊接过程的自动控制和焊接能量的自动控制。

§1-1 焊接自动控制的发展概况

目前,世界各国都着重于提高焊接生产的机械化和自动化水平,尽量进一步采用各种高效率的机械化、自动化的焊接方法、焊接设备及控制系统。以苏联为例,据资料统计苏联在第十个五年计划末的1980年,工业生产中采用机械化、自动化焊接方法及设备所占的工作量,已高达62.9%。在机械化、自动化焊接方法中,以电阻焊占第一位,为52.5%;气体保护焊占第二位,为30.5%;自动、半自动埋弧焊占第三位,为8.5%;再其次是电子束焊、等离子弧焊、摩擦焊、电渣焊等,约占8.5%。而手工电弧焊及气焊只占整个焊接工作量的37%左右。

在控制技术方面,实行了计算机的焊接过程的自动控制、多台焊机的计算机群控,采用了焊接机器人及机器人化的焊接装置。

计算机在焊接自动控制方面的应用是多种多样的,小至对焊接过程某些参数进行记录、分析,大至对整条焊接生产线乃至整个工厂所有焊机实行群控。简单的只能根据材料种类、厚度自动选择并调整规范,复杂的可对整个焊接过程实现自适应控制乃至最佳控制,以保证焊接质量。例如,日本小松制作所研制的具有光电传感器的计算机数控自动焊机,已用于焊接生产自动线,实现了CO₂气体保护焊的全自动化,这种微机控制系统,焊缝轨迹由数控进行预调,当由于焊接变形、安装误差等原因出现细小误差时,由光电元件检测、反馈以实现焊缝的自动跟踪。坡口形状也由同一光电元件读出,根据预先实验的编程,立即使焊接电流、

焊接速度调整到最佳条件进行焊接。

在电阻焊方面,如用于电阻焊质量监控的数据分析装置,能将瞬时电流计、通电时间计数器及压力计等所测定的值输入,由微型机对其数据进行分析,以对电阻焊进行监控,不仅能及时监测焊接质量是否符合标准,同时能对错误的波形及其他数据作出记录。

在焊机的群控方面,法国的雷诺汽车厂有一种用小型计算机控制的焊接生产线,它控制了200台电阻焊装置,计算机每20ms对各个点焊处的工作进行检查,监视参数是否正常,自动打出监控报告,并能发出电报需要更换的信号,自动进行质量控制。

计算机图象法是计算机应用的新发展,国外已广泛用于卫星遥测、航天制导等许多领域。70年代中期,美国、日本、西欧等国,开始把微计算机图象法,应用于焊接领域,已获得初步成果。

美国GE公司(即通用电气公司)研制出一种观测控制装置,使自动焊机能沿着不规则的焊缝进行焊接。当焊机移动时,它能不断地观察焊缝和熔池,并不不断地进行调整。

GE公司观测控制装置的传感器,是一只与焊炬组合的部件。它利用一组透镜将熔池的图象聚在光导纤维束上,通过光导纤维束将图象传到电视摄像机里。摄像机依次将图象送往一个图象处理机(即微处理机),从而分析出焊接实况,并不断地发出各种纠正指令,控制焊机运行方向、熔池的大小及其它参数。

焊接机器人的应用,是焊接过程高度自动化的一个标志,焊接生产机器人化,是焊接生产自动化的重要方向之一,已引起世界各国、各科研机构和企业的极大兴趣。

焊接机器人是70年代发展起来的,70年代初世界上一些技术先进的国家。如日本、美国、联邦德国已将电阻点焊机器人,用于汽车车身的自动生产线。至1976年点焊机器人的应用已相当广泛了。现在可以说,世界上任何一个较大的汽车制造厂,都在其生产线上配备了点焊机器人。从70年代中期到80年代初,弧焊机器人相继出现并以所谓“爆炸性”的速度推广普及。许多中小型企业中也广泛地使用弧焊机器人,用以代替单调重复、劳动条件差的手工电弧焊,从而大量节省劳动力,提高劳动生产率并保证产品质量。

据报道,美国通用汽车公司计划到1990年,使应用机器人的总数扩大到1400台。这样,该公司每年即可节约劳工费用7亿多美元。苏联计划到2000年,要拥有12万台工业机器人。

目前,弧焊机器人的生产发展是非常迅速的。据专家们分析,在一些发达的国家中,用于电阻点焊的机器人的需求已达到饱和,而用于弧焊的机器人将成为焊接机器人发展数量增长的主流。在1981年联邦德国埃森国际焊接博览会上,世界上有名的电焊机制造公司都展出了自己的焊接机器人,而且有80%以上的公司展出了弧焊机器人,有的公司的产量达每月生产20~40台。

我国焊接自动控制的水平与国外相比有很大差距。就全国范围来说,机械化和自动化焊接方法占焊接工作量的比重,目前平均也不过20%左右,近年来有不少科研单位、学校、工厂企业正在从事这方面的研究,并已取得一定成果。

在焊接过程的自动控制方面,对直线焊缝一般采用小车轨道式,国内早已用于生产中,环形焊缝也有采用小车软轨道式,国家建委一局安装公司在管道的焊接上就采用了这种方法。

在焊缝跟踪方面,国内采用单坐标和双坐标的比较多,采用多座标的比较少。采用的方式也多种多样,有电磁跟踪、光电跟踪、激光跟踪、微机控制跟踪及电视跟踪等。看来电磁跟踪比较简单、经济可靠,采用的单位较多。西安交通大学和三桥机车车辆厂是我国从事这

方面研究较早的单位之一，此外华中理工大学同湖北造船厂合搞的全位置电磁跟踪气体保护焊机，跟踪精度为 $\pm 1\text{mm}$ ；华南理工大学同广州造船厂共同研制的电磁立缝自动跟踪焊机，用于万吨轮的焊接。光电跟踪已用于生产实践中的，有天水电气传动研究所和上海造船工艺研究所，它分别应用于螺旋管焊接和船舶的生产中。哈尔滨焊接研究所同辽阳钢厂共同研制的激光自动跟踪装置，已用于螺旋管自动生产线。微机控制跟踪系统，近年来国内也有较大发展，例如水电部电力建设研究所研究的微处理机在小径管脉冲 TIG 自动焊中的应用，实现了焊接顺序自动控制、焊接电流分、层、工位自动转换及获得多种电流波形。长春第一汽车制造厂研究的微处理机在多点焊中的应用，成功地解决了处于较恶劣环境中的多点焊机的动作程序及自动焊接程序的控制，并可进行多点焊机的群控，从而提高焊接生产自动化水平。北京航空工艺研究所，将微处理机应用于电子束焊机的控制，微处理机的程序具有编程简单、修改程序方便、运行可靠等优点，它可对程序中的时间、焊接规范、电子束偏转等进行控制。此外，703所进行了微机控制6自由度TIG焊系统的研究；哈尔滨工业大学进行了单片机控制高精度激光跟踪系统的研究；西北工业大学研究的微机控制熔化极脉冲窄间隙焊缝自动跟踪系统等。在计算机图象法控制方面水利电力部电力建设研究所研制了DL-64固体图象传感器进行的焊缝跟踪装置。

在自适应控制方面，国内近年来也有较大发展。例如：冶金部建筑科学研究院曾采用热电偶插入法（或红外法）对熔池温度进行自适应控制的研究；上海交通大学利用光敏晶体管作熔透传感器，利用等离子焊接熔池背面高温辐射场或小孔效应的等离子焰流的变化来控制焊接速度，以达到等离子焊接过程中熔透度的自适应控制；北京工业大学利用光导纤维的红外成象电视监控及采用TP-801微型计算机监控的TIG焊缝熔宽自适应控制；黎明发动机制造公司研究的微机控制点焊质量的课题，具有产生分流时能自动补偿、能探测电极端面的磨损，并可将飞溅抑制在最小限度；上海交通大学研究的“微机在超薄板焊接过程的控制系统”，进行了点位控制、熔透适应控制、电流波形调制与恒流控制，并能显示出班产量及废品率等功能；清华大学研究的CCD图象传感器对焊缝背面横向温度场的实时检测及图象处理在窄间隙MIG/MAG焊在线检测中的应用；北京航空航天大学研究的CCD图象处理传感器在螺旋焊缝间隙调整中的应用，能较精确地检测焊缝间隙大小。

§1-2 自动控制的基本概念

一、自动控制与自动控制系统

什么是自动控制？自动控制是指在没有人直接参与的情况下，利用控制装置使被控制的对象（如焊接电弧、设备或生产过程）自动地按照预定的规律去工作。被控制的机器设备或生产过程称为控制对象；所用的控制装置，有的地方又称为控制元件。

控制装置和控制对象的总合，称做控制系统。二者组合在一起才能完成自动控制的任务，图1-1表示了二者之间的关系。系统的输入是作用于系统的激发信号，其中使系统具有预定性能或预定输出的，称做目标值或给定值，另一种则是破坏系统的预定性能或预定输出的，

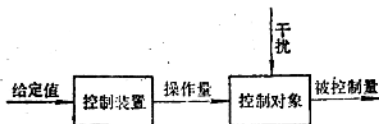


图1-1 自动控制系统示意图

称做干扰。根据具体情况,干扰输入有不同的作用点。系统的输出称做被控制量。控制装置按照给定值的要求,向控制对象输出操作量,使系统达到预定的性能或预定的输出。有一定的输入,系统就会有其相应的输出,系统的这个输出,常称为系统对输入的响应,它是时间的函数。自动控制就是为了某一定的目的,保证对输入有满意的响应。或者讲,自动控制系统必需保证其被控制量具有给定值所指定的数值,尽量不受干扰的影响,

例如:在焊缝自动跟踪系统中,要求在整个焊接过程中,焊炬自始至终准确地对准焊缝的中心线进行焊接,使焊缝按预定的轨迹形成。但是,由于焊前准备工作的差异、工件装配公差的不准以及焊接过程中,工件受热引起的变形等因素,使坡口中心位置与预定的焊缝轨迹发生了偏差,这就要求自动控制系统能随时测出坡口中心的位置,并及时调整焊炬位置,实现焊缝的自动跟踪,以期达到预期的目的。这就是自动控制系统所要完成的任务。

二、开环控制系统和闭环控制系统

自动控制系统可以有各种不同的形式,但是,归纳起来不外乎两大类:即开环控制系统和闭环控制系统。

(一) 开环控制系统

图1-2是MZ-1000型自动焊机小车行驶的控制系统电气原理图。图中直流电动机M通过减速器带动小车行驶。电动机的转速,决定于直流发电机G输出电压的大小,而发电机G的

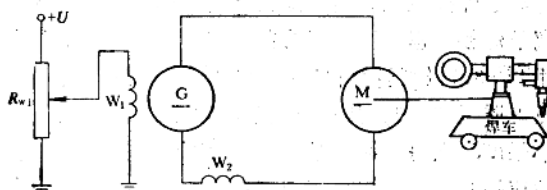


图1-2 MZ-1000型自动焊机小车行驶控制系统示意图

输出电压,又决定于它的励磁绕组 W_1 中电流的大小,励磁电流的大小,可通过电位器 R_{w1} 来调节。因此,电位器 R_{w1} 动触点处于不同位置,就有相对应的小车行驶速度(即焊接速度)。按照焊接规范的要求,改变电位器 R_{w1} 动触点的位置。以满足焊接工艺的需要,从这一控制系统可以看出:

1. 小车行驶速度(焊接速度)只受电位器 R_{w1} 的控制。
2. 小车行驶速度对电位器 R_{w1} 的控制作用没有反作用。这种输出量(小车行驶速度)对输入量(电位器的控制作用)没有反馈作用的控制系统,称做开环控制系统(或称做非反馈控制系统)。

上述开环控制系统,也可以用图1-3的框图来表示。它可以清楚地说明系统中各元件之



图1-3 MZ-1000型自动焊机小车行驶系统开环控制框图

间的作用关系(或信号传递关系)。图中每个方框的输入就是输入到该元件的作用量,方框的输出则为该元件受到输入信号作用后的响应。从图1-3中可以看到,作用信号是单方向传递

的，形成一个开环系统。这就是所有开环控制系统的特征。

开环控制系统的特点是：结构简单，给定一个输入量便有一个相应的输出量。但是，输出量的准确性较差，尤其当系统受外来干扰时，偏差就更大。没有根据系统的实际输出量修正输入量的功能（即无反馈作用），这是开环控制系统精度不高的主要原因。

有时为了提高开环控制系统的精度，可以采用较精密的控制元件。如采用数字计算机控制步进电动机的自动控制系统，图1-4便是这种开环控制系统的框图。由于应用了步进电动机

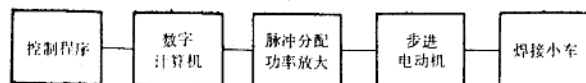


图1-4 步进电动机开环控制系统框图

机（详见第四章 § 4-4），避免或降低了外界干扰的影响，从而使系统输出具有较高的精度。其缺点是由于采用了精密元件，成本较高。

（二）闭环控制系统

为了提高开环控制系统的精度。在上述开环控制系统中，可以由人对输入量作相应的修正，形成一个人工闭环控制系统，如图1-5所示。即在焊接过程中，焊工一边监视小车行驶的

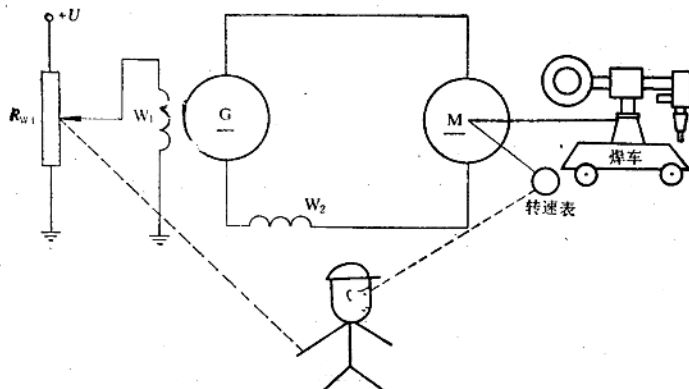


图1-5 小车行驶的人工闭环控制系统

实际速度，一边根据工艺规范的要求进行比较，当发现小车行驶速度偏离希望值时，立即调节电位器 R_{w1} ，使小车行驶速度得到修正，达到工艺规范所要求的数值。这种开环控制系统加上人的反馈作用，就形成了一个人工闭环控制系统。

这种输出量与输入量进行比较后，根据其差值实时控制，从而使输出量有较准确值的控制系统，称作闭环控制系统。

人工闭环控制在复杂、快速、要求精度高的场合是不能满足要求的，同时也不利于减轻劳动强度。故在自动控制系统中，应用自动控制元件或自动控制器来代替人工操作。图1-6是MZ-1000型自动弧焊机的送丝控制机构。直流电动机M通过减速器，驱动送丝导轮输送焊丝。电动机M的转速决定于直流发电机G的输出电压值（大小和极性）。发电机G有两个激磁绕组 W_1 和 W_2 ，通过电位器 R_w 供给一个给定电压 u_g ，在 W_1 中产生磁通 Φ_1 ， W_2 由电弧电压（采用交流弧焊电源时经整流） u_a 在 W_2 中产生磁通 Φ_2 ， Φ_1 和 Φ_2 的方向相反。当 Φ_1 单独存在

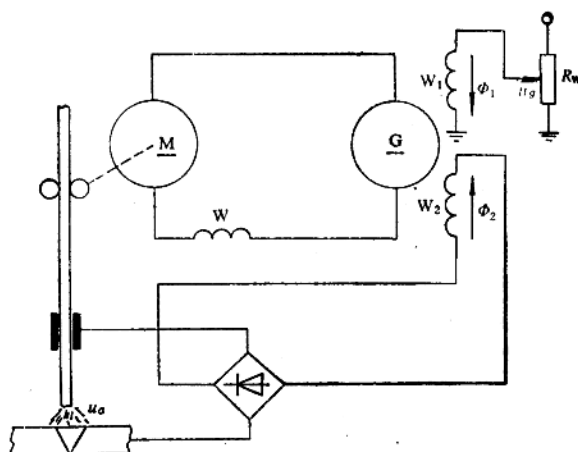


图1-6 MZ-1000型自动弧焊机送丝机构的控制系统

时, 发电机G输出端电压的极性, 使电动机M向退丝方向转动; Φ_2 单独存在时正相反, 电动机M向送丝方向转动。正常焊接时 $\Phi_2 > \Phi_1$, 电动机M驱动送丝机构有一个稳定的送丝速度。

由于某种原因 (如遇到固定焊点) 弧长突然缩短, 电弧电压 u_a 随之降低致使 Φ_2 减小。此时, $\Phi_2 - \Phi_1$ 的差值减小 (如变化过大, Φ_2 可能小于 Φ_1) 发电机G输出电压减小 (或改变极性), 使焊丝给送速度减慢 (或反向退丝), 电弧长度迅速恢复。反之, 电弧长度突然增大时, 系统由于相同原理使电弧长度迅速缩短, 恢复原有弧长使系统得以稳定地工作。在这种系统中, 依靠系统本身输出量 (弧长亦即电弧电压) 对系统的反作用, 在工作过程中不断修正输出量的作用称做反馈。这种反馈作用是构成闭环控制系统所必需的一环。因此, 闭环控制系统又称做反馈系统。但是, 要注意到这种反馈是负反馈 (即按输出量与输入量相减后的差值进行控制的), 否则系统是无法正常工作的。

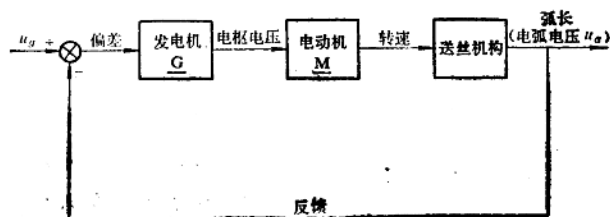


图1-7 MZ-1000型自动弧焊机送丝机构闭环控制系统框图

图1-7 是上图的闭环控制系统框图。从图中可以明显地看出, 作用信号是按闭环传递的, 系统的输出对控制作用有直接影响。在较复杂的控制系统中, 反馈回路可能不止一个。若一个自动控制系统中只控制一个物理量, 则此系统称为单变量或单闭环回路的自动控制系统; 控制二个以上物理量的, 称为多变量或多闭环回路的自动控制系统。在多闭环回路自动控制系统中, 被控制量可以是控制对象的几个 (并列的) 输出量, 也可能是测量、放大或执行环节中的某一些输出量。这种包含有局部反馈控制系统的多变量自动控制系统, 又称为串级控制系统。此外, 也有直接检测干扰参数并送入控制元件输入端, 来达到自动控制目的的,

称做前馈控制。显然，反馈控制是被控制量发生偏离之后才起控制作用，而前馈控制则是被控制量发生偏离之前就起控制作用的。前馈控制通常都和反馈控制在一起应用。这种含有前馈控制的反馈控制系统称为前馈-反馈自动控制系统。

控制系统中采用负反馈，除了降低系统误差提高控制精度外，也和反馈放大器一样，还能使系统对内部参数的变化反应不灵敏，这样系统中元件参数的变化或非线性的影响就会大大降低。采用不很精密、成本较低的元件来构成控制系统，达到一定的控制要求，这是开环控制系统无法做到的。

由于实际中每一个控制元件或系统都具有质量、惯性或延滞作用，因此控制系统是一个动态系统。这样对于一定的输入，系统的输出往往会引起振荡。由于采用了反馈环节，就有可能使系统的振荡加剧，严重时甚至无法工作。因而，反馈改变了控制系统的动态性能，增加了问题的复杂性。

(三) 闭环控制系统的组成

通过上面对闭环控制系统工作过程的分析可以看出，对于一个闭环控制系统来说，不管其结构多么复杂，用途尽管各种各样，但它们都是由一些具有不同职能的基本元件所组成。图1-8就是一个典型的闭环控制系统框图，它表示了这些元件在系统中的位置和其相互间的关系。

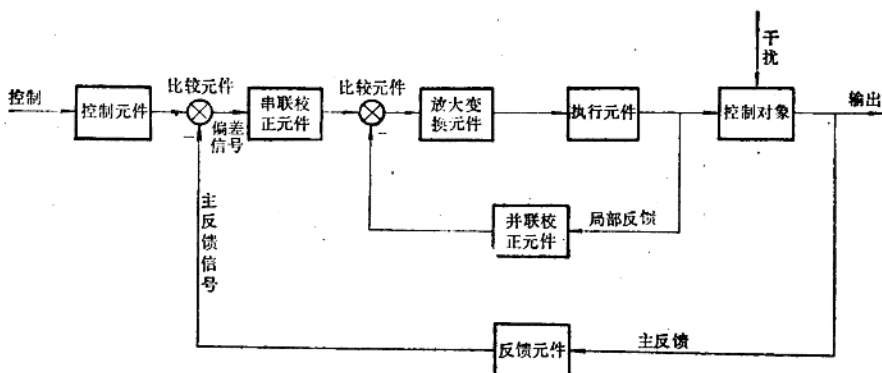


图1-8 典型闭环控制系统框图

作为一个典型闭环控制系统，应该包括检测偏差所必需的反馈元件、控制元件、比较元件，以及用以纠正偏差所必需的放大变换元件和执行元件。下面将它们的功能作扼要的介绍。

反馈元件 它产生与被控制量有一定函数关系的反馈信号，这种反馈信号可以是被控制量本身，也可以是它的函数或导数。如图1-6中发电机G的激磁绕组 W_f ，就是该系统的反馈元件。

控制元件 主要用于产生控制信号，如图1-6中电位器 R_w 是控制元件。

比较元件 它用来比较控制信号和反馈信号，并产生反映两者差值的偏差信号的元件，如图1-6中的发电机G，就是该系统的比较元件。

放大变换元件 把偏差信号放大并进行能量（如机械、电气、液压等）转换，使之达到足够幅值和功率的元件。如图1-6中的发电机G和电动机M组，就是该系统的放大变换元件。在这里发电机G兼有反馈、比较和放大作用，电动机M则起着能量转换作用。

执行元件 它根据控制信号的运动规律, 直接对控制对象进行操作。如图1-6中的焊丝给送轮, 就是该系统的执行元件(也可将电动机M、减速器包括在内的送丝系统视为该系统的执行元件)。

控制对象 简称对象, 就是控制系统所要操作的对象。它的输出量即为系统的被控制量(亦即系统的输出)。如图1-6中电弧长度就是系统的控制对象, 而电弧电压则为被控制量。

以上是构成闭环控制系统的最基本的不可缺少的部分。此外, 有的闭环控制系统还有为了改善系统的控制性能而加入的校正元件。串联在系统前向通路内的校正装置称为串联校正元件; 接成反馈形式的校正装置称为并联校正元件(或称局部反馈校正元件)。一般交、直流测速发电机可用作校正元件。

§1-3 自动控制系统的类型

自动控制系统按不同角度, 有多种分类的方法。例如, 在上一节中是按信号传递途径, 分为开环控制系统和闭环控制系统。为了便于研究系统的实质, 正确确定研究系统的方法和选用合适的数学工具, 下面介绍几种常用的系统分类方法:

一、自动镇定系统与随动系统

自动镇定系统 在这种系统中其输入量为恒值, 或随时间缓慢变化。系统的基本任务是保证在任何干扰的作用下, 使输出保持恒定的子定值。所以这种系统又称做定值控制系统。恒温、恒压、恒速、恒定电压、恒定电流及恒频率等自动控制系统均属这一类。

随动系统 在这种系统中有一类, 它的输入量不是时间的解析函数, 如何变化事前无法估计(随着时间任意变化)。控制系统的任务是在各种情况下, 保证其输出以一定的精度, 随输入量的变化而改变。所以, 这种系统有时也称做跟踪系统。运动目标的自动跟踪系统以及自动测量仪器系统等均属于这一类。

还有一类, 它的输入量随时间有一定的变化规律, 希望系统的输出也随着变化。这类系统称做程序控制系统。

二、线性系统与非线性系统

线性系统 自动控制系统是一个动态系统, 它的工作状态和性能, 一般可用微分方程来描述。当系统各元件的输入-输出特性为线性特性, 系统的状态和性能可以用线性微分(或差分)方程来描述时, 则称这种系统为线性控制系统。线性控制系统中各元件的静特性必须是直线关系的。如图1-9a、b所示。线性系统的运算应符合以下规律:

(一) 齐次性 如某一线性系统对输入信号 $x(t)$ 的响应是 $y(t)$, 若输入扩大 a 倍则其响应亦应扩大 a 倍。如图1-10所示, 以式表示为

$$x(t) \rightarrow y(t)$$

则

$$ax(t) \rightarrow ay(t)$$

式中“ $\rightarrow$ ”表示响应。

(二) 叠加性 如有若干个输入信号作用于线性系统, 输入信号分别为 $x_1(t)$, $x_2(t)$ ……而其响应则分别为 $y_1(t)$, $y_2(t)$ ……, 叠加后输入信号之和应为它们的响应之和。如图1-11所示, 以式表示为

$$x_1(t) \rightarrow y_1(t)$$

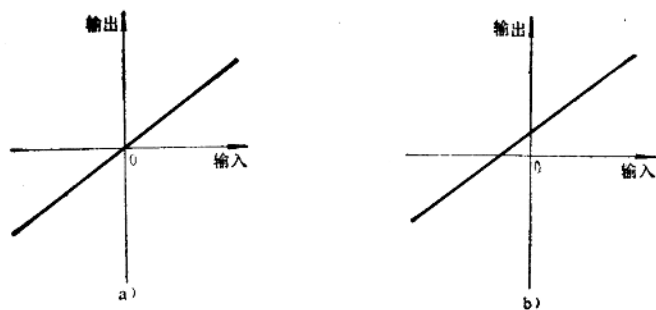


图1-9 线性元件的静特性

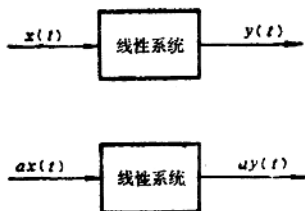


图1-10 线性系统的齐次性

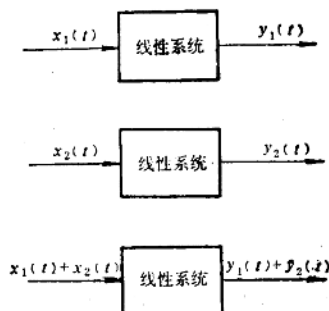


图1-11 线性系统的叠加性

则

$$x_2(t) \rightarrow y_2(t)$$

$$x_1(t) + x_2(t) \rightarrow y_1(t) + y_2(t)$$

式中的 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 可以相同也可以是不相同的。

齐次性和叠加性可以统一地表示为

$$a_1 x_1(t) + a_2 x_2(t) \rightarrow a_1 y_1(t) + a_2 y_2(t)$$

非线性系统 当系统中只要有一个非线性特性的元件时，系统就要用非线性方程来描述。用非线性方程描述的系统，称为非线性系统。例如系统中应用了如图1-12所示的具有非线性元件时，它就是非线性系统。叠加原理对非线性系统是不能应用的。

严格地讲，实际上是不存在线性系统的，各种系统总是不同程度地具有非线性因素。例如系统中应用的放大器和铁磁元件，都有饱和特性；运动部件有间隙、摩擦或死区；弹簧也有非线性特性等。有时为了获得良好的性能，特地加入非线性元件。但是，除了故意加入非线性元件以外，当系统的信号或变量变化的范围不大，或者非线性不严重时，为了研究方便起见，常常人为地把它简化为线性系统。这样处理主要由于用线性方程来描述时，从数学上求解较为简单方便。而非线性系统只能用非线性方程来描述，数学上较难处理。目前尚无统一的方法来研究不同类型的非线性问题。

三、单输入单输出系统和多输入多输出系统

单输入单输出系统 这种系统比较简单，输入、输出信号各为一个。系统中主反馈（从系统输出至系统输入的反馈）只有一个。但是，有时为了改善系统质量，还可以加局部反

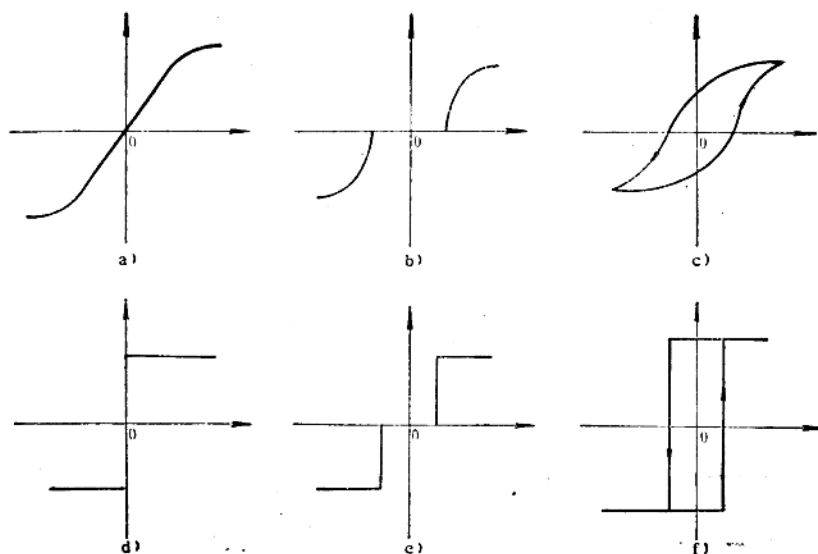


图1-12 非线性元件静特性

馈。所以单输入单输出反馈控制系统，可以是单回环的也可以是多回环的。图1-7中的控制系统属单回环的反馈系统，而图1-8中的控制系统则属多回环的反馈系统。

多输入多输出系统 这种系统不仅输入、输出信号多，反馈回路也多，而且相互之间有耦合作用，所以相当复杂。分析研究这种系统，工作量大，往往要利用计算机来解决。由于系统中变量较多，所以又称它为多变量系统，其系统框图如图1-13所示。

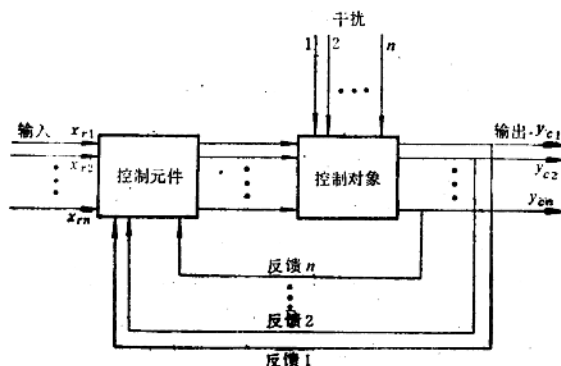


图1-13 多输入多输出系统示意图

四、有静差系统和无静差系统

有静差系统 这种系统的特征是，稳定状态下被控制量的值与外来干扰的大小有关。在这种系统中控制装置固然可以减小外来干扰所引起的误差，然而却不能使被控制量准确地达到给定值。外来干扰越大被控制量的稳定值与给定值相差也越大。

无静差系统 这种系统的特征是，在稳定状态下被控制量的值，总是保持恒定，它与外

界干扰无关。

此外,随着电子及计算机技术的发展,现代高精度的自动控制系统,已在工业生产中付诸实现。这些控制系统可分为:最优控制系统、自适应控制系统及自学习控制系统。

最优控制系统 所谓“最优”是指控制系统对某种性能标准实现最佳的控制。这里的性能标准亦称做性能指标(或目标函数):最佳是指目标函数为最大或最小值。例如,在焊接过程中往往希望生产力最高、变形最小等。

自适应控制系统 顾名思义,自适应控制即系统本身有自动适应的能力。当系统特性、元件参数变化或干扰作用很剧烈时,控制系统能自动测量这些变化,并自动改变系统结构与参数,使系统适应环境的变化,并始终保持最优的性能指标。例如,在弧焊过程中出现不利条件(如焊缝的偏离、熔深及熔宽不符合要求等)时,系统能自动检测和调整各种变量,使规范参数随时处于最佳的状态,这就是自适应控制。

自适应功能主要是自动辨识、自动判断和自动修正。按适应功能与系统结构特点的不同,可分为输入信号的自适应、参数与特性的自适应、最优自适应、自整定、自学习、自组织以及自修理等各类自适应系统。

一般情况下,若系统特性变化不显著或干扰作用不剧烈时,闭环最优控制便可以实现性能最优的控制。所以,最优控制实质上是自适应控制的一种特殊形式。

自学习控制系统 自学习控制是一种较完善的自适应控制,它具有辨识、判断、积累经验和学习的功能。在控制系统的特性事先不能确切地知道,或者不能准确地用数学方法描述时,采用自学习控制系统可以在工作过程中不断地检测、估计系统的特性,并决定最优控制方案,实现性能指标最优的控制。

§1-4 焊接自动控制的特点

从自动控制的观点来看,焊接特别是电弧焊和其他加工过程的控制有着不同的特征。所以,焊接自动控制也有和其他加工工艺过程自动化控制不同的特点。在一个自动控制系统中,首先必须选择能恰当地表现控制对象本来面目的物理量作为被控制量。其数目不一定是—一个,可以是若干个。其次要研究检出此被控制量的手段,确定合理的检测元件。从构成自动控制系统的目的来说,被控制量必须能在动态过程中进行测量。凡是动态过程中不可能测量的变量,不具备作为被控制量的条件。所以,从测量、检测方面来说,必须把被控制量的测量性的好坏作为选定被控制量的条件。当直接测量作为直接变量的被控制量有困难或不可能时,可检测与被控制量动态、静态特性—一对应的二次量,并把它作为被控制量的检测值,这种二次量称作间接变量。再者,要想能动地作用于控制对象,还必须确定控制元件和操作量,并希望操作量与被控制量应相适应。这时对于操作量与被控制量的因果关系,必须给予充分的考虑。

下面参考上述因素来研究焊接特别是电弧焊自动控制的特点。

一、被控制量选择的特点

研究电弧焊自动控制时,其控制对象必然是电弧本身,这就产生了用什么样的物理量作为被控制量,才能恰当地反映出电弧焊对象这样一个问题。当焊接过程正在进行时,如果可以在电弧的附近检测(前提是反馈控制),就必须考虑近弧区诸量的检测。如果把距离电弧

较远地方的检测量作为被控制量就有一个时间延迟的问题。将焊接过程中电弧的直接变量或者间接变量中可以测量的、而且是测量性能良好的量,作为被控制量,那将是最理想的。但是,焊接过程中可能受到各种干扰,使被控制量的检测非常困难。下面我们将作进一步分析:

在电弧焊过程中,可以考虑作为直接变量的被控制量有:

焊缝的熔深;

焊缝的熔宽;

焊缝的截面面积和形状;

有加强高的焊缝外观;

焊缝缺陷的状态等。

然而在上述变量当中,事前能够直接测得的几乎不可能。因此,只能测量其间接变量。可以考虑作为间接变量的被控制量有:

熔池附近的温度和温度梯度;

熔池及其周围的凝固部分和工件的形状;

熔池金属的流动状态;

电弧(或等离子弧)的形状、大小、辉度等。

如前所述,间接变量与直接变量必须在动态、静态特性上一一对应。但是,间接变量的测量也存在不少困难,其原因是:

1. 由于电弧发出的光、热、声波、飞溅等的干扰,在其他领域可使用的测量技术在近弧区无法使用。另外,埋弧焊时因为熔渣的存在也妨碍了有效的测量;

2. 电弧焊多半是工件固定电弧移动,要在有电弧的一面检测,必须使检测器与焊炬连接在一起同时移动。这样就必须使用能沿焊缝移动的长探测头,这是相当麻烦的。另外,使用垫板也会使焊缝背面的检测性能变坏。

3. 因为近缝区金属处于不稳定的过程与不平衡状态,所以对它的检测要测得很准确也是困难的。因此,在考虑电弧焊的自动控制时,就产生了被控制量检测的困难问题。

综上所述,在电弧焊的自动控制系统中,被控制量的检测较为困难。但是,可以在焊接过程中,能考虑出一些恰当的能控制、调整被控制量的操作量,将使问题得以解决,电弧焊时可供作操作量的有:

电弧电压、焊接电流、电弧形状;

焊接速度、送丝速度;

保护气体流量、焊剂供给量;

焊炬的位置和倾角(姿态);

焊件的位置及倾斜度;

带不带垫板操作等等。

要组成自动控制系统,当然要在所选定的被控制量中,选出有决定意义的一个或多个物理量来定出操作量。对操作量与被控制量间的静态和动态关系,事先就要有充分的了解。为了弄清楚它们的静态关系,最好进行实验,但动态关系则往往不大容易弄得十分清楚,故电弧焊的自动控制中操作量的选择也较复杂。

二、干扰因素多

干扰因素有两种,一种是作用于控制元件的,使前面的操作量发生变化。另一种是焊接