

学者书屋系列

弧焊质量 自动控制基础

张立斌◎主编
荣守范◎主审



天津大学出版社

Tianjin University Press

学者书屋系列

弧焊质量自动控制基础

	张立斌	主 编
廖 平	李星逸	副主编
荣守范		主 审

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书内容包括:绪论、自动控制系统的一般概念、自动控制系统的数学模型与传递函数、弧焊电源与焊接电弧的电特性及其数学模型、自动控制系统分析、弧焊自动控制系统中常用的传感器及电弧能量与焊缝参数控制系统。

本书在选材上注意了内容的系统性、完整性和先进性;在阐述方法上尽量做到由浅入深,循序渐进和简明扼要。可供高等工业院校焊接专业师生使用,亦可供广大焊接工程技术人员及相关技术人员参考。

ISBN 978 - 7 - 81073 - 044 - 0

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm × 960mm 1/16
印 张 14.5
字 数 183 千字
版 次 2007 年 10 月修订
印 次 2007 年 10 月第 2 次印刷
定 价 29.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

由于弧焊工艺方法的特殊作业条件(高温、强光、飞溅、烟尘),也由于对焊接产品质量和生产率的要求愈来愈高,焊接自动化在整个焊接技术发展进程中占有愈来愈重要的地位。实践证明,采用自动控制技术是进一步提高焊接质量、改善劳动条件、提高劳动生产率的正确途径。同时,它也是广大焊接工程技术人员致力研究解决的重要课题。

本书结合弧焊工艺的实践,比较全面地介绍了如何运用自动控制理论来分析、解决弧焊自动化中的理论与实践问题,力图帮助读者掌握分析和解决弧焊工艺中常规自动控制问题的方法和手段。

本书第一章扼要地介绍了弧焊质量自动控制的主要内容与发展现状。第二、三章讲述了自动控制理论的主要内容,包括自动控制系统的概念、自动控制系统的组成与分类、系统的数学模型、传递函数与方块图等。第四章介绍了焊接电弧与弧焊电源的数学模型与传递函数。第五章比较全面地阐述了自动控制系统的时域分析方法、频域分析方法、控制系统的稳定性及系统的校正。第六章重点介绍了弧焊质量自动控制过程中常用的传感器,包括焊缝跟踪用传感器与焊缝熔透控制用传感器。最后,简要地介绍了焊接电源、调节器、电弧与焊缝系统“YTHF”的分析方法。

本书在选材上注意了内容的系统性、完整性和先进性;在阐述方法上尽量做到由浅入深,循序渐进和简明扼要。可供高等工业院校焊接专业师生使用,亦可供广大焊接工程技术人员及相关技术人员参考。

本书第一、二、五章和第六章由张立斌同志编写,第三章和附录由李星逸同志编写,第四、七章由廖平同志编写。全书由张立斌同志统稿,荣守范同志主审。在编写过程中参考了大量的论文、报告及参考书,因此

对原资料的作者深表谢意。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中错误与不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
1-1 焊接自动控制技术的发展	1
1-2 弧焊质量自动控制的基本原理	3
1-3 弧焊质量自动控制的特点	5
第二章 自动控制系统的一般概念	9
2-1 概述	9
2-2 自动控制系统的组成及其基本类型	10
2-3 开环控制与闭环控制系统	16
第三章 自动控制系统的数学模型与传递函数	21
3-1 自动控制系统的数学模型	21
3-2 传递函数	32
3-3 自动控制系统的方框图	39
第四章 弧焊电源与焊接电弧的电特性及其数学模型	43
4-1 弧焊电源的静特性及其数学模型	43
4-2 弧焊电源的动特性	47
4-3 弧焊电源动态响应分析	49
4-4 焊接电弧的电特性	53
4-5 焊接电弧的传递函数	55
第五章 自动控制系统分析	62
5-1 时域分析法	62
5-2 频域分析法	96
5-3 控制系统的校正	125
第六章 弧焊自动控制系统中常用的传感器	139

目 录

6-1	弧焊自动控制系统中传感器的职能与分类	139
6-2	焊缝跟踪系统中常用的传感器	139
6-3	焊接质量自适应控制用传感器	159
6-4	新型传感器	170
第七章	电弧能量与焊缝参数控制系统	184
7-1	概述	184
7-2	熔化极电弧能量参数自动调节系统	186
7-3	非熔化极电弧能量参数自动调节系统	205
7-4	焊缝参数控制系统	207
7-5	YTHF 系统分析	209
7-6	焊接电弧控制系统分析	212
附 录		223
参考文献		224

第一章 绪 论

随着现代焊接技术的不断发展与完善,焊接技术在生产建设中的应用日趋广泛。到目前为止,它已成为一种重要的生产加工手段。无论在日常生活用品,还是在工业、交通运输、航海、航空航天及原子能技术等领域都离不开高效率、低消耗、现代化的焊接技术。因此,如何进一步提高焊接质量、改善劳动条件、提高劳动生产效率、降低消耗,已成为广大焊接工程技术人员的强烈愿望与致力研究的重要课题。实践证明,采用自动控制技术是达到上述目的的正确途径。所以,焊接自动控制技术受到了很大的重视,并得到了较快的发展。

1-1 焊接自动控制技术的发展

随着现代科学技术的发展,焊接自动控制技术也在不断地发展与完善。早在 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、维护电弧电压(或焊接电流)的稳定和依靠轨道沿焊缝的仿形等功能。如今的焊接自动控制装置与 50 年代相比已经完全不同了。由于焊接工艺方法的特殊作业条件(高温、强光、烟尘等),也由于对焊接产品质量和生产率的要求愈来愈高,焊接自动控制在整个焊接技术发展进程中占有愈来愈重要的地位。同时,一个完整的自动化焊接系统涉及的问题也很多。

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。如日本和美国等工业发达国家在 80 年代初,焊接自动化程度

就已高达 50% 以上,而前西德则高达 60% 以上。我国却很低,与前述国家同期相比不足 30%。

在控制技术方面,实行了计算机的焊接过程自动控制,多台焊机的计算机群控,并采用了焊接机器人和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,大至对整个焊接生产线及整个工厂所有焊机实现群控。简单的只能根据材料种类、尺寸规格等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或最佳控制,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,已经应用于焊接生产自动线,实现了 CO_2 气体保护焊的全自动化。

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,并不断地进行调整。它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像聚在光导纤维束上,由其将图像传到电视摄像机里,摄像机再依次将图像送往图像处理机(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,控制焊接运动方向、熔池大小及其它参数。

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,已经引起世界各国、各科研部门及企业的极大兴趣。目前,弧焊机器人的生产发展非常迅速。据专家们分析,在一些发达国家中,用于电阻点焊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。因此,世界上一些有名的电焊机制造公司都相继开始研制生产弧焊机器人。

我国焊接自动控制的水平与国外相比有很大差距。但近年来有许多科研单位、工厂、学校正在从事这方面的研究,并已取得了一定的成果。据有关专家预测,到本世纪末,我国微处理机在焊接生产中将有较

大幅度的应用,将有一大批焊接机器人用于焊接生产,焊接机械化、自动化、半自动化程度将达到 40% 左右。

1-2 弧焊质量自动控制的基本原理

一、弧焊质量自动控制的基本概念与内容

弧焊质量自动控制是自动控制技术在焊接生产工艺过程中的具体应用,其目的就是利用自动控制技术来保证焊接产品的质量。所谓自动控制就是指在无人直接参与的情况下,利用控制装置使被控制对象或生产工艺过程自动地按照预定的规律进行。而焊接质量自动控制就是指在无人直接参与的情况下,利用控制装置使焊接生产工艺过程自动地按照预定的规律进行,从而保证焊接产品质量的过程。

在焊接产品的制造过程中,除了焊接工序本身以外,还必须有许多其它加工工序与其配合,因此,焊接自动控制一词可以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在整个制造过程中的综合自动控制。本书介绍的主要内容是弧焊质量自动控制的基础理论及焊接工序本身的自动控制问题。而控制内容的核心是焊接电弧运动轨迹的自动控制和焊接电弧能量的自动控制。

二、焊接质量自动控制过程及其要求

弧焊质量自动控制的主要任务就是焊接电弧的自动控制,亦即焊接电弧的自动调节。通常,它包括电弧运动轨迹的自动控制与电弧能量的自动控制等。我们把焊接电弧看成被控制对象,则焊接质量自动控制的基本过程的方框图如图 1-1 所示。

首先,由检测环节检测出能够反映被控制对象本质的物理量(亦即

被控制量),并经适当的变换与处理后与给定量(即希望值)进行比较,得到偏差信号。该偏差信号再经适当的处理后作为控制信号。它作用在控制调节器上,使被控制量得以恢复,从而控制了被控制对象,稳定了焊接质量。

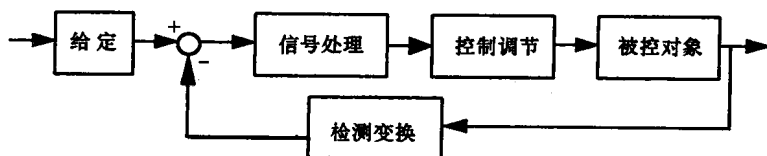


图 1-1 控制系统原理

例如,焊缝跟踪控制系统,在焊接过程中焊炬偏离焊缝时,由传感器把该位移偏差信号检测出来,经适当的变换处理变成了相应的电信号后,与给定值进行比较得到偏差控制信号,该信号再经整流、滤波、放大及功率放大以后推动执行机构动作,纠正焊炬位置使焊接电弧始终对准焊缝,达到自动跟踪的目的。

为了实现自动控制的基本任务,必须对系统在控制过程中表现出的性能提出要求。一般在无外来信号作用时,系统处于平衡状态,系统的输出保持原来的状态。当系统受到外来信号作用时,其输出量必将发生相应的变化。由于系统中总是包含一些具有惯性或贮能特性的元件,因此,输出量的变化不能瞬时完成,而是有一个过渡过程。因此,这一过渡过程的性能是衡量自动控制系统质量的主要指标,它反映了对系统性能的动态要求。此外,对系统还有一定的稳态要求。首先,要求自动控制系统必须是稳定的;其次,要求自动控制系统的过渡过程应有较好的快速性和适当的衰减振荡特性;最后,当自动控制系统的过渡过程结束后,要求其输出量最终应准确地到达希望值,即具有一定的控制精度。

综上所述,对自动控制系统性能的主要要求一般可归结为:

1. 稳定并有一定的裕度。

2.符合要求的瞬态响应。

3.符合要求的稳态响应。

对自动控制系统的要求,除了上述之外,还应该与运行条件及环境以及经济性能等方面的要求。

1-3 弧焊质量自动控制的特点

由于焊接工艺方法的特殊作业条件(高温、强光、飞溅、烟尘),使得焊接特别是电弧焊和其他加工过程的控制相比有着不同的特征。所以,焊接自动控制也有和其它加工工艺过程自动控制不同的特点。在一个自动控制系统中,首先必须选择能恰当地表现被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,可以是多个;其次要研究检测出该被控制量的手段,确定合理的检测元件。从构成自动控制系统的目的来讲,被控制量必须能在动态过程中进行测量。凡是动态过程中不能测量的变量都不能作为被控制量。所以,从测量方面来说,必须把被控制量的测量好坏作为选定被控制量的条件。通常,应选择直接变量作为被控制量,但当直接变量的测量有困难或根本不可能测量时,可检测与被控制量动态、静态特性一一对应的二次变量作为被控制量,此二次变量叫间接变量。由上述的因素不难看出焊接自动控制的特点。

一、被控制量选择的特点

研究电弧焊质量自动控制时,其控制对象必然是焊接电弧本身。因此,选择什么样的物理量来作为被控制量,能恰当地反映出电弧焊对象本质是一个重要问题。当焊接过程正在进行时,若想在电弧的附近进行测量,就必须考虑近弧区内各变量的检测性能。若把距电弧区较远地方的检测量作为被控制量就有一个时间延迟问题。若把焊接过程中电弧

的直接变量或间接变量中可以测量的,而且测量性能良好的量作为被控制量是最理想的。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。

首先,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 H ;

焊缝的熔宽 B ;

焊缝的横截面面积 S 和形状 k ;

有加强高的焊缝的外观;

焊缝缺陷状态等。

在上述诸变量中,几乎不可能进行事先直接测量。因此,只能测量其间接变量作为被控制量。可以考虑作为被控制量的间接变量有:

熔池附近的温度 T 和温度梯度 dT/dX ;

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;

熔池液态金属的谐振状态等。

虽然可以找到间接变量与直接变量在动态、静态特性上的一一对应关系,但是,间接变量的测量也是极其困难的,其原因如下:

1. 近弧区附近干扰因素多。如电弧发出的声、光、热及飞溅等,使得在其它领域可以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. 近缝区内金属处于不稳定的过程与不平衡状态,所以对它们进行准确的测量也相当困难。

3. 电弧焊时,工件与电弧总是处在相对运动状态,要想在有电弧的一面检测,就必须使检测元件与焊炬连在一起同时运动,并使用较长的探头,这是较麻烦的。

4. 由于焊接变形的存在,也给测量带来了困难。因此,在考虑电弧

焊的自动控制时,就产生了被控制量的检测困难问题。但是,在焊接过程中,还存在一些变量,它们能够恰当的控制与调节被控制量,我们称其为操作量。电弧焊时的操作量有:

电弧电压 U_h 、电弧电流 I_h 、电弧形状、焊接速度 v_h 、送丝速度 v_s 、保护气体流量 L/min 、焊剂供给量 g/min 、焊炬的位置与姿态及带不带垫板操作等。

要组成自动控制系统,必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确定出操作量,对操作量与被控制量间的静态与动态间的关系,要先有充分的了解,静态间的关系可方便地从实验中得到,而动态间的关系则不容易弄清楚。故电弧焊的自动控制系统中操作量的选择也较复杂。目前,在焊接生产实际中应用较多的操作量有电压、电流、焊速及焊炬的位置、姿态等。

二、干扰因素多的特点

在焊接系统中,干扰因素可分为两大类,其一是作用于控制元件上的,使前述的操作量发生变化;其二是焊接工艺和材料自身存在的。

属于前一种情况的有:

1. 电源波动引起的变化,如电弧电压、电流、电弧形状及焊接速度;
2. 气源不足或气路障碍引起的变化,如气体流量;
3. 焊剂供给量等变化;
4. 由于焊接位置变化引起的焊炬与工件的相对位置与姿态的变化。

属于后一种情况的有:

1. 工件厚度、形状及成分的改变;
2. 坡口及间隙的尺寸、形状变化;
3. 对熔池作用力的改变;
4. 工件热物理性能的变化等。

上述作用于电弧焊自动控制系统中的干扰具有如下特点:

1. 对控制对象的影响大；
2. 与被控制量的测量相比，易检测出的干扰较多。

三、控制方式的特点

由于电弧焊过程中，干扰因素多和被控制量的检测又较困难，致使电弧焊工艺所采用的自动控制方式多数属于干扰控制，而采用完全的反馈控制系统较少。

第二章 自动控制系统的一般概念

2-1 概 述

自动控制就是指在无人直接参与的情况下,利用控制装置使被控制对象或工艺过程自动地按照预定的规律运行。在工业生产过程中,诸如对频率、压力、流量、温度、原料、燃料成分比例等方面的控制,都是自动控制技术的重要组成部分。在工程和科学技术的发展中,自动控制技术的发展起着极为重要的作用。如导弹能够准确地命中目标,人造卫星能够按预定的轨道运行并返回地面,宇宙飞船能够准确地在月球着陆并返回地面,都是自动控制技术高速发展与应用的结果。由于自动控制技术在各个领域中的广泛应用,不仅提高了劳动生产率和产品质量,改善了劳动条件,而且在人类探索新能源,发展空间技术和改善人民物质生活条件等方面都起着极为重要的作用。

焊接自动控制是生产过程中自动控制技术的一个分支,因此,它的理论基础也就是自动控制理论。根据自动控制技术发展的不同阶段,目前自动控制理论可以分为两大部分,即“古典控制理论”和“现代控制理论”。

古典控制理论主要研究单输入、单输出一类自动控制系统的分析和设计问题。它的数学工具是传递函数,它的主要方法是时域法、频域法和根轨迹法。由于古典控制理论的发展较早,现已成熟,在工程上也比较成功地解决了诸如伺服系统自动控制的实际问题。

现代控制理论是 60 年代发展起来的,它主要研究多输入、多输出、

变参数、非线性、高精度与高效能等控制系统的分析和设计问题。它的工具是矢量微分方程理论、矩阵论和集合论,它的主要方法是状态空间法。现代控制理论是随着科学技术发展和工程实践的需要而发展起来的。它无论是在数学工具、理论基础,还是在研究方法上都不是古典控制理论的简单延伸和推广,而是认识上的一次飞跃。最佳滤波、最优控制、系统识别和自适应控制理论等都是现代控制理论领域研究的主要课题。特别是近年来电子计算机技术和现代应用数学研究的迅速发展,使现代控制理论又在研究系统工程和人工智能等方面有重大发展。

本书介绍的焊接质量自动控制系统的理论基础只限于古典控制理论部分。为此,首先将自动控制理论的基本概念和基本理论加以介绍。

2-2 自动控制系统的组成及其基本类型

一、自动控制系统

所谓自动控制系统就是指能够对被控制对象的工作状态进行自动控制的系统。它一般由被控制对象和控制装置组成。被控制对象是指需要实现自动控制的元件、设备或生产工艺过程;而控制装置则是指对被控制对象起控制作用的设备总和。图 2-1 表示了控制装置与被控制对象二者之间的关系。系统的输入是作用于系统的激发信号;其中使系

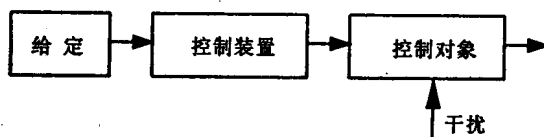


图 2-1 自动控制系统示意图框图