

电子控制的  
弧焊电源

# 电子控制的 弧焊电源

黄石生 编著

机械工业出版社

机械工



# 电子控制的弧焊电源

黄石生 编著



机械工业出版社

电子控制的弧焊电源是在近20年内发展起来的新型弧焊电源。

书中除对具有更新换代意义的场效应管式、晶体管式、晶闸管式弧焊逆变器和高性能的机器人弧焊电源、微机控制的弧焊电源进行论述之外，还对晶闸管式、晶体管式、矩形波交流弧焊电源作了详细介绍。对上述各类型的弧焊电源的技术关键、电气性能进行综合分析和比较，还根据编著者的实践体会，提出正确选择使用和设计的原则。

本书共有六章，内容主要取材于编著者及其合作者多年的科研成果和搜集消化国内、外有关的科技生产总结和文献，内容丰富、新颖，科技成果先进，理论联系实际。本书可供从事焊接工艺设备、机电行业的工程技术人员作科研、生产的参考书之用，也可作高校、专科学校师生作《弧焊电源》课程的教学参考书以及厂矿企业培训工程技术人员的教科书。

## 电子控制的弧焊电源

黄石生 编著

责任编辑：董连仁 任锐贞 责任校对：宁秀娥

封面设计：郭景云 版式设计：霍永明

责任印制：卢子祥

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张13<sup>3</sup>/<sub>4</sub>·字数337千字

1991年6月北京第一版·1991年6月北京第一次印刷

印数 0,001—4,800·定价：9.50元

ISBN 7-111-02544-X/TN·45

## 前 言

近20年来,以电子控制的弧焊电源为主体的新型弧焊电源发展很快,为适应科研、教学、生产的需求,笔者编著了《电子控制的弧焊电源》科技参考书。

本书主要论述晶闸管式、晶体管式弧焊电源、弧焊逆变器、矩形波交流弧焊电源和微机控制的弧焊电源等的工作原理、结构、特点和应用,并对电子控制的弧焊电源的性能进行综合分析,还介绍了它们的正确选用和设计原则。

本书内容丰富、理论联系实际,可供从事焊接工艺及设备科研生产的工程技术人员作参考书,也可作为高校《弧焊电源》课程的主要教学参考书之一和培训工程技术人员的教材。

黄石生教授编著第一、二、三、六章、概论和附录,并负责全书的统稿。侯迈副教授编写第四、五章。全书的主审由董锦垣、李荫中两位高级工程师担任。该书在编著过程中,承蒙兄弟院校、所、厂有关专家、教授的大力支持和指导,范雪红、邝明察两位研究生给予部分工作上的协助,在此谨致以衷心的感谢!

鉴于作者水平有限,书中可能存在不少缺点和错误,敬请读者批评、指正。

笔 者

1990年元月

## 主要符号说明

$I_f$	焊接电流	T	变压器
$U_f$	电弧电压	L	电抗器、电感
$U_0$	空载电压	B	光电耦合器
$f$	频率	M	电压、电流检测电路
$\eta$	效率	G	给定电压电路
$P$	功率	N	运算放大器
$\cos\varphi$	功率因数	VT	晶闸管
$U_K$	控制电压	V	晶体管 场效应管
$U_g$	给定电压	VD	二极管 稳压二极管
$I_g$	给定电流	VC	整流器
$U_{FK}, mU_f$	反馈电压	FL	分流器
$I_{FK}, nI_f$	反馈电流	Q	开关
$U_d$	直流电源电压	SB	按钮
$U_a$	直流电压	RP	电位器
$FS$	负载持续率	C	电容器
$i$	电流瞬时值		
$u$	电压瞬时值		

# 目 录

概论 .....	1	§4-2 硅二极管—电抗器式类矩形波 交流弧焊电源.....	124
第一章 晶闸管式弧焊电源.....	6	§4-3 晶闸管—电抗器式矩形波交流 弧焊电源.....	126
§1-1 概述.....	6	§4-4 逆变式矩形波交流弧焊电源.....	139
§1-2 三相桥式晶闸管弧焊整流器.....	13	§4-5 双电源—电抗器式矩形波交流 弧焊电源.....	142
§1-3 带平衡电抗器双反星形晶闸管 弧焊整流器.....	32	§4-6 矩形波交流弧焊电源的性能.....	143
§1-4 模拟式晶闸管弧焊整流器.....	43	§4-7 矩形波交流弧焊电源的设计计算.....	144
§1-5 晶闸管式交流弧焊电源.....	47	§4-8 矩形波交流弧焊电源的优缺点及 其应用.....	149
§1-6 晶闸管式弧焊整流器动特性的 控制.....	50	第五章 微机控制的弧焊电源.....	152
第二章 晶体管式弧焊电源.....	55	§5-1 概述.....	152
§2-1 概述.....	55	§5-2 微机控制的晶体管弧焊电源.....	153
§2-2 模拟式晶体管弧焊电源.....	56	§5-3 微机控制的晶闸管弧焊电源.....	166
§2-3 开关式晶体管弧焊电源.....	63	§5-4 机器人专用弧焊电源.....	178
§2-4 晶体管式脉冲弧焊电源.....	71	第六章 电子弧焊电源的性能与 设计 .....	180
§2-5 晶体管式弧焊电源技术问题 讨论.....	76	§6-1 电子弧焊电源的性能和调节 参数.....	180
第三章 弧焊逆变器 .....	83	§6-2 电子弧焊电源的设计原则.....	192
§3-1 概述.....	83	§6-3 积木式结构弧焊电源的设计.....	202
§3-2 晶闸管式弧焊逆变器.....	86	附录 电子控制的弧焊电源产品 主要技术参数 .....	207
§3-3 晶体管式弧焊逆变器.....	102	主要参考文献.....	213
§3-4 场效应管式弧焊逆变器.....	116		
第四章 矩形波交流弧焊电源.....	123		
§4-1 概述.....	123		

# 概 论

电子技术和电子器件的发展推动了世界上各种工业技术的发展，同时也促进了弧焊电源的发展。电子控制的弧焊电源就是在这种发展形势下问世和成长的，进入焊接生产领域已有约20年的历史。它的出现使弧焊电源的发展进入一个新的时代，并给焊接技术带来了新的希望，使其具有更强大的生命力。

## 一、电子控制的弧焊电源的定义

弧焊电源是电弧焊机中的核心部分，是对焊接电弧提供能量的一种专用装置。它具有符合电弧焊接所要求的电气特性，这种特有的电气特性主要包括：外特性（也称静特性）、调节特性、动特性及可控性等（或归结为静、动特性及控制特性）。

对传统的弧焊电源的外、动特性进行控制的方式有两种：机械控制和电磁控制。采用机械装置来控制外、动特性的弧焊电源有动铁式、动圈式、抽头式弧焊变压器、整流器等。它们靠机械移动铁心或绕组的位置，或换接抽头来改变漏抗和控制漏抗，从而控制外特性，其外、动特性主要取决于弧焊电源本身的结构。这种类型的电源称为机械控制的弧焊电源。

采用电磁控制静、动特性的弧焊电源有串联饱和电抗器式弧焊变压器、磁放大器式弧焊整流器和弧焊发电机等。它们靠改变主回路中饱和电抗器的磁饱和程度或发电机磁路去磁程度来控制外特性，其外、动特性也主要取决于弧焊电源本身的结构。这种类型的电源称为电磁控制的弧焊电源。

电子控制的弧焊电源，简称为电子弧焊电源。它无论是外特性还是动特性，都完全借助于电子线路（含反馈电路）来进行控制，包括对输出电流、电压波形的任意控制，而与本身结构没有决定性的关系，这是全电子控制的弧焊电源。此外，还有一种其外特性用电子控制、而动特性取决于焊接回路的感抗或所用主变压器的一次侧和二次侧感抗或漏抗，即取决于本身结构，这也属于电子弧焊电源。

## 二、电子控制的弧焊电源的基本原理

电子弧焊电源一般都采用闭环反馈系统控制它的外、动特性。它的基本原理方框图如图0-1所示。

由图可见，电源的供电系统是由电子功率系统和电子控制系统调节，而其输出又由检测电路M监控。从检测电路M取得的信号与给定电路G的给定值比较之后，将其差值 $e$ 经放大器N放大，然后再送往电子控制系统和电子功率系统进行调整，从而实现了整个闭环电路的反馈控制。

在这里，给定电路可以给出一个可调的给定电压（标准电压），也可以给出一个对应于特定规范的变量函数（脉冲信号）；而反馈信号既可正比于输出电流，也可正比于输出电压，

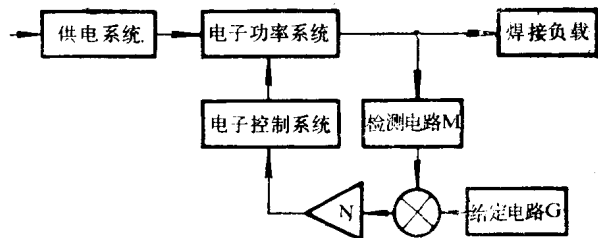


图0-1 电子弧焊电源基本原理方框图

或是两者的适当组合，从而得到任意形状的外特性。

所有电子弧焊电源的共同点是，都有一个电子功率系统和一个电子控制系统。

电子控制系统为纯模拟电路，用于产生所需要的静态和动态特性。其重要组成部分是静态单元和动态单元，它们可以预先确定弧焊电源的静态和动态特性。普通弧焊电源，即传统式弧焊电源就没有这种单元。对于普通弧焊电源来说，其静态和动态特性取决于自身的结构形式——主变压器一、二次绕组和焊接回路的电感和电阻值。而对于电子弧焊电源的静态单元来说，它要确定电流—电压特性曲线族中外特性曲线的位置，即对外特性进行控制。因为外（静态）特性曲线取决于输出空载电压和短路电流或者是目标工作点和特性曲线斜率，故通过改变简单的控制信号就可以给出各种焊弧过程所需的基本外特性，并由闭环反馈系统来实现。例如，熔化极气体保护焊（MIG/MAG）要求采用平特性，即小斜率特性曲线（ $0.5\text{V}/100\text{A}$ 至 $5\text{V}/100\text{A}$ ），此时，采用电压负反馈（反馈信号正比于输出电压），使反馈电压与给定电路的给定电压值比较，通过将差值放大并送往电子控制系统和电子功率系统进行调整，就可以在输出端获得平特性。又如，钨极惰性气体保护焊（TIG焊）需选用恒流特性，即很大斜率特性曲线（ $I_r \neq f(U_r)$ ）。此时，可用电流负反馈（反馈信号正比于输出电流）来获得恒流特性。对于手工弧焊或其它弧焊方法，要求下降特性或任意特性，则需按一定比例取电压反馈和电流反馈信号的组合来获得所需要的外特性。图0-2中的外特性曲线 *a* 表示恒流特性；*b* 表示平特性（恒压特性）；*c* 表示下降特性或任意特性。

这样产生的外特性，已经不是功率系统本身的特性了，而是由电子静态单元确定的特性。静态单元可以确定焊接过程实际工作点与编程间的偏差，并借助反馈控制系统将其调整至原工作点，并由电子控制的动态单元使弧焊电源满足弧焊工艺的需求，控制着熔滴有“节奏”地过渡，尽量减少飞溅。动态单元取代了普通弧焊电源焊接回路中的电感线圈，它可以控制电子功率系统。因此，静态单元和动态单元的组合工作，就可以使电子弧焊电源具有所要求的外、动特性。

电子控制系统的质量是电子弧焊电源质量的决定因素之一。它应能通过工作参数、焊接电流和焊接电压来实现对焊接过程的监督，并借此对功率系统进行正确的动态控制，从而实现过程控制。

电子功率系统的质量是电子弧焊电源质量的决定因素之二。从调节意义上来说，它应能提供最高的反应速度。就目前而言，基本上可以把电子功率系统归纳为三种不同形式：（1）模拟型功率系统 其反应时间最短（ $30\sim 50\mu\text{s}$ ）；（2）二次侧分频（开关）型功率系统 其反应时间较长（ $300\sim 500\mu\text{s}$ ）；（3）一次侧分频（开关）型功率系统 其反应时间也较长（ $300\sim 500\mu\text{s}$ ）。这三种形式电子功率系统的任务都是把微弱的电控信号放大为大功率信号。从基本原理上可以把它们与音响设备的末级放大器相比。这一放大器的质量愈好，它输出的功率信号与控制信号就愈接近，其工作性能也就愈好。有趣的是对电子弧焊电源的功率系统所提出的要求和其反应的速度恰好与通讯技术在同一个数量级之内。

这里必须指出，一个电子功率系统，不管是在一次侧分频型、二次侧分频型还是在模拟型工作，它本身并不能焊接，它必须与电子控制系统紧密结合起来。这正如音响设备的放大器，假

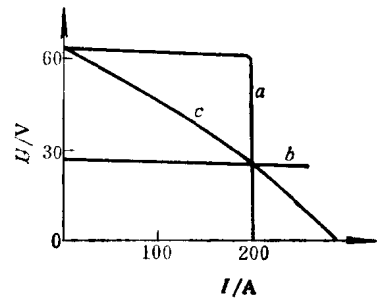


图0-2 电子弧焊电源的外特性曲线



如不接通信号源,它就放不出音乐来。控制系统给功率系统输送小功率的控制信号,决定功率系统何时干什么,何时输出功率。这种电子的控制方法就像音响设备一样,其控制系统是一个具有一定变化规律的信号源(例如唱片、录音带等)。如果这种控制信号源只能用于已编好程序的钨极惰性气体保护焊,那么,它就不能用于工作性质完全不同的金属熔化极气体保护焊了。因为这时应考虑不同焊接工艺情况下的复杂因素,例如,燃弧阶段、短路阶段和重新起弧等。这样,用于控制电子弧焊电源的功率系统的信号不仅要取决于事先给定的参数,还要随着瞬时过程状态而改变。只有使控制系统能够识别瞬时过程状态,并在这个基础上去正确地控制功率系统,才能由功率系统和控制系统组成一个完整的电子弧焊电源。

### 三、电子控制的弧焊电源的分类、特点和应用

#### (一) 电子弧焊电源的分类

电子弧焊电源根据它的电子功率系统工作形式的不同,可以分为模拟型、一次侧分频(开关)型和二次侧分频(开关)型等三大类型,再根据它们的功率器件、主电路及输出形式的不同,又可以细分为多种种类,详见图0-3。

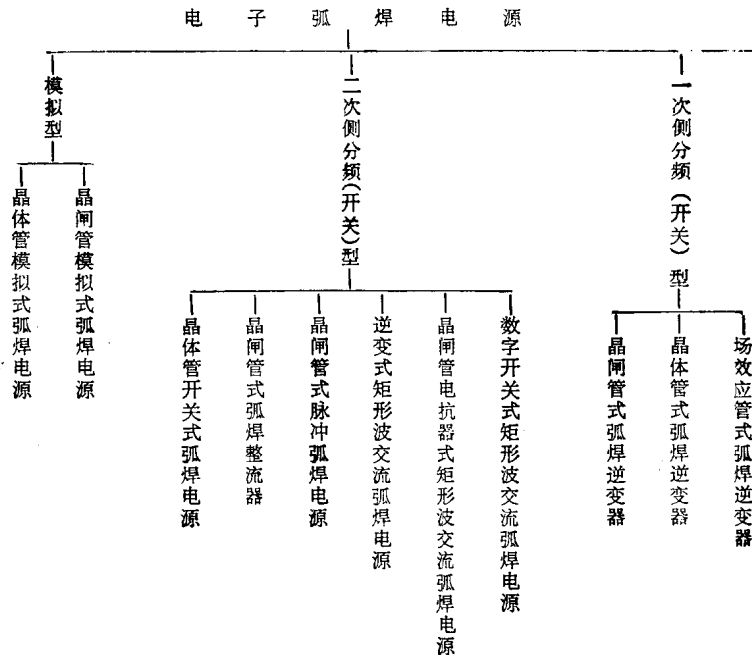


图0-3 电子弧焊电源分类

#### (二) 电子弧焊电源的特点

电子弧焊电源,特别是全电子控制的弧焊电源充分体现了电子技术和电子功率器件的优越性,其特点如下:

- (1) 可以对外特性进行任意的控制,满足各种弧焊方法的需要;
- (2) 具有良好的动特性,反应时间短;
- (3) 可调节参数多,特别是脉冲式电子弧焊电源,可以对电弧功率进行精密的控制和遥控;
- (4) 输出电压、电流的稳定性好,抗干扰能力强,不易受网路电压波动和温度变化的影响;

- (5) 弧焊逆变器还具有高效、体积小特点；  
 (6) 便于进行编程和采用微机控制，是全位置自动焊和弧焊机器人的理想弧焊电源；  
 (7) 电路比较复杂。

### (三) 电子弧焊电源的应用

从上述特点可见，电子弧焊电源是控制精密、性能优良的弧焊电源，可以应用于各种弧焊方法。也可以对高合金钢、热敏感性大的合金材料或要求较高的工件进行焊接，特别适合作管道全位置自动焊和弧焊机器人的弧焊电源。为了合理选择使用弧焊电源，特把电子弧焊电源与机械、电磁控制型一起列于表0-1，供读者选用时参考。

表0-1 弧焊电源种类及其应用范围

弧焊电源		弧焊方法										
类	型	外特性	手工焊		TIG		MIG/MAG		埋弧焊		弧焊机器人	
			电流	要求	电流	要求	电流	要求	电流	要求	电流	要求
机械控制型	抽头式弧焊变压器、弧焊整流器	恒流	≈	低	≈	低						
		恒压					=	低				
	动铁式、动圈式弧焊变压器、弧焊整流器	恒流	≈	低	≈	低			≈	低		
		恒压										
电磁控制型	磁放大器式弧焊整流器	恒流	=	中	(1)	中	=	中	=	中		
		恒压					=	中	=	中		
	弧焊发电机	恒流	=	中	=	中	=	中	=	中		
		恒压					=	中	=	中		
电子控制型	晶闸管式弧焊电源	恒流	=	高	(1)	高	(1)	高	=	高	(1)	高
		恒压					(1)	高	=	高	(1)	高
	晶体管式弧焊电源	恒流	=	高	(1)	高	(1)	高			(1)	高
		恒压					(1)	高			(1)	高
	晶闸管、晶体管、场效应管 } 弧焊逆变器	恒流	=	高	≈	高	(1)	高	=	高	(1)	高
		恒压					(1)	高	=	高	(1)	高
	矩形波交流弧焊电源	恒流	(2)	高	(2)	高	(2)	高	(2)	高	(2)	高
		恒压					(2)	高	(2)	高	(2)	高

注：1. 电流：“=”表示直流；“~”表示交流；“—”交、直流；(1)表示直流和脉冲；(2)表示直流和交流矩形波。

2. 要求：高、中、低分别适用于对焊接工作要求高、中、低的场合。  
 3. 恒流特性包括缓降特性或恒流外加拖。

### 四、电子控制的弧焊电源的发展前景

无论是机械控制型还是电磁控制型的普通弧焊电源，它们的主要电气特性（外特性和动特性）都取决于其自身的结构。它们的控制参数少，调节精度低，稳定性较差，而且为了获得良好的动特性往往还需增加许多铜铁，使弧焊电源做得既笨重又耗电大。因而，工业发达国家正在不断淘汰其中一些品种，例如电动式弧焊发电机已被淘汰，磁放大器式弧焊整流器

也正在淘汰之中,有些国家准备逐步减少弧焊变压器,只有在要求较低の場合才使用这些“粗糙”的弧焊电源。在我国也有同样的趋向,但目前弧焊发电机、弧焊变电器、磁放大器式弧焊整流器仍占90%以上。

电子弧焊电源由于具有前述一系列优点,故它具有取而代之普通弧焊电源的倾向。许多国家已广泛采用晶闸管式弧焊电源来代替弧焊发电机和磁放大器式弧焊整流器;采用矩形波交流弧焊电源代替弧焊变压器或直流弧焊电源。特别值得提出的是,具有更新换代意义的高效、节能、重量轻、体积小的弧焊逆变器,自70年代末问世以来已有很大的发展,其品种、规格和使用范围都迅速地增加和扩大,并被荣称为“明天的电源”。特别是智能化弧焊逆变器的出现,使弧焊电源的发展进入了新的阶段。

电子弧焊电源的出现和不断提高,又为弧焊电源的智能化控制创造了良好的条件,并促进了弧焊机器人、全位置自动焊装置以及精密焊接技术的迅速发展。

可以预料,随着电子技术和功率器件的发展,电子弧焊电源代表着弧焊电源今后的主要发展方向,具有广阔的发展前景。归纳起来,它可能在如下几个方面有所发展:

(1) 发展晶闸管式弧焊电源,代替电动式弧焊发电机、磁放大器式弧焊整流器,也可部分代替动铁式、动圈式弧焊整流器。

(2) 加速对高效、节能、轻量化弧焊逆变器的研制并扩大其生产。

(3) 发展矩形波交流弧焊电源,以便代替正弦波弧焊变压器,解决铝制品的焊接工艺需要,并可部分代替直流弧焊电源的使用。

(4) 进一步发展精密控制的晶体管式、场效应管式弧焊电源,并配以微电脑控制,使其智能化以适应弧焊机器人、全位置自动化焊接和高质量、高精度焊接技术的需要。

(5) 改革电子弧焊电源的制造工艺,逐步采用模块式的组装结构以提高它的工作可靠性、稳定性,减少维修工作量。克服现存的“脆弱性”,并可以大大简化生产过程,提高生产效率。

# 第一章 晶闸管式弧焊电源

## §1-1 概 述

### 一、发展简史

晶闸管式弧焊电源是60年代初开始出现的。实质上，它就是把晶闸管整流器应用于焊接回路。从外(静)特性的角度来说，最初是采用平特性弧焊电源，应用于气体保护焊，后来又发展到下降特性弧焊电源，应用于手工电弧焊和等离子弧焊等；从电流种类来说，最初是直流输出，后来又发展为交流输出；从主电路基本形式来说，最初是采用三相桥式半可控电路，后来又采用带平衡电抗器双反星形电路、三相桥式全可控电路、模拟控制电路等。由于晶闸管式弧焊整流器具有调节性能、动特性好、节电、重量轻等许多优点，故可逐步代替磁放大器式弧焊整流器等弧焊电源的使用，成为目前直流弧焊电源的主要类型之一。

1973年在世界埃森焊接博览会上就有多种用于气体保护焊和手工电弧焊的晶闸管式弧焊整流器。

联邦德国在弧焊整流器方面发展较快，相应地联邦德国也较快地发展了晶闸管式弧焊整流器，并使其在直流弧焊电源中占据重要位置，例如，在70年代中期晶闸管式弧焊整流器已占整个直流弧焊电源的25%以上。日本的晶闸管式弧焊整流器也发展比较快。日本大阪变压器公司于1969年试制出用于钨极氩弧焊的晶闸管式弧焊整流器，并发展成系列最先在世界市场上销售。1970年又试制出用于手工弧焊的MR系列和用于熔化极气体保护焊的自动脉冲系列晶闸管式弧焊整流器，不久又试制成功用于埋弧焊和CO<sub>2</sub>气体保护焊的晶闸管式弧焊整流器。可以说，他们已具备了几乎把所有的直流弧焊电源都晶闸管化的能力。在晶闸管式弧焊整流器中，晶闸管除了起整流作用外，还具有控制电源通断及调整整流电压高低的能力，因而不再需用电磁开关和饱和电抗器，使结构简化。所以在70年代中期，日本大阪变压器公司的直流弧焊整流器除交、直流两用机外，其余全部采用晶闸管式整流器，不仅如此，其它如芬兰的Kempfi公司在1967年就开始研制晶闸管式弧焊整流器，并有系列化产品。瑞典的ESAB公司等70年代中期生产的晶闸管式弧焊整流器系列，设有网路电压补偿、过热保护和浪涌电压保护装置等，具有完善的功能。

为了适应新型弧焊工艺，特别是管道全位置自动焊和热敏感性大的高合金钢的施焊工艺需要，在70年代相继出现多种型式的晶闸管式脉冲弧焊电源。80年代初为了提高交流弧焊的质量，国外还研制成功用晶闸管控制的交流弧焊电源。

我国70年代初期研制成功并生产了用于CO<sub>2</sub>气体保护焊的三相桥式半可控晶闸管弧焊整流器，不久又研制成功并生产了带平衡电抗器双反星形的晶闸管式弧焊整流器，现已有系列化产品用于手工电弧焊和气体保护焊以及脉冲弧焊等。

### 二、基本原理

晶闸管式弧焊整流器基本原理见图1-1方框所示。三相工频网路电压经三相主变压器T

降为几十伏的交流电压，通过晶闸管组的整流和功率控制，并经直流电抗器  $L$  滤波，在输出端就得到波形平滑的焊接电流。

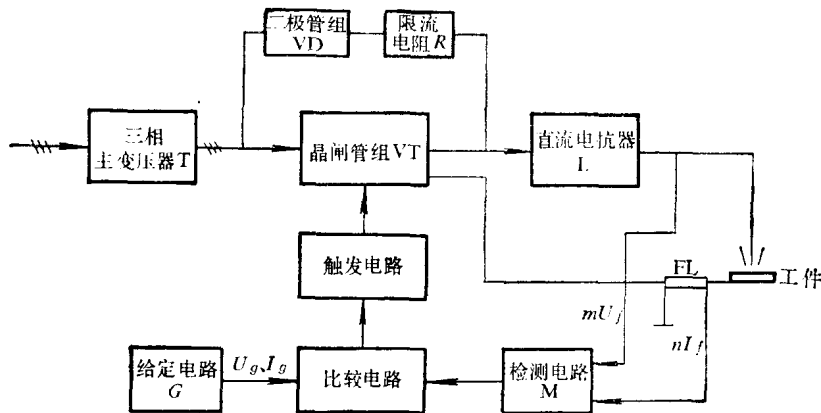


图1-1 晶闸管式弧焊整流器基本原理方框图

大功率晶闸管组受控于触发电路。触发脉冲的移相可以改变晶闸管的导通角的大小，晶闸管的导通角大，则焊接电流(电压)输出也大；反之亦然。

对晶闸管式弧焊整流器输出外特性的控制，是借助于电压、电流反馈信号  $mU_j$ 、 $nI_j$ ，与给定电压  $U_g$ 、给定电流  $I_g$  进行比较，并改变触发脉冲的相位角，以控制大功率晶闸管组导通角大小，从而获得所需的外特性。具体地说，为了获得恒流特性，只取电流反馈信号  $nI_j$ 。当焊接电流增加到调定值时，随着焊接电流稍为增加，电流反馈信号  $nI_j$  与给定电流值  $I_g$  比较，使触发脉冲相位急剧后移而导致晶闸管组导通角急剧减小，焊接电流也急剧恢复，从而得到恒流特性。为了获得恒压特性(平特性)，只取电压反馈信号  $mU_j$  与给定电压  $U_g$  比较，晶闸管组的导通角不随焊接电流的增加而变化，即保持输出电压不变。如果按一定比例取电压反馈信号和电流反馈信号，就可获得一定斜率的下降特性。如果改变电压反馈信号与电流反馈信号的比例，就可以改变下降特性的斜率，实现对焊接规范参数的调节。

通过改变直流电抗器的电感值，可以实现对晶闸管式弧焊整流器输出动态特性的粗调控制。借助于积分、微分电路环节，则可以实现对它的输出动态特性的精调控制。

### 三、主要电路结构

由图1-1可见，晶闸管式弧焊整流器的主要电路结构由主回路：三相主变压器  $T$ 、晶闸管组  $VT$ 、小电流维弧装置——二极管  $VD$ 、电阻  $R$  及直流电抗器  $L$ ；控制回路：触发电路、电压、电流反馈电路(即检测电路)和给定电路及比较电路等组成。为了使焊缝成形头尾均匀，往往还在控制电路系统中加设电流递增和电流衰减环节。

#### (一) 主回路

主回路包括三相主变压器、晶闸管组、小电流维弧装置、电抗器等。

三相主变压器用于降电压，增电流，一般采用  $Y/\Delta$ 、 $Y/Y$  和  $\Delta/Y$  或  $\Delta/Y$ — $n$  等接线方式。

晶闸管组可以接成三相桥式半可控电路、三相桥式全可控电路或带平衡电抗器双反星形六相半波整流电路等，如图1-2所示。晶闸管组在主回路中起整流和功率控制的作用。

小电流维弧装置是为解决输出电流波形不连续造成电弧不稳定问题而设置的。晶体管  $V$

可起变电阻作用，以便改变维弧小电流的大小。

电抗器起滤波和改善动特性作用，可以采用条形、凹形或□形铁芯。

在主回路中为了解决晶闸管组输出波形不连续，尤其是为解决在小规范焊接时波形不连续而引起的电弧不稳定问题，可采取如下主要措施：

1. 采用小电流维弧装置 小电流维弧装置的电源不另设变压器，而利用三相主变压器。如图1-2所示，在可控整流电路中，并联6只二极管组成VD组，在其后串联有电阻R及晶体管V。其中，二极管组VD作为无控整流之用，电阻R起限流作用，晶体管V起开关作用。维弧电流约为5~10A。

小电流维弧装置的电源也可另设变压器，而二极管组VD单独组成三相桥式不可控整流桥，串入电阻R后再与可控整流桥VT并联。见图1-3。前者提供引弧所需的能量（引弧电源），空载电压高而电流小，在电路中串联了R，以便得到陡降外特性。引弧时，工作于引弧电源的外特性上。引弧电源输出的电压高于基本电源的空载电压。整流器VC和晶闸管

VT<sub>1-3</sub>无电流输出（即没有导通）。在较高的空载电压下引燃电弧。焊接时，整流器VC<sub>1</sub>和晶闸管VT<sub>1-3</sub>提供电弧功率，其输出空载电压较低而电流较大。若需重新引弧，也靠空载电压来实现。鉴于基本电源的空载电压不必满足引弧的要求，只需略高于电弧电压，因此，晶闸管的导通角不必调至很小，而可避免整流波形的不连续。

2. 采用平衡电抗器 见图1-2，在此平衡电抗器L<sub>p</sub>中有150Hz交流电流通过，因此，当晶闸管导通角很小时，平衡电抗器实际上起了一个很好的滤波作用。这对改善电源波形是起主要作用的。

3. 采用直流电抗器。

4. 选择合适的整流主电路 不同整流电路其输出波形的脉动程度各异，选择合适的整流电路可以减小脉动。

## (二) 控制电路

### 1. 触发电路

#### (1) 触发电路套数

1) 6套触发电路：用6套触发电路触发6只晶闸管。

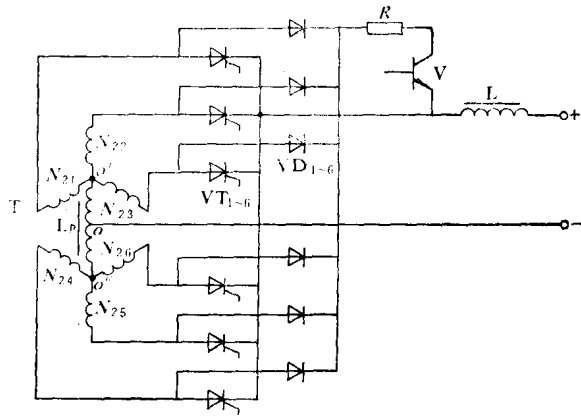


图1-2 带平衡电抗器双反星形六相半波整流电路

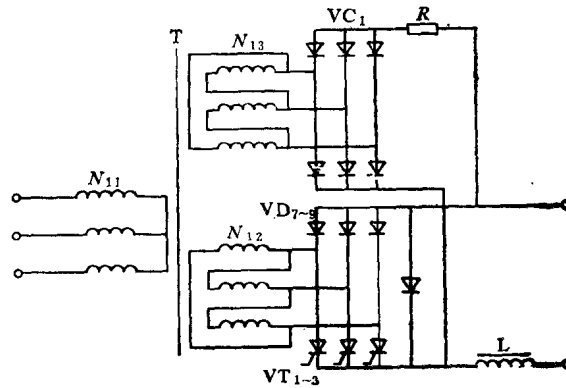


图1-3 并联高压引弧和小电流维弧电路

2) 3套触发电路: 除三相半可控整流桥可用三相产生互差 $\frac{2}{3}\pi$ 脉冲的触发电路之外, 在带平衡电抗器的双反星形整流器中, 由于两个星形整流器的晶闸管阳极电压刚好是反相的, 正反的一对相位完全可以共用1套触发电路, 因此, 用3套产生互差 $\frac{2}{3}\pi$ 脉冲的触发电路各自触发一相的晶闸管即可。

3) 2套触发电路: 只要用1套能每隔 $\frac{2}{3}\pi$ 产生一个脉冲的触发电路, 通过脉冲分配电路即能依次触发一组三相半波可控整流电路。用2套这样的触发电路就可以分别触发两组三相半波可控整流电路, 例如, 在带平衡电抗器的双反星形整流电路中, 这种方案所需触发电路套数最少, 既可靠、方便, 又经济。但是, 其允许的触发脉冲移相范围较小。不过, 这已满足弧焊电源的要求。

(2) 触发电路的种类 在晶闸管式弧焊整流器中, 常用的触发电路种类有三种:

- 1) 单结晶体管式触发电路, 其电路简单、成本低、抗干扰能力强, 在国内外应用较多。
- 2) 晶体管式触发电路, 其电路较简单、可靠, 但控制的线性度稍差。
- 3) 数字电路式触发电路, 它准确、可靠、抗干扰能力强, 便于与微机配合使用。

2. 电流衰减电路和电流递增电路 电流衰减电路的目的是为了在焊接结束时使焊接电流逐渐衰减到零, 这样可防止出现弧坑裂纹。电流衰减电路一般是在控制电路中利用电容放电的原理使焊接电流按指数曲线衰减, 如图1-4a所示; 也可在控制电路中利用两个线性放大器分别组成两个积分器进行线性衰减, 其电流衰减曲线如图1-4b所示。

为了得到均匀、良好的焊缝成形, 特别是在全位置管道焊接中为了在焊缝首尾搭接时获得满意的成形, 除了采用电流衰减电路之外, 还在焊接开始时采用电流递增电路。其焊接过程的电流随时间变化的曲线如图1-5所示。

3. 反馈和保护电路 为了获得所需的弧焊电源外特性, 在控制电路中必须设电压反馈(平特性, 用于细丝等速送丝 $\text{CO}_2$ 气体保护焊)或电流反馈(恒流特性, 用于不熔化极惰性气体保护焊)电路, 或同时设电压、电流反馈电路(下降特性, 用于手工电弧焊或变速送丝熔化极焊接)。同时为了稳定焊接参数, 还设有网路电压反馈控制电路和冷热态补偿电路。

在平特性(恒压特性)的晶闸管式弧焊整流器的控制电路中还必须设限流保护电路, 详见典型线路的介绍。

(三) 特种控制方式

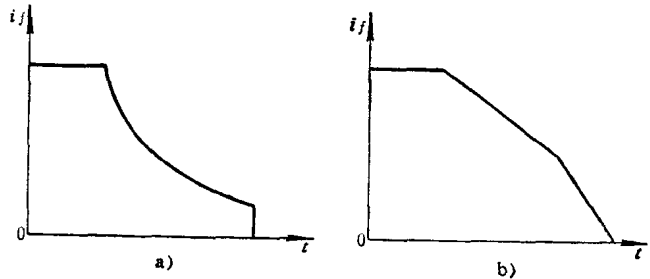


图1-4 两种电流衰减曲线



图1-5 焊接电流随时间变化曲线

为了提高晶闸管式弧焊电源的性能并使其便于操作、充分利用电子控制的优点而研制了特种控制方式，目前常用的有如下几种方式：

1. 单旋钮控制 单旋钮控制方式常在CO<sub>2</sub>气体保护焊的晶闸管式弧焊整流器中使用，其主要目的在于使焊接电流与电弧电压有一个最佳的配合，以便得到最佳的焊缝成形，减少飞溅。所谓单旋钮控制，就是只用一个旋钮控制，使不同直径的焊丝得到最佳的电压(U<sub>f</sub>)—电流(I<sub>f</sub>)配合。单旋钮控制方式有两种：

(1) 线性单旋钮控制 在调整焊接规范时，只需根据焊丝直径的粗细，用单旋钮同时改变焊接回路和送丝回路晶闸管的导通角，使电压和电流同时按线性关系变化。这种方式由于能够满足焊接工艺的需要且简单、实用，目前使用较多。

(2) 非线性单旋钮控制 在调节焊接规范时，借助IC运算放大器的特定函数关系，同时改变焊接主回路和送丝回路晶闸管的导通角，使电压和电流按理想的焊接规范变化，如图1-6所示。在PANA AUTO IC系列CO<sub>2</sub>晶闸管式弧焊整流器中就采用了这种控制方式。

2. 模拟控制 为了改善平特性晶闸管式弧焊整流器的动特性，消除电网电压波动的影响，获得平直的外特性，可以采用特种的模拟控制方式。

模拟回路的电流值为焊接回路电流的1/1000，电路形式与主回路完全相似。输出端接上与电弧相当的电阻负载，并构成反馈系统。

模拟回路的触发电路除控制辅助晶闸管外，同时还控制主晶闸管，以使电弧电压等于模拟回路的输出电压，而且几乎不受电网电压变化的影响。由于电弧电压可以不经主回路控制系统反馈，所以能得到较好的动特性。

3. 消除焊丝端部球状熔滴的控制——BLT<sup>⊖</sup>控制 一般在CO<sub>2</sub>气体保护焊终止时，电压迅速恢复到空载值并同时停止送丝，因此焊接电流迅速减小，焊丝熔滴难以脱落且不易断弧，从而使电弧拉长，沿着焊丝继续往上燃烧，直至送丝完全停止、电弧切断，结果在焊丝端部形成一个很大的球状熔滴，影响再引弧。为此，提出一种可消除焊丝球状端部的控制系统，这种控制系统的功能是在停止或减慢送丝速度（图1-7b虚线所示）时，把弧焊电源的输出电压降低到12~20V，经延时后再恢复至空载电压。这样，在断弧时，不仅电流减小，而且由于这种控制系统将弧焊电源输出电压调低而使空载电压也降低了，从而避免了球状熔滴的形成，使电弧能够在0.1~0.2 s内切断。有、无BLT控制，其电压、送丝速度关系如图1-7所示。

4. IC式（集成电路式）电压和温度补偿控制 在晶闸管式弧焊整流器的控制电路中，若设有IC式电压和温度补偿控制回路，则有利

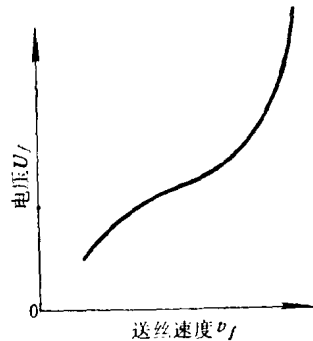


图1-6 电压U<sub>f</sub>与送丝速度v<sub>f</sub>的关系

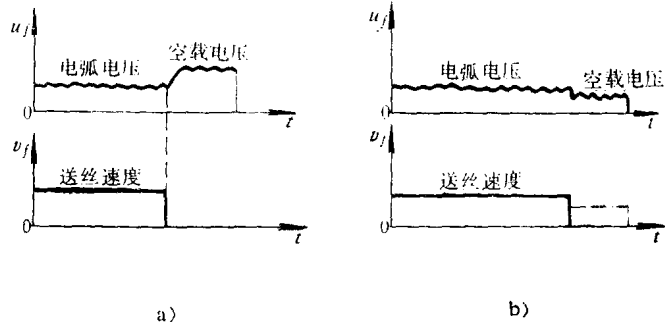


图1-7 电压、焊丝送给速度与时间的变化曲线  
a) 无BLT控制 b) 有BLT控制

⊖ BLT为Ball Less Treatment的缩写。



于使输出规范稳定。当电网电压和周围温度变化时,从比较回路中取出信号,经IC运算放大器的作用,使焊接电流和电压维持不变。

5. 温度保护电路 当超过负载持续率运行、单相或两相运行以及风扇发生故障时,变压器、晶闸管等部件的温度将急剧上升,保护电路能从中取出信号,及时自动切断电源,以防弧焊电源烧毁。

6. ATC方式 (Arc Time Control方式——电弧时间控制方式) 大电流CO<sub>2</sub>气体保护焊时,有时会出现熔滴过渡不正常的现象,即电弧燃烧时间过长,在焊丝端部形成一个球状的大熔滴。此熔滴过渡后,电弧将拉长,从而使下一周期内电弧燃烧时间增加,造成电弧不稳定。为了防止上述现象发生,可采用特殊的ATC方式来测量电弧每次燃烧的时间,当超过给定时间时,通过ATC作用立即把电弧电压降低,强迫实现短路过渡。此方式在小电流时不起作用。有、无ATC方式的电弧波形比较,见图1-8。

#### 四、分类、特点与应用

##### (一) 分类

晶闸管式弧焊电源根据主回路的结构形式和输出电流波形不同,一般可分为如下几种:

##### (1) 三相桥式晶闸管弧焊整流器:

1) 三相桥式半可控晶闸管弧焊整流器;

2) 三相桥式全可控晶闸管弧焊整流器。

(2) 带平衡电抗器双反星形晶闸管弧焊整流器。

(3) 模拟式晶闸管弧焊整流器。

(4) 晶闸管式交流弧焊电源。

(5) 晶闸管式脉冲弧焊电源。

##### (二) 特点

晶闸管式弧焊整流器是用得较多的晶闸管式弧焊电源。它与饱和电抗器(磁放大器)式弧焊整流器比较,具有如下几个主要特点:

1. 结构简单 因晶闸管组除整流作用外,还具有开闭电源回路和控制整流电压高低、整流电流大小的能力,因此晶闸管组既可作为整流控制、又可作为无触点开关。故省去了电磁开关和饱和电抗器,使结构简化、体积缩小、重量减轻。

2. 容易实现对外特性的控制 晶闸管式弧焊整流器因采用电子线路控制,因此控制性能好。它通过模拟控制、IC式控制和选择不同的反馈方式(电流负反馈或电压负反馈)、不同的反馈深度,就可以获得不同弧焊工艺方法所需要的较理想的外特性,且能补偿电网电压波动和周围温度的影响,从而保证电弧稳定和焊接规范稳定。

3. 动特性好,反应速度快 晶闸管式弧焊整流器因采用电子线路控制,主回路内部的电磁惯性比磁放大器式弧焊整流器小得多,所以动态过渡过程很快,易于对电弧进行各种控制,包括对动态特性、熔滴过渡或电流电压脉冲控制等。

晶闸管式弧焊整流器整个系统的主回路动态过渡时间常数约为十几ms,而磁放大器式

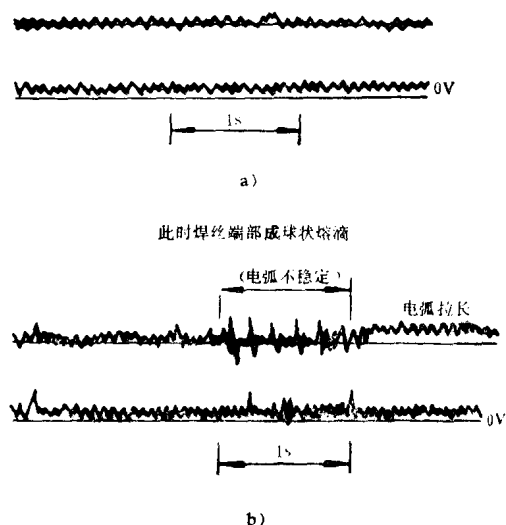


图1-8 电弧电压波形  
a) 有ATC方式 b) 无ATC方式