

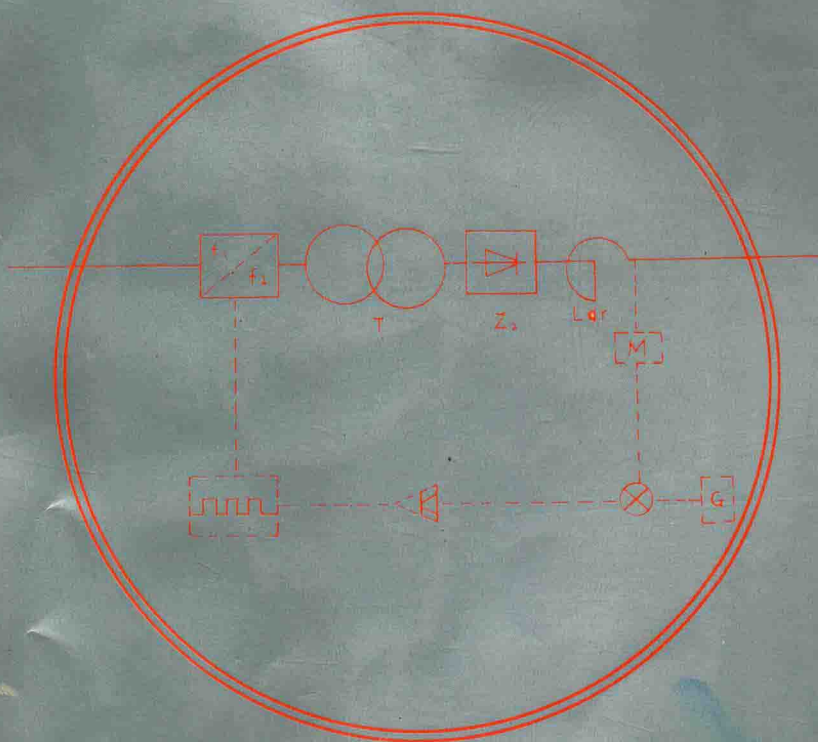
ARC WELDING INVERTER

逆变式弧焊机

名誉主编
主 编

李建国
刘 竹

肖介光



四川科学技术出版社

逆变式弧焊机

Arc Welding inverter

名誉主编 李建国
主 编 刘 竹 肖介光

四川科学技术出版社

1994年·成都

(川)新登字 004 号

名誉主编:李建国

责任编辑:李世勋

封面设计:黎明

版式设计:李珉

逆变式弧焊机

主 编 刘 竹 肖介光

出版发行:四川科学技术出版社

地 址:成都盐道街3号 邮编:610012

印 刷:成都锦文彩印厂印刷

版 次:1995年8月第一次版

1995年8月第一次印刷

规 格:787×1092毫米 1/16

印 张:13.125 字数 290千字

印 数:1—5000册

定 价:18.50元

ISBN7-5364-3023-X/TH·47

序 言

逆变技术在电焊机中的应用虽然不过十几个年头,但发展速度之快却很惊人。现在,它已被运用于各种焊接设备之中,并加速了焊接设备更新换代的进程,为电焊机行业带来了日新月异的变化。

随着逆变焊机的普遍使用,人们对普及与提高逆变焊机知识的要求日益迫切。所以,我认为,《逆变式弧焊机》一书的问世,一定会受到广大逆变焊机用户与读者的欢迎。

为了对编者和成都电焊机研究所与成都市电子焊接设备厂在逆变弧焊机应用上所取得的成就表示祝贺,感谢众多的用户朋友长期以来对我们工作的支持和信任,我特为该书作序,以表心意。

四川电子焊接设备公司 总经理 张自恒

1994·11 于成都

前 言

近年来,逆变式弧焊机正以惊人的速度改进和发展着,数量、品种日益增多的各类逆变式弧焊机,已被愈来愈多的用户所采用。为了适应这种形势的发展,有必要提供一本较为系统地介绍有关技术状况和使用维修方面的书籍。编者根据多年以来的设计经验和生产实践以及研究成果,编写了本书,以奉献给广大逆变式弧焊机用户。为尽可能地满足大多数用户的需要,编者选择了目前市场上销售量最大,且最具有代表性的 **Thyarc** 牌三类逆变式弧焊机(它们分别为 **ZX7** 系列晶闸管逆变弧焊机、**NBC—400** 逆变 CO_2 气体保护焊机和 **NBM—400** 逆变脉冲 **MIG/MAG** 焊机、**WSM5** 系列逆变式脉冲 **TIG** 焊机)作为样本来系统而详细地分析它们的工作原理和实用维修技术。同时,为扩大本书的适用面,并跟踪逆变新技术的发展,还介绍了在我国市场占有一定销量的 **KEMPPI** 公司的 **Mastertig 1500/2200(IGBT)** 逆变式弧焊机,以及逆变式交流方波弧焊机。

本书也适用于从事逆变式弧焊机设计、生产、使用维护和修理的科技人员及大专院校师生参考。

朱旗、谭志成、张何欣、谢晓玲参加了本书的编写工作,朱旗还承担了部分资料的编译,同时得到成都电焊机研究所和四川电子焊接设备公司等单位的大力支持与帮助,在此谨致以衷心的感谢。

由于本书涉及的新技术还在不断的发展,加之编者的水平所限,书中难免有错误之处,恳请读者提出批评指正。

编者

1994 年

Arc Welding inverter

目 录

第一章 逆变技术与逆变式弧焊机

1.1 概述	(1)
1.2 主电路及其电力电子器件	(4)
1.2.1 常用主电路	(4)
1.2.2 电力电子器件	(8)
1.2.2.1 晶闸管	(10)
1.2.2.2 功率晶体管 GTR	(12)
1.2.2.3 GTR 的保护	(14)
1.2.2.4 可关断晶闸管 GTO	(16)
1.2.2.5 GTO 的关断过程	(17)
1.2.2.6 功率场效应晶体管 MOSFET	(18)
1.2.2.7 IGBT 管	(21)
1.2.2.8 静电感应晶体管 SIT 和静电感应晶闸管 SITH	(28)
1.2.2.9 MOS 栅控晶闸管 MCT	(30)
1.2.2.10 功率集成电路	(32)
1.2.3 应用举例	(34)
1.3 高频变压器	(36)
1.3.1 高频变压的设计原则	(36)
1.3.2 高频变压器的选择方法	(38)
1.3.3 铁磁性材料	(40)
1.3.3.1 高频大功率环形非晶及微晶铁芯	(45)
1.3.3.2 高频电感用非晶态铁芯	(46)
1.3.3.3 大功率高频 C 型及矩形非晶、微晶铁芯	(49)
1.4 高频电解电容器	(53)
1.4.1 四端电解电容器	(54)
1.4.2 大型高频电解电容器	(54)
1.4.3 叠片式无感电容器	(55)
1.4.4 聚丙烯电介质电容器	(55)
1.5 常用集成控制电路	(57)

1.5.1	集成脉宽调制器 W494	(57)
1.5.2	脉冲宽度调制器 W1525A/2525A/3525A	(59)
1.6	霍尔效应电流传感器	(65)
1.6.1	霍尔元件和霍尔效应	(65)
1.6.2	霍尔效应磁场补偿式电流传感器	(66)
1.6.3	霍尔效应磁场补偿式电流传感器的优点	(66)
1.7	新一代散热绝缘材料	(67)
1.7.1	SP—610—SIL	(68)
1.7.2	SP—620—SIL	(68)
1.7.3	性能	(68)
1.7.4	特点	(69)
1.8	可靠性问题的探讨	(69)
1.8.1	功率半导体器件	(70)
1.8.2	控制回路	(71)
1.8.3	变压器、电抗器及其噪声	(71)
1.8.4	散热与冷却	(72)
1.8.5	整机加工工艺	(72)
1.9	节能分析	(72)

第二章 Thyarc 牌 ZX7 系列晶闸管逆变直流弧焊机

2.1	国内外发展概况	(75)
2.2	各种逆变焊机的综合性能比较	(76)
2.3	ZX7 系列晶闸管逆变直流弧焊机工作原理	(77)
2.3.1	原理框图	(77)
2.3.2	主回路	(79)
2.3.2.1	电路结构	(79)
2.3.2.2	逆变器工作原理	(80)
2.4	ZX7 系列晶闸管逆变弧焊机节能分析	(81)
2.5	型号说明	(83)
2.6	用途	(84)
2.7	技术参数	(84)
2.8	特点	(85)
2.9	功能及使用方法	(86)
2.9.1	ZX7—200S、315S、400S 焊机	(86)
2.9.1.1	前面板	(86)
2.9.1.2	后面板	(87)
2.9.1.3	遥控盒	(87)
2.9.2	ZX7—200ST、315ST、400ST 焊机	(88)
2.9.2.1	前面板	(88)

2.9.2.2	后面板	(88)
2.9.2.3	遥控盒	(88)
2.10	操作说明	(88)
2.10.1	设备安装	(88)
2.10.2	手工电弧焊	(89)
2.10.2.1	停电检查	(89)
2.10.2.2	通电空载检查	(89)
2.10.2.3	焊接	(89)
2.10.3	钨极氩弧焊	(89)
2.10.3.1	停电检查	(90)
2.10.3.2	通电空载检查	(90)
2.10.3.3	焊接	(90)
2.11	焊机串、并联的使用说明	(90)
2.12	焊机的维修及保养	(91)
2.12.1	容易被误解的正常现象	(91)
2.12.2	焊机的故障及排除(以 ZX7—400S 为例)	(92)
2.12.3	焊机的定期检查及保护	(93)
2.13	产品成套性及附件	(93)

第三章 Thyarc 牌 NBC—400 逆变式 CO₂ 气体保护焊机、 NBM—400 逆变式脉冲 MIG/MAG 焊机

3.1	基本工作原理	(94)
3.2	静外特性	(95)
3.3	动态特性	(96)
3.4	进一步提高 MIG/MAG 焊电源性能的发展方向	(97)
3.5	用途及特点	(98)
3.6	型号编制及说明	(99)
3.6.1	NBC—400 焊机型号编制	(99)
3.6.2	NBM—400 焊机型号编制	(99)
3.7	主要技术参数	(99)
3.8	操作使用说明	(100)
3.8.1	面板功能介绍	(100)
3.8.1.1	焊接电源前面板	(100)
3.8.1.2	焊接电源后面板	(102)
3.8.1.3	遥控盒	(103)
3.8.1.4	脉冲遥控盒(选用件)	(103)
3.8.2	设备安装	(104)
3.8.2.1	电路的连接	(104)
3.8.2.2	气路的连接	(105)

3.8.3	使用前的检查	(105)
3.8.3.1	断电检查	(105)
3.8.3.2	通电空载检查	(106)
3.8.3.3	试焊	(106)
3.8.4	CO ₂ 气体保护焊操作	(106)
3.8.5	脉冲 MIG/MAG 焊操作	(107)
3.9	焊机的维修保养	(108)
3.9.1	容易被误解的正常现象	(108)
3.9.2	焊机的检查	(108)
3.9.3	焊机的故障现象、原因及排除方法	(109)
3.10	焊机的定期检查及保养	(112)
3.11	产品成套及附件	(112)

第四章 Thyarc 牌 WSM5 系列逆变式脉冲 TIG 焊机

4.1	基本原理	(114)
4.2	提高抗干扰能力及降低噪声的措施	(115)
4.3	焊接工艺性能	(116)
4.4	用途及特点	(117)
4.5	型号编制及说明	(117)
4.6	主要技术参数	(118)
4.7	操作过程	(118)
4.8	面板旋钮开关功能介绍	(119)
4.8.1	控制箱前面板	(120)
4.8.2	控制箱后面板	(121)
4.8.3	焊接电源前面板	(122)
4.8.4	焊接电源后面板	(123)
4.9	设备安装	(123)
4.9.1	焊机的电路、水路、气路连接	(124)
4.9.1.1	电路的连接	(124)
4.9.1.2	水路的连接	(125)
4.9.1.3	气路的连接	(125)
4.9.1.4	施焊前的准备工作	(125)
4.9.1.5	施焊	(125)
4.10	焊机的维修及保养	(125)
4.10.1	容易被误解的正常现象	(125)
4.10.2	焊机的检查	(126)
4.10.3	焊机的故障现象、原因及排除方法	(126)
4.10.4	焊机的定期检查及保养	(128)
4.11	产品成套及附件	(128)

第五章 KEMPPI 公司 Mastertig 1500/2200 直流手工焊/脉冲氩弧焊两用逆变式弧焊机

5.1 基本性能	(129)
5.1.1 规格	(129)
5.1.2 主要技术参数	(129)
5.2 操作方法	(130)
5.2.1 安装	(130)
5.2.1.1 焊机的放置	(130)
5.2.1.2 电源线的连接	(130)
5.2.1.3 Mastertig 1500/2200 焊机电源电缆	(131)
5.2.1.4 焊接电缆和接地电缆	(131)
5.2.1.5 焊枪和保护气体	(131)
5.2.1.6 钨极尺寸和气体流量	(131)
5.2.2 控制开关和旋钮的使用	(131)
5.2.2.1 控制开关和旋钮说明	(131)
5.2.2.2 各开关旋钮功能	(133)
5.2.3 手工焊(MMA)	(136)
5.2.3.1 焊接电缆	(136)
5.2.3.2 选择焊接方法	(136)
5.2.3.3 焊接电流近控/远控	(136)
5.2.3.4 推力电流控制	(136)
5.2.3.5 焊条	(136)
5.2.4 氩弧焊(TIG)	(136)
5.2.4.1 接线方法	(136)
5.2.4.2 选择焊接方法	(136)
5.2.4.3 高频火花的调节	(137)
5.2.4.4 焊枪开关的使用	(137)
5.2.4.5 防止误起弧功能	(137)
5.2.4.6 近控和远控焊接电流	(137)
5.2.4.7 预通气时间	(137)
5.2.4.8 焊接电流缓升时间	(138)
5.2.4.9 焊接电流缓降时间	(138)
5.2.4.10 缓降时间刻度设置对缓降时间的影响	(138)
5.2.4.11 点焊	(138)
5.2.4.12 延时断气	(138)
5.2.5 脉冲氩弧焊	(138)
5.2.5.1 脉冲峰值电流(旋钮 R ₁₁ 或遥控盒上的旋钮)	(139)
5.2.5.2 脉冲基值电流(旋钮 R ₂₆)	(139)
5.2.5.3 脉冲周期(旋钮 R ₂₄)或脉冲频率	(139)

5.2.5.4 选择直流焊、脉冲焊以及调节脉冲占空比	(139)
5.3 工作原理	(142)
5.4 故障维修	(142)
5.4.1 焊枪	(142)
5.4.2 焊枪电缆	(143)
5.4.3 电缆	(143)
5.4.4 焊机	(143)
5.4.5 过流保护	(143)
5.4.6 熔断器	(143)

第六章 逆变式交流方波弧焊机

6.1 概述	(144)
6.2 工作原理	(145)
6.3 主要元器件的选择	(145)
6.3.1 场效应晶体管	(146)
6.3.2 开关整流二极管	(147)
6.3.3 大功率晶体管	(147)
6.4 焊接试验及波形测试	(149)
6.5 性能分析	(149)
6.5.1 波形特征	(149)
6.5.2 宽范围的调节交流正、负半波导通比	(149)
6.5.3 不用高频维弧	(150)

附录1 中华人民共和国机械行业标准 逆变式弧焊整流器技术条件

JB/T××××(报批稿)

1. 主题内容与适用范围	(152)
2. 引用标准	(152)
3. 术语	(152)
3.1 变流	(152)
3.2 逆变	(152)
4. 产品型号和基本参数	(152)
4.1 产品型号	(152)
4.2 产品的基本参数	(152)
4.2.1 额定电流等级	(152)
4.2.2 额定负载持续率(%)	(153)
4.2.3 工作周期	(153)
4.2.4 电流调节范围	(153)
4.2.4.1 最小焊接电流	(153)
4.2.4.2 最大焊接电流	(153)
5. 使用条件	(153)

5.1	环境条件	(153)
5.2	供电电网品质	(153)
6.	安全要求	(153)
6.1	温升限值	(153)
6.2	电容器	(154)
6.3	保护	(154)
7.	技术要求	(154)
7.1	部件及辅件的一般要求	(154)
7.1.1	元器件、辅助件	(154)
7.1.2	弧焊电源插头、插座和耦合器	(154)
7.1.3	互换性	(154)
7.2	焊接电流或负载电压在冷、热态时的变化率	(154)
7.3	电网波动时焊接电流或负载电压的变化率	(154)
7.4	静特性和动特性	(154)
7.5	电流、电压指示精度(包括遥控盒)	(154)
7.6	负载能力和过载能力	(154)
7.6.1	负载能力	(154)
7.6.2	过载能力	(155)
7.7	湿热	(155)
7.8	噪声	(155)
7.9	干扰与抗干扰	(155)
7.9.1	干扰	(155)
7.9.2	抗干扰	(155)
7.10	外观质量	(156)
7.11	焊接	(156)
7.12	成套性	(156)
8.	试验方法	(156)
8.1	检验用测量仪器的准确度或精度	(156)
8.2	外观检查	(156)
8.2.1	一般检查	(156)
8.2.2	外形尺寸及重量检查	(156)
8.3	焊接电流或负载电压冷、热态变化率测定	(156)
8.3.1	试验条件	(156)
8.3.2	弧焊电源的状态	(156)
8.3.3	焊接电流冷、热态变化率的计算	(156)
8.3.4	负载电压冷、热态变化率的计算	(157)
8.4	供电电压波动时焊接电流和负载电压变化率测定	(157)
8.4.1	弧焊电源的状态	(157)
8.4.2	焊接电流变化率的计算	(157)

8.4.3 负载电压变化率的计算	(157)
8.5 电流及电压范围、指示精度测定	(157)
8.5.1 调节范围	(157)
8.5.2 电流及电压刻度指示精度测定	(157)
8.6 负载能力和过载能力	(157)
8.6.1 负载能力	(157)
8.6.2 过载能力	(158)
8.7 湿热试验	(158)
8.8 噪声	(158)
8.9 抗干扰试验	(158)
8.9.1 试验方法	(158)
8.10 焊接试验	(158)
8.11 安全要求	(158)
9. 检验规则	(159)
9.1 检验单位	(159)
9.2 检验分类	(159)
9.2.1 出厂检验	(159)
9.2.2 型式检验	(159)
9.3 检查项目	(159)
9.3.1 出厂检验项目	(159)
9.3.2 型式检验项目	(159)
10. 标志、包装、运输及保用期限	(160)
附录 A(提示的附录)逆变式弧焊整流器型号编制方法的补充规定	(160)

附录 2 IEC 974/1—1989 弧焊设备安全要求 **第一部分 焊接电源**

目次	(161)
第 1 部分 概论	
1. 范围	(166)
2. 主题内容	(166)
3. 环境条件	(166)
4. 定义	(166)
第 2 部分 要求和试验	
5. 试验条件	(171)
6. 防触电保护	(172)
7. 热性能额定值	(175)
8. 热保护	(178)
9. 供电电源的连线	(179)

10. 输出	(182)
11. 辅助回路和控制回路	(185)
12. 防触电装置	(185)
13. 机械要求	(186)
14. 铭牌	(187)
15. 电流或电压的控制指示	(194)
16. 使用说明书	(195)
主要参考文献	(196)

第一章 逆变技术与逆变式弧焊机

1.1 概述

所谓逆变,就是从直流到交流的变流。而变流是指借助于电力电子器件使弧焊电源的一个或几个特性(例如:电压、电流、波形、相数和频率,包括零频率)发生变化,而不产生过大的功率损耗的变换过程。

自 30 年代末晶闸管问世以来,电力电子器件便登上了现代科技的历史舞台。它的发展推动着弧焊设备制造业的进步。到 60 年代初开始出现晶闸管整流式弧焊机,经过近 20 年的发展,晶闸管整流式弧焊机已逐步代替硅整流式弧焊机的使用,成为 80 年代初各种直流弧焊机的主要类型。与此同时,在 70 年代末开发出来了用快速晶闸管的逆变式直流弧焊机,为这种“革命性”的焊接设备的发展揭开了序幕。70 年代以来陆续发明的功率晶体管(GTR)、门极可关断晶闸管(GTO)、功率 MOS 场效应管(Power MOSFET)、绝缘栅极晶体管(IGBT)、静电感应晶体管(SIT)、静电感应晶闸管(SITH)和栅极控制晶闸管(MCT)等等,被称为第二代电力电子器件,这类器件改进了晶闸管只能控制其导通而不能控制关断的半控型特征,成为既能控制其导通,又能控制关断的全控型开关器件,使逆变式弧焊设备的发展进入一个崭新的历史阶段。80 年代中期又出现了第三代电力电子器件——功率集成电路(Power IC),进一步把功率等级不同的驱动、保护、检测和功率输出单元集于一体,使用更为方便、可靠,正受到举世瞩目,被誉为第二次电子革命的前沿。表 1—1 为美国 Power 公司生产的功率集成电路。

表 1—1 美国 Power 公司生产的功率集成电路

序号	型 号	输入电压 V_{imax} (V)	振荡频率 (kHz)	输出电流 I_{omax} (A)	封装型式
1	L4962	50	200	1.5	DIP—16
2	L4964	50	200	4	单列 15 线
3	L4974	50	500	3.5	DIP—20
4	L4970	50	500	10	单列 15 线
5	PWR—SMP3	DC 200 AC 130	1000	1	DIP—16
6	PWR·SMP 260	DC 200 AC 130	400	2	单列
7	PWR·SMP 400	72	750	1	DIP—16
8	PWR·SMP 110	DC 200 AC 130	850	2	DIP—16

续表 1—1

9	PWR—SMP 120	DC 200 AC 130	330	4	DIP—16
10	MC34063	40	100	1.5	DIP—8
11	MC34166	60	100	3	TO—220(5线)
12	LM2575	35	52	1	TO—220(5线)

电力电子器件的更新必然带来了各种弧焊设备的进步。用全控型器件取代半控型器件,使 5kHz 以下单一的脉冲频率调制(PFM)逆变式弧焊机发展到 100kHz 的脉冲宽度调制(PWM)和高频谐振式的逆变焊机产品,在整机质量、体积和性能方面都进一步得到改善。与此同时,逆变技术中的控制技术也得到迅猛发展,PWM 或 PFM 控制由开始的模拟器件组成相应波形发生器,发展到在微机基础上各种各样的脉冲波实时生成软件,然后又完善成各种用 PFM 或 PWM 集成芯片,近几年又有适应中高频谐振逆变器的谐振型集成控制芯片,PW 控制芯片所见产品最高振荡频率已达 2MHz,详见表 1—2。总之,在逆变技术领域内,新技术器件层出不穷,呈现出一片崭新的面貌。

表 1—2 逆变电源用集成控制器

序号	型 号	工作结温 ℃	输入电压 Vinmax(V)	基准电压 Vref (V)	振荡频率 (kHz)	输出电流 Iomax (A)	封装型式
1	LM1524	-55~+150	40	5	100	0.1	DIP—16
	LM2524	-25~+150					
	LM3524	0~+125					
	LM3524A	2	40	5	500	0.5	DIP—16
3	TL494		42	5	300	0.2	DIP—16
4	SG3526		40	5	400	0.2	DIP—18
5	SG3527A		40	5.1	400	±0.4	DIP—16
6	VC3840		32	5	500	±1	DIP—18
7	MC34060		40	5	500	0.25	DIP—14
	MC35060						
8	MC34066		20	5.1	谐振型	1.5	DIP—16
9	GP605		20	5	2000	0.8	DIP—16
10	Si9120			4	500	0.2	DIP—16

逆变技术的飞跃发展改变了整个电焊机行业的面貌,使电焊机的制造开始迈入了技术畴。现在逆变式弧焊机品种由开始的手工电弧焊逐步普及到交、直流氩弧焊,切割、熔气焊、自动焊、智能化多功能焊(多特性焊机)、弧焊机器人电源,野外焊接工程车等。目前,世界上的主要焊机制造商都基本完成了全系列逆变式弧焊机的商品化,并成为进与高技术的标志之一。可喜的是,我国现在也有数家生产厂可以提供具有 80 年代初期国水平的晶闸管逆变式弧焊机,并已投入批量生产。具有 80 年代末期先进水平的场效应管 IGBT 管逆变式弧焊机也在逐步得到完善。从中看到了我国电焊机事业的振兴与奋起。

无论哪种逆变式弧焊机,其中的弧焊逆变器工作原理都是一样的,见图 1—1,现说明下:

单相或三相 50/60Hz (频率 f_1) 的交流网路电压经输入整流器 Z_1 整流,借助大功率电

开关（晶闸管、晶体管或场效应管和 IGBT 管）的交替开关的作用，又将直流变换成几千至几万赫兹的中频(f_2)交流电，再分别经中频变压器 T、整流器 Z_2 和电抗器 L_{dr} 的降压、整流与滤波就得到所需的焊接电压和电流。输出电流可以是直流或交流。因此，弧焊逆变器可归纳为两种逆变系统：

“AC-DC-AC”和“AC-DC-AC-DC”。

通常较多采用后一种逆变系统，故还可把它称为逆变弧焊整流器。它主要是由输入整流器（可以做成交流或不可控的整流桥）、大功率电子开关（晶闸管组、晶体管组或场效应管组）、中频变压器、输出整流器、电抗器及电子控制电路等组成，借助于大功率电子开关和闭环反馈电路实现对外特性和电弧电压、焊接电流的控制调节。

弧焊逆变器常用的几种外特性曲线形状如图 1—2 所示。图 1—2 中 a)、b)、d) 是用于手工电弧焊的外特性；图 1—2 中 c) 是用于变速送丝的熔化极气体保护焊的外特性；此外还有用于等速送丝熔化极气体保护焊的恒压特性和用于钨极氩弧焊的恒流特性等。

逆变弧焊机的工艺参数调节方法大致有三种：

1. 定脉宽调频率 脉冲电流宽度不变，通过改变逆变器的开关频率来调节工艺参数。频率愈高，工作电流就愈大。通常，晶闸管弧焊逆变器就采用这种调节工艺参数的方法。

2. 定频率调脉宽 脉冲电流频率不变，通过改变逆变器开关脉冲的脉宽比(占空比)来调节工艺参数，脉宽比愈大，则工作电流也愈大。晶体管、场效应管逆变弧焊机都适于采用这种工艺参数调节方法。

3. 混合调节 调频率和调脉宽相结合。

逆变弧焊电源的特点如下：

1) 高效节能。弧焊逆变器的效率可达 80~90%，功率因数 $\cos\varphi$ 可达 0.99，空载损耗极小，一般只有数十至一百余瓦特。节能效果显著；

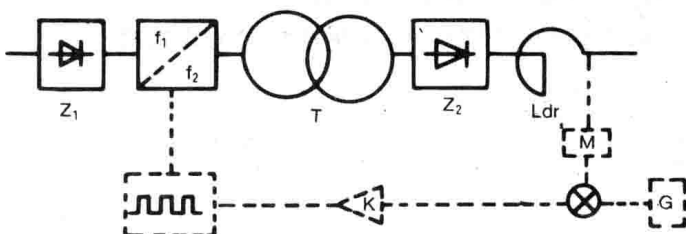


图 1—1 弧焊逆变器基本原理框图

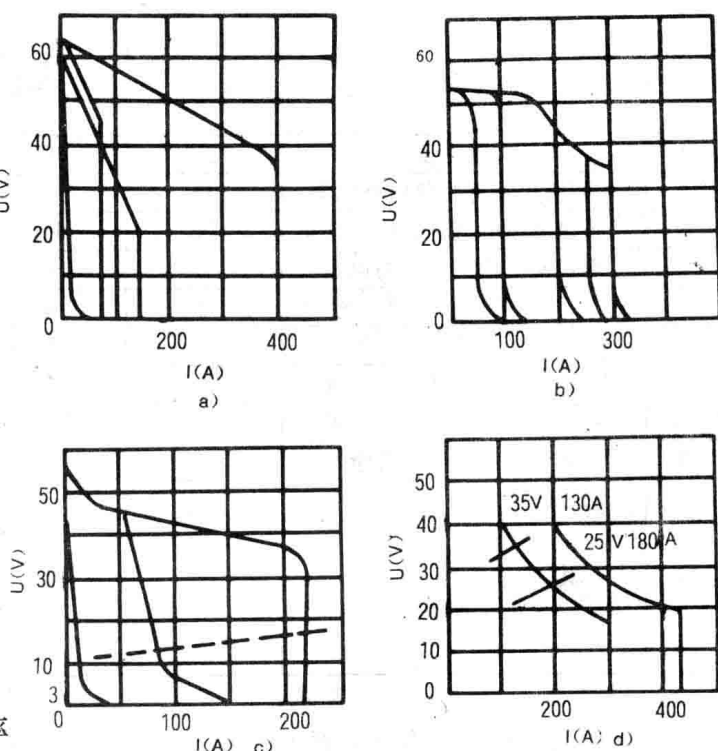


图 1—2 弧焊逆变器常用的几种外特性