

职业技能鉴定培训读本(技师)

# 检修焊工

吉化集团公司 组织编写

孙景荣 王洪光 编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

职业技能鉴定培训读本（技师）

# 检 修 焊 工

吉化集团公司 组织编写

孙景荣 王洪光 编

化 学 工 业 出 版 社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

## (京)新登字 039 号

### 图书在版编目 (CIP) 数据

检修焊工/孙景荣, 王洪光编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 3

职业技能鉴定培训读本 (技师)

ISBN 7-5025-5255-3

I. 检… II. ①孙… ②王… III. 焊接-职业技能鉴定-教材 IV. TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 016924 号

---

职业技能鉴定培训读本 (技师)

检 修 焊 工

吉化集团公司 组织编写

孙景荣 王洪光 编

责任编辑: 周国庆 刘 哲 卢小林

责任校对: 李 林

封面设计: 郑小红

\*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行  
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 17 字数 464 千字

2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5255-3/G · 1392

定 价: 36.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 前 言

当今世界已步入到知识经济和市场经济时代,企业生存与发展要依靠先进的生产力和高素质复合型人才。在技术密集型企业中将新技术、新工艺、新设备广泛应用并迅速转化为优质产品,需要大批高智能技术工人的有效劳动。因此企业中高素质的技术工人、技师、高级技师是不可缺少的人才。目前,企业中身怀绝技的技师、高级技师奇缺,所以培训技师、高级技师是企业的当务之急。

吉化集团公司组织几十名工程技术人员和高级技师编写了一套《职业技能鉴定培训读本(技师)》(以下简称《读本》),共20本,其中包括7本基础读本,分别为《化学基础》、《化工基础》、《电工电子基础》、《机械基础》、《机械制图》、《工程材料》、《检测与计量》,13本专业技术读本,分别为《检修钳工》、《检修焊工》、《检修铆工》、《检修管工》、《热处理工》、《防腐蚀工》、《分析化验工》、《电机修理工》、《维修电工》、《仪表维修工》、《在线分析仪表维修工》、《制冷工》、《污水处理工》。参加编写的同志都长期在生产一线从事工艺设计、开发、生产技术管理、设备维护检修等专业技术工作,具有较强的理论基础知识和丰富的实践经验。

这套《读本》以技师为主要读者对象,适当兼顾高级工和高级技师的需要。在编写过程中,参考了国家及有关行业高级工、技师和高级技师的职业标准和职业技能鉴定规范,比较全面地介绍了企业中现行使用的新标准、新技术、新设备、新工艺等方面的内容及应用。这套《读本》的特点如下:①知识面较宽,起点较高,尤其注意理论联系实际;②比较全面地介绍了企业,特别是化工企业中主要专业工种的检修技术;③系统阐述了各专业工种的工艺要求和操作技能;④列举了工作或生产案例,突出了实际生产操作中高、

难技艺的论述。

本书为《检修焊工》分册。第1~3章由孙景荣、李响、王巍编写，第4~8章由王洪光编写。全书由孙景荣、刘勃安负责统稿，王殿奎审核。

由于作者水平所限，书中难免存在不足和错误，恳请广大读者批评指正。

编者

2003年9月

## 内 容 提 要

本书是《职业技能鉴定培训读本（技师）》之一，依据《国家职业标准》和《职业技能鉴定规范》编写，主要读者对象为企业技师，适当兼顾高级工和高级技师的需要。

本书共8章，主要包括熔化焊填充材料、常用焊接设备及操作技术、异种金属的焊接、焊后热处理、焊接应力、焊接接头强度及失效、焊接缺陷及检验等内容。

本书既适合工人技师考评前的短期培训，又可作为石化行业工人技师考前自学教材，也可供技师考评和技能鉴定部门命题时参考。

# 目 录

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <b>第 1 章 焊接设备及操作技术</b>  | 1   |
| 1 弧焊电源                  | 1   |
| 2 电弧焊机原理及应用             | 4   |
| 3 检修焊工操作技术              | 25  |
| 4 气焊与气割                 | 82  |
| <b>第 2 章 熔化焊填充材料</b>    | 208 |
| 1 焊条                    | 208 |
| 2 焊丝                    | 240 |
| 3 焊剂                    | 254 |
| 4 焊条的选用原则               | 260 |
| 5 熔化焊填充材料消耗的估算          | 262 |
| <b>第 3 章 异种金属的焊接</b>    | 273 |
| 1 碳素钢与普通低合金钢的焊接         | 273 |
| 2 异种普通低合金结构钢的焊接         | 275 |
| 3 黑色金属与奥氏体不锈钢的焊接        | 278 |
| 4 耐热钢与其他黑色金属的焊接         | 287 |
| 5 钢与有色金属的焊接             | 292 |
| 6 异种有色金属的焊接             | 302 |
| 7 钢与铸铁的焊接               | 310 |
| 8 异种金属的堆焊               | 324 |
| <b>第 4 章 焊接接头的焊后热处理</b> | 365 |
| 1 焊后热处理的目的及作用           | 365 |
| 2 焊后热处理的加热方法            | 378 |
| 3 焊后热处理工艺的选择            | 381 |
| 4 焊后热处理的控制和管理           | 391 |
| <b>第 5 章 焊接应力与变形</b>    | 393 |
| 1 应力集中的概念               | 393 |

|              |                        |            |
|--------------|------------------------|------------|
| 2            | 焊接应力和变形产生的原因 .....     | 396        |
| 3            | 焊接接头的应力分布 .....        | 420        |
| 4            | 防止和减少焊接变形的措施 .....     | 430        |
| 5            | 防止焊接残余应力的措施 .....      | 449        |
| <b>第 6 章</b> | <b>焊接接头的静载强度 .....</b> | <b>454</b> |
| 1            | 焊接接头的许用应力 .....        | 454        |
| 2            | 焊接接头的静载强度计算 .....      | 465        |
| <b>第 7 章</b> | <b>焊接接头的破坏 .....</b>   | <b>475</b> |
| 1            | 焊接接头的破坏因素 .....        | 475        |
| 2            | 焊接接头的脆性断裂 .....        | 477        |
| 3            | 焊接接头的疲劳断裂 .....        | 481        |
| 4            | 焊接结构破坏原因分析 .....       | 484        |
| <b>第 8 章</b> | <b>焊接缺陷及检验 .....</b>   | <b>488</b> |
| 1            | 焊接缺陷 .....             | 488        |
| 2            | 焊接接头的外部缺陷 .....        | 491        |
| 3            | 焊接接头的内部缺陷 .....        | 495        |
| 4            | 焊接接头的检验 .....          | 499        |

# 第 1 章 焊接设备及操作技术

## 1 弧焊电源

弧焊电源是为电弧焊接提供电能，并具有对该种焊接方法适宜的电特性的电源装置。它可以供手工电弧焊接，明弧与埋弧、自动与半自动等焊接设备配套使用。

### 1.1 电弧的静特性

焊接电弧是加有一定电压，在电极之间或电极与工件之间产生的一种较强烈的气体电离放电现象。焊接电弧一旦产生，则在弧柱中就充满了高温电离气体。焊接电弧具有把电能转换为热能的作用，这一点它与普通电阻有相似之处。但是，焊接电弧与电阻相比又有它明显的特点。普通电阻通过电流时，电阻两端的电压降与通过的电流值总是成正比，而且比值是基本不变的（即遵循欧姆定律）。如果在坐标图上表示出通过电阻的电流和电阻两端电压降之间的关系，则是一条直线，这条直线我们叫做电阻的静特性。而当电弧燃烧时，电弧两端的电压降与通过电弧的电流值就不是固定的正比，其比值会随着电流值的不同而变化（即不遵循欧姆定律）。电弧电压与电弧电流的关系在坐标图上为一条曲线（见图 1-1），这条曲线就叫做电弧静特性曲线。

当弧长增大时，电弧静特性曲线相应向上或向下移动，而曲线的形状大致不变。

根据焊接方法的不同，其所需要的电弧静特性，大体可分为以下几种。

（1）下降特性 适用于手工电弧焊。其弧柱的电流密度较小，弧柱的截面可以自由膨胀，随  $I_{\text{弧}}$  增大， $U_{\text{弧}}$  下降。如图 1-2 所示。

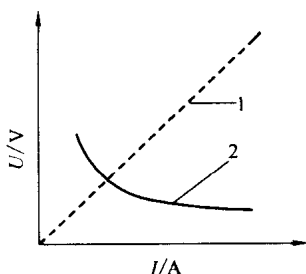


图 1-1 电阻与电弧静特性示意

1—电阻静特性；2—电弧静特性

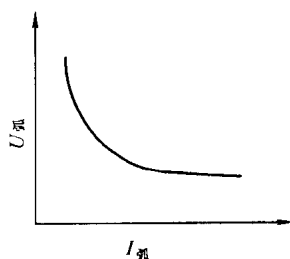


图 1-2 下降特性曲线

(2) 平直特性 适用于埋弧焊、钨极氩弧焊，弧柱的电流密度中等，弧柱截面可以自由膨胀，随  $I_{\text{弧}}$  增大， $U_{\text{弧}}$  几乎不变，如图 1-3 所示。

(3) 上升特性 适用于埋弧焊（细丝）、熔化极气体保护焊。其弧柱截面电流密度较大或受保护气体压缩，弧柱不能自由膨胀，随  $I_{\text{弧}}$  增大， $U_{\text{弧}}$  上升，如图 1-4 所示。

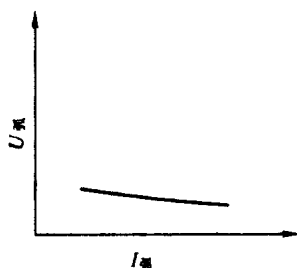


图 1-3 平直特性曲线

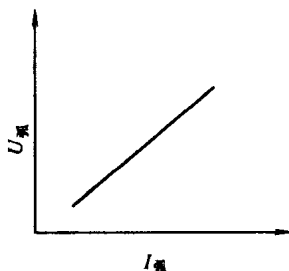


图 1-4 上升特性曲线

## 1.2 弧焊电源的外特性

弧焊电源外特性是指在规定的范围内，电源输出稳态电流与电压的关系。从前面谈到的电弧静特性已经知道，为达到焊接电弧由引弧到稳定的燃烧这一目的，要求焊接电源按照一定的规律来供给电压和电流。即要求电源在引弧时，能供给电弧较高的电压和较小的电流。当电弧稳定燃烧时，电流增大，而电压急剧下降。能满足

这一要求的电源，称为具有陡降外特性的电源。在坐标图上表示出这种电源外特性的曲线，称为电源的陡降外特性曲线，如图 1-5 所示。

从图 1-3 可见，一般照明或动力用的电源，都是平外特性，即不论输出的电流大小，输出电压基本不变。具有陡降的特性的电源，不但能保证电弧稳定地燃烧，而且能保证短路时不会产生过大的电流而将电源设备烧毁。一般电焊机的短路电流为焊接电流的 120%~130%，最大也不超过 150%。

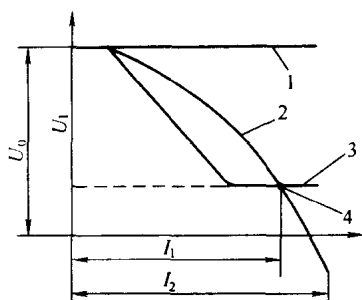


图 1-5 电弧稳定燃烧对电源外特性的要求

$I_1$ —焊接电流； $I_2$ —短路电流  
1—照明电源的平直特性；2—焊接电源的陡降外特性；3—电弧静特性；4—电弧稳定燃烧点

此外，在等速送丝的气体保护焊、埋弧焊设备中，还采用了平特性。其特点是输出电流在运行范围内增加时，端电压基本不变（电压下降率小于 7V/100A，电压上升小于 10V/100A），这种特性也称为恒压特性。

电焊机的外特性可按如下方法试验：取一个功率与电焊机相近似的可变电阻作为负载，再用一个电压表（量程 1~100V）和一支电流表（量程 1~500A），按图 1-6 接线。改变电阻的数值，将读出的电流与电压值绘制成坐标图，所得出的曲线，即为电焊机的外

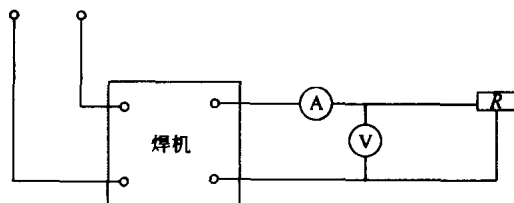


图 1-6 电焊机外特性试验线路

特性曲线。

### 1.3 弧焊电源的动特性

焊接过程中，焊机的负荷是在不断变化的。例如，引弧时焊条

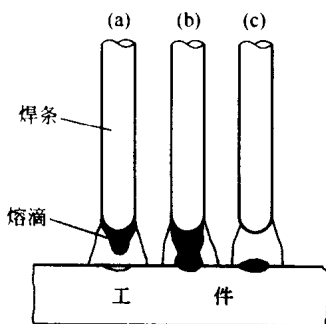


图 1-7 熔滴的过渡示意

- (a) 焊条金属向熔池伸长；(b) 熔滴与工件短路；(c) 熔滴完成过渡，电弧复原

与工件短路。随后突然将焊条拉开；焊接过程焊条金属熔滴向熔池过渡时，焊条与工件形成短路，随后焊条又与母材金属分开等等，如图 1-7 所示。这就引起了焊机负荷发生急剧的变化。此外，焊接回路总有一些感抗存在，而输出的电流和电压不可能迅速地依照外特性曲线来变化，而要经过一个过渡过程，才能在外特性曲线的某一点上稳定下来。由于弧焊机的结构不同，使它过渡过程的性能也不相同，这种过渡过程的性能，称它为动特性。

弧焊电源的动特性，即指当负载状态发生瞬间变化时，输出电流与电压对时间的关系。它表征了弧焊电源对负载瞬间变化的反应能力。

## 2 电弧焊机原理及应用

电弧焊机是产生电弧以供给热量熔化金属，达到焊接目的的设备。

电弧焊机按焊接方法可分为：焊条弧焊机、埋弧焊机、气体保护焊机等；按电极材料可分为熔化极和非熔化极；按操作方法有手工电弧焊机、自动和半自动焊机；按输出的电流种类分为交流、直流、脉冲和逆变等几种焊机。

### 2.1 交流弧焊机

交流弧焊机也称为弧焊变压器。它是应用最早的一种电弧焊机，以交流电形式向焊接电弧输送电能的焊接设备。弧焊变压器实

实际上是一台具有一定特性的变压器，其主要特征是在等效次级回路中增加阻抗，获得陡降的外特性，以满足焊接工艺要求。

弧焊变压器的结构，一种是做成独立铁心线圈电感，称为电抗器，它与漏磁式主变压器串联；另一种方式是增强变压器本身的漏磁，形成漏磁感抗。前者称做串联电抗式弧焊变压器；后者称增强漏磁式弧焊变压器。焊接变压器中可调感抗的作用，不仅是用来获得下降特性，同时还用来稳定电弧和调节焊接电流。

常见弧焊变压器的主要技术数据及用途，列于表 1-1。

表 1-1 常见弧焊变压器主要技术数据及用途

| 型 号        | 输入容量<br>/kV·A | 初级电压<br>/V | 次级电压<br>/V | 电流调节<br>范围/A | 负载持续<br>率/% | 主要用途                                   |
|------------|---------------|------------|------------|--------------|-------------|----------------------------------------|
| BX1-300    | 24            | 380        | 76         | 50~300       | 40          | 手工电弧焊，可用 $\phi 3.2 \sim 6\text{mm}$ 焊条 |
| BX1-500    | 39.5          | 220/380    | 77         | 100~500      | 60          | 手工电弧焊，可用 $\phi 3.2 \sim 6\text{mm}$ 焊条 |
| BX2-1000   | 76            | 380        | 69~78      | 400~1200     | 60          | 自动或半自动焊电源                              |
| BX3-120    | 7 或 9         | 220/380    | 70~75      | 20~160       | 60          | 手工焊接薄板                                 |
| BX3-400    | 28            | 380        | 80~90      | 60~500       | 60          | 可做交流氩弧焊电源                              |
| BP1-3-1000 | 160           | 380        | 38~53.4    | 可达 1000      | 60          | 电渣焊专用电源                                |
| BP3-500    | 122           | 380        | 70         | 60           | 60          | 12 头手工焊电源                              |

## 2.2 弧焊整流器

弧焊整流器是一种利用整流元件将交流电变为直流电的焊接电源。其整流元件多为硅元件，所以又常称为硅整流弧焊机。

硅整流弧焊机是替代旋转式直流发电机（已淘汰）的最初产品，它与直流发电式电弧焊相比较，其主要特点是：结构简单、坚固耐用、噪音小、维修方便和生产效率高。但与采用电子控制的弧焊机相比，其有工艺性能差、可调工艺参数少、调节不够灵活精

确、受网路电压波动的影响大等缺点。因而硅整流弧焊机只能用于一般技术要求不高的产品焊接。

典型硅整流弧焊机组组成结构如图 1-8 所示。其主要技术数据及用途列于表 1-2。

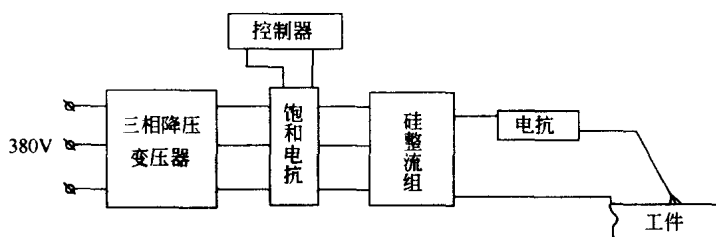


图 1-8 ZXG-300 硅整流焊机组成方框图

表 1-2 典型硅整流弧焊电源技术数据及用途

| 型 号        | 输入容量<br>/kV·A | 初级电压<br>/V | 次级电压<br>/V | 电流调节<br>范围/A | 负载持续<br>率/% | 主要用途                         |
|------------|---------------|------------|------------|--------------|-------------|------------------------------|
| ZXG-300    | 21            | 380        | 25~30      | 15~300       | 60          | 手工电弧焊                        |
| ZXG-400    | 34.9          | 380        | 36         | 40~480       | 60          | 手工电弧焊                        |
| ZXG7-300-1 | 22            | 380        | 25~30      | 20~300       | 60          | 主要做氩弧<br>焊电源有电流<br>衰减装置      |
| ZXG1-250   | 17.8          | 380        | 30         | 60~300       | 60          | 手工电弧焊<br>电源                  |
| ZPG6-1000  | 70            | 380        | 30         | 15~300×6     | 60          | 多站手工焊<br>电源                  |
| ZXG7-1000  | 100           | 380        | 30~60      | 100~1000     | 60          | 埋弧焊,<br>CO <sub>2</sub> 粗丝电源 |

### 2.3 晶闸管直流弧焊机

晶闸管弧焊机是采用晶闸管作为整流元件的直流弧焊电源。实质上也是整流弧焊机的一种，它是国内应用较为广泛的弧焊机。

晶闸管整流焊机主要由主变压器、晶闸管整流器、直流电感和控制电路四部分组成，其原理如图 1-9 所示。

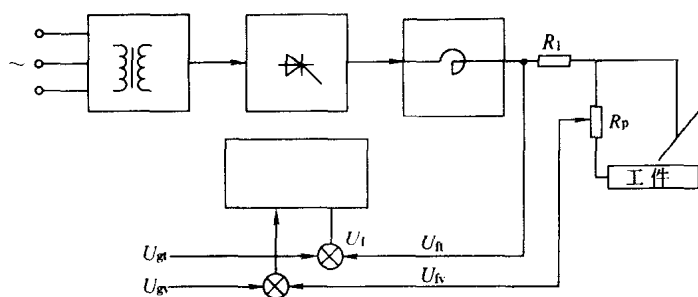


图 1-9 晶闸管弧焊机原理示意

晶闸管焊机在主电路特点上可分为：带平衡电抗器的双反星型电路、半控桥式整流电路和全控桥式整流电路。触发方式有两路触发、三路触发和六路触发；用于触发的元件有分立元件、集成电路和分立、集成混合使用等方式。由于完全采用电子电路来实现控制功能，可获得所需的外特性和电流、电压的无级调节。晶闸管弧焊机与硅整流焊机相比较，有如下优点：①结构简单并易获得引弧、吹力、推力等多种功能。②电流、电压调节范围大，可进行无级调节。③电源输入功率小（见表 1-3）。

表 1-3 电源输入功率比较

| 额定焊接电流/A | 电源输入功率/kV · A |     |        |
|----------|---------------|-----|--------|
|          | 晶闸管弧焊机        |     | 硅整流弧焊机 |
|          | TIG           | 手弧焊 |        |
| 300      | 12            | 18  | 21.5   |
| 500      | 23            | 32  | 40     |

由于上述特点，晶闸管弧焊机，早于 20 世纪 90 年代初期，就完全替代了耗电大、成本高、设备笨重的旋转式弧焊直流发电式焊机。目前，这种焊机仍在国内有一定的市场，成为焊工所熟知的弧焊机的一种。其常见晶闸管弧焊机的主要技术数据及用途，列于表 1-4。

表 1-4 典型晶闸管整流弧焊机主要技术数据及用途

| 型 号       | 输入容量<br>/kV·A | 初级电压<br>/V | 次级电压<br>/V | 电流调节<br>范围/A | 负载持续<br>率/% | 主要用途           |
|-----------|---------------|------------|------------|--------------|-------------|----------------|
| ZX5-400-1 | 24            | 380        | 73         | 20~400       | 60          | 用于各种材<br>料的手弧焊 |
| ZX5-400   | 24            | 380        | 60         | 50~400       | 60          | 手工电弧焊          |
| LHE-400   | 24            | 380        | 75         | 50~400       | 60          | 手工电弧焊          |
| ZDK-500   | 36.4          | 380        | 77         | 50~600       | 80          | 手弧焊及等<br>离子切割  |
| ZX5-250   | 14            | 380        | 55         | 50~250       | 60          | 小件手工电<br>弧焊    |

## 2.4 逆变弧焊电源

逆变弧焊电源又称逆变整流器、逆变弧焊机，它是弧焊电源的最新发展。

逆变技术是 20 世纪 70 年代初期，随着大功率快速开关电子元件的发展，引入焊接领域的一种高科技产品。于 80 年代，在国际焊接展览会上，首次展出了逆变弧焊机。我国是在 20 世纪 80 年代末期开发研制，并逐步进入实用阶段。目前，国内已有数十家焊机制造厂，生产出几十种各类逆变弧焊电源。许多焊接专家认为，逆变弧焊电源的问世，是弧焊电源的一次进步性革命，它将成为最有发展前途的弧焊电源。当前，逆变弧焊电源的发展状况，已表明了它占据弧焊电源主导地位的必然性。

### 2.4.1 逆变弧焊机的构造及原理

图 1-10 是最典型的逆变弧焊机的结构原理方框图。图中主电路 1 是电源逆变器，它包括输入整流器、电抗器、大功率电子开关组、中频变压器和输出整流器等。外特性控制电路 3，是借助大功率电子开关和闭路反馈电路来实现的。电子控制电路 2，能对焊接电压、电流进行无级控制。

逆变弧焊机的工作原理是：把单相或三相的 50Hz 工频交流网

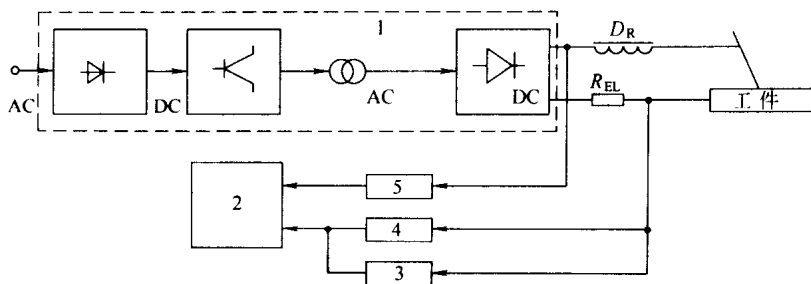


图 1-10 逆变弧焊机原理方框图

1—主电路；2—电子控制电路；3—外特性控制电路；4—电子电抗器；5—保护电路

路电压（AC）输入到整流器，经整流、滤波后，获得直流（DC），当直流经过大功率电子开关（晶闸管、晶体管、场效应管等元件）的交替开关作用，又将直流变换成几千至几万赫兹的中频交流（AC）（注意，此时仍是网路电压）。再将交流经中频变压器、电抗器降压至几十伏的中频低压，再经输出整流器整流、滤波后，即变成适合焊接电弧需要的直流电流（DC）。这就是常规的逆变制式，我们称它为 AC-DC-AC-DC 制式。

#### 2.4.2 逆变弧焊电源的种类

逆变弧焊电源的种类，按它所采用的电子元件划分，主要有快速晶闸管式和功率晶体管式（GTR 式）；场效应管式（MOSFET 式）；绝缘栅双极晶体管式（IGT 式、IGBT 式）等几种。目前，快速晶闸管式逆变弧焊机的产销量较大，但随着电子工业的发展，电子元件质量和可靠性的不断提高，IGBT 式逆变弧焊电源将有占据主导地位的趋势。

逆变弧焊电源要按其主电路的结构形式区分，有 IGBT 式（包括 MOSFET 式和 CTR 式）。它在国内的实际应用中，主要为双管单端正激式（见图 1-11）；半控桥整流式（见图 1-12），全控桥整流式（见图 1-13）等几种电路形式。

对于国外常采用的快速晶闸管式逆变弧焊机，由于逆变中要靠谐振出现的负压控制。因此在电路形式上，有串联谐振和并联谐振