

虞维明
何中南
编



弧焊电源的
节能技术

机



(京)新登字054号

本书根据国内外大量资料,对弧焊电源的发展趋势、特点,国内电焊机生产现状及弧焊电源水平,弧焊电源能耗分析、选择和使用方法进行了扼要的介绍,并着重对弧焊电源节能技术、节能弧焊电源的应用和发展作系统阐述。在对交流弧焊电源、直流弧焊电源、硅整流弧焊电源空载自停装置及弧焊电源节电与遥控装置的阐述中还列出大量实例,并配以电气原理图,以便于读者掌握。

本书适合于从事弧焊电源设计、制造及实际操作人员(中、高级焊工)阅读,也可作为工厂弧焊电源技术改造和维修人员参考。

弧焊电源的节能技术

虞维明 何中南 编

责任编辑:俞逢英 责任校对:刘志文

王明贤

封面设计:姚毅 版式设计:乔玲

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)

人民交通出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₃₂·印张6¹/₂·字数143千字
1992年6月北京第1版·1992年6月北京第1次印刷
印数 0,001—2,720·定价:5.60元

ISBN 7-111-03069-9/TG·672

前 言

弧焊电源是在焊接生产中大量使用和不可缺少的设备，但它耗费能源很多，在我国能源极其紧张的情况下，提出弧焊电源的节能问题是十分及时和必要的。

编写这本小册子的主要目的是给读者进一步说明弧焊电源节能的重要意义，并从原理、结构、使用等方面阐述节能技术，介绍国内外在弧焊电源节能技术方面的发展趋势，从而使从事焊接工作的工人和技术人员重视弧焊电源的节能问题。

书中收集了大量资料，介绍实用弧焊电源节能措施，可供推广应用。

如果这本小册子能为弧焊电源节能起到促进作用，也就收到了实际效果。

本书由中国船舶工业总公司第九设计研究院虞维明，中华造船厂何中南编写；由上海电焊机厂袁传浩审阅。

在本书编写过程中，得到许多工厂和单位有关同志的大力支持，提供了许多有用的资料并提出了不少宝贵意见，在此谨致谢意。

由于我们水平有限，时间仓促，收集的资料不一定全面，书中也难免有不妥之处，希望读者批评指正。

编 者

ABE50/04

目 录

一、弧焊电源	1
(一)对弧焊电源的基本要求	3
(二)弧焊电源的分类方法	9
(三)弧焊电源主要类型	10
(四)弧焊电源发展的趋势	22
(五)弧焊电源发展的特点	31
(六)我国电焊机生产现状及弧焊电源水平	33
二、弧焊电源能耗分析、选择和使用方法	39
(一)电弧焊接方法的耗能分析比较	40
(二)各种弧焊电源能耗比较	51
(三)弧焊电源的选择和使用方法	60
三、弧焊电源节能技术	68
(一)弧焊电源的节能途径和措施	68
(二)电焊机空载自停装置的应用	92
四、节能弧焊电源的应用和发展	109
(一)节能弧焊电源的应用	109
(二)交流弧焊电源空载自停装置	113
(三)直流弧焊电源空载自停装置	151
(四)硅整流弧焊电源空载自停装置	171
(五)弧焊电源节电与遥控装置	175
(六)节能弧焊电源的发展方向	194
附录	204
常用电气元件新旧符号对照表	204

一、弧焊电源

焊接是借助于原子的结合把两个分离的物体联结成一个整体的过程。为了实现焊接过程，必须使两个被焊物体接近到原子间的力能够发生相互作用的程度。为了达到这个目的，可以利用加热、加压或两者兼用，并且用或不用填充材料的方法来实现。

焊接设备是现代工业生产中必不可少的重要加工设备，它的发展状况直接关系到几乎所有工业部门的发展。例如海上石油的勘探、钻采、输送、水下作业和油田建设，数千公里的输油、输气管路的铺设，以及迅速发展的石油、化纤工业中的大量罐、管、塔、杆、钻井平台、采油平台、金属容器和金属构件等都必须焊接，这就需要大量的焊接设备，尤其是高效率专用焊接设备。其它诸如造船、锅炉、核能、汽车、拖拉机、飞机、矿山、冶金、机械、电机电器、仪器仪表、半导体、电子及军工、宇航等工业部门都要广泛地使用焊接设备。

科学技术的发展，特别是现代应用科学的发展又促进了焊接设备的进一步发展。目前，在焊接设备的设计和研制过程中，正在逐步应用电子学、电子光学、控制技术、高温技术、超声技术、电子计算机、仪器仪表、等离子物理、激光理论等方面的知识和最新成就。

焊接设备作为主要的金属加工装备，有“工业缝纫机”之称。目前，工业发达国家，50%左右的钢产量要制作成焊接结构才能应用于生产。例如，苏联1979年钢产量为1.49亿t，而焊接结构产量达0.74亿t。为了焊接这些结构，年产焊

接设备约30万台。因此，随着钢产量和钢材使用量的不断增加，焊接设备的需求量也要不断地增加。

焊接设备种类与品种很多，但量大面广的仍然是弧焊电源（弧焊机中，供给焊接电弧电能，并具有适宜于电弧焊电气特性的设备），根据不完全统计我国弧焊电源目前按生产的焊接设备构成比约占89.9%（见图1）。当然，随着生产技术不断进步，电阻焊机生产和

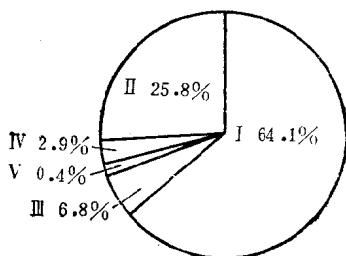


图1 我国焊接设备生产构成比

I—交流弧焊机 II—直流弧焊机
III—电阻焊机 IV—自动、半自动
弧焊机 V—其它焊机

应用的比例有增大的趋势，但总的来讲，弧焊电源仍然是占绝大多数。因此，研究和了解弧焊电源在工业生产中的地位和作用对更好地发挥其优点是有重要意义的，尤其是弧焊电源节能问题更应该引起重视。

弧焊电源是电弧焊机的重要组成部分，在电焊机生产中占有重要地位。各国电焊机年生产量中，弧焊电源的台数一般占电焊机总台数的80%左右；弧焊电源的产值一般达总产值的40%左右。

弧焊电源品种繁多。如美国的各种焊接设备大约有500多个品种，其中弧焊电源即达300多个品种；日本的各种焊接设备共计约200多个品种，其中弧焊电源亦达70多个品种。

弧焊电源是电弧焊接时能量的供给源，其性能好坏直接影响到电焊机性能和焊接质量。弧焊电源的特性必须与电弧

现象相适应，具有稳定性，而且进一步要求能对电弧现象进行控制，使焊接质量提高。

过去弧焊电源大多数采用机械调节，用磁放大器、电子管等来实现控制。近几年来，对弧焊电源的控制精度、稳定性、可靠性、电源外特性，特别是动（态）特性，都相应地提出了许多更高的要求。另一方面，晶体管、晶闸管或 IC（集成电路）等半导体器件的发展，质量的提高、价格的降低，使这些器件能在弧焊电源中获得更广泛的运用。充分应用这些半导体器件和先进技术，可制成性能更高级、控制精度更高的弧焊电源。

由于对弧焊电源的进一步研究和发展，使原来不能焊接变为能焊接，或者使焊接质量能进一步提高。今后各种特性良好的弧焊电源将会不断涌现。

（一）对弧焊电源的基本要求

焊接电弧是电极与焊件之间气体介质中的一种持续强烈的放电现象。电弧焊柱中心温度可达 $6000\sim 7000^{\circ}\text{C}$ 。电弧焊就是利用电弧的热量使焊条金属（或填充金属）和母材熔化形成焊缝的一种焊接方法。

电弧焊机使电弧能稳定地燃烧，是进行电弧焊接必不可少的设备。而弧焊电源又与电弧放电的特性和焊接工艺对电弧燃烧状态提出的要求等密切相关。为了更好地了解焊接电源的性能，下面先简要地介绍几个特性的含义。

（1）电弧静特性：在电极材料、气体介质和弧长一定的情况下，电弧稳定燃烧时，焊接电流与电弧电压变化的关系，这种关系一般也称为伏-安特性。

通常金属的电阻可以看成是一个常数，其电压和电流的关系满足欧姆定律，所以其静特性曲线是一条直线，见图 2。

电弧也可视为一个电阻性负载，但与金属负载不同，其电阻不是常数。因为电弧电阻的大小与电弧的温度有关，而电弧的温度又与电流有关。所以电流不同，电阻随之发生变化。即电流和电压不是线性关系，而是形成如图 3 所示的曲线，这就是电弧的静特性曲线。

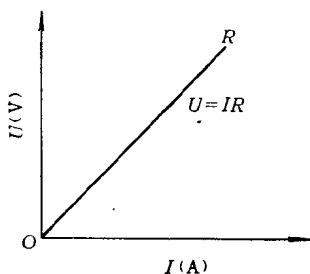


图2 恒电阻负载的静特性曲线

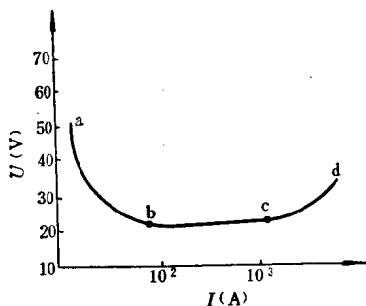


图3 焊接电弧的静特性曲线

由图 3 可以看出，电弧的静特性曲线可分为三段：下降特性段 (ab 段)、平特性段 (bc 段) 和上升特性段 (cd 段)。在 ab 段，电弧电压随电流的增加而下降。这是因为当焊接电流比较小时，电流增加，极性斑点和弧柱截面积也增加，电流密度变化不大。但对弧柱来讲，电流增加，弧柱变粗，单位弧长散热面的增加却少得多。结果导致弧柱温度上升，电离度提高，电阻迅速降低，因而电弧电压随着电流的增加而减小。在 bc 段，虽然基本情况与上段类似，但弧柱截面的增加受到电极截面的限制，因此弧柱电阻下降的速度与电流上升的速度基本相当，因而出现平特性段。在 cd 段，当电流增加时，弧柱截面受到电极截面的进一步限制而不能继续增加，电弧的电阻便大大增加。要保证在较小的面积上通

过较大的电流，必须提高电压，因此出现上升段。

不同的电弧焊接方法，在一定条件下，其静特性只是曲线的某一部分。手工电弧焊时，由于使用电流受到限制，故其静特性曲线无上升段。影响电弧静特性的因素主要有：电弧长度、周围气体种类、周围气体介质压力的影响等。当弧长增加时，电弧电压升高，其静特性曲线的位置也随之升高，见图4。

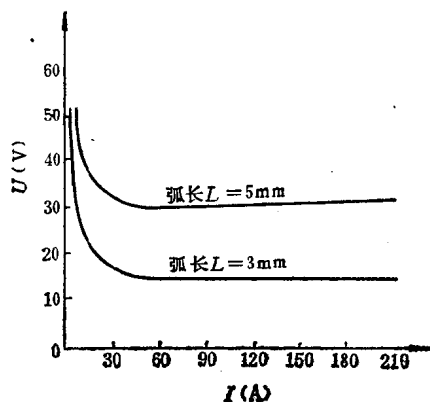


图4 不同电弧长度的静特性曲线

(2) 电源外特性 在规定范围内，弧焊电源稳态输出电流和输出电压间的关系，常简称为外特性。在运行范围内输出电流增加，输出电压则随之降低，表示这种下降特性关系的曲线称为下降外特性曲线（见图5）。

(3) 电源动特性 当负载状态发生瞬时变化时，弧焊电源输出电流和输出电压与时间的关系，用以表征对负载瞬变的反应能力，常简称为动特性。

(4) 空载电压 在无负载状态运行时，即焊接回路开路

时，弧焊电源的输出端电压。

(5)规范调节特性 是指焊机能灵活地在一定的范围内调节焊接规范（一般指焊接电流和相应的工作电压），以满足工艺上需要的特性。

焊接过程中，焊接电弧与一般照明或动力用电情况差别较大，后者不论输出电流的大小，仅要求输出电压基本不变。

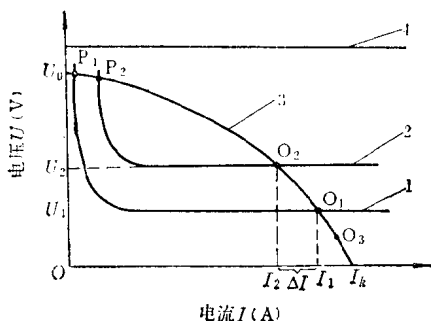


图5 电弧稳定燃烧与电源外特性的关系

1—较短电弧的静特性曲线 2—较长电弧的静特性曲线 3—焊接电源的下降外特性曲线 4—一般照明电源的外特性曲线
 I_k —短路电流 I_1 —较短电弧时焊接电流 I_2 —较长电弧时焊接电流 U_0 —空载电压 P_1 、 P_2 —电弧的引燃点 O_1 、 O_2 —电弧稳定燃烧点 ΔI —弧长变化后电流变化值

从图5可以看到，当调好弧焊电源规范后，电源的外特性曲线不变。在正常的焊接过程中，如果拉长电弧（曲线1至曲线2），则焊接电流降低（ $I_2 < I_1$ ），电弧电压增高（ $U_1 < U_2$ ）。电弧静特性曲线与电源外特性曲线分别相交于 P_1 、 P_2 和 O_1 、 O_2 点。 P_1 、 P_2 就是电弧的引燃点，图5中所示电源的空载电压 U_0 均大于 P_1 、 P_2 点的电压值，因此可

以引弧。曲线1与曲线3相交于 P_1 和 O_1 两点，电弧在这两点都可以燃烧，因为这两点的电源输出功率等于电弧的功率。至于哪一点才是电弧的稳定燃烧点，则可用以下方法简要说明。

设电弧原在 O_1 点燃烧（图5），其电弧电压为 U_1 ，电流为 I_1 ，若由于外界某种原因（如电弧中的电离程度突然发生变化）使电源的电流减小到 I_2 ，则电压升高到 U_2 。（见图5中的 O_2 点），由于弧长没有改变，这时从电源加给电弧两端的电压 U_2 高于电弧所需的电压 U_1 ，于是又促使电流增大，直到 O_1 点为止。反之，由于某种原因使电流从 O_1 点增大，超过 I_1 到 O_3 点时，因为 O_3 点电压小于 O_1 点电压，结果限制了电流 I_1 的增大而使电弧仍然维持在 O_1 点上燃烧。

当电弧偶然在 P_1 点燃烧，使电流减小，这时电源供给电弧的端电压小于相同电流下的电弧静特性所需电压，于是电流又继续减小直到电弧熄灭。反之，若电流趋向增大时，则因电源供给的电压大于电弧静特性上电弧所需要的电压，于是电流又继续增大，直到 O_1 点才停止。以上情况说明，只有在 O_1 点电弧才能稳定燃烧。在 O_1 点燃烧时的电弧电压和焊接电流值，就是焊接规范所指的。从图5中可以看出，如果弧长变化很小， ΔI 值变化更小。手工电弧焊操作时，常因手的颤动、焊条送给速度不均匀或焊条不平整等，使电弧长度有一定的变化。弧长的改变，对于陡降的外特性所引起的电流改变较小（图6中 $\Delta I_1 < \Delta I_2$ ），对焊接质量无显著的影响。焊接过程中发生短路（焊条与焊件接触），会形成很大的短路电流。为了保障弧焊电源的安全，短路电流必须受到限制。从图5可以看出，陡降外特性电源的短路值为 I_k ，一般为焊接电流的1.2~1.5倍，最大不允许超过2倍。从以

上简单分析可知，手工电弧焊要求电源的外特性是陡降的。

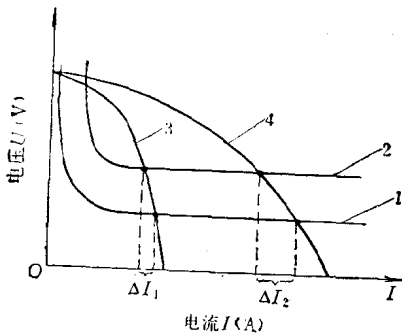


图6 电源下降外特性对弧长变化的适应性

1—较短电弧的静特性曲线 2—较长电弧的静特性曲线 3—焊接电源的陡降外特性曲线 4—焊接电源的缓降外特性曲线

从引弧及电弧的稳定燃烧的角度来考虑，弧焊电源的空载电压是越高越好。但空载电压过高，操作不安全，耗铜多，制造成本要增加，故一般弧焊电源空载电压在90V以下（交流弧焊电源空载电压为60~85V，直流弧焊电源空载电压为40~90V）。

在焊接时，负载总是不断地在变化，尤其在引弧时，将焊条与焊件短路又分开的过程都将使弧焊电源的负载发生急剧变化，从而电压和焊接电流也相应变化。工艺上则要求变化后的电流、电压应能在新的电弧稳定燃烧点上迅速稳定下来。但事实上，焊接回路总有一定的感抗存在，使焊机输出的电流和电压的变化落后于负载状态的变化，电弧由旧规范变化至新的稳定燃烧点，有一个过渡过程，过渡过程越短，其动特性就越好。这就是电源动特性的具体解释。电源动特性的指标之一是焊接电源的端电压短路后，从零值恢复到工

作电压的时间,通常规定电压恢复时间不大于 $0.05s$ 。时间越短,该动特性指标越好。

动特性良好的电源,引弧容易,焊接过程中电弧突然拉长一点,不易熄灭,飞溅也少,使焊工感到电弧很“柔软”,操作自如。动特性不良的电源,电弧“暴躁”,容易熄弧。

综上所述,对弧焊电源的基本要求应有:下降电源外特性;适当的空载电压;能保证电弧稳定燃烧和焊接规范的稳定;焊接规范在规定范围内能够灵活调节,以适应不同性质和厚度材料的焊接;有良好的动特性;使用时消耗电能少,结构紧凑,制造容易,原材料消耗要少;使用可靠,维护容易;保证安全,不致引起触电等工伤事故。

(二)弧焊电源的分类方法

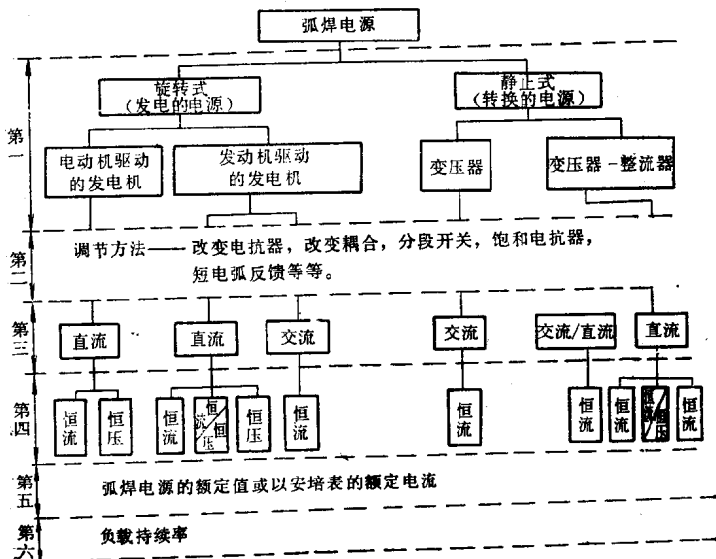


图7 弧焊电源分类方法示意图

使用电弧焊接法焊接工件需要特殊的电源——弧焊电源,这类电源的电压一般从15V到35V,电流从100A到500A,比常用的照明用电源的电压低而电流大。

获得弧焊电源有两种不同方法:①临时使用发电的;②取自电网的可利用的功率的转换。

每种弧焊电源均有其特殊的用途,而且是针对特定的焊接方法来说的,表1概括了各种电弧焊接方法,并且说明每种焊接方法通常使用的弧焊电源的类型。

(三)弧焊电源主要类型

弧焊电源分为交流弧焊电源、旋转直流弧焊电源、整流弧焊电源3种类型。

交流弧焊电源是一种特殊的降压变压器,其基本原理与一般电力变压器相同。它由一次、二次绕组相隔离的主变压器及所需的调节和指示装置等组成。可将电网的交流电变成适于弧焊的交流电。这种变压器一般为单相供电,适用于一般焊接结构的手工电弧焊、铝合金的钨极氩弧焊和埋弧焊等。

旋转直流弧焊电源,由三相感应电动机或柴(汽)油机拖动弧焊发电机,以及为获得所需外特性的调节装置、指示装置等组成。

旋转直流弧焊电源由于在焊接过程中电网电压波动时仍能保证焊接规范的稳定,因此在焊接某些要求一定极性的合金钢、合金钢、有色金属及其合金时,可选作焊接电源。

旋转直流弧焊电源既可用于一般手工电弧焊,又可用作碳弧焊、碳弧气刨、等离子弧切割等方面的电源,起到一机多用的作用。目前,国内在弧焊设备使用方面,旋转直流弧

表1 焊接方法和推荐用的弧焊电源的类型

电弧焊接法	弧焊电源外特性	直 流		交 流
		恒流“陡降” CC-DC	恒压“水平” CV-DC	
手工电弧焊(SMAW)		好	不用	恒流“陡降” CC-AC
气体保护钨极电弧焊(GTAW)或TIG		好	不用	好
等离子弧焊(PAW)		好	不用	不允许用
碳弧焊接(CAW)、碳弧切割(CAC)、碳弧气刨(CAG)		好	可用	好
埋弧焊(SAW)		好	好	好
气体保护金属极电弧焊(GMAW) (惰性气体)		好	好	不允许用
气体保护金属极电弧焊(GMAW) (射流过渡)		好	好	不用
气体保护金属极电弧焊(GMAW)(CO ₂)		适用	好	不用
气体保护金属极电弧焊(GMAW) (短路过渡)		不用	好	不用
药芯焊丝电弧焊(FCAW)		好	好	可用
电渣焊(EW)		可用	好	适用

焊电源仍占有一定地位。但随着半导体器件可靠性的提高及控制技术的完善，今后旋转弧焊电源将逐步被整流弧焊电源所代替。旋转直流弧焊柴(汽)油机电源因适宜在野外无电源地区使用，仍有一定的需要量。

整流弧焊电源没有旋转部件，是一种将交流电变为直流电的静止式直流弧焊电源。整流弧焊电源一般由一次、二次绕组相隔离的主变压器、整流器组及获得所需外特性的调节装置、指示装置等组成。这种电源一般为三相供电。随着电子工业迅速发展、大功率硅器件广泛应用，整流弧焊电源今后必将被大量选用。

弧焊电源对焊接质量有极其重要的影响。交流弧焊电源、旋转直流弧焊电源和整流弧焊电源在结构、制造、使用等方面各有优缺点。各类弧焊电源的特点见表2。在选用弧焊电源时，要根据技术要求、经济效果、工作条件以及生产实际情况等因素全面衡量后决定。

从表2中可以看出，交流弧焊电源在经济效果方面有较显著的优越性，而且制造和维修也较简单，故一般在满足焊接技术要求的前提下应尽量优先选用。

弧焊电源能发出的功率，与其本身的发热情况有关，如果发热超过其允许温升（一般为 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ ）时，弧焊电源就容易被烧毁。负载的状态（长时间连续通电或间歇地通电）也是影响弧焊电源温升的一个重要因素。很明显，在相同的焊接电流下，如果长时间连续焊接，温升就高；间歇焊接，温升就低。为了使弧焊电源的温升不超过所允许的数值，必须对不同的负载使用不同的输出电流。这样，既可合理地发挥弧焊电源能力，又能保障弧焊电源的安全。一般用负载持续率来表示某种负载状态，其计算式是：

$$\text{负载持续率} = \frac{\text{焊接电源负载的时间}}{\text{选定的工作时间周期}} \times 100\%$$

手工电弧焊如果选定的工作时间周期为5min，由于敲渣或更换焊条，实际电弧燃烧时间为2min，代入上式则负载持续率为40%。我国生产的弧焊电源的额定负载持续率一般为60%。铭牌中指出的额定焊接电流就是在额定负载持续率情况下允许使用的焊接电流。为了使焊接电源不致烧坏，须按规定使用。

表2 各类弧焊电源特点比较表

项 目	交流弧焊电源	旋转直流弧焊电源	整流弧焊电源
焊接电流种类	交流	直流	直流
电弧稳定性	低	高	较高
极性可换性	无	有	有
磁偏吹影响	很小	较大	较大
构造与维修	简单	较繁	较简单
噪 声	较小	较大	很小
供 电	一般为单相供电	三相供电	一般为三相供电
效 率	高	低	较高
功率因数	较低	高	较高
成 本	低	高	较高
重 量	轻	较重	较轻
触电危险	较大	较小	较小
适用范围	1. 一般焊接结构的 手工电弧焊 2. 铝合金的钨极氩 弧焊 3. 埋弧焊	1. 较重要焊接结构的手工电弧焊 2. 各种埋弧焊、气体保护焊及等离子弧 切割、焊接	

1. 交流弧焊电源

为了满足焊接电弧的稳定燃烧，交流弧焊电源必须具有下降的电源外特性，则变压器内部须有较大的感抗。一般增