

机械工人学习材料

JIGRENERENREN XUEXI CAILIAO

等离子弧焊接

赵吉儒 编著



机械工业出版社

本书简要地介绍了等离子弧焊接的基本原理、特点、应用范围及其所采用的设备、电源和各种控制系统等，并通过典型的生产实例，较详细地叙述了等离子弧焊接的操作技术，以及对焊接规范的选择等。

同时，对等离子弧堆焊、喷焊、喷涂等新工艺，也作了一些阐述。

本书可供从事等离子弧焊接实际工作的工人参考。

赵晋德 编著

*

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 2·字数 48千字

1983年4月北京第一版·1983年4月北京第一次印刷

印数 0,001—9,550·定价 0,16元

*

科技新书目：48-101

统一书号：15033·5535

目 次

- 一 概述.....(1)
- 二 等离子弧焊接的基本原理及特点.....(2)
 - 1 等离子弧是怎样产生的(2)——2 等离子弧的形式(4)——3 等离子弧焊接的基本原理和特点(5)
- 三 等离子弧焊接设备.....(7)
 - 1 焊接电源(9)——2 电控系统(11)——3 焊枪(12)——4 焊车及转胎(19)——5 水冷系统(22)——6 气路系统(23)——7 高频振荡器(25)
- 四 等离子弧焊接的操作技术.....(28)
 - 1 焊枪同心度的调整(28)——2 工作气体和保护气体的选择(29)——3 等离子弧焊接规范参数选择(30)——4 等离子弧焊接缺陷的产生原因及防止方法(35)——5 等离子弧焊接过程中出现“双弧”的原因及防止方法(35)——6 应用实例(37)
- 五 微束等离子弧焊接.....(45)
 - 1 微束等离子弧焊接特点(45)——2 微束等离子弧焊接工艺(48)——3 使用范围(49)
- 六 其他几种等离子弧焊接方法的特点及应用.....(52)
 - 1 脉冲等离子弧焊接(52)——2 等离子弧堆焊(54)——3 等离子弧喷焊(57)——4 等离子弧喷涂(60)

一 概 述

等离子弧焊接是一种压缩的钨极气体保护焊接法。这种焊接方法是六十年代出现的新技术，是在氩弧焊的基础上发展起来的。

等离子弧焊接与一般的氩弧焊相比，具有生产效率高，焊接质量好，应用面广等特点。可以用来焊接不锈钢、高强度钢、耐高温合金、钛及其合金、钼及其合金、铜及其合金以及普通低合金结构钢等。

焊接时一般不需填充焊丝，焊件可以不开坡口，而是靠它本身金属的熔化形成焊缝，可一次焊透，单面焊双面成形，这样就显著地提高了生产效率，因此是一项很有发展前途的新工艺。

等离子弧也称压缩电弧，它是经过一种特殊的装置——“等离子弧焊枪”压缩产生的。而普通电弧则是自由电弧，不经过任何压缩，电弧发散，能量分散，这就是等离子弧和一般电弧的主要区别。

等离子弧是可控的，按其性质可分为刚性弧和柔性弧。刚性弧挺直，穿透力强，适用于切割，而柔性弧挺直度较差，比刚性弧柔和，适用于焊接。这就是等离子弧焊接与等离子弧切割的主要区别。

等离子弧焊接按焊透形式又可分为“熔透法”与“穿孔法”（穿透法）。“熔透法”主要靠熔池的热传导实现焊透，多用于板厚在3毫米以下的焊接；而“穿孔法”又称“小孔法”，是靠强劲的等离子弧穿透被焊工件实现焊透，多用于3~12毫米厚的金属焊接。

近几年来，等离子弧作为一种高能量的热源，又具有一系列

的优点，因此在工业上得到了广泛的应用。它除了焊接一些特殊材料之外，还能用来切割特殊材料；堆焊和喷焊合金材料；喷涂各种金属和非金属材料；金属切削加工、冶炼等。目前，等离子弧焊接还应用于化工、原子能、电子、精密仪器仪表、火箭、航空等工业和空间技术中。

二 等离子弧焊接的基本原理及特点

从本质上讲，等离子弧乃是一种电弧放电的气体导电现象，目前所用电极主要仍是钨极。

1 等离子弧是怎样产生的 一般钨极氩弧焊的钨极伸出在保护气罩外（图1 b），钨极同工件之间产生的电弧没有被压缩，因此电弧发散，同时弧柱内只有少量气体电离，温度也不集中，所以称为“自由电弧”。

等离子弧通常是将“自由电弧”的弧柱进行强迫“压缩”而获

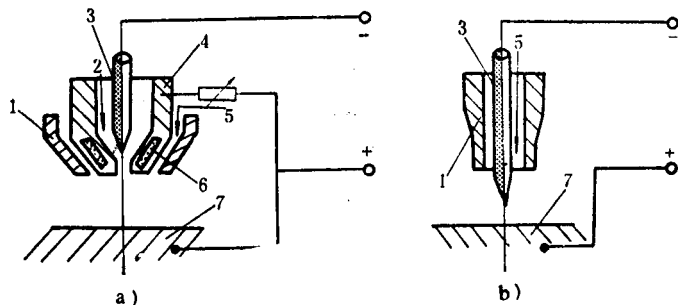


图1 等离子弧焊与氩弧焊比较

a) 等离子弧焊 b) 氩弧焊

1—保护罩 2—等离子弧气体 3—钨极 4—喷嘴 5—保护气
6—冷却水 7—工件

得的，如图 1 a) 所示。这种强迫压缩的作用称为“压缩效应”。

等离子弧是经过三种形式的压缩效应得到的 (图 2)。这三种压缩效应都是通过焊枪完成的。

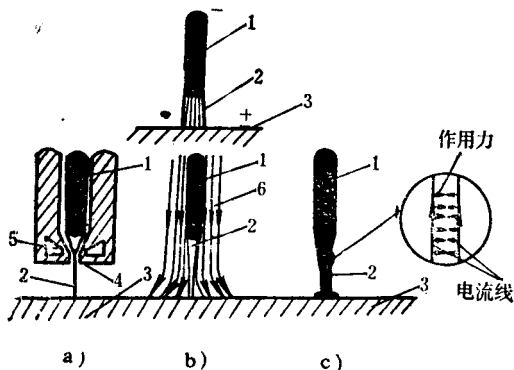


图 2 等离子弧的压缩效应

a) 机械压缩 b) 热收缩 c) 电磁收缩

1—钨极 2—电弧 3—工件 4—喷嘴孔道 5—冷却水 6—冷却气流

(1) 机械压缩效应 使自由电弧通过喷嘴的孔道，强迫弧柱直径缩小，这种作用称为“机械压缩效应” (图 2 a)。

(2) 热收缩效应 在焊枪中流过高速冷却的气流，形成很薄的冷气流层 (冷气壁) 均匀包围着弧柱，并不断地把弧柱的热量带走，使弧柱边缘层的温度下降，边缘层的气体电离程度也急剧降低，迫使带电粒子流 (离子和电子) 往高温和高电离度的弧柱中心区域集中，使电弧弧柱直径变细，这种收缩作用称为“热收缩效应” (图 2 b)。

(3) 电磁收缩效应 带电粒子流在弧柱中可以被看成是无数根平行通电的导体。在这两根平行而通过同方向电流的导体之间，在自身磁场的作用下，产生相互吸力，使这两个导体相互靠

近。它们之间的距离越近，则相互吸引力就越大。因此在上述“机械压缩效应”和“热收缩效应”的作用下，已被压缩变细的弧柱，由于这种相互的吸力而使弧柱进一步压缩变细。这种压缩作用称为“电磁收缩效应”（图2c）。

以上三种效应对弧柱所产生的压缩作用，使自由电弧被压缩后，弧柱直径变细，促使弧柱电流密度显著地提高，成为等离子弧。“等离子弧”又叫做“压缩电弧”。

2 等离子弧的形式 等离子弧一般分为如下三种：

（一）转移型弧（又称过渡型电弧，大电弧或直接弧）。它是在电极（负极）和工件（正极）之间燃烧的电弧。如图3a所示，电弧建立在电极与工件之间，其温度较非转移型弧高，能量集中，具有不同压缩性的转移弧，可用于金属切削、熔炼、焊接、送丝堆焊和粉末喷焊等。

（二）非转移型弧（又称非过渡型电弧、小电弧、间接弧、等离子焰或维持弧等）如图3b所示，它是在电极（负极）和喷嘴之间燃烧的电弧，这时工件不导电，电弧建立在电极与喷嘴内表

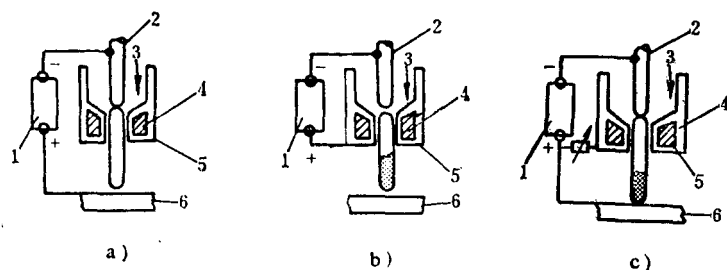


图3 等离子弧的形式

a) 转移型弧 b) 非转移型弧 c) 联合型弧

1—电源 2—钨极 3—等离子气 4—冷却水 5—喷嘴 6—工件

面之间，高温的等离子焰从喷嘴内喷出，按电弧的刚性不同，可用于喷镀、切割等。

(三) 联合型电弧 如图 3c 所示，非转移型和转移型弧并存时叫联合型等离子弧。在采用联合型电弧时，一般非转移型弧是作为辅助热源。联合型电弧主要用于粉末喷焊等。

3 等离子弧焊接的基本原理和特点 利用等离子弧能量密度和等离子流力大的特点，使等离子弧在适当的条件下，可以实现穿孔（小孔）型焊接，见图 4。也就是说等离子弧焊接是借助

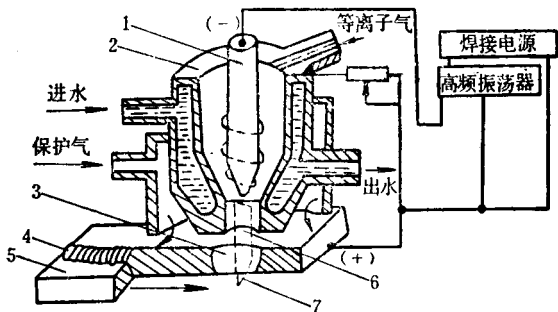


图 4 “小孔法”等离子弧焊接示意图

1—钨极 2—喷嘴 3—小孔 4—焊缝 5—母材 6—等离子弧 7—尾焰

小孔效应使焊缝成形的，通常讲等离子弧焊接就是这一种。这时等离子弧将工件完全熔透，并在等离子流力作用下形成一个穿透工件的小孔，熔化金属被排挤在小孔周围，随着等离子弧在焊接方向的移动，熔化金属沿着电弧周围的熔池壁向熔池后方移动，使小孔跟着等离子弧向前移动。稳定的小孔焊接过程，便是焊缝完全焊透的一种标志。

当焊枪前进时，小孔在弧后闭合，形成完全熔透的焊缝，这种焊接方法称为“小孔法”焊接（也称大电流等离子弧焊接），是

目前等离子弧焊接的主要方法。工件厚度在一定厚度范围内可不开坡口，不留间隙，一般不加填充丝，工件单面焊双面成形，并且电弧稳定、热量集中、热影响区小，焊接变形小，生产率高。但这种穿孔效应只有在足够能量密度条件下才能进行焊接。

穿孔法等离子弧焊接除了用于焊接碳钢，不锈钢外，还可以用于焊接难熔、易氧化、热敏感性强的材料，如钼、钨、铍、铬、钽、镍、钛及其合金等。

等离子弧作为焊接热源，它的能量密度介于钨极氩弧焊和电子束焊接之间，详见表 1。

表 1 几种焊接热源的能能量密度比较

焊 接 热 源 种 类	能 量 密 度 瓦/厘米 ²
电子束	$\approx 10^7$
等离子弧	$\approx 10^6$
氩 弧	$\approx 10^4$

等离子弧焊接与钨极氩弧焊相比有如下特点：

(1) 等离子弧的能量密度大，弧柱温度高，穿透能力较强，板厚在 12 毫米以下可不开坡口，一次焊透双面成形，焊缝断面呈“酒杯形”（图 5）。

(2) 焊接电流小到 0.1 安培时，电弧仍然能稳定燃烧，并保持良好的挺直与方向性。



图 5 等离子弧焊接焊缝断面图

(3) 电弧呈圆柱形，弧长变化对工件表面加热点的能量密度影响较小，弧长变化的允许偏差不十分严格。

(4) 钨极缩于喷嘴内，焊缝可避免钨污染。

- (5) 焊接速度快，生产效率高。
- (6) “小孔法”焊接不适于手工操作，灵活性不如手工氩弧焊。
- (7) 设备较复杂，气体消耗量较大，同样只宜在室内焊接。

三 等离子弧焊接设备

等离子弧焊接设备由焊接电源、电控系统、焊枪、焊车（或转胎）、气路及水路等组成（图6）。

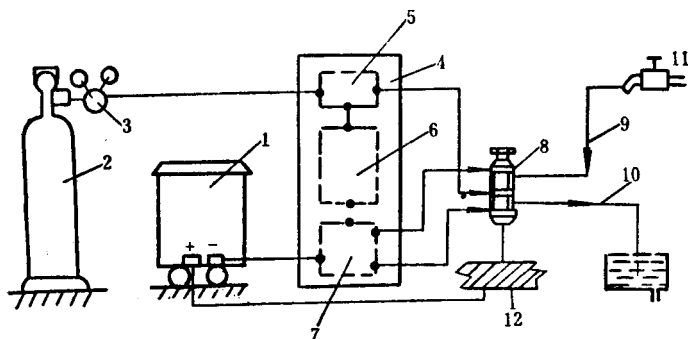


图6 等离子弧焊接设备组成示意图

- 1—焊接电源 2—气源 3—调压表 4—电控箱 5—气路控制
6—程序控制 7—高频发生器 8—焊枪 9—进水管 10—出水管 11—水源 12—工件

目前国产等离子弧焊机主要有：

LH-300型(图7)，LH-400型，LHZ-400型(图8)，LH-500型等。

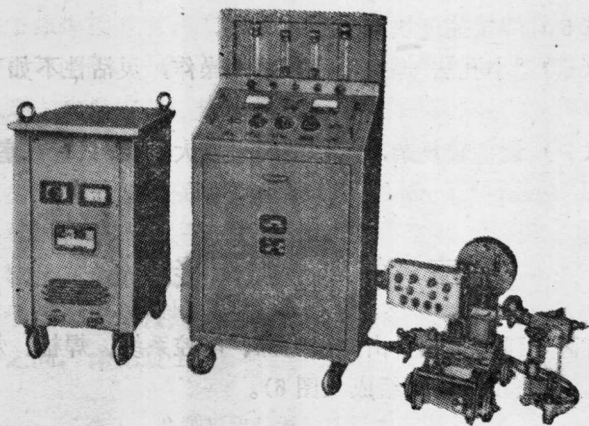


图7 LH-300型等离子弧焊机

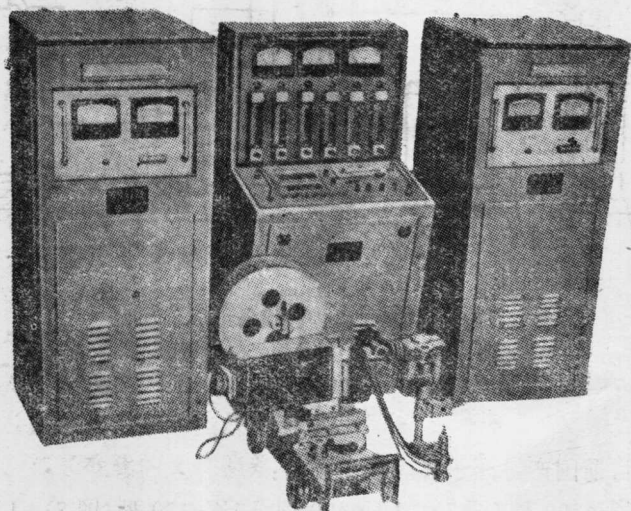


图8 LHZ-400型等离子弧焊机

1 焊接电源 等离子弧焊接一般采用直流电源。具有下降或垂直陡降特性的硅整流电源或弧焊发电机都可供等离子弧焊接使用。用纯氩作为离子气时，电源空载电压只需 65~80 伏。用氩加氢混合气作离子气时，空载电压需 110~120 伏。如果无合适的专用电源，可用两台普通的直流弧焊电源串联使用。

大电流（穿孔法）等离子弧焊都采用转移型弧，用高频引弧。引弧后切断非转移弧，因此转移弧和非转移弧合用一个电源，用串联电阻法获得非转移弧所需的较低电流，为减小体积，这个电阻常采用水冷结构，如图 9 a 所示。

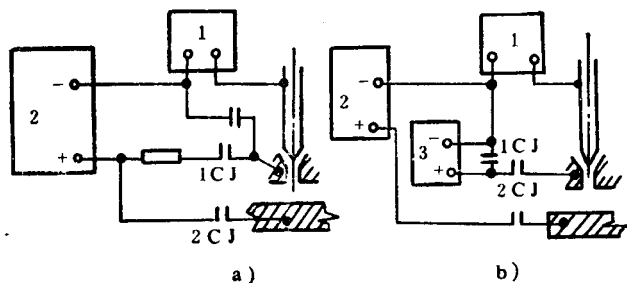


图 9 等离子弧主电路结构

a) 转移型弧 b) 混合型弧

1—高频发生器 2、3—弧焊电源

30 安培以下的小电流（微束）等离子弧焊接采用混合型弧，用高频或接触短路回抽引弧。由于非转移弧在正常焊接过程中不能切除，因此一般要用两个独立的电源，见图 9 b。非转移型弧电源的空载电压应为 100~150 伏，转移弧电源的空载电压在 80 伏左右即可。微束等离子弧电源外特性最好为垂直陡降特性，以提高微束等离子弧的稳定性。

为了保证收弧处焊接质量，等离子弧焊接一般要考虑采用电流衰减法熄弧，因此还要求电源应有电流衰减控制装置。

(一) 等离子弧对焊接电源的要求

(1) 等离子弧的静特性 对于一定长度的电弧，当通过电弧的电流为一稳定值时，电弧的电流与电压之间的关系称为电弧的静特性。

实践证明，等离子弧的静特性与氩弧焊一样，电流和电压之间的关系曲线也是一条开始下降而后近似平行的曲线（图 10）。当采用不同的离子气时，由于气体的电离电位不同，所以等离子弧的电压也不同，因此曲线位置也不一样，但曲线的形状是相同的。

(2) 等离子电弧对电源外特性的要求 当电源稳定工作时，随着弧长的变化，其电弧电流与电源输出端电压之间的关系叫“电源外特性”。等离子弧要稳定燃烧，必须满足“电源-电弧”系统的稳定燃烧条件。这就要求电源外特性曲线的形状与电弧静特性曲线的形状适当配合（图 11）。

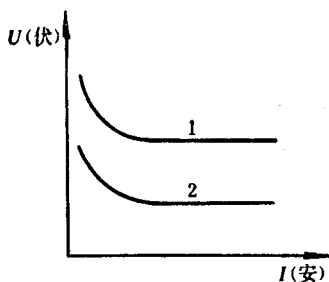


图10 等离子弧的静特性曲线

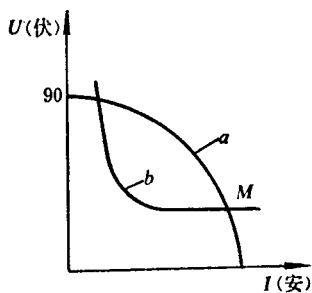


图11 等离子电弧稳定燃烧工作点

a—外特性曲线 *b*—静特性曲线

M—电弧稳定燃烧点

当外界干扰使弧长发生变化时，为了满足电弧稳定燃烧的条件

件，保证焊接规范参数变化小，故要求电源应具有陡降的外特性曲线。

(二) 等离子弧焊的电源类型 目前使用的等离子弧焊接电源有三种类型：

(1) 旋转式的直流弧焊机：如AX1-500-1(AB-500-1)这是一种专供电弧焊用的特殊式的直流发电机。它把励磁由自励改为他励，以便控制电流的大小和衰减过程。

(2) 三相磁放大器式焊接整流器，这种电源控制电流大小及衰减都较方便。如ZXG-300型焊接整流器。

(3) 可控硅式焊接整流器，这是一种比较新型的直流电源，可用来作为等离子弧焊接电源。

2 电控系统

(一) 对电控系统的要求

(1) 焊前能调节离子气，保护气流量以及离子气流的衰减速度。

(2) 能事先调节预热时间，电流衰减，延时关闭气体的时间。

(3) 焊前及焊接过程中能调节小车和填充焊丝的速度，并控制填充焊丝的伸出长度。

(4) 能用高频振荡器检查电极的对中情况(同心度)。

(5) 预先通气，滞后关气和离子气流的自动衰减。

(6) 远距离接通和切断焊接电源。

(7) 在焊接结束时可进行电流及气流衰减以消除弧坑。

(8) 在焊接过程中，如果发生故障时可以急停。

(9) 在焊接过程中，填充丝的需要与否可以单独控制。

(10) 在焊接时，只要按一下“引弧”和“焊接”；结束时按“停止”按钮，则整个焊接过程便全部自动按程控进行。

(11) 无冷却水时,不得启动焊机,在焊接过程中,如果冷却水中断或水压不足,焊接过程应立即停止。

(二) 焊接过程程序 图 12 为等离子弧焊接过程程序示意图。

焊接过程程序
为:

焊前准备: 检查冷却水是否已流通, 并应有足够的流量; 用高频火花检查钨极对中情况。

焊接过程:

预通离子气
→ 高频引弧 (非

转移弧) → 引弧后高频切断 → 预通保护气 → 转弧 → 转弧后非转移弧切断 → 预热 → 焊车行走 (或转胎转动) 开始焊接。

焊接结束:

电流、气流按预定的速率衰减, 电流衰减到一定值电路切断, 气路滞后关闭, 焊接完成。

3 焊枪 焊枪是高温等离子弧的发生装置, 是一个关键部件。它的结构设计是否合理, 对等离子弧的稳定性和焊接质量有直接影响。

(一) 焊枪的结构 焊枪主要由上枪体, 下枪体和喷嘴三部分组成。上枪体用来固定电极, 它主要包括上体水套, 钨极夹持机构, 升降杆, 调节螺帽和冷却水管等; 下枪体用来固定喷嘴, 它除了下体水套外, 主要是由进气管和冷却水管 (兼导电) 组成。

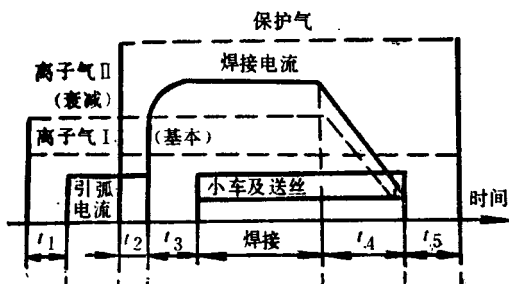


图12 焊接过程程序示意图

t_1 —预通离子气时间 t_2 —预通保护气时间
 t_3 —预热时间 t_4 —电流衰减时间 t_5 —滞后关气时间

喷嘴是单独的一部分。上下枪体之间要求绝缘可靠，气密性好，并有较高的同心度。绝缘套可用胶木或其它绝缘性能良好的材料（如聚四氟乙烯等）制成。上下枪体之间，下枪体与喷嘴之间，凡要求对气、水密封的地方，一般均可采用橡胶材料加以密封。上下枪体都要通水冷却，用黄铜制成，加工精度必须保证上下枪体和喷嘴同心。在保证工作可靠的前提下，结构应尽量简单，以减轻重量，操作灵便。

（二）焊枪的冷却 焊枪的冷却主要集中在喷嘴和阴极，其次是冷却导线。

（1）喷嘴的冷却 冷却喷嘴的主要目的是为了稳定地压缩等离子弧，并保护喷嘴稳定工作，而本身不被熔化。

喷嘴一般用导热性能良好的紫铜制成，喷嘴的壁厚一般为1~2.5毫米。为便于冷却水的流动，喷嘴内腔所有拐角处都应做成圆角，（一般 $R \approx 1$ ）而不应制成尖角，喷嘴内腔表面光洁度要求达到 $\nabla 6$ 以上。

（2）电极的冷却 电极的冷却分间接冷却和直接冷却两种，间接冷却是通过电极夹持机构的热传导来冷却电极的，而直接冷却则是通过冷却水直接冷却电极的。直接冷却比间接冷却效果好，但在制造和使用上，直接冷却不如间接冷却方便。

（3）水冷导线 为减小导线截面，减轻重量，一般等离子弧焊枪用的导线，均采用水冷，常做成水冷式电缆。也可以采用普通导线。

（4）冷却系统的密封 冷却水腔和接头处的密封是很重要的，如果有渗漏，将直接影响焊枪的正常工作。一般采用橡皮圈来密封，既有柱面密封的也有端面密封的。一般采用“O”型密封圈密封端面较方便。

（5）影响冷却效果的因素 要求冷却水的水质洁净，蒸馏

水是比较理想的，它不易产生水垢。如果没有条件，也可以用清洁的自来水进行冷却。要避免水中夹杂泥沙等杂质淤塞水路。为提高冷却效果，冷却水的温度力求低些，并保证有足够流量和水源压力。

阴极的冷却部位愈接近阴极顶端，冷却效果就愈好。为进一步提高冷却效果，在喷嘴的空腔中间设有隔板，便于水流充分循环，消除死水区；另外也有用缩小水冷空间的办法，使水路变窄增加水的流速。

(三) 焊枪离子气的进气方式 离子气进入焊枪气室的方式一般有两种：径向进气和切向进气。径向进气时，气体在气室中流动方向是垂直的（图 13 b），等离子弧焊接一般采用这种进气方式。切向进气时，气体在气室做旋转流动（图 13 a）。由于切向进气对等离子弧压缩效果好，多用于切割、喷涂工艺中。在焊接大厚度板时，也可采用这种进气方式。

(四) 气流要通过水冷喷嘴才能对电弧进行压缩，产生稳定的等离子弧。其主要工艺故障也往往产生在喷嘴部分，因此喷嘴是焊枪的核心部分，它的结构形式和几何尺寸是否合理，对保证等离子弧的压缩和稳定性有重要影响。

图 14 为几种喷嘴的结构形式。

一般的“熔透法”焊接多采用“a”型。“b”型喷嘴带两个

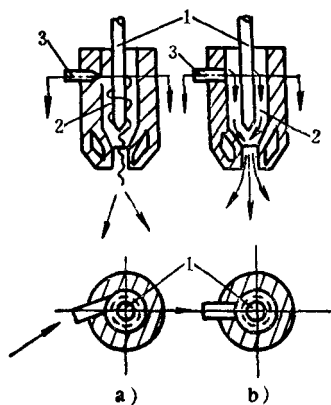


图13 等离子弧焊枪的进气方式
a) 切向进气 b) 径向进气
1—钨极 2—气室 3—进气口