

第九章 等离子弧焊接

基本要求

- 1、掌握等离子弧的产生原理及特点
- 2、了解等离子弧发生器的结构
- 3、掌握等离子弧焊接的几种主要的工艺形式及特点

重点

- 1、等离子弧的热源特点、等离子弧的静特性
- 2、等离子弧的焊接工艺参数的选择

§ 9-1 等离子弧焊接特点

一、等离子弧的形成

等离子弧是一种被压缩的钨极氩弧，具有很高的能量密度、温度及电弧力。等离子弧是通过三种压缩作用获得的：

1) **机械压缩**：水冷铜喷嘴孔径限制弧柱截面积的自由扩大，这种拘束作用就是机械压缩；

2) **热压缩**：喷嘴中的冷却水使喷嘴内壁附近形成一层冷气膜，进一步减小了弧柱的有效导电面积，从而进一步提高了电弧弧柱的能量密度及温度，这种依靠水冷使弧柱温度及能量密度进一步提高的作用就是热压缩；

3) **电磁压缩**：由于以上两种压缩效应，使得电弧电流密度增大，电弧电流自身磁场产生的电磁收缩力增大，使电弧受到进一步的压缩，这就是电磁压缩。

二、等离子弧的类型

(一) 非转移型电弧

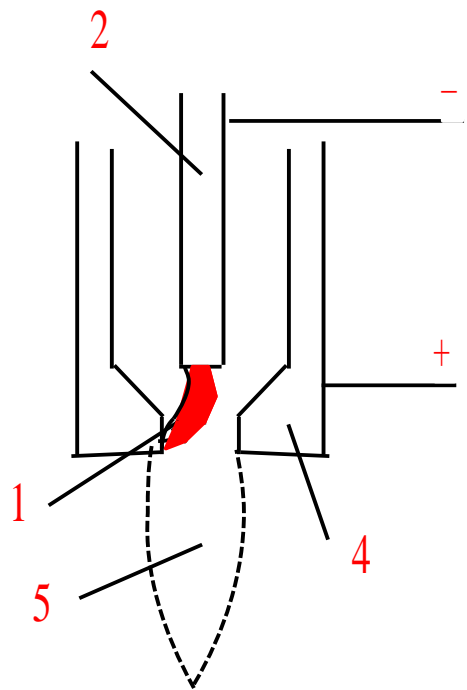
非转移型电弧燃烧在钨极与喷嘴之间，焊接时电源正极接水冷铜喷嘴，负极接钨极，工件不接到焊接回路上；依靠高速喷出的等离子气将电弧带出，这种电弧适用于焊接或切割较薄的金属及非金属。

(二) 转移型电弧

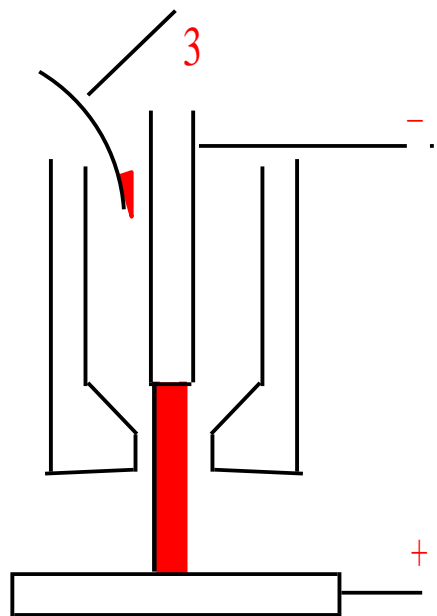
转移型电弧直接燃烧在钨极与工件之间，焊接时首先引燃钨极与喷嘴间的非转移弧，然后将电弧转移到钨极与工件之间；在工作状态下，喷嘴不接到焊接回路中。这种电弧用于焊接较厚的金属。

(三) 联合型电弧

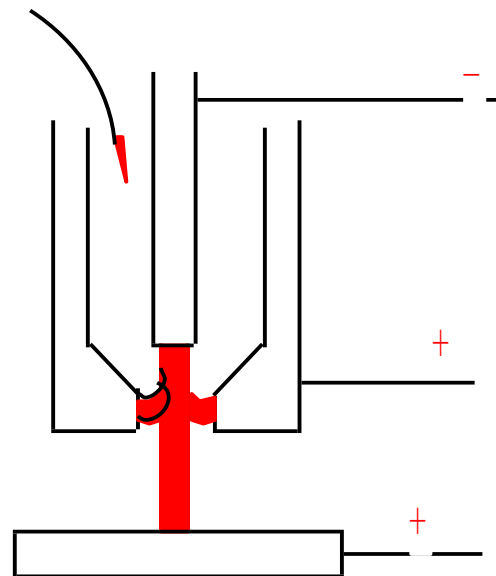
转移弧及非转移弧同时存在的电弧为联合型电弧。混合型电弧在很小的电流下就能保持稳定，因此特别适合于薄板及超薄板的焊接。



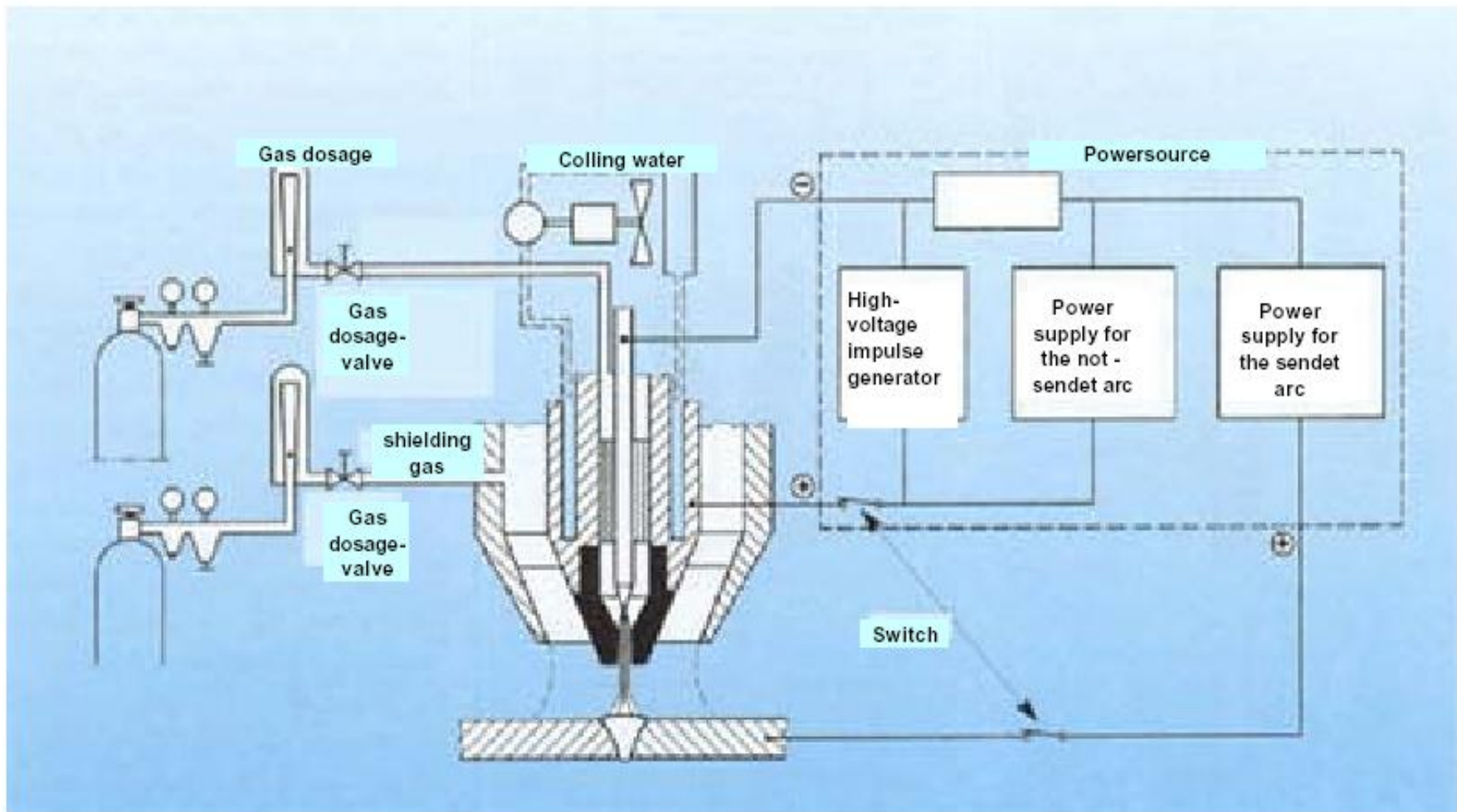
非转移



转移



联合



等离子焊与氩弧焊的比较:

①通过水冷喷嘴压缩电弧电弧集中热影响区小3~10 mm的板不用开坡口可以焊接穿孔效应；②焊接速度快；③焊件变形小；④焊缝成型美观；⑤单面焊接无需打底；⑥不需复杂的焊前准备。

三、等离子弧焊的特点及应用

(一) 特点

由于等离子电弧具有较高的能量密度、温度及刚直性，因此与一般电弧焊相比，等离子电弧具有下列优点：

- 1) 熔透能力强，在不开坡口、不加填充焊丝的情况下可一次焊透8~10mm厚的不锈钢板；
- 2) 焊缝质量对弧长的变化不敏感，这是由于电弧的形态接近圆柱形，且挺直度好，弧长变化对加热斑点面积的影响很小，易获得均匀的焊缝形状；
- 3) 钨极缩在水冷铜喷嘴内部，不会与工件接触，因此可避免焊缝金属产生夹钨现象；
- 4) 等离子电弧的电离度较高，电流较小时仍很稳定，可焊接微型精密零件；
- 5) 可产生稳定的小孔效应，通过小孔效应，正面施焊时可获得良好的单面焊双面成形。

(二) 等离子弧焊的缺点:

- 1) 可焊厚度有限，一般在25mm以下；
- 2) 焊枪及控制线路较复杂，喷嘴的使用寿命很低；
- 3) 焊接参数较多，对焊接操作人员的技术水平要求较高。

(三) 应用

可用钨极氩弧焊焊接的金属，比如不锈钢、铝及铝合金、钛及钛合金、镍、铜、蒙耐尔合金等，均可用等离子弧焊焊接。这种焊接方法可用于航天、航空、核能、电子、造船及其它工业部门中。

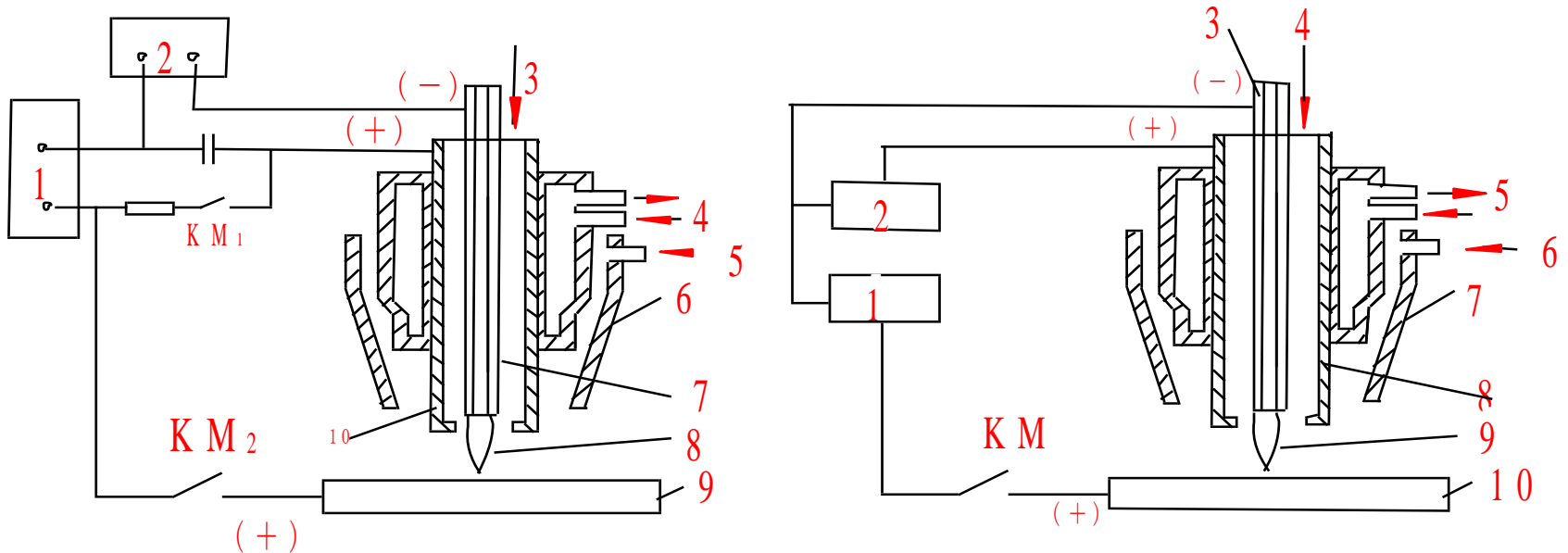
§ 9-2 等离子弧发生器

一、分类

等离子弧焊枪、割枪、喷枪。

二、组成

主要由电极、电极夹头、压缩喷嘴、中间绝缘体、上枪体、下枪体及冷却套等组成。最关键的部件为喷嘴及电极。



(一) 喷嘴

1、分类

(1) 按喷嘴孔道的数量:

可分为**单孔型**和**三孔型**两种。

三孔型喷嘴除了中心主孔外，主孔左右还有两个小孔。从这两个小孔中喷出的等离子气对等离子弧有一附加压缩作用，使等离子弧的截面变为椭圆形。当椭圆的长轴平行于焊接方向时，可显著提高焊接速度，减小焊接热影响区的宽度。

(2) 按孔道的形状:

可分为**圆柱型**及**收敛扩散型**等两种。

通常采用圆柱形压缩孔道，而收敛扩散型压缩孔道有利于电弧的稳定。

2、最重要的喷嘴形状参数为压缩孔径及压缩孔道长度

(1) 喷嘴孔径 dn

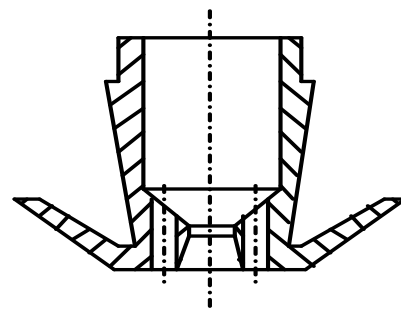
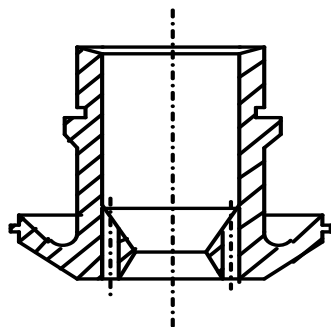
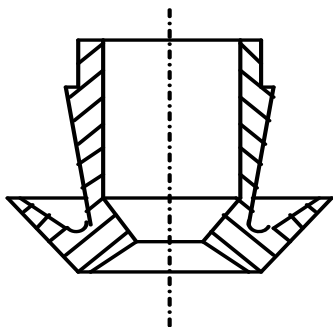
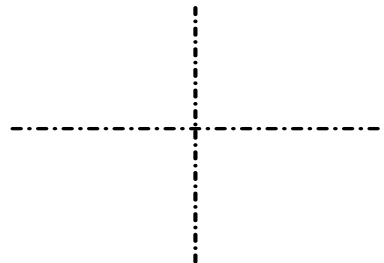
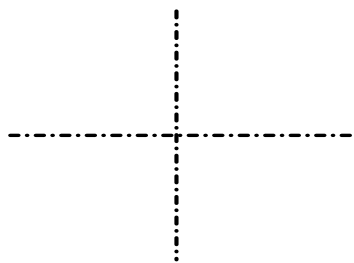
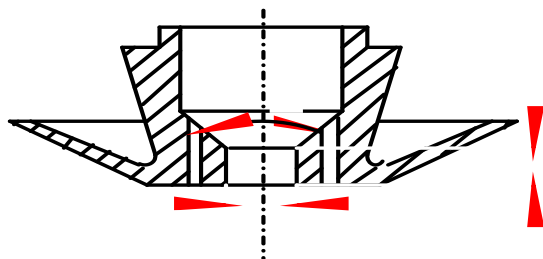
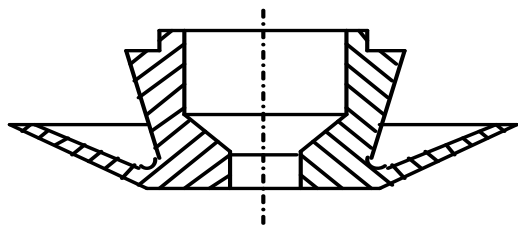
dn 决定了等离子弧的直径及能量密度。通常应根据焊接电流大小及等离子气种类及流量来选择。直径越小，对电弧的压缩作用越大，但太小时，等离子弧的稳定性下降，甚至导致双弧现象，烧坏喷嘴。

(2) 喷嘴孔道长度 l_0

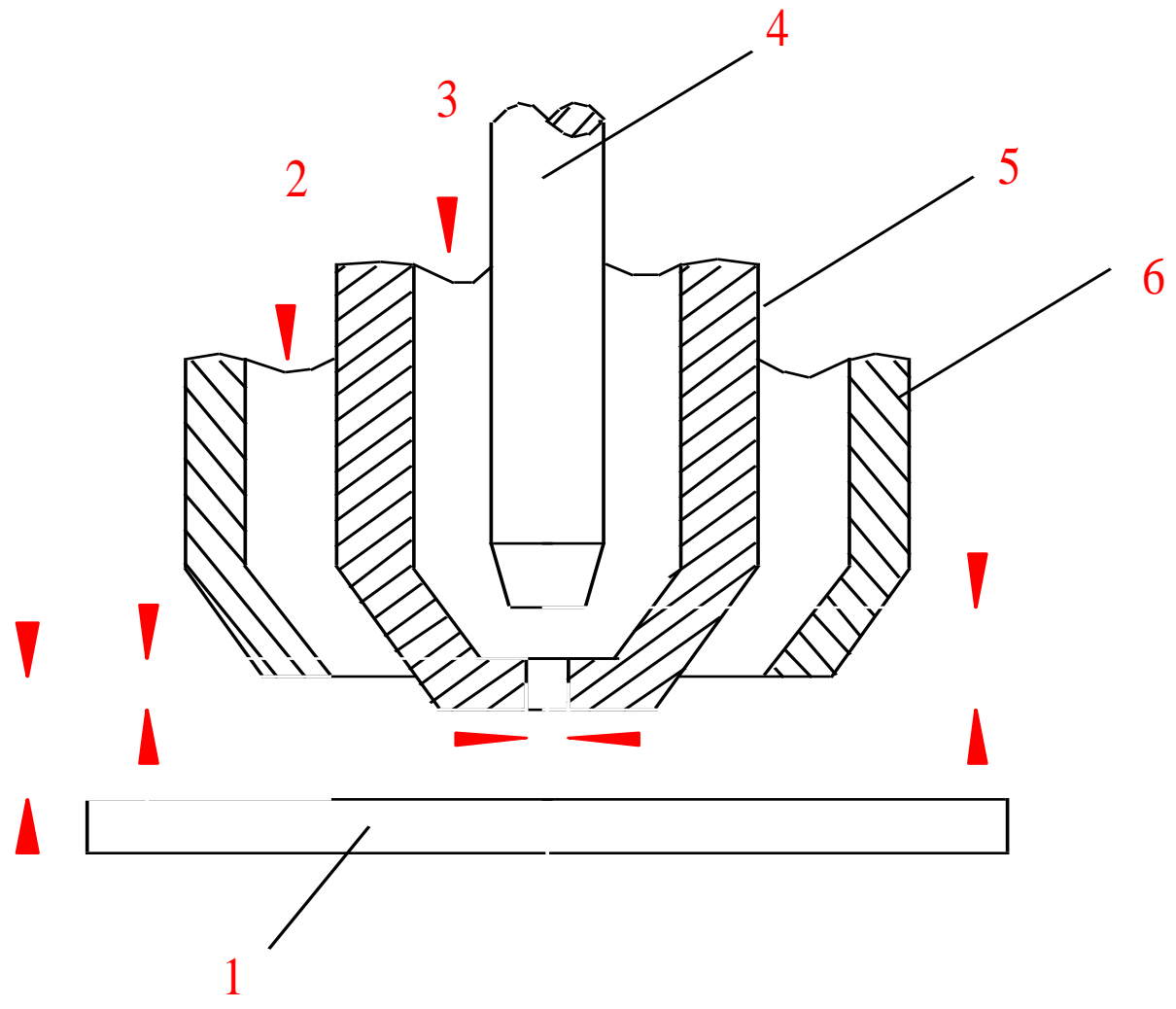
在一定的压缩孔径下， l_0 越长，对等离子弧的压缩作用越强，但 l_0 太大时，等离子弧不稳定。通常要求孔道比 l_0/dn 在一定的范围之内。

(3) 锥角 α

对等离子弧的压缩角影响不大， $30^\circ\sim 180^\circ$ 范围内均可，但最好与电极的端部形状配合，保证将阳极斑点稳定在电极的顶端。



喷嘴类型

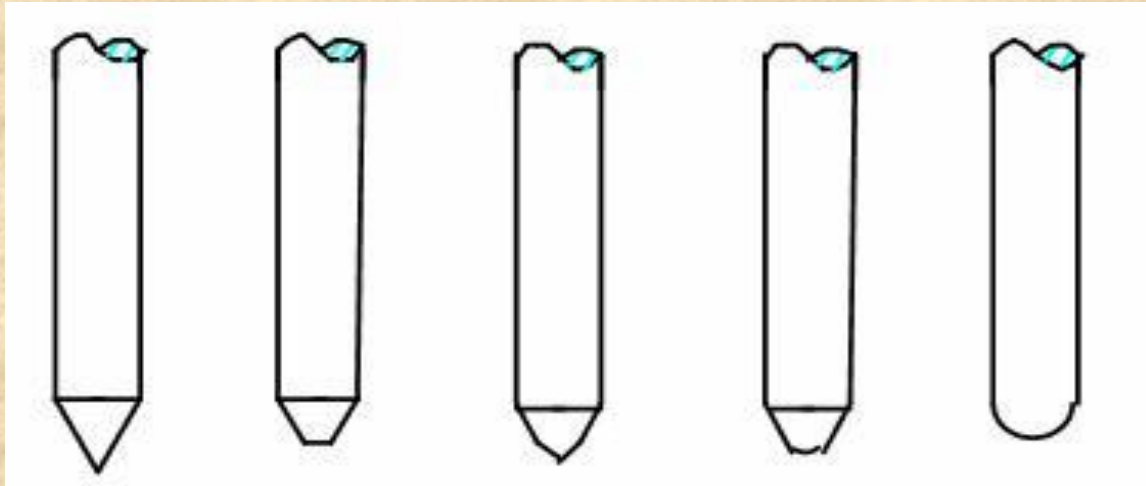


(二) 电极

等离子弧焊接一般采用钍钨极或铈钨极，有时也采用锆钨极或锆电极。钨极一般需要进行水冷，小电流时采用间接水冷方式，钨极为棒状电极；大电流时，采用直接水冷，钨极为镶嵌式结构。

棒状电极端头一般磨成尖锥形或尖锥平台形，电流较大时还可磨成球形，以减少烧损。

与TIG焊不同，等离子焊时，钨极一般内缩到压缩喷嘴之内，从喷嘴外表面至钨极尖端的距离被称为内缩长度 l_r 。为了保证电弧稳定，不产生双弧，钨极应与喷嘴保持同心，而且钨极的内缩长度 l_r 要合适（ $l_r=l_0\pm 0.2\text{mm}$ ）。



§ 9-3 双弧及其防止措施

一、双弧

正常条件下，转移型电弧在钨极与工件之间产生，在某些异常情况下，会产生一个与正常电弧并联的燃烧在钨极—喷嘴以及喷嘴—工件之间的串弧，这种现象叫双弧。

二、双弧产生的原因及防止措施

序号	原因	措施
1	在电流一定的条件下，喷嘴孔径太小或压缩孔道的长度过大	应匹配正确规格的喷嘴
2	等离子气体的流量过小	应适当增大等离子气体的流量
3	钨极轴线与喷嘴轴线之间的偏差过大	使钨极轴线与喷嘴轴线对正
4	金属飞溅物堵塞喷嘴	清理喷嘴
5	电源的外特性不正确	选择陡降外特性的电源

§ 9-4 离子弧焊接工艺

一、等离子弧焊的基本方法

有三种方法：穿孔型、熔入型及微束等离子弧焊。

(一) 穿孔型等离子弧焊

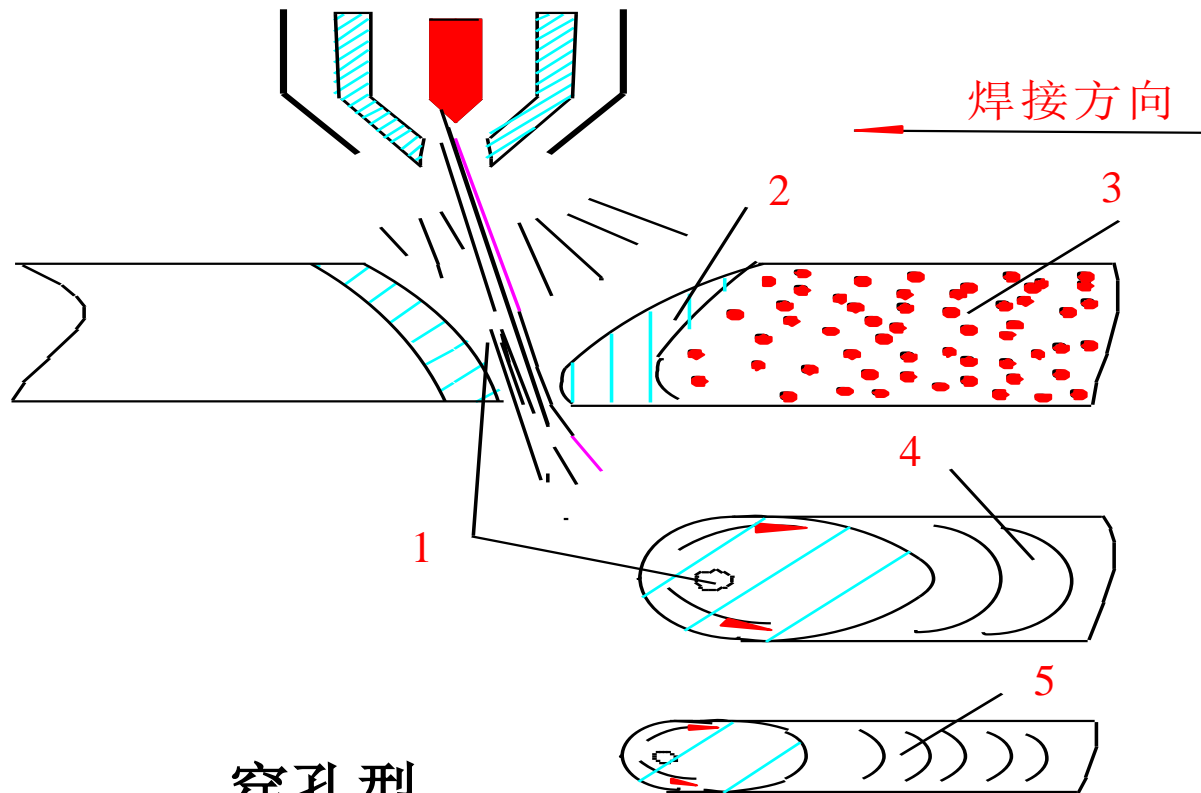
1、采用较大的焊接电流及等离子流，使等离子弧具有较大的能量密度及等离子流力。

2、工件完全熔透并在等离子流力的作用下形成一个贯穿工件的小孔，而熔化金属被排挤在小孔周围。随着等离子弧在焊接方向移动，熔化金属沿电弧周围熔池壁向熔池后方移动并结晶成焊缝，而小孔随着等离子弧向前移动。

3、适用于单面焊双面成形，并且也只能进行单面焊双面成形。

4、焊接较薄的工件时，可不开坡口、不加垫板、不加填充金属，一次实现双面成形。

小孔的产生依赖于等离子弧的能量密度，板厚越大，要求的能量密度越大，对于厚度更大的板材，穿孔型等离子弧焊只能进行第一道焊缝的焊接。



穿孔型

(二) 熔入型等离子弧焊接

采用较小的等离子气流量，等离子流力小，电弧穿透能力低。

特点：

- 1、只能熔化工件，形不成小孔，与TIG焊相似。
- 2、适用于薄板、多层焊的盖面焊及角焊缝的焊接。

(三) 微束等离子弧焊接

一种小电流（通常小于30A）熔入型焊接工艺。

1、设备特点：

- 1) 小孔径压缩喷嘴（0.6 mm ~ 1.2 mm）
- 2) 联合型电弧。非转移弧起着引弧和维弧作用，使转移弧在电流小至0.5A时仍非常稳定。

2、工艺特点：

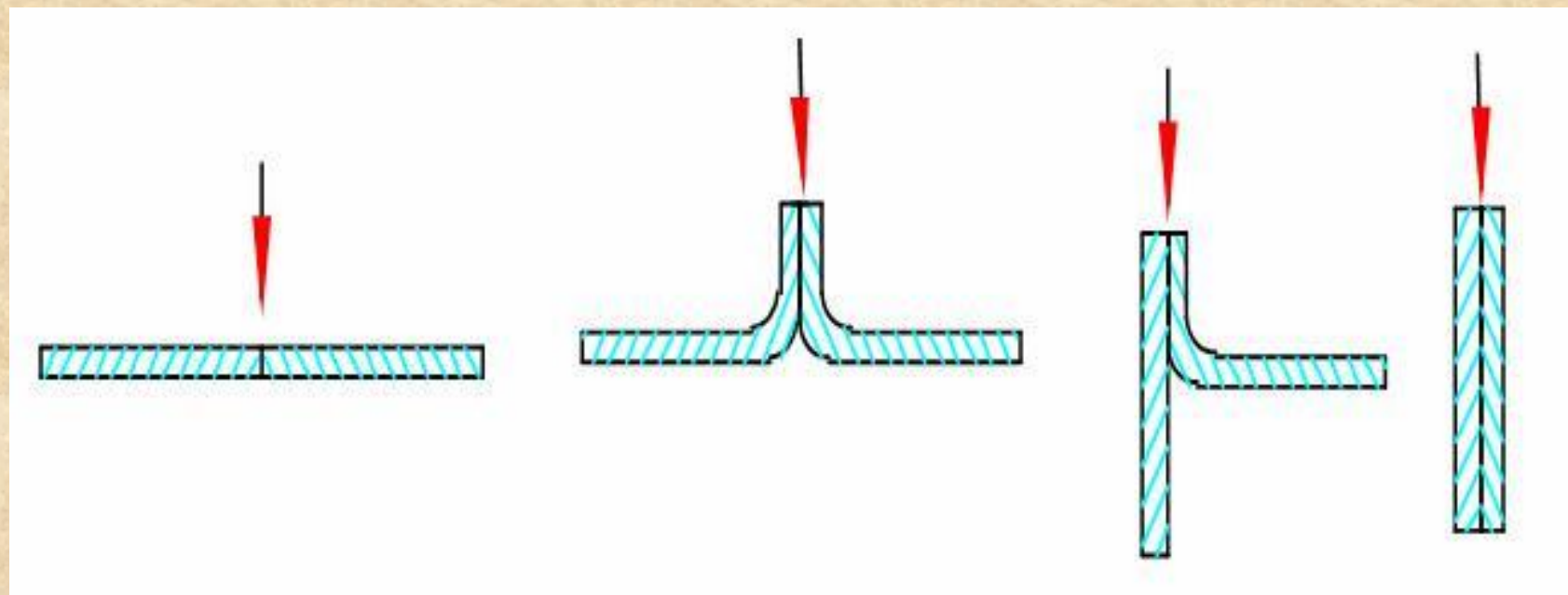
- 1) 可焊更薄的金属，最小可焊厚度为0.01mm；
- 2) 弧长在很大的范围内变化时，也不会断弧，并且电弧保持柱状；
- 3) 焊接速度快、焊缝窄、热影响区小、焊接变形小。

二、 焊接工艺及参数

(一) 接头及坡口形式

接头形式根据板厚来选择：

1、厚度在0.05 mm ~ 1.6 mm之间时，通常采用下图中的接头形式，利用微束等离子弧进行焊接。



2、板厚大于1.6 mm而小于下表中的板材时，通常不开坡口，利用穿孔法进行焊接。

3、板厚大于表8-1中的限值时，需要开V形或U形坡口，进行多层焊。与TIG焊相比，可采用较大的坡口角度及钝边。钝边的最大允许值等于穿孔法的最大焊接厚度。第一层用穿孔法进行焊接，其他各层用熔入法或其他焊接方法焊接。

材料	不锈钢	钛及钛合金	镍及镍合金	低合金钢	低碳钢
焊接厚度 限值/mm	8	12	6	7	8

(二) 焊接电流

焊接电流总是根据板厚或熔透要求来选定。

焊接电流增大，等离子弧穿透能力增大。但电流过大会引起双弧，损伤喷嘴并破坏焊接过程的稳定性，而且，熔池金属会因小孔直径过大而坠落。因此，在喷嘴结构确定后，为了获得稳定的小孔焊接过程，焊接电流只能在某一个合适的范围内选择，而且这个范围与离子气的流量有关。

(三) 等离子气

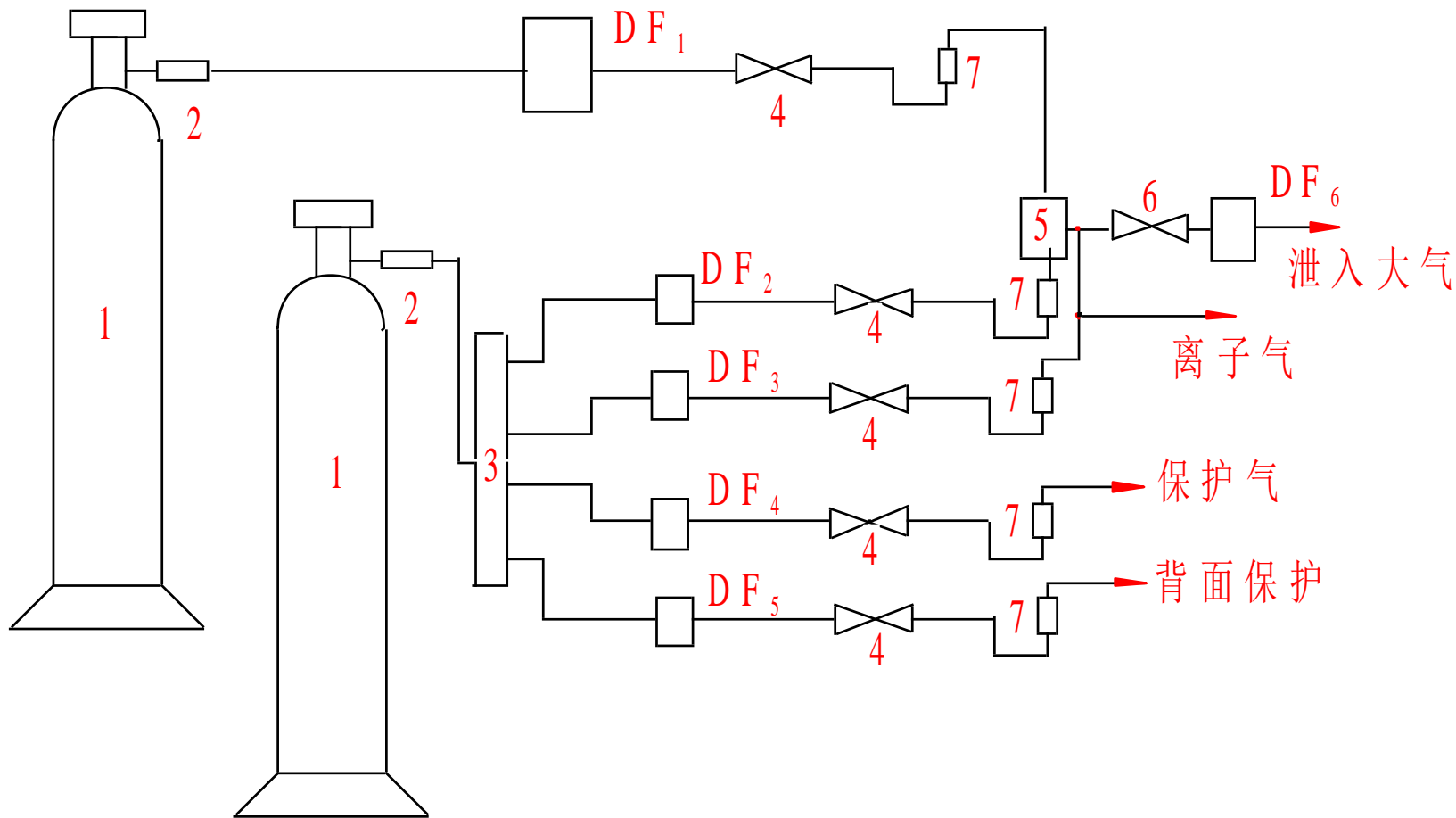
等离子气及保护气体通常根据被焊金属及电流大小来选择。大电流等离子弧焊接时，等离子气及保护气体通常采用相同的气体，否则电弧的稳定性将变差。

下表列出了大电流等离子弧焊焊接各种金属时所采用的典型气体。

大电流等离子弧焊焊接各种金属时所采用的典型气体

金属	厚度/mm	焊接技术	
		穿孔法	熔透法
碳钢 (铝镇静钢)	<3.2	Ar	Ar
	>3.2	Ar	25%Ar+75%He
低合金钢	<3.2	Ar	Ar
	>3.2	Ar	25%Ar+75%He
不锈钢	<3.2	Ar或92.5%Ar+7.5%H ₂	Ar
	>3.2	Ar或95%Ar+5%H ₂	25%Ar+75%He
	>3.2	Ar或95%Ar+5%H ₂	25%Ar+75%He
活性金属	<6.4	Ar	Ar
	>6.4	Ar+ (50%~70%) He	25%Ar+75%He

金属	厚度/mm	焊接工艺	
		穿孔法	熔透法
铝	<1.6	不推荐	Ar或He
	>1.6	He	He
碳钢 (铝镇静钢)	<1.6	不推荐	Ar或75%Ar+25%He
	>1.6	Ar或25%Ar+75%He	Ar或25%Ar+75%He
低合金钢	<1.6	不推荐	Ar, He或Ar+ (1%~5%) H ₂
	>1.6	25%Ar+75%He 或Ar+ (1%~5%) H ₂	Ar, He或Ar+ (1%~5%) H ₂
不锈钢	所有厚度	Ar, 25%Ar+75%He 或Ar+ (1%~5%) H ₂	Ar, He或Ar+ (1%~5%) H ₂



小电流等离子弧焊接通常采用纯氩气作等离子气。这是因为氩气的电离电压较低，可保证电弧引燃容易。

离子气流量直接决定了等离子流力和熔透能力。等离子气的流量越大，熔透能力越大。但等离子气流量过大会使小孔直径过大而不能保证焊缝成形。因此，应根据喷嘴直径、等离子气的种类、焊接电流及焊接速度选择适当的离子气流量。

利用熔入法焊接时，应适当降低等离子气流量，以减小等离子流力。

（四）焊接速度

焊接速度应根据等离子气流量及焊接电流来选择。其它条件一定时，如果焊速增大，焊接热输入减小，小孔直径随之减小，直至消失。如果焊速太低，母材过热，熔池金属容易坠落。因此，焊接速度、离子气流量及焊接电流等这三个工艺参数应相互匹配。

（五）喷嘴离工件的距离

距离过大，熔透能力降低；距离过小则造成喷嘴堵塞。一般取3~8mm。和钨极氩弧焊相比，喷嘴距离变化对焊接质量的影响不太敏感。

（六）保护气体流量

保护气体流量应根据焊接电流及等离子气流量来选择。在一定的离子气流量下，保护气体流量太大会导致气流的紊乱，影响电弧稳定性和保护效果。而保护气流量太小，保护效果也不好，因此，保护气体流量应与等离子气流量保持适当的比例。

小孔型焊接保护气体的流量一般在15~30L/min范围内。

（七）引弧及收弧

利用穿孔法焊接厚板时，引弧及熄弧处容易产生气孔、下凹等缺陷。

对于直缝，采用引弧板及熄弧板来，先在引弧板上形成小孔，然后再过渡到工件上去；最后将小孔闭合在熄弧板上。

但环缝无法用引弧板及熄弧板，必须采用焊接电流、离子气流量递增控制法在工件上起弧，利用电流和离子气流量衰减法来闭合小孔。

三、等离子弧焊常见的焊接缺陷

缺陷类型	产生原因	预防措施
单侧咬边	<ol style="list-style-type: none">1.焊炬偏向焊缝一侧2.电极与喷嘴不同心3.两辅助孔偏斜4.接头错边量太大5.磁偏吹	<ol style="list-style-type: none">1. 改正焊炬对中位置2. 调整同心度3. 调整辅助孔位置4. 加填充丝5. 改变地线位置
两侧咬边	<ol style="list-style-type: none">1.焊接速度太快2.焊接电流太小	<ol style="list-style-type: none">1. 降低焊接速度2. 加大焊接电流
气孔	<ol style="list-style-type: none">1.焊前清理不当2.焊丝不干净3.焊接电流太小4.填充丝送进太快5.焊接速度太快	<ol style="list-style-type: none">1. 除净焊接区的油锈及污物2. 清洗焊丝3. 加大焊接电流4. 降低送丝速度5. 降低焊接速度
热裂纹	<ol style="list-style-type: none">1.焊材或母材含硫量太高2.焊缝熔深、熔宽较大，熔池太长3.工件刚度太大	<ol style="list-style-type: none">1. 选用含硫低的焊丝2. 调整焊接工艺参数3. 预热、缓冷

9.5 mm 低碳钢环缝小孔焊接

