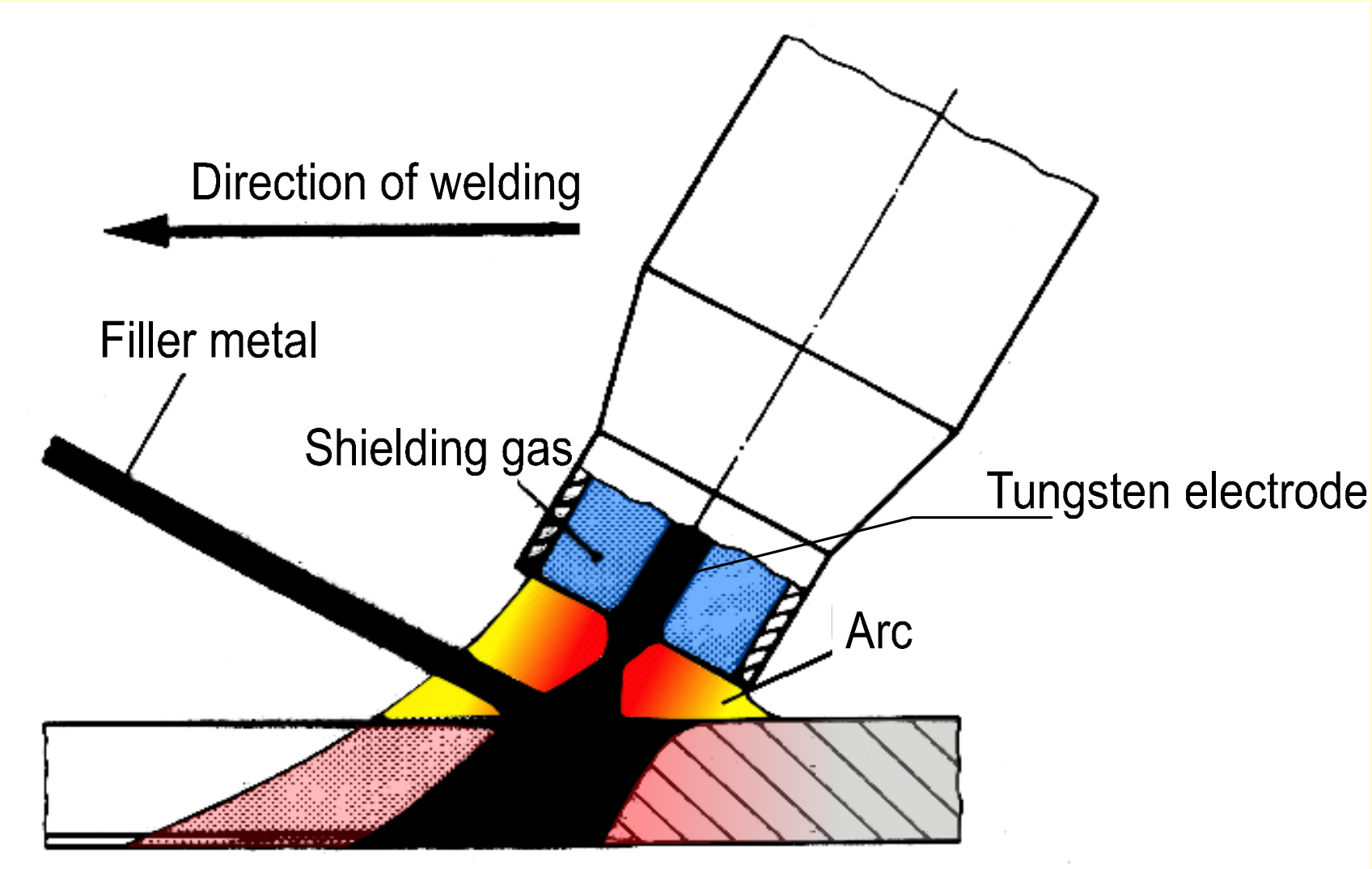


第六章 钨极氩弧焊



基本原理



一、基本要求

- 1、了解钨极氩弧焊的特点及应用
- 2、了解气体保护的特点及钨极氩弧焊焊枪的结构特点
- 3、掌握钨极氩弧焊几种主要工艺的特点及工艺参数的选择原则
- 4、掌握脉冲钨极氩弧焊的工艺特点
- 5、掌握钨极氩弧焊的引弧方式及特点
- 6、了解交流钨极氩弧焊易出现的问题及解决方法

二、重点

- 1、钨极氩弧焊的工艺特点及工艺参数的选择原则
- 2、脉冲钨极氩弧焊的工艺特点
- 3、钨极氩弧焊的引弧方式

§ 6-1 钨极气体保护焊的特点及应用

钨极气体保护焊的特点

1、TIG焊具有以下优点：

1) 焊接过程稳定

- 氩气是单原子分子、不分解、热导率很小，因此，电弧的热量损失少，电弧一旦引燃，就能够稳定燃烧。

- 钨棒本身不会产生熔滴过渡，弧长变化较少，也有助于电弧的稳定燃烧。

2) 焊接质量好

氩气是一种惰性气体，它既不溶于液态金属，又不与金属起任何化学反应；而且氩的原子量较大，有利于形成良好的气流隔离层，有效地阻止氧、氮等侵入焊缝金属。

3) 适于薄板焊接、全位置焊接以及不加衬垫的单面焊双面成形工艺

用几安培的小电流，钨极氩弧仍能稳定燃烧，而且热量相对较集中，因此可焊接0.3毫米的薄板；

4) 焊接过程易于实现自动化

TIG焊的电弧是明弧，焊接过程参数稳定，易于检测及控制，是理想的自动化乃至机器人化的焊接方法。

5) 焊缝区无熔渣，焊工可清除地看到熔池和焊缝成形过程。

2、TIG焊具有以下缺点：

1) 抗风能力差

TIG焊利用气体进行保护，抗侧向风的能力较差。侧向风较小时，可降低喷嘴至工件的距离，同时增大保护气体的流量；侧向风较大时，必须采取防风措施。

2) 对工件清理要求较高

由于采用惰性气体进行保护，无冶金脱氧或去氢作用，为了避免气孔、裂纹等缺陷，焊前必须严格去除工件上的油污、铁锈等。

3) 生产率低

由于钨极的载流能力有限，致使TIG焊的熔透能力较低，焊接速度小，焊接生产率低。

§ 6-2 钨极氩弧焊的焊接材料

钨极气体保护焊的焊接材料主要有：保护气体、填充金属和电极材料等

一、保护气体

(一) 选用的气体

TIG焊一般采用氩气、氦气、氩氦混合气体或氩氢混合气体作为保护气体。

- 氩气：应用最多的气体，电弧稳定，引弧特性好、焊缝成形好
- 氦气：热传导性能比氩气好,能实现更快的焊接速度,焊铝时气孔更少；熔深和熔宽增加。

(二) 气体保护效果

取决与流体流态和流量

1、气体的流态

(1) 层流：管子中的气体呈层状或束流状运动，各个质点的运动方向均沿着轴向，相互之间不干扰或混杂。

(2) 紊流：气体在管内流动时，气体质点之间相互干扰或混杂，内部有许多旋涡。

流态取决于雷诺系数 $R = \frac{dv_p}{\gamma}$

式中， d – 管子直径

v_p – 气体速度

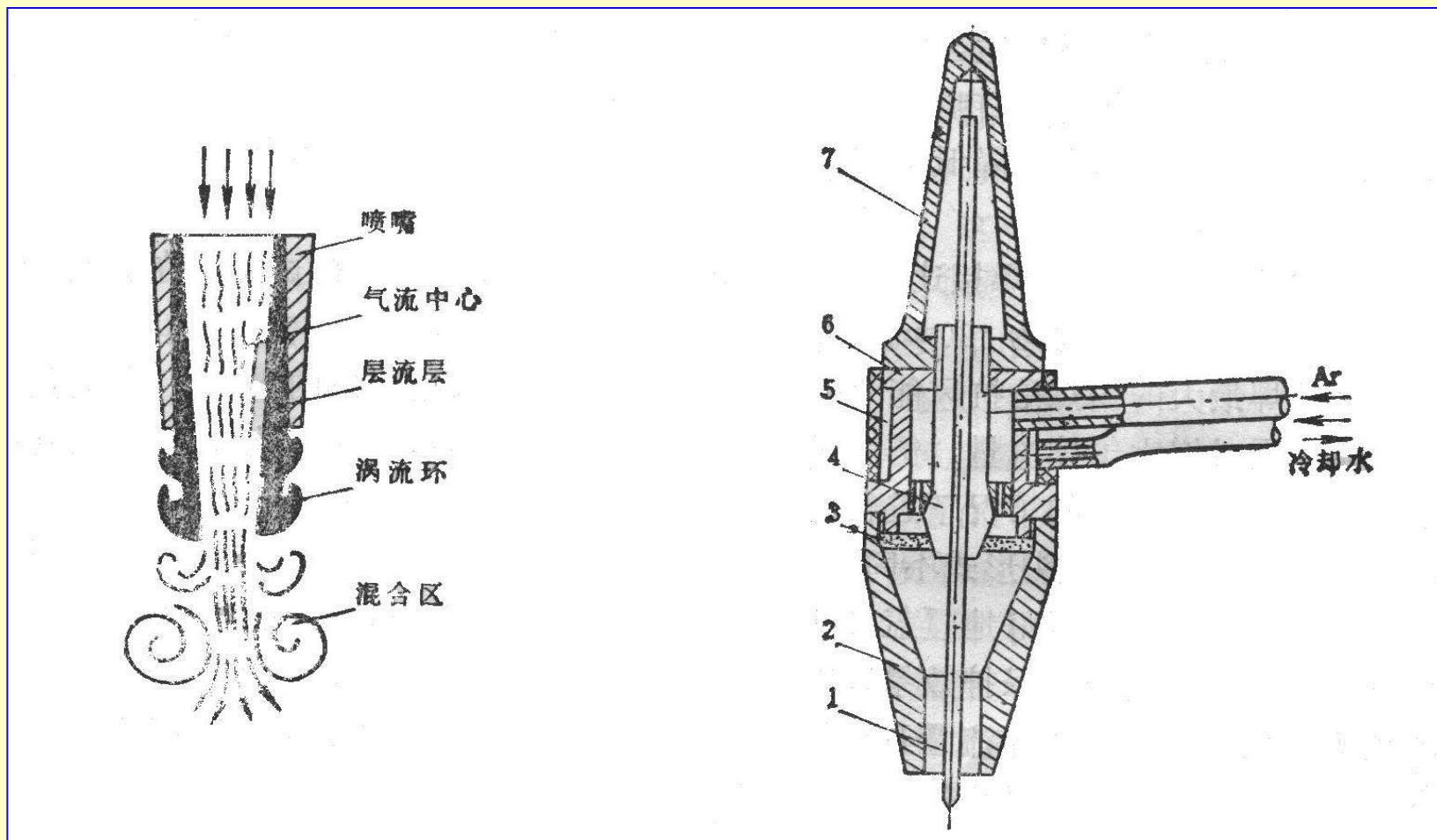
γ – 流体的粘滞系数

R 小于或等于2300时为层流（ $R > 2300$ 时为紊流）。

即使满足上述条件管子两端不是纯层流。离开两端
(40-50) d 才能变为层流

2、焊枪中喷出的气体流态

喷出的气体之流态决定了保护效果，由于焊枪不可能做得很长，因此不可能为全部层流。只有近壁部分层流。改进措施：①焊枪结构中加节流装置，减小喷嘴入口气流的紊乱程度，建立起较厚的层流。②改善喷嘴内气流通道的形状。



3、焊枪的结构

- 作用：①导通电流
②提供保护气体
③固定钨极

(1) 气体镇静室

从焊枪的进气口导喷嘴入口：使进入焊枪的气体沿径向均匀化。

(2) 节流装置

铜网或金属孔板，使气体的流速变低，紊乱程度降低，便于建立较厚的层流。

(3) 喷嘴

形状及尺寸影响大。圆柱形最好，收敛形稍差。

喷嘴长度：内壁光滑、出口边缘成直角。

二、电极材料

TIG焊电极的作用是导通电流、引燃电弧并维持电弧稳定燃烧。要求：

1) 由于焊接过程中要求电极不熔化，因此电极必须具有高的熔点，钨的熔点为 3380°C 以上，可满足要求。

损耗：正常 - 氧化、蒸发

异常：短路时，特别是与熔池短路时

2) 电流容量大：即一定直径的钨极允许通过的最大电流。允许过的电流是有限的，过大则钨极熔化。形成熔球，电弧漂移。

3) 引弧及稳弧性能好，还要求电极具有较低的逸出功、较大的许用电流、较小的引燃电压。

铝	钨	钍钨(+ThO ₂)	铈钨(CeO)
3.95eV	4.31-5.16	2.63	1.36

纯钨的逸出电压较大，引弧性能不好，但由于可达到很高的温度，稳弧好。

- 纯钨 WP: 直流焊时引弧相对较差, 易形成光滑的球端, 电流负载能力低、寿命短。
- 钍钨 WT: 引弧非常容易, 更高的负载能力, 但稍带放射性。
- 铈钨 WC: 性能优于钍钨: 无放射性; 寿命长; 载流能力大 (高5-8%); 阴极电压低、电弧稳定。
- 镧钨 WL: 比钍钨或铈钨有更长的使用寿命, 但引弧性能不好。

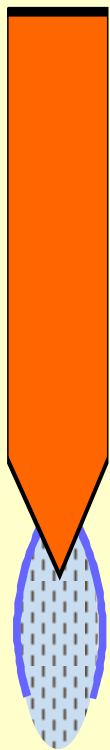
三、钨极形状

小电流：锥形，电弧易于引燃，电弧集中，熔深大。

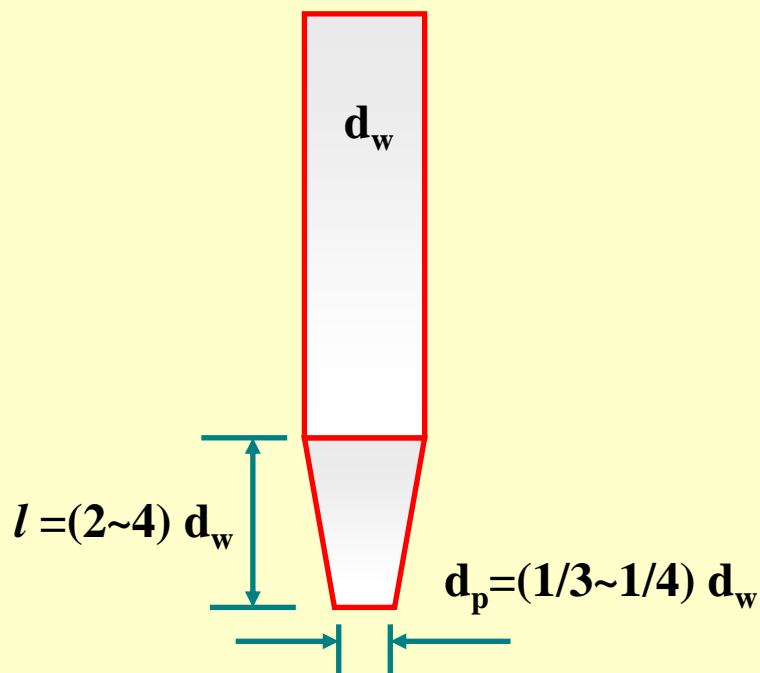
大电流：锥台形

交流：球形

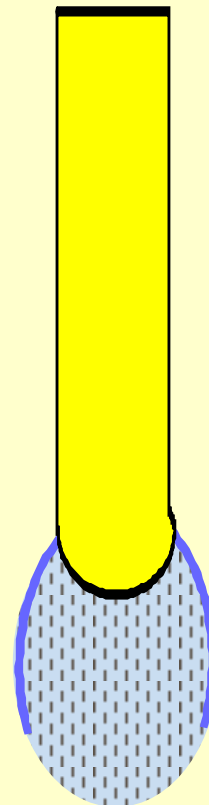
DC 小电流



DC大电流



AC



三、填充金属

采用TIG焊焊接厚板时，需要开V形坡口，并添加必要的填充金属。填充金属的主要作用是填满坡口，并调整焊缝成分，改善焊缝性能。

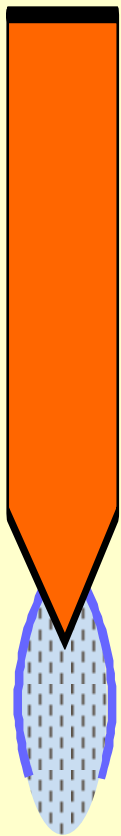
目前我国尚无专用TIG焊丝标准，一般选用熔化极气体保护焊用焊丝或焊接用钢丝。选用原则：

- 低碳钢及低合金高强度钢：
一般按照等强度原则选择 焊接用钢丝；
- 铜、铝、不锈钢：
一般按照等成分原则选择熔化极气体保护焊焊丝。
- 焊接异种钢时：

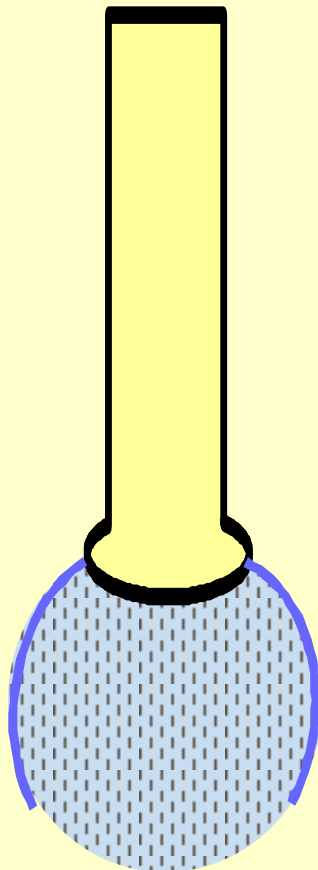
如果两种钢的组织不同，则选用焊丝时应考虑抗裂性及碳的扩散问题；如果两种钢的组织相同，而机械性能不同，则最好选用成分介于两者之间的焊丝。

§ 6-3 电流种类及极性

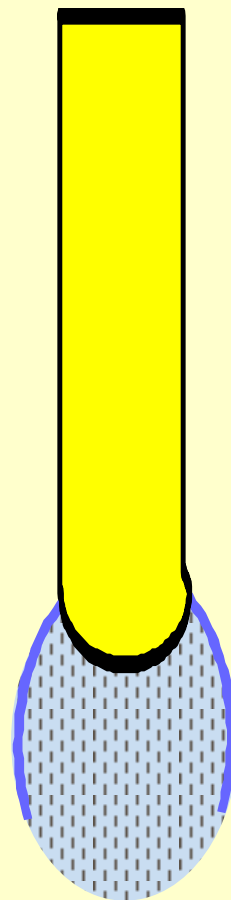
DC -



DC+



AC



一、直流正接

- 工件接正极，钨棒接负极。

特点：

1) 电流容量大：由于钨极（通常为铈钨极或钍钨极）的电子逸出功较小，电子热发射能力强，对电极有冷却作用，因此，较小直径的钨棒就可承载较大的电流。

2) 与直流反接相比，在同样的焊接电流下，直流正接可采用较小直径的钨棒，这样就使电流密度增大，从而提高了电弧稳定性。

3) 在工件上形成窄而深的熔池。

4) 无破碎工件氧化膜的作用。

实际生产中这种接法广泛用于除铝、镁及其合金以外的其它金属的焊接。

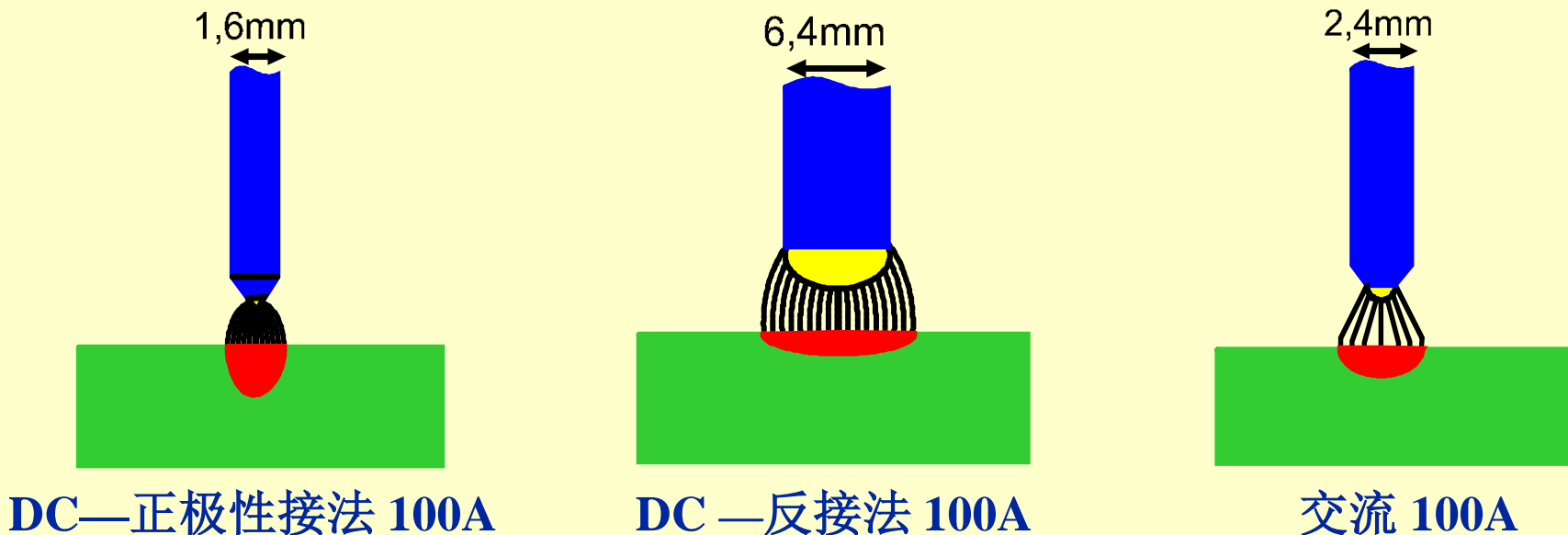
二、直流反极性接法

工件接负极，钨接正极性

1) 电弧具有“阴极清理作用”，能去除工件表面的氧化膜。实际生产中，这种接法仅用于焊接铝、镁及其合金的薄板。

2) 钨极的载流能力较小，同样电流需使用较大直径的钨极。电弧不够稳定。

3) 电子从工件的熔池表面产生，经过电弧加速撞向电极，使钨极易因过热而烧损。



三、交流TIG焊

交流TIG焊机分为正弦波交流及方波交流两种。

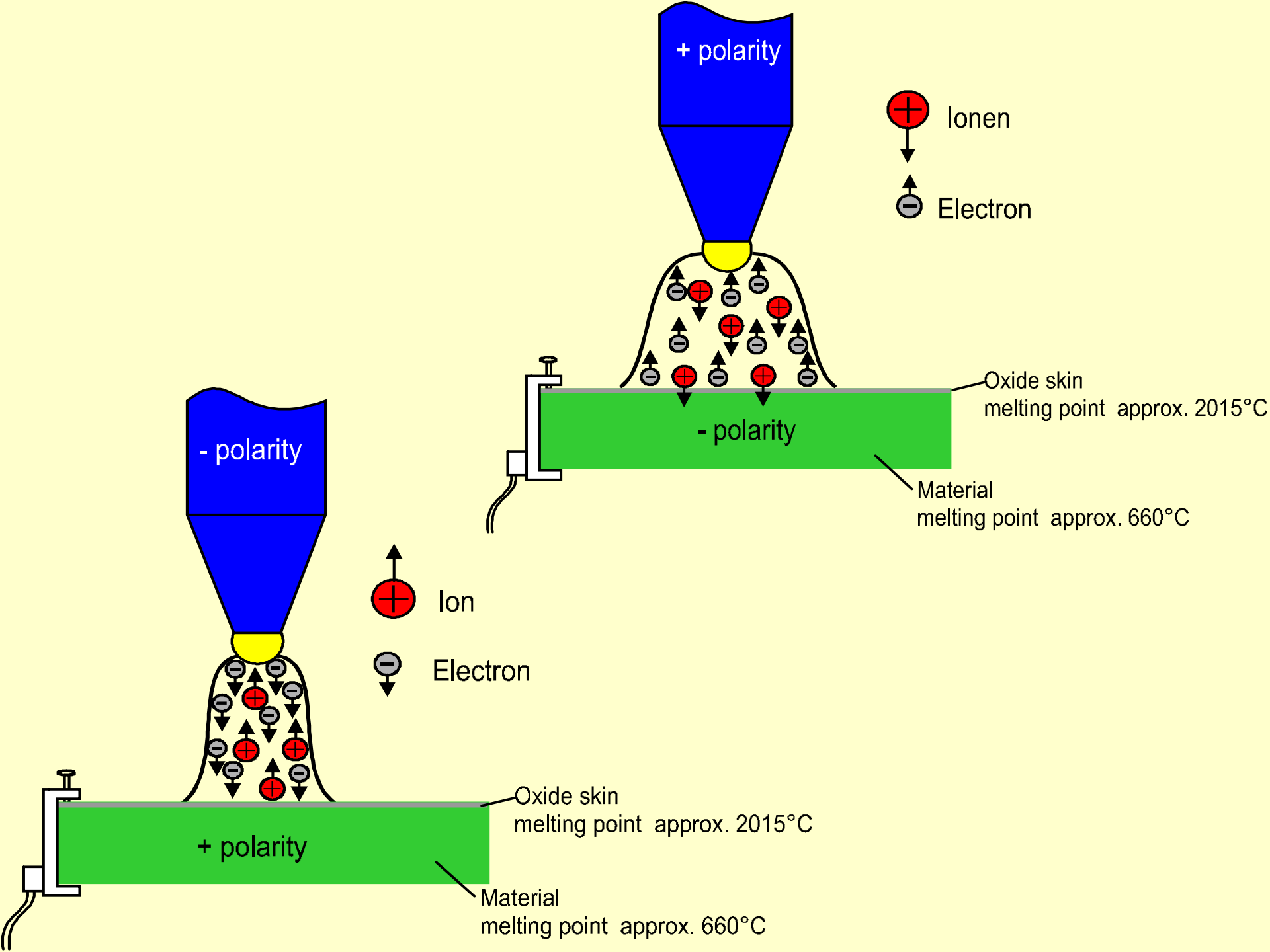
1、交流TIG焊的特点

交流TIG焊的焊接电弧的极性发生周期性变化，因此，工艺上兼有直流正接及直流反接的特点。

(1) 负半波时，氩弧对工件产生阴极雾化作用；

(2) 在交流正半波时，电弧的热量主要集中于工件上，不但使钨极得以冷却，还使焊缝得到足够的熔深。

交流TIG焊广泛用于铝、镁及其合金的焊接，但交流TIG焊存在电弧不稳及直流分量等问题，因此在焊接设备上应采取专门的措施予以解决。



2、直流分量

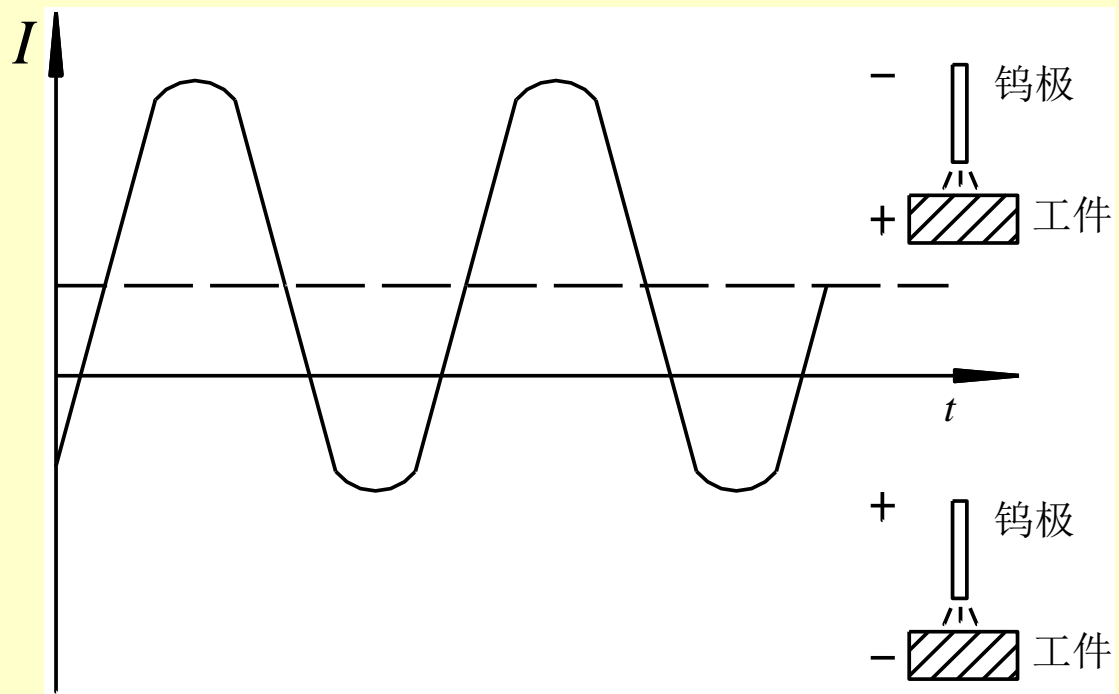
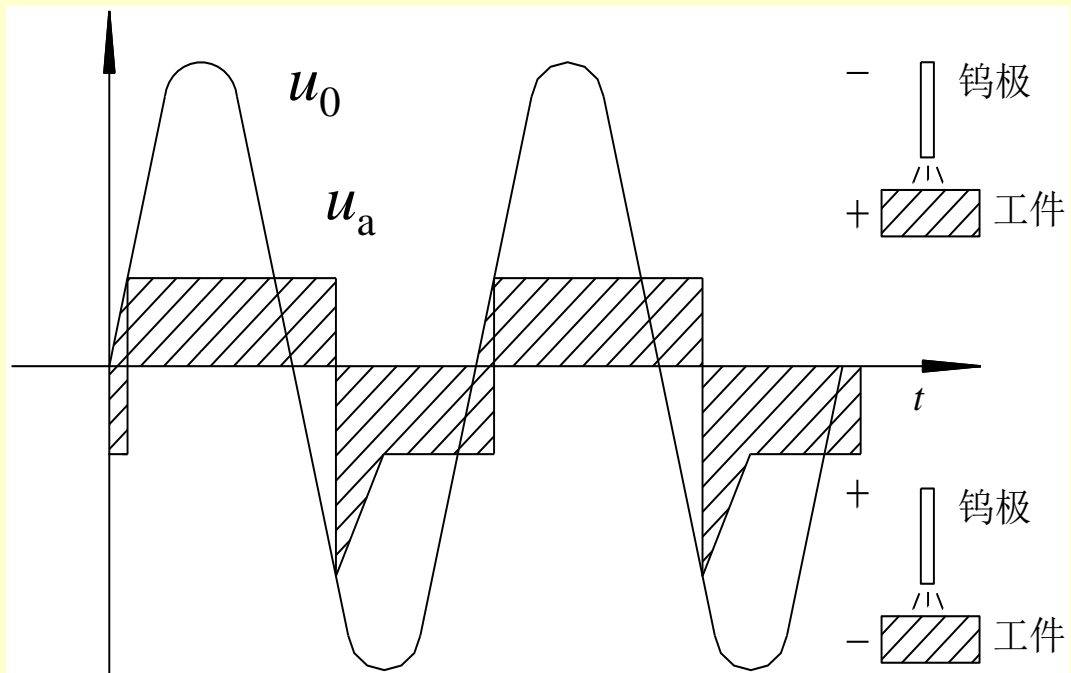
(1) 产生原因

- 钨极与工件的熔点不同；
- 逸出功不同；
- 几何尺寸相差很大。

使交流TIG焊正负半波的电导率、电弧电压、再引燃电压存在很大的差别。因此，正负半波电流不对称，从而导致直流分量。

(2) 危害

- 直流分量既影响焊缝成形，降低阴极雾化作用。
- 恶化设备的工作条件，变压器铁芯易饱和，降低功率因数，是电弧电流的形状偏离正弦，降低电弧的热效率系数。

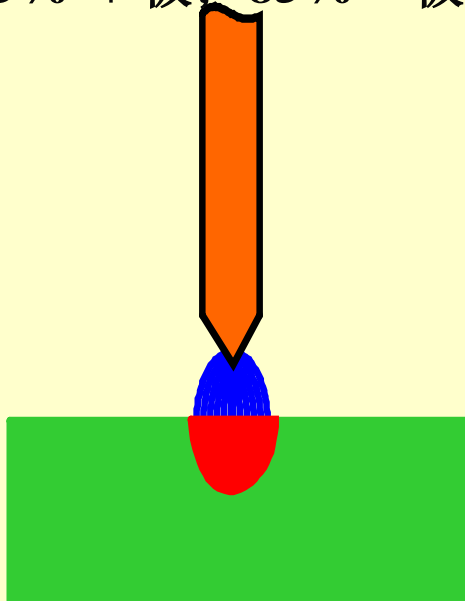


(3) 通常配置消除直流分量的装置。

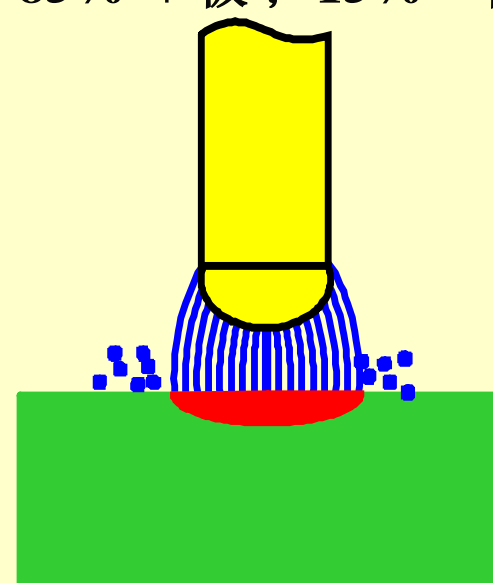
1) 正弦波交流TIG焊机通常通过在焊接主回路串接大容量无极性电容器的方法来消除直流分量，该方法既可完全消除直流分量，又不额外损耗能量。

2) 方波交流TIG焊机可通过调节正负半波的极性比 $D = \frac{t_{SP}}{t_{SP} + t_{RP}}$ 来消除直流分量，当 $I_+ t_+ = I_- t_-$ 时，直流分量为零。

15% + 极； 85% - 极



85% + 极； 15% - 极



交流平衡调节的作用

3、稳弧装置

(1) 正弦波交流电弧

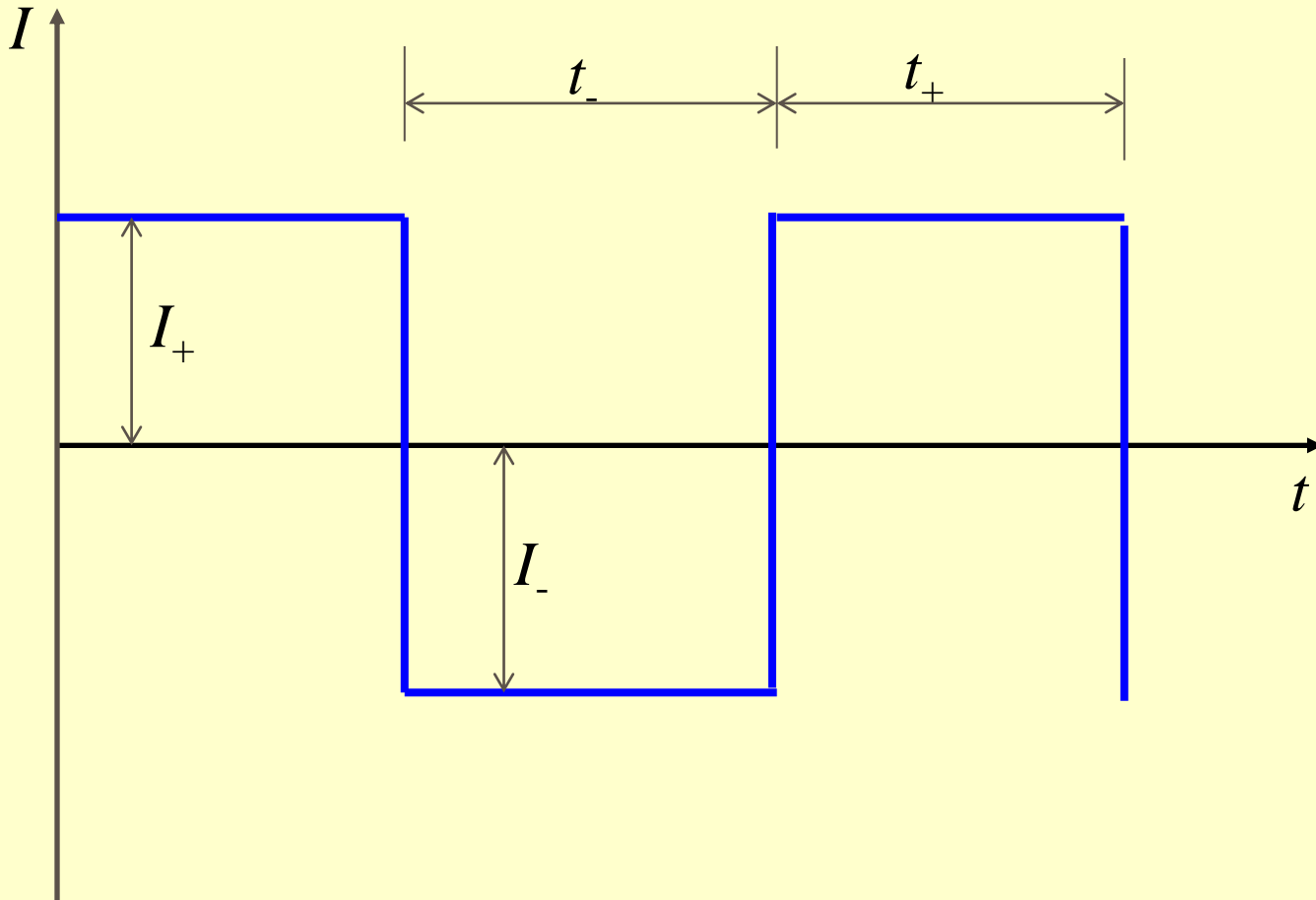
正弦波交流电弧的电流、电压过零时速度较慢，电源电压达到再引燃电压所需要的时间较长，因此存在较长的熄弧时间；特别是从正半波向负半波转变时，由于母材发射电子的能力很弱，电弧的重新引燃特别困难，所以正弦波交流TIG焊机必须采取稳弧措施。

- 在焊接回路中串接一高压脉冲发生器
- 在焊接回路中加高频振荡器

稳弧脉冲一般施加在电流极性发生变化的瞬间。

(2) 方波交流电弧

方波交流电弧的电压及电流过零时，电流及电压的变化在瞬间内完成因此在较低的电压下（20~40 V）就可使电弧再引燃，基本上无熄弧时间，电弧稳定性很好。所以，方波交流TIG焊机无需任何稳弧措施。



§ 6-4 钨极气体保护焊设备

一、设备的分类

TIG焊机的分类方法有多种:

- 按操作方式分类:

手工TIG焊机和自动TIG焊机两种。

- 按所用电源类型分类:

直流TIG焊机、交流TIG焊机及脉冲TIG焊机三种。此外还有交直流两用TIG焊机;

- 按引弧方式分类:

分为接触引弧式和非接触引弧式TIG焊机两种。

二、钨极气体保护焊设备的组成

TIG焊机通常由弧焊电源、控制箱、焊炬、水冷系统及供气系统组成。自动TIG焊机还配有行走小车、焊丝送进机构等。

(一) 电源

1、外特性：陡降外特性或垂直外特性，主要是为了得到稳定的焊接电流。

2、电源空载电压：70V以下

(二) 控制箱及引弧装置

1、控制箱

控制箱中主要安装焊接时序控制电路。控制提前送气、滞后停气、引弧、电流通断、电流衰减、冷却水流通断等。对于自动焊机，还要控制小车行走机构行走及送丝机构送丝。

2、引弧装置

TIG焊的引弧方式有：接触引弧及非接触引弧两种。

(1) 非接触引弧

1) 大电流TIG焊机一般不采用接触引弧。因为

- 短路电流使钨极熔化、烧损，
- 易使液态钨进入熔池中，造成焊缝夹钨，影响焊缝力学性能。

2) 常用的非接触引弧方式有两种：

- 高频振荡器引弧

当高频振荡器接通时，其输出端可输出频率为150~260 kHz、电压为3000 V左右的高频电压，该电压施加在钨极和工件上，击穿两极间的气隙，引燃电弧。

通常将高频振荡器串接在焊接回路中。

升压变压器 T_1

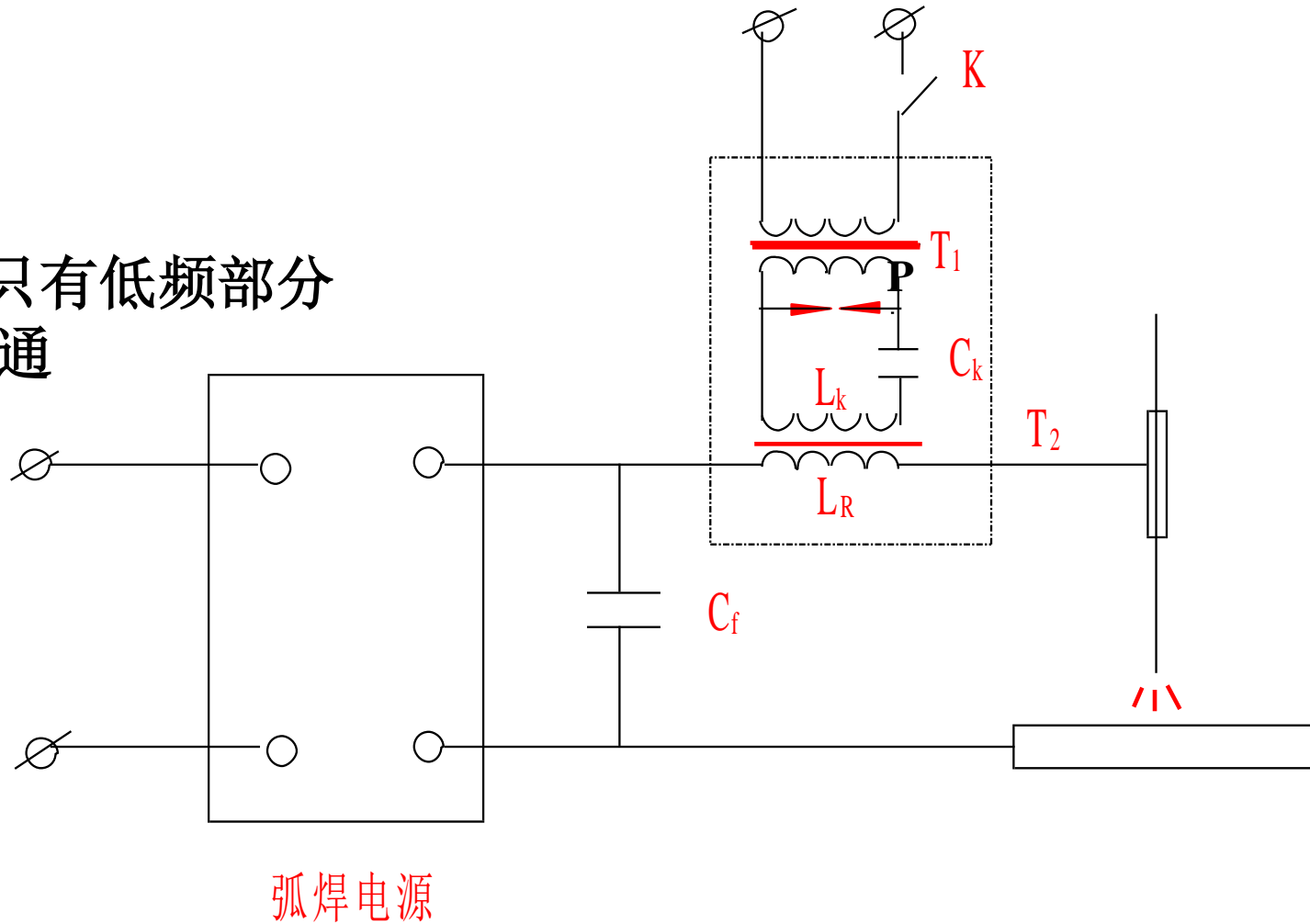
火花放电器 P : $0.1\sim 1.0\text{mm}$

振荡电容 C_k

自耦变压器 T_2

门壳开关 K : 只有低频部分
盖住后才能接通

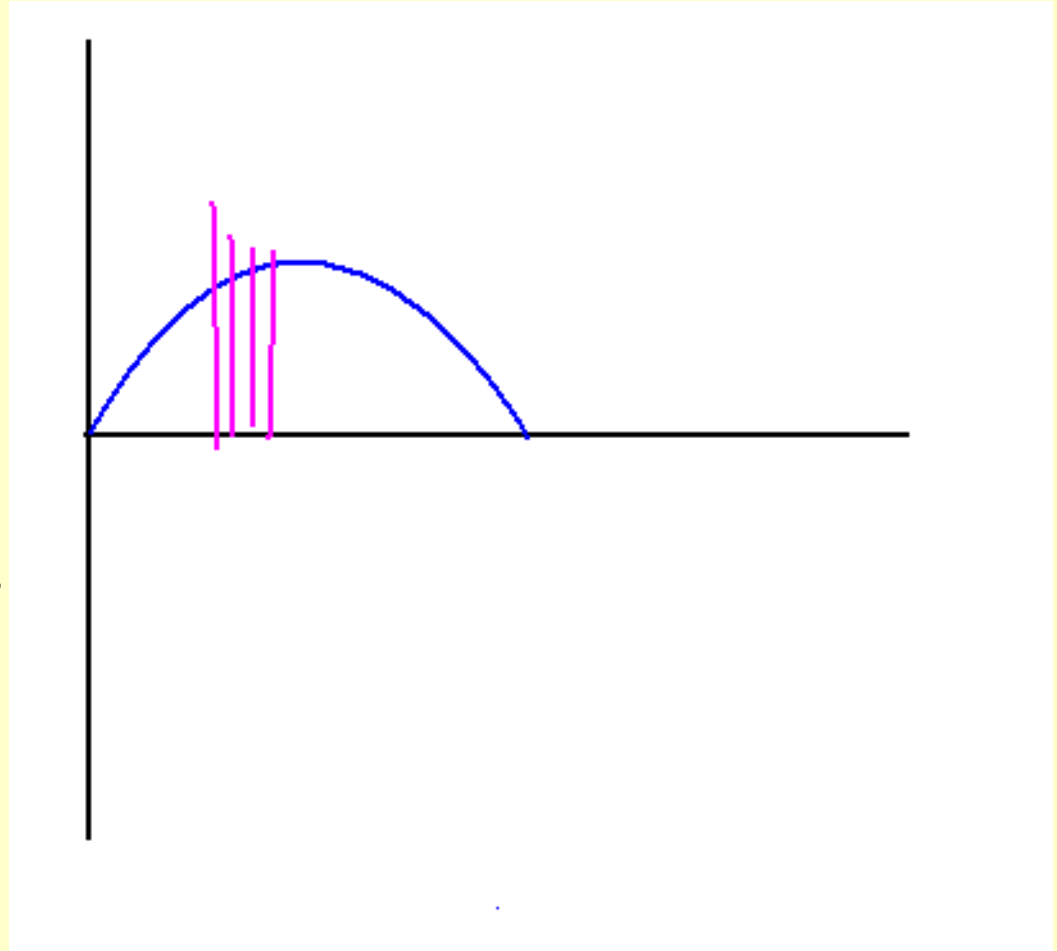
保护电容 C_f



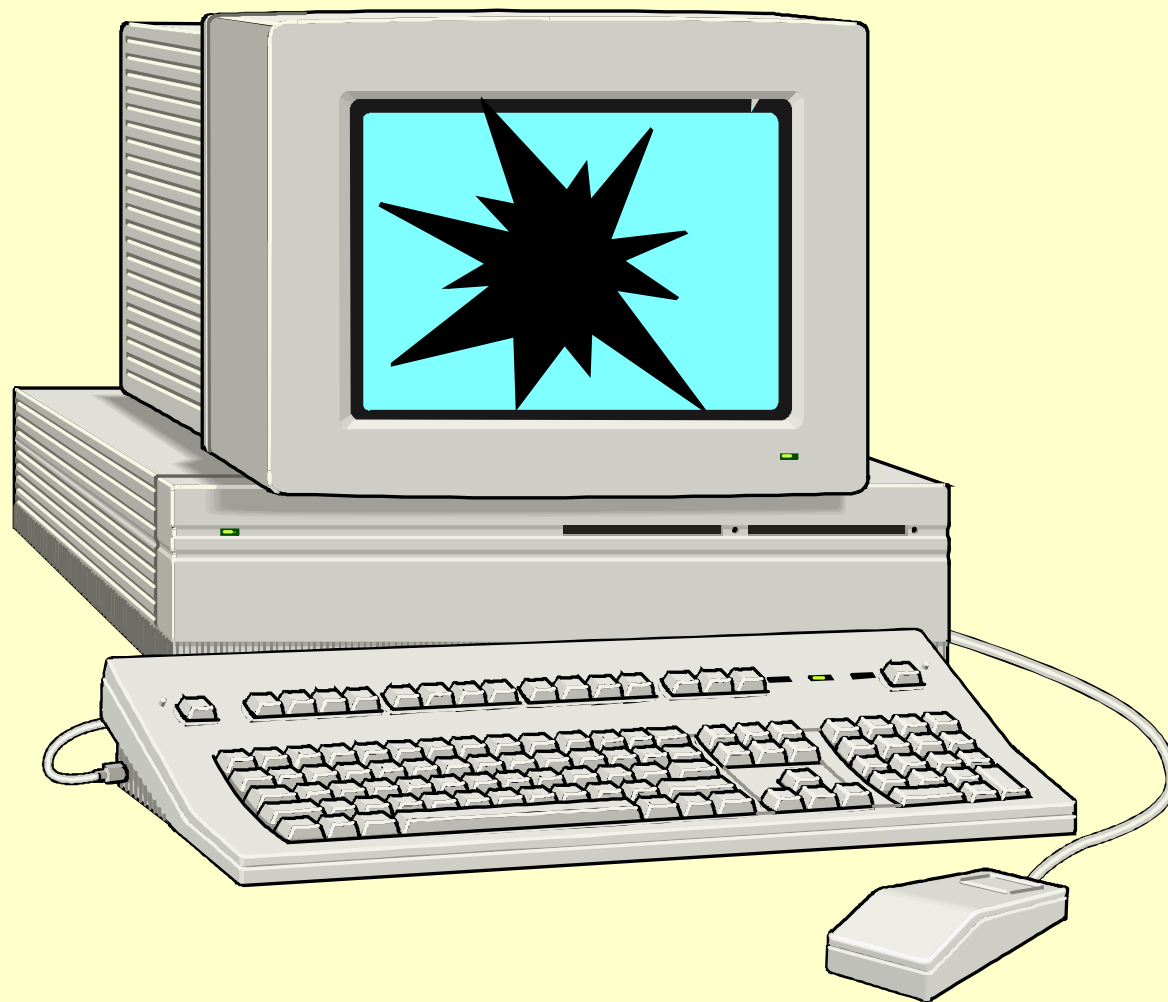
高频振荡器及其接法

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_k C_k}}$$

其输出端可输出频率为150~260 kHz、电压为3000 V左右的高频电压，该电压施加在钨极和工件上，击穿两极间的气隙。振荡消耗能量，只能维持半个周期的1/5~2/3的时间，经过这么长的时间后，火花放电器停止放电恢复绝缘，如果不能引燃电弧，那么重复振荡过程。



高频对周边电子仪器影响



• 高压脉冲引弧

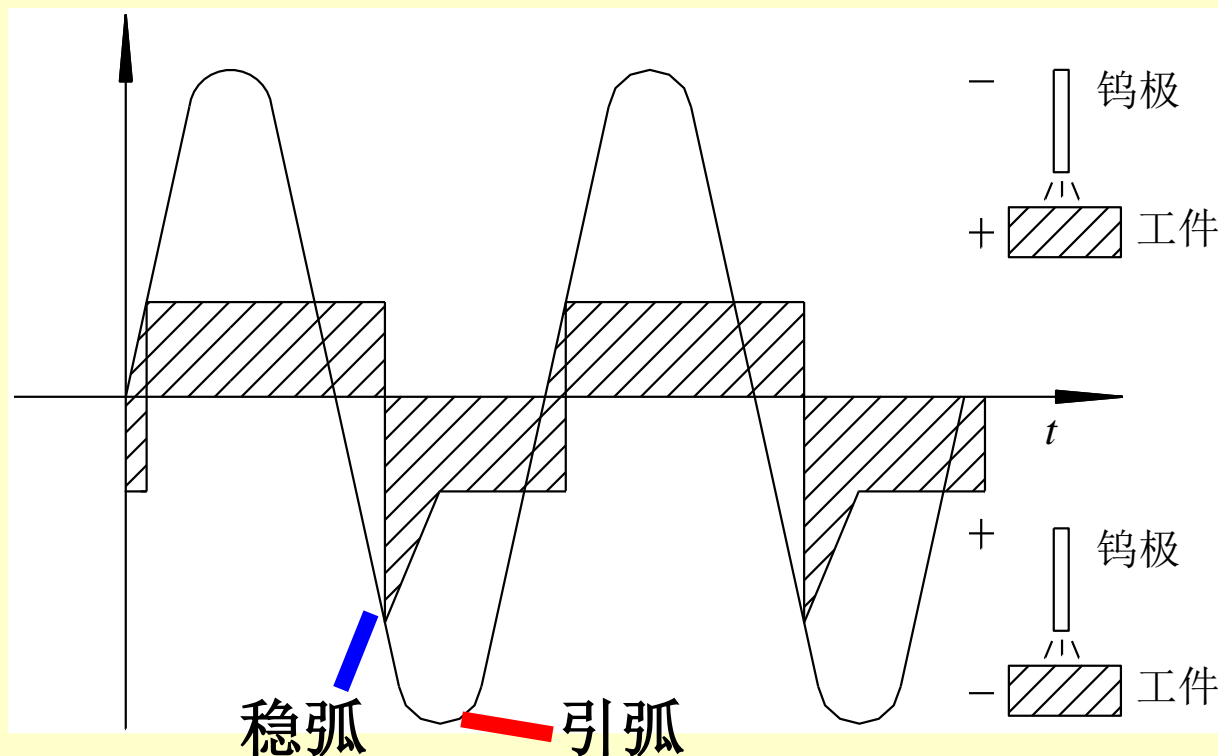
在引弧时，高压脉冲发生器将2000~3000 V的高压脉冲施加到钨极和工件上，击穿气隙引燃电弧。常用于交流TIG焊机上。需要通过控制高压脉冲相位，使之叠加在反极性半波中空载电压最大的相位处，以有利于电弧的引燃。高压脉冲引弧装置也广泛用作交流TIG焊的稳弧装置，不过稳弧时，高压脉冲应施加在正半波向负半波转变的相位处。

• 稳弧：

为什么要稳弧？

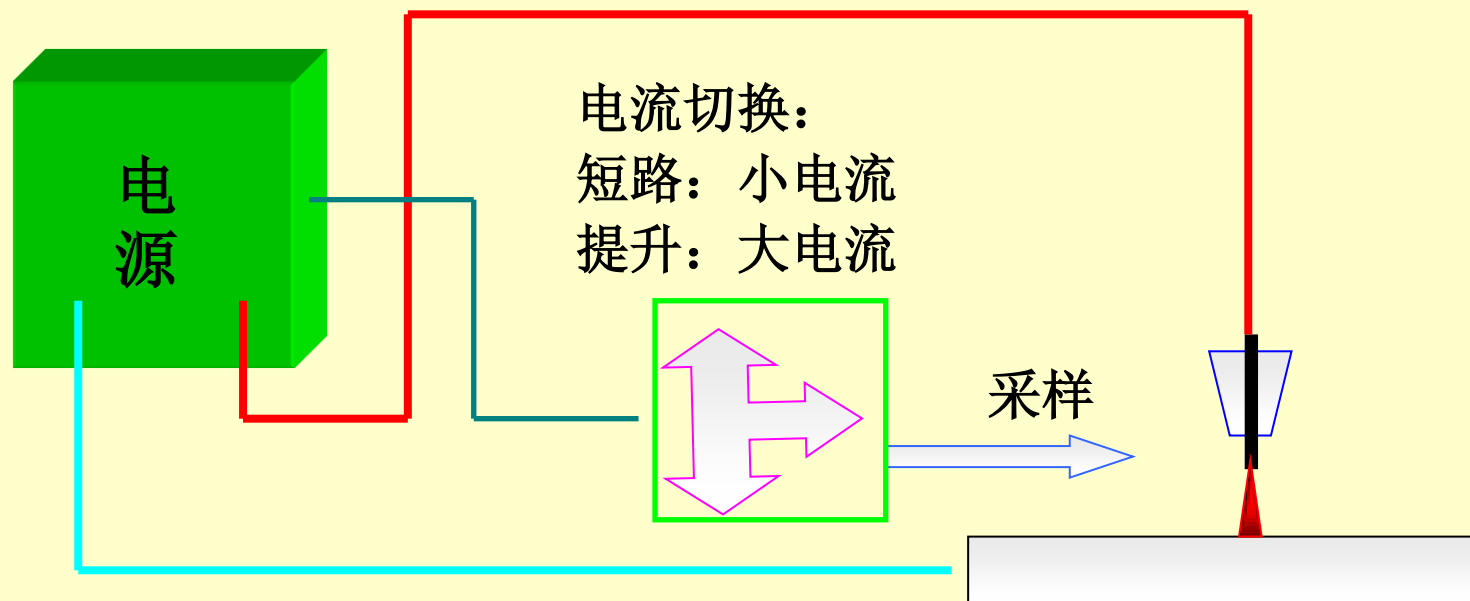
高压脉冲

高频振荡器一般不用，因为难以保证相位关系。



(2) 接触引弧

接触引弧是通过接触---回抽过程实现的。引弧时首先使钨极与工件接触，此时，短路电流被控制在较低的水平上（通常小于5 A），预热但不熔化钨极；钨极回抽后，在很短的时间内（几微秒）将电流切换为所需要的大电流，将电弧引燃。该方法仅适用于直流正接的直流氩弧焊机。其最大的优点是避开了高频电及高压脉冲的干扰，可用于计算机控制的焊接设备或焊接机器人中。



（三）焊炬

焊炬又叫焊枪，是TIG焊机的关键组成部件之一。

TIG焊炬又称TIG焊枪，其主要作用是：

- 1) 夹持钨极；
- 2) 传导焊接电流；
- 3) 向焊接区输出保护气体。

（四）气路和水路

TIG焊机的气路系统由气瓶、减压阀、流量计、软管及气阀等组成。气瓶盛放氩气或氦气。减压阀将瓶中的高压气体压力降低至焊接所需要的压力。流量计用于控制气体的流量。电磁气阀用于控制气流的关断。

§ 6-5 钨极气体保护焊工艺

一、焊前准备

(一) 接头及坡口形式

1、TIG焊常用的接头形式：

对接、搭接、角接、卷边对接等。

2、坡口加工原则：

板厚小于3mm时，可开I形坡口；

板厚在3~12mm时，可开V或Y形坡口。

(二) 焊前清理

1、原则

氩气、氦气均是惰性气体，焊接过程中不与液态金属发生任何化学反应，因此TIG焊无去氢、脱氧作用。为了保证焊接质量，必须去除焊接接头附近的氧化膜、油脂及水分。

2、清理方法：

(1) 机械清理：采用钢丝刷、刮刀、砂布、喷砂或喷丸等。

(2) 化学清理：依靠化学反应去除工件及焊丝表面的氧化膜及油污。特别适合于铝合金、钛合金、镁合金母材及焊丝的焊前处理。

(3) 化学机械清理

二、工艺参数的选择原则

(一) 电流的种类及极性

不同的电流种类及极性具有不同的工艺特点，适用于不同材料的焊接。

(二) 电流大小

焊接电流的大小决定熔深，因此，在选定了电流的种类及极性后，要根据板厚来选择电流的大小，此外还要适当考虑接头的形式、焊接位置等的影响。

(三) 焊接速度

焊接速度影响焊接线能量，因此影响熔深及熔宽。通常根据板厚来选择焊接速度，而且为了保证获得良好的焊缝成形，焊接速度应与焊接电流、预热温度及保护气流量适当匹配。焊接速度太快时，易出现未焊透、咬边等缺陷；而焊接速度太慢时会出现焊缝太宽、烧穿等缺陷。

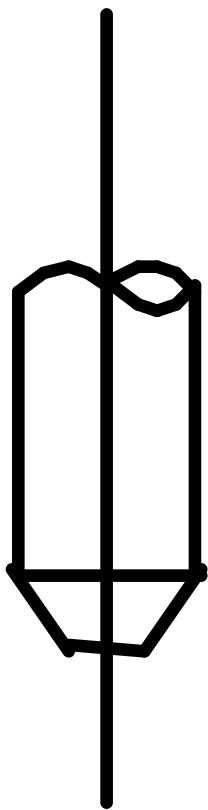
（四）钨极的直径及端部形状

钨极的直径及形状是重要的TIG焊接参数之一。通常根据电流的种类、极性及其大小来选择。

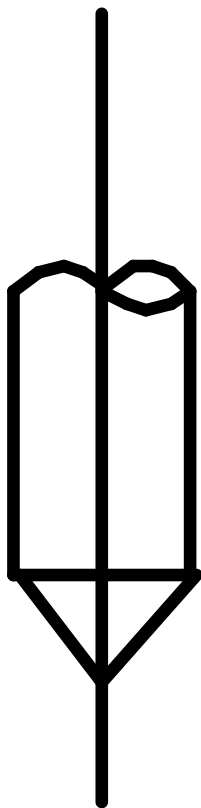
钨极直径的选择原则是，在保证钨极许用电流大于所用焊接电流的前提下，尽量选用直径较小的钨极。钨极的许用电流决定于钨极直径、电流的种类及极性。钨极直径越大，其许用电流越大。直流正接时，钨极载流能力最大，直流反接时载流能力最小，交流时载流能力居于直流正接与反接之间。交流焊时，电流的波形对载流能力也具有重要的影响。

电极的端部形状对焊接过程稳定性及焊缝成形具有重要影响，通常应根据电流的种类、极性及其大小来选择。

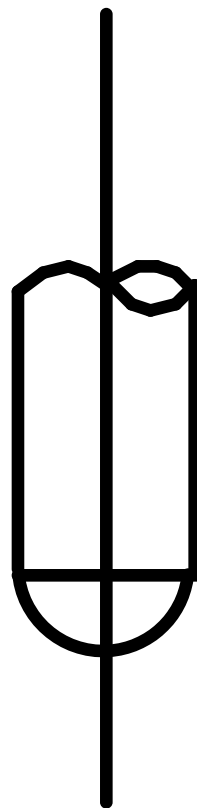
脉冲TIG焊时，由于在基值电流期间钨极受到冷却，所以直径相同的钨极之许用电流值明显提高。



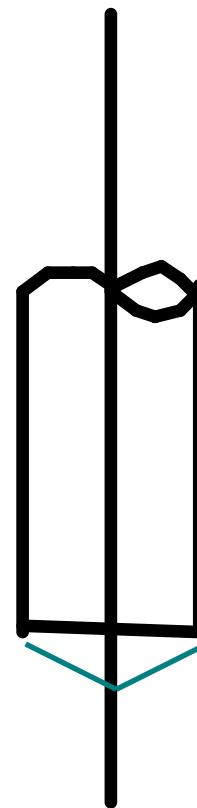
DCSP、大电流



小电流



交流



大电流

(五) 喷嘴孔径及氩气流量

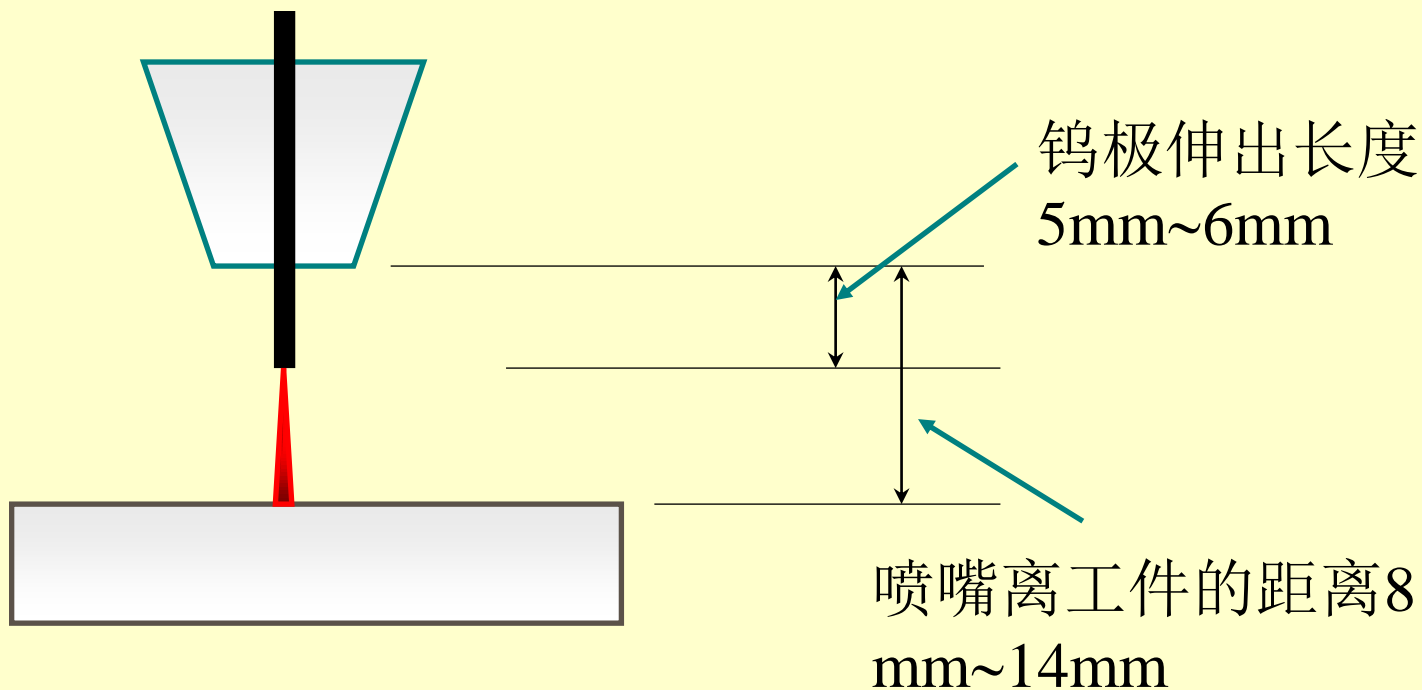
喷嘴孔径越大，保护区越大，但太大时，熔池及电弧的可观察性变差。对于一定的喷嘴孔径，保护气流量有一个合适的范围，流量太小时，气体挺度差，保护效果不好；流量太大时，气流层中出现紊流，空气易卷入，保护效果也不好。喷嘴孔径及氩气流量通常根据电流的种类、极性及其大小来选择。

(六) 钨极伸出长度

通常将露在喷嘴外面的钨极长度叫做钨极的伸出长度。伸出长度过大时，钨极易过热，且保护效果差；而伸出长度太小时，喷嘴易过热。因此钨极伸出长度必须保持一适当的值。对接焊时，钨极的伸出长度一般保持在5mm~6mm。

(七) 喷嘴离工件的距离

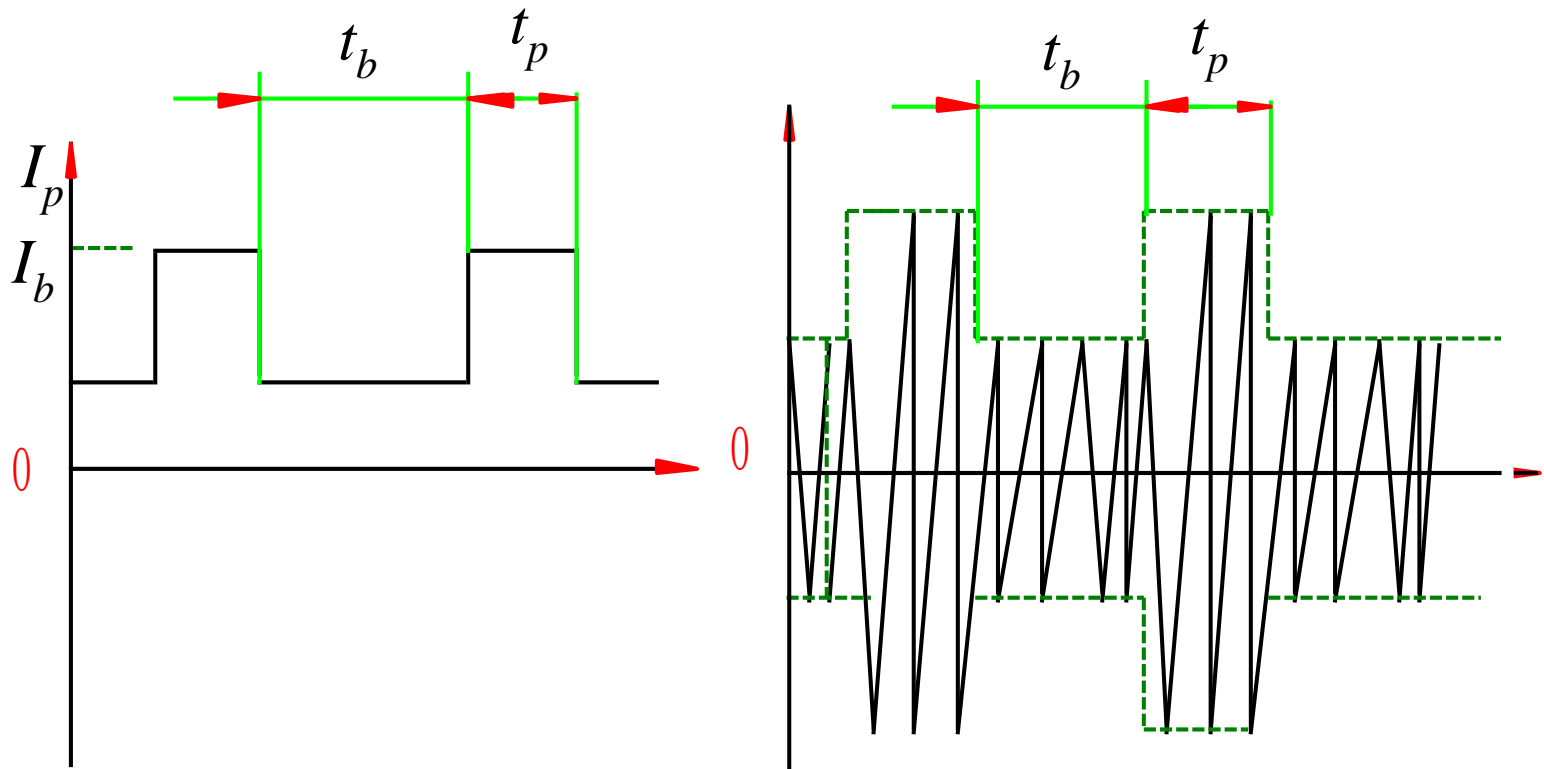
喷嘴离工件的距离要与钨极伸出长度相匹配。一般应控制在8 mm~14mm之间。距离过小时，影响工人的视线，且易导致钨极与熔池的接触，使焊缝夹钨并降低钨极寿命；距离过大时，保护效果差，电弧不稳定。



§ 6-6 脉冲钨极氩弧焊

脉冲TIG焊的焊接电流是脉冲直流或脉冲交流。焊接电流参数有：基值电流 I_b 、脉冲电流 I_p 、脉冲持续时间 t_p 、脉冲间歇时间 t_b 、脉冲频率 f 、脉冲幅比 F ($=I_p/I_b$) 和脉冲宽比 K ($=t_p/t_b$)。

分类：①低频(0.1~10Hz) ②中频(10~500Hz) ③高频(10~30kHz)



一、低频脉冲钨极氩弧焊的工艺特点及应用

脉冲钨极氩弧焊具有如下特点

1、焊缝由焊点组成

脉冲电流持续期间：焊件上形成点状熔池。

脉冲电流停歇期间：维弧，熔池金属凝固；焊缝由一系列焊点组成。

为了获得连续、气密的焊缝，两个脉冲焊点之间必须有一定的相互重叠，这要求脉冲频率 f 与焊接速度 v_w 之间必须满足下式：

$$f = \frac{v_w}{60L_d}$$

式中 L_d —相临两焊点的最大允许间距，mm；

f —脉冲频率，Hz；

v_w —焊接速度，mm·min⁻¹。

2、小电流电弧稳定、挺度好

小电流的TIG焊易飘弧，而脉冲TIG焊的电弧挺度好，稳定性好。特别适于薄板焊接。(最小电流可到0.1A，薄至0.025mm)

3、电弧线能量低

焊透同样厚度的工件所需的平均电流比一般TIG焊低20%左右，从而减小了线能量，这有利于缩小热影响区及焊接变形。

4、适用于不加衬垫的单面焊双面成形及全位置焊接

焊接熔池凝固速度快，熔池存在时间短，所以既能保证一定熔深，又不易产生过热、流淌或烧穿现象。

5、焊缝质量好

脉冲TIG焊缝由焊点相互重叠而成，后续焊点的热循环，对前一焊点具有热处理作用；同时，由于脉冲电流对点状熔池具有强烈的搅拌作用，且熔池的冷却速度快，高温停留时间短，因此焊缝金属组织细密，树枝状晶不明显。这些都使得焊缝性能得以改善。

二、中频TIG焊

频率范围为10~500 Hz，其特点是小电流下电弧非常稳定，且电弧力不象高频TIG焊那样高，因此是手工焊接0.5 mm以下薄板的理想设备。

三、高频TIG焊

频率范围为10~20 kHz。工艺特点是：

- 1) 电磁收缩效应增加，电弧刚性增大，高速焊时可避免因阳极斑点的粘着作用而造成的焊道弯曲或不连续现象；
 - 2) 电弧压力大，电弧熔透能力增大；
 - 3) 电弧收缩程度高，热影响区小
 - 4) 熔池受到超声波振动，其流动性增加，焊缝的物理冶金性能得以改善，有利于焊缝质量的提高；
- 因此，这种设备特别适用于薄板的高速自动焊。

四、脉冲钨极氩弧焊工艺参数的选择

1、脉冲电流 I_p 及脉冲持续时间 t_p

脉冲电流与脉冲持续时间之积 $I_p t_p$ 被称为通电量，通电量决定了焊缝的形状尺寸，特别是熔深，因此，应首先根据被焊材料及板厚选择合适的脉冲电流及脉冲电流持续时间。

焊接厚度低于0.25mm的板时，应适当降低脉冲电流值并相应地延长脉冲持续时间。焊接厚度大于4mm的板时，应适当增大脉冲电流值并相应地缩短脉冲持续时间。

2、基值电流 I_b

基值电流的主要作用是维持电弧的稳定燃烧，因此在保证电弧稳定的条件下，尽量选择较低的基值电流，以突出脉冲TIG焊的特点。但在焊接冷裂倾向较大的材料时，应将基值电流选得稍高一些，以防止火口裂纹。

基值电流一般为脉冲电流的20%~50%。

3、脉冲间歇时间 t_b

脉冲间歇时间对焊缝的形状尺寸影响较小。但过长时会显著降低热输入，形成不连续焊道。

4、脉冲幅比 $F=I_p/I_b$ 及脉冲宽比 $K=t_p/T$

脉冲宽比越小，脉冲焊特征越明显。但太小时熔透能力降低，电弧稳定性差，且易产生咬边。因此，脉冲宽比一般取20%~80%，空间位置焊接时或焊接热裂倾向较大的材料时应选得小一些，平焊时应选得大一些。

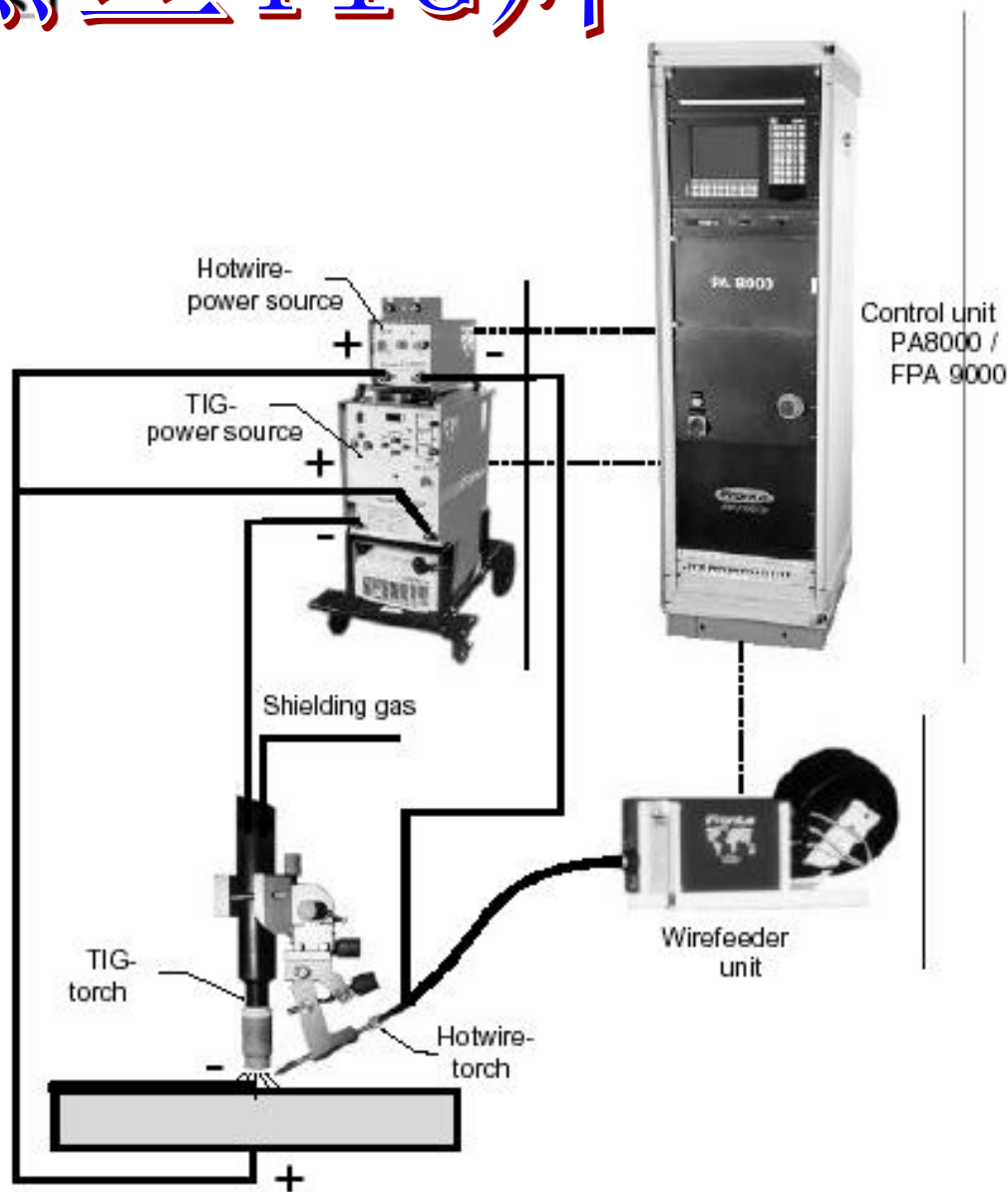
脉冲幅比越大，脉冲焊特征越明显。但过大时，焊缝两侧易出现咬边；空间位置焊接时或焊接热裂倾向较大的材料时，脉冲幅比选得大一些，平焊时选得小一些。

5、焊接速度

低频脉冲TIG焊时，焊接速度与脉冲频率间要满足式(1)，以保证形成连续致密的焊缝

§ 6-7 热丝TIG焊

一、原理及设备



二、工艺特点——优点

1、同冷丝氩弧焊比

①更高的熔敷率(提高60%)；②更高的焊接速度(提高100%)；③降低了母材稀释率(可降低60%)。

2、同埋弧焊比

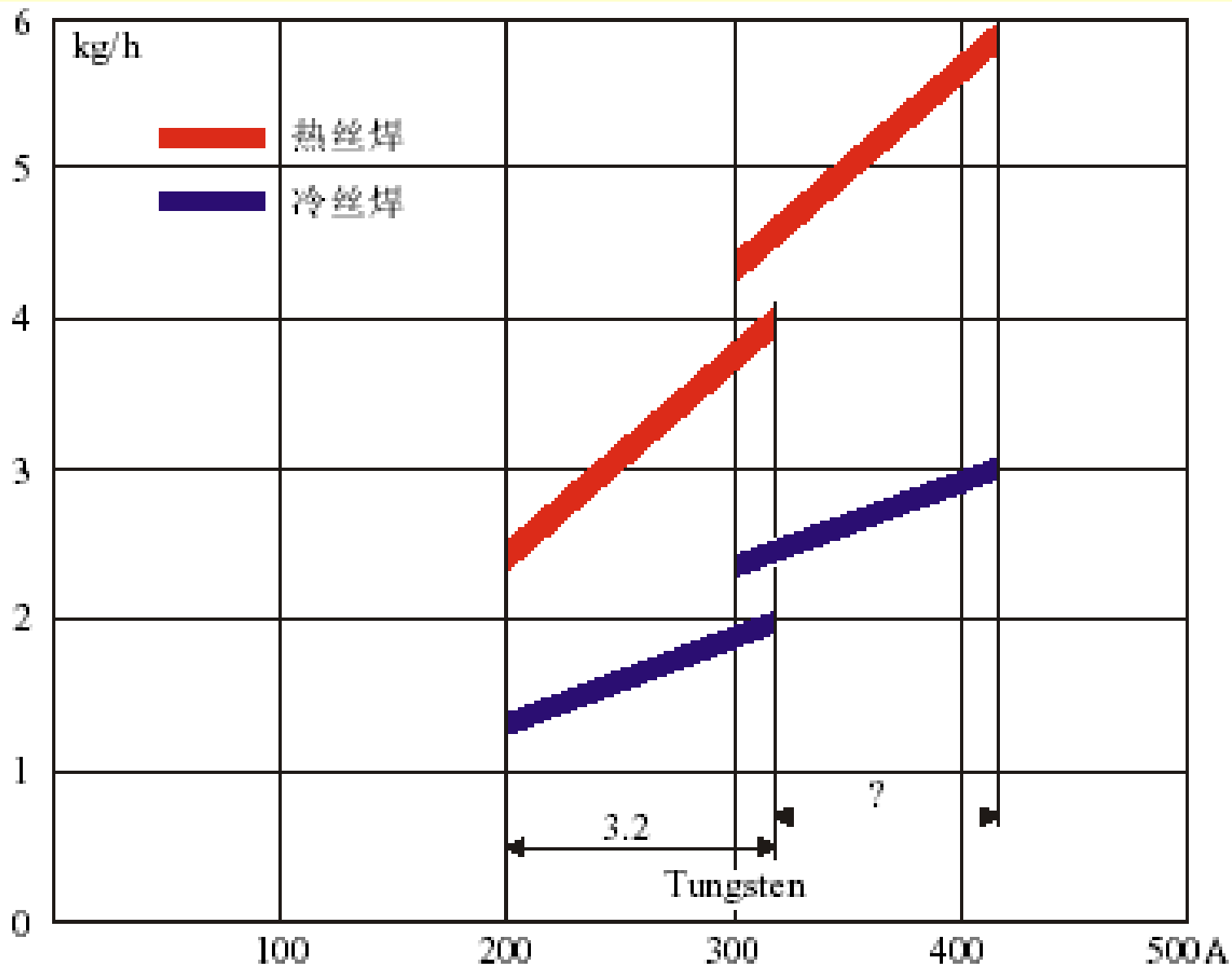
①不需要焊剂；②可见的焊接熔池；③不需繁杂的焊前准备。

3、同手工电焊比

①不需更换焊条；②不需清渣；③更高的熔敷率。

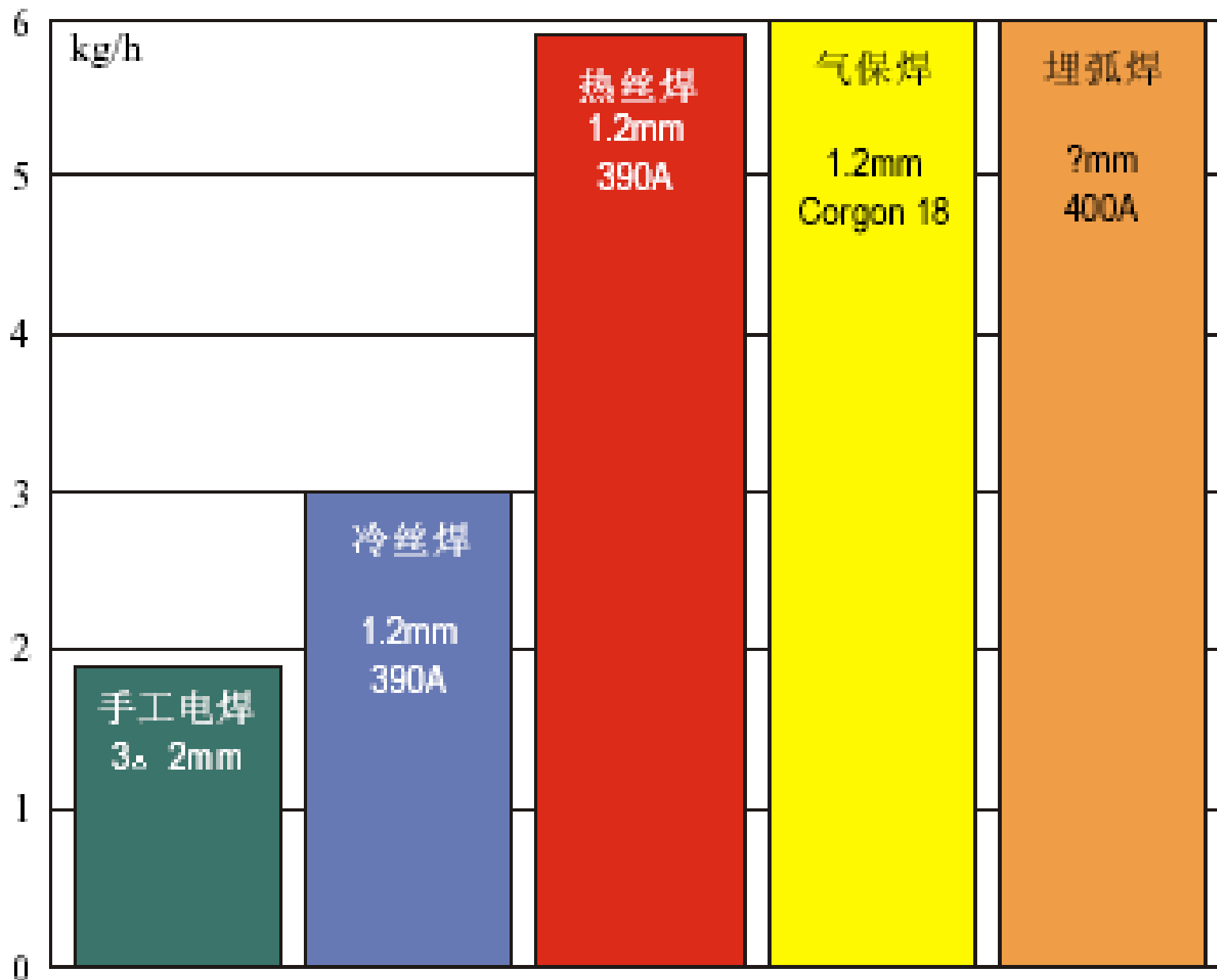
4、同熔化极气保焊比

①更好的焊接质量；②适用的材料更广；③无飞溅。



焊接熔敷率

填充焊丝: Alloy 625-IG $\phi 1.2$



堆焊熔敷率

三、应用范围

- 材料的焊接
- 表面堆焊

四、适用的材料

- □□ 碳钢
- □□ 不锈钢
- □□ 镍合金
- □□ 双相或多相钢
- □□ 铝
- □□ 钨铬钴合金硬面堆焊