

第五章 埋弧焊

基本要求

- 了解埋弧焊特点及应用；
- 熟练掌握埋弧焊的冶金特点；
- 掌握自动焊的焊接参数自动调节原理及方法；
- 了解埋弧焊焊机的分类及基本原理；
- 熟练掌握埋弧焊工艺。

重点

- 1、埋弧焊的冶金特点；
- 2、自动焊的焊接参数自动调节原理及方法；
- 3、埋弧焊焊机的分类及基本原理；
- 4、掌握埋弧焊工艺。

§ 5-1 埋弧焊的特点及应用

一、埋弧焊的特点

焊剂下燃烧，依靠熔渣保护，效果好。

1、优点：

- 1) 生产率高，因为：①电流密度大；② η 大。
- 2) 焊缝质量好，因为：①熔渣的保护效果好；
②焊接参数稳定。
- 3) 劳动条件好劳动强度低，无弧光辐射。

2、缺点：

- 1) 仅用于平焊；
- 2) 不能焊Al、Ti等活泼金属；
- 3) 只能焊长焊缝；
- 4) 只适于厚板。

E大、电流小时电弧不稳。

二、应用

1、适用的材料

低碳钢，HSLA，st-st，耐热钢，Cu等。

2、部门

造船、锅炉、压力容器、机车等

§ 5-2 埋弧焊的冶金特点

一、焊剂、焊丝及其配合

(一) 焊剂

- 1、作用：
 - 1) 保护
 - 2) 稳弧
 - 3) 冶金、脱氧及合金化
- 2、要求：
 - 1) 良好的冶金性能
 - 2) 良好的工艺性能
 - a) 稳定燃烧
 - b) 易脱渣
 - c) 成形好

3、焊剂的分类及常用焊剂

1) 按制造方法分类:

a) 熔炼焊剂; b) 非熔炼焊剂: 烧结、陶质

2) 按成分分类

MnO: 无锰焊剂 $\text{MnO} < 2\%$; 低锰焊剂 $\text{MnO} = 2 \sim 15\%$
中锰焊剂 $\text{MnO} = 15 \sim 30\%$; 高锰焊剂 $\text{MnO} > 30\%$

SiO₂: 低硅焊剂 $\text{SiO}_2 < 10\%$
中硅焊剂 $\text{SiO}_2 = 10 \sim 30\%$
高硅焊剂 $\text{SiO}_2 > 30\%$

CaF₂: 低氟焊剂 $\text{CaF}_2 < 10\%$
中氟焊剂 $\text{CaF}_2 = 10 \sim 30\%$
高氟焊剂 $\text{CaF}_2 > 30\%$

3) 焊剂牌号

① 焊剂XYZ:

X-表示MnO含量, 1-无锰、2-低锰、3-中锰、4-高锰。

Y-表示CaF₂、SiO₂含量, 1、2、3表示低F(1-低Si、2-中Si、3-高Si), 4、5、6表示中F(4-低Si、5-中Si、6-高Si), 7、8表示高F(7-低Si、8-中Si)

② 焊剂431—高锰高硅低氟焊剂。

第五章 埋弧焊

(二) 焊丝

一般用焊接用钢丝，与焊条钢芯相同 $d=1.6\sim 6\text{mm}$
对于低碳钢：H08Mn H08MnA

(三) 焊剂和焊丝的选用

合适匹配，才能保证焊缝化学成分，保证性能。

低碳钢：高锰高硅焊剂 + H08Mn或H08MnA

低锰或五锰焊剂 + H08MnA或H10Mn2

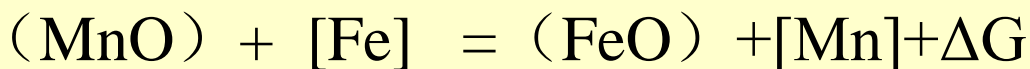
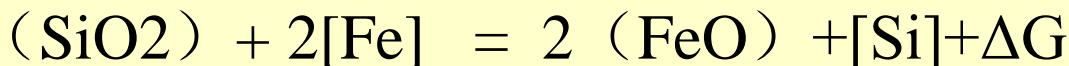
HSLA：中锰中硅焊剂 + 与母材等强度的焊丝
低锰中硅焊剂

耐热钢 中硅焊剂 + 与母材成分相当的焊丝
不锈钢：或低硅焊剂

(二) 埋弧焊的冶金反应

冶金反应指熔渣与液金及气体之间的反应。以低碳钢为例讨论冶金反应。选用H08MnA及焊剂431。

1、Si、Mn还原反应



- $\Delta G > 0$ ，即反应为吸热反应

- FeO大部分进入渣

- Si、Mn进入熔池，合金化

Si镇静熔池、Mn抵消S的不利作用。

(1) 反应方向

1) 熔池前部，焊丝端部熔滴，过渡中的熔滴这三个区域均向右进行，反应程度依次加强；

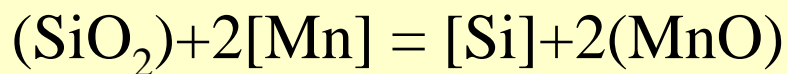
2) 熔池尾部温度低，反应向左进行

3) 总反应结果为还原，因为：①尾部存在时间短。
②温度低、速度快。③熔池中FeO很少。

(2) 影响因素

1) 焊剂成分:

焊剂中 SiO_2 量增大, ΔSi (过渡的Si量)增大, ΔMn 降低
焊剂中 MnO 量增大, ΔMn (过渡的Mn量)增大。



2) 焊丝中的Si、Mn含量:

焊丝中Si含量增大, ΔSi 减小, ΔMn 增大

焊丝中Mn含量增大, ΔMn 减少, ΔSi 增大

3) 焊剂碱度

碱度增大, 自由态 MnO 含量增大, $\Delta\text{Mn}\uparrow$

碱度增大, 自由态 SiO_2 含量减小, $\Delta\text{Si}\downarrow$

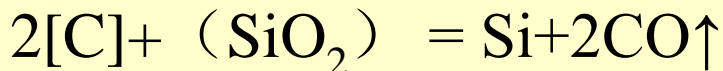
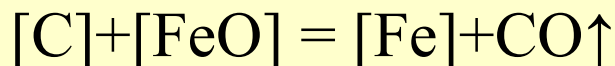
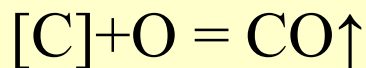
4) 焊接规范

① I_a : $I_a\uparrow$, 熔渣量减少, $\Delta\text{Si}\downarrow$ $\Delta\text{Mn}\downarrow$

② U_a : $U_a\uparrow$, 熔渣量增大, $\Delta\text{Si}\uparrow$ $\Delta\text{Mn}\uparrow$

2、碳的烧损

埋弧焊焊接区内为弱氧化性，C被氧化



CO逸出时对熔池有搅拌作用，有利于H折出。

- 影响因素：① 焊丝母材中的含碳量。
- ② $[Si]\uparrow$ 抑制烧损，镇静熔池。

3、杂质S、P的限制

严格限制焊剂中S、P含量。

S—热裂纹，由共晶Fe+FeS。

P—降低低温韧性。

4、去除熔池中的H:

(1) 工艺措施: 去除油污、水分、铁锈。

(2) 冶金措施

① 结合成HF

利用CaF₂: $\text{CaF}_2 = \text{CaF} + \text{F}$

$2\text{CaF}_2 + 2\text{SiO}_2 = 2\text{CaSiO}_3 + \text{SiF}_4$

$\text{SiF}_4 = \text{SiF} + 3\text{F}$

$\text{F} + \text{H} = \text{HF}$

② 结合成羟基OH:

利用MnO、MgO、SiO₂等

$\text{MnO} + \text{H} = \text{Mn} + \text{OH}$

$\text{MgO} + \text{H} = \text{Mg} + \text{OH}$

$\text{SiO}_2 + \text{H} = \text{Si} + \text{OH}$

$\text{CO}_2 + \text{H} = \text{CO} + \text{OH}$

◆埋弧焊冶金反应的一般特点:

- 1、熔池存在时间长, 冶金反映充分, 气孔、夹渣少。
- 2、空气不易侵入焊接区域, 焊缝中的含氮量低, 只有0.002%左右。
- 3、焊缝化学成分稳定。

§5-3 埋弧焊设备及其自动调节系统

一、设备

(一) 组成

电源、送丝机构、行走机构、焊剂输送及回收装置、程序控制系统。

1、电源

直流、交流电源。如果焊剂中含有较高的 CaF_2 ，则应采用直流电源。

空载电压为70-80V。额定电流为500-2000A。

外特性：送丝机构为等速送丝机构时，选择平特性电源；送丝机构为均匀（弧压反馈）送丝机构时，选择陡降特性电源。

2、送丝机构：

由送丝电动机、传动机构、送丝轮、校直轮等组成。有两类：等速送丝机构和均匀（弧压反馈）送丝机构。细丝：等速送丝机构。粗丝：均匀送丝机构。

3、行走机构

由驱动电动机、传动机构、其他机械装置组成。电动机需要恒速控制，以保证焊接速度不变。

4、程序控制系统

控制各个部分按照预定顺序进入工作状态。

(二) 分类

1、按照用途：

通用：平板对接、角接等，一般有焊接小车
专用：特定的焊接结构。

2、按照送丝方式：

等速送丝式和均匀（弧压反馈）送丝式。

3、按照电极形状：

丝极、带极和板极

4、按行走机构：

小车式、龙门式、悬臂梁式等

5、按焊丝数量：

单丝、双丝及多丝埋弧焊机。

二、焊接参数自动调节

- 1、自动焊：引弧、焊接、熄弧均自动实现的焊接方法。
- 2、自动焊的基本特征：
 - 1) 自动送丝、自动抽丝—送丝电机拖动滚轮自动抽丝。
 - 2) 电弧自动行走—小行电机拖动。
 - 3) 焊接参数自动调节： I_a 、 U_a 、 v_w

三、焊接速度的自动调节

利用电机拖动焊接小车、胎夹具或工件来进行焊接，焊接速度直接由拖动电机决定，因此焊接速度的自动调节问题就是电机转速自动调节问题。

自动弧焊机一般采用直流拖动系统。引起电机转速波动的主要因素是电网电压波动及拖动负载的波动。为了克服这两个干扰因素，维持转速恒定，通常采用转子调压式控制方法。采用

- 电枢电压负反馈
- 电枢电流正反馈
- 电势负反馈
- 测速发电机负反馈等进行控制。

四、焊接电流及电弧电压的自动调节

(一) 影响 I_a 、 U_a 的因素

I_a 、 U_a 由静态工作点决定，即由电弧静特性与电源外特性决定。凡影响这两个特性曲线的因素，均影响 I_a 、 U_a

1、电弧静特性影响因素

(1) 弧长波动：

① 送丝速度波动 ② 焊距—工件间距变化

(2) 弧柱气氛变化， E 变化

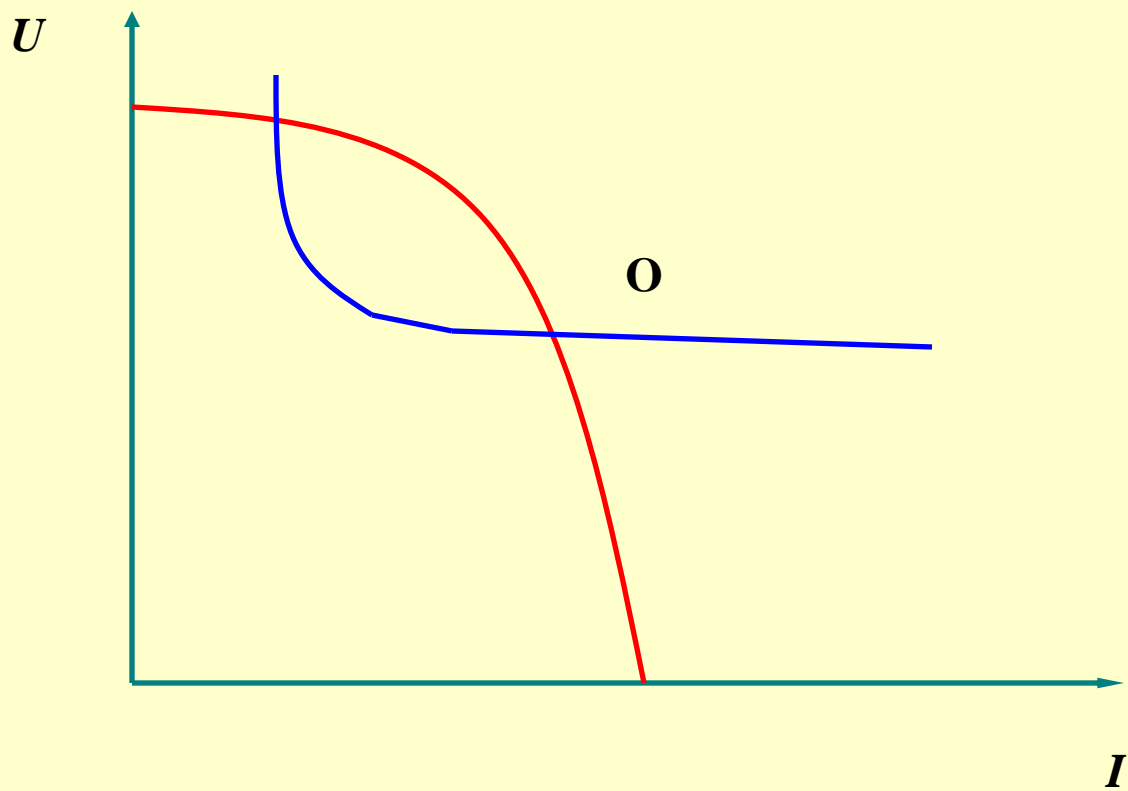
2、电源外特性的影响因素

(1) 网压波动 (2) 元件的性能变化

以上因素中弧长变化影响最大，原因：1) I_a 本身很短，10mm左右；2) 易发生波动；3) E 较大。

因此， I_a 、 U_a 恒值控制转化为弧长的恒值控制问题。

第五章 埋弧焊



(二) 弧长的自动调节方式有两种:

- 等速送丝调节系统的自身调节
- 均匀送丝系统的电弧电压反馈调节。

1、电弧自身调节（等速送丝系统）

焊丝以恒定的速度送进，弧长波动时，熔化速度发生变化，依靠熔化速度的变化调节弧长，使其恢复到原来的长度。

电弧稳定燃烧时满足的条件:

- v_m （熔化速度）= v_f （送丝速度），
- 弧长保持不变
- 导电嘴离开工件的距离不变

(1) 等速送丝系统的静特性

$$v_m = k_i I - k_u U$$

k_i ——为熔化速度随电流的变化系数，影响因素：电流、焊丝电阻率、伸出长度、焊丝直径。

k_u ——为熔化速度随电压的变化系数；影响因素：弧长，电场强度。

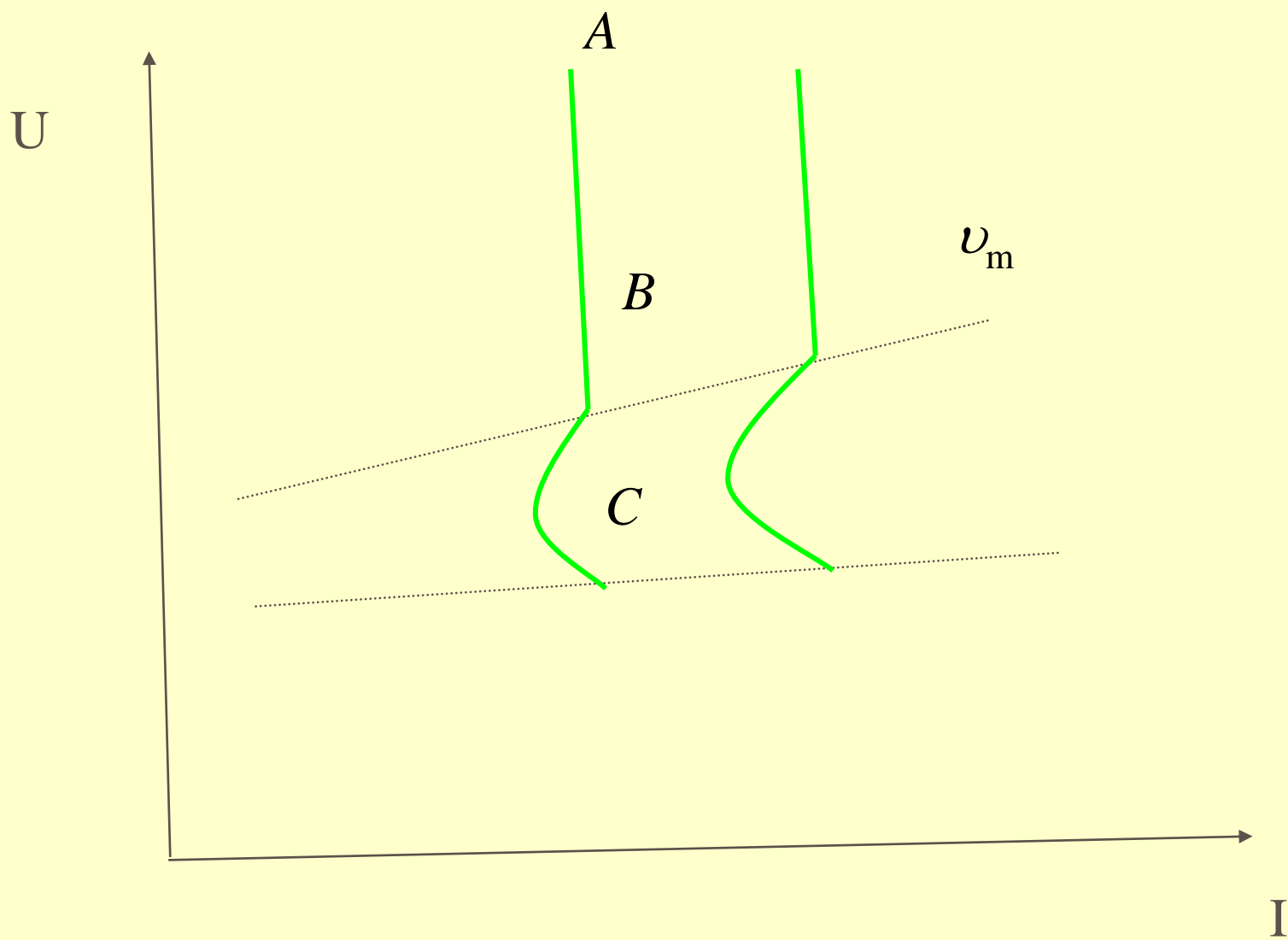
电弧稳定时： $v_m = v_f$ ，则有：

$$I = \frac{v_f}{k_i} + \frac{k_u}{k_i} U \quad \text{等速送丝系统的静特性方程}$$

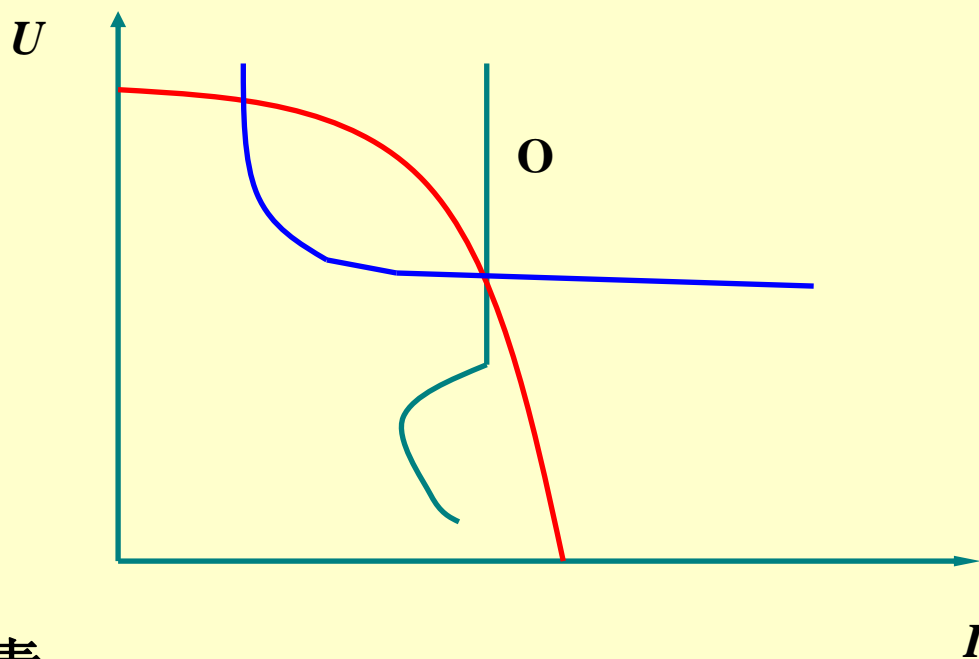
等速送丝系统的静特性曲线，又叫等熔化曲线、C曲线。

熔化速度（送丝速度）与电流及电压之间的关系下图所示。在不同的弧长范围，熔化速度与电流及电压的关系不同，其调节原理也由所不同。

第五章 埋弧焊



第五章 埋弧焊



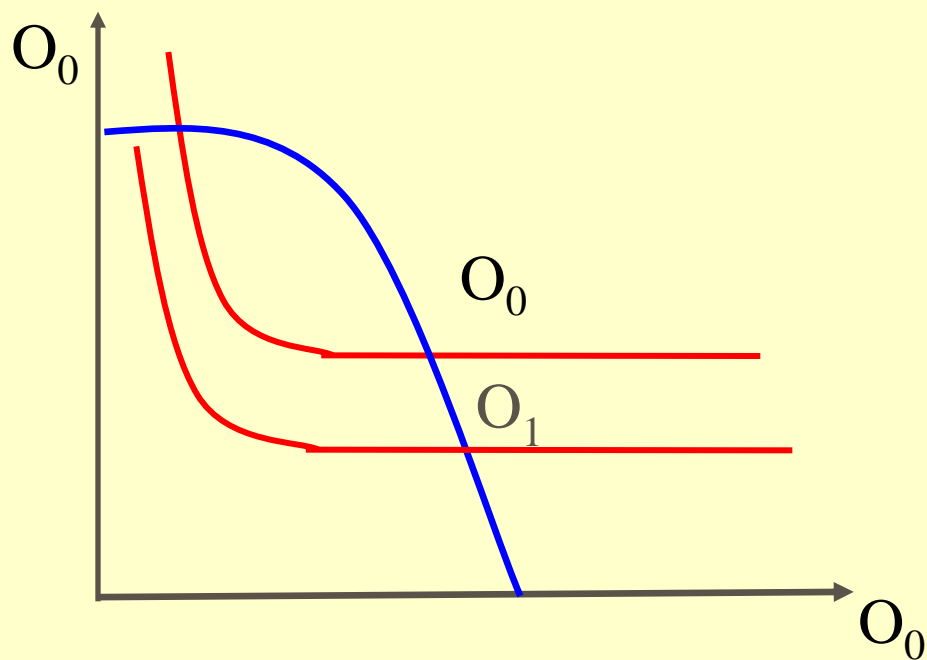
影响因素：

1、弧长：长弧时，垂直于电流轴 $I = \frac{v_f}{k_i}$ ；短弧时， k_u 较大，不能忽略不计。熔化速度随着弧长的缩短而增大。

2、送丝速度增大，曲线右移。

3、焊丝直径减小、干伸长度增大， k_i 增大，曲线左移动。

(2) 弧长调节原理



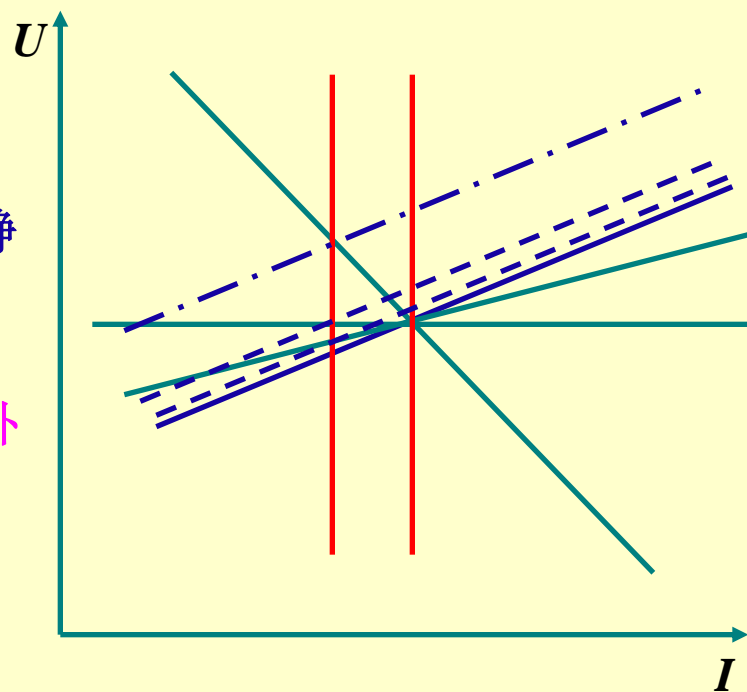
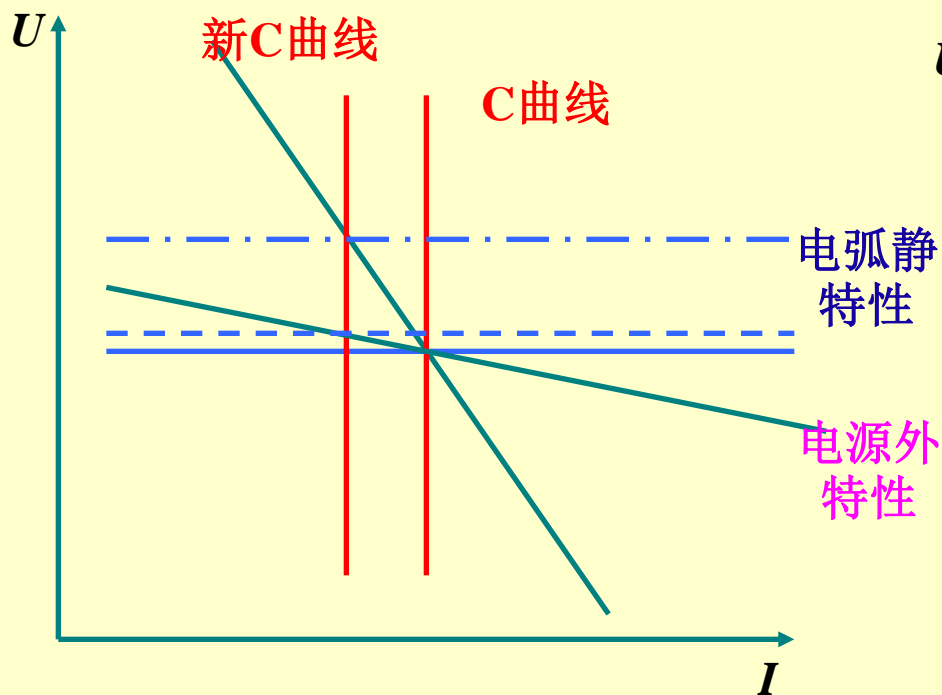
弧长减小时电弧静特性曲线下移，电弧的工作点由稳态的 O_0 变为瞬态工作点 O_1 ，焊接电流增大，焊丝熔化速度加快，从而使弧长逐渐增大，回到原来的数值。显然，这种调节的灵敏度取决于单位弧长变化所引起的焊丝熔化速度变化量，该变化量越大，灵敏度越大。

(3) 调节精度

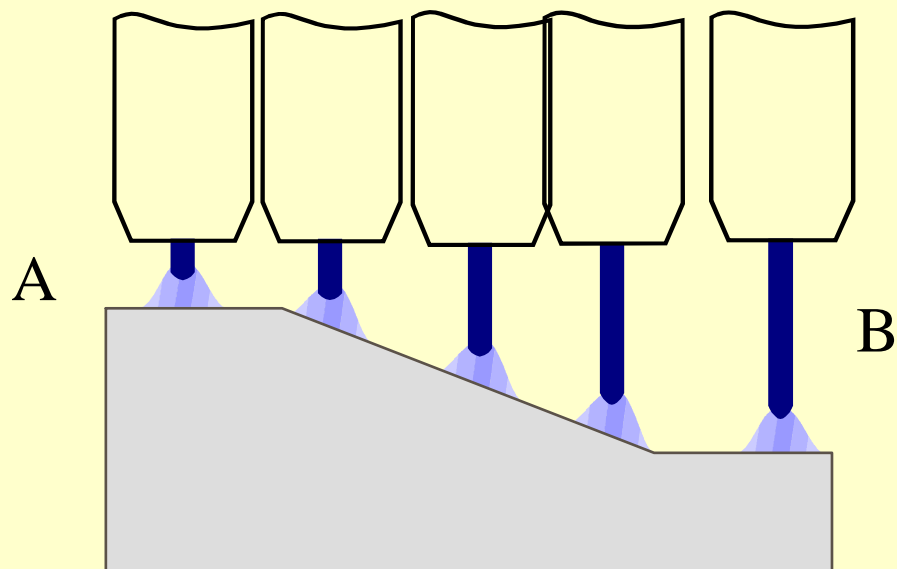
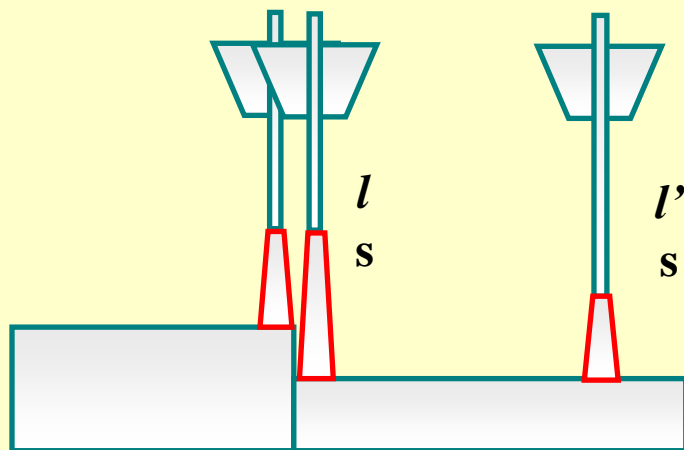
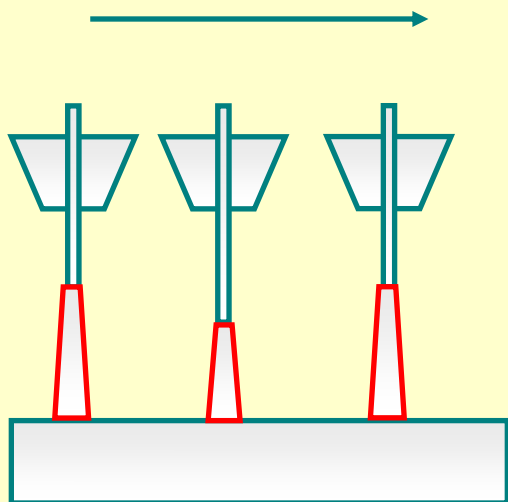
1) 弧长波动引起的误差

导电嘴离工件的距离 H 不变时：调节误差为0。

导电嘴离工件的距离 H 变化时：有调节误差，误差取决于 H 的变化量及电源外特性。

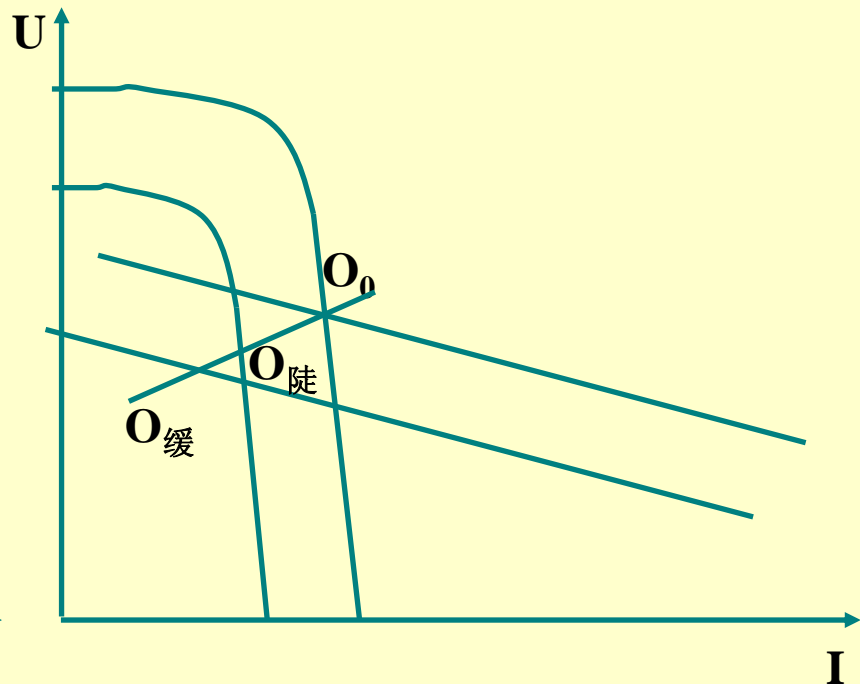
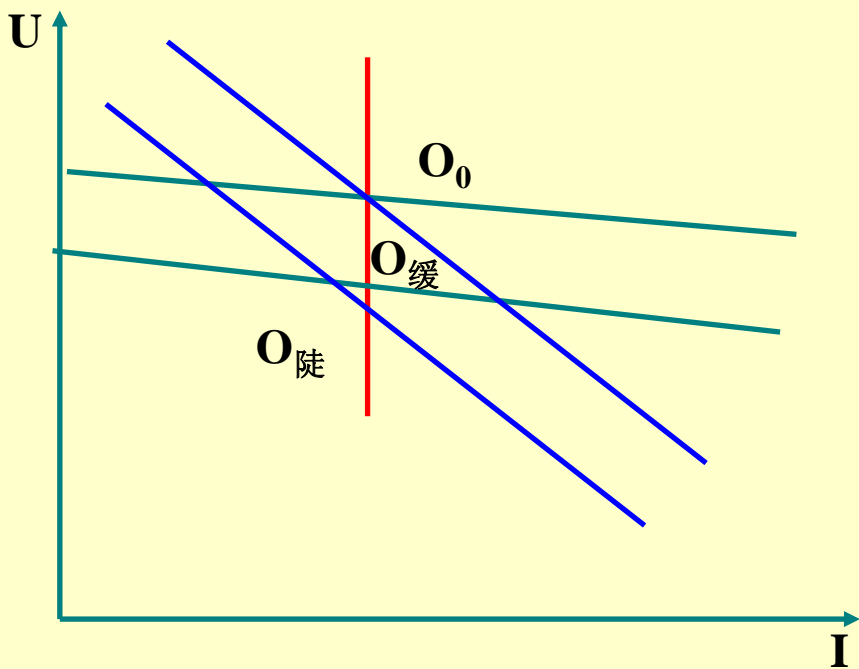


第五章 埋弧焊



干伸长
A: 8 mm
B: 35 mm

2) 网压波动引起的误差



长弧时，网压波动主要引起电压误差，配缓降特性的电源引起的误差较小。

短弧时，网压波动主要引起电流误差，配陡降特性的电源引起的误差较小。

(4) 调节灵敏度

即调节速度速度、调节时间。

弧长波动是通过熔化速度来调节的，因此调节速度取决于熔化速度的变化量。

$$\Delta t = \frac{\Delta l_a}{\Delta v_m}$$

1) 长弧（AB段）时，熔化速度仅与电弧电流有关：

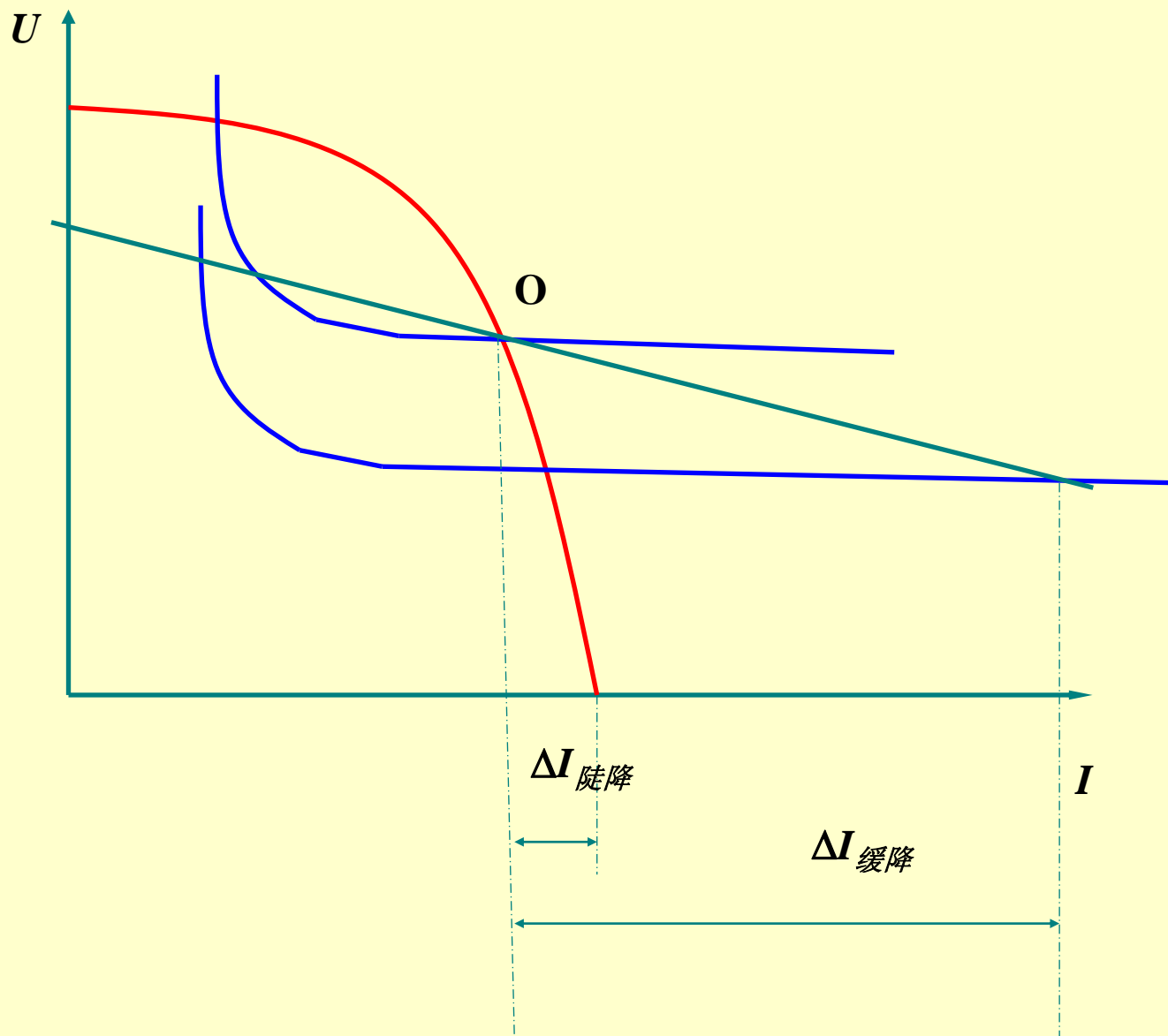
$$v_m = k_i I \quad \Delta v_m = k_i \Delta I。$$

k_i 越大，灵敏度越高。 k_i 随焊丝直径的增大而减小，焊丝直径较粗时，电弧自身调节灵敏度很小，因此，弧长自动调节仅适用于细丝，不适用于粗丝。

单位弧长发生波动时引起的 ΔI 。采用平特性或缓降特性的电源时，同样的弧长波动引起的 ΔI 较大，调节灵敏度较大，因此，弧长较大时，等速送丝系统通常匹配平特性或缓降特性电源。

弧柱的电场强度： E 越大，单位弧长波动引起的 ΔI 越大，灵敏度越高。

第五章 埋弧焊



- 2) 弧长较短（BC段）时，熔化速度与电弧电流及电弧电压均有关：

$$v_m = k_i I - k_u U$$

k_u ——为熔化速度随电压变化的系数。

弧长波动引起的熔化速度变化量：

$$\Delta v_m = k_i \Delta I - k_u \Delta U$$

由于弧长较短时， k_u 非常大，因此，即使采用恒流特性的电源（ $\Delta I = 0$ ），弧长波动时仍能引起足够大的 Δv_m ，具有足够大的灵敏度。而且，采用恒流特性电源时具有很好的焊接工艺性能，因此短弧时，等速送丝系统通常恒流特性电源。

弧柱的电场强度： E 越大，单位弧长波动引起的 ΔU 越大，灵敏度越高。

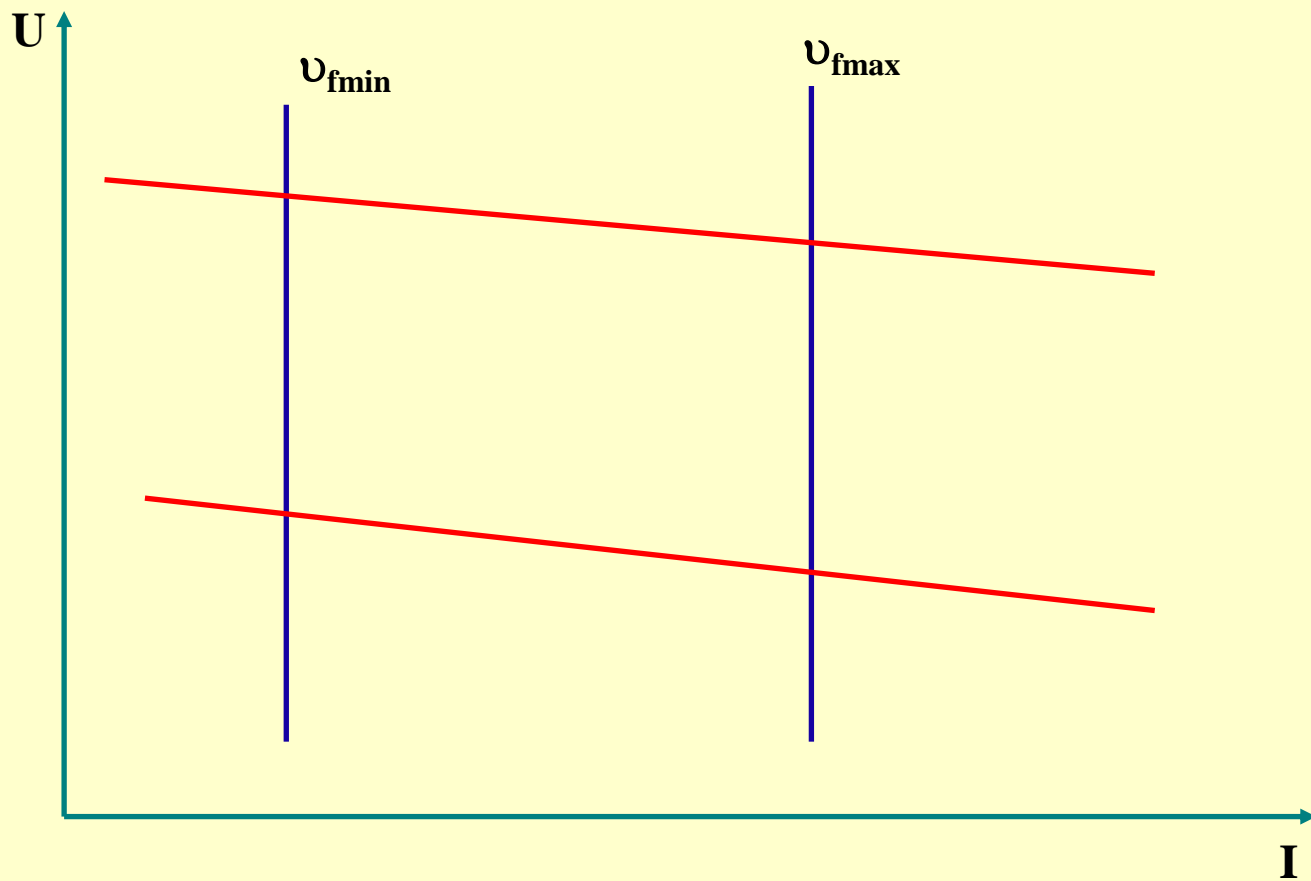
第五章

埋弧焊

匹配恒流特性电源。在这种情况下，熔化速度的变化是由弧长波动本身引起的，对电源的外特性无任何要求，因此这种调节作用称为固有自调节作用。它是自调节作用的一种特殊形式。

值得指出的是：钢焊丝的等熔化曲线没有BC段，因此没有固有自调节作用。只有以铝焊丝作电极的气体保护电弧才有自调节作用，铝焊丝MIG焊的亚射流过渡正是采用了这种调节作用。埋弧焊电弧没有这种固有自调节作用。

2、电流电压的调节



通过调节送丝速度来调节电流、调节外特性来调节电压。

3、弧压反馈调节

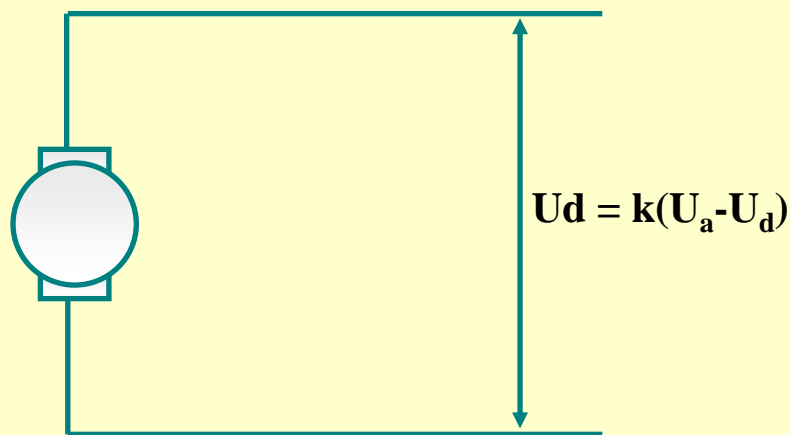
焊丝较粗时，电弧自调节灵敏度很低，不能保证弧长稳定。此时应采用弧压反馈调节系统。这种调节方式通过弧压反馈来控制送丝速度，利用送丝速度作为调节量来调节弧长。

(1) 弧压反馈调节器

利用电弧电压反馈信号控制送丝速度。实现该功能的装置为弧压反馈调节器。送丝速度 v_f 与电弧电压的关系为：

$$v_f = k (U_a - U_g)$$

其中 k 为弧压反馈器的灵敏度， U_a 为电弧电压。 U_g 为给定电压。

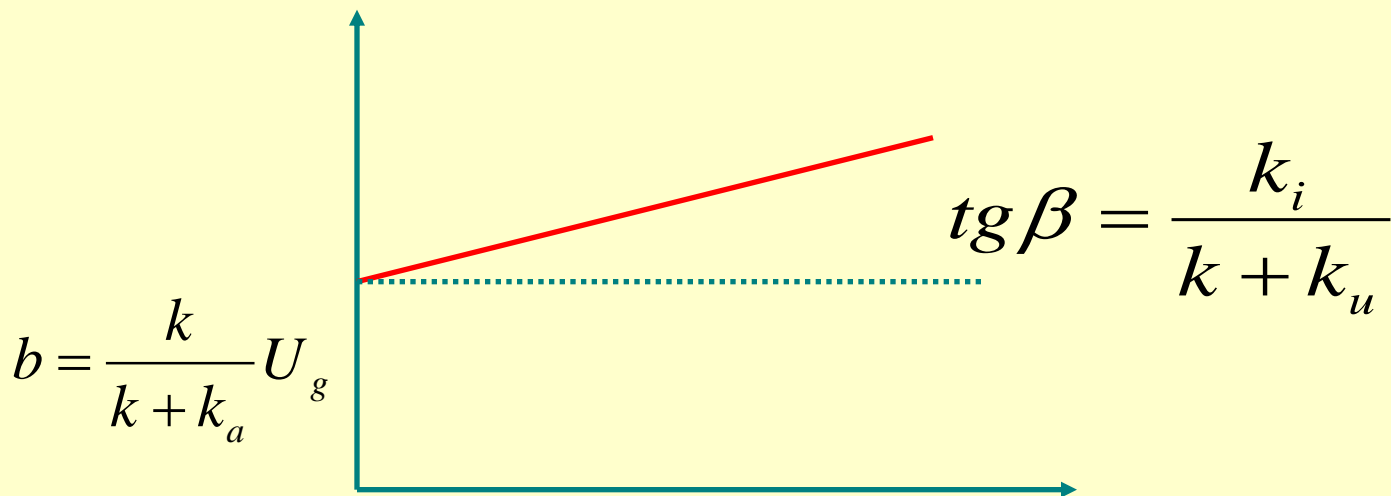


(2) 弧压反馈调节系统的静特性方程

$$U_f = U_m, \quad k(U_a - U_g) = k_i I_a - k_u U_a$$

$$U_a = \frac{k}{k + k_a} U_g + \frac{k_i}{k + k_u} I_a$$

弧压反馈送丝系统的静特性方程



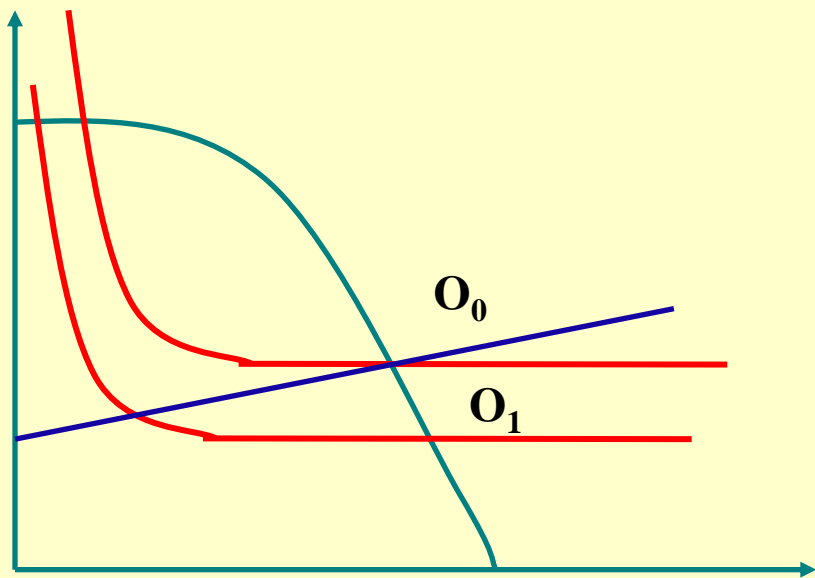
讨论:

- 1) 当 k 足够大时, $tg\beta=0$, 弧压反馈系统静特性曲线接近于平行于电流轴的直线。
- 2) 增大 U_g 时, 弧压反馈系统静特性曲线向上移动。
- 3) d 减小或干伸长度增大时, k_i 增大。 $tg\beta$ 增大。

(3) 调节过程、精度及灵敏度

1) 调节过程

送丝速度增大，单位时间内送出的焊丝长度大于熔化的焊丝长度，从而迫使弧长逐渐缩短，恢复到原来的长度。反之，如果弧长变短，电弧电压减小，送丝速度减小（甚至回抽），单位时间内送出的焊丝长度小于熔化的焊丝长度，弧长逐渐变长，回到原来的长度。



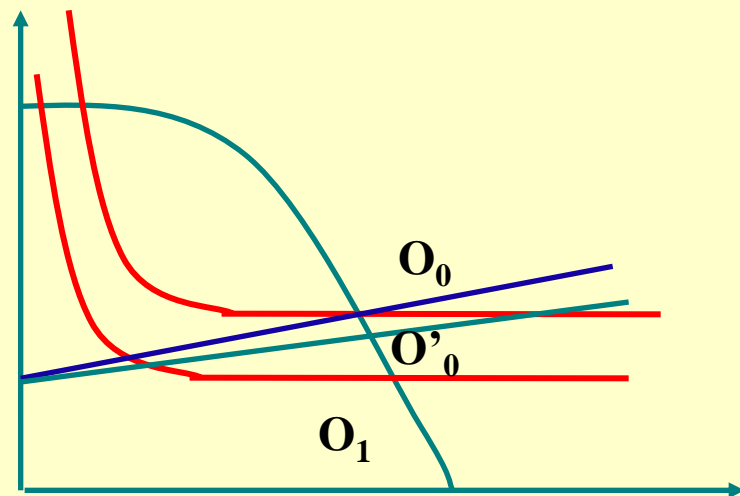
$$v_{f1} = k(U_1 - U_g) < v_{f0}$$

$$v_{m1} = k_i I_1 - k_u U_1 > v_{m0}$$

2) 弧长波动引起的误差

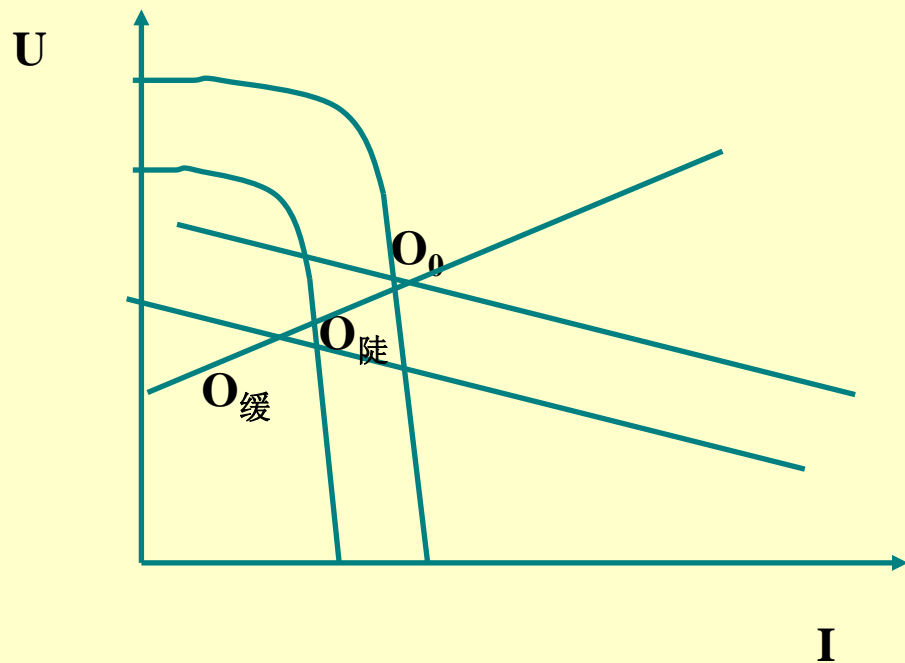
导电嘴离工件的距离 H 不变时：调节误差为0

导电嘴离工件的距离 H 变化时：有调节误差，但是由于粗丝时的 k_i 较小而 k 较大， $\text{tg}\beta$ 基本接近为零，因此误差很小。



3) 网压波动

主要引起电流误差，配陡降特性的电源引起的误差较小。因此，弧压反馈送丝系统一般配陡降外特性电源。



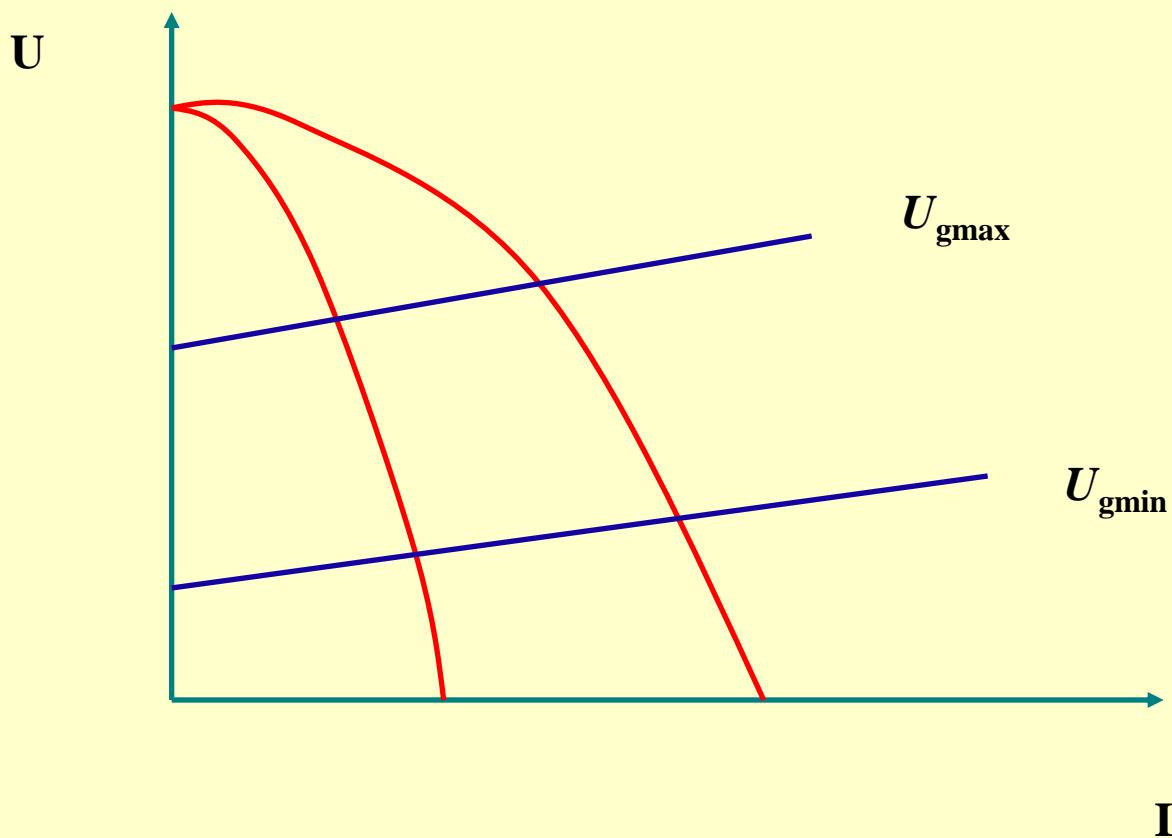
4、调节灵敏度

显然，弧压反馈灵敏度取决于单位弧长变化量所引起的送丝速度变化量，而送丝速度的变化量可用下式表示：

$$\Delta v_f = k \Delta U_a$$

- 1) 弧压反馈深度 k 越大，弧压反馈调节的灵敏度越大；
- 2) 电弧电场强度越大时，同样的弧长波动引起 ΔU_a 的越大，调节灵敏度就越高。
- 3) 采用陡降特性的电源时，同样的弧长波动引起的 ΔU_a 比也缓降特性电源引起的 ΔU_a 大，调节灵敏度较高。因此，弧压反馈调节系统通常采用陡降特性的电源。

六、电流电压的调节

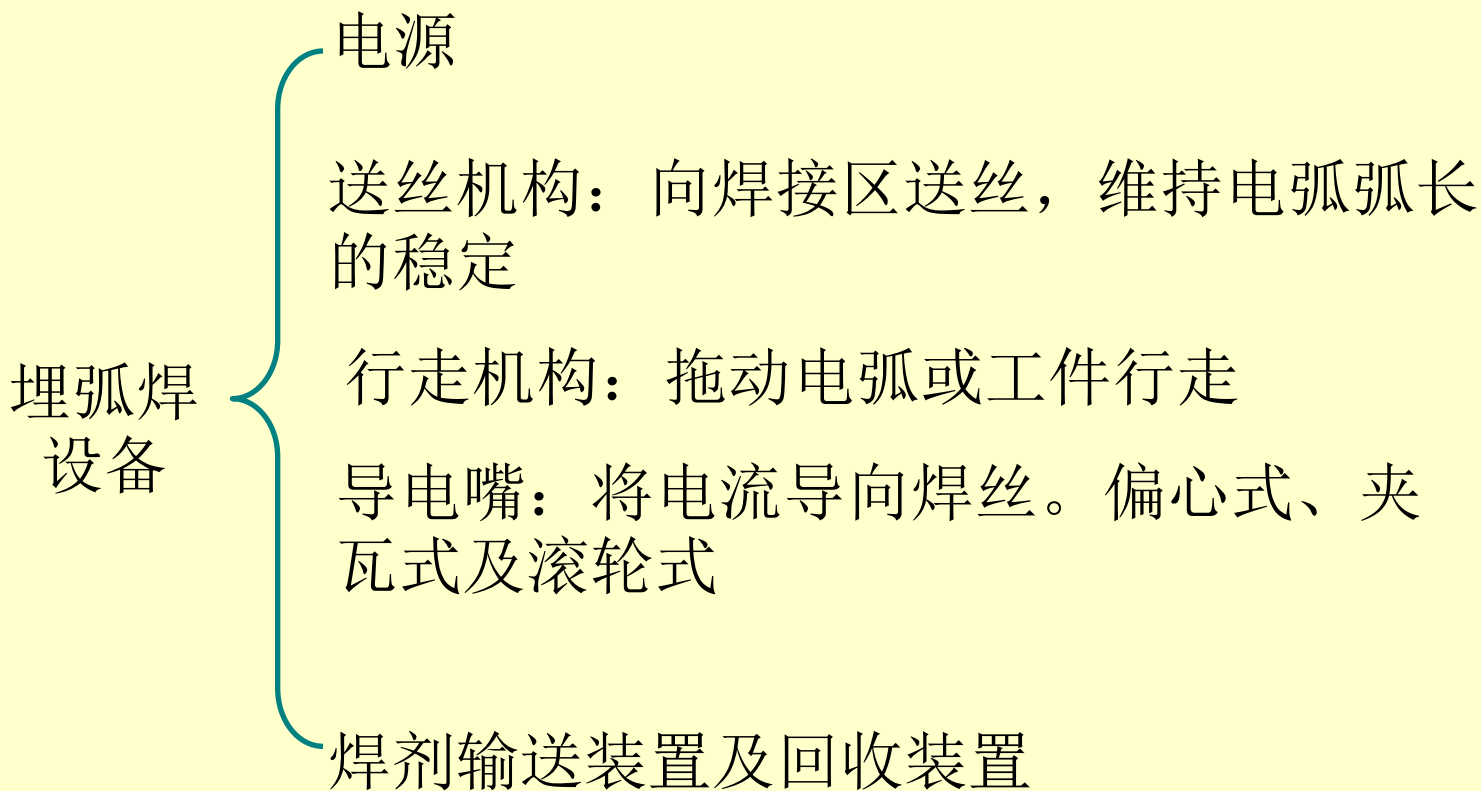


电流：通过调节外特性

电压：通过调节 U_g

§ 5-4 埋弧焊设备

一、埋弧焊设备的组成



二、埋弧焊设备的分类

1、按照用途来分类：

- (1) 通用埋弧焊机：小车式，用于对接、角接及环焊缝
- (2) 专用埋弧焊机：专用焊接结构。

2、按送丝方式：

- (1) 等速送丝：适用于细丝，配平特性或缓降特性的电源
- (2) 弧压反馈送丝式：适用于粗丝，配陡降特性的电源

3、按照送丝机构：

- (1) 小车式 (2) 门架子式 (3) 悬臂梁式

4、按焊丝数量：

- (1) 单丝焊机 (2) 双丝焊机 (3) 多丝焊机

5、按照电极的形状：

- (1) 丝极埋弧焊 (2) 带极埋弧焊

§ 5-5 埋弧焊工艺

埋弧焊工艺包括：

- 焊前准备
- 选择与母材匹配的焊丝与焊剂
- 选择正确的焊接工艺参数及热处理规范等

(一) 焊前准备

焊前准备包括：

1、坡口加工

板厚	小于14 mm	12~22 mm	大于22mm
坡口	不开坡口	V或U形坡口	双V或双U形坡口

加工方法：坡口可用刨边机、车床、气割机等设备加工。

2、待焊部位的清理

将坡口及坡口两侧20~50mm区域内的铁锈、氧化皮、油污、水分清理干净。

- 油污、水分清理方法：一般用氧-乙炔火焰烘烤
- 铁锈、氧化皮清理方法：砂布、钢丝刷、砂轮机打磨、喷砂、抛丸。

3、焊接材料的清理极烘干

(1) 焊丝：

一般有防锈铜镀层。使用前去除掉焊丝表面的油及其它污物，以防止氢气孔。

(2) 焊剂：使用前应按要求烘干。

酸性焊剂：250℃下烘干，保温1~2小时。

高氟焊剂：必须在300℃~400℃下烘干，保温2小时。

烘干后应立即使用。

4、焊件的装配

装配要求：间隙均匀、高低平整且不错边。此外，还应注意以下几点：

(1) 定位焊缝采用手工电弧焊或气体保护焊进行焊接，定位焊缝原则上应与母材等强，长度一般应大于**30mm**。

(2) 直缝两端加装引弧板与熄弧板，焊后再割掉，其目的是使焊件上的焊缝截面尺寸保持稳定，并去掉引弧和收弧位置处出现的缺陷。

(二) 焊接工艺参数的选择

包括：焊接电流、电弧电压、电流的种类及极性、焊接速度等。

1、焊接电流

焊接电流是决定焊缝熔深的主要因素。焊接电流与熔深间成正比关系： $H = k_m I$

k_m ——为电流系数，决定于电流种类、极性 & 焊丝直径等。

因此，焊接电流应根据熔深要求首先选定。

焊接电流过大：HAZ宽度大，易产生过热组织，接头韧性降低；电流过大还易导致咬边、焊瘤或烧穿等缺陷。

焊接电流过小：易产生未熔合、未焊透、夹渣等缺陷，生产率低。

2、电流种类与极性

DCRP：熔敷速度稍低，熔深较大。焊接时一般情况下都采用直流反接。

DCSP：熔敷速度比反接高30%~50%，但熔深较浅，熔合比小。特别适合于**堆焊**。母材的热裂纹倾向较大时，为了防止热裂，也可采用直流正接。

AC：采用交流进行焊接时，熔深处于直流正接与直流反接之间。

3、电弧电压

主要影响熔宽，对熔深的影响很小。为保证电弧的稳定燃烧及合适的焊缝成形系数，电弧电压应与焊接电流保持适当的关系。焊接电流增大时，应适应提高电弧电压。

电弧电压还影响熔敷金属的化学成分。电弧电压增大，焊剂的熔化量增加，过渡到熔敷金属中的合金元素会增加。

4、焊接速度

焊接速度对熔深及熔宽均有明显的影响。焊接速度增大时，熔深、熔宽均减小。因此，为了保证焊透，提高焊接速度时，应同时增大焊接电流及电压。但电流过大、焊速过高时易引起咬边等缺陷。因此焊接速度不能过高。

5、焊丝直径及干伸长度

电流一定时，焊丝直径越细，熔深越大，焊缝成形系数减小。然而对于一定的焊丝直径，使用的电流范围不宜过大，否则将使焊丝因电阻热过大而发红，影响焊丝的性能及焊接过程的稳定性。

(三) 成型工艺

1、平板对接

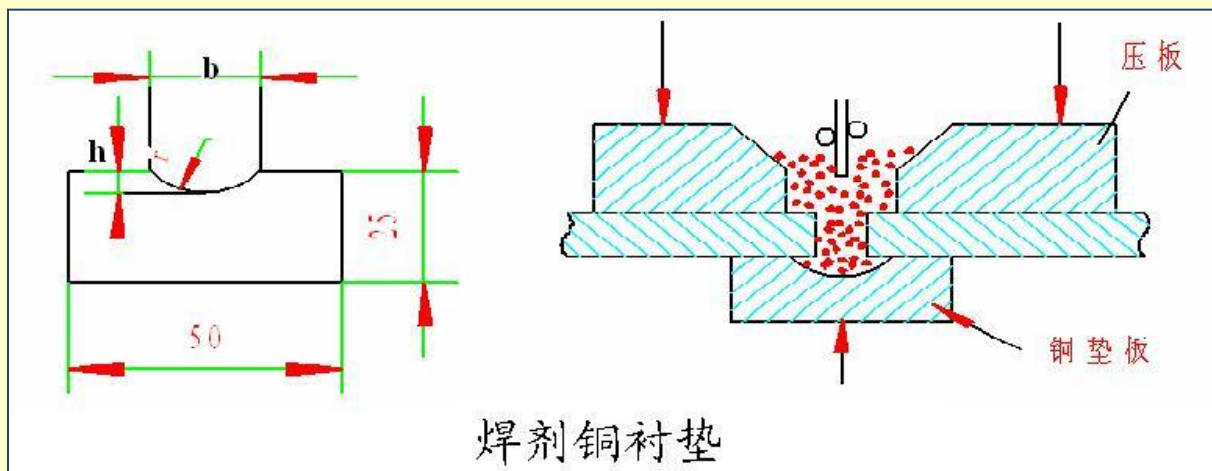
平板对接时可采用单面焊双面成形，也可采用双面焊。

(1) 单面焊双面成形

适于厚度为20 mm以下的工件，一般不开坡口，留较大间隙。

强制成型：利用铜衬垫、焊剂垫承托熔池。

- **优点：**不用反转工件，一次将工件焊好，焊接生产率较高。
- **缺点：**焊接热输入大，焊缝及热影响区晶粒粗大，接头韧性很差。板厚越大，该问题越严重。

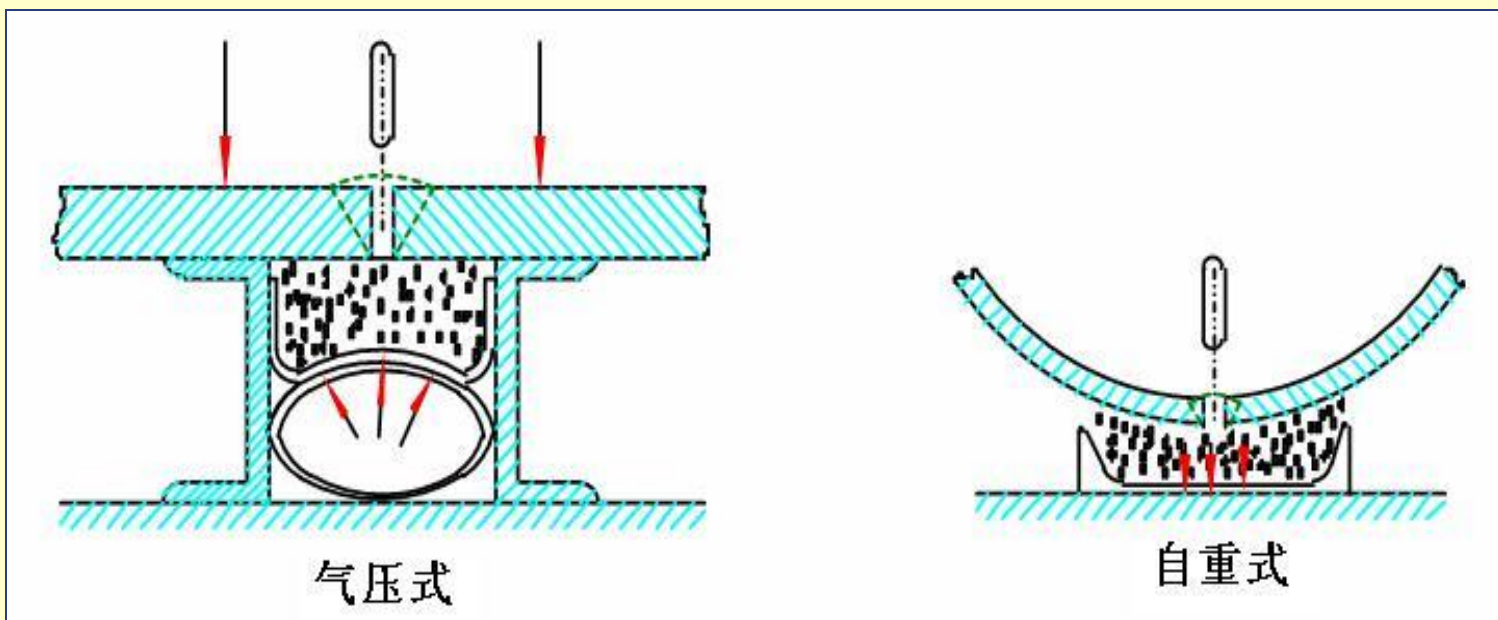


(2) 双面焊

1) 悬空焊接法

工艺要点:

- ① 工件背面不加衬垫，不需要任何辅助设备和装置。
- ② 严格控制间隙，以防止液态金属从间隙中流失或烧穿；一般不留间隙或间隙 $\leq 1\text{mm}$ 。
- ③ 焊接正面的工艺参数应较小，熔深小于焊件厚度的一半；
- ④ 翻转工件后再焊反面，为保证焊透，适当增大焊接电流，保证熔深达到焊件厚度的60%~70%。



2) 焊剂垫法：采用焊剂垫承托熔池

工艺要点：

① 焊前应根据工件厚度预留一定间隙或开坡口，以保证焊剂充分进入到间隙中。

② 焊正面焊缝时，工艺参数必须保证使熔深大于工件厚度的60%~70%。

③ 焊反面前应首先挑焊根，采用与正面相同的规范或稍小的规范进行焊接。

④ 工件下面的焊剂在整个焊缝长度上与工件紧密贴合并且压力均匀。若背面的焊剂过松，会引起漏渣或液态金属下淌。

3) 临时工艺垫板法：

特点与焊接垫法类似。焊接反面前，需去除临时工艺垫板并挑焊根后再进行焊接。



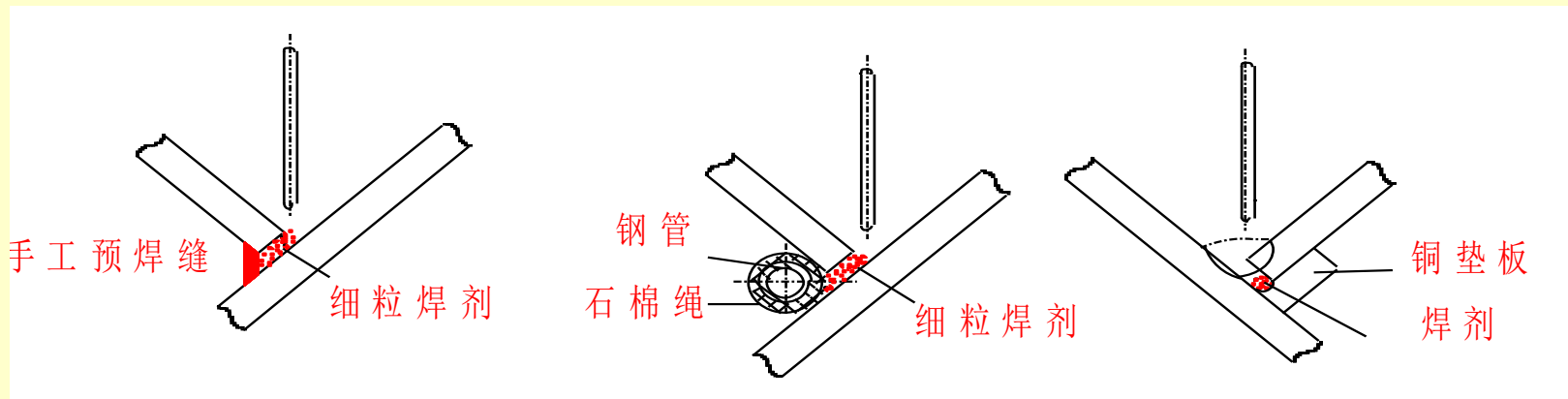
临时工艺衬垫

2、角接焊缝的焊接

角接焊缝有两种焊接方法：①斜角焊：两个工件中有一个位于水平位置，而熔池不在水平位置。②船形焊：熔池位于水平位置。前者具有较好的工艺性能，因此，应尽可能利用该方法。

(1) 船形焊

焊丝处于竖直位置，熔池处于水平位置，最有利于焊缝成形，不易产生咬边或满溢等缺陷。焊脚相等时，两个工件与垂直位置成 45° 。要求：①将间隙尺寸控制在 1.5 mm 以下，否则易出现烧穿或焊漏现象。如果无法控制间隙，则应采用适当的防漏措施。②电弧电压不宜太高，以免产生咬边。



船形焊工艺方案

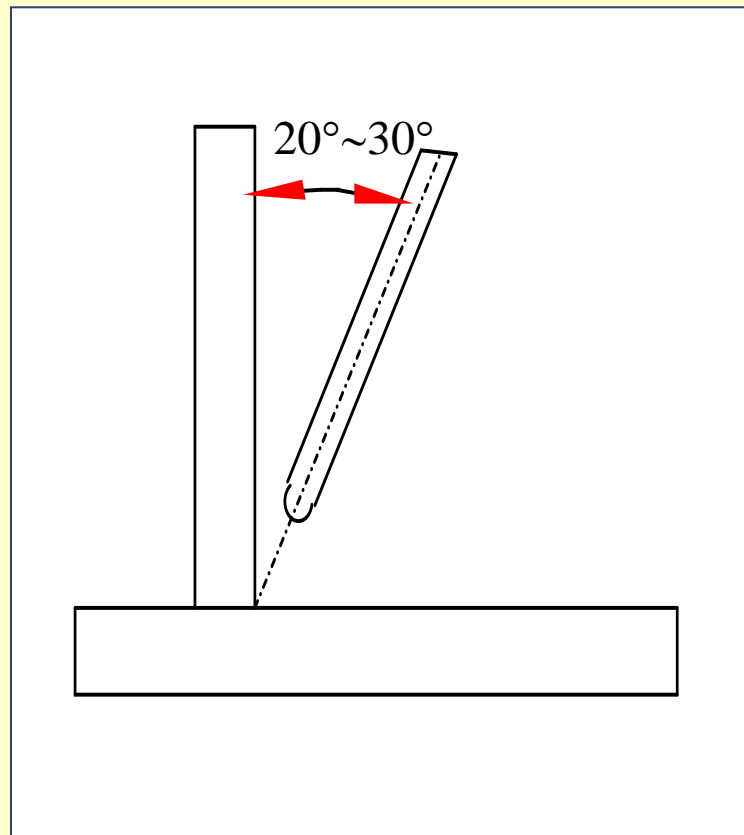
(2) 斜角焊

工件不能反转至船形位置时，才采用斜角焊法。这种方法的优点是对间隙不敏感，缺点是对单道焊焊脚及焊丝位置要求很严格。该方法的工艺要求如下：

1) 单道焊焊脚不得大于8 mm，以防止咬边。当要求焊脚大于8mm时，应采用多层焊或多层多道焊。

2) 焊丝偏角 α 应适当，一般应在 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 之间，否则易产生咬边及腹板未焊合缺陷。

3) 电弧电压不宜太高，以防熔渣流溢。



3、环缝的焊接

锅炉及压力容器上的筒节与筒节以及筒节与封头间的对接环缝。焊接时焊头固定，通过筒体在滚轮架上转动来完成整条焊缝的焊接。一般采用双面焊。

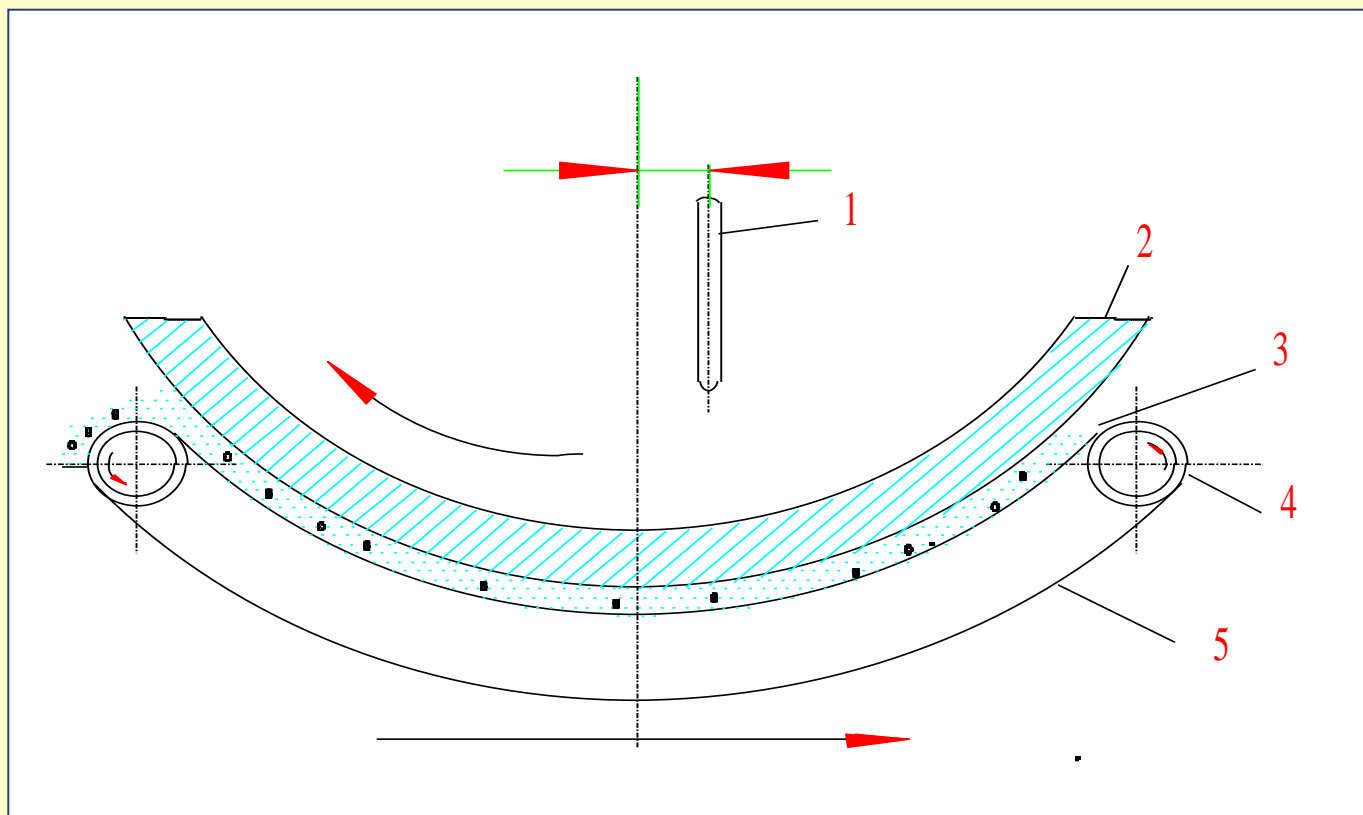
由于在焊接过程中熔池的位置不断发生变化，为了防止熔池金属的流溢，保证焊缝成形，焊丝应偏离通过圆筒中心的垂直面一段距离，这个距离叫偏移量，一般用 e 表示。偏移量应与旋转方向相反，其大小应能保证使熔池在旋转到水平位置时凝固成焊缝，以反之溶池金属流溢。

偏移量的大小取决于：

- 工件的直径
- 工件转速
- 工件厚度有关

第五章 埋弧焊

工件的直径越大，焊接速度越大，偏移量也应越大。应注意的是，对厚壁圆筒形工件进行多层焊时，虽然滚轮架的速度不变，但随着焊缝厚度的增加，焊内环缝时焊速逐层减小，因此应逐层减小偏移量；焊外环缝时，焊速逐层递增，因此应逐层加大偏移量。



§ 5-6 特种埋弧焊

一、多丝埋弧焊

利用多根焊丝、多个电弧进行焊接的一种方法。

1、特点：

- 焊接速度高
- 焊接质量好

2、分类：

(1) 根据所用焊丝的数量可分为：

①双丝埋弧焊

②多丝埋弧焊，目前最多用到14根焊丝。

应用最广泛的是双丝埋弧焊。双丝埋弧焊时一般采用两个独立电源，有时也采用一个电源。

(2) 根据焊丝排列方式可分为：

①纵列：即沿焊接方向纵向顺序排列。

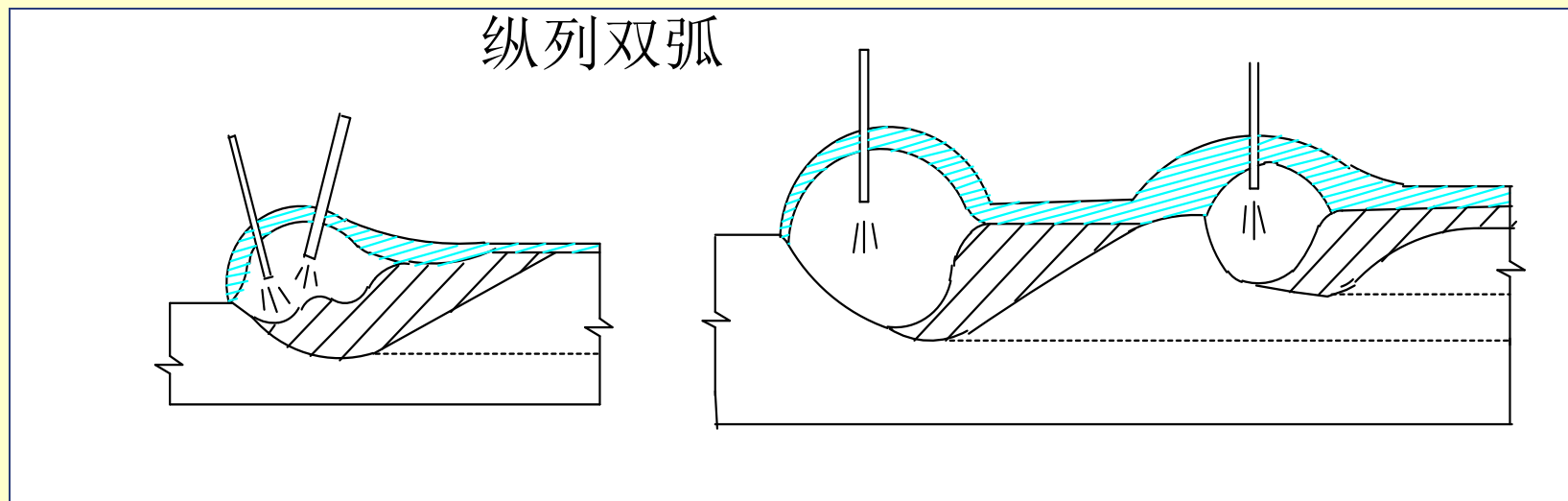
②横列：克服坡口的不均匀性，提高焊缝质量。

第五章 埋弧焊

一般采用纵列，两个焊丝间的距离在10 mm ~30 mm 之间时，两个电弧形成一个熔池、一个气泡，大于该范围时，形成两个熔池，两个气泡。

导前电弧：采用较大的电流及较小的电压，目的在于保证足够的熔深。

后续电弧：采用较小的电流及较大的电压，目的在于使焊缝具有适当的熔宽，改善焊缝成形，防止焊接缺陷(咬边、未熔合等)。



两个电弧的间距较大时，形成两个熔池。适合于单面焊双面成型工艺。

二、带极埋弧焊

利用矩形截面钢带代替圆截面焊丝作电极。焊接时弧根沿带极的宽度方向快速往返运动，均匀加热带极。这种方法最初用于埋弧堆焊，后来也用于焊接。

（一）带极埋弧焊的特点：

1、熔敷速度大，效率高。

- 圆截面焊丝：电流很大时，焊缝熔深增大、焊缝的形状系数减小，易导致裂纹、咬边等。

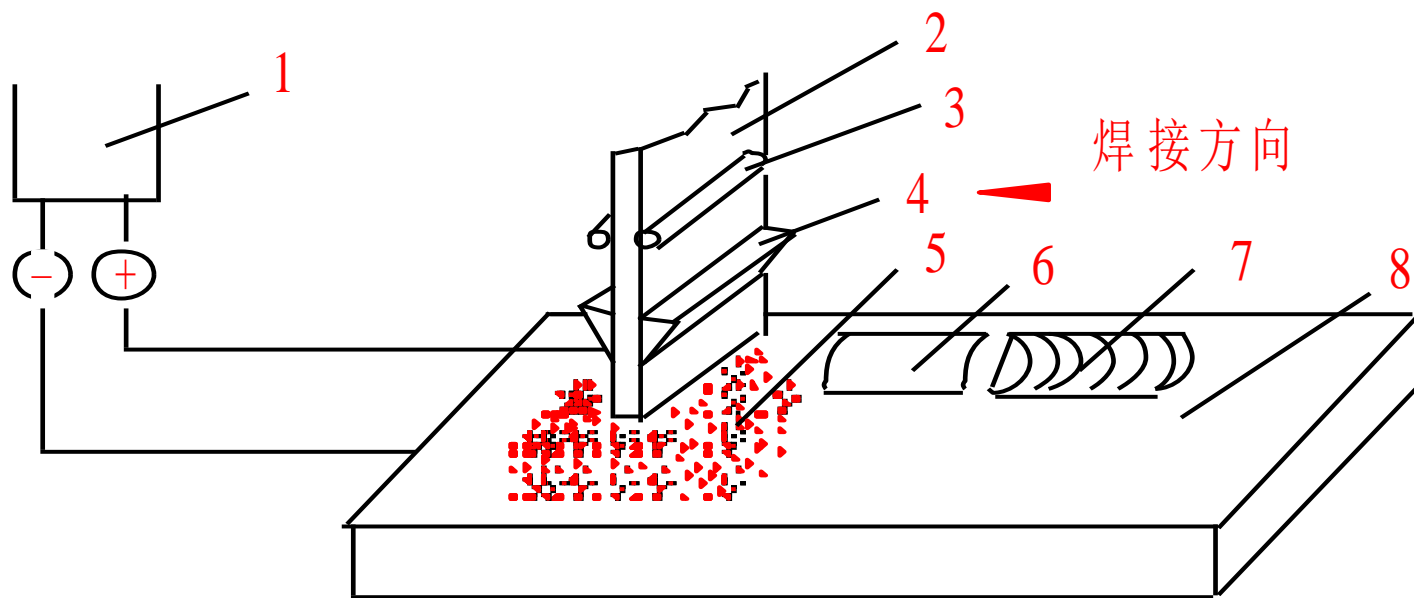
- 带极：电弧的加热宽度增大，采用更大焊接电流，焊缝的形状系数也较高。

2、熔深浅、稀释率低，特别适合于堆焊。

3、易于控制焊缝成形。

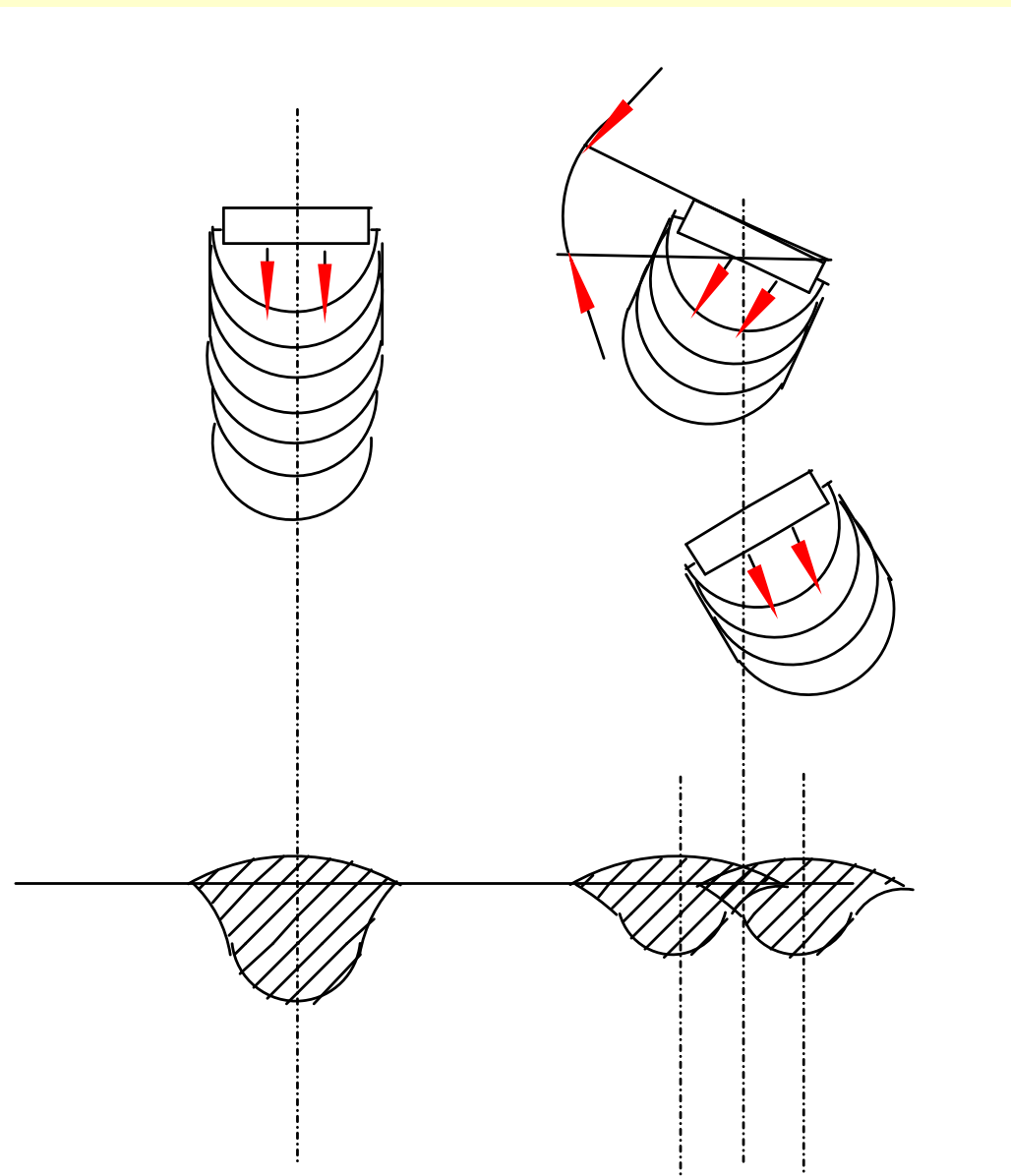
熔化金属的过渡方向与电极宽度方向成直角。电极偏转一个较小角度，焊道就可产生较大移位。因此可方便地控制焊道的形状和熔深。

第五章
埋弧焊



带极堆焊示意图

第五章 埋弧焊



熔化带极金属的流动方向

（二）带极埋弧焊工艺

除了电流、电压外，影响因素还有：

- 带极厚度
- 宽度
- 干伸长度

带极宽度越大，熔深越小，熔宽越大。

带极厚度增大时，熔深增大，熔宽减小。

堆焊时，可通过焊接线能量来调节熔深，但由于线能量太小时，电弧不稳定，因此仅靠降低线能量来减小熔深并不是很有效。**焊剂的成分**对带极的熔化速度、焊缝的几何形状及成分具有重要的影响。实验证明，当焊剂中的**氧化铁**含量降低时，带极的熔化速度增大，熔深减小。

三、窄间隙埋弧焊

窄间隙焊接是指利用窄间隙代替V形、双V形、U型或双U型等坡口进行焊接的一种的方法。

窄间隙自动埋弧焊（SAW-NG）坡口角度一般为 $0\sim 1^\circ$ ，坡口宽度为 $20\sim 30\text{mm}$ 。

◆窄间隙焊接的分类：

- ①窄间隙埋弧焊（SAW-NG）
- ②窄间隙熔化极气体保护焊（GMAW-NG）
- ③窄间隙钨极气体保护焊（GTAW-NG）等

（一）SAW-NG的特点

1) 由于采用窄间隙，焊接厚板接头时无需采用U型或双U型坡口，因而大大节省了填充金属。

2) 在窄而深的坡口中进行多层焊，热输入较低，因而减小了残余应力及工件变形，同时可防止再热裂纹。

3) 由于采用了多层焊，后续焊道对前一焊道具有很好的回火作用，加之每层的厚度较薄，因此，焊缝金属晶粒细小，韧性好。

4) 与窄间隙气体保护焊相比，窄间隙埋弧焊的焊丝较粗，对跟踪控制系统的精度要求较低，因此不易产生未焊透及夹渣等缺陷。

(二) SAW-NG的技术要点

1、每层焊道侧壁均要求完全焊透，因此焊丝端部与侧壁之间应保持适当的距离，并且焊丝伸出长度也应适当。这就要求焊机应配有横向及高度方向的跟踪系统，以保证焊丝的精确定位。

2、由于SAW-NG是在很窄的间隙中进行多层焊，因此脱渣是一个重要问题，一般要求焊剂须有良好的脱渣性。

3、焊接过程中，如发现缺陷，应及时利用合适的方法磨掉，并进行修补。

(三) SAW-NG工艺

1、坡口：

一般开 $0^{\circ}\sim 1^{\circ}$ 的坡口。坡口的关键尺寸是坡口宽度。

选择时考虑因素：

- 焊件的厚度
- 焊丝直径
- 焊剂的脱渣难易程度,以及
- 焊件的结晶裂纹敏感性。

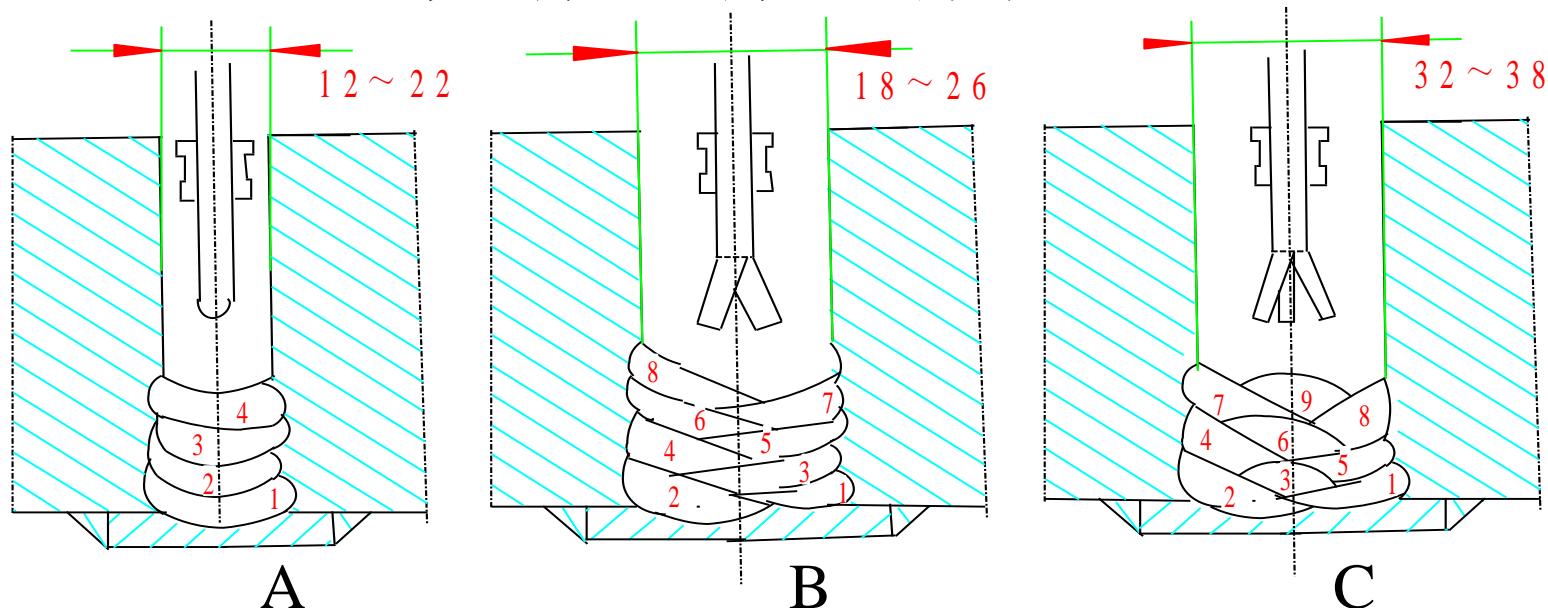
焊件厚度越大，或焊丝直径越大，或脱渣越难，或结晶裂纹敏感性越大，则坡口宽度应适当增大。而且要求坡口宽度具有良好的精度。在焊缝全长范围内，坡口宽度的误差应不超过3mm，否则将很难保证焊缝质量。

窄间隙埋弧焊工艺有3种方案，如下图。

第五章

埋弧焊

窄间隙埋弧焊工艺方案



●图A：每层一道焊缝，适用于70~150mm厚的工件。其特点是：省时省料、容易产生热裂纹。

• 工艺要点：①必须严格控制坡口精度。②必须严格控制焊接工艺参数。当焊接含碳量较高的钢材时，应该采用较低的焊接电流和速度，从而获得较大的成形系数，减小裂纹倾向。

●图B：每层两道焊缝，适用于150~300mm厚的工件，其特点是：易焊透，焊渣易清除，工艺参数允许范围大。而且由于线能量小，焊缝具有良好的韧性。

●图C：每层三道焊缝，适用于板厚>300mm的工件。

2、焊丝

焊丝直径通常根据板厚来选择，板厚小，选择的焊丝直径也应较小。

3、电弧电压一般取25 V ~35V，若小于25 V，焊缝上凸严重；若大于35V，易产生咬边及夹渣，且清渣困难。

4、焊丝与间隙侧壁（丝-壁）的间距是影响焊缝质量和性能的一项重要参数，决定了侧壁熔深、热影响区尺寸的大小。通常，最佳的丝-壁间距等于所用焊丝的直径，允许偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。