

机械工人学习材料

JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

二氧化碳气体保护焊

郝纯孝 阎家骧 丁履信 编著



机械工业出版社

·内容提要 二氧化碳气体保护焊(简称CO₂焊)是一种效率高、质量好、成本低和通用性强的焊接方法。目前国内正大力推广应用。

本书简要地介绍了CO₂气体保护焊的基本原理、焊接过程的电弧形式和冶金特点及其焊接设备的选择和维护保养,并着重叙述了焊接工艺、焊接规范参数的选择以及焊接新工艺等。

本书可供2~4级焊工学习。

二氧化碳气体保护焊

郝纯孝 阎家骧 丁履信 编著

机械工业出版社出版(北京阜成门内大街27号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第17号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

开本 787×1092^{1/32}·印张 2^{3/4}·字数 66千字

1982年10月北京第一版·1982年10月北京第一次印刷

印数 00,001—10,000·定价 0.22元

*

科技新书目: 32-104

统一书号: 15033·5342

目 录

一	概述	1
二	CO ₂ 气体保护焊的电弧及冶金特点	4
	1 CO ₂ 气体的氧化问题(4)——2 气孔(5)——3 飞溅(6)	
	——4 溶滴过渡(8)——5 CO ₂ 气体保护焊电弧对焊接电源外	
	特性的要求(11)——6 CO ₂ 气体保护焊的焊接工艺对电源动特	
	性的要求(13)——7 CO ₂ 气体保护焊的抗裂性问题(15)	
三	焊接设备	16
	1 设备的组成(16)——2 CO ₂ 气体保护焊用的电源(16)——3	
	设备附件(27)——4 气路装置(41)——5 CO ₂ 气体保护焊焊机	
	中常见的故障及焊机保养方法(42)	
四	焊接工艺	46
	1 焊接规范参数的选择(46)——2 CO ₂ 焊的操作技术	
	(57)——3 常用金属材料的CO ₂ 焊接特点(62)——4 应用实例(64)	
五	CO ₂ 气体保护焊焊接新工艺	78
	1 CO ₂ 气体保护半自动点焊(79)——2 CO ₂ 气体保护半自动螺栓	
	焊(80)——3 CO ₂ 气体保护振动堆焊(83)——4 管状焊丝 CO ₂ 气	
	体保护焊(83)——5 CO ₂ 气体保护水下半自动焊(86)	

一 概 述

CO₂ 气体保护焊是一种熔化极气体保护电弧焊接法，它利用焊丝与工件间产生的电弧来熔化金属，由 CO₂ 气体作为保护气体，并采用光焊丝作为填充金属。其焊接过程原理如图1所示。焊丝盘上的焊丝被送丝辊轮直接送入导电嘴，或者经过送丝软管后再送至焊枪的导电嘴（半自动焊），然后到达焊接电弧区进行焊接。气瓶中的 CO₂ 气体，以一定的流量从喷嘴流出。当焊丝与工件接触引燃电弧后，流出的 CO₂ 气体把电弧和熔池与空气机械地隔离开来，防止了空气对熔化金属的有害作用。焊丝不断地熔化，从而形成连续的焊缝。

CO₂ 气体保护焊与其他焊接方法（如埋弧焊、手工电弧焊等）相比，具有以下优点：

1) 生产率高 由于焊丝可以连续自动送进，省去了更换焊条（手工电弧焊时）的时间，所采用的焊接电流密度比埋弧焊、手工电弧焊高，焊接速度较快，可用于高速自动焊接；焊后没有熔渣，特别是在多层焊时，可节省清渣工序；焊接变形量小，当焊接薄板时，可减少修整工时，并有利于提高焊接质量和生产率；CO₂ 电弧的热量较集中，电弧穿透力强，焊缝的熔深大，因此可减少焊接层数，焊接角焊缝时可减小焊脚尺寸。一般 CO₂ 半自动焊比手工电弧焊提高工效 1~2 倍，而 CO₂ 自动焊则可提高 2~3 倍，随着板厚的增加生产效率可进一步提高。

2) 操作性能好 因为是明弧，焊丝端头容易对准焊缝中心，便于清楚地观察焊接过程；细丝短路过渡焊时，不仅适于焊接薄

板，并且还可以进行全位置焊接；操作技术也易于掌握。

3) 焊接质量高 由于 CO_2 电弧的热量比较集中，焊接速度快，所以焊缝的热影响区狭窄，焊件的变形量小；焊缝金属中含氢量低，焊缝的抗裂性能良好，质量高。

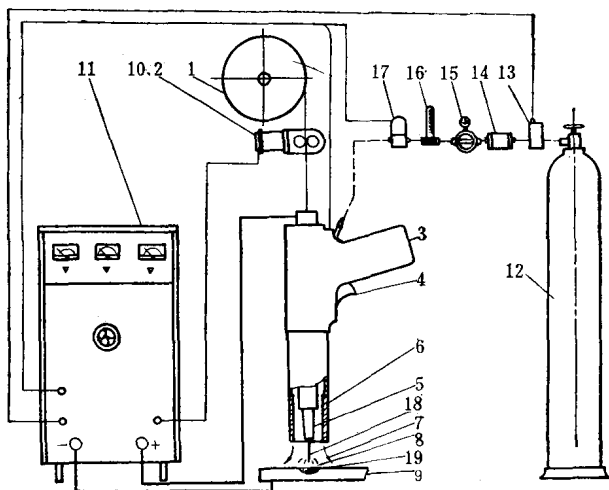


图1 CO_2 保护焊过程原理示意图

- 1—焊丝盘 2—送丝机构 3—焊枪 4—开关
 5—导电嘴 6—喷嘴 7— CO_2 气体保护区 8—电
 弧 9—焊件 10—送丝电动机 11— CO_2 焊
 接电源 12— CO_2 气瓶 13—预热器 14—干燥器
 15—减压阀 16—流量计 17—电磁气阀 18—焊
 丝 19—焊接熔池

4) 对铁锈的敏感性小 其抗锈能力比其他焊接方法要优越得多。

5) 成本低 由于 CO_2 气体和焊丝的价格低廉，且 CO_2 焊时

耗电量小，所以其成本仅为手工电弧焊和埋弧自动焊的30~60%。

6) 易于实现机械化和自动化。

7) CO₂ 气体保护焊的适应性强，应用范围广。只要选用适当直径的焊丝和焊接规范，不但可以焊接0.8毫米厚的薄板，而且可以焊接厚度在150毫米以内的中厚板，不仅适用于低碳钢、普通低合金钢、低合金高强度钢的焊接，而且也可以焊接耐热钢、不锈钢、铸钢、中碳钢、硅钢片、弹簧钢，以及铸铁等多种金属材料；不仅可以对易磨损零件进行表层堆焊，用以修复曲轴、锻模等；而且还可以焊接异种金属材料（如球墨铸铁与钢、低碳钢与合金钢等）。

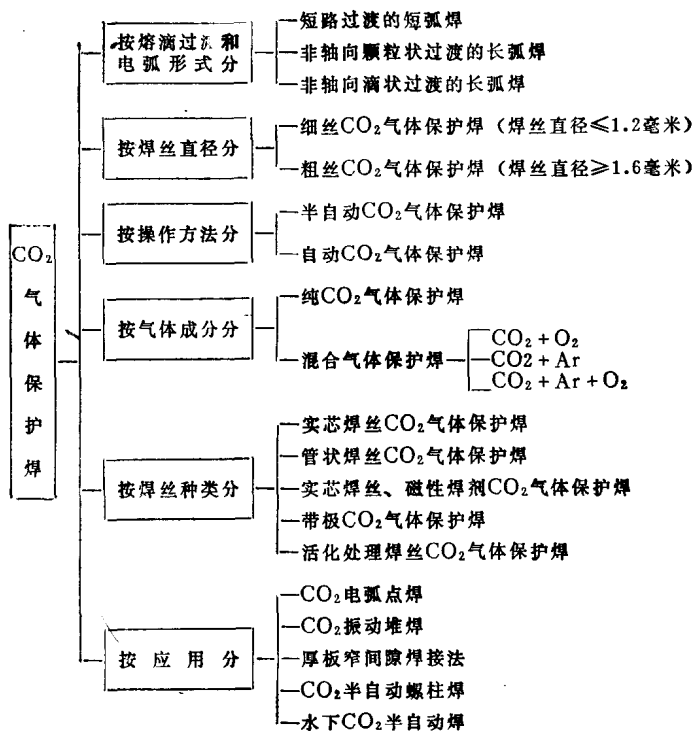
CO₂ 气体保护半自动焊主要用以焊接短焊缝及各种形状的曲线焊缝，采用短路过渡的短弧焊时，可以进行全位置焊接。对于一些形状规则的长焊缝，适宜采用CO₂ 气体保护自动焊。还有一些专用的CO₂ 气体保护自动焊机，可实现横焊、立焊。若采用一种特殊的焊枪，可在水下进行CO₂ 焊接。

但是，CO₂ 气体保护不可避免地也存在一些不足之处：怕风，露天作业受到一定限制；弧光和热辐射强；不能采用交流电源等。

由于CO₂ 气体保护焊具有其他焊接方法所不及的优点，因此这项新技术在国内外已获得了广泛的应用。在很多场合已代替了气焊、手工电弧焊以及埋弧自动焊，个别情况下还可以代替电阻焊。近十几年来，我国已在汽车、机车、造船、冶金、航空、发电设备、锅炉制造、通用机械、石油化工、金属结构和轻纺等各行各业中获得了推广应用。

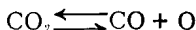
CO₂ 气体保护焊的分类可参见表1。

表1 CO₂气体保护焊的分类



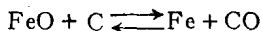
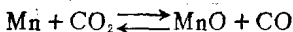
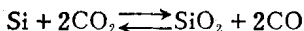
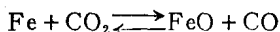
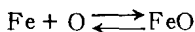
二 CO₂气体保护焊的电弧及冶金特点

1 CO₂气体的氧化问题 CO₂气体是一种活性气体，它具有很强的氧化性。CO₂气体在高温电弧的作用下，按下式发生分解：



CO₂和分解产生的氧原子，对熔化的铁、锰、硅等元素都有氧化作用。这种氧化作用，是在熔池中和电弧区域内同时发生的，

其氧化反应式为：

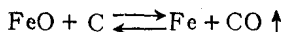


氧化一方面使焊缝中的合金元素烧损，引起焊缝机械性能和物理性能的降低；另一方面，熔池中生成的 CO 气体，在熔池凝固时如来不及逸出，将导致焊缝中形成气孔。因此，采用 CO₂ 作为保护气体时，必须解决 CO₂ 气体在高温时的氧化问题。为防止氧化，一般采用硅、锰合金焊丝，常用的为 HO8Mn2Si 焊丝。焊丝中的硅、锰作为还原剂。当硅、锰含量充分时，除能起脱氧作用外，多余的硅、锰便成为合金元素过渡到焊缝中去，从而提高了焊缝的机械性能。

2 气孔 在 CO₂ 气体保护焊时，由于在焊接熔池表面上没有熔渣覆盖，保温条件较差（与手工电弧焊及埋弧焊相比），同时 CO₂ 气流对熔池又有较大的冷却作用，促使熔池凝固较快，而且 CO₂ 气体保护焊的熔池窄而深，不利于气体在熔池凝固前逸出，因此容易出现气孔。

促使产生气孔的气体来源、气孔类型及其防止方法有以下三方面。

一、CO 气孔 当焊丝中的硅、锰脱氧元素含量不足时，熔池的脱氧作用就差，往往会发生下列反应：



反应生成的 CO 气体不能完全从熔池中逸出，便形成了 CO 气孔。一般 CO 气体产生在焊缝内部，形状有点象条虫状，其表面比较光滑，并沿结晶方向分布。防止方法是采用含有足够数量

的硅、锰合金焊丝，而焊丝中的含碳量不宜过高。

二、氮气孔 由于空气中的氮大量地溶入焊接熔池金属，在焊缝凝固时，氮在金属中的溶解度突然降低，来不及从熔池中逸出，便形成氮气孔。氮气溶入熔池的途径有：喷嘴孔径过大，气体流量太小，喷嘴被飞溅物堵塞，喷嘴与焊件间的距离太远，焊速太快，焊炬结构设计不合理，电弧过长等等。氮气孔大多是成堆出现的，形状与蜂窝相似。防止氮气孔的办法有：设计合理的焊炬，选择合适的焊接规范，露天施焊时要设置防风屏罩等。此外，还可以在焊丝中加入适量的固氮元素，如钛(Ti)、铝(Al)、锆(Zr)等。

三、氢气孔 由于CO₂气体不纯，焊件和焊丝表面有铁锈、油污或水汽，使熔池中溶入大量的氢气。当熔池冷凝时，氢的溶解度急速下降，多余的氢气来不及逸出熔池，而生成氢气孔。氢气孔大多出现在焊缝表面，其断面形状为螺钉状或针状，从焊缝上表面观察则呈圆喇叭口形，在气孔的四周有光滑的内壁。个别情况下也会在焊缝内部产生，形状为圆形小球状。防止办法：一是选用的CO₂气体纯度不应低于99.5%；二是当CO₂气瓶内的压力低于10公斤力/厘米²时，应停止用气，待更换新气瓶后再继续使用；三是焊前将焊丝和焊件表面的铁锈、油污和潮汽等彻底清理干净。

3 飞溅 在焊接时，容易产生飞溅，这是由于CO₂气体的性质所决定的，其产生飞溅的主要原因及减少办法如下：

一、在熔滴过渡时，处于高温下的CO气体，从熔滴中急剧膨胀逸出时会造成飞溅。如前所述，只要采用硅、锰合金焊丝，同时限制焊丝中的含碳量（小于0.1%），基本上就可以避免这种飞溅。

二、熔滴在极点压力的作用下，会形成远离熔池的飞溅，而

且极点压力还会阻碍熔滴过渡，使熔滴尺寸增大。当采用直流正极性焊接时，熔滴受到正离子的压力，而这一压力要比使用反极性焊接时大得多，飞溅显著增加，熔滴变得粗大。为此，在进行 CO_2 气体保护焊时，一般采用直流反极性接法。在某种情况下，需要采用正极性时，可在焊丝或气体中加入少量低电离势的元素，如钾（K）、钠（Na）、铯（Cs）、钙（Ca）等，以减少飞溅。

三、焊接工艺因素造成的飞溅 当熔滴与熔池短路时，短路电流脉冲使熔滴过热，其内部金属蒸气膨胀而形成飞溅，飞溅的大小和熔滴的尺寸与电源动特性等有关，焊丝愈粗，熔滴愈大，飞溅愈严重。短路电流增长速度对飞溅的影响较为明显。当焊接回路中的电感值偏大时，短路电流增长速度就减小，使熔滴与焊丝之间不能有效地形成颈缩，熔滴向熔池过渡的轴向力下降（熔滴不能很快过渡），直至熔滴尺寸增至一定值时才发生过热爆炸，以致形成大颗粒的飞溅。反之，当焊接回路中的电感值过小时，短路电流增长速度过大，熔滴一旦与熔池相接触，使刚形成的金属小桥很快地被短路电流过热而炸断，形成大量小颗粒的飞溅。为了减少这种飞溅，必须选择具有良好动特性的焊接电源，调整好焊接回路的电感量。

在长弧焊时，引起飞溅的主要原因是熔滴过渡状态不理想，或焊接规范选择不当。减少飞溅的办法有：一是选择合适的电压和电流值；二是采用 $\text{Ar} + \text{CO}_2$ 或 $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ 等混合气体作为保护气体，以改善熔滴过渡的状态，从而可以有效地减少飞溅；三是采用表面涂有活化剂（如铯及其盐类）的焊丝，以改善熔滴过渡状态，飞溅可显著减少；四是采用气渣联合保护的管状焊丝，由于管状焊丝中加入了一定量的还原剂和稳弧剂，焊接过程十分稳定，飞溅较少；五是采用双层气体保护焊，内层为氩气，外层是 CO_2 气体，电弧在薄层的氩气流中燃烧与氩弧焊法相似；六是采

用“潜弧焊”法，这时由于电弧长度短（电弧电压低），在电弧力的作用下熔池出现凹坑，电弧潜入熔池，使熔池的凹坑有截获金属飞溅物的作用。

4 熔滴过渡 焊接时，在电弧热的作用下，焊丝不断地被熔化，使液体金属离开焊丝末端而进入熔池，这个过程称为熔滴过渡。它对焊接过程的稳定性、焊缝成形、飞溅程度以及焊接接头的质量有很大的影响。

CO_2 气体保护焊有两种熔滴过渡，即两种电弧形式。一种是短路过渡的短弧焊；另一种是非轴向颗粒状过渡的长弧焊。

CO_2 气体保护焊短路过渡的短弧焊，其特点是采用小电流、低电压（电弧长度短）、熔滴细小而过渡频率高（一般在 250~300 次/秒）。常用的焊丝直径为 0.6~1.6 毫米，焊接电流在 50~250 安；电弧电压 15~25 伏，短路过渡过程如图 2 所示，其电流、电压波形如图 3 所示。

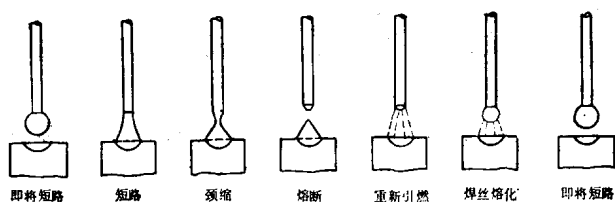


图 2 短路过渡过程示意

短路过渡时，焊丝端部的熔化金属在还未形成较大的熔滴时，就与熔池相接触而短路，在熔滴的重力和表面张力的作用下，形成焊丝与熔池间的液体金属过桥，使电弧随即熄灭，而短路电流瞬时增加（图 3 中 1~2 段），这时由于电磁收缩力急剧增大，这个力猛烈压缩金属过桥，形成颈缩，液体金属在颈缩处被拉断，

从而使熔滴迅速过渡到熔池中去，在此瞬间电压迅速恢复（图3中2~3段），电弧重新引燃，电源空载电压降至电弧电压（图3中3~4段）。这种熔滴通过短路而过渡到熔池中去的方式，称为**短路过渡**（或浸入式过渡）。

在短路过渡过程中，焊接电流与电弧电压值都不是很稳定的，而是作周期性的脉动变化。从图3中可以看出，每一周期（ T ）内有短路（ t_2 ）

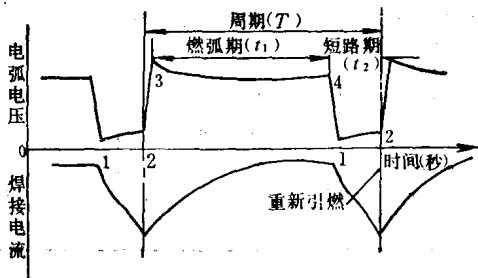


图3 在一个短路周期内电弧电压与焊接电流变化波形

和电弧燃烧（ t_1 ）两个阶段。短路过渡的优越性是能在小功率电弧下（小电流、低电压），实现金属过渡和保持稳定的焊接过程。

短路过渡电弧的加热特点是：在电弧燃烧期间，一部分电弧热用于加热焊丝，形成熔滴，而大部分电弧热用来加热焊件，使其形成熔池。在短路期间，焊机供给的电能量转变为电阻热，大部分用于加热焊丝伸出长度部分和短路桥的液体金属，而焊件上受热不多。又因焊件的体积大，散热作用强，因此在短路期间焊件和熔池得到一定的冷却，即焊件处于加热——冷却——加热的变化状态下。这种加热状态，减少了焊件上的热量输入，使熔池容易控制，液体金属不易往下淌，焊件也不易烧穿，这就是 CO_2 气体保护焊短路过渡的焊法，可适用于薄板及全位置的焊接。

CO_2 气体保护焊焊接的短路过渡过程，可用十线示波器（拍摄其焊接电流、电压波形）或高速摄影机（拍摄频率为 3000 幅/秒以上）拍摄下来，也可用短路频率计测定其短路频率值，便于

现场使用。

表 2 列出了各种焊丝直径所适用的最佳短路频率范围。

表 2 各种焊丝直径适用的最佳短路频率范围

焊丝直径(毫米)	最佳短路频率(次/秒)	备 注
0.6	160~250	—
0.8	140~180	—
1.0	100~150	—
1.2	80~100	—
1.6	50~70	小规范: 电弧电压22.5伏, 电流200安
1.6	~30	中规范: 电弧电压27.5~30伏, 电流300安

CO₂ 长弧焊时有两种过渡形式: 一种是滴状过渡; 另一种是颗粒状过渡。长弧焊时, 熔滴不是沿着轴向过渡(图 4)的, 当熔滴从焊丝顶端脱落时, 由于受到从负极端发出的冲力的作用,

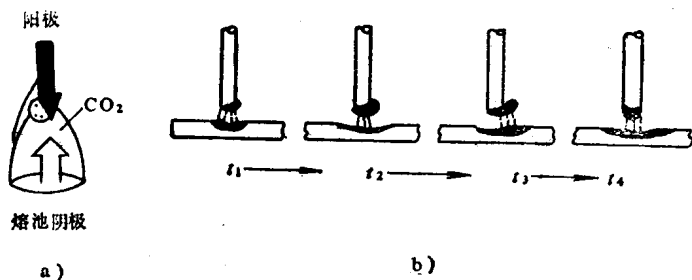


图 4 熔滴过渡示意

a) CO₂ 保护焊的熔滴过渡 b) CO₂ 保护焊的过渡过程

使尚未脱落的熔滴飘移不定, 焊丝顶端的熔滴尺寸以及脱离的时间间隔在一定范围内变化, 这就可能产生不同程度的短路。随着焊接电流的增加, 熔滴尺寸变小, 短路次数相应减少。当熔滴直径等于 2~3 倍的焊丝直径时, 就称它为“滴状过渡”。滴状过渡常伴有短路发生, 飞溅多, 成形差, 因此很少应用。生产上常用的

是熔滴呈“颗粒状过渡”的长弧焊，其熔滴直径小于焊丝直径（约小2~3倍），在过渡过程中就很少有短路发生。这种“颗粒状过渡”形式与一般氩弧焊或混合气体保护焊时所采用的喷射过渡（或射流过渡）相比，有根本的区别。喷射过渡的熔滴呈细颗粒状，熔滴是沿着电弧轴线方向过渡，无短路发生，飞溅极小。而颗粒状过渡的熔滴为粗颗粒，过渡过程中，熔滴偏离电弧轴线方向下落（称非轴向过渡），飞溅较喷射过渡时大。

在进行粗丝 CO_2 气体保护焊时，大多采用颗粒状过渡形式。电弧燃烧稳定，焊接规范的波动较小，焊接电流与电弧电压的波形几乎是两条平行线，飞溅小，成形好，适用于中厚板的水平位置焊接。而获得这种过渡形式的必要条件，是必须有足够高的电弧电压。当电弧电压足够高时，而焊接电流增大到一定数值后，焊丝熔化金属就以较细的颗粒（一般熔滴直径比焊丝直径小2~3倍）和很高的速度非轴向地射入熔池。这时不必考虑焊接电流的增长速度，在焊接回路内可串入较小电抗器，同样也能保证电弧稳定地燃烧和获得良好的焊缝成形。

5 CO_2 气体保护焊电弧对焊接电源外特性的要求 CO_2 气体保护焊焊接电弧的静特性曲线是上升的，但由于选用的焊丝直径不同，其电弧的静特性斜率也有所区别（图5），随着焊丝直径的增大， CO_2 气体保护焊电弧的静特性曲线斜率显著下降。

熔滴以短路形式过渡时，要求焊接电源具有平硬的外特性，其下降斜率不应大于0.05伏/安。这样，可以保证电弧具有足

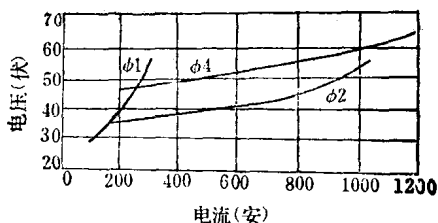


图5 不同焊丝直径的电弧静特性曲线

够大的自身调节作用 (图 6)。从图 6 可知,当弧长从 l_1 减小到 l_2 时,与三种外特性曲线相交于 a 、 b 、 c 三点。这时三种不同外特性的电源,所引起的焊接电流变化分别为 ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c 。其中平硬外特性的电源引起的焊接电流变化 (ΔI_c) 最大,电弧自动调节作用最强。为此目前的 CO_2 焊机其外特性都是平硬的。从送丝系统的机械惯性上分析,由于细丝 CO_2 气体保护焊焊接时,送丝速度甚快,因此它不可能靠改变送丝速度来调节电弧长度,以达到焊接过程的稳定性,而只能靠电弧自身调节作用来完成,平硬外特性的电源正好满足了这一要求。其次,用平硬外特性电源进行细丝短路过渡焊接时,弧长变化所引起的电弧电压变化为最小,并且可以使因焊丝伸出长度的变化而引起的静态电弧电压变化量减至最小。此外,尽管焊接电流有所变化,但电弧电压基本上保持不变,这样在调节规范时,可以对电流和电压分别进行调节。

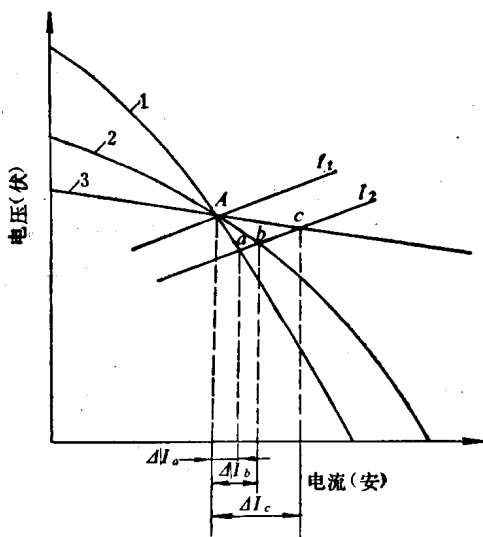


图 6 电源外特性形状对电弧自身调节作用的影响

1—陡降外特性 2—缓降外特性 3—平硬外特性

对于颗粒状过渡的粗丝 CO_2 气体保护焊,可采用下降外特性

的焊接电源。这是因为粗丝 CO_2 气体保护焊时，送丝速度低，有可能靠改变送丝速度来调节电弧长度。应该说明，细丝 CO_2 气体保护焊接时，采用平特性电源的主要目的，是为了保证当弧长发生变化时，有足够的焊接电流增量，以维持弧长的恒定。而粗丝 CO_2 时电弧的静特性斜率小，如配以下降外特性的电源，则与平特性电源的细丝 CO_2 焊相比，当它们的弧长发生同样的变化时，二者引起的焊接电流增量接近相等，甚至下降外特性电源的电流增量更大些(图 7)。从这个观点出发，粗丝 CO_2 气体保护焊时，可以采用下降外特性的电源，并配以均匀式调节的送丝系统。

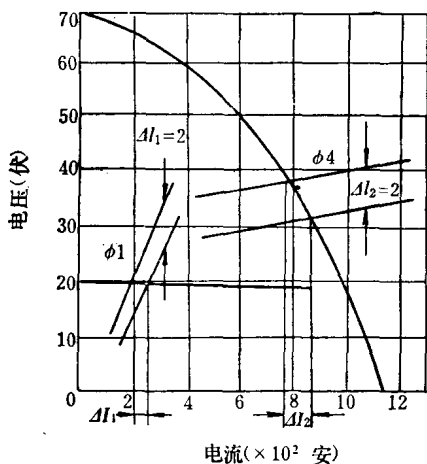


图 7 弧长变化相同时，电流增量的比较

6 CO_2 气体保护焊的

焊接工艺对电源动特性的

要求 CO_2 气体保护焊的

焊接电弧是个动负载。采用短路过渡时，电弧由燃弧到短路，以及由短路到燃弧，是从一个稳态过渡到另一个稳态，中间有一个演变过程。 CO_2 气体保护焊焊接电源的动特性，即指在这个演变过程中电源的变化特性。

CO_2 气体保护焊焊接电源的动特性，可由以下三个参数表示：

CO_2 气体保护焊焊接电源的动特性，可由以下三个参数表示：

$\frac{di}{dt}$ —— 短路电流增长速度；

I_{*} —— 短路电流峰值；

$\frac{du_0}{dt}$ ——空载电压恢复速度。

动特性良好的 CO_2 气体保护焊焊接电源，对上述三个参数都有一定要求。目前采用的硅整流式 CO_2 气体保护焊焊接电源，从短路到燃弧的引燃时间可以快达 1 毫秒，它能保证有足够高的空载电压恢复速度；在短弧焊时，若选用平特性或微降（0.03~0.05 伏/安）外特性的电源，也能保证有足够大的短路峰值电流。所以对电源动特性的要求，主要是指有合适的短路电流增长速度。

CO_2 气体保护焊电源动特性的主要参数 $\frac{di}{dt}$ ，对电源的引弧性能、焊接过程的稳定性、熔滴过渡特征、熔滴过渡频率、熔滴过渡的均匀性、飞溅大小以及焊缝成形等都有很大影响。

影响 $\frac{di}{dt}$ 的主要因素是电源直流回路中的电感。试验研究表明： CO_2 气体保护焊时所需要的电感量有一个相当大的范围。并且随着焊丝直径的不同，所需的电感量也就不同，但彼此有相当大的重叠。电感除了应满足电感量的要求外，还必须满足电感性质的要求，即只有当电感量合适，而且在工作电流范围内电抗器不易饱和的条件下，才能得到满意的结果。

目前，大多数 CO_2 气体保护焊焊机的焊接回路中均串入了电抗器，通过电抗器的电感来调节动特性。一般串入的是封闭铁芯式电抗器。这种电抗器随着焊接电流的增大，极易被短路电流所饱和而失去了有效地调节 $\frac{di}{dt}$ 的作用。为此，推荐采用条形电抗器。这种电抗器相当于一个直筒螺旋线圈，线圈内设置有铁芯。由于该电抗器的磁路长，所以不易饱和，而且重量较轻。

由于 CO_2 气体保护焊焊接电源的结构形式不同，所以焊接时，所选用的规范参数以及测量电感的方法也就不同，以致国内外各种资料提供的回路最佳电感值也有较大的差别。表 3 是用不同直径焊丝进行短路过渡焊接时，推荐的回路电感值和相应的短路电