

# 焊接方法及设备

(三)

(熔化极气体保护焊工艺专集之一)

郑州机械科学研究所

# 目 录

1. 熔化极气体保护焊焊接工艺概要	1
2. 熔化极气体保护焊气体成分的选择	27
3. 结构钢熔化极Ar + CO <sub>2</sub> 混合气体保护焊增大CO <sub>2</sub> 含量的作用	33
4. 短路过渡、喷射过渡和脉冲电弧MIG/MAG焊接法的特征及应用	41
5. CO <sub>2</sub> 气体保护电弧焊的几个物理和冶金问题——优点及应用限度	53
6. 短路过渡CO <sub>2</sub> 焊接法的工艺特征、优点及应用	68
7. 机械化精密短弧CO <sub>2</sub> 焊接的工艺措施	75
8. 粗丝(Φ1.6~4.0毫米) CO <sub>2</sub> 焊接工艺特征	86
9. 药芯焊丝CO <sub>2</sub> 焊接工艺特征及应用	92
10. 高速CO <sub>2</sub> 焊接法	100
11. 具有集成电路运算放大器的CO <sub>2</sub> 自动焊接机	105
12. 焊接技术电工基础: 气体保护焊电工基础(一)	121
13. 焊接技术参考数据及图表: (A) MIG/MAG焊保护气体选择参考表	146
(B) 每焊1公斤焊缝金属所需保护气体消耗量及焊丝熔化率核算图	147
(C) 各种保护气体的“压力-温度关系曲线”	148
(D) 碳钢、铬镍钢、铝、铜焊丝每米(公尺)长度的重量	149
(E) 各种直径的焊丝电负荷能力	149
(F) 碳钢角焊缝每米(公尺)长度的重量	150
(G) 碳钢I形坡口对接焊缝每米长度的重量	151
(H) 碳钢X形坡口对接焊缝每米长度的重量	152
(I) 碳钢V形坡口对接焊缝每米长度的重量	153
(J) 活性气体保护焊(MAG)选择焊接规范参考数据	154
(K) 活性保护气体种类及焊炬操作对熔深及焊缝成形的影响	165
(L) 活性气体保护焊常见的缺陷——成因及其消除措施	165
(M) 气体混合器结构原理图	168



# 熔化极气体保护焊焊接工艺概要

## 发展简史

1809年英国物理学家戴维 (Davy) 发明炭极电弧。到1885年才为贝拉杜斯 (Benardos) 利用于焊接目的, 称为贝拉杜斯焊接法, 它的原理示于图1。为了避免炭极向熔池渗碳, 把炭棒接于负极, 工件接于正极。在这个原始方法中电弧燃烧很不稳定, 而且产生许多冶金缺陷, 因而未能得到普遍应用。1888年策尔勒 (Zerener) 在双炭极之间加置一个通电的吹弧电磁线圈, 用来稳定电弧, 并把它吹向工件, 原理示于图2。这个方法的缺点在于焊炬非常笨重, 操作不便, 电弧能量分散, 利用率不高, 熔池和热影响区宽大, 使焊接接头质量低劣。除了实验室偶然使用外, 策尔勒方法现今已不再使用。

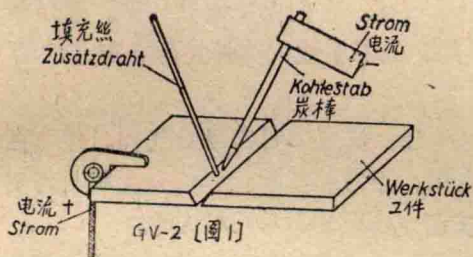


图1.贝拉杜斯炭弧焊接法

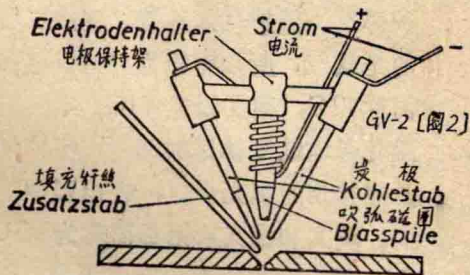


图2.策尔勒炭弧焊接法

1890年俄人尼古拉·加立诺维奇·斯拉涅诺夫 (Nikolai Gawrilowisch Slawjanow) 发明了金属极电弧焊接法, 图3。金属电极同时还起着填充焊缝材料的作用。到1914年这个方法就获得了广泛的使用, 成为各种现代化焊接方法的前身, 它的原理仍然保留在现代化电弧焊接方法之中, 包括熔化极气体保护焊接法。

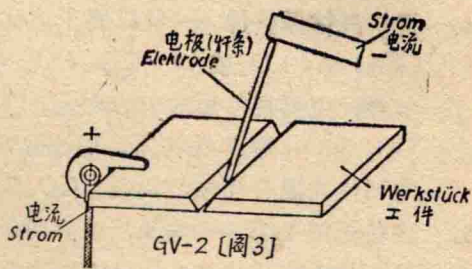


图3.斯拉涅诺夫金属极电弧焊接法

## 电弧特性

电弧又称电弧放电, 属于独立放电形式, 在这种放电形式中, 离子的空间电荷决定电场的结构。电弧与辉光放电 (Glimmentladung) 的区别在于电弧具有比较小的阴极电压降, 约在10伏的数量级上, 而一般的辉光放电的正常阴极电压降达到100~300伏之间, 视气体和电极的材料而定。由于电弧具有很低的阴极电压降, 所以人们可以用相当低的电压从电弧中通过很强大的电流。这就非常适合于焊接的要求, 例如最高只使



用 100 伏的电压，电弧就能传导好几百安培的焊接电流。具有这样大功率的电弧产生的温度高达好几千度，几乎能熔化任何金属。电弧焊接法就是利用电弧的高温熔化作用把待焊金属熔化接合的方法，所以又称电弧熔化焊。

## 气体保护焊的种类

金属的电弧熔化焊不但需要利用电弧作热源产生局部熔化焊合的作用，而且还需要一种保护介质来保护熔化的金属不受空气中的氧和氮的侵袭。氧和氮一旦侵入熔化金属，就会产生许多的冶金问题，例如使合金元素烧损、产生脆性的各种氧化物和氮化物、形成气孔夹杂、降低焊接接头强度和塑性。使用气体保护的电弧焊接法称为“气体保护电弧焊”（或简称气体保护焊）。

按照使用的保护气体的种类，气体保护焊又可分为下列几种：

1. **钨极惰性气体保护焊**——电极是钨制的，由于钨具有很高的熔点，加上充分的冷却和气体保护，钨极在电弧中基本上不产生熔化，所以又称“非熔化极气体保护焊”。保护气体是氩、氦或二者的混合气体，它们都是惰性气体。通常使用的是氩气，所以有称为“钨极氩弧焊”的。钨极惰性气体保护焊在英文术语中简称TIG，德文简称WIG。
2. **熔化极惰性气体保护焊**——保护气体也是氩、氦或二者的混合气体。但电极就是焊接用的填充焊丝，在电弧中受到熔化。通常焊丝的化学成分大致与母材相同。英文和德文术语都简称为MIG。美语也有称S·I·G·M·A的。
3. **CO<sub>2</sub>焊**——也是熔化极电弧焊，但使用CO<sub>2</sub>作为保护气体。英、德文术语均简称MAG焊，是金属极（即熔化极）活性气体（Metal-Active-Gas）的缩写，因为CO<sub>2</sub>是一种活性气体，更确切地说是一种氧化性气体。西德标准还规定称CO<sub>2</sub>焊为MAGC，其中的C代表CO<sub>2</sub>。
4. **混合气体保护焊**——同样属于熔化极电弧焊一类，但使用的保护气体是Ar + CO<sub>2</sub>，Ar + O<sub>2</sub>或Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>等混合气体，这些混合气体成分的比例有许多种，主要视待焊的材料而定。英、德文术语也有称MAG焊的，因为它掺有CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>等活性气体。西德标准还规定称混合气体保护焊为MAGM，其中的M代表混合气体，以便与CO<sub>2</sub>焊的简称MAGC相区别。
5. **钨极氢原子焊**——电弧产生在两条钨极之间，电弧气氛为氢气。西德标准DIN 1910·Blatt 4规定称此种焊接法为WHG。

## 熔化极气体保护焊

非熔化极气体保护焊（包括WIG和WHG）早在30多年前就为人们所应用，但现在只有在少数场合中应用还具有一定优点，而且它们的许多应用领域已逐渐由MIG焊或MAG焊所占据。这是因为MIG或MAG焊不但效率较高，而且容易操作和掌握。即使是那些一向被人们认为只有用WIG才能焊接的金属，例如钛、锆及其合金等，现在也可以用MIG焊来焊接，所以现代化的核能装置的制造工业中，MIG焊与WIG焊至少是并驾齐驱的。在一般工业中MAG焊的应用更是与日俱增。



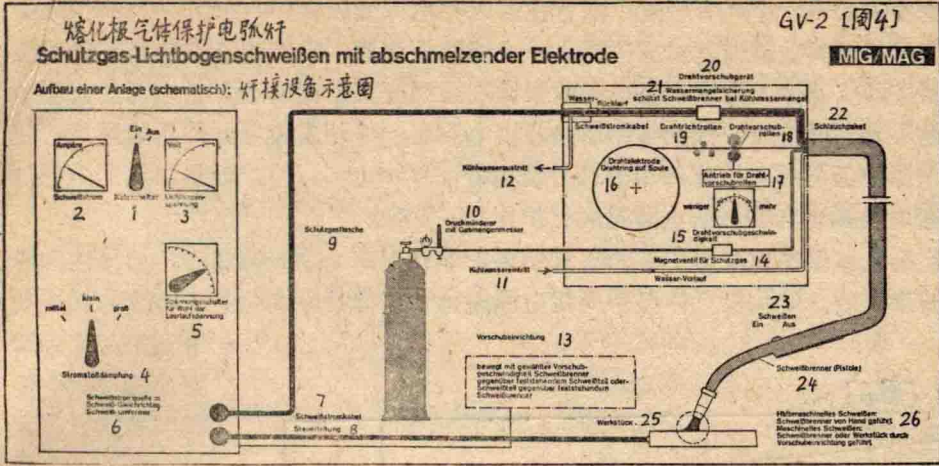


图4. 熔化极气体保护焊接设备示意图

MIG焊适用于高合金钢和有色金属及活泼金属的焊接。MAG焊适合于普通结构钢（碳钢、低合金钢）及某些高合金钢的焊接。本文将介绍它们的基本原理、特征和使用经济性。

MIG和MAG焊的工作原理和设备基本上相同，都有半自动和全自动之分。在半自动焊中焊炬是用手工操作施焊的，全自动焊则由机械操作，除焊炬结构各有不同外，半自动与全自动焊的其它设备也基本相同，甚至可以两用。图4示出MIG/MAG焊接设备的各项主要部件。该图的左方为焊接电源，1代表网路电源的开关，2为焊接电流指示表，3为电弧电压指示表，4为焊接电流调节开关，5为空载电压选择开关。数字6指示的外文字说明“焊接电源由焊接变压器和整流器组成”。7为焊接电缆，8为控制电线，9为保护气体气瓶，10为气体减压器和流量计，11为冷却水进水管，12为出水管，14为保护气体电磁阀门，15为送丝速度调节器，16为焊丝盘，17和18为送丝辊轮，19为焊丝调直辊轮，21为冷却水安全装置（保证有足够的冷却水流入焊炬），20所示的整个方框为送丝机构，22为套管，焊接电缆、焊丝、气管、水管都包括在这条套管内，23为装在焊炬24上的开关，25为工件。13所示的方框内外文字说明“当工件固定不动时，焊接速度由焊炬的运行机构控制，当焊炬固定不动时，焊接速度由工件的运行机构控制”。

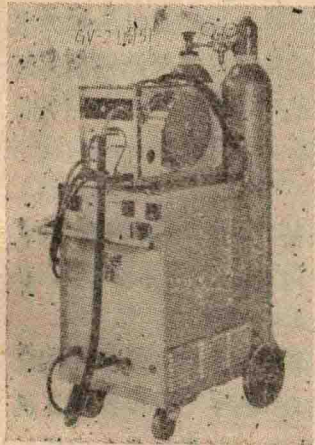


图5. 一台MIG/MAG焊机的外观。

图5示出一台MIG/MAG焊机的外观。这台焊机既可进行短路过渡焊接，也可进行喷射过渡焊接。

## 电 源

适合于气体保护焊的电源通常有四种形式：直流旋转发电机，焊接整流器，焊接变压器和变频焊接电源(Frequenz-schweissumformer)。下面将主要介绍焊接整流器。



焊接整流器主要由一个具有轻度下降特性的三相电源变压器(可接于220/380伏50赫网路)和一个三相桥式硅整流器组成,还有一个滤波扼流圈,带有中心抽头及对称结构的磁回路控制或调节部件,构成电弧电压的粗调和微调开关。附属于焊接电源的仪表和部件还有:电压表、电流表,保护气体预热器接电插座,冷却整流器元件用的风扇,在新式的焊接电源中还装有监视冷却用的风力继电器(Windrelais),如果整流器元件过热时,这个继电器就会自动切断电源起到保护作用。

要使熔化极气体保护焊取得优良的焊接结果,焊接电源必须具有良好的动特性和静特性。研究结果表明,熔化极气体保护焊接电源的伏—安静特性曲线具有轻度的斜率是

有利的。此外重要的是静特性调节的挡级要微细,尤其是在低压部分(通常用于短弧焊接)更应这样,图6所示的是一台焊接效果非常优良的气体保护焊接电源的伏—安静特性曲线图。使用这种电压档级调节可以进行任何形

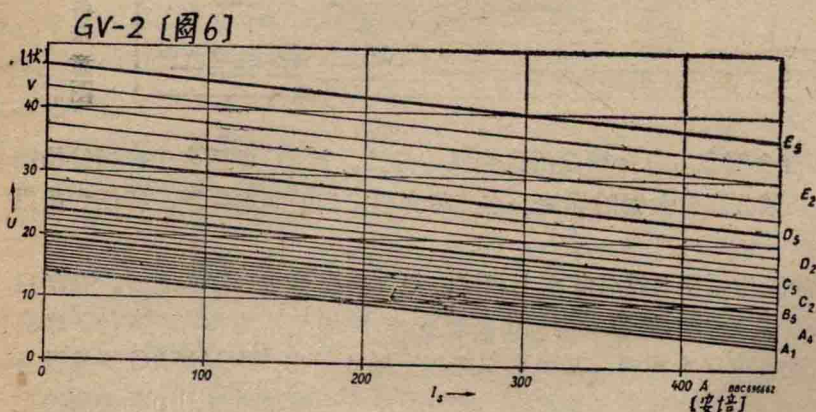


图6.一台气体保护焊接电源的伏—安静特性

式的焊接工作。

下面首先解释两个技术名词:

### 静特性曲线

“电弧静特性曲线”(LichtbogenKennlinie)是在电弧长度保持一定的条件下测得的工作电压和工作电流(U—I)曲线。它是由电流及其对应电压的许多个测量点连接起来的。

“电源静特性曲线”(Statische Kennlinie der Stromquelle)\*①是在静止状态下(即无电弧燃着的状态)测得的U—I曲线图。它是在把电源调到一定的空载电压后,逐渐改变欧姆电阻负载而测量各种电阻负载下的电流、电压值,作出许多个这样的测量点,并把它们连接成线。这一测量线遵从欧姆定律,所以通常是直线的。图6就是一台电源的静特性图。由于各种电源有不同的结构,它们的静特性曲线有下降特性、平特性和上升特性的区别。

### 短弧焊接的特征

短弧焊接(Kurzlichtbogenschweissen)又称“规律性短路过渡电弧焊”。它的

\*① 我国术语称“电源外特性”——译注

特征表现在电弧的电流和电压值不断地产生有规律的改变，所以电弧过程只是动态的。

也就是说，它的“动态工作点”是不静止的，没有任何时刻能按静特性曲线而运动，在焊丝插入熔池期间(短路时间)内，工作点就离开原来的电弧静特性曲线(电弧熄灭)，使能重新起弧。在短弧焊接中，

“静态工作点”主要作为调节值的参考，如图7所示，

短弧焊静

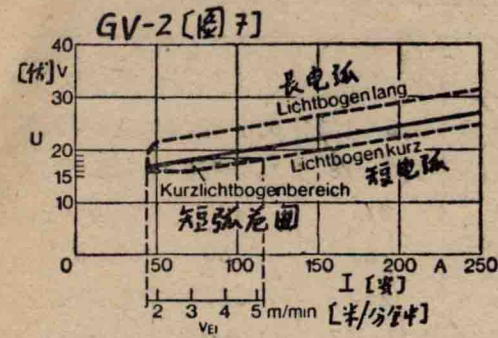


图7.  $\phi 0.8$ 毫米焊丝 $\text{CO}_2$ 短弧焊接规范范围

态工作点位于电弧静特性线组的低电压小电流的范围区内，而且接近于最短电弧长度的界限线。这一最短电弧不能保持恒定的弧长，完全不能稳定。

对于熔熔化极气体保护焊，电源的动特性具有决定性的意义。所谓“动特性”是指电源对电弧电阻值(即电弧长度)产生短暂时间变化的适应性能，这种变化是因为焊丝与母材短路，特别是因为熔滴短接而造成的。图8给予我们判别电源动特性是否优良的一个示范性实例。这一图例也清楚表明，熔化极气体保护焊对电源的动特性要求甚高的这一事实。电源对于电弧中发生的这种极为迅速的物理改变要能尽快的适应，而没有惯性。这对短弧焊接规范范围尤其具有决定性的意义。使用的保护气体种类不同，对电源动特性的要求也有所不同，这将在下文中再详细说明。

表1列举几台性能良好的适合于短弧和喷射过渡气体保护焊机的典型技术数据。

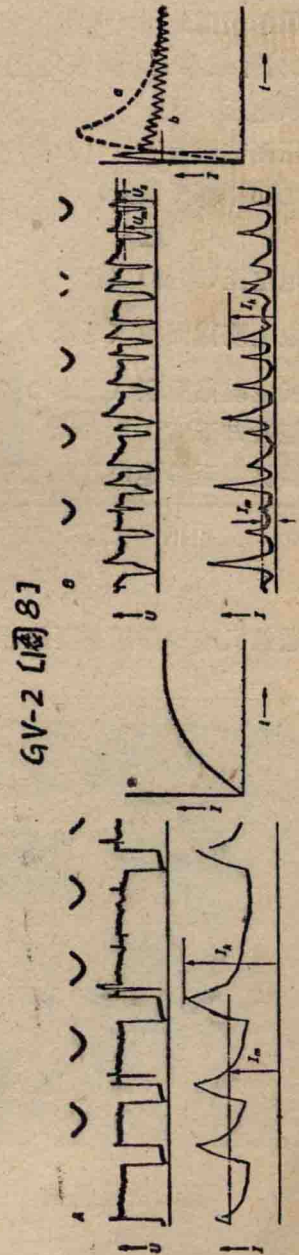


图8. 电源的动特性



表1. 气体保护焊机的典型技术数据

技术数据项目	焊机 1	焊机 2	焊机 3	焊机 4
焊丝直径 (毫米)	0.6~1.0	0.8~1.2	0.8~1.6	1.0~2.0
送丝速度 (米/分钟)	1.6~18	1.6~18	1.6~18	1.6~18
标称电流 (安培)	200	315	400	500
暂载率 (%)	60	60	80	60
100%暂载率允许焊接电流 (安培)	155	250	360	400
空载电压 (伏)	14~31	14~37	14~46	14~46
电压调节级数	16	20	25	25
接电功率 (千伏安)	7.7	14	25	29
(瓩)	7.0	13	23	26
接电电压(50赫) (伏)	220/380	220/380	220/380	220/380
接电电缆截面积 (毫米 <sup>2</sup> )	220伏 380伏	2.5 6	10 6	16 10
焊接电缆截面积 (毫米 <sup>2</sup> )		25 50	70 95	
焊炬冷却形式	空气	空气	水冷	水冷
送丝机构至焊炬电缆长度 (米)	3	3	3	3

## 送 丝 机 构

送丝机构的作用主要是容纳焊丝盘,并把焊丝自动地向焊炬送给。它的主要结构部件

是一个送丝马达,送丝辊轮和焊丝调直辊轮。图9示一现代化送丝机构的外观。为了使送丝速度可以作无级调节,送丝马达选用直流马达,目前有许多送丝机构采用可控硅控制元件来调节送丝马达的转速,并使之保持恒定。它的优点是通过可控硅触发脉冲的调节而改变直流马达电枢电压来达到转速的无级微调。因为控制电压很低,就更提高了电的安全性。图10示出两种一般的送丝机构控制电路原理图。在图10上方电路中A—B为一并激直流马达的电枢。J—k为并激场绕组,R为电压分配电路中的可调电阻器,G1为桥式整流器,Tr为电源变压器,在图10下方的电路中G1<sub>1</sub>为电枢桥式整流器,G1<sub>2</sub>为并激场绕组J—k的桥式整流器,Tr<sub>1</sub>为电源变压器,Tr<sub>2</sub>为可调变压器。改用可控硅调速送

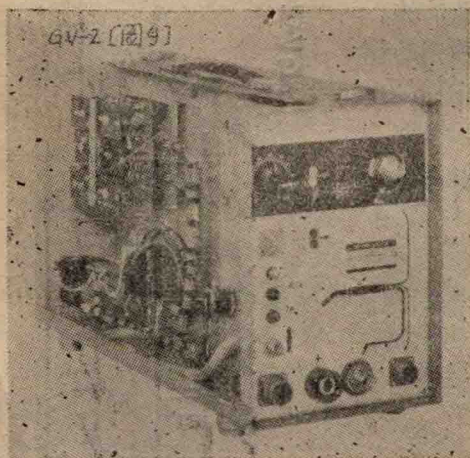


图9.送丝机构

丝机构,改用可控硅调速送



丝机构除了前面所述的优点外，还可以把送丝机构的控制器做成轻巧的遥控器，特别适合于某些施焊困难的场合。这种电子结构单元做成插换式更便于维修更新，遇到故障时可以大大缩短修闲时间。

在送丝机构上往往还装有保护气体开关用的电磁阀。现代化设备中还附带在焊炬手柄上装有控制保护气体延后关闭的电子控制开关和焊接电流、送丝的控制开关。它们的结构形式多种多样，人们采用了传感器、可控硅、晶体管和规定值和实际值的比较调节

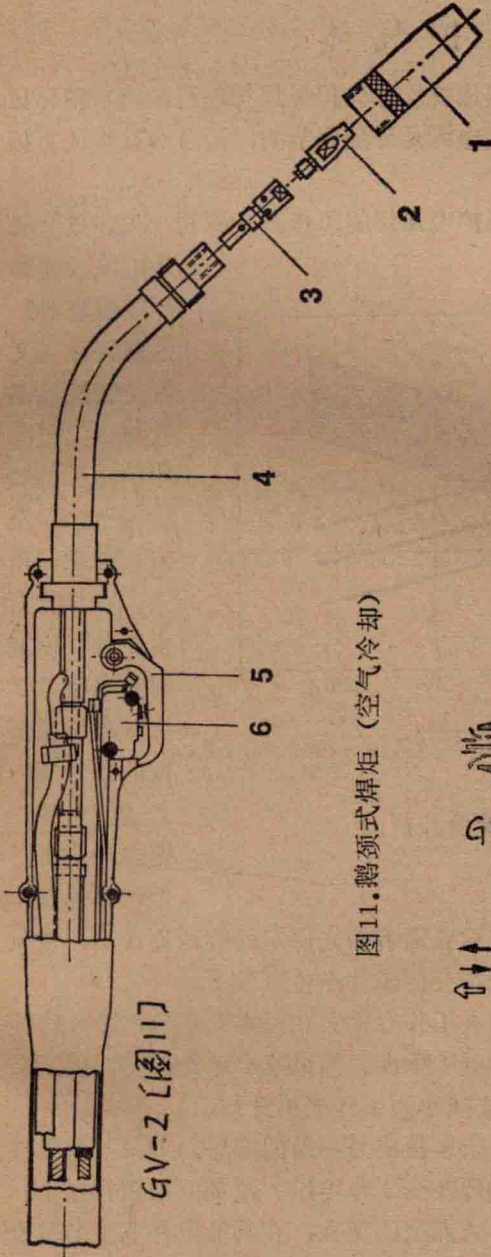


图11. 鹅颈式焊炬 (空气冷却)

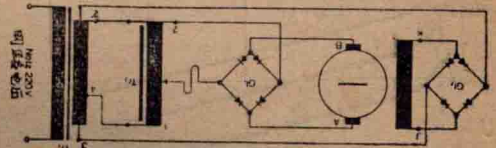
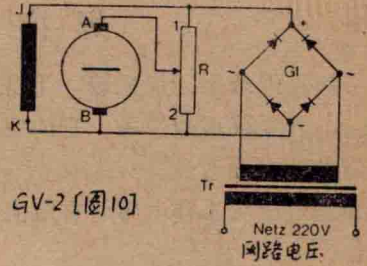


图10送丝机构控制电路

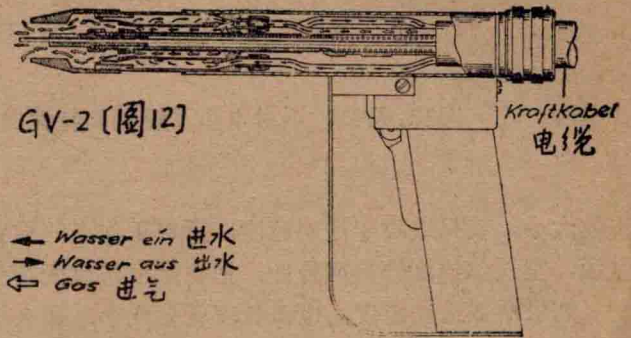


图12. 手枪式焊炬 (水冷)

电路。它们具有同一的目的就是对马达的转速进行无级调节，而且这种调节可以根据负

荷的变化自动进行，使能保持恒定的焊接规范和质量。

半自动熔化极气体保护焊另一个关键部件是它的焊炬。焊炬的任务是：把焊接电流导入焊丝，把保护气体气流集中形成层流；它的结构形式要便于焊工施焊操作。常用的焊炬形式有图11所示的鹅颈式焊炬和图12所示的手枪式焊炬。鹅颈式焊炬通常为空气冷却结构。手枪式焊炬则有气冷和水冷两种：气冷焊炬适用于 270 安培以下的电流负荷；大于 270 安培的电流负荷则要求采用水冷焊炬。

## 焊接规范，保护气体

与涂料焊条手工焊比较，半自动或全自动熔化极气体保护焊焊接规范的调节稍稍比较复杂，需要较多的思考。它的空载电压和焊接电流是分别调节的，而且焊接电流直接随着送丝速度而改变。

焊接电流与工作电压的有效值决定着气体保护电弧焊的工作点。所谓“工作点”就是

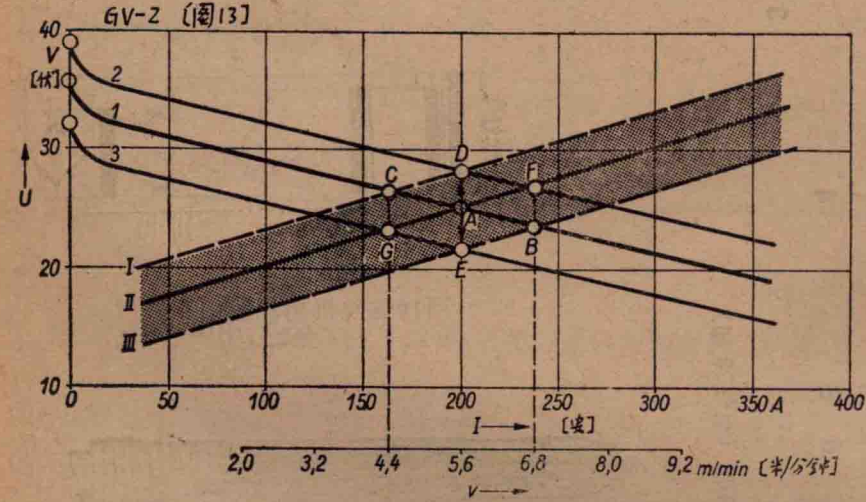


图13.长弧、正常电弧及短弧的特性曲线范围

是电源（例如焊接整流器）的静特性（又称外特性）曲线与调定范围内的电弧静特性曲线的交点，如图13所示。在焊丝自由干伸长度或焊炬喷嘴至工件距离保持恒定的条件下，上述两条特性曲线的交点，也就是焊接电

流的大小，就只取决于送丝速度。所以工作点的位置随着预先调定的规范而改变，也就是说，把送丝速度升高或降低，把空载电压改变都会使工作点位置改变。

如果增加送丝速度，电弧长度就会变小，那么工作点就会在原来调定的电源静特性曲线 1 上从 A 移到 B，这意味着电流增大而工作电压降低。如果减小送丝速度，则结果相反，电弧将变长，工作点则从 A 移到 C，即电流减小而工作电压升高。

改变空载电压就是把电源静特性曲线从这一条转换成另一条的意思。如果其他条件保持不变，改变空载电压也会改变电弧长度，亦即改变工作电压。例如，如图13所示，如果第 1 次的工作点是在电源静特性曲线 1 上的 A 点上。现在，在其他条件不变的情况下，我们调整电源的空载电压，也就是把电源静特性曲线从 1 变换成 2 或 3 时，那么电弧工作点也会从 A 点分别移到 D 点或 E 点。总之，不论变换那一个调节值（空载电压、



送丝速度)都会导致电弧长度的改变。在焊接设备中,我们还要把静特性曲线与动特性曲线加以区别,这两种特性曲线都是用来表明电流与电压从属变化关系的,和用来判别焊接电源性能的。焊接电源对于焊接过程中产生的各种快速变化要能快速适应而不产生惯性和故障。静特性曲线和动特性曲线的形式对于这个要求都具有重要的意义。这两种特性曲线的主要区别在于:静特性曲线标志着电流和电压的相当缓慢的变化关系,而动特性曲线则标志着快速状态的变化。从静特性曲线的形式我们可以判断电源是否能够在状态改变时消除电流峰值和电压冲击,从动特性曲线的形式则可判断电源在负载发生突变时(例如引弧和熔滴短路)是否能及时适应。

由上所述还可以看出,要使最佳焊接规范能适应于各种不同的焊接条件(例如施焊位置不同),把电弧长度保持恒定就具有重大的实际意义。例如进行像管子环缝这样的全位置焊接时,就务必要把电弧长度保持一定。在图13中I、II、III三条曲线是三种不同电弧长度的电弧静特性曲线。如果要把工作点从A移到F(电弧长度不变),则需把电源静特性曲线从1转换为2,同时还需提高送丝速度。如果要把工作点移至G点,则把电源静特性曲线转换为3,并降低送丝速度以维持电弧长度的恒定。

GV-2 [图14]

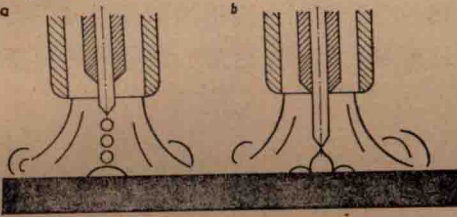
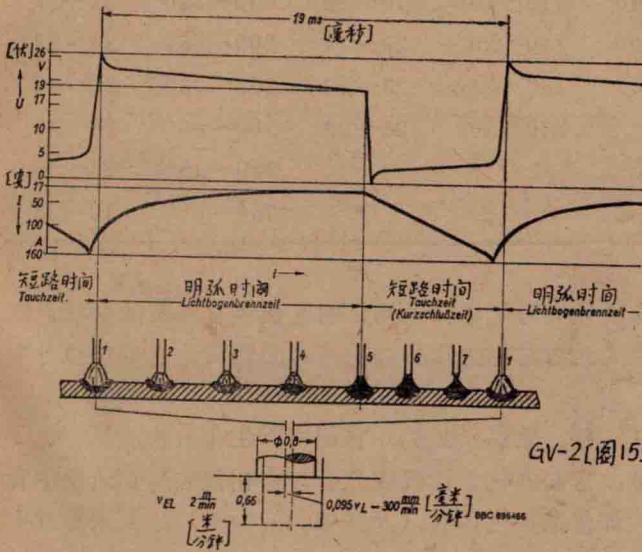


图14. CO<sub>2</sub>焊接电弧形式示意图。左:较高工作电压下产生喷射式过渡;右:在较低工作电压下产生短路过渡。

在涂料焊条手工焊的情况下,电源只有一个参数——即焊接电流——需要调节,而在熔化极气体保护焊的情况下,电源至少需设两个调节机构:一是电压调节(变换电源静特性曲线),另一是送丝速度的调节。在焊丝直径不变的情况下,焊接电流的大小几乎与送丝速度成正比比例而变化。在焊接施工中,电弧的工作点需要经常改变,在正常电弧长度的施焊中,工作点的变换范围约在B~C点上。在正常电弧长度情况下,由于熔滴短路时间长短不一,往往产生不规则的动态变化。变换工作点的次数和大小在不同电弧形式(喷射过渡电弧、短路过渡电弧)下极不一致,使用的保护气体种类对它也有



GV-2 [图15]

图15. 短路过渡焊接过程

一定的影响。此外，电弧形式还影响着熔滴过渡。

在喷射过渡电弧形式下，熔滴过渡是喷射式的，颗粒比较细小，如图14左图所示。在这里几乎不产生短路。产生喷射式电弧的条件需要有一个较大的焊接电流值，它至少超过焊丝电流负荷值的 2/3。喷射式电弧可获得很高的熔化效率，具有甚大的经济意义。在短电弧（短路过渡）形式下，熔滴过渡颗粒粗大（图14右），并造成断续的短路。图15示意着短弧焊接过程中熔滴过渡的情况及其相应的电流电压的动态变化。在优良的短路过渡焊接过程中，每次的明弧时间约为13微秒，短路时间约为6微秒。短路过渡焊接适合于薄板及对接焊缝的打底焊道的焊接。由于它热量集中，也适合于全位置的焊接（例如管子的环缝焊接）。短路过渡焊还具有填充较大装配间隙搭桥性优良的特点，但它的熔化效率较低。

表2列出MAG焊各种焊丝直径合适的焊接电流及焊接电压的规范范围。分为短路过渡、中间过渡及喷射过渡三种。中间过渡的规范是指介于短路过渡与喷射过渡之间的焊接形式。焊接实践及从熔化极气体保护焊中积累的经验表明，真正的短路过渡焊接形式是很少使用的，而大多数采用的是上述的中间过渡焊接形式，这是一种经济的焊接形式，特别适合于薄板焊接。

表 2. MAG焊各种焊丝直径的焊接电流电压范围

焊 丝 直 径 (毫米)	短 路 过 渡		中 间 过 渡		喷 射 过 渡	
	(安)	(伏)	(安)	(伏)	(安)	(伏)
0.6	40~75	14~16	75~100	16~20	—	—
0.8	70~110	16~18	100~150	18~22	150~200	22~26
0.9	80~120	17~19	110~160	19~23	160~220	23~27
1.0	100~150	17~20	140~200	20~24	200~250	24~28
1.2	120~180	18~22	180~250	22~26	250~320	26~30
1.6	—	—	220~300	24~28	300~400	28~33
2.0	—	—	—	—	300~450	28~36
2.4	—	—	—	—	350~500	30~38

在前文中我们曾提到，保护气体的种类对于电弧工作点的变换也有一定的影响。现在我们将谈一谈保护气体。首先用表3列出常用的几种保护气体的性质，它们可以分为下列几个类别：

1. 惰性气体——是单原子气体，氩、氦属于此类，它们不产生化合物。
2. 活性气体——是多原子气体，它们的化学活泼成分会与它相接触的物质发生化学反应。使用活性气体作为焊接保护气体时（尤其以CO<sub>2</sub>为然），要求焊丝中含有适量的脱氧剂。



表 3. 几种气体的性质

气体	在20°C, 1个大气压的比重克/米 <sup>3</sup>	在20.°c时的比热卡/克°C	熔点 °C	沸点 °C	临界压力 at	临界温度 °C	电离能 ev	分解能 ev	化学符号
氩	1.784	0.125	-189	-185.8	48	-122.5	15.7	—	Ar
氦	0.179	1.250	-272	-268.9	2.3	-267.9	24.5	—	He
氮	1.251	0.249	-210.1	-195.8	33	-147.2	分子 15.8 原子 14.5	9.76	N <sub>2</sub>
氧	1.429	0.218	-218.4	-183.0	50	-118.9	分子 12.5 原子 13.5	8.05	O <sub>2</sub>
氢	0.089	3.410	-259	-252.9	13	-239.9	分子 15.4 原子 13.5	4.48	H <sub>2</sub>
二氧化碳	1.977	0.202	-57	-78.5	73	+31	14.4	6.3	CO <sub>2</sub>
一氧化碳	1.250	0.250	-199	-190	35	-138.8	14.1	10.5	CO
空气	1.239	0.240	—	-193	37	-140.7	—	—	—

熔化极惰性气体保护焊 (MIG) 主要使用氩、氦及二者的混合气体。但氩气使用得最多, 它是从液化空气中制取的, 成本较低。氦的成本费比氩气约高一倍。

非合金及低合金钢的焊接可用多原子气体作为保护气体, 尤其以CO<sub>2</sub>具有最大的重要性, 气体的物理性质对于它的应用具有重大的意义, 不仅是纯气体这样, 混合气体也是这样。例如比重就是形成气体保护罩的一个重要因素, 氩气的比重为1.784, 氦为0.179, CO<sub>2</sub>为1.977, 在形成气体保护罩的方面CO<sub>2</sub>最优, 氦气最差, 气体的粘度对于形成气流和调节保护气体流量也有重要性。气体的导热性和比热影响着气体的温度和电离电压, 对于电弧的稳定有

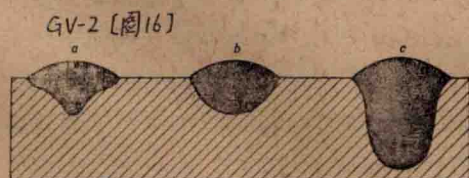


图16. 保护气体种类对熔深及焊缝成形的影响

一定的影响。对于同一焊接用途往往可以采用不同的气体或混合气体，它们的选择要根据一系列的工艺观点来决定，例如，焊接速度、熔滴过渡、熔深，当然还有某些冶金性质，也就是说，要根据保护气体对材料的化学反应特征——中性、氧化性或还原性——来决定。图16示意着不同的保护气体对焊缝成形及熔深的影响。每一种气体由于它的特有的化学性质和物理性质要求有一定的电弧电流和电压值才能保证稳定的和均匀的焊接过程。表4列举各种材料 MIG/MAG 焊适合的几种重要保护气体和混合气体。

表 4. 各种材料 MIG/MAG 焊适用的保护气体

保 护 气 体	焊 接 材 料
Ar	除钢材外的一切金属。
Ar + He	一切金属,尤其适合于铜和铝的合金的焊接。
He	除钢材外的一切金属。
Ar + 0.5~1% O <sub>2</sub>	铝
Ar + 1% O <sub>2</sub>	高合金钢
Ar + 1~3% O <sub>2</sub>	合金钢
Ar + 1~5% O <sub>2</sub>	非合金钢及低合金钢
Ar + 25% CO <sub>2</sub>	非合金钢
Ar + 1~3% Cl <sub>2</sub>	铝合金
Ar + 0.2% N <sub>2</sub>	铝合金
Ar + 6% H <sub>2</sub>	镍及镍合金
Ar + 15~20% N <sub>2</sub>	铜
N <sub>2</sub>	铜
CO <sub>2</sub>	非合金钢
CO <sub>2</sub> + 15~20% O <sub>2</sub>	非合金钢
水 蒸 汽	非合金钢
Ar + 3~7% O <sub>2</sub> + 13~17% CO <sub>2</sub>	非合金钢及低合金钢

钢材焊接在Ar气中加0.5~5% O<sub>2</sub>有提高焊接效率和减少气孔的作用。在Ar中加较大量的CO<sub>2</sub>，例如加25% CO<sub>2</sub>，可以增大熔深、提高焊接效率、减小对锈和氧化皮的敏感性。在Ar中加少量N<sub>2</sub>或Cl<sub>2</sub>焊接铝合金可以避免产生气孔。铜虽可以在纯氮中焊接，但采用Ar + 15~20% N<sub>2</sub>的混合气体更可获得较高的机械性能值和较光洁的焊缝表面。CO<sub>2</sub>及其各种混合气体只适用于非合金钢和低合金钢的焊接，高合金钢（例如奥氏体不锈钢）如果用含有CO<sub>2</sub>的气体焊接则会发生渗碳现象。

基于经济原因，人们常采用CO<sub>2</sub>焊接非合金和低合金结构钢，但对这一气体提出一些特殊要求，它的纯度至少需达到99.7% CO<sub>2</sub>，氮和氢的含量应小于0.15%，而且不得含有水气，其露点应在-35°C或更低一些的温度上。表5列举各种保护气体的优缺点。

除保护气体外，焊丝的成分对焊接质量有极大影响。焊丝材料应与母材相当，并需



表 5. CO<sub>2</sub>、混合气体、Ar 保护焊的优缺点对比

保护气体在焊接中的影响	GV-2 [表5]		
	CO <sub>2</sub>	混合气体	Ar
产生气孔的可能性	较小	较大	—
对工作表面油污的敏感性	较小	较大	—
焊缝宽度	较窄	较宽	更宽
焊缝表面成形	隆起	较平	更平
熔深	大	中等	浅,带乳头状底部
焊缝表面外观	粗焊波	较光滑	光滑
飞溅	较多	较少	少
难焊位置(如管子)	可无缺陷	较易产生缺陷	—
向下立焊	很好	较难(尚可)	—
焊接熔池体积	很小	较大	最大
通风的影响	敏感	很敏感	很敏感
对结构钢焊接	好	尚可至很好	不太适合
成本	低	较高	最高
脉冲焊	不能	尚可至良好	很好
短路过渡焊	很好	尚可至良好	尚可
对铝及铝合金焊接	不能	不能	很好
对Cr-Ni钢焊接	有条件可能	有条件可能至良好	良好,宜加氧
焊炬电流负荷	最高	较低	最低
另加喷咀套	无必要	最好加	通常都加
对不良性能焊机的补偿作用	不利	有改善作用	不利至改善

经过试验验证,它的化学成分对飞溅、抗裂性和机械性能都有影响。焊丝中常含有脱气元素,例如钛、铝、锰、硅等,用来消除气孔的发生。用于焊接有色金属和高合金钢的焊丝成分往往与母材成分相同,但用于焊接范围广泛的非合金钢和低合金钢,则通常采用所谓“通用焊丝”,也就是说,焊丝的成分不一定与母材成分相同,只按焊缝金属的强度等级来划分和选用焊丝。这些焊丝大致上具有下列化学成分范围:

C = 0.05~0.15%

Si = 0.8~1.4%

Mn = 1.2~1.8%

## MIG/MAG 焊的工作技术

气体保护焊特别适合于机械化。电弧和焊接熔池都可以观察，所以整个焊接过程易于监视和控制。MIG/MAG焊大多数采用半机械化的（或称半自动的）形式，亦即焊丝由机械自动送给，焊炬的运行则用手工操作。焊工稍加训练，就能掌握电流、弧长、电压、焊接速度、焊炬摆动幅度等影响因素的要诀而把它们调节到最佳的规范。图17示

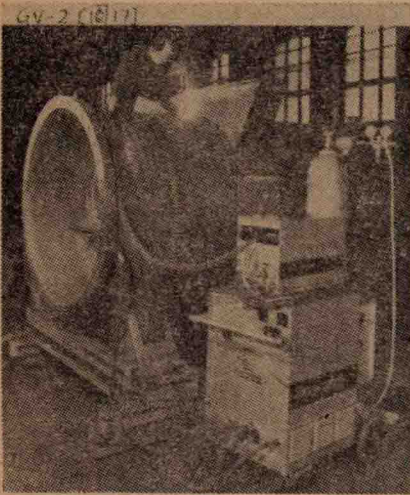


图17. 大型蒸发器的气体保护焊施焊情况

出一台大型蒸发器的熔化极气体保护焊的施焊情况；图18示出配电站钢架的施焊情况。对于焊炬运行操作并不能制定一定的规则，它一方面取决于各种施焊条件，另一方面还取决于焊工操作的习惯。总之，要能正确调节焊接规范、保持恒定的弧长、均匀一致的焊炬运行速度和摆动幅度，才能取得外观良好的焊缝成形，达到高质量和可靠性。这就要求焊工有一定的培训和工作经验。还有一种意见非常流行，认为采用全自动的机械化焊接就可以不需要经验丰富的焊工，即使未经训练的工人也可以胜任操作。这种意见并不完全正确，殊不知机械化焊接并不是所有场合都能使用，而且即使采用全自动的机械化焊接，它仅不过是减轻了焊工的劳动强度和某种程度上提高效率而已，但并不能取代人的知识和经验，也就是说，即使采用全自动焊接，要保证高质量，还是要求有经验的焊工来操作它。对于半自动焊接富有经验的焊工，对于全自动焊接当然就更容易掌握了。

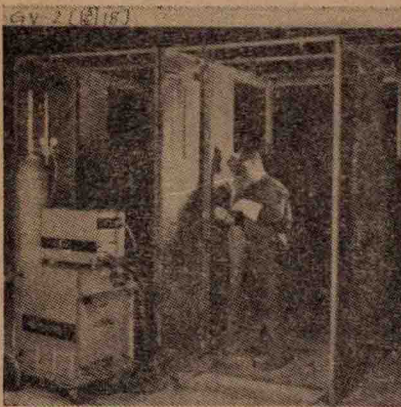


图18. 配电站钢架的气体保护焊施焊情况

任何一种加工方法是否经济，需要从成本和时间两个因素来考察它是否能构成有效的生产。焊接技术是一种多方面的生产技术，人们很难期望，只采用一种焊接方法就能满足各种各样的焊接工作要求，既适用又经济。就 $\text{CO}_2$ 焊接法而言，它在许多应用场合中是具有优越性的，但在另一些应用领域中既可以使用 $\text{CO}_2$ 焊接法，也可以使用其他焊接法，甚至后者比前者更有利。 $\text{CO}_2$ 焊接法具有熔化效率高、熔深大的优点，特别适合于厚板角接平焊（船形焊）位置的焊接，可是这些优点在强迫成形的焊接位置上就几乎完全丧失了。竖立板材的横焊缝使



用CO<sub>2</sub>焊接比涂料焊条手工焊更经济，因为在这种焊接位置上使用涂料焊条施焊时每一焊层都需要相当薄，其焊接效率还不如半自动CO<sub>2</sub>焊接的效率。图19把半自动CO<sub>2</sub>焊接法与涂料焊条手工电弧焊的成本作了一个对比，从这个结果就更可以看出半自动CO<sub>2</sub>焊接法的优越性。在这一统计图中，各项数据都是以12毫米厚钢板每一米焊缝的成本作基数的。

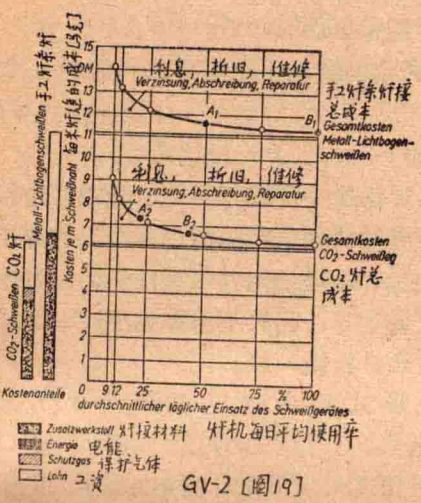


图19. 半自动CO<sub>2</sub>焊与涂料焊条手工电弧焊成本比较

数据取自12毫米厚钢板V形坡口，俯焊位置每一米焊缝的焊接结果  
 A<sub>1</sub>和A<sub>2</sub>：为日焊5.7米，每米长焊缝的成本  
 B<sub>1</sub>和B<sub>2</sub>：为日焊11.4米，每米长焊缝的成本。

其中包括了纯工资、纯材料成本以及焊接设备的折旧、利息和维修费用。图中的纵座标为每米焊缝的总成本〔马克〕，横座标为焊机每日平均使用率〔%〕。由此可见，只有当焊机使用率少于每日工作时间的1/4（即~25%）时，设备的折旧费和利息的数额（与材料费和工资比较）才会占有较大的比例。还应注意的是，制成这一统计表所使用的涂料焊条是VⅢ级氧化钛型厚药皮焊条(Ti-VⅢ-S)。如果改用高效率涂料焊条与CO<sub>2</sub>焊接法比较，那么CO<sub>2</sub>焊接法的经济优越性就可能丧失。

事实证明，机械化焊接比半自动手工焊往往可以使用较高的焊接电流，而且前者毕竟是利用机械化设备进行焊接的，所以不但可以提高焊接效率，而且可以提高总生产率。然而，单纯的提高生产率并不一定能补偿使用机械化焊接设备所产生的成本提高率。关于这个问题，我们拟在以下各节中讨论一下成本的计算和成本的对比。

### 半自动MAG焊接的成本计算

毫无疑问，任何一项为工业生产合理化和自动化(包括机械化)而付出的投资都应以获得近期的或远期的生产率显著提高为目的。但是自动化和机械化(二者应加以区别)又需以许多经济因素作为考虑的前提。这就要求作出精细的成本核算。

奥地利维也纳焊接技术培训中心发展了一种焊接工作快速成本计算法，非常适合于MAG焊接工作的成本计算。计算过程不需要借助于特殊的辅助手段。下面就介绍这个方法。

#### 各项单个成本及计算资料

在每一企业的预算和结算范畴内、或在两种或两种以上的生产方法成本比较计算中，人们获得的产品制造真实成本的资料愈详细，成本计算的结果也愈可靠。

供计算用的各项资料必须出于可靠的来源。有个别的原始资料可能来自不同条件的来源，必须首先根据它们各自的条件，从中找出一个共同的计算标准，通常总要以