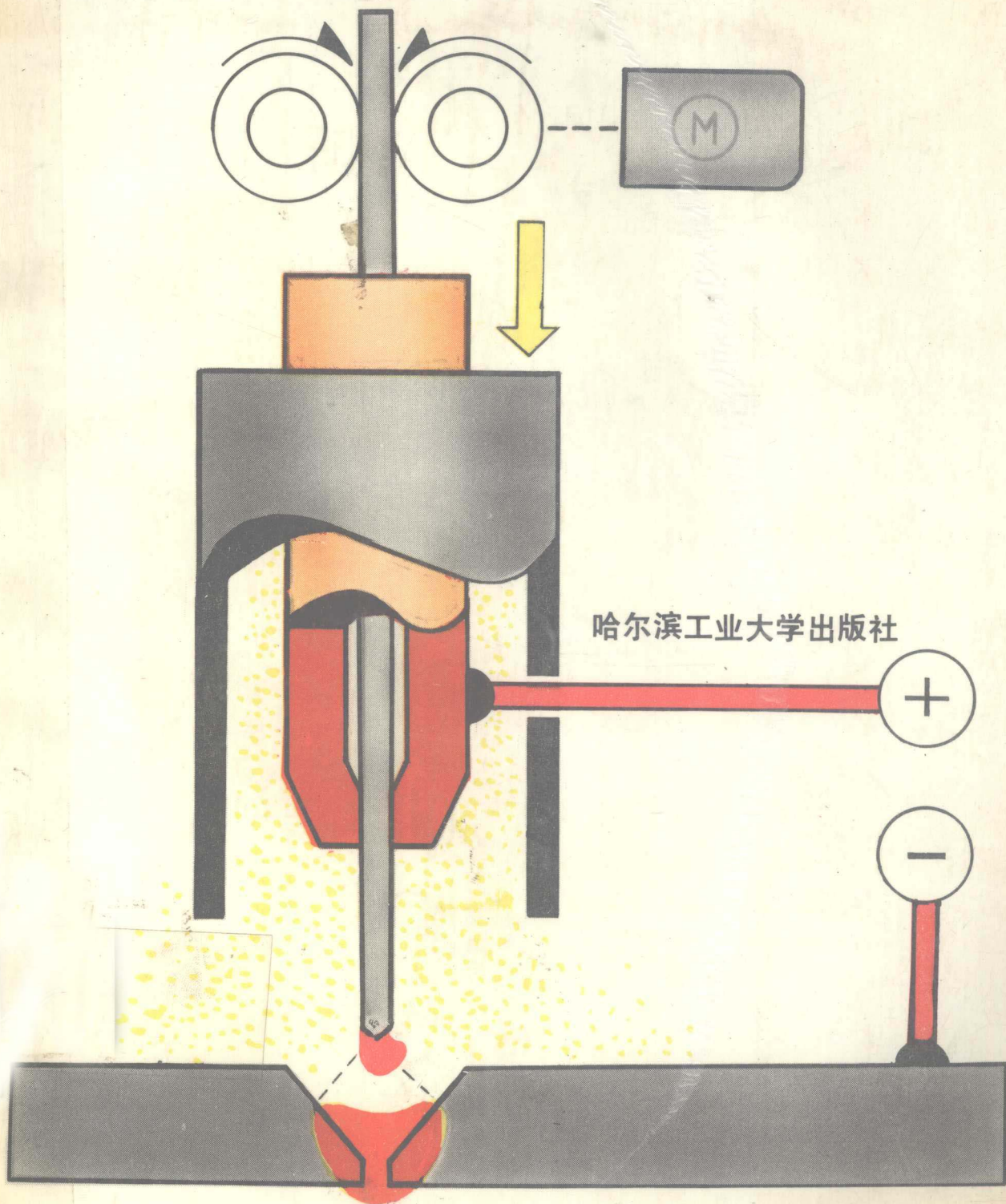


# CO<sub>2</sub> 焊接技术及应用

殷树言 邵清廉 主编



# CO<sub>2</sub>焊接技术及应用

殷树言 邵清廉 主编

郭鸿年 主审

0008-1 2013  
哈尔滨工业大学出版社

(黑) 新登字第4号

### 内 容 提 要

本书共分二篇十五章，第一篇为基础篇，较系统地介绍了CO<sub>2</sub>焊的原理、焊接材料、焊接设备和焊接工艺。第二篇为应用篇，详细地叙述了CO<sub>2</sub>焊接技术在造船、汽车、机车车辆、发电设备、锅炉、起重机、摩托车和油田建设等方面的应用实例和成功经验。本书作者总结了多年从事科研与生产所积累的丰富经验，并搜集了大量国内外文献资料，内容丰富，图文并茂，数据可靠，理论联系实际。

本书可供高等学校师生、工程技术人员和熟练焊工参考，还可作为培训CO<sub>2</sub>焊接技术人员和焊工的教材。

### CO<sub>2</sub> 焊接技术及应用

殷树言 邵清廉 主编

郭鸿年 主审

哈尔滨工业大学出版社出版  
新华书店首都发行所发行  
哈尔滨工业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.375 插页 2 字数 397 000

1992年4月第1版 1992年4月第1次印刷

印数 1—8 000

ISBN 7-5603-0417-6/TG·27 定价：6.50元

# 前 言

随着工业的发展,我国焊接行业也得到了蓬勃的发展。 $\text{CO}_2$ 焊接工艺在许多部门推广应用,收到了十分显著的经济效益。但是这种高效节能的焊接法,在我国“七五”期间的推广应用情况还不能令人满意,在“八五”期间计划大力发展,摆在我们焊接工作者面前的任务是十分艰巨的。本书从 $\text{CO}_2$ 焊的基本原理、设备、工艺及安全技术等方面深入浅出地进行了全面论述,同时还对 $\text{CO}_2$ 焊应用较多的领域中的典型产品焊接经验,进行了认真总结与详细介绍。其目的是为了向从事 $\text{CO}_2$ 焊接技术的工程技术人员和工人提供一本工具书,以利于该方法的应用和推广。为完成“八五”计划贡献一点微薄之力。

本书共分两篇十五章,基础篇由哈尔滨工业大学殷树言编写,应用篇中第八章由大连船用柴油机厂邵清廉编写,第九章由第二汽车制造厂何伟儒编写,第十章由大连机车车辆厂赵国安编写,第十一章由哈尔滨电机厂刘作骥编写,第十二章由大连起重机厂张天鸿编写,第十三章由哈尔滨锅炉厂李景士、李文娱和王同芬编写,第十四章由哈尔滨焊接研究所侯天奎编写,第十五章由大庆石油管理局侯贤忠编写。

本书由殷树言和邵清廉主编,由大连铁道学院郭鸿年主审。

在本书编写过程中曾得到许多单位和广大焊接工作者的热情支持和无私帮助,对此我们表示衷心的感谢。

由于作者经验不足,水平有限,难免出现差错和不足,敬请广大读者提出批评指正。

编 者

# 目 录

## 第一篇 基础篇

<b>第一章 概述</b> .....	( 1 )
<b>第二章 CO<sub>2</sub> 气体保护焊理论基础</b> .....	( 3 )
第一节 CO <sub>2</sub> 焊与 MAG 焊冶金原理.....	( 3 )
第二节 CO <sub>2</sub> 焊与 MAG 焊的熔滴过渡.....	( 5 )
<b>第三章 焊接材料</b> .....	( 11 )
第一节 焊丝.....	( 11 )
第二节 保护气体.....	( 16 )
<b>第四章 CO<sub>2</sub> 焊接设备</b> .....	( 18 )
第一节 CO <sub>2</sub> 焊接工艺参数及其对焊接设备的要求.....	( 18 )
第二节 CO <sub>2</sub> 焊接设备的组成.....	( 18 )
第三节 送丝与电源的配合.....	( 20 )
第四节 典型国产焊机的型号及性能.....	( 21 )
第五节 焊接电源.....	( 22 )
第六节 送丝机及调速电路.....	( 35 )
第七节 控制电路.....	( 44 )
第八节 焊枪及软管.....	( 48 )
第九节 自动焊机.....	( 55 )
第十节 供气装置.....	( 56 )
第十一节 典型焊接设备.....	( 58 )
第十二节 焊机维护与常见故障.....	( 71 )
<b>第五章 焊接规范参数</b> .....	( 75 )
第一节 焊丝直径.....	( 75 )
第二节 焊接电流.....	( 77 )
第三节 电弧电压.....	( 78 )
第四节 焊接速度.....	( 80 )
第五节 保护气体流量与混合气体.....	( 81 )
第六节 电流极性.....	( 82 )
第七节 焊丝干伸长.....	( 83 )
第八节 各种焊接规范参数及其它因素的影响.....	( 83 )
<b>第六章 焊接施工技术</b> .....	( 85 )
第一节 设备的安装.....	( 85 )

第二节	焊机的连接程序	(86)
第三节	焊前准备与注意事项	(88)
第四节	焊接设备及焊接规范的选择	(91)
第五节	焊接操作	(103)
第六节	各种焊缝的焊接技术	(109)
第七节	焊接缺陷的产生原因与防止措施	(123)
<b>第七章</b>	<b>安全卫生</b>	(125)
第一节	对人体的影响	(125)
第二节	CO <sub>2</sub> 、CO和烟尘的容许浓度和影响因素	(126)
第三节	焊接环境与防护措施	(127)
<b>第二篇 应用篇</b>		
<b>第八章</b>	<b>CO<sub>2</sub>焊接在船舶制造中的应用</b>	(129)
第一节	CO <sub>2</sub> 焊接在船体建造中的应用	(130)
第二节	CO <sub>2</sub> 焊接在大功率低速船用柴油机焊接件中的应用	(149)
<b>第九章</b>	<b>CO<sub>2</sub>焊接在汽车工业中的应用</b>	(157)
第一节	载重汽车货箱的焊接	(157)
第二节	贮气筒总成的焊接	(161)
第三节	车轮总成的焊接	(164)
第四节	传动轴总成的焊接	(165)
第五节	桥壳总成的焊接	(166)
<b>第十章</b>	<b>CO<sub>2</sub>焊接在机车车辆制造中的应用</b>	(173)
第一节	内燃机车柴油机机体的焊接	(173)
第二节	机车转向架构架的焊接	(181)
第三节	内燃机车车体的焊接	(187)
第四节	内燃机车底架的焊接	(188)
第五节	柴油机水套自动焊	(189)
第六节	机车齿轮罩双嘴自动焊	(192)
<b>第十一章</b>	<b>CO<sub>2</sub>焊接在重型机电设备制造中的应用</b>	(194)
第一节	重型机电设备CO <sub>2</sub> 焊接中的关键问题	(194)
第二节	CO <sub>2</sub> 焊在机电设备重大部件上的应用	(197)
<b>第十二章</b>	<b>CO<sub>2</sub>焊接在起重机钢结构制造中的应用</b>	(204)
第一节	起重机箱型主梁CO <sub>2</sub> 自动焊生产线	(204)
第二节	箱形梁混合气体保护自动焊	(211)
第三节	应用φ4粗丝CO <sub>2</sub> 气体保护自动焊焊接起重机卷筒	(212)
<b>第十三章</b>	<b>CO<sub>2</sub>焊在锅炉制造中的应用</b>	(218)
第一节	锅炉膜式壁的脉冲MAG焊	(218)
第二节	锅炉集箱三通的药芯焊丝CO <sub>2</sub> 焊	(235)

第三节	锅炉受热面管MIG焊	(240)
<b>第十四章</b>	<b>CO<sub>2</sub> 焊接在摩托车制造中的应用</b>	<b>(247)</b>
第一节	产品简介、技术要求及特点	(247)
第二节	典型摩托车产品焊接工艺	(251)
第三节	保证质量的措施	(253)
第四节	摩托车焊接自动机简介	(255)
<b>第十五章</b>	<b>CO<sub>2</sub> 焊接在油田建设中的应用</b>	<b>(261)</b>
第一节	烟火管内环缝的 MAG 焊	(261)
第二节	油田管道双层气流脉冲熔化极焊接	(264)
<b>参考文献</b>		<b>(268)</b>



# 第一篇 基础篇

## 第一章 概述

CO<sub>2</sub> 气体保护电弧焊是利用 CO<sub>2</sub> 作为保护气体的气体保护电弧焊。简称 CO<sub>2</sub> 焊。

CO<sub>2</sub> 焊方法的原理示于图 1-1。图中给出了 CO<sub>2</sub> 焊所需要的焊接设备和焊接材料。焊接设备主要有焊枪、送丝机构和直流电源。焊接材料主要有焊丝和 CO<sub>2</sub> 气体。而焊枪

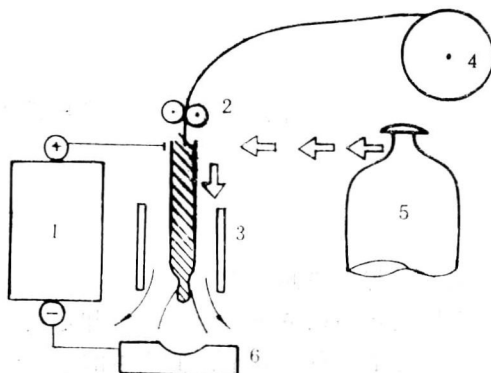


图 1-1 CO<sub>2</sub> 气体保护电弧焊原理示意图

1—直流电源；2—送丝机构；3—焊枪；  
4—焊丝盘；5—CO<sub>2</sub> 气瓶；6—工件

从该式可见，CO<sub>2</sub> 气体分解时，其产物体积膨胀一半，这将有利于增强保护效果。另一方面该反应是吸热反应，CO<sub>2</sub> 气体分解时对电弧产生强烈的冷却作用，则引起弧柱收缩和弧根（指覆盖熔滴表面的斑点面积）减小，这时电弧对熔滴产生较大的排斥力。焊丝端头的熔滴由于受到电弧的排斥作用，而使熔滴过渡不规律，具有排斥过渡特点。因此，不但影响电弧稳定性，而且也影响气体保护效果。

CO<sub>2</sub> 焊时，根据焊丝直径和焊接规范的不同，熔滴过渡形式也不同。所以人们按照焊丝直径把它分为以下三类：

1) 细丝（焊丝直径小于和等于 1.2mm）一般以小电流、低电弧电压的短路过渡进行焊接。这时焊丝端部的熔滴与熔池以短路接触的形式向熔池过渡。

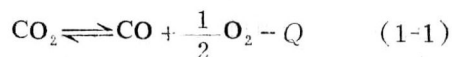
2) 中丝（焊丝直径为 1.6~2.4mm）大都采用较大电流和较高电压进行焊接，熔滴过渡呈细滴排斥过渡，甚至射滴过渡。这是一种自由过渡形式。

3) 粗丝（焊丝直径为 2.4~5mm）常采用大电流和较低电压进行焊接，这时呈射滴过渡，甚至射流过渡。电弧基本上潜入熔池凹坑内，熔滴以自由过渡形式过渡。

使用 CO<sub>2</sub> 作为保护气体有如下二个特点：

1) CO<sub>2</sub> 气体的密度比空气大，所以在平焊时从焊枪喷出的 CO<sub>2</sub> 气体对熔池有良好的覆盖作用。

2) CO<sub>2</sub> 气体在电弧的高温作用下将按下式进行分解：





CO<sub>2</sub> 焊与手弧焊和埋弧焊相比，有许多优点：

1) 生产效率高和节省能量。由于该法焊接电流密度较大，通常为100~300A/mm<sup>2</sup>，这样电弧热量集中，焊丝的熔化效率高，母材的熔透深度大，焊接速度快，同时焊后不需要清渣，所以能够显著提高焊接效率和节省电能。

2) 焊接成本低。由于CO<sub>2</sub>气体和焊丝的价格低廉，对于焊前的生产准备要求不高，焊后清理和校正工时少，所以成本低。

3) 焊接变形小。由于电弧热量集中、线能量低和CO<sub>2</sub>气体具有较强的冷却作用，则焊接工件受热面积小。特别是焊接薄板时，变形很小。

4) 对油、锈的敏感性较低。

5) 焊缝中含氢量少，所以提高了焊接低合金高强度钢抗冷裂纹的能力。

6) 短路过渡焊可用于立焊、仰焊和全位置焊接。

7) 电弧可见性好，有利于观察，使焊丝对准焊接线。尤其是在半自动焊时可以较容易地实现短焊缝和曲线焊缝的焊接工作。

8) 操作简单，容易掌握。

但是，还存在以下一些缺点：

1) 与手弧焊相比CO<sub>2</sub>气体保护焊设备较复杂，易出现故障，要求较高的维护设备的技术能力。

2) 抗风能力差，给室外作业带来一定困难。

3) 弧光较强，必须注意劳动保护。

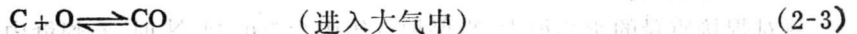
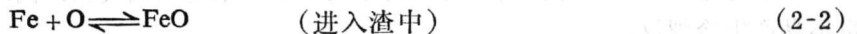
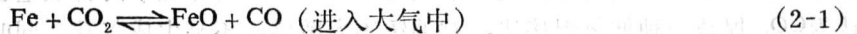
4) 与手弧焊和埋弧焊相比，焊缝成形不够美观，焊接飞溅较大。

CO<sub>2</sub> 焊的缺点可以通过提高技术水平和改进焊接设备加以解决。而其优点却是其他焊接方法所不能比拟的，所以可以认为CO<sub>2</sub>气体保护焊是一种高效率、低成本的节能焊接方法。因此无论是在国内，还是在国外，它的发展都十分迅速。目前已广泛用于汽车制造、机车和车辆制造、造船、航空、航天、工程机械、石油、化工机械、农机和动力机械等部门。主要用于焊接低碳钢、普低钢和低合金高强度钢，还可以焊接耐热钢和不锈钢。可焊厚度范围较宽，可以从0.5mm到150mm。除焊接而外，还可以进行堆焊，如堆焊耐磨材料和耐蚀材料等。

## 第二章 CO<sub>2</sub> 气体保护焊理论基础

### 第一节 CO<sub>2</sub> 焊与MAG焊冶金原理

手工电弧焊和埋弧焊都是以熔渣作为保护介质。而气体保护焊却是依靠气体的屏蔽作用，它将空气与熔化金属机械地隔离开来。惰性气体的保护作用主要是屏蔽作用。可是CO<sub>2</sub>气体却不同，除屏蔽作用外，还具有较强的氧化作用。在电弧高温作用下，CO<sub>2</sub>将按式(1-1)进行分解。这时在电弧空间同时存在CO<sub>2</sub>、CO、O<sub>2</sub>和O等几种气体。其中CO不与液态金属发生任何反应，而CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>和O却能与液态金属发生如下反应：

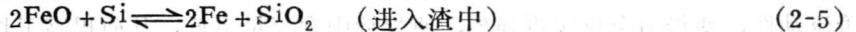


可见，CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>对Fe及C都具有氧化作用。生成的CO进入大气中，它对焊接质量危害不大。可是，生成的FeO其中一部分进入渣中，另一部分却进入液态金属中。这时FeO能够被液态金属中的C(碳)所还原，其反应式为：



该CO是在熔池金属结晶的同时产生的，其中一部分气体通过沸腾逸散到大气中，还有一部分气体来不及逸出，就滞留在焊缝中成为气孔。

这种由于CO<sub>2</sub>的氧化作用而生成的气孔称为CO气孔。当用普通低碳钢焊丝时，必然产生CO气孔。为了解决这个问题，生产中大都使用含有Si(硅)和Mn(锰)的低碳钢焊丝。这时在熔池金属内含有的FeO，将被Si和Mn还原，如式(2-5)和(2-6)所示。



从而抑制了CO的生成。该反应的生成物为SiO<sub>2</sub>和MnO。它们将生成铁与锰的硅酸盐，其熔点较低为1270℃，密度也较小(约3.6g/cm<sup>3</sup>)。同时易结成大块而以渣的形式浮出熔池表面。渣的成分大约为：FeO 14%，MnO 47%，SiO<sub>2</sub> 34%，其余为CuO和TiO<sub>2</sub>等。

另一方面，生成CO气孔是因为熔池的液态金属中含有C。当含C量越高时，生成CO越容易，因而生成CO气孔的倾向也越大。为此，主要应降低焊丝中的含C量，通常规定焊丝中含C量不得超过0.1%。

焊接合金钢时为了保证焊缝的机械性能，通常除了向焊丝中加入Si、Mn元素外，还要加入一些更活泼的脱氧元素，如Al、Ti和Zr等以及用来改善焊缝金属性能的Mo、Cr和Ni等。焊接时这些元素在不同程度上都将被部分烧损，如Si、Mn的过渡系数为40%~50%；Al、Ti和Zr的过渡系数为30%~40%；而Mo、Cr和Ni元素烧损较少。

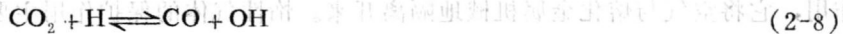
CO<sub>2</sub>焊时，保护气氛中除CO<sub>2</sub>以外，还经常混入氢和氮。当其含量较多时，将对焊

接质量产生不良影响。

氢通常是以原子或离子状态溶解于液态金属中。由于焊接时冷却速度较快，氢来不及析出，在焊缝中容易造成过饱和氢，它不但会引起气孔，而且在焊接低合金高强度钢时还能引起冷裂纹。

氢气的主要来源是工件和焊丝表面有油污和铁锈，工件表面潮湿或是在CO<sub>2</sub>气体中含有较多的水分，该水分在电弧高温作用下，将分解出氢原子。

但是在CO<sub>2</sub>焊的情况下，电弧气氛具有较强的氧化性。它与氢原子作用能生成不溶于液体金属的水蒸气和羟基(OH)，其反应方程式如下：



结果，在熔池表面上的电弧气氛中氢的分压降低，则焊缝中的含氢量也降低。因此人们认为CO<sub>2</sub>焊是一种低氢焊接法，对油锈不太敏感，不易生成气孔，同时在焊接合金钢时也不易产生冷裂纹。

氮对焊接质量的影响很大。当保护气体中含有0.5%N<sub>2</sub>时，在焊缝中就能含有0.015%N<sub>2</sub>，这将在焊缝中产生气孔和夹渣。氮的主要来源是由于气体保护不良，在焊接区域混入了空气。有时是因为CO<sub>2</sub>气体纯度不高。

总之，CO<sub>2</sub>焊的氧化作用能使焊缝生成CO气孔，但却能减少生成氢气孔和氮气孔的可能性。在正常焊接条件下，采用Si-Mn脱氧焊丝和对工件的坡口及焊丝进行认真清理时，在焊缝中就能避免CO气孔和氢气孔。这时如果还有气孔，那就是因为保护不良而引起的氮气孔。

除纯CO<sub>2</sub>气体保护外，还常采用CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>及CO<sub>2</sub>-Ar混合气体保护。大家知道CO<sub>2</sub>气体保护气氛具有很强的氧化性，焊接过程还不够稳定，于是有人采用CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>混合气体保护。这将进一步增强氧化性，通过放热反应产生较大热量，降低液态金属表面张力和改善流动性，使得冶金反应更强烈，使焊缝中含氢量更低，从而提高了焊接接头的抗冷裂纹能力。

通常在CO<sub>2</sub>气体中加入15%~20%O<sub>2</sub>为宜，加入过多时，将使飞溅大、气孔多和恶化焊缝成形。

CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>混合气体的氧化性比纯CO<sub>2</sub>更强，必然使合金元素大量烧损，为此焊丝中必须加入足够的脱氧元素。通常在CO<sub>2</sub>焊用的焊丝基础上，还需加入较多的Mn和少量Mo、Ti等合金元素。

此外，在焊接黑色金属时还广泛使用Ar与CO<sub>2</sub>混合气体作为保护气体。这种以富氩为保护气体的方法称为MAG焊。根据焊接方法及被焊材料的不同，混合气体的混合比也不同，一般在(Ar+15%~50%CO<sub>2</sub>)范围内选用。实际上，由于混合气体中的含量不同，将对焊接冶金反应有不同的影响。这时混合气体对焊接过程的影响与CO<sub>2</sub>焊时类似，主要表现在对熔化金属的氧化作用上。随着混合气体中CO<sub>2</sub>含量的增加，气体的氧化性增强，使得合金元素的烧损增加，也就是合金元素的过渡系数减少，如图2-1所

示。从图中还可看到，各种合金元素的烧损程度也不一样，与氧亲和力较强的元素如Zr、Ti和Al等烧损较多，过渡系数仅为10%~20%；Si和Mn等合金元素的烧损略小些，过渡系数仅为40%~70%；而对于Cr和Mo等合金元素的烧损较小，过渡系数高达90%。此外，由于加入CO<sub>2</sub>，将增加熔敷金属的含氧量，如图2-2所示。显然，随着CO<sub>2</sub>含量增加，熔敷金属中含氧量也增加，于是使得焊缝的机械性能下降，特别是冲击韧性下降更显著。

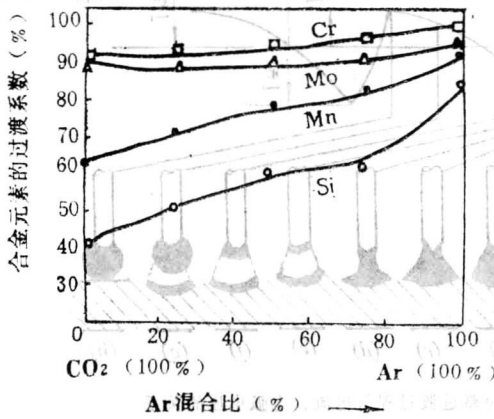


图 2-1 Ar-CO<sub>2</sub>混合比与合金元素过渡系数的关系

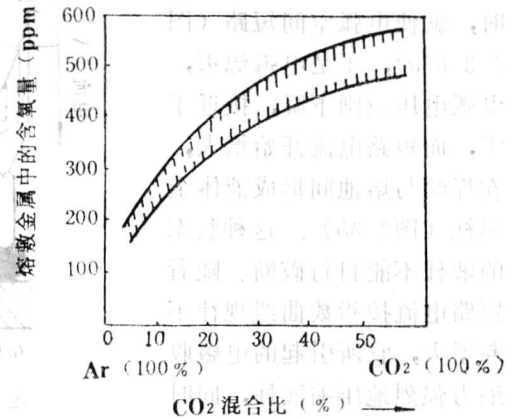


图 2-2 Ar-CO<sub>2</sub>混合比与熔敷金属中含氧量的关系

由于Ar-CO<sub>2</sub>混合气体保护焊存在着氧化性，所以必须采用与纯CO<sub>2</sub>焊同样的措施，在焊丝中加入一定量的脱氧元素（Si和Mn）。但因为混合气体的氧化性较弱，所以脱氧元素也相应减少些。否则，过多的脱氧元素也将使焊缝的机械性能变坏。

## 第二节 CO<sub>2</sub>焊与MAG焊的熔滴过渡

CO<sub>2</sub>焊时焊丝的熔化和熔滴过渡是在CO<sub>2</sub>气体中进行的。从式(1-1)中可知，CO<sub>2</sub>在电弧热作用下将发生分解，该反应是吸热反应，它对电弧产生较强的冷却作用，所以也对焊丝金属的过渡特点产生了很大影响。根据焊丝直径和焊接电流不同，熔滴过渡形式也不同。实际生产中常用的熔滴过渡形式有短路过渡、射滴过渡和潜弧下的射流过渡。而MAG焊与CO<sub>2</sub>焊类似，也有这几种过渡形式，不同的是射滴与射流过渡形式发生在长弧状态下。

### 一、短路过渡

焊丝端部的熔滴与熔池短路接触，由于电磁收缩力作用和强烈的过热使熔滴爆断，直接向熔池过渡的形式称为短路过渡。

短路过渡过程示于图2-3。电弧燃烧后，由电弧析出热量，强烈的熔化焊丝，并在焊丝端头形成熔滴（图2-3e）。由于焊丝迅速熔化而形成电弧空间，其长度决定于电弧电压。随后，熔滴体积逐渐增加，而弧长略微缩短（图2-3f）。随着熔滴不断长大，电

弧向未熔化的焊丝方面传入的热量减少，则焊丝熔化速度也降低（图2-3g）。由于焊丝仍以一定的速度送进，所以势必导致熔滴逐渐接近熔池，弧长缩短。同时，熔滴与熔池都在不断地起伏运动着，这就增加了熔滴与熔池相接触的机会。每当接触时，就使电弧空间短路（图2-3 h-a），于是电弧熄灭，电弧电压急剧下降，接近于零，而短路电流开始增大，在焊丝与熔池间形成液体金属柱（图2-3b）。这种状态的液柱不能自行破断。随着短路电流按指数曲线规律不断增大，它所引起的电磁收缩力强烈地压缩液柱，同时在表面张力的作用下，使得液柱金属向熔池流动，而形成缩颈（图2-3d），该缩颈称为“小桥”。这个小桥连接着焊丝与熔池，小桥由于过热汽化而迅速爆断。这时电弧电压很快恢复到空载电压以上，电弧又重新引燃，再重复上述过程。

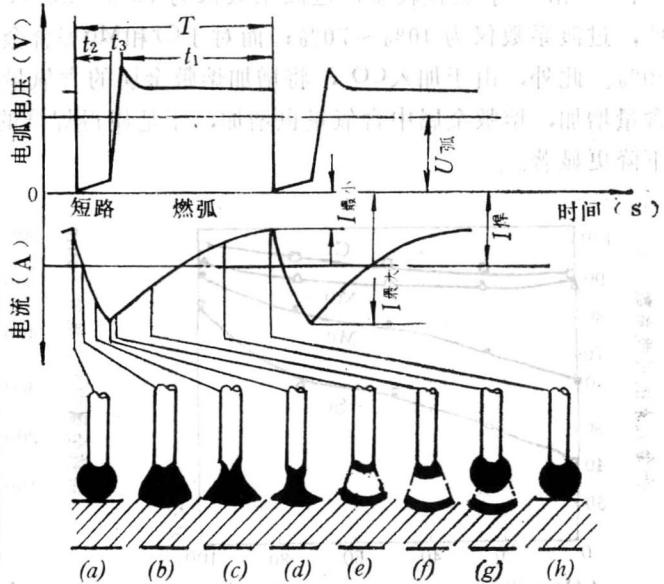


图 2-3 短路过渡过程与电流、电弧电压的关系

$t_1$ —燃弧时间； $t_2$ —短路时间； $t_3$ —电压恢复时间； $T$ —焊接循环周期； $I_{max}$ —短路峰值电流； $I_{min}$ —最小电流； $I_a$ —焊接电流（平均电流）； $U_a$ —平均电弧电压

$t_1$  为燃弧时间，该时间对焊丝和母材的加热以及合金元素的烧损都有重要影响。 $t_2$ 、 $t_3$  和  $I_{max}$  是电源特性和焊丝直径所决定的。它们又决定了焊接过程的稳定性。通常希望  $I_{max}$  尽量小些，以便减小短路小桥的爆炸力和金属飞溅。但  $I_{max}$  过小时，小桥难以破断，则将影响短路过程稳定性。

在短路过渡的情况下，常常以短路频率作为衡量短路过渡过程稳定性的标志。短路频率越高，则熔滴越小和过渡越快，过程也越稳定。

影响短路频率的主要因素为电弧电压、送丝速度和电源动特性。

电弧电压对短路频率的影响示于图 2-4。由图可见，存在一个最佳电弧电压值，这时短路频率最高。对于直径为 0.8、1.2 和 1.6mm 的焊丝，该值大约为 20V 左右。这时除了短路频率最高而外，短路过程比较均匀，焊接时发出轻微均匀地啪啪声。随着电弧电压的提高，短路频率降低，短路持续时间减少，直至变为自由过渡。相反，随着电弧电压的降低，弧长变短，短路持续时间增加，直至引起焊丝固体短路而断弧。

送丝速度是影响短路频率的另一个重要因素。对于一定直径的焊丝，存在着一个最佳送丝速度。这时短路峰值电流最小，短路过渡最平稳。送丝速度过快，将造成较大的飞溅，而送丝速度较小时，短路频率明显降低。

电源动特性对短路过渡有十分重要的影响。而动特性主要由焊接电源的电感及其控



制回路的惯性环节所决定。电感较大时，短路电流上升速度  $\frac{di}{dt}$  较小，短路峰值电流也小。而当电感过大时，由于  $\frac{di}{dt}$  太小，没有足够的短路电流促使形成短路小桥，以致于造成焊丝固体短路而破坏短路过程。相反，当电感较小时， $\frac{di}{dt}$  过大和短路峰值电流过大，造成短路过渡过程不稳定，引起大量飞溅。可见，应该选择一个合适的电感值，该值与焊丝直径有关，如表2-1所示，焊丝直径越大，则电感也越大。

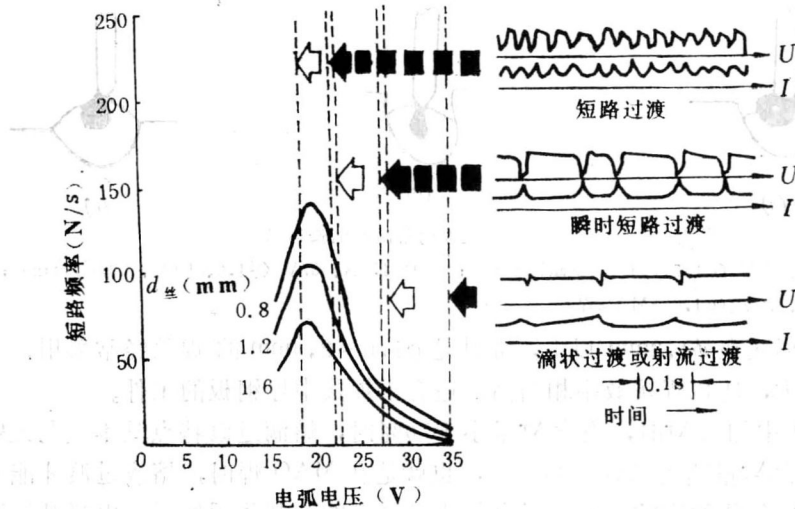


图 2-4 短路频率与电弧电压及焊丝直径的关系

表 2-1 平特性电源电感与焊丝直径的关系

焊丝直径 (mm)	0.8	1.2	1.6
电 感 (mH)	0.01~0.08	0.1~0.2	0.3~0.7

当  $\text{CO}_2$  气体中加入一定比例的氩气 (Ar) 以后，将明显的影响短路过渡频率和短路过渡稳定性。一般情况下，短路过渡频率都呈增加趋势。当 Ar- $\text{CO}_2$  混合气体中各为 50% 时，短路过渡过程中，熔滴略有排斥特点，但短路过渡频率明显提高、过程稳定和飞溅小，而电弧的下掘力仍较大，所以焊缝熔深与  $\text{CO}_2$  焊时差不多。当 Ar 含量超过 70%~85% 时，电弧相当于富氩气体保护 (即 MAG 焊)， $\text{CO}_2$  的影响较小了。这时弧根沿焊丝端头的熔滴上爬，减少了电弧对熔滴的排斥作用，从而使得短路过渡过程十分规则，飞溅进一步减小，大约降低到纯  $\text{CO}_2$  焊时的 50%。同时焊缝的熔深也减少了。

## 二、射滴过渡

熔滴尺寸接近或略大于焊丝直径的情况下，以较高的速度通过电弧空间的过渡形式称为射滴过渡。

在上述短路过渡的基础上，增加电流时 (相应增加电弧电压)，焊丝端头的熔滴也

随之长大，短路次数减少而且短路时间缩短，同时非短路过渡的比例增加，熔滴呈大滴状排斥特点（见图2-5a）。焊接过程不十分稳定，伴随着很大飞溅。这种过渡特点在实际生产中虽有应用，但应尽量避免。可是当进一步增加焊接电流时（如 $\phi 1.6\text{mm}$ 焊丝，电流达400A以上时），熔滴尺寸不是随电流的增加而增加，反而减小了。焊丝端头逐渐深入到熔池凹坑内，熔滴由受排斥状态转变为轴向过渡特点，于是形成了射滴过渡形式。这时不再发生焊丝与熔池之间的短路现象（如图2-5b）。电弧电压与焊接电流比较平稳，飞溅较小。

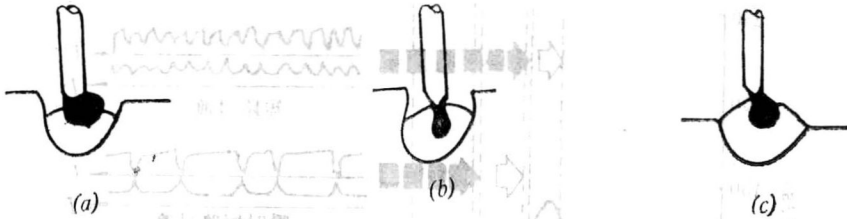


图 2-5 射滴过渡时熔滴及电弧形态

(a) 300A, 38V ( $\phi 1.6$ ,  $\text{CO}_2$ , 20ml/min); (b) 450A, 37V ( $\phi 1.6$ ,  $\text{CO}_2$ , 20ml/min); (c) 420A, 36V ( $\phi 1.6$ , MAG焊)

这种过渡形式在 $\phi 1.2\text{mm}$ 以上，尤其是 $\phi 1.6\sim 2.4\text{mm}$ 的焊丝经常采用。焊丝熔化速度快和熔深大，所以焊接效率相当高，适合于焊接中厚钢板的工件。

如果在 $\text{CO}_2$ 中加入Ar时，当含Ar量小于70%时，熔滴过渡特点基本上与纯 $\text{CO}_2$ 焊时一样。只有当含Ar量达到75%~85%时，也就是在MAG焊时，熔滴过渡才能有较大的变化。这时 $\text{CO}_2$ 气体的影响减小，混合气体对电弧的冷却作用较弱，电弧从熔滴底部向上扩张呈喇叭状，从而改变熔滴的受力状态，焊丝端头的熔滴与焊丝直径接近，并以球滴状沿焊丝轴向过渡，如图2-5(c)。当电流达到或超过某一临界值时，熔滴过渡形式将由大滴过渡转变为射滴过渡。气体成分对临界电流的影响如图2-6所示。可见随着 $\text{CO}_2$ 含量增加，临界电流也增大，当 $\text{CO}_2$ 达到或超过30%时，难以实现射滴过渡。除非像 $\text{CO}_2$ 焊那样，由于电弧下潜而形成射滴过渡。

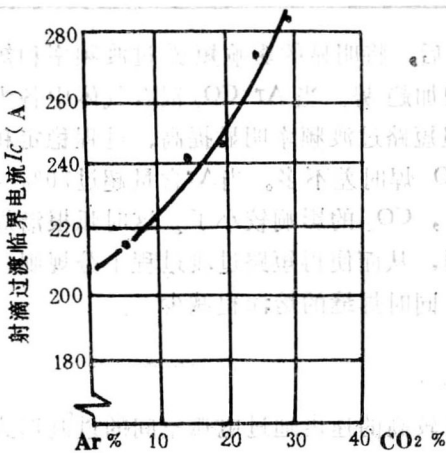


图 2-6 气体成分对射滴过渡临界电流的影响 (H08Mn2Si,  $\phi 1.2\text{mm}$ , MAG焊)

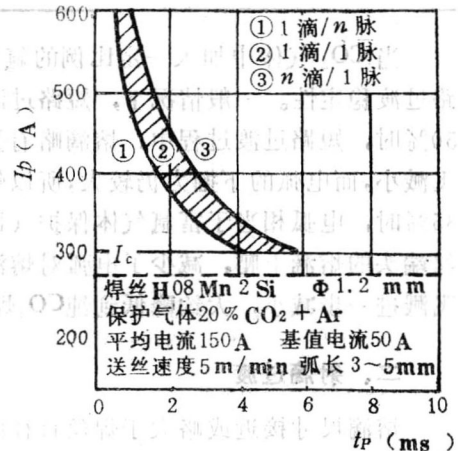


图 2-7 脉冲MAG焊时脉冲参数对熔滴过渡的影响



MAG焊射滴过渡电弧稳定，无飞溅和熔深较大。但是，MAG焊射滴过渡的电流范围较窄，难以稳定应用。然而脉冲MAG焊的最佳过渡形式为一个脉冲过渡一滴，这也是一种典型的射滴过渡。所以调整脉冲MAG焊的规范参数时，应使脉冲电流和脉冲时间搭配在图2-7的②区内，实现一个脉冲过渡一滴。①区为几个脉冲过渡一滴，而③区为一个脉冲过渡多滴。其中①和③区都是不合理的规范区间。脉冲MAG焊时熔滴都在脉冲后沿（三角波或正弦波）或维弧时（方波时）脱落。熔滴也呈球滴状，并沿焊丝轴向过渡，如图2-8。

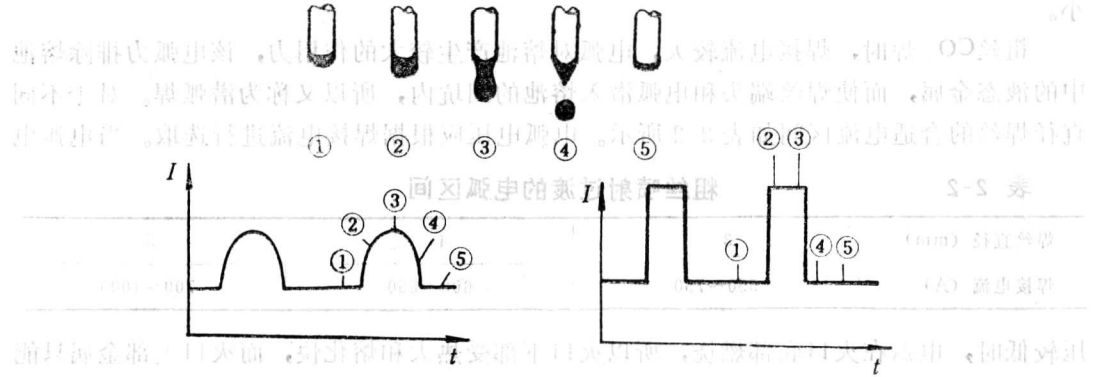


图 2-8 脉冲 MAG 焊时熔滴过渡形态

### 三、射流过渡

MAG焊时，当电流超过临界值以后，熔滴过渡形式将由射滴过渡转变为射流过渡。射流过渡时，电弧呈锥状，焊丝端头呈铅笔尖状，而熔滴尺寸小于焊丝直径，一般为焊丝直径的  $1/3 \sim 2/3$  左右。小熔滴从焊丝端头逐个脱落。熔滴过渡十分平稳，无飞溅，如图2-9a)所示。

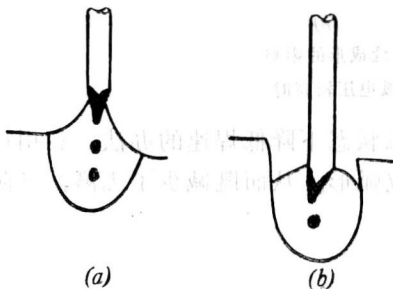


图 2-9 MAG焊和CO<sub>2</sub>焊的射流过渡时的形态

(a) MAG焊; (b) CO<sub>2</sub>焊

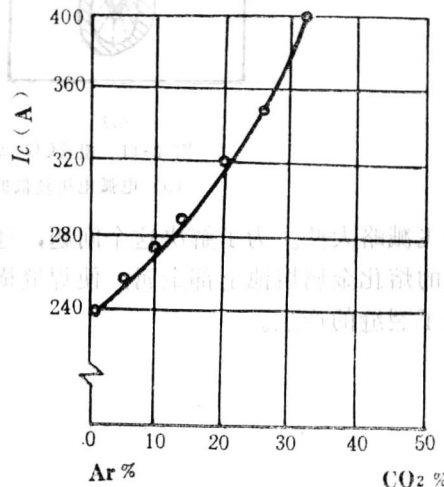


图 2-10 气体成分对射流过渡临界电流的影响

临界电流与气体成分有密切的关系。如图2-10所示，随着混合气体中CO<sub>2</sub>含量的增加，临界电流急剧增大。 $\phi 1.2\text{mm}$ 的H08Mn2Si焊丝的临界电流，在纯Ar时为240A；在

80%Ar—20%CO<sub>2</sub>时为320A；当CO<sub>2</sub>大于30%时，难以产生射流过渡。此外，临界电流还与焊丝直径、焊丝成分和焊丝干伸长等因素有关。

射流过渡时从焊丝端头向熔池方向有较强的等离子流力和小熔滴的冲击力作用，所以熔池金属受到较强的下掘力，而形成指状熔深。

CO<sub>2</sub>焊时在电弧电压较高的情况下，不能产生射流过渡形式。只有在粗焊丝(φ3~5)、大电流和低电压的条件下才能出现这种过渡形式，见图2-9(b)。这时熔滴以小于焊丝直径的细颗粒，高速通过电弧空间向熔池过渡。焊接过程平稳，不发生短路，飞溅也较小。

粗丝CO<sub>2</sub>焊时，焊接电流较大，电弧对熔池产生较大的作用力，该电弧力排除熔池中的液态金属，而使焊丝端头和电弧潜入熔池的凹坑内，所以又称为潜弧焊。对于不同直径焊丝的合适电流区间如表2-2所示。电弧电压应根据焊接电流进行选取。当电弧电

表 2-2 粗丝喷射过渡的电弧区间

焊丝直径 (mm)	3	4	5
焊接电流 (A)	550~750	600~850	700~1000

压较低时，电弧在火口底部燃烧，所以火口下部受热大和熔化快，而火口上部金属只能接受来自火口底部的反射等离子流的加热，则热量不足，而形成梨形焊缝如图2-11(a)所示。如果将电弧电压提高一些，使电弧露出工件表面2~3mm，那么焊缝成形将得到明显改善，成为较深的弧形熔深如图2-11(b)。前者通常容易引起裂纹，而后者却较好，

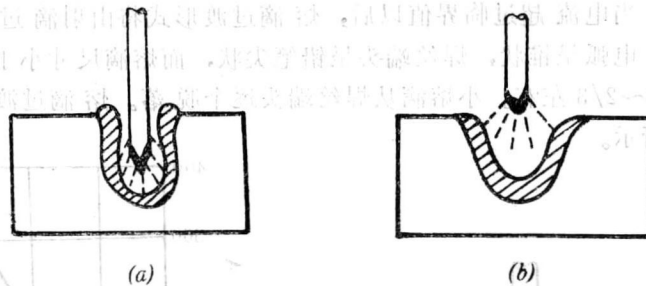


图 2-11 粗丝CO<sub>2</sub>焊时电弧下潜程度对焊缝成形的影响  
(a) 电弧电压较低时； (b) 电弧电压较高时

但飞溅略大些。为了解决这个问题，还可以采用在潜弧状态下降低焊速的办法，利用过热的熔化金属熔池上部金属，使焊缝横断面形状改善成弧形。从而既减少了飞溅，又防止了裂纹的产生。