

焊接手册是美国焊接学会编著和出版的专业手册，第七版共分五卷。本书是第一卷焊接基础，主要包括各种常用焊接方法；焊接物理、冶金和传热；焊接接头试验、焊接残余应力和变形三部分。第一部分是专为初次接触焊接的人员写的，属基础理论性介绍，其余两部分都是按系统的由浅入深的理论性介绍。

本书可供从事焊接工作的技术人员和大专院校焊接专业师生参考。

Welding Handbook

Seventh Edition, Volume 1

Fundamentals of Welding

1976 by American Welding Society

* * *

焊 接 手 册

第七版 第一卷

焊 接 基 础

[美] 美国焊接学会编

清华大学焊接教研组译

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本850×1168 1/32·印张11¹/₈·字数286千字

1985年10月重庆第一版·1985年10月重庆第一次印刷

印数 00,001—19,500·定价3.50元

*

统一书号: 15033·5829

目 录

出版者的话		氧气切割.....	38
新版前言		等离子弧切割.....	40
第一卷序言		空气碳弧切割.....	40
第一章 材料焊接与切割		激光切割.....	42
方法概述.....	1	补充阅读资料.....	43
引言.....	1	第二章 焊接物理.....	44
电弧焊.....	2	引言.....	44
手弧焊.....	2	焊接用的能源.....	49
埋弧焊.....	6	焊接的电能源.....	50
熔化极气体保护焊和药		焊接的化学能源.....	54
芯焊丝电弧焊.....	7	焊接的光学能源.....	58
钨极气体保护焊.....	12	焊接的机械能源.....	64
等离子弧焊.....	14	焊接的固态能源.....	67
电渣焊和气电立焊.....	15	电弧特性.....	69
电阻焊.....	18	定义.....	69
闪光焊.....	20	等离子体.....	70
气焊.....	22	温度.....	72
固态焊.....	24	辐射.....	73
扩散焊.....	24	电特性.....	74
摩擦焊.....	25	磁场对电弧的影响.....	76
电子束焊.....	26	金属过渡.....	79
激光焊.....	28	极性对氩气保护金属过	
硬钎焊.....	30	渡的影响.....	81
软钎焊.....	34	其他气体对金属过渡的	
粘接.....	36	影响.....	86
塑料焊接.....	37	短路过渡.....	86
热切割方法.....	38	熔化极脉冲电流过渡.....	87

埋弧过渡	88	响	118
药皮焊条过渡	89	板厚和焊缝几何形状的	
焊丝熔化率	90	影响	122
一般的控制参数	90	热学特性的影响	123
熔化极气体保护焊的焊		热影响区宽度的控制	124
丝熔化率	91	补充阅读资料	125
埋弧焊的焊丝熔化率	94	第四章 焊接冶金	126
手弧焊的焊丝熔化率	94	引言	126
金属和保护气体的物理性		一般冶金	126
能	95	金属的结构	126
电阻率	96	相变	130
热导率	96	形变及热处理的作用	134
膨胀系数	96	工业用合金综述	147
电离电位	98	焊接冶金	152
热电离功	99	何谓 Weld?	152
金属氧化物	99	焊缝金属	155
比热	100	热影响区	166
补充阅读资料	103	母材金属	174
第三章 焊接传热	104	小结	181
引言	104	焊接性试验	182
峰值温度	104	推理的试验	182
峰值温度公式	104	模拟试验	185
热影响区宽度的计算	107	实际焊接试验	185
冷却速度	109	钎焊冶金	189
厚板和薄板的冷却速度		补充阅读资料	193
公式	109	第五章 评定焊接接头	
预热温度和临界冷却速		的试验	194
度	111	引言	194
凝固速度	115	拉伸性能——强度和延	
枝晶间距的影响	115	性	195
线能量的影响	116	拉伸试验	195
典型焊接热循环	117	硬度试验	205
线能量和预热温度的影		恒载断裂试验	207

弯曲试验	210	变形	271
断裂韧性	214	引言	271
与断裂韧性有关的概念	215	残余应力的起因	274
线弹性断裂力学	220	宏观残余应力及微观残	
确定弹塑性、韧性的工程		余应力	274
方法	225	残余应力的形成	275
焊接接头的特殊问题	231	焊接时的热应力以及由	
焊接结构接头的疲劳性能	233	此引起的残余应力	279
疲劳现象介绍	234	焊件中的残余应力及反	
疲劳性能的测量	238	作用应力	281
试件	239	残余应力的影响	282
焊接接头的疲劳强度	241	拉伸应力下的断裂	282
疲劳试验资料总结	244	压缩加载下的挠曲	287
改进疲劳强度的技术	245	疲劳断裂	289
腐蚀疲劳	248	介质的影响	290
热疲劳	249	焊件中残余应力的测量	292
影响焊接接头试验和性能		测量残余应力方法的分	
的腐蚀因素	250	类	292
腐蚀类型	250	应力释放法测量残余应	
焊接接头的腐蚀试验	253	力	294
腐蚀焊件的评定	256	X 射线衍射法测量残余	
高温性能	257	应力	297
蠕变破裂现象	257	典型的焊接残余应力	299
试验方法	258	典型焊接接头中的残余	
试验报告和外推方法	258	应力分布	299
焊接接头缺陷	260	影响焊接接头中残余应	
焊接接头缺陷的种类	260	力的各种因素	300
缺陷对焊接接头使用性		焊接变形	304
能的影响	264	变形的基本类型	304
规范与标准	267	对接焊缝的横向收缩	305
参考文献	268	角焊缝的横向收缩	313
补充阅读资料	270	对接焊缝的纵向收缩	313
第六章 残余应力及		角焊缝的纵向收缩	313

对接接头的角度变化	315	矫正变形	327
角接头角度变化引起的变形	316	焊件的加热处理和机械处理	328
纵向收缩引起的弯曲变形	319	焊件加热处理和机械处理的理由	328
挠曲变形	320	常见的焊件加热处理	330
解决实际问题	321	锤击	334
减小残余应力和变形的设计和工艺措施	324	预应力处理	336
减小残余应力	324	振动消除应力	337
控制变形	325	参考文献	339
		补充阅读资料	341

第一章 材料焊接与切割方法概述

引 言

本章目的是向那些对感兴趣的工艺方法了解不多的读者介绍通用的、常见的焊接与切割方法，并提供选择与使用这些方法的一些知识。本章说明了各种方法的特点及优缺点，并在可以适用的范围内进行比较。结合各种可能用到的材料和厚度讨论了操作特点、电源要求、有关的焊接技能和成本等问题。但是，应该指出，本章介绍的资料是概括性的，不应作为各种特定应用场合下选择焊接方法的最终依据。在需要具体资料和数据时，读者必须查阅包括本章和本手册其它各卷所附录的资料。

由于电弧焊这类焊接方法在工业中应用最广泛，故予以重点介绍。本章讨论的其它熟悉和常用的焊接方法有气焊、电阻焊、闪光焊、硬钎焊和软钎焊。由于扩散焊、摩擦焊、电子束焊、激光焊以及粘接等在工业中的应用价值不断增长，所以也包括在本章内。至于超声波焊、爆炸焊和表面堆焊，尽管在极为专门的领域中还是重要的，但由于它们的应用范围很窄，故本章从略。最后，本章有一节涉及了热切割方法。此外，还包括了几种通用的金属切断和削除方法的说明。

很少有人能够成为使用所有方法的行家，而且大概也没有一个人曾有机会切割或焊接所有的当前通用的工程材料。所以，本章的目的是使读者熟悉现代的各种主要方法，以便能够考虑到那些被忽略的方法。

对任何特定的工作，通常都有几种方法可供采用。主要问题是选择一种在技术要求上和经济上最适宜的方法。但是，这两个方面也许不完全一致，因而不得不加以权衡。选择什么方法取决于被焊部件的数量、初始费用是否可行、接头位置、结构大小、

产品性能要求等。某一方法对操作位置或车间类型的适应程度，以及职工的经验和能力对最后选定也有影响。这些考虑因素将在有关的各种方法中提到。

本章正文中还补充了表 1.1（用于焊接）和表 1.2（用于切割）。表 1.1 内用“×”表示一般适用的方法、材料和厚度的组合。表中左栏列出了各种工程材料和四个随意选定的厚度范围。表的上部列出了工业上通用的主要方法。表 1.2 用类似的方式列出了切割方法，并指出了几种主要切割方法对不同材料的适用程度。但是，这两个表只能作为一般性的指导，对特定的情况，所推荐的组合不一定合适。不过，上面所说的情况仍可作为选择焊接或切割方法的参考。

电 弧 焊[⊖]

电弧焊一词适用于以电弧为热源来熔化和连接金属的一大批形式多样的焊接方法。利用电弧焊在金属间形成接头时，可以采用也可以不采用压力或填充金属[⊖]。

在工件和电极间引燃电弧，电极用手工或机械方式沿接头移动，或者电极保持固定而工件在其下方移动。电极可以是可熔化的焊丝或焊条，或者是不熔化的碳棒或钨棒。电极的作用是传导电流，并在其端部与工件之间维持电弧。当使用不熔化电极时，如果需要，可以另外补加焊条或焊丝作填充金属。但是，可熔化的电极则要专门制造以使它不仅传导电流并维持电弧，而且熔化后能够给接头补充金属，还可以产生熔渣覆盖层。

下面介绍主要的电弧焊方法及其特点。

手弧焊[⊖]

手弧焊是最古老的一种电弧焊。它也是一种最简单的和最通用的焊接黑色金属的方法。这种方法使用由焊芯和药皮组成的焊

⊖ 在第二章的“焊接电源”中也讨论了电弧焊。

⊖ 虽然电弧焊时一般不用压力，但螺柱焊是一种需要压力的电弧焊法。螺柱焊未包括在本章内，但已包括在第七版第二卷内。

⊖ 本版第二卷详细介绍了这一方法。

材 料	厚①	焊 接 方 法																							
		手	熔	极	气	药	等	电	气	电	闪	气	扩	摩	电	激	硬 钎 焊				软				
		理	化	性	体	心	离	渣	电	立	光	散	擦	束	光	火	炉	感	电	浸	红	扩	钎		
度	弧	射	潜	脉	短	丝	体	弧	焊	焊	焊	焊	焊	焊	焊	焊	焊	焊	焊	焊	焊	焊	焊		
钛及其合金	I																								
	II																								
	III																								
	IV																								
铜及其合金	I																								
	II																								
	III																								
	IV																								
镁及其合金	I																								
	II																								
	III																								
	IV																								
耐热合金	I																								
	II																								
	III																								
	IV																								

①厚度的符号 I: <3mm II: 3~6mm III: 6~19mm IV: >19mm

条。药皮是由硅酸盐粘结剂和粉状材料（如氟化物、碳酸盐、氧化物、金属合金和纤维素等）构成的粘土似的混合物，经过挤压和烘干而成的干硬的同心涂层。这种涂层能使电弧稳定、产生气体以隔绝空气、使焊缝合金化、以及产生保护并支托焊缝的熔渣。

焊条夹持在有电缆与电源相连的焊钳内。将焊条端部与工件接触然后拉开以引燃电弧。电弧热使附近区域内的母材金属、焊芯和焊条药皮熔化。由熔化的母材金属、焊芯和药皮内的金属粉

末所产生的合金凝固成为焊缝。

药皮焊条做成各种直径，一般为2~6mm。小直径焊条用于小电流下连接薄板和各种位置的焊接。大直径焊条能使用大电流，在平焊和横焊时可达较高的熔敷率。焊条制造厂可以方便地配制特定的合金化填充金属成分。

手弧焊有不少优点。修配车间在采用这种方法时，依靠他们的才智，只要不多的若干种焊条就能解决大部分的焊接问题。另外，还有设备简易和轻便的优点。

一般需要的全部器材不过是一台交流或直流电源、电缆和一把焊钳。电源可以接在10kW或更小的输电线路，或者在有移动要求时使用汽油发动机带动的电源。此外，无论空间大小和距离动力电源远近都可以焊接。正因为如此，手弧焊在结构、管线、造船工业中长期占据着统治地位。在维修和野外作业中普遍使用的都是些简单而轻便的工夹具。

生产上使用的成套设备的总费用可略低于500美元到略高于1000美元[⊖]，不过轻便汽油发动机驱动的装置要贵得多。

有些厚药皮焊条，由于它们可以与板件接触，所以很容易进行平焊和横焊。大量的焊缝金属是由技术比较低的装焊工熔敷的。全位置焊接用的焊条必须由熟练焊工使用，否则会降低焊缝质量和致密性。这样的技能是不能很快训练出来的，而且也并非所有的焊工都能具有满足各种位置焊接的手工技巧。由于电源非常简单可靠，焊钳则只不过比一副钳子稍微复杂一点，所以设备的成本费和维修费都很低。

适于手弧焊的金属厚度范围很广，但最适宜的厚度一般为3~19mm。然而，尽管其它焊接位置的熔敷率较低，对于不能平焊和横焊的厚板构件常常还是采用手弧焊。小于3mm的板件也能焊接，但随着厚度变薄，要求焊工的技能就高了。厚板的对接接头一般要开坡口，以便焊条能较好地接近根部。角焊缝较容易焊，采用厚药皮焊条焊接时更是如此。表面堆焊是手弧焊常见的一种应用。

⊖ 手弧焊及其它所有的电弧焊方法的费用资料均按1974年价格计算。

手弧焊使用的电流范围一般为 50~300A。有些特种焊条的电流可高达 600A，也有的可以低到 30A，这就使焊缝金属的熔敷速度范围扩大到 1~8kg/h。平焊时，每人每小时可熔敷 4.5kg。但全位置焊接时，采用的焊条直径较小，电流较低，而且必须做大量的运条操作，一般每个焊工每天能熔敷焊条不超过 3.6~4.5kg。每道焊接之后，还需要清理焊接接头上的渣层。结果，工时费用就很高。由于熔敷的填充金属不到所用焊条重量的 60%，所以材料费用也很高。然而，尽管有这些缺点，由于手弧焊简单、灵活，广大焊工和技术人员因对它比较适应又有长期的经验，所以，手弧焊仍然占有很大的比重。

埋弧焊[⊖]

埋弧焊时，电弧和熔化金属被熔化的焊剂和未熔化的颗粒状焊剂层覆盖。引弧后，连续送进的焊丝的端部被埋在焊剂之内，所以电弧是看不见的。焊接时没有明弧焊所特有的那种强烈的辐射，而且烟尘较少。

埋弧焊可用机械化方式进行，也可用半自动化方式进行，但前者的应用要多得多。它可以使用很大的焊接电流，故熔敷率高而工时费用低，可以大大降低成本。但它只能用于平焊和横焊。

机械化的设备使用 600~2000A 的电源、自动送丝和控制装置，以及一套用以移动电弧的四轮小车或夹具。主电路由标准的三相初级电网供电。当需要单相时，一般取自三相网路中的一相。采用三相 220/440V 和单相 440V 电源系统。

虽然有的焊接设备低于 2000 美元，但多数单丝机械化焊机的价格在 2000~10000 美元之间。多丝焊机和固定在大型装置上的焊机价格有可能超过 50000 美元。

采用机械化设备时，经过训练的焊工只要很低的技巧便可获得稳定的焊缝质量。半自动焊机也很容易掌握。焊工不受焊接烟尘的干扰，也没有防护面罩和防护服装的累赘。

⊖ 本版第二卷将详细介绍埋弧焊。

无论薄板或厚板都可采用埋弧焊。焊接薄板时，焊速可达84mm/s。焊接厚板时，优点是熔敷率较高（27~45kg/h）和质量可靠。

埋弧焊可用于焊接多种形式的接头。采用直流反接的方法能得到较大的接头熔深，所以需要开的坡口最小。为了最大限度地利用埋弧焊的优点和尽量减少烧穿，接头组装始终要严密无缝。对于装配较差的接头，有效的办法是在埋弧焊之前先用手弧焊或熔化极气体保护焊打底。接头还可用扁铜条、焊剂、各类衬带或整体式钢制件作为衬垫。

埋弧焊广泛应用于焊接各种碳钢、低合金钢及合金钢。不锈钢和部分镍基合金也可以用这种方法有效地焊接，或利用此法堆焊合金。为了得到一定的焊缝金属性能以满足预期的使用要求，可以选用不同的填充金属与焊剂的组合。焊剂中可以加入大量的合金元素。每使用一公斤焊丝大约需要熔化一公斤焊剂。

如果某种产品要求多次重复焊接，要求尽可能高的燃弧时间百分比，和要求稳定的焊接质量，那么机械化焊接就比较适用，因而应考虑采用埋弧焊。一般说来，如果某种工件适宜于埋弧焊，那么，从与成本有关的那些因素如焊接速度、材料、设备费用以及可靠性等来看，这种方法是最便宜的。

熔化极气体保护焊和药芯焊丝电弧焊[⊖]

美国焊接学会把熔化极气体保护焊和药芯焊丝电弧焊当成两种方法，但由于在应用和设备方面它们之间有许多类似之处，所以放在一起讨论是有好处的。这两种方法都以连续的实心焊丝或管状填充金属作为焊缝金属的来源和电弧的电极之一，并且都用气体来保护电弧和焊缝金属。但是，在熔化极气体保护焊时，焊丝是实心的，保护气体全部从外部供给。采用药芯焊丝电弧焊时，焊丝是管状的，而且可以产生所需的部分或全部保护气体。根据所用的焊丝类型、被焊材料种类以及有关的焊接特点，药芯焊

⊖ 熔化极气体保护焊和药芯焊丝电弧焊在本版第二卷中将作详细介绍。

丝电弧焊可以采用辅助性保护气体。美国机械工程学会锅炉和压力容器法规把采用保护气体的药芯焊丝电弧焊看作是熔化极气体保护焊。

这两种方法所用的保护气体都具有保护电弧和焊接区免受空气污染，并保证必要的电弧特性的双重作用。根据金属的活泼程度和所焊接头的特点采用不同的气体。为了扩大这两种方法的适应能力，还研制了各种电源。

各种熔化极气体保护焊 熔化极气体保护焊时，使用不同的保护气体、电源和焊丝，便能形成各种重要的焊接方法。这些不同的焊接方法可按保护气体的性质划分为：氩弧焊——气体是惰性的，可用于焊接所有金属；二氧化碳焊——气体是氧化性的，或者是氧化性和碳化性的。也可以按金属从焊丝到工件的过渡形态[⊖]划分为：喷射过渡焊，潜弧焊，脉冲电弧焊和短路过渡焊。前两种需要大电流，而后两种通常采用较小的平均电流。喷射过渡焊和脉冲电弧焊要用富氩混合气，潜弧焊和短路过渡焊要用二氧化碳或含有二氧化碳的混合气体。

各种熔化极气体保护焊，作为一个大类，可用于焊接任何形式的接头、任何位置的任何金属。但是，作为单独的每一种方法，又都有一定的优缺点。

喷射过渡焊 在电弧焊中，喷射过渡是一种独特的过渡形式，它以每秒数百个细小金属熔滴的速度作轴向过渡。必须用氩或富氩混合气体来保护电弧。一般总是用直流反接，而且电流必须高于一个临界值，此值与焊丝直径成比例关系。金属过渡非常稳定并有方向性，几乎无飞溅。

焊接铝、钛和镁等活性金属时，采用氩或氩-氦混合气。但焊接黑色金属时，为了避免咬边和产生不规则的焊缝，需要往这些混合气中加少量的氧或二氧化碳。可惜喷射过渡的电弧能量较大，因此这种方法在焊接薄板及立焊和仰焊钢板方面的应用受到

⊖ 有关金属过渡的详细说明参见第二章。

了限制。然而，这种方法已广泛地用来焊接处于平焊和横焊位置的几乎所有的金属和合金，包括铝、钛和镁等活性金属。这些材料中有的是无法用那些没有惰性气体保护的方法焊接的。

潜弧焊 潜弧焊时，用富二氧化碳气体保护电弧和焊接区。采用这种气体在任何大小电流下都得不到喷射过渡。相反，它实质上是滴状过渡，而且由于电弧吹力和不可控制的短路，即便电弧潜入弧坑，产生的飞溅仍相当可观。

二氧化碳是活性气体，故只能用于那些只需适当加以合金化便能耐受氧化性气氛的钢，以及那些无需象低碳不锈钢那样要求基本上不含碳的钢。不过，潜弧焊的焊接速度比用氩气时高得多。因此，对于象汽车工业中常见的许多机械化操作或重复性的手工操作，它就显得效率高，而且比较便宜。由于采用较大的电流，所以电弧穿透力也大。

脉冲电弧焊 如果把间断的、高幅值的脉冲电流叠加在低值的稳定电流上，平均电流便可大为降低，但却能在脉冲期产生金属喷射过渡。为了达到喷射过渡，必须用富氩气体。采用专用电源产生的这种金属过渡是脉冲电弧焊的特点。使用这种电弧焊时，能够用较大直径的焊丝在各种位置来焊接薄板和厚板，并且能够焊接多种母材金属。

焊工需要经过更多的训练，以便能够正确地使用电源。而且，在各种位置焊接时，为了得到脉冲焊所能达到的焊缝质量，对焊工的技术要求比在平焊位置的喷射过渡焊时要高。

短路过渡焊 不管是喷射过渡焊还是潜弧焊都要用较大的电流，这就限制了它们的应用。这两种方法，由于电弧熔透太深，都不能用于薄板焊接，而且熔敷速度太高，以致无法控制立焊和仰焊位置的焊接熔池。然而，短路过渡焊时，可以通过使用适当的电源来降低平均电流和熔敷速度，此时电源可以使熔滴只在可控的短路期间过渡，熔滴的过渡速度为每秒50次以上。可以用短路过渡焊在各种位置焊接薄板件。这种焊接方法的优点是使用非常方便，其不足是线能量较低，在焊接截面厚度超过6mm的板件

时，会产生未完全熔合缺陷。在焊接较厚截面时，焊接操作技术是非常重要的。

药芯焊丝电弧焊 药芯焊丝电弧焊时采用空心焊丝代替实心焊丝来焊接黑色金属。药芯中的矿物质和铁合金能提供额外的保护和改善焊缝成形。很多药芯焊丝是与富二氧化碳气体配合使用的，可以用较大的熔敷速度。而且，与实心焊丝相比，不管用什么样的保护气体都可以得到较大的和成形较好的焊缝。

另一类药芯焊丝是“自保护”式的。这种焊丝能自己产生保护气氛，无需外加气源。有保护气体的药芯焊丝的焊缝韧性一般比自保护的要高，并且在所有位置都易于使用。通过调节药芯内的可电离材料的办法，此法既能用于直流反接，又能用于直流正接。自保护焊丝可以在有风处使用，而且由于保护气流被吹离电弧而造成的影响极小。在工业应用中，自保护药芯焊丝电弧焊用的焊丝有低碳钢、奥氏体不锈钢和镍铁合金等。

设备要求 各种熔化极气体保护焊和药芯焊丝电弧焊，除了个别例外，都采用相似的设备。这些设备有如下各项：

(1) 一个速度可变的电动机和电动机调节器用来驱动送丝滚轮，按预调的均匀速度送进焊丝。

(2) 一把装有“扳机”的焊枪，用来接通或停止输送焊丝、保护气、电弧电流以及冷却焊嘴用的水流（如采用冷却时）；一个使保护气体对准电弧和熔池（自保护药芯焊丝电弧焊除外）的喷嘴；一个与喷嘴同轴并使焊接电流通到焊丝的导电嘴和一整套用以输送焊丝、气体、电流和水流的电缆、软管、电线接头、外壳等。

(3) 一只焊丝盘及其托架。

(4) 使整机工作的控制箱，包括各种继电器、线圈及定时器等。

(5) 保护气瓶及气体流量计。

(6) 焊接电源。

(7) 冷却水源。

上述设备可用于半自动焊，或装在装置上用于机械化或自动化焊接。设备费用有高有低，一般为1000~2000美元。脉冲电弧焊电源比普通电源贵，从而使脉冲电弧焊设备费用稍高于2000美元。需要的功率，短路过渡焊时为2kW，高熔敷率的药芯焊丝电弧焊时为20kW。

与手弧焊比，这种焊接方法的操作技术要求比较低。如果焊接工作的重复性很高，而且设备控制是预先调好的，那么只需要对焊工进行短期的训练。各种位置的短路过渡焊都相当容易掌握。药芯焊丝电弧焊要求的操作技术高一些，特别是在焊接立焊缝和仰焊缝时。焊接立焊缝时，这种方法的熔敷率可大于2kg/h。喷射过渡焊和脉冲电弧焊比较难于掌握，因为电弧长度要控制得合适，才能得到最好的结果。正如所有的工作一样，必须很了解这种焊接方法的设备和工艺，才有可能成为最熟练的焊工。而为获得这些知识则需要花时间进行培训。

为了确保气路清洁和导电嘴不致磨坏，要有适当的定期检修。送丝机构和控制装置都是不复杂的电气机械装置，所以十分可靠，维修技术容易掌握。

如表1.1所示，可以焊接的接头厚度取决于所用的方法。对于厚度小于6mm有根部间隙的黑色金属接头，在各种位置上进行焊接时，短路过渡焊几乎都是理想的焊接方法（这种方法还可用于极少数其它材料）。脉冲电弧焊可以在各种位置焊接各种金属的1mm薄板，也可以焊接大截面厚板。潜弧焊和喷射过渡焊则只限于钢的平焊和横焊。可以在各种位置用喷射过渡焊和脉冲电弧焊焊接铝合金。直径1.6mm的药芯焊丝最常用于各种位置的黑色金属焊接。更大直径的焊丝，主要是2.4mm的焊丝则只用于平焊和横焊。

如果焊接方法和焊接参数选择适当，那么各种形式的接头都可以用这些方法焊接。I形坡口对接接头或搭接接头的厚度很少超过5mm，更大厚度的对接接头则需要开坡口。角焊缝很容易焊接。堆焊，尤其是采用机械化设备的堆焊，用得很普遍。

熔敷率的高低变化很大，这取决于金属的过渡形式。短路过渡焊时为0.5kg/h，药芯焊丝电弧焊时则超过13kg/h。

总之，在所有采用填充金属的焊接方法中，熔化极气体保护焊和药芯焊丝电弧焊的费用最省，熔敷效率最高，实心焊丝时接近于95~100%（取决于保护气体），药芯焊丝气体保护焊时为85~90%，自保护药芯焊丝时为80~85%。无论是熔化极气体保护焊还是药芯焊丝电弧焊时，焊工都可以连续工作，因为焊丝是连续送进的，只是在焊工疲劳或改变焊接位置时才需要中断电弧。这些焊接方法的应用已有显著的增长，并且将继续是一种在工业上具有重要意义的焊接方法。

钨极气体保护焊

钨极气体保护焊用一个不熔化的钨棒作为电弧电极，电弧用惰性气体保护。电弧将被焊金属及填充金属（如果使用填充金属时）熔化。保护气体用来保护电极和熔池，并提供所需的电弧特性。

这种方法既可用直流正接，也可用交流。一般说来，焊接铝、镁及其合金以及某些牌号的不锈钢时最好采用交流。焊接大多数其它材料时和厚铝板自动焊时，最好采用直流正接。焊接薄镁板时，有时用直流反接。

在用氩气保护交流焊接时，当钨极为正极的半波时，会在工件表面产生电弧净化作用。这种净化作用能去除污物，对减少铝的横焊和仰焊时的焊缝气孔特别有利。当用直流时，可以选用氩为保护气体，因为氩可以产生熔透能力较强的电弧，但用氩气保护时需事先对铝和镁工件进行严格的清理。采用氩和氦的混合气体保护时则兼有这两种气体的某些优点。

不论采用哪种极性，都需要用恒流（垂直伏安特性）的焊接电源。此外，钨极气体保护焊电源内一般还配有高频振荡器。采用直流焊接时，可以用高频引弧来代替接触式引弧，这样能减少钨极造成的污染。电弧引燃后，高频振荡器便自行断开。使用交流时，采用高频引燃电弧，并用以保证在焊接过程中每半个周期