

氩弧焊接培训教材

《氩弧焊接培训教材》编写组

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是为了推广氩弧焊接技术，加强对焊工的培训，提高焊工的技术水平，根据焊工的“应知应会”要求编写的。本书的内容包括：氩弧焊的特点及其应用情况；氩弧焊的设备、工具和材料；管道、铝母线的氩弧焊接技术；焊工的技术考核办法；焊缝质量的检验标准；焊接安全技术等。

本书可作为氩弧焊工的培训教材和焊工自学用书。

氩弧焊接培训教材

《氩弧焊接培训教材》编写组

*

水利电力出版社出版

(北京二里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 4.75印张 101千字

1985年2月第一版 1985年2月北京第一次印刷

印数00001—14600册 定价0.90元

书号 15143·5597

目 录

前 言

第一章 氩弧焊的特点及其应用	1
第一节 氩弧焊的优越性和分类	1
一、什么是氩弧焊(1) 二、氩弧焊的优越性(1)	
三、氩弧焊的分类(3)	
第二节 氩弧焊电弧燃烧的机理	4
一、焊接电弧的形成(4) 二、焊接电弧的引燃条件(5)	
三、焊接电弧的静特性(8) 四、氩气对电弧燃烧的影响(11)	
第三节 氩弧焊的特点	11
一、钨极氩弧焊的特点(11) 二、熔化极氩弧焊的特点(12)	
三、脉冲氩弧焊的特点(12)	
第四节 氩弧焊的应用	15
一、简介(15) 二、应用(16)	
思考题	16
第二章 氩弧焊的设备、工具和材料	17
第一节 焊接电源	17
一、焊接电源的分类(17) 二、常用氩弧焊机的型号及技术规范(18)	
三、对焊接电源的要求(20) 四、焊接电源的外特性(20)	
五、引弧装置(23) 六、稳弧装置(24)	
七、消除交流电弧直流分量的措施(24) 八、焊接电源的选用(25)	
九、控制系统(26) 十、氩弧焊电源的工作实例(28)	
第二节 氩弧焊接用工具	29
一、氩气减压器(29) 二、氩气流流量计(29)	
三、电磁气阀(29) 四、水压开关(29)	
五、氩弧焊枪(32)	

第三节	氩弧焊接用的焊接材料	36
一、	氩气(36)	
二、	钨棒(39)	
三、	焊丝(43)	
思考题		51
第三章	管道钨极氩弧焊工艺	53
第一节	主要设备、器具的选择	53
一、	市售直流钨极氩弧焊设备(53)	
二、	简易直流钨极氩弧焊设备(56)	
第二节	管道焊口手工钨极氩弧焊打底操作技术	57
一、	焊枪握法和运弧动作(58)	
二、	起弧、收弧和接头(58)	
三、	送丝动作(59)	
四、	操作方法及其选择(60)	
五、	困难位置的焊接(63)	
第三节	管道氩弧焊打底工艺	66
一、	焊前清理(67)	
二、	气体的保护效果(67)	
三、	焊接规范的选择(70)	
四、	其它注意事项(73)	
思考题		75
第四章	铝母线氩弧焊接	76
第一节	概述	76
一、	材料性质(76)	
二、	连接要求(78)	
三、	焊接特点(80)	
第二节	铝母线手工钨极氩弧焊	83
一、	电源(83)	
二、	钨极(83)	
三、	焊丝(84)	
四、	对口型式(86)	
五、	焊前清洗(86)	
六、	预热(88)	
七、	焊接规范(89)	
八、	操作技术(89)	
九、	实例(94)	
第三节	铝母线半自动熔化极脉冲氩弧焊	98
一、	基本原理(98)	
二、	焊接特点(100)	
三、	焊接工艺(102)	
四、	管型铝母线焊接实例(103)	
思考题		108
第五章	焊工技术考核	103
第一节	考核要求	109
一、	管道焊工的考核(109)	
二、	管道氩弧焊打底焊工的考	

核(110) 三、母线焊工的考核(110) 四、申请考核的焊工资格(110)	
第二节 焊工考核的内容	111
一、理论知识考核的内容(111) 二、钢材焊工操作技术考核的内容(111) 三、母线焊工操作技术考核的内容(116)	
第三节 焊接接头检验项目、数量及试样规格	116
一、检验项目及数量(117) 二、试样的切取部位(117)	
三、试样的规格(117)	
第四节 考核的质量标准	121
一、钢材焊工考核的质量标准(121) 二、母线焊工考核的质量标准(123)	
思考题	125
第六章 焊缝质量标准	126
第一节 焊接接头的检查方法、范围及数量	126
一、锅炉受热面管子焊缝的割样和代样(126) 二、锅炉本体管道焊缝的代样(128)	
第二节 母线焊接接头的检查方法及质量标准	131
一、检查方法(131) 二、质量标准(131)	
第三节 钢材焊接接头的质量标准	132
一、外观检查(132) 二、机械性能试验(132) 三、折断面和金相宏观检验(132) 四、金相微观检验(132) 五、焊缝热处理后的硬度标准(132) 六、无损探伤标准(134)	
思考题	135
第七章 焊接安全工作	136
第一节 氩弧焊的安全工作	136
一、氩弧焊的安全卫生要求(136) 二、安全防护措施(137)	
第二节 焊接安全用电	138
一、触电事故的原因(138) 二、防止触电事故的措施(139)	
思考题	139
附录 常用规程、规范、标准的目录	140

第一章 氩弧焊的特点及其应用

二十世纪三十年代以来，随着世界各国的国防、航空和化学等工业的迅猛发展，铜、铝、镁、钛等有色金属及其合金以及高合金钢的大量使用氩弧焊的焊接技术得到了迅速发展。

我国在五十年代就开始应用氩弧焊。虽然该法的技术先进，又是焊接有色金属和高合金钢的理想工艺方法，但由于所用的焊接设备和焊接材料（氩气和钨棒）价格昂贵，在很长一段时期里只局限于某些工业部门中使用。

近年来，随着我国国民经济的发展，氩弧焊在许多工业部门逐步得到推广，并向机械化和自动化方向迅速发展。

本章主要介绍氩弧焊的特点、分类，氩弧燃烧的机理，以及氩弧焊的应用。

第一节 氩弧焊的优越性和分类

一、什么是氩弧焊

所谓氩弧焊，实质上就是利用氩气作保护介质的一种电弧焊接方法。它的特点是利用氩气在焊接区造成一个厚而密闭的气体保护罩，以免熔化金属遭受外界大气的侵入和氧化。

二、氩弧焊的优越性

氩弧焊与手工电弧焊（以下简称电焊）相比，具有更多

的优越性。

(1) 保护气流有力而稳定：氩弧焊用的氩气具有一定压力，从焊枪的喷嘴里直接以层流方式喷出，具有一定的挺度，因此对熔池金属的保护能力强而稳定。而电焊时，燃烧所生成的保护气体则是由药皮中自然逸散出来的，受到外界因素的干扰时，就会使熔池暴露在大气之中。

(2) 无激烈的化学反应：氩气是一种单原子惰性气体，高温下不分解，不与焊缝金属发生化学反应，也不溶入液态金属之中。焊接时，熔池较为安静，没有大的飞溅现象，母材的金属元素烧损量很小，焊缝内部不易产生气孔等缺陷。而电焊时，在电弧力的搅拌下，进入熔池中的熔渣与液态金属发生剧烈的金属—渣系—气相之间的化学反应，通过这种化学反应来净化焊缝，但这种强行净化方式是不够完全的，或多或少有一些渣物或有害气体残留在焊缝中，影响焊接质量。

(3) 电弧热量集中：电弧弧柱在氩气流的作用下产生压缩效应和冷却，使热量集中；加之单原子氩气本身无二次吸热分解反应和具有导热能力差的性能，电弧热量散失少，弧柱中心温度可达10000K以上。而电焊时，空气受热后分子发生分解，吸收大量的热量；同时空气对电弧没有压缩效应，故弧柱的温度一般只在6000K左右。

(4) 焊缝表面无焊渣：氩气既不参与冶金反应，也无造渣过程，只起单纯的保护熔池作用，故焊缝表面很洁净，成型美观。而电焊时，焊缝的表面覆盖了一层很厚的焊渣，虽然这层焊渣能起到保温、缓冷焊缝的作用，但却增加了清理焊缝的工序；尤其是管道焊缝内壁上的焊渣，不但难以清除，而且还影响流体介质的流速和品质，有时还由此而损伤

运行设备或堵塞管子通道，发生爆管事故。

(5) 热影响区窄，焊件变形小：由于氩弧焊的弧柱被压缩，热量集中，温度高，焊接速度较快，相应地母材受热程度低，在近缝区形成的热影响区较窄，因而焊件受热所引起的变形较小。而电焊时，焊件的受热面积较大，熔池宽而长，加之焊接速度慢，故热影响区较宽，焊件的变形较大。

(6) 操作技术易于掌握：氩弧焊是一种明弧焊法，电弧、熔池的可见性好；焊接时又无复杂的冶金过程，所以操作技术易于掌握。而电焊则相反，特别是管道对接的根层焊缝打底工艺，技术难度更大。

(7) 其它优点：氩弧焊对各种焊接条件的适应性较强（如能焊接各种有色金属和合金钢），适于各种空间位置的焊接，易于实现半自动化和自动化的焊接，生产效率较高。

三、氩弧焊的分类

按使用电极的类别不同，氩弧焊可分为非熔化极和熔化极两类。

1. 非熔化极氩弧焊

氩弧焊接用的电极是采用高熔点的金属制成，在电弧热的作用下，电极本身既不熔化，也不蒸发，故称为非熔化极氩弧焊。由于钨金属的熔点和沸点均高于其它金属材料（见表1-1），故多采用钨作电极，称为钨极氩弧焊（见图1-1a）。非熔化极氩弧焊一般以TIG表示。

钨极氩弧焊按其操作方式的不同可分为手工和自动两种。手工钨极氩弧焊应用最为广泛，可以用来焊接各种钢材和有色金属。自动钨极氩弧焊目前正处于发展阶段。

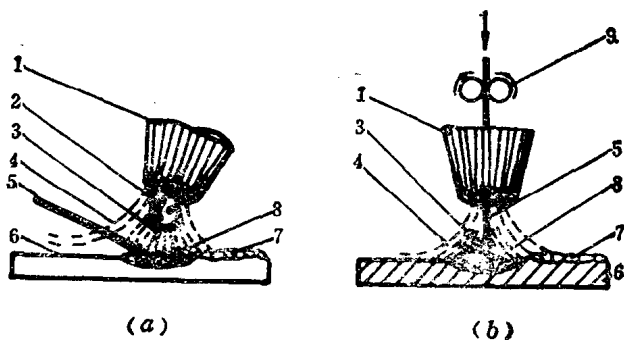


图 1-1 氩弧焊示意图

(a) 钨极氩弧焊; (b) 熔化极氩弧焊

1—喷嘴; 2—钨极; 3—电弧; 4—氩气流; 5—焊丝; 6—焊件;
7—焊缝; 8—熔池; 9—送丝滚轮

2. 熔化极氩弧焊

采用与母材金属相当的盘状金属焊丝作电极, 在电弧热的作用下, 电极随着焊接过程而逐渐熔化, 并以熔滴方式过渡到熔池中去, 故称为熔化极氩弧焊, 又称为金属极氩弧焊 (见图1-1b)。熔化极氩弧焊一般以MIG表示。

熔化极氩弧焊按其操作方式的不同可分为半自动和自动两种。

如果在钨极氩弧焊或熔化极氩弧焊的电源中加入脉冲装置, 使焊接电流发生不均匀而有规则的变化时, 即可获得脉冲电流。用脉冲电流进行氩弧焊称为脉冲氩弧焊, 通常用来焊接薄的工件和用于管道全位置自动焊。

第二节 氩弧焊电弧燃烧的机理

一、焊接电弧的形成

焊接时, 在两电极之间通过空气的电离, 产生连续持久

而强烈的放电过程，空气因电离而变成良好的导体，因而产生电弧。

二、焊接电弧的引燃条件

焊接电弧的引燃以及维持电弧连续燃烧的条件，主要取决于电极发射电子的能力强弱和气体被电离的难易程度。

1. 电极发射电子的能力

(1) 电极的逸出功和沸点 金属是由原子组成的，这些原子都是以离子的金属键按一定的规则排列，而自由电子始终不断地在正离子间运动。金属表面的自由电子在原子核的引力下，被束缚在金属内部而无法逸出。

当两极间施加一定电压后，阴极表面的电子便在电场力的作用下脱离出来。这种电子由阴极表面脱出的过程，即为电极发射电子的过程。使得电子从阴极表面逸出所需要的能量叫逸出功。逸出功的大小以“电子伏特”(eV)为度量单位，即一个电子通过电位差为1伏特的电场时，所获得的或消耗的能量就是1电子伏特。

不同的金属材料有不同的逸出功(见表1-1)，因此不同的金属材料电子发射能力也有所不同。逸出功越高，需要供给的能量越大，即越不易发射电子(如钨等)；反之，逸

表 1-1 常见元素的逸出功和沸点

元 素 名 称	铯	钾	钠	钍	镁	铝	碳	铁	钨
	(Cs)	(K)	(Na)	(Th)	(Mg)	(Al)	(C)	(Fe)	(W)
逸出功(电子伏特)	1.94	2.02	2.30	3.38	3.74	3.95	4.40	4.48	4.54
熔点(°C)	28.6	63.2	97.8	1695	650	660.1	3727	1537	3380
沸点(°C)	685	765	89.2	4200	1108	2500	4830	2930	5900

出功越低，需要供给的能量越小，即越容易发射电子（如铯等）。

电极发射电子的能力除决定于金属本身所具有的逸出功之外，还与电极材料的熔点和沸点（特别是沸点）有关。焊接时，两极表面的斑点温度均接近电极的临界温度——沸点。从表1-1中可以看出，各种金属都具有各自的熔点和沸点。不同的沸点，发射电子的能力也就有所不同。例如铁和钨两者的逸出功大致相等，但由于铁的熔点和沸点远低于钨，当铁开始熔化和蒸发时，继续增加能量，铁发射电子的能力已不会继续增加，所以铁发射电子的能力较弱，而钨则不同，其熔点和沸点高，当达到铁的熔化或蒸发温度时，钨还远没有熔化或蒸发，所以继续增加能量，还能不断提高钨发射电子的能力。

（2）电极发射电子的形式 根据能量的来源不同，电极发射电子的形式也不同，一般有热发射、强电场发射、光发射和撞击发射四种。在焊接过程中，这四种发射电子的形式均存在，但热发射和强电场发射是主要形式。如果电极材料的类别不同，两者的作用也不同。例如以铝金属丝为电极，由于它的熔点和沸点低，故只得依靠强电场的作用来发射电子；如以钨金属棒为电极，由于它的熔点和沸点高，故主要以热发射电子为主，其它发射电子形式为辅。

（3）阳极在电弧中的作用 阳极本身既不发射电子，也不能放出正离子。它在电弧中起到排斥弧柱中的正离子作用，即正离子在阳极作用下，向阴极方向运动；同时阳极还接受由阴极发射出来的电子了。靠近阳极附近，积聚了大量的电子，密度很高，形成了一个带负电性的空间电荷，与阳极的正电荷构成一个较强的电场。

2. 气体的电离程度

(1) 气体的电离电位 气体被电离的难易程度主要取决于各种气体(包括金属蒸汽)所具有的电离电位。所谓电离电位,就是使气体原子的外层电子脱离原子核的作用而电离所需要的最小能量。其单位为电子伏特。

空气是由氧、氮等一些气体以混合状态弥散于地球空间。当两极间的空气发生放电时,有的气体易电离,首先成为导体;有的气体难电离,只能借助电弧热的作用才发生电离。这种现象说明不同气体具有不同的电离电位,因此被电离的难易程度也有所不同(见表1-2)。电离电位越高,需要的能量也就越大,即难于电离,不易引燃电弧。反之亦然。

从表1-2可看出,碱金属(如钾、钠)和碱土金属(如钙)的电离电位较低,而气体的电离电位均较高,特别是惰性气体(如氦、氩),电离电位更高。

表 1-2 常见元素的电离电位(电子伏特)

元素名称	电离电位	元素名称	电离电位	元素名称	电离电位
钾(K)	4.33	锰(Mn)	7.40	氢(H)	13.50
钠(Na)	5.11	镍(Ni)	7.64	氧(O)	13.60
铝(Al)	5.95	铜(Cu)	7.70	二氧化碳(CO ₂)	14.30
钙(Ca)	6.10	铁(Fe)	7.83	氮(N)	14.50
铬(Cr)	6.74	硅(Si)	7.93	氩(Ar)	15.70
钛(Ti)	6.80	碳(C)	11.22	氟(F)	16.90
钼(Mo)	7.35	氯(Cl)	13.00	氦(He)	24.50

(2) 气体电离的形式 气体电离的形式通常有热电离、撞击电离和光电离三种。在焊接弧柱中,上述三种形式

均存在，其中热电离和撞击电离是主要形式，光电离一般很弱。

三、焊接电弧的静特性

1. 什么是电弧的静特性

电弧长度一定时，电弧电压与通过电弧空间的电流之间的关系叫电弧的静特性。

2. 电弧静特性曲线的建立

前已提到阴极表面发射电子的能力和气体被电离的难易程度，主要取决于电极和气体介质所具有的逸出功和电离电位。电弧引燃后，通过电弧空间的电流大小和产生的热量便对阴极发射电子和气体电离起着增强作用，同时气体反复进行着离解和复合的过程，因此电弧电压和电流不是呈线性关系，而是按图1-2曲线变化。此曲线称为电弧的静特性曲线。

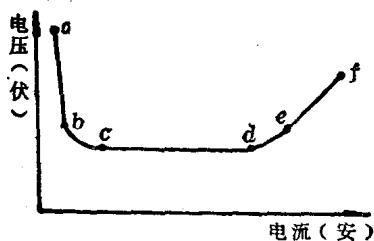


图 1-2 电弧静特性曲线

它基本上分为五个区段：

(1) $a-b$ 区段 a 点电压为焊接电源的起始引弧电压，此时通过弧柱的电流很小，随着电流的增加，气体介质迅速电离，弧柱的电阻值降

低，电流的增长比弧柱截面积的扩大要慢，所以通过弧柱的电流密度降低，电弧电压迅速下降，从而形成 $a-b$ 区段的陡降曲线。

(2) $b-c$ 区段 通过弧柱的电流进一步增加，气体被电离的范围扩大，但弧柱截面积增大较慢，使得电流密度的下

降和弧柱的电阻值下降的幅度愈来愈小，所以由**b**点开始，电弧电压随电流增加而下降的趋势逐渐缓和，到达**c**点，电弧电压便稳定下来。

在**a-b**和**b-c**两个区段中，两电极表面均不出现熔融现象，实际电弧只以闪烁形态出现，见图1-3a。

(3) **c-d**区段 在**c-d**区段里，随着电流的增加，阴极斑点和等离子弧区成比例地扩大，通过弧柱的电流密度和弧柱的电阻值基本不变，电流增加所获得的能量基本上消耗在弧柱周围的气体离解和复合上，所以电弧电压稳定不变（见图1-3b）。故电弧电压和电流之间的变化为一水平线。

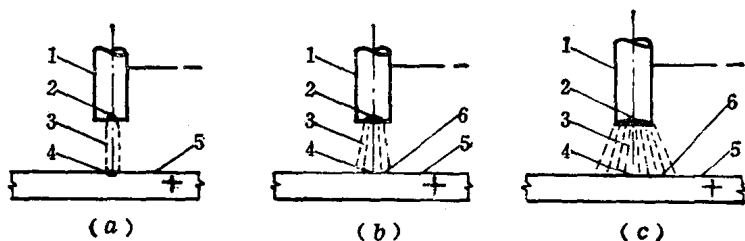


图 1-3 电弧静特性各区段形成过程

(a) **a-c**区段，(b) **c-d**区段，(c) **d-f**区段

1—焊丝，2—阴极斑点，3—等离子弧区，4—阳极斑点，
5—焊件，6—熔池

(4) **d-e**区段 当电流超过**d**点时，或者说，当阴极斑点和等离子区扩大到一定尺寸时，由于电极的熔化速度更快，气体被电离的程度已达到饱和，这时弧柱的电阻值虽然不变，但电流密度开始上升，所以电弧电压随之逐渐升高。

(5) **e-f**区段 电流继续增大到**e**点以后，阴极斑点和等离子区尺寸逐渐扩大到与焊丝直径相同（见图1-3c），弧柱截面积不再扩大，电流密度随电流的增大而成比例增

加，所以电弧电压与电流呈线性关系变化，直至 f 点。 f 点的电流已达到电极允许通过的极限值，所以电流不能再提高，否则焊接就无法进行。

3. 弧长变化对电弧静特性的影响

自动熔化极氩弧焊和自动钨极氩弧焊中，两极间距离基本固定不变，所以弧长变化不大。手工钨极氩弧焊或半自动熔化极氩弧焊中，均以手工操作运弧，所以弧长随时变化。因此，电弧的静特性曲线位置也随之变化，但电弧静特性曲线形状基本不变。电弧拉长时，电弧静特性曲线向上移动；电弧缩短时，电弧静特性曲线向下移动，见图1-4。

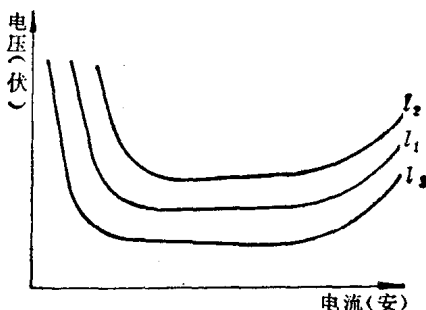


图 1-4 不同弧长对静特性曲线位置的影响

I_1 —正常弧长， I_2 —拉长弧长， I_3 —缩短弧长

4. 电弧静特性曲线各区段的应用范围

焊接时，电弧静特性曲线中 $c-f$ 区段的任何一点均可使电弧稳定燃烧。氩弧焊中，随着使用的电极类别不同，对电弧静特性曲线各区段的选用也不同。

(1) 钨极氩弧焊 由于钨极的使用电流小，电流密度也小，电弧受气体的压缩作用较小，故一般只用电弧静特性

曲线的水平区段（c-d区段）。

（2）熔化极氩弧焊 由于焊丝细，许用电流大，电流密度也大；同时气流对弧柱起着强烈的压缩和冷却作用；故一般都用电弧静特性曲线的上升区段（d-f区段）。

四、氩气对电弧燃烧的影响

1. 电弧的引燃

自动焊时，焊前已将两极间距调整好，在一定的空载电压下采用高频引弧将电弧引燃；而手工钨极氩弧焊时，多采用接触引弧将电弧引燃。前面已讲了氩的电离电位很高，这对氩弧的引燃十分不利。尤其是交流氩弧焊时，因为电弧燃烧的不连续性，需要多次重复引弧。所以氩弧焊一般都需要采用有效的引弧装置来保证焊接电弧的引燃。

2. 电弧的燃烧

电弧引燃后，除在交流电源中须加稳弧装置外，电弧在氩气中燃烧的连续性和稳定性均能得到保证。虽然氩气的电离电位较高，但当电弧引燃后，高温和氩气的比热容和热传导能力较小，从而大大改善了电弧的燃烧条件，故电弧在氩气中燃烧十分稳定。

第三节 氩弧焊的特点

一、钨极氩弧焊的特点

钨极氩弧焊是以钨棒作电极，以氩气作保护介质的一种焊接工艺方法。它的工艺过程是：利用钨极来传导电流、引燃电弧和维持电弧燃烧，钨极本身既不熔化也不蒸发。焊接时，首先利用电弧热将焊件局部熔化成熔池，然后从外部向熔池填入焊丝金属（以母材自熔形成接头时可不填入或少量填入焊丝金属），最后形成牢固的焊接接头。

手工钨极氩弧焊是一手握焊枪，另一手持焊丝，随着焊枪的摆动和前进，逐渐将焊丝填入熔池之中。自动钨极氩弧焊则是以传动机构带动焊枪行走，另有送丝机构尾随焊枪进行连续送丝。

二、熔化极氩弧焊的特点

熔化极氩弧焊是以焊件的成分相近或等同的焊丝作电极，以氩气作保护介质的一种焊接工艺方法。它的工艺过程是：利用焊丝传导电流、引燃电弧和维持电弧燃烧，在高温的作用下将其端部熔化而形成熔滴，在电弧力和熔滴重力的作用下，熔滴过渡到熔池中，最后形成牢固的焊接接头。

半自动熔化极氩弧焊是手工操作焊枪，而焊丝通过送丝机构经焊枪输出。自动熔化极氩弧焊则是由传动机构带动焊枪行走，由送丝机构送丝，行走运动和送丝运动相互协调形成一个整体。

三、脉冲氩弧焊的特点

1. 什么是脉冲氩弧焊

向焊接电弧供以脉冲电流进行氩弧焊的一种工艺方法。

2. 脉冲氩弧焊的工艺参数

焊接电流、电弧电压和焊接速度是氩弧焊的主要工艺参数，是决定熔池形状和尺寸以及焊丝填入多少的关键，通常以焊接线能量来表明焊接工艺参数与焊缝成型之间的相互关系。

所谓焊接线能量就是在单位焊缝长度内吸收电极（钨棒或焊丝）供给的热量多少。其公式为：

$$Q = IU/v$$

式中 I ——焊接电流，
 U ——电弧电压，