

晶闸管整流弧焊机的设计与调试

殷树言 耿正 刚铁 编著

机的设计与调试

机械工业出版社



本书共分五章，第一章阐述了各种弧焊方法对焊接设备的技术要求，第二、第三章分别针对晶闸管整流弧焊机主电路和控制电路的工作原理、特点、设计与调试方法等进行了详细阐述与分析，第四章以几种常见的典型晶闸管整流弧焊机为例，对其工作原理进行了详细剖析，第五章系统地介绍了晶闸管整流弧焊机主变压器和电抗器等的设计原则和实用的计算方法，并附有设计实例。书末附录中列出了常用的有关晶闸管、硅钢片、线圈及绝缘结构等的技术资料，以便查阅。

本书内容实用性强，适用于从事电焊机研究和制造的工程技术人员以及焊机的使用与维修人员阅读，还可作为中等及高等工业院校焊接专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

晶闸管整流弧焊机的设计与调试/殷树言等编著. —北京: 机械工业出版社, 1997. 3
ISBN 7-111-05334-6

I. 晶… I. 殷… I. 硅整流直流焊机 N174.34

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第16807号

出版人: 马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)

责任编辑: 何月秋 版式设计: 王 颖 责任校对: 姚培新

封面设计: 姚 毅 责任印制: 王国光

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1997年3月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/16·11印张·264千字

0 001—3 000册

定价: 18.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

焊接是一种重要的金属加工方法。在我国,每年钢产量达1亿t,其中有26%以上的金属需要通过焊接加工,这将消耗大量电能。据不完全统计,我国用于焊接的年耗电量为30亿kW·h,占总发电量的0.5%,其中通用弧焊电源耗电量最大,约为27亿kW·h。可见,电焊机是耗电量大的电气设备,所以原机械电子工业部将其列为12个高耗能产品之一。

由原机械电子工业部会同国家计委、国务院经贸办、国家科委、能源部、财政部、中国工商银行、国家工商行政管理局等8个部委在1992年8月联合公布的机电工业第十五批淘汰的能耗高、落后的产品通知中:就包括某些电焊机,并规定:AX焊机全系列产品于1993年6月30日正式淘汰,推荐更新产品为ZX5系列晶闸管整流弧焊机。这是因为AX系列电动机驱动旋转直流弧焊机属于50年代产品,比晶闸管整流弧焊机耗能高20%,耗钢、耗铜高50%以上,而且制造、加工工艺复杂。先进的工业国家早已在70年代就淘汰了该类焊机。我国若完全以ZX5系列焊机代替目前拥有的25万台AX系列焊机,每年可节约电能约10亿kW·h,而我国生产的晶闸管整流弧焊机,技术指标已完全达到国外先进工业国家同类产品的水平。可见,以ZX5系列焊机代替AX系列焊机势在必行,且时机已经成熟。

为贯彻八部委的指示精神,在电焊机研制和使用、维修人员中推广、普及晶闸管整流弧焊机的知识,中国电工技术学会电焊技术专业委员会于1993年4月在中国首届焊接学术及新技术交流节上建议由殷树言等编著《晶闸管整流弧焊机的设计与调试》一书。

我国从60年代开始研制晶闸管整流弧焊机,但由于功率器件和控制电路元件质量的可靠性差、电路设计及制造工艺落后等原因,导致其发展缓慢,徘徊了10多年。随着工业的发展和国外技术的引进,从80年代起晶闸管整流弧焊机的可靠性明显提高,并逐渐扩大了产量。在1992年下半年,中国焊接协会受原机械电子工业部委托,在全国抽查了十几个焊机生产厂家的ZX5系列晶闸管整流弧焊机产品,并在哈尔滨锅炉厂及上海锅炉厂试用。试用结果表明,该产品的开箱合格率及使用可靠性都很高,同时也具有良好的工艺性能,基本上能满足替代旋转焊机的需要。但就全国大多数厂家来说,在晶闸管焊机设计、改进及调试等方面仍存在着一些问题,因而在市场竞争中缺乏活力。考虑到我国电焊机行业的现状,我们接受了电焊专委会的委托,勇敢地承担了这一重任。我们深感自身的学识浅薄、经验不足,同时写作时间十分仓促,书中的错误在所难免,敬请广大读者不吝指教。

全书共分五章,第一、第五章由殷树言教授编著,第三、第四章由耿正副教授编著,第二章由刚铁副教授编著,附录由刚铁副教授收集并整理。为确保全书的质量,本书由经验丰富的北京航空航天大学罗树方高工审稿。在编写过程中,还得到了成都电焊机研究所、机械工业出版社及南通电焊机厂等单位的支持与帮助,谨致以衷心的感谢。

作者

1996.3于北京

目 录

前言

第一章 各种弧焊方法对弧焊设备

的要求1

第一节 电弧及其电特性1

第二节 弧焊电源的额定焊接电流与 基本参数4

第三节 TIG焊对弧焊设备的要求6

第四节 手弧焊对弧焊设备的要求10

第五节 熔化极气体保护焊对弧焊 设备的要求15

第六节 埋弧焊对弧焊设备的要求23

第二章 晶闸管整流弧焊机主电路

的工作原理及设计26

第一节 晶闸管的结构及工作原理26

第二节 三相半波整流电路33

第三节 三相桥式半控整流电路39

第四节 三相桥式全控整流电路43

第五节 变压器漏抗对整流电路 的影响46

第六节 六相半波可控整流电路48

第七节 带平衡电抗器的双反星形可 控整流电路49

第八节 主电路形式的选择及晶闸管 的保护52

第九节 晶闸管整流弧焊机主电路 的调试56

第十节 晶闸管整流弧焊机主电路 的设计60

第三章 晶闸管整流弧焊机控制电

路的工作原理65

第一节 移相触发电路65

第二节 电源外特性的控制77

第三节 触发脉冲输出电路87

第四章 典型晶闸管整流弧焊机的

电路分析90

第一节 ZX5-400晶闸管整流弧焊机 电路分析90

第二节 ZX5-400B晶闸管整流弧焊 机电路分析97

第三节 GS400SS晶闸管整流弧焊 机电路分析106

第五章 变压器与电抗器的原理

及设计114

第一节 变压器的基本原理114

第二节 单相小型变压器的设计126

第三节 晶闸管整流弧焊机变压器的 设计135

第四节 电抗器的设计149

附录

附录A KP型晶闸管的参数159

附录B 热轧、冷轧硅钢片160

附录C 扁铜线的规格及计算截 面积161

附录D 圆铜线的规格和计算截 面积165

附录E 玻璃丝包圆铜线和扁铜线的 型号及名称(GB1342—77)168

附录F 绝缘厚度168

参考文献169

第一章 各种弧焊方法对弧焊设备的要求

本章阐述了各种弧焊方法的电路特点、熔滴过渡规律、主要工艺及弧长控制等基本问题，及各种弧焊方法对弧焊设备提出的要求。

第一节 电弧及其电特性

一、电弧的特性

1. 电弧的构成

电弧是一种气体放电现象，如图1-1所示，也就是在阴、阳两个电极之间产生了电弧。电弧本身不是一个均匀的导体。它分为阴极区、阳极区和弧柱区。靠近阴极和阳极的区域分别称为阴极区和阳极区，这两个区域具有较高的电场强度，其电压降分别称为阴极压降和阳极压降；而中间区域称为弧柱区，相应的压降称为弧柱压降。三个区域的电压总和称为电弧电压，见式(1-1)。

$$U_a = U_A + U_c + U_K \quad (1-1)$$

式中 U_a ——电弧电压(V)；

U_A ——阳极压降(V)；

U_K ——阴极压降(V)；

U_c ——弧柱压降(V)。

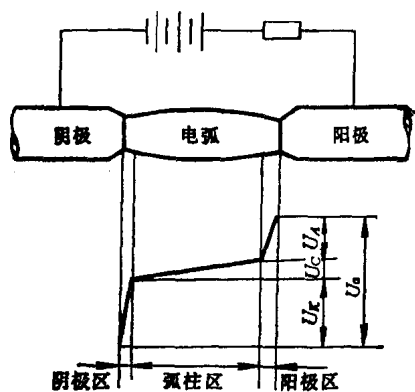


图1-1 电弧的构成示意图

U_a —电弧电压 U_A —阳极压降 U_c —弧柱压降 U_K —阴极压降

当焊接电流为 I 时，电弧的能量为 $E = U_a I$
 $= (U_A + U_c + U_K) I$ ，其中大部分可以转化为热能。

弧柱部分产生的能量 $U_c I$ 转化为热能而形成高达 $5000\text{K} \sim 30\,000\text{K}$ 的高温，并以辐射热的形式散失到周围的空间。弧柱的热损失越大，则弧柱压降 U_c 越大，弧柱的电位梯度也越大。

在阴极区和阳极区产生的热，主要用于加热电极，与电极的性质、尺寸和形状，以及气体介质等有关。

2. 电弧的静特性

电弧静特性是指在电极材料、气体介质和弧长一定的情况下，电弧稳定燃烧时，焊接电流与电弧电压变化的关系，也称为伏-安特性，可表示为

$$U_a = f(I) \quad (1-2)$$

当用电阻作为负载时，其伏-安特性服从欧姆定律，也就是说电压与电流之间严格地按线性关系变化。而电弧作为负载时却不同，焊接电弧是一种非线性负载，也就是说电弧电压与焊接电流不成比例关系。当焊接电流在很大范围内变化时，电弧静特性近似呈“U”形曲线，如图1-2a所示。在小电流范围内，随着焊接电流的增加，电弧电压呈下降趋势，即所谓负阻特性，通常小电流TIG焊和手弧焊均为此种情况；随着焊接电流的进一步增加，电弧电

压变化不大,呈水平特性,如手弧焊和埋弧焊均为这种特性;当焊接电流再增加,进入大电流区域,或者电流密度很大时,随着焊接电流的增加,电弧电压呈上升趋势,即所谓上升特性。因此,完整的电弧静特性曲线是由下降、水平和上升这样三部分组成的。应着重指出的是:对于某一种实际使用的焊接方法,电弧静特性往往只具有其中的一种或两种特性。

从另一方面来看,如果焊接电流值不变,这时随着弧长的增加,电弧电压也增加,如图1-2b所示。这时电弧电压大体上随着弧长呈比例变化。

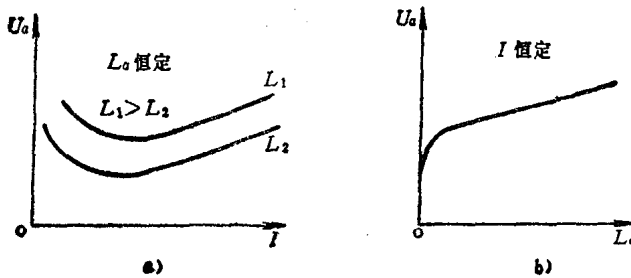


图1-2 焊接电弧的静特性

a) 电弧静特性 b) 电弧电压与弧长的关系

二、电源特性与电弧的稳定性

电弧稳定性是指电弧保持稳定燃烧(不产生断弧、飘移和磁偏吹等)的程度,它与电源的特性有关,二者之间的关系可比喻为供求关系,应满足两点要求:一是电弧需要多少能量,电源就应能按其需要提供相应的能量;二是当外界干扰作用时,使焊接电流参数偏离给定值,而该系统应能自动地恢复到预先给定的稳态值。

为便于说明问题,这里假设弧长保持一定值时,电弧静特性曲线为如图1-3所示的MABN曲线,其与电源外特性曲线PABQ的交点为A、B两点。显然,这两点均为系统的静态工作点,都能满足第一点要求,达到供需平衡。但在实际焊接过程中,常常由于某种原因的干扰,破坏这种静态平衡。当外界干扰作用时,原来的平衡被破坏,并引起焊接电流参数的变化,而当干扰消失后,能否自动地恢复到原静态工作点,这是衡量该点是否稳定的标志。当某种干扰使工作点B的焊接电流向减小方向偏移了一定值 ΔI ,则此时电源工作点B'将高于电弧工作点B'',也就是电源电压 $U_{B'}$ 高于电弧电压 $U_{B''}$,供大于求,这就促使焊接电流增加而自动恢复到原来的静态工作点。同理,若焊接电流向增加方向偏移,则由于供不应求,将使焊接电流减小,亦能使电流恢复到原静态工作点。

对于A点而言,却不具有上述特点,在干扰作用下,电弧偏离系统静态工作点A时,不能恢复到原静态工作点,所以该点称为不稳定工作点。而前者B点则称为稳定工作点。

如果电源外特性不是陡降特性,而是水平特性,如图1-4所示的PABQ直线。弧长不同时,电弧静特性曲线也不同,弧长较大的 L_2 曲线在弧长较小的 L_1 曲线之上。由图1-4可见, L_2 与电源外特性曲线无交点,这时电源不能提供电弧所需要的能量而熄灭。而在弧长较小的 L_1 时,电弧静特性曲线与电源外特性曲线有两个交点A和B。与陡降外特性电源类似,B点为稳定工作点,而A点为不稳定工作点。通常,细丝大电流自动(或半自动)焊采用水平外特性较为合适。

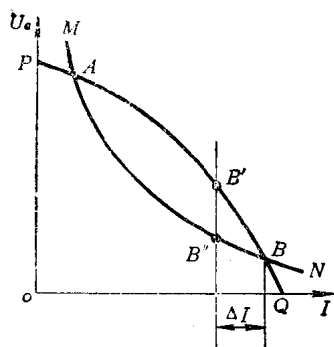


图1-3 电弧的稳定工作点

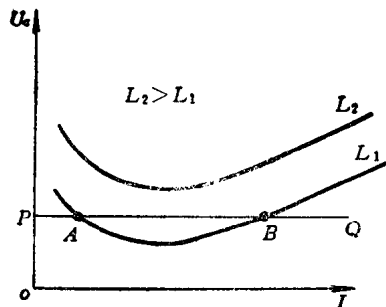


图1-4 恒压外特性曲线时电弧的稳定工作点

从上述分析可知：判断稳定工作点的依据就是在伏-安特性曲线图中，稳定工作点处电弧静特性曲线的斜率应大于电源外特性曲线的斜率。

三、交流电弧的特点

前面讲到的电弧静特性不仅适用于直流电弧，而且也适用于交流电弧。只不过是直流电弧以其平均值计算，而交流电弧以其有效值计算。

通常使用的交流电源都是50Hz的正弦波，焊接电流每秒钟100次过零点，同时也改变极性。电流过零点时，电弧熄灭，下半周必须重新引燃电弧，这样，原来为阳极的一侧将变为新的阴极。电弧重新引燃所需的电压较高，通常称之为再引弧电压 U_r 。重新引燃电弧的难易与电极材料、焊条种类及电源特点等有关。为了维持交流电弧的稳定燃烧，电源应能提供大于再引弧电压的空载电压，如图1-5所示。由图1-5可见，焊接电流的相位滞后于电源电压 u_0 。通常交流电弧焊机依靠电感而获得下降特性，所以能够满足交流电弧稳定燃烧的条件。

这里应强调一点，在用TIG焊焊铝合金时，如果只有焊接电源电压时，铝为阴极的半周是难以引燃电弧的。所以为了再引燃电弧，常常在该半周开始瞬间附加高频高压电流（或高压脉冲电流），以便引导主弧引燃。

正弦波交流电弧过零点后，将出现两个现象：一为过零点熄弧，使电弧空间的热量下降；二为过零点后电压的上升斜率较低，因而不能迅速升到较大的数值。为此，近些年来出现了方波交流，如图1-6所示。其最大特点是过零点快，由于热惯性作用，使熄弧时间较短，电压可迅速上升到较大值，从而有利于稳弧。

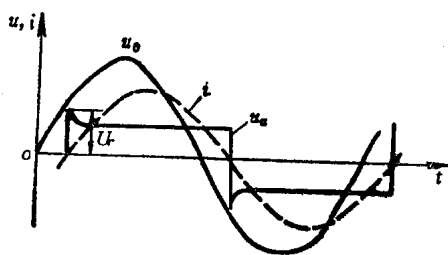


图1-5 感性回路中交流电弧的电流与电压波形

u_0 —电源电压 u_a —电弧电压 i —焊接电流

U_r —再引弧电压

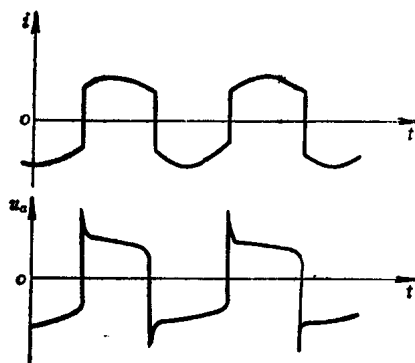


图1-6 方波交流波形

四、电弧的动特性

前面谈到的电弧静特性是指稳态时的伏-安特性，而电弧动特性是指对于一定弧长的电弧，当焊接电流发生连续的快速变化时，电弧电压瞬时值 u_a 与焊接电流瞬时值 i 之间的关系。

由于电弧是一个气体放电过程，具有一定的热惯性，电极和电弧的热作用总是滞后于焊接电流的变化，所以影响热惯性的因素也影响电弧的动特性。影响热惯性的因素有电流频率、电极材料和电弧气氛等。

电弧动特性是在焊接电流发生连续的快速变化时产生的，例如交流电弧和脉冲电弧等。以交流电弧为例，手工电弧焊时的动特性曲线如图1-7a所示。焊接电流上升时的电弧电压高于焊接电流下降时的电压值，过零点后再引弧电压 U_r 较高(P点)；当达到最大电流R点时，由于热惯性作用，电弧温度并未达到最高；过了R点后焊接电流下降时，电弧温度先是继续增高，随后缓慢下降，因此S点电位低于Q点。再过零点后，重复上述过程。

TIG焊焊铝时的动特性如图1-7b所示，由于铝与钨极的热物理性质相差甚大，所以正、负半周的特性也不同，正半周(W为负)时 U_r 较低，而负半周(Al为负)时 U_r 较高，而且两者严重不对称。

脉冲电弧的动特性如图1-8所示，由于焊接电流不过零。所以电弧没有熄灭过程，电弧稳定性好。

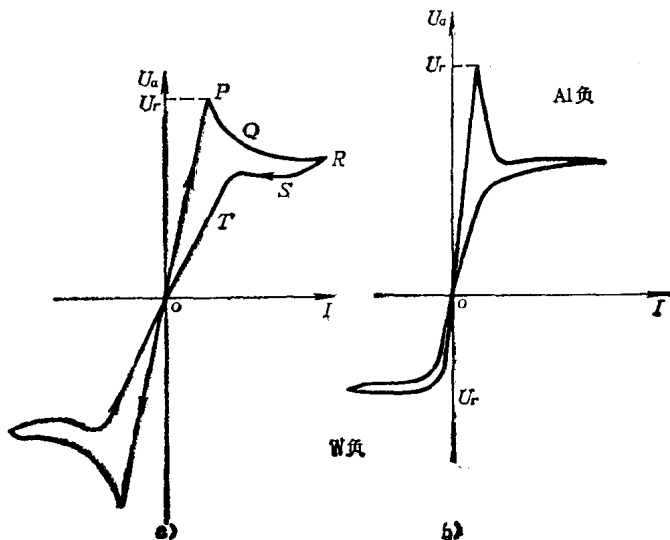


图1-7 交流电弧动特性
a) 手工电弧焊 b) TIG焊焊铝

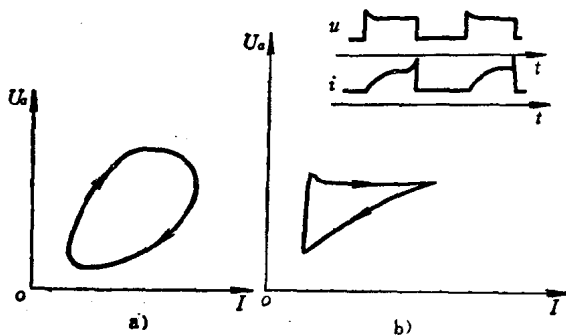


图1-8 脉冲电弧的动特性
a) u 、 i 为正弦波 b) u 、 i 为方波

第二节 弧焊电源的额定焊接电流与基本参数

一、额定焊接电流

所谓额定焊接电流是焊机按额定工作条件运行时，能符合标准规定而输出的电流。

众所周知，焊条（或焊丝）的熔化速度主要决定于焊接电流，它们之间有一定的比例关系，而电弧电压对其影响较小。因此，弧焊电源的规格均以额定焊接电流 I_0 的大小进行分类，例如，常用的焊机有160A、250A、315A、400A、500A、630A、1000A和1600A等系

列焊机。

二、负载特性

为便于设计弧焊电源，国家标准规定，各种焊接方法都有规定的负载特性。该特性为工作(负载)电压(U)与工作电流(I)之间的关系。工作电流(I)就是焊接电流，而工作电压(U)是指焊接时弧焊电源输出端子之间的电压，也就是包括电弧和焊接回路内电缆等电压降的总和。随着焊接电流的增加，工作电压也增加，则负载特性呈缓升直线特性。

根据GB8118—87的规定，负载特性如下：

1) 药皮焊条手工电弧焊电源

$$U = 20 + 0.04I \quad (1-3)$$

2) TIG焊电源

$$U = 10 + 0.04I \quad (1-4)$$

3) MIG/MAG焊电源

$$U = 14 + 0.05I \quad (1-5)$$

4) 埋弧焊电源

①下降特性电源

$$U = 20 + 0.04I \quad (1-6)$$

②平特性电源

$$U = 14 + 0.05I \quad (1-7)$$

这里还需要作如下说明：

- 1) 对于药皮焊条手工电弧焊电源，焊接电流超过600A时，负载电压保持44V不变。
- 2) 对于TIG焊电源，焊接电流超过600A时，负载电压保持34V不变。
- 3) 对于MIG/MAG焊电源，焊接电流超过600A时，负载电压保持44V不变。
- 4) 对于埋弧焊电源，焊接电流超过600A时，下降特性电源与平特性电源的负载电压均应保持44V不变。

三、参数调节范围

1. 下降外特性弧焊电源的可调参数

下降外特性弧焊电源的可调参数为焊接电流(工作电流)，该电流为电源外特性与负载特性的交点所对应的电流值，如图1-9所示，最内和最外两条电源外特性曲线与负载特性曲线的交点所对应的电流值为 I_{min} 和 I_{max} 。

按GB8118—87的规定，弧焊电源所能提供的最小焊接电流 I_{min} 应满足下式：

对于TIG焊 $I_{min} \leq 10\% I_e$

对于其他下降特性电源 $I_{min} \leq 20\% I_e$

根据国标的规定，弧焊电源所能提供的最大焊接电流 I_{max} 应满足下式：

$$I_{max} \geq 100\% I_e$$

I_e 为焊接电源的额定焊接电流值。可见，下降外特性弧焊电源的焊接电流可以通过改变电源外特性来调节。

2. 平特性弧焊电源的可调参数

平特性弧焊电源的可调参数为工作电压 U 。最上和最下两条外特性曲线与负载特性曲线的交点所对应的工作电压分别为最大工作电压 U_{max} 和最小工作电压 U_{min} ，如图1-10所示。

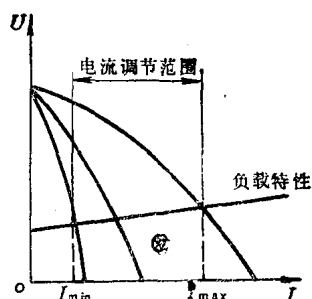


图1-9 下降特性电源的电流调节

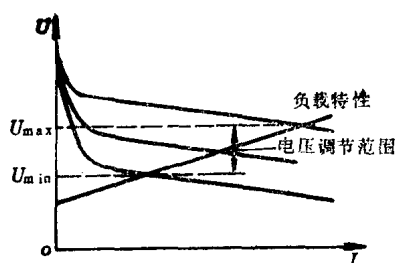


图1-10 平特性电源的电压调节

在 $U_{\max}$ 和 $U_{\min}$ 之间的区间就是电压调节范围。可见，平特性弧焊电源的工作电压是通过调节弧焊电源外特性来实现的。

四、弧焊电源的负载持续率

负载持续率是设计焊接电源的重要参数。所谓负载持续率 FS 是负载工作的持续时间与全周期时间的比值，可用百分数表示，即

$$FS = \frac{\text{负载工作的持续时间}}{\text{负载工作的持续时间} + \text{休止时间}} \times 100\% = \frac{t}{T} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 T ——全周期的时间(min)；

t ——负载工作的持续时间(min)。

全周期时间视焊接方法而异，手工电弧焊电源定为5min，半自动或自动焊电源定为5min、10min、20min甚至连续。额定负载持续率按国标GB8118—87规定为35%、60%和100%三种。通常手工电弧焊取60%，小容量焊机取35%，而便携式焊机可取20%，半自动焊机一般取60%，而自动焊机取100%。

对于不同的绝缘等级，规定了弧焊电源相应的允许温升，当按电源铭牌上规定的额定电流 I_e 和额定负载持续率 FS_e 工作时，该电源的温升不应超过允许温升，否则将烧毁某些电气元件，甚至烧毁整机。

实际焊接时，负载状态是不同的。由于负载持续率 FS 的不同，设备所允许使用的焊接电流 I 也不同。它们的关系可用下式来描述

$$I = \sqrt{\frac{FS_e}{FS}} I_e \quad (1-9)$$

例如：已知ZX5-400手弧焊机的 $FS_e = 60\%$ ， $I_e = 400A$ ，当 FS 不同时，允许使用的焊接电流见表1-1。

表1-1 不同负载持续率下的许用焊接电流

$FS(\%)$	50	60	80	100
I/A	438	400	346	310

第三节 TIG焊对弧焊设备的要求

以纯钨极或活化钨极（钍钨、铈钨等）作为电极的惰性气体保护电弧焊简称TIG焊。我国由于气体的价格和产量，实际上以氩气为主，而美国则较多地使用氦气。

以氩气作为保护气体的TIG焊，因为氩气的性质有两个突出的特点：一是氩气的电离势较高；二是氩气的比热容及传热系数较小，也就是其散热能力较弱，所以TIG焊时引弧较难，而电弧引燃后维持电弧稳定燃烧的能力却较强，只需较低的电弧电压就能维持稳定的电弧燃烧。

TIG焊根据电流种类的不同，可分为直流TIG焊和交流TIG焊。下面分别加以介绍。

一、直流TIG焊

直流TIG焊主要用于焊接碳素钢和不锈钢等金属。通常钨极接负极，而焊件接正极，即所谓直流正接法(DCSP)。由于钨极为阴极，钨极本身的熔点较高和产热量较小，所以允许使用较大的焊接电流。典型钨极氩弧焊的电弧静特性曲线如图1-11所示。可见，焊接电流大于50A以上时为平特性。当焊接电流小于50A时呈负阻特性，电弧电压高达20V~30V。同时随着弧长的增加，电弧电压也增加。

直流TIG焊引弧较难，常用的引弧方式有两种：一种为激发引弧；另一种为接触引弧。因为接触引弧易烧毁电极端头及易引起钨夹杂，所以大都采用激发引弧。激发引弧方式有两种：一种是可以采用高频振荡器，使电弧空间通过高压（达2500V），以便击穿电弧空间，为安全起见，还应采用高频电流，频率达250kHz；另一种是防止射频干扰，可以采用高压脉冲引弧，脉冲电压达到1000V~2000V。

近几年来，由于TIG焊焊管等复杂焊机被大量应用，在焊机中大量使用了数控技术和计算机技术。高频高压的干扰，常常影响焊机控制电路的正常工作，甚至使之遭到破坏。所以，人们又重新研究起了接触引弧。为防止钨极烧损，初始引弧电流可以降低到5A~10A。当电弧引燃后，再自动转换到正常焊接电流，如图1-12所示。

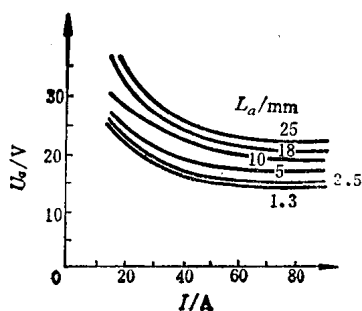


图1-11 钨电弧静特性

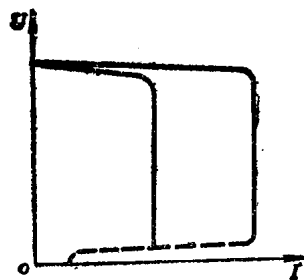


图1-12 TIG焊电源的外特性(虚线为接触引弧情况)

不论采用哪种引弧方式，为确保可靠地引弧和转入正常电弧，常常要求较高的空载电压 U_0 。

$$U_0 = 75V \sim 100V$$

引燃电弧后，稳定电弧比较容易，在正常弧长时，电弧电压仅在10V~20V之间。焊接过程中弧长经常发生变化，势必影响电弧电压和焊接电流，同时也影响焊接质量。为了保证焊接质量的一致性，希望弧长变化时，焊接电流尽量少变化和不变化，所以电源外特性的工作段应为陡降特性，甚至垂直下降特性。为防止手工操作时钨极与焊件发生偶然短路而引起钨极烧损，在TIG焊时绝对不能使用手工电弧焊时所采用的带有外拖电流的电源外特性。

二、交流TIG焊

交流TIG焊主要用于焊接铝、镁等金属与合金。因为铝合金表面有一层致密的氧化膜，只有当焊件接负极时，在焊缝区附近才会自动将氧化膜去除，形成一条洁净带，这种作用称为阴极清理作用。为此，焊件必须接负极。但是钨极接正极时极易过热而烧损，相反，当钨极接负极时因发射大量电子，将对钨极产生冷却作用，所以允许使用电流要增加几倍。为了处理好这一矛盾，TIG焊焊铝只能采用交流电流。

交流TIG焊的电弧静特性及对电源外特性的要求与直流TIG焊类似。当使用交流电源时，由于钨极与焊件热物理性能差异较大，电弧动特性较复杂，所以带来一系列问题，对电源动特性也提出了许多特殊要求。

交流TIG焊焊铝引弧时的焊接电流、电弧电压和波形如图1-13所示。开始引弧的A区，由于钨极的温度较低，仅在焊件为负(RP)的半周导电，随着钨极的加热而成为热阴极。于是正、负半周均能导电(图中B区)，但再引弧电压仍较高。当达到C区时，焊接电弧才开始比较稳定。从上述可见，引弧脉冲应该加在RP(铝为负)的半周上才有利。

其次是交流电弧的稳定问题。如前所述，交流电弧每秒钟100次过零点，每过零点时都要熄弧。当钨极为负的半周时(SP)，由于热惯性作用，钨极发射电子较容易，再引弧电压较低，交流电源本身就能使电弧再引燃。而当焊件为负极时(RP)，由于铝是冷阴极，再引弧电压较高，交流电源本身不足以引燃电弧，这时必须借助附加稳弧脉冲或者高频振荡器使它再引燃，如图1-14所示。

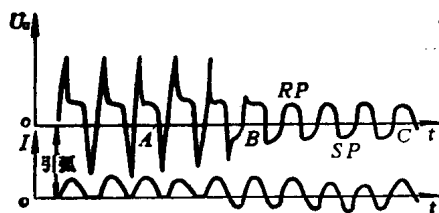


图1-13 交流TIG焊时的引弧过程

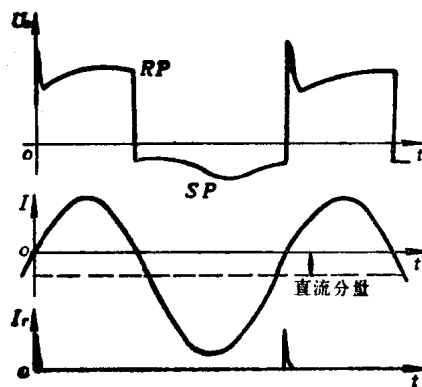


图1-14 交流TIG焊的再引弧脉冲及直流分量

从图1-14还可以看出，交流TIG焊焊铝时会产生整流效应，也就是正、负半周电流不对称。铝为负的半周(RP)时，焊接电流较小，而钨极为负的半周(SP)时，焊接电流较大，于是产生由工件流向钨极的直流成分，即直流分量。该直流分量易使焊接变压器过饱和而增加励磁电流，严重时能够引起变压器发热直至烧毁。为此，应该对直流分量加以限制。

为了提高交流TIG焊电弧的稳定性，主要应从提高电弧的热惯性着手，加快焊接电流过零的速度，具体办法是用方波交流电代替正弦波交流电。这样可以降低电弧再引弧电压。甚至在一定条件下，即使不采用任何稳弧措施，也可以用交流TIG焊焊铝合金。

正弦波交流电的正、负半周能量难以调节。而方波交流电却不同，正、负半周宽度和幅值都可以改变。方波交流电的特点常用正、负半周的平均电流比值 β 来说明（见图1-15）。

$$\beta = \frac{I_{SP}}{I_{SP} + I_{RP}} \quad (1-10)$$

式中 I_{SP} ——钨极接负极时的平均焊接电流(A);

I_{RP} ——钨极接正极时的平均焊接电流(A)。

通常晶闸管式的交直流两用TIG焊机, 其正、负半周幅值大致相等。而其宽度可以在较大范围内改变。如当 β 在 0.5~0.7 范围内变化时, 阴极清理区虽然减小, 但仍能满足要求。

近年来出现了一种新型方波电源, 不但可以改变方波宽度, 也可以改变方波幅值, 这种焊接电源称为变极性电源。这样一来, 即使当 β 达到 0.9 时, 仍能满足阴极清理作用, 如图 1-16 所示。同时, 电弧具有正极性特点, 即电弧较强, 熔深较大, 电弧稳定, 钨极容量大, 可连续长时间工作。这在大电流焊接厚铝板时有重要意义。

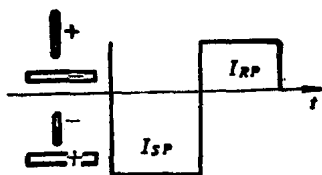


图1-15 方波交流示意图

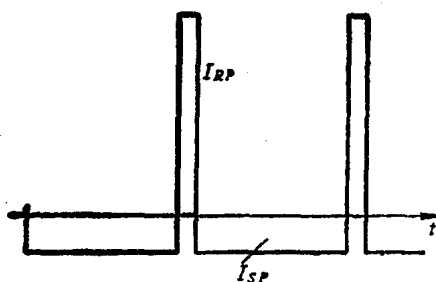


图1-16 变极性电源的电流波形

三、脉冲TIG焊

脉冲TIG焊根据母材的不同, 可以是直流脉冲, 也可以是交流脉冲, 其特点与连续电流类似。

脉冲TIG焊焊接电流波形如图1-17所示。

脉冲周期 $T = t_f + t_b$; 脉冲频率 $f = \frac{1}{T}$; 脉

宽比 $M_b = \frac{t_f}{T} \times 100\%$ 。

脉冲TIG焊按照电流频率分为两个区域: 一个为高频区域, 频率在 10kHz~30kHz, 主要用于焊接超薄板材料 (0.1mm~0.3mm), 电弧的主要特点是在小电流时由于高频电弧的磁压缩作用, 电弧仍很稳定; 另一个为低频区域, 频率为 0.3Hz~10Hz, 采用低频是为了控制熔池, 也就是让每个脉冲形成一个熔池, 以便控制工件的熔透和线能量, 同时也能改善材料的焊接性。通常基值电流较小, 只是用于维持电弧, 而脉冲电流的能量应能满足一个脉冲形成一个熔池的要求。

四、焊接电流的缓升与缓降问题

从焊接工艺上来讲, TIG焊要求引弧之后焊

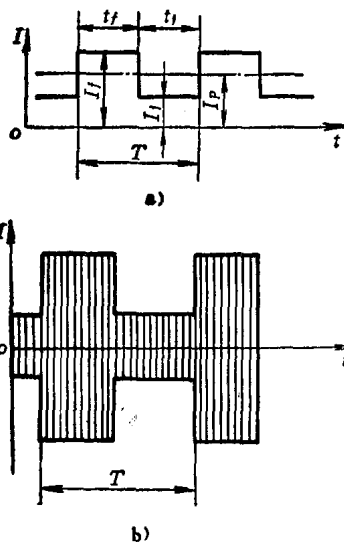


图1-17 脉冲TIG焊焊接电流波形图

a) 直流脉冲TIG焊 b) 交流脉冲TIG焊
 t_f —峰值电流时间(s) t_b —基值电流时间(s) I_f —脉冲峰值电流(A) I_b —基值电流(A) I —平均焊接电流(A)

接电流缓慢上升,防止由于焊接电流突然增大而引起钨极过热烧损。缓升过程一般为0s~5s。焊接结束时,焊接电流应缓慢下降,这样可以保证充分填满弧坑,并消除缩孔和裂纹的产生。缓降时间一般为0s~5s,如图1-18所示。

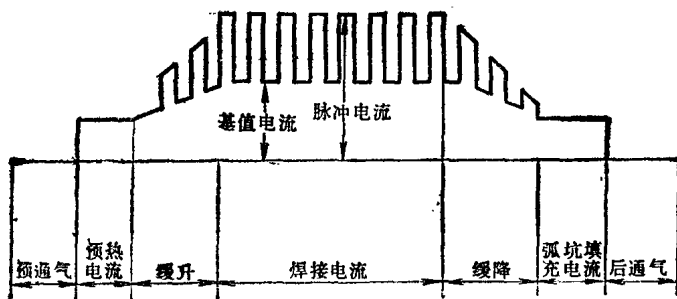


图1-18 脉冲TIG焊时电流缓升和缓降示意图

第四节 手弧焊对弧焊设备的要求

目前我国钢结构的焊接,手工电弧焊大约占85%以上。所以手弧焊一直引起人们的关注。对于手弧焊机除对其经济性和使用性提出较高的要求外,对其工艺性也提出了十分苛刻的要求。

试验表明,手弧焊的电弧静特性基本上是平特性。为保证电源-电弧系统的稳定性,要求手弧焊机应具有下降外特性;而为保证其焊接工艺参数的稳定性,则希望手弧焊应具有陡降外特性。但是,这还不够,由于手工操作的复杂性,如何保证焊接过程中电弧燃烧的稳定性,是本节所要讨论的主要内容。

手弧焊用的焊条是熔化极。焊接时,在电弧热作用下焊条将发生熔化,形成熔滴过渡。于是焊条种类、电流类型和极性、焊接工艺参数以及焊机特性等都能对焊接过程产生重要影响。

常用焊条按药皮特点分为两大类:一类为酸性焊条,以E4303(J422)为例;另一类为碱性焊条,以E5015(J507)为例。由于酸性焊条的氧化性较强,表面张力小,焊接时易产生大量气体,从而使金属熔滴以细小的颗粒状从焊条端头喷向熔池,呈非短路过渡形式。同时,药皮中含有一些电离物质,有利于电弧的稳定燃烧,即使用交流弧焊机也能很好地进行焊接。所以酸性焊条主要使用交流弧焊机,当然也可以使用直流弧焊机。碱性焊条药皮以大理石(CaCO_3)和氟石(CaF_2)为主,此外还加入一些脱氧剂(Si-Fe 、 Mn-Fe 等)。以E5015(J507)为例,该焊条常用于焊接低合金结构钢等重要产品。碱性焊条中含有大量的 CaF_2 ,在电弧燃烧的过程中,析出氟负离子(F^-),这是一种消离元素,使得导电粒子数减少。当使用交流弧焊机时,电弧很不稳定,所以碱性焊条只能使用直流弧焊机,并采用反极性接法,才能获得稳定的焊接过程。

各种直径的焊条都有一定的使用焊接电流范围,它受到焊条中焦耳热的限制,推荐使用的焊接电流值由下式决定:

$$I = (20 + 6d_s)d_s \quad (1-11)$$

式中 d_s ——焊条直径(mm)。

可见,随着焊条直径的加粗,焊机的额定焊接电流应相应增加。

总之,直流弧焊机适合于碱性焊条,也可用于酸性焊条。为了获得理想的工艺性能,直流弧焊机的静特性与动特性都应满足一定的要求。所谓理想工艺性能应包含引弧性能良好,单面焊及全位置焊时的手感好,在焊接过程中电弧应具有一定的弹性,电弧力强弱可调,过程柔和,飞溅小以及焊缝成形好等。

一、引弧问题

引弧是指电弧焊开始时引燃电弧的过程。

通常手弧焊引弧方式有两种:碰撞引弧和划擦引弧。两种方法的实质是一样的,引弧过程是这样进行的,如图1-19所示。图1-19a表明首先使焊条与焊件接触,由于金属表面的不平度,只能是点接触,接触处往往由于有氧化膜和熔渣等绝缘物质存在,这就要求有较高的空载电压 U_0 以击穿绝缘层而导电。因为是点接触,所以电流密度较大,局部接触处急剧受热,使得接触处的金属迅速汽化。图1-19b为接触之后,立即拉开焊条,使电弧空间电离并形成电弧。

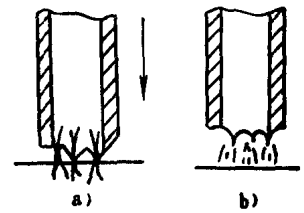


图1-19 引弧过程示意图

a) 焊条与工件接触 b) 焊条拉开时引燃电弧

可见,手弧焊引弧对弧焊电源提出如下要求:

- 1) 空载电压 $U_0 \geq 60V \sim 70V$ 。
- 2) 应该有足够高的短路电流上升速度和短路峰值电流。该电流过小,易产生粘焊条现象;而该电流过大,又易产生较大的飞溅。为此,可采用两种方法解决:一种方法是附加引弧脉冲;另一种方法是依靠加大电源外特性曲线的外拖电流(即稳态短路电流)。后者的稳态短路电流越大,越有利于引弧,但会引起较大的飞溅。而前者却可以将引弧与飞溅问题分开。

3) 电源外特性由水平段向陡降段转折处的拐点电压应高一些。如果拐点电压过低,将使电弧的弹性变差和降低引弧成功率。

4) 焊条从短路拉开进入燃弧状态,要求电源电压恢复速度越快越好。对于晶闸管整流弧焊机而言,这一点是不成问题的。

二、焊接过程的手感好

这是一个模糊概念,主要反映在单面焊或全位置焊时,焊工操作自如。这里举例说明,对于壁厚为6mm~10mm的管子全位置焊,为了焊透需开V形坡口(图1-20)。通常焊接时都要采用断弧焊手法,也就是重复地引弧与断弧,每重复一次形成一个熔池,此时对弧焊电源的要求是:

- 1) 引弧容易。
- 2) 应有较大的动态短路电流,以利于铁液摊开,该电流又不能维持太长时间,以防止焊漏。
- 3) 断弧容易。断弧的目的是有利于熔池冷却凝固。否则易使熔池过大而流淌。试验表明,断弧长度 L_d 大致正比于拐点电压 U_g ,如图1-21所示。由图1-21可见,拐点电压越高,电弧越不易拉断。试验表明 U_g 为40V~45V左右较为适宜。
- 4) 电弧燃烧过程应该柔和而不产生较大的飞溅。

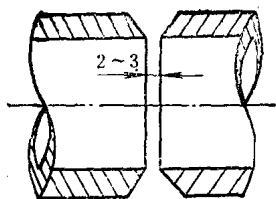
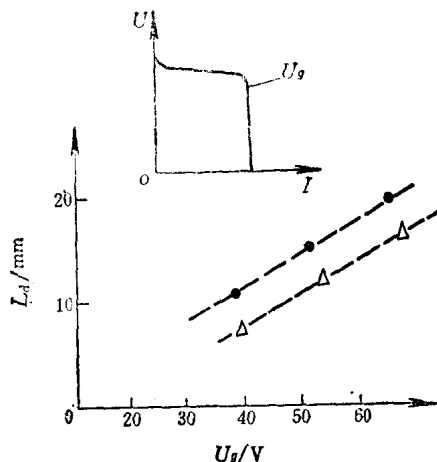


图1-20 管子对接坡口形状

图1-21 断弧长度 L_d 与拐点电压 U_g 的关系

三、焊接飞溅

这是保证焊接过程稳定的核心问题，一直引起人们较大的关注。

酸性焊条常常是非短路过渡，而碱性焊条除具有滴状过渡和渣壁过渡等非短路过渡外，还有短路过渡，但其中主要是短路过渡。因为碱性焊条熔渣的氧化性弱，表面张力大，于是在焊条端头形成较大的熔滴；另一方面由于 CaCO_3 在高温下发生分解反应，反应式如下：



由于这是一种吸热反应，对电弧产生冷却作用，而使电弧集中，并对熔滴产生排斥作用。于是短路过渡模式为：

焊条端头随着焊条的熔化，在套筒内形成熔滴，随着熔滴的长大，而移至套筒以外。熔滴外移时携带着电弧斑点一起外移，而在电弧斑点作用下，又使得熔滴激烈飘动。当熔滴与工件短路过渡后，斑点又内迁，整个过渡过程如图1-22所示。

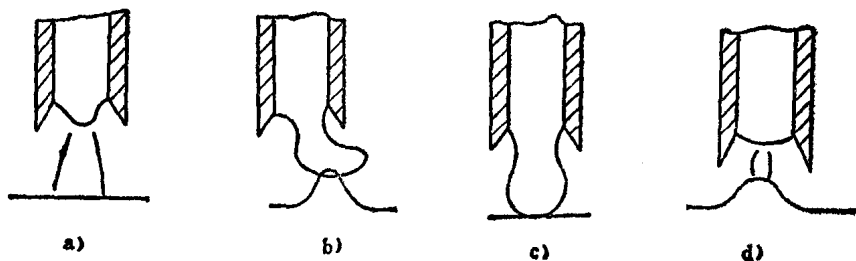


图1-22 短路过渡过程示意图

当熔滴与熔池短路时，电弧熄灭，随后形成缩颈。该处通过较大的焊接电流，在电磁收缩力作用下缩颈迅速变细和过热，使得小桥爆断，伴随着飞溅并重新引燃电弧。可见，飞溅是伴随着短路过程而产生的。所以为了降低飞溅，就要先搞清楚短路过渡过程的特点。

短路过渡时的典型焊接电流和电压波形如图1-23所示。无论是哪种类型焊机，短路时由于负载突然变化，电弧电压发生下跳，一般有二十几伏的电压变动，而焊接电流却不能跳

变，它按着不同的斜率逐渐上升。ZX5型的晶闸管整流弧焊机达到峰值电流 I_p 的时间比ZXG型磁放大器式硅整流弧焊机短。所以，短路小桥爆破可能发生在峰值电流瞬间，还可能发生在电流波形的后沿，这与所选用焊机的内部电感有关。

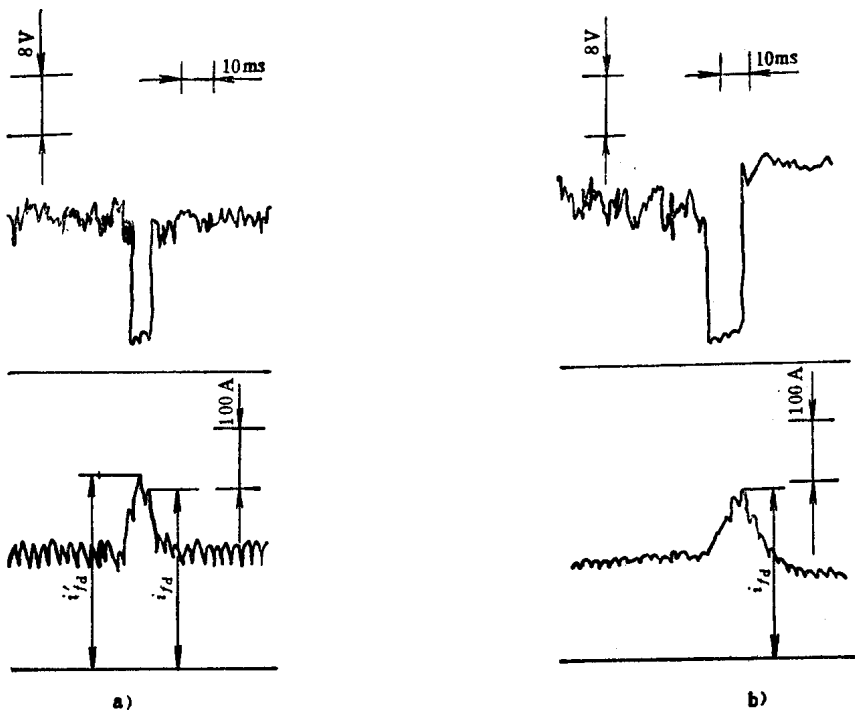


图1-23 短路过渡时的电弧电压和焊接电流波形
a) 晶闸管整流弧焊机ZX5-400 b) 硅整流弧焊机ZXG-500

通过大量试验发现，短路按短路时间的长短分为两类：短路时间 $t_d > 2\text{ms}$ 的称为正常短路， $t_d < 2\text{ms}$ 的称为瞬时短路。通常瞬时短路次数小于总短路次数的40%，其分布规律如图1-24所示。

试验发现：

- 1) 瞬时短路时，没有熔滴过渡，所以又称为无过渡短路。但瞬时短路对随后发生的短路过程有影响。熔滴过渡只在正常短路时发生。
- 2) 正常短路的短路时间 t_d 成正态分布，其短路时间几率最大值 t_0 与焊条直径有关，见表1-2。由表1-2可见，短路时间几率最大值 t_0 只与焊条直径有关，而与焊接设备的关系不大。

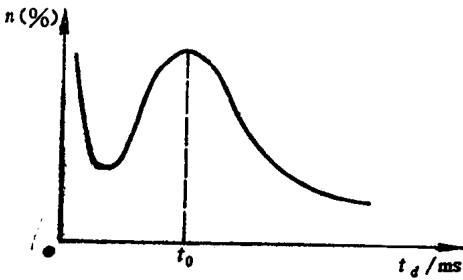


图1-24 短路时间统计频率分布曲线

表1-2 短路时间几率最大值 t_0 的范围及其平均值

焊丝直径 ϕ/mm	t_0/ms	
	范 围	平均值
3	5~7	6
4	6~9	8
5	7~11	10