

中国农业机械学会农机维修专业委员会主编

机械维修实用新技术丛书

等 离 子 堆 焊

傅立明 编著

农 业 出 版 社

序 言

经济建设必须依靠科技进步。为了推广普遍适用的科技成果，提高农机维修的技术水平和经济效益，我们推荐近几年在农机维修行业中开始推广，并有实际效果的技术编入本丛书——《机械维修实用新技术》。

胶接技术应用胶粘剂粘接断裂零件、修补壳体孔洞工艺简便，价格低廉。

刷镀设备简单，操作容易掌握，是近年发展较快，恢复微量磨损零件的有效工艺。

金属电弧喷涂在我国用于曲轴的批量修复已有三十多年历史，近几年的科学研究使涂层硬度明显提高，表面准备工作也有所改进。

铁基复合镀是我国在镀铁工艺基础上的重大发展，镀层的硬度有较大幅度的提高。

等离子堆焊是70年代引入农机维修行业的新技术。由于等离子弧的温度很高，可熔敷的合金种类广泛，堆焊层耐磨性较高，可大幅度延长零件寿命。

水基清洗剂近年发展迅速，在农机修理行业中广泛应用，可以节约大量清洗用油料，缓和农机用油的紧张状态。

随着农村经济建设的发展，农用拖拉机的数量迅猛增

加，如何保持庞大的机群经常处于良好技术状态，提高农业机器使用的经济效益，已是广大农机工作者共同关心的问题。《故障推理分析法》介绍了故障分析的思维判断新方法，《拖拉机功率与油耗量的田间测定》介绍了常用功率与油耗测定技术，这些对加强拖拉机技术状态的监测、及时判断和排除机器故障，提高农业机械的技术状态会有很大帮助。

希望这套丛书在促进农机维修新技术的应用方面发挥重大作用，也希望这些新技术在实践应用中不断发展。

中国农业机械学会 主任委员 杨秋荪
农机维修专业委员会

1987年12月

前 言

机械零件用合金堆焊强化工作表面后，能够提高它们的机械性能，还节约大量的合金钢材。随着科学技术和现代工业的发展，零件使用条件越发恶劣，对它们的制造材料和技术要求就越来越高。由于零件的磨损和破坏大多是发生在表面部分，所以采用堆焊来防护基体材料是很有效的工艺方法。

粉末等离子弧堆焊是制备理想耐磨层的先进技术。在50年代末期，低温等离子体技术已有了较大发展，为等离子弧堆焊工艺提供了一种温度高、保护气氛好的热源。60年代初，我国开始了等离子弧堆焊的试验研究。农机系统从70年代开始应用此项技术，对一些磨损件进行表面堆焊。

粉末等离子弧堆焊使用氩气等离子弧作热源，用粉末状合金作填充金属。生产实践表明，它具有生产效率高、冲淡率低、成型好、劳动强度低等优点。根据机械零件工作表面的不同要求，选用不同成分的合金粉末进行堆焊，能得到耐高温、耐腐蚀、耐磨损等优良性能的工作层，延长了零件的使用寿命。

目前，等离子弧堆焊技术已在工程机械、矿山机械、冶

金机械、石油化工机械、农业机械、水利机械、发动机、阀门、模具等行业得到广泛的应用，并取得了显著的经济效益。这项技术有着广阔的应用前景。

目 录

序 言

前 言

第一章 等离子弧的基本原理和特点.....	1
第一节 等离子弧的基本原理.....	1
第二节 等离子弧的特点.....	3
第二章 等离子弧的形式及弧的伏安特性.....	6
第一节 堆焊等离子弧的形式.....	6
第二节 等离子弧的伏安特性.....	8
第三章 等离子弧堆焊设备.....	12
第一节 等离子弧堆焊电源.....	12
第二节 高频发生器.....	19
第三节 等离子弧堆焊枪及其主要部件.....	20
第四节 送粉器.....	25
第五节 机械部分.....	29
第四章 堆焊用合金粉末.....	31
第一节 堆焊工艺对合金粉末性能的要求.....	31
第二节 合金粉末的种类及应用范围.....	32
第五章 堆焊工艺.....	38
第一节 评价堆焊工艺的主要指标.....	38
第二节 主要工艺参数的选择.....	40
第三节 焊前准备.....	48
第四节 堆焊操作.....	50

第六章	影响堆焊质量的主要因素及产生缺陷的原因	53
第一节	堆焊层缺陷的种类	53
第二节	堆焊层缺陷产生的原因及预防措施	55
第七章	典型零件的等离子弧堆焊	60
第一节	气门密封面的堆焊	60
第二节	花键轴键齿的堆焊	67
第三节	缸盖气门座口密封面的堆焊	72
第四节	台车轴的堆焊	83
第五节	几种农具零件的堆焊	85
第八章	安全生产措施	89
第一节	等离子堆焊过程中对人体有害的因素	89
第二节	等离子弧堆焊时的安全防护措施	90

第一章 等离子弧的基本原理和特点

第一节 等离子弧的基本原理

一、等离子态

众所周知，气体是由分子组成的，分子又由原子组成，原子是由带正电的原子核和围绕着原子核运动着的带负电的电子组成的。核外电子所带负电总数量恰好等于原子核的正电量，所以原子在正常状态下是呈中性的。因此，气体在常温下是不导电的。当给气体分子或原子以足够的能量时，就可以使电子脱离分子或原子，成为带电的自由电子，而失去电子的分子或原子则成为带正电的电离子，产生了气体的电离现象。通常把这种电离后正负离子数目相等的气体称为等离子体，它是物质的一种特殊形态，被列为固体、液体和气体之后，称为等离子态。

二、自由电弧

自由电弧，又称普通电弧，产生的原理如图1—1（图中Ar是工作气体）。

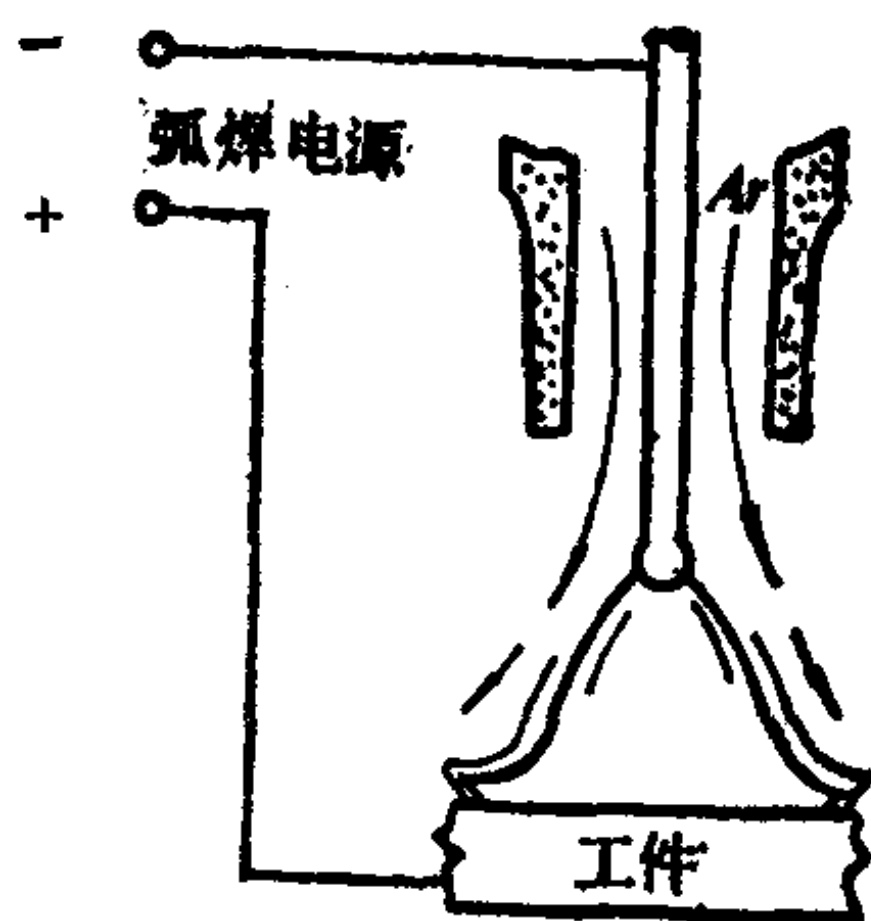


图 1—1 自由电弧

当电路中电源的正负极之间存在着一定的电压时，正负极间的间隙中就产生一个电场，间隙越小，电场就越强。当间隙小到一定程度时，就足以将负极的电子从电极拉出，被拉出的电子飞向正极，它在飞行途中被电场加速，以很高的速度撞击气体中的分子，使气体分子电离，产生更多的电子，这些电子在电场中又被加速去撞击别的气体分子，如此不断地撞击、电离，就产生了通常所说的“电子雪崩”现象。这时气体被击穿。这一过程伴随着发出很强的光和热。由于热的作用，气体进一步被电离，在两极间隙中产生了电弧，图 1—1 所示氩弧就属于这种类型的电弧，叫做自由电弧，即不受约束的电弧。由于电弧中正离子和电子的存在，使本来不导电的气体变成了导体。在自由电弧的弧区内，气体尚未完全电离（称之为不完全等离子体），能量也不是高度集中。自由电弧的弧柱较粗，温度约 6000K。这样，它的应用就受到限制。

三、压缩电弧

压缩电弧，又称等离子弧，产生的原理如图 1—2。

当自由电弧通过孔径较小的水冷焊嘴孔道时，弧柱的直径受到限制，使弧柱强烈压缩。电弧被压缩后，弧柱直径变细，使弧柱电流密

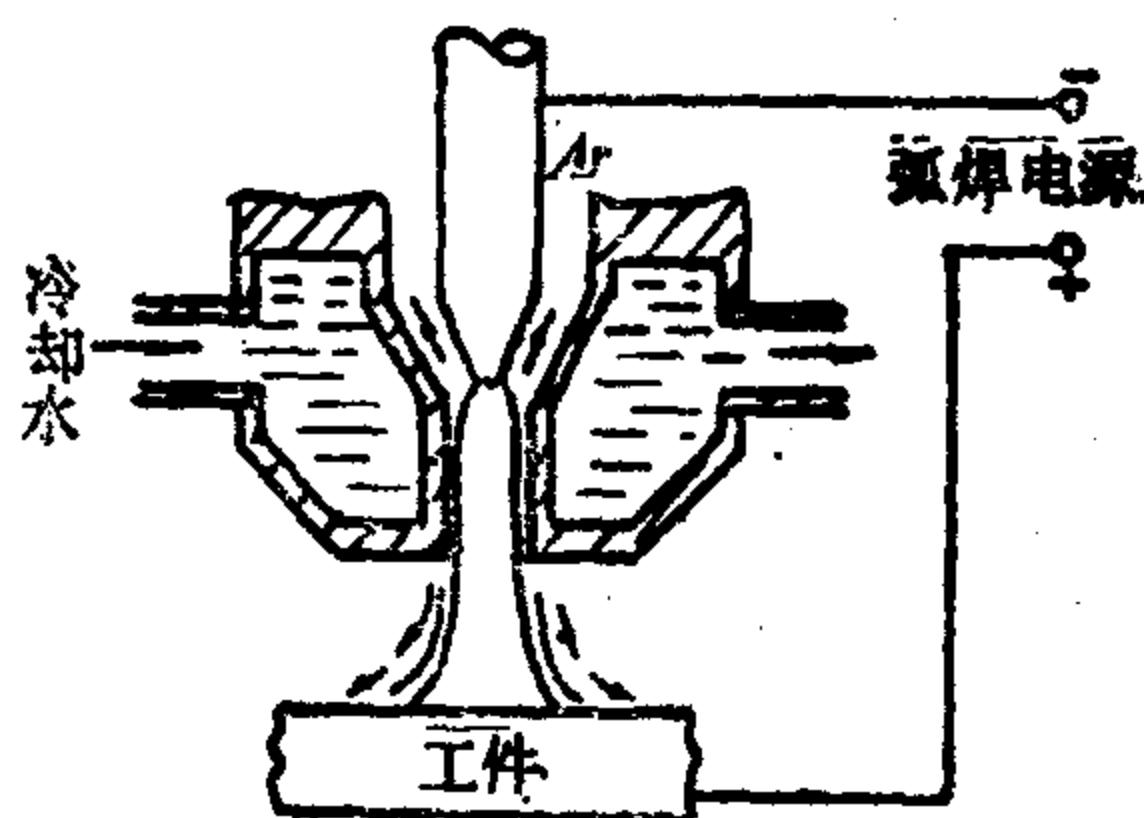


图 1—2 压缩电弧

度显著提高，气体电离更加充分，产生了正负离子相等的等离子弧。因此，把经过压缩的自由电弧叫做等离子弧。

为什么电弧通过焊嘴孔道就会产生等离子弧呢？这主要是水冷焊嘴结构促使电弧受三个效应的作用。

1. 热收缩效应 受到水冷的孔道壁面温度很低，气体连续通过孔道时，贴近壁面的气体受到冷却，形成很薄的冷气流环层，其电离度很低，使电流不能通过，迫使电弧电流往电离度较高的中心部位流过，也就是向电弧中心部位压缩。

2. 机械压缩效应 焊嘴孔径大小基本上确定了环形冷气层的直径，也相应确定了等离子弧柱的粗细。焊嘴孔的截面形状变化，也会改变等离子弧柱的截面形状，如孔形为椭圆状，就形成椭圆状截面的电弧。

3. 电磁压缩效应 电弧电流是按一定方向流动的，根据左手定则，电弧感应生成的电磁力都指向弧柱中心部位。这样，电磁力就使弧柱受一个指向其中心的压力而使弧柱收缩。

由于以上三个效应作用的结果，使电弧被强制压缩。三个效应互相依存，共同作用于电弧而产生了等离子弧。

第二节 等离子弧的特点

一、等离子弧的特点

1. 等离子弧的温度高，可达 20000K，这是用其它方法很难达到的，例如，氧乙炔焰的焰心温度只有 3200K 左右，普通电弧的温度只有 5000—6000K 左右，氩弧的温度也

只有9 000—10000K。

2.可根据工艺需要使用不同的气体,使等离子弧呈氧化性气氛、还原性气氛或惰性气氛。

3.对等离子弧施加磁场控制,可使电弧旋转或偏斜某一角度。

4.等离子弧的刚度可按实际需要加以控制。例如,切割时要用刚性弧,堆焊时要求柔性弧。弧的刚柔程度取决于等离子焰流的速度,而焰流的速度又取决于焊嘴的形状、尺寸和工作气体的压力与流量。当焊嘴的压缩孔道直径 d 较小、孔道长度 l 较大,而工作气体流量又很大时,就能获得刚性弧;当工作气体流量小, l/d 较小时,可获得柔性弧。根据不同的工艺要求,可以把等离子弧的刚柔度调节到某一适当的范围。

二、等离子弧的工艺性能

等离子弧有很好的工艺性能,具体表现在:

1.温度高,能量密度大,能够顺利地熔化难熔材料,熔化速度快,效率高。

2.堆焊时的冲淡率低,熔敷率高,堆焊层厚度范围大,适应性强。各种堆焊法的熔敷率和冲淡率如表1—1。

3.等离子弧的热效率高,能量集中,能在很短时间内迅速加热工件,使热传导损失降低,可大大减小堆焊的热影响区,减小工件的变形。各种堆焊法的热影响区如表1—2。

4.等离子弧比自由电弧更稳定,没有电弧飘移现象,有较强的方向性。如氩弧在电流小于1安培时就不能燃烧,而等离子弧这时仍能稳定燃烧。

表 1—1 各种堆焊法的熔敷率和冲淡率表

堆 焊 性 能 堆 焊 方 法	最高熔敷率 (公斤/小时)	最小冲淡率 (%)
氧炔焰堆焊	1.8	1
埋弧焊	6.8	20
等离子弧堆焊	3.2—9	5
振动堆焊	1.2—1.8	8
钨极氩弧焊	2.3	10

表 1—2 各种堆焊法的热影响区

堆 焊 方 法	热 影 响 区 (毫米)
气焊	27
手工电弧焊	6
埋弧焊	25
等离子堆焊	2
振动堆焊	1.5

第二章 等离子弧的形式 及弧的伏安特性

第一节 堆焊等离子弧的形式

等离子弧有三种形式：非转移弧、转移弧和联合弧。

一、非转移弧

非转移弧是在阴极(钨电极)和阳极焊嘴之间形成的等离子弧，如图 2—1，在生产中常被称为小弧。工作气体在进入阳极焊嘴时被弧柱加热，再由焊嘴口喷出，形成等离子焰流。等离子焰流沿轴向和径向的温度梯度大，工件仅能得到其总热能的 25%。等离子焰流的速度也具有同样的特点。等离子焰流的温度和速度的分布如图 2—2。

二、转移弧

转移弧是电弧离开焊嘴转移到被加工的工件上的等离子弧，生产中常称为大弧，如图 2—3。

转移弧的能量比非转移弧集中，工件能获得总热量的 60%。一般切割、焊接、堆焊和熔炼等多用转移弧。

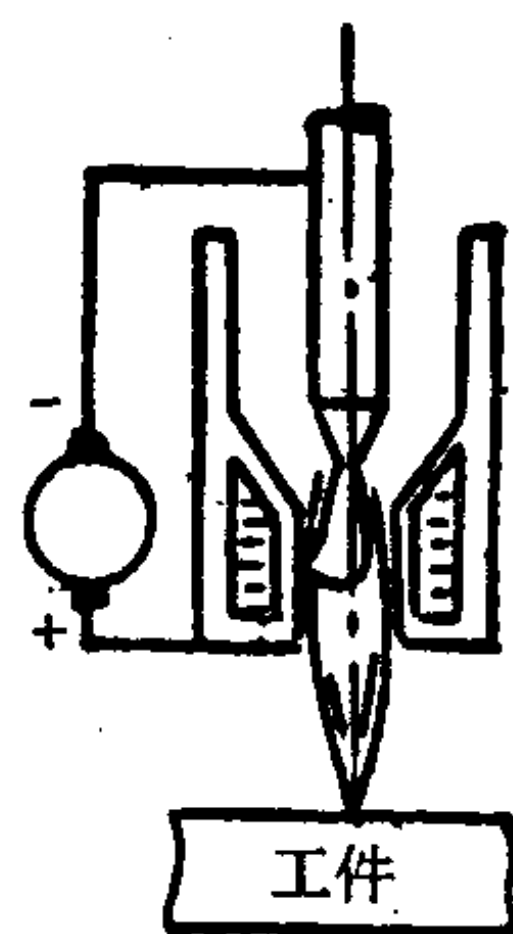


图 2—1 非转移弧

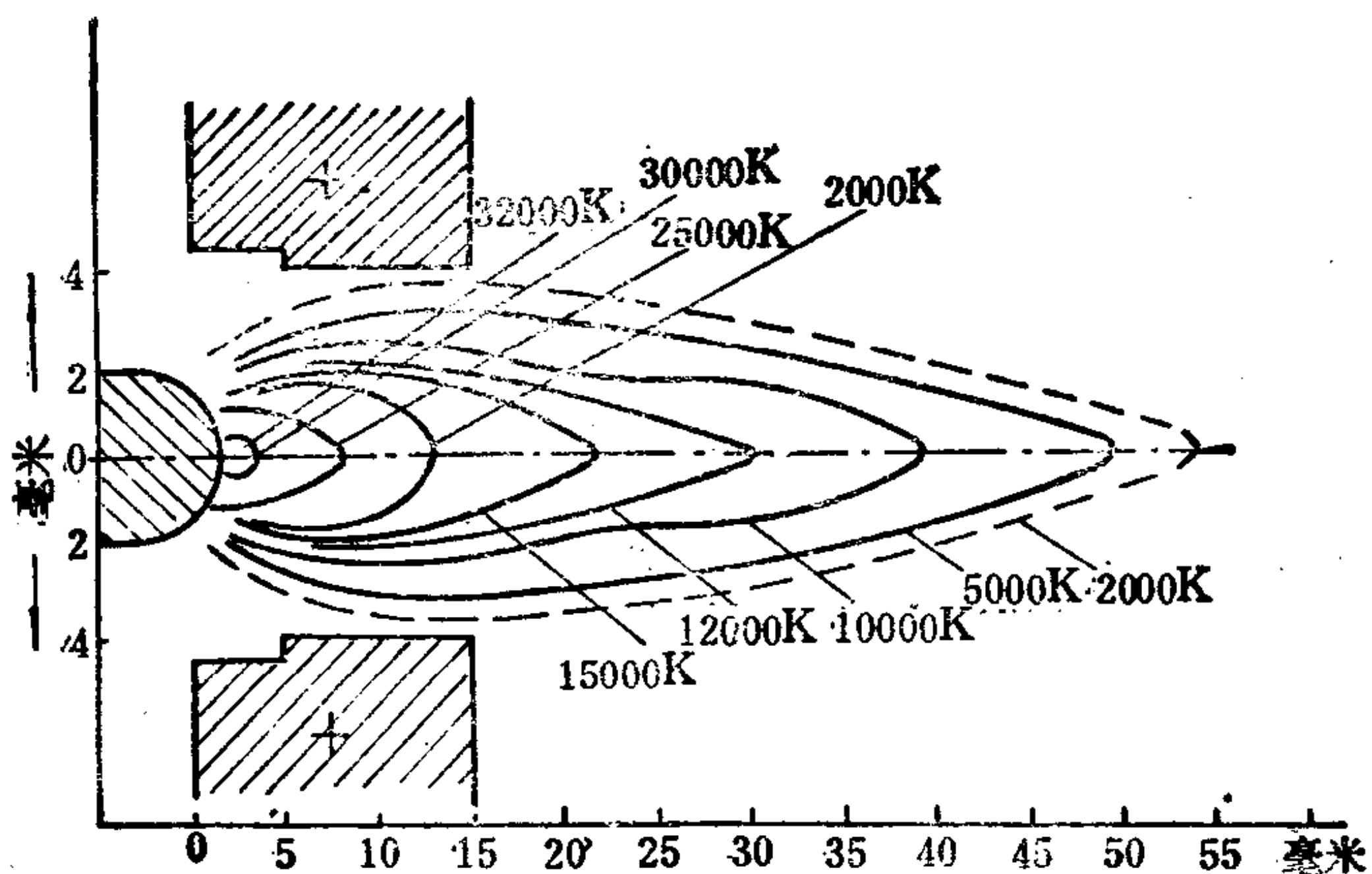


图 2—2 等离子焰流的温度和速度分布

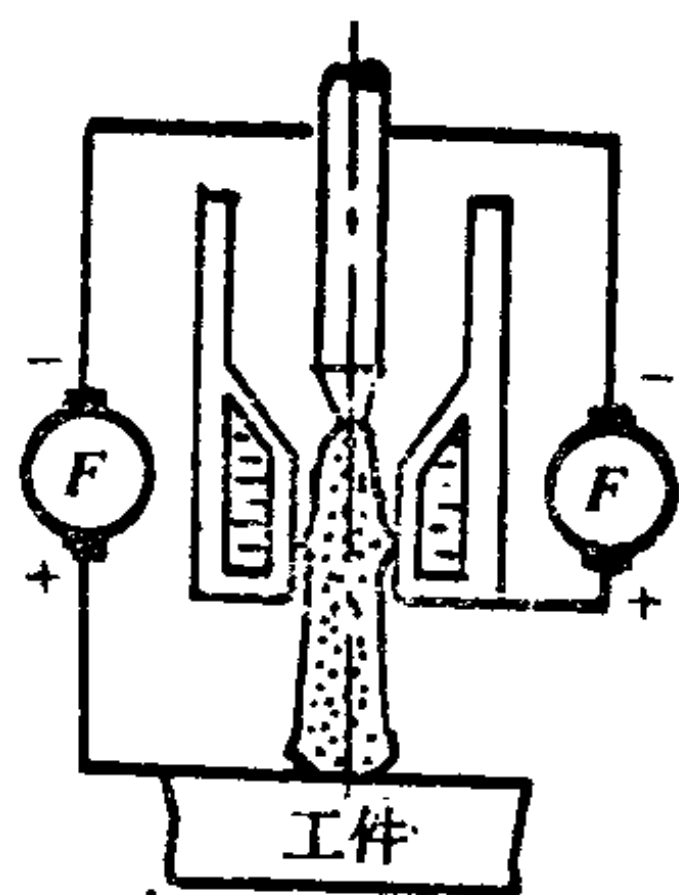


图 2—3 转移弧

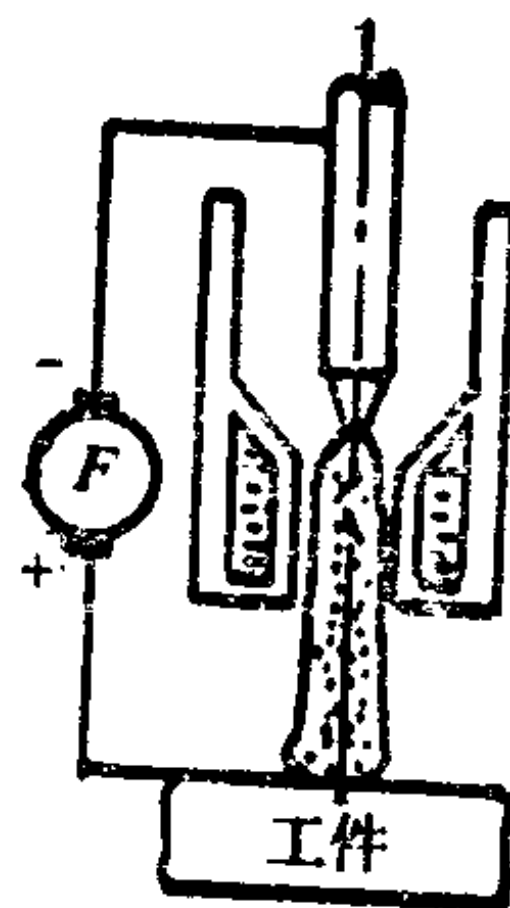


图 2—4 联合弧

三、联合弧

非转移弧和转移弧同时并存，联合使用，就是联合弧，如图 2—4，等离子堆焊就是采用这种弧。这时，非转移弧起着引燃转移弧并稳定其工作的作用。转移弧主要用来加热工件，使喷出的粉末进入熔池与工件表面熔合。工件能利用联

合弧35—40%的热量，被冷却水吸收的热损失在50—60%之间。

第二节 等离子弧的伏安特性

等离子弧的伏安特性是指弧电压和弧电流的变化关系，是等离子弧的重要特性，它直接影响等离子弧堆焊枪的工作性能和特点，如工作参数的稳定范围能否满足具体工艺要求，因此，研究有哪些因素影响等离子弧的伏安特性，如何和电源的外特性配合来满足工艺要求，对设计等离子弧堆焊枪和选择电源是很重要的。

一、影响等离子弧伏安特性的主要因素

1. 工作气流量和供气方式 对于某一等离子堆焊枪，如果其它参数保持不变，工作气流量增加时（气体流速也相应得到增加），对电弧的冷却就加剧，即对电弧的压缩程度增加，弧截面变细，所以弧电压就升高。因此，气体流量增加必然引起弧电压增加，使伏安特性向右上方移动，如图2—5。

等离子堆焊需要柔性的弧，工作电压仅为20—30伏，所需气体流

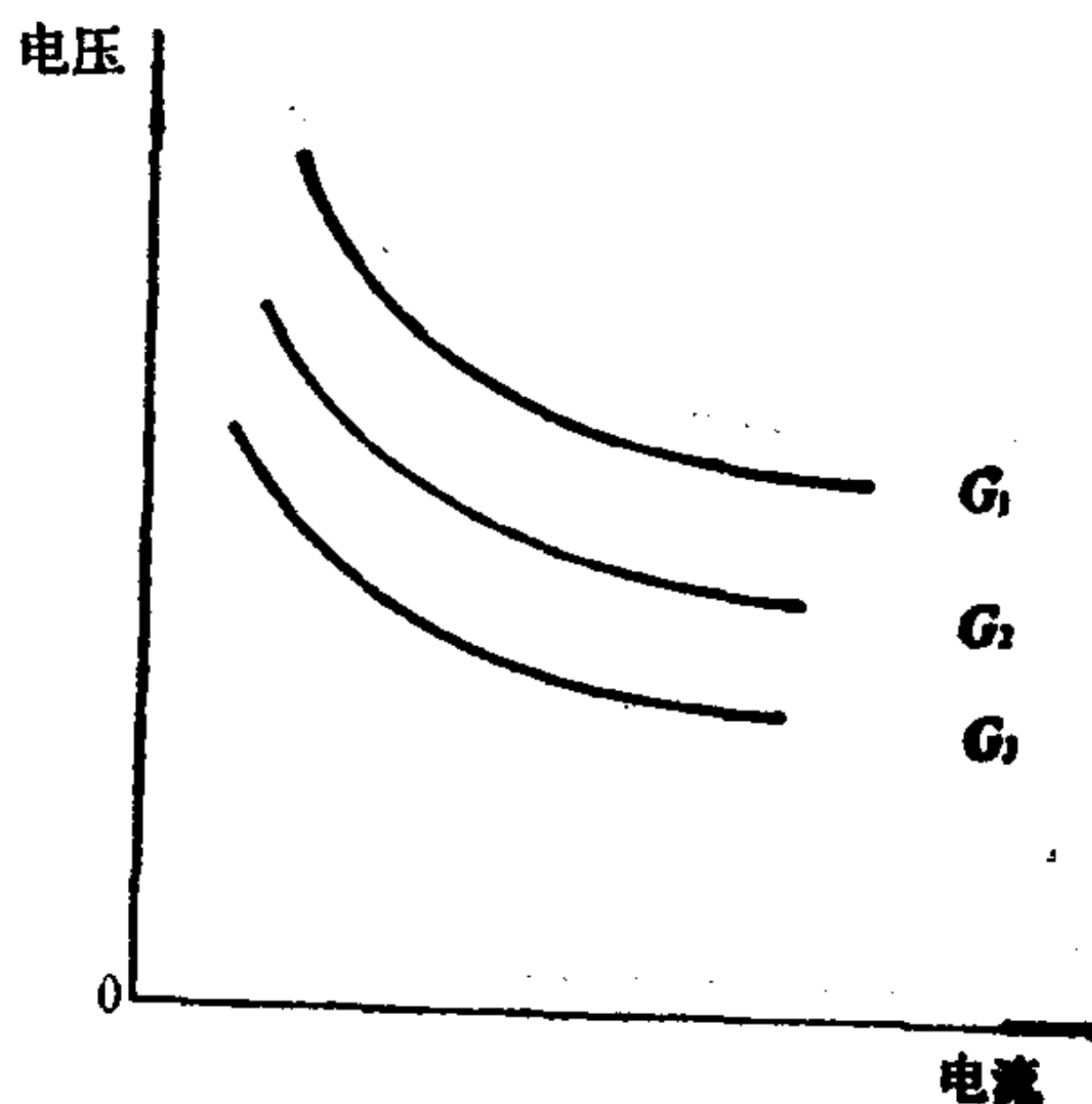


图 2—5 不同工作气流量对伏安特性的影响

量较少。

等离子的供气方式分为直流供气和旋流供气两种。直流供气是指工作气体流动方向与阳极焊嘴中心轴方向平行，局部流速较小，对弧的压缩较柔和，能形成堆焊工艺所需要的柔性弧。

2. 阳极焊嘴的几何尺寸 阳极焊嘴的几何尺寸，主要指焊嘴的直径 d 、通道长度 l 、压缩角 α 。

焊嘴直径愈小，弧柱压缩愈强烈，弧电压增加，弧的刚性增加，在其它尺寸不变的情况下，伏安特性就会向右上方移动，如图 2—6。

焊嘴的通道长度越长，对弧压缩越强烈，弧电压就增加，弧的刚性就强。通常用通道长度 l 和孔径 d 的比值 l/d 来表示对弧的压缩程度和分析对等离子弧伏安特性的影响。 l/d 称为压缩比。压缩比增大，

伏安特性曲线就有向右上方移动的趋势。堆焊枪的压缩比一般在 0.5—1.2 范围内。

压缩角 α 愈小，对电弧的压缩就愈强，弧电压就升高。堆焊枪的压缩角一般在 60° — 75° 。

二、等离子弧堆焊时的伏安特性

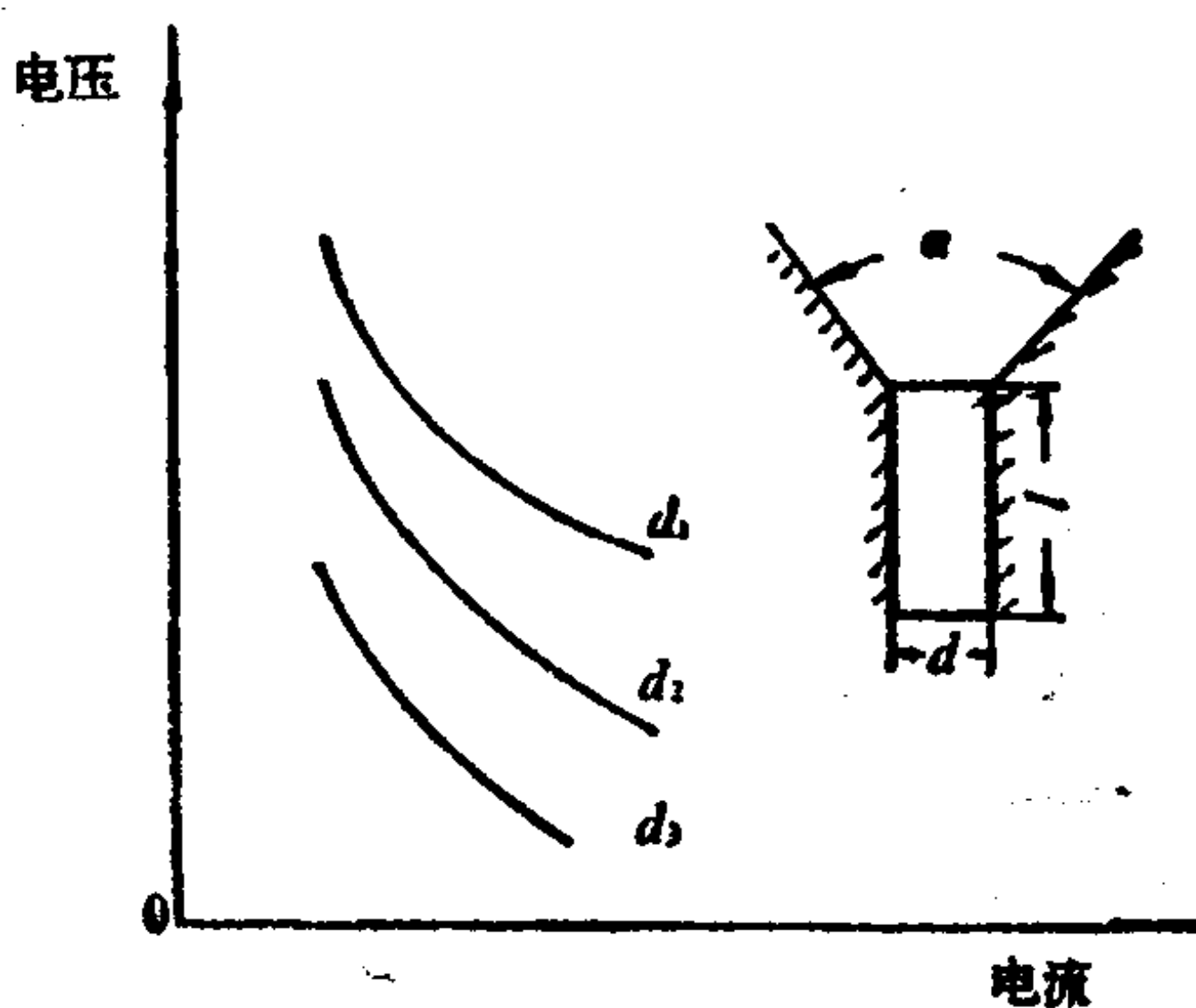


图 2—6 不同焊嘴直径对弧电压的影响

1. 非转移弧的伏安特性 等离子弧堆焊时，非转移弧起着稳定转移弧的作用，在一定的电流下弧压变化不大，伏安特性近于平特性，如图 2—7。图中 1 的 $d = 5$ 毫米，其余 2、3、4 其 d 都是 7 毫米， d 为喷嘴孔径（毫米）。

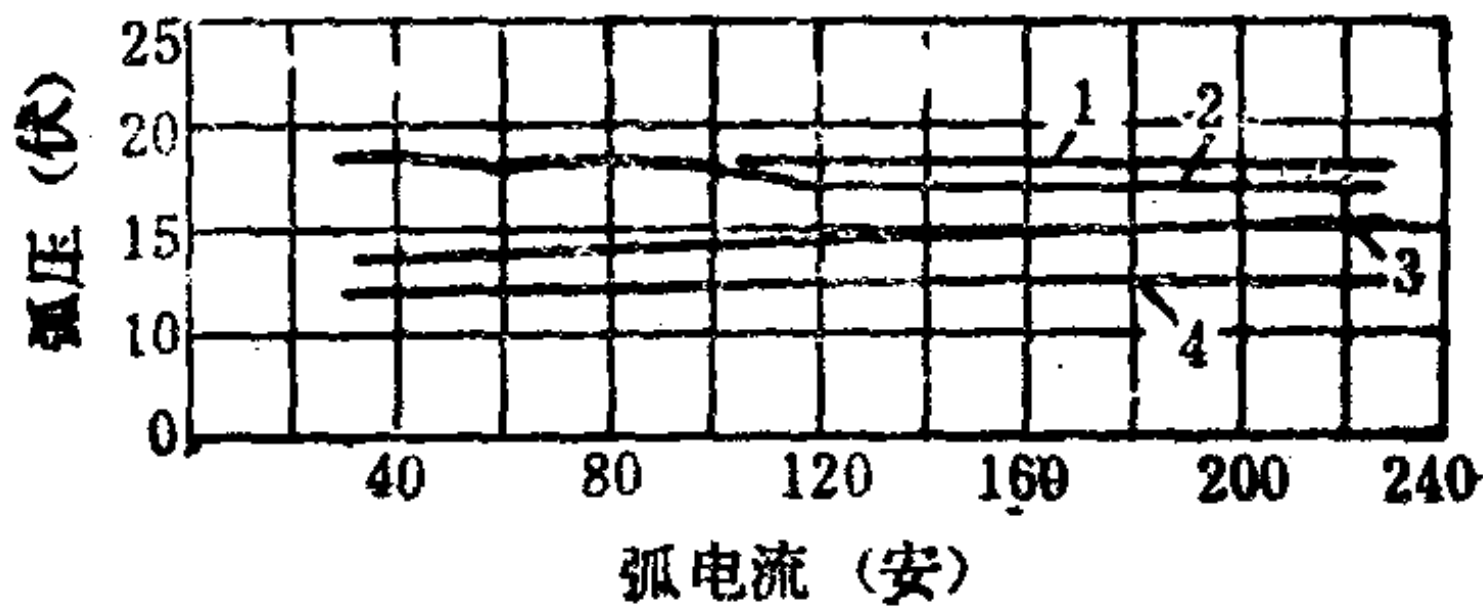


图 2—7 非转移弧的伏安特性

焊嘴孔径、通道长度和工作气体流量的变化，都会使非转移弧的伏安特性平行向上或向下。

2. 转移弧的伏安特性 它是随电流的增加呈上升的伏安特性，如图 2—8。图中 1 其 $d = 5$ 毫米，2 的 $d = 7$ 毫米、3 的

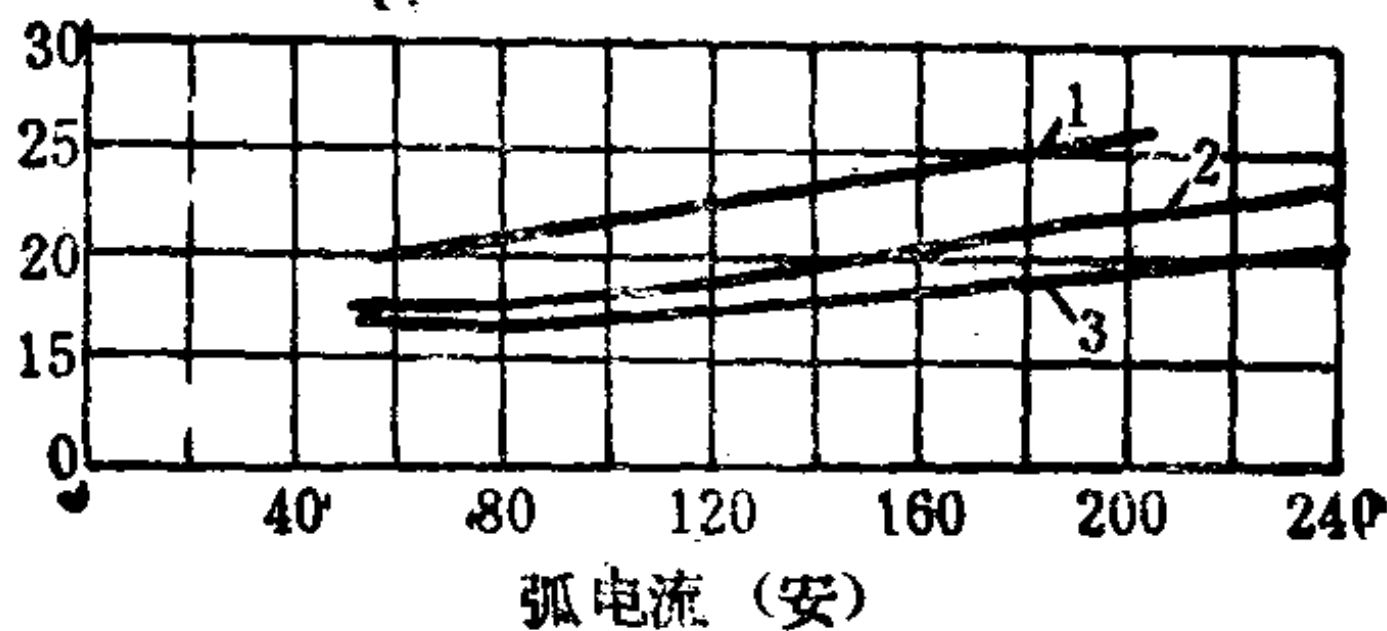


图 2—8 转移弧的伏安特性

$d = 9$ 毫米， d 为喷嘴孔径（毫米）。

对于一定弧长的每条伏安特性曲线，其规律基本上是随着弧电流的增加，弧柱电压近于线性增加，但变化缓慢。等