



精品课程

材料成形装备及自动化

第四章 (4.1-4.2)

华中科技大学材料科学与工程学院

School of Material Science and Technology, HUST



本章主要内容

金属连接成形设备及自动化

4.1 概述

4.2 弧焊设备及自动化

4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

4.2.2 埋弧焊设备

4.2.3 熔化极氩弧焊设备

4.2.4 CO₂ 气体保护电弧焊设备

4.2.5 钨极氩弧焊设备

4.2.6 等离子弧焊接设备





本章主要内容

金属连接成形设备及自动化

4.3 电阻焊装备及自动化

4.3.1 电阻焊原理及分类

4.3.2 电阻焊机的基本结构

4.3.3 点焊装备

4.3.4 缝焊装备

4.3.5 对焊装备





本章主要内容

金属连接成形设备及自动化

4.4 激光焊接设备

4.4.1 激光焊原理及分类

4.4.2 固体激光焊接机

4.4.3 气体激光焊接机

4.5 焊接机器人

4.5.1 概述

4.5.2 点焊机器人

4.5.3 弧焊机器人





4.1 概述

1) . 连接的定义:

金属连接成形是通过适当的物理—化学过程,使两个分离表面的金属原子接近到晶格距离(0.3~0.5nm),形成金属键,从而使金属连为一体。

2) . 连接的对象:

金属材料: 黑色金属材料、有色金属材料

非金属材料: 塑料、陶瓷





4.1 概述

- 3) . 焊接方法分类
按族系法分类，如图4-1所示。





4.1 概述

焊接方法分类图

基本焊接方法

熔化焊

压力焊

钎焊

电弧焊

气焊

铝热焊

电渣焊

电子束焊

激光束焊

电阻点、缝焊

电阻对焊

冷压焊

超声波焊

锻焊

爆炸焊

扩散焊

磨擦焊

火焰钎焊

感应钎焊

炉钎焊

盐浴钎焊

电子束钎焊

电弧焊

熔化极

不熔化极

气焊

氧氢

氧乙炔

空气乙炔

螺栓焊

手弧焊

埋弧焊

氩弧焊

CO2焊

钨极氩弧焊

原子氢焊

等离子弧焊





4.1 概述

4) 主要的焊接设备包括:

电弧焊设备

电阻焊设备

钎焊设备

激光焊设备

焊接机器人





4.2 弧焊设备及自动化

熔化极电弧焊设备：

埋弧焊设备

熔化极氩弧焊设备

CO₂电弧焊设备

非熔化极电弧焊设备

钨极氩弧焊设备

等离子弧焊设备





4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

用来产生焊接电弧并维持电弧燃烧的供电器件，主要有以下几种：

弧焊变压器

矩形波交流弧焊电源

直流弧焊发电机

弧焊整流器

弧焊逆变器

脉冲弧焊电源





4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

一、焊接电弧的静特性

弧焊过程的稳定性主要决定于焊接电弧燃烧的稳定性，这样就引出了“电源—电弧”系统的稳定性，即指电弧静特性和电源外特性间的关系。

电弧的静特性：指一定长度的电弧在稳定状态下，电弧电压 U_f 与电弧电流 I_f 之间的关系，称为电弧的静态伏安特性，简称伏安特性或静特性，如图4-2所示。



4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

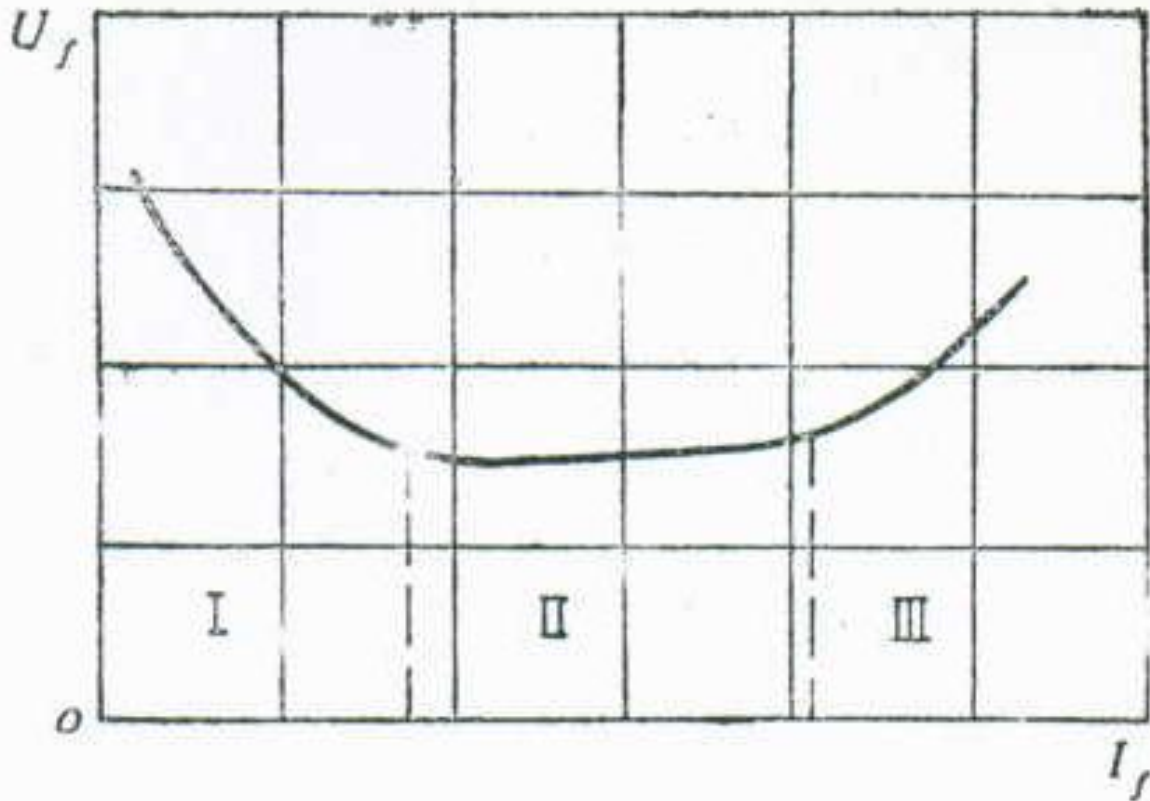


图4-1 焊接电弧的静特性曲线形状



4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

焊接电弧是非线性负载，静特性近似呈U形曲线，可以分为三个区段：

I 段，电弧电压随电流的增加而下降，是一下降特性段，电弧呈负阻特性；

II 段，呈等压特性，即电弧电压不随电流变化，是平特性段；

III 段，电弧电压随电流增加而上升，是上升特性段。





4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

对于各种不同的焊接方法，它们的电弧静特性曲线是有所不同的，而且在其正常使用范围内，并不包括电弧静特性曲线的所有部分。静特性的下降段由于电弧燃烧不稳定而很少采用。

手工弧焊、埋弧焊、不熔化极气体保护焊、等离子弧焊工作在静特性的水平段

熔化极气体保护焊基本上工作在上升段。





4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

二、弧焊电源的外特性

弧焊电源的外特性是指焊接电弧作为弧焊电源的负载，在改变负载时，电源输出的电压稳定值 U_y 与输出的电流稳定值 I_y 之间的关系曲线，即 $U_y=f(I_y)$ 。



4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

三、对弧焊电源外特性的要求

1. “电源—电弧”系统稳定工作条件

在电弧焊接过程中，电源起供电作用，电弧是作为供电对象而用电，从而构成“电源—电弧”系统，如下图所示。

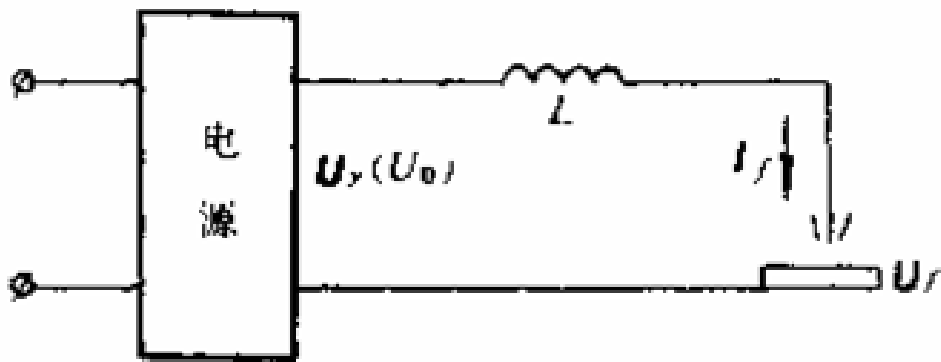


图4-2 “电源-电弧”系统电路的示意图

4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

所谓“电源—电弧”系统的稳定性应包含两方面的含义：

1) 系统在无外界因素干扰时，能在给定电弧电压和电流下维持长时间的连续电弧放电，保持静态平衡。此时应有如下关系：

$$U_f = U_y; \quad I_f = I_y$$

式中， U_f 和 I_f 各为电弧电压和电弧电流的稳定值。

为满足上式，电源外特性 $U_y = f(I_y)$ 与电弧静持性 $U_f = f(I_f)$ 必须能够相交，如图4-3所示。



4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

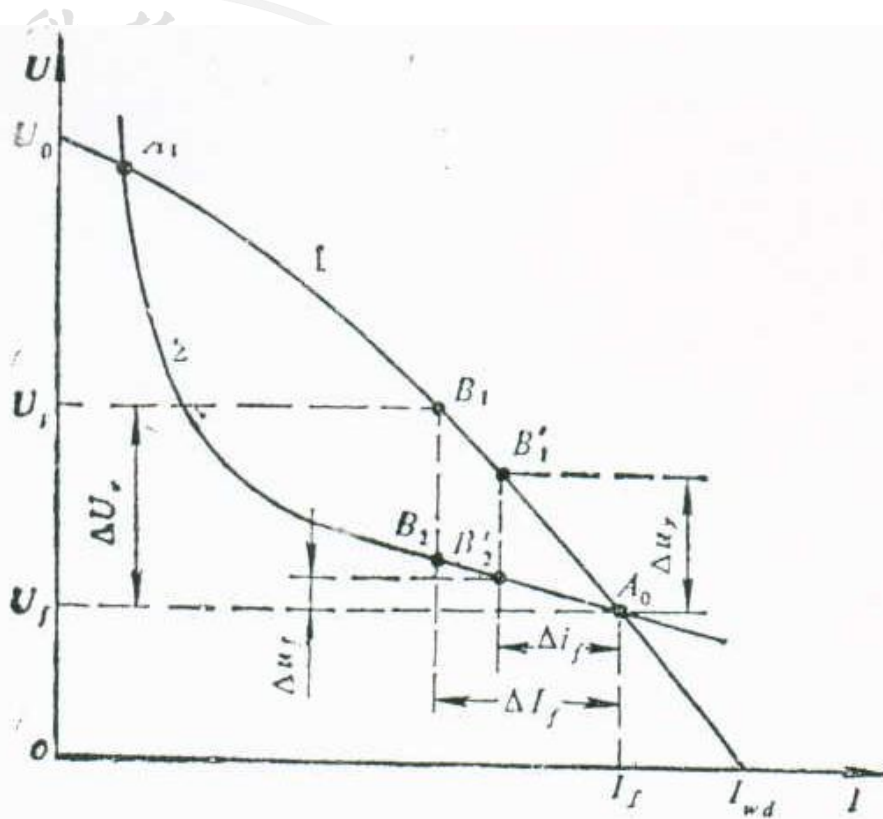


图4-3 “电源—电弧”系统工作状态图



4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

1) 电源外特性曲线1与电弧静特性曲线2相交于 A_0 和 A_1 点。这两个交点确定了系统的静态稳定状态。但在实际焊接过程中，由于操作的不稳定、工件表面的不平和电网电压的突然变化等外界干扰的出现，都会破坏这种静态平衡。

2) 当系统一旦受到瞬时的外界干扰，破坏了原来的静态平衡，造成了焊接工艺参数的变化，但当干扰消失之后，系统能够自动地恢复到原来的平衡点。

要达到这一条件，电弧静特性曲线在工作点上的斜率必须大于电源外特性曲线在工作点上的斜率，显然图4-3中的 A_0 点是稳定工作点。



4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

不同的焊接电弧（弧焊工艺）对弧焊电源外特性曲线的要求电源的外特性形状除了影响“电源—电弧”系统的稳定性外，还关系到焊接工艺参数的稳定。在外界干扰使弧长变化的情况下，将引起系统工作点移动和焊接工艺参数出现静态偏差。为了获得稳定的焊接过程，不但要求电弧燃烧稳定，而且还要求干扰引起的静态偏差愈小愈好。因此，需要一定形状的电弧静特性与适当形状的电弧外特性相配合。





4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

(1) 焊条电弧焊

电弧静特性：平特性

电源外特性：下降特性

(2) 熔化极弧焊 包括埋弧自动焊、熔化极氩弧焊(MIG)和CO₂气体保护焊与含有活性气体的混合气体保护焊(MAG)等。采用这些弧焊方法时，不仅要根据其电弧静特性的形状，而且还要考虑送丝的方式来选择合适的弧焊电源外特性工作部分的形状。根据送丝方式不同，熔化极弧焊可分为下述两种：





4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

1) 等速送丝控制系统熔化极弧焊 包括 CO_2 / MAG、MIG焊或细丝(直径 $\varphi \leq 3\text{mm}$)的直流埋弧自动焊。

电弧静特性：上升特性

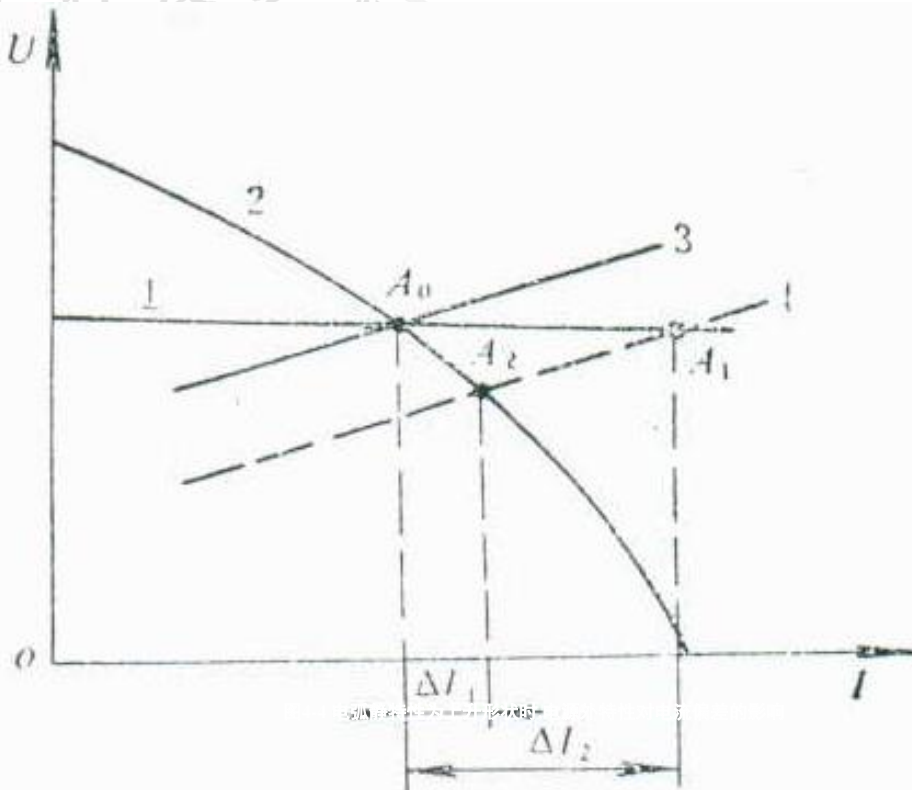
电源外特性：下降、平、微升特性

由于电极中的电流密度较大，电弧的自身调节作用较强，此时应尽可能配用平的电源外特性。当弧长变化时，引起电流和焊丝熔化速度变化大，能很快恢复弧长原值。如图4-4所示，平的特性比下降外特性引起的电流偏差大，弧长恢复快。





4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介





4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

2) 变速送丝控制系统熔化极弧焊 包括通常的埋弧焊（焊丝直径大于3mm）和一部分MIG焊。

电弧静特性：平特性

电源外特性：下降外特性

这时焊丝中电流密度较小，电弧自身调节作用不强，不足以在弧长变化时维持焊接工艺参数稳定，所以也就不宜采用等速送丝控制系统，而应采用利用电弧电压作为反馈量调节送丝速度的变速送丝控制系统。



4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

变速送丝控制系统的弧焊电源与电弧静特性的关系如图4-5所示。

当弧长拉长时，电弧电压增大迫使送丝加快，因而使弧长得以恢复。同时，选择较陡的下降外特性，则在弧长变化时引起的电流偏差较小，有利于焊接工艺参数（主要指的是焊接电流）的稳定。

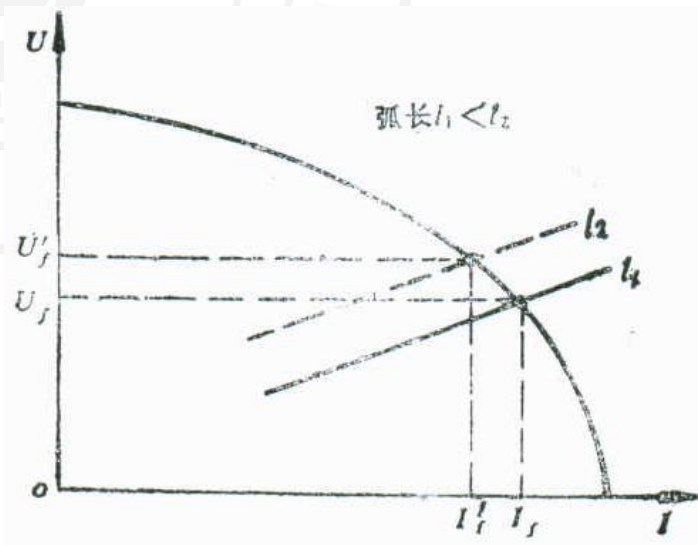


图4-5 变速送丝控制系统的弧焊电源与电弧静特性的关系

4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

(3) 非熔化极电弧焊 包括钨极氩弧焊 (TIG) 和等离子弧焊等。

- 电弧静特性: 平的或略上升特性
- 电源外特性: 恒流外特性

如图4-6所示。

曲线3为恒流的外特性 (亦称垂直陡降外特性), 当弧长由 L_1 变为 L_2 时, 恒流外特性的电流偏差 ΔI_3 最小, 即焊接电流稳定。

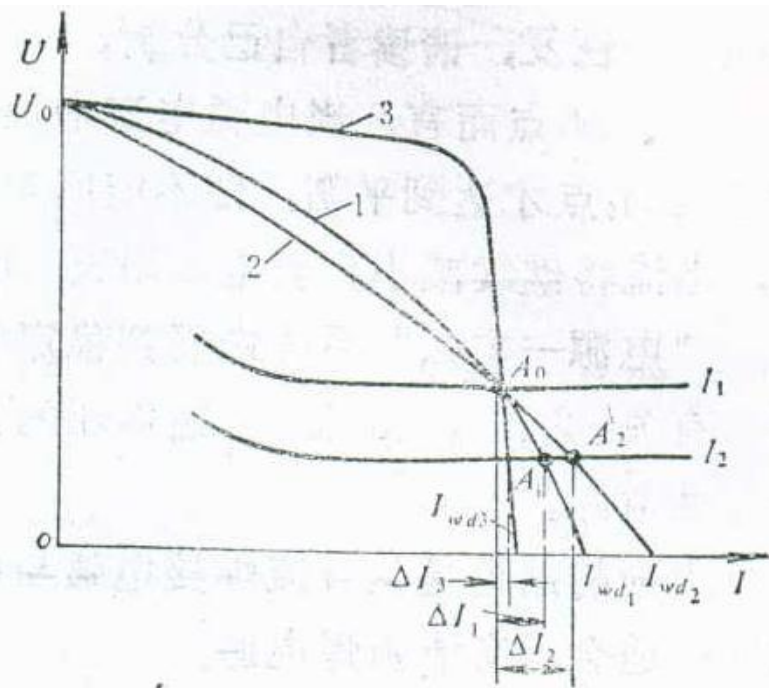


图4-6 弧长变化时引起的电流偏移
1, 2—缓降特性的电源 3—恒流特性的电源
 I_1, I_2 —电弧静特性



4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本特性简介

(4) 对弧焊电源动特性的要求

焊接电弧对供电的弧焊电源来说就是一个动态负载。要使这个动态的电弧稳定燃烧，则还需要弧焊电源有相应快速响应的动特性能力。即是说，电弧负载状态发生突然变化时，要求弧焊电源输出电压与电流有较快的响应速度。当动特性合适时，电弧的引弧和熔滴短路过渡后重新引弧容易，熔滴过渡平稳飞溅少。

动特性一般用瞬时短路电流峰值（包括空载到短路和负载到短路）、负载到短路的瞬时电流增长速度、短路到空载的电压恢复速度等指标来描述。



4.2.2 埋弧焊设备

一、埋弧焊工作原理及应用

1. 埋弧焊的工作原理

埋弧焊属熔化极弧焊，由于电弧被掩埋在由颗粒状焊剂化后所形成的气流内燃烧，故称为埋弧焊，如图4-7所示。

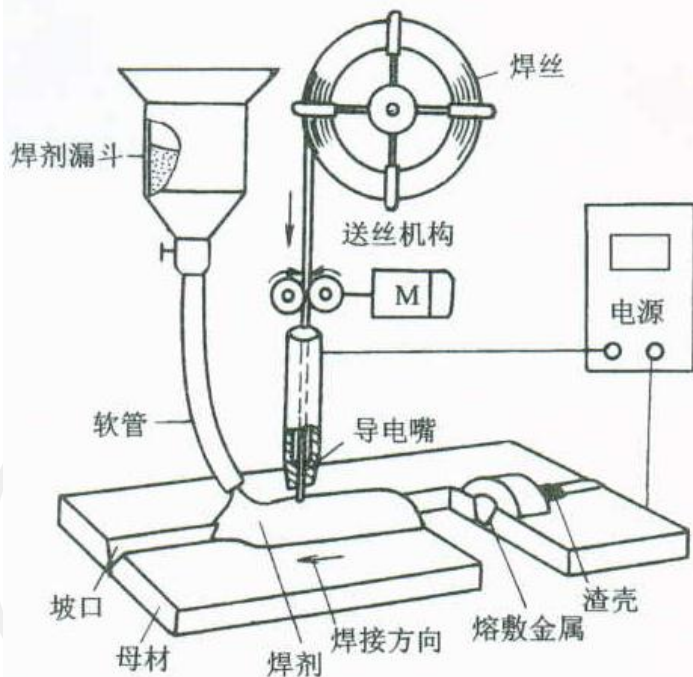


图4-7 埋弧焊过程示意图



4.2.2 埋弧焊设备

2. 埋弧焊的应用

埋弧焊采用自动送丝和电弧自动行走，称为埋弧自动焊，是自动焊的最早形式。它具有生产效率高、焊接质量好以及劳动条件好等优点。

因此埋弧焊在桥梁、船舶、锅炉等行业中得到了广泛应用。经历了60多年的发展历程，埋弧自动焊已经从最初的单丝埋弧焊演变到今天的双丝、多丝等多种方法。





4.2.2 埋弧焊设备

二、埋弧自动焊机分类与结构特点

1) 按电源分类

- 交流（弧焊变压器）
- 直流（弧焊发电机和弧焊整流器）
- 交流与直流两用

2) 按用途分类

- 通用
- 专用

3) 按送丝方式分类

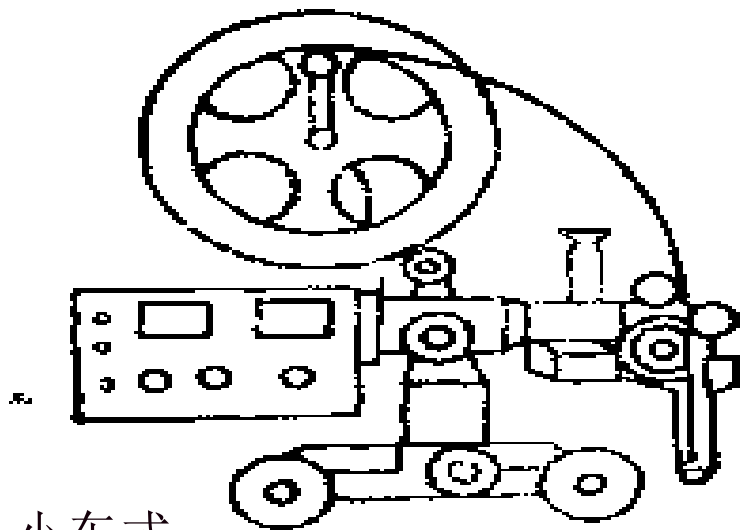
- 等速送丝式
- 变速送丝式



4.2.2 埋弧焊设备

4) 按行走机构形式分类

- 小车式
- 门架式
- 悬臂式

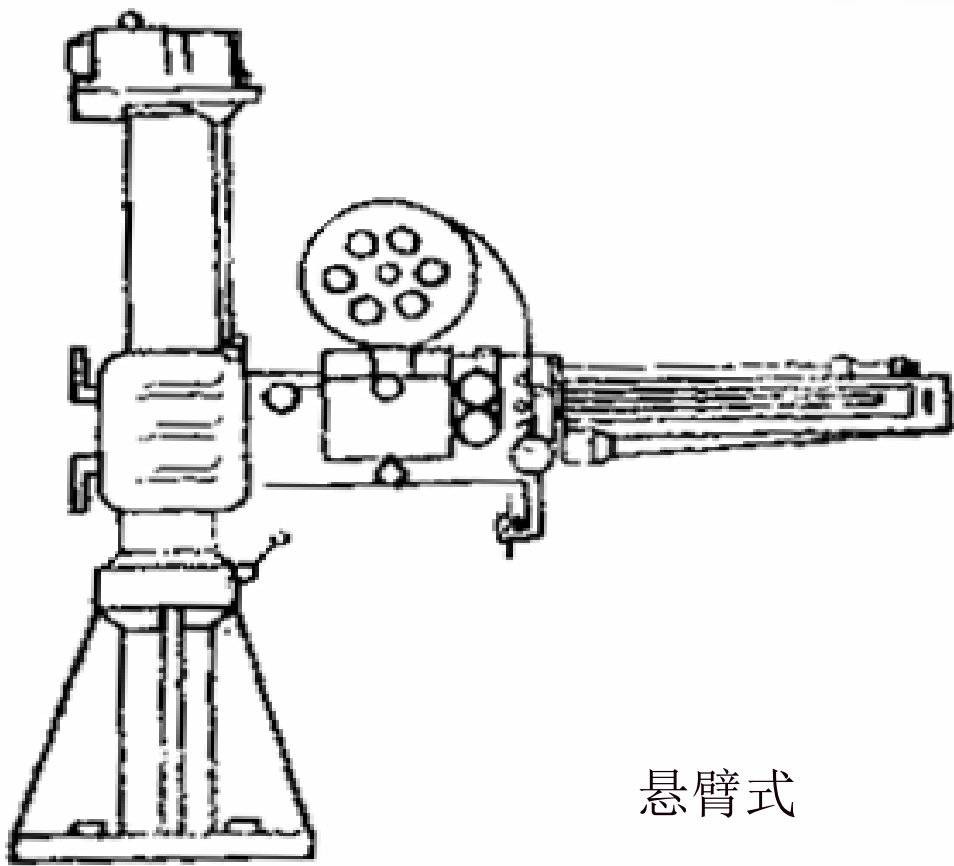


小车式



门架式

4.2.2 埋弧焊设备



悬臂式



4.2.2 埋弧焊设备

5) 按焊丝数目和形状分类

- 单丝
- 多丝
- 带状电极

典型的埋弧焊机，其组成包括：埋弧焊电源、控制系统、机械系统（送丝机构、行走小车、导电嘴、焊丝盘及焊剂漏斗）、辅助装备（焊接夹具、工件变位机、焊缝成形装置及焊剂回收装置等）。



4.2.2 埋弧焊设备

三、埋弧焊机的结构

埋弧焊机通常由机械、电源和控制系统三个主要部分组成。

1. 机械部分

图4-8所示MZ-1000型埋弧焊机的焊接小车为埋弧焊典型机械系统代表，它由送丝机头、行走小车、机头调节机构、导电嘴以及焊丝盘、焊剂斗等部件构成，通常还装有控制系统的操作面板。图4-9和图4-10分别为焊丝送给传动系统和小车行走传动系统结构图。

4.2.2 埋弧焊设备

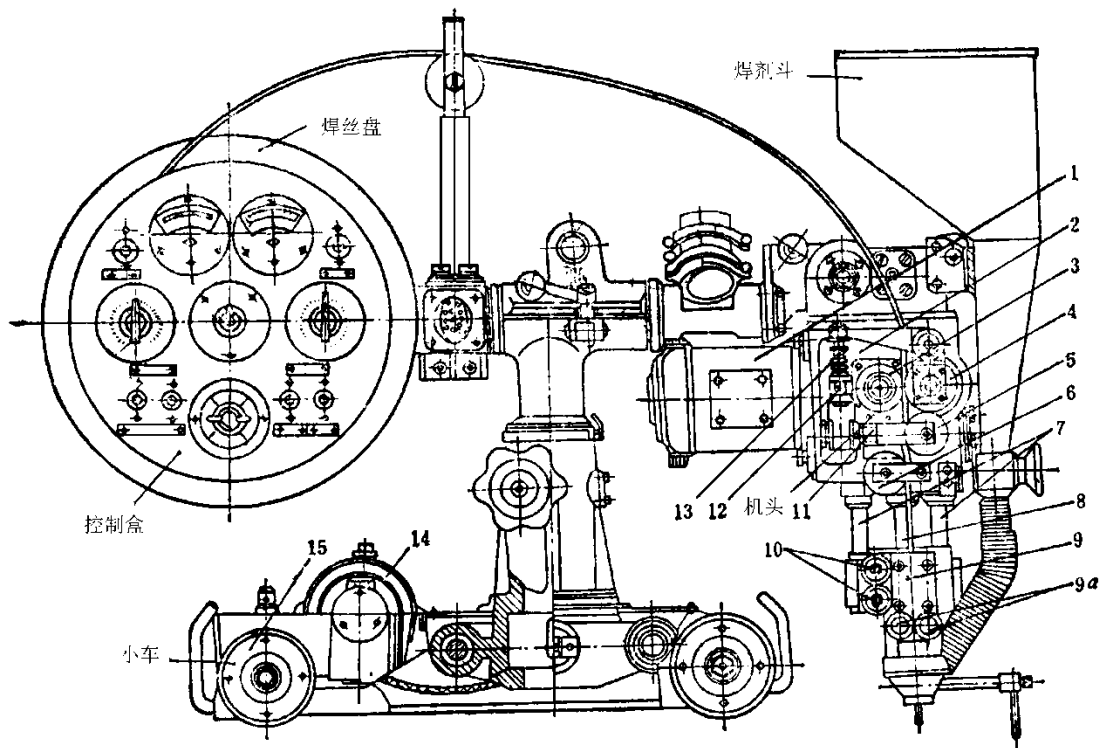


图4-8 MZT-1000 型自动焊小车

明德厚学 求是创新

- 1-送丝电机 2-杠杆 3、4-送丝滚轮 5、6-矫直滚轮 7-圆柱导轨 8-螺杆
 9-导电嘴 9a-螺丝(压紧导电块用) 10-螺丝(接电极用) 11-螺钉 12-旋转螺钉 13-弹簧
 14-小车电机 15-小车滚轮



4.2.2 埋弧焊设备

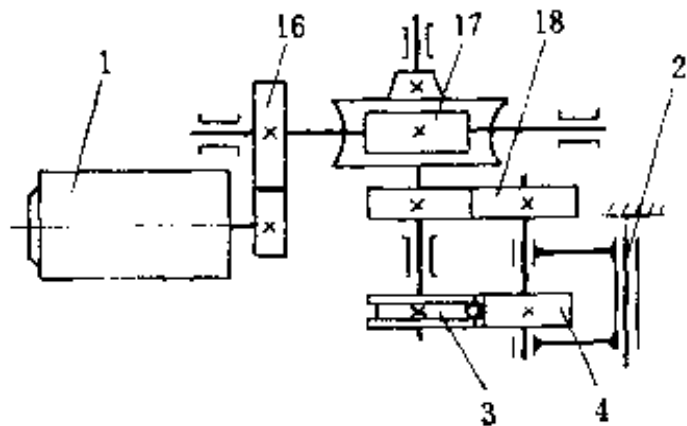


图4-9 焊丝给送机构传动系统

- 1—电动机 2—杠杆 3、4—送丝滚轮
- 16、圆柱齿轮 17—蜗轮蜗杆
- 18—圆柱齿轮

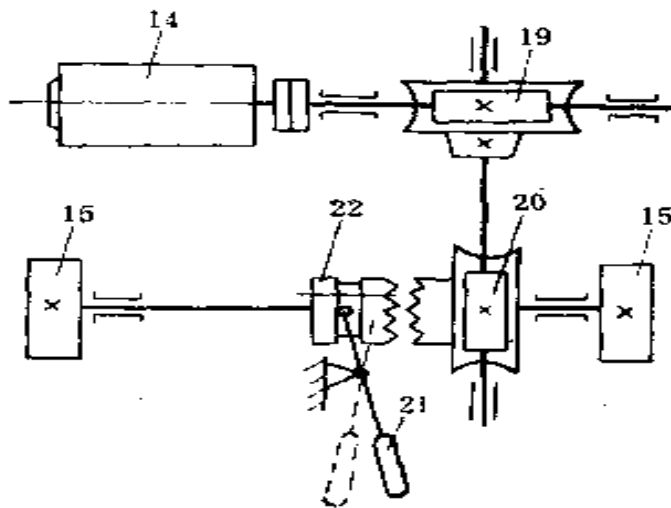


图4-10 小车行走机构传动系统

- 14—行走电动机 15—行走轮
- 19、20—蜗轮蜗杆
- 21—手柄 22—离合器



4.2.2 埋弧焊设备

2. 电源

埋弧自动焊可采用交流或直流电源，可根据工件材质及焊剂型号选定。一般碳素钢或低合金结构钢配用高锰硅低氟焊剂“HJ430”或“HJ431”时，应优先考虑采用交流电源；若用低锰低硅高氟焊剂，则应选用直流反极性电源，以保证电弧稳定并使工件焊缝熔深较大。

等速送丝调节式宜用缓降外特性电源；电弧电压反馈调节式则选用陡降外特性电源。由于埋弧焊弧柱电场强度高，要求电源的空载电压较高，一般在70~90V。常用的电源有：交流为BX2-1000，直流为ZXG-1000R、ZP5-1250等。





4.2.2 埋弧焊设备

3. 控制系统

通用小车式埋弧自动焊机的控制系统包括：

送丝与行走驱动控制

引弧和熄弧程序控制

电源外特性控制等环节

门架式、悬臂式等专用埋弧焊机还包括：

悬臂伸缩和升降

立柱旋转

焊剂回收等控制环节





4.2.2 埋弧焊设备

四、埋弧焊机举例

例：MZ-1-1000型埋弧自动焊机

系统组成：焊接电源 + 焊接小车

系统电路：主电路 + 控制电路

1. 主电路

主要指焊接电源电路，（见图4-11中虚线框所示）。本机配用ZXG-1000R型弧焊整流器。包括：

变压器：将电网电压降低到焊接所需要的整流交流侧电压；

饱和电抗器的：控制焊接所需要的下降外特性和调节焊接电流的大小；

硅整流器：将交流变成直流。



4.2.2 埋弧焊设备

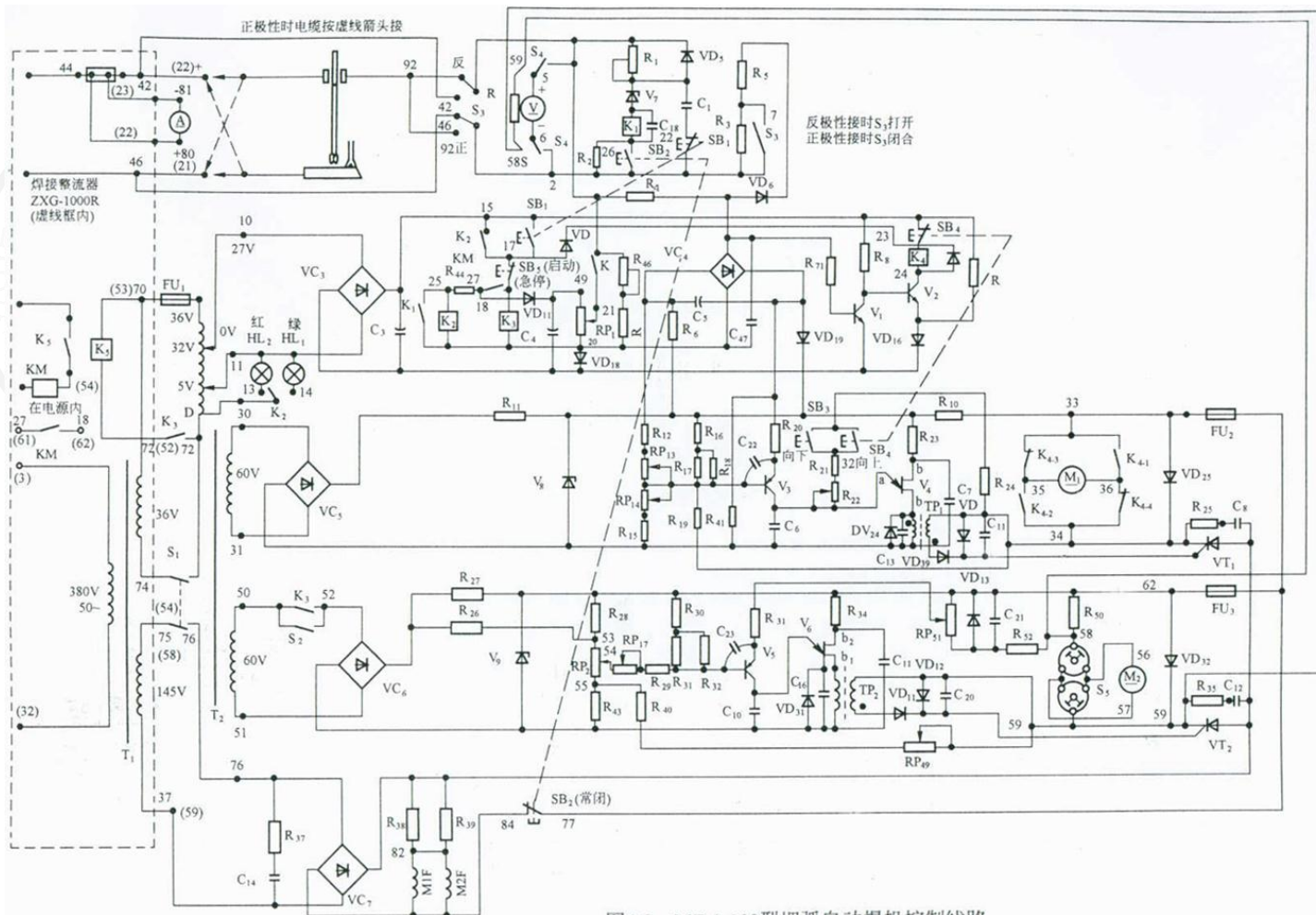


图4-11 MZ-1-1000型埋弧自动焊机控制线路原理图



4.2.2 埋弧焊设备

2. 控制电路

- 送丝驱动电路

采用电弧电压负反馈自动调节系统送丝，即变速送丝方式。

- 小车行走驱动电路

- 焊接程序控制电路

包括焊前小车行走速度调整、焊丝位置调整以及焊接启动和停止等控制环节。





4.2.3 熔化极氩弧焊设备

熔化极氩弧焊示意图如图4-13所示。

MIG焊：以氩气作保护气体（metal inert-gas are welding）；

MAG焊：以富氩（Ar-O₂、Ar-CO₂、Ar-CO₂-O₂）等作保护气体。

应用：

在铝及铝合金、铜及铜合金、不锈钢及钛合金等中等厚度以上的金属材料的焊接中，尤其是对铝及铝合金的焊接，当采用直流反接法电弧时，由于电弧的阴极雾化清理作用，不需要焊前特别清洗，就可获得优质的焊缝。



4.2.2 埋弧焊设备

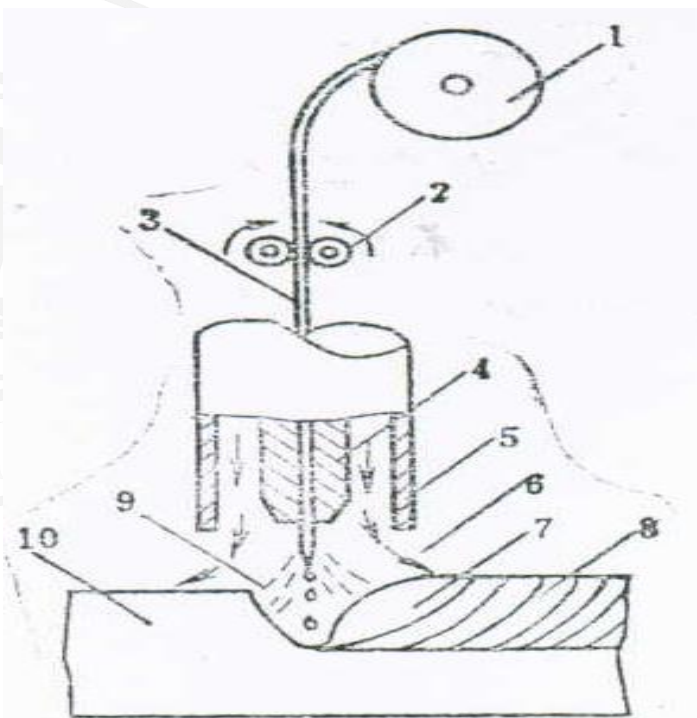


图4-13 熔化极氩弧焊示意图

1. 焊丝盘 2. 送丝滚轮 3. 焊丝 4. 导电嘴
5. 保护气体喷嘴 6. 保护气体 7. 熔池
8. 焊缝金属 9. 电弧 10. 母材



4.2.2 埋弧焊设备

熔化极氩弧焊分类：

按操作方式分为自动焊和半自动焊；

按电弧电流形式可分为连续电弧焊和脉冲电弧焊；按送丝方式也可分为等速送丝式和电弧电压调节变速送丝式。

一般半自动焊机采用细丝等速送丝控制系统，自动焊机采用粗丝电弧电压及反馈调节变速送丝控制系统。

熔化极氩弧焊设备设备的组成：

焊接电源、焊枪及行走机构（半自动焊无行走机构）、送丝机构、供气供水系统和控制系统。如图4-14所示。



4.2.2 埋弧焊设备

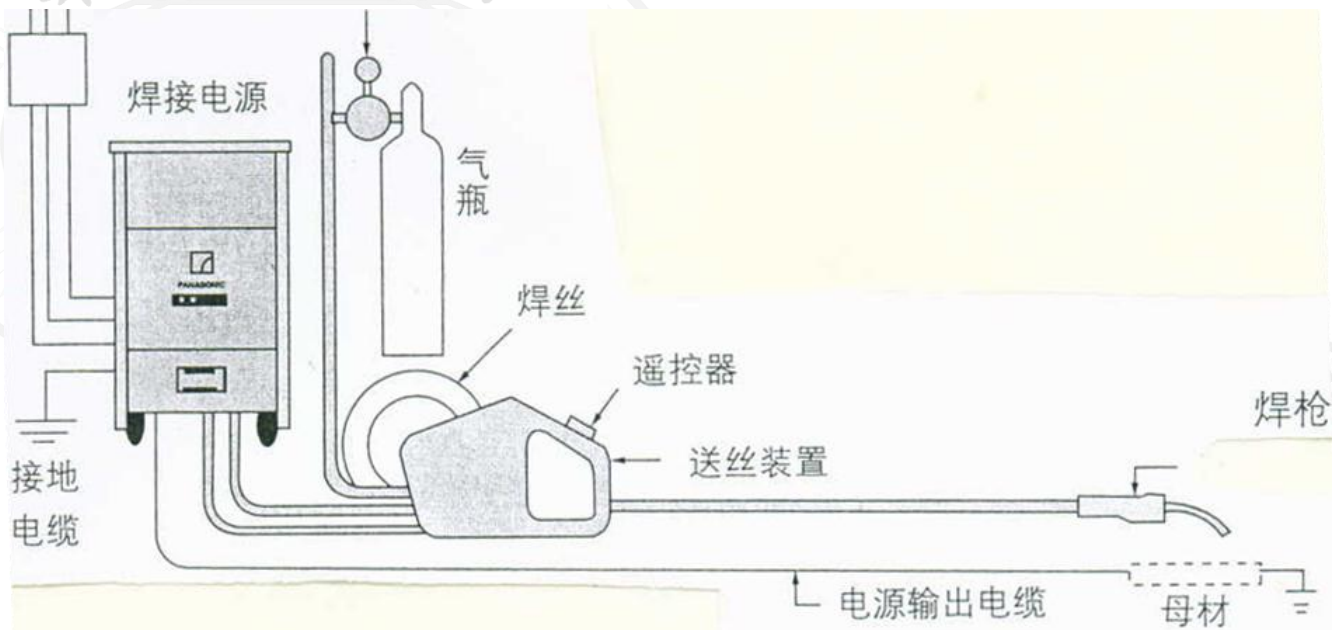


图4-14 熔化极氩弧焊机的组成示意图



4.2.2 埋弧焊设备

1. 焊接电源

熔化极氩弧焊通常使用直流电源，主要有硅弧焊整流电源、晶闸管弧焊整流电源、晶体管弧焊整流电源及逆变式弧焊整流电源等。当焊丝直径 $\geq 2.0\text{mm}$ 时，应选择陡降外特性的电源，配以电弧电压反馈调节式送丝机构；当焊丝直径 $< 1.6\text{mm}$ 时，应选择平外特性的电源，配以等速式送丝机构。

在采用脉冲熔化极氩弧焊工艺时，就必须配备电弧电流大小按时间可规律地控制输出的脉冲弧焊电源。





4.2.2 埋弧焊设备

2. 焊枪

熔化极氩弧焊的焊枪可分为自动焊枪和半自动焊两类。

图4-15为双层气流保护的氩弧自动焊枪结构，
图4-16、4-17为半自动焊枪结构。

焊枪的冷却方式：

气冷和水冷两种。当焊接电流大于200A时要采用水冷方式，其结构多为手枪式。



4.2.2 埋弧焊设备

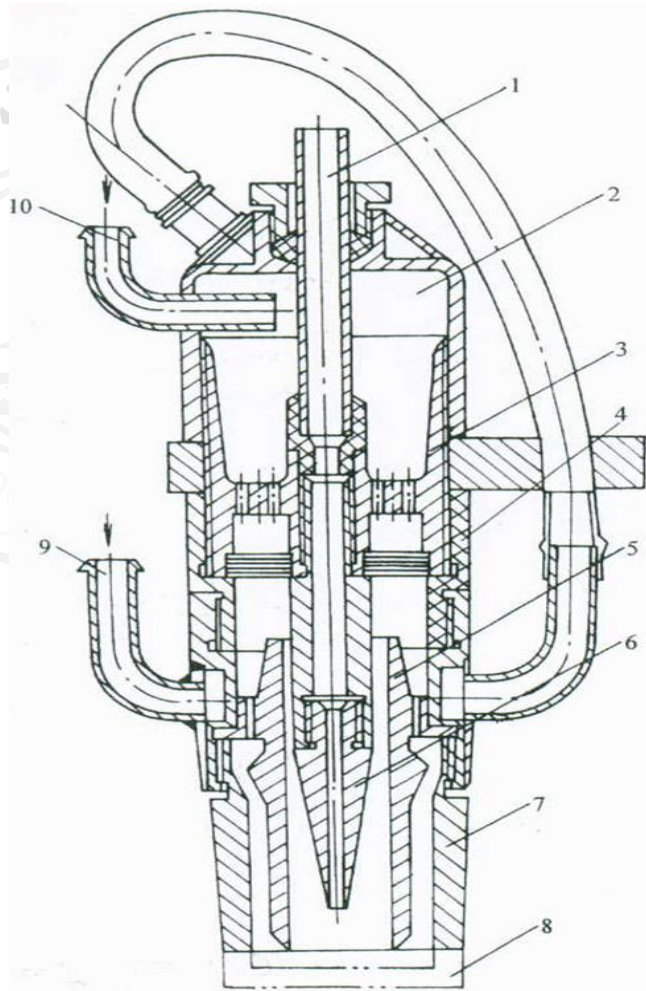


图4-15 双层气流保护的自动焊枪结构

- | | |
|--------|---------|
| 1. 铜管 | 2. 镇静室 |
| 3. 导流体 | 4. 铜筛网 |
| 5. 分流套 | 6. 导电嘴 |
| 7. 喷嘴 | 8. 帽盖 |
| 9. 进水管 | 10. 进气管 |

明德厚学 求是创新
WUHAN CHINA

4.2.2 埋弧焊设备

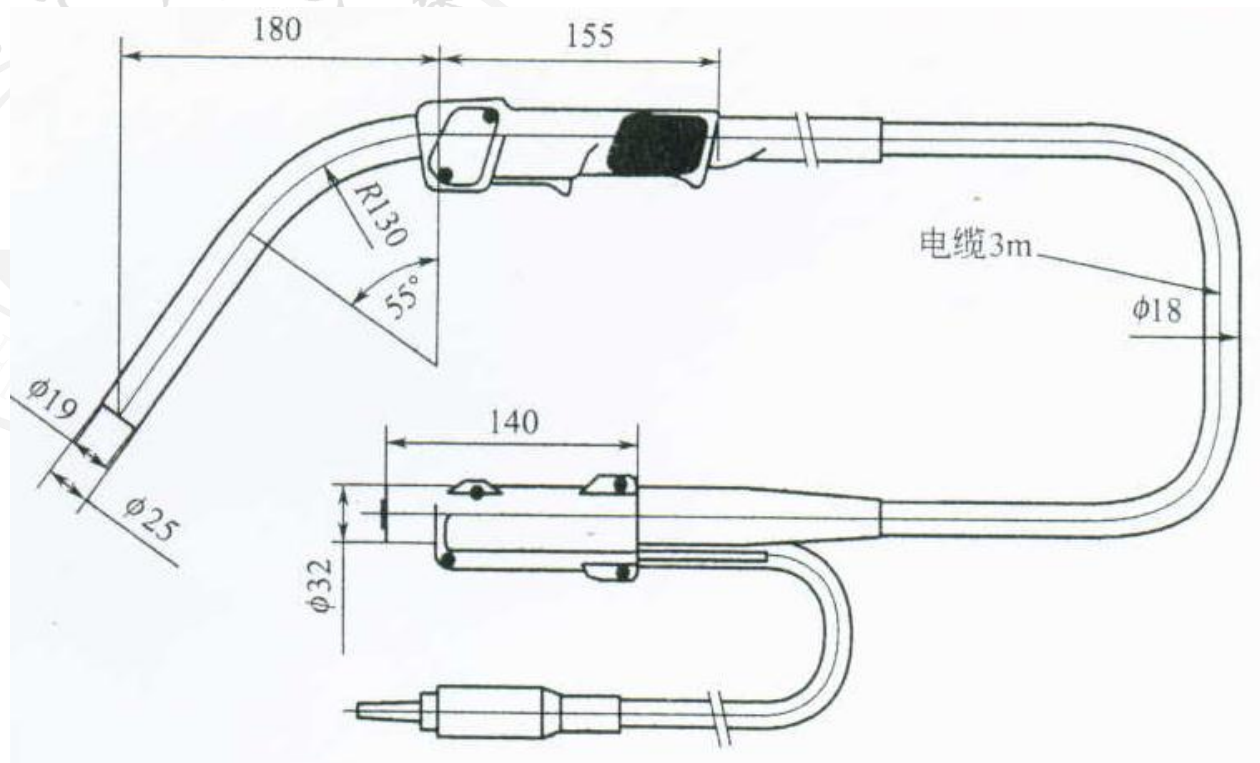


图4-16 典型鹅颈式气冷焊枪的示意图

4.2.2 埋弧焊设备

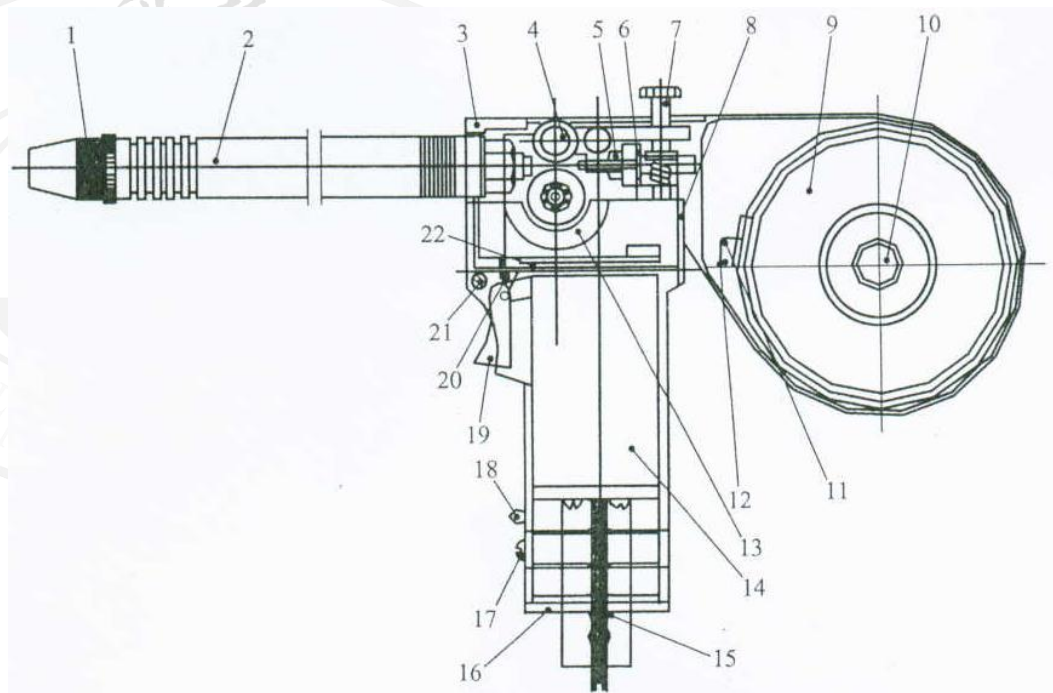


图4-17 典型的手枪式焊枪的结构示意图

- 1—喷嘴 2—导电嘴 3—套筒 4—导电杆 5—分流环 6—挡圈
 7—气室 8—绝缘圈 9—紧固螺母 10—锁母 11—球型气阀 12—
 枪把 13—退丝开关 14—送丝开关 15—扳机 16—气管



4.2.2 埋弧焊设备

3. 供气供水系统

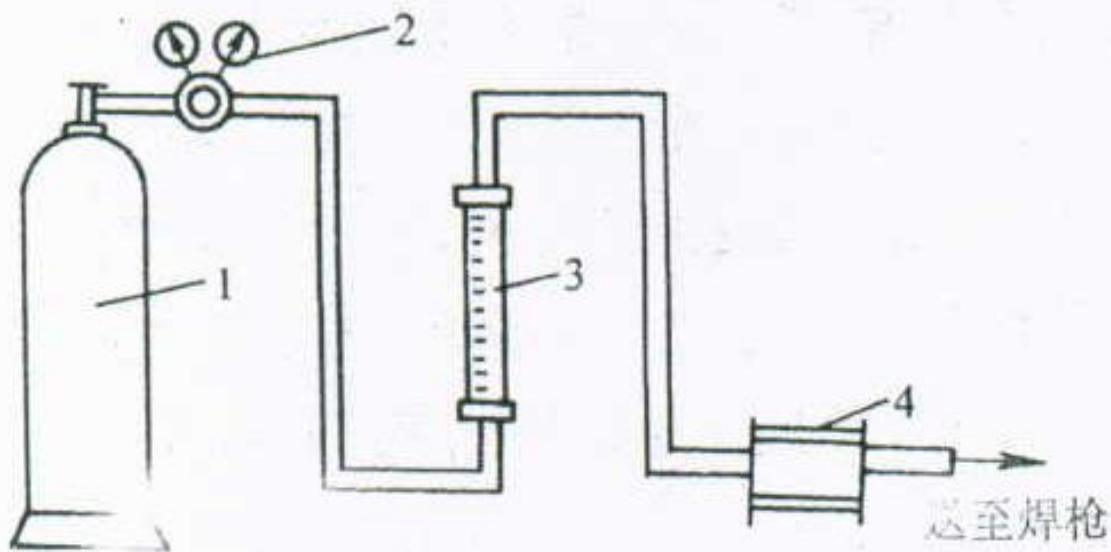
供气系统由氩气瓶、减压阀、流量计、电磁气阀等组成，如图4-18所示。如果是混合气体，还需有 O_2 气瓶、 CO_2 气瓶、He气瓶以及气体配比器。

减压阀用来将气瓶中的高压气体（一般为15MPa）降为所要求的压力。流量计用来调节保护气体的流量。电磁气阀用来控制保护气的通断。

供水系统是为了大电流焊接时，冷却焊枪中电缆及发热部件，以保护和延长焊枪使用时间。



4.2.2 埋弧焊设备



明德厚学 求是创新

图4-18 供气系统组成

1—高压气屏 2—减压阀 3—流量计 4—电磁气阀



4.2.2 埋弧焊设备

4. 送丝机构

熔化极自动氩弧焊的送丝机构与埋弧自动焊送丝机构大同小异，焊丝从焊丝盘到导电嘴处，距离很短，不需要送丝软管，所以焊丝输送过程中不存在堵塞现象，送丝机构相对简单些。这里介绍的是半自动焊的送丝机构。熔化极半自动氩弧焊是由人工手动操作焊枪，使用时灵活机动、在焊接生产中应用广泛，其送丝方式有三种，如图4-19所示。



4.2.2 埋弧焊设备

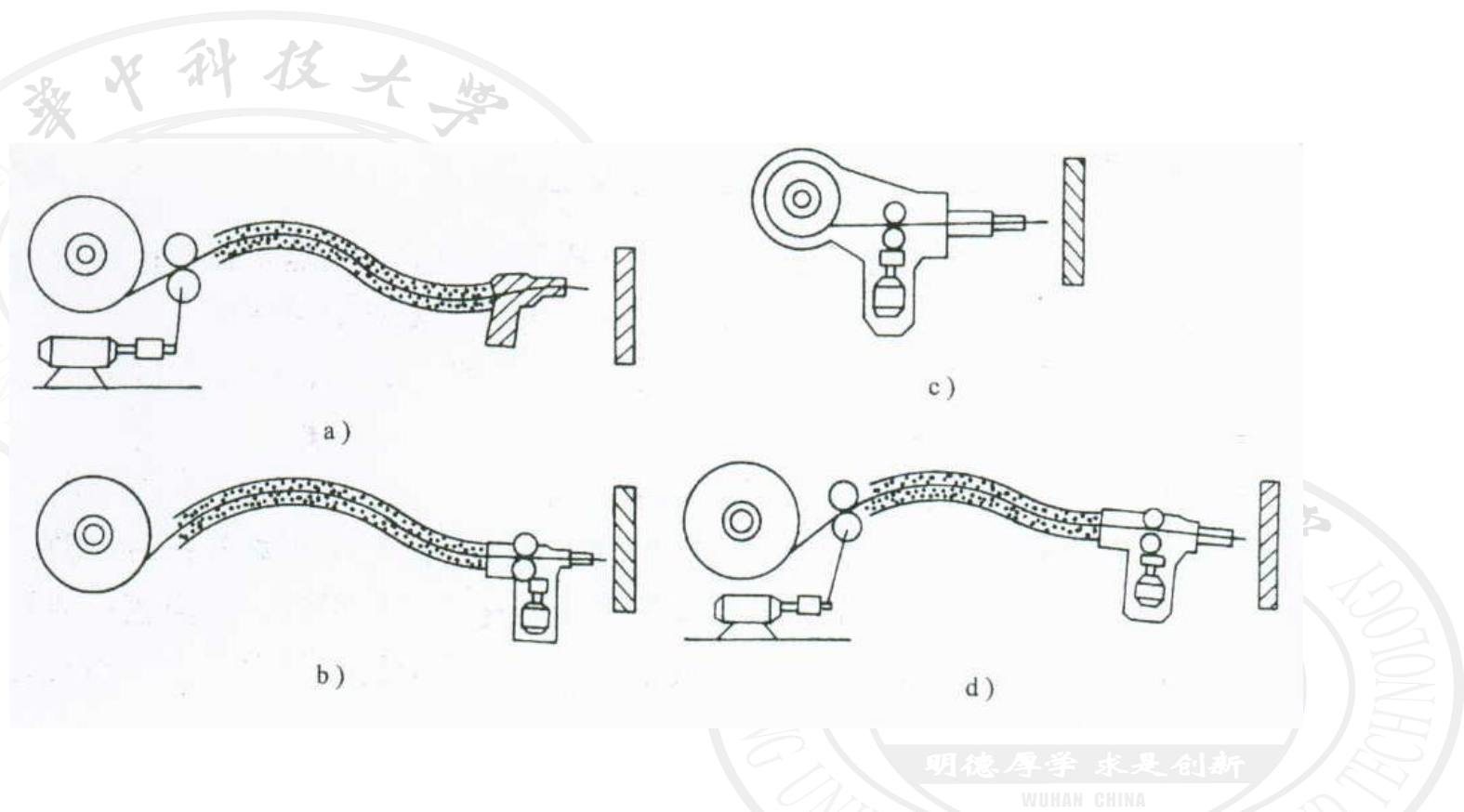


图4-19 熔化极半自动焊机送丝方式示意图
a) 推丝式 b)、c) 拉丝式 d) 推拉丝式



4.2.2 埋弧焊设备

5. 控制系统

目前设计制造的电子控制的熔化极气体保护焊机为通用型，既可用于MIG、MAG，也可用于CO₂焊。其控制系统包括焊接电源控制电路、送丝控制电路和焊接程序控制电路等。

如国产NB系列熔化极气体保护焊机控制系统有：电源控制电路，包括移相与触发控制电路、外特性控制电路和焊接电流波形控制电路；送丝电机驱动主电路及控制电路；焊接参数（焊接电流、焊接电压）一元化调节电路，引弧控制电路包括电源电压控制电路和慢送丝引弧控制电路，焊接程序控制电路等，如图4—20所示。



4.2.2 埋弧焊设备

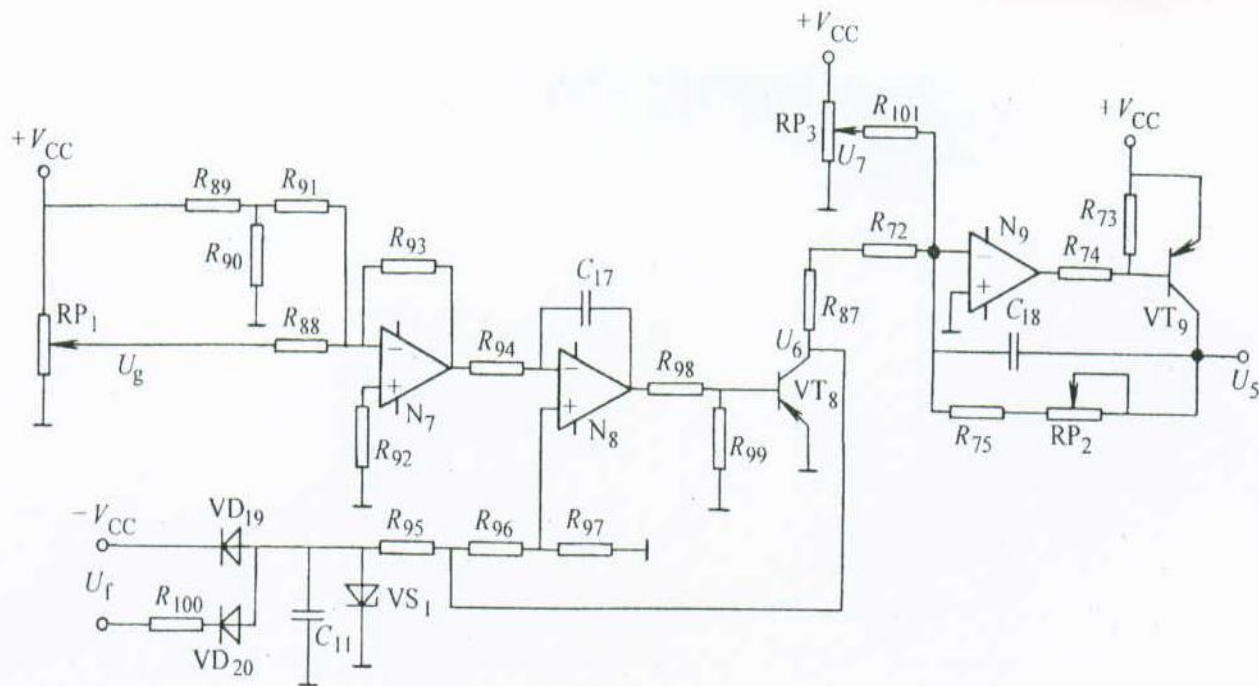


图4-20 焊接参数一元化调节电路原理图



谢谢!

