

电 弧 焊 智 能 机 器 人

靳桂华 黄良驹

(吉林工业大学)

一、前 言

电弧焊机器人是具有某些智能的机器人，即所谓第二代机器人。它是可以代替人进行电弧焊操作的自动化装置。

电弧焊是工人处于高热、噪音、闪光、飞溅、烟气等恶劣环境的作业，并且需要操作者有相当熟练的技术。因此电弧焊自动化引起许多国家的重视。

过去，大量生产的产品，其焊接线多为直线和圆弧，可采用专用的自动焊机。75年以后，在国际上看，由于产品的激烈竞争，致使生产类型产生很大变革，那种数年如一日只生产同种产品的时代已经过去，其趋势是产量大致固定而品种明显增加。就生产线来说，正朝着同一生产线能制造数种产品，即所谓混合生产线发展。因此对具有较复杂、多变焊接线的工件，从而产生了用通用性、灵活性高的机器人进行焊接的强烈要求。

机器人比人的动作更准确、可靠，能保证产品质量及其一致性；机器人能连续工作，并且辅助时间极少，从而提高生产率；便于经营管理；同时把人从恶劣、紧张工作中解放出来。对于特殊场合下的焊接，如水下焊接、宇宙焊接、腐蚀性介质中焊接，以及人不能直接到达的地方焊接，机器人更大有用武之地。

二、电弧焊机器人的特性

关于工业机器人的定义国际上尚未统一。一般认为第一代机器人是指：具有类似人的上肢的多种动作机能的装置。它不用计算机记忆，对不规则事态不能检出、判断、采取对策，只能按予先给定的顺序和时间进行工作。第二代机器人，不仅具有类似人的上肢的多种动作机能，而且具有感觉和认识机能可完成自适应行动的装置。电弧焊机器人算是最早进入智能领域的机器人了。这是因为电弧焊，要求焊矩精确地跟踪具有三维空间的焊接线。但是由于制造误差、装配误差及工件受热产生变形等，致使同种工件不可能有完全一致的焊接线。这就要求机器人在焊接过程中对上述误差能够检出、判断、修正。只有这样才能保证焊矩始终瞄准焊缝。保证焊接质量。

机器人的控制方式是连续轨迹控制的。同时焊接规范（速度、电压、电流）与焊矩配合协调。焊枪姿态可选择。当焊幅宽时能横摆运条。厚板开坡口时可进行多层焊。

如上所述，焊缝轨迹是由示教、再现、修正、横摆运条及多层焊等所形成。

示教，是现场编程序的简易方法。就是焊接前由人工使机器人沿焊缝走一遍，可以通过示教盒按钮驱动机械部分，用目测办法确认焊缝位置，可定时或定距离取样，计算机将各轴位置信息进行记忆。再现时读取出来再经控制装置的演算机能将相邻二点连接为直线。如图

1所示。当示教点足够多时，其路径与实际焊接线便足够接近。当焊缝为直线时，由于控制装置有直线补间机能，只要示教两点即可。当焊缝为圆弧时，根据圆弧补间机能只要示教三点即可。

工作时，可根据自动程序再现示教内容。如示教数据存入盒式磁带中，以后焊接同种工件只要换上该类磁带，就可容易地再现示教内容。这对于多品种成批生产尤其适宜。

但是，不管机器人的再现精度多高，也要根据工件的实际情况实现再运转。因此机器人需要有感觉器官，对前述误差应能检出，再反馈给控制装置，对示教内容进行修正，保证焊矩跟踪实际的焊缝。

传感器是机器人的感觉器官，是机器人获得智能的手段。研制精度高、可靠、小型、价廉的传感器是电弧焊机器人走向实用化的关键。

接触式传感器是以差动变压器为原理的电感式传感器。即有可沿三座标轴移动的探针，当探针沿焊缝移动时，便可探知工件位置偏差，从而进行焊矩位置的修正，触觉传感器因为直接与工件接触，所以容易受轨道上的飞溅、水锈、表面伤痕、焊剂和电弧热的影响。

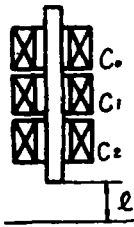


图2 近距离传感器

非接触式传感器属于视觉传感器。一种是利用电视摄像机进行形状识别、焊枪姿势和位置选择。这种传感器因尺寸大、价格贵、应用不多。另一种是磁电式，利用磁束变化为原理的超小型传感器。其工作原理如图2所示，它是由励磁线圈 C_0 和检出线圈 C_1 、 C_2 组成。检出线圈 C_1 、 C_2 作差动连接。当传感器与工件间距离变化时，由于通过线圈的磁束发生变化，因此由 C_1 、 C_2 输出电压。此电压值与距离 l 成正比。因此通过测量此模拟电压的变化即可探知传感器与工件间的距离。传感器的参数如表1所示。

表1 传感器参数

| | |
|-----------|----------|
| 非接触设定距离 | 2~6毫米可变 |
| 标准设定距离 | 5毫米 |
| 控制输出电压 | 2伏/毫米 |
| 传感器最高使用温度 | 290℃ |
| 控制回路使用温度 | -10°~60℃ |
| 设定精度 | ±10% |
| 传感器尺寸 | φ13×45 |
| 传感器重量 | 19克 |

传感器一般成双相互垂直地安装在焊枪上。其检测焊缝方法如图3所示。图3(a)是检测直角焊缝。当两个传感器与水平板、垂直板的距离达到给定值时，焊枪即对准焊缝。图3(b)表示通过传感器检出后，沿锐角等分线改变焊矩角度，按事先给定的补正量移动焊矩前端。图3(c)表示变动手腕角度，分别检出每一块板，然后沿钝角等分线变更焊矩角度，进行焊接。图3(d)(e)及(a)中水平板或垂直板尺寸不够100毫米时，可用一个传感器检测，将各处检测出的数据进行综合，即可找出焊缝。图3(f)是检测坡口的情况。当传感器与钢板保持一定距离时，沿与钢板平行方向摆动，从传感器输出即可测出坡口中心位置和大小。

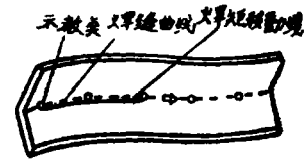


图1 焊缝路径的形成

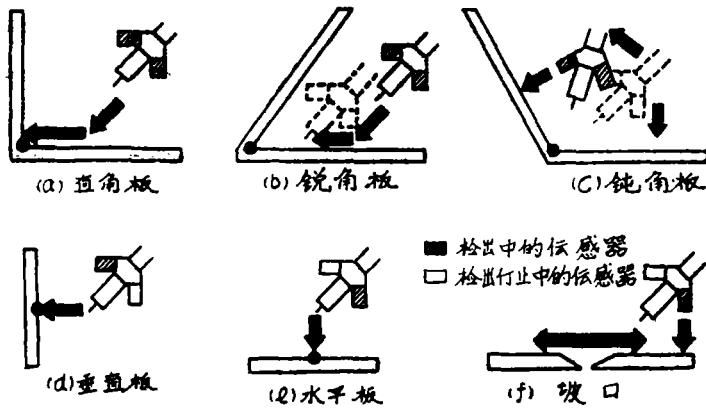


图3 近距离传感器检测焊缝情形

根据被检测工件焊缝型式不同，传感器可以有各种不同的安装方式。

综上所述，为使机器人达到与熟练焊工同样的动作，归纳起来需具有如下机能：

1. 焊枪姿态容易选择。
2. 示教作业简单且容易，示教点少。
3. 焊接条件选择简单且正确。
4. 焊炬的焊接速度要保证。
5. 有横摆运条机能。
6. 机器人与电焊机成为一个正体。
7. 位置再现精度高。
8. 对示教内容的改正、追加、抹除容易。
9. 在焊接过程中也可以改变焊接条件。
10. 可得到外部胎具的控制信号。
11. 自我诊断机能。

上述机能是通过机械、控制等部分共同实现的。

三、机器人本体的构成

机器人的本体由机身、臂、手腕部及其驱动机构所组成。电弧焊机器人的手是焊炬。为使其能在三维空间自由运动需六个自由度（三个定位、三个定向）。自由度增多机构复杂、定位精度下降。因此电弧焊机器人一般是五个自由度只有少数复杂工作是六个自由度。

通常机身和臂部是三个自由度，另外二个自由度集中于腕部，尽量使其结构紧凑。

电弧焊机器人的座标系，主要是直角座标形和关节形两种。如图4所示。图4(a)为直角座标形机器人。三个基本轴全为直线运动。其动作空间为六面体，比机器人本体部分小。图4(b)为关节形机器人，全由回转运动组成，其动作空间较复杂。比本体部分大，具体形状由臂的尺寸及回转角度所决定。

一般直线运动与人的感觉一致、确定位置容易、机械部分能耐大负荷。其缺点是占地面积大、机器人与工件容易干涉、动作速度低。回转运动则相反，运动与人的感觉不一致，常

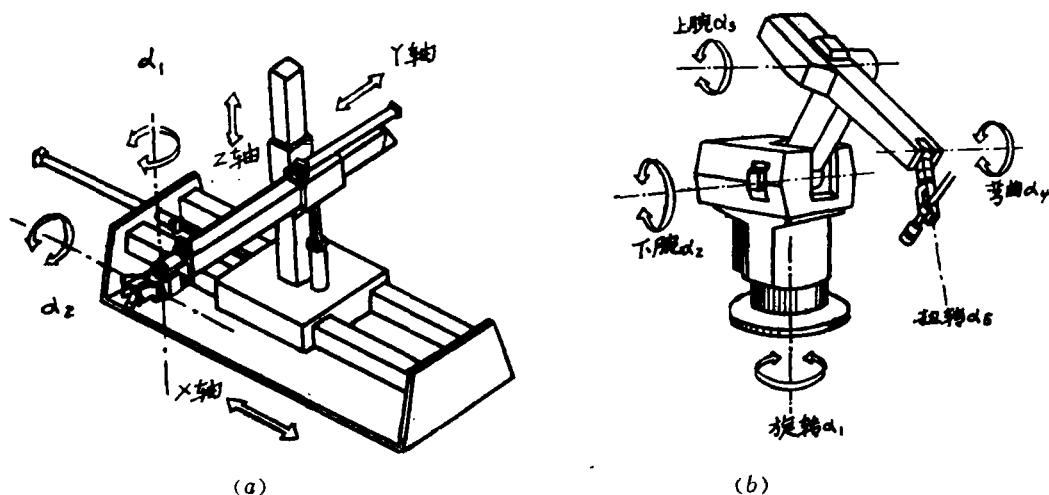


图4 电弧焊机器人坐标的构成及自由度

常是几个轴同时运动，确定位置困难、机械部分耐负荷小，其突出优点是结构紧凑、动作范围大，运动速度快，机器人与工件不容易发生干涉。

最近的倾向是由于电机特性的提高及高性能减速机的普及，将它们直接与关节轴联结，定位精度可达0.1~0.3毫米。并且由于高性能电子计算机具有座标变换机能，对关节形机器人的示教等可按直角座标形同样处理，从而促进了关节形机器人的发展。下面将两种座标形式加以比较，如表2所示

表2 关节形与直角形的比较

| | 关 节 形 | 直 角 形 |
|------------|-----------------|---------|
| 工作范围与占地面积比 | 3 | 0.1~0.3 |
| 最高速度米/分 | 30~60 | 6~12 |
| 补间机能 | 需要坐标变换机能 | 一般可实现 |
| 匀速控制 | 如不能座标变换则需要复杂的示教 | 一般可实现 |
| 横摆运条 | 需要复杂的示教及其它装置 | 比较容易 |
| 传感器 | 各轴都用 | 容易控制 |

如焊接箱形构件，速度要求不高可采用直角形。工件狭窄、要求速度高的可采用关节形。另外油压或电气的驱动方式、各种机械的选用等对选择机器人的座标形式也有影响，其中影响最大的是计算机。如需要高速驱动，对于多关节形机器人来说计算机需要进行高速演算处理。但是由于高性能电子计算机的进步此点可以实现。今后关于机器人座标的构成，认为要受到控制用计算机能力的影响。

为使机器人的执行机构（焊炬），精确地按照控制指令动作，需有驱动装置。它是一个随动系统，其输入为电信号而输出为线位移或角位移。机器人采用的驱动装置有两种：液压的和电气的。液压驱动装置动作迅速，功率大，能无级变速，可省掉中间动力减速器，可以消除间隙和磨损。但是，液压系统效率低，维护困难，噪音大，特别在使用时存在着同机器人一起运动的软管及滴油污染等。

电气驱动装置，在使用时要方便得多，我们看到目前研制的新型晶体管脉宽调制的直流电动机，具有与同类液压元件差不多的性能。虽然液动机额定扭矩超过相应的电动机，但电动

机在起动和制动时允许扭矩增加数倍。由于机器人向小型化发展，电驱动显示了无可比拟的优越性。近两年国外新研制的电弧焊机器人，绝大多数为电驱动。

四、控制系统

现代电弧焊机器人无一例外地采用了以微计算机为核心的电控系统。其基本结构如图 5 所示。微计算机一般采用字 8 位的 *Intel8080* 或 *MC6800*，它是控制系统核心。随机存储器 (*RAM*) 和只读存储器 (*ROM*) 用来存储实现各种控制机能的控制程序。磁芯存储器是用来在线记忆示教动作的。盒式磁带是为离线时保存作业程序用的。它使机器人适用于多品

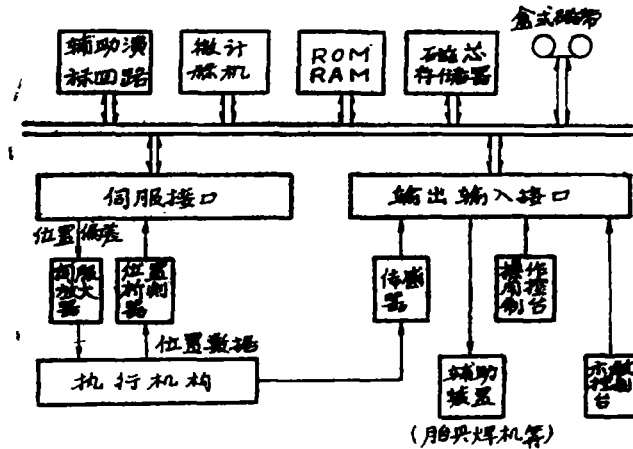


图 5 控制系统构成图

种小批量生产，即有数种工件在线交替作业时，可通过调换磁带将作业程序加到磁芯存储器里。

辅助演算回路是进行高速乘除或三角函数运算的专用演算回路。从计算机输出的位置指令，通过伺服接口中的减法回路与位置检出值比较，计算出位置偏差，经伺服放大器放大后，推动执行机构（如电液伺服机构或伺服电机）运转。各轴的位置数据又通过位置检测器不断地反馈回伺服接口中。电弧焊机器人常用的位置检测器有光电编码器和电位器。

计算机在输出位置指令的同时还输出控制信息，通过输入输出接口指挥辅助装置如焊接胎具、电焊机等运转。

示教控制台是示教时用的小型手提式盒形装置。操作者边确认焊矩位置，边通过按钮手动操作示教盒进行示教。

软件的基本构成如图 6 所示。软件由记录在 *ROM* 中的控制程序和记录在磁芯存储器里的机器人动作程序所组成。示教时，由于示教控制程序的作用，将手动运转控制程序所具有的位置信息以及由控制台来的控制信息读进、编辑，作为机器人的动作命令记录到磁芯存储器中。再现时，由再现控制程序将机器人动作程序按工步号读出，进行运算处理后，再输出到伺服系统中。

动作命令如图示那样，由位置信息和控制信息所组成。控制信息又由与外部辅助装置联结的联锁信息与动作方式所组成。联锁信息是固定工件用的胎具或者电弧焊机和机器人之间动作协调的信号。动作方式是为了给定焊接速度、校验点、拐角点等所用的信息。

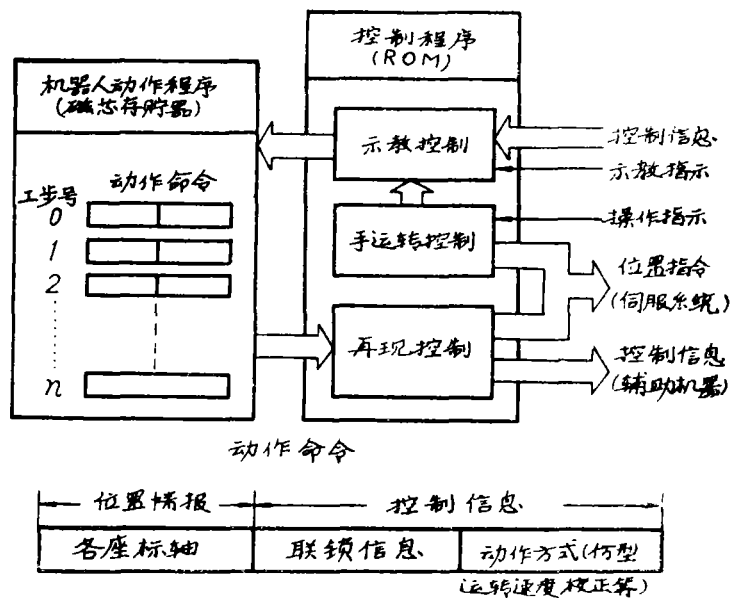


图6 软件构成概念图

伺服接口的组成如图7所示。从计算机输出的位置指令暂存在计数器中，通过减法器与位置检出值比较，计算出位置偏差。为了确保演算精度，在这之前都用数字进行处理，之后由数—模转换器转换成模拟量，由采样保持回路同步输出到伺服放大器中。为了简化回路，减法器与数—模转换器是各座标共用的，根据时间分割使用。各地址线和分配回路、选择回路是用来选择各座标中的某一座标，通过定时回路来控制时间分割的时标。

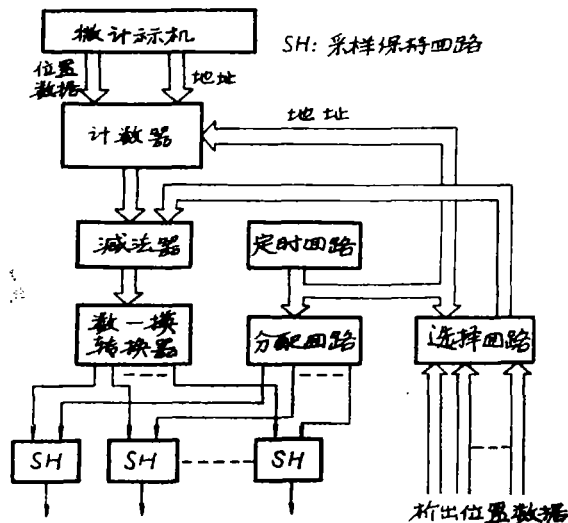


图7 伺服接口构成图

综上所述，在电弧焊机器人上所采取的各项先进技术，如示教再现方式、连续轨迹控制、近距离传感器、保持参数稳定、各种控制机能（直线补间、座标变换机能等）以及微计算机的应用等，都可以根据不同需要移植于其它场合。

今后，随着大规模集成电路的发展与微计算机的普及，使电弧焊机器人的机能扩大、并

将增强其实用性与可靠性，随着成本的下降，使其应用推广成为可能。

参 考 文 献

- [1] 安 藤 司 文 机械设计(日) 1981. 10. 64
- [2] 上 野 雅 弘 油压技术(日) 1979. 5. 53
- [3] 东 良 久 金属プレス 1978. 11. 26
- [4] Olivetti S. p. A 自动化技术(日) 1978.10.9
- [5] 土 桥 亮 机械设计(日) 1976. 3. 111
- [6] 野泽正彦 ロボット 1981. 32. 46.
- [7] 日本专利 特开昭50—60677
 特开昭53—19945
 特开昭52—85042
 特开昭54—180
- [8] 泊 仁 ロボット 1981. 31. 35.