



全国高级技工学校数控类专业教材

数控机床 编程与操作(电加工机床分册)

SHUKONG JICHUANG BIANCHENG YU CAOZUO (DIANJIAGONG JICHUANG FENCE)



中国劳动社会保障出版社

中国机械工业出版社

数控机床 编程与操作电加工机床分册

© 1994-2004

全国高级技工学校数控类专业教材

数控机床编程与操作

(电加工机床分册)

人力资源和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

简介

本书主要包括：数控电加工基础、数控线切割机床基本操作、数控线切割加工工艺与手工编程、CAXA XP 数控线切割自动编程、YH 系统数控线切割自动编程、数控线切割加工实例、数控电火花成形机床基本操作、数控电火花成形机床加工工艺与编程、数控电火花成形机床加工实例等。

本书由刘强主编，高连勇副主编，周重锋、魏艳敏、殷杰、申学栋参编，崔兆华审稿。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作. 电加工机床分册/人力资源和社会保障部教材办公室组织编写.
—北京：中国劳动社会保障出版社，2012

全国高级技工学校数控类专业教材

ISBN 978 - 7 - 5045 - 9837 - 0

I. ①数… II. ①人… III. ①数控机床-电加工机床-程序设计-技工学校-教材②数控机床-电加工机床-操作-技工学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 193386 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码：100029)

出 版 人：张梦欣

*

北京北苑印刷有限责任公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 16 印张 359 千字

2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

定价：29.00 元

读者服务部电话：010 - 64929211/64921644/84643933

发行部电话：010 - 64961894

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话：010 - 64954652

如有印装差错，请与本社联系调换：010 - 80497374

前言

为了更好地适应高级技工学校数控类专业的教学要求，全面提升教学质量，人力资源和社会保障部教材办公室组织有关学校的骨干教师和行业、企业专家，充分调研企业生产和学校教学情况，吸收和借鉴各地高级技工学校教学改革的成功经验，在原有同类教材的基础上，重新组织编写了高级技工学校数控类专业教材。

本次教材编写工作的重点主要体现在以下几个方面：

第一，完善教材体系，定位科学合理。

针对初中生源和高中生源培养高级工的教学实际情况，调整和完善了教材体系，能较好地满足数控加工（数控车工、数控铣工、加工中心操作工方向）、数控机床装配与维修、数控编程、数控电加工等专业的教学需求。同时，根据数控类专业高级工在相关岗位工作的实际需要，合理确定学生应具备的能力和知识结构，避免教材内容偏难、偏深，进一步增加了实践性教学内容。

第二，反映技术发展，涵盖职业标准。

根据相关工种及专业领域的最新发展，在教材中充实新知识、新技术、新材料、新工艺等方面的内容，体现教材的先进性。教材编写以国家职业标准为依据，内容涵盖数控车工、数控铣工、加工中心操作工、数控机床装调维修工、数控程序员、电切削工等国家职业技能标准（中、高级）的知识和技能要求，并在配套的习题册中增加了相关职业技能鉴定考题。

第三，精心设计形式，激发学习兴趣。

在教材内容的呈现形式上，较多地利用图片、实物照片和表格等将知识点生动地展示出来，力求让学生更直观地理解和掌握所学内容。针对不同的知识点，设计了许多贴近实际的互动栏目，以激发学生的学习兴趣，使教材“易教易学，易懂易用”。

第四，开发辅助产品，提供教学服务。

本套教材中《CAD/CAM 应用技术（Mastercam）》《CAD/CAM 应用技术（CAXA）》《CAD/CAM 应用技术（UG）》《CAD/CAM 应用技术（Pro/E）》配有教学素材光盘，其余教材配有多媒体教学课件和习题册，多媒体教学课件可以通过中国劳动社会保障出版社网站（<http://www.class.com.cn>）免费下载。

本次教材编写工作得到了河北、辽宁、江苏、山东、河南等省人力资源和社会保障厅及有关学校的大力支持，在此我们表示诚挚的谢意。

人力资源和社会保障部教材办公室

2012 年 1 月

目录

第一章 数控电加工基础	(1)
第一节 数控电加工概述	(1)
第二节 数控电加工机床	(5)
第三节 数控编程基础	(10)
第二章 数控线切割机床基本操作	(17)
第一节 数控线切割机床概述	(17)
第二节 数控线切割机床电极丝操作	(35)
第三节 数控线切割机床工件装夹	(49)
第四节 数控线切割机床维护与保养	(54)
第三章 数控线切割加工工艺与手工编程	(57)
第一节 数控线切割加工工艺	(57)
第二节 数控线切割 3B 代码编程	(63)
第三节 数控线切割 ISO 代码编程	(69)
第四节 典型工件编程实例	(79)
第四章 CAXA XP 数控线切割自动编程	(85)
第一节 CAXA XP 线切割软件概述	(85)
第二节 CAXA XP 线切割软件绘图操作	(92)
第三节 CAXA XP 线切割软件程序生成与仿真加工	(106)
第四节 典型工件自动编程实例	(114)
第五章 YH 系统数控线切割自动编程	(131)
第一节 YH 系统软件概述	(131)
第二节 YH 系统软件的绘图操作	(132)
第三节 YH 系统软件的编程功能与控制功能	(141)
第四节 典型工件自动编程实例	(146)

第六章 数控线切割加工实例	(151)
中级实例一 五角星加工	(151)
中级实例二 垫片加工	(155)
中级实例三 直角凹模加工	(159)
中级实例四 复合模零件的加工	(163)
高级实例一 可逆摆线式机油泵定子零件自动编程加工	(166)
高级实例二 可逆摆线式机油泵转子零件自动编程加工	(170)
高级实例三 甲壳虫图案加工	(174)
第七章 数控电火花成形机床基本操作	(180)
第一节 电火花成形机床概述	(180)
第二节 电火花成形机床的工具电极	(190)
第三节 工具电极设计制造基础	(194)
第四节 复杂工具电极设计	(200)
第五节 电火花成形机床电极与工件的装夹定位	(204)
第八章 数控电火花成形机床加工工艺与编程	(212)
第一节 电火花成形加工主要工艺指标及其影响因素	(212)
第二节 电火花成形加工工艺	(218)
第三节 电火花成形机床编程	(224)
第四节 电火花成形加工新工艺	(231)
第九章 数控电火花成形机床加工实例	(236)
中级实例一 电火花多步自动加工	(236)
中级实例二 表面粗糙度样板加工	(239)
高级实例一 多轴联动加工编程	(243)
高级实例二 镜面加工	(244)
高级实例三 电火花高速小孔加工	(247)

第一章

数控电加工基础

第一节 数控电加工概述

电火花加工又称放电加工或电加工 (Electrical Discharge Machining, 简称 EDM), 它是使工具电极和工件 (分别接正、负电极) 间不断产生脉冲火花放电, 放电通道中局部瞬时产生高温, 将金属材料局部熔化, 直至汽化而被蚀除的加工方法, 如图 1—1 所示。

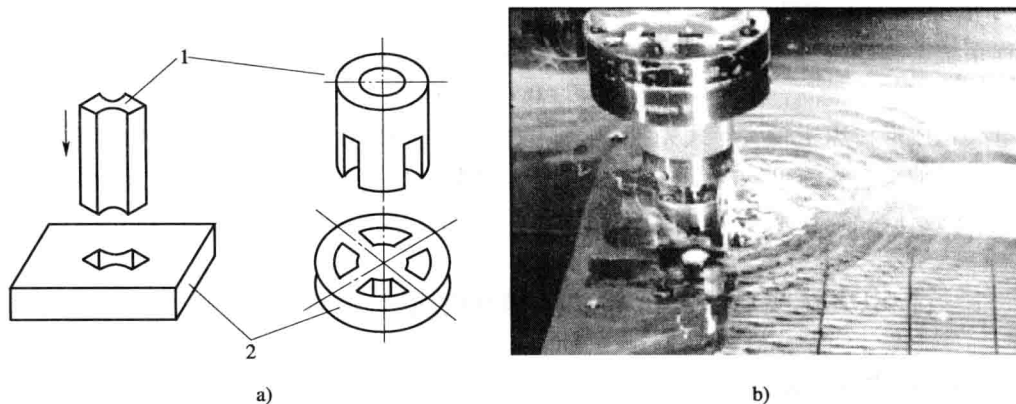


图 1—1 电火花加工原理及应用

a) 电火花加工原理 b) 电火花镜面加工

1—工具电极 2—工件

电火花加工使用传统加工方法不能实现的一些高硬度特殊材料的加工及造型变得十分简单。它所具备的既可加工一般材料工件, 也可以加工传统切削方法难以加工的高硬度、高强度、高韧性金属材料的高精度工件的特点使其在世界范围内得到了巨大发展, 应用范围也日益广泛, 如图 1—2 所示。

电火花加工技术产生于 20 世纪 40 年代, 最早发明电火花加工技术的科学家是前苏联科学家拉扎连科。当时研制的电火花加工机床虽然只能加工出简单形状的工件, 线切割机床的切割效率不足 $10 \text{ mm}^2/\text{min}$, 但在国防工业中仍发挥了巨大作用。

我国对电火花加工技术的研究始于 20 世纪 50 年代后期, 并于 1968 年发明了线切割高速走丝工艺技术, 电极丝速度的大幅提高 (丝速达 $5 \sim 12 \text{ m/s}$, 比以前提提高了近千倍) 使线切割的加工速度由 $2 \sim 5 \text{ mm}^2/\text{min}$ 提高到 $20 \sim 30 \text{ mm}^2/\text{min}$, 线切割加工技术在生产中的应用得到了突飞猛进的发展。

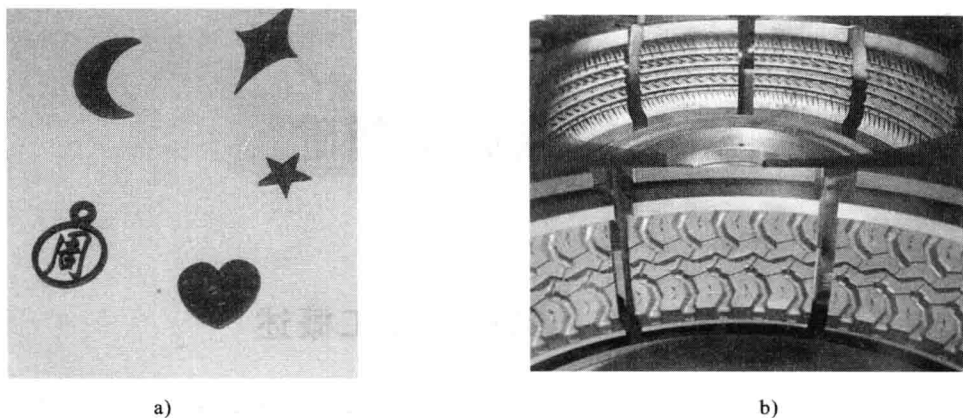


图 1—2 复杂形状工件

a) 高硬度异形零件 b) 电火花加工的轮胎模具

20 世纪 70 年代末期至 80 年代初，高频分组脉冲电源、机床计算机控制系统和专用系列编程系统、超厚（厚度达 600 mm）线切割加工装置与技术广泛应用于电加工机床中，机床加工能力进一步提高，加工精度达到了 ± 0.008 mm。

电火花成形机床主轴头形式先后经历了双机差动主轴头、液压主轴头、力矩电动机或步进电动机主轴头、直流伺服电动机主轴头到交流伺服电动机主轴头等几个发展阶段。随着机床数控化的发展，数控电加工机床也早已取得了较快的发展和普及。

一、数控电火花线切割加工基本原理及特点

1. 电火花线切割加工原理

电火花线切割加工（Wire Cut Electrical Discharge Machining，简称 WEDM）是以一根移动的金属丝（电极丝）作为工具电极，电极丝与工件分别连接脉冲电源的正负极，当其相互接近到一定距离时，脉冲电压击穿电极之间的介质产生火花放电，放电产生的瞬时高温使工件局部熔化甚至汽化而被蚀除，同时，电极丝不断进给对工件进行切割，直至加工出理想工件形状故称为线切割加工。在线切割加工过程中，电极丝与工件保持较小的间隙，彼此不接触。

如图 1—3 所示为线切割加工原理示意图。电极丝 2 作为工具电极进行切割。脉冲电源 6 的正、负极分别接工件和电极丝。工作液作为工作介质处在电极之间并具有一定的绝缘性。工作台在水平面内按控制程序的指令进行伺服进给移动，从而将工件切割出各种形状。

2. 电火花线切割加工特点及应用范围

（1）加工适应性强

1) 对材料的加工适应性强。由于线切割加工是利用放电热量蚀除材料，故材料的可加工性不再与硬度、强度、韧性、脆性等有直接关系，可加工金刚石、硬质合金等导体或半导体高硬度材料。

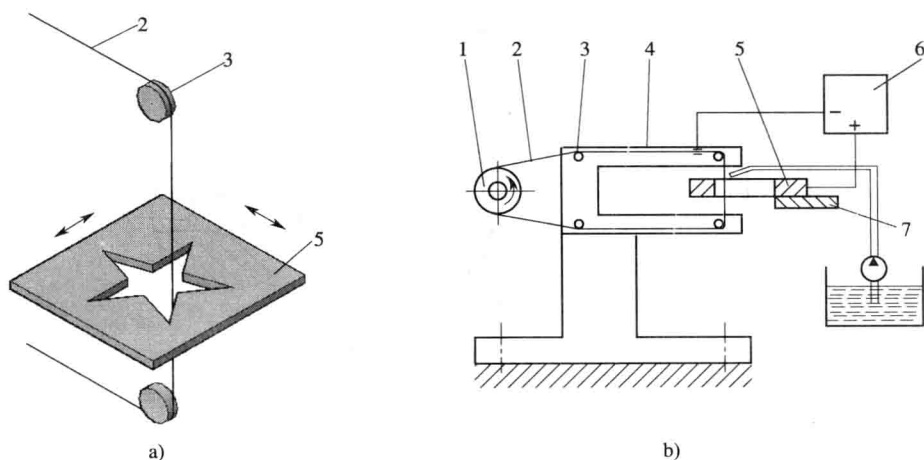


图 1—3 线切割加工原理示意图

a) 工件及其运动方向 b) 线切割加工装置原理图

1—储丝筒 2—电极丝 3—导向轮 4—支架 5—工件 6—脉冲电源 7—绝缘底板

2) 对工件的形状和结构适应性强。由于线切割加工的“刀具”是直径细微的电极丝，工件形状由电极丝的运动轨迹形成，对不同的工件只需编制不同的控制程序，所以线切割可加工复杂形状的工件，容易实现自动加工，适合小批量形状复杂零件、单件和试制品的加工。利用四轴或五轴联动，还可加工锥度、上下面异形体或回转体等零件。

(2) 材料浪费少。由于线切割加工切缝很窄，实际金属去除量很少，材料的利用率很高。对节约贵重金属有重要意义。

(3) 加工精度高。采用移动的长电极丝进行加工，使单位长度电极丝的损耗较少，从而对加工精度的影响比较小，特别在慢走丝线切割加工中，电极丝一次性使用，电极丝损耗对加工精度的影响更小。加工过程中可以方便地对影响加工精度的加工参数（如脉冲宽度、间隔、伺服速度等）进行调整，有利于加工精度的提高。

(4) 辅助时间少

1) 无须制造工具电极。目前线切割专用电极丝在市场上可以方便地买到，不需制造特定电极，缩短了生产准备时间，加工周期短。

2) 配合零件可一次编程完成加工。可依靠计算机来控制电极丝的轨迹和间隙补偿功能，可一次编程完成凸模与凹模加工，并可任意调节配合间隙。

二、数控电火花成形加工基本原理及特点

1. 电火花成形加工原理

电火花成形加工原理示意图如图 1—4 所示。电火花成形加工是基于脉冲放电的蚀除原理，直接利用电能和热能进行加工的工艺方法。电火花成形加工所用工具电极是依据被加工工件的形状与结构事先设计、制作好的成形电极。电火花成形加工与传统的机械切削加工原

理完全不同，在加工过程中工具电极与工件并不接触。

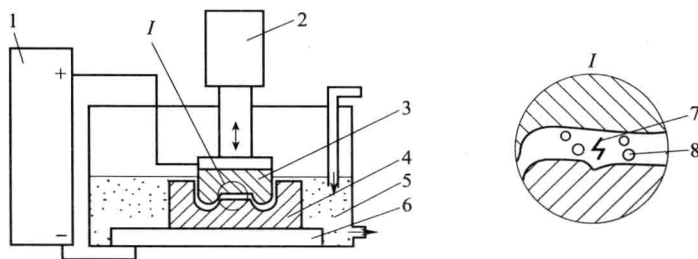


图 1—4 电火花成形加工原理示意图

1—脉冲电源 2—伺服进给机构 3—工具电极 4—工件 5—工作液
6—工作台 7—火花放电 8—被蚀除的金属微粒

成形电极与工件分别接脉冲电源的正负极，伺服进给机构驱动工具电极接近工件表面，当两表面的微观波峰相遇时，两极间的工作液厚度最薄，绝缘强度最低。随着两表面的继续接近，加在工具电极和工件之间的脉冲电压会击穿工作液绝缘强度最低处，形成放电通道，电流急剧增加，电子和离子在电场力作用下高速运动，相互碰撞，在放电通道内瞬间产生大量热能，使放电区的温度瞬时高达 $10\,000 \sim 12\,000^{\circ}\text{C}$ ，工具电极和工件表面都被腐蚀掉一小部分金属，各自形成一个小坑。被熔化和汽化的金属在抛离电极表面时，绝大部分在工作液中冷凝成球状微小颗粒，有些飞溅或附着到电极表面上，工作液裂解后产生的炭也会附着到电极表面。单个脉冲经过这样一系列过程完成一次脉冲放电，放电处介质变厚，绝缘强度恢复，等待下一次放电。如此反复使工件表面不断被蚀除，并在工件上复制出工具电极的形状，因此整个加工表面将由无数个小凹坑所组成。

电火花成形加工的要求有如下几个方面：

(1) 保持合适的放电间隙。放电间隙大小的控制应视加工条件而定，通常为几微米至几百微米。

1) 放电间隙过大，极间工作液层较厚，极间电压不能击穿极间介质，因而产生不了火花放电。

2) 放电间隙过小，容易使正负极短接，极间不会出现放电现象，机床出现短路保护。

(2) 采用脉冲电源。两极间发生一次放电后，需停歇一段时间再进行下一次放电。否则容易产生持续的放电电弧，造成放电点的表面发热、熔化。脉冲电源放电延续时间一般控制在 $1 \sim 1\,000\ \mu\text{s}$ 内。

(3) 工作液应具有一定的绝缘性。工作液应具有较高的绝缘强度 ($1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^7\ \Omega \cdot \text{cm}$)，以利于产生脉冲性的火花放电。

2. 电火花成形加工特点及应用范围

电火花成形加工是与传统机械加工完全不同的一种加工方法，在加工工艺上与线切割加工也有较大区别。采用加工中心及 CAD/CAM 技术制作复杂电极较为简单。电火花成形机床可以将复杂的电极形状简单地复制到工件上，因此特别适合复杂表面形状工件的加工。如图 1—5 所示为用加工中心制作的石墨电极加工轮胎模具的生产过程。

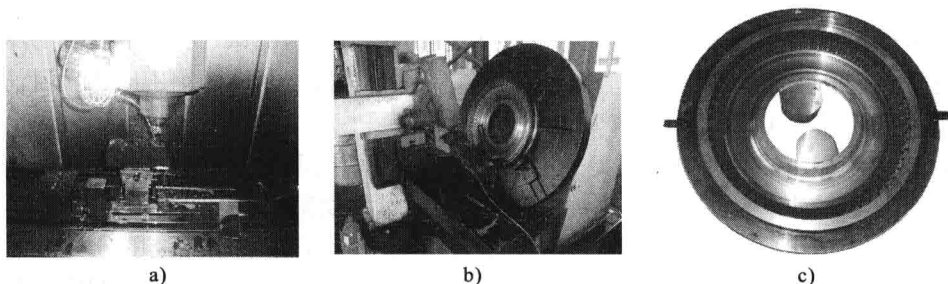


图 1—5 用石墨电极加工轮胎模具的生产过程

a) 在加工中心上加工石墨电极 b) 在电火花成形机床上加工轮胎模具 c) 轮胎模具零件

(1) 电火花成形加工的特点

- 1) 适用于高硬度、难切削材料的成形加工。
- 2) 可以加工特殊及复杂形状的零件，尤其适合型腔类模具的加工。
- 3) 电火花成形加工还可与其他加工工艺结合，形成复合加工。例如，可以利用电能、电化学能、声能对材料加工。
- 4) 可以获得较好的表面质量。

(2) 电火花成形加工的范围

- 1) 加工范围较宽、工艺灵活。数控电火花成形机床可以加工平面、锥度表面、多型腔工件表面等，主轴带有旋转功能的机床还可进行螺旋面加工。
- 2) 适宜加工低强度工件和细微加工。
- 3) 可以加工热敏性材料。

(3) 电火花成形加工的局限性

- 1) 电火花成形加工一般适用于加工金属等导电材料，不像切削加工那样可以轻松地加工塑料、陶瓷等绝缘材料。当采取某些措施后，也能采用电火花成形加工工艺加工半导体及金刚石等非导电材料。
- 2) 在一般情况下，电火花成形加工的加工速度要低于切削加工。
- 3) 由于电火花成形加工是靠两极间的火花放电去除金属，工件与工具电极都会有损耗，而且工具电极的损耗大多在尖角及底部棱边处，这直接影响了电火花成形加工的成形精度。
- 4) 最小圆角半径有限制，难以清角。

第二节 数控电加工机床

一、电加工机床分类

1. 电火花线切割机床分类

电火花线切割机床有多种分类方法，一般可以按照机床的控制方式、脉冲电源的类型、

工作台的尺寸与行程、走丝速度、加工精度等进行分类。

(1) 按机床的控制方式分类。可以分为靠模仿形线切割机床、光电跟踪线切割机床、光电与计算机混合控制线切割机床、数字程序控制或计算机控制线切割机床等。目前, 前两类线切割机床已经被淘汰, 不再生产了。

(2) 按机床配用的脉冲电源类型分类。可以分为 RC 电源、晶体管电源、分组脉冲电源及自适应控制电源机床等。目前, 单纯配用 RC 电源的线切割机床已经被淘汰。

(3) 按机床工作台的尺寸与行程分类。也就是按加工工件的尺寸范围分类, 可以分为大型、中型、小型线切割机床。在这三大类型中, 又包括直壁切割和锥度切割型、丝架固定型和可调丝架型等。

(4) 按走丝速度分类。可以分为快走丝线切割机床、慢走丝线切割机床和混合式线切割机床 (有快、慢两套走丝系统) 三大类。

(5) 按加工精度分类。可以分为普通精度型线切割机床和高精度精密型线切割机床两大类。绝大多数慢走丝线切割机床属于高精度精密型机床。

2. 电火花成形机床分类

按电火花成形机床的立柱数量, 可分为单立柱式电火花成形机床和双立柱式电火花成形机床两大类。

(1) 单立柱式电火花成形机床。按机床 X 向、 Y 向运动的实现方式, 单立柱式电火花成形机床又分为十字工作台型 (见图 1—6) 和固定工作台型 (见图 1—7) 两种形式。

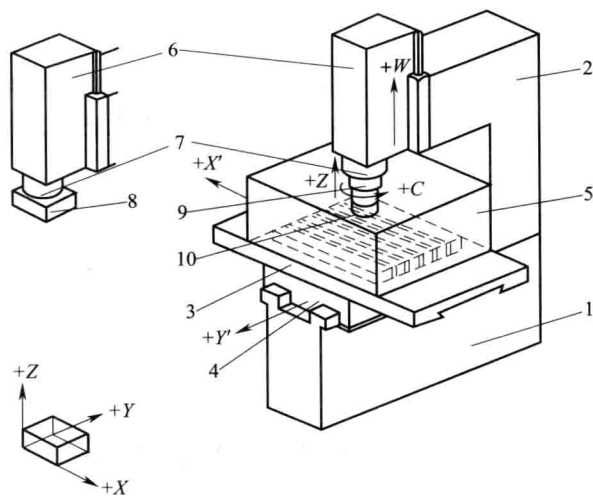


图 1—6 十字工作台型单立柱式电火花成形机床

1—床身 2—立柱 3—工作台 (X 轴) 4—滑板 (Y 轴) 5—工作液槽
6—主轴头 (W 轴) 7—主轴 (Z 轴) 8—电极安装板 9—旋转轴 (C 轴) 10—电极

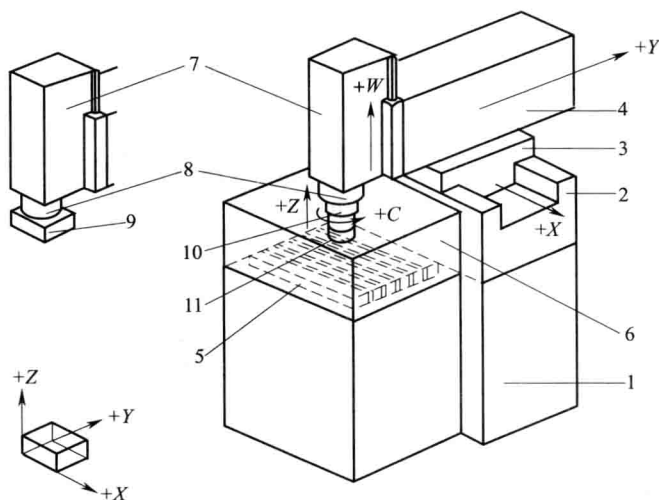


图 1—7 固定工作台型单立柱式电火花成形机床

1—床身 2—立柱 3—滑板 (X 轴) 4—滑枕 (Y 轴) 5—工作台
6—工作液槽 7—主轴头 (W 轴) 8—主轴 (Z 轴) 9—电极安装板
10—旋转轴 (C 轴) 11—电极

(2) 双立柱式电火花成形机床。按机床 X 向运动的实现方式, 双立柱式电火花成形机床又分为移动主轴头型 (见图 1—8) 和十字工作台型 (见图 1—9) 两种形式。

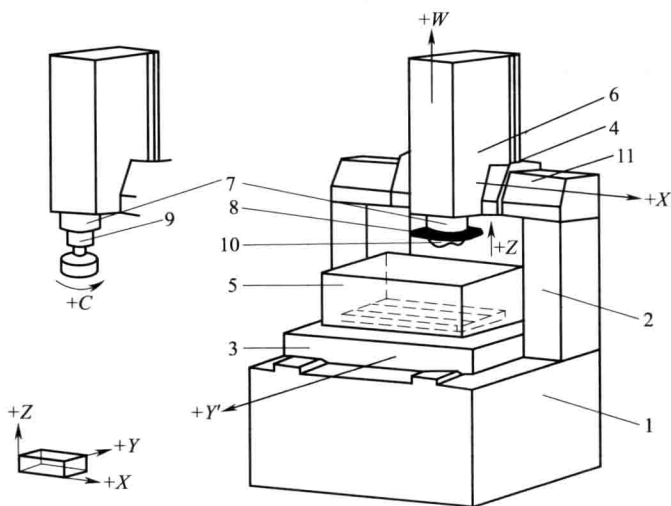


图 1—8 移动主轴头型双立柱式电火花成形机床

1—床身 2—立柱 3—工作台 (Y' 轴) 4—滑板 (X 轴) 5—工作液槽
6—主轴头 (W 轴) 7—主轴 (Z 轴) 8—电极安装板 9—旋转轴 (C 轴)
10—电极 11—槽梁

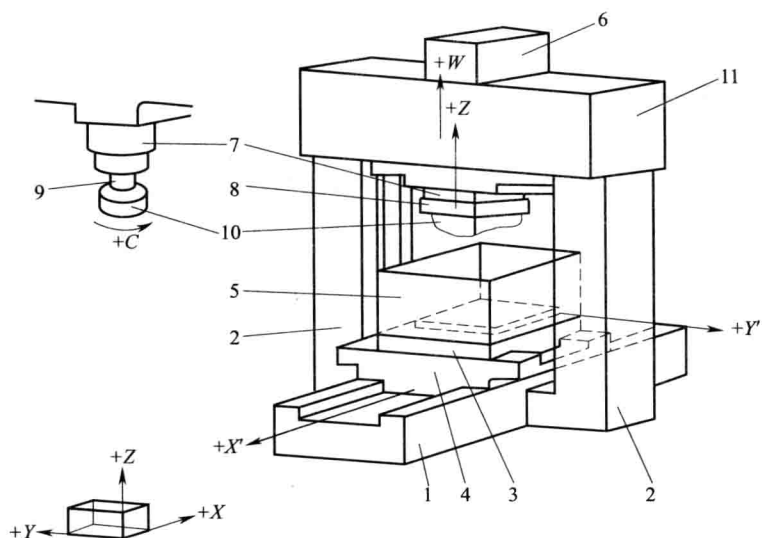


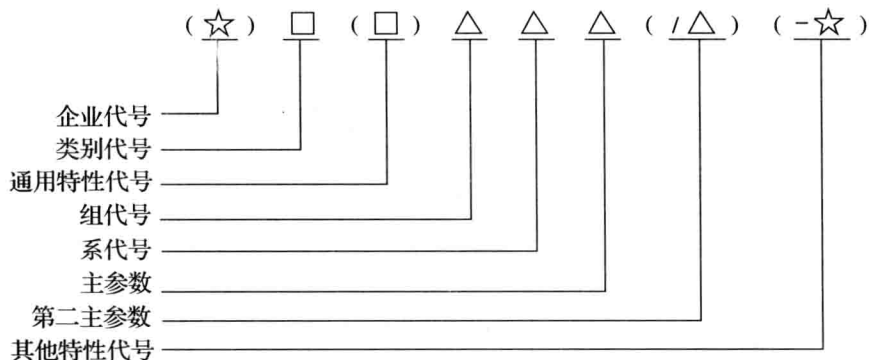
图 1—9 十字工作台型双立柱式电火花成形机床

1—床身 2—立柱 3—工作台 (Y' 轴) 4—滑板 (X' 轴) 5—工作液槽 6—主轴头 (W 轴)
7—主轴 (Z 轴) 8—电极安装板 9—旋转轴 (C 轴) 10—电极 11—槽梁

二、电加工机床型号编制方法

电加工机床型号是机床产品的代号，由汉语拼音字母及阿拉伯数字按一定规律排列组成，用于简明表示机床的类型、通用和结构特性、主要技术参数等。

1. 通用特种机床型号表示方法 (JB/T 7445.2—1998)



说明:

- 1) “□”表示大写的汉语拼音字母。
- 2) “△”表示阿拉伯数字。
- 3) “()”当无内容时则不表示，若有内容时应不带括号。
- 4) “☆”为大写的汉语拼音字母、阿拉伯数字或两者的组合。
- 5) 其他特性代号为阿拉伯数字时，其前加“—”，若为大写汉语拼音字母时，可不加“—”。

(1) 机床类别代号 (JB/T 7445.1—2005)。机床类别代号由一位或两位大写汉语拼音字母表示, 一般为该类机床名称汉语拼音的第一个字母。电火花加工机床的类别代号为“D”。

(2) 通用特性代号。机床特性代号表示机床所具有的特殊性能。当某种类型机床除了有普通型外, 还有下列某种通用特性时, 则用汉语拼音字母加在类别代号之后表示。一般在一个型号中只表示最主要的一个通用特性 (少数特殊情况可以表示两个)。通用特性代号在各类特种加工机床型号中表示的意义相同。特种加工机床通用特性代号见表 1—1。

表 1—1 特种加工机床通用特性代号

通用特性	高精度	精密	数控	仿形	轻型	简式	数显	高速
代号	G	M	K	F	Q	J	X	S
读音	高	密	控	仿	轻	简	显	速

(3) 电火花加工机床组、系划分。每类机床中, 按加工工艺及主要应用范围的差异分为 10 个组。组代号用一位阿拉伯数字表示, 位于类代号或通用特性代号之后。每组特种加工机床, 根据加工方式和应用领域的差异一般分为 10 个系。系代号用一位阿拉伯数字表示, 位于组代号之后。电火花加工机床组、系划分详见表 1—2。

表 1—2 电火花加工机床组、系划分

组		系		规格区分特征
代号	名称	代号	名称	
2	电火花小孔加工机床	0	电火花小孔加工机床	产品的最大穿孔直径
		3	电火花微孔加工机床	产品的工作台面宽度
3	共轭回转式电火花加工机床	1	共轭回转式电火花加工机床	
4	电弧加工机床	0	电弧取折断工具机床	产品的工作台面宽度
		6	阳极机械切割机床	产品的最大工件厚度
5	电火花强化机床	1	电火花表面强化机床	产品的最大功率
6	电火花磨床	3	电火花小孔磨床	产品的最大磨削孔径
		4	电火花内圆磨床	产品的最大磨削孔径
		5	电火花外圆磨床	产品的最大外圆直径
		6	电火花成形磨床	
		8	电火花工具磨床	产品的工作台面宽度
7	电火花成形机床	1	电火花成形机床	产品的工作台面宽度
		3	电火花展成加工机床	产品的 Y 轴行程
	电火花线切割机床	6	单向走丝电火花线切割机床	产品的 Y 轴行程
		7	往复走丝电火花线切割机床	产品的 Y 轴行程
8	电火花跑合机床	5	电火花齿轮跑合机床	产品的最大工件直径