



高等职业教育机械类专业“十二五”规划教材

模具电加工与技能训练

王震宇 申如意 主编





高等职业教育机械类专业“十二五”规划教材

模具电加工与技能训练

主 编 王震宇 申如意

副主编 陈育中 黄 玉

参 编 林 丽 孙建华 吴君涛

主 审 顾 海

0580-888-000 客服电话

本书由王震宇、申如意主编，陈育中、黄玉副主编，林丽、孙建华、吴君涛参编，顾海主审。本书可作为高等职业院校机械类专业模具电加工与技能训练教材，也可供从事模具电加工工作的工程技术人员参考。

ISBN 978-7-113-1480-2
定价：25.00元

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

全书共分五部分,即电火花成形加工、快速走丝电火花线切割加工、慢速走丝电火花线切割加工、电火花穿孔加工和电切削工技能鉴定。每一部分包括若干项目,项目下设若干任务。本书内容实用,素材源于一线生产实践,应用实例多,具有实际指导意义,尤其是结合大量真实生产图片,对电火花加工的理论知识进行了直观、具体的介绍。

本书可供职业院校和技工学校模具、数控技术、机械等专业的学生使用,使他们感受真实的企业加工技术,达到学以致用用的教学目的;也可供模具制造行业的工程技术人员参考,从而快速提高技术水平,某些应用技术的疑点和难点也可在本书中找到答案。

图书在版编目(CIP)数据

模具电加工与技能训练 / 王震宇, 申如意主编. —北京:
中国铁道出版社, 2012. 10
高等职业教育机械类专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-113-14980-2

I. ①模… II. ①王…②申… III. 模具—电火花
加工—高等职业教育—教材 IV. ①TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 178143 号

书 名: 模具电加工与技能训练
作 者: 王震宇 申如意 主编

策划编辑: 吴 飞
责任编辑: 吴 飞
编辑助理: 赵文婕
封面制作: 付 巍
封面制作: 刘 颖
责任印制: 李 佳

读者热线: 400-668-0820

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址: [http:// www.51eds.com](http://www.51eds.com)

印 刷: 化学工业出版社印刷厂

版 次: 2012 年 10 月第 1 版

2012 年 10 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 15.5 字数: 388 千

印 数: 1~3 000 册

书 号: ISBN 978-7-113-14980-2

定 价: 32.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社教材图书营销部联系调换。电话: (010) 63550836

打击盗版举报电话: (010) 63549504

模具工业是衡量一个国家现代化水平的重要标志之一,是国民经济发展的重要支柱。随着现代科学技术的不断发展,机床工业、计算机软硬件和数字化技术也取得了飞速发展,使得模具的设计及加工方法发生了根本性的变革,这对模具加工也提出了新的、更高的要求,但不管如何变化,作为模具加工操作工,都必须掌握好各种模具加工的基本技能,而各项技能又有一定的相互依赖关系。因此,必须大力加强对新技术工人的基本操作技能、模具电加工技能等方面的培训,提高他们的操作技能水平,并为今后的发展打下坚实的基础。

为了适应模具操作工初、中、高级技术人员的学习和培训的需要,满足职业院校、技工学校模具专业的教学需求,我们组织编写了《模具电加工与技能训练》一书。本书特点:将电加工基础理论与操作技能有机地结合;图文并茂,形象直观;文字简明扼要,通俗易懂;由浅入深,理论联系实际。使学生逐步掌握模具电加工的基本操作技能及相关的工艺知识,从而在工业生产中,不仅能完成生产任务,而且能够分析问题、解决问题。

同时,电加工作业是国家职业资格鉴定中的新职业,相关部门正在开发完善电加工鉴定题库,现已开发了中级、高级两个等级的题库。为帮助学员能够尽快通过资格鉴定,获得相应的等级证书,从而能够持证上岗,本书第五部分为电切削工技能鉴定提供了(中级、高级)技能鉴定的模拟试题。

本书由王震宇、申如意任主编,陈育中、黄玉任副主编,林丽、孙建华、吴君涛参编,顾海主审。在本书的编写过程中,借鉴了国内外同行的最新资料及文献,并得到了江苏省常州技师学院、紫琅职业技术学院及江苏爱康太阳能科技股份有限公司等院校和单位同仁的大力支持和无私帮助,在此一并致以衷心的感谢。

本书可供职业院校和技工学校模具、数控技术、机械等专业的学生使用,使他们感受真实的企业加工技术,达到学以致用、学以致用的教学目的;也可供模具制造行业的工程技术人员参考,从而快速提高技术水平,某些应用技术的疑点和难点也可在本书中找到答案。

由于编者水平有限,书中的疏漏和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2012年6月

第一部分 电火花成形加工

项目一 电火花成形加工的原理、特点及应用范围	1
任务一 电火花成形加工原理	1
任务二 电火花成形加工机床及日常维护保养	6
项目二 数控电火花成形加工工艺	12
任务一 数控电火花加工 ISO 编程概述	12
任务二 数控电火花加工工艺	18
任务三 数控电火花成形加工的操作流程	22
项目三 数控电火花成形加工实例	31
任务一 单孔的电火花加工	31
任务二 多孔的电火花加工	41
任务三 冲模的电火花加工	48
任务四 斜孔的电火花加工	56

第二部分 快速走丝电火花线切割加工

项目一 快速走丝电火花线切割加工的原理、特点及应用范围	62
任务一 快速走丝电火花线切割加工原理	62
任务二 快速走丝电火花线切割加工的特点及应用范围	67
项目二 快速走丝电火花线切割加工工艺	70
任务一 快速走丝电火花线切割加工机床	70
任务二 快速走丝电火花线切割加工工艺	76
任务三 快速走丝电火花线切割加工的操作流程	83
任务四 快速走丝电火花线切割机床安全规程及日常维护保养	87
项目三 快速走丝电火花线切割加工实例	90
任务一 简单零件的手工编程	90
任务二 角度样板的自动编程线切割加工	97
任务三 配合件的线切割加工	104
任务四 落料冲孔模的线切割加工	109

第三部分 慢速走丝电火花线切割加工

项目一 慢速走丝电火花线切割加工机床	115
任务 慢速走丝电火花线切割加工机床及日常维护保养	115
项目二 慢速走丝电火花线切割加工工艺	125
任务一 慢速走丝电火花线切割加工用户界面介绍	125
任务二 慢速走丝电火花线切割加工加工工艺指标	133
任务三 慢速走丝电火花线切割加工的操作流程	137
项目三 慢速走丝电火花线切割加工实例	143
任务一 恒锥度加工实例	143
任务二 变锥度加工实例	150
任务三 上下异形加工实例	157
任务四 齿轮加工实例	163

第四部分 电火花穿孔加工

项目一 电火花小孔机加工的原理及保养	169
任务一 电火花小孔机加工原理	169
任务二 机床安全规程及日常维护保养	174
项目二 加工实例	178
任务一 单点加工	178
任务二 定位移动加工	184
任务三 多孔自动加工	190

第五部分 电切削工技能鉴定

项目一 电切削工中级技能鉴定	198
任务一 电切削工中级技能鉴定应会（线切割）模拟试题	198
任务二 电切削工中级技能鉴定应会（电脉冲）模拟试题	204
任务三 电切削工中级技能鉴定应知模拟试题	210
项目二 电切削工高级技能鉴定	218
任务一 电切削工高级技能鉴定应会（线切割）模拟试题	218
任务二 电切削工高级技能鉴定应会（电脉冲）模拟试题	224
任务三 电切削工高级技能鉴定应知模拟试题	230
参考文献	241

第一部分 电火花成形加工

项目一

电火花成形加工的原理、特点及应用范围

任务一 电火花成形加工原理

任务说明

掌握电火花加工的产生、物理本质及实现条件，熟悉电火花加工的特点及应用范围。

知识点

- 电火花加工的物理本质。
- 电火花加工的条件。
- 电火花加工的两个重要效应。
- 电火花加工的特点及应用范围。

一、任务引入

在日常生活中，当电器开关每次开、合时，往往出现伴随着噼噼啪啪响声的蓝白色火花，使得开关的接触恶化。20 世纪 40 年代，前苏联科学院院士拉扎连柯夫妇率先对这种现象进行深入研究，产生了一种新的金属去除方法——电火花加工。

二、任务分析

电火花加工是一种与机械加工完全不同的加工工艺方法，要正确运用电火花加工技术就必须明确电火花加工的原理和条件，从而正确地运用在金属的生产和加工中。

三、相关知识

1. 电火花加工的物理本质

电火花加工是通过工件和工具电极相互靠近时极间形成脉冲性火花放电，在电火花通道中产生瞬时高温，使金属局部熔化，甚至汽化，从而将金属腐蚀下来，达到按要求改变材料的形状和尺寸的加工工艺。电火花加工示意图如图 1-1-1 所示。

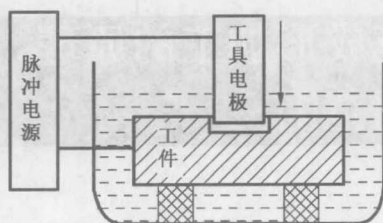


图 1-1-1 电火花加工示意图

1) 电火花加工的物理本质简述

一个物体无论从宏观上看来是多么平整，但在微观上其表面总是凹凸不平的，即由无数个高峰和凹谷组成。当处在工作介质中的工件与电极加上电压，两极间立即建立起一个电场，电场强度是很不均匀的。电场强度取决于极间电压和极间距离。两极间距越小，电场强度越大；极间电压越大，电场强度越大。故先在极间最近点处击穿介质，形成放电通道，释放出大量能量，工件表面被电蚀出一个坑来，工件表面的最高峰变成凹谷，另一处电场强度变成最大。在脉冲能量的作用下，该处又被电蚀出坑来。这样以很高的频率连续不断地反复放电，电极不断地向工件进给，就可将工具的形状复制在工件上，加工出需要的零件来，如图 1-1-2 和图 1-1-3 所示。

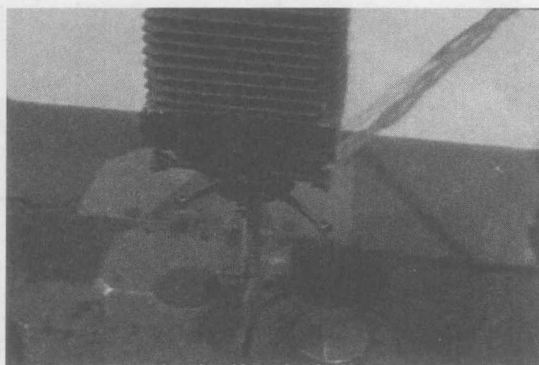


图 1-1-2 电火花型腔加工

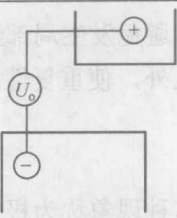
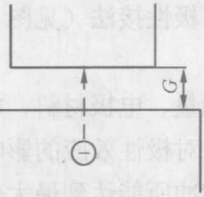
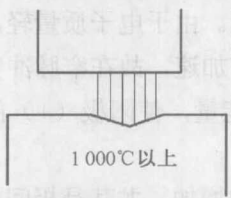
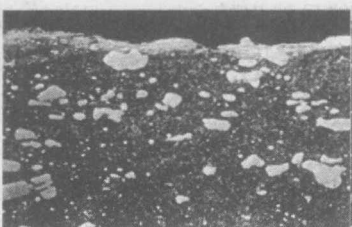
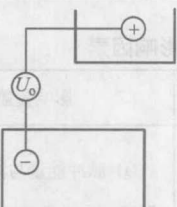


图 1-1-3 加工完成的型腔零件

2) 单个脉冲的放电过程

在液体介质小间隙中进行单个脉冲放电时，大致可分成介质击穿和通道形成、能量转换和传递、电蚀产物抛出三个连续的过程，如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 单个脉冲的放电过程

序 号	示 意 图	说 明
1		两电极处在绝缘的工作介质中，在两极间施加无负荷直流电压后，伺服轴电极向下运动，极间距离逐渐缩小
2		当极间距离 G 小到一定程度时，在电场作用下，介质被击穿，形成放电通道
3		两极间的介质一旦被击穿，电源便通过放电通道释放能量，大部分能量转换成热能，使两极间放电点局部熔化或汽化
4		在热爆炸力、电力、流体动力等综合作用下，被熔化或汽化的材料被抛出，产生一个小坑
5		脉冲放电结束，两极间介质恢复绝缘。形成下一个加工周期

2. 电火花加工的条件

实现电火花加工应具备如下条件：

(1) 电极和工件之间必须加以 60~300 V 的脉冲电压，同时还需要维持合理的距离——放电间隙。大于放电间隙，介质不能被击穿，无法形成火花放电；小于放电间隙，会导致积碳，甚至发生电弧放电，无法继续加工。

(2) 火花放电必须在有较高绝缘强度的液体介质中进行，这样既有利于产生脉冲性的放电，又能使加工过程中产物从两极间隙中的悬浮排出，还能冷却电极和工件表面。

(3) 输送到两极间脉冲能量应足够大, 即放电通道要有很大的电流密度。

(4) 放电必须是短时间的脉冲放电, 一般为 $1\ \mu\text{s}\sim 1\ \text{ms}$ 。这样才能使放电产生的热量来不及扩散, 从而把能量作用局限在很小的范围内, 保持火花放电的冷极特性。脉冲放电需要多次进行, 并且多次脉冲放电在时间和空间上是分散的, 避免发生局部烧伤。

(5) 脉冲放电后的电蚀产物能及时排放至放电间隙之外, 使重复性放电顺利进行。

3. 电火花加工的两个重要效应

1) 极性效应

电火花加工时, 两极的材料被腐蚀量是不相同的, 这种现象称为极性效应。在生产中, 通常将工件接脉冲电源正极 (工具电极接负极) 称为正极性接法 (见图 1-1-1)。将工件接脉冲电源负极 (工具电极接正极) 称为负极性接法。

在实际加工中, 极性效应受到电参数、单个脉冲能量、电极材料、加工介质、电源种类等多种因素的影响。下面主要介绍脉冲宽度、脉冲能量对极性效应的影响。

(1) 脉冲宽度对极性效应的影响。脉冲宽度是指脉冲所能达到最大值所持续的周期。在电场作用下, 通道中的电子奔向阳极, 正离子奔向阴极。由于电子质量轻, 惯性小, 在短时间内容易获得较高的运动速度; 而正离子质量大, 不易加速, 故在窄脉冲宽度时, 电子动能大, 电子传递给阳极的能量大于正离子传递给负极的能量, 使阳极 (+) 的蚀除量大于阴极的蚀除量。

(2) 脉冲能量对极性效应的影响。随着放电能量的增加, 尤其是极间放电电压的增加, 每个正离子传递给阴极的平均动能增加; 电子的动能虽然也随之增加, 但当放电通道很大时, 由于电位分布变化引起阳极区电压降低, 阻止了电子奔向阳极, 减少了电子传递给阳极的能量, 使阴极能量大于阳极能量, 即脉冲能量大时, 阴极的蚀除量大于阳极的蚀除量。

2) 覆盖效应

在电火花加工过程中, 电蚀产物在两极表面转移, 形成一定厚度的覆盖层, 这种现象称为覆盖效应, 如表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 覆盖效应的生成条件和影响因素

图 示	覆盖效应生成条件	影响覆盖效应的主要因素
	① 要有足够高的温度, 以使碳粒子烧结成石墨化的耐蚀层; ② 要有足够多的电蚀产物; ③ 要有足够多的时间形成碳素层; ④ 必须在油类介质中加工; ⑤ 采用阳极性加工, 碳素层易在阳极表面生成	① 脉冲能量与波形的影响, 采用某些组合脉冲, 有助于覆盖层的产生; ② 材料组合的影响; ③ 工艺条件的影响; ④ 工作介质的影响。用油液类工作液在放电产生的高温作业下, 有助于碳素层的生成

合理利用覆盖效应, 有利于降低电极的损耗, 甚至可做到“无损耗”加工。但若处理不当, 出现过覆盖现象, 将会使电极尺寸在加工后超过了加工前的尺寸, 反而破坏了加工精度。

4. 电火花加工的特点及应用范围

1) 电火花加工的特点

与常规的金属加工相比较，电火花加工的特点如表 1-1-3 所示。

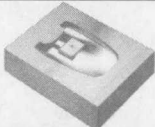
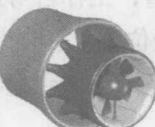
表 1-1-3 电火花加工的特点

序 号	优 点	缺 点
1	可以加工难以用金属切削方法加工的零件，不受材料硬度影响	电火花加工只适用于导电材料的工件
2	没有机械切削力，工具电极可以做得十分细微，能进行细微加工和复杂型面加工	加工效率一般较慢
3	脉冲电源参数较机械量易于数字控制、适应控制、便于实现自动化和无人化操作	存在电极损耗
4	可连续进行粗、半精和精加工	加工表面有变质层，需要去除

2) 电火花加工的应用范围

由于电火花加工在生产应用中显示出很多优异性能，加上数控水平和工艺技术的不断提高，其应用领域日益扩大，已在模具制造、航空、航天、电子、核能、仪器、轻工等行业用来解决各种难加工材料的复杂形状零件的加工问题。加工范围可从几微米的孔、槽到几米大的超大型模具和零件。电火花加工的具体应用范围如表 1-1-4 所示。

表 1-1-4 电火花加工的应用范围

序 号	名 称	图 示	应 用 范 围
1	加工模具		塑料模、锻模、拉伸模、压铸模、冲模、挤压模、玻璃模等
2	制造行业		各种成形刀具、样板、工具、量具、螺纹等零件
3	航空业		喷气发动机的涡轮叶片的材料为耐热合金，采用电火花加工是合适的工艺方法
4	精密加工		化纤异型喷丝孔、发动机喷油嘴、激光器件、人工标准缺陷的窄缝加工

思考与练习题

- 1. 简述电火花加工原理。
- 2. 电火花加工广泛应用在哪些领域？

任务二 电火花成形加工机床及日常维护保养



任务说明

认识电火花成形加工机床，熟悉电火花成形加工机床的日常维护保养工作。



知识点

- 电火花成形加工机床的组成部分。
- 电火花成形加工机床的功能。
- 电火花成形加工机床的日常维护保养知识。

一、任务引入

要正确运用电火花加工技术，就必须熟悉电火花成型加工机床的各个组成部分以及日常维护保养工作，从而顺利地金属的生产和加工任务。

二、任务分析

数控电火花加工作为特种加工，其机床的结构与其他机床存在差异，本任务主要介绍电火花成型机床的各个组成部分以及日常维护保养工作。

三、相关知识

1. 电火花成形加工机床的组成部分

数控电火花成形机床主要由机床主体、脉冲电源、数控系统及工作液系统四大部分组成，如图 1-1-4 所示。

1) 机床主体

机床主体由床身、立柱、主轴、工作液槽、工作台等组成。其中，主轴头是关键部件，在主轴头装有电极夹具，用于装夹和调整电极位置。主轴头是自动进给调节系统的执行机构，对加工精度有最直接的影响。床身、立柱、坐标工作台起着支撑定位和便于操作的作用，如图 1-1-5 所示。

2) 脉冲电源

脉冲电源将直流或交流电转换为高频率的脉冲电源，也就是把普通 220 V 或 380 V、50 Hz 的交流电转变成频率较高的脉冲电源，提供电火花加工所需要的放电能量。它的性能对电火花加工生产率、工件表面粗糙度和尺寸精度、电极损耗等工艺指标有很大影响。脉冲电源应满足如下要求：



图 1-1-4 数控电火花成形机床

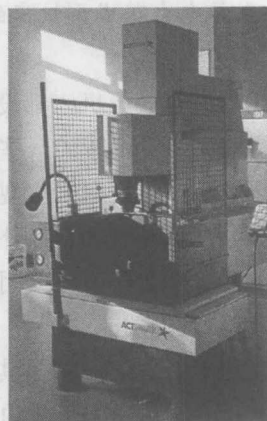


图 1-1-5 机床主体

- (1) 有足够的输出功率，满足生产线的加工速度要求。
- (2) 尽可能小的电极损耗。这是保证成形精度的重要条件之一。
- (3) 加工表面粗糙度应满足使用要求。
- (4) 脉冲参数应能简便地进行调整，以适应各种材料、各种加工要求。
- (5) 电源性能稳定、可靠，价格合理，维修方便。

3) 数控系统

数控系统是运动和放电加工的控制部分，如图 1-1-6 所示。在电火花加工时，由于火花放电的作用，工件不断被蚀除，电极被损耗，当火花间隙变大时，加工便因此而停止。为了使加工过程连续，电极必须间歇式地及时进给，以保持最佳放电间隙。这一基本任务就是由机床的数控系统控制主轴完成的。

4) 工作液系统

工作液系统是由储液箱、油泵、过滤器及工作液分配器等部分组成，如图 1-1-7 所示。工作液系统可进行冲、抽、喷液及过滤工作。电火花成形机床目前广泛采用的工作液为是煤油，因为它的表面张力小，绝缘性能和渗透性能好；但其缺点是散发出呛人的油烟，故在大功率粗加工时，常采用燃点较高的机油或变压器油。

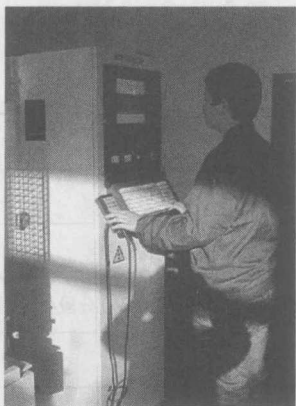


图 1-1-6 数控系统

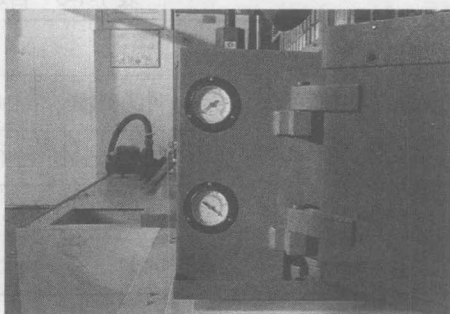


图 1-1-7 工作液系统

2. 数控电火花成形机床的功能

1) 手控盒功能

数控电火花成形机床都设计有手控盒。使用手控盒可以方便地实现对机床的一些控制，如图 1-1-8 所示。手控盒的主要作用是用来实现轴移动功能，按住对应的轴向键就可以实现移动。另外，手控盒还具有其他一些功能，如工作液的开启与关闭、坐标设零等功能。

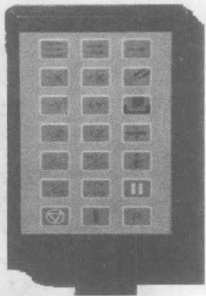


图 1-1-8 数控电火花成形机床手控盒

2) 自动定位功能

数控电火花加工机床都具有自动定位、找正功能，如找外中心、找内中心、找角、找边等。在定位前，根据实际情况设定适当的参数，机床就能够自动定位于工件的中心或者接触边、角位置。表 1-1-5 是北京阿奇夏米尔 SA 系列数控电火花加工机床的界面功能符号。

表 1-1-5 北京阿奇夏米尔 SA 系列数控电火花加工机床的界面功能符号

序 号	图 示	功 能	序 号	图 示	功 能
1		移动	4		找外中心
2		找边	5		找角
3		找内中心	6		置零

3) 自动编程功能

数控电火花机床配有丰富的自动编程功能，提高了加工效率，保持稳定的加工状态，功能如表 1-1-6 所示。

表 1-1-6 自动编程功能

序 号	名 称	功 能
1	间距位置的设定	可以通过输入加工间距及孔个数，自动计算所有加工位置
2	工件复制功能	可以将一个工件的程序加以复制，提高多孔加工的编程效率
3	锥度电极处理	输入零件的锥度值，自动按由弱到强的放电参数把加工高度分段处理
4	定时加工	可以指定某一个加工条件段需要加工的时间

3. 电火花成形加工机床的日常维护保养知识

1) 机器的日常维护

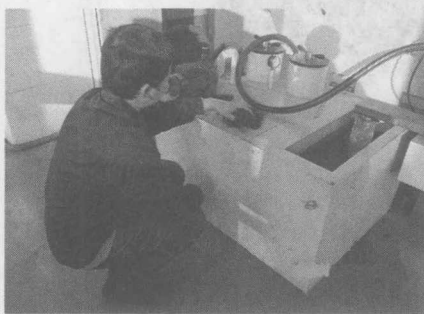
定期用工作液清洗工作槽以及该部位的所有的部件，将污染的工作液用冲液管冲洗干净后用干软布擦干这一区域。经常擦净工作液槽门的密封圈、夹具和附件。保证油箱中有足够的工作液，如图 1-1-9 所示。



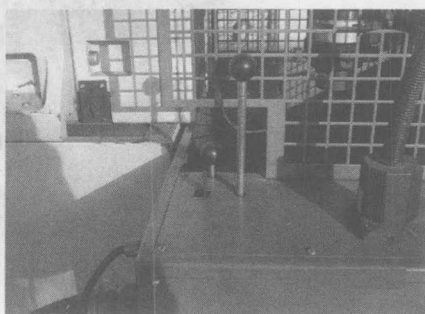
图 1-1-9 油箱

2) 定期检查与更换

保持回流槽干净，检查回油管是否堵塞，电柜后面的上下百叶窗是否打开，浮子开关工作是否正常，如图 1-1-10 所示。



(a) 油箱检查



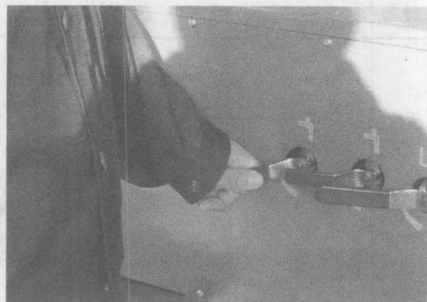
(b) 浮子开关检查

图 1-1-10 定期检查与更换

定期检查安全保护装置，即机器的“急停开关”、“操作停止开关”等，如图 1-1-11 所示。



(a) 工作台锁紧装置



(b) 油路开关检查

图 1-1-11 定期检查安全保护装置

定期清除脉冲电源柜上的灰尘，如图 1-1-12 所示。

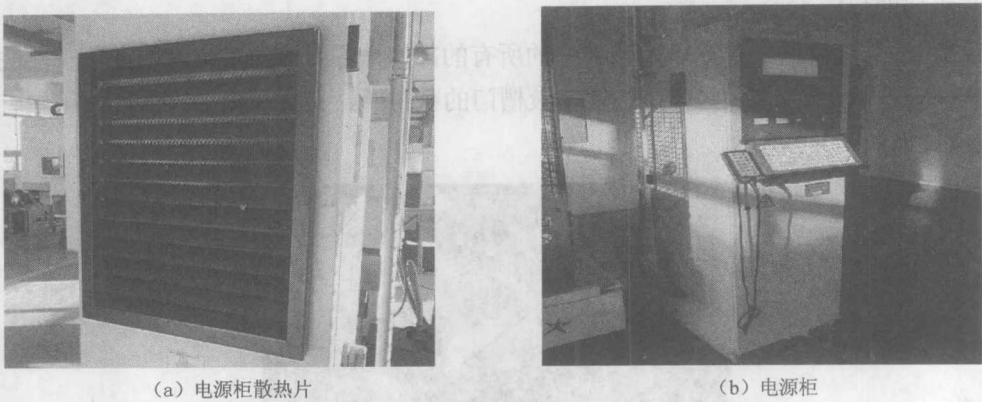


图 1-1-12 清除脉冲电源柜上的灰尘

3) 定期润滑

按机器说明书所规定的润滑部位及润滑要求，定期注入规定的润滑油或润滑脂，以保证机器机构运转灵活。润滑部位如图 1-1-13 所示。



图 1-1-13 润滑部位

4) 维护和保养时的注意事项

维护和保养时的注意事项，如表 1-1-7 所示。

表 1-1-7 维护和保养时的注意事项

序 号	图 示	维护和保养时的注意事项
1		机床的零部件不允许随意拆卸，以免影响机床的精度

续表

序 号	图 示	维护和保养时的注意事项
2		工作液槽和油箱中不允许进水，以免影响加工和引起机件生锈
3		直线滚动导轨和滚珠丝杠内不允许掉入脏物及灰尘
4		注意保护工作台面，防止工具或其他物件碰伤工作台面

思考与练习题

- 1. 电火花成形加工机床的组成部分？
- 2. 电火花成形机床维护和保养时的注意事项？