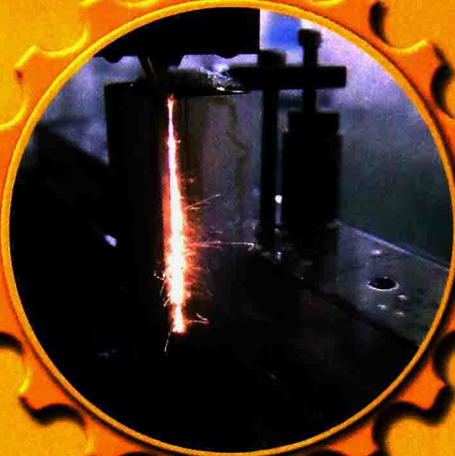


Technology
实用技术

看图学数控编程与操作

图解数控电火花线切割 编程与操作

马长春 主编



科学出版社

看图学数控编程与操作

图解数控电火花线切割 编程与操作

马长春 主 编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书共9章, 主要内容包括: 数控电火花线切割加工的基础知识和编程方法, 数控电火花线切割机床的基础操作、重要操作和加工技巧, 数控电火花线切割加工的工艺参数分析、典型加工实例, 以及常用工具、夹具和量具的使用方法, 机床的维护和保养技术等。

本书实用性强, 内容通俗易懂, 实际操作的图片丰富, 全部采自真实的加工现场。

本书可作为工科院校数控专业师生的参考教材, 也可作为电加工技术工人的自学教材。

图书在版编目(CIP)数据

图解数控电火花线切割编程与操作/马长春主编. —北京: 科学出版社, 2015.7

(看图学数控编程与操作)

ISBN 978-7-03-044538-4

I. 图… II. 马… III. 数控线切割-电火花线切割-程序设计-图解
IV. TG484-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第122045号

责任编辑: 张莉莉 杨 凯 / 责任制作: 魏 谨

责任印制: 赵 博 / 封面设计: 刘素霞

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年7月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2015年7月第一次印刷 印张: 13 1/2

印数: 1—3 000 字数: 256 000

定价: 45.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《图解数控电火花线切割编程与操作》

编委会

主 编：马长春

副主编：彭国战 赵 刚 高玉国 贾 欣

委 员：任立伟 张卫华 薛晓峰

马 瑞 聂常春

前 言

电火花线切割加工技术是一种特种加工技术，是先进制造技术的一个重要分支，具有很强的实用价值，其加工手段在许多情况下是常规制造技术无法替代的，在超硬材料、导体和半导体、复杂型面、模具加工等领域发挥着重要作用。目前随着信息技术、网络技术、航空和航天技术、材料科学技术等高新技术的发展，电火花线切割技术也不断朝着微细化、高效化、精密化、自动化、智能化等方向发展。

本书根据数控电火花线切割加工的技术工人的上岗要求编写而成，注重理论与实际操作相结合，旨在通过图解形式，使初学者可以快速掌握数控电火花线切割加工的工艺理论知识，熟练掌握数控电火花线切割机床的功能与操作步骤。本书内容通俗易懂，实际操作的图片丰富，全部采自真实的加工现场。

本书在内容组织和编排上选用了北京阿奇夏米尔数控电火花线切割机床（FW2P型）作为典型代表，介绍机床的操作，引用了其产品的部分资料，并结合编者多年的教学与实践经验编著成书。该书适用于电加工中级工水平，也可作为致力于电加工技术工人的自学教材。

本书由北京市汽车工业高级技工学校马长春老师担任主编，彭国战、赵刚老师，北京阿奇夏米尔公司工程师高玉国，北京奔驰公司培训中心贾欣担任副主编。北京市汽车工业高级技工学校任立伟、张卫华、薛晓峰、马瑞、聂常春等几位老师参加了编写工作。由于作者水平有限，书中难免有疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 数控电火花线切割加工的基础知识	1
1.1 电火花加工	1
1.1.1 什么是电火花加工	1
1.1.2 电火花加工是如何发明的	1
1.1.3 电火花加工的原理	2
1.1.4 电火花加工的优点和局限性	3
1.1.5 电火花加工的分类及适用范围	3
1.2 电火花线切割加工原理、特点及应用	4
1.2.1 电火花线切割加工原理	4
1.2.2 电火花线切割加工必须具备的基本条件	5
1.2.3 电火花线切割加工的特点	7
1.2.4 电火花线切割加工的应用范围	7
1.3 电火花线切割机床的分类及结构特点	9
1.3.1 电火花线切割机床的分类	9
1.3.2 电火花线切割机床的结构	11
1.4 数控电火花线切割机床的安全操作规程	17
第 2 章 数控电火花线切割加工编程基础	25
2.1 坐标系	25
2.1.1 “工件相对静止, 刀具相对运动” 原则	25
2.1.2 机床坐标系	25
2.1.3 工件坐标系	27
2.2 加工程序的结构及格式	28
2.2.1 字符集	28
2.2.2 地 址	28
2.2.3 字	28

2.2.4	代码与数据	29
2.3	增量坐标和绝对坐标	30
2.4	G代码 (ISO代码)	30
2.4.1	G00 (快速定位)	31
2.4.2	G01 (直线插补)	32
2.4.3	G02、G03 (圆弧插补)	32
2.4.4	G04 (暂停指令)	34
2.4.5	G05、G06 (图形镜像), G08 (X、Y轴交换), G09 (取消镜像、交换指令)	34
2.4.6	G17、G18、G19 (加工平面选择指令)	36
2.4.7	G26 (图形旋转), G27 (图形旋转取消)	37
2.4.8	G41 (G42) 左 (右) 偏移量, G40取消左 (右) 偏移量	37
2.4.9	G31 (加入过切), G30 (取消过切)	41
2.4.10	G51 (G52) 左 (右) 锥度加工, G50取消锥度加工	41
2.4.11	G54 ~ G59 (工作坐标系0 ~ 5)	42
2.4.12	G80 (接触感知)	43
2.4.13	G81 (回机床极限位置)	43
2.4.14	G82 (半程移动)	44
2.4.15	G90 (绝对坐标命令), G91 (增量坐标命令)	45
2.4.16	G92 (设置当前点的坐标值)	46
2.5	T代码	46
2.6	M代码	47
2.6.1	M00 (暂停指令)	47
2.6.2	M02 (程序结束指令)	47
2.6.3	M98、M99与子程序相关的指令	48
2.7	H 指令	50
2.8	C代码 (电参数)	51

第3章 数控电火花线切割机床基础操作 **53**

3.1	开机操作	53
------------	-------------------	-----------

3.2	关机操作	53
3.3	人机界面	54
3.3.1	手控盒的使用方法	55
3.3.2	开机画面各部分的含义	57
3.4	手动模式	57
3.4.1	X轴、Y轴、U轴清零操作	58
3.4.2	轴回零操作	59
3.4.3	自动找中心	60
3.4.4	电极丝找正	61
3.4.5	设置加工条件	61
3.4.6	显示加工参数	62
3.5	编辑模式	65
3.5.1	调入程序 (F1装入)	65
3.5.2	保存程序 (F2存盘)	66
3.5.3	更改文件名 (F3换名)	68
3.5.4	删除程序 (F4删除)	70
3.5.5	清除程序 (F5清除)	71
3.5.6	传输程序 (F6通信)	72
3.5.7	拷贝程序 (F7软盘)	75
3.6	自动模式	77
3.6.1	机床自动关机 (F1无人)	77
3.6.2	机床自动响铃 (F2响铃)	77
3.6.3	机床自动模拟 (F3模拟)	79
3.6.4	机床单段执行 (F4单段)	79
3.6.5	显示加工条件 (F5条件)	82
3.6.6	边加工边显示图形 (F6预演)	82
3.6.7	选择编程代码种类 (F7代码)	82
3.7	上丝操作	85
3.8	穿丝操作	88

第 4 章 数控电火花线切割加工常用工具、夹具和量具	93
4.1 精密平口虎钳	93
4.2 杠杆百分表	94
4.3 游标卡尺	95
4.4 3R组合夹具	96
4.4.1 3R组合夹具1	96
4.4.2 3R组合夹具2	100
4.5 其他常用工具	102
第 5 章 数控电火花线切割机床重要操作	109
5.1 机床找正操作	109
5.1.1 钼丝垂直找正	110
5.1.2 工件装夹与找正	117
5.2 对 刀	119
5.2.1 角定位(对刀)	120
5.2.2 幅中心(对刀)	124
5.2.3 孔中心(对刀)	129
第 6 章 电火花线切割加工工艺参数	133
6.1 电火花线切割加工的主要工艺指标	133
6.1.1 切割速度	133
6.1.2 加工精度	133
6.1.3 表面粗糙度	134
6.2 影响线切割加工工艺指标的主要因素	135
6.3 电参数	135
6.3.1 放电波形(GP)	136
6.3.2 脉冲宽度(ON)	136
6.3.3 脉冲间隔(OFF)	137
6.3.4 主电源电流峰值(IP)	137
6.3.5 间隔电压(SV)	138

6.3.6	加工电压 (V)	138
6.3.7	脉冲频率 (Hz)	138
6.4	非电参数	138
6.4.1	工作液	138
6.4.2	电极丝	141
6.5	电参数对线切割工艺指标的影响	144
6.5.1	短路峰值电流对加工工艺指标的影响	145
6.5.2	脉冲宽度对加工工艺指标的影响	145
6.5.3	脉冲间隔对加工工艺指标的影响	146
6.5.4	开路电压对加工工艺指标的影响	147
6.5.5	常用电参数对切割速度和表面粗糙度值的影响	147
6.6	走丝机构传动精度对加工工艺指标的影响	148
6.7	加工材料对切割工艺指标的影响	149
6.7.1	工件的材料	149
6.7.2	材料的杂质	150
6.7.3	工件的厚度	150
6.8	电极丝的偏移量	151
6.8.1	电极丝偏移量的产生及作用	151
6.8.2	凸模和凹模零件的电极丝偏移量	153
第 7 章	加工实例	155
7.1	凸模零件加工	155
7.1.1	实例描述	155
7.1.2	加工分析	155
7.1.3	参考程序 (以毛坯外进刀为例)	156
7.2	凹模零件加工	157
7.2.1	实例描述	157
7.2.2	加工分析	157
7.2.3	参考程序	158
7.3	凹凸模三次切割	159

7.3.1	实例描述	159
7.3.2	加工分析	159
7.3.3	参考程序	161
7.4	锥度零件加工	165
7.4.1	实例描述	165
7.4.2	加工分析	165
7.4.3	参考程序	166
7.5	部分锥度零件加工程序（此格式只对直线有效）	167
7.5.1	实例描述	167
7.5.2	加工分析	167
7.5.3	参考程序	168
7.6	上、下异形零件加工程序	169
7.6.1	实例描述	169
7.6.2	加工分析	169
7.6.3	参考程序	170

第 8 章 数控电火花线切割机床的加工技巧 173

8.1	通过观察电压表和电流表监控和调节加工状态	173
8.2	断丝的原因和断丝后的处理	174
8.2.1	断丝的原因	174
8.2.2	断丝后的处理办法	177
8.3	工件变形的影响及去除方法	178
8.3.1	合理的加工路径	178
8.3.2	切割前的粗加工	181
8.3.3	加工穿丝孔	182
8.4	薄件加工	184
8.5	切割大厚度工件	185
8.6	铝合金材料的切割	186
8.7	凸模多次切割，以及预留量的选取和处理	187
8.8	去除接刀纹和保持工件尖角的方法	188

8.8.1 去除接刀纹的方法	188
8.8.2 保持工件尖角的方法	190
第9章 维护和保养	193
9.1 机床润滑	193
9.2 工作液的更换	194
9.3 易损件的更换	195
9.4 机床的清洁	195
9.5 电 柜	196
附 录	197
附录1 电火花线切割专业术语	197
附录2 电火花线切割机床错误信息表	199
附录3 电火花线切割机床日点检表	201

数控电火花线切割加工的基础知识

1.1 电火花加工

1.1.1 什么是电火花加工

电火花加工又称为电蚀加工或放电加工，是指在绝缘介质中，利用工具电极和工件之间的脉冲性火花放电所产生的局部、瞬时高温，对金属材料进行蚀除的一种加工方法。

可以把电火花加工想象成工件在一定条件下经受闪电冲击的过程，由于在这个过程中制造了大量的热，所以金属的表面被熔化了，如图1.1所示。

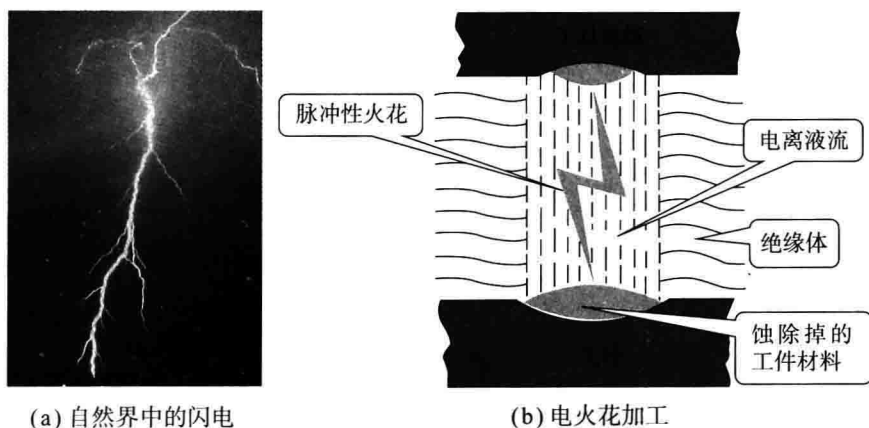


图1.1 电火花加工原理

1.1.2 电火花加工是如何发明的

1943年，苏联科学家拉扎连科夫妇在研究中发现，浸入油中的触点产生的火花电蚀凹坑比空气中产生的凹坑更加一致，并且凹坑尺寸可以控制，于是，他们就想到利用这种现象，采用火花放电的方法对材料进行放电腐蚀，

从而发明了一种加工方法——电火花加工。最初使用的脉冲电源是简单的电阻-电容回路，如图1.2所示。

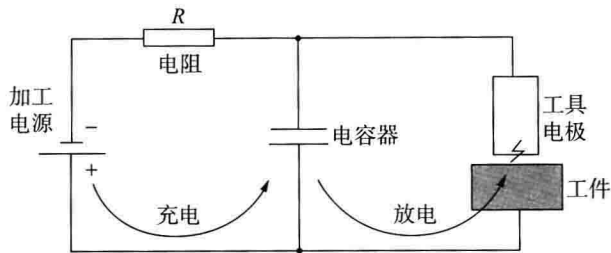


图1.2 脉冲电源

1.1.3 电火花加工的原理

电火花加工是一个非常复杂的过程，其微观过程是热力、流体力、电场力、磁力、电化等综合作用的结果。下面简单介绍电火花加工的微观过程，这一过程可分为以下4个阶段，如图1.3所示。

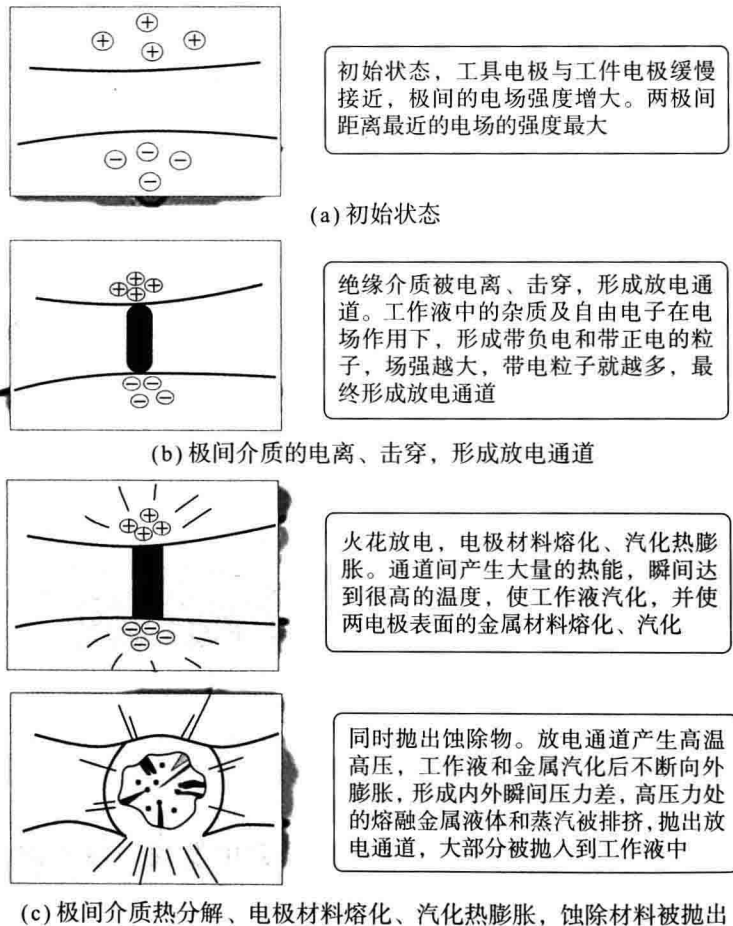
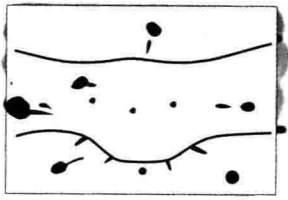


图1.3 电火花加工的微观过程



恢复绝缘状态。加工液流入放电间隙，将电蚀产物及残余的热量带走，并恢复绝缘状态。为保证电火花加工过程的正常进行，两次放电之间必须有足够的时间间隔让电蚀产物充分排出，恢复放电通道的绝缘性，使工作液介质消电离

(d) 极间介质的电离消除

续图1.3

上述几个步骤在1s的时间里要重复发生上千次甚至上万次，这样以非常高的频率连续不断地放电，工件不断地被蚀除，在工件的加工表面上形成无数个相互重叠的小凹坑。这些小凹坑逐渐累积最终形成了工件的加工表面。

1.1.4 电火花加工的优点和局限性

电火花加工的主要优点如下：

(1) 适合加工难切削材料，如硬质合金、淬火钢等材料。

(2) 适合加工复杂形状或特殊形状的零件，如加工复杂型腔模具、小孔、窄缝、薄壁、低刚度零件等。

电火花加工的局限性主要表现在以下几个方面：

(1) 主要加工金属等导电材料。不能加工绝缘的非导电材料，如塑料等。

(2) 加工速度较慢。一般情况下先使用车削、铣削等切削方法去除工件的大部分余量，然后才进行电火花加工，以提高生产效率。

(3) 有电极损耗，影响加工精度。

1.1.5 电火花加工的分类及适用范围

电火花加工的分类及适用范围如表1.1所示。

表1.1 电火花加工的分类及适用范围

类别	工艺类型	特点	适用范围	备注
1	电火花穿孔成形加工	1) 工具和工件间有一个相对的进给运动； 2) 工具为成形电极，与被加工表面有相对应的形状	1) 穿孔加工：各种冲模、挤压模、粉末冶金模、异形孔及微孔等； 2) 型腔加工：加工各类型腔模及各种复杂的型腔工件	约占电火花加工机床总数的20%，典型机床有DK7125、D7140等电火花成形机床
2	电火花线切割加工	1) 工具电极为移动的线状电极； 2) 工具与工件在两个水平方向同时有相对进给运动	1) 切割各种冲模和具有直纹面的零件； 2) 下料、截割和窄缝加工	约占电火花机床总数的70%，典型机床有DK7725、DK7632等数控电火花线切割机床
3	电火花内孔、外圆和成形磨削	1) 工具与工件有相对的旋转运动； 2) 工具与工件间有径向和轴向的进给运动	1) 加工高精度、表面粗糙度值小的小孔，如拉丝模、挤压模、微型轴承内环、钻套等； 2) 加工外圆、小模数滚刀等	约占电火花机床总数的3%，典型机床有D6310电火花小孔内圆磨床等

续表1.1

类别	工艺类型	特点	适用范围	备注
4	电火花同步共轭回转加工	1) 成形工具与工件均做旋转运动, 但二者角速度相等或成整倍数, 相对应接近的放电点可有切向相对运动速度; 2) 工具相对工件可做纵、横向进给运动	以同步回转、展成回转、倍角速度回转等不同方式, 加工各种复杂型面的零件, 如高精度的异形齿轮, 精密螺纹环规, 高精度、高对称度、表面粗糙度值小的内、外回转体表面等	约占电火花机床总数不足1%, 典型机床JN-2、JN-8内外螺纹加工机床等
5	电火花高速小孔加工	1) 工作中采用细管($>\phi 0.3\text{mm}$)电极, 管内冲入高压水; 2) 细管电极旋转; 3) 穿孔速度高(范围30~60mm/min)	1) 线切割预穿孔; 2) 深径比很大的小孔, 如喷嘴等	约占电火花加工机床总数的3%, 典型机床有D703A电火花高速小孔加工机床等
6	电火花表面强化与刻字	1) 工具在工件表面上振动, 在空气中火花放电; 2) 工具相对工件移动	1) 模具刃口, 刀、量具刃口表面强化和镀覆; 2) 电火花刻字、打印记	约占电火花机床总数的1%~2%, 典型设备有D9105电火花强化机等

1.2 电火花线切割加工原理、特点及应用

从表1.1可以看出, 电火花加工类型可分为电火花线切割加工、电火花成型加工、电火花磨削、电火花表面强化与刻字等, 其中以电火花线切割与电火花成型加工应用最为广泛。本节着重介绍电火花线切割的加工原理、特点及应用。

1.2.1 电火花线切割加工原理

电火花线切割加工是利用细金属线(常用的有钼丝、黄铜丝等)作为负极, 工作台作为正极, 在线电极和工件之间施加高频的脉冲电压, 并置于乳化液或者去离子水等工作液中, 使其不断产生火花放电, 工件不断被电蚀, 从而达到对工件进行加工的目的。电火花线切割加工的基本原理如图1.4所示。

电极丝与工件之间要保持一定的放电间隙。脉冲电源在电极丝和工件两极

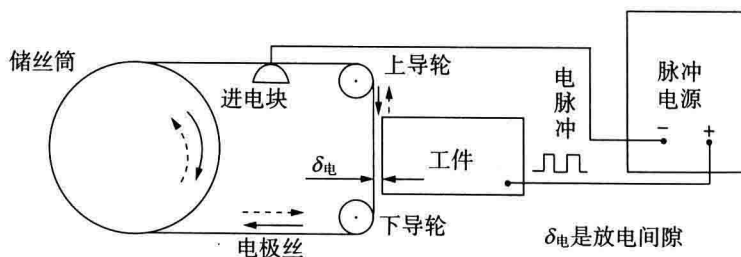


图1.4 电火花线切割加工原理

之间施加脉冲电压，脉冲电压和脉冲电流在一次放电过程的变化如图1.5所示。

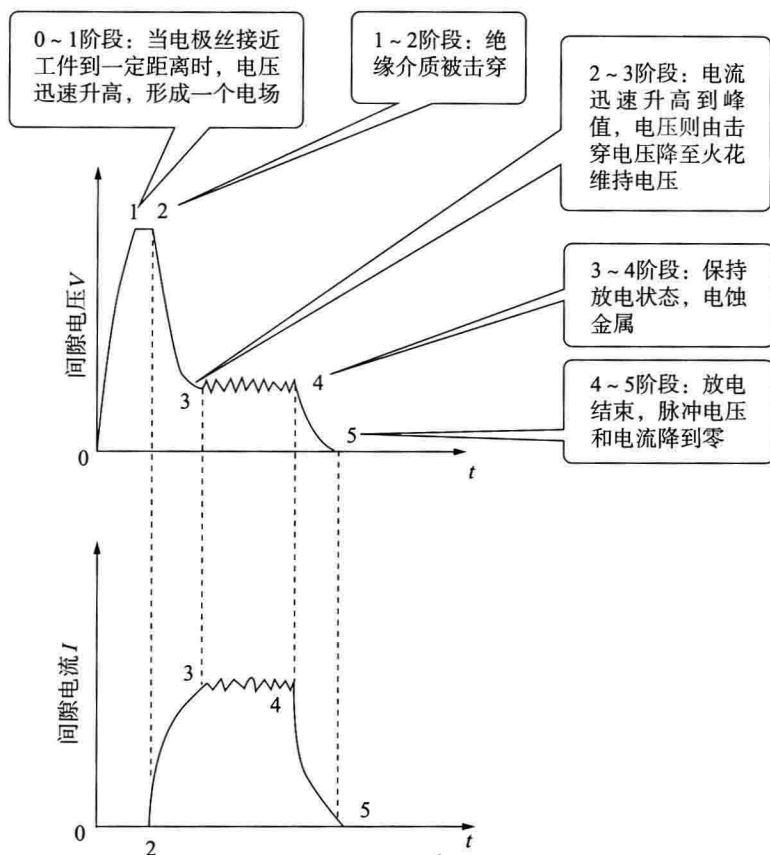


图1.5 极间放电电压和电流

1.2.2 电火花线切割加工必须具备的基本条件

(1) 电极丝与工件之间必须保持一定的放电间隙，如图1.6所示。在该间隙范围内，既可以满足脉冲电压不断击穿介质，产生火花放电，又可以适应在火花通道熄灭后介质消除电离以及排出电蚀产物的要求。如果间隙过大，极间电压不能击穿极间介质，则不能产生火花放电，如果间隙过小，则容易形成短路连接，也不能产生火花放电。

(2) 必须在有一定绝缘性能的液体介质中进行加工，如皂化油、去离子水等。工作液的作用有三个：一是为了利于产生脉冲性的火花放电；二是方便排除间隙内电蚀产物；三是冷却电极。

(3) 放电必须是短时间的脉冲放电。由于放电时间短，使放电时产生的热能来不及向加工材料内部扩散，从而把能量作用局限在很小范围内，保