

数控编程100例丛书

附赠1CD



数控线切割编程

高长银 黎胜容 主编

100例



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数控编程 100 例丛书

数控线切割编程 100 例

高长银 黎胜容 主编

机械工业出版社

本书结合 100 多个典型加工实例,详细深入地介绍了电火花线切割加工的方式方法和应用技巧。全书共 9 章,第 1 章简要介绍了线切割加工工艺及处理;第 2、3 章介绍了快走丝手工编程入门实例和提高实例;第 4、5 章介绍了慢走丝手工编程入门实例和提高实例;第 6~9 章为自动加工编程实例,分别介绍了 AutoCAD-Ycut 快走丝编程实例、CAXA 线切割编程实例、统达 TwinCAD/WTCAM 慢走丝编程实例及 Mastercam Wire 慢走丝编程实例。

本书适合数控线切割加工机床的初、中级用户,既可作为数控技工的自学参考书,也可作为高职、中职数控技术应用专业学生的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控线切割编程 100 例/高长银,黎胜容主编. —北京:机械工业出版社,2011.3

(数控编程 100 例丛书)

ISBN 978-7-111-33353-1

I. ①数… II. ①高…②黎… III. ①数控线切割—程序设计
IV. ①TG481

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 018890 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍 版式设计:张世琴

责任校对:陈延翔 封面设计:马精明 责任印制:乔宇

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2011 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·25.5 印张·495 千字

0001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-33353-1

ISBN 978-7-89451-857-6 (光盘)

定价:49.00 元 (含 1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

线切割加工是在电火花穿孔、成形加工的基础上发展起来的一门加工技术，通常用于加工一些难切削的材料、特殊及形状复杂的零件，在模具、航空、航天等领域使用较多。根据电极丝运动的方式，线切割加工机床分为快走丝和慢走丝两类，二者具有不同的特点和应用场合。综观目前市面上的同类线切割加工的图书，讲解加工原理、工艺以及操作技术的较多，介绍应用实例的较少，将手工编程和自动编程有机结合，通过大量典型实例来阐述的内容更是处于空白。为了弥补这种不足，编写了本书。全书内容共9章，具体安排如下：

第1章介绍线切割加工工艺及处理，包括线切割加工特点及工艺、线切割加工前的准备事项，以及加工过程中特殊情况的处理。通过本章学习，读者将对线切割加工工艺有一基本的熟悉和了解，为后面的实例学习做好铺垫。

第2~5章为线切割手工编程实例，从专业的角度，细分快走丝和慢走丝两类，结合94个典型实例，按照入门到提高循序渐进的方式讲解。读者通过学习，可以掌握各类零件的加工工艺及手工编程方法。

第6~9章为线切割自动编程实例，具体包括AutoCAD-Ycut快走丝编程实例、CAXA线切割编程实例、统达TwinCAD/WTCAM慢走丝编程实例及Mastercam Wire慢走丝编程实例。为了贯彻“典型实用”的原则，这里选择用户群最多的编程软件，通过具有代表性和不同学习难度的实例，深入浅出地讲解了线切割自动编程的原理、流程及操作方法。读者学习后可触类旁通，迅速上手并提高。

和同类书比较，本书主要特点有：

(1) 全书有100多个典型实例，类型丰富，全面涵盖快走丝和慢走丝两类专业技术、手工编程和自动编程两类编程方式，代表性和实践性强，读者学习后举一反三，将掌握几乎所有的数控线切割加工技术。

(2) 本书内容安排从简单到复杂，降低学习门槛；讲解方式从实例描述→工艺分析→主要知识点→程序代码/具体操作步骤，符合实际加工过程。无论读者有无基础，都可以快速入门和上手，最终实现从入门到精通。

本书适合数控线切割加工机床的初、中级用户，既可作为数控技工的自

IV 数控线切割编程 100 例

学参考书，也可作为高职、中职院校数控技术应用专业学生的教材，是学习数控线切割加工的必备宝典书。

(3) 为配合学习，随书赠送实例的模型文件，可提高读者的学习效率。

本书由高长银、黎胜容主编，参加编写的还有李万全、马龙梅、黎双玉、涂志涛、刘红霞、刘铁军、何文斌、邓力、王乐、杨学围、张秋冬、闫延超、董延、郭志强、毕晓勤、贺红霞、史丽萍、袁丽娟、刘汝芳、夏劲松。

由于时间仓促，书中存在一些错误和不足，欢迎广大读者及业内人士批评指正。

编著者

目 录

前言

第 1 章 线切割加工工艺及处理 ... 1

- 1.1 线切割加工特点及工艺 1
- 1.2 线切割加工前的准备工作 10
- 1.3 加工过程中特殊情况的处理 14

第 2 章 快走丝手工编程入门

实例 16

- 2.1 入门实例 1——矩形板零件线切割加工 16
- 2.2 入门实例 2——圆弧零件线切割加工 17
- 2.3 入门实例 3——倒圆板零件线切割加工 18
- 2.4 入门实例 4——四棱锥零件线切割加工 20
- 2.5 入门实例 5——对称零件线切割加工 22
- 2.6 入门实例 6——上下异形零件线切割加工 24
- 2.7 入门实例 7——电极片零件线切割加工 26
- 2.8 入门实例 8——样板零件线切割加工 27
- 2.9 入门实例 9——五角星零件线切割加工 29
- 2.10 入门实例 10——直线导轨座零件线切割加工 32
- 2.11 入门实例 11——型孔零件线切割加工 34
- 2.12 入门实例 12——锥度零件线切割加工 35
- 2.13 入门实例 13——四方凹模零件

线切割加工 37

- 2.14 入门实例 14——八方零件线切割加工 39
- 2.15 入门实例 15——多孔零件线切割加工 41
- 2.16 入门实例 16——转动连杆零件线切割加工 43
- 2.17 入门实例 17——压盖零件线切割加工 45
- 2.18 入门实例 18——凸轮零件线切割加工 47
- 2.19 入门实例 19——轴承座零件线切割加工 49
- 2.20 入门实例 20——球板形零件线切割加工 51
- 2.21 入门实例 21——棘轮零件线切割加工 53
- 2.22 入门实例 22——滑套零件线切割加工 56
- 2.23 入门实例 23——支承耳座零件线切割加工 59
- 2.24 入门实例 24——导向垫块零件线切割加工 61
- 2.25 入门实例 25——按钮零件线切割加工 63
- 2.26 入门实例 26——U 形板零件线切割加工 64
- 2.27 入门实例 27——圆环零件线切割加工 66
- 2.28 入门实例 28——条板零件线切割加工 68
- 2.29 入门实例 29——吊钩零件线切割加工 70

2.30	入门实例 30——阶梯零件线切割加工	72	第 4 章 慢走丝手工编程入门	
2.31	入门实例 31——滑槽零件线切割加工	73	实例	
2.32	入门实例 32——锥圆锥零件线切割加工	76	4.1	入门实例 1——方板零件线切割
2.33	入门实例 33——分度盘零件线切割加工	77	4.2	入门实例 2——凹模零件线切割加工
2.34	入门实例 34——夹持器零件线切割加工	80	4.3	入门实例 3——箭头标志零件线切割
2.35	入门实例 35——舌形压片零件线切割加工	82	4.4	入门实例 4——圆锥零件线切割加工
第 3 章 快走丝手工编程提高			4.5	入门实例 5——三角样板零件线切割加工
实例			4.6	入门实例 6——凹模锥度零件线切割加工
3.1	提高实例 1——CPU 散热片零件线切割加工	85	4.7	入门实例 7——落料模零件线切割加工
3.2	提高实例 2——凸模轮廓线切割加工	89	4.8	入门实例 8——定位板零件线切割加工
3.3	提高实例 3——CNC 文字零件线切割加工	91	4.9	入门实例 9——冲裁凸模零件线切割加工
3.4	提高实例 4——多腔凹模零件线切割加工	93	4.10	入门实例 10——凹模刃口零件线切割加工
3.5	提高实例 5——喷嘴零件线切割加工	96	4.11	入门实例 11——压板零件线切割加工
3.6	提高实例 6——拼图零件线切割加工	97	4.12	入门实例 12——U 形块零件线切割加工
3.7	提高实例 7——手柄凹模零件线切割加工	100	4.13	入门实例 13——月牙板零件线切割加工
3.8	提高实例 8——固定滑块零件线切割加工	102	4.14	入门实例 14——六边形零件线切割加工
3.9	提高实例 9——注塑镶件零件线切割加工	104	4.15	入门实例 15——连杆内孔零件线切割加工
3.10	提高实例 10——秒针零件线切割加工	106	4.16	入门实例 16——垫片零件线切割加工
3.11	提高实例 11——安装板零件线切割加工	109	4.17	入门实例 17——导向件零件线切割加工
3.12	提高实例 12——花凳零件线切割加工	110	4.18	入门实例 18——棘爪零件线切割加工

4.19 入门实例 19——法兰零件线切割加工	167	5.2 提高实例 2——凹模型腔零件线切割加工	245
4.20 入门实例 20——变电器磁芯零件线切割加工	170	5.3 提高实例 3——雨伞零件线切割加工	248
4.21 入门实例 21——滑动导轨滑块零件线切割加工	174	5.4 提高实例 4——电火花电极零件线切割加工	252
4.22 入门实例 22——挖斗侧板零件线切割加工	177	5.5 提高实例 5——铝合金凹模零件线切割加工	258
4.23 入门实例 23——侧栓钩零件线切割加工	180	5.6 提高实例 6——对刀板零件线切割加工	261
4.24 入门实例 24——夹具体零件线切割加工	183	5.7 提高实例 7——徽标零件线切割加工	267
4.25 入门实例 25——夹钳夹头零件线切割加工	188	5.8 提高实例 8——盖板零件线切割加工	270
4.26 入门实例 26——面板零件线切割加工	191	5.9 提高实例 9——iphone 标识零件线切割加工	275
4.27 入门实例 27——V 形块零件线切割加工	195	5.10 提高实例 10——机架零件线切割加工	283
4.28 入门实例 28——叉形侧板零件线切割加工	199	5.11 提高实例 11——斧形零件线切割加工	286
4.29 入门实例 29——工作台板零件线切割加工	202	5.12 提高实例 12——上下异形零件线切割加工	290
4.30 入门实例 30——定位键零件线切割加工	208	第 6 章 AutoCAD-Ycut 快走丝编程实例	293
4.31 入门实例 31——弯头零件线切割加工	212	6.1 入门实例——凸模零件线切割加工	293
4.32 入门实例 32——锯齿零件线切割加工	216	6.2 提高实例——安装座零件线切割加工	300
4.33 入门实例 33——哑铃形零件线切割加工	223	第 7 章 CAXA 线切割自动编程实例	309
4.34 入门实例 34——栅板零件线切割加工	226	7.1 入门实例 1——凸凹模板零件线切割加工	309
4.35 入门实例 35——凸缘叉漏盘样板零件线切割加工	232	7.2 入门实例 2——数字板线切割加工	318
第 5 章 慢走丝手工编程提高实例	237	7.3 提高实例 1——手形板零件线切割加工	326
5.1 提高实例 1——弧板零件线切割加工	237	7.4 提高实例 2——内花键零件线切割加工	334

第 8 章 统达 TwinCAD/WTCAM

慢走丝编程实例 344

- 8.1 入门实例——L 形板零件线
切割加工 344
- 8.2 提高实例——上下异形零件线
切割加工 355

第 9 章 Mastercam Wire 慢走丝

编程实例 365

- 9.1 入门实例——环形盘零件
线切割加工 365
- 9.2 提高实例——锥套零件
线切割加工 387

参考文献 398

第1章 线切割加工工艺及处理

线切割加工是在电火花穿孔、成形加工的基础上发展起来的一项加工技术。它不仅使电火花加工的应用得到了发展，而且某些方面已逐渐取代了电火花穿孔、成形加工。线切割加工在一些难切削的材料、特殊及形状复杂零件的加工应用上，较传统的切削加工方法具有明显的优势，因此被广泛应用于模具、航空、航天等领域。本章对线切割加工工艺进行重点阐述。

1.1 线切割加工特点及工艺

根据电极丝运动的方式将线切割加工机床分为快走丝线切割加工机床和慢走丝线切割加工机床，二者具有不同的特点和应用场合。快走丝线切割加工机床因其操作简单、成本低等优点而被普遍采用。由于慢走丝线切割加工解决了自动卸除加工废料、自动搬运工件、自动穿电极丝，同时应用自适应控制技术，能够实现无人操作的加工，精度更高，但加工成本要比快走丝线切割加工机床高得多。

1. 线切割加工的特点

- 1) 无论被加工材料的硬度如何，只要是导体或半导体材料都能实现加工。
- 2) 无需金属切削刀具，以 $\phi 0.03 \sim 0.35\text{mm}$ 的金属丝为电极工具，工件材料的预留量少，能有效节约贵重材料。
- 3) 虽然加工的对象主要是平面形状，但几乎能够方便地加工任何复杂形状的型孔、微孔、窄缝等。
- 4) 直接采用精加工和半精加工一次加工成形，一般不需要中途转换。
- 5) 只对工件材料进行图形轮廓加工，图形内外的余料还可利用。
- 6) 自动化程度高，操作方便，加工周期短，成本低。

2. 线切割加工工艺

数控电火花线切割加工，一般作为工件（尤其是模具）加工中的最后工序。要达到加工零件的精度及表面粗糙度值要求，应合理控制线切割加工时的各种工艺参数（电参数、切割速度、工件装夹等），同时应安排好零件的工艺路线及线切割加工前的准备加工。图 1-1 为模具加工的线切割加工工艺准备和工艺流程图。

(1) 工件材料的选择

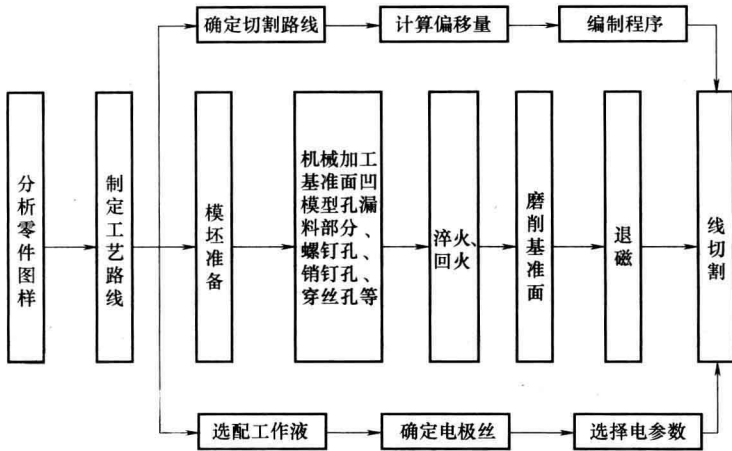


图 1-1 模具加工的线切割加工工艺准备和工艺过程流程图

模具零件一般采用锻造毛坯，其线切割加工常在淬火与回火后进行。为了加工出尺寸精度高、表面质量好的线切割产品，必须对所用工件材料进行如下考虑：

1) 由于工件材料不同，熔点、汽化点、导热系数等都不一样，因而即使按同样方式加工，所获得的工件表面质量也不相同，因此必须根据实际需要的表面质量对工件材料做相应的选择。例如要达到高精度，就必须选择硬质合金类材料，而不应该选择不锈钢或未淬火的高碳钢等，否则很难达到所要求。

2) 由于工件材料内部残余应力对加工的影响较大，在对热处理后的材料进行加工时，由于大面积去除金属和切断加工会使材料内部残余应力的相对平衡受到破坏，从而可能影响零件的加工精度和表面质量。为了避免这些情况，应选择锻造性好、淬透性好、热处理变形小的材料。

(2) 模坯准备工序

模坯的准备工序是指凸模或凹模在线切割加工之前的全部加工工序。凹模的准备工序如下：

- 1) 下料：用锯床切断所需材料。
- 2) 锻造：改善内部组织，并锻造成所需的形状。
- 3) 退火：消除锻造内应力，改善加工性能。
- 4) 刨（铣）：刨六面，并留磨削余量 0.4 ~ 0.6mm。
- 5) 磨削：磨出上下平面及相邻两侧面。
- 6) 划线：划出刃口轮廓线和孔（螺孔、销孔、穿丝孔等）的位置。
- 7) 加工型孔部分：当凹模较大时，为减少线切割加工量，需将型孔漏料部

分铣（车）出，只切割刃口高度；对淬透性差的材料，可将型孔的部分材料去除，留3~5mm切割余量。

8) 孔加工：加工螺孔、销孔、穿丝孔等。

9) 淬火：达到设计要求。

10) 磨削：磨削上下平面及相邻两侧面。

11) 退磁处理。

凸模的准备工序可根据凸模的结构特点，参照凹模的准备工序，将其中不需要的工序去掉即可。操作时应注意以下几点：

1) 为便于加工和装夹，一般都应将毛坯锻造成平行六面体。对尺寸、形状相同，断面尺寸较小的凸模，可将几个凸模制成一个毛坯。

2) 凸模的切割轮廓线与毛坯侧面之间应留足够的切割余量（一般不小于5mm）。毛坯上还要留出装夹部位。

3) 在有些情况下，为防止切割时模坯产生变形，要在模坯上加工出穿丝孔。切割的引入程序从穿丝孔开始。

3. 工件的装夹与调整

(1) 工件的装夹

装夹工件时，必须保证工件的切割部位位于机床工作台纵向、横向进给的允许范围之内，避免超出极限。同时应考虑切割时电极丝运动空间。夹具应尽可能选择通用（或标准）件，所选夹具应便于装夹，便于协调工件和机床的尺寸关系。在加工大型模具时，要特别注意工件的定位方式，尤其在加工快结束时，工件的变形、重力的作用会使电极丝被夹紧，影响加工。

1) 悬臂式装夹。图1-2所示是悬臂方式装夹工件，这种方式装夹方便，通用性强。但由于工件一端悬伸，易出现切割表面与工件上、下平面间的垂直度误差。仅用于加工要求不高或悬臂较短的情况。

2) 两端支撑方式装夹。图1-3所示是两端支撑方式装夹工件，这种方式装夹方便、稳定，定位精度高，但不适于装夹较大的零件。

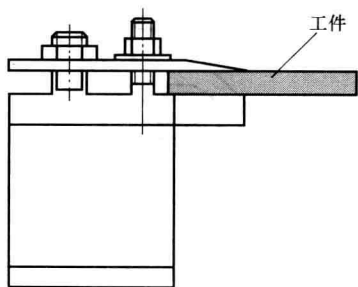


图 1-2 悬臂式

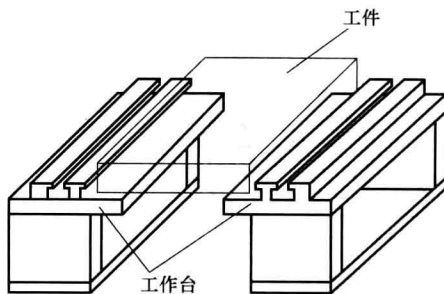


图 1-3 两端支撑式

4 数控线切割编程 100 例

3) 桥式支撑方式装夹。这种方式是在通用夹具上放置垫铁后再装夹工件,如图 1-4 所示。这种方式装夹方便,对大、中、小型工件都能适用。

4) 板式支撑方式装夹。图 1-5 所示是板式支撑方式装夹工件。根据常用的工件形状和尺寸,采用有通孔的支撑板装夹工件。这种方式装夹精度高,但通用性差。

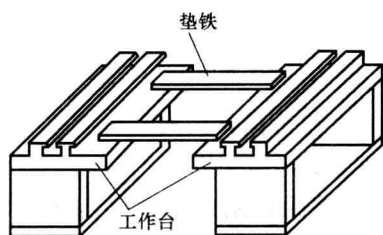


图 1-4 桥式支撑

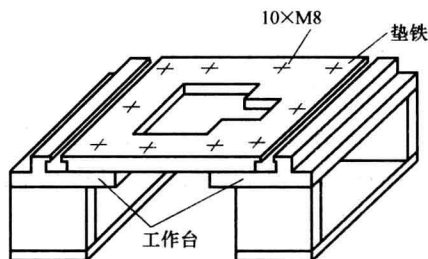


图 1-5 板式支撑

(2) 工件的调整

装夹好的工件一般需经过适当调整,使工件的定位基准分别与工作台的 X、Y 方向保持平行,以保证加工面与基准面的位置精度。常用的方法有两种:百分表找正和划线法找正。

1) 百分表找正。如图 1-6 所示,用磁力表架将百分表固定在丝架或其他位置上,百分表的测量头与工件基面接触,往复移动工作台,按百分表指示值调整工件的位置,直至百分表指针的偏摆范围达到所要求的数值。找正应在相互垂直的三个方向上进行。

2) 划线法找正。工件的切割图形与定位基准之间的相互位置精度要求不高时,可采用划线法找正,如图 1-7 所示。利用固定在丝架上的划针对准工件上划出的基准线,往复移动工作台,目测划针、基准间的偏离情况,将工件调整到正确位置。

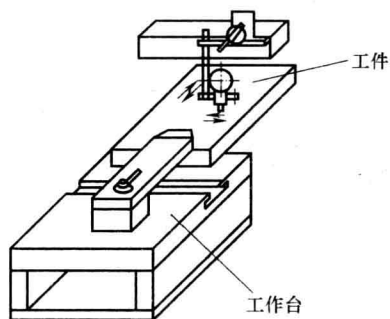


图 1-6 百分表找正

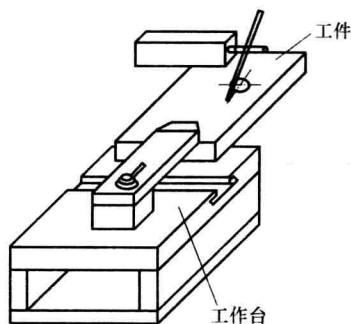


图 1-7 划线法找正

4. 电极丝的选择

电极丝应具有良好的导电性和抗电蚀性，抗拉强度高，材质均匀。常用电极丝有钼丝、钨丝、黄铜丝和包芯丝等。钨丝抗拉强度高，一般用于各种窄缝的精加工，但价格昂贵。黄铜丝适合于慢速加工，加工表面质量和平直度较好，蚀屑附着少，但抗拉强度差，损耗大，一般用于慢速单向走丝加工。钼丝抗拉强度高，适于快速走丝加工，所以我国快速走丝机床大都选用钼丝作电极丝。

电极丝直径的选择应根据切缝宽窄、工件厚度和拐角尺寸大小来选择。若加工带尖角、窄缝的小型模具，宜选用较细的电极丝；若加工大厚度工件或大电流切割时，应选用较粗的电极丝。电极丝的主要类型、规格如下：

钼丝直径：0.08 ~ 0.2mm；钨丝直径：0.03 ~ 0.1mm；黄铜丝直径：0.1 ~ 0.3mm；包芯丝直径：0.1 ~ 0.3mm。

5. 电极丝的位置调整

电火花线切割加工之前，应将电极丝调整到加工起点位置上。常用的方法有：目测法、碰火花法、自动找中心。

(1) 目测法

如图 1-8 所示，利用穿丝孔处所划十字基准线，观察电极丝的中心与工件坐标轴 X、Y 方向基准线是否重合。

(2) 碰火花法

如图 1-9 所示，移动工作台使电极丝靠近基准面，直到出现火花，根据火花放电间隙推算出电极丝的坐标位置。

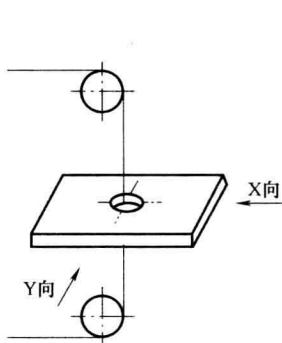


图 1-8 目测法

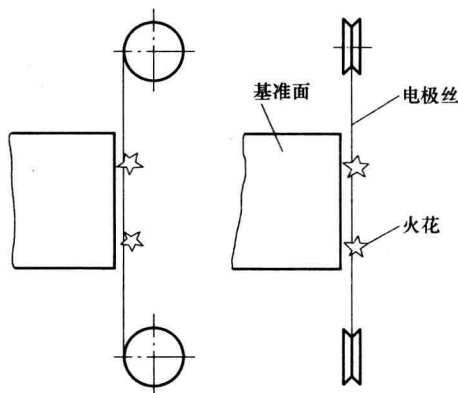


图 1-9 碰火花法

(3) 自动找中心

自动找中心就是让电极丝在工件孔的中心自动定位。该方法是根据线电极与工件的短路信号，来确定电极丝的中心位置的。数控功能较强的线切割加工机床

6 数控线切割编程 100 例

常用这种方法。首先让电极丝在 X 轴方向移动至与孔壁接触，则此时当前点 X 坐标为 X_1 ，接着电极丝往反方向移动至与孔壁接触，此时当前点 X 坐标为 X_2 ，然后系统自动计算 X 方向中点坐标 X_0 ($X_0 = (X_1 + X_2)/2$)，并使电极丝到达 X 方向中点 X_0 ；接着在 Y 轴方向进行上述过程，电极丝到达 Y 方向中点坐标 Y_0 ($Y_0 = (Y_1 + Y_2)/2$)。这样经过几次重复就可找到孔的中心位置，当精度达到所要求的允许值之后，就确定了孔的中心。

6. 切割路线的选择

在确定线切割加工工艺路线时，需要考虑到线切割加工一般是加工的最后工序，因此必须要合理地进行工艺处理，以使工件精度和表面质量达到要求。图 1-10a 所示的切割路线是错误的，按照此种加工路线加工，切割完前几段线后再继续加工时，由于原来主要连接的部位被割离，余下的材料与夹持部分连接较少，工件刚度大为降低，容易产生变形，从而影响加工精度。如按图 1-10b 所示的切割路线加工，可减少由于材料割离后残余应力重新分布而引起的变形。所以，一般情况下，最好将工件与其夹持部分分割的线段安排在切割总程序的末端。对精度要求较高的零件，最好采用图 1-10c 所示的方案，电极丝不由坯料的外部切入，而是将切割起点取在坯件预制的穿丝孔中，这样材料变形小，加工精度高。

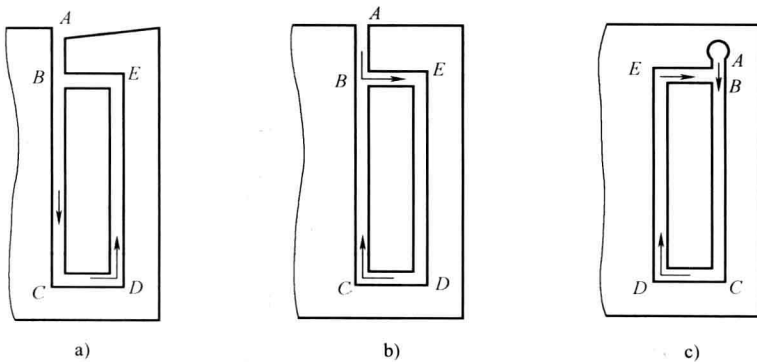


图 1-10 线切割路线图

a) 不可用 b) 可用 c) 最佳方案

此外，为了获得较高的加工精度，可以考虑在快速走丝线切割加工机床采用多次切割工艺。采用多次切割工艺时，第一次切割主要进行高速稳定切割，因此可选用高峰值电流；第二次切割的主要任务是修光，应选择较小的脉冲电流和脉冲宽度。

7. 确定穿丝孔的合理位置

(1) 穿丝孔的作用

许多模具制造在切割凸模类外形工件时，常常直接从材料的侧面切入，在切入处产生缺口，残余应力从缺口处向外释放，易使凸模变形。为了避免变形，在淬火前先在模坯上打穿丝孔，孔径为3~10mm，待淬火后从模坯内对凸模进行封闭切割，可以使模坯保持完整，从而减少变形。

(2) 穿丝孔的位置和直径

在切割凹模类工件时，穿丝孔最好设置在凹形工件的中心位置。因为这样可以准确确定穿丝孔的加工位置，又便于计算轨迹的坐标，但是这种方法切割的无用行程较长，因此只适合中、小尺寸的凹形工件使用。大孔的凹形工件加工，穿丝孔可设定在起割点附近，且可以沿着加工轨迹多设置几个，以便在断丝后就近穿丝，减少进刀行程。在切割凸模类工件时，穿丝孔应设在加工轮廓轨迹的拐角附近，这样可以减少穿丝孔对模具表面的影响或便于进行修磨。同理，穿丝孔的位置最好选在已知坐标点或便于计算的坐标点上，以简化计算。如图1-11所示，穿丝孔的直径不宜太大或太小，以钻或镗孔工艺方便为宜，一般选在1~8mm范围内，孔径选取整数为好。

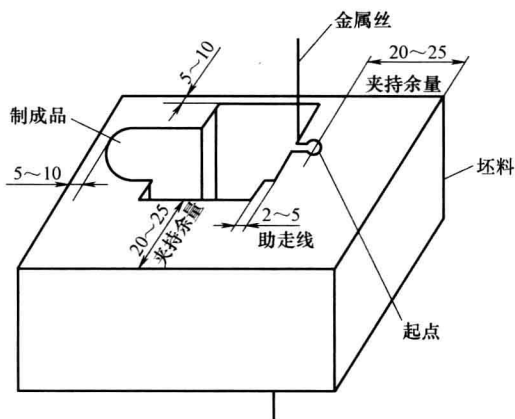


图1-11 穿丝孔的位置及直径

(3) 穿丝孔的加工

由于很多穿丝孔要作为加工基准，穿丝孔的位置精度和尺寸精度要等于或高于工件的精度。因此，要求穿丝孔在较精密坐标工作台的机床上进行钻铰、钻镗等较精密的加工。如果穿丝孔精度要求不高，则只需要进行一般的加工即可。

8. 电参数的选择

对加工质量具有明显影响的电参数主要包括脉冲电流、脉冲宽度、脉冲间隔、走丝速度等，通常需要在保证表面质量、尺寸精度的前提下，尽量提高加工效率。

脉冲电源是影响加工表面质量的重要因素。减小单个脉冲能量可以改善表面质量。决定单个脉冲能量的因素主要是脉冲宽度和脉冲电流。因此采用小的脉冲宽度和脉冲电流可获得良好的表面质量。但是单个脉冲能量越小，切割速度越慢，如果脉冲电流太小，将不能产生放电火化，不能正常切割。一般来讲，精加工时，脉冲宽度可在20 μ s内选择；中加工时，可在20~60 μ s内选择。

脉冲间隔对切割速度影响较大，而对表面质量影响较小。减少脉冲间隔，相

当于提高了脉冲频率，增加了单位时间的放电次数，因而切割速度也越高。但当脉冲间隔减少到一定程度时，加工间隙的绝缘强度来不及恢复，容易烧伤工件或断丝。对于厚度较大的工件，应适当加大脉冲间隔，以充分消除放电产物，形成稳定切割。一般脉冲间隔在 $10 \sim 250 \mu\text{s}$ 范围内基本上能适应各种加工条件，进行稳定加工。

走丝速度对加工速度具有一定影响，随着走丝速度的提高，切割速度将明显增大。但是，高速度会引起电极丝较大的振动而使工件表面的直线度和表面质量恶化。因此，应在保证加工质量的前提下，选择一个具有适当切割速度的合理走丝速度。

9. 其他非电参数的选择

(1) 电极丝材料的选择

电极丝材料对切割速度的影响：不同的电极丝材料，切割速度有很大的差别。在快走丝线切割加工工艺中，普遍使用钼丝作为电极丝；在慢走丝线切割加工工艺中，一般使用铜、铁金属丝和各种专用合金丝或镀层的电极丝。线切割加工的电极丝，其切割速度主要取决于电极丝表面层的状态，含锌浓度越大，切割速度越高；含锰浓度越低，切割速度越快。

提高走丝速度有利于电极丝把工作液带入较大厚度的工件放电间隙中，有利于电蚀产物排放和放电加工的稳定。

(2) 工作液的选择及使用

在快速走丝线切割加工中，不同的乳化液有不同的切割速度，乳化液中的乳化剂对切割速度的影响很大。在慢速走丝线切割加工中，目前普遍使用等离子水。

煤油介电强度高，间隙消耗放电能量多，分配到两极的能量少，排屑困难，故切割速度低。但煤油受冷热变化影响不明显，且润滑性能好，因此不容易断丝。皂化液洗涤性能好，有利于排屑，切割速度较高。

乳化型工作液的介电强度比水高，比煤油低；冷却能力比水弱，比煤油好；洗涤性比水和煤油都好，较非乳化型工作液的切割速度高，是普遍使用的工作液。

纯净的工作液最初使用时并不能获得最好的加工效果，而在使用 $1 \sim 2$ 个工作日后，金属切屑进入工作液中形成一定脏度的混合液，这种混合液在切割中具有良好的效果。因此，定期更换工作液时往往不需要将工作液箱清洗得非常干净，以获得具有一定脏度的混合液。

10. 线切割加工中精度、表面质量分析及解决办法

线切割加工的加工精度大致可以分为四个方面，即加工面的尺寸精度、间距尺寸精度、定位精度和角部形状精度。