



高级数控技工培训丛书



# 数控

SHU KONG

# 线切割加工

XIAN DIE GE JIA GONG

单岩 夏天 赵雅杰 等编著

第2版



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

高级数控技工培训丛书

# 数控线切割加工

第2版

单岩 夏天 赵雅杰 等编著



机械工业出版社

本书主要讲授数控电火花线切割技术的实用操作和编程技术。主要内容包括：数控线切割机床的机床结构，脉冲电源和工作液，数控线切割加工的控制，数控线切割加工工艺，电火花线切割加工操作，数控线切割手工编程，CAXA 线切割 XP 自动编程，Mastercam X2 线切割自动编程，特种线切割加工。

本书可作为具有中专以上文化程度的机械行业技术人员或在校学生的教材，或中等专科学校机电及模具专业以及相关培训机构的培训教材，并可作为相关技术人员的参考资料。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

数控线切割加工/单岩等编著. —2 版. —北京：机械工业出版社，2008.8 (2010.3 重印)

高级数控技工培训丛书

ISBN 978-7-111-14418-2

I. 数… II. 单… III. 数控线切割 IV. TG481

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 070933 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：周国萍 责任校对：申春香

封面设计：陈 沛 责任印制：杨 曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2010 年 3 月第 2 版第 3 次印刷

148mm×210mm · 9.5 印张 · 270 千字

6 001—9 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-14418-2

定价：26.00 元

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

销售一部：(010)68326294

销售二部：(010)88379649

读者服务部：(010)68993821

门户网：<http://www.cmpbook.com>

教材网：<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

# 丛书序言

近年来,国内人才市场供需结构发生了深刻的变化。一方面,本科以上的高学历人才呈现相对饱和的状态,高校毕业生已不再是“天之骄子”;而另一方面,面向制造企业的技能型人才呈现供不应求的局面,甚至出现十几万年薪“抢”人才的现象。

全球制造业正向中国转移,且这种趋势已呈现出加速的势头。与此同时,传统的重高等教育、轻技能教育的观念也发生了变化。在国务院新闻办公室举办的2004年第一次新闻发布会上,发布了“以就业为导向,大力培养技能人才”的变革措施。政府计划在今后的若干年中加速培训数百万的技能型人才,以满足市场的需求。

然而,与这一趋势不相适应的是,面向制造的技能培训教材却相对较少。而一些相近的教材则普遍存在两个问题:一是理论部分比重偏大,实际操作、工艺、经验的比重偏小,与技能型人才的培训需求不相适应。二是知识结构往往比较陈旧,与当前的主流制造方式不相适应。如有的数控培训教材中还在讲授APT语言、纸带穿孔记录数据等过时的内容。

针对这一现状,我们推出了这套技能型人才系列培训教程,它围绕机械制造,特别是模具制造行业中的几种主流加工方式,即数控电火花加工、数控线切割加工、数控车加工、数控铣加工和模具数控加工,讲授数控设备的操作和应用技能,培养模具数控加工领域的技能型人才。

针对技能型人才的培养特点,本套教材打破以往将内容单纯按类别进行分割的板块式讲授方式,而是以相关技能的实际操作过程为主线进行讲解,即采用流程化的讲授方式,以便读者对相关技能的操作过程有更直观、更清晰的认识。此外,在内容的选取上尽可能减少理论,增加实际操作、工艺经验等方面的比重,以达到良好的实用性。

丛书作者既有多年从事数控技术研究和教学工作的高校教师,也有来自生产第一线的、具有丰富实际经验的工程师,从而保证了丛书编写中理论与实际应用的协调统一。

我们热切地期待广大读者对丛书提出宝贵意见,并通过网站:[www.5lcax.com](http://www.5lcax.com) 或电子信箱: [book@5lcax.com](mailto:book@5lcax.com) 与我们进行交流。

浙大旭日-卫兵科技图书  
高级数控技工培训丛书编委会

## 第2版前言

本书自2004年出版以来,受到中小型培训机构、大中专职业技术学校等读者的欢迎,已先后7次印刷,共计销售近3万册。鉴于技术发展、原书内容不够丰富等,为了更好地满足广大读者的需求,我们对本书进行了修订。

此次修订对原书内容进行了较大改动,主要改动有:修改了原书存在的个别错误;重新梳理了本书的结构框架,新增了大量的理论、技术等方面的内容;每章前添加“本章要点”、章后添加“思考与练习”,帮助读者明确学习内容、巩固所学知识,同时更加教材化;在计算、编程的章节还增加了部分实例。

本书修订后共分为10章:第1章绪论,介绍电火花线切割的特点、原理以及应用等内容;第2章电火花线切割加工机床,介绍线切割机床各组成部分以及机床的精度检验等内容;第3章脉冲电源和工作液,介绍线切割中使用的脉冲电源和循环工作液相关内容;第4章电火花线切割加工控制,介绍线切割加工的控制轨迹以及控制原理等内容;第5章电火花线切割加工工艺,介绍线切割加工的步骤、加工工艺规律以及其他因素对工艺性能的影响等内容;第6章电火花线切割加工操作,介绍线切割加工的加工准备、控制操作以及故障处理等内容;第7章数控线切割手工编程,介绍数控编程方法以及手工3B编程和G代码编程等内容;第8章CAXA线切割XP自动编程,介绍CAXA线切割XP的CAD绘图功能以及通过CAM实现线切割自动编程;第9章Mastercam X2线切割自动编程,介绍使用Mastercam X2软件进行CAD绘图以及CAM线切割自动编程的过程;第10章特种线切割加工,介绍了线切割锥度、上下异形、空间曲面等特种加工内容。

参加本次修订工作的有单岩(浙江大学)、夏天(浙江大学)、赵雅杰(浙江大学)、吴立军(浙江科技学院)、薛志刚(浙江大

学)、周超明(浙大旭日科技)等。修订工作本着尽量考虑读者的需求,扩充理论知识,增加实例及图形的原则,使本书知识更全面,层次更分明,实例更丰富,给读者带来更大的参考价值。

本书在修订过程中虽然经过反复细致的审核,但错误及不妥之处仍在所难免,恳请广大专家予以批评指正。如果您对本书有更好的意见或建议,欢迎访问我们的网站([www.51cax.com](http://www.51cax.com))并留言,或用电子邮件([book@51cax.com](mailto:book@51cax.com))与我们联系。

编者

2008年12月

# 第 1 版前言

随着科技的进步与发展,尤其是以计算机、信息技术为代表的高新技术的发展,使制造技术的内涵和外延发生了革命性的变化。数控加工技术使机械制造过程发生了显著的变化,是最具代表性的先进制造技术,目前在模具、汽配等行业已广泛应用。

在我国工业技术发展的新形势下,模具加工技术发展迅猛,数控电火花线切割加工技术正是模具加工工艺领域中的一项关键技术。此项技术跨越机械、电子、控制、数学以及计算机应用等多个领域,是当代机械专业学生和工程技术人员应该了解的新技术。目前,在很多行业新产品的研制和开发过程中,常采用数控电火花线切割技术直接切割零件,从而使研制和开发周期大大缩短,生产效率得以大幅度提高。

近年来,国内机械制造行业对数控加工的需求高速增长,但数控技术人才包括数控线切割加工人才严重短缺。因此该方向已逐渐成为就业市场上的热点,对此项技术的培训需求也不断增长。

本书在内容安排上注重实用技术与必要的基础知识的统一、应用思路 and 技巧的统一,文字简练,图文并茂,确保了扎实的培训效果。通过对数控线切割加工专题的讲解及大量的实例练习,使读者迅速掌握数控加工中最实用的技术内容,具备数控线切割机床操作编程的能力。本书采用通俗直观的方式,重点讨论了数控线切割机床的结构、数控线切割的加工工艺,数控线切割加工操作、数控线切割的手工编程、CAXA 数控线切割自动编程、特种线切割加工、数控线切割编程实例等内容,使具有中专以上文化程度的读者能在较短的时间内理解和掌握基本实用技术,为以后进一步提高技术水平打下良好基础。

本书可作为具有中专以上文化程度的机械技术人员或在校学生的教材,或中等专科学校机电及模具专业以及相关培训机构的培训

教材，并可作为相关技术人员的参考资料。

本书由浙大旭日-卫兵工作室编写。在编写过程中参阅了国内外同行的文献、资料和教材，得到了许多专家和同行的支持和帮助，在此表示衷心感谢。

限于作者的知识水平和经验，书中难免有欠妥和错误之处，恳请广大专家和读者批评指正。读者可通过网站 [www.51cax.com](http://www.51cax.com) 与我们交流。

编者

2004 年 4 月

# 目 录

丛书序言

第2版前言

第1版前言

第1章 绪论 ..... 1

本章要点 ..... 1

1.1 电火花线切割概述 ..... 1

1.2 电火花线切割加工的特点与应用 ..... 2

1.2.1 电火花线切割加工的特点 ..... 2

1.2.2 电火花线切割加工的应用范围 ..... 3

1.3 电火花线切割加工原理 ..... 4

1.3.1 电火花线切割加工放电基本原理 ..... 4

1.3.2 电火花线切割加工走丝原理 ..... 7

1.3.3 X、Y工作台运动原理 ..... 8

1.4 高速和低速走丝数控电火花线切割机床 ..... 9

1.4.1 高速走丝数控电火花线切割机床 ..... 9

1.4.2 低速走丝数控电火花线切割机床 ..... 10

1.5 电火花线切割加工技术的应用现状及发展趋势 ..... 11

思考与练习 ..... 14

第2章 电火花线切割加工机床 ..... 15

本章要点 ..... 15

2.1 线切割机床的型号及技术参数 ..... 15

2.2 线切割加工机床的机床本体 ..... 18

2.2.1 床身 ..... 19

2.2.2 X、Y坐标工作台 ..... 19

2.2.3 走丝机构 ..... 23

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 2.2.4 线架 .....              | 24 |
| 2.2.5 工作液循环系统 .....         | 25 |
| 2.3 线切割机床的控制面板 .....        | 27 |
| 2.3.1 数控脉冲电源柜面板 .....       | 27 |
| 2.3.2 手控盒操作面板 .....         | 28 |
| 2.3.3 储丝筒操作面板 .....         | 28 |
| 2.4 电火花线切割机床的精度检验 .....     | 30 |
| 2.4.1 几何精度检验 .....          | 30 |
| 2.4.2 机床数控精度检验 .....        | 32 |
| 2.4.3 加工精度 .....            | 34 |
| 思考与练习 .....                 | 35 |
| <b>第3章 脉冲电源和工作液</b> .....   | 36 |
| 本章要点 .....                  | 36 |
| 3.1 电火花线切割的脉冲电源 .....       | 36 |
| 3.1.1 线切割加工对脉冲电源的要求 .....   | 37 |
| 3.1.2 脉冲电源的种类 .....         | 39 |
| 3.1.3 脉冲电源使用中的问题 .....      | 43 |
| 3.1.4 脉冲电源的常见故障及排除方法 .....  | 44 |
| 3.2 电火花线切割的工作液 .....        | 45 |
| 3.2.1 工作液 .....             | 45 |
| 3.2.2 对电火花线切割工作液的要求 .....   | 46 |
| 3.2.3 工作液的成分及规格 .....       | 47 |
| 3.2.4 工作液的配制 .....          | 48 |
| 3.2.5 工作液的使用方法 .....        | 49 |
| 思考与练习 .....                 | 49 |
| <b>第4章 电火花线切割加工控制</b> ..... | 50 |
| 本章要点 .....                  | 50 |
| 4.1 电火花线切割的轨迹控制 .....       | 50 |
| 4.1.1 电气靠模仿形控制 .....        | 51 |
| 4.1.2 光电跟踪控制 .....          | 51 |
| 4.1.3 数字程序控制 .....          | 51 |

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| 4.2 数控线切割加工的控制原理 .....            | 52        |
| 4.2.1 逐点比较法控制原理 .....             | 52        |
| 4.2.2 圆弧加工偏差的计算 .....             | 53        |
| 4.2.3 斜线加工偏差的计算 .....             | 56        |
| 4.2.4 长度控制 .....                  | 58        |
| 4.3 开环控制和闭环控制 .....               | 59        |
| 4.4 数字控制系统和计算机数字控制系统 .....        | 60        |
| 4.4.1 数字控制系统 (NC) .....           | 60        |
| 4.4.2 计算机数字控制系统 (CNC) .....       | 61        |
| 思考与练习 .....                       | 61        |
| <b>第5章 电火花线切割加工工艺 .....</b>       | <b>62</b> |
| 本章要点 .....                        | 62        |
| 5.1 电火花线切割加工的步骤及要求 .....          | 62        |
| 5.2 线切割加工工艺的一般规律 .....            | 64        |
| 5.2.1 电火花线切割加工的切割速度及其主要影响因素 ..... | 64        |
| 5.2.2 电火花线切割加工的加工精度及其主要影响因素 ..... | 68        |
| 5.2.3 电火花线切割加工表面粗糙度及其主要影响因素 ..... | 72        |
| 5.3 电参量对加工工艺指标的影响 .....           | 73        |
| 5.3.1 短路峰值电流对工艺指标的影响 .....        | 74        |
| 5.3.2 脉冲宽度对工艺指标的影响 .....          | 74        |
| 5.3.3 脉冲间隔对工艺指标的影响 .....          | 75        |
| 5.3.4 开路电压对工艺指标的影响 .....          | 76        |
| 5.4 线切割工作液对工艺指标的影响 .....          | 76        |
| 5.5 电极丝对线切割工艺性能的影响 .....          | 78        |
| 5.5.1 常用电极丝材料的种类、名称和规格 .....      | 78        |
| 5.5.2 电极丝直径的影响 .....              | 78        |
| 5.5.3 电极丝上丝、紧丝对工艺指标的影响 .....      | 78        |
| 5.5.4 电极丝垂直度对工艺指标的影响 .....        | 79        |
| 思考与练习 .....                       | 80        |
| <b>第6章 电火花线切割加工操作 .....</b>       | <b>81</b> |
| 本章要点 .....                        | 81        |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 6.1 电火花线切割加工操作流程 .....         | 81         |
| 6.2 加工前的准备 .....               | 81         |
| 6.2.1 工件材料的选定和处理 .....         | 81         |
| 6.2.2 工件的工艺基准 .....            | 82         |
| 6.2.3 电极丝的选择 .....             | 83         |
| 6.2.4 穿丝孔的加工 .....             | 84         |
| 6.2.5 加工路线的选择 .....            | 85         |
| 6.2.6 工件的装夹 .....              | 86         |
| 6.2.7 工件位置找正 .....             | 90         |
| 6.3 线切割加工的控制操作 .....           | 92         |
| 6.3.1 线切割加工步骤 .....            | 92         |
| 6.3.2 线切割加工基本操作 .....          | 93         |
| 6.3.3 加工操作注意事项 .....           | 97         |
| 6.4 加工过程中特殊情况的处理 .....         | 97         |
| 6.4.1 短时间临时停机 .....            | 97         |
| 6.4.2 断丝处理 .....               | 98         |
| 6.4.3 控制器出错或突然停电 .....         | 98         |
| 6.4.4 短路的排除 .....              | 98         |
| 6.4.5 其他故障的处理 .....            | 99         |
| 6.5 电火花线切割加工的安全技术规程 .....      | 100        |
| 6.6 电火花线切割机床的使用规则及维护保养方法 ..... | 101        |
| 6.6.1 电火花线切割机床的使用规则 .....      | 101        |
| 6.6.2 电火花线切割机床的保养方法 .....      | 101        |
| 6.7 机床附件的使用规则及维护保养方法 .....     | 102        |
| 6.7.1 交流稳压电源 .....             | 102        |
| 6.7.2 纸带穿孔机 .....              | 103        |
| 6.7.3 电极丝垂直度校正器 .....          | 103        |
| 思考与练习 .....                    | 104        |
| <b>第7章 数控线切割手工编程 .....</b>     | <b>105</b> |
| 本章要点 .....                     | 105        |
| 7.1 数控线切割编程概述 .....            | 105        |
| 7.2 3B 格式程序 .....              | 106        |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 7.2.1 程序格式 .....                    | 106        |
| 7.2.2 直线的编程 .....                   | 107        |
| 7.2.3 圆弧的编程 .....                   | 108        |
| 7.2.4 4B 编程和间隙补偿量 .....             | 110        |
| 7.2.5 3B 格式编程综合实例 .....             | 115        |
| 7.3 ISO 标准 G 代码编程 .....             | 119        |
| 7.3.1 程序格式 .....                    | 119        |
| 7.3.2 准备功能 (G 准备功能) .....           | 121        |
| 7.3.3 指定有关机械控制 (T 功能) .....         | 127        |
| 7.3.4 辅助功能 (M 辅助功能) .....           | 127        |
| 7.3.5 G 代码编程综合实例 .....              | 128        |
| 7.4 编程常用的数学基础 .....                 | 132        |
| 7.4.1 坐标 .....                      | 132        |
| 7.4.2 函数 .....                      | 134        |
| 7.4.3 编程常用三角计算公式 .....              | 135        |
| 7.4.4 利用 CAD 软件进行尺寸和坐标查询 .....      | 137        |
| 思考与练习 .....                         | 138        |
| <b>第 8 章 CAXA 线切割 XP 自动编程 .....</b> | <b>139</b> |
| 本章要点 .....                          | 139        |
| 8.1 概述 .....                        | 139        |
| 8.1.1 线切割 CAD/CAM 软件简介 .....        | 139        |
| 8.1.2 CAXA 线切割 XP .....             | 140        |
| 8.2 CAXA 线切割 XP 的操作界面 .....         | 141        |
| 8.2.1 绘图功能区 .....                   | 142        |
| 8.2.2 菜单系统 .....                    | 142        |
| 8.2.3 状态栏 .....                     | 149        |
| 8.3 图形绘制 .....                      | 150        |
| 8.3.1 基本曲线 .....                    | 150        |
| 8.3.2 高级曲线 .....                    | 159        |
| 8.3.3 曲线编辑 .....                    | 169        |
| 8.4 加工轨迹生成 .....                    | 178        |
| 8.4.1 轨迹生成 .....                    | 178        |

|                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| 8.4.2 轨迹跳步 .....                        | 182        |
| 8.4.3 取消跳步 .....                        | 183        |
| 8.4.4 轨迹仿真 .....                        | 183        |
| 8.4.5 查询切割面积 .....                      | 184        |
| 8.5 后处理生成代码 .....                       | 185        |
| 8.5.1 生成 3B 代码 .....                    | 185        |
| 8.5.2 生成 4B/R3B 代码 .....                | 187        |
| 8.5.3 校核 B 代码 .....                     | 188        |
| 8.5.4 生成 HPGL .....                     | 188        |
| 8.5.5 查看/打印代码 .....                     | 189        |
| 8.5.6 粘贴代码 .....                        | 190        |
| 8.6 绘图与编程加工实例 .....                     | 190        |
| 8.6.1 图形绘制实例 .....                      | 190        |
| 8.6.2 线切割编程实例 .....                     | 194        |
| 思考与练习 .....                             | 200        |
| <b>第 9 章 Mastercam X2 线切割自动编程 .....</b> | <b>201</b> |
| 本章要点 .....                              | 201        |
| 9.1 Mastercam X2 基础 .....               | 201        |
| 9.1.1 Mastercam X2 软件介绍 .....           | 201        |
| 9.1.2 Mastercam X2 的工作界面 .....          | 202        |
| 9.1.3 基本概念及操作 .....                     | 207        |
| 9.2 图形的绘制与编辑 .....                      | 209        |
| 9.2.1 基本图形绘制 .....                      | 209        |
| 9.2.2 图形编辑 .....                        | 216        |
| 9.2.3 图形绘制实例 .....                      | 224        |
| 9.3 刀具路径编制 .....                        | 227        |
| 9.3.1 刀具路径的生成(切割外形) .....               | 229        |
| 9.3.2 操作管理 .....                        | 237        |
| 9.3.3 刀具路径模拟 .....                      | 241        |
| 9.3.4 刀具路径实体验证 .....                    | 243        |
| 9.3.5 刀具路径后置处理 .....                    | 244        |
| 9.4 刀具路径的编辑 .....                       | 246        |

|                                                     |            |
|-----------------------------------------------------|------------|
| 9.4.1 路径转换 .....                                    | 246        |
| 9.4.2 刀路修剪 .....                                    | 248        |
| 9.5 加工实例 .....                                      | 249        |
| 思考与练习 .....                                         | 257        |
| <b>第 10 章 特种线切割加工 .....</b>                         | <b>258</b> |
| 本章要点 .....                                          | 258        |
| 10.1 锥度线切割加工 .....                                  | 258        |
| 10.1.1 线切割加工斜度的原理 .....                             | 258        |
| 10.1.2 锥度线切割加工实例 .....                              | 263        |
| 10.2 上下异形面线切割加工 .....                               | 266        |
| 10.3 空间曲面线切割加工 .....                                | 268        |
| 思考与练习 .....                                         | 269        |
| <b>附录 .....</b>                                     | <b>270</b> |
| 附录 A 电火花线切割常用名词术语 .....                             | 270        |
| 附录 B 电火花线切割加工工人等级标准 .....                           | 274        |
| 附录 C 数控机床编程代码表 .....                                | 277        |
| C.1 JB/T 3208—1999 标准的准备功能 G 代码和辅助<br>功能 M 代码 ..... | 277        |
| C.2 数控线切割机床常用 ISO 指令代码 .....                        | 282        |
| 附录 D CAXA 线切割 XP 快捷键 .....                          | 283        |
| <b>参考文献 .....</b>                                   | <b>286</b> |

# 第 1 章 绪 论

## 本章要点

- 电火花线切割概念及分类
- 电火花线切割加工的特点及应用范围
- 电火花线切割加工原理
- 高速走丝数控线切割机与低速走丝数控线切割机的特点及区别
- 电火花线切割加工技术的应用现状及发展趋势

## 1.1 电火花线切割概述

电火花线切割 (Wire cut Electrical Discharge Machining, 简称 WEDM), 有时又称为线切割, 是一种电加工机床。所谓电火花线切割加工, 就是以移动着的细丝 (直径约在 0.5mm 以内) 做电极, 在电极丝与工件之间产生火花放电, 并同时按所要求的形状驱动工件进行加工。

电火花线切割加工是电火花加工的一种, 属于脉冲放电加工, 是由前苏联人发明的, 我国是第一个用于工业生产的国家。作为一种特殊的电火花加工方式, 电火花线切割加工与普通电火花加工有着不同之处: 首先, 电火花线切割是一边走丝一边放电, 无需成形的电极, 而普通电火花加工则必须有成形的电极; 其次, 两者的工作液不同, 普通电火花加工主要采用油类, 而电火花线切割加工则用水, 主要是乳化液和去离子水, 可以节省能源并防止着火; 再者, 电火花线切割加工已实现装置化, 通常是一边移动工件一边进行加工, 或是工件按仿形方式移动, 或是借助数控装置驱动工件; 此外, 电火花线切割加工能方便地加工复杂形状的工件、小孔和窄缝等,