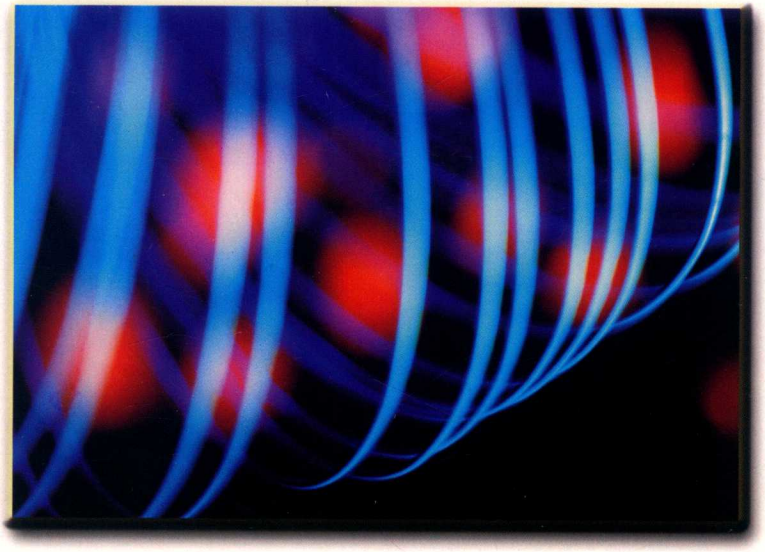
职业技术教育课程改革规划教材
光机电专业国家级教学资源库系列教材

先进激光加工技能实训

XIANJIN JIGUANG
JIAGONG JINENG SHIXUN



主　编　肖海兵
主　审　唐霞辉

華中科技大學出版社
http://www.hustp.com



职业技术教育课程改革规划教材
光机电专业国家级教学资源库系列教材

先进激光加工技能实训

XIANJIN JIGUANG
JIAGONG JINENG SHIXUN

主　编　肖海兵
主　审　唐霞辉

贵州师范学院内部使用

华中科技大学出版社
http://www.hustp.com
中国·武汉

内 容 简 介

本书根据全国高职高专激光加工技术专业人才培养目标和教学特点，遵循“实用，够用”的原则编写而成的，强调可操作性和实用性，注重培养学生的动手能力和解决实际问题能力。本书内容涵盖了激光打标实训、激光切割实训、激光雕刻加工实训、激光焊接实训、超短脉冲皮秒激光加工实训、UG 三维造型设计及 3D 打印实训、激光内雕实训、激光抛光实训等项目。

本书可作为高职高专激光加工技术专业实训课程教材，也可供独立院校、成人院校和社会工作者使用，还可做激光装调工考证培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

先进激光加工技能实训/肖海兵主编. —武汉：华中科技大学出版社，2019.3
职业技术教育课程改革规划教材. 光机电专业国家级教学资源库系列教材
ISBN 978-7-5680-4941-2

Ⅰ.①先… Ⅱ.①肖… Ⅲ.①激光加工-高等职业教育-教材 Ⅳ.①TG665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 040061 号

先进激光加工技能实训

Xianjin Jiguang Jiagong Jineng Shixun

肖海兵 主编

策划编辑：王红梅
责任编辑：李 昊
封面设计：秦 茹
责任校对：曾 婷
责任监印：徐 露
出版发行：华中科技大学出版社(中国·武汉) 电话：(027)81321913
武汉市东湖新技术开发区华工科技园 邮编：430223
录 排：武汉市洪山区佳年华文印部
印 刷：武汉市籍缘印刷厂
开 本：787mm×1092mm 1/16
印 张：12.25
字 数：291 千字
版 次：2019 年 3 月第 1 版第 1 次印刷
定 价：28.80 元

本书若有印装质量问题，请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线：400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

贵州师范学院内部使用

职业技术教育课程改革规划教材
光机电专业国家级教学资源库系列教材

编审委员会

主　任：姚建铨（天津大学精密仪器与光电子工程学院教授，中科院院士）

副主任：王又良（中国光学学会激光加工专业委员会主任）

朱　晓（华中科技大学激光加工国家工程研究中心主任，教授，博导；
湖北省暨武汉激光学会理事长；武汉·中国光谷激光行业协会会长）

吴让大（中国光学学会激光加工专业委员会副主任，奔腾楚天（温州）总经理，
教授级高级工程师）

委　员：唐霞辉（华中科技大学激光加工国家工程研究中心副主任，教授，博导；
中国光学学会激光加工专业委员副秘书长）

吕启涛（大族激光科技产业集团股份有限公司首席技术官，博士；
中组部千人计划入选者）

牛增强（深圳市联赢激光股份有限公司首席技术官，博士）

杨永强（华南理工大学机械与汽车工程学院，教授）

牛丽媛（浙江工贸职业技术学院材料工程系教授、博士后）

熊政军（中南民族大学激光与智能制造研究院院长，教授）

陈一峰（武汉船舶职业技术学院光电制造与应用技术专业负责人，教授）

郑宣成（浙江嘉泰激光科技股份有限公司董事长，温州市激光行业协会的副会
长，高级工程师）

胡志刚（浙江圣石激光科技股份有限公司总经理，高级工程师）

刘善琨（湖北省激光行业协会秘书长）

侯若洪（广东省激光行业协会会长；深圳光韵达光电科技股份有限公司总经理）

陈　焱（深圳市激光智能制造行业协会会长；大族激光智能装备集团总经理）

闵大勇（苏州长光华芯光电技术有限公司董事长）

赵裕兴（苏州德龙激光股份有限公司董事长）

王小兴（深圳镭霆激光科技有限公司董事长，总经理）

王　瑾（大族激光科技产业集团股份有限公司精密焊接事业部总经理）

王志伟（深圳市铭镭激光设备有限公司总经理）

前言

激光行业属于朝阳行业，在未来十年内将继续蓬勃发展，良好的行业大环境，造成了职业院校光电制造与应用、激光加工技术等专业的毕业生供不应求，许多激光企业上门预定毕业生的局面。光电制造与应用、激光加工技术等专业的学生毕业后主要从事激光行业中的加工设备的研发、调试、工艺设计、售后服务等工作。

《先进激光加工技能实训》面向从事激光应用领域研究的科研人员、高职院校相关专业的大学生，作为激光加工技术、机械设计、光机电等相关专业的教学指导教材，本书强调可操作性、实用性，以项目方式展开教学内容，注重培养学生的动手能力和解决实际问题的能力。

《先进激光加工技能实训》共 9 个项目，分别是：项目 1，激光打标加工实训；项目 2，激光切割实训；项目 3，紫外激光切割实训；项目 4，激光雕刻加工实训；项目 5，激光焊接实训；项目 6，皮秒激光加工实训；项目 7，UG 三维造型及 3D 打印实训；项目 8，激光内雕加工实训；项目 9，激光抛光实训。附录包括激光加工实训考核评分。

本书在编写过程中参考了有关的专著、论文和激光实训室激光加工设备使用说明书等资料，在此向有关单位及相关人员表示感谢！本书编写分工为：深圳信息职业技术学院的肖海兵高级工程师负责编写项目 1、项目 2、项目 3、项目 4、项目 5、项目 6、项目 7、项目 8、项目 9，徐晓梅讲师参与编写项目 3，陈吉祥参与编写项目 7，龚华益工程师参与编写项目 9，全书由肖海兵统稿。华中科技大学激光加工国家工程研究中心副主任唐霞辉教授作为主审对本书的编写提出了很多宝贵意见，本书的编写得到了中国光学学会激光加工专业委员会职业教育工作小组的大力支持，在此表示感谢！

由于编者写作水平有限，书中难免有不妥或错误之处，敬请读者批评指正。

编　者

2018 年 10 月

目　录

项目 1　激光打标加工实训 …… (1)

1.1　项目任务要求与目标 …… (1)

1.2　振镜式光纤激光打标机 …… (1)

1.3　CO_2 三维动态打标机 …… (17)

1.4　紫外激光打标机实训 …… (29)

1.5　激光打标工艺实训 …… (39)

1.6　项目实施 …… (40)

项目 2　激光切割实训 …… (42)

2.1　项目任务要求与目标 …… (42)

2.2　激光切割设备 …… (42)

2.3　激光切割设备系统操作 …… (44)

2.4　大功率三维激光切割机器人设备调试 …… (51)

2.5　激光切割工艺实训 …… (61)

2.6　项目实施 …… (63)

项目 3　紫外激光切割实训 …… (64)

3.1　项目任务要求与目标 …… (64)

3.2　紫外激光切割机介绍 …… (64)

3.3　项目实施 …… (74)

项目 4　激光雕刻加工实训 …… (81)

4.1　项目任务要求与目标 …… (81)

4.2　激光雕刻机的组成 …… (81)

4.3　CO_2 激光雕刻实训系统与软件 …… (83)

4.4　激光雕刻工艺实训 …… (102)

4.5　项目实施 …… (103)

项目 5　激光焊接实训 …… (104)

5.1　项目任务要求与目标 …… (104)

5.2　灯泵浦固体激光焊接机调试 …… (104)

5.3　光纤激光焊接设备的调试 …… (110)

5.4　激光焊接工艺实训 …… (127)

5.5　项目实施 …… (128)

项目 6　皮秒激光加工实训 …… (129)

6.1　项目任务要求与目标 …… (129)

6.2　皮秒激光加工技术介绍 …… (129)

6.3　超短皮秒脉冲激光切割调试 …… (130)

6.4 皮秒激光切割工艺实训 …… (144)
6.5 项目实施 …… (145)
项目7 UG三维造型及3D打印实训 …… (146)
7.1 项目任务要求与目标 …… (146)
7.2 电脑风扇上盖造型 …… (146)
7.3 三维(3D)打印填充实体 …… (153)
7.4 项目实施 …… (161)
项目8 激光内雕加工实训 …… (163)
8.1 项目任务要求与目标 …… (163)
8.2 激光内雕机的使用 …… (163)
8.3 三维激光扫描与激光内雕实训 …… (169)
8.4 项目实施 …… (172)
项目9 激光抛光实训 …… (173)
9.1 项目任务要求与目标 …… (173)
9.2 项目任务抛光实训 …… (173)
9.3 项目实施 …… (182)
附录 激光加工实训项目考核评分 …… (183)
参考文献 …… (185)

项目 1

激光打标加工实训

1.1 项目任务要求与目标

(1) 熟练掌握光纤激光打标设备的操作。
(2) 熟练掌握 CO_2 激光打标设备的操作。
(3) 熟练掌握紫外激光打标设备的操作。
(4) 掌握激光打标工艺。

1.2 振镜式光纤激光打标机

1.2.1 振镜式光纤激光打标机介绍

激光打标是利用高能量密度的激光对工件进行局部照射，使表层材料汽化或发生颜色变化的化学反应，从而留下永久性标记的一种打标方法。激光打标可以打出各种文字、符号和图案等，其字符大小可以从毫米量级到微米量级，这对于产品的防伪有特殊的意义。

振镜式激光打标技术是较早出现的一种激光打标方式。近年来，随着振镜质量的提高和技术的改进，这种方式变得更加成熟，在多种激光打标机中，振镜式激光打标机占有半数以上。国内外也出现了很多家专门研制激光打标用振镜部件的公司，如德国的施肯拉(Scanlab)公司，美国的 Cambridge Technology Inc、Nutfield Technology，中国的上海通用扫描公司、汉华科技公司和世纪桑尼公司等许多公司都专门研制、生产激光打标用振镜头和其他相关部件。其中，德国施肯拉公司生产的振镜头品种最多。

光纤激光打标机外的固体激光打标机和常用的玻璃管封离式激光打标机的冷却系统都采用水冷系统。光纤激光打标机的构造如图 1-1 所示。考虑到激光加工系统的光学效率，激光打标机的冷却介质一般为去离子水或蒸馏水。激光打标机的冷却系统可分为外循环冷却

贵州师范学院内部使用

系统和内循环冷却系统两个部分，外循环冷却系统的主要部件有压缩机、蒸发器、毛细管、冷凝器和散热风扇等；内循环冷却系统的主要部件有水泵、水箱、过滤器、放水阀等。普通用途的激光打标机的功率一般较小，通常使用一体式水冷机，其冷却系统采用空气-循环水冷却方式。内循环采用去离子水冷却激光器和开关，其系统中包括流量保护、水位保护、温度控制及超温报警等一系列装置，以确保激光器的稳定工作。外循环采用压缩机制冷，以确保温度的稳定。

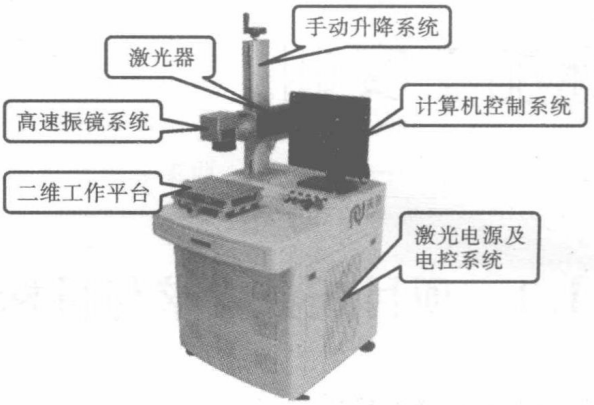


图 1-1 光纤激光打标机 1

EzCad 激光打标控制软件支持 TrueType 字体、单线字体(JSF)、点阵字体(DMF)、一维条形码和 DataMatrix 等二维条形码，兼容常用的图像格式(BMP、JPG、GIF、TGA、PNG、TIF 等)，兼容常用的矢量图形(AI、DXF、DST、PLT 等)。CorelDRAW、AutoCAD 等图形处理软件可以提供一组用来构成图形的实体，即对于以直线、图形、字符串为基础的图形元素，用户可以通过这两种软件很方便地对它们进行绘制和修改，它们也可以对图形进行点阵和矢量处理，且具有作图效率高、图形精度高等特点。但是，以点阵方式处理后的图形在打标的时候不宜过度放大，否则就有可能失真。在图形生成的过程中，要根据所需打标的大小合理确定位图的分辨率，分辨率过大会降低打标速度，而分辨率过小图形文字边缘就会出现明显的锯齿形状。CorelDRAW、AutoCAD 对图形的处理方式主要是基于矢量来表示图形。用 AutoCAD 做出的图形在打标时不是顺序输出的，打标出来的图形上有接缝，而用 CorelDRAW 做出的图形在打标时是顺序输出的，打标出来的图形和文字的品质较好。

1.2.2 激光打标机的开机顺序

各种打标机的开机顺序分别如下。

1. 光纤打标机的开机顺序

(1) 打开总电源空气开关；
(2) 开启电脑；
(3) 打开控制电源钥匙；
(4) 打开红光；
(5) 启动软件，导入打标图形。

2. 半导体激光打标机开机顺序

(1) 打开总电源空气开关；

(2) 打开急停按钮；

(3) 打开控制电源钥匙开关(水箱运行)；

(4) 等待水箱启动后，开启电脑；

(5) 打开 Q 驱动电源；

(6) 打开激光电源开关，按“START”呈“WORKING”状态，调节电流大小；

(7) 打开振镜开关，红光开关；

(8) 启动软件，导入打标图形。

3. CO_2 打标机开机顺序

(1) 打开总电源空气开关；

(2) 开启电脑；

(3) 打开控制电源钥匙；

(4) 打开使能按钮；

(5) 启动软件，导入打标图形。

各种打标机的关机顺序与开机顺序相反。

1.2.3　金属材料名片的标刻加工

FM-20 型光纤激光打标实训系统是集激光、计算机、机械、检测及自动控制技术于一体的高科技产品。该激光标刻机采用振镜扫描方式，其速度快、精度高，可长时间工作，能在大多数金属材料及部分非金属材料上进行刻写，也可用于制作难以仿制的永久性防伪标记，由激光器、高速振镜系统、工作平台、手动升降系统、计算机控制系统、激光电源及电控系统等组成，如图 1-2 所示。

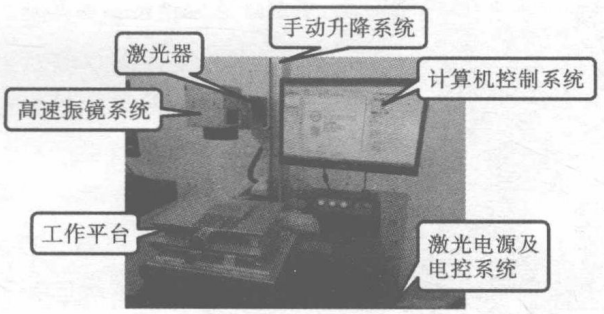


图 1-2　光纤激光打标机 2

1. 开机步骤

开机步骤如下：

(1) 打开中控箱总电源空气开关，使整机设备通电；

(2) 打开激光电源开关，此时电源处于待机状态；

(3) 打开计算机控制系统;

(4) 进入 EzCad2.0 专用的标刻软件系统;

(5) 在软件界面中调节激光功率输出并编辑标刻文本;

(6) 开启红光和振镜控制按钮,进行激光打标。

2. EzCad2.0 软件功能

本软件具有以下主要功能:

(1) 自由设计所要加工的图形图案;

(2) 支持 TrueType 字体、单线字体(JSF)、点阵字体(DMF)、一维条形码和 DataMatrix 等二维条形码;

(3) 灵活处理变量文本,在加工过程中实时改变文字;

(4) 具有强大的节点编辑功能和图形编辑功能,可进行曲线焊接、裁减和求交运算;

(5) 支持多达 256 支笔,可以为不同对象设置不同的加工参数;

(6) 兼容常用的图像格式(BMP、JPG、GIF、TGA、PNG、TIF 等);

(7) 兼容常用的矢量图形(AI、DXF、DST、PLT 等);

(8) 具有常用的图像处理功能(灰度转换、黑白图转换、网点处理等),可以进行 256 级的灰度图片加工;

(9) 具有强大的填充功能,支持环形填充;

(10) 具有多种控制对象,用户可以自由控制系统与外部设备进行交互;

(11) 具有开放的多语言支持功能,可以轻松支持世界各国的语言。

3. EzCad2.0 软件主界面

1) 启动界面

开始运行程序时,显示启动界面(见图 1-3),程序在后台进行初始化操作。



图 1-3 软件启动界面

2) 主界面

软件主界面如图 1-4 所示。



图 1-4　EzCad2.0 主界面

4. 部分软件功能介绍

1）对象列表



图 1-5　对象列表

EzCad2.0 的左边是对象列表，如图 1-5 所示。在加工时，系统会按顺序执行列表中的对象。用户可以在列表中直接选择并拖动对象来排列顺序。

2）对象属性栏

EzCad2.0 的右边是对象属性栏，如图 1-6 所示。

- 类型：表示当前被选择对象的类型。
- 名称：表示当前被选择对象的名称。
- 笔号：表示当前被选择对象所对应的笔号。
- 位置 X：表示当前被选择对象的左下角 X 坐标。
- 位置 Y：表示当前被选择对象的左下角 Y 坐标。
- 位置 Z：表示当前被选择对象的 Z 坐标。
- 尺寸 X：表示当前被选择对象的宽度。
- 尺寸 Y：表示当前被选择对象的高度。
- 🔒：表示锁定当前长宽比。如果用户更改 XY 尺寸，则系统需保证新尺寸的长宽比不变。

3）组合/分离组合

“组合”是指去除选择对象的所有曲线的原有属性，并将这些曲线组合在一起成为一个新的曲线组合，这个组合的图形对象与其他图形对象一样可以被选择、复制、粘贴，也可以设置对象属性。



图 1-6 对象属性栏

“分离组合”是指将组合对象还原成一条条单独的曲线对象。

“组合”菜单对应的工具栏图标为，“分离组合”菜单对应的工具栏图标为。

“组合”、“分离组合”对应的快捷键分别为 Ctrl＋L、Ctrl＋K。

4）群组/分离群组

“群组”是指将选择的图形对象保留原有属性，组合在一起成为一个新的图形对象，这个组合的图形对象与其他图形对象一样可以被选择、复制、粘贴，也可以设置对象属性。

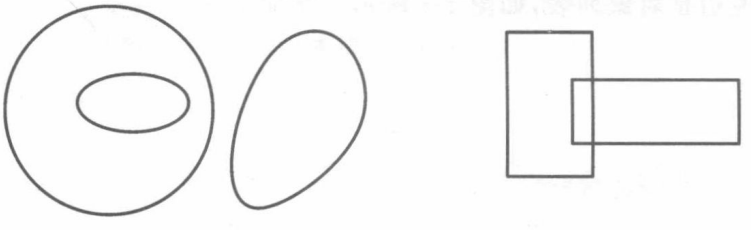
“分离群组”是指将群组对象还原成集合之前的状态。

“群组”菜单对应的工具栏图标为，“分离群组”菜单对应的工具栏图标为。

“群组”、“分离群组”对应的快捷键分别为 Ctrl＋G、Ctrl＋U。

5）填充

填充可以对指定的图形进行填充操作。被填充的图形必须是闭合的曲线。如果选择了多个对象进行填充，那么这些对象可以互相嵌套，或者互不相干，但任意两个对象之间不能有相交部分。如图 1-7 所示。



（a）两个图形不相交，可以填充　　（b）两个图形相交，无法填充

图 1-7 填充对象

“填充”菜单对应的工具栏图标为，选择填充后将弹出填充对话框，如图 1-8 所示。

- 使能轮廓：表示是否显示原有图形的轮廓。
- 填充 1、填充 2 和填充 3：是指可以同时有两套互不相关的填充参数进行填充运算。
- 使能：表示是否允许当前填充参数有效。
- 保留填充对象的独立：是一个优化的选项，如果勾选了该选项，那么在进行填充计算时将把所有不互相包含的对象作为一个整体进行计算，这样在某些情况下会提高加工的速度（如果选择了该选项，可能会造成电脑运算速度降低），否则每个独立的区域会分开来计算。
- 填充类型：分为两种填充类型，如图 1-9 所示。
- 单向填充：填充线总是从左向右进行填充。
- 双向填充：填充线先是从左向右进行填充，然后从右向左进行填充，其余部分循环

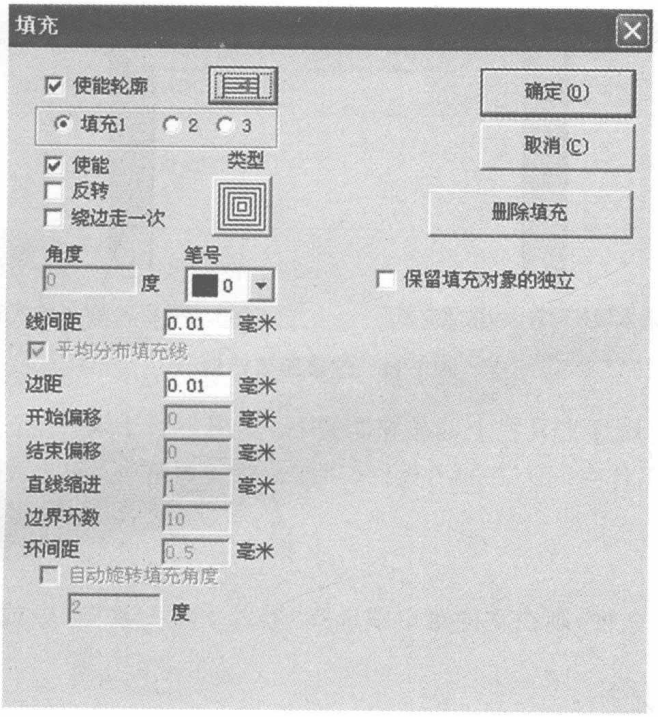
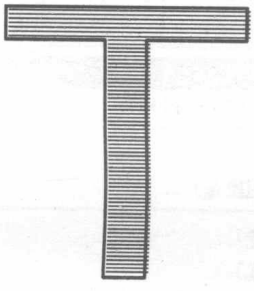


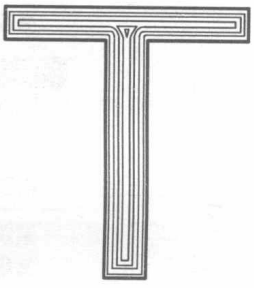
图 1-8　填充对话框

填充。

- 环形填充：填充线是对象轮廓通过由外向里循环偏移填充。
- 填充角度：指填充线与 X 轴的夹角，如图 1-10 所示为填充角度为 45°时的填充图形。



（a）单向或双向填充



（b）环形填充

图 1-9　填充类型

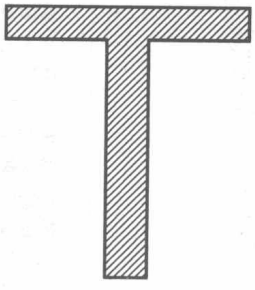
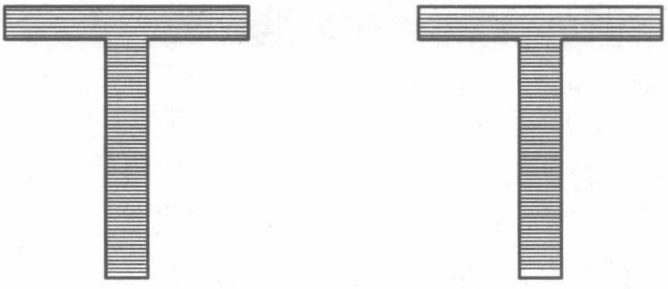


图 1-10　填充角度为 45°的填充图形

- 填充线间距：指相邻填充线之间的距离。
- 填充线边距：指所有填充计算时，填充线与轮廓对象间的距离。
- 绕边走一次：指在填充计算完后，绕填充线外围增加一个轮廓图形。
- 开始偏移距离：指第一条填充线与边界的距离。
- 结束偏移距离：指最后一条填充线与边界的距离，如图 1-11 所示为偏移距离的示例填充图形。

6）绘制菜单

绘制菜单用来绘制常用的图形，包括点、直线、曲线、多边形等。该菜单对应有工具栏，



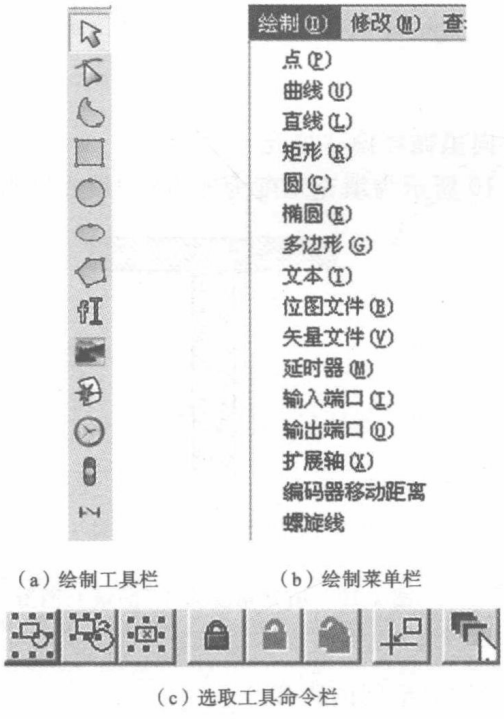
(a) 起末偏移距离为0的填充图形　　(b) 起末偏移距离为0.5的填充图形

图 1-11　偏移距离示例

所有的操作都可以使用该工具栏上的按钮来进行，如图 1-12 所示。当选择了相应的绘制命令或工具栏按钮后，工作空间上方的工具栏(当前命令工具栏)会随之改变，以显示当前命令对应的一些选项。

7) 输入矢量

如果要输入矢量文件，则在文件菜单中选择“输入矢量文件”命令或者点击图标，如图 1-13 所示。



(a) 绘制工具栏　　(b) 绘制菜单栏

(c) 选取工具命令栏

图 1-12　绘制菜单

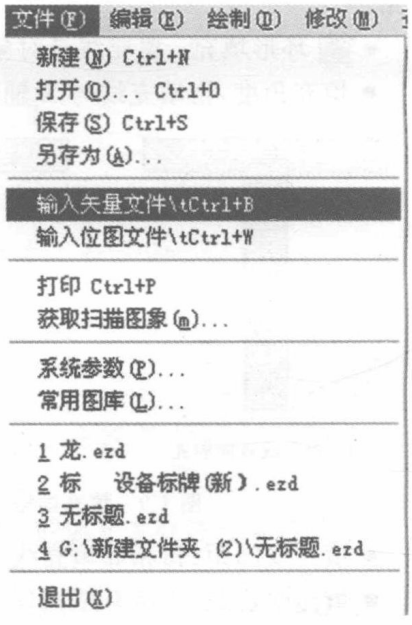


图 1-13　矢量文件输入对话框

8) 输入位图

如果要输入位图，则在绘制菜单中选择“位图”命令或者点击图标。

此时系统弹出如图 1-14 所示的输入对话框，要求用户选择要输入的位图。

当前系统支持的位图格式有 BMP、JPEG、JPG、GIF、PNG、TIFF、TIF 等。



图 1-14　位图输入对话框

- 显示预览图片：当用户更改当前文件时会自动在预览框里显示当前文件的图片。
- 放置到中心：把当前图片的中心放到坐标原点上。

用户输入位图后，属性工具栏显示如图 1-15 所示的位图参数。

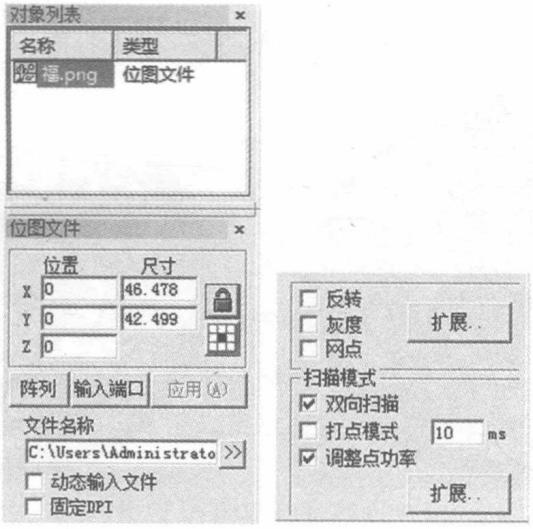


图 1-15　位图参数

- 动态输入文件：指在加工过程中是否重新读取文件。
- 固定 DPI：指由于输入的原始位图文件的 DPI 值不固定，因此可以强制设置固定的 DPI 值。DPI 值越大，点越密，图像精度越高，加工时间就越长。

● DPI:是指每英寸有多少个点,1 in≈25.4 mm。

● 固定 X 方向尺寸:输入的位图的宽度固定为指定尺寸,如果不是则自动拉伸到指定尺寸。

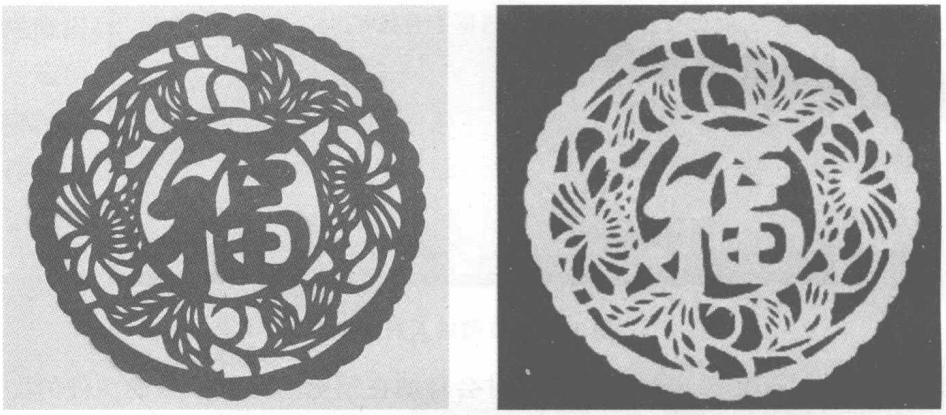
● 固定 Y 方向尺寸:输入的位图的高度固定为指定尺寸,如果不是则自动拉伸到指定尺寸。

● 固定位置:在动态输入文件时,如果改变位图大小则以某个位置为基准不变。

● 打点模式:指加工位图的每个像素点时激光是一直开着的,还是由每个像素点指定开启时间。

● 调整点功率:指加工位图的每个像素点时激光是否根据像素点的灰度调节功率。

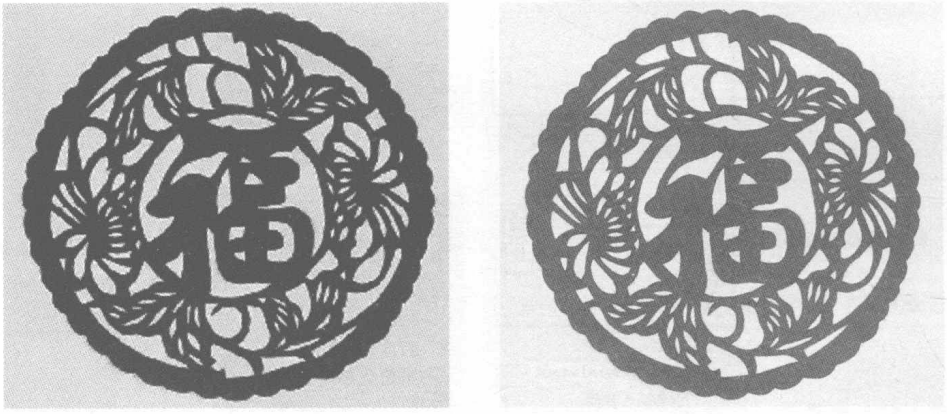
● 反转:将当前图像的每个点的颜色值取反,如图 1-16 所示。



(a) 原图　　(b) 反转图

图 1-16　反转处理

● 灰度:将彩色图形转变为 256 级的灰度图,如图 1-17 所示。



(a) 原图　　(b) 灰度图

图 1-17　灰度处理

● 网点:类似于 Adobe PhotoShop 中的“半调图案”功能,使用黑白二色图像模拟灰度图像,借助黑白两色,通过调整点的疏密程度来模拟出不同的灰度效果,如图 1-18 所示(图中竖白条为显示问题,加工时不会出现)。