



湖北高职“十一五”规划教材

HUBEI GAOZHI "SHIYIWU" GUIHUA JIAOCAI

湖北省高等教育学会高职专委会研制

总策划 李友玉  
策划 屠莲芳

# 激光加工工艺与设备

JIGUANG JIAGONGGONGYI YU SHEBEI

李建新 王绍理 主编



湖北长江出版集团  
湖北科学技术出版社



湖北高职“十一五”规划教材

HUBEI GAOZHI “SHIYIWU” GUIHUA JIAOCAI

湖北省高等教育学会高职专委会研制

总策划 李友玉  
策划 屠莲芳

# 激光加工 工艺与设备

JIGUANG JIAGONGGONGYI YU SHEBEI

**主 编** 李建新 王绍理  
**副主编** 王 臻 王中林 杨 凡  
**编 者** (按姓氏笔画排序)  
王中林 王绍理 王 臻  
孙冬丽 李建新 杨 凡  
周 琦 黄 焰  
**主 审** 孙 文 邓传经

湖北长江出版集团  
湖北科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

激光加工工艺与设备/李建新,王绍理主编. —武汉:湖北科学技术出版社,2008.8  
湖北高职“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5352-4161-0

I. 激… II. ①李… ②王 III. ①激光加工—工艺—高等学校:技术学校—教材  
②激光加工—设备—高等学校:技术学校—教材 IV. TG665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 125896 号

激光加工工艺与设备

©李建新 王绍理 主编

责任编辑:刘虹 郑伟

责任校对:蒋静

封面设计:喻杨

出版发行:湖北科学技术出版社

电话:87679468

武汉市雄楚大街 268 号

地址:(湖北出版文化城 B 座 12-13 层)

邮编:430070

网址:<http://www.hbstp.com.cn>

印刷:仙桃市新华印务有限公司

邮编:433000

787mm×1092mm 16 开

16 印张

410 千字

2008 年 8 月第 1 版

2008 年 8 月第 1 次印刷

定价:29.00 元

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换

**湖北省教育科学“十一五”规划**

**专项资助重点课题成果**

# 湖北高职规划教材编审委员会

顾问:

姜大源 教育部职业技术教育中心研究所研究员 《中国职业技术教育》主编

委员:

马必学 湖北省高教学会副理事长

黄木生 湖北省高教学会高职专委会主任

刘青春 湖北省高教学会秘书长

李友玉 湖北省高教学会副秘书长

刘民钢 湖北省高教学会高职专委会副主任

蔡泽寰 湖北省高教学会高职专委会副主任

李前程 湖北省高教学会高职专委会副主任

彭汉庆 湖北省高教学会高职专委会副主任

陈秋中 湖北省高教学会高职专委会副主任

廖世平 湖北省高教学会高职专委会常务理事

张玲 湖北省高教学会高职专委会常务理事

魏文芳 湖北省高教学会高职专委会常务理事

杨福林 湖北省高教学会高职专委会常务理事

顿祖义 湖北省高教学会高职专委会常务理事

陈年友 湖北省高教学会高职专委会常务理事

陈杰峰 湖北省高教学会高职专委会常务理事

赵儒铭 湖北省高教学会高职专委会常务理事

李家瑞 湖北省高教学会高职专委会常务理事

屠莲芳 湖北省高教学会高职专委会常务理事

张建军 湖北省高教学会高职专委会理事

饶水林 湖北省高教学会高职专委会理事

杨世金 湖北省高教学会高职专委会理事

杨文堂 湖北省高教学会高职专委会理事

王展宏 湖北省高教学会高职专委会理事

刘友江 湖北省高教学会高职专委会理事

韩洪建 湖北省高教学会高职专委会理事

盛建龙 湖北省高教学会高职专委会理事

黎家龙 湖北省高教学会高职专委会理事

王进思 湖北省高教学会高职专委会理事

郑港 湖北省高教学会高职专委会理事

高勇 湖北省高教学会高职专委会理事

武汉职业技术学院院长

长江职业学院党委书记

湖北省教科规划办公室主任

湖北省教育科学研究所所长

湖北省教科所高教中心主任

武汉船舶职业技术学院院长

襄樊职业技术学院院长

仙桃职业学院院长党委书记

湖北职业技术学院院长

荆州职业技术学院院长

武汉软件工程职业学院院长

武汉铁路职业技术学院院长

十堰职业技术学院院长

咸宁职业技术学院院长

恩施职业技术学院院长

黄冈职业技术学院院长

随州职业技术学院院长党委书记

湖北三峡职业技术学院院长

教学组组长

秘书长

湖北财税职业学院院长党委书记

鄂东职业技术学院院长党委书记

武汉工业职业技术学院院长

江汉艺术职业学院院长

武汉工程职业技术学院院长

武汉警官职业学院院长

湖北水利水电职业技术学院院长

武汉交通职业学院院长

湖北国土资源职业学院院长

湖北交通职业技术学院院长

武汉电力职业技术学院院长

湖北中医药高等专科学校校长



# 湖北高职“十一五”规划教材(电子信息类)

HUBEI GAOZHI SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI

## 编委会

---

**主任** 徐国洪 仙桃职业学院  
李建新 武汉软件工程职业学院

**副主任** (以下按姓氏笔画排序)

王 臻 武汉职业技术学院  
牟应华 恩施职业技术学院  
沈鸿星 襄樊职业技术学院  
黄国祥 黄冈职业技术学院

## 委员

丁如春 鄂东职业技术学院  
王 川 武汉职业技术学院  
王 彦 武汉铁路职业技术学院  
王 臻 武汉职业技术学院  
王中林 湖北软件工程职业学院  
邓宽林 十堰职业技术学院  
刘 芬 荆州职业技术学院  
朱 立 武汉商业服务学院  
牟应华 恩施职业技术学院  
吴 涛 咸宁职业技术学院  
李建新 武汉软件工程职业学院  
杨 凡 武汉交通职业学院  
沈鸿星 襄樊职业技术学院  
郑德龙 武汉电力职业技术学院  
钟 立 湖北国土资源职业学院  
徐国洪 仙桃职业学院  
鲁杰爽 湖北职业技术学院  
黄国祥 黄冈职业技术学院

## 编委会秘书

吕 刚 吴晓红

## 凝聚集体智慧 研制优质教材

教材是教师教学的脚本,是学生学习的课本,是学校实现人才培养目标的载体。优秀教师研制优质教材,优质教材造就优秀教师,培育优秀学生。教材建设是学校教学最基本的建设,是提高教育教学质量最基础性的工作。

高职教育是中国特色的创举。我国创办高职教育时间不长,高职教材存在严重的“先天不足”,如中专延伸版、专科移植版、本科压缩版等。这在很大程度上制约着高职教育教学质量的提高。因此,根据高职教育培养“高素质技能型专门人才”的目标和教育教学实际需求,研制优质教材,势在必行。

2005年以来,湖北省高教学会高职高专教育管理专业委员会(简称“高职专委会”)高瞻远瞩,审时度势,深刻领会国家关于“大力发展职业教育”和“提高高等教育质量”之精神,准确把握高职教育发展之趋势,积极响应全省高职院校发展之共同追求;大倡研究之风,大鼓合作之气;组织全省高职院校开展“教师队伍建设、专业建设、课程建设、教材建设”(简称“四个建设”)的合作研究与交流。旨在推进全省高职院校进一步全面贯彻党的教育方针,创新教育思想,以服务为宗旨,以就业为导向,工学结合、校企合作,走产学研结合发展道路;推进高职院校培育特色专业、打造精品课程、研制优质教材、培养高素质的教师队伍,提升学校整体办学实力与核心竞争力;促进全省高职院校走内涵发展道路,全面提高教育教学质量。

湖北省教育厅将高职专委会“四个建设”系列课题列为“湖北省教育科学‘十一五’规划专项资助重点课题”。全省高职院校纷起响应,几千名骨干教师和一批生产、建设、服务、管理一线的专家,一起参加课题协同攻关。在科学研究过程中,坚持平等合作,相互交流;坚持研训结合,相互促进;坚持课题合作研究与教材合作研制有机结合,用新思想新理念指导教材研制,塑造教材“新、特、活、实、精”的优良品质;坚持以学生为本,精心酿造学生成长的精神食粮。全省高职院校重学习研究,重合作创新蔚然成风。

这种以学会为平台,以学术研究为基础开展的“四个建设”,符合教育部关于提高教育教学质量的精神,符合高职院校发展的需求,符合高职教师发展的需求。

在湖北省教育厅和湖北省高教学会领导的大力支持下,在湖北省高教学会秘书处的指导下,经过两年多艰苦不懈的努力和深入细致的工作,“四个建设”合作研究初见成效。湖北省高职专委会与湖北长江出版传媒集团、武汉大学出版社、复旦大学出版社等知名出版单位携手,正陆续推出课题研究成果:“湖北高职‘十一五’规划教材”,这是全省高职集体智慧的结晶。

交流出水平,研究出智慧,合作出成果,锤炼出精品。凝聚集体智慧,共创湖北高职教育品牌——这是全省高职教育工作者的共同心声!

湖北省高教学会高职专委会主任 黄木生

2008年6月



# 前 言

本书是湖北高职“十一五”规划教材，是湖北省教育科学“十一五”规划专项资助重点课题成果。

自1960年美国梅曼先生首先研制成功红宝石激光器以来，激光作为一门新颖科学技术发展极快，迄今已渗透到几乎所有的自然科学领域，诸如激光加工、激光医疗、激光通讯、激光存储、激光印刷、激光光谱、激光分离同位素、激光检测和计量等等，都在不同程度上得到了发展。它对物理学、化学、生物学、医学、工艺学、园艺学以及检测技术、通信技术、军事技术等都产生了深刻的影响。

激光技术是一门综合性高的技术。它涉及光学、机械学、电子学等学科，并且由于激光固有的四大特性（单色性、相干性、方向性和高能量密度），在其他的领域也得到广泛发展。随着生产实践应用的需求，激光加工工艺越来越受到人们的重视。

激光加工工艺涉及光、机、电、材料和其他相关的技术，对不同的加工对象，它有一定的内在规律和特点。激光加工意即激光对各种材料的加工。由于热影响区小，光束方向性好，而又能使光束斑点聚焦到波长级，可以进行选择性加工、精密加工，这是激光加工具有的特点和优越性，是机加工中最有竞争力的一种替代手段。

在激光发明以来的40多年间，继红宝石激光器为代表的固体激光器之后，气体激光器、化学激光器、染料激光器、原子激光器、离子激光器、半导体激光器、X射线激光器和光纤激光器相继问世。各种性能的激光器，如稳频激光器、稳功率激光器、保偏激光器、大功率激光器、稳方向激光器及超短脉冲激光器被研制出来，以满足不同的需求。许多领域在应用了激光以后发展出各种不同的新产品。例如激光干涉仪、激光测距仪、激光医疗设备、激光打孔机、激光打标机、激光切割机、激光焊接机、激光雕刻机、激光热处理设备、激光防伪商标、激光通讯系统、光盘存储器，以至于激光制导武器等等。

湖北省高等教育学会高职专委会顺应高职高专人才培养和教材建设的需要，组织高职院校的教师合作研制了《激光加工工艺与设备》，旨在为高职高专院校激光类专业提供专业课教材，也为激光从业人员的技术培训提供参考书目。该书以激光加工工艺为主线，通过典型设备的应用实例，系统地介绍了激光加工工艺及设备的基础知识，注重知识的实用性，力求及时地反映激光技术在国内外的最新进展和作者的相关研究成果。

本书按照讲解激光加工原理，介绍激光加工工艺，掌握激光加工设备操作的脉络来编写教材，既照顾激光原理及技术的完整性并兼顾可读性和实用性，又充分考虑到阅读和教学安排上的选择性。在内容安排上，还编入了一定量的激光设备操作实例，且每章后面还附有习题供学习选用，以求更好地做到理论与实际相结合。

本书可作为高职高专类院校激光加工技术、光信息科学与技术、光电仪器类专业的教材，也可供相关专业学生及从事各种材料的激光打孔和切割、焊接、刻划、表面强化等方面应用研究和生产教学、科研工作的人员参考。本书主编学校武汉软件工程职业学院光电子与通信工程系在楚天激光集团公司孙文董事长支持下，与楚天激光集团公司开展了产学研校企

合作，开办了楚天激光订单班。楚天激光集团公司为楚天激光订单班专业建设、课程设置召开了专题会议，楚天激光集团董事长孙文、楚天激光集团公司总裁吴让大、楚天工业激光公司总经理周刚、楚天激光工业公司高级工程师邓传经等专家为专业建设、课程设置提出许多建设性的意见。该教材作为楚天激光订单班的试点教材，在课程教学和实践取得了较好的效果，让学生掌握了各种激光加工机的操作和工艺调整的方法，并能够应用于实践教学之中，得到了学生、学生工作单位领导的好评。

湖北省高等教育学会副秘书长、湖北省教育科学研究所高教研究中心主任李友玉研究员，湖北省高等教育学会高职高专教育管理专业委员会教学组组长李家瑞教授、湖北省高等教育学会高职高专教育管理专业委员会秘书长屠莲芳，负责本教材研制队伍的组建、管理，以及本教材研制标准、研制计划的制定与实施。

鉴于激光加工技术方面的高职高专类院校教材国内空白，加之编者水平有限，书中难免存在缺点和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

湖北高职“十一五”规划教材  
《激光加工工艺与设备》研制组  
2008年7月

# 湖北省教育科学“十一五”规划

## 电子信息专业教材书目

1. 模拟电子技术
2. 数字电子技术
3. 工程光学基础
4. 光电探测技术
5. 电气控制与 PLC 应用
6. 激光加工工艺与设备
7. 电工技术与实践
8. 电路设计与制版

出版总规划:湖北省教材出版中心

项目领导小组:袁国雄(组长)

刘健飞 冯芳华 张 跃

项目组成员:陈冬新 余 涛 彭 瑛 刘安民 胡功臣

高诚毅 邹桂芬 张 浩

出版主审:陈冬新

项目编辑:刘 虹 郑 伟

封面设计:喻 杨

# 目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 绪论	(1)
1.1.1 激光的产生及发展简史	(1)
1.1.2 激光的特性	(5)
1.1.3 激光加工的特点	(7)
1.1.4 激光加工的种类	(7)
1.2 激光与材料的相互作用	(10)
1.2.1 激光与材料相互作用的几个阶段	(10)
1.2.2 影响激光与材料作用的因素	(10)
1.3 激光加工用设备	(19)
1.3.1 激光加工用激光器	(19)
1.3.2 激光加工用光学系统	(28)
1.3.3 激光控制系统	(35)
1.3.4 激光防护	(39)
习题	(49)
第 2 章 激光打标技术	(51)
2.1 激光打标的原理	(51)
2.1.1 激光打标的基本原理	(51)
2.1.2 激光打标的特点	(51)
2.1.3 激光打标的方法	(52)
2.2 激光打标工艺	(54)
2.2.1 影响激光打标质量的因素	(54)
2.2.2 激光打标工艺参数调整	(55)
2.3 激光打标设备	(57)
2.3.1 常见的激光打标机	(57)
2.3.2 振镜式激光打标机	(59)
2.3.3 掩模式激光打标机	(79)
2.3.4 点阵式激光打标机	(80)
2.3.5 光纤激光打标机	(82)
2.3.6 激光打标机的发展	(83)
习题	(84)
第 3 章 激光焊接技术	(85)
3.1 概述	(85)

3.2	激光焊接工艺	(86)
3.2.1	激光焊接原理	(86)
3.2.2	激光焊接的工艺参数	(90)
3.3	激光焊接设备	(94)
3.3.1	激光焊接设备的组成	(94)
3.3.2	典型激光焊接机结构	(100)
3.3.3	安全与操作	(114)
3.4	激光焊接技术应用	(114)
3.4.1	激光焊接在汽车工业中的应用	(115)
3.4.2	激光焊接在钢材行业中的应用	(116)
3.4.3	脉冲激光焊接的应用	(117)
	习题	(118)
<b>第4章</b>	<b>激光切割技术</b>	(119)
4.1	激光切割原理与主要特点	(119)
4.1.1	激光切割原理	(119)
4.1.2	激光切割主要特点	(121)
4.2	激光切割的质量评价	(122)
4.2.1	激光切割的尺寸精度	(122)
4.2.2	激光切割的切口质量	(122)
4.3	影响激光切割质量的主要因素	(125)
4.3.1	激光参数对切割质量的影响	(125)
4.3.2	工艺参数对切割质量的影响	(127)
4.3.3	其他因素对切割质量的影响	(131)
4.4	常用工程材料的激光切割	(134)
4.4.1	金属材料的激光切割	(134)
4.4.2	非金属材料的激光切割	(137)
4.4.3	复合材料的激光切割	(139)
4.5	激光切割设备	(139)
4.5.1	激光切割设备的组成	(139)
4.5.2	激光切割用激光器	(140)
4.5.3	激光切割设备的割炬	(143)
4.5.4	激光切割设备的技术参数	(145)
	习题	(149)
<b>第5章</b>	<b>激光打孔技术</b>	(150)
5.1	激光打孔工艺及技术	(150)
5.1.1	激光打孔原理	(150)
5.1.2	激光打孔方法分类	(152)
5.1.3	激光打孔工艺	(154)
5.2	激光打孔应用举例	(159)
5.2.1	金属材料打孔	(159)

5.2.2	非金属材料打孔	(160)
5.2.3	陶瓷材料打孔	(160)
5.2.4	金刚石激光打孔	(161)
5.3	激光打孔设备	(166)
5.3.1	激光打孔成套设备	(166)
5.3.2	JKL-1GY-15B型激光打孔机	(169)
5.4	激光打孔机的使用与维护	(173)
5.4.1	电气连接	(173)
5.4.2	水路安装	(173)
5.4.3	JKL-1GY-15B型激光打孔机的操作	(173)
5.4.4	JKL-1GY-15B型激光打孔机的维护	(180)
	习题	(181)
<b>第6章</b>	<b>激光雕刻技术</b>	<b>(183)</b>
6.1	激光雕刻加工工艺	(183)
6.1.1	激光雕刻的基本原理	(183)
6.1.2	激光雕刻优点	(183)
6.1.3	影响激光雕刻的因素	(184)
6.1.4	激光雕刻的缺陷及解决方法	(184)
6.1.5	激光雕刻软件	(184)
6.2	激光雕刻设备	(184)
6.2.1	激光内雕系统的组成及维护	(186)
6.2.2	激光内雕机的安装与维护	(189)
6.2.3	激光内雕机使用过程中常见故障及处理方法	(190)
6.3	激光雕刻的实践应用	(190)
6.3.1	激光雕刻应用	(190)
6.3.2	激光三维雕刻技术	(197)
	习题	(198)
<b>第7章</b>	<b>其他加工技术</b>	<b>(199)</b>
7.1	激光淬火	(199)
7.1.1	激光淬火概述	(199)
7.1.2	激光淬火工艺	(204)
7.1.3	激光淬火技术工业应用实例与研究展望	(207)
7.2	激光熔覆与激光合金化	(207)
7.2.1	激光熔覆技术	(207)
7.2.2	激光合金化	(220)
7.3	激光冲击强化	(227)
7.3.1	激光冲击强化概述	(227)
7.3.2	激光冲击过程理论分析	(227)
7.3.3	激光的吸收及能量传输	(229)
7.4	激光快速成型技术	(230)

---

7.4.1 激光快速成型技术的原理及主要优点·····	(230)
7.4.2 激光快速成型技术·····	(231)
7.4.3 激光快速成型技术的重要应用·····	(235)
7.5 激光清洗技术·····	(236)
7.6 激光毛化技术·····	(236)
7.7 激光弯曲技术·····	(237)
习题·····	237)
<b>参考文献</b> ·····	(239)
<b>后记</b> ·····	(240)



# 第 1 章 概 论

## 1.1 绪论

### 1.1.1 激光的产生及发展简史

#### 1. 激光的发展

1960 年,梅曼在量子电子学发展的成果基础上发明了第一台红宝石激光器;1961 年,德若凡发明第一台气体激光器——氦氖激光器;在 1962 年又出现了半导体激光器。1964 年,帕特尔发明了第一台 CO<sub>2</sub> 激光器;1965 年,贝尔实验室又发明了第一台 YAG 激光器。1968 年开始发展高功率 CO<sub>2</sub> 激光器;1971 年出现了第一台商用 1kW CO<sub>2</sub> 激光器。以后的激光器的发展非常迅速,各种实用化的 YAG 激光器和 CO<sub>2</sub> 激光器不断出现。

由于激光束与物质相互作用研究的发展,以及激光器的输出功率的提高并变成了商品,使激光器走出了实验室变成了工业中加工材料的设备。

激光加工用于工业生产的前提首先要有可靠的、稳定的、光束能量可调的、光束模式合适的激光器。在 20 世纪 70 年代初,YAG 激光器由于晶体材料的质量不断提高、激励方式的改进、灯泵质量的不断提高、光腔的改进、冷却系统的完善,已开始作为微型件切割、焊接的重要光源,并逐步在生产中得到应用,如电子工业中的各种焊接、切割、退火、钟表行业中的打孔等。特别是到了 70 年代后期,由于激光器的稳定性、可靠性大大提高了,又由于在微型件加工中对激光束与物质相互作用的深入了解,并对各种材料的加工工艺参数的探索和取得的成就,已在电子工业、钟表工业中出现了正规的激光加工工艺。特别是集成电路的发展,要求采用激光加工工艺,诸如激光微调电阻就应运而生了。到了 80 年代,激光微调更成为非采用不可的技术,仅美国 ESI 公司的产量就已超过 500 台,在全世界正在使用的激光微调机已达数千台。近几年来,激光用于显像管的零部件焊接更成为提高显像管质量和成品率的主要手段,一些主要生产厂家不惜投入大量资金用于开发这种产品。

CO<sub>2</sub> 激光器开始为封离式、玻璃管结构,其功率也从几十瓦到几百瓦,乃至上千瓦。因此,在工业材料船工中也得到了应用,如钢板的切割和焊接、各种易损件的表面强化等。但是,其结构不够坚固,同时,输出功率要提高也有一定难度。出于工业需要,在 20 世纪 70 年代出现了功率达数千瓦的横向流动式 CO<sub>2</sub> 激光器,其可靠性、稳定性均满足了工业生产线的需要。在 1970—1980 年间,各个国家对焊接、切割、热处理的规律进行了研究,对钢板的切割、石英管的切割、铝材的切割、汽车零件的热处理、钢板的焊接、不同金属的焊接等都取得了系统的试验数据,为在工厂建立激光加工生产线积累了有益的试验数据。