

/// 工业机器人专业人才“十三五”规划教材



# 激光加工 原理与工艺



主 编 邓守峰 李福运  
副主编 魏 智 吴 镝



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

/// 工业机器人专业人才“十三五”规划教材

# 激光加工原理与工艺

主 编 邓守峰 李福运  
副主编 魏 智 吴 镝

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书是一本以激光内雕原理、激光内雕布点软件的使用和内雕操作为主要内容的实训教程。全书以实操案例为导向,内容简洁,通俗易懂,对部分重点和难点配有完整的视频,有利于读者学习。

本书可作为中高职院校和技工院校的机械设计与制造、模具设计与制造、数控技术等相关专业的课程教材,也可用作企业员工自学和培训的参考教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

激光加工原理与工艺 / 邓守峰,李福运主编. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2018.12  
ISBN 978-7-5124-2910-9

I. ①激… II. ①邓… ②李… III. ①激光加工—高等学校—教材 IV. ①TG665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 301146 号

版权所有,侵权必究。

### 激光加工原理与工艺

主 编 邓守峰 李福运

副主编 魏 智 吴 镝

责任编辑 蔡 喆 李丽嘉

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: [goodtextbook@126.com](mailto:goodtextbook@126.com) 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×1 092 1/16 印张:5.5 字数:113 千字

2019 年 4 月第 1 版 2019 年 4 月第 1 次印刷 印数:2 000 册

ISBN 978-7-5124-2910-9 定价:22.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

# 前 言

激光切割加工是激光加工行业中最重要的一项应用技术,已广泛应用于汽车、机车车辆制造、航空、化工、轻工、电器与电子、石油和冶金等工业部门。近年来,激光切割技术快速发展,国际上每年都以20%~30%的速度增长。我国自1985年以来,更以每年25%以上的速度增长。激光切割加工广阔的应用市场,加上现代科学技术的迅猛发展,使得国内外科技工作者对激光切割加工技术进行不断探入的研究,推动着激光切割技术的不断创新,特别是激光雕刻技术的发展与应用。激光雕刻产品已逐步成为现代生活不可或缺的组成部分。

激光加工原理与工艺是针对机械设计与制造、数控技术、模具设计与制造技术专业开设的专业课程。本书汇集各专业教学资源库的建设成果,教材编写组由学校、企业、行业专家组成,概括了激光加工原理及发展现状,针对激光雕刻技术,特别是激光内雕技术的应用,结合内雕设备的使用情况,详解了激光内雕操作与加工。教材强调理论教学与实践教学相结合,将知识点和技能点融入项目任务中。每个项目由若干任务组成,每个任务都有具体描述引入,按照“任务描述、知识学习、任参实施”进行逐步讲解,在培养读者养成良好学习习惯和科学思维方法的同时,也更加适用于工学结合、项目引导、“教与学”一体化的教学方式。本书结合本溪机电工程学校实际教学情况而编写,可作为职业院校、技工院校的基础实训教材。

本书由本溪机电工程学校、鞍山星启数控科技有限公司、广东松山职业技术学院和浙江圣石激光科技股份有限公司等学校和企业联合开发,其中本溪机电工程学校的邓守峰和广东松山职业技术学院李福运为主编,鞍山星启数控科技有限公司的魏智、吴镛担任副主编。参与编写的还有本溪机电工程学校王树成、赵云红、王安鑫、周立荣和鞍山星启数控科技有限公司徐高生等。

由于作者水平有限,书中遗漏之处欢迎各位读者批评指正。

在编写过程中,作者参阅了国内外相关资料,在此向原作者表示衷心的感谢。

编 者

2018年12月

# 目 录

项目 1 激光加工原理及特点 .....	1
任务 1 激光加工发展概述 .....	1
任务 2 激光加工原理及分类 .....	4
项目 2 激光切割原理及特点 .....	28
任务 1 激光切割概述 .....	28
任务 2 激光切割技术的应用与内雕技术的发展 .....	31
任务 3 激光内雕原理及其操作流程 .....	35
项目 3 布点软件的使用与点云生成 .....	38
任务 1 布点软件介绍及 2D 点云生成 .....	38
任务 2 3D 模型编辑及点云生成 .....	50
项目 4 激光内雕机操作与设置 .....	64
任务 1 激光内雕机的基本操作 .....	64
任务 2 激光内雕机模型导入与雕刻操作 .....	69
项目 5 激光内雕机维护与保养 .....	73
任务 1 激光内雕机的光路校正 .....	73
任务 2 激光内雕机维护与操作 .....	76



# 项目 1 激光加工原理及特点

## 任务 1 激光加工发展概述

### 1. 激光加工定义

激光加工一般分为激光热加工和光化学反应加工两种。前者借助激光的热效应实现对被加工对象的融化,进行切削、焊接、热处理等加工;后者则借助激光的高能光子引发或控制光化学反应,实现光化学沉积、立体光刻等加工。激光加工常见的加工方式有激光切割、激光焊接、激光打标、表面热处理、激光钻孔、激光外雕和激光内雕等。随着激光技术的发展以及新型激光设备的层出不穷,目前市场上的激光加工常用于切割、热处理、焊接、划片打孔、外雕、内雕等。理论上讲,激光几乎能实现对任何材料的加工,特别是在对精度要求高、应用环境特殊及特种材料的加工方面有着无可替代的作用。

### 2. 激光加工的现状

随着社会经济的快速发展及激光应用技术的日趋成熟,以激光器为基础的激光加工技术得到了飞速发展,目前已被广泛应用于通信、生产加工、医疗卫生、军事国防、科研及生活等多个领域,并在这些领域取得了良好的经济和社会效益。

#### (1) 当前激光加工主要工艺形式

##### 1) 激光焊接

激光焊接与传统焊接相比具有焊接变形小、强度高、密封性好的优点,并可实现焊接件尺寸和材料性能相差悬殊、两熔点很高(陶瓷)或极易氧化材料的焊接。如应用于医疗领域的心脏起搏器焊接,具有密封性好、寿命长、体积小的优点,这些都是传统焊接无法比拟的。

##### 2) 激光切割

在船舶、水利、汽车等制造业中,常采用大功率(0.1~10 kW)的激光器对大型件、厚件进行切割加工。激光切割不仅能保证空间曲线形状,而且能实现较高的切割精度,并具有传统切割无法达到的加工效率。在小工件的切割加工中一般采用中低功率固体激光器;在微电子学中的应用中,如激光切割硅片或切微型缝隙,其



不仅速度快,且热影响小,因此特别适用于流水线上工件刻字或打标记等加工,既能保证流水线的正常运行,又实现了产品规格或标志的加工。这就是市场上应用较广泛的激光打标机。

### 3) 激光热处理

激光热处理是用高能激光束照射被处理材料,通过控制激光的波长、照射时间及功率等参数,实现被加工材料表面熔化和再结晶,以达到淬火或退火等热处理的目的。

激光热处理的优点为:可对被热处理材料的部位进行选择和控制,可量化控制热处理的深度,热处理过程工件变形小,可实现形状复杂的零件和部件的热处理,可对盲孔和深孔的内壁进行处理。

### 4) 激光打孔

激光的微细加工是一门新兴学科。它是将激光亮度高、方向性好、相干涉性好等特性应用于生产加工,采用光学系统将其聚焦成直径微小的光点,且其聚焦的能量极高,足以融化或气化被加工材料(在理论上可以急剧熔化和汽化各种材料),因此激光微细加工几乎可以加工所有金属和非金属材料及复合材料。如脉冲宽为 $0.1\sim 1\text{ ms}$ 的激光器特别适用于微型孔和异型孔的加工,其加工孔径约为 $0.005\sim 1\text{ mm}$ ,因此激光也成为微型加工的重要手段之一,如打微型孔、光刻等,并可用于微型焊接,其精度可达到微米级。

### 5) 激光熔覆

由于激光具有高功率密度的特性,激光加工系统在数控系统操作下,可使基材表面特定部位融化,形成一层很薄的微熔层,同时添加特定成分的自熔合金粉,如钴基、铁基合金和镍基等,使它们以熔融状态均匀地铺展在零件指定表层并达到预定厚度,与微熔的基体金属材料形成结晶组织熔融体,且两种材料间只有很小的稀释度,并快速凝固结晶,在零件表面形成与基材完全不同的且具有预定特殊性能的功能熔覆合金层,以此实现对材料表面性能的完全改变。这种方式以较低的成本获得较高的耐高温、耐磨、耐蚀等性能。此工艺可以实现材料表面的孔洞和裂纹的修复,也可恢复已磨损零件的几何尺寸及性能等。

### 6) 激光内雕

激光内雕是激光雕刻的一种,是利用材料对高强度激光的非线性“异常吸收”现象进行加工的一种方法。激光能量密度必须大于使玻璃破坏的某一临界值,或称阈值,且激光此时的能量密度与它在该点光斑的大小有关。同一束激光,光斑越小的地方产生的能量密度越大。这样,通过适当聚焦,可以使激光的能量密度在进入玻璃及到达加工区之前低于玻璃的破坏阈值,而在希望加工的



区域则超过这一临界值,在极短的时间内产生脉冲,其能量能够在瞬间使玻璃受热破裂,从而产生极小的白点,在玻璃内部雕出预定的形状,而玻璃的其余部分则保持原样。其加工对象主要是玻璃、水晶等透明材料。

以数控技术为基础,借助激光内雕辅助成像技术的激光三维精雕系统的产生,使激光内雕技术得到了空前的发展。目前市场上琳琅满目水晶内雕工艺品已逐渐走进人们的生活,激光内雕技术的应用及操作也是本教材的重点。

## (2) 激光加工的应用领域

激光加工是继机械加工、力加工、火焰加工和电加工之后一种新型的加工技术。从微小的手机芯片到超大型舰船和飞机,激光加工已成为现代工业加工中不可或缺的重要手段,也是加工制造业中最基本、最普及的加工方式。

激光焊接主要应用的领域有船舶船体、汽车厚薄板、汽车零件、心脏起搏器、锂电池、密封继电器等密封器件,以及各种对焊接污染和变形控制要求较高的器件。激光切割的应用领域有船舶制造业、汽车行业、电气机壳、计算机、各种金属零件和特殊材料的切割,如圆形锯片、弹簧垫片、小于2 mm的电子机件铜板、钢管、金属网板、电镀铁板、磷青铜、电木板、铝合金、石英玻璃、压克力、硅橡胶、小于1 mm的氧化铝陶瓷片、航天工业使用的钛合金等。激光打标广泛应用于汽车配件、医疗器械、电子元器件、通信器材、钟表、IT等产业及烟酒食品的防伪方面。激光打孔则主要应用于汽车制造、航空航天、电子仪表和化工等行业。目前激光打孔应用较多的领域为电子仪表领域,如人造金刚石和天然金刚石拉丝模的生产,钟表和仪表的宝石轴承、多层印刷线路板的生产等。

## (3) 当前激光加工存在的问题

目前,激光切割、激光焊接等常规激光加工技术在工业领域中已广泛应用,其原理基本都是利用激光产生的高温使材料熔化或汽化,从而达到加工的目的。但其加工过程存在以下问题:

- 加工区会产生热影响变质层,该变质层与基体材料的物理和机械特性有很大不同,对加工零件部件的应用有很大影响;
- 加工区易残留熔屑,影响加工质量;
- 加工盲孔或盲槽时切屑不易排出,很难实现微结构的加工;
- 在薄板上进行大面积多孔加工时易产生热变形;
- 加工硬脆材料时,加工区易产生散裂纹。

这些问题一定程度上限制了激光加工技术在工业领域的进一



步应用。

### 3. 激光加工技术发展趋势

#### 1) 加工系统智能化

加工系统智能化即把激光器与计算机系统、先进的光学控制系统以及高精度、高自动化的加工设备相结合,研制出特种生产加工中心,并具有在线检测、实时反馈等功能,具有一定的智能功能。特种加工系统智能化已成为必然的发展趋势。

#### 2) 小型化和组合化

国外已把激光切割和模具冲压、激光打孔等两种及两种以上加工方法组合在一起,制成多功能激光加工机床。它兼有冲压加工高速、高效的特点和激光切割、激光打孔的多样性特征,能更好地集中加工工艺,实施切割复杂外形、打孔、打标、划线等复合加工。

#### 3) 高频度和高可靠性

目前 YAG 激光器的重复频度已达 2 000 次/秒,二极管阵列泵浦的 Nd:YAG 激光器的平均维修时间已从原来的几百小时提高到 1~2 万小时以上,设备的发展奠定了激光技术应用的基础。

#### 4) 进行金属加工

激光加工是国际激光加工的又一新方向。因为激光加工能发射出波长为 157~350 nm 的紫外激光,大多数金属对这种激光的反射率很低,吸收率很高,因此,这种激光器在金属加工领域有很大的应用价值。

## 任务 2 激光加工原理及分类

### 1. 激光加工原理


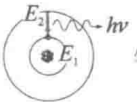
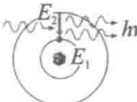
不管是激光热加工还是光化学反应加工,都是利用高功率密度的激光束照射工件,使材料熔化、汽化或破裂而进行的切割、热处理、焊接、划片打孔、内雕等特种加工。自然界和人类合成物质中有些物质具有亚稳态能级的特性,其在外来光子的激发下会吸收光能,使处于高能级原子的数目大于低能级原子的数目——粒子数反转,若有一束光照射,光子的能量等于这两个能级对应的差时,就会产生受激辐射,输出大量的光能。从激光器输出的高强度激光经过透镜聚焦到工件上,其焦点处的功率密度高达 1~100 亿瓦/平方厘米,温度高达 1 万摄氏度以上,任何材料都会瞬时熔化、汽化。激光加工就是利用光能的这种热效应对材料进行



切割、打孔、焊接和外雕等加工。

根据能量守恒定律,原子核周围的原子都处于固定的能阶,对于不同能阶的电子能,可以吸收光子跃迁至更高能阶,也可以释放光子跃迁到较低能阶。激光吸收和释放原理及类型如表 1-2-1 所列。

表 1-2-1 光的吸收、释放原理

自发辐射	 <p>处于高能级 <math>E_2</math> 的一个原子自发地向 <math>E_1</math> 跃迁,并发射一个能量为 <math>h\nu</math> 的光子,这一过程称为自发跃迁;由原子自发跃迁发出的光波称为自发辐射</p>
受激吸收	 <p>处于低能态 <math>E_1</math> 的一个原子,在频率为 <math>\nu</math> 的辐射场作用(激励)下,吸收一个能量为 <math>h\nu</math> 的光子并向 <math>E_2</math> 能态跃迁,这一过程称为受激吸收跃迁</p>
受激辐射	 <p>受激吸收跃迁的反过程就是受激辐射跃迁。处于高能级 <math>E_2</math> 的原子在频率为 <math>\nu</math> 的辐射场作用下,跃迁至低能态 <math>E_1</math> 并辐射一个能量为 <math>h\nu</math> 的光子;受激辐射跃迁发出的光波称为受激辐射</p>

### (1) 激光产生的过程

激光产生的过程是:在受激辐射跃迁的过程中,一个诱发光子可以使处在高能级的发光粒子产生一个与该光子状态完全相同的光子,这两个光子又可以去诱发其他发光粒子产生更多状态相同的光子。这样,在一个入射光子的作用下,可引起大量发光粒子产生受激辐射,并产生大量运动状态相同的光子。这种现象称为受激辐射光放大。

### (2) 典型激光器结构及功能

激光器通常由三部分组成,即激光工作物质、泵浦源及光学谐振腔,它们是产生激光的三个前提条件。其具体原理见表 1-2-2。

表 1-2-2 激光器组成

激光工作物质	<p>激光工作物质包括激活粒子与基质;为了形成稳定的激光,首先必须要有能够形成粒子数反转的发光粒子——激活粒子,它们的存在形式可以是原子、分子或离子;激活粒子有的可以独立存在,有的则只能依附于一些材料中;通常把为激活粒子提供依附场所的材料称为基质,它们可以是固体,也可以是液体</p>
--------	--



泵浦源	泵浦源的作用是对激光工作物质进行激励,以光或电流的形式输入到产生激光的媒质之中,把处于基态的电子,激励到较高的能级高能态,产生粒子数反转;不同的激光工作物质往往需要采用不同的泵浦源才能实现粒子数反转
光学谐振腔	光学谐振腔是光波在其中来回反射从而提供光能反馈的空腔,其作用主要有以下两个方面:一是产生和维持激光振荡、改善输出激光的质量,谐振腔由放置在激光工作物质两边的两个反射镜组成,其中之一是全反射镜;二是作为输出镜用,是部分反射、部分透射的半反射镜

### (3) 激光器系统

激光器按工作物质的不同可以分为固体激光器、气体激光器、液体激光器、光纤激光器及半导体激光器等。根据激光输出方式的不同又可分为连续激光器和脉冲激光器,其中脉冲激光的峰值功率非常大。用于工业材料加工的主要有固体激光器、CO<sub>2</sub> 激光器等。在此,对几种主要激光器进行介绍。

#### 1) 固体激光器

固体激光器以固体激光介质作为工作物质。

通常采用的脉冲激励源为脉冲输出,熔覆时被熔覆基体热影响极低,可以修复薄壁件、小件、高精度极易变形配件。

固体工作物质通常是在基质材料(如晶体或玻璃)中掺入少量的金属离子(称激活离子),激光跃迁发生在激活离子的不同工作能级之间。固体激光器的典型代表是红宝石(CR<sup>3+</sup>:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)激光器、钕铝石榴石晶体(Nd<sup>3+</sup>:YAG)激光器,其波长一般为 1 064 nm,光电转化率接近 3%,冷却方式为水冷,连续激光器的最大输出功率 1 000 W,在工业和医疗等行业被广泛使用。

固体激光器以其独特的优越性在材料加工中获得广泛的应用,其优点是:

- 结构紧凑、牢固耐用、使用维护比较方便,价格也比气体激光器低。
- 输出光波波长较短。红宝石激光器输出波长为 694.3 nm,钕铝石榴石晶体(Nd<sup>3+</sup>:YAG)及钕玻璃激光器的输出波长为 1.06 μm,比 CO<sub>2</sub> 激光器低一个数量级。固体激光器的输出波长多在可见光区段或近红外光区段,很容易用某些晶体倍频,获得可见光甚至紫外光波段光波。对于大多数材料,激光波长越短,吸收系数越大。在加工工件时,固体激光器所需的平均功率比用 CO<sub>2</sub> 激光器要小。
- 固体激光器输出较易使用普通光学元件传递。对于波长



为  $1.06\ \mu\text{m}$  的近红外光,还可用光纤传输,具有方便灵活的特点。

固体激光器的这些优越性使其在激光打孔、焊接、表面工程和半导体加工技术中得到广泛应用。

固体激光器的基本结构如图 1-2-1 所示,主要由激光工作物质、泵浦源(泵浦电源)、聚光腔、光学谐振腔等部分组成。

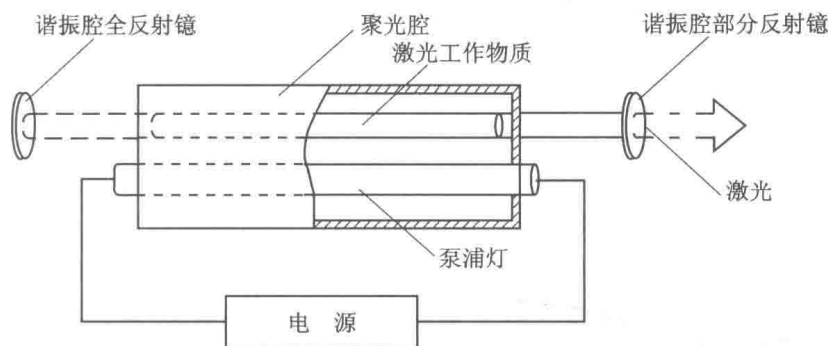


图 1-2-1 固体激光器基本结构示意图

### ① 固体激光器的工作物质

用于材料热加工的固体激光器的工作物质主要有:红宝石( $\text{CR}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ )激光器、钕铝石榴石晶体( $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ )、钕玻璃激光器。

红宝石( $\text{CR}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ )激光器机械强度大,能承受高功率密度,亚稳态寿命长,可获得大能量输出,尤其是大能量单模输出,但其阈值较高,输出性能受温度变化明显,不宜作连续及高重复率运行,只能做低重复率脉冲器件,属于三能级系统。

榴石晶体( $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ )荧光量子效率高、阈值低,并且具有热稳定性能良好、热导率高、硬度大、化学性质稳定等特点,是本教材涉及的三种固体激光器中唯一能够连续运转的激光器,已经广泛应用于材料加工,属于四能级系统。

钕玻璃激光器具有较宽的荧光谱线,荧光寿命长,易积累粒子数反转而获得大能量输出,容易加工,但其热导率较低,故只能在脉冲状态下工作,属于四能级系统。

表 1-2-3 所列为使用这三种工作物质的固体激光器的主要工作参数。

表 1-2-3 三种固体激光器的常用参数

分 类	红宝石	钕铝石榴石晶体	钕玻璃
波长/nm	694.3~692.7	1 064	1 060
能 级	三	四	四
输出发散角/rad	$10^{-3}$	—	—

分 类	红宝石	钇铝石榴石晶体	钕玻璃
工作方式	单脉冲或低重 复频率脉冲	连续工作或高重 复频率脉冲	连续工作或高 重复频率脉冲
光谱线宽/nm	0.01~0.1	0.45	22~29

### ② 固体激光器的泵浦系统

泵浦系统包括泵浦光源和聚光腔。在固体激光器中,激光物质内的粒子数反转是通过光泵对粒子的抽运来实现的。其工作过程是:首先将电源的电能转变为泵浦光源的光能,然后再将其转变成固体激光器工作物质的储能。目前泵浦光源最常用的是惰性气体放电灯和激光二极管。

惰性气体放电灯泵浦系统也是常规固体激光器使用最为广泛的泵浦光源之一,主要有用于脉冲工作方式的氙(Xe)灯和用于连续工作方式的氪(Kr)灯两种。随着二极管激光器(LD)技术和制造工艺的成熟,采用激光二极管做为泵浦源,逐渐成为固体激光器泵浦系统的重要发展方向。

#### a. 脉冲氙闪光灯泵浦系统

脉冲氙灯是一种亮度较高的非相干辐射源,用于脉冲工作的Nd:YAG和钕玻璃激光器的泵浦。脉冲氙灯的放电过程是随时间急剧变化的过程,它的灯电阻、端电压和电流都随时间变化。

表1-2-4列出了脉冲氙灯的主要尺寸规格,型号格式为STX-XX-YY-ZZ或STX-XX-YY-ZZ-D×L,其中STX是氙灯系列,XX为灯管外径(mm),YY为弧长(mm),ZZ为灯总长(mm),D×L为硬电极接头直径和长度(mm)。

表 1-2-4 STX 系列激光氙灯

型 号	内径 $\phi_1$ /mm	弧长 $L_2$ /mm	总长 OVL/mm	外径 $\phi$ /mm	电极 $\phi \times L$ /mm
STX 5×75×140	4	75	140	5	3×5
STX 7×70×150	5	70	150	7	4×5
STX 7×100×210	5	100	210	7	4×8
STX 7×100×186	5	100	186	7	4×8
STX 8×85×178	6	85	178	8	5×17
STX 8×90×220	6	90	220	8	5×8
STX 8×100×230	6	100	230	8	5×8
STX 8×100×250	6	100	250	8	5×8
STX 8×100×256	6	100	256	8	5×8
STX 8×100×288	6	100	288	8	5×10

续表 1-2-4

型 号	内径 $\phi_1/\text{mm}$	弧长 $L_2/\text{mm}$	总长 $\text{OVL}/\text{mm}$	外径 $\phi/\text{mm}$	电极 $\phi \times L/\text{mm}$
STX 8×120×240	6	120	240	8	5×8
STX 8×120×260	6	120	260	8	5×8
STX 8×140×280	6	140	280	8	5×8
STX 8×150×297	6	150	297	8	5×10
STX 9×130×264	7	130	264	9	6×8
STX 9×280×390	7	280	390	9	6×8
STX 10×45×125	8	45	125	10	6.5×5

脉冲固体激光器电源系统的原理结构图如图 1-2-2 所示。电源电路由充电电路、储能网络、放电电路、触发及预燃电路、控制电路等组成。电路工作原理是：当触发电路给氙灯提供一个高压触发脉冲时，灯内的气体被击穿，进入低阻状态；储能元件中的电能通过灯放电，采用预燃技术，灯触发后，预燃电路提供小电流维持灯的导通状态；脉冲放电靠放电回路中串入放电开关控制；充电电路在储能网络不放电时连续工作，为储能网络连续充电；控制回路控制整个系统电路正常有序工作。

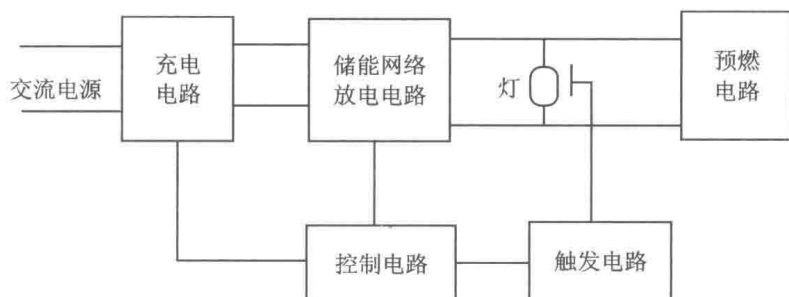


图 1-2-2 脉冲固体激光器电源系统原理结构图

脉冲激光电源是专门为脉冲 Nd:YAG 激光器设计的电源，采用开关电源，内部是由单片机控制的，是真正的数控电源，通过触模式操作面板选择激光输出功率、频率和脉宽等参数。用户通过键盘对激光脉冲波形和参数进行编程。一个脉冲波形可以分成 15 段，每段可以分别设定其电流和脉宽，最后的脉冲波形即为各段之和。根据每段设置的电流和脉宽的不同，可以形成各种不同的脉冲波形。目前国内生产脉冲氙灯的电源的厂家很多。表 1-2-5 所列为武汉新特光电技术有限公司的脉冲激光电源参数表。

表 1-2-5 STLDP 系列脉冲激光电源

型 号	最大输出电功率/kW	输出电流范围/A	脉冲宽度/ms	脉冲重复率/Hz	直流电源输入/V	外形尺寸/mm
STLDP-1	5	100~600	0.1~10	0.1~100	380 VAC	480×202×600
STLDP-2	5	100~600	0.1~20	0.1~200	380 VAC	480×202×600
STLDP-3	4	100~600	0.1~10	0.1~100	380 VAC	480×202×600
STLDP-4	4	100~600	0.1~20	0.1~200	380 VAC	480×202×600

## b. 连续氩弧光灯泵浦系统

氩的线状光谱比氙的线状光谱能更好地与 Nd:YAG 的吸收谱相匹配,因此,氩弧灯是连续工作高功率激光器常用的泵浦光源。氩弧灯属于管壁稳定型大电流弧光放电灯,放电起始采用高压脉冲点火,点然后属于稳定气体放电。表 1-2-6 列出了脉冲氩灯的主要尺寸规格,型号格式为 STK-XX-YY-ZZ 或 STK-XX-YY-ZZ-D×L,其中 STK 是氩灯系列,XX 为灯管外径(mm),YY 为弧长(mm),ZZ 为灯总长(mm),D×L 为硬电极接头直径和长度(mm)。

表 1-2-6 STK 系列激光氩灯

型 号	内径 $\phi_1$ /mm	弧长 L/mm	总长 OVL/mm	外径 $\phi$ /mm	电极 $\phi \times L$ /mm
STK 6.5×100×250	4.5	100	250	6.5	4×8
STK 6.5×125×270	4.5	125	270	6.5	4×10
STK 7×100×210	5	100	210	7	4×8
STK 7×100×250	5	100	250	7	4×8
STK 7×125×270	5	125	270	7	4×10
STK 8×95×214	6	95	214	8	5×7
STK 8×100×235	6	100	235	8	5×8
STK 8×100×250	6	100	250	8	5×10
STK 8×100×256	6	100	256	8	5×8
STK 8×100×270	6	100	270	8	5×10
STK 8×100×288	6	100	288	8	5×10
STK 8×120×260	6	120	260	8	5×8
STK 8×120×264	6	120	264	8	5×10
STK 8×125×270	6	125	270	8	5×10
STK 8×125×280	6	125	280	8	5×10
STK 8×150×288	6	150	288	8	5×8
STK 8×150×290	6	150	290	8	5×8
STK 8×100×210	6	100	210	8	5×8



氦灯泵浦系统工作在低电压、大电流状态,对供电系统的要求是:电源与灯的伏安特性要匹配。氦灯的输出功率由电流强度决定,灯在稳定工作中的动态电阻很小,灯电压的微小变化都会引起灯电流的大幅变化,因此要求电源有稳流措施,应为电流源。泵浦系统要求一定的电流调节范围,当电流调至最小值(休眠电流)时能保持弧光放电的稳定性,电流脉动要求在 $0.5\% \sim 2\%$ 的范围内。连续固定激光器电源系统框图见图1-2-3。目前连续氦灯电源的主电路多为低电压大电流连续供电,采用开关电源形式,如BUCK变换器,并有触发电路及辅助高压。表1-2-7所列为国内厂家的连续泵浦氦灯电源参数。

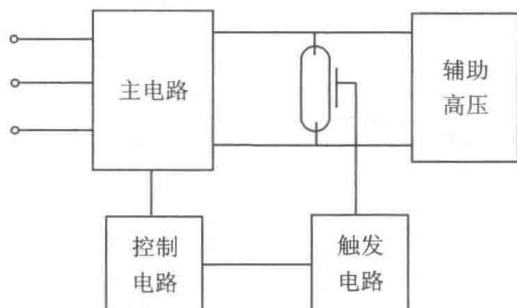


图1-2-3 连续固体激光器电源系统

表1-2-7 国产连续泵浦氦灯电源参数参考

型号	最大输出电流 /A	最高输出电压 /V	输出电流波纹	控制精度	开关工作频率 /kHz	允许交流电压波动	允许工作环境温度 /°C	工作环境湿度范围	对交流电源要求	休眠电流 /A
STCW22A	25	200	$\leq 0.4\%$	0.004	20	$\pm 15\%$	0~50	$\leq 90\%$	380V、6kVA	7
STCW32A	30	200	$\leq 0.4\%$	0.004	20	$\pm 15\%$	0~50	$\leq 90\%$	380V、9kVA	7
STCW24A	20	400	$\leq 0.4\%$	0.004	20	$\pm 15\%$	0~50	$\leq 90\%$	380V、11kVA	7
STCW22B	25	200	$\leq 0.4\%$	0.004	20	$\pm 15\%$	0~50	$\leq 90\%$	220V、6kVA	7
STCW32B	30	200	$\leq 0.4\%$	0.004	20	$\pm 15\%$	0~50	$\leq 90\%$	220V、9kVA	7

### c. 激光二极管泵浦系统

随着激光二极管(LD)技术及制造工艺的逐步成熟,激光二极管泵浦固体激光器(DPSSL)的研制成为新的发展方向。

激光二极管的输出可以与固体激光器介质的吸收带相一致,



其激励效率大为提高,热效应显著降低。激光二极管还具有结构紧凑、寿命长的优点。连续工作的激光二极管寿命超过  $10^4$  h、脉冲工作在  $10^9$  次以上,而惰性气体泵浦灯只有 200 h 和  $10^7$  次。采用激光二极管泵浦的激光器体积小、质量轻、效率高、易于维护。

当前,随着激光二极管的市场的需求量的持续增加和大规模自动化生产线的建立,二极管的价格逐步下降,激光二极管泵浦固体激光器将得到广泛应用。

在设计二极管泵浦系统时,应按应用目的选择二极管参数,如波长、工作方式、输出功率,以及二极管的构型。目前,用作泵浦源的二极管的发射波长已从 770~990 nm 向红外 900~1 000 nm 和可见光 630~680 nm 扩展,多种固体激光工作物质都可以用二极管泵浦。通常有长为 100  $\mu\text{m}$  或 200  $\mu\text{m}$  小的二极管线阵、1 cm 长的阵列条和二维面阵,或叠层组件可供选择。短的二极管阵列特别适于端面泵浦,阵列条常用于侧面泵浦板条或棒状固体激光器。对高功率固体激光器,必须将 1 cm 的阵列条叠成模块,以减小电子学驱动器、冷却系统和机械结构的复杂性。

Rofin 公司的 DP、DS 系列固体激光器,采用半导体泵浦系统,主要应用于材料的切割与焊接,泵浦半导体激光器的寿命超过 10 000 h,目前国内很多激光器公司生产 DP、DS 系列泵浦固体激光器系统,DP 主要参考型号如表 1-2-8 所示。

表 1-2-8 DP 系列固体激光器

	DP 010 HX	DP 015 HX	DP 020 HX	DP 030 HX	DP 040 HX
泵浦源	激光二极管	激光二极管	激光二极管	激光二极管	激光二极管
输出功率/W	100~ 1 000	150~ 1 500	200~ 2 000	300~ 3 000	400~ 4 000
光束参数乘积	12 mm× mrad	12 mm× mrad	25 mm× mrad	25 mm× mrad	25 mm× mrad

#### d. 固体激光器的聚光腔

对于使用惰性气体放电灯泵浦的固体激光器,泵浦光在空间  $4\pi$  立体角内发射,需要使用聚光腔来提高泵浦光的转换效率及其辐射的均匀性。在激光二极管泵浦的情况下,为进一步提高光-光转换效率,有时也需要聚光腔。常用的聚光腔有以下几种类型。

a) 椭圆柱聚光腔。椭圆柱聚光腔是最常用的一种类型,图 1-2-4 所示为几种典型结构。

b) 紧包式焦聚光腔。这种结构非常简单的聚光腔可得到与椭圆柱聚光腔一样的效率,但泵浦光均匀性较差。它的几种结构见图 1-2-5。