

# 激光加工技术

主编程娟李川



58 东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

# PREFACE 前言

本书是职业院校装备制造大类专业课程教材，依据教育部颁布的职业院校机电类、自动化类等专业的教学标准，并参照相关国家职业标准以及行业、技术规范编写而成。

激光加工技术是光子学、机械学、电子学、计算机等多学科综合交叉的高新技术。激光加工作为一种先进的加工技术，一直受到世界各国的重视，我国在“中国制造 2025”中将激光加工作为先进制造技术列入规划。伴随着大功率激光器的发展和数控技术的提高，激光加工技术在国内外均有很大进展，并已形成激光产业，且涌现出了一大批技术水平高、产销量大的激光加工设备制造公司。在新的科技浪潮中，职业院校更应当瞄准时代前沿，将教学创新、专业人才培养与企业需求紧密结合起来，使学生了解和掌握激光加工的基础知识和技能，适应当前社会发展的新需求。

本书具有以下特点：

## 1. 贴近专业，使用面广

激光加工技术主要包括激光光路调试、激光加工设备装调、激光打标、激光雕切、激光内雕等。本书本着务实的精神，对各项激光应用技术的原理、构成、设备及其主要技术参数进行了详尽的描述。本书以实际生产中的典型应用案例为载体，融入了激光加工技术“1+X”证书内容、激光加工装调竞赛内容，也有机融入了新工艺、新器件、新标准、新方法、新产品的知识，可操作性强，既可作为职业院校相关专业的教材，也可作为激光行业从业人员的参考用书。

## 2. 栏目丰富，易学好懂

激光加工技术理论性较强，学生掌握起来难度较大。本书依据相关专业教学标准对该课程的要求，结合职业院校学生的认知特点，融入激光加工的典型案例，按照任务引领的方式，体现了“理论—实践一体化”教学模式，以培养学生自主学习的能力。其中“知识学习”栏目用以强化学生的基础知识，“任务实施”栏目用以强化学生的技能知识，“任务评分”栏目考查学生任务完成的情况，“任务总结”栏目培养学生对知识的梳理能力，“小知识”栏目拓展学生的视野。

## 3. 案例融入，德技兼修

教育的根本任务是立德树人，本书通过“科技前沿”栏目的实际案例，将社会主义核心





价值观、国家意志、文化自信、工匠精神等内容融入教材，以期潜移默化地对学生的思想意识、行为举止产生正向激励。

#### 4. 教学资源，助力教学

本书配有相关教学资源，方便教师实现“线上+线下”混合式教学。

本书建议学时数为 72 学时，具体学时安排参考如下：

模块	教学内容	建议学时
一	激光光路调试	14
二	激光加工设备装调	16
三	激光打标技术	14
四	激光雕切技术	16
五	激光内雕技术	12

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，恳请广大读者批评指正。读者意见请反馈至电子邮箱 195199945@qq.com。

编者

# CONTENTS 目录

## 模块一 激光光路调试

实训项目一	连续激光光路调试	( 2 )
任务一	认识连续激光光路设备	( 2 )
任务二	连续激光光路的安装及调整	( 10 )
任务三	连续激光光路检测	( 22 )
实训项目二	脉冲激光光路调试	( 34 )
任务一	认识脉冲激光光路设备	( 34 )
任务二	脉冲激光光路的安装及调整	( 43 )
任务三	脉冲激光光路检测	( 55 )
知识链接	激光产生的原理	( 62 )

## 模块二 激光加工设备装调

实训项目	激光加工设备装调	( 72 )
任务一	认识激光加工设备	( 72 )
任务二	激光加工设备搭建	( 81 )
任务三	通电运行与功能测试	( 97 )
知识链接	激光加工中常用的激光技术	( 103 )

## 模块三 激光打标技术

实训项目一	铭牌的激光打标	( 109 )
任务一	认识激光打标机	( 109 )
任务二	振镜校正	( 116 )
任务三	制作产品铭牌	( 123 )



# 模块一

## 激光光路调试



### 项目概述

激光器是利用受激辐射原理使光在某些受激发的物质中放大或振荡发射的器件。激光器主要由工作物质、泵浦源和光学谐振腔三部分构成。光路的安装与调试是为了保证受激辐射光能够在谐振腔内持续振荡放大，输出激光，对激光器输出功率及光学质量至关重要，是激光设备生产中的重要步骤。



### 项目目标

#### ◎ 知识目标：

1. 能描述光路系统的基本组成结构。
2. 能描述光路系统组成结构的特点。
3. 能阐述激光产生的原理。

#### ◎ 能力目标：

1. 能根据图样安装、调整红光基准模块和激光模块。
2. 通过分步骤调试，安装、调试谐振腔和检测光路。
3. 结合光束检测参数，分析光束质量。

#### ◎ 素质目标：

1. 提升团队协作及分析与解决问题的能力。
2. 了解激光制造技术的发展趋势，树立与时俱进的观念，践行社会主义核心价值观。
3. 提高职业岗位素养，增强品质意识，塑造精益求精的工匠精神。

## 实训项目一 连续激光光路调试

知识目标：能描述连续激光设备的基本结构及功能。

技能目标：能规范地完成各模块的安装、调试。

素质目标：了解激光制造技术的发展趋势，树立与时俱进的观念。

### 任务一 认识连续激光光路设备

学生姓名：\_\_\_\_\_ 班级：\_\_\_\_\_

#### 知识学习

连续激光光路调试实训平台是集激光器、激光电源、机械、检测及自动控制技术于一体的高科技产品，设备主要由激光电源、冷却系统、光路系统、检测系统等组成，如图 1-1 所示。同时，设备还具备连续激光光路检测终端，可通过专业光束检测系统和能量检测探头采集，将信息传输至工控计算机终端，配合专用激光光束分析软件，能够准确分析出所调试光路的激光功率、波长、光斑成像、光束质量等专业数据，直观反馈光学调试结果的质量。

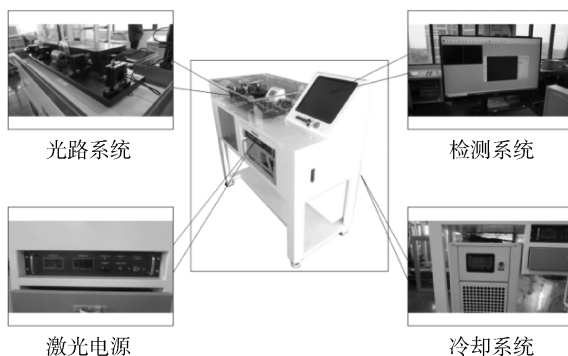


图 1-1 连续激光光路调试平台

#### 一、激光电源

设备采用半导体 DPL 模块专用电源，采用 AC 220 V 供电，总功率根据设备制冷要求匹配。电源输出直流电，为半导体 DPL 模块泵浦源供电，具有流量保护功能。电源



输出调节分为电流、电压两种模式，可通过后面板模式拨动开关进行选择，通常情况下以电流模式作为调试标准，调节范围通常为 0~15 A。调节过程中，电流值越大，激光模块输出激光强度越高。通常情况下，激光模块在 4~6 A 即可产生激光输出。当光路损耗过大时，模块出光电流值也会相应增大。考核过程中通常以 8~9 A 作为光束质量检测标准。

图 1-2 所示为电源面板，从右往左依次为电源总开关、电源工作指示灯、工作状态切换开关、保护指示灯、电流调节旋钮、电流显示面板、电压显示面板。

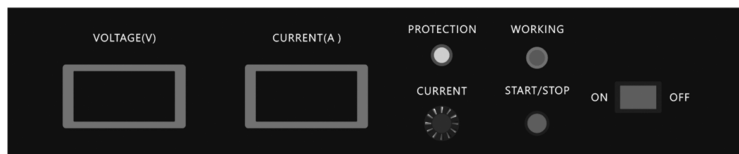


图 1-2 电源面板示意

**电源总开关：**将电源总开关拨至“ON”状态，电源通电开启；拨至“OFF”状态，电源断电关闭。

**工作状态切换开关：**激光电源开启后，按下此开关，绿色“WORKING”指示灯亮起，激光输出。再次按下此开关，绿色“WORKING”指示灯熄灭，激光停止输出。

**电流调节旋钮：**顺时针方向旋转“CURRENT”旋钮，可调节激光电源的驱动电流，从而改变输出激光的能量大小，最大调节电流为 15 A。

**显示面板：**显示激光电源当前注入的电流/电压数值，可用显示面板下方的拨动开关调整电流/电压显示输出。

**报警信号灯：**报警信号灯会在设备发生流量报警或水温报警的时候亮起，此时激光电源不工作，无激光输出。

## 二、冷却系统

半导体泵浦激光器的光电转换效率一般较低，大部分电能最后都会转换成热能损耗。损耗的热量大量堆积会造成激光模块内部升温，工作物质产生透镜效应，影响激光输出光束质量，严重的还会导致晶体烧毁，损坏激光模块和腔体。因此，大型激光设备通常会搭配冷却系统来防止过热，如图 1-3 所示。

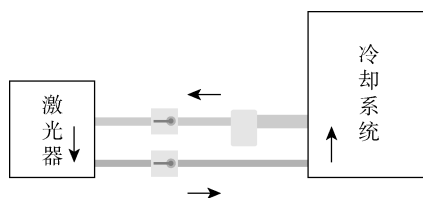


图 1-3 激光器冷却路径

光路调试实训平台采用的冷却系统与常规半导体激光标刻设备基本一致。冷却系统的结构与空调类似，主要由水箱、水泵、过滤器、制冷机、压力及温度传感器等结构组成。



系统采用 AC 220 V 供电，总功率根据激光器输出功率匹配，系统以去离子水、蒸馏水或纯净水作为冷却介质，用于激光模块的循环冷却。冷却系统根据设定温度进行循环水温调节，同时具有流量、水压、超温等异常报警和报警信号输出功能。当冷却循环出现故障时，冷水机会蜂鸣警告，同时输出的报警信号可立即中断激光输出，保障激光器运行安全。

图 1-4 所示为冷水箱面板，从右往左依次为电源/返回按键、向下调整按键、设置按键、向上调整按键、状态指示灯、信息显示面板。

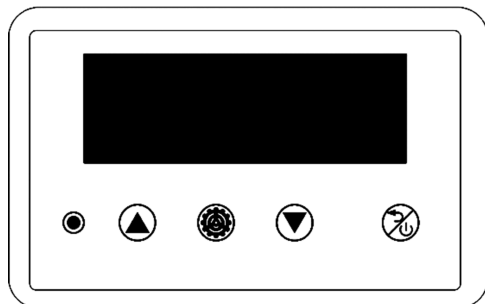


图 1-4 冷水箱面板示意图

电源/返回按键：电源开关/返回保存。

向下调整按键：按一次向下递减一次，长按可连续递减。

设置按键：进入菜单或切换设置项。

向上调整按键：按一次向上递增一次，长按可连续递增。

状态指示灯：在所有设置界面，如连续 10 s 无按键动作，设备将会自动退出设置界面并保存退出时的参数。

信息显示面板：当前温度显示区域。

在任何状态下长按电源/返回按键 3 s 后停止系统运行，即关机。

### 三、光路系统

光路系统是设备的核心系统，通常由三个部分构成，即基准光路、主光路和检测光路。基准光路作为光路系统中各光学器件的调试基准，主要由指示红光模组和红光调整支架组成，是光路系统优先调整的对象，基准光路调试的好坏直接影响后续的光路调整精度以及后续的输出激光光束质量。主光路主要包含谐振腔镜和激光模块两部分，是光路设备中激光器的主要组成结构之一，调试时依据基准光路调试各光学器件的端面位置和角度，确保各光学器件端面之间互相平行且同心，如图 1-5 所示。检测光路主要用于光路设备输出激光的光束引导和质量分析，由引导镜、分光镜、光束检测系统三部分组成，调整时依据基准光路调试引导镜、分光镜的位置和角度，确保输出激光能够被正确引入相应的光束质量检测窗口。



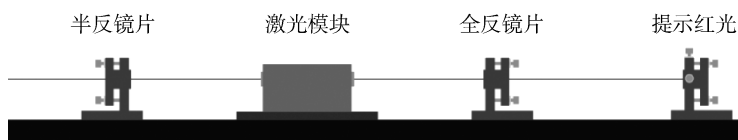


图 1-5 主光路简化图

#### 四、检测系统

光路调试设备配有连续激光光路检测终端，用于设备输出激光的光束质量检测。光路质量检测窗口分为功率检测窗口和光束质量检测窗口两部分，功率检测窗口用于检测当前输出激光的实时功率，光束质量检测窗口用于检测当前输出激光的光斑大小、光斑形状、光束发散角等相关参数。激光光束通过专业光束监测系统和能量检测探头采集，将信息传输至工控计算机终端，配合专用激光光束分析软件，能够准确分析出所调试光路的激光功率、波长、光斑成像、光束质量等专业数据，直观反馈光学调试结果的质量。

检测系统由便携式光束质量检测装置与激光光束质量检测软件组成。图 1-6 所示为便携式光束质量检测装置，其主要由待测激光器、三轴光学支架和光束质量检测仪组成。待测激光光束入射到光束质量检测仪中，系统采用单个面阵 CCD 同时获取远场两个不同位置的光束分布、光斑图像并传输到计算机，计算机上安装的光束质量分析软件接收相应的数据并进行处理。

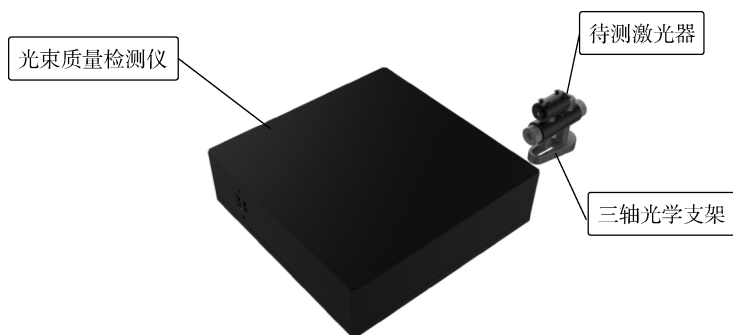


图 1-6 光束检测系统

### 任务实施

#### 一、工具准备

##### (一) 内六角扳手

内六角扳手也称为艾伦扳手，通过转矩施加对螺钉的作用力，大大降低了使用者的用力强度，是制造业中不可或缺的得力工具。在本任务中，内六角扳手可用于各光学镜架的安装、固定及部分器件的调节、锁止。

内六角扳手配合内六角螺钉使用。使用时，应先将扳手的六角头插入内六角螺钉的六



方孔中，保持扳手杆与螺钉头平面平行，以防转动时从六方孔中滑出；右手转动扳手杆，带动内六角螺钉紧固或松开。

### (二)调光片

调光片主要用于光路调试中基准光路的调整、校正，调整片采用铝型板材，其下方凸块用于定位，上方小孔用于红光位置调整。调光片通常为两片，使用时分置于主光路两端，调整时通过观察基准红光点与调光片小孔的相对位置完成基准光路的调整与校正，确保基准红光点依次通过调光片小孔。

### (三)倍频片

倍频片又称为调光片、光学转换片，可以将不可见的 1064 nm 光束转换成可见的 532 nm 绿光。倍频片常用于光路调试、光斑测试。使用时，倍频片置于谐振腔半反镜后，垂直于激光光束，使激光光斑位于倍频片中心位置。

### (四)无水酒精

无水酒精又称为无水乙醇，是一种无色澄清液体，有特殊香味，是重要的有机溶剂，广泛用于医药、涂料、卫生用品、化妆品、油脂等方面。在光路调试过程中，主要用于镜片的清洗。

### (五)拭镜纸

拭镜纸是擦拭光学镜片的专用纸张，由于光学镜片表面大都有多层膜，若使用一般的纸张有可能将多层膜刮伤，因此，千万不要拿非专业的纸张来擦拭光学镜片。

拭镜纸看起来与一般的半透明纸张差别不大，但它更细致，拥有不磨损镜片表面镀膜的优点，可以用于清洁光学镜片。

### (六)吹气球

吹气球常用于光学镜头、数码相机、数码摄像机、高档手表机芯等高精密设备以及电脑硬件、精密电路焊接、光学设备电子、电器、钟表、仪器、古玩等的清洁去尘。

## 二、操作准备

### (一)人员着装

操作人员应尽量保证着装干净、整洁，尽量避免着尼龙、化纤、棉化纤等易燃面料服装，女生应尽量避免着裙装。实训操作前应确认衣服和袖口扣好，不卷袖子，不卷裤脚，不翻领子，禁止穿拖鞋、凉鞋操作。

### (二)防护用具佩戴

在进行激光光路调试操作时，现场操作人员须佩戴相应的激光防护眼罩，激光防护眼罩可有效衰减特定波长的入射激光，避免眼睛受激光辐射伤害。在佩戴防护眼罩时，其滤光镜片须根据操作激光器(激光器输出波长不同)类型进行合理选用。



### (三) 设备操作环境检查

设备操作环境主要包括设备供电环境、设备供水环境和设备现场物品的放置,在进行实训操作前,操作人员应事先检查相关操作环境是否合理规范。设备供电应保证供电线路安装紧固,无漏接、虚接,供电电压应与实际使用设备电压相符,且电压浮动范围符合设备设计要求;设备供水应保证冷却水质清洁、干净,应尽量使用纯净水或去离子水,冷却水位应达到使用要求;设备现场还应放置相关灭火器械,确定相关受控区域,在激光可能辐射的位置,应禁止堆放易燃易爆物品。

### (四) 设备状态检查

在实训操作前应确保设备处于关停状态,设备断路器处于断开状态,禁止在设备运行状态下直接进行实训操作。检查设备清洁状态,对设备存在灰尘、污渍部位应及时清理。检查设备是否固定,对未固定设备应进行固定操作,对有移动轮的设备应锁紧移动轮。使用水平尺检查并调整设备工作台面的水平度。

### (五) 实训器件清点

根据实训任务指导书,及时清点检查相关实训器件,对于缺失、损坏器件应尽快报备,及时补充、更换。

## 三、工作任务——连续光路设备开关机流程

### (一) 开机流程

闭合设备断路器,此时,设备控制板开始供电。

开启设备急停按钮,打开设备钥匙开关,按下设备开机按钮,设备开机接触器上电吸合,设备控制板上电。

开启设备控制电脑,打开光束检测软件,根据需要开启检测的项目。

按下水泵按钮,设备冷却水箱开始供电。

待水箱运行平稳后,检测冷却水路是否存在漏水、渗水等现象。如无,可将激光器电源总开关拨至“ON”状态,电源带电开启。

待激光电源开启后,按下“TRIGGER”按钮,激光开始输出,绿色“WORKING”指示灯亮起。

顺时针方向旋转“CURRENT”旋钮,可调节激光电源的驱动电流,从而改变激光输出的能量大小(最大调制电流为 15 A),完成激光出光操作(出光前可根据需要开启红光指示)。

**注意:**设备存在高压,注意用电安全,禁止设备带电后触摸电路及相关外围部件,避免电击事故发生。

### (二) 关机流程

逆时针方向旋转“CURRENT”旋钮,将激光电源的驱动电流调整到 0 A。

按下“TRIGGER”按钮,激光输出停止,绿色“WORKING”指示灯熄灭。



将激光器电源总开关拨至“OFF”状态，电源断电关闭。

激光电源关闭后，待冷却水箱运行一段时间(5 min 左右)再关闭水箱电源。

关闭光束检测软件，关闭设备控制电脑。

关闭设备钥匙开关。此时，设备开机接触器断电弹开，设备控制板断电，继续关闭设备急停开关。

断开设备断路器。

#### 四、任务评价

表 1-1 实操项目评分表

项目	项目要求	分值	得分
考核一：操作准备			
操作人员着装整洁	着装整洁、干净，不穿奇装异服	1	
	不佩戴无关饰物	1	
合理佩戴激光防护用具	根据实际操作设备，选用合理的激光防护用具并正确佩戴	1	
检查设备操作环境	检查设备输出场镜是否存在灰尘、污渍，如有应进行相应的清洁操作	1	
	检查火线、零线、地线是否存在漏接；检查各接线端口是否紧固、有无线材裸露；使用万用表检测供电是否正常	1	
	检查水冷设备冷却水水质是否干净，如水质差应进行更换；检查冷却水水位是否正常，如水位偏低应进行加注；检查水箱出风口是否通畅，如有异物阻挡应进行清理	1	
检查设备垫脚是否固定	设备工作台面应进行水平校准，确保工作台面水平	1	
	调整设备垫脚，使垫脚落地，确保设备不可随意晃动	1	
检查设备断路器是否闭合	检查设备断路器是否闭合，如未闭合，应手动闭合	1	
清点加工所需工具及相关耗材	检查物料数量、型号是否正确，确认物料是否存在问题	1	
考核二：设备开机			
	开机流程是否正确	2	
考核记录			
自评分		互评分	教师评分
综合评价			



## 五、任务总结

- (1) \_\_\_\_\_
- (2) \_\_\_\_\_
- (3) \_\_\_\_\_

## 小知识

### 连续激光器

连续激光器有稳定的工作状态，即是稳态。连续激光器中各能级的粒子数及腔内辐射场均具有稳定分布，其工作特点是工作物质的激励和相应的激光输出，可以在一段较长的时间范围内以连续方式持续进行。以连续光源激励的固体激光器和以连续电激励方式工作的气体激光器及半导体激光器，均属于连续激光器。由于连续运转过程中会产生器件过热效应，因此连续激光器需采取适当的冷却措施。

## 小结

本任务主要介绍了连续激光光路调试设备的基本结构、常用工具及开关机流程。

## 科技前沿

### 超连续谱激光：超乎寻常的新型光源

超连续谱激光一经诞生，就以其独一无二的光源特性，惊艳了整个光学界。它不仅具有激光亮度高、相干性强、方向性好等特点，还拥有和太阳光类似的宽光谱性能。

光色绚丽多彩。超连续谱激光经常被形象地称为白光激光，但它所涵盖的波段远不只处于可见光波段的白光，而从可见光波段拓展至紫外、近红外、中远红外波段，不同波段的超连续谱激光在应用方面也各有所长。可以说，超连续谱激光是一种比白光更绚丽多彩的多色光，如图 1-7 所示。

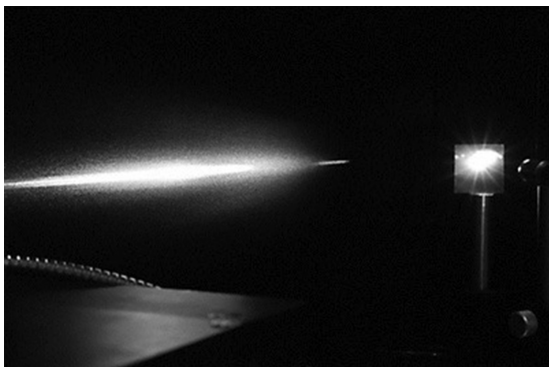


图 1-7 绚丽多彩的超连续谱激光

光谱范围宽且亮度高。与普通激光的窄谱特性相比，超连续谱激光光谱极宽可达上万



纳米，且是连续展宽。这一宽谱优势能覆盖众多波段。有计算表明，以常见的峰值功率在 10 MW 量级、时域重频在千赫兹的飞秒超连续谱光源为例，其照射在单位面积上的激光功率是太阳辐照功率密度的 700 余倍。超连续谱激光的高亮度由此可见一斑。

时域灵活可控。超连续谱激光有连续波激光、纳秒激光、皮秒激光、飞秒激光等，可根据不同应用需求，作不同重复频率、不同脉宽激光的选择。

在军事领域，超连续谱激光光源因其与众不同的性质，有望带来变革性影响。

光电对抗将胜人一筹。目前，采用主动红外对抗的方法，利用高亮度的红外激光对敌方光电设备进行压制、破坏，是保证航空飞行器安全的重要手段。与输出波长单一、调谐困难的光参量振荡器和量子级联激光器相比，超连续谱激光光源具有空间相干性好、光谱范围宽的先天优势，有可能覆盖敌方光电传感器全波段，使其无法采用窄带滤波和光学陷波等方法进行防护，是光电对抗的理想光源。尤其是位于中红外波段(2500~5000 nm)的超连续谱激光光源，可覆盖常见红外热寻导引头的典型工作波段。这样，就可有效实现对敌方精确制导武器的干扰及致盲。

战场感知将更加精准。超连续谱激光的宽带特性，可覆盖常见气体(如二氧化碳、甲烷、氨气等)的“吸收峰”，实现对多种气体的同步、实时、远程监测。同时，超连续谱激光光源空间相干的特性，使其与气体混合物有着很长的相互作用长度，能显著提升探测灵敏度，实现对极微量气体分子的探测。

随着技术进步和工艺水平的提升，未来超连续谱激光将朝着平均功率更高、光谱更宽、光束质量更好的方向发展。

## 任务二 连续激光光路的安装及调整

学生姓名：\_\_\_\_\_ 班级：\_\_\_\_\_

### 知识学习

连续激光光路调试光路图如图 1-8 所示。整个光路系统由三个部分构成，即红光指示模块、DPL 模块和光学谐振腔。

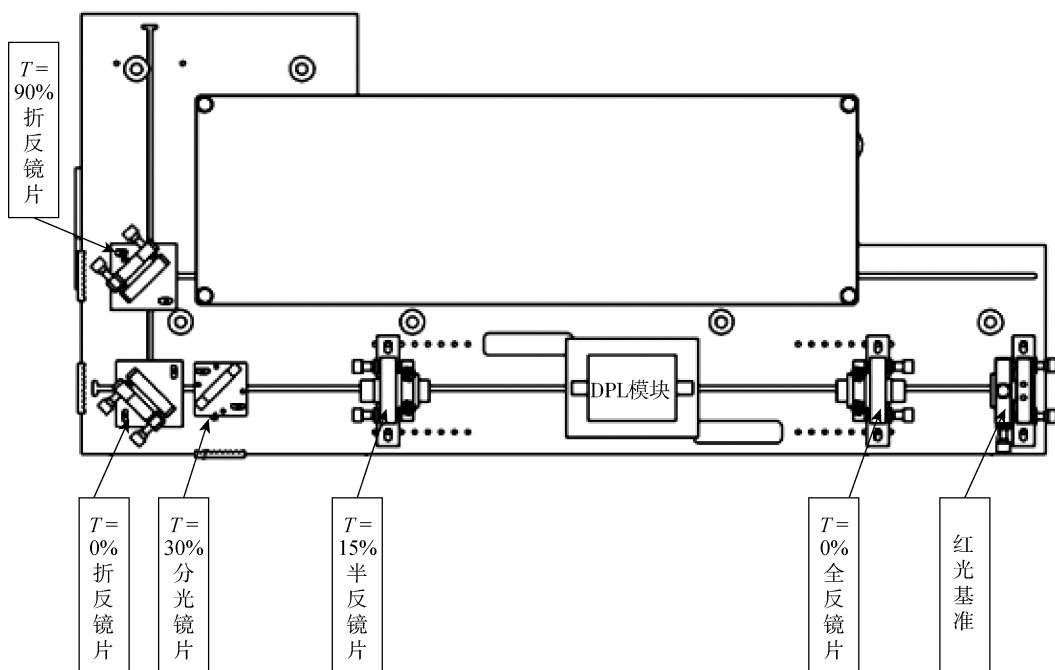


图 1-8 连续激光光路调试光路图

### 一、红光指示模块

红光指示模块通常采用波长 632 nm 的小型半导体激光器作为基准光源，因其良好的方向性，在整个光路调试过程中通常会作为调整其他光学器件的基准光。

红光调整支架用于红光模块的安装与调整。红光模组如图 1-9 所示，安装在支架中心位置，采用六角顶丝进行固定。固定时应注意紧固力度，若力度太大，顶丝容易挤伤红光模组，造成器件损坏；若力度太小，容易造成红光模组晃动，影响后期基准光的准确性。支架可分为前、后两部分，每部分都带有两个调整丝杠用于基准光的调整。



图 1-9 红光模组

红光调整支架如图 1-10 所示，调整的目的是确定基准光。调整过程中通常使用调光片进行辅助调整，调光片是基于光学器件尺寸专门定制的辅助器件，拥有特定通光小孔和定位块。调整过程中，通常先将调光片置于光路两端，然后调整红光通过两端调光片的通光小孔即可，由于通光小孔位置、高度固定，所以基准光位置确定。



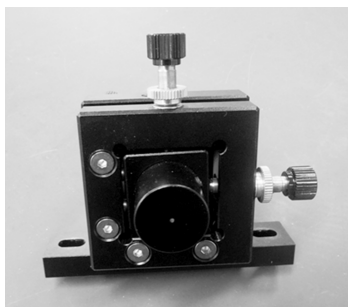


图 1-10 红光调整支架

基准光的调整通常分为粗调和精调。粗调是指支架安装时的孔位调整，其调整范围大，但准确性较差，常用于基准光安装时的大致调整。精调是指通过支架前、后块上的调整丝杠进行调整，其调整范围小，但准确性较高，常用于基准光微动调整。调整过程中，前块常用于红光模组径向调整，调整时，基准光远、近端移动范围一致；后块常用于红光模组偏转调整，调整时，基准光远端移动范围大于近端移动范围。

## 二、DPL 模块

DPL 为半导体泵浦激光器，通常是指光路系统中的激光模块，采用阵列的发光二极管作为泵浦光源，输出 1064 nm 的激光，常用于激光标刻加工。DPL 是第二代固体激光器，也是目前使用相对广泛的固体激光器之一，如图 1-11 所示。

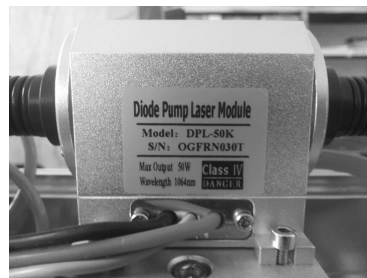


图 1-11 半导体泵浦激光器

半导体泵浦激光器相较于传统的氪灯泵浦激光器具有以下优势：

(1)使用寿命长。传统氪灯泵浦激光器，其泵浦灯的使用寿命通常只有几百个小时，到期就要进行更换。而半导体泵浦通常寿命能达到上万小时，可大大节约后期维护成本。

(2)电光转换效率高。传统氪灯泵浦激光器发热量高，大部分能量以热能形式损耗，电光转换效率较低。而半导体泵浦激光器由于其泵浦源出光连续、稳定，工作物质吸收率高，所以电光转换效率高。

(3)半导体泵浦激光器结构小巧、紧凑，安装拆卸方便，如图 1-12 所示。

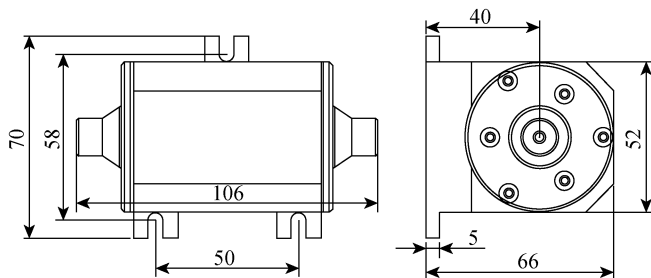


图 1-12 半导体泵浦激光器安装尺寸(以出光高度 40 mm 为例)





### 三、光学谐振腔

光学谐振腔通常由垂直于光轴的两个相对的平行平面镜或曲面镜(全反、半反镜片)构成,激光模块激励后产生的辐射光,通过镜片的持续振荡放大,形成激光输出。放大过程中,频率一定、方向一致的光被优先放大,而其他频率和方向的光则会受到抑制,实现光学正反馈作用。

光学谐振腔是激光器的重要组成结构,装调器件通常包括谐振光学镜架和谐振光学镜片两部分,安装过程应尽量保证谐振镜片、工作物质端面之间的平行度,同时也应保证指示红光从各光学器件中心通过。

光学镜架主要包括谐振镜腔镜架、引导镜架和分时分光镜架。光学镜架主要用于光学镜片的安装与调整,镜片通常采用丝圈进行紧固。安装过程中应注意工具使用安全,避免工具划伤镜片。安装应保证镜片紧固,松动的镜片会严重影响激光器出光质量。

同红光支架一样,光学镜架也分为前、后两部分,如图 1-13 所示。其调整丝杠位于镜架后块部分,用于光学镜片角度的调整。调整时应注意轻用力、微调整,调整目的是保证光学镜片平面与基准光发生面平行。调整时可通过观察镜片反射的红光点辅助调整,当镜片反射点与发生点重合时,则表明光学镜片与基准光发生面平行。



图 1-13 光学镜架

光学镜片通常指镀有特定膜面的玻璃镜片,如图 1-14 所示,每个光学镜片都标有相应的镜片参数,不同参数的镜片有不同的功能用途,需安装在相应功能的光学镜架中。全反输出采用  $T=0\%$  全反谐振膜片,半反输出采用  $T=15\%$  半反谐振膜片。镜片在安装、紧固过程中应注意保持镜片清洁,避免手指油污、粉尘和污渍污染镜片,如若发生镜面污染,应尽快按照清洗要求进行清洗。



图 1-14 光学镜片



## 任务实施

### 一、任务流程

激光光路调试过程主要是对激光谐振腔、检测光路进行调整，如图 1-15 所示。调整过程中应先通过调光片确定红光基准光；然后通过观察基准光的反射点与发射点是否重合，调整晶体端面、全反射镜架和半反射镜架的位置，使它们互相平行；最后通过调光片确定引导镜片、分光镜片位置，将输出激光引导至光路检测系统，进行光束质量检测。

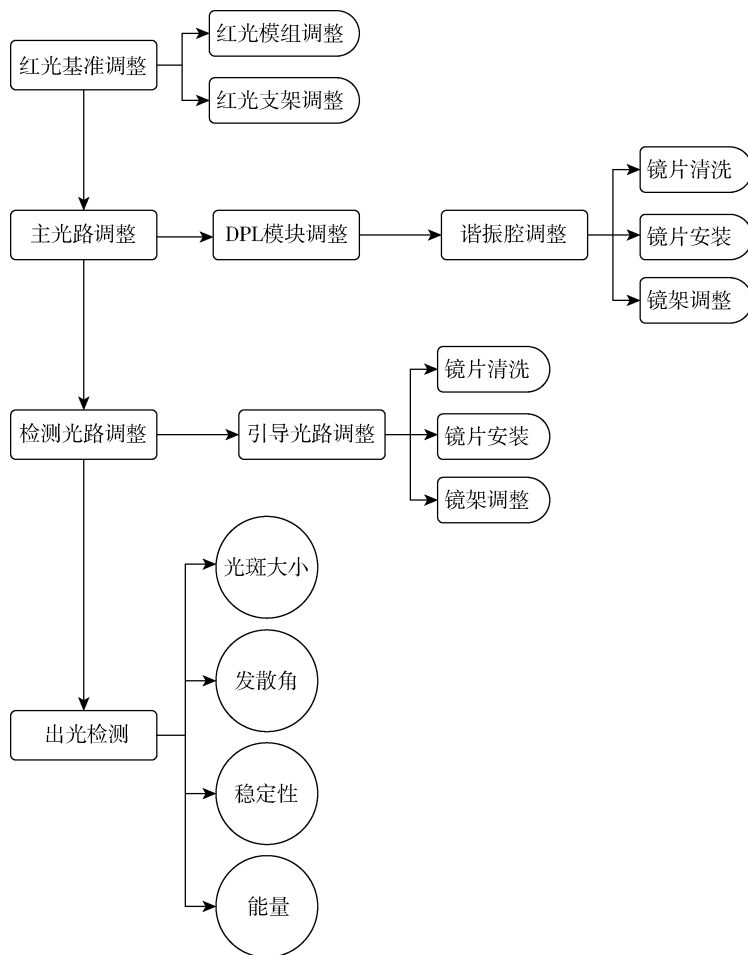


图 1-15 任务流程

### 二、工作任务

#### (一) 连续光路基准光路调整

基准光路调整是整个光路调试的第一步，也是最为重要的一步。基准光路调试的好坏，会影响后续的光路调试精度。红光模组调整需保证模组光斑大小合适；红光支架调整



需保证镜架所有支承弹簧受力均匀，无过度压缩或张开，保证红光模组位于镜架中间；红光基准光调整需保证红光依次从远、近端调光片中心通过。基准光路调整步骤见表 1-2。

表 1-2 基准光路调整步骤

步骤	步骤说明	步骤示意图	备注
步骤一	按下红光按钮，开启设备红光电源		
步骤二	调整红光模组光斑至合适大小		应注意光斑调整距离通常在 1.2 m 左右
步骤三	将红光模组安装至红光支架，并使用六角顶丝固定		
步骤四	从光路结构中移除 DPL 模块，便于基准红光调整		
步骤五	将调光片安装至光路两端		
步骤六	将红光支架安装至光学底板，大致调整红光支架位置，并使用六角螺栓固定紧固		
步骤七	调整红光支架调节丝杠，使红光依次通过调光片通光小孔		
步骤八	锁紧红光支架调节丝杠		锁紧过程中应注意光斑移动情况
步骤九	再次确认基准光是否调整到位；若无，则重复上述调整步骤		



步骤小结	在进行红光支架调整时，其调整顺序为近端—远端—近端—远端，调整时每次调整范围不宜太大，同时应尽量保证红光发生器位于镜架中心位置，红光调整完成后应立即将调整螺栓锁定，锁定后应再次检查红光是否发生偏移
考核评价	红光调整主要考核红光镜架结构和功能认知以及红光调试操作，考核点包括红光发生器安装、红光镜架调整以及镜架固定

## (二) 连续光路主光路调整

主光路调整主要是针对谐振腔镜和激光模组的调整，主光路调整的好坏直接影响着激光器输出激光的光束质量。主光路调整可分为激光模块安装调整和谐振腔安装调整。

激光模块安装调整可通过基准红光完成。通过观察基准红光的发生点和经连续激光模块工作物质端面反射的反射点是否重合，判断连续激光模块是否调整到位。连续激光模块调整应保证基准红光从其工作物质端面中心通过且经连续激光模块工作物质端面反射的基准红光点与发生点重合。

谐振腔安装调整主要分为谐振腔镜片清理、谐振腔镜片安装和谐振腔镜架调整，其调整应先通过基准红光完成谐振腔粗调，再通过激光输出光斑完成谐振腔精调。在谐振腔调整时，需保证谐振镜片清洁、干净，镜片安装紧固，红光位于镜片中间范围，谐振镜片镀膜面面向激光工作物质。谐振腔调整过程中，调整范围不宜过大，调整应保证谐振腔镜架所有支承弹簧受力均匀，无过度压缩或张开，调试激光光斑大、圆且与红光同心。调整完成后应立即将调整螺栓锁定，锁定后应再次检查激光是否发生偏移。主光路调整步骤见表 1-3。

表 1-3 主光路调整步骤




步骤	步骤说明	步骤示意图	备注
步骤一	检查激光模块端面是否清洁，若端面有污渍则应立即进行清洁操作		按照相应清洁规范
步骤二	安装激光模块，调整模块位置，使红光从两个端面中心穿过且端面反射的红光点与红光发射点重合		
步骤三	正确选择全反、半反镜片并对镜片进行清洁处理		
步骤四	正确安装全反、半反镜片		



续表

步骤	步骤说明	步骤示意图	备注
步骤五	安装全反镜架，调整镜架位置，使红光从镜片中心穿过且镜片反射的红光点与红光发射孔重合		
步骤六	安装半反镜架，调整镜架位置，使红光从镜片中心穿过且镜片反射的红光点与红光发射孔重合		
步骤七	按下水泵按钮，设备水箱开始供电		
步骤八	开启冷却水箱，检查水箱温度设置是否正确		
步骤九	检查各水路接口是否漏水		
步骤十	开启激光电源，观察报警指示灯是否正常		
步骤十一	检查设备周边环境，确认设备出光环境符合要求，开启激光电源工作按钮，DPL 模块开始供电		
步骤十二	将倍频片置于激光输出端，逐步调整电源输出电流，观察是否有激光输出，当有激光输出时停止电流调整		
步骤十三	观察倍频片上激光光斑是否符合要求，若光斑左右存在缺陷，则调整全反膜片和半反膜片架左右端调节丝杠。若上下存在缺陷，则调整全反膜片和半反膜片架上的上端调节丝杠，直到光斑较圆，且激光能量分布均匀，激光与红光同心		调节过程中应注意激光使用安全，尽量以调节全反膜片为主，若不得不调整半反膜片，则应注意激光辐射



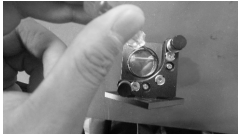


步骤	步骤说明	步骤示意图	备注
步骤十四	锁紧谐振腔镜架调节丝杠，再次确认光斑是否符合要求		
步骤十五	调整激光电源电流至 0 A，关闭激光电源工作按钮，撤下倍频片		
步骤十六	关闭激光电源，关闭冷却水箱，关闭设备水泵按钮，主光路调整完毕		
步骤小结	在谐振腔调整时，需保证谐振镜片安装紧固，且谐振镜片镀膜面面向激光工作物质。谐振腔调整过程中，调整范围不宜过大，谐振腔调整完成后应立即将调整螺栓锁定，锁定后应再次检查激光是否发生偏移		
考核评价	谐振腔调整主要考核谐振镜片安装和和谐振腔调整操作，考核点包括谐振镜片安装、谐振腔调整以及谐振镜架固定		

### (三)连续光路检测光路调整

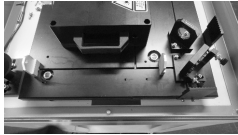
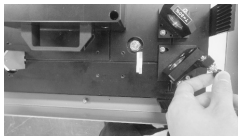

检测光路调整用于检测光束的方向引导和光束分光，相对于谐振腔镜架，其镜架结构简单，所以调整方式存在一定区别，调整操作应小心仔细。检测光路调整的好坏影响着光束质量检测的精度。检测光路调试主要分为引导、分光、衰减镜片的清理、安装和调整，其调整主要通过基准红光作为参考完成。检测光路调整步骤见表 1-4。

表 1-4 检测光路调整步骤

步骤	步骤说明	步骤示意图	备注
步骤一	正确选择引导、分光、衰减镜片并对镜片进行清洁处理		
步骤二	正确安装引导、分光镜片		
步骤三	根据任务要求安装衰减分光镜架，确保镜片分光正确		



续表

步骤	步骤说明	步骤示意图	备注
步骤四	将调光片安装至引导光路两端		
步骤五	调整引导镜架，使红光依次通过调光片通光小孔		
步骤六	安装 45°分光镜架，将调光片安装在能量检测两端，调整分光镜架，使红光依次通过调光片通光小孔		
步骤小结	在进行检测光路调整时，由于分光镜架通常没有调整螺栓，调整需通过移动镜架完成，所以在调整时，紧固螺栓不需要锁紧。在分光镜架调整完成后再进行紧固，紧固时需注意红光位置		
考核评价	检测光路调整主要考核分光路结构和功能认知，考核点包括分光镜片安装、分光镜架调整以及镜架固定		

### 三、任务评价

表 1-5 实操项目评分表

项目	项目要求	分值	得分
考核三：红光基准调整			
光路调整	红光模组光斑大小调整是否合适	2	
	红光支架支承弹簧受力是否均匀	2	
	红光模组是否位于红光支架镜架中间范围	2	
	基准红光是否依次从远、近端调光片中心通过	2	
	红光支架调整螺杆是否锁紧	2	
	红光支架固定螺栓是否锁紧	2	
考核四：激光模块安装调整			
光路调整	工作物质端面是否存在污染、水渍	2	
	工作物质端面清洗过程是否按照操作规范进行	2	
	激光模块调整后红光是否从工作物质两个端面中心穿过	2	
	激光模块调整后工作物质端面反射的红光点是否与红光发射点重合	2	
	激光模块及相关器件安装完成后是否紧固，无松动	2	



续表

项目	项目要求	分值	得分
考核五：谐振腔安装调试			
光路调整	谐振镜片是否清洁、干净	2	
	谐振镜片擦洗操作是否规范	2	
	谐振镜片安装是否紧固	2	
	谐振镜片镀膜面安装方向是否正确	2	
	谐振镜架安装完成后，基准红光是否位于光学镜片中间范围	1	
	谐振镜架安装完成后，支承弹簧受力是否均匀	2	
	调试光斑是否与基准红光同心	8	
	谐振镜架调整螺杆是否锁紧	2	
	谐振镜架固定螺栓是否锁紧	1	
考核六：检测光路安装调试			
光路调整	引导、分光、衰减镜片是否清洁、干净	2	
	引导、分光、衰减镜片擦洗操作是否规范	2	
	引导、分光、衰减镜片安装是否紧固	1	
	引导、分光、衰减镜片镀膜面安装方向是否正确	1	
	引导、分光、衰减镜架安装完成后基准红光是否位于光学镜片中间范围	1	
	引导、分光、衰减镜架固定螺栓是否锁紧	1	
考核记录			
自评分		互评分	
教师评分			
综合评价			

#### 四、任务总结

- (1) \_\_\_\_\_
- (2) \_\_\_\_\_
- (3) \_\_\_\_\_

#### 小知识

##### 半导体激光器

半导体激光器又称激光二极管，是用半导体材料作为工作物质的激光器。由于物质结





构上的差异,不同种类半导体产生激光的具体过程也各有特点。常用的半导体工作物质有砷化镓(GaAs)、硫化镉(CdS)、磷化铟(InP)、硫化锌(ZnS)等。激励方式有电注入、电子束激励和光泵浦三种形式。半导体激光器件可分为同质结、单异质结、双异质结等几种。同质结激光器和单异质结激光器在室温时多为脉冲器件,而双异质结激光器室温时可实现连续工作。

半导体二极管激光器是最实用、最重要的一类激光器。它体积小、寿命长,并可采用简单的注入电流方式来泵浦,其工作电压和电流与集成电路兼容,因而可与单片机集成,还可以用高达吉赫的频率直接进行电流调制以获得高速调制的激光输出。由于这些优点,半导体二极管激光器在激光通信、光存储、光陀螺、激光打印、测距以及雷达等方面得到了广泛的应用。

## 小 结

本任务主要介绍了连续激光光路调试流程,基准光路、主光路和检测光路的调整步骤及注意事项。

## 科技前沿

### 抢占“镓体系”半导体科技制高点

#### 助力实现光电子信息产业的率先突破

半导体科技的高水平自立自强,既体现在微电子(集成电路)科技在美西方封锁局势下的“自立”问题,又体现在光电子科技如何筑牢长板形成产业突破的“自强”问题。光电子信息产业的率先突破可以为微电子(集成电路)产业提供有力支持、配合和更有利的国际竞争环境。2022年6月,习近平总书记在听取湖北省光电子信息产业发展及核心技术攻关情况介绍时指出,光电子信息产业是应用广泛的战略高技术产业,也是我国有条件率先实现突破的高技术产业。

光电子信息产业的率先突破离不开高效率的半导体光电材料。镓相关物项包含金属镓、氮化镓、氧化镓、磷化镓、砷化镓等8项。除镓属于金属,其他7项均为含镓元素的化合物半导体材料,可统称为“镓体系”半导体,其主要特点是高光电转换效率和优异的电子输运性能,且能覆盖从紫外、可见光、红外、太赫兹一直到毫米波、微波的常用电磁波谱,是光电子信息产业中光电感知、传输的基石。

发展“镓体系”半导体科技对抢占新一代半导体科技制高点具有重要战略意义。

1.“镓体系”半导体科学内涵丰富,对筑强光子芯片长板起着关键基础作用

传统概念上的“镓体系”半导体材料与器件,基本都是在系统中独立封装、各司其职的分立元器件,包括在很多领域起到关键作用的器件,如半导体激光器、探测器、功率放大器、低噪声放大器、发光二极管等。广义的“镓体系”半导体概念更强调“体系”甚至是“生态”,强调“异质”集成理念及相关技术,也可以融合先进的集成电路芯片和制造



技术。

### 2. 发展“镓体系”半导体科技对我国抢占新一代半导体科技制高点具有重要战略意义

当前，基于硅体系的集成电路芯片发展最为成熟，已经形成了完整的体系生态。但硅体系是美西方掌握话语权的体系生态，我国使用先进的装备、制造技术、电子设计自动化(EDA)工具都会受到严格限制。要逐步扭转我国在集成电路芯片领域被动的局面，一方面要有底线意识，在集成电路赛道紧追不舍，并前瞻性地加强集成电路基础能力建设，逐步点亮集成电路科技自立自强的“灯塔”；另一方面要有长板思维，找准具有优势基础的领域布局新赛道，以抢占新一代半导体竞争的科技制高点。大力发展“镓体系”半导体科技，并形成“体系”和“生态”，将有助于我国确立在新赛道上的领先优势。

### 3. 我国“镓体系”半导体科技已有自主可控能力，具备抢占科技制高点的物质基础

长期以来，作为硅体系领跑者的美西方对发展“镓体系”半导体科技意愿不强、动力不足，我国的“镓体系”半导体科技追得比较紧，同美西方的差距相对较小。仅以中国科学院半导体研究所为例，从早期的砷化镓激光器、氮化镓激光器，到近期的高性能铟化镓红外探测器和激光器，以及氮化镓蓝光发光二极管，其科技工作的深度和水平同国际一流研发机构相比也基本能处于“并跑”行列。特别值得一提的是，我国还构建了卓有成效的攻关关键技术新型举国体制。另外，“镓体系”半导体科技的特点是不依赖最先进的制造技术也能制造出高性能的器件，不存在集成电路领域被先进光刻机“卡脖子”的问题。

## 任务三 连续激光光路检测

学生姓名：\_\_\_\_\_ 班级：\_\_\_\_\_

### 知识学习

在不同的应用中使用的激光器是不同的，激光器的输出特性直接决定了对激光光源的选择。激光光束参数可以分为时域特性参数、空域特性参数和频域特性参数三大类。激光光束时域特性参数包括峰值功率、重复功率、瞬时功率、功率稳定性等。对激光加工设备而言，激光的峰值功率是最为重要的时域特性参数，需要检测。激光光束空域特性参数包括激光光斑直径、焦距、发散角、椭圆度、光斑模式、近场和远场分布等。对激光加工设备而言，光斑直径、焦距和光斑模式是最为重要的空域特性参数，需要测量。激光光束频域特性参数包括波长、谱线宽度和轮廓、频率稳定性和相干性等。对激光加工设备而言，频域特性参数由生产激光器的设备厂家提供，一般无须测量。

#### 一、激光光束时域特性参数

##### (一) 输出功率(激光功率)

激光器发出的光是以光能形式出现的，与电能一样，光能也是一种能源。激光输出的