

大功率激光器阵列光束整形系统研究

叶武

深圳市烁立方科技有限公司 广东深圳

【摘要】随着激光技术的不断发展,不少大功率激光设备被广泛应用于国防军事、制造加工、布景照明等各个领域,具有十分广泛的市场前景。但许多大功率激光设备在工作时会产生边缘效应,导致输出光束的质量不好,制约了其在实际生活中的应用,因此需要对输出的激光束进行光束整形设计,以达到更好的使用效果。文章将从多个角度出发,列举说明大功率激光器广阔的应用范围和良好的发展前景,并介绍当前常见的大功率激光器种类和光束整形系统,列举它们各自的优缺点进行分析,为我国大功率激光器阵列光束整形系统研究提供一定的参考。

【关键词】大功率激光器; 激光器阵列; 光束整形

System of high-power laser array

Wu Ye

Shenzhen Shuo Cube Technology Co., LTD., Shenzhen, Guangdong

【Abstract】 With the continuous development of laser technology, many high-power laser equipment is widely used in national defense and military affairs, manufacturing and processing, set lighting and other fields, and has a very wide range of market prospects. However, many high-power laser devices will produce edge effect when working, resulting in the poor quality of the output beam, which restricts its application in real life. Therefore, the output laser beam is required for beam shaping design to achieve better use effect. The article will start from multiple angles, illustrate the high power laser wide application range and good development prospects, and introduce the current common high power laser and beam shaping system, list their respective advantages and disadvantages, for our high power laser array beam shaping system research to provide certain reference.

【Keywords】 high-power laser; laser array; beam shaping

前言

随着现代激光技术的发展,激光因其输出功率高、相干性高、方向性强等特点,被频繁应用于工业制造、信息传输、生物医学及日常生活当中,大功率激光器也在各个行业中发挥出了无可代替的作用,成为材料加工、国防安全、民生娱乐等多个领域中不可或缺的核心组件之一。但由于受到发光机制的影响,大功率激光器发射的激光束往往存在一定的缺陷,难以被直接使用,因此实际应用当中必须要先对激光束进行整形设计再进行利用;此外,一些特殊场合对激光的能量分布、光斑形状、发散角度等也有着不同的应用要求,因此如何通过整形处理得到更加符合条件的激光束成为了一个重要的研究热点,对激光行业的发展具

有重要意义。

1 研究背景

世界范围内对于激光领域的高度重视,使得大功率激光器的性能在不断提升,到目前为止,各种类型的新型激光器相继问世,它们根据工作物质的不同可以进行一定的分类。目前常见的大功率激光器有大功率半导体激光器、大功率光纤激光器、大功率全固态激光器等,其中半导体激光器相较于其它激光器有着体积小、重量轻、成本较低、电光转换效率高、使用寿命长等优点,因此被越来越广泛的应用于各种重要场合,在促进国民经济发展上起着重要作用。

在实际应用中,由于激光器发出的激光束通常为高斯型,虽然传播特性好,但光束中的能量分布不均

匀,导致光束质量不佳,使用时容易出现毛边、搭接痕迹明显等问题,同时非均匀分布的光强还会显著降低光使用效率,同时增加了热效应,无法在工作中达到最佳效果。所以现在很多激光应用领域会选择将激光器发出的高斯光整形成光强均匀分布的平顶光后再进行应用,这种整形技术根据工作原理的差异又可以分为空间和时间两个层面。时间光束整形的主要工作原理是通过改变激光能量在时间上的分布来获得更高的激光输出功率;空间光束整形则是采用各种光学手段使激光能量在空间上进行更好的分布,从而根据实际需求改变光束特点,实现更佳的使用效果。

综上所述,目前大功率激光器阵列的光束整形技术已经在激光应用研究中成为热点,由不同原理衍生出的各种光束整形系统各有优劣。本文将从多个角度出发,详细说明比较各种常见大功率激光器阵列和光束整形技术的优缺点,分析各种方法的优势与劣势,对大功率激光器阵列光束整形系统的研究来说具有一定的参考价值。

2 常见大功率激光器的种类

2.1 大功率半导体激光器

半导体激光器是以半导体材料作为工作物质的激光器,其主要工作原理是采取各种电子激励方式,使非平衡载流子的粒子数反转,大量电子与空穴复合,从而产生受激发射作用。大功率半导体激光器阵列更是具有电光转换效率高、体积小重量轻、结构简单、价格低廉等特点,被广泛的应用于诸多光电领域,成为了光电子科学的核心。

半导体激光器的研究始于上世纪60年代,基于Basov提出的“半导体材料能产生受激辐射”概念,美国科学家Hall研制出了第一代半导体激光器。但该激光器需要在极低的温度下才能工作,因此很难应用到实际生产当中;直到后期,随着新理论、新材料、新结构被发现,半导体激光器的研究有了长足进步,使用条件不再苛刻,制备工艺也日益成熟,大功率半导体激光器才逐渐被普及到各个领域当中。另外,由于腔体限制,单个半导体激光器的输出功率较小,因此在进行大功率激光输出时常采用阵列式构造,从而得到所需的激光功率。

2.2 大功率光纤激光器

光纤激光器是指以玻璃光纤作为增益介质的激光器,其主要工作原理是利用泵浦光在光线内形成高功率密度,使其激光能级发生粒子数反转,在加入正

反馈回路形成谐振腔之后实现激光振荡输出。正是因为光纤激光器的工作特点,谐振腔内不需要加光学镜片,因此具有无需调节维护、稳定性好的特点,被广泛应用于通信、医疗、计量校准、传感仪器等多个领域。

最早的光纤激光器由科学家Snitzer等人于1961年研发制成,但受限于光纤微小的尺寸和难以承担高功率输出的问题,导致其一直难以获得较大的发展。直到1988年包层设计的提出解决了这些困难,从此光纤激光器步入了快速的发展。制造工艺的持续进步更是极大的提升了光纤激光器的最大输出功率,成功满足了大部分行业对于高功率激光束的需求,大功率光纤激光器也因此被推广开来。

2.3 大功率全固态激光器

全固态激光器是在以半导体激光器或半导体激光器阵列作为泵浦源的基础上,以特殊晶体或者玻璃介质作为增益介质的激光器。由于大功率半导体激光器成为了当前激光研究中的热潮,因此带动大功率全固态激光器也取得了相当大的成效。由于该类激光器核心部件不需要应用到液体或者气体,因此具有体积小重量轻、使用寿命长、可靠性好、转换效率高特点,被广泛应用于各种场合,具有良好的市场前景。

最早的固态激光器诞生于1964年美国的MIT林肯实验室,与传统激光器相比较,固态激光器的总体效率更高,输出可靠性也更强,在输出功率和光束质量方面有着其它激光器难以比拟的优势,因此在制造加工和国防安全领域有着极大的发展潜力。按照增益介质的形状,大功率全固态激光器主要可分为应用最广泛的圆棒激光器、实现大功率输出的板条激光器以及薄片激光器、光纤激光器等。由于科技壁垒的存在,我国对全固态激光器的研究起步较晚,不过近年来在相关领域还是取得了相当迅猛的发展。

3 光束整形系统的设计

3.1 平顶光物理模型

将激光器阵列输出的高斯光束整形成平顶光,即需要使光束的光强满足均匀分布,因此必须选择合适的函数来表征输出的光强。其中圆域函数虽然能简单表征平顶光束能量均匀分布的物理模型,但无法描述其传输特性;其它函数如费米狄拉克函数、超高斯函数等数学模型又过于复杂,计算不够便捷;因此可以选取平顶洛伦兹模型作为平顶光物理模型,以方便后续研究,如图1所示。

图中 I_{in} 表示入射光光强, I_{out} 表示出射光光强, r_1 表示入射光线的投射高度, r_2 表示出射光线的投射高度, w_0 表示高斯光束的束腰半径, R_0 表示平顶光半径, $z(r_1)$ 和 $z(r_2)$ 表示两面非球面的面形函数^[1]。

3.2 常见的光束整形系统

为了使大功率高斯激光束的能量均匀分布以达到更好的使用效果, 需要对高斯光束进行整形, 从而满足不同情景下的使用需求。目前主要的光束整形方式有以下几种:

(1) 光阑整形系统, 即使用光阑对高斯光进行拦截, 从中提取出自己需要的光场分布, 从而得到光强分布较为均匀的光束, 如图 2 所示。这种整形系统是最早使用的光束整形系统, 但缺点在于能量使用效

率不高, 损耗十分严重^[2]。

(2) 折射整形系统, 即利用折射元件对激光束中的高密度能量进行分散, 从而得到强度均匀的光束。按折射元件的外形轮廓特点, 折射整形系统可以分为许多不同的种类, 当前应用较多的是非球面整形系统, 如图 3 所示。该方法的特点在于整形效果较好, 但非球面元件的加工难度较大, 容易产生严重的波前畸变。

(3) 衍射整形系统, 即利用衍射元件对激光束的相位进行调整, 目前比较常见的是利用液晶的动态散射特性, 将扭曲的液晶器件作为纯相位光调制器, 通过改变外部施加的电压来改变液晶的折射率, 达到调制入射光的效果^[3], 其原理如图 4 所示。该整形系统虽然有着体积小、质量轻的优点, 但是设计复杂, 加工难度较高, 难以取得广泛的应用。

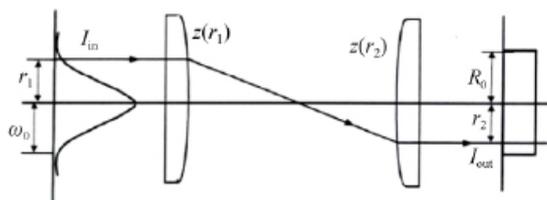


图 1 光束整形模型^[1]

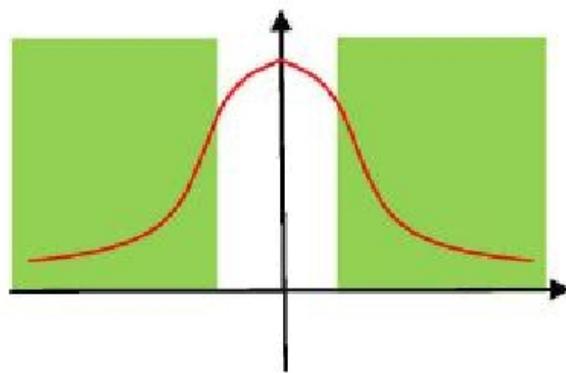


图 2 高斯光束光阑拦截示意图

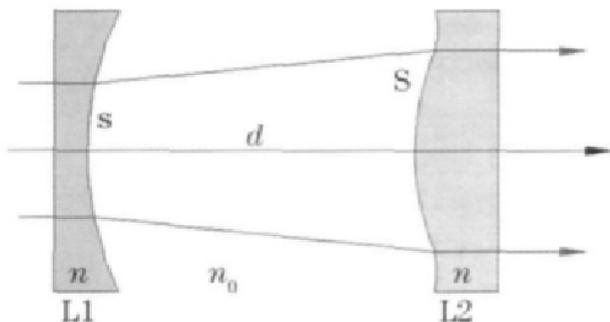


图 3 非球面整形系统示意图

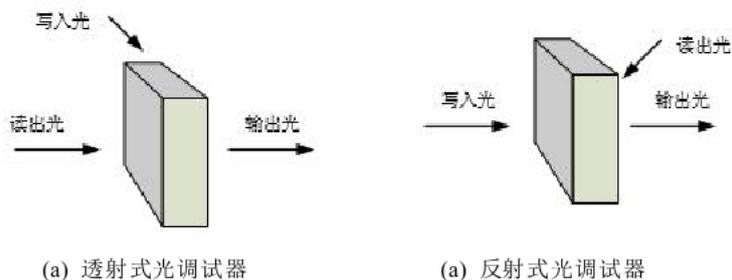


图 4 空间光调制器示意图

(4) 偏振整形系统, 即利用起偏器、偏振单元和检偏器使通过的激光具备不同的偏振状态, 从而得到检偏后的均匀光。该方法可以有效减轻激光加工中的阈值效应, 提高加工半径, 但缺点在于对偏振设备的要求较高, 只能针对特定参数的光束进行整形, 通用性不强, 难以推广使用。

(5) 微透镜阵列整形系统, 即让入射光束通过微小透镜排列出来的阵列结构来改善光束的不均匀性, 从而实现对接光束的整形效果。其优点在于转换效率高、能量利用率高, 但对入射光束的强度不敏感, 而且容易在整形过程中出现干涉现象。

4 总结

文章首先列举说明了大功率激光器所具有的广阔应用范围和良好市场前景, 随后介绍当前常见的大功率激光器种类和介绍了多种基于不同原理光束整形系统, 并列举它们各自的优缺点进行分析, 为我国大功率激光器阵列光束整形系统研究提供了一定的参考。

参考文献

[1] 李党娟, 王佳超, 陈阳, 杨金亮, 吴新宇, 苏俊宏. 大功率长焦

深高斯光束整形设计[J]. 光学精密工程, 2020, 28(10): 2129-2137.

[2] 庄雯, 张宁, 徐熙平, 等. 用于激光光束整形的连续自由曲面的设计[J]. 光学技术, 2019, 45(1): 21-28.

[3] 夏国才, 孙小燕, 段吉安. 用于实现激光高效率加工的光束整形技术[J]. 激光与光电子学进展, 2012, 49(10): 16-25.

收稿日期: 2021 年 7 月 9 日

出刊日期: 2022 年 10 月 12 日

引用本文: 叶武, 大功率激光器阵列光束整形系统研究[J]. 国际机械工程, 2022, 1(3): 13-16
DOI: 10.12208/j. ijme.20220025

检索信息: 中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS