

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 1-0231-04

高功率激光系统中杂散光分析的计算机辅助设计

莫磊 粟敬钦 王方 王文义 刘兰琴

(中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

摘要 基于高功率固体激光系统中杂散光的分析结果,利用 Wildfire-PRO/E3.0 软件将系统中鬼像在装置结构模型中进行了三维可视化仿真,建立了描述鬼像分布的仿真模型。利用该模型可对装置中可能产生的一阶至多阶鬼像位置进行全面显示,可从各个角度观察鬼像分布情况,便于排除无危害的鬼像。同时,对典型位置的鬼像危害进行了分析,提出了规避鬼像危害的方法和措施。研究结果为高功率固体激光装置的杂散光管理提供了有力支撑。

关键词 鬼像可视化; 杂散光; 鬼像; 高功率固体激光装置

中图分类号 O436 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL200936s1.0231

CAD of the Modeling Stray Light in the High Power Laser System

Mo Lei Su Jingqin Wang Fang Wang Wenyi Liu Lanqin

(Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)

Abstract According to the analysis of stray light in high power solid-state laser system, the ghost image was 3D demonstrated in the structure model of the facility by software Wildfire-PRO/E3.0. The simulation model to describe the ghost-image distribution was also established. The position of the one-or-more order ghost image in the facility can be fully displayed in all directions so that the ghost-image harmfulness can be easily found. The hazard analysis of typical ghost-image was made and method to avoid the damage of ghost image was put forward. The research results will be in favor of stray light management.

Key words ghost image for optical-path simulation; stray light; ghost image; high power solid-state laser system

1 引言

杂散光是光学系统中所有非正常传输光的总称,对光学系统性能的影响因系统不同而变化。在高功率激光装置中鬼光束对元件安全造成威胁,光束会聚点的位置和会聚光斑光强的定量分析成为光学设计工作中的一个重要环节^[1~4],因此对杂散光作定量分析对高功率激光系统设计是非常必要的。

本文针对目前国内最大的高功率激光装置,基于自行研制的光线追迹软件对杂散光分析结果采用计算机辅助设计(CAD)方法在装置的三维结构模型中形象、直观地显示了鬼像的分布情况;并对典型位置的鬼像危害进行了分析,提出了可采取的规避措施^[5,6]。研究结果为装置的杂散光管理和系统优化设计提供了有效的参考依据。

2 鬼像的形成机理

在进行光路系统设计时,通常主要考虑的是有

用光的传输与交换,对于各种杂散光则考虑得很少。当入射光通量较小时这些杂散光的影响是可以忽略的,但当光通量较大时则必须予以考虑,否则就有可能对元件造成损伤。对于高功率激光系统,即便极小部分的杂散光,经过增益介质的放大,透镜的聚焦,及其互相之间的叠加,杂散光汇聚形成的鬼像点都有可能对元件造成很大的损伤,甚至是永久性的破坏,因此分析和控制杂散光成为高功率激光装置的重点研究内容之一^[1~4]。如图 1 所示是多个元件系统中的鬼像点示意图。

3 高功率固体激光装置中的鬼像

高功率激光装置主要由前端、预放、主放、靶场、测量、能源及其他辅助系统组成,其中,主放光路占整个光路的绝大部分,是高功率激光系统的关键部分,我国正在建造的最大的高功率激光装置主放光路中,整个主放光路可分为主放大级、助推级和反转

器三部分,中间由空间滤波器连接。

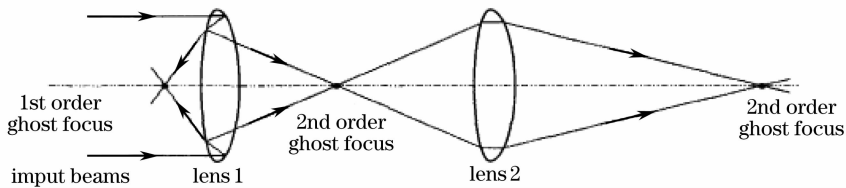


图 1 多个元件系统中的鬼像点示意图

Fig. 1 Ghost image formation by multiple lens

利用自行研制的鬼像追迹软件得到一阶至五阶的鬼像分布,其中,一阶鬼像有 30 个,二阶鬼像有 179 个,三阶鬼像有 747 个,四阶鬼像有 3099 个,五阶鬼像有 10926 个^[5,6]。对如此多的鬼像进行分析是非常繁琐和庞大的工作,采用计算机辅助设计手段准确、快速判断鬼像位置和危害是非常重要的^[7~11]。

4 杂散光分析的 CAD 模型

杂散光分析的 CAD 模型是在建立全光路等效模型的基础上,根据自行研制的鬼像分析软件对全光路进行的鬼光束追迹结果,将各个鬼像的相对坐标转换为绝对坐标,最后结合能量计算模块利用 Wildfire-PRO/E3.0 软件生成杂散光三维模型,并在光机模型的三维场景下实现三维显示,并分析杂散光与光机模型干涉情况,显示干涉作用区域和杂散光强度,从而快速有效地对杂散光进行分析,杂散光分析的 CAD 设计流程图见图 2。

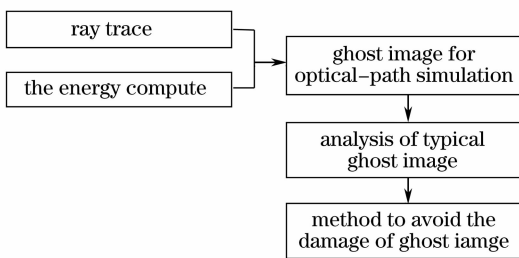


图 2 鬼像可视化设计流程图

Fig. 2 Block diagram of ghost image optical-path simulation

利用 Wildfire-PRO/E3.0 软件将系统中鬼像在装置结构模型中进行三维可视化仿真,建立描述鬼像分布的仿真模型;并对模型中的所有鬼像进行观察和分析,对关键位置的鬼像寻源,估算强度和鬼像能量,对破坏性鬼像进行标注和具体分析;在完成整体光路鬼像分析的前提下,对保护元件不受破坏提出规避方案,为装置的设计和改造提供了有效的参考依据。

5 典型位置的鬼像分析

利用 Wildfire-PRO/E3.0 软件将鬼像组件装配到全光路模型中,如图 3 所示,一阶鬼像点装配到装置模型中的部分效果图,图中小球表示系统中的鬼像点。

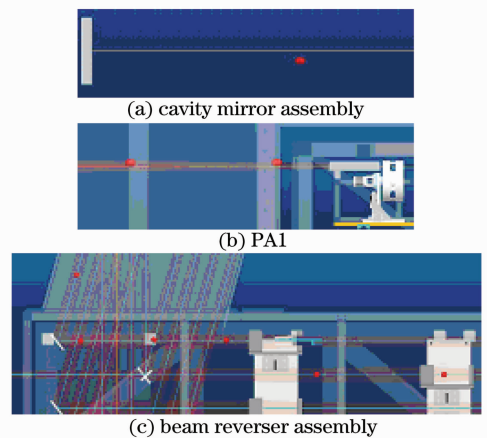


图 3 典型一阶鬼像点分布图

Fig. 3 Typical 1st order ghost-image distribution

一阶鬼像共 30 个,主要分布在注入透镜前、腔反射镜(CM)附近和 PA1 及 PA2 小孔板附近,空间滤波器内部。如图 3(a)所示,CM 附近有一阶鬼像,经分析该鬼像是由二程光在 L1-B 面上的剩余反射,在 CM 处的鬼光束光斑约为 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$,能量约 1 J,与四程光一致,由此得出在 CM 旁加吸收体进行吸收能有效地规避该鬼像所造成的威胁。如图 3(b)所示,小孔转轮附近有一阶鬼像,经分析二程光在透镜 L3-B 面上的剩余反射后经过放大器 AMP2 放大后,由 L2 会聚,被小孔转轮 PA1 遮挡,光斑口径约 $30\text{ mm} \times 30\text{ mm}$,能量 3J。由可视化图形看出鬼像未落在光学元件上,不会对其造成危害。

图 4 所示为二阶鬼像点装配到装置模型中的部分效果图,图中小球表示系统的鬼像点。

二阶鬼像一共 179 个,主要分布在注入透镜附近、PA1 和 PA2 小孔板附近、空间滤波器内部以及放大器内部。如图 4(a)所示为 AMP1 放大器第二

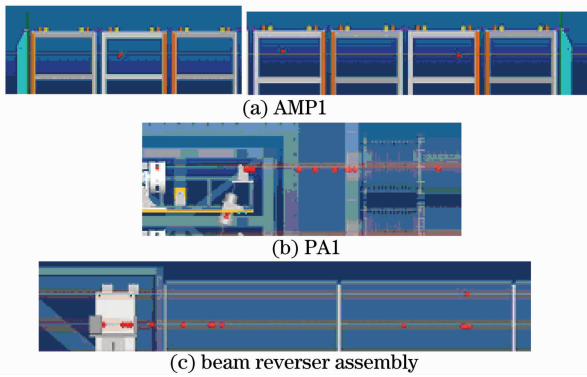


图 4 典型二阶像鬼点分布图

Fig. 4 Typical 2nd order ghost-image distribution

张片有两个二阶鬼像,没有聚焦在钼玻璃片上,鬼像能量小于 7 mJ,因此不会造成破坏;AMP1 放大器第六张片附近的鬼像,能量约 180 mJ,由可视化图形分析不在元件上,但距离元件很近,该鬼像具有一定的风险,应采取相关措施加以避免;AMP1 第八张片附近有两个二阶鬼像,该鬼像经过小孔 PA1 被遮挡,能量很小,因此不会造成破坏;图 4(b)中看出,在小孔转轮后,鬼像不在光学元件上,因此不会对光学元件造成危害;图 4(c)中可以看出,反转器组合透镜 L51/ L52 附近存在大量鬼像,能量约 6 mJ,但鬼像未直接落在元件上,不会造成破坏。

图 5 所示为三阶鬼像点装配到装置模型中的部分效果图,图中小球表示系统中的鬼像点。

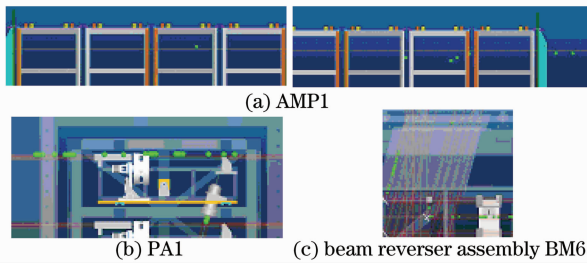


图 5 典型三阶鬼像点分布图

Fig. 5 Typical 3rd order ghost-image distribution

三阶鬼像一共 747 个,在光路的主要部分均有分布,图 5(a)所示为 AMP1 第三张片附近存在鬼像,其能量为 1.8 mJ,不会造成破坏;第八张片附近存在三个鬼像,能量分别为 0.1 J、0.7 mJ 和 3 mJ,在未聚焦于元件上的情况下,不会造成破坏;但 873 号鬼像具有一定的风险,应采取排除或吸收;图 5(b)所示为小孔转轮附近鬼像较多,但能量都很小,除了 897 号是 8 mJ 外,其他都在 0.1 mJ 以下,不会造成破坏;IM0 附近存在三个鬼像,能量小于 3 mJ,不会造成破坏;图 5(c)所示为反转器中 BM6 附近有三个鬼像,能量小于 0.6 mJ,不会造成

破坏;反转器透镜附近有大量鬼像,但能量都在 0.6 mJ 以下,未聚焦在元件上,不会造成破坏。

图 6 所示为四阶和五阶鬼像装配到装置模型中的部分效果图,图中小球表示系统中的鬼像。四阶鬼像一共 3099 个,五阶鬼像一共 10926 个,在光路的主要部分均有分布。主放部分的四阶和五阶鬼像能量非常小,因此不会对元件造成威胁。

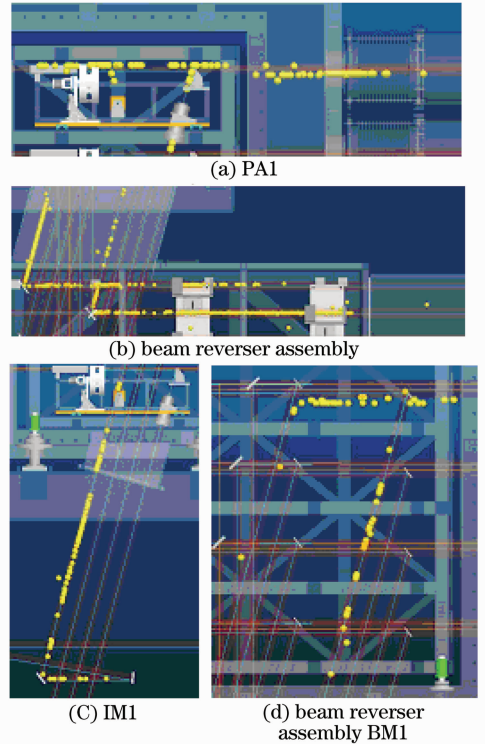


图 6 典型四阶和五阶鬼像点分布图

Fig. 6 Typical ghost-image distribution with 4th and 5th order

通过全系统鬼像分析,确认选取的透镜光学参数能够保证三阶以下的鬼像未直接落在光学元件上;在后期采取管理措施的时候,首先需要对个别关键参数进行控制,对能量较大的鬼像要设计特殊吸收体进行吸收;对具有一定风险的鬼像,在装置低通量运行时必须加以注意,以保证装置在高通量运行时,将鬼像破坏的风险降到最低;在小孔转轮和小孔板的选材及加工时都应该考虑到具有一定的吸收激光和抗激光辐照的能力;由于小孔转轮附近具有较多的杂散光,应考虑对小孔转轮前后一个相当长的管壁上进行特殊处理,用于吸收杂散光,至少应保证无镜面反射。

6 结 论

采用计算机辅助设计方法,对高功率固体激光

装置中鬼像进行了三维可视化研究,建立了鬼像三维可视化仿真模型。该模型便于确定鬼像的位置和危害,是分析装置中鬼像的有效辅助工具。鬼像的可视化分析结果为装置的杂散光管理提供了有效的参考依据,也为装置的光设计和结构设计提供了有力支撑。

参 考 文 献

- 1 Deng Shitao, Li Xiaotong, Cen Zhaofeng *et al.*. Paraxial calculation and analysis of the ghost in technical integration line [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2004, **31**(9): 10~13
邓诗涛, 李晓彤, 岑兆丰等. 神光Ⅲ原型装置中鬼像的近轴计算与分析[J]. 光电工程, 2004, **31**(9): 10~13
- 2 Zhuang Dakui, Lin Zunqi, Guan Xiaopeng *et al.*. Analysis and calculation for the ghost in SHENGUANG II high power laser system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(5): 582~585
庄大奎, 林尊琪, 管小鹏等. 神光Ⅱ高功率激光系统中鬼像计算与分析[J]. 光学学报, 2002, **22**(5): 582~585
- 3 Wang Fang, Zhu Qihua, Zhang Qingquan *et al.*. The relations between the first-order ghost image and the focal length in the high power laser facility[J]. *Laser Technology*, 2005, **29**(3): 334~336
王 方, 朱启华, 张清泉等. 高功率激光装置中透镜一阶鬼点形成规律分析[J]. 激光技术, 2005, **29**(3): 334~336
- 4 Tan Jichun, Jing Feng, Zhu Qihua *et al.*. Stray light inside multi-pass laser cavity of the SG-III prototype module[J]. *High Power Laser and Partical Beams*, 2000, **12**(2): 159~163
谭吉春, 景 峰, 朱启华等. 多通放大器腔内的杂散光[J]. 强激光与粒子束, 2000, **12**(2): 159~163
- 5 Feng Guoying, Chen Jianguo, Ma Zairu *et al.*. Locating the near axial ghosts in the high power laser system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(5): 632~635
冯国英, 陈建国, 马再如等. 高功率激光系统中近轴鬼像点的寻找[J]. 光学学报, 2003, **23**(5): 632~635
- 6 Li Xiaotong, Cen Zhaofeng, He Zhiping *et al.*. Data structure of stray light analyzing in high power laser systems [J]. *Laser and Infrared*, 2002, **32**(5): 295~297
李晓彤, 岑兆丰, 何志平等. 大功率激光光学系统杂散光分析的数据结构[J]. 激光与红外, 2002, **32**(5): 295~297
- 7 Jing F., Zhang X. M., Zhu Q. H. *et al.*. Design optimization for main amplification stage of technical integration line [C]. *SPIE*, 1998, **3492**: 328~333
- 8 Miller J., Edward R., Schweyen J. *et al.*. National ignition facility main laser stray light analysis and control [C]. *SPIE*, 1998, **3492**: 300~305
- 9 Deng Shitao, Li Xiaotong, Cen Zhaofeng *et al.*. Mitigating damage of the ghost in high power laser facilities by real ray trace [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(5): 585~588
邓诗涛, 李晓彤, 岑兆丰等. 高功率激光装置中鬼像的模拟-应用实际光线追迹法[J]. 光学学报, 2005, **25**(5): 585~588
- 10 Li Yinzhu, Li Liangyu, Dai Yaping *et al.*. Ghost reflection analysis for the high power laser system [J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(8): 677~680
李银柱, 李良钰, 戴亚平等. 高功率激光装置中的鬼点反射分析 [J]. 中国激光, 2001, **A28**(8): 677~680
- 11 Ma Zairu, Liu Wenbing, Feng Guoying *et al.*. The position formulations of the low-order ghost images in the high power laser system [J]. *Laser Journal*, 2003, **23**(4): 55~58
马再如, 刘文兵, 冯国英等. 高功率激光系统的低阶鬼点位置公式 [J]. 激光杂志, 2003, **23**(4): 55~58