

文章编号: 1001-5078 (2006) 10-0977-04

高强度三倍频激光束取样测量方案设计

王成程, 贾怀庭, 向勇, 马驰, 袁静, 冯斌, 景峰, 魏晓峰

(中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

摘要:文中介绍了现阶段我国新一代高功率固体激光驱动器靶场系统高强度三倍频激光束能量的取样测量方案设计情况, 并对方案设计过程中的光束传输情况进行了计算分析, 方案设计结果对大型激光驱动器的建造具有一定的指导意义。

关键词:激光技术; 惯性约束聚变; 高功率固体激光驱动器; 光束取样

中图分类号: TN248 **文献标识码:** A

Design of the High Power Third Harmonic Sampling Beam Diagnostics

WANG Cheng-cheng, JIA Huai-ting, XIANG Yong, MA Chi, YUAN Jing, FENG Bin, JING Feng, WEI Xiaofeng
(Research Center of Laser Fusion, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: In the paper, the design of the high power third harmonic sampling beam diagnostics technique in target field system has been introduced, and the analysis of the method is also discussed here. The methods and results reported in the paper are applicable to the design of high power solid laser amplifier system.

Key words: laser technique; inertial confinement fusion; high power solid state laser facility; sampling beam

1 引言

在激光惯性约束聚变研究过程中, 随着高功率固体激光驱动器技术的不断发展, 激光装置输出的三倍频光束能量和功率密度不断提高到新的水平, 激光驱动器输出激光能量达到了 MJ 量级^[1]。为满足物理实验对激光束输出能量和功率密度的要求, 这些驱动器在建造过程中, 都采用了多束激光系统组合的束组打靶方式。靶场系统作为激光驱动器的终端, 将完成高强度基频光束的三次谐波转换、光束的谐波分离、三倍频光束取样测量以及聚焦打靶等物理过程。为了降低装置的造价, 优化装置靶场系统的光路排布, 以美国 NF 装置、法国 LMJ 装置为代表的激光驱动器, 都采用了大口径衍射光栅作为三倍频光束能量取样测量元件的技术方案, 并成功开展了相关实验^[2-3]。

在我国新一代高功率固体激光驱动器的建造过程中, 靶场系统三倍频光束能量的取样测量方案采

用了衍射光栅进行取样的方法^[4-5]。但到目前为止, 大口径衍射光栅取样测量元件的加工制作以及光学元件复合膜层损伤阈值的提高仍然存在着较大困难^[6]。为此, 我们对驱动器靶场系统的光路排布与终端光学组件的结构设计进行了调整。针对驱动器靶场光束控制的基本要求, 对装置靶场光束取样测量技术进行了仔细研究。基于光束空间纵向谐波分离方案基础, 提出了利用打靶透镜后表面剩余反射光进行取样测量的工程设计方案, 以期解决在高强度激光束输出情况下的三倍频光束能量取样测量问题。本文介绍了该方案的设计情况, 并对结果进行了分析和讨论, 对大型固体激光驱动器的建造具有一定的参考意义。

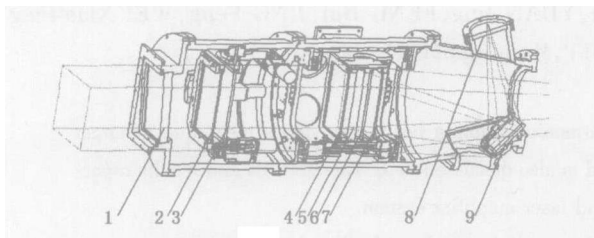
基金项目: 国家 863 计划惯性约束聚变领域资助项目。

作者简介: 王成程 (1974 -), 男, 助理研究员, 主要从事高功率固体激光技术研究。E-mail: wchch_caep@sina.com

收稿日期: 2006-04-25

2 取样测量方案基本原理

在我国新一代激光装置靶场系统的设计中,型终端光学组件作为靶场系统最重要的单元组件之一,集成了真空窗口模块、倍频器模块、聚焦透镜模块和真空过渡段及取样模块。三倍频器模块内装频率转换晶体,将波长为 $1.053\mu\text{m}$ 的基频光转换成 $0.351\mu\text{m}$ 的三倍频光。聚焦透镜模块包含了非球面打靶透镜、衍射光学元件以及防护片。打靶透镜的功能是将三倍频光聚焦至物理靶上;防护片的主要功能是,防止物理靶溅射的碎片附着在其它光学元件表面上对光学元件造成污染,而引起光学元件的损伤,见图 1。用来完成三倍频光束能量和脉冲时间波形全口径取样测量的参数诊断模块捆绑于型终端光学组件上,主要完成三倍频取样光束能量、脉宽及功率的测量,模块主要设计指标为:(1)诊断波长: $0.351\mu\text{m}$;(2)脉冲能量测量范围: $0.5 \sim 4\text{J}$;(3)时间波形测量范围: $0.5 \sim 5.0\text{ns}$;(4)脉冲功率测量精度: $\pm 2.5\%$ (RMS)。



1 - 密封窗口玻璃 2 - 二倍频晶体 3 - 混频晶体
4 - 谐波分离与取样光栅 5 - 聚焦透镜 6 - 焦斑整形光栅
7 - 防护片 8 - 取样窗口 9 - 取样反射镜

图 1 型终端光学组件光学结构及原理图

Fig 1 schematic diagram of the type final optics system

为了在没有取样光栅的条件下完成对三倍频光束能量和脉宽的全口径取样测量,取样光路系统的基本设计思路为:利用原型装置前端预放系统液晶光阀的可编程控制作用,在光束中心形成 $80\text{mm} \times 80\text{mm}$ 的中心空心通道,在此空心通道内完成取样光束系统中相关光学元件的安放和排布。在不改变装置结构的情况下,我们在 II 型终端光学组件的基础上进行了光学设计,见图 2。利用非球面打靶透镜输出光束面剩余反射光 (0.5%) 反向传输取样,反向传输的激光束缩束后在型终端光学组件内倍频晶体与真空窗口之间汇聚为一点,光束聚焦以后以发散光束传输至型终端光学组件窗口外 20mm 处,经过非球面传输小透镜 L1 后继续向后缩束传输,通过以辅助支撑结构安装在型终端光学组件窗口前的色分离镜 M1 将光束转向传出,再经色分

离镜 M2、反射镜 M3 传至参数测量诊断包,完成三倍频光束能量和脉宽的全口径取样测量。

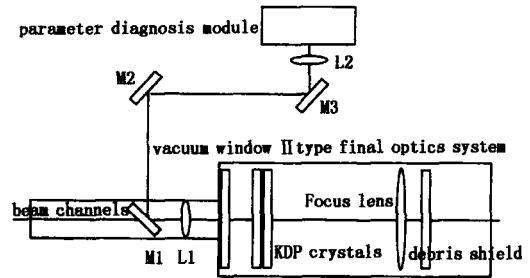


图 2 三倍频光束取样原理示意图

Fig 2 schematic diagram of the 3rd harmonic beam sampling

3 方案设计中物理问题计算分析

3.1 取样光束反向传输特性分析

由打靶透镜输出面反射取样回来的光束将再次经过聚焦透镜和倍频晶体,为了满足参数诊断包对全口径取样光束的参数要求以及光路中加入元件的具体位置,采用将反向传输的汇聚光束经过焦点后发散传输、再汇聚传输、最后平行传输的设计方法,如图 3 所示。经计算可知,由透镜后表面反射回来的汇聚光束的焦距为 828mm ,结合终端光学组件内部元件空间位置的排布,我们在型终端窗口前 20mm 位置处选用非球面凸透镜进行光束传输,此时到达非球面小透镜 L1 的光束口径为 $60\text{mm} \times 60\text{mm}$ 。

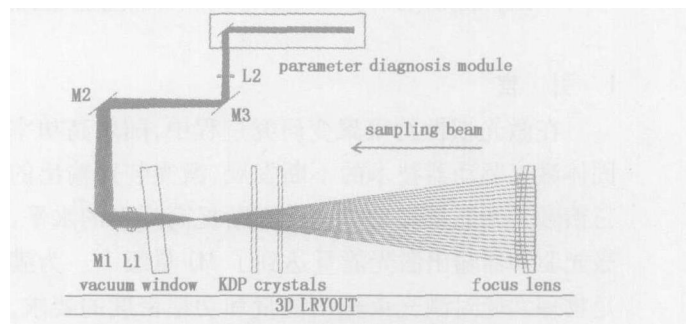


图 3 取样光束反向传输特性分析

Fig 3 the schematic diagram of the 3rd harmonic beam sampling transmission

由于用来反向传输激光束的打靶透镜后表面、传输凸透镜组合而成的共焦系统,受到诸多条件的限制,我们利用 Zemax 光传输系统设计软件对取样光路系统进行了仔细的设计,设计结果如图 4 所示。另外,反向取样三倍频光束在型终端光学组件中二倍频晶体表面以及真空窗口位置处的光束口径分别为 $45\text{mm} \times 45\text{mm}$ 、 $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ 。

根据图 4 中计算结果可知,取样光路中各光学元件位置处的三倍频光束输出口径以及光束近场分

布,均满足参数诊断模块对能量和光束脉宽的测量要求。

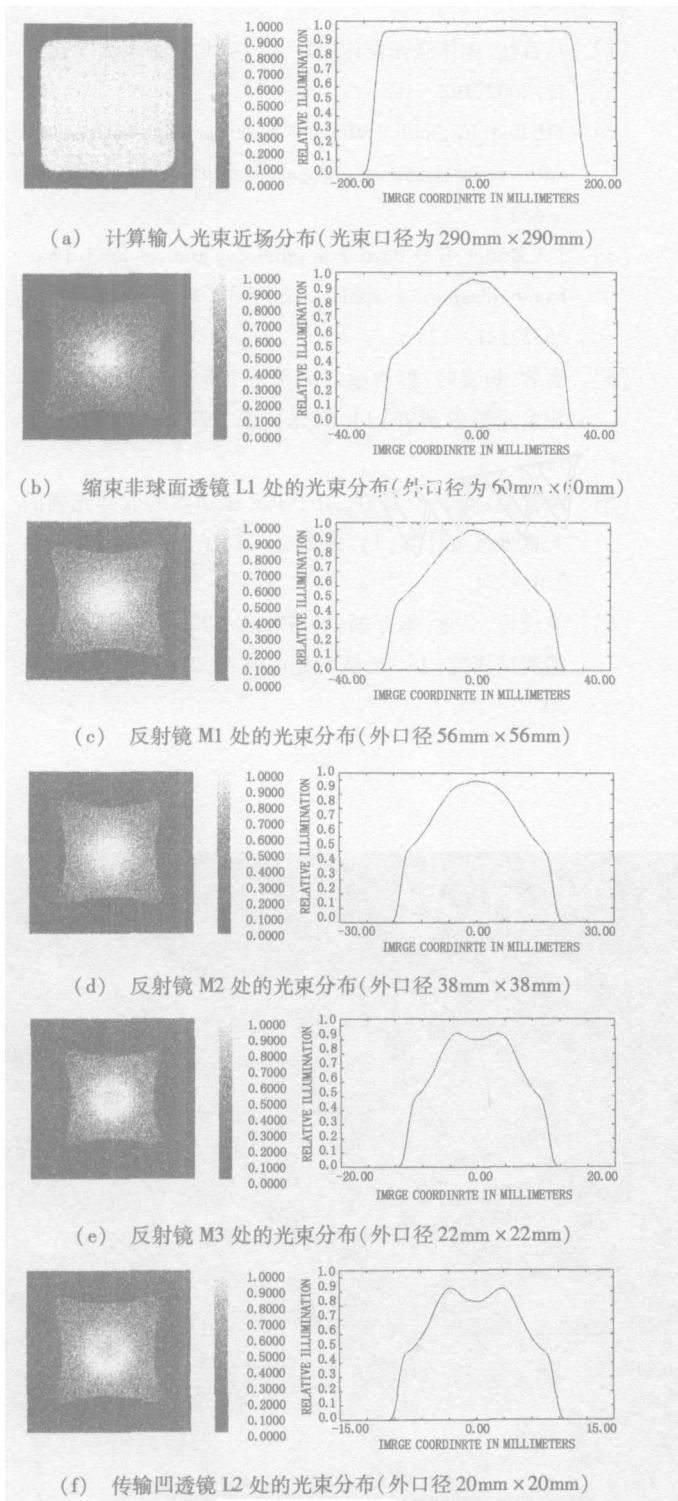


图4 取样光路中各光学元件处三倍频光束传输特性分析

Fig 4 the analysis result of 3rd harmonic beam sampling transmission on each optics element

3.2 取样光束元件承受的激光束通量分析

由于终端光学组件内的光学元件运行在高强度激光辐照条件下,因此对取样系统光学元件必须考

虑其膜层损伤阈值问题。根据原型装置打靶透镜设计输出参数值($T_3 > 99.5\%$),我们分两种情况进行计算分析,计算条件如下:

1)注入基频光脉宽为 1ns情况下

基频光输出能量: 2400J;

靶场传输反射镜损耗: 5%;

光束中心挖空区域损失能量: 8.9%;

三倍频器外转换效率 60%;

三倍频器单程损耗: 10%;

打靶透镜后表面取样反射率为 0.5%;

光束近场调制度为 2:1;

反射镜 M1、M2、M3 的三倍频膜层反射率分别为 50%、50%、99%。

根据以上计算条件,传输光束能流分布计算结果为:取样光束能量 $E = 2400J \times 0.95 \times 0.911 \times 0.6 \times 0.005 \times 0.9 = 5.6J$;在这种情况下,打靶透镜膜层承受的激光辐照平均通量为 $2.3J/cm^2$,若考虑光束调制度的影响,则峰值通量为 $4.6J/cm^2$;传输小透镜 L1、反射镜 M1、M2、M3、L2 元件承受的三倍频激光辐照平均通量分别为 $0.16J/cm^2$ 、 $0.18J/cm^2$ 、 $0.19J/cm^2$ 、 $0.29J/cm^2$ 、 $0.35J/cm^2$,若考虑光束调制度的影响,则峰值通量分别为 $0.32J/cm^2$ 、 $0.36J/cm^2$ 、 $0.38J/cm^2$ 、 $0.58J/cm^2$ 、 $0.70J/cm^2$ 。

2)注入基频光脉宽为 3ns情况下

基频光输出能量: 3400J;

靶场传输反射镜损耗: 5%;

光束中心挖空区域损失能量: 8.9%;

三倍频器外转换效率 60%;

打靶透镜后表面取样反射率为 0.5%;

三倍频器单程损耗: 10%;

光束近场调制为 2:1;

反射镜 M1、M2、M3 的三倍频膜层反射率分别为 50%、50%、99%。

根据以上计算条件,传输光束能流分布计算结果为:取样光束能量 $E = 3400J \times 0.95 \times 0.911 \times 0.6 \times 0.005 \times 0.9 = 8J$;在这种情况下,打靶透镜膜层承受的激光辐照平均通量为 $3.2J/cm^2$,若考虑光束调制度的影响,则峰值通量为 $6.4J/cm^2$;传输小透镜 L1、反射镜 M1、M2、M3、L2 元件承受的三倍频激光辐照平均通量分别为 $0.22J/cm^2$ 、 $0.26J/cm^2$ 、 $0.28J/cm^2$ 、 $0.41J/cm^2$ 、 $0.5J/cm^2$,若考虑光束调制

度的影响,则峰值通量分别为 $0.44\text{J}/\text{cm}^2$ 、 $0.52\text{J}/\text{cm}^2$ 、 $0.56\text{J}/\text{cm}^2$ 、 $0.82\text{J}/\text{cm}^2$ 、 $1.0\text{J}/\text{cm}^2$ 。

针对以上计算结果,参照国内相关领域加工工艺研究状况,取样光路中各光学元件采用复合膜可以满足设计要求。

4 设计结果分析

在上述设计方案中,对装置靶场系统的总体工程结构排布不产生影响,同时也绕开了在强激光光路中插入大口径光学元件带来的光束非线性效应问题以及成本提高问题。另外,由于该取样测量系统是基于原有组件基础进行改造利用,因此将降低装置的工程建造难度,完全可以满足物理实验对三倍频光束取样测量的技术要求,但需要增加一定数量的小口径光学元件和辅助支撑系统。在后续研究中,我们将继续开展基于该方案进行的靶场系统三倍频光束取样测量技术实验研究。

致谢:在本文完成的过程中,作者与中物院激光聚变研究中心激光技术工程部陈波、蒋晓东同志进行

了有益的讨论,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 吕百达. 固体激光器件 [M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2002, 192 ~ 195.
- [2] TH Bett, IC Smith Diffractive beam samplers for large aperture beam diagnostics[A]. Proc. SPIE, 1999, 3492: 445 - 452
- [3] J A Britter, R D Boyd Low efficiency gratings for 3rd harmonic diagnostics application [A]. Proc. SPIE, 1995, 2633: 121 - 128
- [4] 袁静,魏晓峰,郭永康,等. 用于 CF驱动器的色分离相位光栅的研究 [J]. 激光技术, 1999, 23 (3): 168 - 172
- [5] 柴立群,杨李茗,许乔. 用于 CF驱动器的取样光栅的矢量分析与计算 [J]. 强激光与粒子束, 2002, 14 (2): 270 - 274.
- [6] 王成程,马驰,郑万国,等. 70mm ×70mm 取样光栅性能测试研究 [J]. 光学与光电技术, 2004, 2 (5): 27 - 30.





LBO 专利号: 4,826,283 美国专利号
88,102,084.2 中国专利号
2023845 日本专利号

我司提供以下类型晶体:

- 非线性光学晶体
- 激光晶体
- 声光及电光晶体
- 双折射晶体
- 光折变晶体
- 晶体组件
- X-射线晶体
- 光学件



BBO



BIBO



KTP



Nd:YVO₄



胶合晶体



键合晶体



蓝光组件



光胶晶体

福建福晶科技有限公司

地址:福建省福州市杨桥西路155号 邮编:350002
TEL:86-591-83710533 FAX:86-591-83711593
http://www.castech.com E-mail:sales@castech.com