

文章编号: 0258-7025(2002)06-0509-04

单次工作的压缩器光栅对的平行性调整

朱鹏飞¹, 钱列加², 刘玉璞¹, 谢兴龙¹, 林尊琪¹

(¹ 中国科学院上海光学精密机械研究所 高功率激光物理国家实验室, 上海 201800)
(² 复旦大学光科学系三束材料改性国家重点实验室, 上海 200433)

提要 两平行光栅对放大啁啾脉冲的压缩是产生超短超强激光的一个重要环节。介绍了对单次工作(30 min/shot)大口径(350 mm×185 mm×60 mm)高刻线密度(1760 lp/mm)光栅对的平行调整。给出了两种调整方法的详细步骤,并比较了它们的优缺点。最后讨论了与光栅对平行调整相关的几个问题。

关键词 单脉冲压缩, 光栅对, 平行调整

中图分类号 TN 249 **文献标识码** A

Alignment of Grating Pair for Single-pulse Compression

ZHU Peng-fei¹, QIAN Lie-jia², LIU Yu-pu¹, XIE Xing-long¹, LIN Zun-qi¹

¹National Laboratory on High Power Lasers and Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800

²State Key Joint Laboratory for Materials Modification by Laser, Ion & Electron Beams, Department of Optical Science, Fudan University, Shanghai 200433

Abstract The compression of amplified chirped-pulse by parallel grating pair is an important step in generating ultrashort ultrahigh-intensity pulse. In this paper, for single-pulse compression(30 min/shot), two methods are proposed in detail for the alignment of dual-grating with large caliber(350 mm×185 mm×60 mm) and dense grooves(1760 lp/mm). The shortcoming and advantage of two methods are compared with each other. In addition, the related problems of the alignment are discussed.

Key words single-pulse compression, grating pair, parallel alignment

1 引 言

1985年, D. Strickland等提出了啁啾脉冲放大技术(CPA)^[1]。几十年来, CPA技术不断成熟和完善,使激光脉冲的功率迅速得到提高,高功率激光装置也突飞猛进地发展起来。起初利用光纤群速度色散的特性作为脉冲展宽机制,以 Treacy型光栅对为压缩器^[2]取得了巨大的成功。但随后发现光栅对与光纤的三阶或高阶色散不能完全匹配,脉冲展宽压缩比不能太大。而 Martinez型光栅展宽器的发明为啁啾放大技术开辟了更广阔的空间。用 Martinez型反平行光栅对产生正色散,将脉冲展开,

用 Treacy型平行光栅对产生负色散,将脉冲压缩。理论上, Martinez型反平行光栅对与 Treacy型平行光栅对各阶色散完全匹配,展宽压缩比可达到 10^4 量级^[3]。精确调整光栅对提高压缩比、保证输出光脉冲的波形质量具有重要的意义。在压缩器装置中,第一块光栅引起角色散导致群速度色散,第二块光栅准直脉冲中不同波长部分,并使群速度色散取得理想值。实验中要尽量做到两块光栅严格平行,才能使各阶色散很好地匹配^[4],否则会导致脉冲保真度的恶化^[5,6]。对于连续工作的压缩器(如每秒10次左右),可以在压缩脉冲的过程中动态地调整光栅,并可实时测量波形,观察效果以供随时校正。

收稿日期 2001-04-19;收到修改稿日期 2001-06-26

基金项目 国家 863 惯性约束聚变领域(863-416-2)资助课题。

作者简介 朱鹏飞(1974—),男,主要从事超短激光技术的研究。E-mail: zhupengfei@hotmail.com

但对于较大的 CPA 系统,由于各级放大器氙灯供电电容的充放电以及钨玻璃棒的冷却需要一定时间,放大脉冲的产生不是连续的,压缩器光栅对是单次工作的(如半小时一次或更长)。在这种情况下,激光脉冲产生的次数有限,所以调整光栅的机会也少。只好在脉冲产生的间隔时间内,用模拟光将光栅对调平行。所以摸索出一种精确、快速的光栅对平行调整方法,是很有必要的。

2 光栅对平行调整的原理与方法

2.1 原理

光栅对的平行调整有两个要求:一是要使两光栅的表面相互平行,二是要使两光栅的刻线相互平行。仅仅使两光栅表面相互平行比较容易做到,但同时使两光栅的刻线相互平行就有一定的难度。激光在两光栅间衍射如图 1 所示,两光栅的不平行度可用它们绕 x, y, z 三轴旋转的相对误差量 $\Delta\zeta, \Delta\delta, \Delta\psi$ 来描述。当 $\Delta\zeta = \Delta\delta = \Delta\psi = 0$ 时,两光栅平行。在对两光栅平行调整的过程中,我们尝试了两种方法。

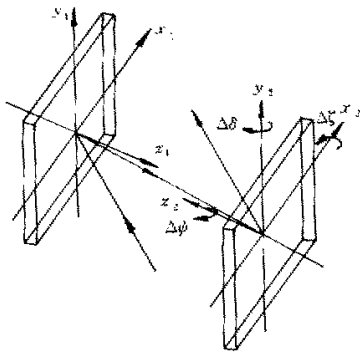


图 1 激光在两光栅间的衍射

Fig.1 Laser diffracts from a grating pair

2.2 第一种调整方法

如图 2 所示,用半导体激光抽运的钕酸钇固体激光器作为模拟光源,因为它发射的激光波长($\lambda = 1064 \text{ nm}$)与实际的激光脉冲中心波长($\lambda = 1053 \text{ nm}$)较接近。对两光栅平行调整的步骤^[7]如下:1)激光经过反射镜 2 及小孔光阑 3 后入射到反射镜 4 上,调节反射镜 4 使激光尽量打到光栅 6 的中心处,然后将屏 5 放到光路里,使激光通过它上面的小孔

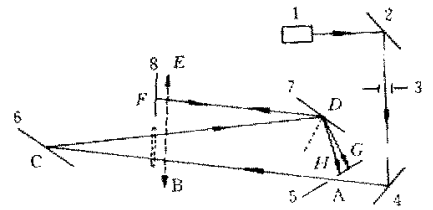


图 2 第一种调整光栅对平行的方法

1 钕酸钇固体激光器 2 A 8 反射镜;
3 小孔光阑 5 屏 6, 7 光栅

Fig.2 The first method of a dual grating alignment

1 : Nd:YVO₄ laser ; 2 A 8 : reflector ; 3 : diaphragm ;
5 : screen ; 6, 7 : grating

A。2) 将反射镜 8 放到 B 位置,调节它的姿态使从反射镜 8 反射的激光沿原路返回(以是否穿过屏 5 上的小孔 A 和小孔光阑 3 作为判断的依据)。3) 保持反射镜 8 的姿态不变,平移到 E 点,反射镜 8 将激光反射回去,这时会在屏 5 上看到三个光点 A', H, G (本图中 A' 与 A 重合)。光点 A' 是光线 DC 的一级衍射光 CA' 在屏上形成的,光点 H 是光线 CD 的零级衍射光 DH 在屏上形成的,光点 G 是光线 FD 的零级衍射光 DG 在屏上形成的。因为光点 A' 是一级衍射光,所以比较亮。光点 G 和 H 是零级衍射光,在屏上就显得暗一些。由此可将它们区分开。4) 根据 A', H, G 这三个光点相对屏上小孔 A 的位置来调整两光栅的平行度误差 $\Delta\zeta, \Delta\delta, \Delta\psi$ 。根据光点 H, G 相对小孔 A 的高低调光栅 7 的俯仰,亦即如图 1 中所示绕 x 轴旋转光栅,直到 H, G, A 在同一高度上,此时 $\Delta\zeta = 0$,两光栅的法线就在同一平面内了;根据光点 A' 相对小孔 A 的左右调光栅 7 的左右,即如图 1 所示绕 z 轴旋转光栅,直到 A', A 在同一竖直线上,无左右偏差,此时 $\Delta\psi = 0$,两光栅的法线平行,也就是完成了两光栅表面的平行调整;根据光点 A' 相对小孔 A 的高低旋转光栅 7,即如图 1 中所示绕 y 轴旋转光栅,直到 A', A 重合,此时 $\Delta\delta = 0$,两光栅的刻线相互平行,这样就完成了两光栅的平行调整。

2.3 第二种调整方法

此方法是利用光栅的色散特性来调整光栅对的平行。如果光栅对不平行,相对有一个角度,就会产生角度色散,角度色散会使最初平行的两束平行光变得不平行^[8]。

如图 3 所示,由氦氖激光器和半导体激光器发射出的波长分别为 632.8 nm 和 980 nm 的两束激

光经过半反半透透镜后混合为一束共线光 OA (亦即是平行光), 入射到第一块光栅上, 由于光栅对于不同波长的光衍射角不同, 混合光 OA 就会产生两束分开的衍射光 AD 和 AE , 入射到第二块光栅表面后产生相应的两束衍射光 DF 和 EG , 反射镜将两光束 DF 和 EG 反射回去, 再次经过两块光栅衍射后, 最后出射两束光 LN 和 KM : 一束是氦氖激光, 另一束是半导体激光。最后根据这两束光是否平行来判断两光栅平行与否。用有刻度的钢尺 8 挡住出射光束, 在钢尺上会看到两个光点。将带有刻度的钢尺移近移远, 比较两光点在近场和远场的间距是否改变。如果两光点的间距随钢尺的移近移远而改变, 则说明两光束 LN 和 KM 是发散的, 相互不平行, 也就是表明两光栅不平行。调整两光栅, 直至两光束 LN 和 KM 相互平行为止, 表明光栅对已经调平行了。

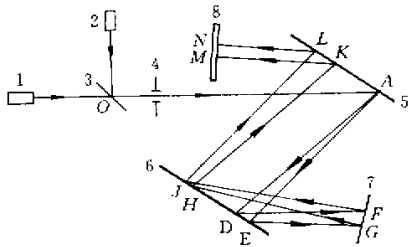


图 3 第二种调整光栅对平行的方法

- 1: 氦氖激光器 2: 半导体激光器 3: 半反半透透镜;
4: 小孔光阑 5: 光栅 6: 光栅 7: 反射镜 8: 钢尺

Fig. 3 The second method of a dual grating alignment

- 1: He-Ne laser; 2: laser diode; 3: 50% reflector;
4: diaphragm; 5: 6: grating; 7: reflector; 8: stell ruler

2.4 两种方法的比较

两种方法各有其优缺点。第一种方法调整步骤复杂, 要调整的光学元件多, 误差大, 精度要稍低一些。特别是反射镜 8, 首先要在 B 位置将它的放置角度调整到与激光相垂直, 然后保持放置角度不变平移到 C 位置, 平移的轨迹要与激光相垂直。与第二种方法相比, 第一种方法的优点是调节指示明了, 小屏 5 上的三个光点 A', H, G 相对小孔 A 的位置明确指示了要旋转光栅调整架的哪一个转轴。第二种方法中的两出射光点对光栅的调节没有明确的指示, 只能作为光栅平行调整好时的判据。但第二种方法的优点是元件少, 误差小, 精度高, 对反射镜的放置角度没有什么特别的要求, 大致放好即可, 不象第一种方法中那样严格。而且它既不需要调整, 也

不需要移动。

3 实验装置及结果

两块光栅的刻线密度为 1760 lp/mm , $1.053 \mu\text{m}$ 波长处一级衍射效率为 92% 。光栅尺寸为 $350 \text{ mm} \times 185 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$, 重约 10 kg 。光栅安装在三维旋转调整架上, 每个调整架上各装有三个步进电机 ($5 \mu\text{m/转}$), 可以使光栅三维旋转, 精确调整光栅的空间姿态。如图 1 所示, 绕 x 轴旋转即是使光栅俯仰, 亦即是控制衍射光线的高低, 绕 y 轴旋转即是使光栅表面相互平行, 绕 z 轴旋转即是旋转光栅的刻线。另外, 第一块光栅的底座上装有一只步进电机, 用来调整两光栅之间的间距。步进电机的动作由微机控制, 可以做到单步或连续驱动。

实验中用一台钛宝石激光器产生的脉宽 130 fs 的种子脉冲, 经过一台内含单光栅四通展宽器的再生放大器后, 输出的啁啾激光脉冲宽度为 600 ps , 单脉冲能量为 1 J , 谱宽 8 nm , 然后注入由磷酸盐钕玻璃放大介质组成的放大器链中经过主放大器链之后, 输出能量提高到 11 J , 最后经空间滤波器注入到真空压缩器。真空室压缩器为单通的双光栅系统, 设计效率为 75% 。光栅对每 30 min 工作一次。激光脉冲经压缩后, 用单次自相关仪测得脉冲宽度为 560 fs 。激光脉冲峰值功率大于 10 TW , 光束填充因子为 50% , 中心波长 $1.054 \mu\text{m}$, 谱宽 3.5 nm 。

4 结论

为了便于调整光栅, 激光进入压缩器之前一定要先调成水平。为了得到较高效率, 激光要垂直于光栅的刻线, 斜入射会降低效率。由于进入压缩器的激光束有一定的口径, 激光要尽量射在光栅的中心, 第二块光栅位置的摆放不能切掉部分入射激光束。

根据压缩器中最大功率密度估算, 压缩器工作时, 压缩器室的真空度要求为 $133 \times 10^{-5} \text{ Pa}$, 以防止空气被强激光击穿。在抽真空过程中, 由于泵的机械振动会引起光栅的振动, 影响已经校准好的光栅, 所以最好选用机械振动小的真空泵。光栅的底座要与整个压缩器的底座分离开, 不能相连在一起。如果抽真空的速度过快, 强大的气流也会引起光栅的振动。压缩器密封住以后, 虽然压缩器外壳上留有观察窗, 但观察的范围有限。哪一个步进电机转了多少步, 正转还是反转, 都要记录下来。需要注意的

是,步进电机有回程误差,反反复复地操作会使误差累计起来。

对光栅做三维调整时,由于调整架 x, y, z 三轴的旋转中心不重合,调平的同时会微小地改变光栅对的间距。如果将三维调整架做成类似陀螺仪的结构,使 x, y, z 三轴的旋转中心重合,就可解决这一问题,但是调整架的成本将会提高。

参 考 文 献

- 1 D. Strickland, G. Mourou. Compression of amplified chirped optical pulse[J]. *Opt. Comm.*, 1985, **56**(3):219~221
- 2 E. B. Treacy. Optical pulse compression with diffraction gratings[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1969, **QE-5**(9):454~458
- 3 J. D. McMullen. Analysis of compression of frequency of chirped optical pulses by a strongly dispersive grating pair

- [J]. *Appl. Opt.*, 1979, **18**(15):737~741
- 4 Wang Yong, Zhang Weili, Chai Lu *et al.*. Calculation of the dispersion with angular misalignment of grating pair compressor by ray-tracing method[J]. *J. Optoelectronics · Laser* (光电子·激光), 2000, **11**(5):481~483 (in Chinese)
- 5 S. Kane, J. Squier. Fourth-order-dispersion limitations of aberrationfree chirped-pulse amplification systems [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1997, **14**(5):1237~1244
- 6 B. E. Lemoff, C. P. J. Barty. Quintic-phase-limited, spatially uniform expansion and recompression of ultrashort optical pulses [J]. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(19):1651~1653
- 7 Edward Miesak, Raluca Negres. Alignment procedure for a dual grating pulse compressor [J]. *Optics and Photonics News*, 1998, **9**(8):36~37
- 8 C. N. Danson, J. Collier, D. Neely *et al.*. Well characterized 10^{19} W/cm² operation of VULCAN—an ultra-high power Nd:glass laser[J]. *J. Modern Opt.*, 1998, **45**(8):1653~1669



稳定运行的相移 DFB 单纵模单偏振掺 Yb 光纤激光器

惯性约束核聚变(ICF)激光驱动器前端系统中使用 1053 nm 激光波长,经过后续多级能量放大及三倍频对靶丸加热实现聚变反应。要求前端激光主振荡器输出稳定单纵模、单偏振激光,同时还要求激光具有高信噪比及较高的功率输出。由于 $\lambda/4$ 相移 DFB 光纤激光器具有良好的单纵模运行稳定性,并考虑到掺 Yb 光纤具有许多优良特性, $\lambda/4$ 相移 DFB 掺 Yb 光纤激光器可作为 ICF 激光驱动器前端系统中主振荡器的重要选项。

我们已研制成功具有优良性能的 $\lambda/4$ 相移 DFB 掺 Yb 光纤激光器。首先,采用相位掩模法用 193 nm 准分子激光在一段掺 Yb 光纤上刻写光栅,制作 DFB 光纤激光器。所刻写光栅长度为 10 cm, Bragg 反射中心波长约 1053.1 nm。进一步通过二

次曝光法,在光纤光栅上制作相移,制得近似 $\lambda/4$ 相移 DFB 掺 Yb 光纤激光器。之后,一边利用 F-P 干涉仪监控激光模式,一边进行精细紫外修整,制作出较为严格的 $\lambda/4$ 相移 DFB 光纤激光器。

所制作的 $\lambda/4$ 相移 DFB 掺 Yb 光纤激光器,其单纵模激光输出最大功率为 32 mW,信噪比为 63 dB,单偏振消光比大于 25 dB。在一个小时内观察,功率涨落小于 2%,采用 F-P 干涉仪观察,没有观察到竞争模及跳模现象。

中国科学院上海光学精密机械研究所,
 高功率激光物理国家实验室,上海 201800
 陈 柏 范 薇 李学春 陈嘉琳
 乔启全 陈绍和 林尊琪
 收稿日期 2002-04-30