

## 湍流廓线激光雷达像面光斑排列设计

陆 茜,侯再红,靖 旭,秦来安,吴 毅

(中国科学院安徽光学精密机械研究所 中国科学院大气成分与光学重点实验室,安徽 合肥 230031)

**摘 要:** 针对湍流廓线激光雷达中子像面光斑排列的一般方式,提出新的排列方法,使接收到的大气回波信号在像面上的分布呈一字排列,并阐述了这种排布方式的有利之处——提高了数据传输速率,避免了数据量过大的问题,使得湍流廓线激光雷达在一定时间内采集到更多的大气信息,提高了实验结果的精确性。后续工作拟采用晶体光开关作为新的曝光闸门控制装置,新的光斑排列方式有助于电光晶体半波电压的降低,为电光晶体驱动电源的制作带来极大方便。

**关键词:** 激光雷达; 楔镜; 帧频; 光快门

**中图分类号:** O439 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2011)09-1673-04

## Design of the light spot arrangement on image surface in the turbulent profile lidar

Lu Qian, Hou Zaihong, Jing Xu, Qin Lai'an, Wu Yi

(Key Laboratory of Atmospheric Composition and Optical Radiation, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract:** Aiming at the common mode of the light spot arrangement in the turbulent profile lidar, a new arrangement which made the signal of the atmosphere echo be in line on the image surface was put forward, and the benefit of this arrangement mode was illustrated such as increasing the rate of data transferring, avoiding the problem of huge data stream, making the turbulent profile lidar to receive more information of turbulence during a certain time so that increasing the accuracy of the experiment result. The crystal optical switch for the new controlling instrument of the exposal strobe will be used in the future, and the new arrangement mode of the cuneiform prism's angle can help to reduce the semi-wavelength voltage of the electro-optic crystal, which makes it a great convenience for the produce of the power supply of driving the crystal.

**Key words:** lidar; cuneiform prism; frame rate; optical shutter

收稿日期:2011-01-02; 修订日期:2011-02-10

基金项目:中国科学院科技创新基金项目(CXJJ-245)

作者简介:陆茜(1986-),女,硕士生,主要从事光学设计方面的研究工作。Email:luqian\_1986@yahoo.com.cn

导师简介:侯再红(1968-),男,研究员,博士生导师,博士,主要从事大气参数测量方面的研究工作。Email:zhhou@aiofm.ac.cn

## 0 引言

湍流廓线激光雷达基于瑞利信标原理<sup>[1-3]</sup>,由雷达的发射系统发射一束聚焦激光束,利用焦点处的大气后向散射,形成一个瑞利信标,作为雷达接收系统的信标。接收口径可采用如图 1 所示的 6 单元排列,经过数值模拟,6 单元子孔径探测大气湍流在计算原理上是可行的<sup>[4]</sup>。图 1(b)表示楔镜,即图(a)中每个子单元的侧视图,在后文中将出现的楔镜轴线方向为从楔镜薄的部分指向厚的部分,即为图 1 中垂直向上方向。目前使用的 6 单元楔镜将接收到的信标光分成 6 束,在像面上为成正六边形分布的 6 个子光斑,这种光斑分布方式限制了 CCD 的采集极限帧频<sup>[5]</sup>,也不利于今后光开关的引入,因此文中旨在重新设计像面光斑的分布方式,以使 CCD 的性能得到充分的利用,也便于今后其他实验的进行。

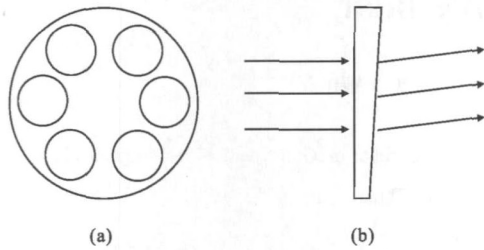


图 1 接收望远镜口径

Fig.1 Aperture of receiving telescope

## 1 光斑排列方式设计方法及采集极限帧频的提高

由前文可知,6 单元的接收面分别放置 6 个楔镜,楔角均为 150 μrad,它们将接收到的光斑分成 6 个子光斑,如图 2 所示。图中的箭头表示楔镜的轴线

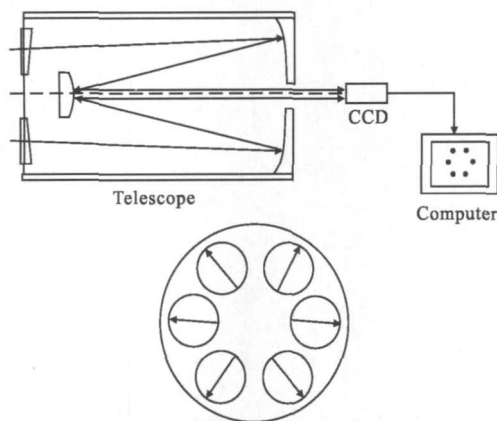


图 2 光路、接收光斑及楔镜轴线朝向

Fig.2 Optical path, spot figure and cuneiform prism's angle

朝向。通过对 CCD 上 6 个子光斑质心随时间变化信息的分析来探测指定高度的大气湍流信息。

接收系统为焦距为 2.1 m 的卡塞格林望远镜,由楔镜偏角公式:

$$\delta=(n-1)\alpha \quad (1)$$

式中: $\alpha$  为楔镜楔角; $\delta$  为正入射到楔镜上的光线经过楔镜后的偏角。得到正入射到接收系统楔镜上的光经过楔镜以后的偏角为:

$$(1.5163-1)\times 150 \mu\text{rad}=77.445 \mu\text{rad}$$

其中,1.5163 为 K9 玻璃的折射率。

再经过望远镜聚焦,像面上的 6 个光斑离圆心的距离应为:

$$77.445 \mu\text{rad}\times 2.1 \text{ m}=0.1626 \text{ mm}$$

又由于光从接收端出射时,CCD 等接收器件需要一定的安装距离,如果焦距只有 2 m,不便于其他光学器件的安装,因此在望远镜本身的焦点之后加装透镜,延长出光处到焦点的距离,即将望远镜的焦距放大,最终确定望远镜系统的等效焦距为 16 m,则在像面上的光斑偏离圆心的距离应为:

$$77.445 \mu\text{rad}\times 16 \text{ m}=1.239 \text{ mm}$$

接收 CCD 采用 Allied Vision 公司的 MF-046 CCD,此 CCD 每个像素对应 8.3 μm,由上式可知,6 个光斑在 CCD 靶面上所占宽度为 299 个像素,高度为 259 个像素。根据该公司 CCD 手册,在一定带宽下,采样极限帧频与图像尺寸有关,可由下式表示:

$$fps=[31 \mu\text{s}+88 \mu\text{s}+(582-H)\cdot 4.15 \mu\text{s}+H\cdot 32.2 \mu\text{s}]^{-1} \quad (2)$$

式中: $H$  为像面高度。对于不同型号的 CCD,公式(2)只在数字部分有所区别,由此可见,极限帧频只与像面高度有关,而与宽度无关,见图 3。

由图 3 可知,高度越低,极限帧频越高,意味着每秒钟获得的数据量越大,得到的信息也越多。因此可通过压缩像面高度的发式来提高采集帧频,以获得更多的大气湍流信息。

文中介绍了一种新的楔镜排布方式。将原本 6 个楔角为 150 μrad 的楔镜换成两个 60 μrad 的,两个 180 μrad 的和两个 300 μrad 的楔镜,并使楔角相同的两个楔镜楔角相对放置,这样经过望远镜聚焦后在像面上的光斑呈一条直线分布,且光斑间隔相等,见图 4。图中 1、2 两个楔镜为 60 μrad,3、4 两个楔镜为 180 μrad,5、6 两个楔镜为 300 μrad,箭头方向表示楔

镜轴线朝向。

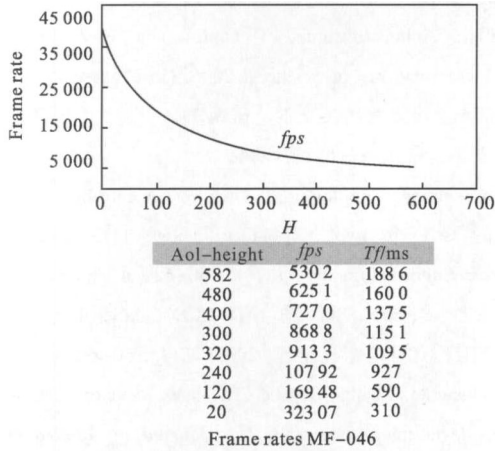


图 3 CCD 极限帧频与像面高度的关系

Fig.3 Relationship between CCD limit frame rate and the height of image surface

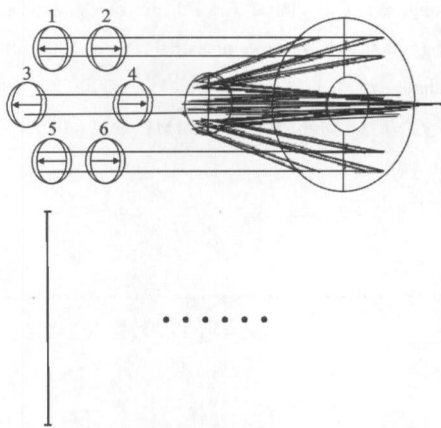


图 4 软件仿真改进后的光路及接收光斑

Fig.4 Emulational optical path and spot figure of the improved system by Zemax software

通过计算可得到最远的两个光斑间隔应为：

$$300 \mu\text{rad} \times (1.5163 - 1) \times 16 \text{ m} \times 2 = 4.956 \text{ mm}$$

占 CCD 靶面宽度为 598 个像素,高度值只要略大于光斑直径即可,若考虑光斑抖动,设置采集窗口为 610×60 就足够了,而 CCD 靶面尺寸为 780×580,符合采集要求。

对比正六边形光斑排列方式与改进后的线阵排列方式所对应的极限帧频,由前面的分析计算,原本的正六边形排列方式应设置采集窗口为 310×270,改进后的采集窗口可以为 610×60,带入公式(2)可得极限帧频分别为 98 Hz 和 237 Hz,即原本一秒钟只能采 98 帧图像,而改进后一秒钟可以采集 237 帧,大大提高了采样频率,获得的信息量也大大增加。

## 2 新的光斑排列方式有利于晶体光开关的引入

由湍流廓线激光雷达的原理可知,接收系统的探测器必须具有曝光门控功能,才能对探测距离和探测光柱长度进行严格定位,CCD 本身的曝光时间达不到实验精度要求,系统采用像增强器作为曝光闸门控制,它提供的曝光闸门宽度最小能达到 100 ns,但像增强器量子效率较低,价格非常昂贵,使用寿命短,且难以保养<sup>[6]</sup>,因此,拟采用晶体光开关作为曝光闸门控制装置,取代像增强器。晶体光开关的开关时间可达 ns 量级,但需要配套的驱动电源,该电源需要同时具有 ns 量级的上沿和下沿,这要求电源提供的电压不能太高,否则给制造电源带来困难。当电源供给晶体 0 伏和晶体半波电压时,光开关通断一次。选择铌酸锂晶体作为开关晶体,其半波电压与其外形长宽比有关<sup>[7]</sup>,见公式(3):

$$V_{\pi} = \frac{\lambda}{2n_0^3 \gamma_{22}} \left( \frac{d}{l} \right) \quad (3)$$

式中: $d$  为晶体高度; $l$  为晶体宽度; $d$  越小, $l$  越大,则半波电压越低。可见,若焦点或焦点附近的光斑呈直线型排列,则可将铌酸锂晶体切割成横截面为很细长的长方形,即满足  $d$  很小而  $l$  很大,见图 5。

对比两种光斑分布方式所对应的晶体半波电压。正六边形情况下,晶体截面  $d/l$  至少应为 0.871,带入公式(3)得半波电压为 6 402 V;在线阵排列方式下, $d/l$  可降低到 723 V,远低于正六边形时的半波电压,给制造驱动电源带来极大的方便。

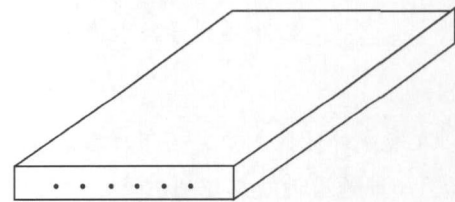


图 5 铌酸锂晶体外形及六光斑入射位置

Fig.5 Shape of LiNbO<sub>3</sub> and the position of the six incident spots

## 3 结 论

由以上分析,改变楔镜楔角大小并转动其楔镜朝向,使得光斑在像面上呈直线分布,有利于图像采

集帧频的提高,有利于光开关装置的引入,对湍流廓线激光雷达接收系统的改进有不可忽视的利处,是值得采用并推广的。

#### 参考文献:

- [1] Zhang Wei, Luo Zhongxiang, Xiang Rujian. Wavefront measurement of artificial beacon [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2002, 14(3): 375-377.(in Chinese)  
张卫, 雒仲祥, 向汝建. 人造信标波前测量 [J]. 强激光与粒子束, 2002, 14(3): 375-377.
- [2] Li Fan, Wu Shuangyang, Yang Hongguo, et al. Multi-element array detecting technology of lidar [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 38(2): 295-299. (in Chinese)  
李番, 邬双阳, 杨红果, 等. 激光雷达多元阵列探测技术 [J]. 红外与激光工程, 2008, 38(2): 295-299.
- [3] Liu Liping, Sun Xiudong, Zhao Yuan, et al. Test precision on the scanning performance in laser imaging radar [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37 (6): 1006-1009. (in Chinese)  
刘丽萍, 孙秀冬, 赵远, 等. 激光成像雷达扫描性能的检测精度 [J]. 红外与激光工程, 2008, 37(6): 1006-1009.
- [4] Hou Zaihong. Development of turbulence profile lidar [D]. Heifei: Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, 2006. (in Chinese)  
侯再红. 湍流廓线激光雷达研制[D]. 合肥: 中国科学研安徽光学精密机械研究所, 2006.
- [5] Gan Junhong, Zou Jiugui, Ji Guoding. Application of surface array CCD in two-axis autocollimator [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(1): 60-62.(in Chinese)  
甘俊红, 邹九贵, 季国定. 面阵 CCD 在双轴自准直仪中的应用[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(1): 60-62.
- [6] Xu Jiangtao, Zhang Xingshe. The latest development of low-light-level image intensifier [J]. *Journal of Applied Optics*, 2005, 26(2): 21-23. (in Chinese)  
徐江涛, 张兴社. 微光像增强器的最新发展动向 [J]. 应用光学, 2005, 26(2): 21-23.
- [7] Li Gongliang, Guo Jihua. The Priciple of Crystal Optics[M]. Beijing: National Defence Industrial Press, 1990: 340-344. (in Chinese)  
李恭亮, 郭继华. 晶体光学原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1990: 340-344.

#### 下期预览

## 伪随机序列调制的激光外差探测

刘立生<sup>1,2,3</sup>, 赵 帅<sup>1,2,3</sup>, 郭 劲<sup>1,2</sup>

- (1. 激光与物质相互作用国家重点实验室, 吉林 长春 130033 ;
2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033 ;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要:** 在激光外差探测中, 为了增强在频谱密度上对多普勒频移峰值的识别能力, 提升对目标的探测概率, 提出了一种采用伪随机序列对连续激光进行调制的外差探测方法。应用伪随机序列的 M 序列码对发射激光和本振光同时进行频率调制, 接收信号光和经时间延迟后的本振光相干叠加形成拍频信号。其特点是将二进制码调制同时作用于发射信号光和本振光, 使外差信号频谱上同时出现 3 个峰值, 减小了外差探测时的虚警率, 提高了探测的信噪比。通过模拟仿真计算, 证明了此探测模型有着良好抗干扰能力和较好噪声滤除能力。