

晶校正器不能与成熟的大规模集成电路匹配,像元数只做出 127 个;由于像元数少,衍射效率低,干脆放弃相息图技术,而采用分立镜的较低级校正模式,位相质量只有 $1.8\ \mu\text{m}$;该系统还没有考虑能量利用率问题,从探测到校正成像两部分能量都来源于 $700\sim 950\ \text{nm}$ 波段,分别为该波段的 P 偏振光和 S 偏振光,因此观测对象选择了很亮的零视星等的国际空间站。

尽管如此,基于美国的这一进步,国际上许多研究组开展了双频液晶波前校正器的研究。2003 年美国 BNS 公司报道了 256×256 高密度像素 ($>65\ 000$)、亚毫秒响应时间的双频液晶波前校正器^[15];2005 年美国应用技术协会的研究组改进了液晶校正器的电子学接口,驱动信号传输速度大幅提高,可使系统的误差抑制 $-3\ \text{dB}$ 带宽提高到 $70\ \text{Hz}$ ^[16],但未做成像实验。然而,双频液晶波前校正器的技术水平强烈依赖于高压高频集成电路技术的发展^[17-18],而这种技术即使在美国也不成熟。尽管美国 BNS 公司、Rockwell Scientific 公司、Meadowlark Optics 公司以及英国的 Durham 大学一直在坚持双频液晶波前校正器的研发,由于西方经济近 10 年整体疲软,这方面的研发经费投入不足,因此,没有再看到双频液晶的 AO 成像进展报道。不过美国 BNS 公司、德国 Holo Eye 公司、Meadowlark Optics 公司、日本滨松公司都在坚持液晶波前校正器的产品研发,其中性能指标与价格最高的液晶波前校正器是美国 BNS 公司研发的产品。美国 BNS 公司可出售的最快的液晶波前校正器,响应时间略小于 $5\ \text{ms}$,而相对望远镜上的天文观测应用需要亚毫秒才行。

本研究团队具有液晶物理与液晶材料研发的基础,因此 2002 年抓住能匹配 $8\sim 10\ \text{m}$ 大口径的 LCAO 系统的热点研究契机,拟解决其速度慢和能量利用率低的问题。研究组认为,双频液晶虽然速度快,但对温度敏感,要求工作环境苛刻;更重要的是国内不具备双频高压的集成电路技术;因此应该绕开双频液晶波前校正器的技术壁垒,另辟蹊径,采用能与大规模集成电路匹配的向列相液晶材料(液晶显示器中所用的同类材料),研究出提高其响应速度以及 LCAO 系统能量利用率的途径。

2007 年本研究组提出开环控制的液晶自适

应光路^[19],能够解决 LCAO 偏振光能量损失的问题^[20],并为快速校正控制奠定了基础。2011 年底,完成了一项国家自然科学基金重点项目“可见-近红外宽波段快速液晶自适应光学系统”,研制出 $400\sim 950\ \text{nm}$ 可见光全波段能量接收的 LCAO 系统,如图 6 所示,图中分色滤光片 1 和分色滤光片 2 均为 $700\ \text{nm}$ 波长处分光的长波通分色片,LC1 和 LC2 分别为校正 S 偏振光和 P 偏振光的液晶波前校正器,PBS 为偏振分束棱镜。该系统不但没有偏振光损失,同时能够像变形镜 AO 系统那样将 $400\sim 700\ \text{nm}$ 高能量的短波段分配给哈特曼探测器,使探测曝光时间可以短至 $1\ \text{ms}$ 、甚至亚毫秒,而 $700\sim 950\ \text{nm}$ 能量较弱的长波段分配给液晶波前校正器,然后到达成像 CCD,恰到好处地发挥成像 CCD 能 30 倍于探测时间进行曝光的优势,同时长波处的大气湍流强度减弱($r_0\propto\lambda^{-6/5}$)使液晶波前校正器的压力降低。另外该系统中的液晶波前校正器使用的是自行合成出的快速向列相液晶材料^[21],并提出灰度级过量驱动方法,使液晶波前校正器在 $785\ \text{nm}$ 位相调制量下的响应时间缩短到 $1.15\ \text{ms}$;发掘了 GPU 专门处理器的 CUDA 计算功能,提出 Zernike 基函数的四象限对称算法^[22],解决了数据传输速度与计算速度的矛盾,减少了 $3/4$ 的计算延迟;LCAO 系统从波前探测到校正完成的时间延迟(系统延迟)从研究初始的 $30\ \text{ms}$ 减少到 $4\ \text{ms}$ (美国的双频 LCAO 系统是 $3.57\ \text{ms}$ ^[14])。在重点基金的研究过程中,课题组将研制的 LCAO 系统与兴隆观测站的 $2.16\ \text{m}$ 望远镜连结,2008 年 3 月做了第一次恒星观测实验,当时的系统延迟 $20\ \text{ms}$,看不出任何校正效果;2010 年 4 月 22 日,系统延迟缩短到 $8\ \text{ms}$,采样频率 $500\ \text{Hz}$,再次在 $2.16\ \text{m}$ 望远镜上对 0.15 视星等的 $\alpha\ \text{Boo}$ 星进行了观测,兴隆站平均 r_0 约 $7\ \text{cm}$,由于刚下过雨,当晚相对湿度一直处于 60% 以上,平均风速 1.5

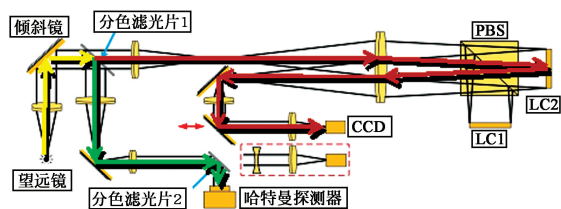


图 6 $400\sim 950\ \text{nm}$ 可见光波段 LCAO 系统光路图

Fig. 6 LCAO system working in $400\sim 950\ \text{nm}$ waveband