

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2016.z1.18

双视场大气折射望远镜研制及试观测结果

于 涌, 曹建军, 唐正宏, 罗 浩, 赵 铭

(中国科学院 上海天文台, 上海 200030)

摘要: 作为大气折射的完整理论, 低仰角下的大气折射是值得分析探究的; 在一些实际工程中, 也无法回避大天顶距目标的观测, 开展低仰角大气折射的实测研究具有重要的意义。低仰角大气折射的实测一直是个难点。在原有工作基础上, 提出利用双视场较差测量原理实测大气折射的新方法, 并完成一台双视场望远镜原理样机的研制。2013 年 8 月, 在上海天文台安吉观测站进行了试验观测。利用原理样机实测得到低仰角处的大气折射, 在天顶距 78.8° 处, 大气折射实测结果为 $240.23'' \pm 0.27''$, 验证了双视场较差测量大气折射方法的可行性。

关 键 词: 望远镜; 大气折射; 天顶距

中图分类号: P111.22 **文献标识码:** A

1 引 言

大气折射是天体的光线进入大气层之前和到达观测者时的方向之差。和影响天体向的其他因素相比, 大气折射的特点在于其不确定性。利用有效手段在观测台站开展实测, 并建立实用的本地大气折射模型, 是提高大气折射修正精度的根本途径。一直以来, 低仰角大气折射的实测是个难点。2008 年, 我们提出了利用较差测量原理实测大气折射的方法^[1], 不同于绝对测量方法, 较差测量可以回避地方参数和仪器参数等系统误差的影响。但实验结果显示, 利用单视场望远镜的观测会受到累积误差的影响, 降低了最终的大气折射测量精度。

如何提高测量精度是较差测量大气折射方案中需要解决的问题。经过分析研究, 我们提出了利用双视场望远镜较差测量大气折射的方案^[2]: 利用一台双视场望远镜, 同时观测不同天顶距的两个天区, 借助于视场内的恒星, 比较两个视场中心之间的实际弧长 (由测量仪器决定) 和无大气条件下的理论弧长 (由恒星视位置计算), 由此得到大天顶距处的大气折射实测值。2013 年, 完成了一台双视场望远镜原理样机的研制, 并开展试验观测。本文第 2 章介绍原理样机, 第 3 章给出试验观测结果, 最后为结束语。

资助项目: 国家自然科学基金(U1331112)

通讯作者: 于涌, yuy@shao.ac.cn

2 双视场大气折射望远镜原理样机

双视场大气折射望远镜原理样机, 必须满足“两个观测天区的角距固定不变”这一关键条件。为此, 借鉴了依巴谷天体测量卫星的观测原理^[3], 在一个光学望远镜镜筒之前放置一个双面反射装置(我们称之为角反射器), 使得两个不同方向的星光经过反射后进入一个镜筒, 如图 1 所示。此时, 两个观测天区的角距仅由角反射器两个面的夹角决定。为了保证夹角的稳固性, 采取对整块玻璃切割加工的方案。经过切割加工后, 两个反射面的夹角为 30° , 这样可将角距 60° 的星光反射至同一方向。

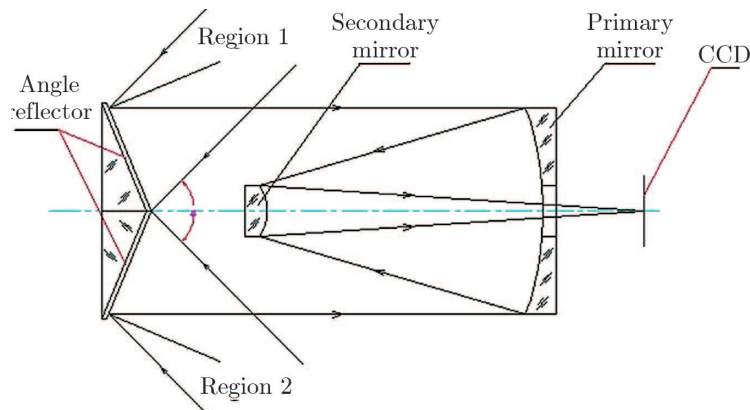


图 1 双视场大气折射望远镜光路示意图

2012—2013 年间, 在一台马克苏托夫望远镜基础上加以改造, 完成了双视场大气折射望远镜原理样机的研制。表 1 列出样机的主要参数。图 2 为原理样机的实物照片。

表 1 双视场大气折射测量望远镜原理样机的主要参数

参数	取值
望远镜类型	马克苏托夫
口径	20 cm
焦距	2 m
角反射器底面直径	20 cm
角反射器两面夹角	30°
CCD 视场	$1.0^\circ \times 1.0^\circ$
CCD 像素比例尺	$2.5''/\text{pixel}@bin2$
操作方式	手工



图 2 双视场大气折射望远镜原理样机的实物照片

3 试验观测结果

2013年8月9日, 利用原理样机在上海天文台安吉观测站开展了试验观测。观测站位于东经 119.598°、北纬 30.469°、海拔 943.0 m 处, 观测时气温为 24.3°C, 大气压为 906 mbar。

首先, 将望远镜朝向天顶, 利用角反射器将天顶附近两个天区的恒星成像在 CCD 上。由于利用现有大气折射理论模型在天顶附近测得结果足够准确, 根据两个视场中心的观测位置, 可以确定角反射器的反射角距实际值。我们总共观测了 15 幅图像, 图 3 为一幅图像示例, 其中标记绿色圆圈和红色圆圈的星像分别来自南北两个天区。需要说明的是, 双视场望远镜不作跟踪, 在星像数量满足要求的前提下, 尽可能缩短曝光时间, 以减小星像拖长对定心精度的影响。根据每幅观测图像计算得到的反射角距结果, 均值为 $59.464\,641\,3^\circ \pm 0.09''$ (如表 2 所示)。

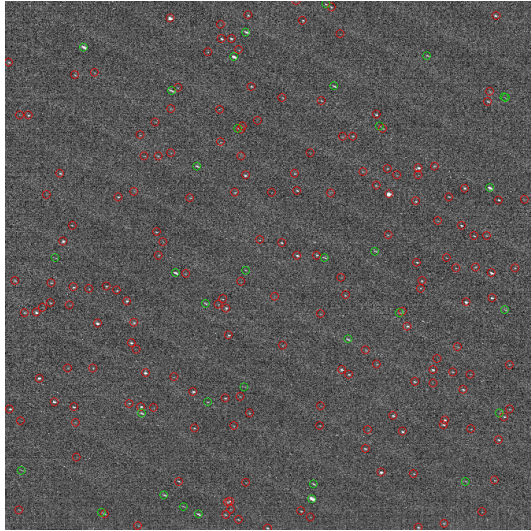


图 3 望远镜朝向天顶时的观测图像示例

表 2 角反射器的反射角距的实测结果

观测图像序号	反射角距实测值
1	$59.464\,744\,6^\circ$
2	$59.464\,627\,2^\circ$
3	$59.464\,684\,2^\circ$
4	$59.464\,542\,8^\circ$
5	$59.464\,624\,1^\circ$
6	$59.464\,658\,6^\circ$
7	$59.464\,800\,3^\circ$
8	$59.464\,516\,1^\circ$
9	$59.464\,649\,0^\circ$
10	$59.464\,699\,1^\circ$
11	$59.464\,488\,2^\circ$
12	$59.464\,631\,4^\circ$
13	$59.464\,635\,5^\circ$
14	$59.464\,505\,6^\circ$
15	$59.464\,801\,6^\circ$
均值	$59.464\,641\,3^\circ \pm 0.09''$

然后, 依次将望远镜指向天顶距 20° , 35° , 40° , 45° 和 50° , 分别作多次测量, 得到天顶距 49.4° , 63.9° , 69.0° , 74.1° 和 78.8° 处的大气折射实测值, 结果列于表 3, 该表同时列出了实测值与普尔科沃大气折射表值的比较结果。

由表 3 可见, 利用双视场大气折射望远镜原理样机可以实测得到大天顶距处的大气折射, 在观测天顶距 78.8° 处, 实测大气折射的均值为 $240.23'' \pm 0.27''$ 。本次试验表明利用双视场望远镜实测大气折射的方法是可行的。通过与普尔科沃表值的比较可见, 实测值和普尔科沃表值的差异随着观测天顶距的增加而逐渐增大, 其可能原因为: (1) 普尔科沃表是普适的大气折射表, 不具有地方性特征, 特别在大天顶距时表现更为突出。实测值与表值的差异可能

表3 大气折射实测结果

序号	观测天顶距	测量次数	大气折射实测值	普尔科沃表值	实测值-普尔科沃表值
1	49.401 956 6°	15	57.63'' ± 0.14''	57.68''	-0.05''
2	63.900 723 9°	15	100.28'' ± 0.10''	100.60''	-0.32''
3	69.002 945 9°	15	127.06'' ± 0.13''	128.04''	-0.98''
4	74.094 800 8°	12	169.90'' ± 0.16''	171.46''	-1.56''
5	78.830 166 0°	9	240.23'' ± 0.27''	244.11''	-3.88''

反映了普尔科沃表本身与观测站本地大气折射实际值的不符。(2) 大气折射与环境气温和气压有关。受条件限制, 试验观测时还无法实时精确记录气压和温度等气象数据, 气象数据的误差可能给实测大气折射结果带来一定的系统差。

4 结束语

一直以来, 低仰角大气折射的实测是个难点。为了解决这个问题, 我们提出双视场望远镜较差测量低仰角大气折射的新方法。通过对马克苏托夫望远镜的改造, 完成了一台双视场大气折射望远镜原理样机的研制, 利用该原理样机可以实测得到不同天顶距处的大气折射。试验观测取得预期结果, 证明了双视场较差实测大气折射方法的可行性。

但是, 在利用原理样机开展试验观测时, 我们也发现其存在一些不足, 希望在后续工作中改进。

(1) 实测大气折射时望远镜不作跟踪, 受限于马克苏托夫望远镜的口径和焦距, 对于低仰角天区, 大气消光的影响使得原理样机不能观测到足够多的恒星, 需要从探测能力和观测精度等方面对望远镜镜筒的选择作综合考虑。

(2) 大气折射与气象环境参数密切相关, 实测大气折射必须配备可精确记录温度、湿度和气压等数据的气象仪器, 提高实测精度; 另一方面, 通过长期实测, 可以开展大气折射随温度、气压、湿度等环境因素变化规律的研究。

(3) 原理样机的自动化程度较低, 观测时需要人工干预; 图象处理和后期归算处理程序的自动化程度也有待提高。

参考文献:

- [1] 于涌, 齐朝祥, 毛银盾, 等. 天文学报, 2009, 50(1): 76
- [2] Yu Y, Cao J J, Tang Z H, et al. RAA, 2015, 15(10): 1742
- [3] 凌兆芬, 萧耐园, 须同祺, 等. 天文学进展, 1992, 10(4): 300

Development of a Prototype Telescope with Double Fields of View to Measure Atmospheric Refraction and Experimental Results

YU Yong, CAO Jian-jun, TANG Zheng-hong, LUO Hao, ZHAO Ming

(Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030)

Abstract: For the sake of advancing theoretical research about atmospheric refraction, the atmospheric refraction observed at lower angles of elevation is still worth analyzing and exploring. In some engineering applications, objects with a larger zenith distance must be observed sometimes. Carrying out observational research on atmospheric refraction at lower angles of elevation has an important significance. However, it has been considered difficult to measure the atmospheric refraction at lower angles of elevation. A new idea for determining atmospheric refraction by utilizing differential measurement with double fields of view is proposed. A prototype with double fields of view was developed. In August 2013, experimental observations were carried out and atmospheric refractions at lower angles of elevation were obtained by the prototype. The measured value of atmospheric refraction at a zenith distance of 78.8° was $240.23'' \pm 0.27''$, and the feasibility of differential measurement of atmospheric refraction with double fields of view was verified.

Key words: telescope; atmospheric refraction; zenith distance