

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2018.01.05

地球同步轨道动态监视光学系统研制进展

毛银盾, 唐正宏, 于 涌, 刘长顺, 黎 泉, 王 维, 陈国平,
罗 浩, 张永帅, 祝 杰, 曹建军, 慎露润

(中国科学院 上海天文台, 上海 200030)

摘要: 由于卫星发射活动日益频繁, 地球同步轨道已成为一种稀缺资源, 并受到世界各国密切关注和保护。作为地球同步轨道必不可少的监测手段, 光学手段可以在目标动态监视和空间事件发现领域发挥重要的作用。中国科学院上海天文台研究团队利用两年时间研制了新一代地球同步轨道动态监视光学系统, 即 FocusGEO。FocusGEO 的望远镜采用单机架三镜筒赤道式结构, 具有约 $260(^{\circ})^2$ 超大视场, 15 min 内即可对台站上空地球同步轨道带完成一次扫描观测。2017 年 8 月开展的试验观测表明, 即使在夜天光背景较亮的上海市佘山地区, FocusGEO 的望远镜对地球同步轨道目标的观测效能也接近 85%, 方位和俯仰方向观测精度均优于 $3''$, 可靠性也满足常规观测条件。详细介绍 FocusGEO 的软硬件组成、观测模式, 以及初步观测结果, 并介绍了下一步要开展的工作。

关键词: 光学望远镜; 地球同步轨道; 动态监视; 超大视场

中图分类号: P111.2 **文献标识码:** A

1 引 言

地球同步轨道 (geosynchronous orbit, GEO) 卫星相对于地面始终静止, 因此能对地面同一地区进行全天时全天候监测。除在通讯、电视转播、气象、自然灾害监测等民用领域得到广泛应用外, GEO 卫星在军事上也有重要价值, 如导弹预警、电子侦察、导航、数据中继等。根据北美航空航天司令部 (North American Aerospace Defense Command, NORAD) 于 2017 年 8 月 31 日发布的根数文件 (数据来源: www.space-track.org), GEO 在轨的卫星、碎片和火箭体 ($0.99 \leq$ 日绕圈数 ≤ 1.01 , 偏心率 $\leq 0.01^{[1]}$) 的数量达到千余颗, 尚不包括一些未公布的敏感军事卫星。整个 GEO 带空间目标密度很高, 在部分密集区域, 每平方度内的 GEO 空间目标数量大于 5 颗, 且随着卫星发射活动的日益频繁 (据统计, 平均每年新增 30 余颗

收稿日期: 2017-09-06; 修回日期: 2017-10-20

资助项目: 国家自然科学基金项目 (11573055); 中国科学院国际合作重点项目 (GJHZ1632)

通讯作者: 毛银盾, dundun@shao.ac.cn

GEO 卫星^[2]), 空间目标密度越来越高。地球同步轨道已成为一种稀缺资源, 并受到世界各国密切关注和保护。正如《空间安全规章与标准》第 10 章中所说: “随着越来越多的卫星被发射进入太空, 我们需要成立国家层面和国际层面的监管机构, 以便更好地管理和监测这些卫星, 从而帮助管理不断减少的无线电频率资源和地球同步轨道弧内的空间。”^[3]

相对于地面观测者, 大部分 GEO 目标并非严格静止不动, 而是具有多种轨道运动形式, 不过运动速度很小, 即使对于倾角接近 15° 的目标, 其最大运动速度也不到 $5'' \cdot s^{-1}$ 。工作状态的 GEO 卫星的运动形式包括下面几种: (1) 轨道摄动造成的 GEO 卫星周期运动和漂移, 引起星下点呈“8”字运动; (2) 为了确保卫星保持在其预定经纬度区间内, 运行商进行的一系列常规位保动作^[3]; (3) 一些具有很强机动能力的军事卫星为执行某些敏感任务进行的轨道机动, 如 GSSAP 卫星可按需近距离侦察 GEO 目标, ANGELS 卫星具有 GEO 目标绕飞能力等^[4-6]。非工作状态的 GEO 卫星的运动形式包括两种: (1) 摄动引起的离轨漂移, 这也是其主要运动形式; (2) 卫星寿命终结时, 从地球同步轨道抵达卫星寿命终结轨道 (比地球同步轨道高 200~300 km) 的“死亡之行”^[3]。综上所述, 地球同步轨道带和分布于其中的 GEO 卫星具备四个特点: (1) 在轨空间目标的分布密度高, 运动形式多样; (2) 相对于地面观测者, 其视运动非常缓慢, 甚至是完全静止; (3) 目标距离地面远, 但尺寸普遍较大; (4) 基本属于不可再生资源。

2015 年底至 2016 年初, 研究团队利用自行研制的地球同步轨道动态监视光学系统样机, 在云南丽江高美古对台站上空 GEO 带样本天区 (面积约为 $100(^\circ)^2$) 开展了试验观测。结果表明, 样机可以对 27 颗 GEO 目标进行连续监测, 其中 2 颗被确认为 NORAD 未编目的目标; 目标天文定位的内符精度在方位方向约为 $4''$, 在俯仰方向约为 $1''$; 利用多圈次观测结果作轨道改进, 在无轨道控制发生时, 24 h 和 48 h 点位预报精度在方位方向和俯仰方向上分别好于 $9''$ 和 $2''$ 。利用对样本天区约 40 d 的实测数据, 检测到了 21 颗 GEO 目标的 64 次变轨事件, 并且轨变发生的时段与 NORAD 发布的轨道根数中的轨道周期、倾角和偏心率等特征参数的跳变时间一致^[7,8]。

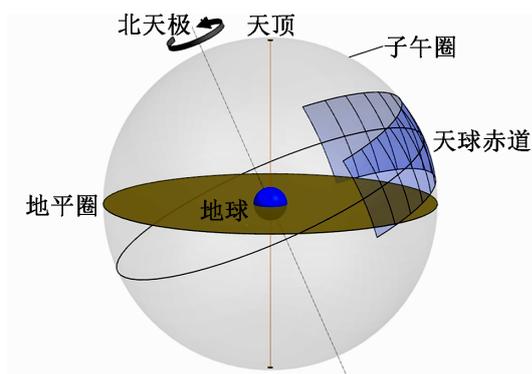


图 1 FocusGEO 扫描天区示意图 (阴影区域)

由于地球同步轨道动态监视光学系统样机取得的观测效果超出预期, 以及样机在探测能力和观测效能存在的不足, 研究团队花费两年时间研制成新一代光学系统, 即 FocusGEO。FocusGEO 的望远镜 (以下简称“望远镜”) 专门设计为单机架三镜筒赤道式结构, 既满足技术要求, 又节约成本。望远镜的有效视场约 $260(^\circ)^2$, 具备测量精度高、自动化程度高、观测效能高等显著特点, 可在晴好夜间通过对台站上空 GEO 带快速反复扫描观测 (见图 1), 得到 GEO 带的全幅动态宏观场景, 为 GEO 空间目标编目管理和空间事件监测提供基础数据。

2 FocusGEO 介绍

FocusGEO 的详细方案设计从 2015 年 10 月开始, 至 2017 年 8 月, 系统联调完成, 研究团队立即开展试验观测, 整个研制时间接近两年。除了结构零部件为外协加工外, 其余包括机械装配、电控伺服、机电联调、系统软件以及系统集成等过程全部由研究团队独立完成。本章详细介绍望远镜的结构和参数、FocusGEO 的组成和运行方式等。

2.1 望远镜参数

经过多次方案设计、评审和修改, 望远镜最终确定为单机架并置三镜筒结构, 图 2 给出望远镜的三维结构图。为了便于赤道带观测, 机架采用传统的赤道式结构, 主要结构组成包括: 赤纬轴系、赤经轴系、底座等。3 个镜筒与赤纬轴平行且一字排开, 赤经指向保持严格一致, 赤纬指向依次错开 9.5° , 组成 $9.5^\circ \times 28^\circ$ 矩形超大视场, 即赤经方向视场为 9.5° , 赤纬方向视场为 28° 。赤经轴与赤纬轴通过叉臂连接, 通过调整底座的方位角和倾角从而达到精确调节望远镜极轴的目的。为了保证望远镜运动到位后的指向保持精度, 同时考虑实用性和经济性, 赤经轴和赤纬轴均采用相同的传动方案, 即蜗轮蜗杆减速器作为驱动机构, 力矩电机加减速器作为消除机构。赤经轴和赤纬轴均设置了软件限位、电限位和机械限位, 为望远镜的运行安全提供多重保护。望远镜的各项参数如表 1 所示。

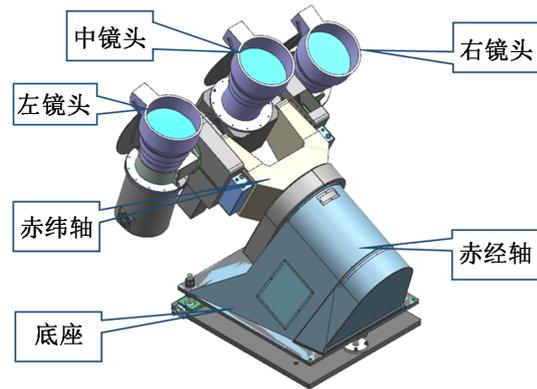


图 2 望远镜结构三维图

表 1 望远镜的主要技术参数

参数	指标值
轴系运动范围	赤经轴 $\pm 90^\circ$; 赤纬轴 $-50^\circ \sim 90^\circ$
定位精度	优于 $3'$ (指向模型修正后)
指向保持精度	优于 $1''$
重复指向精度	优于 $30''$
指向切换时间	小于 5 s
镜筒质量	约 55 kg
望远镜总质量	略小于 1000 kg

望远镜采用定制的超大视场折射式光学镜筒, 口径为 180 mm, 焦距约为 220 mm, 有效光学视场为 $49.15 \text{ mm} \times 49.15 \text{ mm}$, 有效视场内平均点源星像半峰全宽 (full width at half-maximum, FWHM) 不大于 $19 \mu\text{m}$, 调焦分辨率小于 $4 \mu\text{m}$ 。图像采集终端采用 Andor 公司的 Alta-F9000 型 CCD 相机, CCD 芯片的像素数目为 3056×3056 , 像素物理尺寸为 $12 \mu\text{m}$,

每像素对应的空间比例尺约为 $11.2''$ 。

2.2 FocusGEO 的组成和运行方式

FocusGEO 由前沿基分系统、远控分系统和数据处理与服务分系统组成, 如图 3 所示。前沿基分系统包括直径约 3.65 m 的全敞开式圆顶、特殊设计的三镜筒望远镜、双模多通道时统(可同时为 3 台 CCD 相机提供精确时间信号锁存)、CCD 相机和图像采集软件、网络设备以及远程电源管理设备和视频监控设备等。远控分系统包括观测主控单元(1 台远程观测主机和主控软件)、数据预处理、压缩与传输单元和大屏幕宏观显示平台。数据处理与服务分系统包括 1 台数据服务器、数据处理与分析软件、数据库管理和数据发布平台。

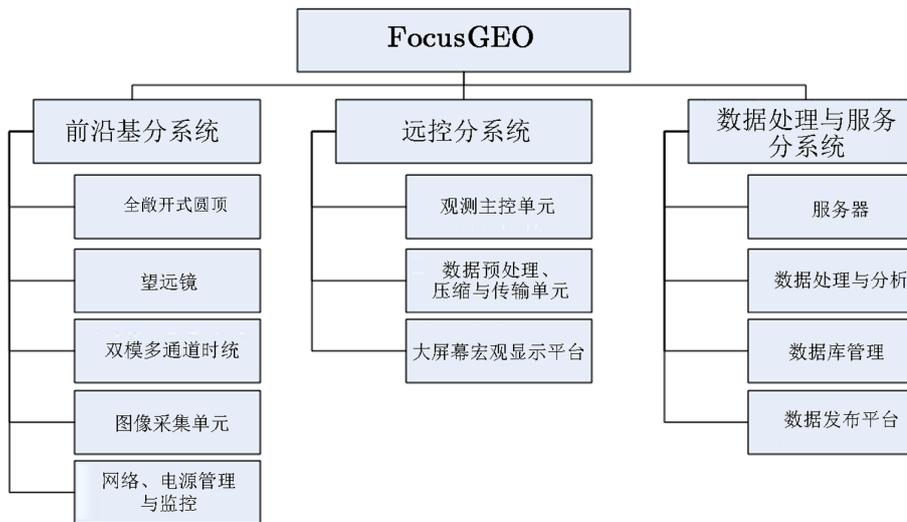


图 3 FocusGEO 的组成

FocusGEO 采用远程控制模式, 前沿基中的圆顶、望远镜、CCD 相机等核心设备与远控分系统之间基于用户数据报协议 (user datagram protocol, UDP) 进行消息交互, 远程电源管理、网络摄像头和云量监测等外部设备可在远控分系统通过超文本传输协议 (hypertext transfer protocol, HTTP) 进行访问与控制。远控分系统是观测人员的值班平台, 在进行观测的同时自动进行原始观测图像预处理和图像压缩, 并将预处理结果和压缩后的图像通过文件传输协议 (file transfer protocol, FTP) 主动推送到数据处理与服务分系统, 同时展示在大屏幕宏观显示平台。数据处理与服务分系统承担数据存储、处理与分析 and 数据库管理, 并为网络用户提供数据服务功能。FocusGEO 的运行方式如图 4 所示。

在远控分系统运行的观测主控软件是值班观测的主要人机交互对象, 集成了前沿基设备的远程控制和完备的实时状态显示功能, 包括当前观测进度、数据预处理进度、望远镜轴系状态、CCD 相机状态、时统触发状态以及视频监控等, 如图 5 所示。

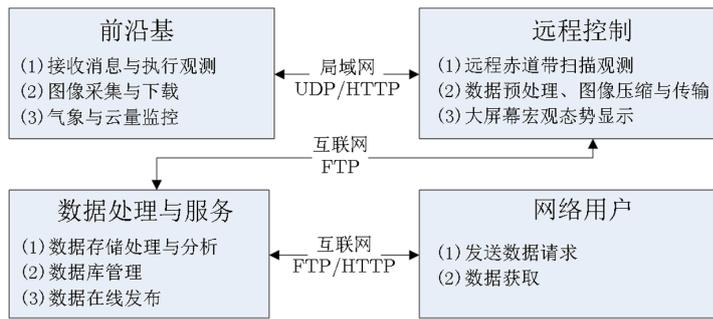


图 4 FocusGEO 的运行方式



图 5 观测主控软件实际工作界面

3 观测模式与试观测结果

3.1 观测模式

望远镜具有 $9.5^\circ \times 28^\circ$ 的矩形超大视场，完成极轴精细调节后，仅需驱动赤经轴运动，就可对台站上空的 GEO 带进行不间断的扫描观测，所覆盖的天区在赤纬 (declination, DEC) 方向上为 $-14^\circ \sim +14^\circ$ ，在时角 (hour angle, HA) 方向上约为 $-60^\circ \sim +60^\circ$ 。

3.1.1 天区划分和标识

结合望远镜的实际视场，考虑到仰角太小而不适宜观测，系统将台站上空 GEO 带划分为 12 个固定天区，天区及其标识规定如下：

- (1) 时角的准确覆盖范围： $-57^\circ \sim +57^\circ$ ；
- (2) 按照时角自西向东把 GEO 带划分为 12 个天区，天区标识为 Z01, Z02, Z03, …，

Z12;

(3) 望远镜每次摆位的中心点坐标序列如表 2 所示, 其中台站对应的赤道带中心赤纬值为 -4.2° 。

表 2 望远镜 12 次摆位天区划分表

天区标识	中心时角/($^\circ$)	中心赤纬/($^\circ$)
Z01	+52.25	-4.20
Z02	+42.75	-4.20
Z03	+33.25	-4.20
Z04	+23.75	-4.20
Z05	+14.25	-4.20
Z06	+4.75	-4.20
Z07	-4.75	-4.20
Z08	-14.25	-4.20
Z09	-23.75	-4.20
Z10	-33.25	-4.20
Z11	-42.75	-4.20
Z12	-52.25	-4.20

3.1.2 CCD 固定小天区划分和标识

3 台镜筒分别配备 1 台 CCD 相机。按照赤纬指向从高到低, CCD 标识分别为 C01, C02 和 C03。结合对天区的划分, 系统将台站上空的 GEO 带细分为 36 个固定的小天区, 小天区标识为天区标识加 CCD 标识, 即 ZXXC0Y (其中 $XX = 01, 02, \dots, 12, Y = 1, 2, 3$)。按照此划分, 作为证认参考恒星的初始参数, 每个小天区中心的赤纬值为已知参数, 中心的时角值将通过式 (1) 计算得到, 并作为数据处理的重要输入参数写入图像文件头中。

$$\begin{cases} HA_{ZXXC01} = \frac{HA_{ZXX}}{\cos 9.5^\circ}, & DEC_{ZXXC02} = +5.3 \\ HA_{ZXXC02} = TA_{ZXX}, & DEC_{ZXXC02} = -4.2 \\ HA_{ZXXC03} = \frac{HA_{ZXX}}{\cos 9.5^\circ}, & DEC_{ZXXC03} = -13.7 \end{cases} \quad (1)$$

每个观测夜将产生 36 个子目录, 子目录名称包含日期和固定小天区的标识, 格式: $\dots \backslash YYY Y-MM-DD \backslash ZXXC0Y \backslash$ 。如, $\dots \backslash 2016-09-01 \backslash Z01C03 \backslash$ 表示观测日期为 2016 年 9 月 1 日、拍摄天区为 Z01、赤纬指向为 C03 的那台 CCD 相机采集到的图像所在的子目录, 同时该子目录下所有图像的视场中心对应的时角赤纬为 $(52.25^\circ, -13.7^\circ)$ 。严格划分天区的好处有两点: (1) 可以很清晰地了解系统的观测进度; (2) 有利于进行数据查询和数据处理。

3.1.3 扫描观测模式

望远镜按照固定列表进行定点摆位, 到位后保持静止不动, 并由观测主控软件发送图像拍摄指令。图像文件采用国际间用于天文数据传输、交换的统一标准格式, 即 FITS (flexible image transport system) 格式。CCD 相机按照 “1S10L1S” 长短曝光交替的模式采集图像, 其中前面的 “1S” 是指采集 1 帧 1 s 短曝光的恒星背景图像, 中间的 “10L” 是指连续采集

10 帧 5 s 以上的长曝光的 GEO 目标观测图像, 后面的“1S”是指再次采集 1 帧 1 s 短曝光的恒星背景图像。采用“1S10L1S”的模式拍摄图像有三个方面的好处: (1) 每个 CCD 单元的视场超过 $90(^{\circ})^2$, 1 s 短曝光即可获得足够多的依巴谷参考恒星; 每个像素对应的空间张角约为 $11.2''$, 参考恒星星像几乎不会因受到地球自转 (速度约为 $15('') \cdot s^{-1}$) 影响而沿赤经方向拖长, 有利于获取高精度的天文定位, 彻底解决了前文提到的“地球同步轨道动态监视光学系统样机”在赤经和赤纬方向精度水平的显著差异。(2) 如前文所述, GEO 目标相对于地面台站运动缓慢, 5 s 以上的累积曝光可以获得较高信噪比的 GEO 目标星像, 同时连续采集 10 帧图像有利于通过改进后的航迹关联算法进行 GEO 目标确认^[8]。(3) 前后各采集 1 帧短曝光恒星背景图像, 一方面可以检验该点位拍摄期间望远镜的位置是否保持精度, 另一方面可以通过整体解算来提高 GEO 目标的最终天文定位精度。

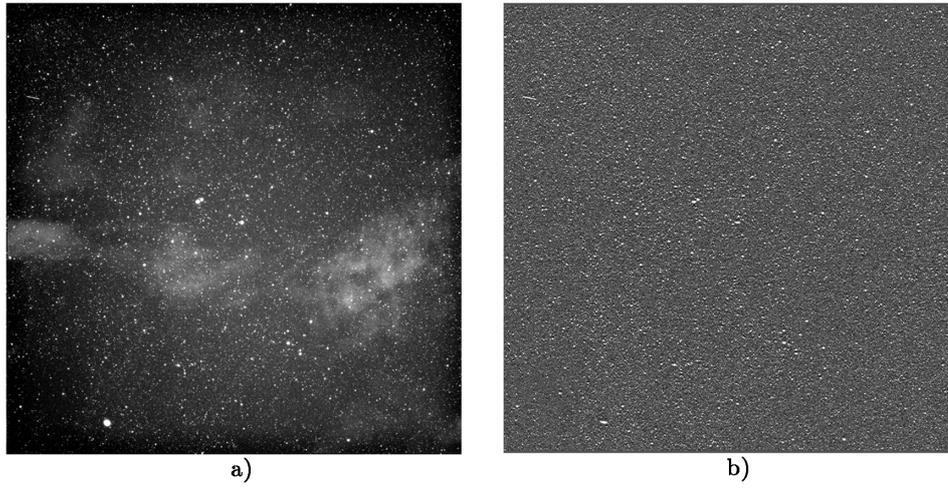
一个天区图像拍摄结束后依次运动到下一个天区, 并进行定点拍摄, 直至 Z12 天区拍摄结束后, 重新从 Z01 开始, 如此循环往复, 直至观测夜结束。根据 FocusGEO 的实际工作情况, 结合曝光时间、拍摄帧数、CCD 相机数据读出耗时和望远镜位置切换耗时等参数, 系统实际对台站上空 GEO 带的扫描周期小于 15 min ($Binning = 2$) 或者 24 min ($Binning = 1$), 其中, $Binning$ 是 CCD 相机的一种图像读出模式, 是将相邻像元感应的电荷加在一起, 以一个像素的模式读出。其优点是可提高灵敏度和读出速度, 但降低了分辨率。

3.2 试验观测结果

FocusGEO 于 2017 年 7 月完成集成调试, 并开始在中国科学院上海天文台 (以下简称上海天文台) 佘山科技园区开展试验观测。利用实测图像对望远镜成像质量 (主要是星像的 FWHM 指标和边缘视场与中心视场的成像差异) 进行了检验, 并进行了图像预处理算法的优化, 包括平场扣除 (效果如图 6 所示)、星像检测、参考星匹配证认和底片模型解算等, 其中星像检测采取连通域算法, 参考星匹配证认采取三角弧长方法 (如图 7 a) 所示, 绿色点为匹配成功的恒星星像)。参考星表为依巴谷星表, 匹配视场中亮度合适且未饱和的星像, 暗星或过饱和星像由于其定心精度较差, 不参与底片模型解算。如图 7 b) 所示, 视场中约有数百颗参考恒星, 并且分布均匀。通过比较分析, 我们选取 20 参数底片模型, 得到的底片模型解算误差约为 $0.6''$ 。

利用匹配到的参考星分别精确计算了望远镜 3 个成像单元的焦距和视场, 得到 3 个镜筒的实际焦距值和有效视场符合设计指标, 如表 3 所示。利用归算得到的底片模型参数, 分别计算了望远镜 3 个成像单元的 4 个视场角的天球坐标, 通过单独微调每台 CCD 相机的旋转角度和每台镜筒的指向, 使 CCD 的水平方向与赤道带方向严格平行, 同时实现上、中、下 3 个视场的无缝拼接。实测结果表明, 拼接误差小于 0.1° , 仅为 9.5° 视场边长的 1%, 符合方案设计对系统总视场的指标要求。

为了对 FocusGEO 观测 GEO 目标的效能和观测精度进行分析, 我们对上海天文台台站上空的 GEO 带开展了扫描观测。以 2017 年 8 月 23 日观测为例, 当晚共进行 20 轮观测, 平均每轮观测耗时约为 15 min。本次观测共提取到 282 颗 GEO 目标的信息。FocusGEO 对 GEO 目标观测效能的评估是通过与 NORAD 目标库进行直接比对实现的。首先下载该日发布的 NORAD 总根数库, 从中筛选出符合 GEO 特点的目标 (包括在轨运行的卫星、空间碎



注: a) 预处理前; b) 预处理后。

图 6 预处理前后观测图像对比

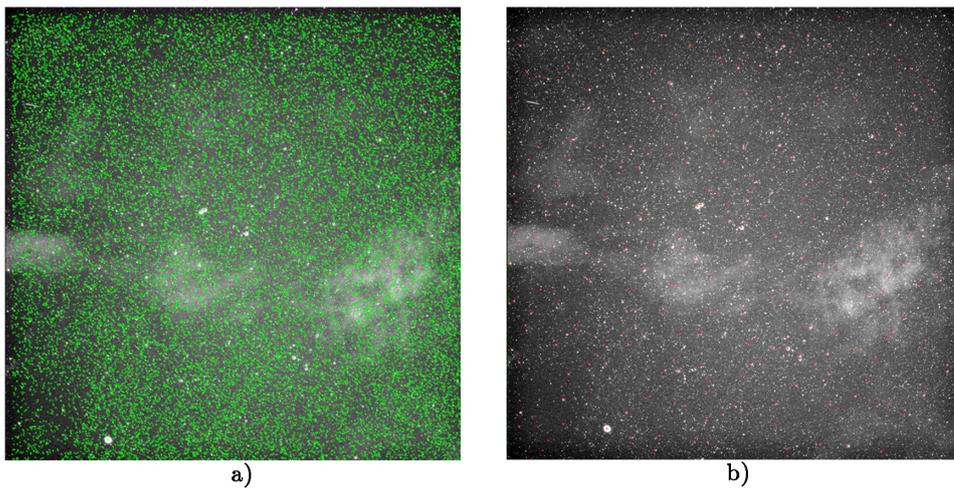


图 7 星像检测结果与参考星匹配结果

表 3 望远镜实测焦距和视场

	FWHM /pixel	焦距/mm	视场/($^{\circ}$) ²
单元 1	1.3	220.50	9.51×9.51
单元 2	1.5	220.48	9.51×9.51
单元 3	1.3	220.16	9.52×9.52

片和火箭体) 并预报过境, 然后进一步筛选出应出现在扫描天区内的 GEO 数量, 得到的结果为 325 颗。然后计算每颗目标观测位置与预报位置差的均值和均方差, 设定证认阈值, 通过比较观测位置与预报位置, 发现在观测到的 282 颗目标中有 238 颗与 NORAD 目标库证认成功, 其中超过 95% 目标的观测与预报位置差小于 $200''$ 。另外还有 15 颗目标受到其他视位置过近目标的干扰, 程序未能自动证认, 经过人工逐一复核证认成功。因此实际观测到且与 NORAD 匹配成功的目标数量应为 253 颗。

尚有 29 颗观测到的目标与 NORAD 匹配失败。经仔细分析, 其原因包括两类: 一类是 NORAD 发布的部分双行根数 (two line element, TLE) 不可靠。TLE 根数定轨的动力学模型中没有引入轨道控制力, 如目标在观测期间进行轨道控制, 会导致计算的 TLE 数据轨道偏差较大。但是在这些数据点发布几小时以内, 甚至是几秒钟后, NORAD 会重新发布新的 TLE 数据, 对上一个 TLE 数据进行更正^[9]。通过这一原则核验观测期间视场中目标的 TLE 根数, 有 20 个目标的根数出现“更正”的情况。因此, 这部分 TLE 根数的预报精度较差, 与实测相比超出了证认阈值范围, 导致匹配失败。第二类是 NORAD 发布的目标库不完备。通过人工复核可以确定剩下的 9 颗证认失败目标为 NORAD 未编目目标。综合以上分析, FocusGEO 在上海市佘山地区的观测效能约为 84%, 另有 9 颗目标为 NORAD 未编目目标。

在 CCD 观测时刻记录准确前提下, GEO 目标的天文定位精度取决于 3 方面因素: (1) 视场内参考星所建立的局部参考框架精度, 其影响因素包括参考星数量及分布情况、参考星星像定心精度和星表位置精度; (2) GEO 目标星像定心精度; (3) 望远镜观测到位后的指向保持精度。本系统天文定位的参考星表选用依巴谷星表, 该星表位置精度为 $0.001''$, 视场内参考星的数量约为 200 颗, 且分布均匀, 因此 GEO 目标星像信噪比和望远镜位置保持精度是影响 GEO 目标天文定位精度的最主要因素。基于实测结果, 采用动力学统计定轨方法对 GEO 目标单个圈次的天文定位结果作轨道计算, 在无轨道控制时, 轨道计算残差的标准偏差反映了 GEO 目标的观测内符精度。表 4 为随机选取几颗 GEO 目标的轨道计算结果, 观测精度在方位和俯仰方向均优于 $3''$ 。

表 4 FocusGEO 内符观测精度

NORAD 编号	观测点位数量	方位方向精度/ $''$	俯仰方向精度/ $''$
31800	172	3.962	1.605
36106	169	3.315	2.973
42747	173	3.038	2.909
42695	168	1.114	1.283
28137	122	3.613	2.218
40892	182	2.696	2.635
平均	164	2.956	2.271

综上所述, FocusGEO 的各项技术指标均满足设计要求, 工作状态满足常规观测条件, 可以开展后续正式的常规运行。

4 下一步工作

由于上海天文台佘山科技园区地处长江中下游地区, 据多年数据统计, 该台站年可观测夜仅有 130 d, 甚至更少, 且很少有连续晴夜出现, 非常不利于轨道机动等空间事件的监测。而且随着经济的高速发展, 该地区的夜天光背景从 1994 年的 $18.7 \text{ mag}\cdot(\prime)^{-2}$ 迅速下降至 2007 年的 $15.8 \text{ mag}\cdot(\prime)^{-2}$, 近 10 年来光污染现状和趋势更加严重^[10], 远远无法满足 FocusGEO 的观测要求。为此, 经过和中国科学院云南天文台丽江天文观测站协商, 研究团队计划近期将该系统搬迁至云南, 利用高美古观测站的良好夜天光背景和冬季旱季的连续观测条件^[11], 开展常规观测运行, 获取稳定持续的观测数据。同时根据与巴西国立天文台的合作协议, 研究团队将在巴西境内布设至少一套 FocusGEO, 实现对西半球上空 GEO 空间碎片的编目管理和空间事件监测。

致谢

感谢中国科学院南京天文仪器有限公司田沛霖高工在伺服控制给予的技术指导, 感谢上海天文台杨振华老师、邵松臣老师在望远镜机械设计和装配过程中给予的技术指导和帮助, 感谢中国科学院上海天文台光学天文技术室参与本项目的技工和观测助手工作。

参考文献:

- [1] <https://www.space-track.org/#/recent>, 2017
- [2] 罗浩. 硕士论文. 上海: 中国科学院上海天文台, 2017: 1
- [3] Pelton J, Jakhu R. 空间安全规章与标准. 清华大学航天航空学院空间安全研究中心, 译. 北京: 爱思唯尔出版社, 2010: 101
- [4] 许红英. <http://www.dsti.net/Information/News/89849>, 2014
- [5] 许红英. <http://www.dsti.net/Information/News/95540>, 2015
- [6] 王若衡, 曹秀云. 航天系统与技术, 2014, 4: 36
- [7] 罗浩, 毛银盾, 于涌, 等. 空间科学学报, 2017, 37(3): 350
- [8] 罗浩, 毛银盾, 于涌, 等. 光电工程, 2017, 44(4): 418
- [9] 吴功友, 王家松, 刘芳, 等. 第四届中国卫星导航学术年会会议集. 北京: 斯普林格出版社, 2013
- [10] 姚保安, 毛亚庆. 中国科学院上海天文台年刊, 2007, 28: 17
- [11] 辛玉新, 王传军, 范玉峰, 等. 天文学进展, 2017, 35(3): 375

Introduction and Development of Geosynchronous Orbit Dynamic Monitoring Optical System

MAO Yin-dun, TANG Zheng-hong, YU Yong, LIU Chang-shun, LI Xiao, WANG Wei,
CHEN Guo-ping, LUO Hao, ZHANG Yong-shuai, ZHU Jie, CAO Jian-jun, SHEN Lu-run

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

Abstract: With the increasing frequency of satellite launch activities, several major countries in the world are very concerned about the geosynchronous orbit because of its scarcity. As essential means of monitoring the geosynchronous orbit, ground based electro-optic telescopes can play important roles in the field of target dynamic monitoring and spatial event discovery. Based on the results of the prototype test and combined with the new application requirements, the research team successfully developed a new generation of geosynchronous orbit dynamic monitoring optical system, that is FocusGEO. The telescope adopted a unique design scheme with three tubes installed on an equatorial mount in order to obtain a huge field of view about 260 square degree. So the geosynchronous orbit over the station can be observed more efficiently in 15 minutes. The experimental result shows that the observation performance of FocusGEO is close to 85% and the accuracy of GEO target positioning is better than 3". We plan to move the telescope to Lijiang Observatory which is very suitable for optical observation and begin routine running soon.

Key words: optical telescope; geosynchronous orbit; dynamic monitoring; huge field of view