

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2016.z1.15

NTSC 的小型光学望远镜工作介绍

乔荣川¹, 鄢玉荣², 张会彦³, 严 丹^{1,4}, 于 涌³

(1. 中国科学院 国家授时中心, 西安 710600; 2. 深圳市国家气候观象台, 深圳 518040; 3. 中国科学院上海天文台, 上海 200030; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 介绍了中国科学院国家授时中心 (NTSC) 的两架小型光学望远镜在同步卫星和天然卫星方面的观测情况及相应的精度评估。结果表现出较好的天体测量精度, 说明这两套小型光学观测系统完全可以满足地球同步轨道卫星和较亮天然卫星精密定位观测的需求, 有必要充分利用小口径光学望远镜, 使其发挥更大的科研价值。

关 键 词: 小口径光学望远镜; 同步卫星; 天然卫星

中图分类号: P111.2 **文献标识码:** A

1 引 言

大口径光学望远镜在聚光能力和空间分辨率方面具有不可替代的优势, 其可探测更遥远、更暗弱的天体, 获得天体更高的空间分辨率。为了了解更精确的天体的物理、动力学特征, 大力发展大口径光学望远镜无疑是必需的。但随着 CCD 终端的进步和计算机技术的快速发展, 经过技术改造和升级后的小口径光学望远镜, 也足以胜任一些特殊目标天体的观测要求^[1]。小口径望远镜具有建造和运行成本低的优势, 使用这些小口径望远镜可以对一些较亮的变源、缓慢运动的自然天体及人造卫星等进行长期充分的监测, 另外由于其观测任务相对于大口径望远镜来说相对轻松, 故可以及时地转向特殊天象的观测, 并在一定程度上可以起到分担大口径光学望远镜观测任务的作用。中国科学院国家授时中心 (NTSC) 根据工程需求, 在 2008 年和 2014 年分别研制和建立了口径为 36 cm 和 50 cm 的光学望远镜系统^[1, 2]。这两套设备分别安置在国家授时中心的临潼园区和骊山观测站, 经过调试与试验观测, 目前已正式投入使用, 主要用于地球同步轨道卫星 (GEO) 的光学测角观测和太阳系天体的精密定位工作。

本文在介绍两套望远镜系统参数和目前状态的基础上, 从 GEO 目标观测和天然卫星观测两个方面, 对目前两架光学望远镜完成的研究工作进行了阐述。

资助项目: 国家自然科学基金 (U1331112, U1431227, 11173027, 11573029, 11573055)

通讯作者: 乔荣川, rcqiao@ntsc.ac.cn

2 NTSC 小口径光学望远镜介绍

中国科学院国家授时中心在深入研究卫星双向时间传递技术多年的基础上, 提出了“转发器式卫星测轨定轨方法与技术”^[3]。该方法基于卫星转发器式的伪码测距系统, 利用卫星双向时间传递技术原理, 确定卫星与地面站之间的距离。其优点是测距精度高、系统误差小, 是 GEO 卫星高精度测轨的主要手段之一。尽管其测距精度非常高, 但也有一定的局限性, 例如卫星在空间分布上跨度不大, 缺乏横向控制, 这对进一步提高系统综合精度有一定的制约。于是, 为了提高测距系统定轨精度及解决单站测距资料不可定轨的困境, 高精度的光学测角技术以其具有被动观测、隐蔽性强和造价低等优点而成为首要选择。地基测距和测角观测数据的联合定轨, 可以通过高精度地面测角数据对 GEO 卫星的轨道实现横向约束, 实现这类目标的高精度定轨。对于单站测距资料来说无法实现定轨, 而加入单站测角数据就可以解决这个问题。另一方面, 使用高精度的伪码扩频测距系统来标校光学测角系统的系统差, 对于建立光学监测网及实现多站光学测角资料定轨也将具有前瞻性的研究意义^[4]。

基于以上构想, 国家授时中心先后于 2008 年和 2014 年分别在临潼园区和骊山观测站安装了两套小口径光学观测系统, 用于 GEO 目标的观测和研究。经试验观测, 获得较好观测数据。表 1 给出了两套光学望远镜系统参数情况。其中, 由于 36 cm 口径的望远镜被放置在临潼工作园区, 随着近几年城市建设的发展, 观测室外夜天光污染较为严重, 目前大多时间用于科普和试验观测。50 cm 望远镜为 2014 年完成建设并投入使用, 观测室位于骊山观测站, 相对城区, 其海拔较高, 处于秦岭山脉, 夜天光保护较好, 大气也较为稳定, 可充分发挥望远镜观测能力。该两架望远镜均未安装滤镜, 目前主要工作为观测目标的高精度定位工作, 如果涉及其他天体的测光研究, 须考虑安装相应滤镜。

表 1 NTSC 的两架小口径光学望远镜的系统参数

	36 cm 望远镜	50 cm 望远镜
光学系统	CGE1400+U9000	CDK20+F9000
望远镜口径	365 mm	508 mm
望远镜焦距	3 910 mm	3 435 mm
CCD 相阵大小	1 528×1 528 ($Bin = 2$)	1 528×1 528 ($Bin = 2$)
CCD 像素大小	24 μm ×24 μm ($Bin = 2$)	24 μm ×24 μm ($Bin = 2$)
视场大小	31.3'×31.3'	36'×36'
极限星等(无滤镜)	14 mag	17 mag
建成时间	2008 年(2013 年升级改造)	2015 年

3 GEO 卫星观测及轨道确定研究

随着 GEO 卫星应用领域的不断扩大, 对其定轨精度要求越来越高。卫星转发器式的伪

码扩频测距系统不但测距精度高,系统误差小,而且可同时进行远距离台站时间比对,是 GEO 卫星高精度测轨的重要手段之一。由于卫星定轨时,轨道的 N 向和 T 向不敏感,而光学观测系统可以对伪码扩频测距系统提供一个很好的角度约束,所以它也就成为 GEO 卫星地面跟踪系统的重要组成部分。在引入新型的 CCD 漂移扫描技术及硬件设备后,可以观测更暗目标并达到很高的测角精度。本文利用这两个系统各自的优势,进行转发式测轨站与光学测角站联合定轨,并对其定轨精度进行了评估。

2010 年 4 月,我们组织了伪码测距和 36 cm 望远镜光学测角联合观测。通过对定轨结果的分析可以看出,光学测角系统与转发式测定轨系统的联合定轨可以解决短弧定轨及测距观测站少而带来的无法定轨的问题。尤其是单站测角与单站测距资料的联合定轨,可以达到优于 5 m 的定轨精度^[5]。表 2 给出了其中两天的单站测角 + 单站测距资料联合定轨与“标准轨道”的比较结果。表中“A”表示单站光学测角资料所确定轨道,“P”表示标准轨道,“2、3、4、5”表示测距站,分别以其站号代表。此处,标准轨道为多站转发式测定轨系统所确定的轨道,定轨精度优于 2 m^[3]。如“A2-P”则表示单站测角资料与 2 号测距站资料联合定轨减去“标准轨道”。右边 $\mu(\text{m})$ 和 $\sigma(\text{m})$ 栏,分别给出了比较的结果在 R 、 T 、 N 及 Z (空间三维综合)方向残差的平均值和标准偏差,单位为 m。

表 2 单站测角 + 单站测距资料联合定轨与“标准轨道”的比较结果

Date	Orbit type	μ/m				σ/m			
		R	T	N	Z	R	T	N	Z
28 Apr.	A2-P	-0.53	-1.07	4.05	4.40	0.61	0.87	0.71	0.36
28 Apr.	A3-P	-0.89	-0.71	3.41	4.30	0.91	1.46	2.38	1.74
28 Apr.	A4-P	-0.21	-0.29	2.88	2.97	0.36	0.36	0.50	0.40
29 Apr.	A2-P	-0.89	1.48	3.06	4.01	1.13	0.89	2.06	1.60
29 Apr.	A3-P	-2.00	1.57	2.38	4.93	2.11	2.95	2.37	2.56
29 Apr.	A4-P	-1.74	1.27	2.52	4.13	2.14	1.24	2.31	2.31
29 Apr.	A5-P	-1.95	1.55	2.48	4.46	2.07	2.15	2.18	2.47

另外,单站测角资料在加入双站测距资料的短弧定轨中时,可明显提高定轨精度及稳定度。这将为更加有效地利用转发式测轨站观测资料及实现快速初轨确定提供很大帮助。

2014 年 12 月,利用骊山观测站 50 cm 望远镜对某颗同步卫星的观测数据进行处理,以漂移扫描图像中恒星为参考星对凝视模式图像中的同步卫星进行天体测量归算,得到其定位的内符合精度在赤纬方向为 0.320",赤经方向为 0.280"。该内符合精度好于 36 cm 光学望远镜对同步卫星定位的内符合精度(赤经和赤纬方位均约为 0.400")^[1]。

4 天然卫星观测及轨道理论研究

目前国内外深空探测工作如火如荼地开展,各类航天工程也使人们对包括太阳系小天体在内的外空间环境投入越来越多的关注。随着天然卫星运动理论研究的深入,对其动力学模

型和位置观测精度也提出更高的要求^[6]。无论是出于进一步完善行星卫星动力学理论和轨道模型, 为空间探测计划提供更精准的卫星历表, 还是为了借助 Gaia 天体测量卫星的高精度观测资料和星表, 通过间接手段更新大行星质心位置和物理常数, 进而更新大行星历表的目的, 抑或是为探测系外行星做预研, 天然卫星的观测和轨道改进工作对其都有着极其重要的意义。由于地面观测有着空间观测无法比拟的长期性和灵活性, 获得尽可能多的天然卫星的地面观测资料成为一项必不可少的研究内容。

我们结合使用多架大型望远镜对天然卫星进行观测的经验, 给出了使用小口径光学望远镜对该类目标的试验观测, 并将定位结果与历表理论值进行比较。2012 年我们使用 36 cm 望远镜对海卫一 (Triton) 进行了观测。海卫一是海王星 13 颗卫星中最大的卫星, 半径 1 352 km, 质量 2.14×10^{22} kg。Agnor 和 Hamilton 指出, 如此一个逆行、高倾角 (156.85°) 的轨道意味着 Triton 可能原来是在绕太阳公转的轨道上, 后来被海王星捕获, 有关研究成果也于 2006 年发表于《Nature》上^[7]。表 3 给出了海卫一目前国际上主要历史观测资料^[8]的精度统计结果, 其中 O-C (OBS-JPL) 为观测资料与 JPL 历表比较的结果。由表可以看出, 使用本文所述 36 cm 望远镜所得的观测资料具有相对较高的精度, 此批观测资料对于今后改进海卫一轨道具有重要的价值。

表 3 海卫一主要历史观测资料的统计比较

Obs Code	Period of observation	Observer	Type of data	N	O-C (OBS-JPL)	
					$\sigma / (")$	$\mu / (")$
689	1979—1983	USNO	CCD,X	114	0.097	0.131
			CCD,Y	114	0.095	-0.041
119	1986—1993	Abastumani	Phot, α	54	0.416	-0.061
			Phot, δ	54	0.416	-0.061
874	1989—1994	Veiga	CCD,X	433	0.126	0.129
			CCD,Y	433	0.198	0.050
874	1995—1997	Veiga	CCD,X	759	0.162	0.030
			CCD,Y	759	0.183	-0.052
337	1996—2006	Qiao	CCD, α	943	0.092	0.042
			CCD, δ	943	0.044	-0.143
689	1998—2000	Flagstaff	CCD, α	188	0.161	-0.038
			CCD, δ	188	0.220	-0.152
689	2001—2005	Flagstaff	CCD, α	306	0.116	0.021
			CCD, δ	306	0.052	-0.241
689	2005—2006	Flagstaff	CCD, α	144	0.133	-0.008
			CCD, δ	114	0.147	-0.029
NTSC	2012	Zhang	CCD, α	68	0.036	0.096
			CCD, δ	68	0.017	0.105

木卫六是在 1904 年被发现的, 轨道半长径为 11 460.1 km, 轨道周期为 250.56 d, 偏心率为 0.158, 轨道倾角为 27.63° , 视星等为 14.84 mag。2015 年 5 月我们使用 50 cm 望远镜对

该目标进行了观测, 表 4 给出了本次观测的结果与国际上其他一些公开发表的木卫六观测资料的精度对比^[1, 8], 其中 O-C (OBS-JPL) 为观测资料与 JPL 历表比较的结果。由表 4 可知, 该批观测资料的精度较 Veiga 发表的 44 个测数据的精度略差, 但是略好于 Stone 发表的 166 个观测数据精度。由此可见, 本观测系统对星等为 14.84 mag 的不规则卫星木卫六进行观测是可行的。木卫六的公转周期为 250.56 d, 为了确定木卫六的轨道, 需要大量长时间高精度的天体测量位置的积累。我们计划今后使用本观测系统对木卫六进行长期的观测, 有望使我国在木星不规则卫星方面的观测取得突破。

表 4 国际上木卫六主要历史观测资料的统计比较

Obs Code	Period of observation	Observer	Type of data	N	O-C (OBS-JPL)	
					$\sigma/(\prime\prime)$	$\mu/(\prime\prime)$
874	1995—1999	Veiga	CCD, α	44	0.070	0.009
			CCD, δ	44	0.054	0.039
689	1998	Flagstaff	CCD, α	56	0.122	0.005
			CCD, δ	56	0.138	-0.152
689	1999—2000	Flagstaff	CCD, α	58	0.122	-0.016
			CCD, δ	58	0.202	-0.007
689	2000—2001	Flagstaff	CCD, α	52	0.152	-0.029
			CCD, δ	52	0.125	-0.010
NTSC	2015	Yan	CCD, α	88	0.100	-0.041
			CCD, δ	88	0.105	-0.046

5 总结与展望

本文通过 NTSC 的两架小口径光学望远镜近几年来在同步卫星和天然卫星光学观测方面取得的研究结果, 阐明了小口径光学望远镜与伪码测距系统联合定轨试验中的观测资料在轨道横向方向上的约束作用, 同时验证了采用小口径光学望远镜对较亮天然卫星开展观测的可行性。在大型光学望远镜技术飞速发展的今天, 小口径光学望远镜在许多研究领域仍然可以发挥重要作用, 如: 对银河系内变源的 CCD 测光, 如变星光度变化观测、超新星爆发; 天空中快速运动天体的 CCD 定位观测, 如大自行恒星的 CCD 观测并计算自行; 太阳系外行星(对主星的) 凌星观测; 展源天体和星团的多色观测等。

参考文献:

- [1] 严丹, 等. 时间频率学报, 2015, 38(4): 243
- [2] 张会彦, 等. 时间频率学报, 2014, 37(2): 119
- [3] 李志刚, 等. 中国科学: G 辑, 2009, 38(12): 1711

- [4] 毛银盾, 等. 天文学报, 2007, 48: 475
[5] 张会彦. 博士论文. 西安: 中国科学院国家授时中心, 2014
[6] 张西亮. 博士论文. 昆明: 中国科学院云南天文台, 2011
[7] Agnor C B, Hamilton D P. Nature, 2006, 441: 192
[8] <http://lfn1.sai.msu.ru/neb/nss/burpomaf.htm>, 2016

The Progress of Two NTSC Small Telescopes

QIAO Rong-chuan¹, YAN Yu-rong², ZHANG Hui-yan³, YAN Dan^{1,4}, YU Yong³

(1. National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600; 2. Shenzhen National Climate Observatory, Shenzhen 518040; 3. Shanghai Astronomical Observatory, Shanghai 200030; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: This paper introduced two small aperture optical telescopes of NTSC, which were used in the fields of GEO (Geostationary Orbit) and natural satellites observation and orbit improvement. The results and the evaluation of accuracy were showed in this paper. The results presented the good astrometrical measurement precision. It suggested that these two telescope systems can completely meet the requirements of precise positioning of the GEO and some natural satellites. Therefore the other small telescopes should be made full use to realize more important scientific research value.

Key words: small aperture optical telescope; GEO; natural satellite