

赤道式望远镜寻北方法及测量结果

王志臣, 王 志, 郭 爽, 王国强

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 赤道式望远镜指北偏差直接影响测量的准确性, 找到一种快速有效的寻北方法是非常关键的。锁定望远镜指向南赤道面, 如果划过视场的星的轨迹不是水平直线, 将调整望远镜极轴绕竖直轴线转动, 直至星的轨迹是水平直线; 锁定望远镜指向东或西赤道面, 如果划过视场的星的轨迹不是水平直线, 将调整望远镜极轴绕水平轴线转动, 直至星的轨迹是水平直线。利用球面三角形的知识, 推导分析了此种寻北方法的理论依据, 望远镜指向南赤道面调整的是极轴指北偏差的水平分量, 望远镜指向东或西赤道面调整的是极轴指北偏差的竖直分量。通过此方法寻北后的赤道式望远镜, 连续 50 min 恒动对某恒星进行观测, 其 Y 轴脱靶量变化 4"。观测结果表明, 文中的寻北方法是快捷有效的, 并且调整后的赤道式望远镜具有较高的指北精度。

关键词: 赤道式望远镜; 寻北; 球面三角形

中图分类号: TH751 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)08-2076-04

Method of finding north for equatorial telescope and observation result

Wang Zhichen, Wang Zhi, Guo Shuang, Wang Guoqiang

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Pointing Polaris error directly affects measure accuracy for equatorial telescope, and searching for an effective method of finding true north is very important. The equatorial telescope was fixed to point to the south equator, if the trace of star which traversed in the field of view was not a horizontal line, and then the polar axis of telescope was rotated about vertical axis until the trace of star being a horizontal line. The equatorial telescope was fixed to point to the east or west equator, if the trace of star which traversed in the field of view was not a horizontal line, and then the polar axis of telescope was rotated about horizontal axis until the trace of star was a horizontal line. The principle for the method of finding true north was deduced and analyzed on the base of spherical triangle. Horizontal pointing error of polar axis was adjusted when telescope pointed to the south equator, and vertical pointing error of polar axis was adjusted when telescope pointed to the east or west equator. The equatorial telescope which is adjusted by using the method rotated about polar axis with constant speed in 50 minutes, and target error projected to Y axis of star which was measured transferred 4". Observation result confirms that the method was simple and effective, and pointing error of polar axis of equatorial telescope adjusted by

收稿日期: 2012-12-11; 修订日期: 2013-01-08

基金项目: 国家高技术研究发展计划(2009AA8080603)

作者简介: 王志臣(1980-), 男, 助理研究员, 硕士, 主要从事大口径望远镜结构设计相关方面的研究。Email: zcwang911@163.com

using the method is limited.

Key words: equatorial telescope; finding north; spherical triangle

0 引言

天文望远镜从结构形式上主要分为地平式和赤道式,地平式结构承载大,受力状态好,主要用于大口径望远镜,赤道式结构控制相对简单,没有像旋,主要用于中小口径望远镜^[1-6]。赤道式望远镜也称极轴式望远镜,其赤经轴(极轴)与地球自转轴平行,它最大的优点就是天体的视运动可以很容易地利用赤经轴的匀速转动来补偿,在观测天体运动时,它以周日运动方向和速度绕极轴匀速转动,从而抵消了因地球自转而产生的天体的视运动,使它所对准的天体保持在视场当中,且视场中星体位置没有相对转动,这样就可以进行长时间的观测和照相^[2-4]。赤道式望远镜在安装时,调整极轴与地球回转轴平行是非常关键的,找到一种方便而又快捷的调整方法是赤道式望远镜安装过程中的难点。

要使极轴与地球回转轴平行,也就是使极轴对准真北,最容易想到的就是通过北极星,使镜筒与极轴平行,调整望远镜使北极星成像在靶面,但是在地球上观测北极星并不是静止不动的,而是以地球自传周期在做一个小圆周运动,所以北极星不能静止在靶面中。那么可以利用北极星通过上中天和下中天两个位置来确定真北,但是北极星通过上中天和下中天两个位置一晚只有一次,且时间很短,往往不能一两次就将望远镜调整到位,其余时间只能等待,耗费人力和物力,改进的方法是采用北极星运动圆周左右两侧进行计算标定真北,这样可用于调整的时间大大增加。

以上方法虽然可以找到真北,但是仍不够方便快捷,调整过程耗时较长,倘若调整过程中北极星附近有云遮挡,更是无法调整,找到一种更为有效和快捷的寻北方法势在必行。

1 赤道式望远镜测量原理

图 1 为某赤道式望远镜的模型。如图 2 所示,原点 O 为地面观测点, N 、 E 、 S 、 W 为地平面中的北、东、南、西四个方向, OZ 是天顶方向; OP 是北极方向;过 N 、 S 和天顶 Z 的大圆(以 O 为圆心的圆)为子午圈,即由北向南过天顶的大圆。

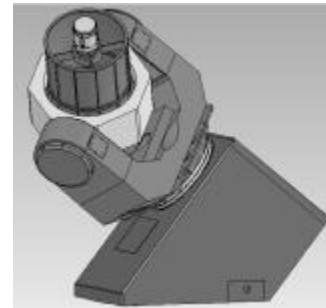


图 1 赤道式望远镜

Fig.1 Structure of equatorial telescope

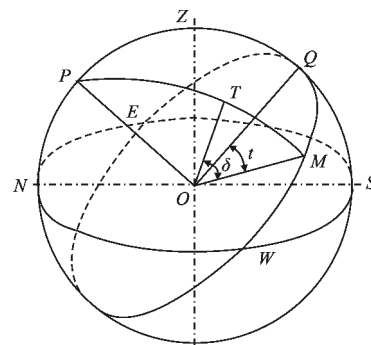


图 2 赤道式望远镜测量原理

Fig.2 Measure principle for equatorial telescope

赤道坐标系的定义为以观测点 O 为原点,主平面为赤道面 EQW ,主方向为赤道面和子午圈的交点 Q 。过空间目标 T 点做赤经圈 PTM 交赤道圈于 M 点,则角 QOM 为时角 t ,即空间目标投影到赤道面的平面角,对应于赤经轴的转动, t 的取值范围 $[-12\text{ h}, 12\text{ h}]$,向西为正,向东为负;角 TOM 为赤纬角 δ ,即空间目标指向与赤道面的空间夹角,对应于赤纬轴的转动, δ 的取值范围 $[-90^\circ, 90^\circ]$,向北为正,向南为负,则运动目标在空间某位置 T 可表示为:

$$T=f(t, \delta, R) \quad (1)$$

式中: t 为时角; δ 为赤纬角; R 为目标至测量点的距离。

2 极轴寻北方法及原理

由赤道式望远镜的测量原理可以看出,极轴指北偏差将直接影响测量的准确性,根据赤道式望远镜的特点,极轴指北偏差可以分解为在子午圈内(极轴偏差垂直分量)和垂直于子午圈的 90° 时角圈内(极轴偏差水平分量)两个分量。调整极轴位置时,先调

整极轴偏差的水平分量,将极轴调整进入子午面内,也就是先消除极轴指北偏差在 90°时角圈内的分量,再在子午面内调整极轴偏差的竖直分量,使极轴指向真北,也就是消除极轴指北偏差在子午圈内的分量。对应的调整极轴的操作方法为:锁定赤经轴在 0°附近,将望远镜视轴指向南天赤道(赤纬 0°)附近找一颗亮星,保持望远镜静止不动,使亮星在视场中由左向右划过,如果恒星沿水平方向运动,则不必调整,如果恒星向下运动,则调整方位机构使得极轴北端向西(逆时针调整),否则相反方向调整;锁定赤经轴在 -6h 附近(6h 时方向相反),将望远镜视轴指向东方(赤纬 0°)附近找一颗亮星,保持望远镜静止不动,使亮星在视场中从左向右划过,如果恒星沿水平方向运动,则不必调整,如果恒星向下运动,则调整高度机构使得极轴向上,否则相反方向调整。

下面具体说明为什么调整极轴偏差水平分量时选择时角在 0°附近,调整极轴偏差竖直分量时选择时角在 -6h 附近。

如图 3 所示,PP'为极轴指北偏差在 90°时角圈

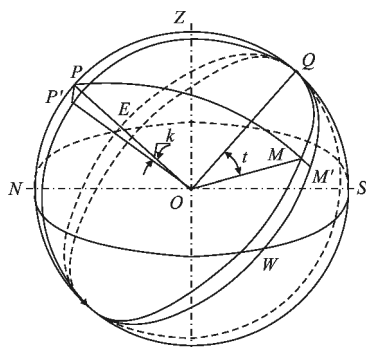


图 3 极轴偏差水平分量引起的测量偏差

Fig.3 Measure error due to horizontal pointing error of polar axis

方向的分量 k,也就是极轴偏差的水平分量,在球面三角形^[7]QMM'中,Q为极轴指北偏差在 90°时角圈方向的分量 k,M是直角,QM是时角 t,MM'是极轴指北偏差 k引起的测量偏差 Δ,则

$$\sin QM = \tan MM' \cdot \cot Q \quad (2)$$

即

$$\sin t = \tan \Delta \cdot \cot k \quad (3)$$

对 t 求导,得

$$\dot{\Delta} = \tan k \cdot \cos^2 \Delta \cdot \cot t \quad (4)$$

由公式(3)、(4)可知,当 t=0 时,Δ=0,Δ有极值为 tan k,此时测量偏差 Δ 的变化率最大,即目标星在视

场中走斜线的趋势最明显,当 t=90°时,Δ=0,此时测量偏差 Δ 的变化率为 0,即目标星在视场中走斜线的趋势最不明显。

如图 4 所示,PP''为极轴指北偏差在子午圈方向的分量 u,也就是极轴偏差的竖直分量,在球面三角形 WHH'中,W为极轴指北偏差在子午圈方向的分量 u,H是直角,WH为 90°-t,HH'是极轴指北偏差引起的测量偏差 δ,则

$$\sin WH = \tan HH' \cdot \cot W \quad (5)$$

即

$$\sin(90^\circ - t) = \tan \delta \cdot \cot u \quad (6)$$

对 t 求导,得

$$\dot{\delta} = -\tan u \cdot \cot^2 \delta \cdot \sin t \quad (7)$$

由公式(6)、(7)可知,当 t=90°(或 t=-90°)时,δ=0,δ有极值为 -tan u,此时测量偏差 δ 的变化率最大,即目标星在视场中走斜线的趋势更明显,当 t=0 时,δ=0,此时测量偏差 δ 的变化率为 0,即目标星在视场中走斜线的趋势最不明显。

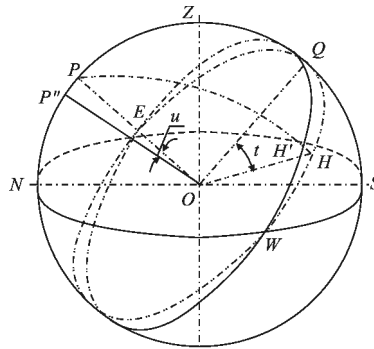


图 4 极轴偏差竖直分量引起的测量误差

Fig.4 Measure error due to vertical pointing error of polar axis

综上,选择时角 0°时调整极轴指北偏差的水平分量,此时极轴指北偏差的竖直分量不影响目标星的走势,选择时角 90°(或 -90°)时调整极轴指北偏差的竖直分量,此时极轴指北偏差的水平分量不影响目标星的走势。

在以上的调整过程中,望远镜的赤纬始终锁定在 0°附近,也就是选择的目标星在赤道面附近,这也是有原因的,如图 5 所示,望远镜锁定某一赤纬角,目标星在视场左边的对应位置为 A,t 时刻后,目标星走到视场右边,对应位置为 A',OAA'确定一个平面,而目标星的运动轨迹圆弧 AA'并不在平面 OAA'中,所以圆弧 AA'在靶面上的投影为一类似于“V”的

弧线(赤纬 $<0^\circ$ 为倒“V”),即目标星在视场中划过的痕迹为一弧线,而非直线,不利于判断目标星的运动趋势,赤纬偏离赤道面的角度越大,弧线的弧度越大,当目标星在赤道面内,圆弧 AA'在平面 OAA'中,目标星在视场中走过的轨迹为直线,所以将目标星选择在赤道面附近。

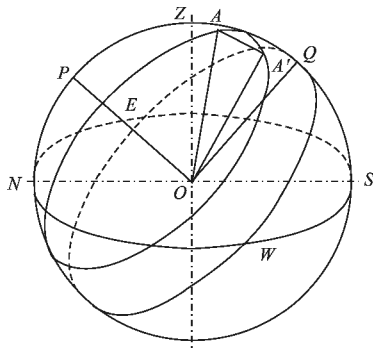


图 5 赤道坐标系星的运动

Fig.5 Movements of star in equatorial coordinate

当赤道面附近有云遮挡,无法有效选择目标星时,赤纬可以抬高一定角度,为了避免“V”的问题,可用极轴与目标星恒动的方法来确定目标星的走势。选择赤经 0° 附近,转动赤纬找到一片无云遮挡的空域,锁定赤纬轴,在视场中心选择一颗目标星,极轴以周日运动方向和速度匀速转动,看视场中目标星脱靶量的变化来确定极轴的调整。

3 观测结果

利用文中的寻北方法对某极轴式望远镜进行调整后,为了验证调整结果,使望远镜指向东南方,地平高度大约 33° ,在视场中选取一颗恒星进行观测^[8-9],图 6 为观测的恒星及脱靶量,赤经轴以地球转速恒动,每隔 5 min 记录一次 Y 轴脱靶量,经过 50 min 的观测,Y 轴脱靶量变化 $4''$,说明极轴调整是较为准确的,具体观测数值见表 1,通过星校,望远镜指向和跟踪精度满足指标要求。

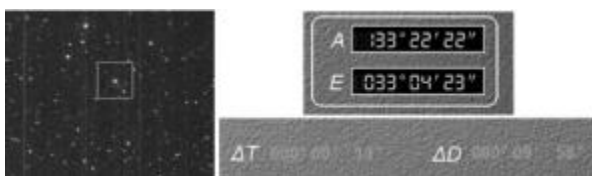


图 6 东南方恒星观测

Fig.6 Star observation at the southeast

表 1 恒星脱靶量

Tab.1 Target missing of star

Time/min	0	5	10	15	20	25
Target missing/(")	58	58	57	56	56	55
Time/min	30	35	40	45	50	-
Target missing/(")	55	55	56	54	54	-

4 结论

文中利用球面三角形的知识推导了此种寻北方法的理论依据,从以上的分析可以看出,赤道式望远镜的安装需要两个调整量,一个是绕垂直轴线的旋转,把极轴调整进入子午面,一个是绕水平轴线的旋转,调整极轴高度指向真北,也就是说,在能保证赤道式望远镜绕垂直轴线和水平轴线可调的情况下,赤道式望远镜是可以不需要三点调平机构的。利用文中的寻北方法对某赤道式望远镜调整后,在地平高度 33° 的东南方经过 50 min 的恒动观测,目标星在 Y 轴的脱靶量变化 $4''$,星校后,望远镜指向和跟踪精度完全满足指标要求,可见文中的寻北方法是切实有效的。

参考文献:

- [1] Pierre Y Bely. The Design and Construction of Large Optical Telescope[M]. New York: Springer, 2003.
- [2] Cheng Jingquan. Principle and Design of Astronomical Telescope [M]. Beijing: China Science & Technology Press, 2003. (in Chinese)
- [3] Wang Zhichen, Zhang Yanhui, Qiao Bing. A simple analysis of the telescope structure and measure principle [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2010, 33(1): 18-21. (in Chinese)
- [4] Fan Lili, Zhang Jingxu, Jiang Hao, et al. Design of the primary mirror support of equatorial telescope [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(3): 476-479. (in Chinese)
- [5] Zhou Chao, Yang Hongbo, Wu Xiaoxia, et al. Influence of wind loading on the 1.2 m telescope [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(5): 889-893. (in Chinese)
- [6] Zhou Chao, Yang Hongbo, Wu Xiaoxia, et al. Structural analysis of ground-based large telescopes [J]. Optics and Precision Engineering, 2011, 19(1): 138-145. (in Chinese)
- [7] Xia Yifei, Huang Tianyi. Spherical Astronomy [M]. Nanjing: University of Nanjing Press, 1995. (in Chinese)
- [8] Qian Bochen. The adjustment of polar axis and the measurement of tracking error for 1.56 m telescope [J]. Annals of Shanghai Observatory Academia Sinica, 1992, 13: 167-168. (in Chinese)
- [9] He Qiuhui, Kong Dali, Liu Daizhong. On the adjustment of the polar axis of an equatorial telescope [J]. Astronomical Research & Technology, 2010, 7(3): 238-246. (in Chinese)