

望远镜跟踪架结构形式及测量原理浅析

王志臣¹, 张艳辉², 乔兵¹

(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033; 2.长春奥普光电技术股份有限公司, 长春 130033)

摘要: 望远镜跟踪架的结构形式至关重要, 它将影响整个跟踪系统的跟踪精度和快速响应等性能指标。本文介绍了望远镜跟踪架的三种结构形式——赤道式、地平式和水平式, 通过建立赤道式、地平式和水平式坐标系, 相应介绍了三种跟踪架的测量原理, 对三种结构形式的跟踪架的特点进行了讨论分析, 赤道式利用赤经轴的匀速转动抵消地球自转产生的星体的视运动, 主要用于天文观测, 地平式具有较好的承载能力, 应用较为广泛, 现代大口径望远镜均采用地平式结构, 水平式无天顶盲区, 对高仰角空域目标跟踪性能优异。

关键词: 望远镜; 跟踪架结构; 测量原理

中图分类号: TH751

文献标识码: A

文章编号: 1672-9870(2010)01-0018-04

A Simple Analysis of the Telescope Structure and Measure Principle

WANG Zhichen¹, ZHANG Yanhui², QIAO Bing¹

(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033;
2.Changchun UP Optotech Co., Ltd, Changchun 130033)

Abstract: The structure of telescope is very important because it can affect tracking precision and frequent response for the whole tracking system. Three types of structure which are equatorial mount, altitude-azimuth mount and altitude-altitude mount for telescope are addressed. The equatorial coordinate, altitude-azimuth coordinate and altitude-altitude coordinate are established and the measure principles for three types of telescope structure are presented. The features of three types of structure are discussed in the paper. There is no field rotation for compensation of equably rotation of pole axis for the equatorial telescope which is suitable for astronomical observation. Altitude-azimuth telescope is extensively applied for perfect carrying capacity, and it is selected for all large telescopes recent years. There is no zenith blind spot for altitude-altitude telescope, and it is suitable for tracking high orbit targets.

Key words: telescope; telescope mount; measure principle

根据用途和观测目标不同, 望远镜跟踪架可采用三种不同的结构形式——赤道式、地平式和水平式, 赤道式又称极轴式, 其赤经轴(极轴)与地球回转轴平行, 赤经轴的匀速转动可以很好的抵消由于地球自转产生的星体的视运动; 地平式具有较好的承载能力, 结构小, 造价低, 应用较为广泛, 但是存在天顶盲区; 水平式无天顶盲区, 在高仰角空域跟踪性能良好, 特别是对人造地球卫星具有很好的跟踪性能^[1]。

1 赤道式跟踪架及测量原理

1.1 赤道式跟踪架结构特点

赤道式望远镜模型如图1所示, 一根转动轴与地球自转轴平行, 这根轴称为赤经轴, 也称之为极轴, 另一根轴与赤经轴垂直, 称为赤纬轴, 镜筒安装在赤纬轴上实现对空间目标的观测。

根据镜筒的位置、极轴框架的结构不同, 赤道

收稿日期: 2009-11-26

基金项目: 国家 863 计划项目

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

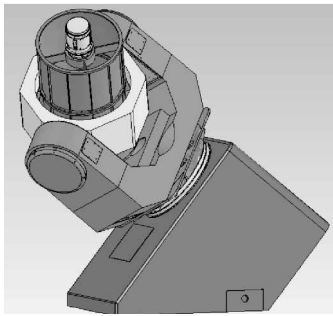
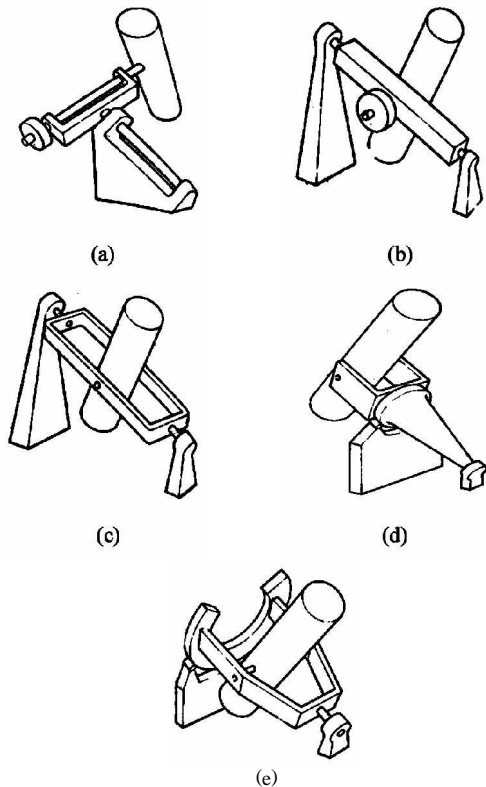


图 1 赤道式望远镜

Fig.1 Structure of equatorial telescope

式望远镜又可分为多种不同的结构形式^[2], 如图 2 所示。(1) 德国式: 德国式的极轴轴承配置在同一侧, 赤纬轴位于极轴轴承的外侧; (2) 英国式: 英国式将赤纬轴从极轴轴承的一侧移到两个分开的极轴轴承的中间, 极轴不再是悬臂式结构, 具有较大的抗弯强度, 可用于口径较大的望远镜, 国家天文台 2.16m 天文望远镜即采用此结构形式; 德国式和英国式结构是非对称的, 对称的赤道式跟踪架还包括轭式结构、叉式结构和马蹄式结构。



(a)德国式结构; (b)英国式结构; (c)轭式结构;
(d)叉式结构; (e)马蹄式结构

图 2 极轴式结构的不同形式

Fig.2 Different structures for equatorial mount

赤道式望远镜的最大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, 同时赤道式望远镜在观察条件最好的天顶位置没有盲区。赤道式望远镜的缺点是悬臂梁式的叉臂弯曲变形大, 其承重载荷受到一定的限制, 不宜装置口径太大的望远镜, 而且体积大、造价高, 外场安装复杂, 它的盲区在极区。图 3 为欧洲南方天文台 3.6m 赤道式望远镜。



图 3 ESO 3.6m 望远镜

Fig.3 ESO 3.6m telescope

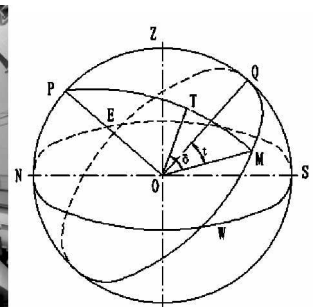


图 4 赤道式坐标系

Fig.4 The equatorial coordinate

1.2 赤道式望远镜测量原理

如图 4 所示, 原点 O 为地面观测点, NESW 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。

赤道坐标系的定义为以观测点 O 为原点, 基本平面为赤道面 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 $[-12h, 12h]$, 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

$$T = f_1(t, \delta, R) \quad (1)$$

式中: t —时角; δ —赤纬角; R —目标至测量点的距离。

2 地平式跟踪架及测量原理

2.1 地平式跟踪架结构特点

如图 5 所示, 地平式跟踪架由绕竖直线旋转的

方位轴(垂直轴)和绕水平线旋转的俯仰轴(水平轴)构成,此结构模式又称俯仰-方位(E-A)模式^[3]。相比于赤道式跟踪架,地平式跟踪架有着诸多优点:(1)镜筒只在俯仰平面内运动,受力状态好;(2)对称式的机械结构为设计和制造带来很大方便,能够承受更大的载荷,可安装光谱、偏振等很多体积大、重量大的仪器;(3)跟踪架体积小、造价低,回转半径小,相应的圆顶小而轻,随动系统简单;(4)安装地点与当地的地理纬度无关。

正是由于上述优点,随着控制技术的发展成熟,地平式跟踪架已成为大口径望远镜发展的必然趋势,苏联6m望远镜第一次使用了地平式结构至今,世界上所有的大口径天文望远镜无一不采用地平式结构,地平式跟踪架已经成为现在规划和建造中的新一代大型望远镜的一个重要特点^[2]。图6为4.2m南方天体物理学研究望远镜(SOAR),其跟踪架采用地平式结构,由美国VertexRSI设计制造,一阶谐振频率接近12Hz^[4]。

地平式跟踪架最大的缺点是存在天顶盲区^[5],当目标飞过天顶附近时,由于望远镜视轴与方位轴接近重合,此时受跟踪架的方位角速度和方位角加速度的限制,不能平滑跟踪目标,这样造成了目标丢失,所以这一区域称为天顶盲区。当望远镜对天体实施跟踪时,方位轴和俯仰轴需同时转动,像场中的星体的位置将随之改变,为了获得静止、稳定的星像,必须配备专门的像场消旋装置。

2.2 地平式望远镜测量原理

如图7所示,O为观测点,NESW为地平面的北、东、南、西四个方向,OZ是天顶方向。地平式坐标定义为观测点O为原点,主平面为地平面,主方向为正北N。空间目标T,过T、Z做大圆(以

球心为圆心的圆)交主平面于M,则角NOM为方位角A,对应于方位轴的转动,从正北向东计量,范围0°~360°;角ZOT为俯仰角z,对应于俯仰轴的转动,从天顶向前下方计量,范围0°~90°,则运动目标在空间某位置T可表示为

$$T = f_2(A, z, R) \quad (2)$$

式中:A—方位角;z—俯仰角;R—目标至测量点的距离。

3 水平式跟踪架及测量原理

3.1 水平式跟踪架结构特点

水平式望远镜由两根相互垂直的轴组成,一根平行于南北方向,称为经轴(L轴),另一根垂直于经轴,称为纬轴(B轴),因两轴线均平行于大地水平面,故称为水平式望远镜,经轴的转动使望远镜的视方向沿经度方向移动,纬轴的转动使望远镜的视方向沿纬度方向移动^[1],图8为水平式望远镜模型。

为了能够跟踪低仰角目标,通常将两轴设计成不等高,将纬轴置于经轴上方,以避免望远镜视场被遮挡,这样就需要对经轴增加额外的平衡配重,以获得稳定的跟踪性能,其结果是经轴的转动惯量增大,整机尺寸和重量增大,对力矩电机的性能和伺服控制提出了较高的要求,所以水平式望远镜口径不宜太大,图9为40cm水平式望远镜。

3.2 水平式望远镜测量原理

如图10所示,原点O为观测点,NESW为地平面的北、东、南、西四个方向,Z为天顶,过N、S和天顶Z的大圆为子午圈,即由北向南过天顶的大圆;过W、E和天顶Z的大圆为卯酉圈,即由西向东过天顶的大圆。

水平式坐标以观测点O为原点,基本平面为卯

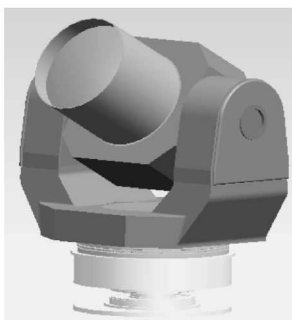


图5 地平式望远镜模型
Fig.5 Structure of altitude-azimuth telescope

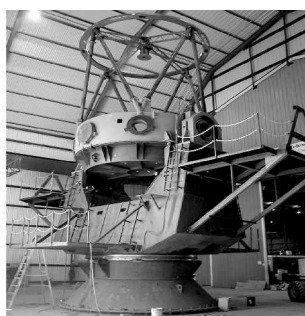


图6 4.2m SOAR 望远镜
Fig.6 4.2m SOAR telescope

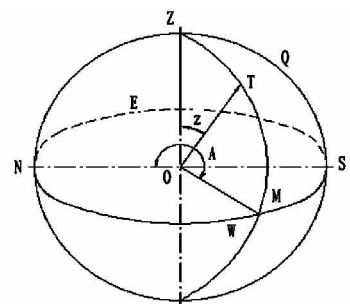


图7 地平式坐标系
Fig.7 The altitude-azimuth telescope coordinate

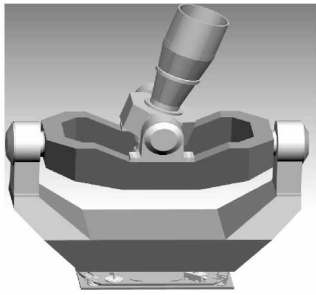


图8 水平式望远镜模型

Fig.8 Structure of the alt-alt telescope

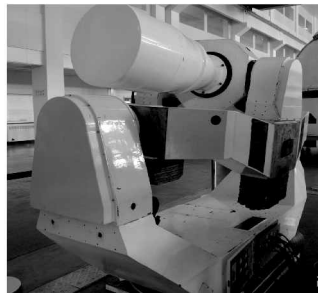


图9 40cm 水平式望远镜

Fig.9 40cm alt-alt telescope

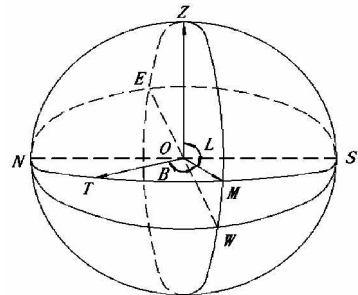


图10 水平式坐标系

Fig.10 The coordinate for alt-alt telescope

西面,主方向为天顶Z。过空间目标T点、N、S做大圆,交卯酉面于M点,则弧TM对应的角TOM为纬度角B,即空间向量OT与卯酉平面的夹角,对应于纬轴的转动,B的取值范围为 $-90^\circ \sim 90^\circ$,向北为正,向南为负;弧ZM对应的角ZOM为经度角L,对应于经轴的转动,L的取值范围为 $-90^\circ \sim 90^\circ$,向东为正,向西为负,则运动目标在空间某位置T可表示为

$$T = f_s(L, B, R) \quad (3)$$

式中:L—经度角;B—纬度角;R—目标至测量点的距离。

4 结束语

赤道式跟踪架利用其极轴的匀速转动可以很好的抵消由于地球自转而产生的星体的视运动,但是悬臂梁式的叉臂弯曲变形大,不宜于装置大口径望远镜,主要用于天文观测;地平式跟踪架采用对称式的结构形式,具有很好的承载能力,现代大口径望远镜均采用地平式结构,缺点是存在天顶盲区;

水平式跟踪架没有天顶盲区,在高仰角空域跟踪性能良好,外场安装简单,但是不适合于口径太大的望远镜。综上,赤道式、地平式和水平式跟踪架各有优缺点,应根据目标特性、系统跟踪精度和快速性等性能指标来选择跟踪架结构形式。

参考文献

- [1] 张耀明,邹丽新,沈江.水平式光电经纬仪主要性能的分析[J].苏州大学学报:自然科学,2002,18(2):21-24.
- [2] 程景全.天文望远镜原理和设计[M].北京:中国科学技术出版社,2003:90-95.
- [3] 陈涛,陈娟,王旭超,等.光电经纬仪跟踪架结构模式浅析[J].吉林工学院学报,2002,23(3):19-22.
- [4] Kerstan G Hermann, David Finley, Al Gienger. High Performance Mount for the SOAR Telescope Project[J]. SPIE, 2000, 4004:127-134.
- [5] 吉桐伯,陈娟,杨秀华,等.地平式光电望远镜天顶盲区影响因素[J].光学精密工程,2003,11(3):296-300.
- [6] 刘磊,高明辉.空间大口径望远镜可展开式反射镜单元镜支撑技术[J].长春理工大学学报,2005,28(3):120-122.

(上接第28页)

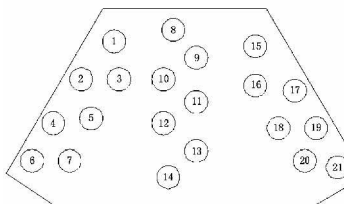


图3 多无限远目标模拟装置测试点分布图

Fig.3 Device to test point distribution map

4 结论

本文采用激光准直五棱镜回转扫描法对多无限远目标模拟装置进行了共面检测,建立了数学模

型,给出了平面度误差评定方法,在理论和实践中都取得了满意的结果,此方法只要改变评定软件可以完成对任意形状的大工件平面度误差的测量。

参考文献

- [1] 李松.用五棱镜法检测光束准直性的原理分析[J].测绘信息与工程,1999(2):30-31.
- [2] 朱若谷.激光应用技术[M].北京:国防工业出版社,2006:52-57.
- [3] 甄恒洲.一种计算空间平面的平面度误差新方法[J].组合机床与自动化加工技术,2001,10:21-23.
- [4] 张东梅,尚春民.车载平台变形的激光自准直测量方法研究[J].长春理工大学学报,2006,29(3):16-19.