

文章编号 1004-924X(2009)10-2401-05

1 m 望远镜俯仰轴系精度检测误差的修正

赵勇志^{1,2}, 张景旭¹, 吴小霞¹, 施 龙¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:针对 1 m 望远镜俯仰轴系检测精度未达到系统指标, 而系统运转性能优异的问题, 研究了系统可能存在的可消除误差项。通过对影响 1 m 望远镜俯仰轴系精度的主要因素—中间体(四通)的有限元分析和运算, 得出了四通在不同俯仰角度的变形曲线, 并与实际检测结果进行对比, 找出两者的相同特征并进行了补偿。按此方法使得望远镜俯仰轴系晃动误差 PV 值从 2.42" 降到 0.95", RMS 值从 0.7" 降到了 0.3", 提高了系统精度模型的准确性。推导出了设计过程中的检测指标, 为更大口径望远镜轴系的设计和检测提供了理论依据。

关键词:1 m 望远镜; 四通; 俯仰轴系精度; 有限元法; 误差补偿

中图分类号: TH752 文献标识码: A

Modification of altitude axis errors for 1 m aperture telescopes

ZHAO Yong-zhi^{1,2}, ZHANG Jing-xu¹, WU Xiao-xia¹, SHI Long¹

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: Altitude axis precision is important to the performance of a large aperture telescope. At practice, the tested result can not reach the system requirement, but the performance is well enough, so there must be error factors caused by centerpart deformation that can be eliminated in this system. To improve the accuracy of an altitude axis precision model, the centerpart, a main part effeting altitude axis precision is analyzed by the Finite Element Method(FEM), and then the curve of altitude axis max deformation versus pitch angle is obtained. After analyzing the influence of deformation on the axis precision, a modification method is proposed, which uses a compensation method to add the tested results to the calculated results. By this way, the PV error and the RMS error of axis shake are reduced from 2.42" to 0.95" and from 0.7" to 0.3", respectively. The method can improve the accuracy of the system precision model, and can provide theoretical basis for design and test of an even larger telescope.

Key words: 1 m aperture telescope; centerpart; altitude axis precision; Finite Element Method (FEM); error compensation

1 引言

望远镜俯仰轴系承载着主光学系统和部分探测分系统,其轴系随机晃动值的大小直接影响望远镜最终的使用性能。对于小型望远镜而言,影响轴系精度的主要因素为单个零件的加工误差和配合间隙,通过对误差和配合间隙合理地分配设计,能使精度达到很高。本文涉及的 600 mm 口径以下的望远镜,俯仰轴系随机晃动误差 PV 值为 $1.2''$,RMS 值能达到 $0.4''$;而口径达到 1 m 时,轴系晃动检测值明显增大,1 m 望远镜检测结果其 PV 值为 $2.42''$,RMS 值为 $0.7''$,没有达到系统要求的 PV 值 $1.2''$,但实际使用时系统的性能显示十分优异,说明有必要探寻检测结果中包含的系统误差,进而对检测结果进行补偿以提高系统精度模型的精确性。研究表明,影响俯仰轴系精度的主要因素为中间体(四通)的变形和四通两轴孔的同轴度。同轴度误差是由加工误差决定的,属于随机误差;四通的变形是在有一定规律的载荷作用下产生的,其值也应该存在一定的规律性。本文对其规律性进行了研究,进而将其引入轴系精度模型以提高轴系精度模型的准确性。这样可以在保证系统性能的情况下降低设计和检测的技术指标,从而降低系统的制造难度。

2 四通有限元分析

2.1 模型建立

有限元模型如图 1 所示,其中 Y 轴为回转轴,Z 轴为二次镜轴向,X 轴根据右手定则确定。有限元分析时采用的单位制为 mm/Tone/s。

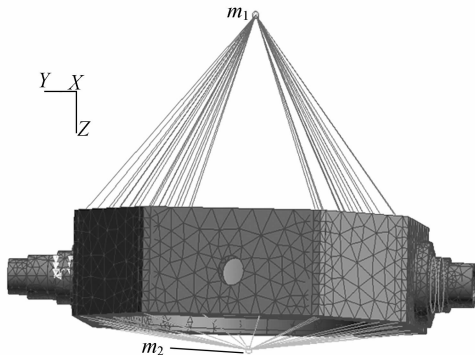


图 1 四通有限元模型

Fig. 1 Finite-element mesh of centerpart

采用 Tet10 单元划分四通和左右轴,主次镜分别用质量点单元 m_1 和 m_2 来表示,其中 $m_1 = 200 \text{ kg}$, $m_2 = 1\ 019.48 \text{ kg}$,质量点 m_1 、 m_2 到回转轴线的距离 $d_1 = 1\ 158.2 \text{ mm}$, $d_2 = 298 \text{ mm}$,四通轴线以上质量为 615.2 kg ,质心距离轴线为 183.2 mm ,四通轴线以下质量为 361.7 kg ,质心距离轴线为 112.6 mm ,且满足:

$$m_1 \times d_1 + 615.2 \times 183.4 = 361.7 \times 112.6 + m_2 \times d_2 \quad (1)$$

2.2 约束与分析载荷

约束的施加:组件在指向不同俯仰角时,左右轴均可绕轴线转动,右轴还可以沿轴线平移,故在有限元模型上进行约束时,左轴端止推约束,右轴有轴线方向的自由度。

载荷的施加:系统在俯仰角 $0 \sim 180^\circ$ 内转动,载荷为重力,重力在 $0 \sim 180^\circ$ 内变化,俯仰角为 α 时,重力在 X 轴和 Z 轴上的分量分别为 $g \cos \alpha$ 和 $g \sin \alpha$ 。

2.3 仿真结果

有限元仿真计算获得四通在竖直和水平状态下的变形结果,其变形云图如图 2、3 所示。俯仰轴系在不同转角时,会产生不同的变形量。将不同仰角时四通在轴线上的变形量每隔 5° 取一点列于表 1 中。

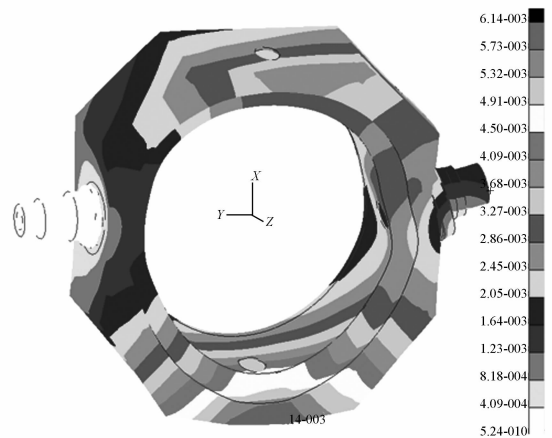


图 2 0° 位置四通变形图

Fig. 2 Deformation at 0° pitch angle

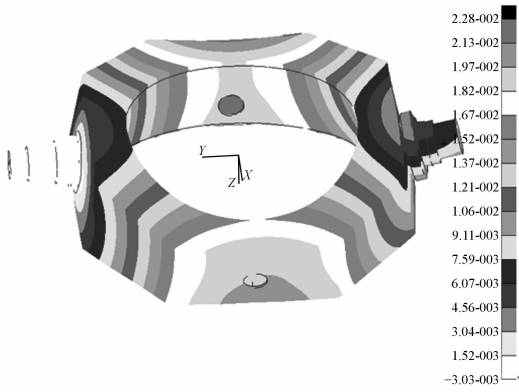


图 3 90°位置四通变形图

Fig. 3 Deformation at 90°pitch angle

表 1 四通在不同角度的最大变形量

Tab. 1 Max deformation of centerparts at different angles

$\alpha(^{\circ})$	变形量 $x(\text{mm})$	$\alpha(^{\circ})$	变形量 $x(\text{mm})$
0	0.003 15	95	0.017 34
5	0.003 68	100	0.017 11
10	0.004 65	105	0.016 75
15	0.005 81	110	0.016 28
20	0.007 05	115	0.015 66
25	0.008 30	120	0.014 96
30	0.009 52	125	0.014 13
35	0.010 71	130	0.013 21
40	0.011 82	135	0.012 20
45	0.012 86	140	0.011 12
50	0.013 81	145	0.009 96
55	0.014 67	150	0.008 74
60	0.015 42	155	0.007 50
65	0.016 06	160	0.006 25
70	0.016 60	165	0.005 05
75	0.017 00	170	0.004 00
80	0.017 28	175	0.003 27
85	0.017 42	180	0.003 15
90	0.017 45	125	0.014 13

将表 1 中各点拟合成图 4 所示的曲线,从图 4 中可以看出,四通在不同角度时产生的最大变形有一定的规律性,成正弦曲线分布,可以作为轴系的系统误差。

从表 1 中每隔 30°取一点,进行精度计算为:

$$\delta = -\arctan(x/L), \quad (2)$$

其中 x 为四通变形量, L 为俯仰轴系两轴承之间的跨度值(1 862 mm), δ 为四通变形引起的轴系角度晃动量。计算结果列于表 2。

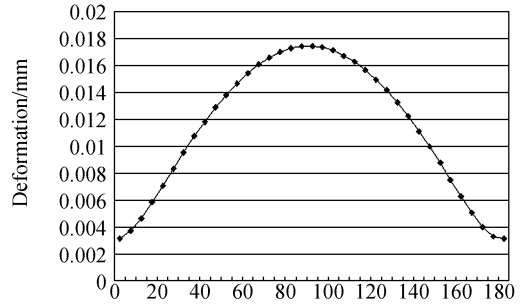


图 4 俯仰轴线上的最大变形曲线

Fig. 4 Altitude axis max deformation curve when pitch angle changes

表 2 四通变形引起的俯仰轴误差

Tab. 2 Altitude axis errors caused by centerpat deformation

$\alpha(^{\circ})$	精度值 $\delta(^{\prime\prime})$	$\alpha(^{\circ})$	精度值 $\delta(^{\prime\prime})$
0	-0.35	120	-1.66
30	-1	150	-0.97
60	-1.7	180	-0.35
90	-1.92		

3 俯仰轴系的检测结果

顺时针和逆时针旋转俯仰轴系各两次,每隔 30°读取轴系角晃动值,检测结果如表 3。

将各点及其角晃动值列于坐标系中得到图 5,从图中可以看出,检测结果同样成正弦曲线分布。

表 3 俯仰轴轴系晃动检测结果

Tab. 3 Tested performance of altitude axis

α	顺时针		逆时针		精度值
0	7	7	7	7	0.932
30	6.9	7	7.1	6.9	0.744
60	6.2	6.5	6.4	6.3	-0.39
90	6.4	6.3	6.4	6.2	-1.13
120	7.6	7.5	7.5	7.1	-0.76
150	9.4	9.3	9.2	9	0.492
180	10.2	10.5	10.1	10.2	1.293

$$PV=2.42'' \text{ RMS}=0.69''$$

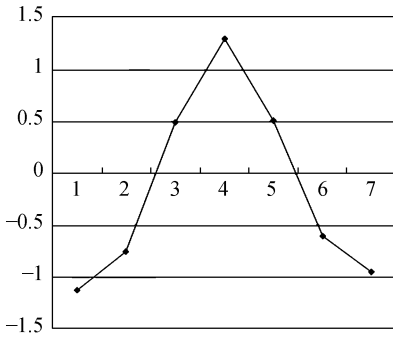


图 5 轴系精度曲线

Fig. 5 Tested result curve

4 误差补偿

四通有限元分析结果和检测结果存在着相同的规律性,可以进行相应的补偿。用检测值减去对应位置四通变形引起的变形得到补偿后的精度值列于表 4 中,这与原检测结果相比有了很大的提高,满足了系统指标要求。反之,把系统指标加上四通变形引起的轴系晃动,可以得到检测指

标。用这个检测指标与实际检测指标比较,即可以判断系统最终性能的优异。

表 4 补偿后的精度值

Tab. 4 Altitude axis performance after compensation

$\alpha(^{\circ})$	精度值 $\delta(^{\prime\prime})$	$\alpha(^{\circ})$	精度值 $\delta(^{\prime\prime})$
0	1.282	120	0.9
30	1.744	150	1.462
60	1.31	180	1.643
90	0.79		

PV=0.95" RMS=0.3"

5 结 论

通过对四通的变形分析及其对俯仰轴系角晃动误差影响的分析计算,得到了更精确的俯仰轴系精度模型和设计过程中的检测指标,解决了检测结果和实际使用之间的矛盾,为更大口径望远镜的设计和检测提供了依据。

参考文献:

- [1] 郭劲,张景旭. 大型光电跟踪架采用焊接结构的工程分析与研究[J]. 光学精密工程, 1996, 4(4): 62-67.
GUO J, ZHANG J X. Engineering analysis and research of large-size OE tracking gimbals and adopting welding structure[J]. *Opt. Precision Eng.*, 1996, 4(4): 62-67. (in Chinese)
- [2] 周军,车双良,刘国荣,等. 光电经纬仪动力学模型分析[J]. 应用光学, 2003, 24(2): 26-30.
ZHOU J, CHEN SH L, LIU G R, et al.. Analysis for dynamics model of optoelectronic theodolite[J]. *Applied Optics*, 2003, 24(2): 26-30. (in Chinese)
- [3] 张林波,任戈,陈洪斌. 大口径望远镜水平轴系的模态分析[J]. 光电工程, 2003, 30(2): 8-10.

- ZHANG L B, REN G, CHEN H B. Modal analysis for horizontal shafting of a large-aperture telescope [J]. *Opto-electronic Engineering*, 2003, 30(2): 8-10. (in Chinese)
- [4] 张林波,任戈,陈洪斌. 大口径望远镜结构的有限元分析[J]. 光学技术, 2003, 29(5): 565-567.
ZHANG L B, REN G, CHEN H B. Finite element analysis for the large-aperture telescope[J]. *Optical Technique*, 2003, 29(5): 565-567. (in Chinese)
- [5] 吴晗平,易新建,杨坤涛. 机械结构因素对光电跟踪伺服系统性能的影响[J]. 应用光学, 2004, 25(3): 11-14.
WU H P, YI X J, YANG K T. Mechanism structure factors on performance of opto-electronic tracker servo systems[J]. *Applied Optics*, 2004, 25(3): 11-14. (in Chinese)

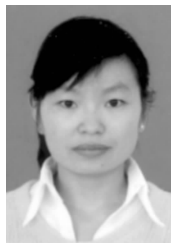
作者简介:



赵勇志(1979—),男,山东泰安人,博士研究生,主要研究方向为大型光电经纬仪结构设计。E-mail: zyz0715@sohu.com



施 龙(1978—),男,四川达县人,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所研究实习员,主要从事光学结构设计。E-mail: shilong2005@sina.com



吴小霞(1981—),女,江苏盐城人,助理研究员,主要从事大口径薄镜面主动支撑系统设计和计算机辅助设计方面的研究。E-mail: wu-xiaoxia@sohu.com

导师简介:



张景旭(1965—),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,主要研究方向为大型光电经纬仪结构设计。E-mail: zhangjx@ciomp.ac.cn

● 下期预告

PS/PMMA 复合光散射性能的研究

孟庆华¹,郭安儒²,张勇杰²,孟庆云¹,向 阳¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;2. 北京化工大学,北京 100029)

雾度和透光率是表征光散射材料性能的两个重要指标。高聚物光散射材料以其价格低廉,容易加工成型等优点而成为人们关注的一种很有前景的新型光散射材料。PS 和 PMMA 是两种常用的高聚物材料其透光率接近无机玻璃,其极性差异使它们比较适合于制备光散射材料。对以 PS 作为光散射体,以 PMMA 为基体的复合光散射材料进行实验研究。实验结果表明:少量 PS 添加到 PMMA 中时即可以制备出光散射材料,PS 添加量为 1% 时,复合光散射材料的透光率为 80%;不添加 PMMAPS 时雾度为 50%,添加了 PMMAPS 时雾度达到 80%,PMMAPS 可以改善 PMMA 和 PS 之间的相容性,提高样品的雾度值。因此通过调节散射剂 PS 和 PMMAPS 添加量可实现光散射高雾度和高透光率的双高要求。