

SDT 镜筒的设计与分析

□ 范未强^{1,2} □ 孙逸桥¹ □ 吴海燕¹ □ 刘志嘉¹

1. 中国科学院 南京天文仪器研制中心 南京 210042

2. 中国科学院 研究生院 北京 100049

摘 要: 设计与分析了一种新型中高轨空间碎片探测望远镜(SDT)的镜筒结构,介绍了镜筒在天文望远镜中的主要作用及功能,分析了镜筒在载荷作用下各种变形对光学系统误差的影响,并对其结构受力状态及误差作了详细的分析。利用 Pro/E 建立镜筒模型,用 ANSYS 对其进行有限元分析及结果后处理,利用 ZEMAX 软件对镜筒进行温差计算与分析,为其它相似类型的光学仪器的镜筒设计与分析提供了重要参考价值。

关键词: 天文学望远镜 镜筒 结构设计 ANSYS 有限元分析 后处理

中图分类号: TH751;TH122

文献标识码: A

文章编号: 1000-4998(2009)04-0018-04

望远镜作为人类进行天文观测的重要仪器,主要有3方面的作用^[1]:①增加聚光,人眼瞳孔很小,因而收集天体辐射就很少,望远镜的大物镜则可以收集到比人眼多上亿倍的天体辐射;②提高分辨能力,譬如人肉眼直接看不清的月球表面细节,望远镜则可分辨出来;③望远镜的机械及控制装置可以精确地对准天体并进行较长时间的跟踪观测。

单就一台光学天文望远镜而言,其总体结构可分为光学系统、机械系统、电控设备和终端设备。其中光学系统是光学望远镜的最基础部分,它基本上决定了望远镜的机械结构和观测精度。机械系统是用来实现光学器件的固定支撑、实现光学系统的整体运动和局部调整、安装电控设备和终端设备,是望远镜的骨架,因此可以说望远镜的机械结构决定了其整体稳定性以及指向精度的大小。

望远镜的机械系统可分为机架和镜筒两大部分。其中机架是用来支撑镜筒并实现镜筒的各种运动。镜筒主要用于望远镜光学系统的固定,并能对主镜、副镜等进行局部相对位置调整,实现光学系统的既定功能,同时还可安装电控以及终端设备,因此镜筒在天文学望远镜中起着十分重要的作用。本文基于在研课题,旨在设计一台满足技术要求的中高轨空间碎片探测望远镜镜筒,对其性能及精度进行相关方面的分析。

1 设计要求

1.1 光学系统主要技术指标及要求

- 1) 光学总体形式采用主焦点形式,入瞳直径: 910 mm,焦距: 1 180 mm;
- 2) 中心遮拦比: < 7%;
- 3) 光学总长: < 1 300 mm (主镜顶点至像面距离);

收稿日期: 2008年10月

4) 镜片总重量: < 280 kg;

5) 在镜筒处于水平到天顶状态时,光轴和 CCD 中心的偏差小于半个像素;

6) 有效(机械)后截距: ≥ 40 mm。

1.2 镜筒的设计要求

1) 镜筒总长度小于 1 900 mm,镜筒总重量小于 1 600 kg;

2) 镜筒采用整体结构,镜筒内部所有器件均为无光黑色,镜筒内壁设有消杂散光光阑。

2 镜筒的设计

2.1 镜筒材料的确定

该望远镜要求能在野外观察,工作温度范围 $-40 \sim 40$ °C。理想结果是以室温(20 °C)计算,因温差范围较大,须对系统进行温差分析,以确定镜筒材料。由于线性膨胀系数较小的钢材价格昂贵,所以考虑两种通用镜筒材料:普通钢和铝。通过 ZEMAX 分析后得镜筒后节距变化量如表1所示。

表1 普通钢和铝后节距变化量

	钢线膨胀 系数/($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	钢间距变化 量/mm	铝线膨胀 系数/($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	铝间距变化 量/mm
-40 °C	11×10^{-6}	-0.70	23×10^{-6}	-1.56
40 °C	11×10^{-6}	0.23	23×10^{-6}	0.53

由于铝膨胀系数偏大,不符合要求,对于普通钢,通过 ZEMAX 软件离焦计算,在 -40 °C 情况下,后节距位置为 40.64 mm;在 40 °C 情况下,后节距位置为 39.79 mm,可见此种情况下,望远镜在 -40 °C 时成像质量略差,但仍能满足 CCD 成像要求,因此采用普通钢作为镜筒材料,能满足光学系统的设计要求。

2.2 主镜筒结构形式的选择

主镜筒在机械结构形式上基本可分为^[2]桁架结构

和圆筒结构,前者一般应用于大型光学望远镜上,基本上都采用 A 字型结构,这种结构相对质量轻,可以实现主镜和副镜之间的平移和等弯沉^[3],但由于镜筒不封闭,光噪与灰尘等对望远镜成像质量影响大;后者一般用在中小口径望远镜上,其主镜室、副镜等被连接在镜筒内,这种结构可以将光学系统封闭起来,避免沙尘对光学器件的侵害,以及镜筒运动时空气流动对成像质量的影响。

根据设计要求,该望远镜主要用于中高轨空间碎片探测,其总体光学系统尺寸较短,跟踪速度较快,且能在野外恶劣条件下进行观测。因此主镜筒采用圆筒封闭结构。

2.3 镜筒刚度的加固

由于镜筒主形式为圆柱状,危险载荷为重力引起的压弯力,因此可采用如下方法增加其刚度^[4]:①补强柱的截面,采用焊接与圆柱连接成一个体;②增设支撑以减小柱自由长度,提高承载能力,在截面尺寸不变的情况下提高了柱的稳定性。

考虑到加固件应尽量减少对望远镜光路进行遮挡,镜筒整体结构采用钢板焊接而成,为进一步提高刚度,与赤纬轴连接的中间块与镜筒做成一体。此种结构质量轻、刚度好,其三维模型如图1所示。该结构主要采用厚度为5 mm 的 $\phi 110$ 整体圆筒及3~5 mm 肋板与加强筋焊接而成,整体结构长度为1 252 mm $\leq$ 1 900 mm,质量为521 kg $\leq$ 1 600 kg。

3 镜筒的分析

为了验证镜筒是否满足各项技术要求,我们对所设计的镜筒进行了相关分析。

3.1 光学望远镜镜筒误差分析

主焦点系统是反射式天文望远镜的基本光学系统,其可用视场较小,一般需要设置像场改正镜以增大视场角。改正镜由6块镜片组合而成,如图2(b)所示。

考虑到改正镜的影响,则光轴偏移 CCD 中心量 Δ

与主镜转角 α 、主镜焦距 f 以及改正镜的放大率 β ($\beta=1.38$) 的关系为:

$$\Delta = f\beta \tan \alpha \quad (1)$$

3.2 光学系统对镜筒设计的刚度要求

根据设计要求,在镜筒处于水平到天顶状态时,光轴和 CCD 中心的偏差小于半个像素。该望远镜使用的 CCD 规格为1 024 $\times$ 1 024,靶面大小(对角线)18.800 mm,像素大小为边长 $L=13.00 \mu\text{m}$,则半个像素长度(取像素对角线一半)为: $l=\sqrt{2}L/2=9.19 \mu\text{m}$ 。

SDT 作为光机电一体化仪器,其误差分配关系大致由光学误差、机械误差与装调误差组成,但由于这些误差之间具有偶然性,所以单就机械设计而言,光学系统焦点偏离 CCD 靶心的误差线为 $\Delta = l/\sqrt{3}=\sqrt{2}L/(2\sqrt{3})=5.31 \mu\text{m}$,图2为 SDT 的光学系统示意图及其各项参数尺寸。

3.3 镜筒的有限元分析

为了校验镜筒的刚度是否满足设计要求,必须借助于有限元软件对其进行分析。

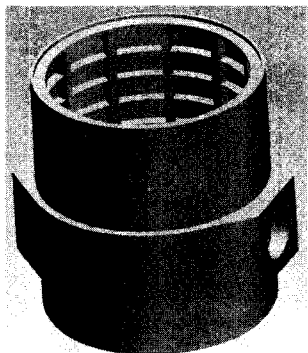
3.3.1 问题的描述

实际情况下,镜筒在水平状态下的径向变形最大,因此如果水平状态满足要求则镜筒在其它状态也会满足刚度要求。图3为镜筒总体装配示意图,轴孔固定,镜筒的左端设备与右端设备分别用螺栓连接,重力方向向下(Z 轴正方向),其所受载荷如表2所示。

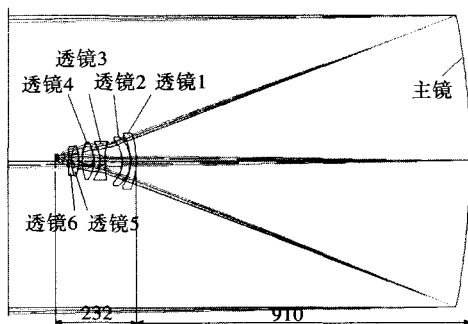
表2 镜筒水平状态载荷列表(重力加速度 $g=9.8 \text{ m/s}^2$)

	左端	镜筒	右端
质量/kg	131	521	488
质心/mm	(0,936,0)	(0,90,0)	(0,-380,0)

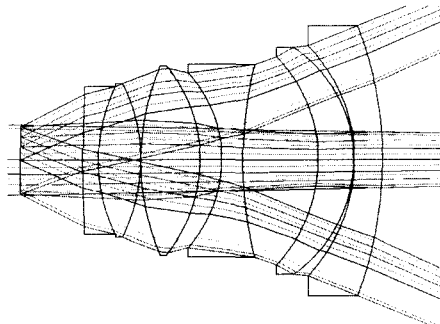
考虑到镜筒模型本身以及所受载荷的对称性^[5],取其一半作为有限元分析模型。此处采用 Pro/E 对镜筒进行建模,然后导入 ANSYS 中对其进行有限元分析。其有限元模型采用 Solid95 非线性单元,应用 ANSYS 对其进行自由网格划分,根据等效原理采用表面



▲图1 镜筒结构的三维模型

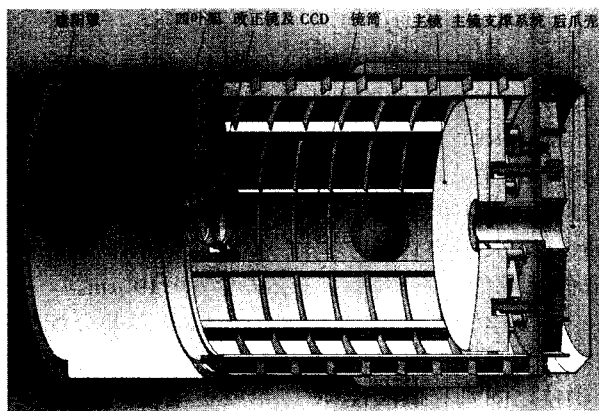


(a) 光学系统示意图

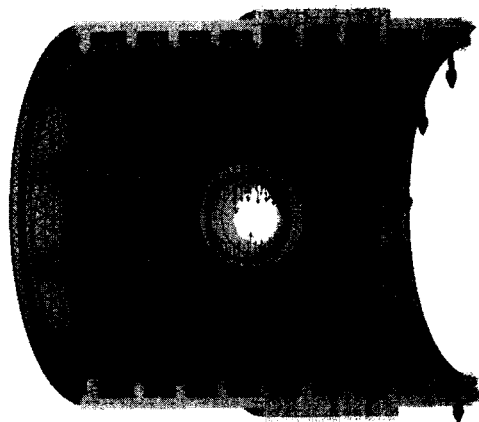


(b) 像场改正镜局部放大示意图

▲图2 光学系统与像场改正镜局部放大示意图



▲图3 镜筒三维剖视总体装配示意图



◀图4
镜筒有限元模型

效应单元 SURF154 模拟镜筒左端与右端螺栓连接的切向载荷,如图4所示。其轴孔表面各节点 $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0$ (即采用固定约束),镜筒左右端面分别以螺栓连接左右设备。其中左端面采用 $12 - \phi 8$ 均布螺孔,垫片采用 $12 - \phi 16$;右端面采用 $12 - \phi 16$ 均布螺孔,垫片采用 $12 - \phi 30$ 。根据螺栓连接原理,左右设备重力通过垫片的摩擦力平衡,镜筒左端面螺孔处所受切向压力 $F_{左} = 220 \text{ MPa}$,右端面螺孔处所受切向压力 $F_{右} = 260 \text{ MPa}$,方向都为 Z 轴正方向。把切向力转化到螺孔附近的节点上后,其有限元模型如图4所示。

3.3.2 有限元分析结果

根据有限元模型求解,经 ANSYS 后处理,其结果

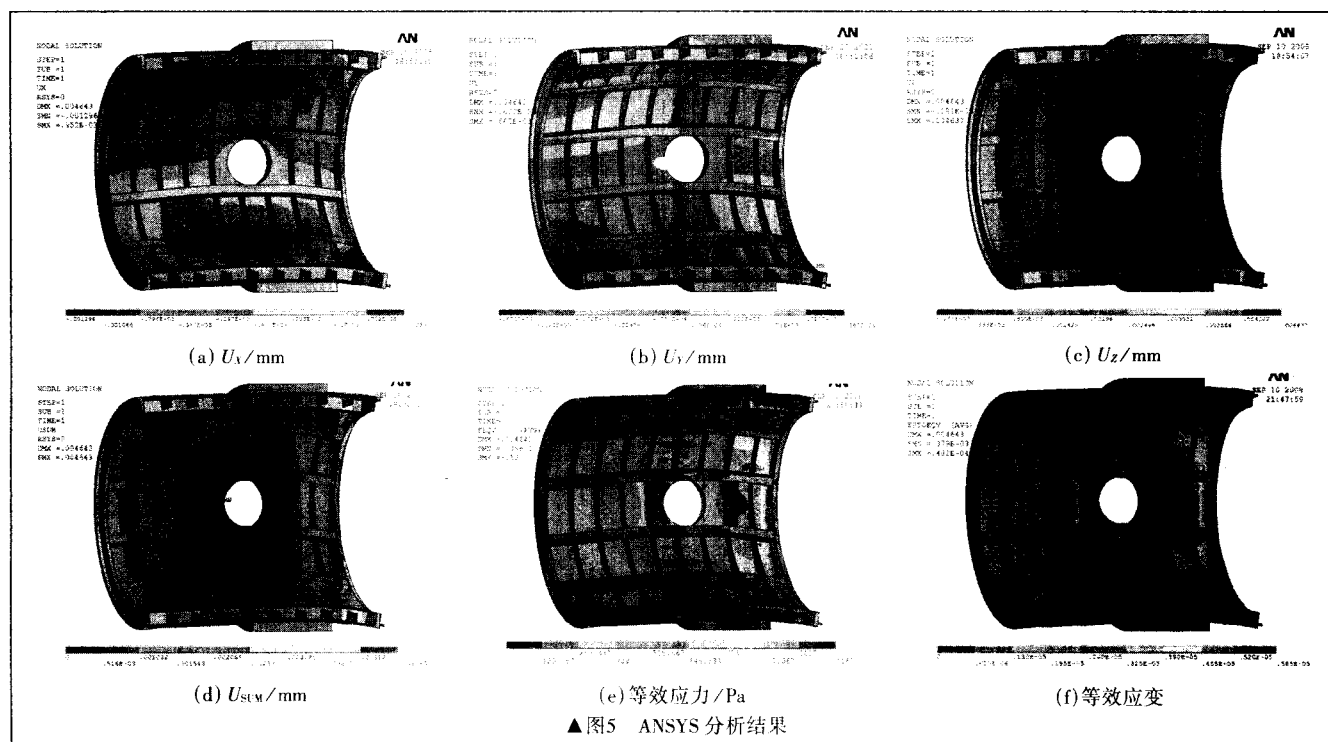
分析图如图5所示。该镜筒采用实体建模,ANSYS 对三维实体的导出数据(应力、应变等)进行后处理时^[5]必须把图形显示模式切换到 FullGraphics, 否则其单元解与实际分析结果相差较大。

3.3.3 镜筒的计算结果分析

1)力学性能:根据有限元分析结果的等效应力与等效应变等值线图可知,镜筒最大应力为 9 MPa ,远小于其许用应力,故镜筒满足材料力学性能要求。

2)刚度分析:由 ANSYS 列表输出数据整理后,镜筒左右端面总位移如表3所示。

由于望远镜的主镜和改正镜分别通过主镜支撑系统和四叶架与镜筒左右端面螺栓连接,因此主镜与改



▲图5 ANSYS 分析结果

滚动转子式压缩机泵体输入功率的计算^{*}

□ 郭 凯 □ 李祥松 □ 冯 霏 □ 闻邦椿

东北大学 机械工程与自动化学院 沈阳 110004

摘 要: 在确立的假设条件下,对叶片、滚套、曲轴等滚动转子式压缩机各关键运动部件进行了动力学分析,得出了压缩机泵体的输入功率表达式。为压缩机设计提供了理论基础。

关键词: 滚动转子式压缩机 输入功率 动力学分析

中图分类号: TH457

文献标识码: A

文章编号: 1000-4998(2009)04-0021-03

Abstract: On the established hypothetical conditions, the dynamic analysis of the key moving parts of the rolling piston type rotary compressor is carried out, including vane, roll barrel, crankshaft, etc. As a result, the input power expression of the pump body of the compressor is obtained, thus proving the theoretical basis for compressor design.

Key Words: Rolling Piston Type Rotary Compressor Input Power Dynamic Analysis

压缩机可简单分成电机和泵体两个部分。泵体输入功率的计算就是在模拟泵体真实工作状态的前提下,求解压缩机正常运转时泵体部分所实际耗费的功率值。正确的计算泵体实际损耗的功率值是压缩机设计的基础。

*国家自然科学基金资助项目(编号:50535010)

收稿日期:2008年12月

1 假设条件的确立

压缩机输入功率在泵体部分的消耗主要分为气体压缩功和机械磨损两大块,此外,还包括诸如转子风阻、上油泵油动力以及叶片部气体压力的消耗等。

在上述所有的消耗中,气体压缩功所占的比例最大,所以正确的计算就显得尤为重要。气体在泵体内部

表3 镜筒端面位移列表/ μm

	U_x (径向)			U_r (轴向)			U_z (重力方向)			U_{sum} (总位移)		
	Max	Min	RMS	Max	Min	RMS	Max	Min	RMS	Max	Min	RMS
左端面变形	0.20	-0.30	0.13	0.52	-0.51	0.39	4.10	3.03	3.42	4.13	2.58	3.43
右端面变形	0.45	-0.55	0.15	0.67	-0.66	0.42	4.64	1.97	3.26	4.64	2.06	3.26

正镜的光轴夹角分别为: $\alpha_{\text{主}}=0.25''$, $\alpha_{\text{改}}=0.20''$ 。

根据式(1),主镜光轴偏离 CCD 中心量为:

$$\Delta' = U_{z\text{左}} - U_{z\text{右}} + f \beta \tan \alpha_{\text{主}} + S \tan \alpha_{\text{改}} \\ = 2.17 \mu\text{m} < 5.31 \mu\text{m}$$

其中: Δ' 为系统光轴与 CCD 靶心偏距; $U_{z\text{左}}$ 为镜筒左端面 Z 轴(重力方向)位移; $U_{z\text{右}}$ 为镜筒右端面 Z 轴位移;焦距 $f=1\,180\text{ mm}$; $S=232\text{ mm}$ 为改正镜与 CCD 靶面距离。

对于水平状态,由于一般材料的拉压应力远大于其抗弯应力,因此当镜筒处于水平状态满足设计要求时,其竖直状态也必然满足要求。

4 结论

通过以上分析可得出如下结论:

1)所设计的镜筒结构是成功的,其在水平状态下的变形满足镜筒的各项设计要求,那么在其它状态下

(镜筒工作范围内)也必然满足要求;

2)由有限元分析结果可知,镜筒光轴偏离了 CCD 靶心量,因此对镜筒设计要有一定的余量。

另外还可进一步优化系统各项参数,比如在保证镜筒刚度的条件下使其重量更轻等。综上所述,本次所设计的镜筒满足课题的技术要求。

参考文献

- [1] 肖克齐. SBC 望远镜设计及结构关键技术研究[D]. 南京理工大学,2005.
- [2] 胡中为. 普通天文学[M]. 南京:南京大学出版社,2003.
- [3] 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.
- [4] 范钦珊. 工程力学[M]. 北京:高等教育出版社,2003.
- [5] 博弈创作室. ANSYS9.0经典产品基础教程与实例详解[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [6] 周宁. ANSYS 机械工程应用实例[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.

△

(编辑 日 月)