

望远镜的机械结构设计

胡企千, 邱敏华, 尤田

南京天文仪器研制中心, 210042

摘要

本文介绍多通道太阳望远镜的总体结构设计, 包括精度分配、力学性能和结构布局。此望远镜结构的特点在于它有二组镜筒分别用于太阳整体象和局部象的观测。本文还介绍了一种用于太阳望远镜纬轴平衡的方法。

一、概述

太阳多通道望远镜是在原磁场望远镜(镜筒、滤光器)及其观测室(园顶、天窗)的基础上进一步发展而研制的仪器, 因而具有一定的继承性, 并在设计中受到其外界条件的限制。

就机械结构而言, 太阳多通道望远镜分为基座(极轴)、叉臂(纬轴)和镜筒三个部分, 其中镜筒部分包括:

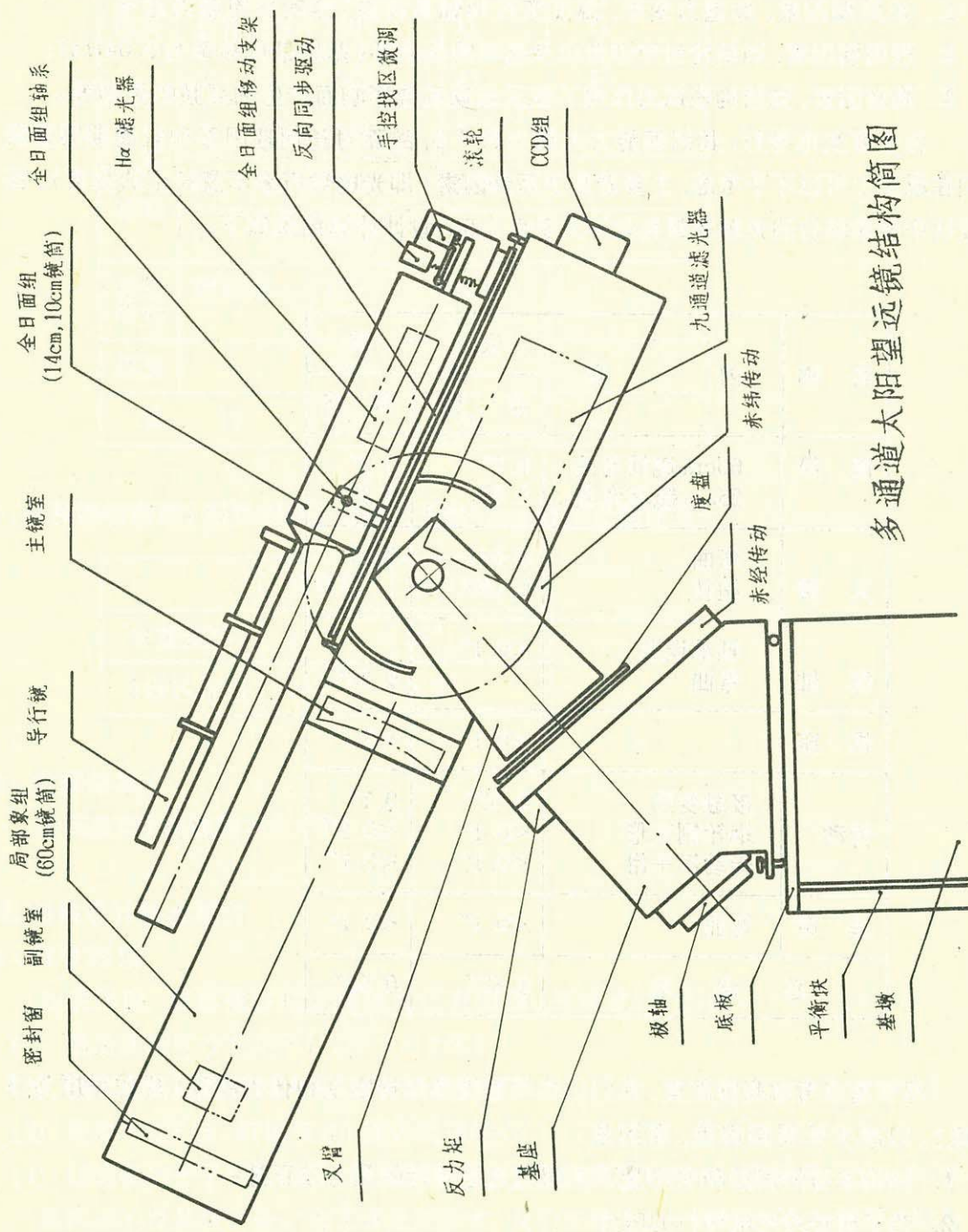
1. 局部象部分(由赤径、赤纬轴系直接控制):
 - (1) 35cm 磁场望远镜镜筒;
 - (2) 60cm 反射式真空镜筒;
2. 全日面象部分(由全日面镜筒组轴系控制, 该轴系固定于局部象镜筒组上):
 - (1) 14cm 折射式真空镜筒;
 - (2) 10cm 折射式真空镜筒;
 - (3) 8cm 光电导行镜筒。

结构设计面临的任務主要是:

1. 要有足够的刚度和自振频率以保证各路光轴的稳定性;
2. 要有较好的跟踪, 特别是光电导行精度;
3. 其尺寸不能超过现有观测室的范围, 特别是其宽度必须小于天窗宽度;
4. 最大部件的重量不能超过2吨, 以保证可利用现有设备安全起吊。

具体参数指标如下(设计任务书规定):

1. 园顶内半径3.7米, 球心高3米;
2. 基墩面积1.2米 × 1.2米, 高1.6米;
3. 地理纬度 40° ;
4. 5级风力下能正常工作;
5. 赤经快动每分钟(以下同) 90° , 慢动 6° , 找区(见下) 0.5° , 恒动 $15'$, 微动 $1.5' \sim 2'$, 赤纬快动 $15^\circ \sim 30^\circ$, 慢动和找区 1° , 微动 $1'$ 。
6. 两组镜筒“拉偏”角度范围 $\pm 20'$ 。
7. 光电导行精度 $\pm 1''$ 。



多通道太阳望远镜结构简图

8. 在镜筒任意位置, 60cm 镜筒与 35cm 镜筒光轴不平行 $< 0.2'$ 。

二、望远镜跟踪精度设计结果

影响望远镜跟踪精度的主要因素有：

1. 长周期因素, 如重力变形, 温度变形和轴系误差, 传动长周期误差等；
2. 短周期因素, 如蜗轮齿形误差以及基墩的晃动等(基墩最低频率为 0.04Hz)；
3. 高频因素, 如结构在风力作用下或受传动系统影响而产生的高频的晃动等。

由于有光电导行, 其纠偏能力大约为 $0.5''$, 故而对长周期因素和短周期因素我们在原则上可以不予考虑, 主要着重于高频因素(即光电导行来不及校正的因素), 在设计中要求综合的光轴高频晃动不大于 $0.5''$ 。设计计算结果如下：

名称	内 容	误 差	
		赤 径	赤 纬
镜 筒	60cm 镜筒弯曲	$0.2''$	$0.2''$
	35cm 镜筒弯曲	$0.3''$	$0.3''$
叉 臂	弯曲	$0.04''$	$0.27''$
	扭转	$0.06''$	
极 轴	轴承误差	$< 0.1''$	
	弯曲		$0.23''$
机 座		$< 0.1''$	$< 0.1''$
传动	接触变形	$0.03''$	$0.1''$
	蜗轮副变形	$< 0.1''$	$< 0.1''$
	传动不平滑	$< 0.1''$	$< 0.1''$
基 墩	弯曲	$< 0.1''$	$< 0.1''$
总 误 差		$0.37''$	$0.55''$

尽管重点考虑高频因素, 我们仍然尽量提高结构刚度和传动精度(蜗轮精度为 5 级), 以减少长周期误差, 原因是：

1. 结构本身的误差和变形量不能超过光电导行的最大校正量；
2. 为了减轻对光电导行的压力
3. 精度高, 传动系统必然有较小的高频误差。

三、望远镜结构的力学性能

1、各部分质量和转动惯量

名 称		质量(kg)	转动惯量(10kg. cm)	
			绕极轴	绕纬轴
镜筒	60cm	1460	25	25
	35cm	550	11	11
	全日面组	550	11	11
	小 计	2560	47	47
叉臂 极轴	叉 臂	1000	1.2	
	极 轴	600	0.4	
	小 计	1600	1.6	
赤经 传动	蜗轮等	100	0.4	
基座		1600		
总 计		5860	49	47

2、结构静态刚度(归算成最不利情况下的60cm镜筒光轴转角)

	绕极轴	绕纬轴
自重变形	34"	26"
5级风作用	0.5"	0.2"

3、自振频率

最低频率(绕极轴): 8.4HZ

四、结构设计特点简介

1、总体布局

如前所说,望远镜结构必须按照已有园顶、基墩设计,因此:

- (1) 基座底面尺寸不大于1.2米×1.2米;
- (2) 镜筒最长处在园顶内侧以内,0.3米间隔
- (3) 转动中心(极、纬轴交点)接近园顶球心;
- (4) 望远镜处于子午面内时,最大宽度应小于天窗宽度1.76米,实际设计为1.66米。

最困难的是最后一条。为了满足此要求,我们在设计上一则利用60cm镜筒光轴与其滤光器中心偏离的关系,将叉臂的一个臂设置于主镜室的宽度范围之内;同时尽量压缩其他结构(如赤纬传动机构)的横向尺寸,最后达到了目的。

望远镜总体布局如下:

- ①60cm镜筒和35cm镜筒合起来作为镜筒主体(称为局部象镜筒组)。为了使其内滤光

器等部件可以装卸,其箱体上方都开有窗口。

②全日面组镜筒具有独立的正交轴系自成一体,安装在局部象镜筒组的箱体的上方,并可以移开以便于后者装卸滤光器等部件。

③上述镜筒装在叉臂上,叉臂通过刚性较好的极轴装入基座内。

④为了便于装调,赤径赤纬蜗轮分别设置在箱体和叉臂之外,另用罩壳罩起来。为了尽可能提高赤纬蜗轮的侧向刚度,它与镜筒箱体的连接除了纬轴外还用二个弧形支架加以固定(绕开叉臂的活动范围)。

⑤叉臂和镜筒内控制用电缆经极轴中孔引入控制室。

2、机架

(1) 叉臂采用整体浇铸的铸钢件,基座为钢板焊接件,二者都有较高的刚度。

(2) 纬轴轴承座为剖分形式,带轴承的镜筒部件可以垂直下落就位。纬轴轴承采用二端径向推力轴承加止推轴承形式。通过调整垫片厚度施加轴向预紧力 $P=350\text{kgf}$ 。预紧力施加的原则是:

(A) 消除轴承径向间隙,并尽量提高接触刚度;

(B) 当镜筒指平(纬轴处于子午面内)时,叉臂的两个臂都仍然承担轴向力。

极轴轴承采用一大一小两个径向轴承,大的(靠近叉臂)为圆锥滚子轴承,具有较好的刚度。利用极轴倾角造成的望远镜转动部分的重力分量可以很好地消除圆锥滚子轴承的间隙;另一只向心轴承的间隙由二块埋入轴承座内的月牙块的径向压紧力而消除。为了调整望远镜转动部分重力引起的轴承压紧力,在极轴尾部另置一个浮动止推轴承,可用6个螺丝进行微调。

(3) 极轴方向调整,根据最大宽度小于天窗宽度的要求,我们将方位调整的转动点(球面接角)设置在基座底部的前沿,即靠近整个望远镜的纵向中间位置,这样在调整极轴方位时横向尺寸最小,同时又接近望远镜的重心故而在调整时用力较小。

(4) 望远镜重心位于基墩平面内,但比较靠近前沿。为安全起见,在基座底板后端悬挂一平衡块使得重心向基墩中心移动。

3、赤径赤纬传动

赤径赤纬传动采用多电机差动机构,实行快、慢、恒、微动分速驱动,末级为5级精度蜗轮副。

采用力矩电机—齿轮反力矩系统消除传动间隙。

4、全日面镜筒组

全日面镜筒组和局部象镜筒组之间角度变化仅 $\pm 20'$,故而采用“内藏式”正交轴系而大大减小镜筒组尺寸和重量。该轴系固定在三角形框架上,后者二端装有滚轮可在局部象镜筒组的箱体上左右移动及固定。

当局部象组由日面中心转向某一观测点(即“找区”)时,全日面组必须在赤径、

赤纬方向上反向转过同一角度才能维持其象面位置,称为“反向同步”运动。此运动是通过两对自整角机来实现的,每一对的两只电机分别装在赤径(赤纬)传动箱上和全日面组驱动机构上,后者通过丝杆来改变二组镜筒之间的角度。

在实际使用时发现利用自整角机的反向同步运动的灵敏度嫌低(即局部象找区精度不够),后来进行了改进:

在全日面组赤径赤纬驱动机构上各串入一组可以手控的电机-丝杆机构,当需要局部象微小移动时,可用手控方式稍微改变两组镜筒之间的角度,同时配合导星系统的校正功能,可以使局部象镜筒平稳地指向任一需要观测的区域。

5、60cm真空镜筒

- (1) 真空镜筒:从副镜前的密封玻璃到主镜室为止为真空镜筒。
- (2) 主镜及支承:主镜材料为微晶玻璃。底支承为九点机械浮动支承,侧支承为水银带支承,中心孔有殷钢环定位。
- (3) 副镜调焦:有手控电动调焦机构。
- (4) 反射光栏:主焦面有反射光栏,将非观测区光线反射出镜筒。
- (5) 焦面冷却:焦面上有水循环冷却装置
- (6) 消杂散光:镜筒壁装有一系列消杂光筋片

6、望远镜安全保护

1. 赤径有机械缓冲及限位块。
2. 赤径赤纬均装有限位开关。
3. 局部象镜筒上装有水银开关,以防止镜筒朝下(最低高度为地平上 5° ,保持反射镜始终靠于底支承上)。
4. 电控有限流保护。

五、轴系平衡调整方法

赤道叉式望远镜在一般地理纬度点其镜筒不能指向天顶(否则在结构设计上将削弱刚度),这就给纬轴平衡测试和调整造成困难。在太阳多通道望远镜调试过程中,我们提出了一种特殊的方法:即在镜筒二极限位置(赤纬 $\pm 23.5^{\circ}$)测出不平衡力矩,而后通过坐标转换求出用镜筒“自然坐标”系表示的镜筒重心坐标,再实施平衡调整,收到了很好的效果,重心偏离纬轴仅0.3mm,不平衡力矩仅1kgm,详见附录“赤道叉式太阳望远镜的纬轴平衡方法”。

极轴平衡可按常规方法进行。