

· 光学设计与制造 ·

## 平行光管主反射镜的支撑优化

吴 卫<sup>1,2</sup>, 王 炜<sup>1</sup>, 林利明<sup>1</sup>, 樊学武<sup>1</sup>, 余舜京<sup>3</sup>

(1. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 上海微小卫星工程中心, 上海 200050)

**摘要:** 平行光管中主反射镜的口径最大, 支撑也最困难. 对用于平行光管设备中口径为 1000 mm 的主反射镜浮动支撑进行了优化分析. 利用 ANSYS 中强大的优化分析模块对主反射镜在 3 点、9 点、18 点、24 点和 27 点 5 种不同支撑点数量下的模型进行了优化. 最后对这 5 种优化模型都给出了自重变形分析, 得出了主反射镜镜面变形云图并计算出对应的 PV 值和 RMS 值. 综合考虑了镜面面型要求和工艺性等后, 确定了最佳支撑点数为 18 点, 并且点的分布遵循优化模型.

**关键词:** 主反射镜; 支撑; 有限元分析

中图分类号: TN205; TP391.7

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2010)02-0021-04

## Support Optimization for Collimator Primary Mirror

WU Wei<sup>1,2</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>, LIN Li-ming<sup>1</sup>, FAN Xue-wu<sup>1</sup>, YU Shun-jing<sup>3</sup>

(1. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China;

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

3. Shanghai Engineering Center for Microsatellites, Shanghai 200050, China)

**Abstract:** How to support the Mirror, especially the primary mirror is one of the most difficulties to design a large aperture and long focal length collimator. The number and the location of support points for collimator primary mirror are optimized. The diameter of primary mirror is 1 000 mm. The formidable optimization analysis module of ANSYS is used to optimize the primary mirror's model in condition of 3, 9, 18, 24 and 27 different points support. Also, static analysis of five different numbers of points support in gravity field is simulated. From the displacements of five mirror models, the values of PV and RMS respectively are calculated. To satisfy the requirement of PV and RMS, the best case can be given - 18 points support.

**Key words:** primary mirror; support; finite element analysis

在大口径长焦距光学系统中, 大口径主镜的加工和安装对整个光学系统的性能影响非常大. 主反射镜系统应具有较强的刚度和良好的动态特性, 在重力及热环境影响下的面形精度应满足光学设计对镜面面形的要求. 因此, 安装方法的选择对其性能起着至关重要的作用.

目前主要的反射镜支撑方式有: V 形支撑、吊带支撑、镜框式支撑, 框架浮动支撑等<sup>[1]</sup>. 其中 V 形支撑、吊带支撑和镜框式支撑一般适用于中小型反

射镜上. 当反射镜口径较大并且精度要求比较高时可选用框架浮动支撑.

文中研究的主反射镜直径为 1 000 mm, 质量约为 250 kg, 根据廖知春<sup>[2]</sup>对反射镜的分类(表 1), 属于大型反射镜. 因此这里采用的是框架浮动支撑.

框架浮动支撑(图 1)由刚性框架和若干卸载块组成<sup>[1]</sup>, 镜片中心开孔用于定位. 镜片和框架通过卸载机构相连, 卸载机构通过调节末端配重块使得其对支点的力矩与反射镜自重对支点的力矩相等.

收稿日期: 2010-01-14

基金项目: 国家技术改造项目——光学性能系统测试

作者简介: 吴卫(1985-), 女, 江苏省宿迁市人, 硕士研究生, 研究方向为光学机械结构设计.

表1 反射镜类型表

反射镜类型	直径/mm	质量/kg
小型	≤400	≤25
中型	400~600	25~60
大型	600~1 200	60~600
特大型	1 200 以上	600 以上

这种多点卸载方式与前面提到的V形支撑、吊带支撑等不同之处在于:它将集中的大载荷分解成若干个小载荷,从而明显改善反射镜上的应力分布,减少镜面变形.同时反射镜处于浮动状态,与外部构件不直接相连,可以有效防止外部构件的变形对反射镜面型的影响.

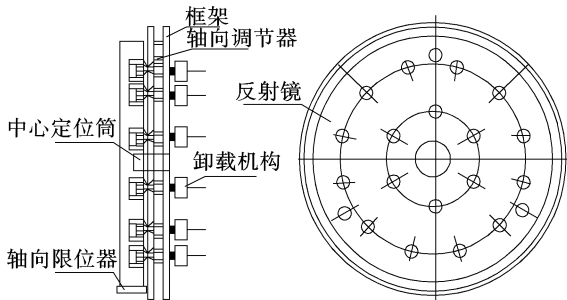


图1 框架浮动支撑

卸载机构原理上是一种杠杆机构,结构见图2.框架浮动支撑方式中卸载点的数量和分布的确定是非常关键的.

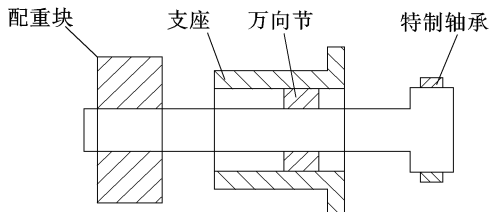


图2 卸载机构

## 1 主反射镜支撑点位置优化

### 1.1 主反射镜参数及设计要求

文中分析的某平行光管主反射镜直径为1 m,镜面中心厚0.12 m,反射面半径为20 m,材料采用微晶玻璃,它的密度为2 530 kg/m<sup>3</sup>,弹性模量为90.6 GP,泊松比为0.24.裸镜质量达250 kg,属于大型反射镜.分析时考虑反映镜面面型精度的PV(peak to valley)值和RMS(root mean square)值.技

术指标综合要求:初步确定 $[PV] \leq \lambda/30$ , $[RMS] \leq \lambda/100$ ,波长 $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ .

主反射镜支撑点的数量选取可根据一个确定反射镜最少支撑点个数的经验公式<sup>[3]</sup>(Hall,1970),该公式是在反射镜测试过程中防止自重变形大于规定的PV值给出的.公式为

$$N = \left( \frac{0.375 r^2}{t} \right) \left( \frac{\rho}{E \delta} \right)^{1/2} \quad (1)$$

式中, $N$ 为最少支撑点个数; $r$ 为反射镜半径; $t$ 为反射镜厚度; $\rho$ 为反射镜的材料密度; $E$ 为弹性模量; $\delta$ 为允许的PV值.

表2 微晶玻璃性能参数

密度/(kg/m <sup>3</sup> )	2 530
弹性模量(MPa)	90 600
泊松比	0.24
热膨胀系数/( $\times 10^{-6}$ /K)	0.05

微晶玻璃性能参数见表2.根据经验公式,可以得到最少支撑点个数为3个.下面分别对3、9、18、24、27点支撑模型做优化和重力作用下的面型分析.

### 1.2 支撑点有限元优化

利用ANSYS中APDL(ANSYS Parametric Design Language)对模型进行参数化建模<sup>[4]</sup>,以方便生成分析文件.图3为利用SOLID92单元划分完网格后的主反射镜模型.APDL语言有很大的优越性,例如文中所做的优化分析中5个模型有很多相似的地方,因此在做下一个优化分析时,不需要全部重新编写APDL语言,只需在前一个APDL语言中增减相应的变量即可.图4给出了支撑点在圆周上需优化的几个半径参数,内圈半径 $R$ 和相邻两个圆周半径差 $DR_1$ 、 $DR_2$ 和 $DR_3$ .另外,在优化过程中用到的优化变量还有支撑点深度即用于安装卸载机构的孔深 $H$ .

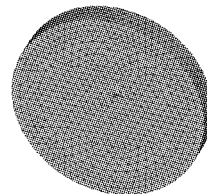


图3 主反射镜的有限元模型

参数化建立完主反射镜的有限元模型后,对其进行求解并提取结果.提取的结果一般为状态变量

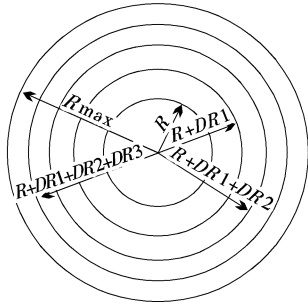


图 4 圆周优化参数图

和目标函数.文中进行的优化分析状态变量为第一

圆周半径  $WR_1 = R + DR_1$ 、 $WR_2 = R + DR_1 + DR_2$  和第三圆周半径  $WR_3 = R + DR_1 + DR_2 + DR_3$ , 目标函数为反射面节点位移最大值  $S$ .

进入 OPT 处理器指定分析文件和优化变量、选择优化工具或优化方法(这里选择的是等步长搜索法)、指定优化循环控制方式,最后进行优化分析.

当优化分析结束后,查看优化结果,见表 3. 根据表 3 得到的优化数据,在 SOLIDWORKS 中建立不同支撑点下的最优立体模型,见图 5,为下一步重力作用下的面型分析做好准备.

表 3 优化分析结果

	/mm				
	3 点	9 点	18 点	24 点	27 点
内圈半径 $R$	340	160	204.4	160	112
半径差 $DR_1$	—	190	190	190	140
半径差 $DR_2$	—	—	—	90.4	120
半径差 $DR_3$	—	—	—	—	40
支撑孔深 $H$	69	72.4	72.4	72.4	72.4
镜面位移 $S/(\times 10^{-4})$	1.53	0.48	0.199	0.157	0.198

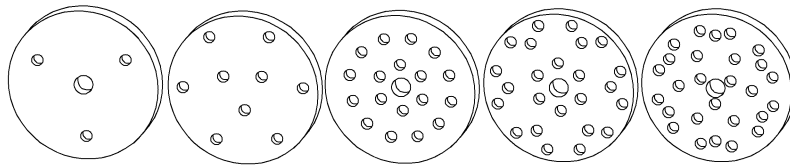


图 5 3 点、9 点、18 点、24 点和 27 点支撑分布优化模型

## 2 优化模型下的重力变形分析

要考虑主反射镜在重力作用下的镜面变形.对反射镜施加重力加速度并在支撑点处施加位移约束,得到自重变形云图,由于篇幅的限制,这里给出 9 点和 18 点支撑下自重变形云图,见图 6.

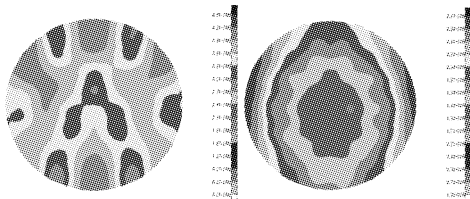


图 6 主反射镜 9 点和 18 点支撑时变形云图  
由于平行光管属于地面用大型设备,故这里主

通过对这 5 种不同支撑模型下的自重分析,计算出各自反射面的  $PV$  和  $RMS$  值,见表 4.

## 3 结 束 语

利用了有限元分析软件 ANSYS 对平行光管主镜的浮动安装支撑点选取做了优化分析,并得出了

表 4 不同支撑点情况下的  $PV$  和  $RMS$  值

	3 点	9 点	18 点	24 点	27 点
$PV/\text{nm}$	44.8	7.73	4.25	4.8	4.03
$RMS/\text{nm}$	8.7	1.31	0.74	0.71	0.73
$PV/\lambda$	1/14.13	1/90.4	1/148.8	1/131.8	1/157
$RMS/\lambda$	1/72.74	1/483	1/855.14	1/891.3	1/866.8

如表 4 所示的支撑模型在自重载荷下的镜面变形值.从表 4 中可以看出,3 点支撑时无法满足设计要求,这并不与上面根据(hall)经验公式计算的最小支撑点数矛盾,因为此经验公式是用于有均匀厚度或几乎是均匀厚度的反射镜,而文中研究的反射镜镜面是球面,边缘和中心厚度差为 12.5 mm.

支撑点数在 9 点或大于 9 点时可以满足初始镜面面型精度要求.当支撑点数由 9 点变为 18 点时,  $PV$  值及  $RMS$  值有明显的改善;当支撑点数由 18 点增加到 24 点时  $RMS$  值有小幅的增加,  $PV$  值下降幅度变小;而当支撑点数继续增加至 27 点时  $PV$  值变小,  $RMS$  值却出现增大.分析造成这一结果的主要原因是当支撑点数不断增加时,由于孔过于密集而导致了模型质量的减小和整体刚度的下降.

在支撑点选取时主要考虑以下几点:(1)支撑点越多,加工成本就越大,工艺性也越复杂,故不选用 27 点支撑;(2)支撑点过多会带来反射镜刚度的下

降,例如 24 点支撑时镜面  $PV$  值低于 18 点支撑;(3)文中只给出了自重作用下的镜面变形而实际应用时条件要复杂得多.故该设计最终确定选取了 18 点支撑,既充分满足了镜面变形和刚度的要求,工艺性也较好.

### 参考文献

- [1] 陈永聪.基于有限元法的大口径平行光管主反射镜支撑技术研究[D].中国优秀学位论文全文数据库,2007:3-7.
- [2] 廖知春.平行光管反射镜的支撑结构[J].航天返回与遥感,2003,24(1):19-23.
- [3] YODER P. Opto-Mechanical System Design[M]. Cooperate Marcel Dekker Inc,1993:505-506.
- [4] 博弈创作室. APDL 参数化有限元分析技术及其应用实例[M].北京:中国水利水电出版社,2004:149-154.

(上接第 20 页)

优点.通过 EDFA 给孤子补充能量,孤子即自动整形.为解决传输线路中光纤损耗引起的光孤子减弱问题,可以增加若干个 EDFA,以补偿光脉冲能量损失,从而可进行全光中继,不再需要像常规光纤通信系统那样在中继站进行光—电—光的转换,可以实现全光传输.

如图 3 所示,在 EDFA 中,可以采用 LD 作为泵浦源.EDFA 利用 LD 泵浦石英光纤中掺铒离子( $E^{3+}$ )的受激辐射来实现对 1 550 nm 波段光信号的放大.它有很宽的频带,一般在 1 530~1 565 nm.EDFA 的泵浦源有 2 种,即 980 nm 和 1 480 nm.980 nm 泵浦源可以保持较低的噪声系数,1 480 nm 的泵浦源具有更高的泵浦效率,可以获得较大的输出功率<sup>[9]</sup>.

## 3 结 束 语

光孤子通信是一种充满活力的先进的通信方案,它的超长距离传输、超高码速率的通信潜力,是同轴电缆通信和线性光纤通信无法比拟的,由此决定了它必将成为未来高速率、长距离通信的主体<sup>[10]</sup>.半导体激光器和 EDFA 在光孤子通信试验系统中的成功应用,拉开了光孤子通信走向实用化的

序幕.半导体激光器无论是作为光源,还是作为 EDFA 的泵浦源,在光孤子通信中都发挥着关键的作用.可以预见,未来半导体激光器将发挥着越来越重要的作用.

### 参考文献

- [1] 汪杰君.光纤通信系统中光发射机的设计[J].广西通信技术,2007(3):47-50.
- [2] Joseph C Palais,光纤通信[M].5 版.北京:电子工业出版社,2006:63.
- [3] 赵小兰.光斑光强渐变测量通信光纤数值孔径[J].红外与激光工程,2006(S2):132-134.
- [4] 张卫钢.通信原理与通信技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2003:278.
- [5] 何淑贞.国内外通信的发展趋势[J].卫星电视与宽带多媒体,2007(2):32.
- [6] 郭妮.浅谈光纤通信发展的三个方向[J].科技信息(科学教研),2008(7):226.
- [7] 桂厚义.光孤子通信及其展望[J].网络通信,2005(3):18-20.
- [8] 江兴.新型孤子半导体激光器[J].半导体信息,2008(3):36.
- [9] 王志斌,李志全.光孤子传输演化的分步傅里叶法研究[J].应用光学,2007(1):82-85.
- [10] 代红英,汪仲清.光纤孤立子与光孤子通信[J].重庆邮电学院学报,2004(6):77-80.