



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102062936 A

(43) 申请公布日 2011.05.18

(21) 申请号 201010604156.2

(22) 申请日 2010.12.24

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路  
3888 号

(72) 发明人 赵文才 任建岳 张星祥 李丽富  
陈长征

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 陶尊新

(51) Int. Cl.

G02B 17/06 (2006.01)

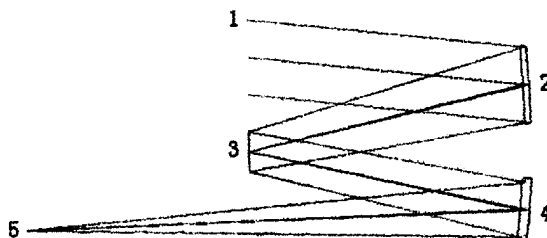
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

## (54) 发明名称

一种降低加工和装调难度的离轴 TMA 光学系统

## (57) 摘要

一种降低加工和装调难度的离轴 TMA 光学系统,涉及空间光学技术领域,解决现有离轴 TMA 光学系统的加工、检测和装调困难进而导致系统难于达到光学成像指标的问题,本发明将次反射镜设计为球面,主反射镜与第三反射镜设计为非球面,且二次项系数设置为零,所述主反射镜和第三反射镜分别为含六次项和八次项的高次非球面;使离轴 TMA 光学系统达到了衍射极限光学特性,本发明的传递函数在 50lp 时接近 0.6 的成像质量,Strehl Rate 由 0.91 提高到 0.93;面形加工公差由  $\lambda/50$  放宽到  $\lambda/40$ ;主、次、三镜的装调公差放宽 4 倍。本发明降低了加工及装调难度,有助于系统实现衍射极限的光学特性。



1. 一种降低加工和装调难度的离轴 TMA 光学系统,包括无穷远目标 (1)、主反射镜 (2)、次反射镜 (3)、第三反射镜 (4) 和成像接收器 (5),所述无穷远目标 (1) 入射至主反射镜 (2),经主反射镜 (2) 反射至次反射镜 (3),经所述次反射镜 (3) 反射至第三反射镜 (4) 后被成像接收器 (5) 接收;其特征是,所述次反射镜 (3) 为球面,主反射镜 (2) 与第三反射镜 (4) 为非球面,且所述主反射镜 (2) 与第三反射镜 (4) 的二次项系数设置为零,所述主反射镜 (2)、第三反射镜 (4) 为含六次项和八次项的高次非球面。

## 一种降低加工和装调难度的离轴 TMA 光学系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及空间光学技术领域,具体涉及一种降低加工和装调难度的离轴 TMA 光学系统。

### 背景技术

[0002] 目前的离轴三反射消像散 (TMA) 光学系统的设计为了消除各种像差,三个反射镜全部设计为非球面,因此,不仅给加工和检测制造了很大的困难,同时给系统的装调增添了很多麻烦,以致使系统难于达到光学设计的指标,甚至不能满足光学系统的成像指标要求,这也是长期以来一直限制此类光学系统快速应用与发展的原因。

[0003] 高分辨率空间遥感,无论在军事还是民用领域都有广阔的应用前景,目前空间遥感的主要形式仍是通过光学相机对地观测。在大孔径折射和折反式光学系统中,需采用特殊光学材料或复杂的结构来消二级光谱,应用受到一定的限制。而反射光学系统由于不产生色差、可用于宽光谱成像;可光路折叠,缩短筒长,结构紧凑;各反射面可采用非球面,以提高像质,并能减少零件数,实现轻量化;对温度的变化不敏感、同时具有空气中和真空中焦面位置一致的性质等优点而广泛应用于空间遥感器中。离轴三反光学系统通过各反射面的非球面及其间隔等参数可以达到消像差、平像场要求,同时,近年由于加工、装调工艺的日臻成熟及其体积小、质量轻、热稳定性好等优点,三反光学系统在空间遥感领域得到了广泛的应用。

[0004] 但离轴非球面由于受到设计、加工、检测和装调等方面制约,长期以来一直限制其快速发展,在抛光阶段必须通过补偿器和干涉仪控制其加工过程以及最终检验,补偿器的加工和装调又增加了新的难度。尤其是凸非球面次镜加工和检验更加困扰着科技工作者,若次镜材料为透射材料,可以通过背部检测,但对材料的应力均匀性、稳定性都要求极高,为了提高反射镜材料的特性,近年都采用 SiC 材料。只能通过 Hindle 检测或衍射光学检测方法, Hindle 球的加工不仅困难,而且增加了许多成本,同时通过 Hindle 球检测次镜的光路调整也较繁琐和困难;通过衍射光学方法检测,中心光轴的调整又是一大难题。

[0005] 目前采用的三反射式光学系统的相机,普通的共轴三反射系统中,不可避免地存在着较大的遮拦,因而对传函值 (MTF) 有着较大的影响,很难获得比较高传函值 (MTF) 的值;离轴的 TMA 系统中,有些结构形式的成像位置不好,相机不好布局,或者为增大视场角三个反射面都设计为非球面;次镜使用特殊镜面材料加工困难(如碳化硅),而且检测也非常困难。

### 发明内容

[0006] 本发明为解决现有离轴 TMA 光学系统的加工、检测和装调困难进而导致系统难于达到光学成像指标的问题,提供一种降低加工和装调难度的离轴 TMA 光学系统。

[0007] 一种降低加工和装调难度的离轴 TMA 光学系统,包括无穷远目标,主反射镜,次反射镜,第三反射镜和成像接收器,无穷远目标入射至主反射镜,经主反射镜反射至次反射

镜,经所述次反射镜反射至第三反射镜后被成像接收器接收;所述次反射镜为球面,主反射镜与第三反射镜为非球面,且主反射镜与第三反射镜的二次项系数设置为零,所述主反射镜、第三反射镜为含六次项和八次项的高次非球面。

[0008] 本发明的原理:本发明通过合理地安排光学结构,将次镜设计为球面以及将主镜和三镜在球面基础上通过改变高次非球面系数等设计,使得离轴 TMA 光学系统的设计结果达到了衍射极限光学特性,传递函数值在 50lp 时都接近 0.6 的成像质量,很好地满足空间遥感器对光学系统成像质量的要求。解决了凸非球面次镜的加工和检验难题,同时,主反射镜和第三反射镜二次非球面系数为零,可以在球面基础上通过数控加工手段铣磨面型,不需要补偿器,可以直接用波前重构测量法检测面型,从而控制加工。以上可以看出,此设计易于实现三反射镜的加工、检测及装调,从而为三反射光学系统的广泛应用提供了借鉴和实用参考价值。

[0009] 本发明的有益效果:本发明所述的 TMA 光学系统避开了中心遮拦,可以取得较好的像质,离轴 TMA 光学系统能够实现宽视场高分辨率的要求,工艺性较好,容易加工;将次镜设计为球面,克服了加工和检验的难度,同时有利于实现光学系统装调;将主反射镜和第三反射镜的二次圆锥曲面系数设置为零,只保留四次和六次高次项,更加降低了加工和检测的难度;同时给装调提供了极大的方便,有助于获得衍射极限的光学特性;本发明所述的 TMA 光学系统适合于较大的视场角,体积较小,结构简单,重量轻,能获得较高的函数值 (MTF) 的光学系统。

#### 附图说明

[0010] 图 1 为本发明所述的一种降低加工和装调难度的离轴 TMA 光学系统的结构示意图;

[0011] 图 2 为本发明所述的一种降低加工和装调难度的离轴 TMA 光学系统的点列示意图;

[0012] 图 3 为本发明所述的一种降低加工和装调难度的离轴 TMA 光学系统的能量分布示意图;

[0013] 图 4 为本发明所述的一种降低加工和装调难度的离轴 TMA 光学系统中传递函数关系示意图。

[0014] 图中:1、无穷远目标,2、主反射镜,3、次反射镜,4、第三反射镜,5、成像接收器。

#### 具体实施方式

[0015] 具体实施方式一、结合图 1 说明本实施方式,一种降低加工和装调难度的离轴 TMA 光学系统,包括无穷远目标 1,主反射镜 2,次反射镜 3,第三反射镜 4 和成像接收器 5,所述无穷远目标 1 入射至主反射镜 2,经主反射镜 2 反射至次反射镜 3,经所述次反射镜 3 反射至第三反射镜 4 后被成像接收器 5 接收;所述次反射镜 3 为球面,主反射镜 2 与第三反射镜 4 为非球面,且主反射镜 2 与第三反射镜 4 的二次项系数设置为零,所述主反射镜 2 和第三反射镜 4 为含六次项和八次项的高次非球面。

[0016] 具体实施方式二、结合图 2、图 3 和图 4 说明本实施方式,本实施方式为具体实施方式一所述的一种降低加工和装调难度的离轴 TMA 光学系统的实施例:

[0017] 本实施例的光学系统的参数确定：要求为焦距  $f' = 2000\text{m}$ ，相对孔径  $D/f' = 1/8$ ， $D$  为光学系统的口径，视场角  $17^\circ$ ，离轴角  $4.5^\circ$ 。系统的观测波段为可见光波段为  $0.5\ \mu\text{m} \sim 0.7\ \mu\text{m}$ ，成像接收器为像元  $10\ \mu\text{m}$  的 TDI CCD。所述卫星轨道高度  $1000\text{Km}$ ，像元分辨率  $5\text{m}$ ，像元大小  $10\ \mu\text{m}$ ，地面覆盖宽度  $268\text{Km}$ 。

[0018] 光学系统主要结构参数数据如表 1 所示

[0019] 表 1

[0020]

	半径R (mm)	间隔d (mm)	材料	k	高次项	高次项 ( $6^{\text{th}}$ )
1	-4394.98	-1275.00	mirror	0	$1.96 \times 10^{-12}$	$4.76 \times 10^{-20}$
Stop	-1343.34	1275.00	mirror	0		
3	-1900.06	-1273.09	mirror	0	$-3.54 \times 10^{-12}$	$-1.51 \times 10^{-18}$
像面	infinity					

[0021] 从表 1 中可以看到，除保持次反镜为球面外，主反射镜和第三反射镜的二次圆锥曲面系数  $K$  为零，只保留四次和六次高次项，因此，可在球面基础上通过数控加工手段铣磨面型，此时的面型精度不需要补偿器，可以直接用波前重构测量法进行检测，从而控制加工，更加降低了加工和检测的难度，同时给装调提供了极大的方便，有助于获得衍射极限的光学特性。另外，从结构间隔数据可知，从结构设计角度出发也较容易布置各个部件，更加容易实现各项技术指标要求，以上设计也会节约大量的加工和检测时间，从而可以大大降低成本。

[0022] 所述光学系统的地元分辨率与其角分辨率和卫星高度成比例；卫星的高度一定，增大光学系统的角分辨率就可以有效地提高地元分辨率；保持相对孔径一定，增长焦距势必会使入瞳直径增大，从而提高地元分辨率。另一方面，光学系统的地面覆盖范围与卫星高度和视场角成比例，卫星高度一旦确定，增大光学系统的视场角可以使地面覆盖范围扩大。

[0023] 遥感相机的地元分辨率由光电传感器的像元尺寸，轨道高度及光学系统的焦距决定。如 (1) 式所示：

$$[0024] \quad GSD = \frac{Ha}{f'} \quad (1)$$

[0025] 式中： $GSD$  为地元分辨率； $H$  为轨道高度； $f'$  为光学系统焦距； $a$  为传感器的像元尺寸。

[0026] 由瑞利判据可得，光学系统的艾利斑由光学系统的  $F^\#$  决定，即

$$[0027] \quad \psi = 2.44 \lambda F^\# \quad (2)$$

[0028] 式中， $F^\#$  为光学系统的相对孔径的倒数， $\lambda$  为波长，即：

$$[0029] \quad F^\# = f' / D \quad (3)$$

[0030] 式中  $D$  为光学系统的口径。

[0031] 地面的覆盖宽度将由空间相机的有效视场角  $2\omega$  决定，当轨道高度  $H$  一定时，地面覆盖宽度  $Q$  由 (4) 式决定：

[0032]  $Q = 2 \times H \times \tan \omega$  (4)

[0033] 式中:Q 为地面覆盖宽度;  $\omega$  为半视场角。

[0034] 接收器的像元大小 a 与光学系统的艾利斑  $\psi$  大小存在如下关系是允许的,

[0035]  $a = (0.7 \sim 0.8) \psi$  (5)

[0036] 对于共轴三反光学系统,在各种像差校正良好的情况下最大视场角基本在  $3^\circ$  左右。为避免中心遮拦,将主反射镜和第三反射镜进行了偏心和倾斜,以便扩大光学系统视场,从而增加地面覆盖宽度。

[0037] 表 2 为本发明所述的光学系统装调公差与传统的光学系统装调公差相比的结果。

[0038] 表 2

光学元件	位置公差类型	系统装调公差	
		本系统	通常系统
[0039] 主反射镜	X 方向偏心公差	0.1	0.05
	Y 方向偏心公差	0.1	0.05
	Z 方向位置公差	2.5	0.20
	绕 X 轴倾角	10"	6"
	绕 Y 轴倾角	10"	6"
	绕 Z 轴旋转	50"	6"
次反射镜	X 方向偏心公差	0.10	0.05
	Y 方向偏心公差	0.10	0.05
	Z 方向位置公差	1.1	0.20
	绕 X 轴倾角	10"	8"
	绕 Y 轴倾角	10"	8"
[0040] 第三反镜	X 方向偏心公差	0.2	0.05
	Y 方向偏心公差	0.20	0.05
	Z 方向位置公差	1.4	0.20
	绕 X 轴倾角	15"	6"
	绕 Y 轴倾角	15"	6"
	绕 Z 轴旋转	20"	8"

[0041] 通过计算可知,此系统公差比较宽松,公差累计概率为 100%时,系统传递函数亦接近 0.6,这说明可降低加工和装调的难度,有助于系统实现衍射极限的光学特性。结合图 2、图 3 和图 4 可以看出,在全谱段、全视场范围内,在 Nyquist 频率下,本发明的传递函数在 50lp 时接近 0.6 的成像质量,Strehl Rate 由 0.91 提高到 0.93;面形加工公差由  $\lambda/50$  放宽到  $\lambda/40$ ;主反射镜、次反射镜、第三反射镜的装调公差放宽 4 倍,本发明的光学系统达到了衍射极限。能量比较集中,满足很好的成像质量。



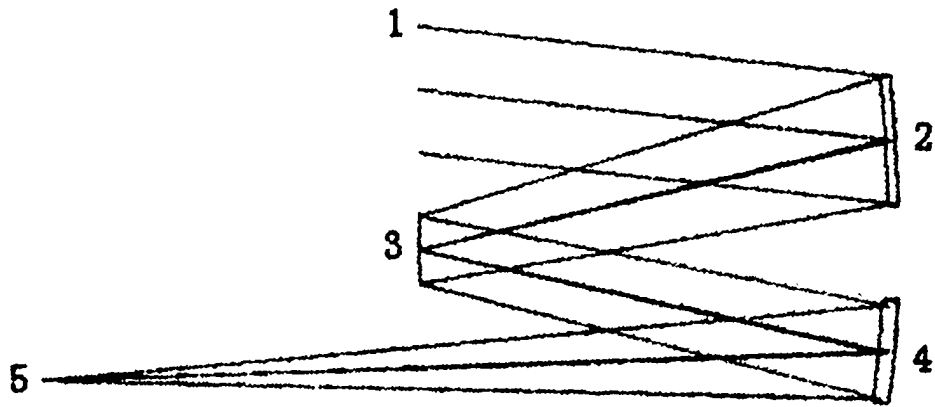


图 1

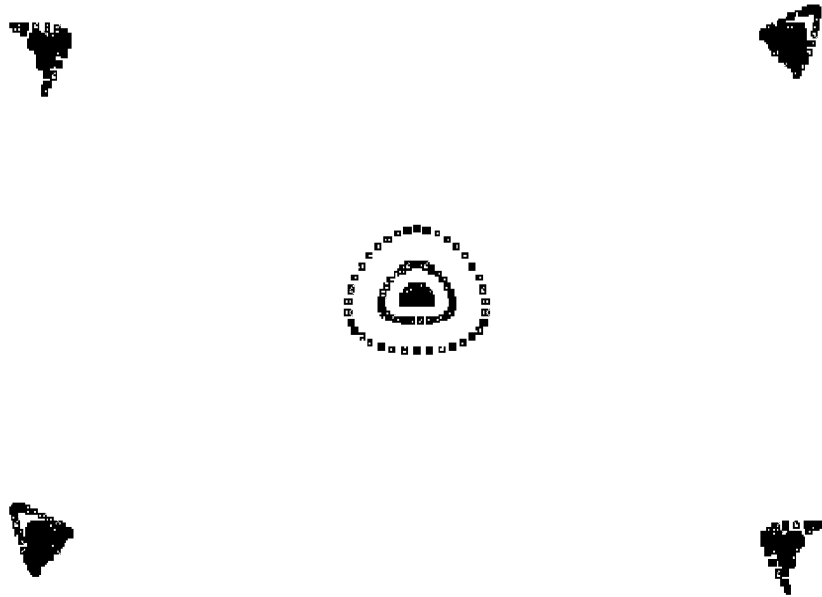


图 2



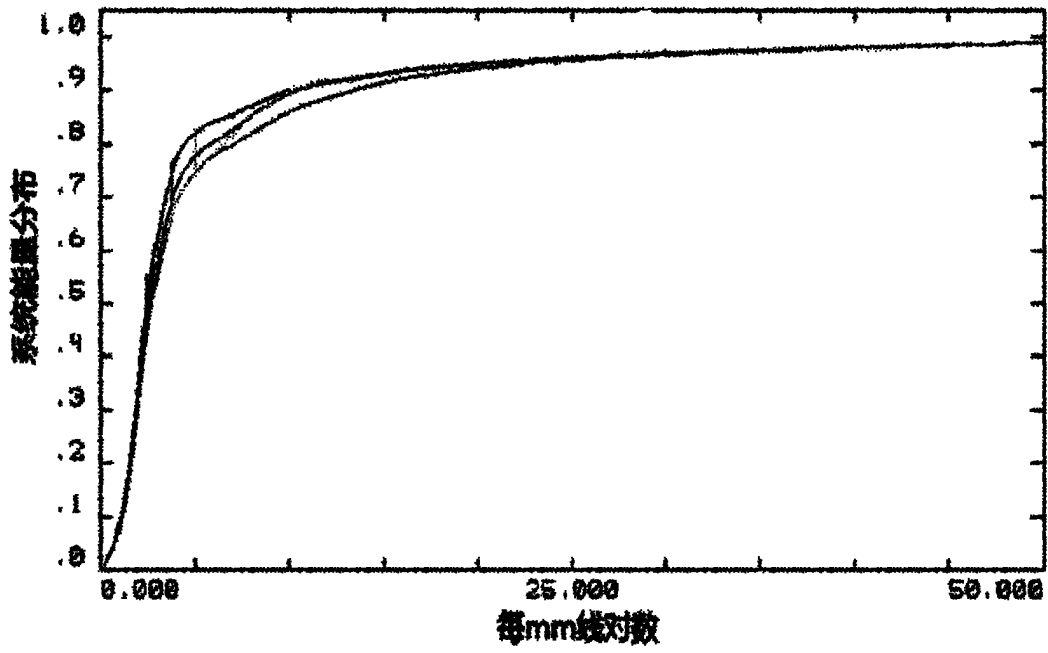


图 3

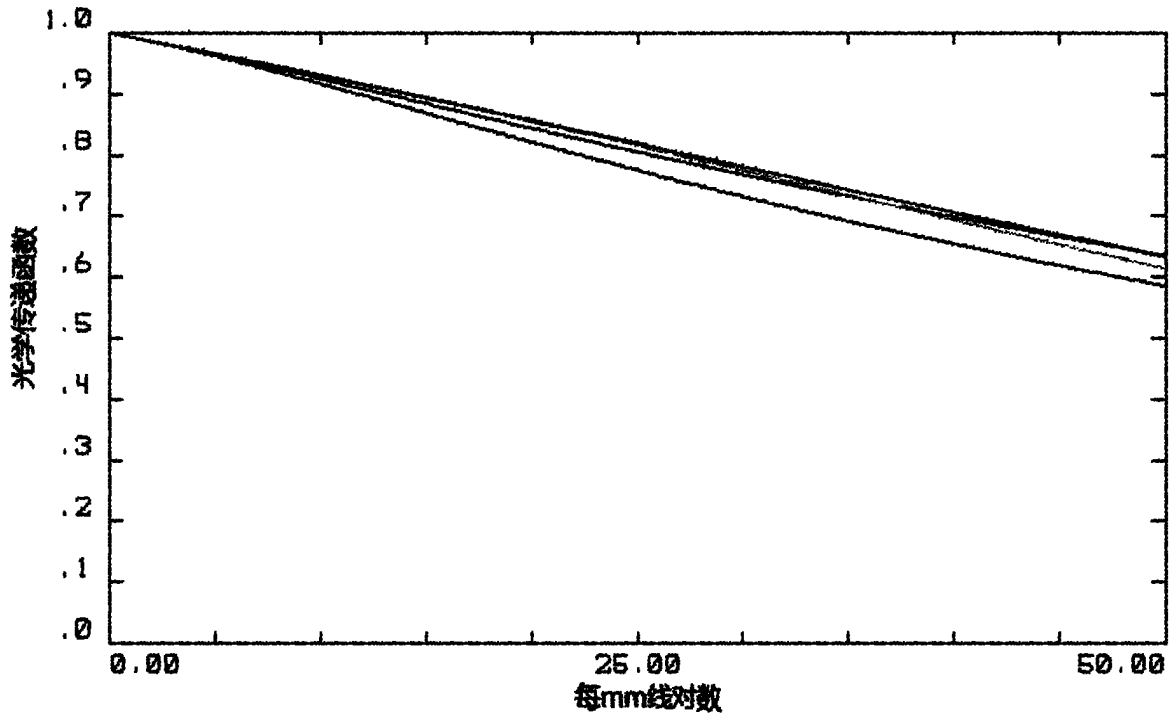


图 4