

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200610037935.2

[51] Int. Cl.

G02B 23/00 (2006.01)

G02B 7/00 (2006.01)

G01J 4/00 (2006.01)

[43] 公开日 2006年8月30日

[11] 公开号 CN 1825159A

[22] 申请日 2006.1.20

[21] 申请号 200610037935.2

[71] 申请人 中国科学院安徽光学精密机械研究所

地址 230031 安徽省合肥市 1125 信箱

[72] 发明人 孙晓兵 洪津 骆冬根 杨伟锋

荀毓龙 乔延利 叶松

[74] 专利代理机构 合肥华信专利商标事务所

代理人 余成俊

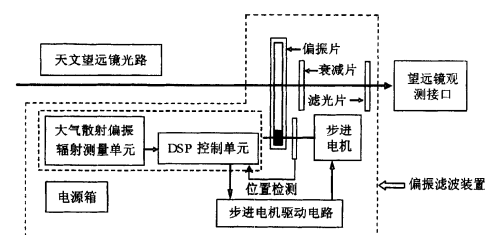
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 2 页

[54] 发明名称

天文光学望远镜偏振滤波方法与装置

[57] 摘要

本发明是一种天文光学望远镜偏振滤波方法与装置，将大气散射偏振辐射测量计安装于主望远镜镜身上，通过单通道偏振辐射计来快速获取目标信号偏振角方向与偏振度的偏振态数据；将辐射计测得的偏振角方向与偏振片的检偏角进行对比，旋转偏振片的位置，使得偏振片的检偏方向与大气偏振方向相垂直，从而达到有效抑制大气散射辐射的干扰，提高星体观测的信噪比。提高白昼地基天文星体观测的效果，延长白昼地基天文星体观测的时间，还能增加白昼天文观测的数据，促进天文研究的进步，在地基天文观测中有较广阔的应用前景。



- 1、天文光学望远镜偏振滤波方法，其特征在于在和天文光学望远镜同光轴安装有一个单通道偏振辐射计，视场为望远镜的三倍左右，通过单通道偏振辐射计来快速获取目标信号偏振角方向与偏振度的偏振态数据；在望远镜的后端面与观测接口之间的光路中依次安装偏振片、衰减片和滤光片，滤光片用于光谱滤波，衰减片用于减弱整体光强以适合白昼天文观测的要求；将辐射计测得的偏振角方向与偏振片的检偏角进行对比，旋转偏振片的位置，使得偏振片的检偏方向与大气偏振方向相垂直，从而达到有效抑制大气散射辐射的干扰，提高星体观测的信噪比。
- 2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于所述的单通道偏振辐射计视场为望远镜的2.5-3.5倍。
- 3、天文光学望远镜偏振滤波装置，其特征在于包括有光学部件转接筒，转接筒是由大筒与小筒组成的台阶形状，小筒内壁套装有轴承，轴承内安装有一齿轮圈，齿轮圈内安装有偏振片，大筒的台阶部位安装有步进电机，大筒内安装有和步进电机转轴同轴的主动齿轮和编码器，主动齿轮和齿轮圈啮合，小筒后端通过螺纹连接有一镜筒，镜筒内安装有滤光片与衰减片。

天文光学望远镜偏振滤波方法与装置

技术领域

本发明属于光电探测技术领域，具体涉及一种可附加于天文光学望远镜的偏振滤波装置，可用于天文观测时的大气背景滤波，提高白昼天文观测的效果和延长白天观测的时间。

背景技术

在天文学领域，天文光学望远镜是最主要的星体光学观测手段。而地基观测时无法避免大气的影 响，其中大气散射是影响观测效果的一个重要因素。正是由于此原因，地基天文观测的选址都是基于远离城市和建在高海拔地点的原则。

白昼太阳光入射地球大气层而发生散射和吸收。其中，在大气窗口进行天文观测，大气的散射辐射是影响星体观测的主要因素之一，使得星体光信号淹没在强烈的大气散射辐射背景中，大大降低了星体观测的信噪比，给利用天文光学望远镜进行星体观测带来了极大的困难。

由于白昼地球大气散射辐射的强烈干扰，到目前为止，天文观测一般选择在夜间进行，或者由卫星携带进入空间轨道，在没有大气的太空进行星体观测，其主要目的就是避免大气散射辐射的影响。因此，地基白昼天文星体观测资料获取较为困难。

目前，除了依据星体目标与大气背景的光谱特性差别，采用光谱滤波提高星体探测信噪比外，还没有办法能够更好地抑制大气层的散射背景，减小对观测天体信号的影响，使地基天文星体观测能够在白昼进行。

发明内容

本发明能够提供一种天文光学望远镜偏振滤波方法与装置，安装于天文望远镜接口之上，在白昼进行天文观测时，通过偏振滤波的手段，在对目标信号有较小的衰减的条件下，很大程度上抑制大气散射背景，从而达到相对提高星体观测信噪比的目的，有效地提高白昼天文观测的效果。

本发明的技术方案如下：

天文光学望远镜偏振滤波方法,其特征在于在和天文光学望远镜同光轴安装有一个单通道偏振辐射计,视场为望远镜的三倍左右,通过单通道偏振辐射计来快速获取目标信号偏振角方向与偏振度的偏振态数据;在望远镜的后端面与观测接口之间的光路中依次安装偏振片、衰减片和滤光片,滤光片用于光谱滤波,衰减片用于减弱整体光强以适合白昼天文观测的要求;将辐射计测得的偏振角方向与偏振片的检偏角进行对比,旋转偏振片的位置,使得偏振片的检偏方向与大气偏振方向相垂直,从而达到有效抑制大气散射辐射的干扰,提高星体观测的信噪比。

所述的单通道偏振辐射计视场为望远镜的 2.5-3.5 倍。

天文光学望远镜偏振滤波装置,其特征在于包括有光学部件转接筒,转接筒是由大筒与小筒组成的台阶形状,小筒内壁套装有轴承,轴承内安装有一齿圈,齿轮圈内安装有偏振片,大筒的台阶部位安装有步进电机,大筒内安装有和步进电机转轴同轴的主动齿轮和编码器,主动齿轮和齿轮圈啮合,小筒后端通过螺纹连接有一镜筒,镜筒内安装有滤光片与衰减片。

本发明的工作原理及过程:

1、大气散射辐射偏振特性描述

太阳光在传播过程中,与地球大气发生相互作用,产生光的散射和吸收。其中,光在大气中的散射辐射具有显著的线偏振特性,也即大气背景往往有很高的线偏振度。

理论上,在晴朗无云天气条件下,太阳的地平经圈内,当散射角(定义为观测方向与太阳的夹角)逐渐增加为 90° 时,大气的偏振度也是逐渐增加的过程,直至 100%,随后当散射角再逐渐增大时,大气的偏振度呈逐渐下降趋势。然而,由于大气粒子多次散射的影响,实测大气偏振度往往小于 100%,且有 Babinet, Brewster, Arago 等三个中性点的存在。

目前,根据光谱偏振辐射计的实测结果,在太阳的地平经圈内的大气偏振度最大可达 70%。但是,当观测方向偏离地平经圈时,大气偏振态变化较为复杂,实测大气偏振态是一种较好的方法。

2、本发明的观测方法:

由于大气散射具有显著的偏振特性,而作为最主要观测目标的自然发光的

恒星，其辐射偏振特性较弱；反射太阳光的行星，若自身没有大气层，其光学反射的偏振特性也是很弱的，这两种行星的偏振特性与大气背景相比可以忽略不计。在分析本发明的使用效果时，以零偏振度的假设来分析天体目标的光学辐射。

本发明使用偏振片进行滤波，偏振片的检偏方向需要随时根据观测天区大气背景的偏振特性进行调整。检偏方向不同时，大气背景的辐射透过率是不同的：当偏振片的检偏方向与大气偏振方向相垂直时，可以对观测天区大气背景有最大的抑制作用；而如果忽略目标辐射的偏振特性，则认为目标辐射的透过率不随检偏方向的改变而变化。

3、偏振角度值的获取

本发明的关键内容是获取偏振角度值，只有在偏振角度值被准确获取之后才能正确地旋转偏振滤波片到理想的角度，才能获得最好的背景抑制效果。

偏振角 θ 值的获取过程说明：假设 I_0 、 I_{60} 、 I_{120} 分别是单通道偏振辐射计0度、60度、120度三个方向获得的光强量值，那么，可根据公式(1)~(3)计算出目标的斯托克斯参量 I 、 Q 、 U ：

$$I = \frac{2}{3}(I_0 + I_{60} + I_{120}) \quad (1)$$

$$Q = \frac{2}{3}(2I_0 - I_{60} - I_{120}) \quad (2)$$

$$U = \frac{2}{\sqrt{3}}(I_{60} - I_{120}) \quad (3)$$

再根据公式(4)~(10)计算出正确的 θ 角度值：

$$Q > 0 \text{ and } U \geq 0 \rightarrow \theta = \frac{1}{2} \arctg\left(\frac{U}{Q}\right) \quad (4)$$

$$Q < 0 \text{ and } U \geq 0 \rightarrow \theta = \frac{1}{2} \arctg\left(\frac{U}{Q}\right) + 90 \quad (5)$$

$$Q < 0 \text{ and } U < 0 \rightarrow \theta = \frac{1}{2} \arctg\left(\frac{U}{Q}\right) + 90 \quad (6)$$

$$Q = 0 \text{ and } U > 0 \rightarrow \theta = 45^\circ \quad (7)$$

$$Q > 0 \text{ and } U < 0 \rightarrow \theta = \frac{1}{2} \arctg\left(\frac{U}{Q}\right) + 180 \quad (8)$$

$$Q=0 \text{ and } U<0 \quad \rightarrow \quad \theta = 135^\circ \quad (9)$$

$$Q=0 \text{ and } U=0 \quad \rightarrow \quad / \quad (10)$$

要实现最大背景抑制只要将滤波偏振片的透光轴方向旋转到 $\theta+90^\circ$ 即可实现背景偏振滤波。

4、偏振滤波的光学设计

一般大口径天文望远镜系统后端面到焦点的距离为200mm左右，因此，本发明在后端面 and 观测接口之间的光路中放置有可旋转的偏振片、波段滤光片、能量衰减片等。在镜筒的后端安装有 CCD 成像装置，由于镜筒的位置可以通过螺纹调焦，故能满足 CCD 成像清晰的要求。

可以根据需要来选择偏振镜及滤光片的光谱范围，考虑到大气特性，在665nm波段的观测效果最佳。由于偏振镜和滤光片都是平板玻璃，对整个望远镜系统的成像质量影响很小，所以基本上不需要进行光学设计优化。

转接筒外的台阶上安装有步进电机，通过步进电机转动，通过主动齿轮和齿轮圈的转动，带动偏振片旋转。同时，为了实时检测偏振片的位置，纠正偏振片位置误差，需要安装精度较高的绝对值光电编码器，光电编码器是以数字化信息将角度值以编码形式输出，具有精度高，量程大，结构紧凑，安装方便，工作可靠、多种数字输出等许多优点。由于编码器的安装是与步进电机同轴的，在步进电机与旋转机构之间的同步带轮传动比确定时，通过读取编码器的输出信号就可以知道检偏片的准确位置。

5、偏振片检偏方向的调整

由于安装有大气散射偏振辐射计，其光轴与望远镜主光轴平行，视场要求为望远镜视场的3倍左右，其功能是实时获取观测天区的大气偏振态数据。

观测星体时，大气偏振态数据传输到 DSP 控制单元，其根据定时器或望远镜主机工作指令进行模拟量的数字化、数据采集及运算，获取偏振度和偏振角的偏振态数据，DSP 控制单元将测量得到的大气偏振角方向与偏振片检偏角相对比，若两值差距小于容忍精度误差，则偏振片不动，否则通知步进电机伺服机构旋转偏振片，使偏振片透光轴与当前大气偏振角相垂直，从而达到有效抑制大气散射辐射的干扰，提高星体观测的信噪比。

在实际的工作环境中，为防止步进电机失步情况的出现，本发明在电机的转

轴上增加了高精度的绝对值光电编码器,实现滤波偏振片位置的实时检测,在每次旋转之后会将实时检测的位置数据与 DSP 控制单元程序中记忆的正确位置作出对比,当判断出已经出现失步情况时,DSP 程序就会发出位置纠正信号以及步进电机的合适工作脉冲。

6、计算采用偏振滤波技术改善星体探测信噪比增益的能力

计算条件: a、大气偏振度按 20% 和 70% 两种情况计算, b、星体目标的偏振度很小,可以认为是无偏振的。

设 W_p 、 W'_p 为包括偏振片引起的透过率以及目标与背景偏振差异的偏振因子,一般来说,偏振片的透过率约 0.3~0.4,它只影响像面上的光功率,而偏振特性的差异将改变星体探测信噪比,所以星体探测信噪比增益为 W_p/W'_p 。

$$\text{星体探测信噪比: } \frac{S}{N} = \frac{B_t}{B_b} \cdot \frac{W_p}{W'_p}.$$

式中, B_t —目标辐亮度, B_b —背景辐亮度。

当大气偏振度为 20% 时,星体目标偏振因子为 $W_p = 1$,大气背景偏振因子为 $W'_p = 1 - 0.2 = 0.8$,则由于偏振带来星体探测信噪比增益为 $W_p/W'_p = 1.25$ 。

当大气偏振度为 70% 时,星体目标偏振因子为 $W_p = 1$,大气背景偏振因子为 $W'_p = 1 - 0.7 = 0.3$,则由于偏振带来星体探测信噪比增益为 $W_p/W'_p = 3.3$ 。

大气偏振态的变化受到观测时的大气状况、气溶胶动力学等诸多因素的影响,要求地基白昼星体偏振滤波观测的大气偏振态获取必须采用实时测量的方式。

本发明还突破了天文观测的时间局限性,可以大大延长观测时间,使得地基天文星体观测能够在白昼进行。

附图说明

图 1 是本发明工作结构示意图。

图 2 是本发明滤波装置结构图。

图 3 是本发明为地基恒星目标偏振滤波观测与常规强度观测对比度。

具体实施方式

天文光学望远镜偏振滤波装置，其特征在于包括有光学部件转接筒 11，转接筒 11 安装在转接板 1 上，转接筒 11 是由大筒与小筒组成的台阶形状，小筒内壁套装有轴承 12，轴承 12 内安装有一齿圈 6，齿圈 6 内安装有偏振片 2，大筒的台阶部位安装有步进电机 5，大筒内安装有和步进电机 5 转轴同轴的主动齿轮 4 和编码器 3，主动齿轮 4 和齿圈 6 啮合，小筒后端通过螺纹连接有一镜筒 9，镜筒 9 内安装有滤光片 8 与衰减片 7。镜筒 9 后端有接口，接 CCD 摄像机，镜筒后端的接口也可以是诸如照相接口、目视接口等。大气散射偏振辐射计的偏振器透光轴与偏振滤波装置的偏振器透过光轴选取相同的基准轴。

天文光学望远镜偏振滤波方法，其特征在于在和天文光学望远镜同光轴安装有一个单通道偏振辐射计，视场为望远镜的 2.5-3.5 倍，通过单通道偏振辐射计来快速获取目标信号偏振角方向与偏振度的偏振态数据；在望远镜的后端面与观测接口之间的光路中依次安装偏振片、衰减片和滤光片，滤光片用于光谱滤波，衰减片用于减弱整体光强以适合白昼天文观测的要求；将辐射计测得的偏振角方向与偏振片的检偏角进行对比，旋转偏振片的位置，使得偏振片的检偏方向与大气偏振方向相垂直，从而达到有效抑制大气散射辐射的干扰，提高星体观测的信噪比

观测星体时，大气偏振态数据传输到 DSP 控制单元，其根据定时器或望远镜主机工作指令进行模拟量的数字化、数据采集及运算，获取偏振度和偏振角的偏振态数据，DSP 控制单元将测量得到的大气偏振角方向与偏振片检偏角相对比，若两值差距小于容忍精度误差，则偏振片不动，否则通知步进电机伺服机构旋转偏振片，使偏振片透光轴与当前大气偏振角相垂直，从而达到有效抑制大气散射辐射的干扰，提高星体观测的信噪比。

在实际的工作环境中，为防止步进电机失步情况的出现，本发明在电机的转轴上增加了高精度的绝对值光电编码器，实现滤波偏振片位置的实时检测，在每次旋转之后会将实时检测的位置数据与 DSP 控制单元程序中记忆的正确位置作出对比，当判断出已经出现失步情况时，DSP 程序就会发出位置纠正信号以及步进电机的合适工作脉冲。

2004 年 7 月 23，对飞马座的 α 星进行偏振滤波观测和常规强度观测对比试

验，图 3 为地基恒星目标偏振滤波观测与常规强度观测对比度。

目标与背景对比度定义为：

$$\text{对比度 } C = \frac{|B_t - B_b|}{B_t + B_b}$$

式中， B_t ：目标辐亮度， B_b 为背景辐亮度。

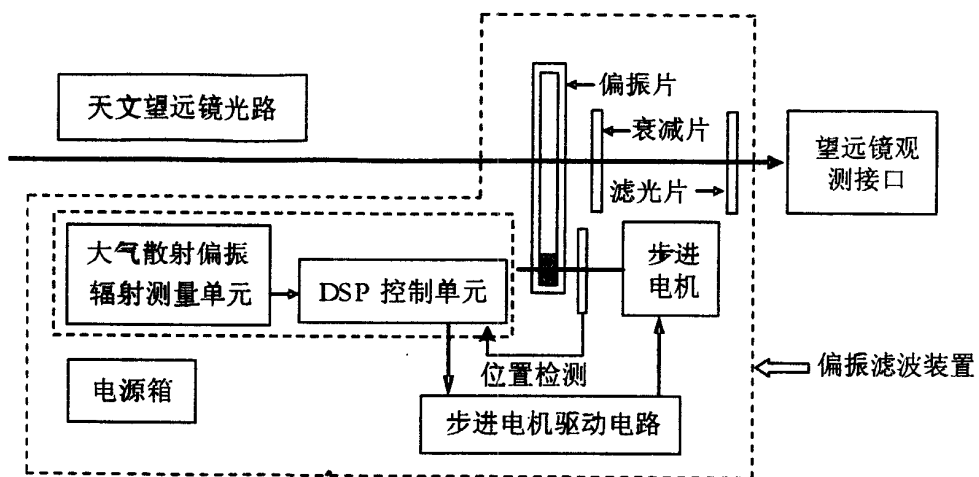


图1

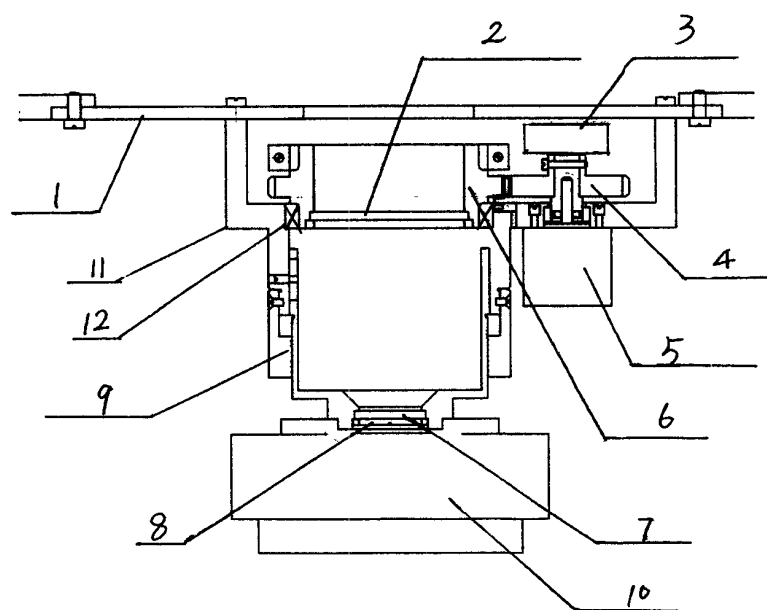


图2

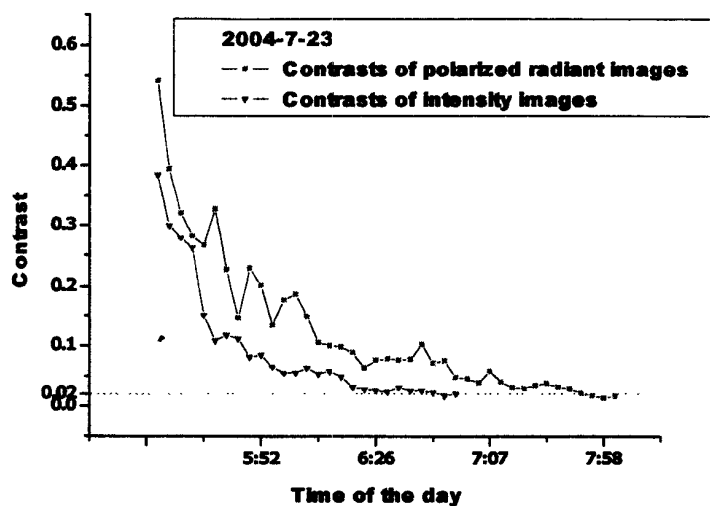


图3