



(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 209044062 U

(45)授权公告日 2019.06.28

(21)申请号 201821664045.9

(22)申请日 2018.10.12

(73)专利权人 北京聚恒博联科技有限公司

地址 100097 北京市海淀区蓝靛厂东路2号  
院2号楼(金源时代商务中心2号楼)3  
单元(C座)10G

(72)发明人 李莹莹

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限  
公司 11227

代理人 王宝筠

(51)Int.Cl.

G01S 17/95(2006.01)

G01S 7/481(2006.01)

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

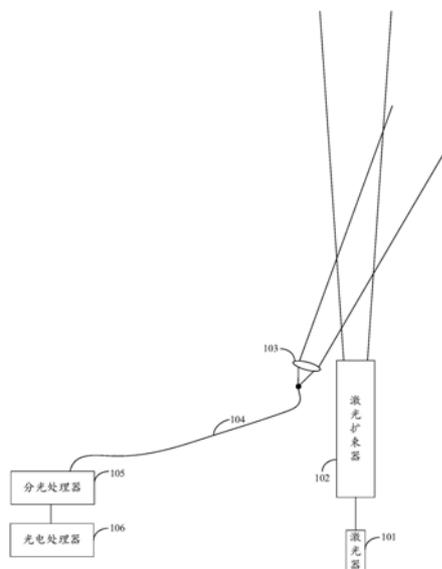
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54)实用新型名称

用于测量温度湿度廓线的激光雷达系统

(57)摘要

本申请公开了一种用于测量温度湿度廓线的激光雷达系统,该激光雷达系统利用分光处理器从聚焦信号中分离出用于温度反演的第一谱线组和用于湿度反演的第二谱线组,进而根据该第一谱线组和第二谱线组反演出温度廓线和湿度廓线,即实现温度廓线和湿度廓线的同时测量;此外,通过调整光电处理器的采样频率以及保证其在单位采样时间内能够采集足够的回波光子数,该系统即可按照预设的空间分辨率采集温度和湿度数据,从而实现高时空分辨率测量温度湿度廓线。



1. 一种用于测量温度湿度廓线的激光雷达系统,其特征在于,所述系统包括:激光器、激光扩束器、接收望远镜、光纤、分光处理器和光电处理器;

所述激光扩束器,用于对所述激光器发出的激光进行扩束处理,生成发送至大气的发射光束;

所述接收望远镜,用于接收所述发射光束与大气相互作用产生的散射回波信号,将所述散射回波信号聚焦于所述接收望远镜的镜面对应的聚焦区生成聚焦信号;

所述光纤,用于将所述聚焦信号传输至所述分光处理器;

所述分光处理器,用于从所述聚焦信号中分离出用于温度反演的第一谱线组和用于湿度反演的第二谱线组;

所述光电处理器,用于将所述第一谱线组和所述第二谱线组上传至反演软件,以使所述反演软件完成对温度廓线和湿度廓线反演计算。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述激光器为紫外波段的Nd:YAG脉冲激光器,所述激光器采用355nm的发射波长。

3. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述分光处理器包括:初级分光单元、双光栅分光单元和单光栅分光单元;

所述初级分光单元,用于从所述聚焦信号中分离出用于温度探测的纯转动拉曼信号和用于湿度探测的振动转动拉曼信号;

所述双光栅分光单元,用于对所述纯转动拉曼信号进行处理,输出所述第一谱线组;

所述单光栅分光单元,用于对所述振动转动拉曼信号进行处理,输出所述第二谱线组。

4. 根据权利要求3所述的系统,其特征在于,所述初级分光单元的截止波长为364nm;

所述双光栅分光单元的线色散为0.54nm/mm;

所述单光栅分光单元的线色散为1.38nm/mm。

5. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述光电处理器还用于:

采用光子计数和模拟采集的方式,设置所述温度廓线和所述湿度廓线的空间分辨率。

6. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述接收望远镜包括:第一接收望远镜和第二接收望远镜;

所述第一接收望远镜,用于接收所述散射回波信号,将所述散射回波信号聚焦于所述第一接收望远镜的镜面对应的聚焦区,生成第一聚焦信号;所述第一接收望远镜的镜面对应的聚焦区与所述第一接收望远镜的散射回波信号接收范围被设置为不存在重叠区域;所述第一接收望远镜的散射回波信号接收范围被设置为与所述发射光束的照射范围在低空存在重合区域;

所述第二接收望远镜,用于接收所述散射回波信号,将所述散射回波信号聚焦于所述第二接收望远镜的镜面对应的聚焦区,生成第二聚焦信号;所述第二接收望远镜的散射回波信号接收范围被设置为与所述发射光束的照射范围在高空存在重合区域;

则所述光纤包括:第一光纤和第二光纤;

所述第一光纤,用于传输所述第一聚焦信号至所述分光处理器;

所述第二光纤,用于传输所述第二聚焦信号至所述分光处理器。

7. 根据权利要求6所述的系统,其特征在于,所述第一接收望远镜的镜面的口径小于所述第二接收望远镜的镜面的口径;

所述第一接收望远镜的镜面的中心与所述发射光束的发射中心之间的水平距离为第一预设距离;所述第一预设距离大于所述第一接收望远镜的镜面的口径的一半;

所述第二接收望远镜的镜面的中心与所述发射光束的发射中心之间的水平距离为第二预设距离;所述第二预设距离大于所述第二接收望远镜的镜面的口径的一半;所述第一预设距离小于所述第二预设距离。

8. 根据权利要求6所述的系统,其特征在于,当所述第一接收望远镜有多个时,所述第一接收望远镜包括至少一个盲区望远镜和至少一个近场望远镜;所述盲区望远镜的镜面的口径小于所述近场望远镜的镜面的口径;

所述盲区望远镜的散射回波信号接收范围与所述发射光束的照射范围在低空盲区存在重合区域,所述盲区望远镜的镜面的中心与所述发射光束的发射中心之间的水平距离为第三预设距离,所述第三预设距离大于所述盲区望远镜的镜面的口径的一半;

所述近场望远镜的散射回波信号接收范围与所述发射光束的照射范围在低空近场存在重合区域,所述近场望远镜的镜面的中心与所述发射光束的发射中心之间的水平距离为第四预设距离,所述第四预设距离大于所述近场望远镜的镜面的口径的一半;所述第三预设距离小于所述第四预设距离;

当所述第二接收望远镜有多个时,所述第二接收望远镜包括至少一个中场望远镜和至少一个远场望远镜;所述中场望远镜的镜面的口径小于所述远场望远镜的镜面的口径;

所述中场望远镜的散射回波信号接收范围与所述发射光束的照射范围在高空中场存在重合区域,所述中场望远镜的镜面的中心与所述发射光束的发射中心之间的水平距离为第五预设距离,所述第五预设距离大于所述中场望远镜的镜面的口径的一半;

所述远场望远镜的散射回波信号接收范围与所述发射光束的照射范围在高空远场存在重合区域,所述远场望远镜的镜面的中心与所述发射光束的发射中心之间的水平距离为第六预设距离,所述第六预设距离大于所述远场望远镜的镜面的口径的一半;所述第五预设距离小于所述第六预设距离。

9. 根据权利要求8所述的系统,其特征在于,所述盲区望远镜为双胶合透镜,所述近场望远镜为离轴抛物面反射镜;所述中场望远镜和所述远场望远镜均为抛物面反射镜。

10. 根据权利要求8所述的系统,其特征在于,所述盲区望远镜的口径为12.5mm,所述第三预设距离为70mm;

所述近场望远镜的口径为50mm,所述第四预设距离为90mm;

所述中场望远镜的口径为200mm,所述第五预设距离为180mm;

所述远场望远镜的口径为500mm,所述第六预设距离为330mm。

## 用于测量温度湿度廓线的激光雷达系统

### 技术领域

[0001] 本申请涉及激光雷达技术领域,特别涉及一种用于测量温度湿度廓线的激光雷达系统。

### 背景技术

[0002] 人类生存在大气边界层内,大气时空变化实时影响着人类的正常生活。大气的温度和湿度是表征大气动力和热力结构物理状态最重要的两个参数。以高时空分辨率获取大气的温度和湿度参数,进而以此为基准建立精确的大气模型,对天气分析预报、污染演化、气候研究、军事任务保障等具有重要的意义和价值。

[0003] 探测边界层大气温度湿度廓线的传统技术方法为气象梯度塔法和无线电探空仪法。气象梯度塔法即在塔上按高度均匀布置温度和湿度传感器,从而实时获取塔高以下的温度和湿度数据,然而这种探测方法受塔高的限制,探测高度范围通常不超过百米。无线电探空仪法利用安装有感应元件、转换电路、编码装置、无线电发射机的探空气球,对大气的温度和湿度进行探测,而探空气球在上升的过程中受到风的影响会偏离预设的上升路线,产生位置的偏移,由此将导致探测数据与真实位置廓线之间存在一定的误差,并且从经济角度考虑,很难实现持续放球,温度和湿度数据获取的时间分辨率较低。

[0004] 因此,现亟待一种能够实现高时空分辨率测量温度湿度廓线的系统。

### 实用新型内容

[0005] 为了解决上述技术问题,本申请提供了一种用于测量温度湿度廓线的激光雷达系统,能够实现以高时空分辨率测量大气的温度湿度廓线。

[0006] 本申请实施例公开了如下技术方案:

[0007] 本申请实施例提供了一种用于测量温度湿度廓线的激光雷达系统,所述系统包括:激光器、激光扩束器、接收望远镜、光纤、分光处理器和光电处理器;

[0008] 所述激光扩束器,用于对所述激光器发出的激光进行扩束处理,生成发送至大气的发射光束;

[0009] 所述接收望远镜,用于接收所述发射光束与大气相互作用产生的散射回波信号,将所述散射回波信号聚焦于所述接收望远镜的镜面对应的聚焦区生成聚焦信号;

[0010] 所述光纤,用于将所述聚焦信号传输至所述分光处理器;

[0011] 所述分光处理器,用于从所述聚焦信号中分离出用于温度反演的第一谱线组和用于湿度反演的第二谱线组;

[0012] 所述光电处理器,用于将所述第一谱线组和所述第二谱线组上传至反演软件,以使所述反演软件完成对温度廓线和湿度廓线反演计算。

[0013] 可选的,所述激光器为紫外波段的Nd:YAG脉冲激光器,所述激光器采用355nm的发射波长。

[0014] 可选的,所述分光处理器包括:初级分光单元、双光栅分光单元和单光栅分光单

元；

[0015] 所述初级分光单元,用于从所述聚焦信号中分离出用于温度探测的纯转动拉曼信号和用于湿度探测的振动转动拉曼信号；

[0016] 所述双光栅分光单元,用于对所述纯转动拉曼信号进行处理,输出所述第一谱线组；

[0017] 所述单光栅分光单元,用于对所述振动转动拉曼信号进行处理,输出所述第二谱线组。

[0018] 可选的,所述初级分光单元的截止波长为364nm；

[0019] 所述双光栅分光单元的的线色散为0.54nm/mm；

[0020] 所述单光栅分光单元的的线色散为1.38nm/mm。

[0021] 可选的,所述光电处理器还用于：

[0022] 采用光子计数和模拟采集的方式,设置所述温度廓线和所述湿度廓线的空间分辨率。

[0023] 可选的,所述接收望远镜包括：第一接收望远镜和第二接收望远镜；

[0024] 所述第一接收望远镜,用于接收所述散射回波信号,将所述散射回波信号聚焦于所述第一接收望远镜的镜面对应的聚焦区,生成第一聚焦信号；所述第一接收望远镜的镜面对应的聚焦区与所述第一接收望远镜的散射回波信号接收范围被设置为不存在重叠区域；所述第一接收望远镜的散射回波信号接收范围被设置为与所述发射光束的照射范围在低空存在重合区域；

[0025] 所述第二接收望远镜,用于接收所述散射回波信号,将所述散射回波信号聚焦于所述第二接收望远镜的镜面对应的聚焦区,生成第二聚焦信号；所述第二接收望远镜的散射回波信号接收范围被设置为与所述发射光束的照射范围在高空存在重合区域；

[0026] 则所述光纤包括：第一光纤和第二光纤；

[0027] 所述第一光纤,用于传输所述第一聚焦信号至所述分光处理器；

[0028] 所述第二光纤,用于传输所述第二聚焦信号至所述分光处理器。

[0029] 可选的,所述第一接收望远镜的镜面的口径小于所述第二接收望远镜的镜面的口径；

[0030] 所述第一接收望远镜的镜面的中心与所述发射光束的发射中心之间的水平距离为第一预设距离；所述第一预设距离大于所述第一接收望远镜的镜面的口径的一半；

[0031] 所述第二接收望远镜的镜面的中心与所述发射光束的发射中心之间的水平距离为第二预设距离；所述第二预设距离大于所述第二接收望远镜的镜面的口径的一半；所述第一预设距离小于所述第二预设距离。

[0032] 可选的,当所述第一接收望远镜有多个时,所述第一接收望远镜包括至少一个盲区望远镜和至少一个近场望远镜；所述盲区望远镜的镜面的口径小于所述近场望远镜的镜面的口径；

[0033] 所述盲区望远镜的散射回波信号接收范围与所述发射光束的照射范围在低空盲区存在重合区域,所述盲区望远镜的镜面的中心与所述发射光束的发射中心之间的水平距离为第三预设距离,所述第三预设距离大于所述盲区望远镜的镜面的口径的一半；

[0034] 所述近场望远镜的散射回波信号接收范围与所述发射光束的照射范围在低空近

场存在重合区域,所述近场望远镜的镜面的中心与所述发射光束的发射中心之间的水平距离为第四预设距离,所述第四预设距离大于所述近场望远镜的镜面的口径的一半;所述第三预设距离小于所述第四预设距离;

[0035] 当所述第二接收望远镜有多个时,所述第二接收望远镜包括至少一个中场望远镜和至少一个远场望远镜;所述中场望远镜的镜面的口径小于所述远场望远镜的镜面的口径;

[0036] 所述中场望远镜的散射回波信号接收范围与所述发射光束的照射范围在高空中场存在重合区域,所述中场望远镜的镜面的中心与所述发射光束的发射中心之间的水平距离为第五预设距离,所述第五预设距离大于所述中场望远镜的镜面的口径的一半;

[0037] 所述远场望远镜的散射回波信号接收范围与所述发射光束的照射范围在高空远场存在重合区域,所述远场望远镜的镜面的中心与所述发射光束的发射中心之间的水平距离为第六预设距离,所述第六预设距离大于所述远场望远镜的镜面的口径的一半;所述第五预设距离小于所述第六预设距离。

[0038] 可选的,所述盲区望远镜为双胶合透镜,所述近场望远镜为离轴抛物面反射镜;所述中场望远镜和所述远场望远镜均为抛物面反射镜。

[0039] 可选的,所述盲区望远镜的口径为12.5mm,所述第三预设距离为70mm;

[0040] 所述近场望远镜的口径为50mm,所述第四预设距离为90mm;

[0041] 所述中场望远镜的口径为200mm,所述第五预设距离为180mm;

[0042] 所述远场望远镜的口径为500mm,所述第六预设距离为330mm。

[0043] 由上述技术方案可以看出,本申请实施例提供的用于测量温度湿度廓线的激光雷达系统包括激光器、激光扩束器、接收望远镜、光纤、分光处理器和光电处理器;其中,激光器用于发射激光,激光扩束器用于对激光器发射的激光进行扩束处理,生成发送至大气的发射光束,该发射光束与大气相互作用产生散射回波信号;接收望远镜接收来自大气的散射回波信号,并将接收的散射回波信号聚焦于自身的镜面对应的聚焦区,生成聚焦信号;光纤将该聚焦信号传输至分光处理器,该分光处理器相应地从聚焦信号中分离出用于温度反演的第一谱线组和第二谱线组;进而,光电处理器将该第一谱线组和第二谱线组上传至反演软件,以使反演软件根据该第一谱线组和第二谱线组完成对温度廓线和湿度廓线的反演计算。

[0044] 上述激光雷达系统利用分光处理器从聚焦信号中分离出用于温度反演的第一谱线组和用于湿度反演的第二谱线组,进而根据该第一谱线组和第二谱线组反演出温度廓线和湿度廓线,即实现温度廓线和湿度廓线的同时测量;此外,通过调整光电处理器的采样频率以及保证其在单位采样时间内能够采集足够的回波光子数,该系统即可按照预设的空间分辨率采集温度和湿度数据,从而实现高时空分辨率测量温度湿度廓线。

## 附图说明

[0045] 为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

- [0046] 图1为本申请实施例提供的一种用于测量温度湿度廓线的激光雷达系统的结构示意图；
- [0047] 图2为本申请实施例提供的一种初级分光单元的结构示意图；
- [0048] 图3为本申请实施例提供的一种双光栅分光单元的结构示意图；
- [0049] 图4为本申请实施例提供的一种单光栅分光单元的结构示意图；
- [0050] 图5为本申请实施例提供的另一种用于测量温度湿度廓线的激光雷达系统的结构示意图。

### 具体实施方式

[0051] 为了使本技术领域的人员更好地理解本申请方案，下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

[0052] 本申请的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”、“第三”、“第四”等(如果存在)是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便这里描述的本申请的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外，术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形，意图在于覆盖不排他的包含，例如，包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元，而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

[0053] 经申请人研究发现，现有技术中的用于测量温度廓线和湿度廓线的系统普遍不能够以高时空分辨率，在全范围内实现温度廓线和湿度廓线的同时测量。

[0054] 为了解决上述现有技术中存在的技术问题，本申请提供了一种用于测量温度湿度廓线的激光雷达系统，该激光雷达系统能够实现以高时空分辨率同时测量温度廓线湿度廓线。

[0055] 下面通过实施例的方式对本申请提供的用于测量温度湿度廓线的激光雷达系统进行介绍。

[0056] 参见图1，图1为本申请实施例提供的大气遥感激光雷达系统的结构示意图。该大气遥感激光雷达系统包括：激光器101、激光扩束器102、接收望远镜103、光纤104、分光处理器105和光电处理器106。

[0057] 激光器101发出的激光经激光扩束器102处理后，生成发送至大气的发射光束，该发射光束与大气相互作用后产生散射回波信号。

[0058] 由于激光器101发出的激光照射范围有限，因此，通常利用激光扩束器102对激光器101发出的激光进扩束处理，生成照射范围较大的发射光束，该发射光束与大气相互作用后将产生散射回波信号。

[0059] 需要说明的是，由于激光器101所处的位置通常不在激光扩束器102的正下方，即激光器101实际所处的位置通常可能无法保证直接将自身产生的激光发射至激光扩束器102，因此，通常还可能在激光扩束器102的下方设置电动镜架，以利用电动镜架设装设的反射镜改变激光器101产生的激光的光路，将激光发射至激光扩束器102中。

[0060] 需要说明的是,为了保证在白天和夜晚均能对温度和湿度廓线进行测量,通常选用Nd:YAG脉冲激光器作为本申请实施例提供的激光雷达系统中的激光器101,并且设置其发射波长为355nm。由于355nm波长是紫外波段具有日盲特点,即大气背景中的355nm噪声光信号能够被大气层基本吸收,因此,能够降低白天探测的背景噪声信号,实现在夜晚和白天均能够测量温度和湿度廓线。

[0061] 具体实现时,可以将Nd:YAG脉冲激光器的基波长设置为1064nm,经三倍频后发射脉冲能量为200mJ、波长为355nm的发射波。当然,也可以采用其他方式使得激光器101发射紫外波段的发射波,在此不对发射波的具体获取方式做任何限定。

[0062] 上述激光扩束器103可以为由两个熔融石英透镜构成伽利略结构,其扩束倍数可以根据实际需求进行设置,通常可以将扩束倍数设置为10。激光器10发出的发射波长从激光扩束器103的凹面镜射入,从激光扩束器103的非球面平透镜输出,两只透镜均涂覆有减反膜,以提高扩束器的扩束效率。

[0063] 发射光束与大气相互作用后产生散射回波信号,接收望远镜103用于接收来自大气的散射回波信号,并将自身接收的散射回波信号聚焦于接收望远镜103的聚焦区,生成聚焦信号。

[0064] 为了保证接收望远镜103能够接收全范围地散射回波信号,接收望远镜通常包括第一接收望远镜和第二接收望远镜。其中,第一接收望远镜用于接收来自低空的散射回波信号,并将自身接收的散射回波信号聚焦于第一接收望远镜的镜面对应的聚焦区,生成第一聚焦信号;该第一接收望远镜的镜面对应的镜面对应的聚焦区与第一接收望远镜的散射回波信号接收范围不存在重叠区域,该第一接收望远镜的散射回波信号接收范围与激光扩束器102产生的发射光束的照射范围在低空存在重合区域。

[0065] 需要说明的是,为了保证第一接收望远镜能够接收到来自低空的散射回波信号,该第一接收望远镜的散射回波信号接收范围需要与发射光束的照射范围在低空存在重合区域。此处的低空通常指的是大气层5m至300m的范围。由于该第一接收望远镜203的镜面对应的聚焦区与该第一接收望远镜203的散射回波信号接收范围不存在重叠区域,即该第一接收望远镜203最终聚焦生成的第一聚焦信号不处于该第一接收望远镜203的散射回波信号接收范围内,相应地,用于接收该第一聚焦信号的装置无需设置于散射回波信号接收范围内,因此,不存在任何部件对第一接收望远镜接收的散射回波信号产生遮挡,相应地,该第一接收望远镜能够有效地接收来自低空的散射回波信号。

[0066] 为了保证第一接收望远镜能够有效地接收来自低空的散射回波信号,通常在将第一接收望远镜投入实际应用之前,先根据实际需求设置第一接收望远镜的相关测量参数,如第一接收望远镜的口径、第一接收望远镜与发射光束的发射中心之间的距离、第一接收望远镜的接收场、第一接收望远镜的接收视场角以及第一接收望远镜的光轴与发射光束的光轴之间的夹角等,依据这些参数计算该第一接收望远镜的几何重叠因子,并将该几何重叠因子代入激光雷达方程,计算该第一接收望远镜在不同高度的散射回波信号接收强度。若该第一接收望远镜在低空范围内的散射回波信号接收强度符合测量要求,则利用该第一接收望远镜接收来自低空的散射回波信号;反之,若该第一接收望远镜在低空范围内的散射回波信号接收强度不符合测量要求,则改变该第一接收望远镜的相关测量参数,继续观测该第一接收望远镜是否符合测量要求,直至第一接收望远镜的相关测量参数能够使得该

第一接收望远镜符合测量要求后,根据这些相关测量参数设置第一接收望远镜。

[0067] 发射光束与大气互相作用后产生散射回波信号,第二接收望远镜用于接收来自高空的散射回波信号,并将自身接收的散射回波信号聚焦于第二接收望远镜的镜面对应的聚焦区,生成第二聚焦信号。该第二接收望远镜的散射回波信号接收范围与激光扩束器102产生的发射光束的照射范围在高空存在重合区域。

[0068] 需要说明的是,为了保证第二接收望远镜能够接收到来自高空的散射回波信号,该第二接收望远镜的散射回波信号接收范围需要与发射光束的照射范围在高空存在重合区域。此处的高空通常指的是大气层120m至3000m的范围。

[0069] 为了保证第二接收望远镜能够有效地接收来自低空的散射回波信号,通常在将第二接收望远镜投入实际应用之前,按照上述测试待投入使用的第一接收望远镜的方式对第二接收望远镜进行测试。具体的,先根据实际需求设置第二接收望远镜的相关测量参数,如第二接收望远镜的口径、第二接收望远镜与发射光束的发射中心之间的距离、第二接收望远镜的接收场、第二接收望远镜的接收视场角以及第二接收望远镜的光轴与发射光束的光轴之间的夹角等,依据这些参数计算该第二接收望远镜的几何重叠因子,并将该几何重叠因子代入激光雷达方程,计算该第二接收望远镜在不同高度的散射回波信号接收强度。若该第二接收望远镜在高空范围内的散射回波信号接收强度符合测量要求,则利用该第二接收望远镜接收来自高空的散射回波信号;反之,若该第二接收望远镜在高空范围内的散射回波信号接收强度不符合测量要求,则改变该第二接收望远镜的相关测量参数,继续观测该第二接收望远镜是否符合测量要求,直至第二接收望远镜的相关测量参数能够使得该第二接收望远镜符合测量要求后,根据这些相关测量参数设置第二接收望远镜。

[0070] 相应地,光纤104包括第一光纤和第二光纤;其中,第一光纤用于接收聚焦于第一接收望远镜的聚焦区的第一聚焦信号,并将该第一聚焦信号传输至分光处理器105;第二光纤用于接收聚焦于第二接收望远镜的聚焦区的第二聚焦信号,并将该第二聚焦信号传输至分光处理器105。

[0071] 分光处理器105接收到光纤104传输的聚焦信号后,从该聚焦信号中分离出用于温度反演的第一谱线组和用于湿度反演的第二谱线组,并将分离出的第一谱线组和第二谱线组传输至光电处理器106。

[0072] 应理解,当接收望远镜包括第一接收望远镜和第二接收望远镜时,分光处理器105接收来自第一接收望远镜的第一聚焦信号,以及来自第二接收望远镜的第二聚焦信号,并对第一聚焦信号和第二聚焦信号进行分光处理。

[0073] 具体的,分光处理器包括:初级分光单元、双光栅分光单元和单光栅分光单元。其中,初级分光单元用于从分光处理器接收到的聚焦信号中分离出用于温度探测的纯转动拉曼信号和用于湿度探测的振动转动拉曼信号。

[0074] 如图2所示,即为一种示例性的初级分光单元的结构示意图。该初级分光单元由两只近紫外消色差透镜201和202,以及一只长通边缘滤光片203组成;其中,长通边缘滤光片203的截止波长可以被设置为364nm,其能够将用于温度探测的纯转动拉曼信号和用于湿度探测的振动转动拉曼信号分离;用于温度探测的纯转动拉曼信号的波长范围为 $355 \pm 2\text{nm}$ ,用于湿度探测的氮气 $\text{N}_2$ 的振动转动拉曼信号波长为387nm,水 $\text{H}_2\text{O}$ 的振动转动拉曼信号波长为407nm;初级分光单元的输出端分别为出射光纤204和205,出射光纤204为温度通道,其输

出用于温度探测的纯转动拉曼信号,出射光纤205为湿度通道,其输出用于湿度探测的振动转动拉曼信号,即 $N_2$ 的振动转动拉曼信号和 $H_2O$ 的振动转动拉曼信号。为了保证较好的分离效果,该初级分光单元的截止波长通常被设置为364nm,即长通边缘滤光片203的截止波长被设置为364nm。

[0075] 其中,双光栅分光单元用于对纯转动拉曼信号进行处理,输出第一谱线组;即双光栅分光单元用于对温度通道输出的用于温度探测的纯转动拉曼信号进行处理,输出用于反演温度廓线的第一谱线组。

[0076] 如图3所示,即为一种示例性的双光栅分光单元的结构示意图。该双光栅分光单元由两只相同的消色差双胶合透镜301和两只相同的闪耀光栅302组成;该双光栅分光单元的输入为温度通道204,经图3上半部分的消色差双胶合透镜301和闪耀光栅302处理后,得到低频的斯托克斯信号和反斯托克斯信号、高频的斯托克斯信号和反斯托克斯信号以及弹性信号305;利用图3下半部分的消色差双胶合透镜301和闪耀光栅302,对低频的斯托克斯信号和反斯托克斯信号,以及高频的斯托克斯信号和反斯托克斯信号分别进行耦合处理,得到耦合后的高频纯转动拉曼信号303和低频纯转动拉曼信号304;最终该双光栅分光单元输出高频纯转动拉曼信号303、低频纯转动拉曼信号304和弹性信号305。

[0077] 需要说明的是,上述双光栅分光单元通常选用两只相同的消色差双胶合透镜301和两只相同的光栅302组成,其线色散为 $0.54\text{nm/mm}$ ,其工作于一级衍射。消色差双胶合透镜301用于准直和成像,光栅302均工作于输入输出共焦面形式。

[0078] 其中,单光栅分光单元用于对振动转动拉曼信号进行处理,输出第二谱线组;即单光栅分光单元用于对初级分光单元湿度通道输出的用于湿度探测的振动转动拉曼信号进行处理,输出用于反演湿度廓线的第二谱线组。

[0079] 如图4所示,即为一种示例性的单光栅分光单元的结构示意图。该单光栅分光单元由一只消色差双胶合透镜401和一只闪耀光栅402组成,其线色散为 $1.38\text{nm/mm}$ ,其,其工作于二级衍射。消色差双胶合透镜401用于准直和成像,光栅402工作于输入输出共焦面形式。该单光栅分光单元的输入为湿度通道205,即 $N_2$ 的振动转动拉曼信号和 $H_2O$ 的振动转动拉曼信号,输出为用于湿度反演的氮气振动转动拉曼信号403和水汽振动转动拉曼信号404。由此,可以根据氮气和水汽的振动转动拉曼信号的比例,通过标定的方式计算大气的湿度。

[0080] 由此将双光栅分光单元输出的高频纯转动拉曼信号、低频纯转动拉曼信号和弹性信号,作为第一谱线组,将单光栅分光单元输入的氮气振动转动拉曼信号和水汽振动转动拉曼信号作为第二谱线组,输入至光电处理器106。

[0081] 光电处理器106将第一谱线组和第二谱线组上传至反演软件,相应地,反演软件即可根据该第一谱线组和第二谱线组完成对温度廓线和湿度廓线的反演计算。该光电处理器106通常由光电探测单元和数据采集单元构成,其中光电探测单元由多路光电倍增管和放大器组成,通常由10路光电倍增管和放大器组成;数据采集单元以特定的方式完成信号采集,将数据上传至反演软件,以完成温度廓线和湿度廓线的反演计算。

[0082] 需要说明的是,为了保证最终反演得到的温度廓线和湿度廓线的空间分辨率较高,上述数据采集单元通常采用光子计数和模拟采集的方式,设置温度廓线和湿度廓线的空间分辨率。为了使温度廓线和湿度廓线达到预设的空间分辨率,数据采集单元一般需要满足以下两个条件,第一是数据采集单元有足够的采样频率,第二是在单位采样时间内能

够采集足够的回波光子数样本,达到并满足统计的精度要求。

[0083] 以需要达到的空间分辨率为5m为例,从发射光束到接收散射回波信号的时间t为:

$$[0084] \quad t=2d/c=2*5/(3*10^8)=3.33 \times 10^{-8}s$$

[0085] 相应地,模拟信号采样频率为:

$$[0086] \quad f=1/t=30MHz$$

[0087] 为了在单位采样时间内能够采集足够的回波光子数样本,达到并满足统计的精度要求,单光栅分光单元分离提取四支纯转动拉曼散射谱线,分别为低频的斯托克斯信号、低频的反斯托克斯信号、高频的斯托克斯信号和反斯托克斯信号,将低量子数的对称信号结合为一个通道:

$$[0088] \quad n_{[-]} = \left( \sum_{\Delta v_i \in \Delta v_{[-]}} n_i^{N_2} + n_i^{O_2} \right)^{[stokes]} + \left( \sum_{\Delta v_i \in \Delta v_{[-]}} n_i^{N_2} + n_i^{O_2} \right)^{[antistokes]}$$

[0089] 将高量子数的对称信号结合为一个通道:

$$[0090] \quad n_{[+]} = \left( \sum_{\Delta v_i \in \Delta v_{[+]}} n_i^{N_2} + n_i^{O_2} \right)^{[stokes]} + \left( \sum_{\Delta v_i \in \Delta v_{[+]}} n_i^{N_2} + n_i^{O_2} \right)^{[antistokes]}$$

[0091] 其中,N2上标表示氮气,O2上标表示氧气;n表示信号值;-下标表示低量子数通道;+下标表示高量子数通道; $\Delta v$ 表示拉曼频移。

[0092] 实现在单位时间内接收处理双倍的回波光子数,合并两个通道里的温度纯转动拉曼散射谱线的关系式如下:

$$[0093] \quad N_{[-]} = n_{[-]} \Delta t,$$

$$[0094] \quad N_{[+]} = n_{[+]} \Delta t,$$

[0095] 其中, $\Delta t$ 累计时间。

[0096] 为了满足统计精度要求,在累计时间 $\Delta t$ 内,实现如下温度探测的高低量子数通道信号比。

$$[0097] \quad R = \frac{N_{[-]}}{N_{[+]}} = \frac{\sum_{stokes} \sum_{N_2, O_2} \sum_{\Delta v_i \in \Delta v_{[-]}} K_i \beta_i \exp \left( - \int_0^r \alpha(v_i, x) dx \right)}{\sum_{antistokes} \sum_{N_2, O_2} \sum_{\Delta v_i \in \Delta v_{[+]}} K_i \beta_i \exp \left( - \int_0^r \alpha(v_i, x) dx \right)}$$

[0098] 其中, $K_i$ 为系统因子, $\beta_i$ 为拉曼后向散射系数, $\alpha(v_i, x)$ 为x高度处频率为v的大气消光系数。

[0099] 数据采集单元按照上述方式对分光处理器输出的信号进行处理后,将处理得到的数据上传至反演软件,以使反演软件完成温度廓线和湿度廓线的反演计算。

[0100] 上述激光雷达系统利用分光处理器从聚焦信号中分离出用于温度反演的第一谱线组和用于湿度反演的第二谱线组,进而根据该第一谱线组和第二谱线组反演出温度廓线和湿度廓线,即实现温度廓线和湿度廓线的同时测量;此外,通过调整光电处理器的采样频率以及保证其在单位采样时间内能够采集足够的回波光子数,该系统即可按照预设的空间分辨率采集温度和湿度数据,从而实现高时空分辨率测量温度湿度廓线。

[0101] 需要说明的是,为了保证上述第一接收望远镜能够有效地接收来自低空的散射回波信号,且使得该第一接收望远镜能够在尽可能大的范围内接收散射回波信号,即保证第一接收望远镜的接收范围与发射光束的照射范围之间的重合区域尽可能大,通常选取口径较小的望远镜作为第一接收望远镜,并且将该第一接收望远镜的镜面的中心与发射光束的发射中心之间的水平距离设置为第一预设距离,该第一预设距离较小,但是为了保证第一接收望远镜不遮挡发射光束,该第一预设距离大于第一接收望远镜的镜面的口径的一半。

[0102] 为了保证上述第二接收望远镜能够有效地接收来自高空的散射回波信号,且使得该第二接收望远镜能够在尽可能大的范围接收散射回波信号,即保证第二接收望远镜的接收范围与发射光束的照射范围之间的重合区域尽可能大,通常选取口径较大的望远镜作为第二接收望远镜,该第二接收望远镜的镜面的口径大于第一接收望远镜的镜面的口径;并且将该第二接收望远镜的镜面的中心与发射光束的发射中心之间的水平距离设置为第二预设距离,该第二预设距离较大,大于第二接收望远镜的口径的一半,该第二预设距离大于第一预设距离。

[0103] 通常情况下,上述第一接收望远镜可以有一个,也可以有多个;相类似地,上述第二接收望远镜可以有一个,也可以有多个。

[0104] 当第一接收望远镜有多个时,这些第一接收望远镜中包括至少一个盲区望远镜和至少一个近场望远镜。由于低空盲区的范围小于低空近场的范围,因此,通常情况下盲区望远镜的镜面的口径小于近场望远镜的镜面的口径。

[0105] 为了保证盲区望远镜能够接收到来自低空盲区的散射回波信号,盲区望远镜的散射回波信号接收范围需要与发射光束的照射范围在低空盲区存在重合区域,该盲区望远镜的镜面的中心与发射光束的发射中心之间的水平距离通常被设置为第三预设距离,该第三预设距离大于上述盲区望远镜的镜面的口径的一半。此处盲区的范围通常指的是大气层5m至40m的范围。

[0106] 为了保证近场望远镜能够接收到来自低空近场的散射回波信号,近场望远镜的散射回波信号接收范围需要与发射光束的照射范围在低空近场存在重合区域,该近场望远镜的镜面的中心与发射光束的发射中心之间的水平距离通常被设置为第四预设距离,该第四预设距离大于上述近场望远镜的镜面的口径的一半,且大于上述第三预设距离。此处近场的范围通常指的是大气层30m至300m的范围。

[0107] 需要说明的是,上述盲区望远镜的镜面通常采用双胶合透镜,上述近场望远镜的镜面通常采用离轴抛物面反射镜。

[0108] 所述盲区望远镜为双胶合透镜,所述近场望远镜为离轴抛物面反射镜。实验表明,将上述盲区望远镜的镜面的口径设置为12.5mm,将第三预设距离设置为70mm,将近场望远镜的口径设置为50mm,将第四预设距离设置为90mm时,来自低空的散射回波信号的接收效果较好。

[0109] 当第二接收望远镜有多个时,这些第二接收望远镜中包括至少一个中场望远镜和至少一个远场望远镜。由于高空中场的范围小于高空远场的范围,因此,通常情况下中场望远镜的镜面的口径小于远场望远镜的镜面的口径。

[0110] 为了保证中场望远镜能够接收到来自高空中场的散射回波信号,中场望远镜的散射回波信号接收范围需要与发射光束的照射范围在高空中场存在重合区域,该中场望远镜

的镜面的中心与发射光束的发射中心之间的水平距离通常被设置为第五预设距离,该第五预设距离大于上述中场望远镜的镜面的口径的一半。此处中场的范围通常指的是大气层120m至1100m的范围。

[0111] 为了保证远场望远镜能够接收到来自高空远场的散射回波信号,远场望远镜的散射回波信号接收范围需要与发射光束的照射范围在高空远场存在重合区域,该远场望远镜的镜面的中心与发射光束的发射中心之间的水平距离通常被设置为第六预设距离,该第六预设距离大于上述远场望远镜的镜面的口径的一半,且大于上述第五预设距离。此处近场的范围通常指的是大气层500m至3000m的范围。

[0112] 所述中场望远镜和所述远场望远镜通常均为抛物面反射镜。实验表明,将上述中场望远镜的镜面的口径设置为200mm,将第五预设距离设置为180mm,将远场望远镜的口径设置为500mm,将第六预设距离设置为3300mm时,来自高空的散射回波信号的接收效果较好。

[0113] 参见图5,图5为本申请实施例提供的用于测量温度湿度廓线的激光雷达系统的又一结构示意图。如图5所示,该系统中包括上述盲区望远镜、近场望远镜、中场望远镜和远场望远镜,各个望远镜分别负责接收来自大气不同高度的散射回波信号,并将其自身接收到的散射回波信号通过自身对应的光纤传输至分光处理器,分光处理器生成第一谱线组和第二谱线组后,再将第一谱线组和第二谱线组传输至光电处理器,光电处理器将所述第一谱线组和所述第二谱线组上传至反演软件,以使所述反演软件完成对温度廓线和湿度廓线反演计算。

[0114] 需要说明的是,本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其,对于设备及系统实施例而言,由于其基本相似于方法实施例,所以描述得比较简单,相关之处参见方法实施例的部分说明即可。以上所描述的设备及系统实施例仅仅是示意性的,其中作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。本领域普通技术人员在不付出创造性劳动的情况下,即可以理解并实施。

[0115] 以上所述,仅为本申请的一种具体实施方式,但本申请的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此,本申请的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

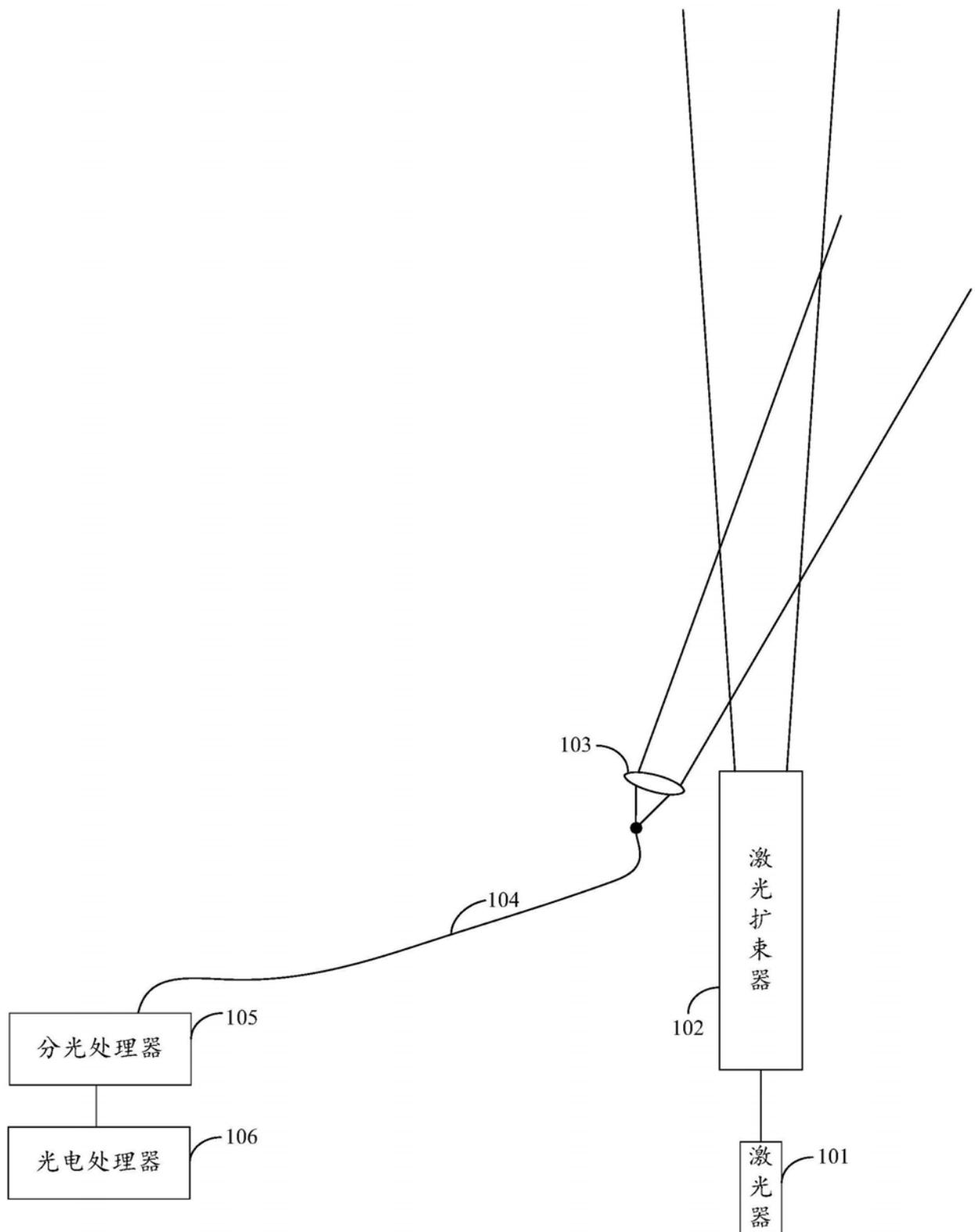


图1

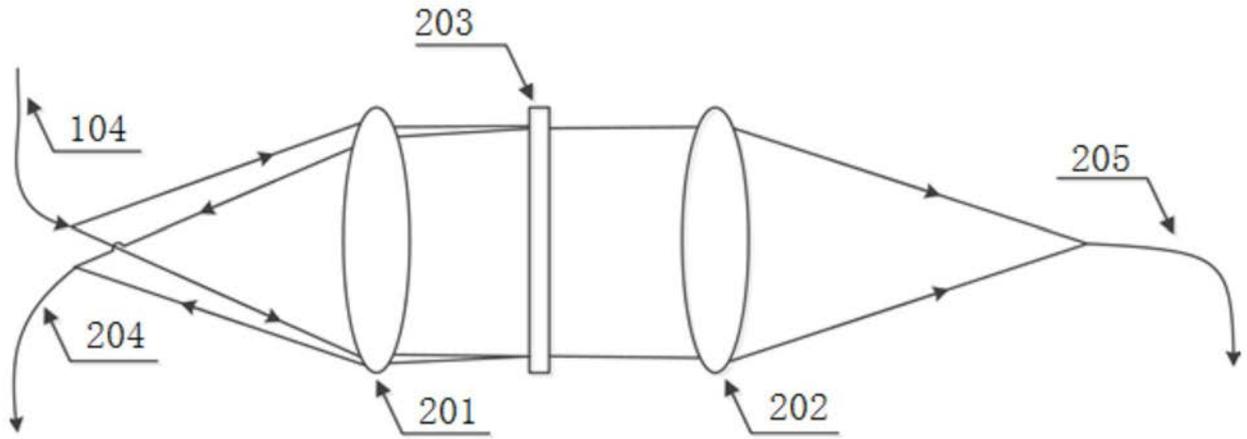


图2

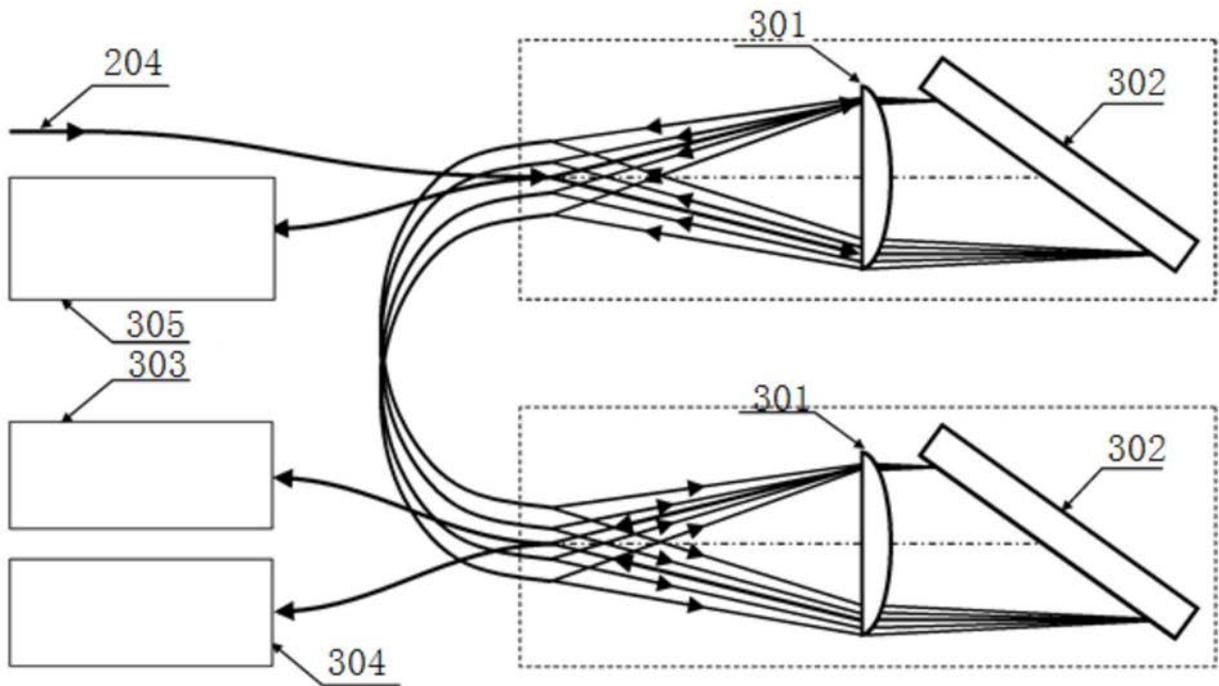


图3

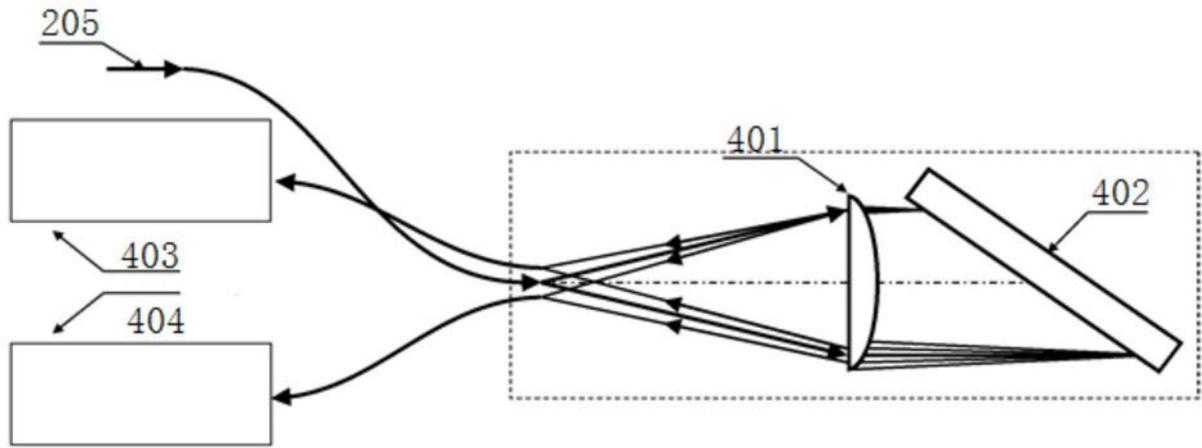


图4

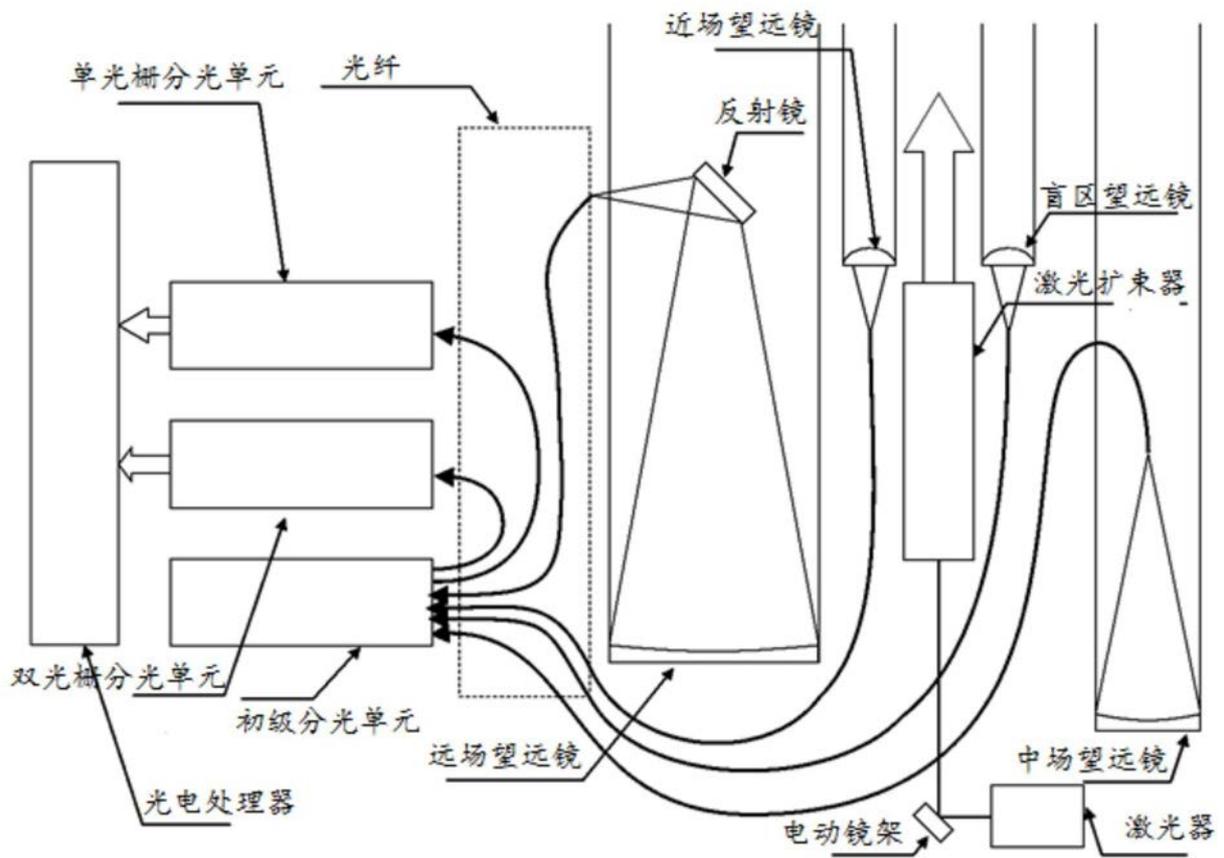


图5