

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01N 21/55 (2006.01)

G01N 21/47 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610096153.6

[43] 公开日 2007年3月14日

[11] 公开号 CN 1928533A

[22] 申请日 2006.9.22

[21] 申请号 200610096153.6

[71] 申请人 中国科学院安徽光学精密机械研究所  
地址 230031 安徽省合肥市蜀山湖路 350 号  
1125 信箱

[72] 发明人 李新 郑小兵 洪津 汪元钧  
张运杰 汤伟平 吴浩宇 寻丽娜  
王乐意 乔延利

[74] 专利代理机构 合肥华信专利商标事务所  
代理人 余成俊

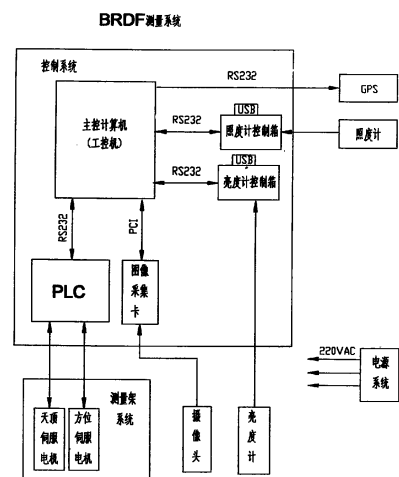
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 4 页

## [54] 发明名称

室外高光谱 BRDF 自动测量方法

## [57] 摘要

本发明公开了一种室外高光谱 BRDF 自动测量方法，设置一个方位圆轨道，和一个天顶弧轨道，方位圆轨道下方安装有支撑脚，二者半径相同，在天顶弧轨道上安装一个移动的光谱辐亮度计，在方位圆轨道旁边设置一光谱辐照度计，当光谱辐亮度计停留在设定的空间位置时，测得该空间方向的辐亮度数据，同时由光谱辐照度计测得入射照度，上述数据经过采集与处理后，计算得到处于球心位置目标的 BRDF。本发明显著降低测量周期内太阳高度角和大气条件改变对测量结果的影响，提高测量精度。



- 1、室外高光谱 BRDF 自动测量方法，其特征在于在设置一个方位圆轨道，和一个天顶弧轨道，方位圆轨道下方安装有支撑脚，天顶弧轨道的下端可以在方位圆轨道上滚动，天顶弧轨道和方位圆轨道的半径  $R$  相同，方位圆轨道和天顶弧轨道的滚动轨迹符合一半径为  $R$  的球面；在天顶弧轨道上安装一个移动的光谱辐亮度计，在方位圆轨道旁边设置一光谱辐照度计，光谱辐照度计用于测量太阳的入射照度，在光谱辐亮度计旁边安装摄像头用于测量时拍摄测量目标，在天顶弧顶部安装 GPS 进行测量地理定位；计算机控制天顶弧轨道在方位圆轨道上移动和停止，同时控制光谱辐亮度计在天顶弧轨道上移动和停止，光谱辐亮度计无论在何位置，其探头始终对准所述球面的中心。天顶弧轨道的阴影不在亮度计的视场内，亮度计只有在热点附近其阴影落在目标上，由于其阴影面积较小阴影影响可以忽略；当光谱辐亮度计停留在设定的空间位置时，测得该空间方向的辐亮度数据，同时由光谱辐照度计测得入射照度，上述数据经过采集与处理后，计算得到处于球心位置目标的 BRDF。
- 2、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于光谱辐亮度计和光谱辐照度计采用相同平场凹面光栅分光，线阵列探测器探测。
- 3、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于光谱辐亮度计和光谱辐照度计采用相同平场凹面光栅分光，线阵列探测器探测。
- 4、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于光谱辐亮度计和光谱辐照度计采用光纤导光。
- 5、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于光谱辐亮度计和光谱辐照度计探测光谱范围 380~2500nm。
- 6、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于光谱辐亮度计的瞬时观测视场可改变。

## 室外高光谱 BRDF 自动测量方法

## 技术领域

本发明属于遥感科学和光谱学领域，具体是一种室外光谱 BRDF 的测量方法。

## 背景技术

自然界的物体大部分表现为非朗伯性，目标的反射特性和波长及入射、反射几何位置相关，用双向反射分布函数（Bidirectional Reflectance Distribution Function）可以准确的描述物体的这种各向异性。双向反射分布函数（BRDF）的定义是：目标在某一方向 $(\theta_r, \phi_r)$ 的反射亮度 $dL_r [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}]$ 与入射方向 $(\theta_i, \phi_i)$ 照度 $dE_i [W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}]$ 的比值（图1）。 $f_r [sr^{-1}]$ 代表 BRDF，用公式表示为：

$$f_r(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r; \lambda) = \frac{dL_r(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r; \lambda)}{dE_i(\theta_i, \phi_i; \lambda)}$$

$\theta_i$ : 入射天顶角;  $\phi_i$ : 入射方位角;  $\theta_r$ : 反射天顶角;  $\phi_r$ : 反射方位角;

$dE_i$ : 入射照度;  $dL_r$ : 反射亮度

室外 BRDF（双向反射分布函数）高光谱测量对研究物体的光谱方向特性、多角度遥感、遥感辐射定标及遥感定量化具有重要意义。室外测量以太阳光为入射光源，测量目标在半球方向各个角度的反射亮度，要求在太阳光谱范围、光谱分辨率高、测量时间短、定位准确、测量点足够多、受测量架自身影响比较小特别是测量架的阴影不能落在测量范围内，以便更真实描述目标的 BRDF 特性。

传统的测量方法由于操作机构简陋主要手工定位探测器测量目标的反射亮度，在测量过程中测量参考板的反射亮度来进行相对测量目标的 BRDF 特性，存在着精度低、测量点少、测量周期长、影响因素多的缺点，并且探测器的光谱分辨率低。

## 发明内容

本发明的目的是克服已有技术的不足,提供一种自动化程度高的室外高光谱 BRDF 自动测量方法和装置。

本发明的技术方案如下:

室外高光谱 BRDF 自动测量方法,其特征是在设置一个方位圆轨道,和一个天顶弧轨道,方位圆轨道下方安装有支撑脚,天顶弧轨道的下端可以在方位圆轨道上滚动,天顶弧轨道和方位圆轨道的半径  $R$  相同,方位圆轨道和天顶弧轨道的滚动轨迹符合一半径为  $R$  的球面;在天顶弧轨道上安装一个移动的光谱辐亮度计,在方位圆轨道旁边设置一光谱辐照度计,光谱辐照度计用于测量太阳的入射照度,在光谱辐亮度计旁边安装摄像头用于测量时拍摄测量目标,在天顶弧顶部安装 GPS 进行测量地理定位;计算机控制天顶弧轨道在方位圆轨道上移动和停止,同时控制光谱辐亮度计在天顶弧轨道上移动和停止,光谱辐亮度计无论在何位置,其探头始终对准所述球面的中心。天顶弧轨道的阴影不在亮度计的视场内,亮度计只有在热点附近其阴影落在目标上,由于其阴影面积较小阴影影响可以忽略。当光谱辐亮度计停留在设定的空间位置时,测得该空间方向的辐亮度数据,同时由光谱辐照度计测得入射照度,上述数据经过采集与处理后,计算得到处于球心位置目标的 BRDF。

所述的光谱辐亮度计的旁边安装有摄像头。

测量架顶部中心安装 GPS。

辐亮度计运动轨迹为球面,可以在空间各方向测量处于球心位置目标的反射辐亮度。

同时测量目标的入射照度和反射亮度,以得到目标的 BRDF。

光谱辐亮度计和光谱辐照度计采用相同平场凹面光栅分光,线阵列探测器探测。

光谱辐亮度计和光谱辐照度计采用相同平场凹面光栅分光,线阵列探测器探测。

光谱辐亮度计和光谱辐照度计采用光纤导光。

光谱辐亮度计和光谱辐照度计探测光谱范围  $380 \sim 2500\text{nm}$ 。

光谱辐亮度计的瞬时观测视场可改变。

实现本发明方法的测量系统主要包括天顶弧轨道、方位圆轨道、伺服电机、PLC(可编程控制器)、光谱辐照度计、光谱辐亮度计、摄像头、工控机。PLC 控制两台伺服电机在轨道上的运动将亮度计定位在半球空间任意位置。工控机作为总控机是 PLC、光谱辐照度计、光谱辐亮度计的上位机,自动控制电机的定位、光谱辐照度计、光谱辐亮度计、摄像头的数据采集传输与储存以得到目标的 BRDF 并实时显示测量值和测量场景。测量系统拆装、运输方便,人机界面友好,电机定位精度  $\pm 3\text{mm}$ , 测量速度快。周期(方位角间隔  $30^\circ$ , 天顶角间隔  $15^\circ$ , 共测 66 个位置点)测量耗时小于 10 分钟,可以进行连续周期测量。由于测量速度快,测量时间短,在测量过程中太阳位置的变化对测量结果的影响可以忽略。光谱辐亮度计、光谱辐照度计采用相同的光学内核结构,保证了光谱的一致性,其测量光谱范围为  $380\sim 2500\text{nm}$ , 光谱分辨率  $380\sim 1000\text{nm}$  为  $3\text{nm}$ ,  $1000\sim 2500\text{nm}$  为  $8\text{nm}$ 。光谱辐亮度计的视场头可以根据测量目标的需要更换,改变亮度计的瞬时入射视场角。

本发明可以在室外自然条件下完成样品上半球空间 BRDF 数据的测量和采集,观测天顶角、方位角的改变,以及数据的连续采集、传输、存储全自动控制,定位精确,测量速度快,可任意改变观测的条件设置,光谱辐亮度计和辐照度计均可作为独立的仪器使用,测量太阳光谱范围,光谱分辨率高,可同时测量太阳入射辐照度和样品反射辐亮度,以得到 BRDF,显著降低测量周期内太阳高度角和大气条件改变对测量结果的影响,提高测量精度。

附图说明

图 1 BRDF 参数图。

图 2 为本发明测量原理框图。

图 3 为本发明默认状态测量点(黑点代表测量点)分布图。

图 4 为测量系统结构示意图。

图 5 探测器分光探测图。

图 6 亮度计光路图。

图 6 中: L1、L2、L3: 透镜, D: 入射狭缝, S: 探测器, G: 平场凹面光栅。

图 7 图 5 给出 3、5、8 度视场范围。

具体实施方式

本发明测量系统的主要组成部分:

- 1、机械机构,包括方位圆轨道、天顶弧轨道;
- 2、行走驱动机构,包括两个伺服电机及其驱动部分;
- 3、光谱探测器,包括可见-短波红外的连续波段辐亮度计和相同波段的辐照度计;
- 4、总控制系统,包括电气控制、人机界面、控制软硬件和计算机通讯模块。

以下对各组成部分进行说明:

机械机构是一种地面 BRDF 自动测量架,包括方位圆轨道 1,天顶弧半圆轨道 2,驱动小车 3,天顶弧半圆轨道 2 上安装有传感器小车 4,传感器小车上安装有光谱辐亮度计,驱动小车 3 和天顶弧半圆轨道 2 之间通过 3 根拉杆连接,组成空间四面体结构,驱动小车 3、传感器小车 4 上分别安装有驱动电机进行驱逐运动,使得驱动小车和传感器小车可以在轨道上运行。

方位圆轨道 1 和天顶弧半圆轨道 2 半径均为 2 米,天顶弧半圆轨道 2 的圆心在方位圆轨道 1 的底平面上,天顶弧半圆轨道 2 和方位圆轨道 1 偏置设置。

方位圆轨道与天顶弧轨道,半径均为 2 米。用铝合金材料并染黑,方位圆轨道由 4 等份圆弧轨道拼装组成,天顶弧由 2 等份圆弧轨道拼装组成。有调整装置可调整整体高度,调整范围 0~200mm。方位圆轨道底部均匀安装一定数量的万向轮以便整体移动。

天顶弧轨道的半圆圆心在方位圆轨道的底平面上,天顶弧轨道偏置安装使天顶弧轨道阴影不落在辐亮度计视场范围内,图 4 给出 3、5、8 度视场范围(图中单位为 mm,从内到外依次为天顶 0、30、45、60、75 度视场范围)。光谱辐亮度计无论在何位置,其探头始终对准所述方位圆轨道的圆心,当光谱辐亮度计停留在设定的空间位置时,测得该位置的辐亮度数据,同时光谱辐照度计测得数据,上述数据经过采集与处理后,计算得到目标的 BRDF。

#### 行走驱动机构

测量架行走驱动机构由可编程控制器(PLC)、伺服电机、伺服驱动器、增量编码器、伺服制动器、光电开关等组成。

传感器小车在伺服电机的驱动下沿天顶轨道  $-75 \sim +75^\circ$  范围运动。

天顶弧轨道在伺服电机的驱动下沿方位圆轨道 360 度范围自由转动。

驱动小车及传感器小车位置定位通过设置原点开关、和设定输出脉冲通过伺服电机实现准确定位，定位精度 $\pm 3\text{mm}$ 。

#### 光谱探测器

本 BRDF 测量系统采用了专门设计的可见-短波红外的连续波段辐亮度计和相同波段的辐照度计作为系统光谱探测器。这两台仪器配置有单独的控制箱，脱离 BRDF 测量系统可作为独立的光谱辐亮度计和光谱照度计在其他场合使用。

两台仪器采用了平场凹面光栅分光、线阵列探测器探测、光纤导光，分谱技术指标一致性强。仪器完全无动件，结构简单，体积小，相对于其他设计方案本设计方案在信噪比、测量速度、可靠性等方面有很大提高。

#### 光谱辐亮度计

光谱辐亮度计由光学探测头和控制箱两个主要部分组成，二者由电缆进行连接。BRDF 测量系统工作时，光谱辐亮度计探测头安装于传感器小车，测量模拟量信号通过长电缆连接传输至主机箱，主机箱再通过 USB 接口将数字量数据传输至系统控制主机。

#### 光谱辐照度计

光谱辐照度计的内核设计与光谱辐亮度计相同，其构成上同样由照度光学探测头和控制箱组成。本设计采用积分球方式照度测量，采样时刻与光谱辐亮度计同步。全过程自动获取直射、漫射的分谱辐照度信号，以及直漫比数据。

#### 总控制系统

包括电气控制、运动控制、数据采集及储存。计算机软硬件、运动部分及光谱辐亮度计和辐照度计组成一个虚拟仪器系统，由计算机设置运动、采集参数，计算机发送指令控制运动到指定位置，然后向传感器发送指令（包括位置参数编码），传感器进行数据采集，按设置条件采集结束后将数据传给计算机，计算机实时显示、处理、储存数据。

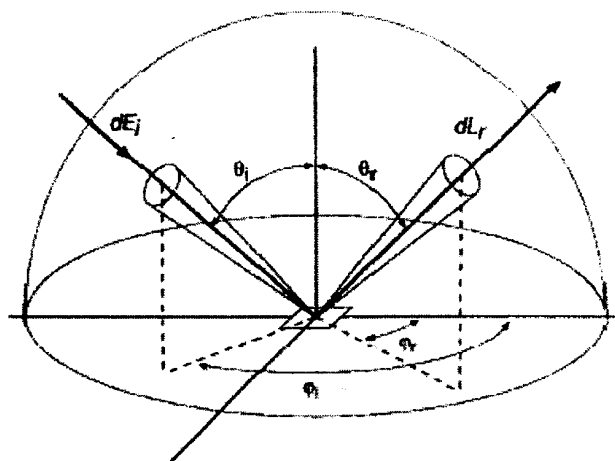


图 1



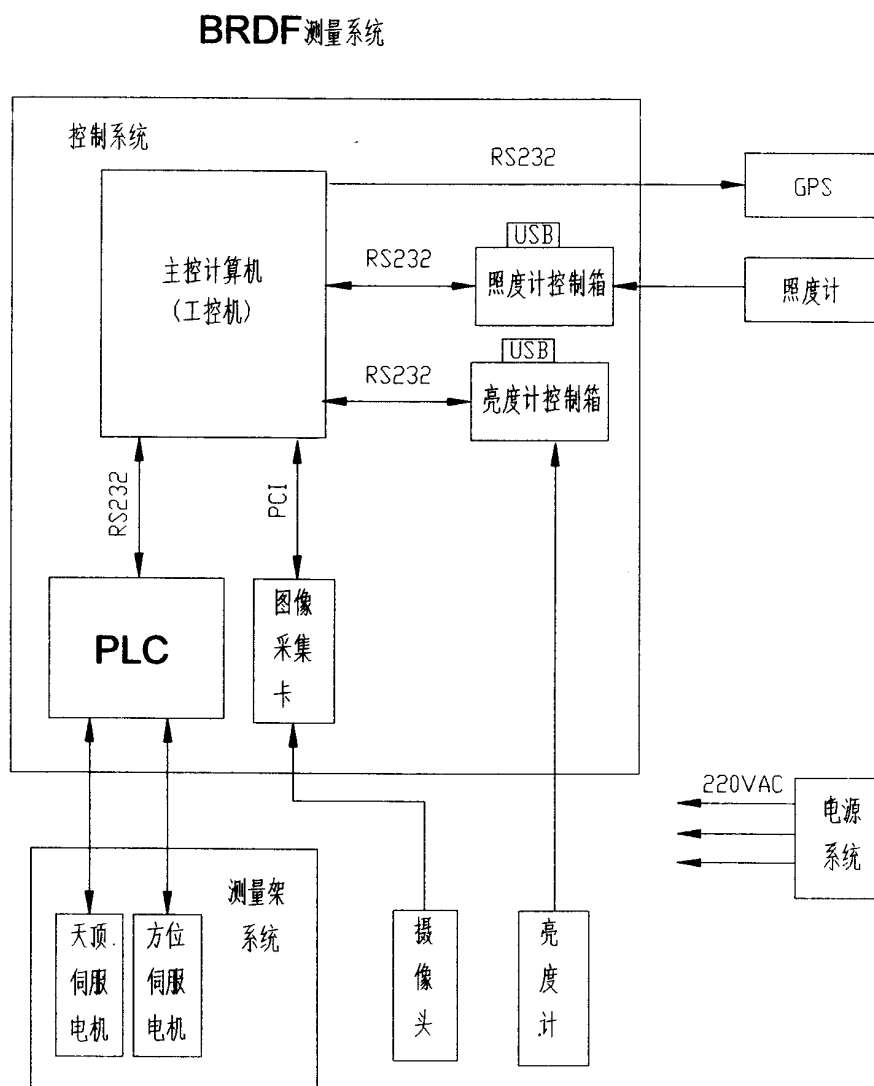


图 2

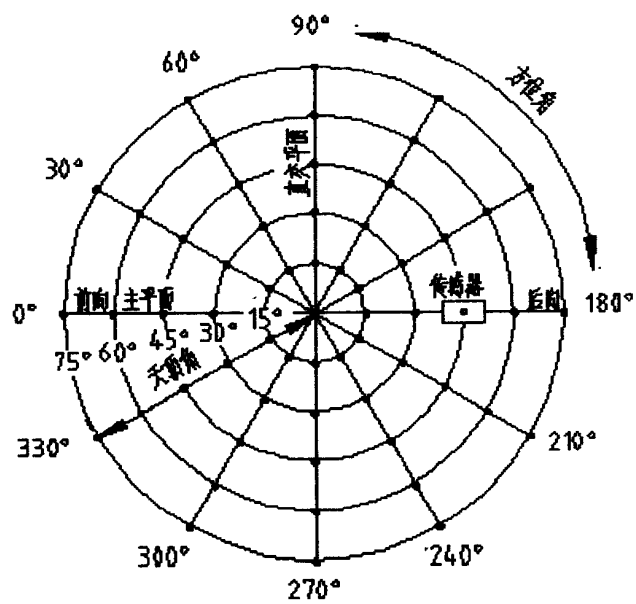


图 3

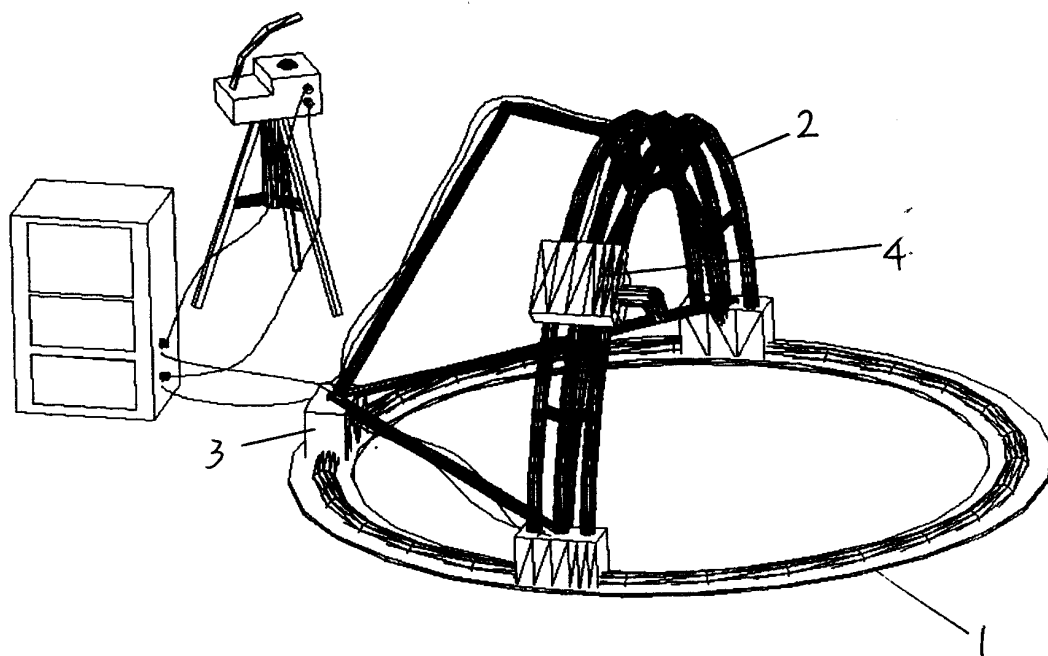


图 4

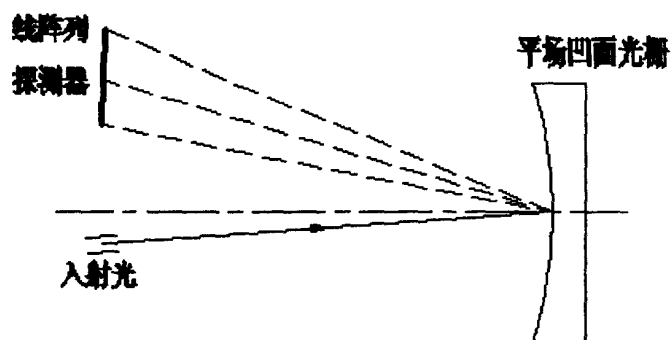


图 5

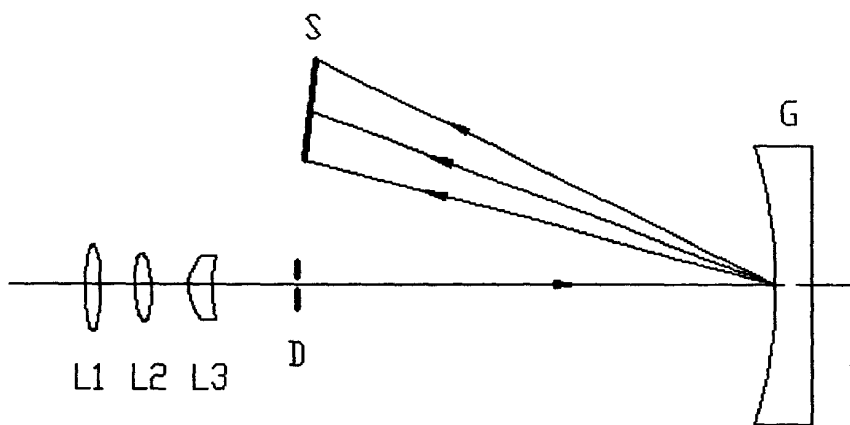


图 6

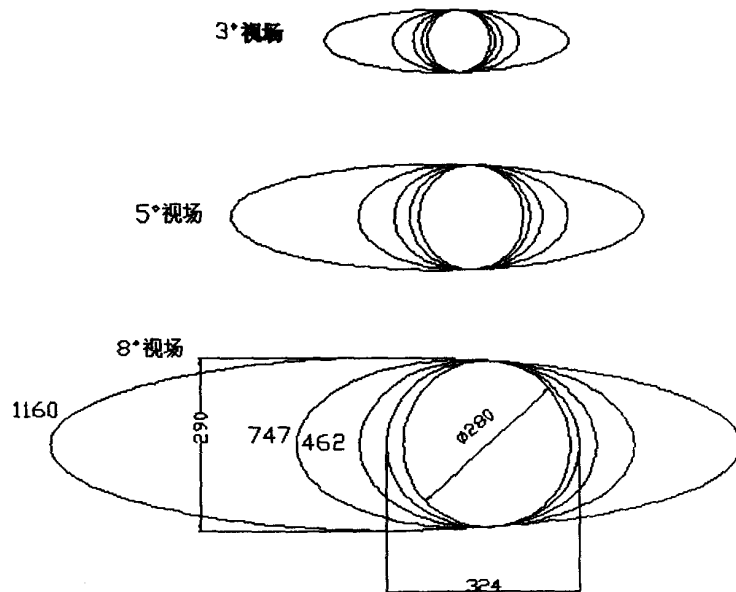


图 7