

# 扫描系统的减偏设计

宋宁 殷宗敏

(上海交通大学光纤技术研究所, 上海, 200030)

**摘要** 针对现有扫描系统线偏振灵敏度较大和线偏振灵敏度随扫描角的变化而变化的特点, 提出一种扫描系统新的设计方案。它可以在低线偏振灵敏度的基础上, 在一定程度上降低扫描角对系统线偏振灵敏度的影响。

**关键词** 扫描系统, 偏振, 灵敏度。

## DEPOLARIZATION DESIGN OF SCANNING SYSTEM

SONG Ning YIN Zong-Min

(Institute of Optical Fiber Technology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

**Abstract** The linear polarization sensitivity of existing scanning systems is comparatively high and changes with the scanning angle. To overcome the above shortcomings, a new design of scanning system was given. It can reduce the effect of the scanning angle on the linear polarization sensitivity while keeping low linear polarization sensitivity

**Key words** scanning system, polarization, sensitivity

### 引言

航天遥感器, 用来对地球及其它天体进行辐射度测量。已有的研究表明, 遥感器的辐射度精度受目标及系统偏振特性的影响。由于被测目标的偏振特性是非常复杂的, 因而系统的偏振特性将使辐射度测量产生严重误差<sup>[1]</sup>。对于辐射度性能要求较高的航天遥感器, 特别是用于气象和海洋遥感的航天遥感器, 应降低其偏振灵敏度, 以保证辐射度测量精度。由于扫描系统是影响航天遥感器偏振灵敏度的关键元件之一, 因而对扫描系统进行偏振分析, 提出减偏思路, 是扫描系统设计的主要工作之一。

本文对 3 种主要的扫描系统进行了偏振分析, 并提出了扫描系统的减偏设计方法。

### 1 扫描系统的结构和特性

对扫描系统的设计, 需要满足两个关键要求<sup>[2]</sup>: 一个是保证刈幅宽度; 另一个就是在规定的穿轨迹和沿航迹偏离天底的角度范围内满足线偏振灵敏度(LPS)的要求。刈幅宽度由遥感器的设计要求决定, 而扫描系统的线偏振灵敏度是由扫描系统的结构决定的。

#### 1.1 45°旋转平面反射镜

45°旋转平面反射镜又称固定 45°反射镜。如图 1(a)所示, 设入射光线的方向矢量为  $\vec{A}$ ; 平面镜的法线方向矢量为  $\vec{N}$ ; 反射光线的方向矢量为  $\vec{A}'$ , 并且为遥感器的光轴。

平面镜的法线方向矢量  $\vec{N}$  和入射光线的方向矢量  $\vec{A}$  随扫描角  $\theta$  变化而变化, 分别为

$$\vec{N} = \left( \frac{\sqrt{2}}{2}, -\frac{\sqrt{2}}{2} \cos\theta, -\frac{\sqrt{2}}{2} \sin\theta \right), \quad (1)$$

$$\vec{A} = (0, \cos\theta, \sin\theta), \quad (2)$$

光线在平面镜上的入射角  $\alpha$  为

$$\alpha = \frac{|\vec{A} \cdot \vec{N}|}{|\vec{A}| \cdot |\vec{N}|} = 45^\circ. \quad (3)$$

由于光线在平面镜上的入射角不随扫描角而变化, 并且入射角较大, 因此这种扫描方式将具有较大的且不变的线偏振灵敏度。同时, 由于平面镜的法线随扫描角变化而变化, 当反射光线进入到光学系统时, 需进行琼斯矢量的旋转变换, 这将影响到整个系统的偏振特性。

#### 1.2 45°摆动平面反射镜

45°摆动平面反射镜又称单轴斜反射镜。如图 1(b)所示, 平面镜的法线方向矢量  $\vec{N}$  和入射光线的

方向矢量  $\vec{A}$  随扫描角变化而变化,分别为

$$\vec{N} = \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \cos\theta + \frac{\sqrt{2}}{2} \sin\theta, -\frac{\sqrt{2}}{2} \cos\theta + \frac{\sqrt{2}}{2} \sin\theta, 0 \right), \quad (4)$$

$$\vec{A} = (-\sin(2\theta) \cos(2\theta), 0), \quad (5)$$

光线在平面镜上的入射角  $\alpha$  为

$$\alpha = \frac{|\vec{A} \cdot \vec{N}|}{|\vec{A}| \cdot |\vec{N}|} = 45^\circ - \theta. \quad (6)$$

光线在平面镜上的入射角随扫描角变化而变化,因此,这种扫描方式的偏振灵敏度将随扫描角变化而变化,这将为系统的偏振补偿带来困难.

### 1.3 双反射镜补偿/活动系统

系统由一对交叉  $45^\circ$  的平面反射镜组成,如图 1(c)所示.第一块平面镜绕  $z$  轴转动,提供穿航迹扫描;第二块平面镜是固定的,用于补偿第一块反射镜产生的偏振.第一块平面镜相当于一  $45^\circ$  摆动平面反射镜.当光线到达第二块平面反射镜时,琼斯矢量旋转矩阵为

$$M_2 = \begin{bmatrix} \vec{S}_2 \cdot \vec{S}_1 & \vec{S}_2 \cdot \vec{P}_1 \\ -\vec{S}_2 \cdot \vec{P}_1 & \vec{S}_2 \cdot \vec{S}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

由(7)式可见,当光线经第一面反射入射到第二面时,第一块平面镜电场矢量的 S 分量在第二块平面镜将变成 P 分量,同时 P 分量将变为 S 分量,从而降低整个系统的线偏振灵敏度.如果光线在第二块平面镜上的入射角等于在第一块平面镜上的入射角,第二块平面镜将完全补偿由第一块平面镜产生的偏振.同时,这种扫描系统也具有线偏振灵敏度将随扫描角变化而变化的缺点.

### 1.4 光学系统的线偏振灵敏度

设光学系统的琼斯矩阵为

$$T = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

式(8)中  $T_{ij}$  为琼斯矩阵元,一般为复数.

光学系统的线偏振灵敏度  $LPS$  可由下式计算

$$LPS = \frac{\sqrt{B^2 + C^2}}{A}. \quad (9)$$

式(9)中

$$A = T_{11} T_{11}^* + T_{21} T_{21}^* + T_{12} T_{12}^* + T_{22} T_{22}^*,$$

$$B = T_{11} T_{12}^* + T_{21} T_{22}^* - T_{12} T_{11}^* - T_{22} T_{21}^*,$$

$$C = T_{11} T_{12}^* + T_{12} T_{11}^* + T_{21} T_{22}^* + T_{22} T_{21}^*.$$

## 2 扫描系统的减偏设计

本文利用偏振光线追迹的方法和公式(9),计算了以上 3 种扫描方式的线偏振灵敏度.扫描范围为  $\pm 45^\circ$ .选择银膜作为平面镜的反射膜层,这是由于银膜和其它的金属反射膜层相比,具有低偏振特性和高反射率的优点.图 2 为 3 种扫描方式下的线偏振灵敏度曲线.可以看出,当采用  $45^\circ$  旋转平面反射镜时,线偏振灵敏度不随扫描角而变化,但已经超过了 2%;当采用  $45^\circ$  摆动平面反射镜时,线偏振灵敏度随扫描角而变化,当平面反射镜摆动到  $+45^\circ$  时,线偏振灵敏度最大,这是由于此时光线在平面镜上的入射角最大.双反射镜补偿/活动系统的线偏振灵敏度和以上两种扫描方式相比,已经大大降低.

通过对以上 3 种扫描系统的偏振特性的比较,双反射镜补偿/活动系统具有低偏灵敏度的特点,可以作为较好的设计方案.但是由于其偏振灵敏度随扫描角而变化,这将影响到辐射度精度,同时为系统的偏振补偿带来困难.为了消除扫描角对偏振灵敏度的影响,可以将这一系统进行改进,即将第二面平面镜绕在其平面内并与其入射面平行的轴旋转给定角度的方法,增大光线在第二面平面镜的入射角,从

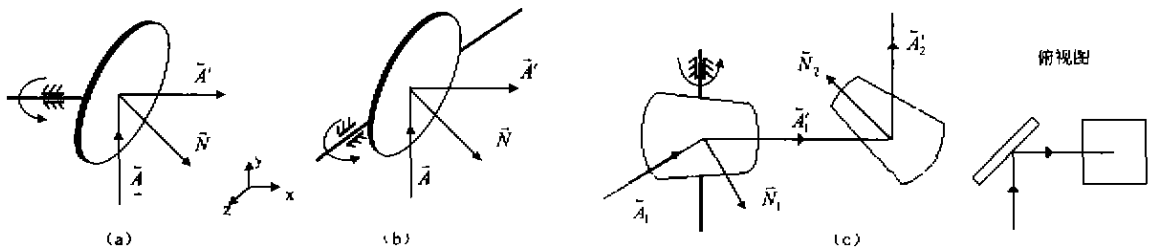


图 1 3 个扫描系统的结构图

(a)  $45^\circ$  旋转平面反射镜 (b)  $45^\circ$  摆动平面反射镜 (c) 双反射镜补偿/活动系统

Fig. 1 Configurations of three scanning systems

(a)  $45^\circ$  rotating mirror (b)  $45^\circ$  oscillating mirror (c) two-mirror compensating/moving scanning system

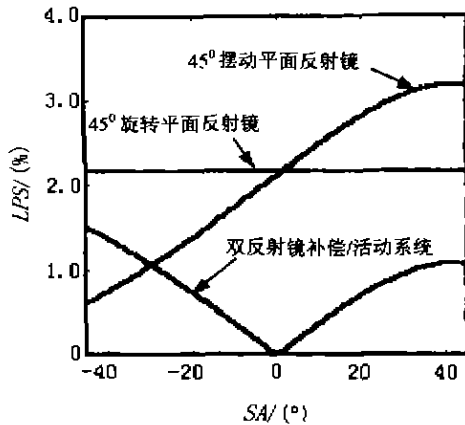


图 2 3 种扫描系统线偏振灵敏度  
Fig.2 Linear polarization sensitivity of three scanning systems

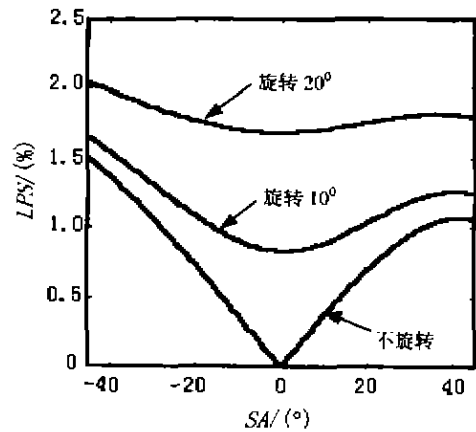


图 3 第二块反射镜旋转不同角度时  
Fig.3 Linear polarization sensitivity of the second mirror rotating at different angles

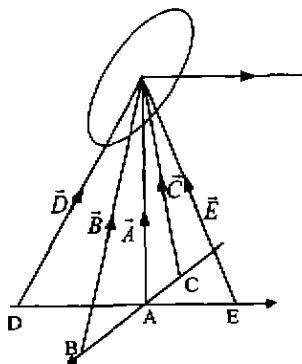


图 4 扫描系统扫描几何图

Fig.4 Scanning geometry of a scanning system

而减小扫描角对线偏振灵敏度的影响.图 3 为第二面反射镜旋转不同角度时,线偏振灵敏度随扫描角的变化.从图 3 中可以看出,第二面反射镜旋转不同角度时,将减小扫描角对线偏振灵敏度的影响,但同时也增大了线偏振灵敏度.可在二者之间进行折衷,以获得最佳设计方案.

采用这种扫描方式,最主要的问题是在扫描过程中,是否存在像旋转,这将关系到是否可以使用阵列探测器的问题<sup>[3]</sup>.下面,对这种扫描方式是否存在像旋转问题进行讨论.

如图 4 所示,在地面取直线 BC 代表目标的方向,光线  $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$  和  $\vec{C}$  可视为是从此直线上不同点发出的,这三条光线在同一平面内.同时,在地面取直线 DE 代表目标的另一方向,它和直线 AB 垂直,光线  $\vec{A}$ 、 $\vec{D}$  和  $\vec{E}$  可视为是从此直线上不同点发出的,这三条光线也在同一平面内.根据反射定律的向量公式,可得到这六条光线经扫描系统的出射光线  $\vec{A}'$ 、 $\vec{B}'$ 、

$\vec{C}'$ 、 $\vec{D}'$  和  $\vec{E}'$  满足以下关系

$$\vec{A}' \cdot (\vec{B}' \times \vec{C}') = 0, \quad (10)$$

$$\vec{A}' \cdot (\vec{D}' \times \vec{E}') = 0. \quad (11)$$

这说明矢量  $\vec{A}'$ 、 $\vec{B}'$  和  $\vec{C}'$  以及矢量  $\vec{A}'$ 、 $\vec{D}'$  和  $\vec{E}'$  满足共面的充分且必要条件,即直线 BC 和直线 DE 在像面的像都为直线,并相互垂直.因此这种扫描系统不存在像面旋转的问题,可以在实际系统中使用.

### 3 结语

在对已有扫描的偏振特性分析的基础上,针对其线偏振灵敏度比较大,并随扫描角变化而变化的缺点,提出了新的设计思想.它以双反射镜补偿活动系统为基础,采取使第二块反射镜绕在其平面内并与其入射面平行的轴旋转给定角度的方法,在减小扫描系统的偏振灵敏度的同时,可降低扫描角对偏振灵敏度的影响,并且不具有像面旋转的问题,这种设计思想可在新一代的航天遥感器中获得应用.

### REFERENCES

[1] Chipman Russel A. Polarization consideration for optical systems. *Proc. SPIE: Polarization and Remote Sensing*, 1989, 28:85—86  
 [2] HAN Xu-Zhi. *Optical Remote Sensing Radiometry from Earth Orbiting Spacecraft*. Harbin: Press of Harbin Institute of Technology(韩心志. 航天光学遥感辐射度学. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社), 1994, 191—194  
 [3] ZHANG E, GONG Hu-Xin. Research and application of system for offsetting image rotation from 45° rotating scan mirror. *Journal of Infrared and millimeter Waves*(张鄂、龚惠兴. 消除 45° 旋转扫描反射镜像旋转系统的研究与应用. 红外与毫米波学报), 1998, 18(2): 125—132