

45° 旋转反射镜扫描性质的讨论

韩心志

(哈尔滨工业大学空间科学技术系, 黑龙江, 哈尔滨, 150006)

讨论 45° 旋转反射镜的扫描性质, 对该扫描模式进行评价, 给出它在遥感中的适用性.

关键词: 旋转反射镜, 扫描性质, 扫描模式.

1 45° 旋转反射镜的扫描性质

45° 旋转反射镜扫描模式是最常应用的光机扫描模式之一. 深入地讨论这种模式的扫描性质, 有着重要的意义.

图 1 给出 45° 旋转反射镜扫描仪的光学原理图.

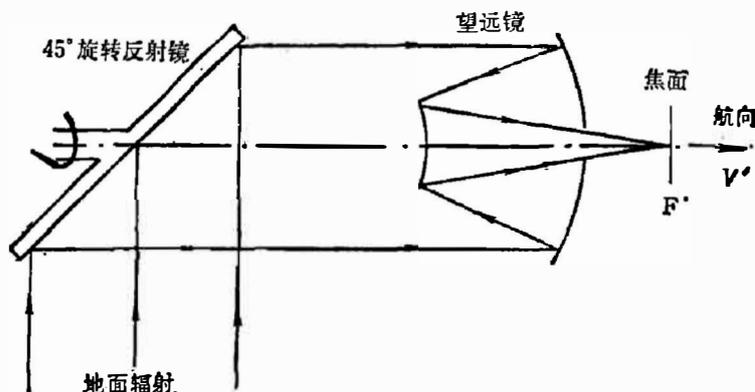


图 1 45° 旋转反射镜扫描仪光学原理图

Fig. 1 The optical scheme of the scanner using 45° rotating mirror

图 1 中扫描反射镜的旋转轴和平台的航向 V' 重合, 扫描镜的表面法线和望远镜光轴成 45° 夹角.

图 2 为旋转反射镜扫描几何图. 图 2 中 $O-XYZ$ 为直角坐标系, 坐标原点 O 设在扫描镜中心; X 轴沿平台航向, 和望远镜的光轴重合; Y 轴沿穿轨迹方向; Z 轴垂直向上. 以下按此坐标系讨论 45° 旋转反射镜的扫描性质.

1.1 扫描花样和扫描轨迹

当 45° 旋转反射镜绕望远镜光轴旋转时, 反射镜的镜面法线 \bar{n} 形成以望远镜光轴为轴

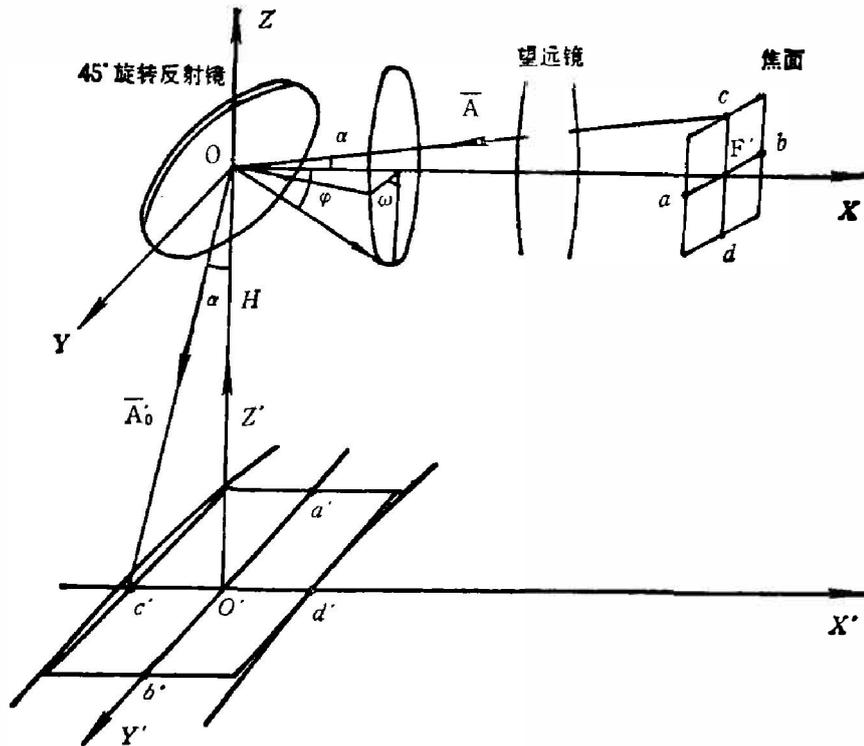


图2 45° 旋转反射镜扫描几何图

Fig. 2 Scanning geometry of the scanner using 45° rotating mirror

的空间锥面。

确定望远镜焦平面上某具有视场角 α 的点 O 在扫描反射镜旋转时在地面上所形成的轨迹。如图 2, 取入射光线单位向量 \bar{A} 。利用反射向量公式

$$\bar{A}' = \bar{A} - 2\bar{n}(\bar{A} \cdot \bar{n}), \quad (1)$$

得反射光线的单位向量 \bar{A}'

$$\begin{aligned} \bar{A}' = & (2 \cos^2 \varphi \cos \alpha - \cos \alpha - \sin 2\varphi \sin \alpha \cos \omega) \bar{i} \\ & + (\sin 2\varphi \cos \alpha \sin \omega - \sin^2 \varphi \sin 2\omega \sin \alpha) \bar{j} \\ & + (2 \sin^2 \varphi \sin \alpha \cos^2 \omega - \sin \alpha - \sin 2\varphi \cos \omega \cos \alpha) \bar{k}; \end{aligned} \quad (2)$$

式中, $\varphi = 45^\circ$, 是旋转反射镜镜面法线和望远镜光轴间的夹角; ω 是镜面法线的转角; \bar{i} 、 \bar{j} 和 \bar{k} 分别为各坐标轴上的单位向量。

将 $\varphi = 45^\circ$ 代入式(2)得

$$\begin{aligned} \bar{A}' = & -\sin \alpha \cos \omega \bar{i} + (\cos \alpha \sin \omega - 1/2 \sin 2\omega \sin \alpha) \bar{j} \\ & + (\sin \alpha \cos^2 \omega - \sin \alpha - \cos \omega \cos \alpha) \bar{k}. \end{aligned} \quad (3)$$

在式(3)中, 令 $\omega = 0$, 则

$$\bar{A}' = -\sin \alpha \bar{i} - \cos \alpha \bar{k}. \quad (4)$$

式(4)中没有分量 j , 说明在这种条件下反射光线位于 XOZ 平面内, 设为 \bar{A}'_0 ; 而式(4)中各项的符号, 确定了 \bar{A}'_0 的方向, 如图 2 所示。 \bar{A}'_0 向量和 Z 轴负方向夹角为 α , 交地面于 O' 点, 显然, O' 点即是焦面上 O 点在地面上的投影。

确定当扫描镜旋转时 O' 点在地面上的轨迹。取坐标系 $O'-X'Y'Z'$ 。令 $X'O'Y'$ 平面和地面重合, O' 点为 Z' 轴和地面的交点, X' 和 Y' 与 X 和 Y 分别平行, Z' 和 Z 重合, 垂直

向上.

O 点的坐标在 $O'-X'Y'Z'$ 坐标系内为 $(0, 0, H)$, 其中, H 是平台高度. 向量 \bar{A}' 通过 O 点, 其直线方程式为

$$\frac{X'}{-\sin \alpha \cos \omega} = \frac{Y'}{\cos \alpha \sin \omega - \frac{1}{2} \sin 2\omega \sin \alpha} = \frac{Z' - H}{\sin \alpha \cos^2 \omega - \sin \alpha - \cos \omega \cos \alpha'}$$

令 $Z' = 0$, 即在地平面内, 得

$$\begin{cases} X' = -\frac{\sin \alpha \cos \omega}{\sin \alpha \sin^2 \omega + \cos \omega \cos \alpha} H, \\ Y' = \frac{\cos \alpha \sin \omega - \frac{1}{2} \sin 2\omega \sin \alpha}{\sin \alpha \sin^2 \omega + \cos \omega \cos \alpha} H. \end{cases} \quad (5)$$

在式(5)中, 令 $\omega = 0$, 则

$$\begin{cases} X' = -H \operatorname{tg} \alpha, \\ Y' = 0. \end{cases} \quad (6)$$

这即是图 2 所示的结果.

如果 $\omega \neq 0$, 而 $\alpha = 0$, 则

$$\begin{cases} X' = 0, \\ Y' = H \operatorname{tg} \omega. \end{cases} \quad (7)$$

这是焦平面中心, 即望远镜光轴在地面上的扫描轨迹, 为一条和 Y' 轴重合的直线, 称为旋转反射镜模式的扫描花样.

如果 ω 和 α 都不为零(一般条件下)其轨迹是一条曲线, 如图 2 中所示的 O' 点的轨迹.

1.2 探测器在地面上投影的旋转

在图 2 中, 以 cd 直线代表焦面上探测器的方向, 求它在地面上的投影 $c'd'$ 在扫描镜旋转时的运动状况.

令式(3)表示的 \bar{A}' 为第一条光线的反射光线向量 \bar{A}'_1 . 在 cd 直线上取另一点 F' , 令过此点的直线, 即望远镜的光轴, 为第二条入射光线 \bar{A}'_2 . 由于 $\alpha = 0$, 由式(3)得

$$\bar{A}'_2 = \sin \omega \bar{j} - \cos \omega \bar{k}, \quad (8)$$

这样, 直线 $c'd'$ 和 X' 轴的夹角 s 为

$$s = \operatorname{tg}^{-1} \frac{[\bar{A}'_1 \bar{A}'_2]_{x'}}{[\bar{A}'_1 \bar{A}'_2]_{y'}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\operatorname{tg} \omega}{\cos \omega}. \quad (9)$$

可见, 当扫描反射镜旋转时, 探测器在地面上的投影也是旋转的. 但是探测器的旋转角度 s 并不和扫描镜的转角 ω 相等. 只有当 $\omega = 0$ 时, 这两个角度才相等, 而且 $s = 0$, 即直线 $c'd'$ 此时和 X' 轴重合. 显然, 这种扫描模式不能使用多元列阵探测器.

1.3 观测线在地面上的扫描速度

定义望远镜的光轴在物空间的共轭光线为观测线, 微分式(7), 观测线在地面上的扫描速度为

$$V_s = H\omega_s \sec^2 \omega, \quad (10)$$

式(10)中, ω_s 是扫描反射镜的旋转角速度. 当扫描反射镜均匀转动时, 观测线在地面上的扫描速度是非线性的, 并随扫描镜转角的增大而迅速增大.

设平台为航空平台, $H = 10 \times 10^3$ m, 瞬时视场角 $2\alpha = 3 \times 10^{-3}$ rad, 表 1 给出这种模式扫描性质的数据实例.

表 1 45° 旋转反射镜扫描数据表
Table 1 Scanning data of the scanner using 45° rotating mirror

ω	0°	15°	30°	45°
X' (m)	-15.000015	-14.998455	-14.993523	-14.984122
Y' (m)	0	2.67533×10^8	5.76351×10^8	9.97881×10^8
ϵ	0°	15.5040°	33.6914°	54.7354°
$(V_s)_\omega / (V_s)_{\omega=0}$	1	1.0718	1.3333	2.0000

2 结 论

45° 旋转反射镜模式的扫描性质, 除了决定于平面反射镜绕望远镜光轴旋转这一光学结构本身的性质外, 还取决于对这种扫描性质的考察是在一个平面内, 即地平面内进行的. 这种性质讨论的意义, 在于所获得的结果必然会影响到后继的数据处理方法及其可能达到的精度. 由式(5)和式(10)可见, 平台高度起着重要作用, 因此, 这种模式更适用于航空平台.

参 考 文 献

- 1 韩心志. 红外研究, 1987; 6(1): 59~66

DISCUSSION ON THE SCANNING PERFORMANCE OF THE SCANNER USING 45° ROTATING MIRROR

HAN XINZHI

(Department of space Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150006, China)

The scanning performance of the scanner using 45° rotating mirror is discussed in this paper. Evaluation and availability in remote sensing, for this mode, are given.

Key words: rotating mirror, scanning performance, scanning mode