

对 MODIS-N 扫描方式的讨论

韩心志 张爱红 任新

(哈尔滨工业大学空间工程与力学系, 黑龙江, 哈尔滨, 150006)

摘要: 在以摆镜为穿航迹扫描的光机扫描仪中, 卫星航向运动的补偿使扫描频率降低一倍, 并使扫描效率提高一倍, 从而具有很高的实用价值. 本文重点讨论了 MODIS-N 的扫描补偿方案, 并对它的适用性进行了评价.

关键词: 摆镜, 航向运动补偿, 扫描线校正器, 双轴扫描反射镜.

引言

在摆镜多光谱扫描仪中, 为对卫星的航向运动进行补偿, 使用了扫描线校正器 (SLC). 它是一对平面平行, 其反射面法线和系统光轴夹角成 45° , 并绕一条公共轴一起摆动的两块小平面反射镜. 扫描线校正器置于望远镜焦平面前的会聚光路中 (见图 1)^[1], 它对航向运动补偿的原理见图 2^[1]. 补偿的结果, 可以把扫描带拉平, 使之垂直于航迹; 另外在一个扫描带扫描结束后, 沿航向跳跃一个扫描带宽度, 可对扫描镜在回扫期的航向运动进行补偿. 它可取得两个重要的效果:

(1) 由于扫描镜在一个扫描周期内两次收集有效数据, 与未校正情况相比, 可以把扫描频率降低 1 倍. 这对于大尺寸的扫描镜 (见图 3)^[5,6] 具有重要意义.

(2) 双向收集数据, 扫描效率可提高约 1 倍, 达 0.85. 这使得探测器的驻留时间增大 1 倍, 遥感器的辐射灵敏度提高

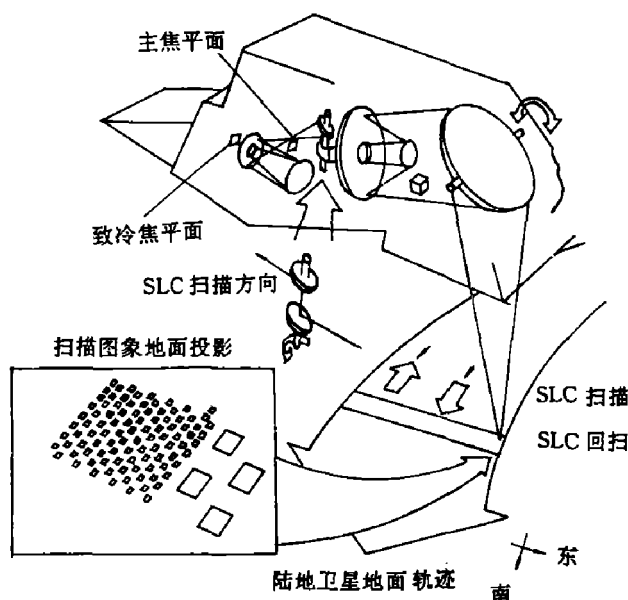


图 1 探测器列阵在地面轨迹上的投影
Fig. 1 Detector array projections on ground track

$2\frac{1}{2}$ 倍^[2].

因此, 航向运动的校正成为这种扫描仪设计的特征之一, 在 TM 中已收到很好的效果. 这种补偿方法的数学分析见文献 [3~4].

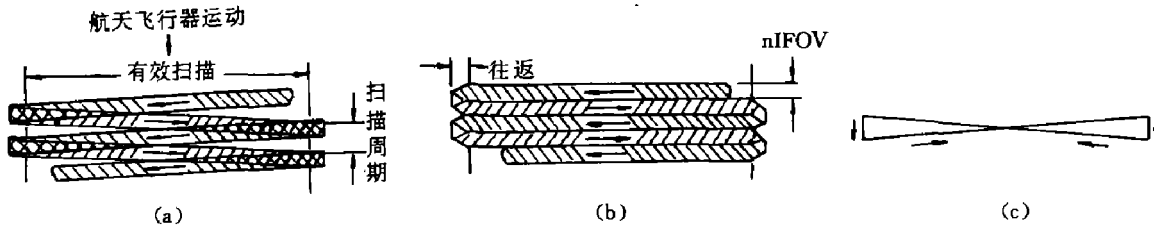


图 2 扫描线校正器的作用

(a) 未补偿的扫描仪地面图; (b) 已补偿的扫描仪地面图; (c) 轨道运动的校正

Fig. 2 The function of scan line correction

(a) uncompensated ground patterns of scanner; (b) compensated ground patterns of scanner; (c) correction for orbital motion

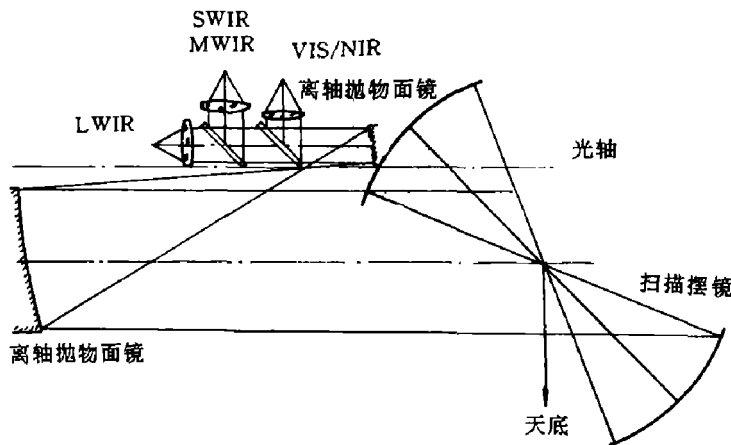


图 3 MODIS-N 光学系统

Fig. 3 MODIS-N optics

1 MODIS-N 补偿方案的讨论

文献 [5~6] 提出一种新的补偿方案, 其光学系统图和双轴扫描反射镜补偿原理图分别示于图 3 和图 4. 此方案进行航向运动补偿的原理与图 2 相似. 在此系统中它把校正器的功能集中于扫描反射镜上 (见图 4). 它使用的双轴扫描反射镜, 穿航迹扫描的轴平行于航向, 进行快速穿航迹扫描; 沿航迹补偿的扫描轴和望远镜的光轴重合, 进行慢速扫描, 以补偿空间飞行器的航向运动. 对这种方案分析如下:

在焦平面上任取一点 a . 为了方便, 令 a 点在 XOY 平面内; 通过 a 点作扫描摆镜的入射光线单位向量 \bar{A} 和光轴夹角为 α .

根据反射定律的向量公式, 在图 5 所示的坐标系中反射光线单位向量为

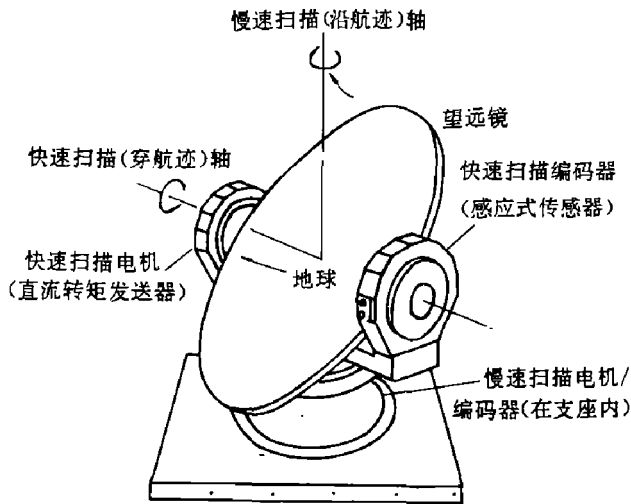


图 4 MODIS-N 双轴扫描反射镜
Fig. 4 MODIS-N double-gimbaled scan mirror

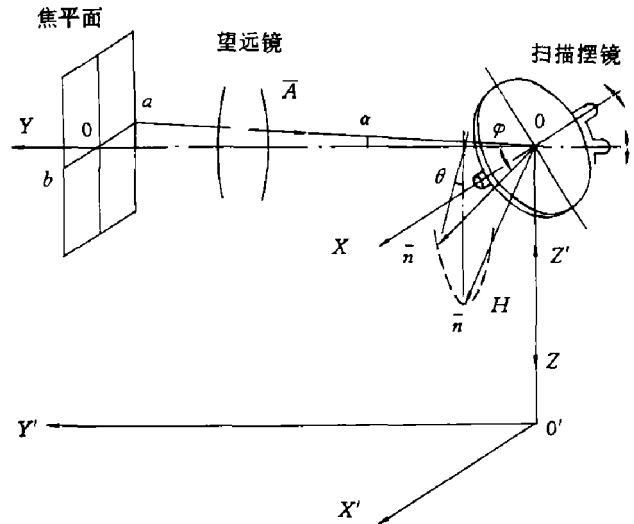


图 5 双轴扫描镜扫描几何图形
Fig. 5 Geometry of scan pattern of MODIS-N double-gimbaled scan mirror

$$\begin{aligned} \bar{A}' = & [\sin \alpha - 2 \sin^2 \varphi \sin^2 \theta \sin \alpha + \sin 2\varphi \sin \theta \cos \alpha] \bar{i} \\ & - [\sin 2\varphi \sin \alpha \sin \theta - \cos \alpha \cos 2\varphi] \bar{j} \\ & - [\sin^2 \varphi \sin 2\theta \sin \alpha - \sin 2\varphi \cos \theta \cos \alpha] \bar{k}; \end{aligned} \quad (1)$$

式 (1) 中, φ 是扫描摆镜镜面法线 \bar{n} 和光轴间的夹角; θ 是 \bar{n} 绕光轴的旋转角; \bar{i} 、 \bar{j} 和 \bar{k} 分别是沿坐标轴 X 、 Y 和 Z 的单位向量。

令 $\alpha=0$, $\theta=0$ 和 $\varphi=45^\circ$, 即得摆镜处于“0”位状态下光轴的出射单位向量为

$$\bar{A}'_0 = \bar{k},$$

这时, \bar{A}'_0 指向天底。

如果 $\alpha=0$, θ 和 φ 均取任意值, 则获得光轴在一般情况下的出射光线单位向量为

$$\bar{A}'_0 = (\sin 2\varphi \sin \theta) \bar{i} + (\cos 2\varphi) \bar{j} + (\sin 2\varphi \cos \theta) \bar{k} \quad (2)$$

取坐标系 $0' - X'Y'Z'$, 且 $0'$ 为地面天底点, X' 和 Y' 轴分别与 X 和 Y 轴平行, 则式 (1) 所表示的向量 \bar{A}' 通过坐标系 $0' - X'Y'Z'$ 的 $0(0, 0, H)$ 点; 其中, H 是卫星飞行高度。由此可求出 \bar{A}' 和地面 ($Z'=0$) 的交点轨迹为

$$\begin{aligned} X' = & \frac{\sin \alpha - 2 \sin^2 \varphi \sin^2 \theta \sin \alpha + \sin 2\varphi \sin \theta \cos \alpha}{\sin^2 \varphi \sin 2\theta \sin \alpha - \sin 2\varphi \cos \theta \cos \alpha} H, \\ Y' = & \frac{\sin 2\varphi \sin \alpha \sin \theta - \cos \alpha \cos 2\varphi}{\sin^2 \varphi \sin 2\theta \sin \alpha - \sin 2\varphi \cos \theta \cos \alpha} H; \end{aligned} \quad (3)$$

令 $\alpha=0$, 则光轴在地面上的扫描轨迹由式 (3) 可得:

$$\begin{cases} X' = (\tan \theta)H, \\ Y' = \frac{\cot 2\varphi}{\cos \theta}H; \end{cases} \quad (4)$$

式 (4) 不是一条直线方程式. 如果要求光轴的扫描轨迹是一条直线, 则应满足的条件为

$$\frac{X'}{Y'} = \sin \theta \tan 2\varphi = \text{常数}, \quad (5)$$

这显然是不成立的, 即图 4 所采取的双轴扫描反射镜方案, 不能完成图 2 所示的校正或补偿作用. 此外, 从式 (1) 和式 (2), 还可确定焦面上的直线 ab 在扫描中相对 X' 轴的夹角为^[7]

$$\tan \varepsilon = \sin \theta \tan \varphi, \quad (6)$$

这表明, 在扫描过程中, 图象在地面上的投影是按式 (6) 旋转的.

2 结语

图 1 和图 4 所示的两种补偿方案有本质的不同. 在图 1 中, 扫描和校正是由两个光学元件完成的. 首先, 用摆镜进行穿航迹扫描, 把扫描视场中的各个点都引到望远镜的光轴上, 而校正器只校正光轴航向运动的影响, 它和摆镜扫描是互相独立的, 只有运动上的同步关系. 其次, SLC 是一对平面平行的反射镜, 且一起绕公共轴旋转, 其作用相当于一块斜方棱镜. 这种元件的光学性质, 使得它在旋转时除引起光轴位移外 (航向运动补偿), 不会产生图象旋转之类的缺点. 在小角度摆动时, 可以设计成匀速运动, 它所造成的离焦量可以忽略^[3].

在图 4 中扫描和校正功能都集中于一个光学元件上, 其扫描图形并非图 2(b) 中所希望的一条倾斜的直线, 补偿卫星的航向运动并把扫描带拉成垂直于航迹的方向; 另外, 它还造成扫描图象旋转. 这些问题产生的原因, 经数学证明, 决定于平面反射镜固有的光学性质.

参考文献

- 1 Jack C. Lansing, Jr, Timothy D. Wise, Edward D. Harney. *Thematic mapper design description and performance prediction*, SPIE, 1979;183:224
- 2 韩心志. 红外研究, 1988;7(3):213~217
- 3 韩心志. 航天多光谱遥感, 北京: 宇航出版社, 1991, p.56
- 4 杨存武. 红外研究, 1935;4(1):19~24
- 5 Barnes W. L, Ostrow H, Salomonson V. V. *Preliminary system concepts for MODIS: a moderate resolution imaging spectrometer for EOS*, SPIE, 1986;644:86
- 6 Salomonson V V, Barnes W L, Montgomery H E, Ostrow H. *Moderate Resolution Imaging Spectrometer-Nadir (MODIS-N): Progress*, SPIE, 1988;924:2
- 7 韩心志. 红外研究, 1987;6(1):59~66

DISCUSSION ON THE MODIS-N SCAN MODE

HAN XINZHI, ZHANG AIHONG, REN XIN

*(Department of Space Engineering and Mechanics,
Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150006, China)*

Abstract: In the optical-mechanical scanner which uses an oscillating mirror to scan cross tracks, the correction of spacecraft motion can decrease the scan frequency and increase the scan efficiency by a factor of 2, respectively. This is very valuable. The MODIS-N correcting concept and its application are discussed in this paper.

Key words: oscillating mirror, correction of spacecraft motion, scan line corrector, double-gimbaled scan mirror.