

# 星载红外分光计的扫描过渡控制

许伟亮 王模昌 戎雪虎 郑丽华

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

**摘要:** 采用电子控制方法实现对星载红外分光计扫描镜步进过渡过程的控制. 解决了扫描测量过程中光学通道在其测量周期内视场的变化, 保证了各测量通道的空间同一性.

**关键词:** 红外分光计, 步进扫描, 过渡控制.

## 引言

红外分光计是探测大气温度廓线分布的星载遥感仪器, 采用步进扫描测量, 20块限定通道的窄带滤光片按长波 (6.7~15  $\mu\text{m}$ ) 和短波 (3.7~5.0  $\mu\text{m}$ ) 分别安装于滤光轮的外圈和内圈上. 在 100ms 的副帧周期中包含了扫描镜的步进过渡时间和 20 个通道的测量时间, 当扫描镜自由步进时在测量点产生阻尼振荡, 振荡时间在 500ms 以上, 因此当扫描镜自由步进时各通道在其测量周期内视场产生很大的变化, 引起大气辐射量的测量误差, 也破坏了各通道的空间同一性, 产生测量空间的弥散<sup>[1]</sup>. 对扫描镜的步进过渡运动, 美国 TOVS-BSU 采用谐波装置进行控制<sup>[2]</sup>; 风云-6 号卫星上的 HIRS/1 和 TIROS-N 卫星上的 HIRS/2 采用三个电机的闭环系统进行控制<sup>[3~5]</sup>. 这两种控制装置仪器结构复杂, 而且控制效果也不理想. 本文采用电子控制方法对红外分光计的扫描过渡过程实现控制.

## 1 电子控制原理

当扫描镜向测量点步进时, 在系统中加入一个电子控制环节以改变步进电机的电控参数分配, 达到步进过渡控制的目的.

$K$ 为电子控制环节, 其传递函数为

$$K(S) = \frac{1 - \exp(-S\tau)}{S}; \quad (1)$$

步进电机自由运动的传递函数为

$$\Theta(S) = \frac{\omega_n^2 \theta_b}{S^2 + 2\zeta\omega_n S + \omega_n^2}. \quad (2)$$

加入电子控制环节后, 整个系统的传递函数为

$$G(S) = \frac{\omega_n^2 \theta_b (1 - \exp(-S\tau))}{S(S^2 + 2\zeta\omega_n S + \omega_n^2)}, \quad (3)$$

对式(3)进行 Laplace 反演, 得到受控制后扫描镜的角度运动方程为

$$\theta(t) = \frac{\theta_b \exp(-\zeta\omega_n t)}{(1 - \zeta^2)^{1/2}} [\exp(\zeta\omega_n \tau) \sin(\omega_d(t - \tau) + \gamma) - \sin(\omega_d t + \gamma)]. \quad (4)$$

式(4)中,  $\theta_b$  为步距角,  $\omega_n$  为步进电机的自由振荡频率,  $\zeta$  为阻尼因子,  $\omega_d = \omega_n(1 - \zeta^2)^{1/2}$ ,  $\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{(1 - \zeta^2)^{1/2}}{\zeta}\right)$ .

式(1)中的  $\tau$  为时间延迟因子, 它由满足下式条件的方程选取

$$\theta(t) \Big|_{\frac{d\theta(t)}{dt}=0} = \theta_b; \quad (5)$$

控制环节的作用区间为  $[0, T]$ ,  $T$  为加入控制环节后扫描镜的步进过渡时间, 当  $\tau$  满足式(5)时,  $T$  由下式决定

$$T = t \Big|_{\frac{d\theta(t)}{dt}=0}. \quad (6)$$

图 1 是根据式 (4), (5), (6) 计算的受控制后三种不同惯量( $J$ )的扫描镜角度响应曲线, 驱动电流  $I_0 = 1.0 \text{ A}$ , 结果表明用式 (1) 描述的控制环节能有效地实现步进过渡控制.

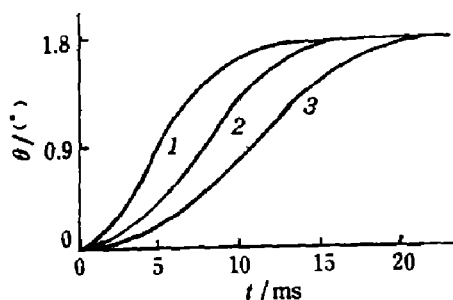


图 1 受控制后扫描镜步进角度响应的计算结果

1:  $J = 2.78 \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^2$ ,  $T = 10.05 \text{ ms}$ ,  $\tau = 5.08 \text{ ms}$ ;

2:  $J = 7.04 \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^2$ ,  $T = 15.60 \text{ ms}$ ,  $\tau = 8.15 \text{ ms}$ ;

3:  $J = 14.30 \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^2$ ,  $T = 21.95 \text{ ms}$ ,  $\tau = 11.65 \text{ ms}$

Fig.1 Calculations of step angle response after control

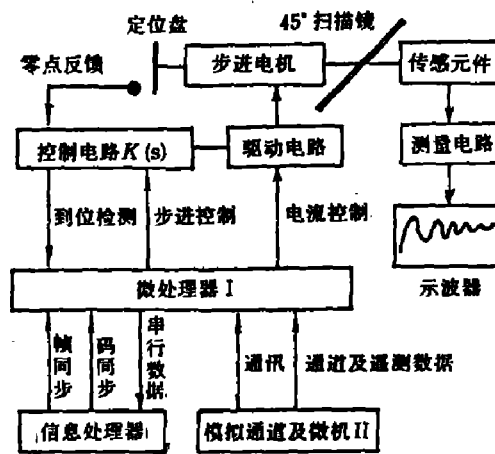


图 2 步进控制测量和系统工作原理图

Fig.2 Schematic diagram of step control measurement and system

## 2 控制结果与比较

图 2 是步进控制和测量原理框图, 步进电机为 4 相永磁式, 步距角为  $1.8^\circ / 0.9^\circ$ , 最大静力矩为  $1.3 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{cm}$ , 空载起动频率为  $1200 \text{ 步/s}$ , 扫描镜为  $45^\circ$  中空支架式镁镜, 转动惯量为  $5.54 \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^2$ . 传感元件是一只线性度为  $\pm 0.1\%$  的线性电位器, 测量时将其与步进电机同轴安装, 通过测量电路将步进电机的运动转换成电信号的变化, 由记忆示波器观察和获取步进运动的状况. 图 3 是加入控制环节前后扫描镜步进角度响应的实验结果. 从图 3(a) 可知, 未加控制环节时, 扫描镜在测量点作阻尼振荡, 振荡时间达到  $600 \text{ ms}$ , 这对必需在  $100 \text{ ms}$  内测完 20 个通道的红外分光计是一个非常严重的问题, 它将

使红外分光计无法进行正常的测量工作. 图 3(b) 是加入电子控制环节后扫描镜的步进角度响应, 步进过渡时间只有 14.32ms, 且在测量点附近没有任何振荡, 因此在 100ms 的副帧周期中有 85ms 的时间可供测量, 且各通道在其测量周期内视场严格一致, 也能满足 20 个通道空间同一性的要求.

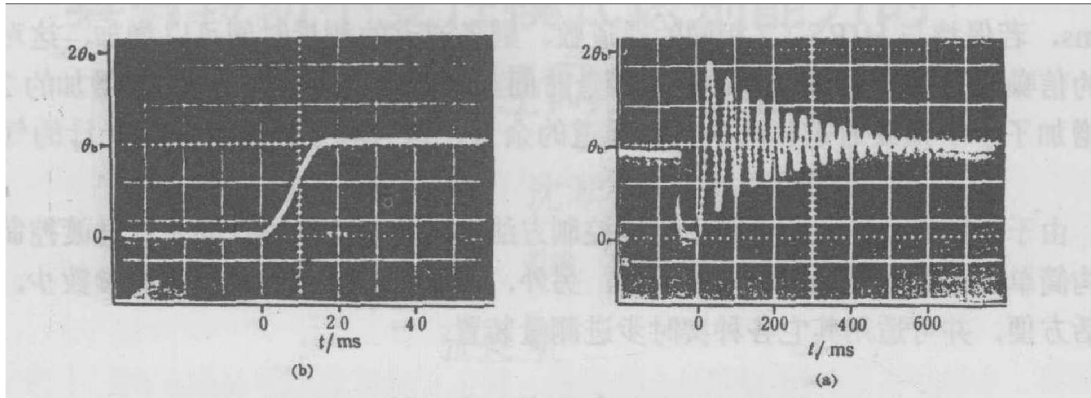


图 3 扫描镜步进角度响应的实验结果 ( $J = 5.54 \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^2$ ;  $I_0 = 1.0 \text{ A}$ )

(a) 未加入电子控制环节; (b) 加入电子控制环节;

Fig.3 Experiment results of step angle response of scan mirror

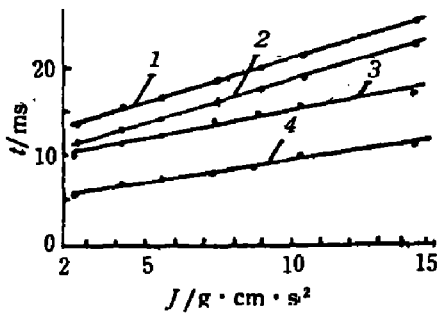


图 4 4 相 4 拍与 4 相 8 拍控制结果的实验比较

1, 2:  $T \sim J$  4 相 8 拍和 4 相 4 拍  
3, 4:  $\tau \sim J$  4 相 8 拍和 4 相 4 拍

Fig.4 Experiment comparison of control results between four-phase four-step and four-phase eight-step

表 1 红外分光计与 BSU 及 HIRS 仪器步进过渡控制结果的比较

Table 1 Comparison of results of step interim process control between instruments of ATPS and BSU, HIRS

仪器	控制方法	转动惯量 ( $\text{g} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^2$ )	功耗 (W)	步矩角 ( $^\circ$ )	过渡时间 (ms)
分光计	电子学方法控制	5.54	4.8	1.8	14.32
BSU	80:1 的高减速谐波传动装置	172.9	8.5	1.125	50
HIRS/1	步进电机, 测速电机, 力矩马达组成的闭环控制系统	5.78	8.94	1.8	45
HIRS/2	同 HIRS / 1				35

在实验中我们还观察了转动惯量 ( $J$ ) 和驱动电流 ( $I_0$ ) 对步进过渡控制的影响, 结果表明: 当  $J$  或  $I_0$  变化为  $\pm 5\%$  时, 控制结果仍很好, 但当  $J$  或  $I_0$  在变化  $\pm 10\%$  以上时, 控制结果将变差. 我们分别计算和实测了  $J$  和  $I_0$  与控制参数 ( $T, \tau$ ) 的关系, 将这些关系曲线存入微处理器 I 中以便能实现对控制的修正, 此外从这些关系曲线中可获得进一步缩短步进过渡时间的途径, 即设计更小惯量的扫描镜和选取更大驱动力矩的步进电机, 但这种设计或选取不是没有限制的.

图 4 是 4 相 4 拍与 4 相 8 拍控制结果的实验比较, 由图 4 可知, 在相同的惯量负载下, 4 相 8 拍控制的步进过渡时间比 4 相 4 拍长, 即控制效果比 4 相 4 拍差, 而且 4 相 8

拍控制还存在功耗大, 定子和转子齿的加工误差及充磁不均匀造成的定位精度差等问题, 所以我们在红外分光计中选用了4相4拍制的工作方式.

表1给出了红外分光计与BSU及HIRS仪器控制结果的比较. 从表1可见, HIRS/2的步进过渡时间为35ms<sup>[6]</sup>, 红外分光计的步进过渡时间比HIRS/2缩短了20ms, 若保持与HIRS/2相同的通道数, 则各通道的测量时间可以增加, 这对提高各通道的信噪比非常有利; 若各通道的测量时间与HIRS/2保持相同, 则增加的20ms相当于增加了一个短波通道和两个长波通道的余量, 这有利于扩充红外分光计的气象探测功能.

由于在红外分光计中采用了电子控制方法, 因此我们所设计的步进过渡控制使得仪器结构简单, 而且功耗低, 控制效果好. 另外, 由于电子控制装置选用的参数少, 控制调节灵活方便, 并可适用其它各种实时步进测量装置.

### 参 考 文 献

- 1 Falbel G, Zink D. *Conference on Infra-Red Technique*, University of Reading, 1971, 231-255
- 2 Ambruso A et al. *COM-73-10555*, 1973, FR 1110-102
- 3 Koenig E W et al. *NASA-CR-144743*, 1975
- 4 Koenig E W et al. *NASA-CR-132885*, 1973, 4-9, 4-11
- 5 Koenig E W et al. *AIAA/NASA Conference on "Smart" Sensor*, 1978, 61-64
- 6 Schwalb Arthur. *NOAA Technical Memorandum*, NESS 95, 1978, 30

## INTERIM PROCESS CONTROL OF STEP SCAN IN ATMOSPHERE TEMPERATURE PROFILE SOUNDER

Xu Weiliang, Wang Muochang, Rong Xuehu, Zheng Lihua

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract:** An electrical unit used to control the interim process of step scan mirror (SSM) in Atmosphere Temperature Profile Sounder (ATPS) of meteorological satellites is propounded. The control method solves the view field variation of each optical channel in its measurement period and ensures identity of 20 optical channels of ATPS in the scan measurement minor frame period of 100 msec.

**Key words:** atmosphere temperature profile sounder, step scan, interim process control.