

# 静止气象卫星自旋扫描对准中太阳 脉冲延迟角 $\beta$ 的研究\*

孙懋珩

( 同济大学电气工程系, 上海, 200092)

**摘要:** 推导了自旋扫描方式成像的静止气象卫星通常情况下太阳脉冲延迟角  $\beta$  的公式, 并对用线性近似公式计算  $\beta$  角带来的误差进行了分析, 提出用  $\beta$  角的一阶时间导数为斜率的线性近似公式, 还推导了卫星自旋轴相对地轴倾斜时的  $\beta$  角计算公式.

**关键词:** 气象卫星, 扫描辐射计, 扫描对准, 姿态检测.

## 引言

自旋稳定的静止气象卫星通常用太阳敏感器作为姿态敏感器件, 为自旋扫描辐射计提供姿态定位信号, 它需要计算太阳—卫星—地球的夹角  $\beta$ . 由于受地球自转及绕太阳公转的影响,  $\beta$  角每天变化  $360^\circ$ , 所以必须研究  $\beta$  角变化补偿问题, 以避免由此引起地球图像的畸变和残缺. 另外, 还要修正在卫星自旋轴与地轴不平行时  $\beta$  角所受的影响.

## 1 $\beta$ 角的计算公式及日平均线性近似式的误差分析

图 1 是太阳脉冲延迟角  $\beta$  示意图. 图 2 是  $\beta$  角的赤道平面投影图. 图中  $S_e$  和  $D_e$  分别为太阳 S 和日地距离  $D_{SE}$  在赤道平面上的垂直投影,  $D_e = D_{SE} \cos \xi(t)$ ,  $\xi(t)$  为从地球观测到的太阳赤纬; E 为地球; O 为卫星;  $d$  为星地距离;  $\omega_s$  为太阳周日视运动角速度;  $\omega$  为卫星自旋速率;  $t$  为星下点当地时间.

由平面三角公式可得:

$$\beta = 2\pi - \arcsin \left[ \frac{D_e \sin \omega_s t}{\sqrt{D_e^2 + d^2 + 2dD_e \sin \omega_s t}} \right], \quad (1)$$

式 (1) 表明,  $\beta$  角是  $t$  的非线性函数. 鉴于  $D_e \gg d$ ,  $\omega_s t$  随  $t$  呈线性变化,  $\omega_s$  为  $\beta$  的

本文 1993 年 1 月 20 日收到, 修改稿 1993 年 8 月 26 日收到.

\* 中国科学院上海技术物理研究所研究课题.

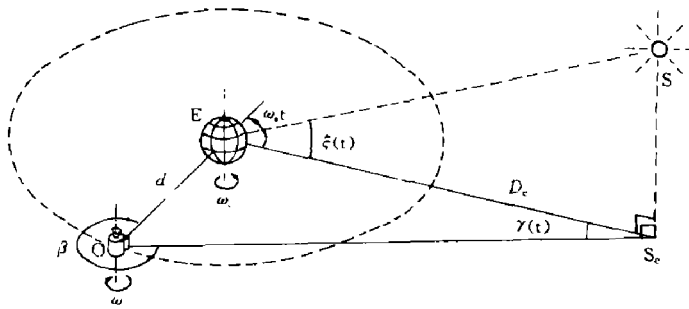


图 1  $\beta$  角示意图  
Fig. 1 Diagram of angle  $\beta$

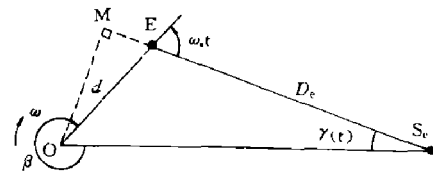


图 2  $\beta$  角赤道平面投影图  
Fig. 2 Projection drawing of equatorial plane at angle  $\beta$

日平均变化角速率, 因而考虑用  $(2\pi - \omega_s t)$  线性近似表示非线性变化的  $\beta$ , 以简化  $\beta$  角的补偿. 先将  $\beta$  角表示成常数项、线性项和非线性项之和的形式, 即

$$\beta = 2\pi - \omega_s t + \gamma(t), \quad (2)$$

由图 2 可得

$$\gamma(t) = \arctan \left[ \frac{d \sin \omega_s t}{D_e + d \cos \omega_s t} \right], \quad (3)$$

将式 (3) 代入式 (2) 可得:

$$\beta = 2\pi - \omega_s t + \arctan \left[ \frac{d \sin \omega_s t}{D_e + d \cos \omega_s t} \right],$$

如用日平均线性近似  $\beta_L$  近似表示  $\beta$  角, 即

$$\beta \doteq \beta_L = 2\pi - \omega_s \cdot t, \quad (4)$$

引入的绝对误差为

$$\varepsilon = \beta_L - \beta = -\gamma(t) = -\arctan \left[ \frac{d \sin \omega_s t}{D_e + d \cos \omega_s t} \right],$$

从  $t$  到  $t + \Delta t$  引入的相对误差  $\Delta\varepsilon$  为

$$\Delta\varepsilon[t, \Delta t] = \varepsilon[t + \Delta t] - \varepsilon[t]$$

由于在冬至点附近  $\xi(t)$  变化缓慢, 为讨论方便, 假定在冬至点 ( $\xi(t) = -23.5^\circ$ ) 达到近日点, 将  $D_e = D_{SE} \cos 23.5^\circ$  当作常数. 用求导数或几何求证方法, 可得到  $\varepsilon$  的极值.

当  $\omega_s t = 2n\pi \pm \left[ \frac{\pi}{2} + \arcsin \left( \frac{d}{D_e} \right) \right]$  时, ( $n$  为整数) 有

$$\varepsilon_{\min, \max} = \mp \arcsin \left( \frac{d}{D_{SE} \cos 23.5^\circ} \right);$$

以近日点距离  $D_{SE} = 1.471 \times 10^8 \text{ km}$ ; 及  $d = 42178 \text{ km}$ , 代入上式得

$$|\varepsilon|_{\max} = 312.7 \mu\text{r} = 64.49''.$$

当  $\omega_s t = n\pi$  时, 则有  $\varepsilon = 0$ . 用类似方法, 可以求出  $\Delta\varepsilon$  的极值:

$$\Delta\varepsilon \left[ t_0 - \frac{\Delta t}{2}, t_0 + \frac{\Delta t}{2} \right] = \varepsilon \left[ t_0 + \frac{\Delta t}{2} \right] - \varepsilon \left[ t_0 - \frac{\Delta t}{2} \right],$$

当  $t_0 = \frac{2n\pi}{\omega_s}$  时,

$$\Delta\varepsilon_1 = \gamma \left[ \frac{2n\pi}{\omega_s} - \frac{\Delta t}{2} \right] - \gamma \left[ \frac{2n\pi}{\omega_s} + \frac{\Delta t}{2} \right] = -2 \arctan \left[ \frac{d \sin(\omega_s \Delta t / 2)}{D_e + d \cos(\omega_s \Delta t / 2)} \right] < 0,$$

为最小值; 当  $t_0 = \frac{(2n+1)\pi}{\omega_s}$  时,

$$\Delta\varepsilon_2 = \gamma \left[ \frac{(2n+1)\pi}{\omega_s} - \frac{\omega_s \Delta t}{2} \right] - \gamma \left[ \frac{(2n+1)\pi}{\omega_s} + \frac{\omega_s \Delta t}{2} \right] = 2 \arctan \left[ \frac{d \sin(\omega_s \Delta t / 2)}{D_e - d \cos(\omega_s \Delta t / 2)} \right] > 0,$$

为最大值; 可见,  $|\Delta\varepsilon|$  的最大值为  $\Delta\varepsilon_2$ , 即  $|\Delta\varepsilon|_{\max} = \Delta\varepsilon_2$ .

在卫星自转速速  $\omega = 100 \text{ r/m}$  情况下, 扫描一帧含有 2500 条扫描线的图像需用时间  $\Delta t = 25 \text{ min}$ , 对应  $\omega_s \Delta t = 6.25^\circ$ , 故有

$$|\Delta\varepsilon|_{\Delta t=25\text{min}}^{\max} = 34.10 \mu\text{r} = 7.03''$$

同样情况下, 相邻两条扫描线的间隔时间为  $\Delta t = 0.6 \text{ s}$ , 对应  $\omega_s \Delta t = 9''$ , 此时的  $|\Delta\varepsilon|_{\max}$  为:

$$|\Delta\varepsilon|_{\Delta t=0.6\text{s}}^{\max} = 0.01365 \mu\text{r} = 0.002825''$$

由以上分析可见, 对像元分辨率不高 (如  $70 \mu\text{r}$ ) 的扫描线对准时, 可简单地用日平均线性近似式  $\beta_L$  取代  $\beta$ , 其相对误差是允许的; 其绝对误差每帧图像修正一次即可.

## 2 $\beta'(t_0)$ 为斜率的 $\beta$ 角线性近似公式及最佳 $D$ 分频参数的变化范围

对  $\beta$  角的日平均线性近似式引入误差的分析, 结果不太理想. 为此考虑一个更接近实际  $\beta$  角的近似公式, 并确定所需要的补偿范围, 即  $D$  分频参数的变化范围.

首先计算  $\beta$  的一阶时间导数,

$$\beta'(t) = \frac{d\beta}{dt} = -\omega_s \cdot D_e \cdot \frac{D_e + d \cos \omega_s t}{D_e^2 + d^2 + 2dD_e \cos \omega_s t},$$

由上式显见  $\beta' < 0$ ,  $\beta$  为单调减函数.

设计了以  $\beta'(t_0)$  为斜率的  $\beta$  角线性近似式为

$$\beta_{BL}(t) = \beta(t_0) + \beta'(t_0) \cdot (t - t_0), \quad (5)$$

当帧时间  $T = 25 \text{ min}$  时, 选取两种  $t$  的取值区间, 用计算机对  $\omega_s t_0$  在  $0 \sim 2\pi$  范围内计算了 72 万个点, 求出式 (5) 取代  $\beta(t)$  所引入的最大偏差范围  $|E|_{\max}$ , 其结果见表 1.

表 1 误差分析结果  
Table 1 Results of error analysis

$t$ 取值区间	$ E _{\max} (\mu\text{r})$	$\omega_s t_0 (^\circ)$
$[t_0 - \frac{T}{2}, t_0 + \frac{T}{2}]$	0.465	89.27
$[t_0, t_0 + T]$	1.868	87.98

注: 计算中使用  $D_e$  的最小值.  $D_e = 1.471 \times 10^8 \cdot \cos 23.5^\circ (\text{km})$

从表 1 可见, 选取  $t$  的取值区间为  $[t_0 - \frac{T}{2}, t_0 + \frac{T}{2}]$  时偏差比较小. 计算结果说明, 近似式 (5) 可以对太阳的周日视运动进行很好的补偿, 而且无须修正绝对误差. 如需更高的精度, 将  $T$  分成几段, 分别用式 (5) 进行折线修正即可.

$\beta'(t_0)$  随着  $t_0$  取值的变化而变化, 其变化范围可由  $\beta(t)$  的二阶导数为零求出.

$$\beta''(t) = -\omega_s^2 d D_e \sin \omega_s t \cdot \frac{D_e^2 - d^2}{[D_e^2 + d^2 + 2dD_e \cos \omega_s t]^2},$$

令  $\beta''(t) = 0$ , 得  $\omega_s t = n\pi$  时, ( $n=0, 1, 2, \dots$ ), 有  $\beta'(t)$  的极值点, 即  $\beta(t)$  的拐点. 在  $\omega_s t = 2n\pi$  处,  $\beta'(t)$  的极大值即最大值

$$\beta'(t)|_{\omega_s t = 2n\pi} = -\omega_s \left[ 1 - \frac{d}{D_e + d} \right],$$

在  $\omega_s t = (2n+1)\pi$  处,  $\beta'(t)$  的极小值即最小值

$$\beta'(t)|_{\omega_s t = (2n+1)\pi} = -\omega_s \left[ 1 + \frac{d}{D_e - d} \right].$$

对于产生太阳周日视运动补偿脉冲的  $D$  分频器, 其分频数  $D$  为  $D = \frac{2\pi f_0}{M|\frac{\Delta\beta}{\Delta t}|} = \frac{2\pi f_0}{M|\beta'(t_0)|}$ , 式中,  $f_0$  为系统的标准频率;  $\frac{2\pi}{M}$  为系统的角分辨率. 将  $|\beta'(t)|$  的最小值和最大值分别代入上式, 得到分频数  $D$  的变化范围:

分频数  $D$  的最大值为

$$D_{\max} = \frac{2\pi f_0}{M|\beta'(t)|_{\omega_s t = 2n\pi}} = \frac{2\pi f_0}{M\omega_s \frac{D_e}{D_e + d}} = D_0 \frac{D_e + d}{D_e},$$

分频数  $D$  的最小值为

$$D_{\min} = \frac{2\pi f_0}{M|\beta'(t)|_{\omega_s t = (2n+1)\pi}} = \frac{2\pi f_0}{M\omega_s \frac{D_e}{D_e - d}} = D_0 \frac{D_e - d}{D_e},$$

其中,  $D_0 = \frac{2\pi f_0}{M\omega_s}$  为日平均分频数. 由于  $D$  分频数不仅可以修正太阳周日视运动引起的  $\beta$  角变化, 还可以同时修正其它一些因素对  $\beta$  角的影响, 故可称之为最佳  $D$  分频数.

### 3 卫星自旋轴相对地轴倾斜时的 $\beta$ 角计算公式的推导

卫星自旋轴的指向与地球极轴的指向倾斜时,  $\beta$  角将受到太阳周年视运动和地球周日视运动的影响, 推导此时  $\beta$  角计算公式的基本思路是, 比较卫星自旋轴相对地轴平行和倾斜时的  $\beta$  角, 求出其差值表达式作为卫星自旋轴倾斜时的修正, 从而得到求  $\beta$  角的公式.

以卫星为球心  $O$  的天球直角坐标系如图 3 所示. 图 3 中  $P$  点为北天极; 大圆  $QEQ'E'$  为天赤道; 负  $Y$  轴方向对应地球中心  $E$ , 即选取时角坐标的零点;  $S$  点表示太阳, 圆  $RSR'$  为太阳在天球上的周日平行圈; 卫星的自旋轴矢量  $\vec{R}_0$  (左旋) 对天轴  $POP'$  的倾角为  $\theta$ ,  $\vec{R}_0$  在天赤道面上的投影为  $\vec{r}$ ; 大圆  $TBT'B'$  为过  $O$  点垂直于  $\vec{R}_0$  的平面与天球相交而截得, 称为自旋大圆,  $\overline{BB'}$  为自旋大圆平面同天赤道面的交线, 当  $\theta=0$  时, 自旋大圆同天赤道重合. 时间变量  $t$  的取值以星下点当地时间为准. 图 3 中几个角度表达式如下:

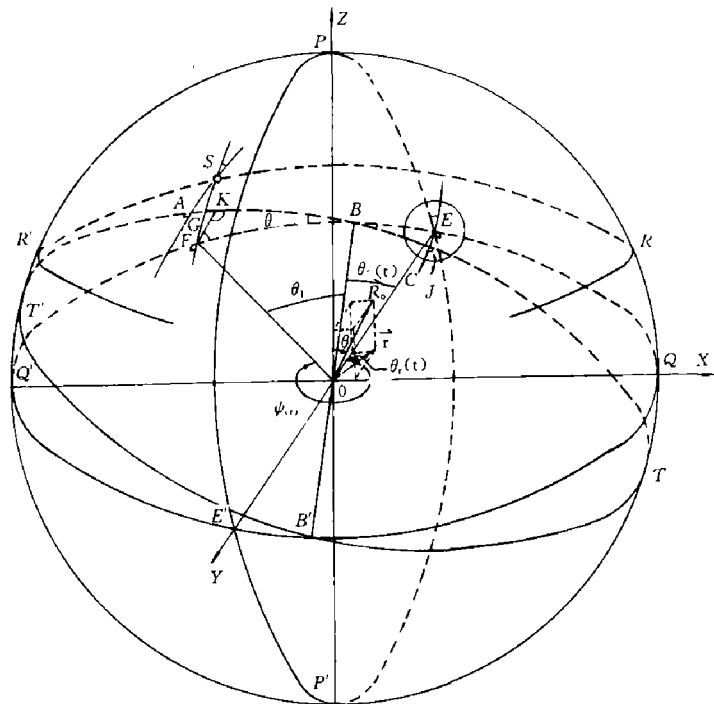


图 3 卫星为球心的天球坐标系  
Fig. 3 Satellite-centric celestial coordinates

太阳相对于负  $Y$  轴转过的时角为  $\psi(t) = \omega_s t - \gamma$ ;  $\vec{r}$  相对负  $Y$  轴转过的时角为  $\theta_r(t) = \omega_s t - \gamma + \theta_r(0)$ , 式中  $\theta_r(0)$  为  $t=0$  时  $\theta_r(t)$

的初始值; 交线  $\overline{OB}$  的时角和太阳的时角之差为  $\theta_1 = \theta_r(t) - \frac{\pi}{2} - \psi(t) = \theta_r(0) - \frac{\pi}{2}$ ; 地球中心和交线  $\overline{OB}$  的时角差为  $\theta_2(t) = \theta_r(t) - \frac{\pi}{2} = \omega_s t - \gamma + \theta_r(0) - \frac{\pi}{2}$ .

#### 3.1 对太阳影响的修正

图 4 中  $\widehat{SF}$  为过  $S$  点的一段天子午线, 它与天赤道垂直相交于  $F$  点, 并与自旋大圆相交于  $G$  点.  $\widehat{SA}$  为由  $S$  点和卫星自旋轴所确定的平面与天球相交得到的一段弧线, 相当于星上太阳角计的狭缝在天球上过  $S$  点的投影, 它与自旋大圆垂直相交于  $A$  点. 用  $\xi_1(t)$  表示  $t$  时刻太阳在以卫星为中心的天球坐标上的赤纬值, 北赤纬为正, 则  $\xi_1(t) = \widehat{SF}$ , 其变化周期为一个回归年; 用  $\eta$  表示自旋大圆在太阳所在时角处的赤纬值, 即  $\eta = \widehat{GF}$ .

作辅助弧  $\widehat{KF}$ , 交  $\widehat{AB}$  于  $K$  点, 使  $\widehat{KB}=\widehat{FB}$ , 则有  $\varphi'_1=\varphi''_1=\varphi_1$ . 在球面  $\Delta KBF$  中,  $\cot \varphi_1=\cos \theta_1 \cdot \tan \frac{\theta}{2}$ .

在球面直角  $\Delta GFB$  中, 有  $\eta=\arctan[\sin \theta_1 \cdot \tan \theta]$ .

在球面  $\Delta GFB$  中运用正弦公式, 有  $\frac{\sin \widehat{GK}}{\sin \varphi_3}=\frac{\sin \eta}{\sin \varphi_4}$ , 而  $\varphi_4=\pi-\varphi'_1$ ,  $\varphi_3=\frac{\pi}{2}-\varphi''_1$

代入上式得  $\frac{\sin \widehat{GK}}{\cos \varphi_1}=\frac{\sin \eta}{\sin \varphi_1}$ , 所以  $\widehat{GK}=\arcsin[\sin \eta \cdot \cot \varphi_1]=\arcsin\left\{\sin[\arctan(\sin \theta_1 \cdot \tan \theta)] \cdot \cos \theta_1 \cdot \tan \frac{\theta}{2}\right\}$ .

在球面直角  $\Delta GFB$  中有  $\cos \varphi_2=\cos \theta_1 \cdot \sin \theta$ , 在球面直角  $\Delta SAG$  中,  $\widehat{SG}=\xi_1(t)-\eta$ ,  $\varphi''_2=\varphi'_2=\varphi_2$ , 可以写出  $\tan \widehat{AG}=\tan \widehat{SG} \cdot \cos \varphi_2$ , 即

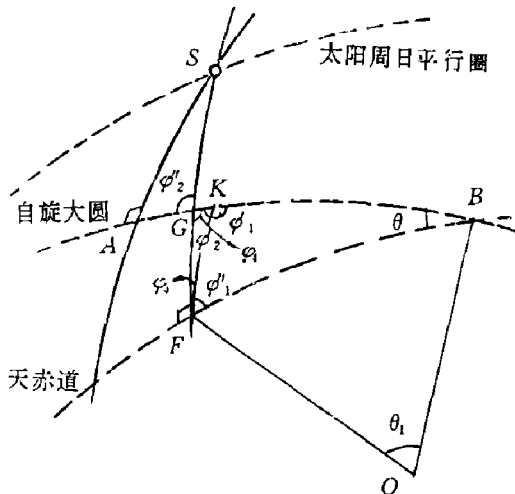


图 4 天球的太阳局部图  
Fig. 4 Sun-part drawing  
of the celestial sphere

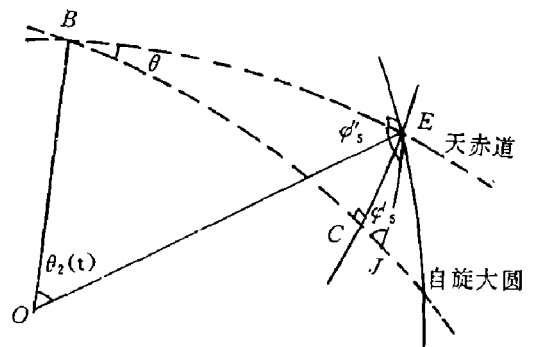


图 5 天球的地球局部图  
Fig. 5 Earth-part drawing  
of the celestial sphere

$$\begin{aligned}\widehat{AG} &= \arctan\{\tan[\xi_1(t)-\eta] \cdot \cos \varphi_2\} \\ &= \arctan\{\tan[\xi_1(t)-\arctan(\sin \theta_1 \cdot \tan \theta)] \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin \theta\}\end{aligned}$$

卫星自旋轴倾斜时引起太阳脉冲位置变化的弧度值,  $\widehat{AK}=\widehat{GK}+\widehat{AG}$ , 修正  $\beta$  角时应加上这一修正值. 记  $\phi_s(t)=\widehat{AK}$ , 则

$$\begin{aligned}\phi_s(t) &= \widehat{AK}=\widehat{GK}+\widehat{AG}=\arcsin\left\{\sin[\arctan(\sin \theta_1 \cdot \tan \theta)] \cdot \cos \theta_1 \cdot \tan \frac{\theta}{2}\right\} \\ &\quad + \arctan\{\tan[\xi_1(t)-\arctan(\sin \theta_1 \cdot \tan \theta)] \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin \theta\}\end{aligned}\quad (6)$$

### 3.2 对地球影响的修正

图 5 中,  $\widehat{EC}$  是由地心  $E$  和卫星自旋轴所确定的平面与天球相交而截得的一段弧线, 与自旋大圆垂直相交于  $C$  点, 它相当于辐射计的北南扫描方向在天球上过  $E$  点的投影, 也相当于太阳角计的狭缝在天球上过  $E$  点的投影.

在图 5 中作辅助弧  $\widehat{EJ}$ , 交自旋大圆于  $J$  点, 使  $\widehat{BJ}=\widehat{BE}$ , 故  $\varphi'_5=\varphi''_5=\varphi_5$ , 在球面  $\triangle BEJ$  中, 有

$$\cot \varphi_5 = \cos \theta_2(t) \tan \frac{\theta}{2}.$$

在球面直角  $\triangle BCE$  中应用正弦公式  $\frac{\sin \widehat{EC}}{\sin \theta} = \frac{\sin \theta_2(t)}{\sin \frac{\pi}{2}}$ , 可得  $\widehat{EC} = \arcsin[\sin \theta \cdot \sin \theta_2(t)]$ .

在球面直角  $\triangle ECJ$  中, 有  $\sin \widehat{CJ} = \tan \widehat{EC} \cdot \cot \varphi_5$ , 所以

$$\widehat{CJ} = \arcsin[\tan \widehat{EC} \cdot \cot \varphi_5] = \arcsin \left\{ \tan[\arcsin(\sin \theta \cdot \sin \theta_2(t))] \cdot \cos \theta_2(t) \cdot \tan \frac{\theta}{2} \right\},$$

式中  $\widehat{CJ}$  表示卫星自旋轴倾斜使扫描地球延后的弧度值, 在修正  $\beta$  角时应去掉这一部分. 记  $\phi_e(t) = -\widehat{CJ}$ , 则

$$\phi_e(t) = -\arcsin \left\{ \tan[\arcsin(\sin \theta \cdot \sin \theta_2(t))] \cdot \cos \theta_2(t) \cdot \tan \frac{\theta}{2} \right\}. \quad (7)$$

在  $\theta=0$  时的  $\beta$  角表达式即为式 (2)

$$\beta = 2\pi - \omega_s t + \gamma(t)$$

将导出的式 (6) 和式 (7) 加入式 (2), 得到在任意倾斜角  $\theta$  下的  $\beta$  角表过式为:

$$\beta = 2\pi - \omega_s \cdot t + \gamma(t) + \phi(t) \quad (8)$$

其中,  $\phi(t) = \phi_s(t) + \phi_e(t)$ .

当  $\theta=1^\circ$  时, 以地心天球的  $\xi(t)$  取代  $\xi_1(t)$  而带来的对  $\beta$  角的影响仅为  $0.004 \mu\text{r}$  数量级, 故当  $\theta$  较小时,  $\xi(t)$  可代替  $\xi_1(t)$ .

当  $\theta < 1^\circ$  时,  $\phi_s(t)$  和  $\phi_e(t)$  可以简化为

$$\tilde{\phi}_s(t) = \frac{\theta^2}{4} \sin 2\theta_1 + \arctan\{\tan[\xi(t) - \theta \cdot \sin \theta_1] \cdot \theta \cdot \cos \theta_1\}, \quad (9)$$

和

$$\tilde{\phi}_e(t) = -\frac{\theta^2}{4} \sin 2\theta_2(t). \quad (10)$$

$\theta=1.0^\circ$  时, 对式 (6) 和式 (7) 的分析表明,  $\theta$  影响地球方位的修正项  $\phi_e(t)$  最大绝对值为  $76.16 \mu\text{r}$ , 在 25 min 内  $\phi_e(t)$  引入的最大相对误差绝对值为  $16.58 \mu\text{r}$ ; 修正  $\theta$  对太阳方位影响的  $\phi_s(t)$  包含两项, 在卫星自旋轴方向确定后,  $\theta_1$  即确定了, 所以第一项可看成常数, 它产生修正的最大绝对值为  $84.59 \mu\text{r}$ , 第二项与太阳在黄道上的周年视运动有关, 产生修正的最大绝对值为  $7.588 \text{mr} = 0.4348^\circ$ , 在 25 min 内该项引入的最大相对误差绝对值约为  $2.1 \mu\text{r}$ .

由式(9)、式(10)可见,  $\phi_s(t)$  的第一项和  $\phi_e(t)$  与  $\theta^2$  近似与正比, 而  $\phi_s(t)$  的第二项与  $\theta$  近似成正比, 因此,  $\theta$  的减小将使  $\phi(t)$  修正量有较大的下降. 当  $\theta$  很小时, 可不考虑相对误差的影响, 仅进行绝对误差的修正.

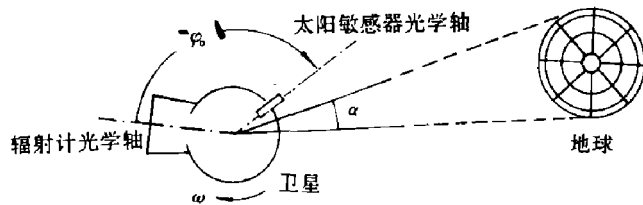


图6 成像角度  $\alpha$  及光轴间夹角  $\varphi_0$  示意图  
Fig. 6 Diagram of the imaging angle  $\alpha$  and the angle  $\varphi_0$  between optic axes

实际应用中的  $\beta$  角要考虑到地球图像东西方向视场角  $\alpha$  及太阳姿态传感器光轴超前辐射计光轴投影在卫星自旋平面上的角度  $\varphi_0$  (见图6). 因此, 太阳脉冲延迟角  $\beta$  的计算公式应为:

$$\beta(t) = 2\pi - \omega_s t + \gamma(t) + \phi(t) - \frac{\alpha}{2} + \varphi_0. \quad (11)$$

致谢: 本工作得到中国科学院上海技术物理研究所匡定波研究员的指教, 谨此特表谢意.

### 参考文献

- 1 孙懋珩. 红外研究, 1987;6(3):183
- 2 苗永宽. 球面天文学, 北京: 科学出版社, 1983
- 3 Allen CW. *Astrophysical Quantities*, 3rd ed., London: The Athlone Press, 1973

## STUDY OF SUN-PULSE DELAY ANGLE $\beta$ FOR SPIN-SCANNING ALIGNMENT ON GEOSTATIONARY METEOROLOGIC SATELLITE\*

SUN MAOHENG

(Department of Electrical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** In the paper, methods for calculating angle  $\beta$  are discussed. The errors caused by using the simple linearly approximate formula are analyzed, and an effective linearly approximate formula which uses  $d\beta/dt|_{t=t_0}$  as its slope is presented and analyzed. Considering the situation that the satellite axis is unparallel to the earth axis, the calculation formula for angle  $\beta$  is given.

**Key words:** meteorologic satellite, scanning radiometer, spin-scanning alignment, attitude detection.

\*Research project of Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences.