

# X-Y型天线座弹簧平衡器设计<sup>\*</sup>

何翠瑜

(中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北 石家庄 050081)

**摘要:** X-Y型天线座设计中摒弃了常用的加平衡重设计, 采用弹簧平衡器来平衡部分天线不平衡力矩。介绍了弹簧平衡器的原理, 结合实际工程给出了弹簧平衡器的设计方法、步骤。此方法设计的天线座体积小、重量轻, 且天线驱动力矩的状况有明显改善。

**关键词:** X-Y型天线座; 弹簧平衡器; 天线驱动力矩

**中图分类号:** TN820.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-5300(2009)01-0039-03

## Design of X-Y Antenna Pedestal Spring Balancer

HE Cuiyu

(The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang 050081, China)

**Abstract:** The adding counterweight design is discarded by us in the X-Y coordinate pedestal system. The spring balancer is used to counteract imbalance moment. The theory of spring balancer is introduced and the design method is given in association with some practical project. The pedestal system designed using above method has little volume and light weight. The drive moment is improved significantly.

**Key words:** X-Y coordinate system; spring balancer; drive moment

## 0 引言

在中小口径天线系统中一般采用 X-Y型天线座来有效解决卫星过顶时的跟踪问题, 保证系统稳定可靠的接收信号。X-Y型的天线座有二根转轴, 即 X轴和 Y轴。它相当于把方位-俯仰型天线座的方位轴转到水平位置。在 X-Y型的天线座设计时, 由于转动天线的重心不在转轴上, 所以在 X轴、Y轴上产生较大的不平衡力矩。通常, 为使 X轴、Y轴配平, 需要在两轴的转动部分加平衡重, 这样设计出来的天线座体积和重量庞大, 两轴间距大, 转动惯量也大。

在中小型 X-Y型的天线座设计中放弃加平衡重设计, 在驱动系统设计时采用电机、减速机、蜗轮蜗杆传动, 有效解决了在任意位置天线的自锁问题。这种天线座优点是结构简单, 重量轻, 体积小, 两轴间距小。但是由于 X轴、Y轴上的不平衡力矩较大, 导致天线驱动力矩非常大。

为改善驱动系统的受力状况, 采用弹簧平衡器设计。当天线转动时, 天线重力偏离转轴, 产生重力矩, 此时, 弹簧平衡器相对转轴产生反向扭矩, 来平衡部分

重力矩。采用弹簧平衡器设计后, 驱动系统的受力状况得到极大改善。

## 1 弹簧平衡器原理

弹簧平衡器结构如图 1 所示。平衡器外筒可绕 B 点摆动, 拉杆上端与 X(或 Y)轴转动部分用铰链连接。随着天线转动, 一部分重力产生的不平衡力矩可由拉杆上的弹簧力矩抵消。转动部分的重心在 C 点, 重量为 P, 则重力对转轴的重力矩为:

$$Mg = OC \cdot P \cdot \sin\gamma \quad (1)$$

弹簧刚度为 K, 在  $\beta$  角度时弹簧压缩量为 S, 则拉杆对转轴弹簧力矩为:

$$\begin{aligned} Mb &= K \cdot S \cdot h \\ h &= OB \cdot \sin\angle OBA = OB \cdot OA \cdot \sin\beta / AB \\ Mb &= K \cdot S \cdot OB \cdot OA \cdot \sin\beta / AB \quad (2) \end{aligned}$$

若要实现完全平衡, 则在任一位置必须重力矩等于弹簧力矩, 即:

$$OC \cdot P \cdot \sin\gamma = K \cdot S \cdot OB \cdot OA \cdot \sin\beta / AB \quad (3)$$

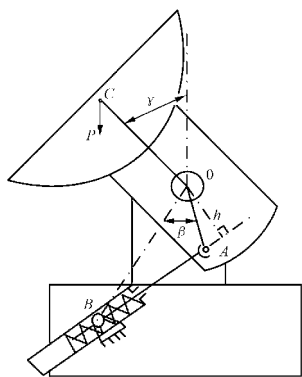


图 1 弹簧平衡器结构图

由图 1 可以看出:

(1) 当重心方向垂直通过转轴时, Q A B 三点要在同一直线上, 这样在转动过程中  $\beta = \gamma$ 。保证了弹簧力矩按正旋函数变化, 且在任意转角与重力矩正旋函数变化相同;

(2) 由图 1 可知, 拉杆的伸出量  $\Delta A$  等于弹簧压缩量  $\Delta S$  当弹簧预压缩量  $S_0$  等于 OB 与 OA 的差值, 就能满足在任意位置上, 弹簧压缩量  $S$  等于 AB 则  $S/AB = 1$  为一常数;

(3) 确定 OB OA 尺寸后, 弹簧刚度  $K = OC \cdot G / (OB \cdot OA)$  根据 K 就可进行弹簧设计了。

## 2 弹簧平衡器设计

结合某工程对 X-Y 型天线座上的弹簧平衡器进行设计。此天线座 X-Y 座架形式, 天线口径 4.2 m 驱动系统设计采用电机、减速机、蜗轮蜗杆传动形式, 如图 2 所示。X Y 轴运动范围为  $\pm 90^\circ$  (天线冲天定义为 X Y 轴  $0^\circ$ ), 天线重量 280 kg 天线冲天重心 C 距离 X 轴 1250 mm, 距离 Y 轴 1000 mm。

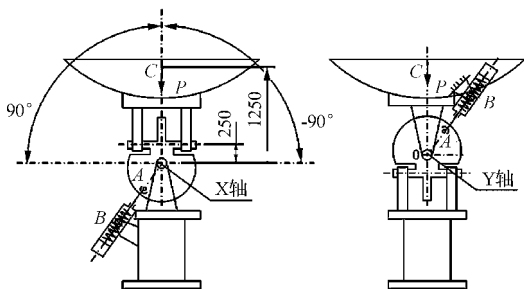


图 2 采用弹簧平衡器的天线座

### 2.1 X Y 轴受力分析

由于天线在工作时, 两轴都转动一定角度, 则 X 轴上 OC 的间距受 Y 轴角变化影响, Y 轴上重力受 X 轴角变化影响。

X 轴上重力矩为:

$$Mg_X = P \cdot (O_X C - O_X C \cdot \sin \gamma_Y) \cdot \sin \gamma_X \quad (4)$$

Y 轴上重力矩为:

$$Mg_Y = P \cdot \cos \gamma_X \cdot O_X C \cdot \sin \gamma_Y \quad (5)$$

其中,  $\gamma_X$  为 X 轴转角;  $\gamma_Y$  为 Y 轴转角。

由式 (4) 分析 X 轴受力情况。当 Y 轴转角为  $0^\circ$  时, X 轴在  $\pm 90^\circ$  范围转动, 天线对 X 轴产生的最大重力矩为:

$$Mg_X = 1.25 \cdot 280 \cdot 10 = 3500 (\text{N} \cdot \text{m})$$

当 Y 轴转角为  $\pm 90^\circ$  时, X 轴在  $90^\circ$  范围转动, 天线对 X 轴产生的最大重力矩为:

$$Mg_X = 0.25 \cdot 280 \cdot 10 = 700 (\text{N} \cdot \text{m})$$

由式 (5) 分析 Y 轴受力情况。当 X 轴转角  $0^\circ$  时, Y 轴在  $\pm 90^\circ$  范围转动, 天线对 Y 轴产生的最大重力矩为:

$$Mg_Y = 1.0 \cdot 280 \cdot 10 = 2800 (\text{N} \cdot \text{m})$$

当 X 轴转角为  $\pm 90^\circ$  时, Y 轴处于铅垂位置, 故 Y 轴转到任意角度, 天线对 Y 轴产生的重力矩为:

$$Mg_Y = 0$$

由以上分析可知, 天线对 X 轴产生的最大重力矩是随 Y 轴转角的不同位置而变化的, 其范围为  $700 \text{ N} \cdot \text{m} \sim 3500 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。天线对 Y 轴产生的最大重力矩是随 X 轴转角的不同位置而变化的, 其范围为  $0 \text{ N} \cdot \text{m} \sim 2800 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

### 2.2 弹簧平衡器基本尺寸设计

由于每个轴受力情况受另外一个轴影响, 故天线对各轴的重力矩不是正弦函数, 所以 X-Y 型天线座理论上用弹簧平衡器不能完全配平。但可以用弹簧平衡器来抵消部分重力矩达到设计要求。

弹簧平衡器设计步骤如下:

(1) 根据天线座现有空间和预计弹簧平衡器尺寸, 选定  $OA = 400 \text{ mm}$ ,  $OB = 550 \text{ mm}$ 。当 X 轴角是  $0^\circ$  时, 天线重心在 X 轴上方, X 轴重力矩为 0。此时将 Q A B 三点设计在同一直线上。根据天线座现有空间, 将 OB 与垂线夹角定为  $45^\circ$ ;

(2) 为满足在任意位置上, 弹簧压缩量  $S$  等于 AB 确定弹簧预压缩量为  $S_0 = OB - OA = 150 \text{ mm}$ 。当天线转到  $\pm 90^\circ$  时,  $AB = \sqrt{OB^2 + OA^2} = 680 \text{ mm}$ 。拉杆在筒外的伸出量  $\Delta A = 680 - 150 = 530 \text{ mm}$ ;

(3) 计算 X 轴弹簧刚度  $K_X$ 。取天线对 X 轴的最大重力矩范围的中间值  $2100 \text{ N} \cdot \text{m}$  使最大弹簧力矩

等于  $2100 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。当 Y 轴转角为  $0^\circ$  时, X 轴所受最大力矩等于最大重力矩与最大弹簧力矩的差值  $1400 \text{ N} \cdot \text{m}$ ; 当 Y 轴转角为  $90^\circ$  时, X 轴所受最大力矩等于最大弹簧力矩与最大重力矩的差值  $-1400 \text{ N} \cdot \text{m}$  (负号代表与重力矩相反方向)。

$$K_x = 2100 \cdot 1000 / (OB \cdot OA) = 9.54 (\text{N/mm})$$

(4) 计算 Y 轴弹簧刚度  $K_y$ 。最大弹簧力矩等于天线对 Y 轴产生的最大重力转矩范围的中间值  $1400 \text{ N} \cdot \text{m}$ ;

$$K_y = 1400 \cdot 1000 / (OB \cdot OA) = 6.36 (\text{N/mm})$$

(5) X 轴弹簧设计。由于弹簧平衡器承受载荷较大, 且安装空间受限制, 所以设计时采用组合弹簧。组合弹簧承受最小载荷  $1431 \text{ N}$  承受最大载荷  $6487 \text{ N}$  工作行程  $520 \text{ mm}$ , 弹簧刚度  $9.54 \text{ N} \cdot \text{m}$ , 端部结构为两端并紧磨平, 材料选用高级弹簧钢丝;

内、外弹簧按最大载荷比  $2:5$  设计。外弹簧最大载荷  $P_1 = 4571 \text{ N}$  工作极限载荷  $P_1 = 1.23 \cdot P_1 = 5622 \text{ N}$  内弹簧最大载荷  $P_2 = 1853 \text{ N}$  工作极限载荷  $P_2 = 1.23 \cdot P_2 = 2279 \text{ N}$

根据  $P_1$  和  $P_2$ , 选定弹簧钢丝直径的  $d$  和中径  $D$  (见《机械设计手册》第三卷, 表 11-2-19)。其有关参数见表 1。

表 1 圆柱螺旋压缩弹簧计算表

弹簧丝直径 $d$	弹簧中径 $D$	工作极限载荷 $P_j$	工作极限载荷下 的单圈变形量 $f_j$	单圈刚度 $P'_d$
14	120	5675	26.18	217
10	95	2366	20.55	115

外、内弹簧有效圈数  $n_{01}$  和  $n_{02}$  为:

$$n_{01} = \frac{F_1}{0.8 f_1} = \frac{680}{0.8 \cdot 26.18} = 32.46$$

$$n_{02} = \frac{F_2}{0.8 f_2} = \frac{680}{0.8 \cdot 20.55} = 41.36$$

其中,  $F_1$ 、 $F_2$  为最大载荷时弹簧压缩量。取整  $n_{01} = 32$ ,  $n_{02} = 40$ 。

组合弹簧实际刚度  $K'$  为:

$$K'_1 = \frac{P'_d}{n_{01}} = \frac{217}{32} = 6.78 \text{ N/mm}$$

$$K'_2 = \frac{P'_d}{n_{02}} = \frac{115}{40} = 2.87 \text{ N/mm}$$

$K' = K'_1 + K'_2 = 6.78 + 2.87 = 9.65 \text{ N/mm}$  满足设计刚度;

(6) Y 轴弹簧设计 (略);

(7) 弹簧平衡器结构如图 3 所示。弹簧平衡器由套筒、拉杆、组合弹簧、调整螺母和支耳组成。当拉杆被拉出后, 组合弹簧压缩, 在拉杆上产生拉力。套筒底部的调整螺母可调节弹簧预压缩量;

(8) 由上述计算结果可得, X 轴弹簧平衡器输出力矩为  $M_k = 2100 \cdot \sin \gamma (\text{N} \cdot \text{m})$ 。Y 轴弹簧平衡器输出力矩为  $M_k = 1400 \cdot \sin \gamma (\text{N} \cdot \text{m})$ 。

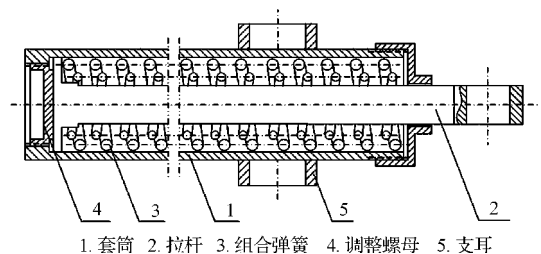


图 3 弹簧平衡器结构图

### 3 结束语

根据上述设计计算, X-Y 型天线座上采用弹簧平衡器后, 并不能完全平衡天线产生的重力矩。但通过合理设计, 可以使 X、Y 轴上最大转矩降低  $1/2$  驱动系统的设计将得到很大改善。与加配重块的设计比较, 弹簧平衡器体积小、重量轻, 可使天线座整体结构设计更加小型化、轻型化。

### 参考文献:

- [1] 吴凤高. 天线座结构设计 [M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986
- [2] 赵明生, 等. 机械工程师手册 (第二版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002

作者简介: 何翠瑜 (1973—), 女, 工程师。主要从事天线座系统研究。

(上接第 35 页)

- [4] Courtesy of Fluent Inc. Virtual swimmer helps speedo create a faster swimsuit [EB/OL]. (2004-03-11) http://www.caddigest.com/subjects/cae/select/031104\_fluent\_speedo.html

- [5] 王 森, 刘振侠, 黄生勤. FLUENT 在汽车外形设计中的应用 [J]. 机械设计与制造, 2005(4): 71-74

作者简介: 曲 震 (1983—), 男, 在读硕士研究生, 研究方向为产品设计与产品可靠性。