

定向太阳帆板导电环的研制

高云国

摘要: 本文叙述了卫星用导电环的结构设计、材料选择和性能测试。

一、前言

当今的人造卫星多数采用太阳能作为能源, 其太阳能电池阵列有固定于卫星外表面的固定式和跟踪太阳转动的定向式二种。在定向式太阳帆板中需有传输电能和信息的导电环装置, 这种导电环与地面用导电环相比, 要求体积小、重量轻、寿命长, 能在外层空间的特殊环境中正常工作, 能承受住卫星发射时产生的振动, 加速度和冲击过载。因此, 导电环的结构设计, 材料选择就不同于地面用仪器。

二、导电环的主要技术指标

额定功率: $P = 420 \text{ W}$

工作电压: $U = 50 \text{ V}$

最大转速: $\omega_{\max} = 60^\circ/\text{min}$

最小转速: $\omega_{\min} = 3.636^\circ/\text{min}$

重量: $W \leq 2 \text{ kgf}$

工作环境温度: $T = -65^\circ \sim 70^\circ \text{C}$

工作环境真空度: 10^{-7} Torr

工作寿命: 8800 h

振动: 42~200Hz 振幅: 7 g

200~2000Hz 振幅: 10 g

加速度: 15 g

冲击: 40 g

三、导电环结构设计

1. 电刷和导电滑环的接触型式

导电环的电刷和滑环是最重要的部件, 常用的结构型式有下列三种。

(1) 活动刷架接触式

结构如图1, 心轴转动, 采用弹簧压紧电刷。其接触可靠, 压力稳定, 但零件较多。

(2) 固定刷架接触式

结构如图2, 外接触电刷的刷臂用弹性材料制造, 所用零件少, 但调整电刷接触压力较

难。

(3) 内刷接触式

结构如图3，心轴与电刷转动，滑环固定。其结构尺寸小，部件少，便于设计制造，但不易罐封。

经比较，选用固定接触式结构，这种结构简单，工作可靠，易于罐封。

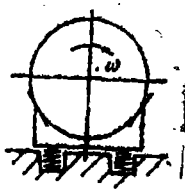


图1



图2

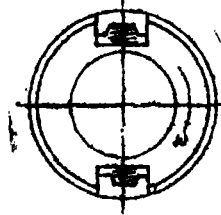


图3

2. 电刷和滑环的材料

导电环是在高真空条件下长期工作的，为保证工作可靠，电刷和导电滑环之间的滑动接触应具有接触电阻小，摩擦系数小，磨损少，自润滑等性能；工作时不允许出现电火花及电蚀现象。目前各国用于制造宇航导电环触头的材料有：AuNi₉，AuCr₄，PtIr_{17.5}，PtIr₁₀，AuAgCu_{22~30}，PdIr₁₈，以及含有固体润滑剂的银基材料系列。用于制造滑环的材料有：Ag₂，AgCu₁₀，AgCu_{12.5}，PtIr₁₀，PdAg₈₀以及铜基环上面加涂镀层。

根据使用和加工制造的情况，选用AuNi₉为电刷材料，滑环采用Cu基环上镀金，再镀铬。AuNi₉材料本身就有很好的弹性，信号刷直接用AuNi₉丝制成整体式，功率环电刷用AuNi₉做触头，镀青铜做弹性臂，这样既可以保证可靠的工作，又可以减少费用。导电环内部所有线路全部用环氧树脂胶灌封。

3. 触头接触面积的计算

$$\text{功率环最大电流 } I_{max} = \frac{P_{max}}{U}$$

式中 最大功率 P_{max}
 额定功率 $P = 420 \text{ W}$
 安全系数 $a = 1.2$
 工作电压 $U = 50 \text{ V}$

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{U} = \frac{1.2 \times 420}{50} = 10.08 \text{ A}$$

因太阳帆板对准太阳后才有最大输出电流，这时的帆板转速较慢 $\omega = 3.636^\circ/\text{min}$ ，导电滑环与电刷没有断开，换相问题，可以按下式计算接触面积：

$$S_t = \frac{I_{max}}{S_m}$$

式中 S_t —— 所需最小接触面积。

S_m ——单位面积上允许通过的电流。

经单件试验得到 $S_m = 6 \text{ A/mm}^2$

$$S_k = \frac{I_{m \cdot x}}{S_m} = \frac{10.08}{6} = 1.68 \text{ mm}^2$$

选用V型滑环和圆柱形触头，如图4所示，这种滑动接触比较稳定可靠。安装后经跑合，每一接触点接触面积可达到 0.3 mm^2 以上，功率环用二对触头接触，总接触面积 $S = 0.3 \times 8 = 2.4 \text{ mm}^2$ ，可以满足要求。信号环通过电流小，直接用 AuNi_3 丝接触V形滑环。

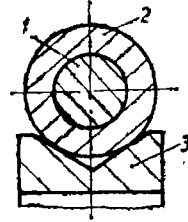


图4 滑环与电刷接触点剖视图
1—弹性臂 2—电刷 3—滑环

4. 电刷与滑环间的接触压力

接触压力的选择与导电环传导的电流，电压有关。电流、电压越大，则需接触压力越大。接触压力增大，接触电阻变小，不容易出现电火花及电蚀现象。但接触压力的增大，也会导致导电环转动时摩擦力矩增大，使电刷和滑环的磨损增加。因而，选用适当的接触压力也是很重要的。综合各因素选定：

功率环触点压力 75~85 g。

信号环触点压力 5.5~6 g。

5. 导电环摩擦力矩的计算

导电环在转动时摩擦力矩主要产生于两个方面，一是由各刷触点压力产生的，二是由滚动轴承产生的。滚动轴承是不加油脂的滚动摩擦，一般产生的摩擦力矩较小，因此，主要摩擦力矩是来自各触点。

为便于计算，功率环与信号环压力都取最大值85 g和6 g。

(1) 功率环摩擦力矩的计算

由图5有公式：

$$P = P' \cdot \cos 30^\circ + P'' \cdot \cos 30^\circ$$

$$P' = P''$$

式中 P ——触头压力

P' 、 P'' ——接触点支反力。

$$P' = \frac{P}{2 \cos 30^\circ} = \frac{85}{2 \times \frac{\sqrt{3}}{2}} = 49.07 \text{ gf}$$

摩擦力矩可由下式计算：

$$M_1 = 16 \cdot P' \cdot \mu \cdot r$$

式中 M_1 ——功率环摩擦力矩

μ ——摩擦系数

r ——滑环触点半径

μ 值与电刷、滑环的材料有关，与加工粗糙度有关，对加工后的单件测试， $\mu = 0.12$ ， $r = 0.029 \text{ m}$

$$\text{故 } M_1 = 16 P' \cdot \mu \cdot r = 16 \times 49.07 \times 0.12 \times 2.9 = 273.22 \text{ gf} \cdot \text{cm}$$

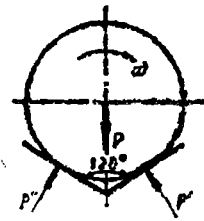


图5 功率环与电刷受力图

(2) 信号环摩擦力矩计算

由图 6 有公式:

$$P = P' \cdot \cos 45^\circ + P'' \cdot \cos 45^\circ$$

$$P' = P''$$

$$P' = \frac{P}{2 \cdot \cos 45^\circ} = \frac{6}{2 \times 0.707} = 4.24 \text{ gf}$$

$$M_2 = 64 \cdot P' \cdot \mu \cdot r = 64 \times 4.24 \times 0.12 \times 2.9 = 94.43 \text{ gf} \cdot \text{cm}$$

(3) 轴承摩擦力矩测试

经模拟测试, 轴承摩擦力矩 $M_3 = 140 \text{ gf} \cdot \text{cm}$

总摩擦力矩:

$$M = M_1 + M_2 + M_3 = 273.22 + 94.43$$

$$+ 140 = 507.65 \text{ gf} \cdot \text{cm}$$

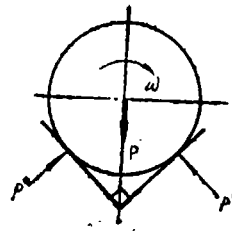


图 6 信号环与电刷受力图

6. 导电环轴承润滑方法选择

滚动轴承在高真空环境下工作, 不能用油或油脂润滑, 为了改善轴承的润滑性能, 轴承采用不锈钢材料制造, 在内外环轨道上采用镀金处理, 以增强润滑性能和防止在真空中产生冷焊现象。

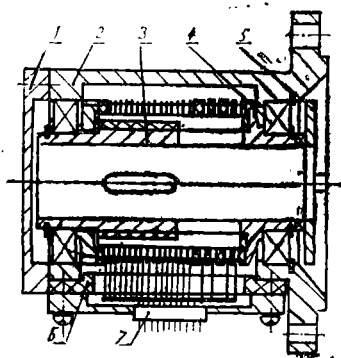


图 7 导电环结构示意图

- 1. 端盖 2. 壳体 3. 转子组件 4. 轴承
- 5. 联轴节 6. 电刷组件 7. 插座

7. 导电环结构

导电环结构如图 7 所示, 导电环壳体与基座相连接, 转子由十字滑块联轴节与太阳帆板相连, 为保证工作可靠, 所有内部线路全部用环氧树脂胶灌封, 为减轻重量, 多数零件选用铝合金材料制造。

四、导电环的性能测试

加工装配后的导电环需经全面的测试检验, 根据太阳帆板的检测大纲和设计指标要求, 我们检测了导电环的主要性能指标, 现将各检测方法及其结果简述如下。

1. 导电环各刷压力和接触电阻的测试

(1) 正压力的测试

将导电环一边电刷与环用绝缘体断开, 而后如图 8 连线, 由传动机构将克力计向上提升, 克力计对电刷施加一个向上的拉力, 当指示器指示断开时, 克力计指示出测量压力。

根据测量值, 逐一把电刷调到要求的接触压力范围。

(2) 接触电阻的测试

如图 9 连线, 转动导电环, 从电阻表读出最大电阻值, 减去导线的电阻, 就为这一电刷的接触电阻。

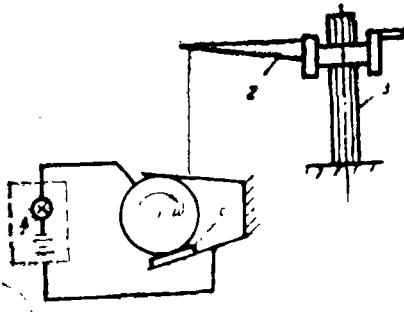


图8 测量压力示意图

1. 导电环 2. 克力计 3. 传动机构
4. 指示器 5. 绝缘体

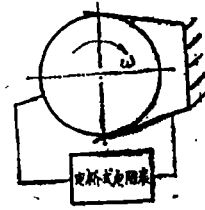


图9 测量电阻示意图

测定结果：各接触电阻均在 0.005Ω 以内。

2. 功率环导电性能测试

将测试线路按图10接好，调整电源和外接电阻，使电源输出电压为50V，输出电流为10A，这时转动导电环，如果接触电阻发生明显变化，则相应的电流和电压将变化。进行采样后输入记录仪，就可以记录电阻变化量。

通电后转动导电环，记录仪指针无明显波动。连续通电2小时，导电环没有温升征兆，说明导电环导电性能良好。

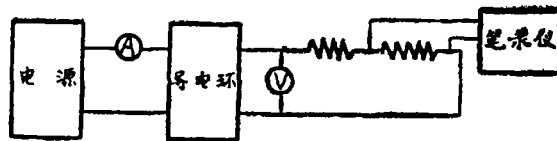


图10 导电环导电性能测试示意图

3. 真空性能测试

将导电环放入 1×10^{-7} Torr真空环境中，做常温和高、低温交变试验，导电环在这种环境中连续工作500小时没有产生冷焊、电火花、电蚀现象。

4. 其它指标测试

分别对导电环进行振动、加速度和冲击试验，均达到设计指标要求。经长时间工作，导电环性能稳定，磨损微小。导电环的起动力矩为495 gf·cm，导电环重量为1708 gf，主体积为 $\phi 82\text{mm} \times 100\text{mm}$ 。

参 考 文 献

- [1] 刘先曙著,《电接触材料的研究和应用》,国防工业出版社,1979
- [2] 索洛多夫著,闵桂荣译,《宇航技术工程手册》,科学出版社,1982
- [3] 航空材料手册编写组编,《航空材料手册》,国防工业出版社,1972

Development of Slip Rings in Solar Paddle Drives

Gao Yunguo

Abstract

This paper describes the structure design, the material selection and performance test of the slip rings for the satellite.