

# 高转速磁电式转速传感器的研制<sup>\*</sup>

肖波平<sup>1</sup> 姚家骧<sup>2</sup><sup>1</sup>(北京航空航天大学十四系信息中心 北京 100083) <sup>2</sup>(中国航天机电集团 31 所 北京 100074)

**摘要** 介绍了磁电式转速传感器的设计原理, 传感器原材料的选材原则和加工工艺以及传感器存放应注意的事项。

**关键词** 磁电式 转速传感器 工作原理

## High-speed Magnetolectric Speed Sensor's Development

Xiao Boping<sup>1</sup> Yao Jiaxiang<sup>2</sup><sup>1</sup>(Information Center, Dept. 14 of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)<sup>2</sup>(The 31st Research Institute of China Aerospace Mechanical & Electronic Group, Beijing 100074)

**Abstract** The device theory of magnetolectric speed sensor, the choice's rule about sensor's raw materials, artifacitious technology and something paid attention to about sensor's conservation are all introduced in this paper.

**Key words** Magnetolectric Speed sensor Device theory

### 1 引 言

小型航空发动机受尺寸的限制, 长度比较短, 直径比较小, 压气机的增压比较小, 但推力比较大。所以, 要提供足够大的推力, 发动机的工作转速就比较高。转速信号是小型航空发动机非常关键的一个性能参数, 这就要求转速传感器能够可靠地工作在高转速状态下, 而且测量范围大, 结构简单, 抗干扰能力强。高转速磁电式转速传感器可以非接触测量表面为金属导体的物体的转速, 具有结构简单、频率响应宽、灵敏度高、测量范围大、抗干扰能力强、体积较小等特点, 可测量几百~几万转/分的转速范围, 适于小型航空发动机上使用。

### 2 设计原理<sup>[1]</sup>

高转速磁电式转速传感器是根据电磁感应原理设计的, 它是由传感器及音轮组成, 传感器的凸台正对音轮的齿, 如图 1 所示。传感器的凸台与音轮的齿之间有气隙  $\delta$  气隙  $\delta$  的交替变化周期性地改变磁路中传

感器铁磁材料的磁导率  $\mu$ , 磁导率  $\mu$  周期性的变化引起通过永磁材料上线圈的磁通量的变化, 从而在线圈两端输出周期性、上下对称的脉冲电压信号, 如图 2 所示。脉冲信号的波形与音轮的齿型有关, 图中所示的波形对应的音轮的齿型是渐开线型。

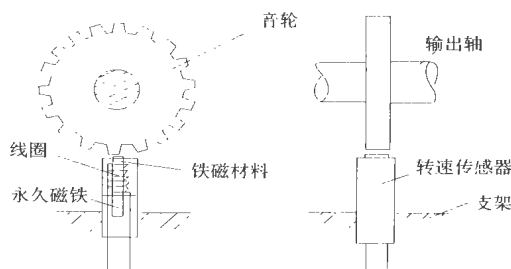


图 1 磁电式转速传感器原理图

高转速磁电式转速传感器将非电量转速信号转换为对称的脉冲信号, 脉冲的频率值与转速的关系为:

$$n = 60 \cdot \frac{f}{N} \quad (1)$$

其中:  $n$ ——发动机转速  $f$ ——脉冲的频率值

$N$ ——音轮的齿数

从公式中可以看出, 音轮的齿数  $N$  是个常数, 转

\* 本文于 2000 年 7 月收到。

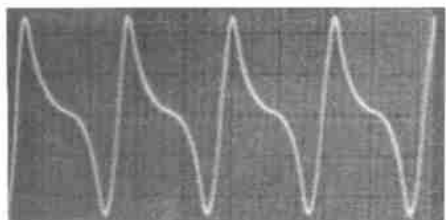


图 2 传感器输出脉冲信号波形

速  $n$  与脉冲的频率值  $f$  成正比关系。脉冲的频率值  $f$  是数字量, 其抗干扰能力强, 精度高。

铁磁材料的磁感应强度为:

$$B = \mu H \quad (2)$$

其中:  $H$  —— 磁场强度

$\mu$  —— 铁磁材料的磁导率

$$\text{线圈的磁通量为: } \Phi = N \int_s B \cdot ds \quad (3)$$

由于线圈的截面积是不变的, 所以上式可写为:

$$\Phi = NBS \quad (4)$$

其中:  $N$  —— 线圈匝数  $S$  —— 线圈的截面积

$B$  —— 铁磁材料的磁感应强度

线圈的感生电动势为:

$$E = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d(NBS)}{dt} = -NS \frac{dB}{dt} = -NSH \frac{d\mu}{dt} \quad (5)$$

其中:  $N$  —— 线圈匝数  $S$  —— 线圈的截面积

$B$  —— 铁磁材料的磁感应强度

$\mu$  —— 铁磁材料的磁导率

在上式中, 线圈匝数  $N$ 、铁磁材料的磁感应强度  $B$  和线圈的截面积  $S$  三个参数是常量, 当这三个参数确定时, 感生电动势  $E$  的变化只与铁磁材料的磁导率  $\mu$  有关, 并且感生电动势  $E$  的大小与铁磁材料的磁导率  $\mu$  成正比关系, 但方向相反。

传感器的凸台与音轮的齿之间的气隙  $\delta$  的大小及变化的快慢直接影响铁磁材料的磁导率  $\mu$ , 进而影响线圈的输出电动势。当气隙  $\delta$  增加或变化减慢时, 铁磁材料的磁导率  $\mu$  降低, 磁路的磁阻  $R$  增加, 磁通量  $\Phi$  减少, 感生电动势  $E$  值变小; 当气隙  $\delta$  减少或变化加快时, 铁磁材料的磁导率  $\mu$  升高, 磁路的磁阻  $R$  减少, 磁通量  $\Phi$  增加, 感生电动势  $E$  变大。气隙  $\delta$  小或变化快时, 灵敏度高; 气隙  $\delta$  大或变化慢时, 灵敏度低。

### 3 材料的选择

传感器输出信号的频率与音轮的齿数和被测物体转速的关系如式(1)所示, 这种关系只与传感器的结构形式有关, 与传感器各组成部分的选材无关。但是, 传

感器输出信号的大小却与材料的选择密切相关, 永磁材料的磁场强度越强、线圈的匝数越多、线圈的截面积越大、铁磁材料的磁导率越高, 传感器输出信号的峰一峰值越大。

永磁材料的选择: 高磁场强度、小剩磁和矫顽磁力, 电阻率高、损耗小、磁性能稳定、热膨胀系数小。选用的永磁材料的磁导率  $\mu$  要受温度的影响小。可以选用铁钕硼或铝镍钴做永磁材料磁芯, 线切割成圆柱形。

铁磁材料和音轮材料的选择: 高磁导系数  $\mu$ 、高饱和磁感应强度、小剩磁和矫顽磁力, 电阻率高、损耗小、磁性能稳定、热膨胀系数小、加工性好、价格便宜。可选用电工钢<sup>[2]</sup>。线圈常用高强度漆包线绕制, 一般用 36~48 号直径为  $d=0.07\sim0.10\text{mm}$  的漆包线。选用低电阻率、高强度的细线, 可提高线圈匝数, 从而提高传感器的灵敏度。骨架采用高频损耗小, 膨胀系数小, 有一定的强度, 抗潮湿性能好的绝缘材料制成, 要求高的可采用聚四氟乙烯。

### 4 加工工艺

铁磁材料要经过适当热处理, 热处理的目的是去除铁磁性材料在剪切加工时的残余应力和内应力, 不改变晶体结构, 以提高铁磁材料性能的稳定性。热处理的好坏直接影响材料的线性、零位电压的大小和灵敏度的高低。材料晶体的排列, 主要取决于退火时的降温速度, 升温温度的速度影响不大, 所以, 要严格控制降温速度。退火后要酸洗、烘干。

永磁材料磁芯在热处理、充磁后, 要进行退磁处理, 提高磁芯的磁稳定性。

骨架的加工精度要求高, 尺寸和形状要严格对称。

在缠绕线圈时, 要使用绕线机, 绕成阶梯形状, 以提高传感器的分辨率。绕线时要戴手套, 防止汗水腐蚀漆包线。绕完后用绝缘纸将线圈包起来, 防止线圈与壳体短路。

引出线要用高频电缆, 在焊接时要用细砂纸打磨掉电缆和漆包线表面的氧化层, 并套上绝缘套管。

应选用导磁性能好的材料作保护外壳, 同时起到磁屏蔽的作用。使用要求高时, 也可用导电材料设置静电屏蔽层, 以减少外界电磁场的干扰。选用环氧树脂灌封传感器的内部, 以固定线圈、磁芯、铁磁材料。灌注时要防止出现气泡, 影响传感器的寿命。

### 5 存 放

永磁材料、成品的传感器应该分开一定的距离存

放,以防降低永磁材料的磁场强度、传感器凸台端面的磁感应强度,最终影响传感器的使用性能。

6 结 论

传感器输出脉冲的峰—峰值(V)如表 1 所示。

气隙(mm)	转速(r/min)		
	6349	22988	26146
0.70	8.6	22.3	24.4
0.85	7.6	20	22

数据表明:转速越高,气隙越小,传感器输出的信号越大,这一结论与传感器的设计原理一致。

传感器工作的环境温度在材料允许的范围內,而

且发动机在高转速工况下的工作时间短,线圈不会出现高温疲劳现象。但是,在使用中出现过传感器输出的脉冲信号峰—峰值变小的情况,经测试发现是传感器凸台的端面磁感应强度降低造成的。在转速校验台上多次试验后,确定其原因是铁磁材料和永磁材料的质量和热处理工艺问题。经过重新选材、加工,并严格按照热处理工艺进行热处理后,制造的传感器输出的脉冲信号峰—峰值长期保持不变,其使用性能稳定。

参考文献

1 李楚,郑宏才.传感技术大全.武汉:湖北科学技术出版社,1986.267~269.  
2 袁希光主编.传感器技术手册.北京:国防工业出版社,1986.396~397.

(上接第 205 页)

与已知轮廓度相比较,计算误差 0.0011mm,这是由于使用最小二乘原则而引入的,该计算误差与轮廓度误差及曲线曲率成正比。对于小曲率自由曲线的轮廓度误差评定时具有使用价值。

轮廓度误差评定过程中引入坐标系自适应方法,使得轮廓度误差评定的高精度、高效率成为可能,随着计量技术的发展,其精度会进一步提高。

5 总 结

被测曲线型值点坐标系自适应调整,是自适应曲线轮廓度评定方法的核心。采用对应特征点法,与DFP——一维搜索法,实现坐标系自适应调整,可缩短

曲线轮廓度误差评定时间,提高曲线轮廓度误差评定精度,是一种切实可行的方法。

参考文献

1 熊有伦.精密测量的数学方法.中国计量出版社,1989.  
2 陈宝林.最优化理论与算法.清华大学出版社,1989.  
3 张永曙,刘克轩,蒋大为.计算机辅助几何设计的数学方法.西北工业大学出版社,1986.  
4 施法中.计算机辅助几何设计与非均匀有理B样条.北京:航空航天出版社,1994.  
5 侯宇,李刚,崔晨阳,张竞.自由型曲面的测量与重建.计量学报,1999,20(4):252~255.  
6 刘文艺,聂恒敬.一种自适应的平面线轮廓度误差评定方法.计量学报,1999,20(1):27~31.

(上接第 214 页)

一般传感器采用热敏电阻进行温度补偿时繁琐的计算程序。采用软件补偿时也将更有规律。

在此基础上,通过外电路对温度采样信号作进一步的变换和处理,可以得到更高精度的补偿。

值得指出的是,在这种内补偿技术中,多晶硅补偿电阻的可靠性和稳定性对传感器的应用至关重要。特别是电极系统对高温压力传感器的可靠性和寿命有最直接的影响。因而传感器要进行可靠的封装。有报道<sup>[7]</sup>,多晶硅电阻在常温下可以达到耐 10<sup>6</sup> 压力循环的可靠性;在 140℃下满负荷工作 1000 小时特性无明显变化,传感器综合精度仍达到 0.2%FS~0.5%FS。

参考文献

1 高兴亮.硅压阻传感器零点补偿及温度补偿.敏感元器件与

传感器,1988,1:25~30.  
2 毛贇如,姚素英,曲宏伟,张维新.半导体高温压力传感器的研究.测控技术,1996,2:18~20.  
3 张维新,朱秀文,毛贇如.半导体传感器.天津:天津大学出版社,1990.  
4 孟令昆,曹兆臣.一种扩散硅压力传感器温度补偿方法—漂流电流源外补偿方法.传感技术学报,1997,1:32~34.  
5 V. Mosser, J. Suski and J. Goss. Piezoresistive pressure sensors based on polycrystalline silicon. Sensors and Actuators, A(28), 1991, 119~131.  
6 EG & G ICSSENSOR PRODUCT MANUAL. 1995.  
7 M. Dunbar, K. Sager. A novel media-compatible pressure sensor for automotive application Sensors Magazine, 2000. 1.