

# 滚珠丝杠副在航天航空领域的应用

肖正义

(北京工研精机股份有限公司, 北京 101312)

**摘要:**对滚珠丝杠副在航天航空领域使用时需注意的问题进行了探讨,指导用户合理选用。

**关键词:**滚珠丝杠副 航天 航空

## Application of Ball Screw Units in Aviation Field

XIAO Zhengyi

(Beijing Gongyan Precision Co., Ltd., Beijing 101312, CHN)

滚珠丝杠副以其高精度、高效率、高刚度、高寿命等特点,作为一种高效、节能、高精度的传动与定位元件,在地面上各个行业的使用已非常普及。

随着人们对滚珠丝杠副的不断了解,现在滚珠丝杠副也越来越多地用于航天航空及卫星等高空领域。由于所处环境大不相同及所承担的责任也不相同,人们对滚珠丝杠副在空中环境所做的试验较少,对环境的模拟也比较困难,成本较高;另外,在选用时缺乏经验。我公司对滚珠丝杠副在空中使用的研究已有 10 多年的经验,本文将对这些经验进行总结,与大家分享,必要时可供参考。

### 1 空中环境对滚珠丝杠副的要求

由于滚珠丝杠副在空中使用时,要受到高温、低

温、冲击、振动、承载、传动效率、尺寸、重量、润滑、湿度等方面的影响,因此在选择时必须考虑这些因素。

(1) 性能可靠 由于滚珠丝杠副在空中使用出现问题时,无法及时更换,机器的功能就会丧失,后果将是非常严重的,因此实现功能是第一位的,可靠性是最重要的指标。

(2) 体积小、承载大 因为航天航空产品集成度非常高,体积小,重量轻,因此,要求滚珠丝杠副的尺寸不可能很大。体积小、承载大将是它的一大特点。

(3) 耐温性好 滚珠丝杠副在地面使用时,环境温度一般在  $-10 \sim 35^{\circ}\text{C}$ ,而在空中时温度可能在  $-60 \sim 130^{\circ}\text{C}$  之间波动。因此,对丝杠副材料、润滑以及丝杠副预加负荷都有非常严格的要求。

(4) 传动效率高 航天航空产品体积小,电源的

温度的传感器,并设计两通道温度测量,其中 A 温度传感器测量循环蒸馏水温度,B 温度传感器测量电主轴机壳温度。根据 3.1 节中所述的主轴温升测量方法,在实验条件相同的情况下,分别对采用新型冷却系统的 SCM-III 型电主轴和对采用传统冷却技术的 SCM-II 型电主轴进行温升实验测试,得到具体实验数据分别如表 1 和表 2 所示。

按式(1)计算得 SCM-III 型电主轴定子绕组的平均温升为  $43.04^{\circ}\text{C}$ , 的 SCM-II 型电主轴主轴温升为  $58.7^{\circ}\text{C}$ 。与传统冷却技术相比,采用该新型冷却系统的电主轴主轴温升降低了  $15.66^{\circ}\text{C}$ 。

### 4 结语

本文所设计的新型电主轴冷却系统的特征在于:螺旋水槽加工在水套外壳内表面,有效的减小同规格电主轴的壁厚,各种零部件的安装定位孔分布在水套

端面,实现基准统一。该冷却系统很好地解决了高速电主轴使用过程中电动机定子发热的问题,控制电主轴的温升,提高电主轴的性能,并且使电主轴整体结构紧凑合理,简化加工工艺,同时降低原材料成本。

### 参 考 文 献

- 肖曙红,张伯霖,陈焰基. 高速电主轴关键技术的研究. 组合机床与自动化加工技术,1999(12)
- 吴玉厚. 数控机床电主轴单元技术. 北京:机械工业出版社,2006.
- 邓星钟,朱承高. 机电传动控制(第三版). 武汉:华中科技大学出版社,2002.
- JB/T 10273-2001, 中华人民共和国机械行业标准数控机床交流主轴电动机通用技术条件. 北京:北京机床研究所,2001.
- 李鄯,郝敬思. 电主轴性能测试方法. 机械工人(冷加工),2005(3)

第一作者:李伟光,男,1958 年生,教授,博导,研究领域:数控技术、制造信息化、机电一体化等。

(编辑 蔡云生) (收稿日期:2008-11-07)

文章编号:9412

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

容量有限,为了能快速升空,完成所需动作,就要用有限的功率输入得到较大的功率输出,因此,必须提高滚珠丝杠副传动效率。

2 滚珠丝杠副选择的基本要求

2.1 滚珠丝杠副的结构

滚珠丝杠副的结构选择是其获得高可靠性的必要保证。滚珠丝杠副从问世至今,其结构有十几种至多,通过多年的改进,现国际上基本流行的结构有三种(见图 1)。三种结构的特点比较见表 1。

表 1

种类	特 点	结构 可靠性	循环圈数		螺母 尺寸
			圈数	列数	
内循环结构	通过反向器组成滚珠循环回路,每一个反向器组成 1 圈滚珠链。因此承载小。适应于微型滚珠丝杠副与普通滚珠丝杠副。	高	1 圈	2 列以上	小
外循环结构	通过插管组成滚珠循环回路,每一个插管至少 1.5 圈滚珠链,承载大。适应于小导程、一般导程、大导程与重型滚珠丝杠副。	差	1.5 圈以上	1 列以上	大
端盖结构	通过螺母两端的端盖组成滚珠循环回路,每个回路至少 1 圈滚珠链,承载大。适应于多头大导程、超大导程快速传动滚珠丝杠副。	高	1 圈以上	2 列以上	小

从上表可以看出,三种结构各有其优缺点。但使用内循环结构优点更多,在空中使用更合适。

丝杠副在升空过程中以及运动过程中,要受到冲击、振动载荷。因此,丝杠副结构要简洁,少用螺钉联结。

为了减轻丝杠副重量,滚珠丝杠可以设计成空心结构。

内循环结构反向器选用材料主要有:40Cr、9Cr18、QBc2、QAl10 - 3 - 1. 5。建议不要选用工程塑料做反向器。由于工程塑料可靠性差,不适合应用在

高低温差大、冲击大的场合。

2.2 滚珠丝杠副的精度及性能

(1) 滚珠丝杠副的精度

滚珠丝杠副的精度一般优于 3 级,主要是考虑它较高的定位精度和较好的传动性能。对滚珠丝杠副的精度考核有 4 项指标:①有效行程内平均行程偏差  $ep$ ; ②有效行程内行程变动量  $V_{up}$ ; ③任意 300 mm 轴向行程内行程变动量  $V_{300P}$ ; ④任意  $2\pi$  弧度内行程变动量  $V_{2\pi P}$

空中最常用滚珠丝杠副直径一般为  $\varphi 6 \sim 25$  mm,导程为 2 ~ 5 mm,长度  $\leq 500$  mm。现有滚珠丝杠副行程测量仪无法进行检测。北京机床研究所针对此种滚珠丝杠副专门研制出“微型滚珠丝杠副导程(行程)测量仪”,见图 2。

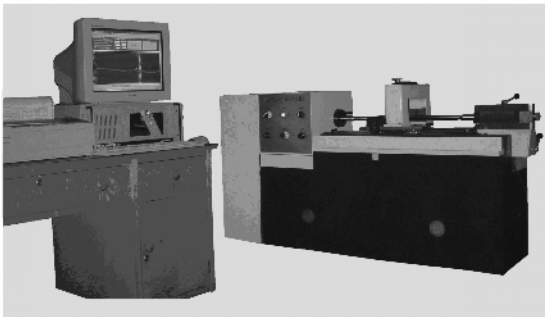


图2 微型滚珠丝杠(副)行程测量仪

(2) 滚珠丝杠副预紧转矩

预紧转矩的大小直接影响运动的平稳性、温升、传动效率,是非常重要的性能指标,必须严加考核。

由于滚珠丝杠副在空中要能适应高、低温考验,传动要平稳,滚珠丝杠副的预紧转矩不大,波动量也要小,一般在 0. 003 ~ 0. 015 Nm。为此,北京机床研究所专门研制了“微型滚珠丝杠副预紧转矩测量仪”,见图 3。

对于丝杠副所处环境温度变化较大时,选用有间隙滚珠丝杠副结构。

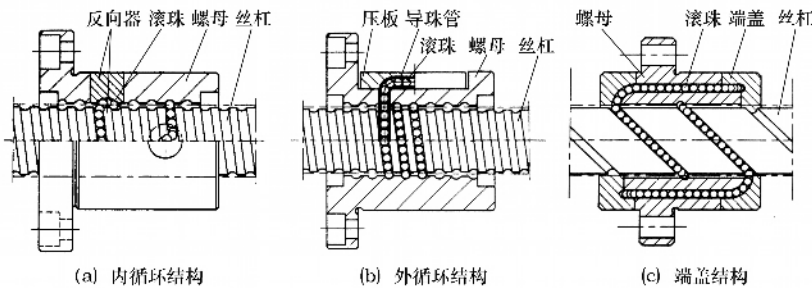


图1 滚珠丝杠副结构对比

### (3) 滚珠丝杠副传动效率

传动效率是非常重要的指标,但是,由于使用数量有限,制造厂家还没有专门的测量仪器,现在常规做法是与主机一同进行测试。不同丝杠生产厂家对滚珠丝杠副的设计及加工方法不同,因而生产出的滚珠丝杠副传动效率也不同。由于北京工研精机股份有限公司长期从事空中使用滚珠丝杠副的研发,对提高滚珠丝杠副的传动效率积累了一定的经验,能够从设计及生产方面为用户提供参考意见,制造的小型滚珠丝杠副传动效率一般为 88% ~ 95%。

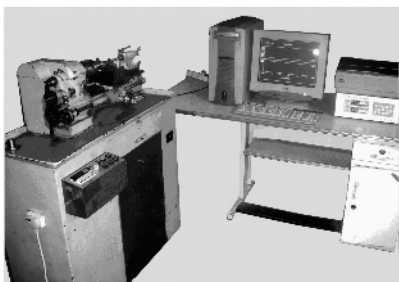


图3 微型滚珠丝杠副预紧转矩测量仪

### 2.3 滚珠丝杠副的材料

常规地面使用的滚珠丝杠副材料主要为: GCr15、GCr15SiMn。空中使用的滚珠丝杠副选材需考虑: 适合高温、不易生锈、高承载。因此,建议选用 9Cr18、15-5PH 或高强度合金等。

### 2.4 滚珠丝杠副的润滑

滚珠丝杠副的润滑主要由三种: 液体润滑、油脂润滑、固体润滑。空中润滑主要用油脂润滑、固体润滑 ( $\text{MoS}_2$ )。油脂润滑选用: 高温润滑脂 (7007、7014、7112) 等; 固体润滑主要是二硫化钼, 在滚珠表面上涂

上一层二硫化钼, 此类润滑, 主要用于承载小, 用于传递运动场合。丝杠副在组装时, 各零件一定要用航空汽油清洗干净, 在干净的组装间装配。

## 3 生产体系要求

(1) 对于空中环境使用的滚珠丝杠副, 一定要按照 ISO9001:2000 质量管理体系组织生产。实行“三定”原则(定工艺、定设备、定人员), 使得产品质量稳定。

(2) 关键工序保留记录。进厂材料要进行组织化验, 保留化验单, 每批零件热处理需保留工艺规程及检验结果。

(3) 关键尺寸要保留具体检测结果, 对主要零件必须要进行产品标识。

(4) 零件加工过程中出现废品, 必须要认真分析废品原因, 使故障归零。

(5) 所有数据都要整理归档, 以备查询。

## 4 结语

总之, 滚珠丝杠副在空中环境使用与地面使用有着本质的不同, 在选择时需慎重考虑各方面影响。产品在订货时, 应该向生产厂家说明使用场合。如果为了保密需要, 开始订货时, 可以不告诉厂家具体使用地方, 但要说明是空中使用, 使得生产厂家在产品结构设计及生产时, 将各方面影响因素考虑进去, 确保产品合格率百分之百。

(编辑 徐鸿根) (收稿日期: 2009-03-01)

文章编号: 9413

如果您想发表对本文的看法, 请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

· 书讯 ·

LabVIEW8.2.1 虚拟仪器实例指导教程(计算机辅助分析实例指导丛书)

胡仁喜等编著, 2008 年 1 月出版。

邮购价: 54 元

本书通过理论与实例结合的方式, 深入浅出地介绍了 LabVIEW 的使用方法和技巧。全书共分 12 章, 每个章节中都配有必要的实例, 目的在于让读者结合实例更加快捷地掌握 LabVIEW 的编程方法。第 1 章介绍虚拟仪器系统的基本概念、组成与特点, 虚拟仪器技术的发展现状与展望; 第 2 章介绍 LabVIEW8.2.1 的新功能和特性, 编程环境以及帮助系统; 第 3 章介绍 LabVIEW 的前面板、前面板控件及其使用方法和属性设置、程序框图及其组成要素; 第 4 章介绍创建和编辑 VI 的方法, 运行和调试 VI 的方法与技巧以及创建和调用子 VI 的方法, Express VI 的概念及使用方法, 菜单的创建方法; 第 5 章介绍 LabVIEW 中的程序控制结构框图; 第 6 章介绍局部变量和全局变量, 数组、簇和波形数据; 第 7 章介绍 LabVIEW 中与数据显示相关的内容; 第 8 章介绍 LabVIEW 中与数据的存储和读取相关的内容; 第 9 章介绍 LabVIEW 中信号发生、分析和处理的相关内容; 第 10 章介绍数据采集的相关知识以及使用 LabVIEW 进行数据采集的方法; 第 11 章结合实例对 LabVIEW 中实现通信以及网络应用的方法进行了介绍; 第 12 章介绍 VI 的优化方法, 该部分可以帮助用户优化自己的 VI, 从而编写出更高性能的程序。

本书主要面向 LabVIEW 的初、中级用户, 介绍 LabVIEW 编程的基础知识和基本技巧, 可作为大、中专院校相关专业的教学和参考用书, 也可供有关工程技术人员和软件工程师参考。

来款请寄: 北京市朝阳区望京路 4 号, 机床杂志社收, 邮编: 100102。