

滚珠丝杠副精度保持性研究

严朝锋 段伟飞

陕西省机械产品质量监督检测总站有限公司 陕西咸阳 712000

DOI: 10.32629/ems.v8i4.19751

[摘要] 本文基于 JB/T 13813.4-2020《滚动功能部件可靠性与寿命 第4部分: 滚珠丝杠副精度保持性试验规范》与 GB/T 17587.3-2017《滚珠丝杠副 第3部分: 验收条件和验收检验》标准, 采用丝杠精度保持性试验台对特定规格的滚珠丝杠副进行了两水平应力精度保持性试验。通过对试验数据的详细分析, 计算了滚珠丝杠副的精度保持转数与精度保持时间, 深入探讨了其在实际应用中的可靠性表现, 为滚珠丝杠副的优化设计与应用提供了科学依据。

[关键词] 滚珠丝杠副; 两水平试验; 精度保持转数; 精度保持时间

1. 引言

滚珠丝杠副作为数控机床、自动化设备等精密机械中的核心传动部件, 其精度保持性直接决定了设备的加工精度、运行稳定性及使用寿命。随着制造业对高精度、高效率加工需求的不断提升, 滚珠丝杠副的精度保持性研究显得尤为重要。本文依据相关行业标准, 对特定规格的滚珠丝杠副进行

了精度保持性试验, 旨在通过科学的方法评估其在实际工况下的性能表现, 为产品的优化设计与应用推广提供理论支持。

2. 试验概况

2.1 试验样品

GQ40×12×1110×1396 型滚珠丝杠副 1套, 具体参数见

表1 主要技术参数

公称直径	导程	丝杠全长	螺纹长度	精度等级	预紧转矩	额定动载荷	钢球直径	负载系数
Φ40mm	12mm	1396mm	1110mm	P2级	1.2N·m	63000N	Φ6.35mm	2

2.2 试验设备

试验采用丝杠精度保持性试验台进行, 该试验台集成了高精度加载系统、转速控制系统与数据采集系统于一体, 具备模拟实际工况下的复杂负载与转速条件的能力, 对滚珠丝杠副的行程变动量变化进行连续、准确的监测。

2.3 试验方法

2.3.1 应力水平设置

试验方法依据 JB/T 13813.4-2020 标准, 采用两水平应力试验, 即在不同应力水平下对滚珠丝杠副进行长时间运行试验, 第1应力水平代表较轻的工作负载, 第2应力水平则代表较重的工作负载, 监测其精度变化, 全面评估滚珠丝杠副的精度保持性。

2.3.2 加载条件

加载方向沿滚珠丝杠副轴向加载, 加载方式包含转数比

例、当量转速、加载载荷三个因素, 按照 JB/T 13813.4-2020 标准要求进行加载。额定动载荷: 63000N; 负载系数: 2。以 $2.4 \times 10^5 r$ 为一个加载循环周期。

2.3.3 精度检测

依据 GB/T 17587.3-2017 标准, 对试验样品的初始精度及加载循环过程中的精度变化进行了检测和记录, 样品出现精度失效, 试验即刻终止。精度检测项目包括行程变动量 ($V_{2\pi p}$, V_{300p} , V_{up}), 允差值分别设定为: 行程变动量 0.005mm、0.008mm、0.014mm。

2.4 数据记录

试验期间, 记录滚珠丝杠副的运行转数、当量轴向载荷、当量转速及故障情况。试验运行记录见表2和表3。

加载循环周期按照试验运行转数记录计算共二十二个加载循环周期, 行程变动量检测结果见表4。

表2 第1应力水平试验运行记录

运行时间	参数	轻载	中载	重载	单日运行转数	是否发生故障
	当量转速 (r/min)	700	500	300		
	当量轴向载荷 (N)	3150	6300	9450		
第1天	运行转数 (r)	86100	120500	37500	244100	否
第2天		86100	122500	36300	244900	否

第 3 天		86100	121000	36300	243400	否
第 4 天		84000	120000	36600	240600	否
第 5 天		85400	121500	36600	243500	否
第 6 天		87500	122500	36000	246000	否
第 7 天		85400	121500	36600	243500	否
第 8 天		86100	122500	36300	244900	否
第 9 天		86200	121500	36900	244600	否
第 10 天		84700	119000	37500	241200	否
第 11 天		84700	122000	36900	243600	否
合计		2680300 (r)	故障数量		0 (个)	

表 3 第 2 应力水平试验运行记录

运行时间	参数	轻载	中载	重载	单日运行转数	是否发生故障
	当量转速 (r/min)	700	500	300		
	当量轴向载荷 (N)	6300	12600	18900		
第 1 天	运行转数 (r)	84000	117500	36000	237500	否
第 2 天		86100	121000	36300	243400	否
第 3 天		85400	122000	36600	244000	否
第 4 天		89600	122000	36900	248500	否
第 5 天		84000	118000	36000	238000	否
第 6 天		86100	116500	36300	238900	否
第 7 天		87500	119000	37500	244000	否
第 8 天		84700	122500	36900	244100	否
第 9 天		84700	118500	36000	239200	否
第 10 天		87500	123500	36300	247300	否
第 11 天		84000	118000	36000	238000	否
合计	2662900 (r)	故障数量		0 (个)		

表 4 行程变动量检测结果

序号	检测阶段	检测项目			
		行程变动量			动态预紧转矩
		允差值			
		$V_{2\pi p}$ (mm)	V_{300p} (mm)	V_{up} (mm)	T_p (N·m)
		0.005	0.008	0.014	1.2
实测值					
1	初始精度	0.0034	0.0058	0.0083	1.22
2	第一加载循环周期	0.0041	0.0064	0.0112	1.13
3	第二加载循环周期	0.0042	0.0065	0.0114	1.09
4	第三加载循环周期	0.0042	0.0065	0.0115	1.08
5	第四加载循环周期	0.0042	0.0067	0.0115	1.09
6	第五加载循环周期	0.0043	0.0068	0.0117	1.08
7	第八加载循环周期	0.0042	0.0071	0.0117	1.08

8	第十一加载循环周期	0.0043	0.0073	0.0123	1.06
9	第十四加载循环周期	0.0043	0.0073	0.0123	1.06
10	第十七加载循环周期	0.0045	0.0075	0.0123	1.06
44	第二十加载循环周期	0.0045	0.0078	0.0124	1.04
12	第二十二加载循环周期	0.0046	0.0080	0.0125	1.04

3. 试验结果与分析

3.1 运行记录分析

试验期间, 滚珠丝杠副在第1应力水平与第2应力水平下均稳定运行, 未发生任何故障。

具体运行转数记录显示, 在不同日期与应力水平下, 滚珠丝杠副均能够完成设定的运行任务, 且运行转数累计达到较高水平, 表明其具有良好的耐久性与稳定性。

3.2 精度检测结果分析

3.2.1 行程变动量分析

从行程变动量的检测结果来看(如表3所示数据), 随着加载循环次数的增加, 行程变动量略有增大, 但始终保持在公差范围内。这表明滚珠丝杠副在长时间运行过程中, 其传动精度保持稳定, 未出现明显的性能退化。

3.2.2 动态预紧转矩分析

动态预紧转矩的检测结果显示, 随着加载循环次数的增加, 预紧转矩有所下降, 但同样满足使用要求。这是由于滚珠丝杠副在长时间运行过程中, 内部零件的磨损导致预紧力略有减小, 但并未影响其整体传动性能。

3.3 精度保持转数与精度保持时间计算

3.3.1 精度保持转数计算

根据两水平试验精度保持转数 T_a 的计算公式:

$$T_a = \min_{i=1 \sim m} \{N_i' + N_i''G\}$$

其中, T_a —精度保持转数, 单位为转 (r);

m —样本容量, 单位为套, $m=1$;

N_i' —第 i 个样本在第1应力水平试验结束时的总转数, 单位为转 (r);

N_i'' —第 i 个样本在第2应力水平试验结束时的总转数, 单位为转 (r);

G —加速系数, $G = S^2$;

S —负载系数, $S=2$ 。

根据试验数据, $N_i' = 2680300$ (r), $N_i'' = 2662900$ (r), 计算得到滚珠丝杠副的累计精度保持转数 $T_a = 23983500$ (r)。这一数值高于同类产品的平均水平, 表明该滚珠丝杠副具有优异的精度保持性能。

3.3.2 精度保持时间计算

根据精度保持时间 t_a 的计算公式:

$$t_a = T_a M$$

t_a —精度保持时间, 单位为小时 (h);

M —当量转换系数, 单位为小时每转 (h/r), 取值 $M = 4 \times 10^{-4}$ h/r。

计算得到精度保持时间为:

$$t_a = 9593.4 \text{ (h)}$$

在正常工作条件下, 该滚珠丝杠副能够保持高精度运行超过9000小时, 为设备的长期稳定运行提供了有力保障。

4. 结论

本文依据 JB/T 13813.4-2020 与 GB/T 17587.3-2017 标准, 对特定规格的滚珠丝杠副进行了系统的精度保持性试验。试验结果表明, 该滚珠丝杠副在两水平应力试验条件下, 累计精度保持转数达到23983500r, 精度保持时间长达9593.4小时, 且在整个试验过程中未发生故障, 精度变化均在公差范围内。这充分验证了该滚珠丝杠副在实际应用中的高可靠性与长寿命特性。

4.2 展望

未来研究可进一步拓展滚珠丝杠副的精度保持性试验范围, 考虑更多复杂工况下的性能表现, 如高温、高湿、腐蚀性环境等。同时, 结合先进的材料科学与制造技术, 探索提高滚珠丝杠副精度保持性的新途径, 以满足制造业对高精度、高效率加工的不断提升的需求。此外, 建立完善的滚珠丝杠副精度保持性数据库, 为产品的优化设计与应用推广提供更全面的数据支持, 也是未来研究的重要方向。

[参考文献]

[1] JB/T 13813.4-2020《滚动功能部件可靠性与寿命 第4部分: 滚珠丝杠副精度保持性试验规范》[S]。

[2] GB/T 17587.3-2017《滚珠丝杠副 第3部分: 验收条件和验收检验》[S]。

[3] 刘佳耀, 尹曦, 陶卫军, 米继锋. 加载条件下滚珠丝杠副精度保持性试验研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017, (05)。