

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.02.014

微型深沟球轴承径向游隙有载测量方法分析

蒋智杰, 张 斌, 章有良, 邵延峰, 周琪斌
(浙江省机电产品质量检测所, 浙江 杭州 310051)

摘要: 针对现行标准中微型深沟球轴承径向游隙的技术条件与其有载测量方法难以实现标准间的统一对接的问题, 给出了力学理论计算的方法, 对轴承径向游隙有载测量的增加量进行了分析, 利用滚动轴承径向游隙有载测量方法, 对微型球轴承作了进一步分析。研究表明, 该方法获得的理论计算结果与实际测量结果基本吻合。

关键词: 微型深沟球轴承; 径向游隙; 有载荷仪器测量法; 测量载荷; 游隙增加量

中图分类号: TH133.3 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2015)02-223-05

Analysis of the miniature deep groove ball bearing radial clearance loaded measuring method

JIANG Zhi-jie, ZHANG Bin, ZHANG You-liang, SHAO Yan-feng, ZHOU Qi-bin

(Zhejiang Testing & Inspection Institute for Mechanical and Electrical Products Quality, Hangzhou 310051, China)

Abstract: Aiming at the differences of the specifications and the loaded measuring methods for the radial clearance of miniature deep groove ball bearings among the current standards, the theoretical calculations were presented and the increment of the radial clearance was analyzed. By using the rolling bearing radial clearance loaded measuring method, the miniature deep groove ball bearing was deeply analyzed. The results indicate that the theoretical results calculated by this method basically comply with the measured values.

Key words: miniature deep groove ball bearing; radial clearance; loaded instrument measuring method; measuring load; increment of clearance

0 引 言

轴承的游隙一般定义为: 轴承一个套圈固定, 另一个套圈不受外载荷时, 沿轴承径向或轴向从一个极限位置到另一个极限位置的移动量。

根据轴承所处状态的不同, 其游隙^[1-3]又可以分为原始游隙、安装游隙和工作游隙。原始游隙是指轴承安装前自由状态时的游隙, 制造厂可按客户要求提供2、N、3、4、5共5个组别游隙的轴承。安装游隙也叫配合游隙, 是轴承与轴及轴承座安装完毕而尚未工作时的游隙, 即在原始游隙的基础上加入了轴承套圈过盈安装的影响因素, 一般安装游隙比原始游隙减小。工作游隙是指轴承在工作状态时的游隙, 工作时一般

内圈温升最大, 热膨胀量最大, 使轴承游隙进一步减小。

在实际使用中, 轴承的工作游隙将直接影响到轴承中的载荷分布、振动、噪声、摩擦力矩和寿命等。在通常情况下, 如果工作游隙偏小, 工作时的热膨胀会引起轴承内部产生附加载荷使轴承发热严重甚至卡死, 直接影响轴承的使用寿命; 如果工作游隙偏大, 则会直接导致轴承承载能力降低、旋转精度降低、振动及噪声增大。故轴承的工作游隙应在一个合适的范围内。轴承工作游隙范围确定后, 根据轴承安装后游隙减小量, 向轴承制造厂提出游隙组别要求。而轴承游隙组别的确定是通过游隙测量仪测量后确定的, 故游隙测值的准确性至关重要。而测值的准确性取决于测量方法的正确性。

收稿日期: 2014-11-04

作者简介: 蒋智杰(1985-), 男, 江苏无锡人, 主要从事轴承检测、轴承寿命试验研究及相关试验机开发方面的研究。E-mail: baiqianyu@126.com

1 微型深沟球轴承径向游隙标准值与测量方法现行标准简介

本研究述及的微型深沟球轴承^[4](以下简称微型球轴承)是指内径 2.5 mm~10 mm、外径尺寸符合 GB/T 273.3-1999 的一般用途微型轴承。

目前与微型球轴承径向游隙标准值及测量方法相关的标准有:GB/T 4604.1-2012《滚动轴承游隙第1部分:向心轴承的径向游隙》、GB/T 25769-2010《滚动轴承径向游隙的测量方法》和 JB/T 2781-2005《滚动轴承微型球轴承技术条件》3个标准。

GB/T 4604.1-2012 标准规定的所有类型轴承的游隙标准值均为无载荷游隙值,其中各组别微型球轴承无载荷游隙标准值如表1所示。

表1 GB/T 4604.1-2012标准无负荷游隙标准值

d/mm	$G_r/\mu\text{m}$									
	2组		N组		3组		4组		5组	
> ≤	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
2.5 6	0	7	2	13	8	23	-	-	-	-
6 10	0	7	2	13	8	23	14	29	20	37

GB/T 25769-2010 标准规定公称内径 $d \leq 30$ mm 的球轴承的径向游隙测量载荷为 25 N,同时规定测量载荷不应超过 $0.005 C_0$ (C_0 为轴承的额定静载荷)。经查阅和计算,本研究所述微型球轴承常规型号产品的 $0.005 C_0$ 值均小于 12 N(尺寸最大型号 639 轴承的 $0.005 C_0$ 值也仅为 11.9 N)。同时由于是有载测量,轴承内、外圈与滚动体接触处会产生弹性变形,获得的径向游隙测值会比轴承真实的原始游隙要大,所以应对所得测值进行修正,但是在 GB/T 25769-2010 标准中并未给出游隙增加量的修正值。故可判定 GB/T 25769-2010 标准中规定的径向游隙有载测量方法不

适用于微型球轴承。

分析两个国标得出的结论是:微型球轴承径向游隙只能按 GB/T 25769-2010 标准中规定的无载测量方法进行测量。因为前述游隙的重要性,轴承企业产品的游隙是百分之百检测的,虽然目前国内已有无载荷游隙测量仪器,但由于无载测量仪测量效率低,其并不能满足轴承生产企业的大批量检测需求^[5-10]。

JB/T 2781-2005 标准提出了微型球轴承各组别有载测量状态下的标准值,并规定了测量载荷,两者具体数值如表2所示。

从表2可以看出,本研究所述的9、1、2、3直径系列的微型球轴承的测量载荷为 19.6 N,同样不符合 GB/T 25769-2010 标准的规定。

同时,比较表1、表2可见,两个标准同组别游隙值规定的不一样,以本研究所述的微型球轴承 N 组游隙标准值为例,无载荷游隙标准值规定为 $2 \mu\text{m} \sim 13 \mu\text{m}$,而有载荷(19.6 N)下游隙标准值规定为 $6 \mu\text{m} \sim 15 \mu\text{m}$ 。当然,在有载测量状态下,套圈滚道与滚动体接触处会产生弹性变形,这一变形量会叠加到游隙测量值中去,故在有载测量状态下的测值应大于无载测值是正确的。但问题在于,通过比较表1、表2中各组标准值,获得如表3所示的游隙增加量,其并无规律可言,让人难以理解。例如2、N、3组标准游隙 max 值,有载荷下增加量分别为 $3 \mu\text{m}$ 、 $2 \mu\text{m}$ 、 $1 \mu\text{m}$,而4组标准游隙 max 值的有载游隙增加量却变为 $11 \mu\text{m}$ 。故微型球轴承径向游隙有载测量方法有待研究和探讨。

由于前述无载荷游隙测量仪测量效率低下的原因,目前全国几千家轴承企业均是采用有载测量的,以有载测量值减去测量载荷引起的游隙增大值后,再与 GB/T 4604.1-2012 规定的标准值比较,评定该套轴承产品的游隙组别。但现行国内标准均未给出测量载荷与游隙增大值的对应数据或关系,致使整

表2 JB/T 2781-2005标准有载测量游隙标准值与测量载荷值

轴承内径 d/mm		有载测量 径向游隙值/ μm								测量时所加 径向载荷/N		
		2组		N组		3组		4组		直径系列		
超过	到	min	max	min	max	min	max	min	max	8	9	1、2、3
-	2.5	3	8	6	13	11	18	-	-	4.9	4.9	4.9
2.5	10	3	10	6	15	14	24	20	40	4.9	19.6	19.6

表3 GB/T 4604.1-2012与JB/T 2781-2005游隙标准值比较

标准值	轴承内径 d/mm		2组		N组		3组		4组		依据标准
	超过	到	min	max	min	max	min	max	min	max	
无载荷游隙标准值/ μm			0	7	2	13	8	23	14	29	GB/T 4604.1-2012
有载荷(19.6 N)游隙标准值/ μm	6	10	3	10	6	15	14	24	20	40	JB/T 2781-2005
游隙增加量/ μm			3	3	4	2	6	1	6	11	-

个行业在游隙控制上遇到了难题。

笔者认为,开启滚动轴承径向游隙有载测量方法的进一步研究很有必要且非常迫切,包括测量载荷是否合适(主要指微型球轴承)、在某测量载荷下对应的游隙增大量该如何评估(包括所有轴承)等。本研究仅针对微型球轴承作进一步粗浅探讨。

2 微型球轴承测量载荷与游隙修正值的确定

轴承径向游隙有载测量的一般方法为(轴承径向游隙有载测量原理图如图1所示):将轴承的内圈固定,施加均匀交替的径向测量载荷(包括单向的载荷,如X092A轴承径向游隙测量仪;也包括正反双向的载荷,如X095A轴承径向游隙测量仪),使轴承外圈沿载荷方向移动,便可从仪表上读出轴承的有载游隙测值,有载游隙测值减去游隙增加量的修正值,即可获得轴承的径向无载荷游隙值(即原始游隙)。

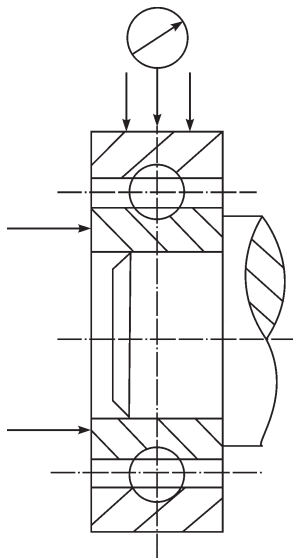


图1 轴承径向游隙有载测量原理图

2.1 测量载荷的确定

有载测量所施加的测量载荷主要有以下两个作用:

- (1) 抵消轴承外圈的重量;
- (2) 使套圈滚道与滚动体能够理想的接触。

在达到以上两个目的前提下,希望轴承套圈和滚动体产生的弹性变形越小越好,即施加的测量载荷越小越好。

本研究通过查阅轴承样本手册,获得的常规型号微型球轴承0.005 C_{0r}值如表4所示。通过建模计算可知,即使是最重型号轴承639,其外圈重量也仅约0.010 kg(0.1 N),由此可见,现行的GB/T 25769-2010和JB/T 2781-2005中给出的径向游隙有载测量的测

量载荷是明显偏大的。

考虑到目前行业普遍采用的X092A径向游隙有载测量仪的加载精度及可操作性,笔者建议对微型球轴承按表5加载测量径向游隙,个别型号0.005 C_{0r}值较小的微型球轴承建议尽量采用无载荷仪器测量。

表4 常规型号微型球轴承的0.005 C_{0r}值

序号	型号	内径 <i>d</i> /mm	外径 <i>D</i> /mm	C _{0r} /N	0.005 C _{0r} /N
1	683	3	7	112	0.6
2	633	3	13	500	2.5
3	684	4	9	189	0.9
4	634	4	16	550	2.8
5	685	5	11	319	1.6
6	635	5	19	911	4.6
7	686	6	13	438	2.2
8	636	6	22	1 368	6.8
9	687	7	14	511	2.6
10	637	7	26	2 000	10.0
11	688	8	16	716	3.6
12	638	8	28	2 000	10.0
13	689	9	17	732	3.7
14	639	9	30	2 387	11.9

表5 微型球轴承径向游隙测量载荷建议

内径 <i>d</i> /mm		测量载荷/N
>	≤	
2.5	6	3
6	10	5

2.2 游隙增加量的理论计算与确定

微型球轴承在忽略轴承外圈重量的条件下(实际操作中可使用与轴承外圈重力方向相反的一侧载荷稍大),均匀施加单向载荷所测得的轴承径向游隙值包含了轴承无载荷游隙(即原始游隙)和滚动体与套圈接触处的弹性变形(即产生的游隙增加量),所以有载测量所获得的测值 G_{rf} 与无载荷游隙存在以下关系:

$$G_{rf} = G_r + \delta_{\max} \tag{1}$$

式中: G_{rf} —有载径向游隙值; G_r —无载荷径向游隙值(原始游隙); $\delta_{\max}$ —最大载荷滚动体处的弹性变形量,包括滚动体在内圈处的变形量和滚动体在外圈处的变形量;在单方向测量载荷作用下,轴承总的游隙增加量近似为 $\delta_{\max}$ 。

最大载荷滚动体处的总弹性变形量 $\delta_{\max}$ 的计算公式为:

$$\delta_{\max} = KQ_{\max}^n \tag{2}$$

式中: K —轴承弹性变形常数; $Q_{\max}$ —最大滚动体载荷; n —球轴承, $n=2/3$ 。

对于一个给定的轴承来说,因为主曲率已知, K 是

一个常数。如认为微型球轴承内外圈滚道沟曲率半径系数相等且等于一常数,标准设计的微型球轴承的 K 值可由下式获得近似值:

$$K = 0.000\ 44/D_w^{1/3} \quad (3)$$

式中: D_w —钢球直径。

最大滚动体载荷 $Q_{\max}$ 的计算公式为:

$$Q_{\max} = \frac{F_r}{zJ_r} \quad (4)$$

式中: F_r —径向测量载荷, z —滚动体数, J_r —载荷分布积分。

其中载荷分布积分 J_r 与载荷分布参数 T 相关,如 T 已知,则 J_r 即可以通过表6所示的对应关系做线性回归(TREND法)求得。

表6 载荷分布积分 J_r 与载荷分布参数 T 的关系

T	J_r	
	球轴承	滚子轴承
0	$1/z$	$1/z$
0.05	0.882 8	0.091 0
0.10	0.115 6	0.126 8
0.15	0.139 7	0.152 8
0.20	0.159 0	0.173 6
0.25	0.175 3	0.190 9
0.30	0.189 2	0.205 5
0.35	0.201 2	0.217 9
0.40	0.211 7	0.228 6
0.45	0.220 9	0.237 6
0.50	0.228 8	0.245 3

载荷分布参数 T 的计算公式为:

$$T = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{G_r}{2\delta_{\max} + G_r} \right) \quad (5)$$

式中: $\delta_{\max}$ —最大载荷滚动体处的总弹性变形量, G_r —无负荷径向游隙值(原始游隙)。

由载荷分布参数 T 的计算公式可见:

当 $T = 0.5$ 时, $G_r = 0$, 轴承处于零游隙状态;

当 $T < 0.5$ 时, $G_r > 0$, 轴承存在游隙;

当 $T > 0.5$ 时, $G_r < 0$, 则说明轴承存在负游隙, 处于预紧状态。

以608微型深沟球轴承为例,计算其在测量载荷 $F_r = 5$ N下的游隙增加量。

对于 G_r 按GB/T 4604.1-2012标准中 N 组游隙上下限的平均值,即取 $G_r = 7.5\ \mu\text{m}$ 。

首先假设 $\delta_{\max 0} = 2\ \mu\text{m}$, 则可计算得 $T = 0.173\ 913$, 通过做线性回归(TREND法)得 $J_r = 0.148\ 930$ 。

查阅轴承设计手册608轴承 $D_w = 3.969\ \text{mm}$, $z = 7$ 颗;可计算得 $K = 0.000\ 278$, $Q_{\max} = 4.796\ 103\ \text{N}$; 因此, $\delta_{\max} = 0.790\ \mu\text{m}$ 。

此时,计算所得 $\delta_{\max}$ 与预先假设 $\delta_{\max 0}$ 值相差 $1.21\ \mu\text{m}$, 误差较大。取计算所得的 $\delta_{\max}$ 值与预先假设 $\delta_{\max 0}$ 值的中间值,即:

$\delta_{\max 1} = (2 + 0.79)/2 = 1.395\ \mu\text{m}$, 重新计算得 $\delta_{\max} = 0.853\ \mu\text{m}$;

经过5次迭代, $\delta_{\max 5} = 0.948\ \mu\text{m}$, 计算得 $\delta_{\max} = 0.934\ \mu\text{m}$, 误差为 $0.014\ \mu\text{m}$, 已足够精确。

故根据理论计算结果可以得到,在5 N测量载荷(单向)下, N 组游隙608轴承游隙增加量为 $0.9\ \mu\text{m}$ 。同样通过理论计算得到 N 组游隙608轴承在3 N测量载荷下的游隙增加量为 $0.7\ \mu\text{m}$; N 组游隙693轴承在5 N测量载荷下的游隙增加量为 $1.3\ \mu\text{m}$, 在3 N测量载荷下的游隙增加量为 $1\ \mu\text{m}$ 。

从以上例子可以看出,微型球轴承有载测量下的游隙增加量的计算方法大体可归结为:先假设一个弹性变形量 $\delta_{\max 0}$, 然后计算出一个弹性变形量 $\delta_{\max}$, 通过有限次数迭代,即可获得一个足够精确的 $\delta_{\max}$ 。如施加的是单向测量载荷,游隙增加量近似计为 $\delta_{\max}$; 如施加的是双向交替的测量载荷,游隙增加量则近似计为 $2\delta_{\max}$ 。

3 实测结果验证

为了验证上节游隙增加量理论计算结果的正确性,本研究分别采用轴承径向游隙有载荷测量仪X092A和无载荷测量仪X093JB对 N 组游隙693、608轴承进行实际测量,结果如表7所示。

从表7可见,693两套轴承在3 N测量载荷下的测值的平均值比无载荷测值增加了 $1\ \mu\text{m}$, 在5 N测量载荷下增加了 $1.75\ \mu\text{m}$, 与上节理论计算值($1\ \mu\text{m}$ 和 $1.3\ \mu\text{m}$) 非常接近;608两套轴承在3 N测量载荷下的测值平均值比无负荷测值增加了 $0.625\ \mu\text{m}$, 在5 N测量载荷下增

表7 N 组游隙693、608轴承径向游隙实测结果

轴承 型号	编号	无载测 量值/ μm	3 N游隙测值/ μm		5 N游隙测值/ μm		3 N游隙增加量/ μm		5 N游隙增加量/ μm	
			载荷正对 钢球	载荷正对 钢球间	载荷正对 钢球	载荷正对 钢球间	载荷正对 钢球	载荷正对 钢球间	载荷正对 钢球	载荷正对 钢球间
693	1#	8	9.0	9.5	9.5	10.5	0.75	1.25	1.25	2.25
	2#	12	12.5	13	13	14				
608	1#	9.5	10	10	10	10.5	0.5	0.75	0.75	1.0
	2#	13	13.5	14	14	14				

加了0.875 μm ,与上节理论计算值(0.7 μm 和0.9 μm)也非常接近,证实上节计算方法可行。

4 结束语

本研究通过力学理论计算方法对轴承径向游隙测量进行分析,得出以下两个结论。

(1) 现行标准,无论是GB/T 25769-2010还是JB/T 2781-2005,所规定的微型深沟球轴承径向游隙测量载荷明显偏大,不符合GB/T 25769-2010标准的规定。笔者建议SAC/TC98及时组织修订。

(2) GB/T 25769-2010标准中应增加深沟球轴承径向游隙有载测量修正值,以方便标准用户,使验收标准统一。对微型深沟球轴承径向游隙的有载测量游隙增加量的修正值,笔者建议可按表8所示的测量载荷和游隙修正值执行。

表8 建议的测量载荷和游隙修正值

d/mm		有载测量径向游隙修正值/ μm					测量载荷/ N
$>$	$\leq$	2组	N组	3组	4组	5组	所有直径系列
2.5	6	1	1	1	—	—	3
6	10	1	1	1	2	2	5

注:载荷的精度为测量载荷值的 $\pm 5\%$ 。

本文引用格式:

蒋智杰,张 斌,章有良,等. 微型深沟球轴承径向游隙有载测量方法分析[J]. 机电工程,2015,32(2):223-227.

JIANG Zhi-jie, ZHANG Bin, ZHANG You-liang, et al. Analysis of the miniature deep groove ball bearing radial clearance loaded measuring method [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(2): 223-227.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

参考文献(References):

- [1] 刘泽九,贺士荃,李兴林,等. 滚动轴承应用手册[M]. 北京:机械工业出版社,1996.
- [2] 于桂臻,张世哈. 对小型向心球轴承径向游隙测量时量值统一的几点探讨[J]. 计量与测试技术,2002(5):14-15.
- [3] 王广辉,姚银歌,张海杰,等. 圆锥孔双列圆柱滚子轴承装配游隙的应用分析[J]. 机电工程技术,2013(5):127-129.
- [4] ZX Bearing. ZXB 微型深沟球轴承选型手册[Z]. ZXBearing, 2005.
- [5] 龚弋飞,郭 旭,迟 艳,等. 轴承冲洗机设计[J]. 液压气动与密封,2013(12):46-47.
- [6] 张梅军,韩思晨,石文磊,等. IMF分量的倒频谱分析在滚动轴承故障诊断中的应用[J]. 液压气动与密封,2012(3):33-35.
- [7] 徐 林. M7120型平面磨床主轴轴承静压改造[J]. 液压气动与密封,2012(4):58-60.
- [8] 徐金梧,徐 科. 小波变换在滚动轴承故障诊断中的应用[J]. 机械工程学报,1997(4):50-55.
- [9] 张梅军,韩思晨,王 闯,等. 基于EMD分解的聚类树状图轴承故障诊断[J]. 机械,2012(7):1-4.
- [10] 李曙光,刘 波,王 斌,等. EMD降噪和关联维数相结合在滚动轴承故障诊断中的应用[J]. 液压气动与密封,2011(4):33-35.

[编辑:洪炜娜]

(上接第222页)

参考文献(References):

- [1] 孙新宇,孙林岩,汪应洛,等. 先进制造模式在我国应用的实证研究[J]. 工业工程与管理,2005,8(2):6-9.
- [2] 胡开顺,叶邦彦,王卫平,等. 企业集群化与制造系统敏捷化策略的拓展[J]. 工业工程,2007,10(1):6-10.
- [3] KHALAF R E H, AGARD B, PENZ B. An experimental study for the selection of modules and facilities in a mass customization context[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2010, 21(6):703-716.
- [4] 洪 巍,周 晶. 基于系统分析的企业虚拟组织与大型工程组织对比研究[J]. 系统科学学报,2014,22(3):50-53.
- [5] 张根保,付兴林,朱瑜庆,等. 汽车制造企业精益生产系统

模型[J]. 机械工程学报,2010,46(2):93-98,105.

- [6] SU J C P, CHANG Y L, FERGUSON M. Evaluation of postponement structures to accommodate mass customization [J]. Journal of Operations Management, 2005, 23 (3-4):305-318.
- [7] SMITH S, SMITH G C, JIAO R. Mass customization in the product life cycle[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2013, 24(5):877-885.
- [8] 王 磊,李国富,叶飞帆. 价值分析方法在课程体系优化中的应用研究[J]. 宁波大学学报,2014,27(2):125-127.
- [9] 罗伯特B. 斯图尔特,邱婉华. 价值工程方法基础[M]. 北京:机械工业出版社,2007.

[编辑:李 辉]