

ICS 21.100.20

J 11

JB

中华人民共和国机械行业标准

JB/T 10510—2005

滚动轴承材料接触疲劳试验方法

Test method for contact fatigue of rolling bearing material

2005-05-18 发布

2005-11-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 术语和定义	1
3 试验原理	2
4 试验机	2
4.1 技术条件	2
4.2 安装与调试	2
4.3 润滑	2
5 试样制备	2
5.1 试样选材	2
5.2 试样加工	2
5.3 试样检验	2
5.4 试样存放	2
6 试验方法	2
6.1 子样数量的选择	2
6.2 试验方案的选择	3
6.3 试验应力的选择	3
6.4 接触应力的计算	3
6.5 试样安装	3
6.6 加载	3
6.7 交叉试验	3
6.8 疲劳失效判别	3
6.9 试验数据的取舍	3
7 数据处理方法	4
8 试验结果数值的修约	4
9 试验结果的评定	4
10 试验记录及报告	4
10.1 试验记录	4
10.2 试验报告	4
附录 A (资料性附录) 推荐试样的形状和尺寸	5
附录 B (规范性附录) 接触疲劳试验数据处理方法	5
B.1 接触疲劳试验数据的处理	5
B.2 不同破坏概率下相应的接触疲劳寿命	6
B.3 $P-S-N$ 曲线的参数估计	6
附录 C (规范性附录) GCr15 轴承钢球的接触疲劳寿命评定	6
C.1 GCr15 轴承钢球的接触疲劳寿命	6
C.1.1 GCr15 轴承钢球 $P-S-N$ 曲线的参数估计	6
C.1.2 GCr15 轴承钢球的 $P-S-N$ 曲线	7

C.2	GCr15 轴承钢球的接触疲劳寿命评定.....	7
C.2.1	利用公式评定 GCr15 轴承钢球的接触疲劳寿命.....	7
C.2.2	利用 GCr15 轴承钢球的 $P-S-N$ 曲线评定 GCr15 轴承钢球的接触疲劳寿命.....	8
附录 D	(资料性附录) 接触疲劳试验记录表.....	8
图 A.1	推荐试样的形状和尺寸.....	5
图 C.1	GCr15 轴承钢球的 $P-S-N$ 曲线.....	7
表 C.1	GCr15 轴承钢球 $P-S-N$ 曲线的参数估计结果.....	7

前 言

本标准是首次制定。

本标准中的附录 B 和附录 C 为规范性附录，附录 A 和附录 D 为资料性附录。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国滚动轴承标准化技术委员会（SAC/TC98）归口。

本标准负责起草单位：洛阳轴承研究所。

本标准参加起草单位：万向集团技术中心。

本标准主要起草人：高元安、雷建中、郭增均、仇亚军、郑晓敏、吴苏平。

滚动轴承材料接触疲劳试验方法

1 范围

本标准规定了滚动轴承材料接触疲劳试验的术语、试验原理、试验机、试样制备、试验方法、数据处理、数值修约和试验记录及报告。

本标准适用于测定滚动轴承材料的接触疲劳性能。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

2.1

接触应力 **contact stress**

S

接触物体之间集中于局部接触区的相互压力而产生的应力。

2.2

接触疲劳 **contact fatigue**

试样的局部接触区在循环接触应力作用下产生疲劳裂纹，经一定循环次数后，接触表面、浅层或深层发生疲劳剥落的过程。

2.3

接触疲劳寿命 **contact fatigue life**

N

试样在循环接触应力作用下发生接触疲劳剥落失效时所承受的应力循环次数。

2.4

特征寿命 **characteristic life**

V_s

服从威布尔分布，破坏概率为 63.2% 时子样的接触疲劳寿命。

2.5

额定寿命 **rating life**

L_{10}

服从威布尔分布，破坏概率为 10% 时子样的接触疲劳寿命。

2.6

中值寿命 **median life**

L_{50}

服从威布尔分布，破坏概率为 50% 时子样的接触疲劳寿命。

2.7

斜率参数 **slope parameter**

b

服从威布尔分布， $\lg \lg \left[\frac{1}{1 - P(N)_s} \right]$ 对 $(\lg N - \lg V_s)$ 直线的斜率。它表示该组子样接触疲劳寿命的离

散程度和稳定性。

3 试验原理

将一恒定的试验载荷施加于滚动接触的试样表面，借助主轴的旋转，使其接触表面受到循环接触应力的作用，测定试样接触疲劳寿命。

4 试验机

4.1 技术条件

4.1.1 冷却油的进口油温为 5℃~40℃。

4.1.2 工作载荷应大于 196N，误差不应超过±1%。

4.1.3 主轴转速为 2000 r/min~3000 r/min。

4.1.4 主轴径向全跳动不应大于 0.01mm，端面全跳动不应大于 0.01mm。

4.2 安装与调试

4.2.1 安装

4.2.1.1 试验机应安装在通风、防尘、防震、无腐蚀的干燥试验室内。

4.2.1.2 试验机应有牢固的混凝土地基，纵横两个方向应调整水平。

4.2.2 调试

试验机在每次试验前应进行调试，使其符合试验要求。载荷系统应每年校验一次。

4.3 润滑

4.3.1 应采用 N32 油润滑。

4.3.2 每批（次）试验前应对试验用油进行运动粘度、机械杂质和水分检验，不符合试验要求时，应及时更换。

4.3.3 调整好供油阀门使试样完全润滑。

4.3.4 试验过程中润滑出口油温应低于 55℃。

4.3.5 试验过程中要严防灰尘等杂物进入油箱或试验机内，试验机供油系统应采用 <10μm 的过滤网对试验用油进行过滤。

5 试样制备

5.1 试样选材

试验材料应进行检验，并出具检验合格报告。不同材料的对比试验，应采用相同或相近规格的材料；不同工艺的对比试验，应采用同一炉号、同一批次、同一规格的材料。

5.2 试样加工

试样按试验要求加工。加工过程中应防止磨削烧伤、磨削裂纹等加工缺陷。推荐的试样形状和尺寸参见附录 A。

5.3 试样检验

应对试样的尺寸公差、表面粗糙度、硬度（钢球除外）、无损探伤进行 100% 的检查，且应满足试验需要。钢球的硬度进行抽检，抽检比例为每批次钢球抽检 10%。每批次钢球少于 30 粒时，则取三粒进行抽检。

5.4 试样存放

经检验符合试验要求的试样和陪试件进行清洗、防锈处理后，存放于无腐蚀介质的室温环境中。

6 试验方法

6.1 子样数量的选择

6.1.1 筛选试验，子样数量不应少于六个；定性比较，子样数量不应少于 12 个。

6.1.2 高可靠性试验，子样数量不应少于 16 个。

6.2 试验方案的选择

6.2.1 筛选试验和定性比较试验建议测定 $P-N$ 曲线；高可靠性试验需测定 $P-S-N$ 曲线。

6.2.2 测定 $P-N$ 曲线可进行完全失效试验。寿命较长或多台试验机的情况下，可采用定数截尾试验，截尾数量不大于子样数量的 20%。

6.3 试验应力的选择

6.3.1 同一应力水平下的对比试验，试验应力应选择偏于零件实际工作应力范围的上限。

6.3.2 测定 $P-S-N$ 曲线，应在零件实际工作应力范围内选择 4 级~5 级应力水平。最低试验应力应选择实际工作应力的下限，然后逐级上升确定各级试验应力，级差可采用 300MPa。

6.3.3 特殊工艺及材料的试验，试验应力可根据工作应力相应调整。

6.4 接触应力的计算

点接触最大应力按下式计算：

$$\sigma_{\max} = \frac{852.6}{\alpha \cdot \beta} \sqrt[3]{(\Sigma\rho)^2 \cdot F}$$

式中：

σ_{\max} ——最大接触应力，单位为 MPa；

F ——接触点所受法向载荷，单位为 N；

$\Sigma\rho$ ——试样与陪试件接触处的主曲率之和， $\Sigma\rho = \rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22}$ ，单位为 mm^{-1} ；

α 、 β ——点接触变形系数。

6.5 试样安装

6.5.1 试样与陪试件安装前，应用汽油清洗干净。

6.5.2 试样与陪试件在安装过程中，不可敲击工作面。

6.5.3 试样与陪试件安装到位后，不应有转动和偏斜。

6.6 加载

6.6.1 试样安装好后，加预载荷，调节杠杆水平。

6.6.2 启动油泵电动机，调节流量。

6.6.3 开主机，缓慢施加主载荷。

6.6.4 试样或陪试件疲劳后，先卸载，后停车。

6.6.5 应注意以下两点：

- a) 不可带主载荷开机、停机（自动停机除外）；
- b) 试验过程中应保持载荷恒定，无特殊情况不得中途停车。

6.7 交叉试验

6.7.1 台次交叉

当一组试样在多台试验机上试验时，每台试验机上试验的试样数量应相等或相近。

6.7.2 时间交叉

当几组或几种应力试验时，在每台试验机上要有序循环进行。

6.8 疲劳失效判别

6.8.1 试样应力循环带上出现疲劳剥落总面积 $\geq 0.5\text{mm}^2$ 时，即判该试样失效。

6.8.2 陪试件出现疲劳剥落总面积 $\geq 0.2\text{mm}^2$ 时，即判该陪试件失效。

6.8.3 特殊试验的疲劳失效判别，可根据试验目的确定。

6.9 试验数据的取舍

6.9.1 出现下列情况之一者，试验数据舍去：

- a) 载荷吊杆刀口脱出导致杠杆比发生变化，载荷不准；
- b) 润滑油流量不足导致试样表面烧伤；

- c) 主轴轴圈或试样松动，影响了试样应力循环次数与轨迹；
 - d) 支承座安装不好，应力循环带一边宽一边窄；
 - e) 主轴轴承疲劳剥落或主轴变形，发生强烈振动；
 - f) 陪试件疲劳剥落，损伤了试样表面；
 - g) 试样应力循环带上出现疲劳剥落总面积 $>5\text{mm}^2$ ，陪试件出现疲劳剥落总面积 $>3\text{mm}^2$ 。
- 6.9.2 出现下列情况之一者，分析处理：
- a) 个别寿命特别长或特别短的试验数据，查找原因，分析处理；
 - b) 由于停电、带载荷停车等原因造成试验记录时间不清楚，可进行核对；停、开车时间超过 10min，该试验数据舍去。

7 数据处理方法

接触疲劳试验数据处理方法见附录 B。

8 试验结果数值的修约

接触疲劳试验数据计算过程与计算结果按数值修约原则保留小数点后四位有效数字。

9 试验结果的评定

- 9.1 不同材料及不同工艺的对比试验的结果，应根据试验的要求进行评定。
- 9.2 GCr15 轴承钢球的试验结果，应按附录 C 进行评定。

10 试验记录及报告

10.1 试验记录

试验进行过程中应有试验记录表，其格式参见附录 D。

10.2 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 试验目的；
- b) 试验材料的原始状态（牌号、供货状态、炉号、规格）及热处理工艺；
- c) 试样与陪试件的状态（形状、尺寸、表面粗糙度、硬度等）；
- d) 试验条件（试验机型号、转速、接触应力、润滑等）；
- e) 数据处理方法；
- f) 测定的接触疲劳性能结果（斜率参数 b 、特征寿命 V_s 、额定寿命 L_{10} 、中值寿命 L_{50} 及绘制的 $P-N$ 曲线和 $P-S-N$ 曲线）。

附录 A
(资料性附录)
推荐试样的形状和尺寸

推荐试样的形状和尺寸见图 A.1。

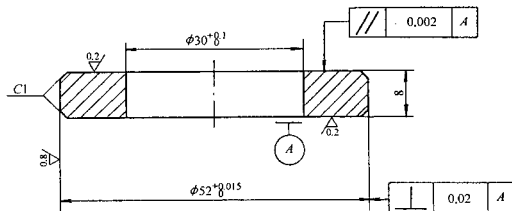


图 A.1 推荐试样的形状和尺寸

附录 B
(规范性附录)
接触疲劳试验数据处理方法

B.1 接触疲劳试验数据的处理

接触疲劳寿命服从两参数韦布尔函数:

$$P(N)_s = 1 - e^{-N/V_s \cdot b} \dots\dots\dots (B.1)$$

其对数形式为:

$$\lg \lg \left[\frac{1}{1 - P(N)_s} \right] = b(\lg N - \lg V_s) - 0.36222 \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

$P(N)_s$ ——在某一试验应力水平 S 下, 试样寿命小于 N 的概率, %。

韦布尔分布函数的两个参数 b 和 V_s , 采用最佳线性不变估计方法进行数据处理:

$$\left. \begin{aligned} b &= \frac{1}{2.3026 \sum_{i=1}^n C_i(n, r, i) \lg N_i} \\ \lg V_s &= \sum_{i=1}^n D_i(n, r, i) \lg N_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

C_i 、 D_i ——最佳线性不变估计系数。

B.2 不同破坏概率下相应的接触疲劳寿命

不同破坏概率 $P=0.01, 0.05, 0.10, 0.50$ 下其相应的接触疲劳寿命 L_1, L_5, L_{10}, L_{50} 按下列公式计算:

$$L_1 = V_s (0.01005)^{1/b} \dots\dots\dots (B.4)$$

$$L_5 = V_s (0.05129)^{1/b} \dots\dots\dots (B.5)$$

$$L_{10} = V_s (0.10536)^{1/b} \dots\dots\dots (B.6)$$

$$L_{50} = V_s (0.69315)^{1/b} \dots\dots\dots (B.7)$$

B.3 P—S—N曲线的参数估计

接触疲劳寿命试验的试验应力 S 与试样寿命 N 之间有如下函数关系:

$$N = C \cdot S^{-m} \dots\dots\dots (B.8)$$

式中的 C 和 m 为试验待定参数。确定 C 和 m 的步骤如下:

- 根据以上公式计算求得各试验应力下的等概率寿命, 得到 n 组数据对 (X_i, Y_i) ;
- 用最小二乘法确定参数 C 和 m 。其公式为:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{m} &= \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \\ \frac{1}{m} \lg C &= \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n Y_i + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n X_i) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (B.9)$$

式中:

$X_i = \lg N_i$;

$Y_i = \lg S_i$;

n ——数据对的数目。

- 分别对各种失效概率求出相应的参数 C 和 m , 即可确定各种等概率试验应力与试样寿命的关系式 $N = C \cdot S^{-m}$, 绘出相应的 $P-S-N$ 曲线。

附录 C

(规范性附录)

GCr15 轴承钢球的接触疲劳寿命评定

C.1 GCr15 轴承钢球的接触疲劳寿命

C.1.1 GCr15 轴承钢球 $P-S-N$ 曲线的参数估计

GCr15 轴承钢球 $P-S-N$ 曲线的参数估计结果见表 C.1。

表 C.1 GCr15 轴承钢球 P—S—N 曲线的参数估计结果

估计参数	破坏概率 P			
	0.01	0.05	0.10	0.50
C	1.8932×10^{36}	6.2232×10^{31}	1.6695×10^{30}	2.4513×10^{25}
m	7.9564	6.6272	6.1492	4.7059
$N=C \cdot S^{-m}$	$N=1.8932 \times 10^{36} \cdot S^{-7.9564}$	$N=6.2232 \times 10^{31} \cdot S^{-6.6272}$	$N=1.6695 \times 10^{30} \cdot S^{-6.1492}$	$N=2.4513 \times 10^{25} \cdot S^{-4.7059}$

注: C 、 m 为试验待定参数。

C.1.2 GCr15 轴承钢球的 P—S—N 曲线

GCr15 轴承钢球的 P—S—N 曲线见图 C.1。

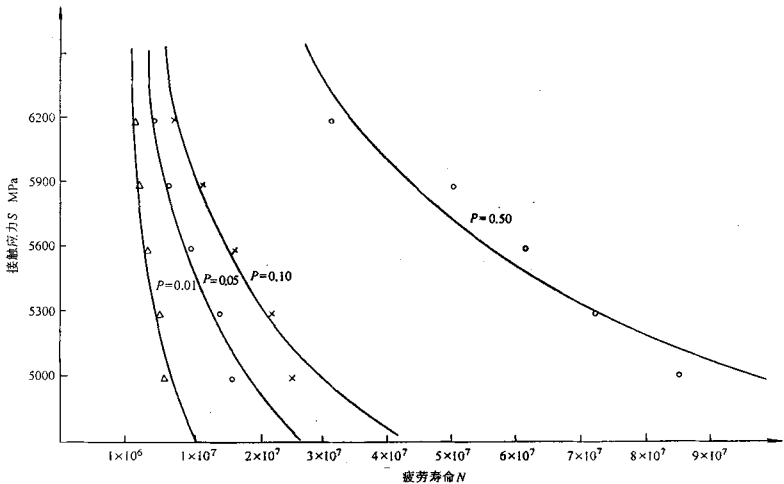


图 C.1 GCr15 轴承钢球的 P—S—N 曲线

C.2 GCr15 轴承钢球的接触疲劳寿命评定

C.2.1 利用公式评定 GCr15 轴承钢球的接触疲劳寿命

根据表 1 中不同破坏概率下接触应力 S 与寿命 N 的关系式, 对 GCr15 轴承钢球的接触疲劳寿命进行评定。

示例: 某钢厂对该厂生产的 1/2in 钢球进行五球式寿命试验, 若选择试验接触应力 S 为 5400MPa, 则:

$P=0.10$ 时:

$$\begin{aligned} N &= 1.6695 \times 10^{30} \cdot S^{-6.1492} \\ &= 1.6695 \times 10^{30} \cdot 5400^{-6.1492} \\ &= 1.8679 \times 10^7 \end{aligned}$$

即 $L_{10} = 1.8679 \times 10^7$ 次

$P=0.50$ 时:

$$\begin{aligned} N &= 2.4513 \times 10^{25} \cdot S^{-4.7059} \\ &= 2.4513 \times 10^{25} \cdot 5400^{-4.7059} \end{aligned}$$

$$=6.6854 \times 10^7$$

即 $L_{90} = 6.6854 \times 10^7$ 次

C.2.2 利用GCr15轴承钢球的P—S—N曲线评定GCr15轴承钢球的接触疲劳寿命

根据图 C.1 选取测定钢球接触疲劳寿命的参数或评定所测定的钢球接触疲劳寿命。

附录 D

(资料性附录)

接触疲劳试验记录表

年 月 日

试验机型号				试样与陪试件编号			
试样材料				试验机转速			
润滑情况				试验载荷			
接触应力				试样与陪试件硬度			
试样直径				试样形状			
序号	日期	开机时间	停机时间	间歇时间	检查情况		
	年 月 日	时 分	时 分	时 分			
	年 月 日	时 分	时 分	时 分			
	年 月 日	时 分	时 分	时 分			
	年 月 日	时 分	时 分	时 分			
	年 月 日	时 分	时 分	时 分			
	年 月 日	时 分	时 分	时 分			
	年 月 日	时 分	时 分	时 分			
	年 月 日	时 分	时 分	时 分			
	年 月 日	时 分	时 分	时 分			
	年 月 日	时 分	时 分	时 分			
	年 月 日	时 分	时 分	时 分			

试验结果:

寿命:

试样失效特征:

报告:

校对:

审核: