



中华人民共和国国家标准

GB/T 39271.2—2020/ISO 20056-2:2017

滚动轴承 陶瓷滚动体混合轴承的 额定载荷 第2部分:额定静载荷

Rolling bearings—Load ratings for hybrid bearings with rolling elements made
of ceramic—Part 2: Static load ratings

(ISO 20056-2:2017, IDT)

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
滚动轴承 陶瓷滚动体混合轴承的
额定载荷 第 2 部分:额定静载荷
GB/T 39271.2—2020/ISO 20056-2:2017

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2020 年 11 月第一版

*

书号: 155066 · 1-65996

版权专有 侵权必究

前 言

GB/T 39271《滚动轴承 陶瓷滚动体混合轴承的额定载荷》分为 2 个部分：

——第 1 部分：额定动载荷；

——第 2 部分：额定静载荷。

本部分为 GB/T 39271 的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用翻译法等同采用 ISO 20056-2:2017《滚动轴承 陶瓷滚动体混合轴承的额定载荷 第 2 部分：额定静载荷》。

与本部分中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

——GB/T 4662—2012 滚动轴承 额定静载荷(ISO 76:2006, IDT)

——GB/T 6930—2002 滚动轴承 词汇(ISO 5593:1997, IDT)

本部分由中国机械工业联合会提出。

本部分由全国滚动轴承标准化技术委员会(SAC/TC 98)归口。

本部分起草单位：洛阳轴承研究所有限公司、浙江五洲新春集团股份有限公司、慈兴集团有限公司、重庆长江轴承股份有限公司、上海天安轴承有限公司。

本部分主要起草人：李飞雪、杜晓宇、李小锋、宋丽、赵兴新、庄仁杰、马仁杰。

引 言

混合轴承是滚动体由氮化硅制成、套圈由常用轴承钢制成的滚动轴承(其定义见 ISO 5593)。由于陶瓷滚动体具有较高的弹性模量,在承受同样载荷的条件下,与钢制滚动体轴承相比,混合轴承具有更小的接触椭圆,这将导致在同样载荷下接触应力提高。

由于 1987 年发布的 ISO 76 的第二版,滚动轴承的静承载能力是通过最大滚动体载荷接触处允许的赫兹接触应力确定的。钢制滚动轴承中,该接触应力导致滚道和滚动体接触处产生约 1/10 000 倍滚动体直径的永久塑性变形;而在混合轴承中,滚动体上未发生明显的塑性变形,故造成滚动接触处的总塑性变形较小。因此,根据工业实践,对混合轴承规定了略高的允许的赫兹应力,也相应地提高了静安全系数 S_0 的参考值,以维持和滚道同样的总安全度。

滚动轴承 陶瓷滚动体混合轴承的 额定载荷 第2部分:额定静载荷

1 范围

GB/T 39271 的本部分规定了轴承套圈由当代常用高质量淬硬轴承钢且按良好加工方法制成、滚动体由当代常用高质量氮化硅(Si_3N_4)制成的混合轴承的额定静载荷的计算方法。ISO 3290-2^[1]和 ISO 26602^[4]适用于陶瓷球;ISO 12297-2^[2]和 ISO 26602^[4]适用于陶瓷滚子。

使用混合轴承的场合,静安全系数 S_0 的参考值参见表 1 和表 2。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

ISO 76:2006 滚动轴承 额定静载荷(Rolling bearings—Static load ratings)

ISO 5593 滚动轴承 词汇(Rolling bearings—Vocabulary)

3 术语和定义

ISO 5593 和 ISO 76 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 维护的标准化工作中使用的术语数据库网址如下:

——ISO 在线浏览平台:<https://www.iso.org/obp>

——IEC 电工百科:<http://www.electropedia.org/>

3.1

径向基本额定静载荷 basic static radial load rating

C_{0r}

在最大载荷滚动体和滚道接触中心处产生下列计算接触应力所对应的径向静载荷:

——4 600 MPa 向心球轴承,包括调心球轴承;

——4 200 MPa 向心滚子轴承。

注 1: 对于单列角接触球轴承,径向额定静载荷指引起轴承套圈相互间纯径向位移的载荷的径向分量。

注 2: 本定义中给出的接触应力极限仅对由弹性模量为 300 000 MPa 或更高的氮化硅制成的滚动体有效;对于由较低弹性模量的陶瓷制成的滚动体,ISO 76 中的接触应力极限适用。

3.2

轴向基本额定静载荷 basic static axial load rating

C_{0a}

在最大载荷滚动体和滚道接触中心处产生下列计算接触应力所对应的中心轴向静载荷:

——4 600 MPa 推力球轴承;

——4 200 MPa 推力滚子轴承。

注 1: 对于圆锥滚子,适用的滚子直径等于滚子大端和小端假想的理论尖角处直径的平均值。

注 2: 对于非对称球面滚子,适用的滚子直径为零载荷下滚子与无挡边滚道接触点处直径的近似值。

注3:本定义中给出的接触应力极限仅对由弹性模量为300 000 MPa或更高的氮化硅制成的滚动体有效;对于由较低弹性模量的陶瓷制成的滚动体,ISO 76中的接触应力极限适用。

4 符号

下列符号适用于本文件。

C_0 :基本额定静载荷,N

C_{0a} :轴向基本额定静载荷,N

C_{0r} :径向基本额定静载荷,N

D_{pw} :球组或滚子组节圆直径,mm

D_w :球公称直径,mm

D_{we} :用于额定载荷计算的滚子直径,mm

E_{Ce} :陶瓷弹性模量,MPa($E_{Ce}=300\ 000\text{ MPa}$)

E_{St} :轴承钢弹性模量,MPa(根据ISO 76, $E_{St}=270\ 000\text{ MPa}$)

$E(\chi)$:第二类完全椭圆积分

F_a :轴承轴向载荷(轴承实际载荷的轴向分量),N

F_r :轴承径向载荷(轴承实际载荷的径向分量),N

$F(\rho)$:相对曲率差

f_0 :基本额定静载荷的计算系数

i :滚动体的列数

$K(\chi)$:第一类完全椭圆积分

L_{we} :用于额定载荷计算的滚子有效长度,mm

P_{0a} :轴向当量静载荷,N

P_{0r} :径向当量静载荷,N

r_e :外圈或座圈沟曲率半径,mm

r_i :内圈或轴圈沟曲率半径,mm

S_0 :静安全系数

w :不同材料组合的修正系数

X_0 :径向静载荷系数,N

Y_0 :轴向静载荷系数,N

Z :单列轴承中的滚动体数;每列滚动体数相同的多列轴承中的每列滚动体数

α :公称接触角, $^\circ$

γ :辅助参数, $\gamma=D_w \times \cos\alpha/D_{pw}$

ν_{Ce} :陶瓷滚动体泊松比($\nu_{Ce}=0.26$)

ν_{St} :轴承钢泊松比(根据ISO 76, $\nu_{St}=0.30$)

$\sum\rho$:曲率和, mm^{-1}

φ :滚动体的角位置, $^\circ$

χ :接触椭圆长半轴与短半轴之比

5 额定静载荷

5.1 总则

混合轴承的额定静载荷采用公式(1)~公式(12)计算。这些公式和3.1、3.2中给出的接触应力极

限仅对由弹性模量为 300 000 MPa 或更高的氮化硅制成的滚动体有效;对于由较低弹性模量的陶瓷制成的滚动体,ISO 76 中的接触应力极限适用。

5.2 向心球轴承的径向基本额定静载荷

混合向心球轴承的径向基本额定静载荷由公式(1)~公式(4)给出:

$$C_{0r} = f_0 \times i \times Z \times D_w^2 \times \cos\alpha \quad \dots\dots\dots (1)$$

其中:

$$f_0 = \min\{f_{0,i}, f_{0,e}\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$f_{0,i} = 2.295\ 96 \times \chi_i \times \left[\frac{E(\chi_i)}{2 + \frac{\gamma}{1-\gamma} - \frac{D_w}{2 \times r_i}} \right] \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$f_{0,e} = 2.295\ 96 \times \chi_e \times \left[\frac{E(\chi_e)}{2 - \frac{\gamma}{1+\gamma} - \frac{D_w}{2 \times r_e}} \right] \quad \dots\dots\dots (4)$$

赫兹参数 χ 和 $E(\chi)$ 的计算在附录 A 中说明,系数 f_0 的参考值在附录 B 表 B.1 中给出。

混合调心球轴承的径向基本额定静载荷由公式(5)、公式(6)给出:

$$C_{0r} = f_0 \times i \times Z \times D_w^2 \times \cos\alpha \quad \dots\dots\dots (5)$$

其中:

$$f_0 = 2.295\ 96 \times \left[\frac{\pi}{4} \times (1 + \gamma) \right]^2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

系数 f_0 的参考值在表 B.1 中给出。

5.3 推力球轴承的轴向基本额定静载荷

混合推力球轴承的轴向基本额定静载荷由公式(7)~公式(10)给出:

$$C_{0a} = f_0 \times Z \times D_w^2 \times \sin\alpha \quad \dots\dots\dots (7)$$

其中:

$$f_0 = \min\{f_{0,i}, f_{0,e}\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$f_{0,i} = 11.479\ 8 \times \chi_i \times \left[\frac{E(\chi_i)}{2 + \frac{\gamma}{1-\gamma} - \frac{D_w}{2 \times r_i}} \right] \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$f_{0,e} = 11.479\ 8 \times \chi_e \times \left[\frac{E(\chi_e)}{2 - \frac{\gamma}{1+\gamma} - \frac{D_w}{2 \times r_e}} \right] \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

Z ——在一个方向上承受载荷的球数。

赫兹参数 χ 和 $E(\chi)$ 的计算在附录 A 中说明,系数 f_0 的参考值在表 B.1 中给出。

5.4 向心滚子轴承的径向基本额定静载荷

混合向心滚子轴承的径向基本额定静载荷由公式(11)给出:

$$C_{0r} = 41.586\ 2 \times \left(1 - \frac{D_{we} \times \cos\alpha}{D_{pw}} \right) \times i \times Z \times L_{we} \times D_{we} \times \cos\alpha \quad \dots\dots\dots (11)$$

5.5 推力滚子轴承的轴向基本额定静载荷

混合推力滚子轴承的轴向基本额定静载荷由公式(12)给出:

$$C_{0a} = 207,931 \times \left(1 - \frac{D_{we} \times \cos \alpha}{D_{pw}} \right) \times Z \times L_{we} \times D_{we} \times \sin \alpha \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

Z ——在一个方向上承受载荷的滚子数。

5.6 额定载荷的间断点

额定载荷的间断点参见附录 C。

5.7 特殊材料性能的考虑

特殊材料性能的考虑参见附录 D。

6 当量静载荷

6.1 总则

径向静载荷系数 X_0 和轴向静载荷系数 Y_0 值的推导在 ISO/TR 10657:1991^[5] 的第 4 章中给出描述,其中所用的各公式几乎与滚动体和滚道材料的弹性模量和泊松比无关,因此,通过该推导得出的数值也对陶瓷滚动体混合轴承有效。

6.2 向心球轴承

对于当量静载荷的计算,ISO 76:2006 的 5.2 中给出的系数和公式适用。

6.3 推力球轴承

对于当量静载荷的计算,ISO 76:2006 的 6.2 中给出的系数和公式适用。

6.4 向心滚子轴承

对于当量静载荷的计算,ISO 76:2006 的 7.2 中给出的系数和公式适用。

6.5 推力滚子轴承

对于当量静载荷的计算,ISO 76:2006 的 8.2 中给出的系数和公式适用。

7 静安全系数

建议检验基本额定静载荷是否足以达到应用的性能要求,此时可根据 ISO 76:2006 的公式(14)和公式(15)计算静安全系数 S_0 。

表 1、表 2 中给出了各种工况及应用条件(要求运转平稳、无振动)下的 S_0 参考值,其适用于旋转轴承且是基于经验得出的。

对于其他特殊的运转条件,宜向轴承制造厂咨询,以确定适用的 S_0 参考值。

表 1 混合球轴承静安全系数 S_0 的参考值

工作条件	S_0 min
平稳运转条件： 运转平稳、无振动 ^a 、旋转精度高	2.6
正常运转条件： 运转平稳、无振动 ^a 、旋转精度正常	1.3
承受冲击载荷条件： 显著的冲击载荷 ^b	2
^a 技术上没有完全无振动轴承。 ^b 当冲击载荷大小未知时， S_0 值至少取 2；如果冲击载荷的大小精确可知，可采用更小的 S_0 值。	

表 2 混合滚子轴承静安全系数 S_0 的参考值

工作条件	S_0 min
平稳运转条件： 运转平稳、无振动 ^a 、旋转精度高	3.3
正常运转条件： 运转平稳、无振动 ^a 、旋转精度正常	1.7
承受冲击载荷条件： 显著的冲击载荷 ^b	3.3
^a 技术上没有完全无振动轴承。 ^b 当冲击载荷大小未知时， S_0 值至少取 3.3；如果冲击载荷的大小精确可知，可采用更小的 S_0 值。	

附录 A

(资料性附录)

点接触赫兹参数的计算

接触椭圆的长、短半轴之比 χ 与接触体的弹性模量和泊松比无关,因此,可通过迭代得到公式(A.1)的解。

$$1 - \frac{2}{\chi^2 - 1} \times \left(\frac{K(\chi)}{E(\chi)} - 1 \right) - F(\rho) = 0 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

第一类完全椭圆积分 $K(\chi)$ 由公式(A.2)给出:

$$K(\chi) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\chi^2} \right) \times (\sin \varphi)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} d\varphi \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

且第二类完全椭圆积分 $E(\chi)$ 由公式(A.3)给出:

$$E(\chi) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\chi^2} \right) \times (\sin \varphi)^2 \right]^{\frac{1}{2}} d\varphi \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

在内圈(轴圈)滚道接触处的曲率和由公式(A.4)给出:

$$\Sigma \rho_i = \frac{2}{D_w} \times \left(2 + \frac{\gamma}{1 - \gamma} - \frac{D_w}{2 \times r_i} \right) \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

在外圈(座圈)滚道接触处的曲率和由公式(A.5)给出:

$$\Sigma \rho_e = \frac{2}{D_w} \times \left(2 - \frac{\gamma}{1 + \gamma} - \frac{D_w}{2 \times r_e} \right) \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

在内圈(轴圈)滚道接触处的相对曲率差由公式(A.6)给出:

$$F_i(\rho) = \frac{\frac{\gamma}{1 - \gamma} + \frac{D_w}{2 \times r_i}}{2 + \frac{\gamma}{1 - \gamma} - \frac{D_w}{2 \times r_i}} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

在外圈(座圈)滚道接触处的相对曲率差由公式(A.7)给出:

$$F_e(\rho) = \frac{\frac{-\gamma}{1 + \gamma} + \frac{D_w}{2 \times r_e}}{2 - \frac{\gamma}{1 + \gamma} - \frac{D_w}{2 \times r_e}} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

附 录 B
(资料性附录)

球轴承系数 f_0 的参考值

球轴承系数 f_0 的参考值在表 B.1 中给出。

表 B.1 球轴承系数 f_0 的参考值

$\frac{D_w \times \cos \alpha^n}{D_{pw}}$	系数 f_0		
	径向接触和角接触球轴承	调心球轴承	推力球轴承
0	14.1	1.4	59.0
0.01	14.3	1.4	58.2
0.02	14.5	1.5	57.3
0.03	14.6	1.5	56.6
0.04	14.8	1.5	55.8
0.05	15.0	1.6	55.0
0.06	15.2	1.6	54.3
0.07	15.4	1.6	53.5
0.08	15.6	1.7	52.7
0.09	15.8	1.7	52.0
0.1	15.7	1.7	51.2
0.11	15.4	1.7	50.4
0.12	15.2	1.8	49.7
0.13	14.9	1.8	49.0
0.14	14.7	1.8	48.2
0.15	14.5	1.9	47.5
0.16	14.3	1.9	46.7
0.17	14.1	1.9	45.9
0.18	13.8	2.0	45.3
0.19	13.6	2.0	44.5
0.2	13.4	2.0	43.7
0.21	13.1	2.1	43.1
0.22	12.9	2.1	42.3
0.23	12.6	2.1	41.6
0.24	12.4	2.2	40.9
0.25	12.3	2.2	40.1
0.26	12.0	2.2	39.4
0.27	11.8	2.3	38.8
0.28	11.6	2.3	38.0
0.29	11.3	2.4	37.3
0.3	11.1	2.4	36.6
0.31	10.9	2.4	35.9
0.32	10.7	2.5	35.2
0.33	10.4	2.5	34.5
0.34	10.2	2.5	33.8
0.35	10.1	2.6	33.1
0.36	9.9	2.6	—

表 B.1 (续)

$\frac{D_w \times \cos\alpha^a}{D_{pw}}$	系数 f_0		
	径向接触和角接触球轴承	调心球轴承	推力球轴承
0.37	9.6	2.7	—
0.38	9.4	2.7	—
0.39	9.2	2.7	—
0.4	9.0	2.8	—
<p>注 1: 此表基于赫兹点接触公式,球和滚道的弹性参数在第 4 章括号内的说明中给出。</p> <p>注 2: 对于向心球轴承,假定其载荷分布中最大承载球的载荷为 $\frac{5 \times F_r}{Z \times \cos\alpha}$;对于推力球轴承,假定其载荷分布中最大承载球的载荷为 $\frac{F_a}{Z \times \sin\alpha}$。</p> <p>注 3: 表中向心轴承的数值采用内圈沟曲率半径 $0.52D_w$、外圈沟曲率半径 $0.53D_w$ 求得;推力轴承的数值采用沟曲率半径 $0.54D_w$ 求得。</p>			
<p>^a 对于 $\frac{D_w \times \cos\alpha}{D_{pw}}$ 的中间值,其 f_0 值可用线性内插法求得。</p>			

附录 C
(资料性附录)

基本额定静载荷计算中的间断点

按照本部分,用于计算向心和推力角接触球轴承基本额定静载荷 C_{0r} 和 C_{0a} 的系数略有不同。

因此,将一套接触角 $\alpha=45^\circ$ 的轴承看作是向心轴承时($C_{0a}=C_{0r}/Y_0$)和将其看作是推力轴承时,在轴向额定静载荷 C_{0a} 的计算中存在一个间断点。

ISO 76:2006 的附录 A 解释了额定载荷系数不同的原因,并给出了重新计算额定载荷的方法,以便在同一条件下进行正确地比较。

附 录 D
(资料性附录)
材料特性和材料分级

D.1 不同弹性性能的考虑

ISO 76 和 ISO/TR 10657^[5]中,对于轴承钢,使用的弹性参数为 $E_{St}=207\ 000\text{ MPa}$ 和 $\nu_{St}=0.3$ 。

注:有时使用 $E_{St}=208\ 000(210\ 000)\text{ MPa}$,此时系数和数值要重新计算。

ISO 26602^[4]中,对于氮化硅(Si_3N_4)滚动体,建议的弹性参数 $E_{Ce}=270\ 000\text{ MPa}\sim 330\ 000\text{ MPa}$, $\nu_{Ce}=0.23\sim 0.29$ 。

本文件给出的公式和数值推导,使用的弹性模量 $E_{Ce}=300\ 000\text{ MPa}$,泊松比 $\nu_{Ce}=0.26$ 。

对于由不同弹性的陶瓷制造的滚动体,可采用公式(D.1)给出的修正系数 w :

$$w = \frac{E_{St}}{2 \times (1 - \nu_{St}^2)} \times \left(\frac{1 - \nu_{St}^2}{E_{St}} + \frac{1 - \nu_{Ce}^2}{E_{Ce}} \right) \dots\dots\dots (D.1)$$

可用钢-钢接触的计算数值乘以表 D.1 给出的合适的修正系数来计算不同弹性材料的接触参数。

注:3.1 和 3.2 中给出的接触应力极限仅对由弹性模量为 $300\ 000\text{ MPa}$ 或更高的氮化硅制成的滚动体有效;对于由较低弹性模量的陶瓷制成的滚动体,ISO 76 中的接触应力极限适用。

表 D.1 不同弹性的陶瓷制造的滚动体的修正系数

接触参数	修正系数	
	点接触	线接触
接触椭圆长轴	$w^{1/3}$	—
接触椭圆短轴	$w^{1/3}$	$w^{1/2\text{ a}}$
最大接触压力	$w^{-2/3}$	$w^{-1/2}$
接触变形	$w^{2/3}$	$w^{0.9\text{ b}}$
^a (矩形)接触面的宽度。 ^b 适用于修型的线接触。		

D.2 材料分级

除了计算静安全系数 S_0 ,还推荐根据应用场合选择材料等级和球等级。ISO 26602:2009^[4]的附录 B 包含了三个材料等级(1 级、2 级、3 级),通常,使用罗马数字(I、II、III)来代替(参见 ÖNORM ISO 26602^[7],ASTM F 2094/F 2094 M^[6])。

ÖNORM ISO 26602^[7]和 ASTM F 2094/F 2094 M^[6]建议根据应用场合和精度、可靠性要求选用材料等级和相应的球等级,参见图 D.1。

	2级、3级	5级	10级、16级	24级、48级
I 级	<div>高速动力装置</div> <div>空间传动机构</div> <div>航空仪表</div>	<div>液氧泵</div> <div>主轴轴承</div>	<div>要求苛刻的航空零件</div>	
II 级	<div>涡轮高真空泵 高精密向心轴承</div> <div>牙钻</div>	<div>真空设备</div> <div>机床主轴 高性能角接触轴承</div> <div>高速仪器</div> <div>滚球丝杠 (非航空航天)</div>	<div>电机 中/低精密 向心轴承</div>	<div>检验球 单个球</div>
III 级			<div>体育及康乐</div> <div>食品加工</div>	<div>机械装置</div>

图 D.1 目前不同材料等级和球等级的典型应用范围示例(箭头表示可能存在的重叠)

参 考 文 献

- [1] ISO 3290-2 Rolling bearings—Balls—Part 2: Ceramic balls
 - [2] ISO 12297-2 Rolling bearings—Cylindrical rollers—Part 2: Ceramic rollers—Boundary dimensions, geometrical product specifications (GPS) and tolerance values
 - [3] ISO 20056-1 Rolling bearings—Load ratings for hybrid bearings with rolling elements made of ceramic—Part 1: Dynamic load ratings
 - [4] ISO 26602:2017 Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics)—Silicon nitride materials for rolling bearing balls and rollers
 - [5] ISO/TR 10657:1991 Explanatory notes on ISO 76
 - [6] ASTM F 2094/F 2094 M Standard Specification for Silicon Nitride Bearing Balls
 - [7] ÖNORM ISO 26602 Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics)—Silicon nitride materials for rolling bearing balls
-



GB/T 39271.2-2020

版权专有 侵权必究

*

书号:155066·1-65996