

三点、四点接触球轴承设计与应用

洛阳轴承研究所(471039) 徐荣瑜¹ 何 剑 杨进周

【ABSTRACT】 The problems of three-point and four-point contact ball bearings which easily occur in service process are summarized and their failure modes are analyzed. The design condition of this kind bearings is introduced and more reasonable design method and program are indicated.

三点、四点接触球轴承与深沟球轴承相比,其承载能力更高,由于采用整体保持架,具有更高的速度特性。与角接触球轴承相比,可承受双向轴向载荷,比成对双联角接触球轴承的极限转速高,同时还具有轴向窜动更小的优点,但设计上考虑的问题也比较多,如避免多点接触等,其使用工况也很复杂,只有

在设计中充分考虑了工况对轴承结构性能的要求时,才能更好地发挥该类轴承的潜能。

一、结构类型与应用场合

1. 三点、四点接触球轴承的结构型式
其结构型式有四种,如图1所示。

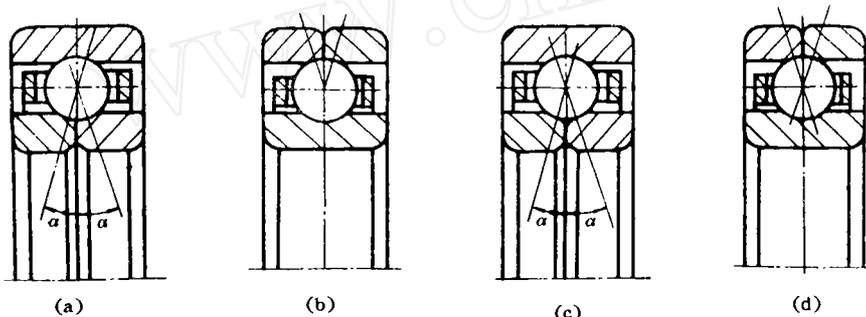


图 1

双半内圈三点接触球轴承 QJS0000(原 276000),本文简称 QJS

双半外圈三点接触球轴承 QJT0000(原 216000),本文简称 QJT

双半内圈四点接触球轴承 QJ0000(原 176000),本文简称 QJ

双半外圈四点接触球轴承 QJF0000(原 116000),本文简称 QJF

2. 三点、四点接触球轴承的应用场合

一般来说,这四种结构的轴承均以承受双向轴向载荷为主(但在使用时,通常四点接触球轴承轴向承载能力更大),并可承受部分径向载荷,但工作时常要求最小工作接触角必须大于垫片角,以避免多点接触,其使用特点如下:

(1)对于 QJS 型轴承,随着轴承转速的增加,由于离心力的影响,内圈接触角增大,有利于避免三点接触,因此在这四种结构型式中更适合于高速条件下工作。

¹第一作者系军品开发部高级工程师——编者注

(2)对于 QJT 型轴承,随着轴承转速的增加,由于离心力的影响,外圈接触角减小,有可能造成三点接触,因此仅适合于在中等转速条件下工作,或者对装配有特殊要求的场合。

在很多场合,QJT 型轴承正在被 QJS 型轴承所替代。

(3)对于 QJ 型轴承,随着轴承转速的增加,由于离心力的影响,外圈接触角减小,有可能造成三点接触,因此仅适合于在中低速条件下,要求轴向窜动量更小的场合工作,并可承受一定的力矩载荷。

(4)对于 QJF 型轴承,其使用工况与 QJ 型轴承近似。

现在在许多应用场合,都要求轴承避免多点接触。那么多点接触的轴承能否进行工作呢?这里有一个认识的过程。早在 70 年代,英国的 RHP 公司就进行这样的试验:采用双半外圈三点接触球轴承,使其工作时有意形成三点接触,此时虽然由于摩擦会产生大量的热,降低轴承寿命,但由于在外圈上形成了两点接触,降低了接触应力,从而提高了轴承寿命,其提高的数值较由于摩擦生热而降低的轴承寿命要高^[2]。美国在 70 年代的研究也表明,对于双半外圈三点接触球轴承,在高速、轻载条件下,这样的设计虽然使得外圈处的自旋发热明显增加,但提高了轴承的寿命^[3]。

现在,轴承的使用转速越来越高,轴承的高速性显得比轴承寿命更为重要。轴承设计上放弃了等强度设计原则,而采用内圈沟曲率半径比外圈沟曲率半径大,这样就降低了轴承的摩擦发热,同时外圈的接触应力并不比内圈接触应力高。因此,现代轴承设计已不再采用真正意义上的三点接触。

在宇航领域,俄罗斯多采用三点、四点接触球轴承,而英、美多采用三点和角接触球轴

承。我国过去从前苏联引进产品较多,使用的轴承多为三点、四点接触球轴承,现在已逐步改为三点接触球轴承。

二、三点、四点接触球轴承的设计要求

1. 符号说明

$\alpha_{(i,e)}$ ——内、外圈接触角

$\alpha_{(i,e)min}$ ——最小工作接触角

$\beta_{(i,e)}$ ——内、外圈垫片角

D_w ——钢球直径,mm

Z ——钢球数量

$f_{(i,e)}$ ——内、外圈沟曲率系数

$R_{(i,e)}$ ——内、外圈沟曲率半径

$X_{(i,e)}$ ——内、外圈沟曲率中心偏心距

$X_i = (R - D_w/2)\sin\beta_i$

$X_e = (R_e - D_w/2)\sin\beta_e$

g ——成套轴承径向游隙

S ——成套轴承轴向游隙

F_a ——轴向载荷,N

F_r ——径向载荷,N

n ——轴承转速,r/min

2. 垫片角 β 与接触角 α

α 是对成套轴承的要求,是钢球与内外圈在消除游隙后形成的初始接触角,而 β 是轴承的一个内部设计参数,是钢球与两半套圈(或桃形沟套圈)相接触形成的压力角(见图 2)。在 GB/T294—94 标准中,对接触角的标注,实际上表示的是垫片角(见图 3),笔者认为,应采用图 4 的表示方法,或用文字对接触角说明(图 5)。

以往的轴承设计是按给定的 26° (规定初始接触角为 26°)垫片角进行结构的分析计算,然后给出一配套游隙,缺乏对接触角与垫片角之间关系的分析和对配套游隙的精确计算,造成轴承产生多点接触而发生早期失效。现在的一些标准规定,轴承的初始接触角为 35° ^[5]。笔者认为,按此设计,具有很大

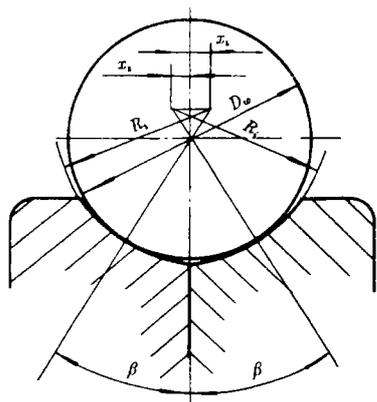


图 2

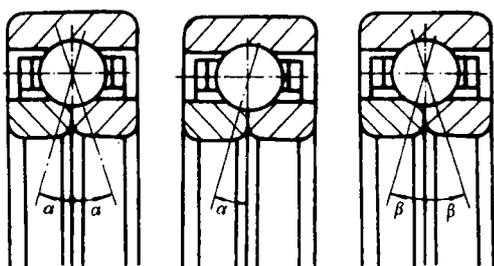


图 3

图 4

图 5

的局限性,即仅仅适合于中低速场合。许多实际使用的实例可以说明这一点,例如:

①QJS204, $F_a=1\ 500\text{ N}$ $F_r=1\ 000\text{ N}$
 $n=35\ 000\text{ r/min}$ $\alpha=24^\circ$ $\beta=15^\circ$ $\alpha_{\min}=16^\circ$

②QJT206, $F_a=1\ 000\text{ N}$ $F_r=2\ 000\text{ N}$
 $n=40\ 000\text{ r/min}$ $\alpha=17^\circ$ $\beta=5^\circ$ $\alpha_{\min}=7^\circ$

③QJ1016, $F_a=3\ 000\text{ N}$ $F_r=100\text{ N}$ $n=100\text{ r/min}$
 $\alpha=32^\circ$ $\beta=26^\circ$ $\alpha_{\min}=33^\circ$

三点、四点接触球轴承除承受双向轴向载荷和避免多点接触外,在正常的工作状态,与角接触球轴承的性能完全相同,因此可以根据轴承的轴向、径向载荷和工作转速等进行角接触球轴承设计分析,确定一合适的接触角,或参照角接触球轴承规定的接触角(15°、25°和40°)来选用。这样的设计,以角接触球轴承丰富的试验和应用数据为依据,可

确保产品的性能与可靠性,而且容易拓宽设计思路,掌握这一类轴承的设计特点。例如,上述 QJT206 轴承,为能满足承受径向载荷为主,并承受双向轴向载荷,对轴承采用超常规设计,使得轴承兼顾了深沟球轴承和角接触球轴承的特点(即承受径载为主,双向轴载,整体保持架,较高的额定载荷)。

3. 设计时应考虑的特殊要求

设计上除借助角接触球轴承的设计方法外,另外还需考虑三点、四点接触球轴承的一些特殊要求。

(1) 垫片角 β 原则上讲,轴承的最小工作接触角 α_{\min} 大于 β 越多,轴承适应复杂工况能力越强,运转越安全,但这必然使得径向游隙 g 与轴向游隙 S 较大,造成轴承轴向窜动较大;在对 g 、 S 有限制的场合,就必须利用拟动力学或拟静力学程序,对轴承的工作状态进行仔细分析(特别是对于承受相当径向载荷的高速轴承),以确定轴承的最小工作接触角 α_{\min} 。对于 QJS 型轴承, α_{\min} 指 α_{\min} , 对于其他类型轴承, α_{\min} 指 α_{\min} 。根据 α_{\min} , 一般取 $\beta_{\max}=\alpha_{\min}-(1^\circ\sim 2^\circ)$ 即可。

(2) 挡边高度 三点、四点接触球轴承一般以承受轴向载荷为主,因此在挡边高度的取值上应大于角接触球轴承挡边高度。这一点应在轴承设计上予以验算和保证。

(3) 径向、轴向游隙 g 、 S 三点、四点接触球轴承承受双向轴向载荷,一般都希望轴承的轴向窜动小,因此对 g 或 S 有一定的要求和限制。因更多的情况下是对 S 的要求,故此处仅给出对 S 的计算公式^[4]。

对于 QJS 型轴承

$$S=2[(R+R_0-D_0)\sin\alpha-X_r]$$

对于 QJT 型轴承

$$S=2[(R+R_0-D_0)\sin\alpha-X_r]$$

对于 QJ、QJF 型轴承

$$S=2[(R+R_0-D_0)\sin\alpha-X_r-X_a]$$

当垫片角确定后,对于 QJS、QJT 型轴

承,其轴向游隙通常是径向游隙的5倍左右。对于QJ、QJF型轴承,其轴向游隙是径向游隙的2.5倍左右。

对于四点接触球轴承,在低速下,可以考虑取 β_i 和 β_r 相同,游隙可以考虑取得小一些(因转速低,运转同样可靠),而在中高速情况下, α_i 增大, α_r 减小,如果对 S 有严格要求,可采用不同的 β_i 、 β_r ,即 $\beta_i > \beta_r$,这样既可避免多点接触,又可减小游隙与窜动。

设计按图6流程进行。

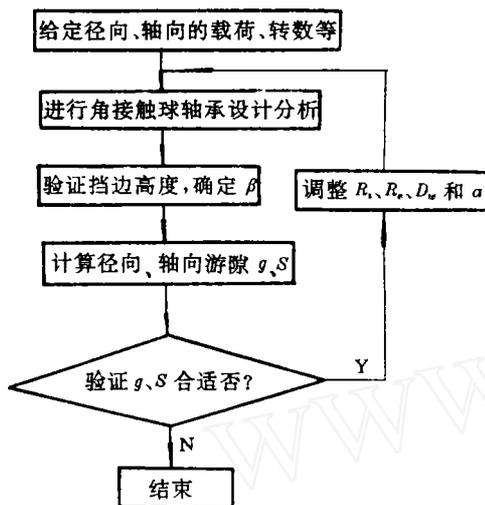


图6

现以QJS204为例说明。

(1)外形尺寸: $d \times D \times B = 30 \times 62 \times 14$

(2)工作条件: $F_a = 1\ 500\ \text{N}$, $F_r = 1\ 000\ \text{N}$, $n = 35\ 000\ \text{r/min}$ $S \leq 0.3\ \text{mm}$

(3)设计计算的结果为 $D_a = 7.938$ $Z = 10$ $f_i = 0.54$ $f_r = 0.52$ $\alpha = 24^\circ$

f_i 、 f_r 的取值考虑了轴承高速性的要求。为了减小摩擦发热,通常 f_i/f_r 的取值为0.54/0.52或0.55/0.53。 α 的选取考虑了轴承承受了一定径向载荷及其高速性的要求。

通过轴承拟静力学分析,轴承的最小工作接触角为 $\alpha_{\min} = 16^\circ$,故取轴承的垫片角 $\beta_{\max} = 15^\circ$,验算轴向游隙 $S = 0.223\ \text{mm}$,满足

用户提出的要求。

三、结束语

以上对三点、四点接触球轴承的设计要点作了一些简要说明,归纳起来就是按正常的角接触球轴承进行设计分析,确定其结构主参数,再确定垫片角,验算游隙。

此类轴承在应用中常出现以下三类故障,在轴承设计应用中应予充分考虑。

(1)轴承在正常工作条件下,其工作状态就是角接触球轴承的工作状态,因此其失效形式与角接触球轴承相同。

(2)轴承在工作中的钢球多点接触,造成早期失效。表现为:在非工作套圈上出现磨损环带、蹭伤,钢球上出现猫眼圈等。可能因设计、制造或工况改变等引起。

(3)在运转过程中,轴承磨损严重,超过了要求的轴向窜动量。对于此类失效,可以采取改进设计、改变轴承材料和改善润滑等措施。

参 考 文 献

- 1 国外航空发动机轴承概况. 洛阳轴承研究所. 1974
- 2 B J. Hamrock. Ball Motion and Sliding Friction in An Arched Outer-race Ball bearing. NASA TN D-7448. Jan. 1974
- 3 夏子华. 三点、四点接触球轴承几何关系. 轴承. 1989(3):9~14
- 4 GB/T294-94 向心轴承 四点接触球轴承外形尺寸

(收稿日期:1997-08-13)

(编辑:吕成银)



本期内容摘要

徐荣瑜,何 剑,杨进周. 三点、四点接触球轴承设计与应用. 轴承, 1998(12):2~5

综述了三点、四点接触球轴承在使用过程中易出现的问题,并对其失效形式进行了分析. 介绍了该类轴承的设计状况,并指出了比较合理的设计方法和程序. 附图 6 幅,参考文献 5 篇.

叙词:球轴承 设计 应用

秦 瑞,戚伯顺. 商品圆锥滚子验收标准探讨. 轴承, 1998(12):6~7

叙词:圆锥滚子 验收 标准

赵惠玲,李旭东,傅 强. 英制圆锥滚子轴承滚子半锥角的确定. 轴承, 1998(12):7~8,30

在英制圆锥滚子轴承设计中,主参数之一的滚子半锥角 φ 的确定很重要,也很麻烦,需初定一 φ 值,通过繁琐的计算与调整,使其满足壁厚系数和其他约束条件的要求. 给出了一种英制圆锥滚子轴承 φ 值的计算方法. 附图 1 幅.

叙词:圆锥滚子轴承 套圈 滚道 角度

薛玉泉. 小型滚子轴承内圈内径的一次磨削. 轴承, 1998(12):9~12

运用质量管理手段,经三次 PDCA 循环,多次试验,采用相应技术措施保证锻件质量,恢复车床精度,控制工件车削后的尺寸散差和形位公差. 确定磨削工序的最佳留量,从而实现小型滚子轴承内圈内径的一次磨削. 附图 3 幅,表 5 个.

叙词:滚子轴承 内圈 内径 磨削

苗乃元. GCr15 钢网状碳化物细化工艺. 轴承, 1998(12):13~14

GCr15 轴承钢锻后冷却速度不当会出现粗大的网状碳化物,用正火处理消除粗大网状碳化物的方法,所需费用高. 用轴承套圈冷却装置,使锻后的套圈经过鼓风强冷、喷雾水冷,在低速运动中逐件冷却,可按生产节拍调整运动速度,保证消除粗大网状碳化物.

叙词:锻造 碳化物 细化 装置

尤绍军. 薄壁轴承套圈的热处理工艺. 轴承,

1998(12):14~15

叙词:薄壁轴承 套圈 热处理

曹建波,何 剑. ZZC100 车床活塞杆的改进设计. 轴承, 1998(12):16

针对活塞杆容易断裂的问题,将其直径差缩小,以减少淬火产生的应力集中,用螺母和活塞连接,改后效果良好. 附图 2 幅.

叙词:车床 活塞 活塞杆 改进

张建民,刘春立,曹建波. 可调整偏心夹具的设计. 轴承, 1998(12):17~19

该夹具由过渡盘、对称度调整盘、偏心调整盘及芯棒等主要部件组成,调整方便,适用多品种生产. 文中介绍了调整方法. 附图 4 幅.

叙词:偏心 夹具 设计 调整

杨庆伟. 浪型保持架拆体模的设计. 轴承, 1998(12):19~20

叙词:浪型保持架 拆套 模具 设计

郭义文,柴青林. 价值工程在大型滚子毛坯生产中的应用分析. 轴承, 1998(12):21~24

在大型滚子毛坯的生产过程中,对采用冷冲和车削这两种加工工艺,运用价值分析的方法,进行评价分析. 通过各自特点和经济性比较,找出了指导大型滚子毛坯生产工艺的选择原则,对于 32316 滚子毛坯,产量在 2 000 粒以下时用车削工艺,反之用冷冲工艺. 附图 2 幅,表 4 个.

叙词:价值工程 滚子 毛坯 工艺

张湘印,宋 丽,王大力. 轿车轴承现状及发展趋势. 轴承, 1998(12):25~27

介绍了工业发达国家轿车轴承的现状和发展趋势,分析了我国轿车轴承与发达国家的差距及原因. 附图 3 幅.

叙词:汽车轴承 现状 发展

韩安树. 陶瓷材料在轴承中的应用. 轴承, 1998(12):28~30

叙词:陶瓷球 表面镀覆 性能 综述

轴承

月刊 (1958 年创刊)
第 12 期 (总第 229 期)
1998 年 12 月出版

主编: 邓流芳 副主编: 朱学骏 责任编辑: 朱学骏

编委会主任: 曹诚梓
编委会副主任: 赵金库 邓流芳 刘成斌
陈春韬 何加群 张长安
曹 瑞 胡伯熙

目 次

产品设计与应用

- 三点、四点接触球轴承设计与应用 … 徐荣瑜等(2)
商品圆锥滚子验收标准探讨 …… 秦 瑞等(6)
英制圆锥滚子轴承滚子半锥角的确定 ……
…………… 赵惠玲等(7)

工艺与装备

- 小型滚子轴承内圈内径的一次磨削 …… 薛玉泉(9)
GCr15 钢网状碳化物细化工艺 …… 苗乃元(13)
薄壁轴承套圈的热处理工艺 …… 尤绍军(14)
ZZC100 车床活塞杆的改进设计 …… 曹建波等(16)

工夹模具

- 可调整偏心夹具的设计 …… 张建民等(17)
浪型保持架拆体模的设计 …… 杨庆伟(19)
价值工程在大型滚子毛坯生产中的应用分析 ……
…………… 郭义文等(21)

专题综述

- 轿车轴承现状及发展趋势 …… 张湘印等(25)
陶瓷材料在轴承中的应用 …… 韩安树(28)

CONTENTS

- Design and Application of Three - Point
and Four - Point Contact Ball Bearings
…………… Xu Rongyu, *et al.* (2)
Determination of Tapered Semi-Angle of
Roller in Design of Inch - Dimensioned
Tapered Roller Bearings ……
…………… Zhao Huiling, *et al.* (7)
Once - Through Grinding of Bore Diame-
ter of Inner Rings for Small Size Roller
Bearings …… Xue Yuquan(9)
Technological Practice of Refining Car-
bide Network of GCr15 Bearing Steel
…………… Miao Naiyuan(13)
Heat-Treatment Technology of Rings for
Thin Section Bearings ……
…………… You Shaojun(14)
Present Condition and Developmental
Trend of Sedan Car Bearings ……
…………… Zhang Xiangyin, *et al.* (25)
Application of Ceramic Material in Bear-
ings …… Han Anshu(28)

主办单位: 机械工业部洛阳轴承研究所
编辑出版: 轴承杂志社
印刷单位: 荥阳市教育印刷厂
国内总发行: 洛阳市邮电局
邮发代号: 36-17
订购处: 国内各地邮局

国外总发行: 中国国际图书贸易总公司
(北京339信箱)
国外发行代号: 4631M
刊 号: ISSN 1000-3762
CN 41-1148/TH
广告经营许可证: 洛工商广字008号
每本定价: 3.00元

本刊地址: 河南省洛阳市吉林路 邮编: 471039 电话: (0379)4921301 转 5037 传真: (0379)4926248