

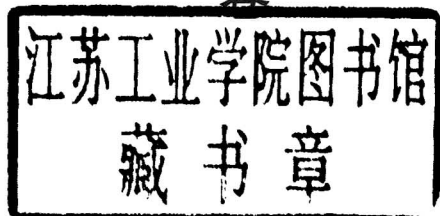
**轴承使用寿命试验计算
与提高轴承寿命工艺及其可靠性鉴定
实务全书**

主编：李娜

轴承使用寿命试验计算与提高轴承寿命 工艺及其可靠性鉴定实务全书

主编 李 娜

第
二
卷



◆第五章 滚动轴承制造工艺◆

表 3-5-103 常见质量问题及产生原因

常见质量问题	产生原因
铆钉头不正	铆钉杆直径小或铆钉杆过长；模具窝太浅或直径太小；压力机上冲头底面与工作台不平行；模具导柱磨损失去定位导向
铆钉平顶	模具钉窝平底；铆钉长度不够或保持架过厚，使钉杆变形无足够余量
铆钉头折叠	铆钉长度或直径超差；压力机闭合高度过低；模具钉窝太浅或直径太小；保持架厚度不均匀；压力机上冲头底面与工作台不平行
铆钉头偏心	上、下模具不对心；保持架铆钉孔等分性差；模具导柱部分磨损，间隙增大
铆钉头部有卡伤	模具导向定位不准；钉窝边缘有毛刺
压合后轴承旋转灵活性不好	铆合时轴承内进入污物；铆合时压力太大，导致保持架变形。压力机上冲头底面与工作台不平行；保持架在运输、保存过程中变形；保持架中心圆直径过大或过小；保持架球窝过小，装配后钢球在保持架兜孔内的径向窜动量小；保持架球窝过大，装配后保持架与套圈挡边接触
径向游隙超差	合套过程中计算有误；套圈滚道曲率半径超差；个别钢球尺寸超差
旋转精度超差	内、外套圈基准端面有伤；装最后一球时，压力过大，导致套圈产生塑性变形；保持架在运输、保存过程中变形；滚道形状在超精加工中变形；内、外滚道直径变动量大；个别钢球尺寸超差

表 3-5-104 调心球轴承的装配工艺过程

序号	工序名称	设备、夹具、检查工具	序号	工序名称	设备、夹具、检查工具
1	清洗内、外圈，并擦净		6	检查游隙	
2	外圈滚道选别分组	D923A、D923、12) 924 等	7	补装 2 个钢球	
3	内圈滚道选别分组	D913、D914、D915 等	8	检查回转灵活性	
4	清洗钢球、保持架	—	9	退磁、清洗	清洗机
5	保持架装于内圈上并装钢球（少装 2 个钢球）	—	10	成品检查	—
			11	涂油、包装、入库	—

五、圆柱滚子轴承的装配

圆柱滚子轴承属分离型轴承，安装拆卸非常方便。

◆第三篇 滚动轴承使用寿命试验计算与提高轴承寿命工艺设计优化◆

(1) 圆柱滚子轴承的装配工艺过程 装配圆柱滚子轴承时需对内、外圈滚道进行选别分组，一般小型球轴承按 0.002mm 分组，中型轴承按 0.004mm 分组，大型轴承按 0.005 ~ 0.01mm 分组，特大型轴承按 0.02 ~ 0.05mm 分组。圆柱滚子轴承的装配工艺过程见表 3-5-106。

表 3-5-105 常见质量问题及产生原因

常见质量问题	产生原因
轴承旋转灵活性不好	保持架中心圆直径过大或过小；保持架兜孔过小，装配后钢球在保持架兜孔内的径向窜动量小；保持架兜孔边缘有毛刺；径向游隙过小；轴承内部有污物；个别钢球直径过大
调心性能不好	外滚道球面曲率不好；轴承内部较脏；保持架有毛刺
游隙不好	内圈滚道中心距过大或过小；内圈滚道直径差超差；个别钢球直径过大；外滚道球面曲率不好；保持架中心直径过大

表 3-5-106 圆柱滚子轴承的装配工艺过程

序号	工序名称	设备、夹具、检查工具	序号	工序名称	设备、夹具、检查工具
1	清洗内、外圈，并擦净		6	组装	—
2	外圈滚道选别分组	D923A、D923、D924 等	7	铆合或保持架压印	—
3	内圈滚道选别分组	D913、D914、13915 等	8	检查回转灵活性、外观	—
4	清洗滚子、保持架	—	9	成品退磁、清洗	清洗机
5	合套	—	10	成品终检	—
			11	涂油、包装、入库	—

(2) 圆柱滚子轴承装配用模具 圆柱滚子轴承多采用钢板冲压保持架和车制实体保持架。

①实体保持架的铆合。该种保持架由保持架座和端盖组成。保持架座与端盖由铆钉连接，在铆合中一般采用电铆合。电铆合的基本原理为使用高频电流加热上下两个冲头，在短时间内加热到 800 ~ 1000℃，使铆钉受热处于易流动状态，在压力作用下铆钉的端部变形呈冲头球形窝的形状，铆合质量的好坏取决于冲头窝的形状，冲头的形状见图 3-5-167，冲头球形窝的基本参数可用下式计算

◆第五章 滚动轴承制造工艺◆

$$d = 1.05D_m \quad (3-5-82)$$

$$h = 0.97h_m \quad (3-5-83)$$

$$R = 1.1R_m \quad (3-5-84)$$

式中 D_m ——铆钉头直径；
 h_m ——铆钉头高度；
 R_m ——铆钉头球面半径。

上冲头一般采用青铜或高速钢制造。

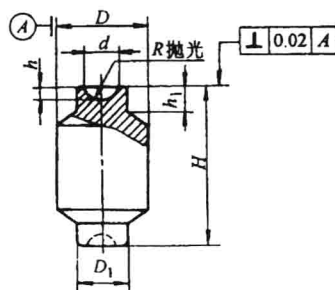


图 3-5-167 装配用电铆冲头

②实体保持架的压印 该种保持架的兜孔为直兜孔，其兜孔的加工是靠拉刀拉削而成，这种加工方法生产效率高，兜孔的尺寸精度高，适用于大批量生产。

该种保持架在装配过程中需用压印模具，在保持架外圆表面压印，使保持架产生锁口，锁住滚子使之不会从保持架兜孔中掉出，压印模具如图 3-5-168。

③冲压保持架的装配 这种保持架由钢板冲压而成，材料消耗少，生产成本低，但这种保持架仅适用于轻载荷和低转速的轴承。

在装配过程中，先将内圈放入保持架，然后将滚子放入保持架兜孔中，再利用弯爪模具对保持架兜孔进行弯爪，锁住滚子。弯爪模具如图 3-5-169 所示。

(3) 装配过程中常见质量问题及产生原因 装配过程中常见质量问题及产生原因见表 3-5-107。

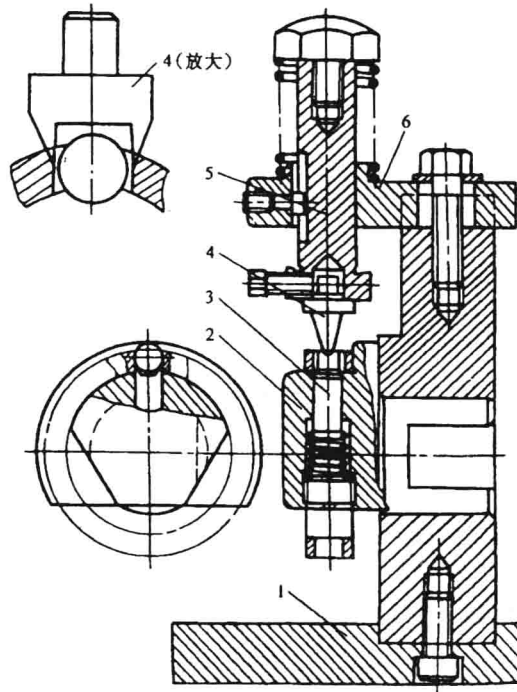


图 3-5-168 保持架压印模具

1—底座；2—定位心轴；3—定位销；
4—压印冲头；5—冲杆；6—上支承板

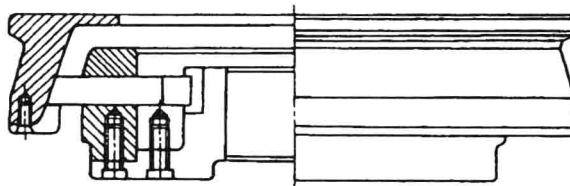


图 3-5-169 保持架弯爪模具

六、调心滚子轴承的装配

(1) 调心滚子轴承的装配工艺过程 装配调心滚子轴承时需对内、外圈

◆第五章 滚动轴承制造工艺◆

滚道进行选别分组，一般按 0.01mm 分组，对于外径大于 400mm 的轴承按 0.02mm 分组。调心滚子轴承的装配工艺过程见表 3-5-108。

(2) 装配过程中常见质量问题及产生原因 装配过程中常见质量问题及产生原因见表 3-5-109。

表 3-5-107 常见质量问题及产生原因

常见质量问题	产生原因
电铆时钉头不正	加热电流过小；未到加热温度便加压；钉头过长；上冲头钉窝过小；上冲头底面与工作台不平行
K_{ia} 、 K_{ia} 超差	外滚道对外圆厚度变动量超差；内滚道对内径厚度变动量超差；个别滚子直径过大；油沟与滚道连接处有毛刺；轴承内有污物；保持架变形
轴承回转灵活性不好	保持架压印后锁量过大；保持架在运输、储存过程中变形；保持架中心圆直径过大或过小；保持架兜孔过小，装配后滚子在保持架兜孔内的径向窜动量小；保持架兜孔倾斜，导致滚子处于倾斜状态；冲压保持架弯爪量过大；保持架兜孔边缘有毛刺；径向游隙过小；轴承内部有污物；电铆时电流过大，产生的电火花飞溅物落入滚子表面；个别滚子直径过大

表 3-5-108 调心滚子轴承的装配工艺过程

序号	工序名称	设备、夹具、检查工具	序号	工序名称	设备、夹具、检查工具
1	清洗内、外圈，并擦净	—	7	成品退磁、清洗	清洗机
2	外圈滚道选别分组	D923A、D923、D924 等	8	检查回转灵活性、外观	—
3	内圈滚道选别分组	D913、D914、D915 等	9	检查径向游隙	—
4	清洗滚子、保持架	—	10	成品终检	—
5	将内圈放入保持架内，装滚子	—	11	退磁、清洗	清洗机
6	同样方法装另一面滚子	—	12	涂油、包装、入库	—

注：挡边上有装滚子缺口的，最后几个滚子必须从装滚子缺口装入

表 3-5-109 常见质量问题及产生原因

常见质量问题	产生原因
径向游隙过大	套圈分组时测量有误差；内圈两滚道直径超差；滚子工作表面的轴线倾斜度变动量超差；内、外滚道单一径向平面内直径变动量超差；个别滚子直径过大；轴承内有污物
调心性能差	外滚道球面曲率过小；两内滚道直径相互差超差；外滚道单一径向平面内直径变动量超差

◆第三篇 滚动轴承使用寿命试验计算与提高轴承寿命工艺设计优化◆

常见质量问题	产生原因
K_{ia} 、 K_{ra} 超差	外滚道对外圆厚度变动量超差；内滚道对内孔厚度变动量超差；个别滚子直径过大；轴承内有污物
轴承旋转过程中噪声过大	径向游隙过大；保持架或滚子表面有磕碰伤；滚道表面有磕碰伤；保持架变形，引导面与保持架接触不好；保持架兜孔中心尺寸偏大，运动时摩擦噪声较大
轴承回转灵活性不好	保持架在运输、储存过程中变形；保持架中心圆直径过大或过小；保持架兜孔过小，装配后滚子在保持架兜孔内的径向窜动量小；保持架兜孔边缘有毛刺；径向游隙过小；轴承内部有污物

七、角接触球轴承的装配

(1) 角接触球轴承的装配工艺过程 装配角接触球轴承时需对内、外圈滚道进行选别分组，一般小型球轴承按 0.002mm 分组，中型轴承按 0.004mm 分组，大型轴承按 0.005 ~ 0.01mm 分组，特大型轴承按 0.02 的 0.05mm 分组。角接触球轴承的装配工艺过程见表 3-5-110。

表 3-5-110 角接触球轴承的装配工艺过程

序号	工序名称	设备、夹具、检查工具	序号	工序名称	设备、夹具、检查工具
1	清洗内、外圈,并擦净	—	7	将加热的外圈与内圈、钢球、保持架组装	—
2	外圈滚道选别分组	D923、D924 等	8	成品退磁、清洗	清洗机
3	内圈滚道选别分组	D913、D914 等	9	检查回转灵活性	—
4	清洗钢球、保持架	—	10	成品终检	—
5	钢球与内、外圈配游隙	—	11	成品退磁、清洗	清洗机
6	加热外圈	—	12	涂油、包装、入库	—

(2) 角接触球轴承的装配方法 角接触球轴承的外圈滚道有一锁口，具有一定的锁量，在装配过程中为了避免划伤钢球和滚道，一般采用加热外圈使之受热后胀大，从而使锁口处直径变大，这样可以顺利将内圈、钢球、保持架组合件装入外圈。外圈冷却后，则内圈及保持架和钢球由于锁量的存在而不会散套。

◆第五章 滚动轴承制造工艺◆

一般加热温度在 100 ~ 200℃ 之间, 加热温度过高, 会使套圈受热而引起高温回火, 加热温度过低, 外圈膨胀量不够。

加热的方法有: 电阻丝平板加热、恒温油槽加热、红外线加热炉加热等方法。

(3) 接触角、轴承宽度及径向游隙之间的关系

角接触球轴承的接触角与径向游隙之间的关系可用下式表示

$$\alpha = \arccos \left[1 - \frac{u_r}{2 (\bar{R}_o + \bar{R}_i - \bar{D}_w)} \right] \quad (3-5-85)$$

式中 α ——接触角;

u_r ——径向游隙;

\bar{R}_o ——外圈滚道曲率半径;

\bar{R}_i ——内圈滚道曲率半径;

\bar{D}_w ——钢球直径。

轴承的宽度可用下式计算

$$T = (a_o + a_i) - 2 (R_o + R_i - D_w) \sin \alpha \quad (3-5-86)$$

式中 T ——轴承宽度;

a_o ——外圈滚道中心位置;

a_i ——内圈滚道中心位置;

D_w ——钢球直径;

α ——接触角。

根据径向游隙的最大值、最小值以及 a_o 、 a_i 、 D_w 、 R_o 、 R_i 的上、下偏差, 用尺寸链的关系可得出轴承宽度的上、下偏差:

$$\begin{aligned} T_{ES} &= (a_{oES} + a_{iES}) - 2 (R_{oEi} + R_{iEi} - D_{wES}) \sin \alpha \\ T_{EI} &= (a_{oEI} + a_{iEI}) - 2 (R_{oES} + R_{iES} - D_{wEI}) \sin \alpha \end{aligned} \quad (3-5-87)$$

式中 T_{ES} 、 T_{EI} ——轴承宽度的上、下偏差;

a_{oES} 、 a_{oEI} ——外圈沟中心位置的上、下偏差;

a_{iES} 、 a_{iEI} ——内圈沟中心位置的上、下偏差;

R_{oES} 、 R_{oEi} ——外圈沟曲率半径上、下偏差;

R_{iES} 、 R_{iEi} ——内圈沟曲率半径上、下偏差;

◆第三篇 滚动轴承使用寿命试验计算与提高轴承寿命工艺设计优化◆

D_{wEs} 、 D_{wEI} ——钢球直径上、下偏差；

α ——接触角。

(4) 装配过程中常见质量问题及产生原因 装配过程中常见质量问题及产生原因见表 3-5-111。

表 3-5-111 常见质量问题及产生原因

常见质量问题	产生原因
轴承回转灵 活性不好	保持架兜孔中心圆直径过大或过小；轴承未清洗干净；径向游隙过小；保持架兜孔有毛刺；保持架兜孔直径过小
轴承噪声较大	轴承未清洗干净；钢球表面有伤；内、外滚道有磕碰伤；径向游隙过大
K_{ia} 、 K_{ca} 、 S_{ca} 、 S_{ia} 超差	内、外套圈基准端面有伤；内、外滚道对内、外表面的厚度变动量超差；内、外滚道中心线对基准面的平行差超差；内、外滚道直径变动量大；个别钢球尺寸超差。

八、圆锥滚子轴承的装配

(1) 圆锥滚子轴承的装配工艺过程 圆锥滚子轴承的装配工艺过程见表 3-5-112。

表 3-5-112 圆锥滚子轴承的装配工艺过程

序号	工序名称	设备、夹具、检查工具	序号	工序名称	设备、夹具、检查工具
1	清洗内、外圈，并擦净	—	6	内组件总检	—
2	清洗保持架、滚子	—	7	外圈总检	—
3	将滚子装入保持架并装入内圈	—	8	成品退磁、清洗	清洗机
			9	成品终检	—
4	抽检轴承宽度	G904 等	10	成品退磁、清洗	清洗机
5	收缩保持架	压力机、模具	11	涂油、包装、入库	—

(2) 套圈、滚子加工精度对轴承宽度的影响

①外圈滚道直径偏差对轴承宽度的影响 外圈滚道直径偏差对轴承宽度的影响可用下式计算

◆第五章 滚动轴承制造工艺◆

$$\Delta T = \Delta D_o / (2 \tan \alpha) \quad (3-5-88)$$

式中 ΔT ——轴承宽度的变化量；
 ΔD_o ——外圈滚道直径的变化量；
 α ——外圈滚道圆锥半角。

一般情况下，外圈滚道直径的变化对轴承宽度的影响大约是 1:2 的关系，也就是说当外圈滚道直径增加 $1\mu\text{m}$ 时，轴承宽度大约增加 $2\mu\text{m}$ 。

②内圈滚道直径偏差对轴承宽度的影响 内圈滚道直径偏差对轴承宽度的影响可用下式计算

$$\Delta T = \Delta d_i \cos \beta / (2 \sin \alpha) \quad (3-5-89)$$

式中 ΔT ——轴承宽度的变化量；
 Δd_i ——内圈滚道直径的变化量；
 α ——外圈滚道圆锥半角；
 β ——内圈滚道圆锥半角。

同外圈滚道的情况相似，一般情况下，内圈滚道直径的变化对轴承宽度的影响大约是 1:2 的关系。

③内圈大挡边高度偏差对轴承宽度的影响 内圈大挡边高度偏差对轴承宽度的影响可用下式计算

$$\Delta T = \Delta a \sin (2\gamma) / \sin \alpha \quad (3-5-90)$$

式中 ΔT ——轴承宽度的变化量；
 Δa ——内圈大挡边高度的变化量；
 α ——外圈滚道圆锥半角；
 γ ——滚子圆锥半角。

一般情况下，内圈大挡边高度的变化对轴承宽度的影响大约是 1:0.3 的关系。

4) 圆锥滚子直径偏差对轴承宽度的影响 圆锥滚子直径偏差对轴承宽度的影响可用下式计算

$$\Delta T = \Delta D_w \cos \gamma / \sin \alpha \quad (3-5-91)$$

式中 ΔT ——轴承宽度的变化量；
 ΔD_w ——滚子直径的变化量；

◆第三篇 滚动轴承使用寿命试验计算与提高轴承寿命工艺设计优化◆

α ——外圈滚道圆锥半角；

γ ——滚子圆锥半角。

一般情况下，滚子直径的变化对轴承宽度的影响大约是 1:4 的关系。

从上面的分析可以看出，圆锥滚子直径的变化对轴承宽度的影响最大，在滚子加工过程中应减少整批滚子加工的尺寸散差，提高装配的合套率。

(3) 圆锥滚子轴承装配用模具 为了便于装配，在加工圆锥滚子轴承保持架的过程中，要对保持架进行扩张，扩张后的保持架装入滚子后，最小内复圆直径大于内圈小挡边直径，这样才能使内圈放入。为了防止散套，应在压力机上用模具对保持架进行收缩，收缩模具见图 3-5-170。凹模使用材料为 GCr15，热处理硬度为 57~62HRC，当保持架的平均直径 D_m 超过 200mm 时，可采用表面淬火。

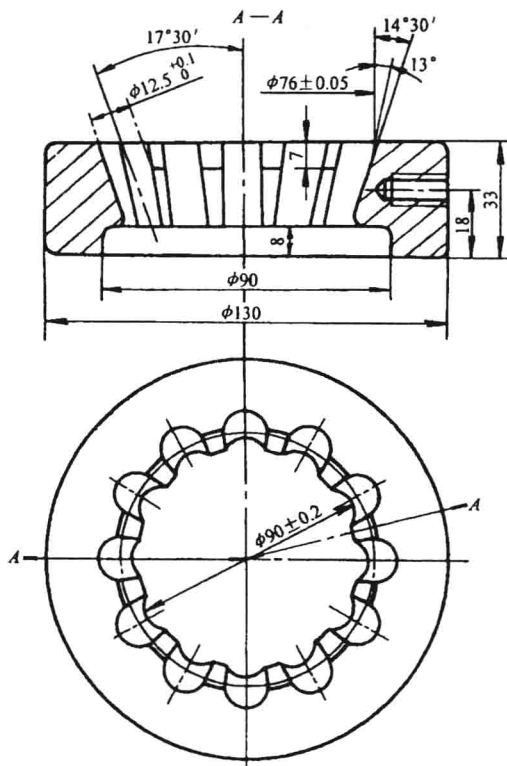


图 3-5-170 圆锥滚子轴承装配模具

◆第五章 滚动轴承制造工艺◆

(4) 装配过程中常见质量问题及产生原因 装配过程中常见质量问题及产生原因见表 3-5-113。

表 3-5-113 装配常见质量问题及产生原因

常见质量问题	产生原因
轴承宽度超差	滚子直径过大；外滚道直径过大；内滚道直径过大
S_{ca} 、 S_{ia} 、 K_{ca} 、 K_{ia} 超差	外围滚道的轴心线对基准面的倾斜度误差超差；外圈滚道角度超差；内、外滚道对内、外表面厚度变动量超差；内圈滚道的轴心线对基准面的倾斜度误差超差
轴承回转灵活性不好	保持架收缩量过大；轴承未清洗干净，内有污物；内圈大挡边与滚子基准面接触不良；保持架窗孔有毛刺；滚子批直径变动量超差；保持架在贮存、运输过程中变形

(九) 推力轴承的装配

推力轴承属分离型轴承，可方便地分别装在机器轴和轴承座中。

(1) 推力轴承的装配工艺过程 推力轴承的装配工艺过程见表 3-5-114。

表 3-5-114 推力轴承的装配工艺过程

序号	工序名称	设备、夹具、检查工具	序号	工序名称	设备、夹具、检查工具
1	清洗内、外圈，并擦净	—	7	检查回转灵活性	—
2	清洗保持架、钢球或滚子	—	8	外观检查	—
3	将钢球或滚子放入保持架中	—	9	成品检查	—
4	用压印模具压印	压力机、模具	10	成套轴承用尼龙绳捆好	—
5	合套	—	11	退磁、清洗	—
6	抽检轴承高度	G904 等	12	涂油、包装、入库	—

(2) 装配过程中常见质量问题及产生原因 装配过程中常见质量问题及产生原因见表 3-5-115。

◆第三篇 滚动轴承使用寿命试验计算与提高轴承寿命工艺设计优化◆

表 3-5-115 常见质量问题及产生原因

常见质量问题	产生原因
轴承高度超差	个别钢球、滚子直径超差；套圈滚道底对端面距离超差；保持架变形
轴承回转灵活性不好	轴承未清洗干净，内有污物；保持架兜孔与钢球、滚子间隙过小；保持架兜孔中心直径过大或过小；个别钢球、滚子直径超差

十、特殊轴承的装配

(1) 成对安装的角接触球轴承 成对安装的角接触球轴承通常是将相配对的两个轴承的内、外圈端面磨掉一定的预变形量 δ ，轴承在安装时用压紧装置使相应端面贴合后两轴承处于预紧状态。这样可以提高轴承的刚性和旋转精度，减小轴承工作时的振动，显然轴承的刚度是随着预变形量的增大而增大。

要想获得合适的变形量，首先对轴承的凸出量进行测量，然后根据凸出量的要求对轴承端面进行修磨。

①端面凸出量的测量 端面凸出量的测量原理见图 3-5-171。测量过程中，先用基准环调整好传感器的零点，以被测轴承外圈基准面定位，在轴承内圈基准端面上施加一定的轴向载荷，并由空气主轴带动轴承内圈旋转，使滚动体处于正常位置，这时用传感器测量出轴承内圈非基准端面相对于外圈基准端面间的轴向距离，即为端面凸出量。

②修磨端面凸出量 在选配过程中，为了达到配对的目的必须对其中的部分轴承端面凸出量进行修磨，修磨一般在平面磨床上进行。

(2) 双列、四列圆锥滚子轴承的装配 双列、四列圆锥滚子轴承的轴向游隙是靠定制的外隔圈或内隔圈来控制的。

①轴承轴向游隙的调整

A.350000 型轴承 按图 3-5-172b 位置 I 测量 DC，位置 II 测量 BC，尺寸 CC 由下式确定

$$CC = DC + BC - BD \quad (3-5-92)$$

◆第五章 滚动轴承制造工艺◆

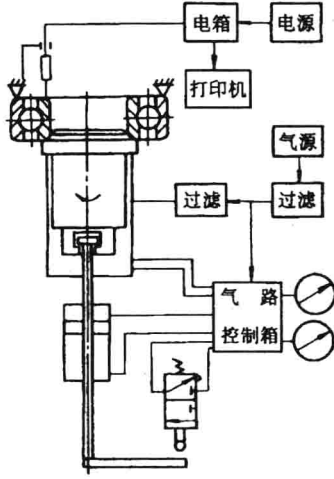


图 3-5-171 端面凸出量测量原理简图

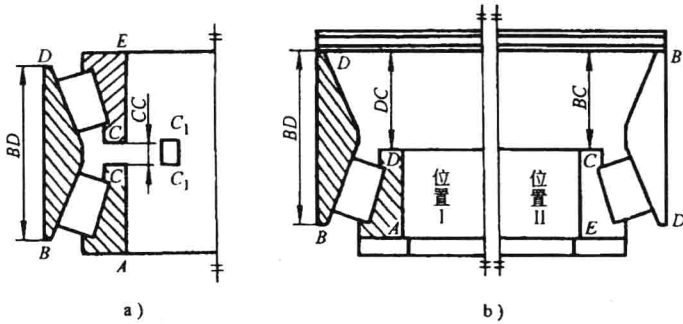


图 3-5-172 350000 型轴承轴向游隙的调整

若所要求的轴向游隙为 u_a ，则内隔圈宽度 C_1C_1 为

$$C_1C_1 = CC + u_a \quad (3-5-93)$$

B.370000 型轴承 按图 3-5-173b 位置 I 测量 AB，位置 II 测量 EB，测量时在外圈上面加上另一外圈，尺寸月月由下式确定

$$BB = AB + FB - AE \quad (3-5-94)$$

若所要求的轴向游隙为 u_a ，则外隔圈宽度 B_1B_1 为

$$B_1B_1 = BB + u_a \quad (3-5-95)$$

◆第三篇 滚动轴承使用寿命试验计算与提高轴承寿命工艺设计优化◆

③380000 型轴承

a. 内隔圈宽度 C_1C_1 确定 按图 3-5-174b 位置 I 测量 DC, 位置 II 测量 BC, 尺寸 CC 由下式确定

$$CC = DC + BC - BD \quad (3-5-96)$$

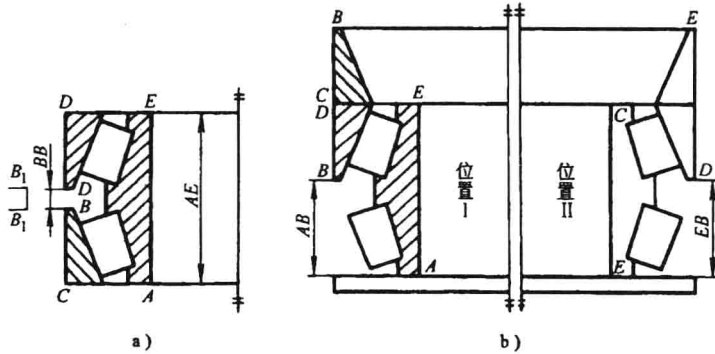


图 3-5-173 370000 型轴承轴向游隙的调整

若所要求的轴向游隙为 u_a , 则内隔圈宽度 C_1C_1 为

$$C_1C_1 = CC + u_a \quad (3-5-97)$$

b. 隔圈宽度 B_1B_1 和 D_1D_1 确定 按图 3-5-174c 位置 I 测量 DD, 位置 II 测量 BB, 测量时在单滚道外圈上面加另一单滚道外圈并在两内圈之间圆周方向均匀地垫上三块辅助垫块 M, 取 $M \geq CC + 5 \sim 10\text{mm}$ 。

上、下外隔圈宽度分别可按下式计算

$$D_1D_1 = DD - (M - CC) + u_a$$

$$B_1B_1 = BB - (M - CC) + u_a \quad (3-5-98)$$

②调整要求

A. 垫块 M 的高度相互差应小于被测轴承内隔圈两端面平行度偏差的 50%。

B. 测量前应分别旋转各列滚子和套圈, 以保证轴承各部件都处于正常位置。

C. 测量时, 应使组装下部的内圈定位端面处于水平位置。

◆第五章 滚动轴承制造工艺◆

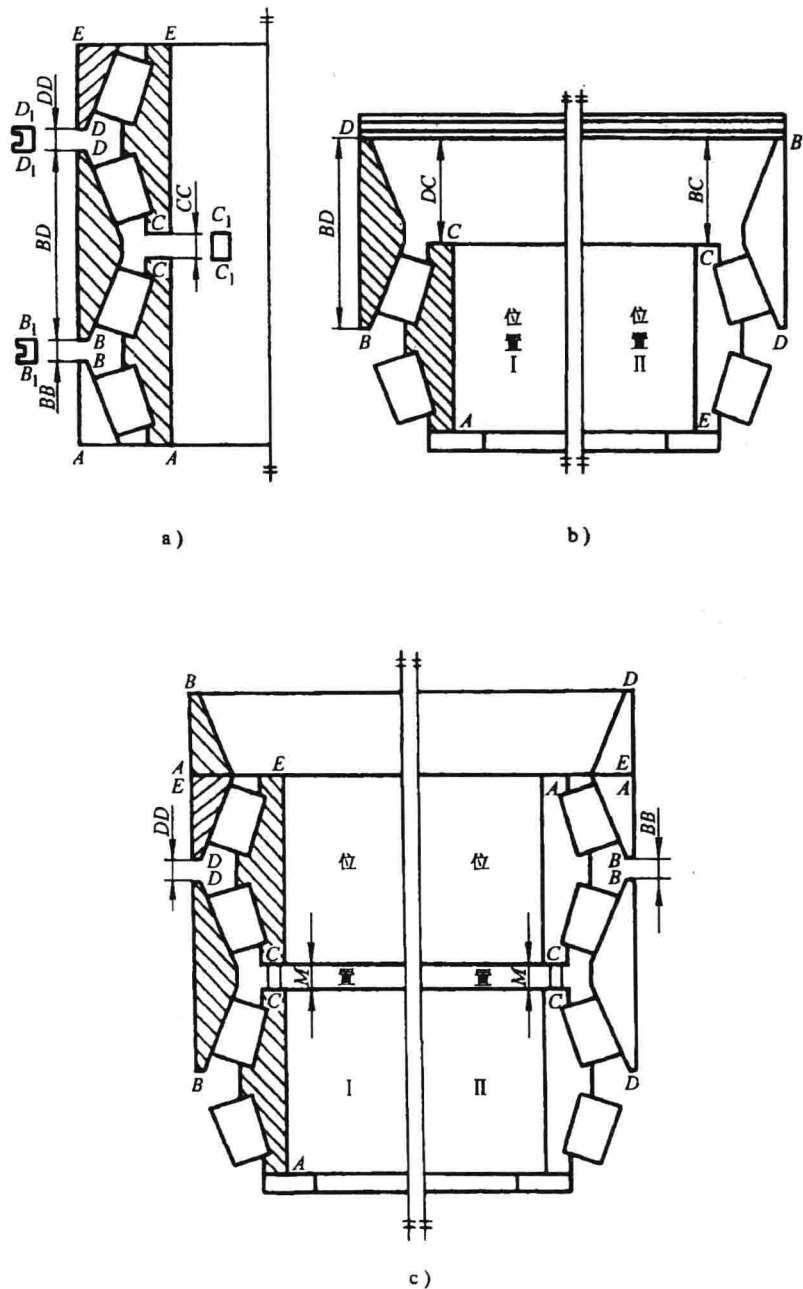


图 3-5-174 380000 型轴承轴向游隙的调整