

第十一章 Ball and roller bearings



滚动轴承

§ 11-1 General considerations 概述

§ 11-2 Option of the types for rolling bearings
滚动轴承的类型选择

§ 11-3 Option of the sizes for rolling bearings
(Carrying-load ability
calculations) 滚动轴承尺寸选择(承载能力计

算) § 11-4 Design arrangements for rolling bearings
滚动轴承组合设计

物理与电气工程学院

1

Function of rolling bearings

轴承功用

① Support shafts and elements on
them 支撑轴及轴上零件

② Reduce friction and wear
between shaft and supporting housing

减小轴与支撑面间摩擦

磨损

物理与电气工程学院

2

§ 11-1 General considerations 概述

一、Structure , materials

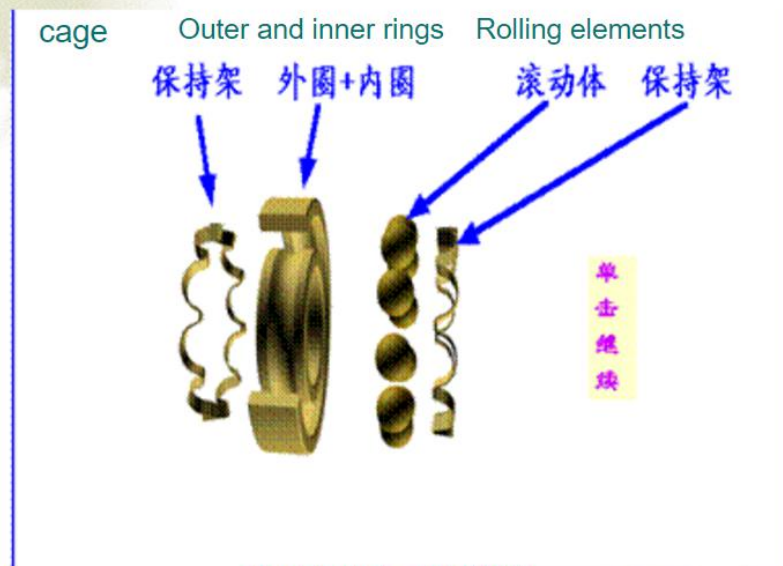
and characteristics

构造、材料和特点 task 任务

三、Application 应用

一、Structure , materials and characteristics

构造、材料和特点





二、Study task 任务

- ① Understanding standards of the bearings and properly selecting their types and dimensions

熟悉标准、正确选用(类型、尺寸)

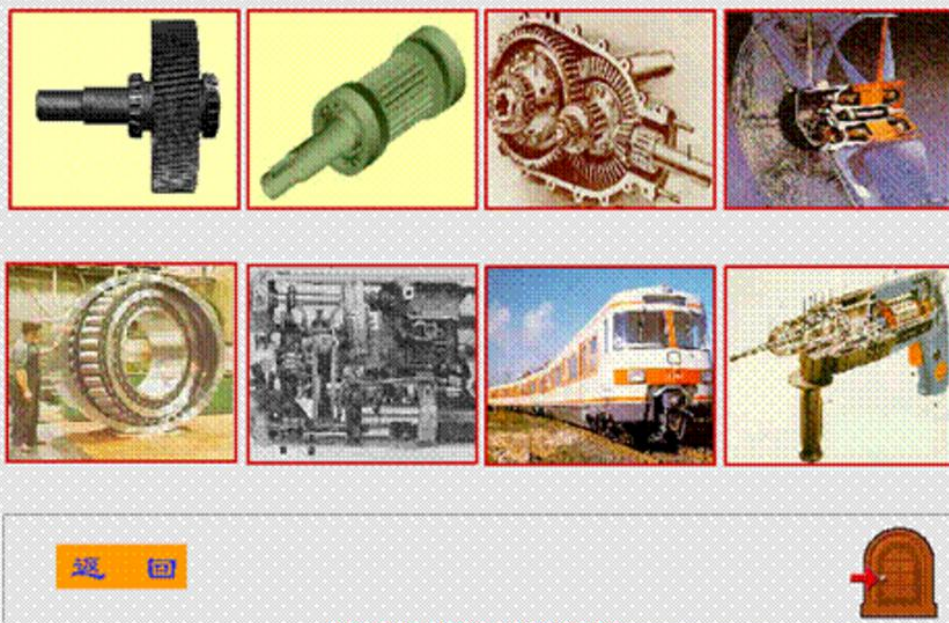
- ② Reasonably treating the relation between the bearings and other elements (design arrangements)

处理好与周围零件的关系(组合设计)

物理与电气工程学院

5

三、Applications 应用



物理与电气工程学院

6



§ 11-2 Selection of the types for rolling bearings 滚动轴承的类型选择

- 一、Types of rolling bearing 分类
- 二、Code of rolling bearing 轴承代号
- 三、Selection of types of rolling bearing 类型选择

物理与电气工程学院

7



滚动轴承的基本类型

Basic types of rolling bearing

一、按轴承所能承受的载荷方向或公称接触角 α 分类:

With respect to the direction of the loads they carry, bearings are classified as:

- 1. 向心轴承 Radial bearings
- 2. 推力轴承 Thrust bearings

二、按滚动体种类分类:

With respect to the shape of the rolling elements, antifriction bearings are classified as:

- 1. 球轴承 ball bearings
- 2. 滚子轴承 roller bearings

物理与电气工程学院

8



二、轴承代号Code of bearings

1、 Prefix and post codes

前置代号和后

置代号 Basic codes 基本代号

物理与电气工程学院

9

1、 Prefix and post codes

前置代号和后置代号



国家标准GB/T272-93规定的轴承代号由前置代号、基本代号、后置代号组成。其中，基本代号是核心，前置、后置代号是补充，一般情况可省略。

不带可分离内圈/外圈 内圈无挡边的圆柱滚子轴承 内径为35 加强型



单击继续

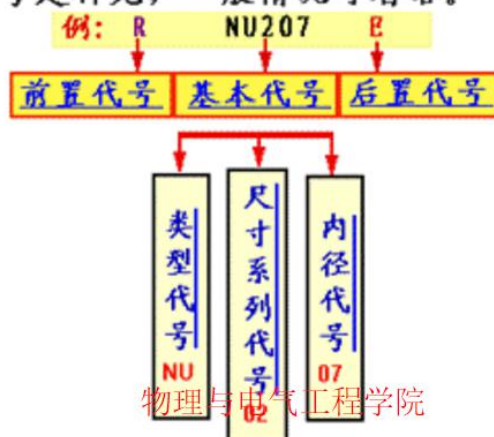
10



2、 Basic codes 基本代号

1) Type codes 类型代号

国家标准GB/T272-93规定的轴承代号由前置代号、基本代号、后置代号组成。其中，基本代号是核心，前置、后置代号是补充，一般情况可省略。



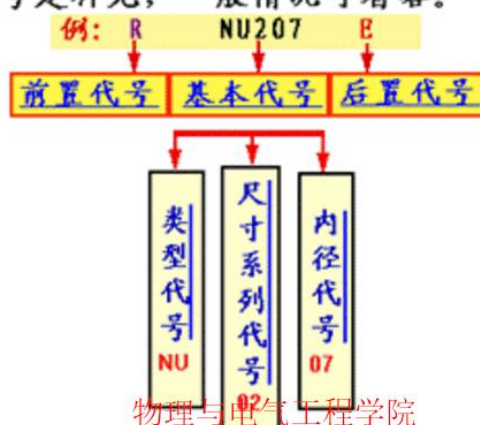
11

2) Dimensional series codes 尺寸系列代号



滚动轴承基本代号

国家标准GB/T272-93规定的轴承代号由前置代号、基本代号、后置代号组成。其中，基本代号是核心，前置、后置代号是补充，一般情况可省略。



12

3) Bore diameter series codes 内径系列代号

内径代号

轴承公称内径 d (mm) = 内径代号 乘以 5

特例:

These digits indicate the bore diameter divided by 5

1. 内径为 10, 12, 15, 17 的轴承,
内径代号分别为 00, 01, 02, 03

2. 内径 > 500

内径为 22, 28, 32

内径为 1 ~ 9 (整数)

内径为 0.6 ~ 10 (非整数) 的轴承

直接用内径尺寸毫米数表示, 与尺寸系列代号用 "/" 分开

物理与电气工程学院

13

三、 Options of bearing types 类型选择

1、 With respect to loads carried 根据载荷性质
The loads differ in magnitude, direction and feature

轴承的工作载荷 (包括大小、性质、方向),
转速高低, 自动调心以及轴系结构特殊要求对滚动
轴承类型选择均有影响。

物理与电气工程学院

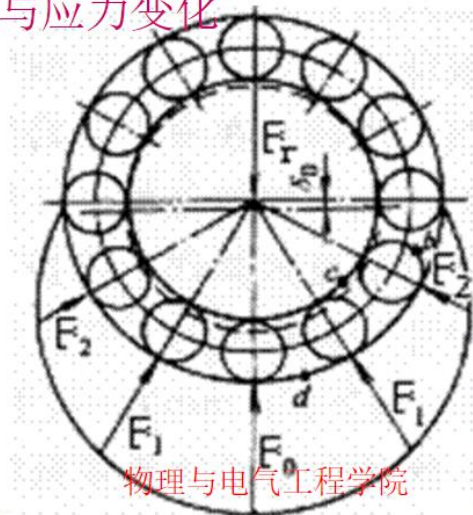
14



With respect to limit speed
根据极限转速

§ 11-3 Selection of the sizes for rolling bearings (Carrying-load ability calculations) 滚动轴承尺寸选择 (承载能力计算)

一、Load distribution and stress changes 载荷分布与应力变化



1、Load distribution 载荷分布

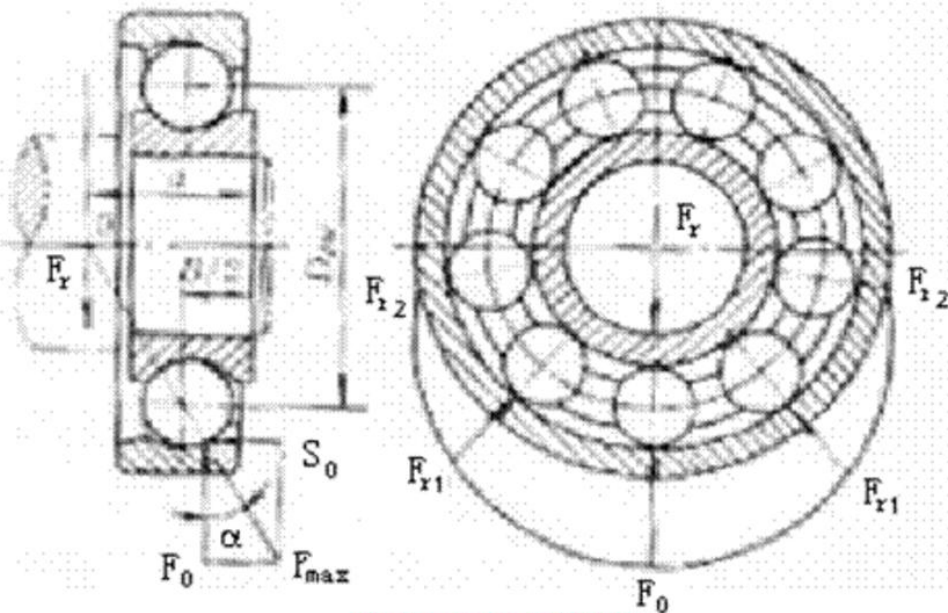
① Thrust bearings 推力轴承 ($\alpha = 90^\circ$)

The load is beard equally by each rolling element
载荷由各滚动体平均分担

② Radial bearings 向心轴承 ($\alpha = 0^\circ$)

Only the rolling elements located on an arc not larger than 180° (loaded zone) participate in carrying the load.

最多半圈滚动体受载



③ In angular-contact bearings subject radial load 角接触轴承受径向力 ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$)

Radial force distribution: Same as radial bearings, Besides this, inner forces exist.

径向力分布：同向心轴承 ($\alpha = 0^\circ$)
此外，存在内部轴向力S：

$$S = \sum S_i = 1.25 F_r \tan \alpha$$

物理与电气工程学院

19

2、Stress changes 应力变化

1) Rolling elements Motion ring

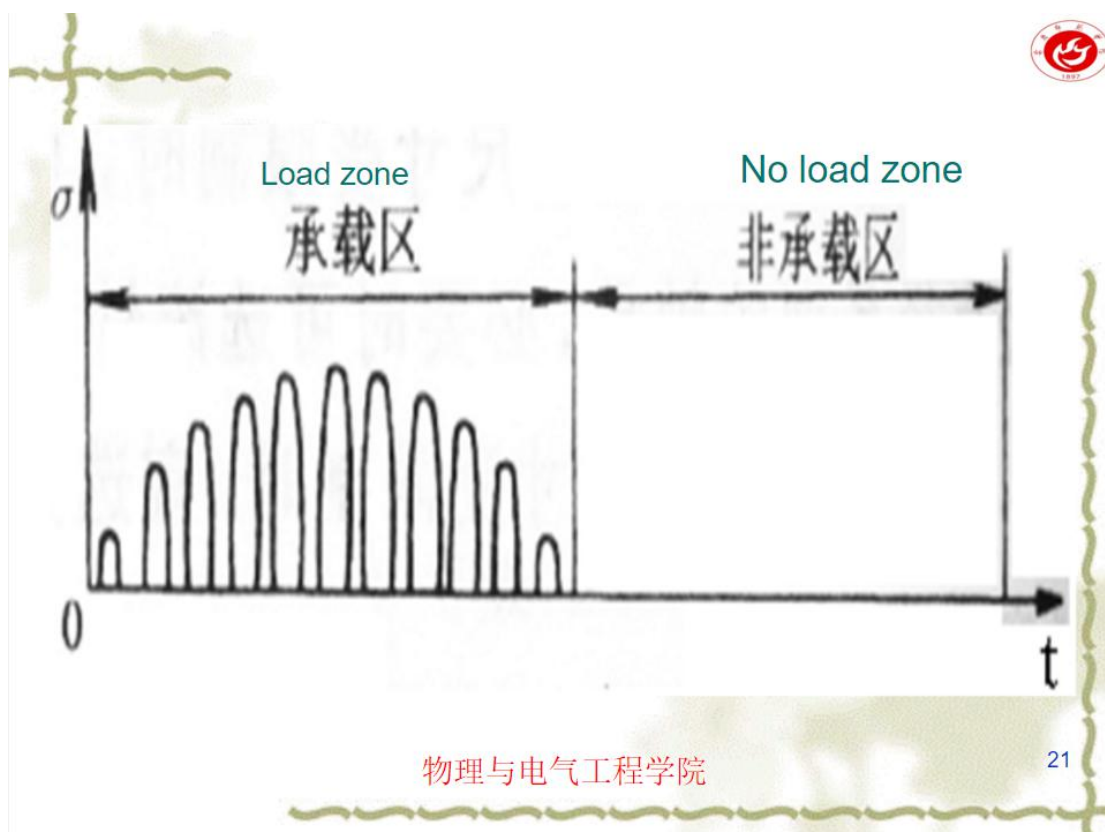
Periodic instable zero-plus alternating stress

滚动体、动圈：

周期性非稳定脉动循环应力

物理与电气工程学院

20

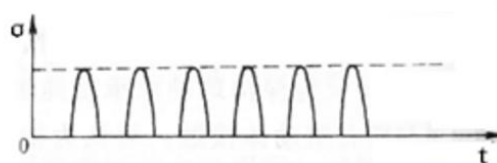


21

2) Fixed ring

Stable zero-plus alternating cycle stress

固定套圈：稳定脉动循环应力



物理与电气工程学院

22



二、 Failure types and design criteria 失效形式和计算准则

1、 Failure types 失效形式

- ❖ Fatigue spotting 点蚀
- ❖ Plastic deformation (indenting) 塑性变形
- ❖ Excess wear 磨粒磨损、粘着磨损
- ❖ Cage breakdown 套圈、保持架破裂



Fatigue spotting

点蚀

正常工作条件下，影响滚动轴承使用寿命的主要因素，属于接触疲劳磨损。

滚动轴承运转时，滚动体和套圈间产生变化的接触应力。工作若干时间后，各元件接触表面上都可能发生接触疲劳磨损，出现点蚀现象。有时由于安装不当，轴承局部受载较大，更促使点蚀早期发生。

塑性变形
塑性变形是指材料在外力作用下，产生永久变形，且当外力去除后，变形不能恢复。在机械零件中，塑性变形会导致零件尺寸变化，影响配合精度。例如，在装配过程中，如果零件发生塑性变形，可能会导致装配困难或装配后出现松动、异响等问题。因此，在设计和制造过程中，应尽量避免零件发生塑性变形，以保证零件的质量和使用寿命。

Plastic deformation indenting

Excess wear

磨粒磨损、粘着磨损

由于润滑和密封不良，将导致磨粒磨损和粘着磨损。由于密封不严，滚动体和套圈之间可能产生磨粒磨损。圆锥滚子大端与套圈挡边、推力球轴承与保持架、滚道之间在工作时都有可能发生滑动摩擦，如润滑不充分，会发生粘着磨损，并引起表面发热。

套圈、保持架破裂

由于安装不良和受到冲击，套圈和保持架会发生破裂，从而使滚动轴承无法工作。

2、Design criteria 计算准则

1) Common rotating bearings 一般回转轴承 ($n > 10\text{rpm}$):

Fatigue life calculations 疲劳寿命计算

疲劳寿命计算

2) For fatigue appalling (防点蚀)
High speed bearing 高速轴承

Fatigue life calculations 疲劳寿命计算

疲劳寿命计算

(For fatigue sapling (防点蚀))
Limit speed calculations 极限转速校核

3) For excess wear (防胶合)
Low speed rotating or oscillating bearings

低速轴承或摆动轴承 ($n < 10\text{rpm}$) :

摆动轴承 ($n < 10\text{rpm}$) :

物理与电气工程学院

Static load-carrying capacity 静强度计算

静强度计算

(For indenting (防塑性变形))



三、 Life calculations 寿命计算:

1、 Basic concepts 基本概念

- ① Bearing life 轴承寿命: Before the first evidence of fatigue develops on any element of the bearing, the total number of revolutions the bearing will run or operating hours under certain operating rotating speed.

轴承中任一元件出现疲劳点蚀前运转的总转数或一定转速下的工作小时数。



- ② Basic rating life: Before the number of bearings with the first evidence of fatigue develops get to 10% of bearings selected, the total number of revolutions the bearing will run or operating hours under certain operating rotating speed. 基本额定寿命: 一批相同的轴承, 90%轴承不发生点蚀前能达到的总转数或一定转速下的工作小时数(L_{10} 、 L_{h10}) .



③ Basic rating load (dynamic load capacity): the maximum load a bearing can endure for a rating 10^6 revolutions.

基本额定动负荷（反映承载能力大小）：基本额定寿命为100万转（ 10^6 转），轴承承受的最大负荷。（C）

④ Equivalent load 当量动负荷：

★ Equivalent load is an imaginary load

当量动负荷是一假想负荷

（ Radial bearing: Imaginary radial load

向心轴承：假想的径向负荷；

Thrust bearing: Imaginary axial load

推力轴承：假想的轴向负荷）。

★ Under equivalent load,

life of the bearing is same as under real load.

当量动负荷作用下，轴承寿命与实际负荷下相同。

$$P = f_p (X F_r + Y F_a) \quad F_a / F_r \leq e \text{ 时, } X=1, Y=0 \text{ (忽略 } F_a \text{)}$$

式中：X — 径向系数、Y — 轴向系数、e — 判断系数、 f_p — 负荷系数



❖2、 Life calculations 寿命计算

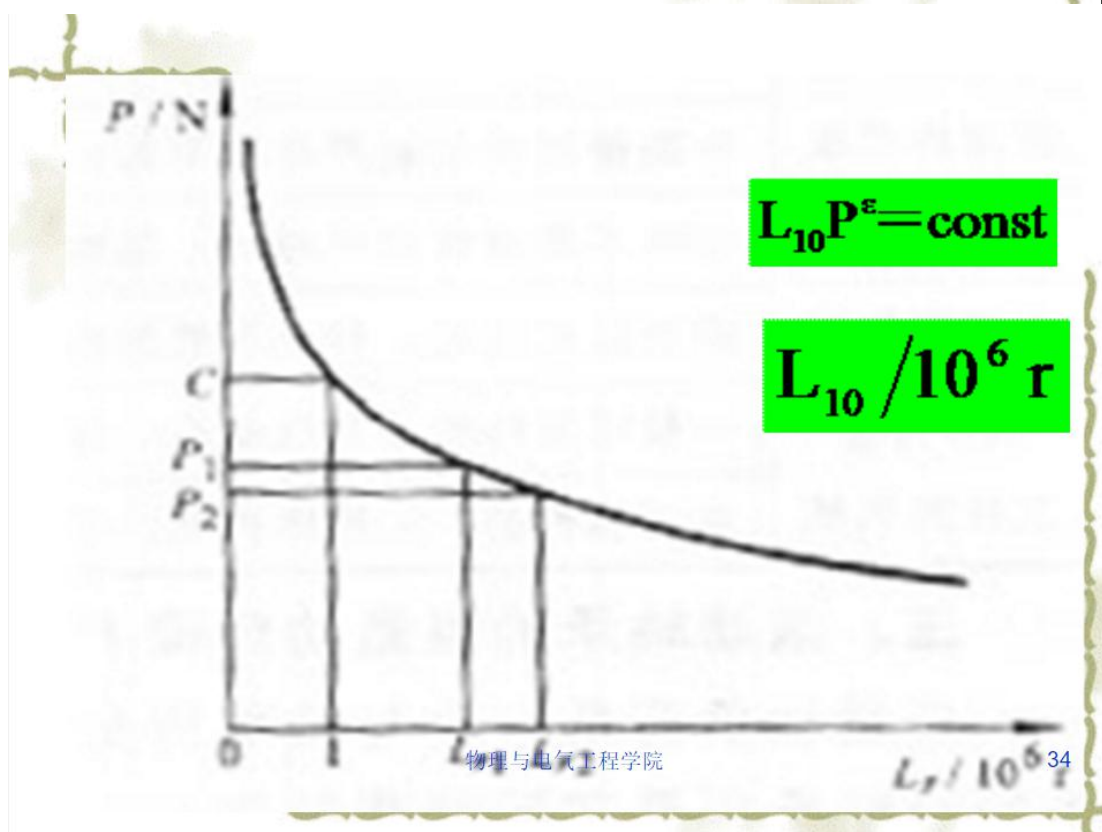
$$L_{10}P^\varepsilon = C^\varepsilon \Rightarrow L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^\varepsilon \cdot 10^6 (r) \quad L_{10} = \frac{10^6}{60n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^\varepsilon (h)$$

式中: n — 轴承转速 (rpm)

Life exponent

ε — 寿命指数 (球轴承: $\varepsilon = 3$; 滚子轴承: $\varepsilon = \frac{10}{3}$)

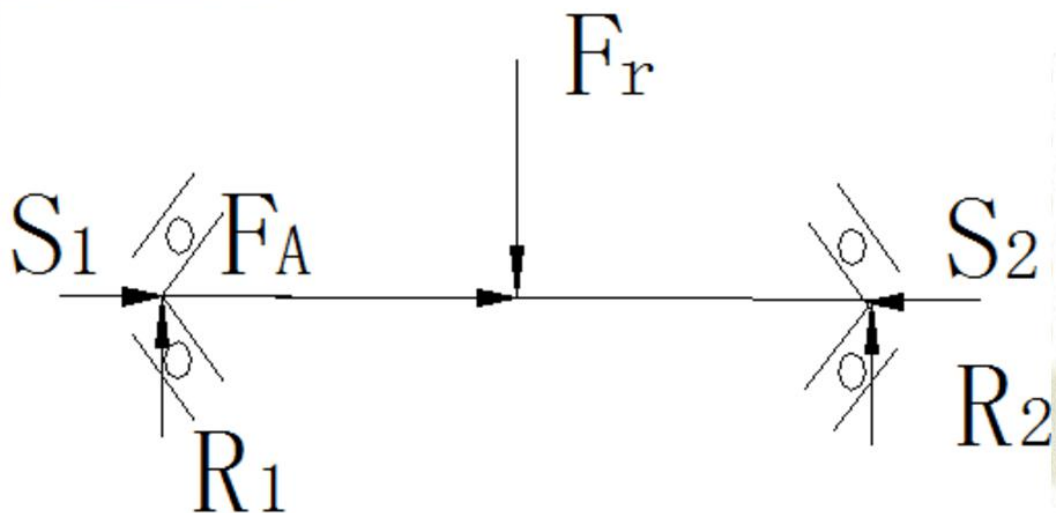
$L_{10} = 5000 \sim 20000 (h)$



3、 Axial load calculations of angular contact bearings 角接触轴承轴向载荷计算

Under radial load, inner axial forces are produced in angular contact bearing. Hence, the inner axial forces should be considered together with other axial forces on the shaft.

角接触轴承承受径向力时，产生内部轴向力 S →同时考虑轴的轴向力 F_A 和内部轴向力 S 的共同作用。



$$S_1 + F_A > S_2 \begin{cases} F_{a2} = S_2 + \Delta S_2 = S_1 + F_A \\ F_{a1} = S_1 \end{cases}$$

$$S_1 + F_A < S_2 \begin{cases} F_{a1} = S_1 + \Delta S_1 = S_2 - F_A \\ F_{a2} = S_2 \end{cases}$$

物理与电气工程学院

37

Calculation procedure 计算步骤:



- ① Determine motion trend of the shaft and judge tight and loose sides

确定轴的移动趋势，判断紧边、松边；

- ② At loose side, axial force on the bearing equals to inner axial force

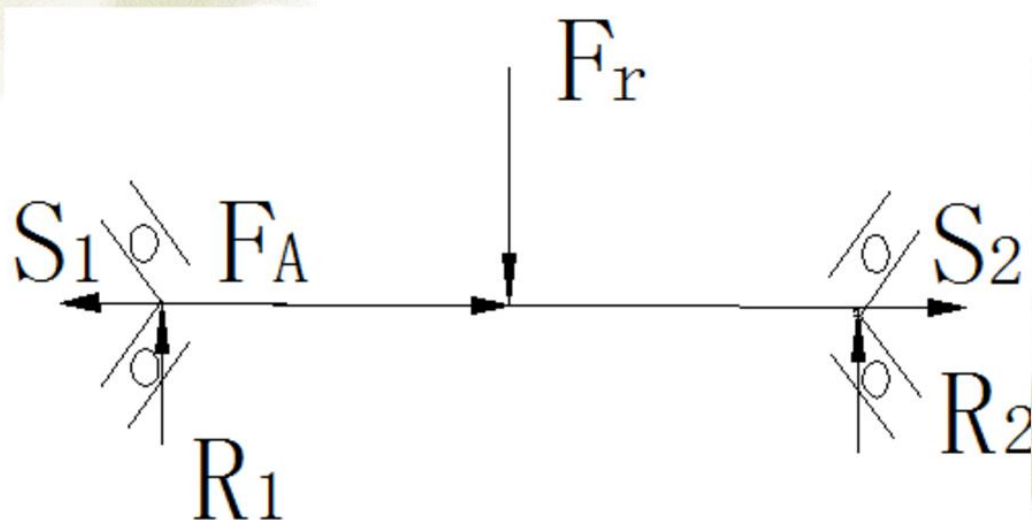
松边轴承所受轴向力等于自身内部轴向力；

- ③ At tight side, axial force on the bearing equals to sum of all the axial forces except its inner axial force

紧边轴承所受轴向力等于除自身内部轴向力外，其余轴向力的代数和。

物理与电气工程学院

38



物理与电气工程学院

39

$$S_2 + F_A > S_1: \begin{cases} F_{a2} = S_2 \\ F_{a1} = S_2 + F_A \end{cases}$$

$$F_A + S_2 < S_1: \begin{cases} F_{a1} = S_1 \\ F_{a2} = S_1 - F_A \end{cases}$$

物理与电气工程学院

40

四、Static load-carrying capacity calculations for indenting 滚动轴承静负荷计算(针对塑性变形)

1、Basic concepts 基本概念

- ① Rating static load 额定静负荷
(Limit load for indenting
限制塑性变形的极限负荷值 C_0)

The allowable loads on stationary bearings selected from the condition that the total permanent deformation of the rollers and rings does not exceed a value which appreciably affects the performance of the bearing (this value is assessed at 10^{-4} of the diameter of the rolling element).



在应力最大的滚动体与滚道接触处，滚动体与滚道总永久变形量为滚动体直径0.0001倍时的负荷。

② Equivalent static load 当量静负荷 (P_0)

★ It is an imaginary load

★ Under the imaginary load, preferment deformation of the bearing is the same as under real loads.

为一假想负荷；

此假想负荷作用下，滚动轴承塑性形量与物理与电气工程学院实际受载情况相同；

43

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a$$

X_0 、 Y_0 — 静径向、轴向系数



2、 Static load calculations 静负荷计算

$$C_0/P_0 \geq S_0$$

S_0 — 静负荷安全系数

Static load safety factor



Limit rotating speed calculation (For excess wear) 极限转速计算 (针对胶合)

- 1、 Limit rotating speed 极限转速 (n_{lim}) : Allowable rotating speed of the bearing under certain load and lubrication.

滚动轴承在一定负荷和润滑条件下允许的最高转速。

(Test conditions 试验条件: $P \leq 0.1C$ 、Radial bearings bear pure radial load and thrust bearings bear pure axial load.

向心轴承承受纯径向力、推力轴承承受纯轴向力)



2、 $P > 0.1C$ 时:

When $P > 0.1C$, contact stress grows which is corrected by load factor f_1 .

When radial bearings bear axial load, the number of rolling elements load-carried increases and the friction grows which is corrected by load distribution factor

f_2 接触应力增大, 用负荷系数 f_1 修正; 向心轴承受轴向力时, 受载滚动体增多, 摩擦增大, 用负荷分布系数 f_2 修正。

3、Calculation criteria 计算条件

:

$$n_{\max} \leq f_1 f_2 n_{\lim}$$



§ 11-4 Design arrangement of the bearings

滚动轴承组合设计

一、轴系固定的结构形式

Location of the shaft on the bearings

1、 Tow sides location

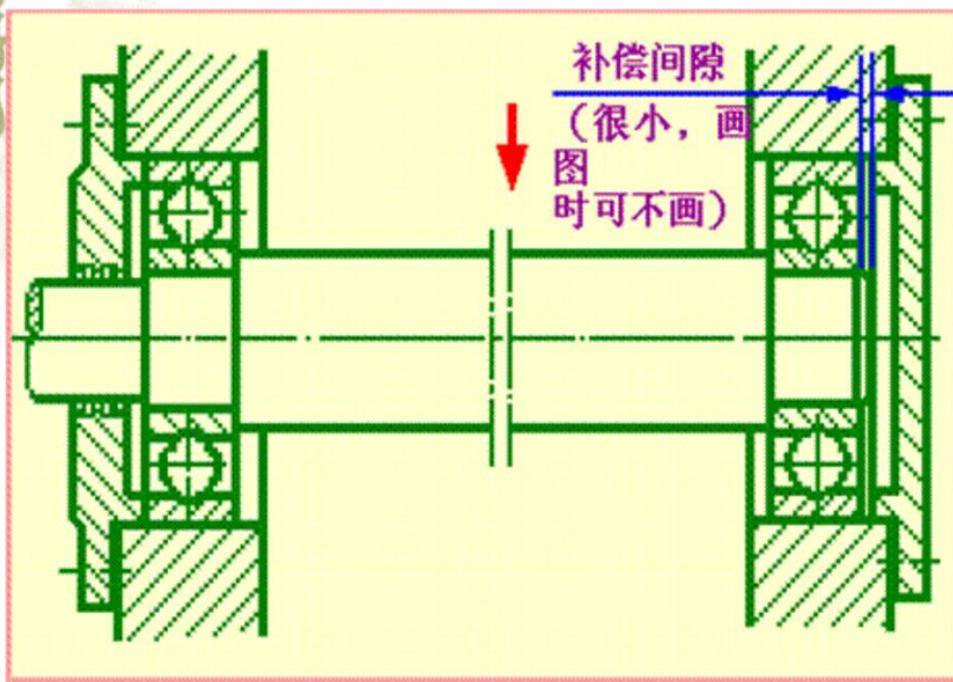
Used to short shafts

under common operating temperature

两端固定：用于普通工作温度下的短轴。

物理与电气工程学院

49



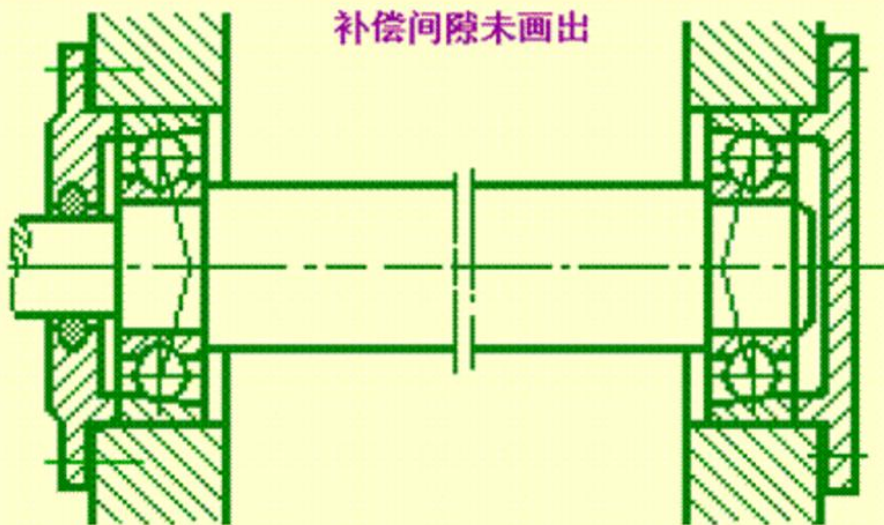
径向载荷由左右两个轴承共同承担。

物理与电气工程学院

50



补偿间隙未画出

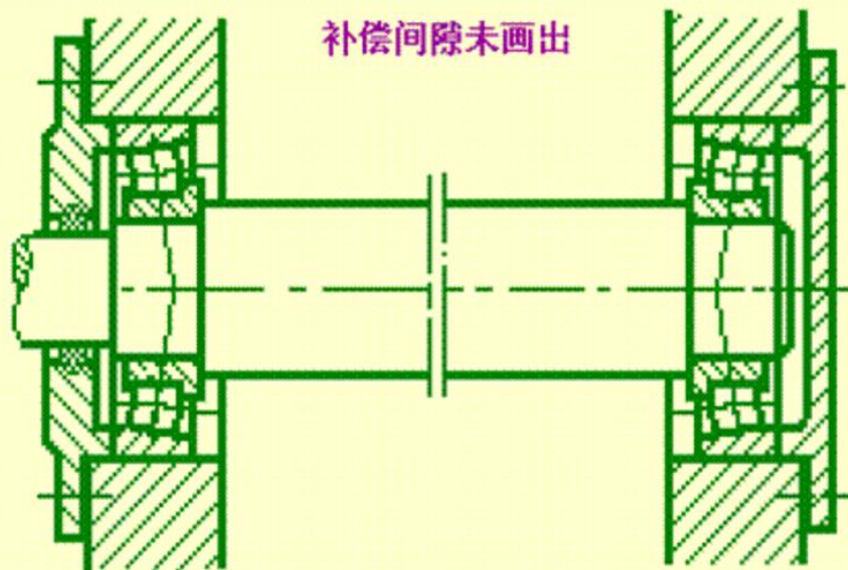


物理与电气工程学院

51



补偿间隙未画出



径向载荷由左右两个轴承共同承担。

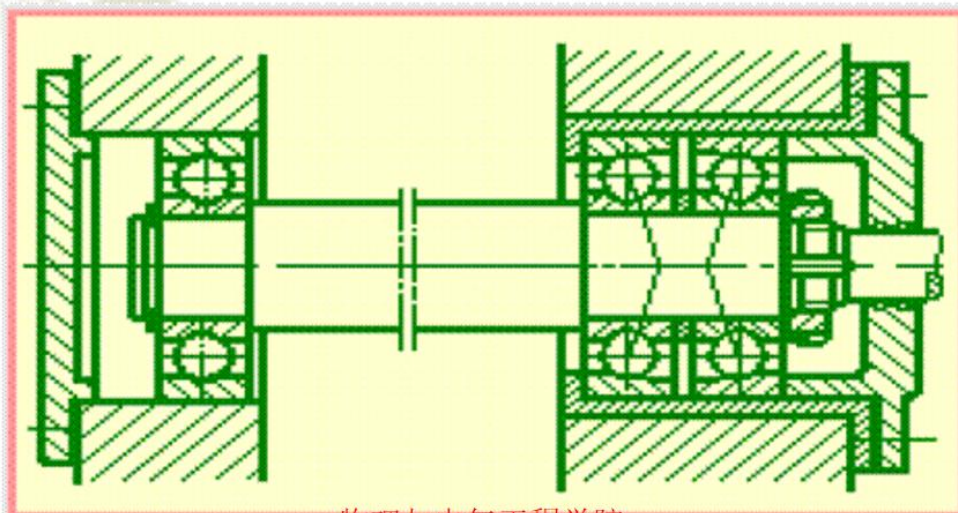
物理与电气工程学院

52



2、 One side location and another side floating :

Used to shafts under higher temperature or longer shafts
一端固定、一端游动用于工作温度较高或较长的轴。



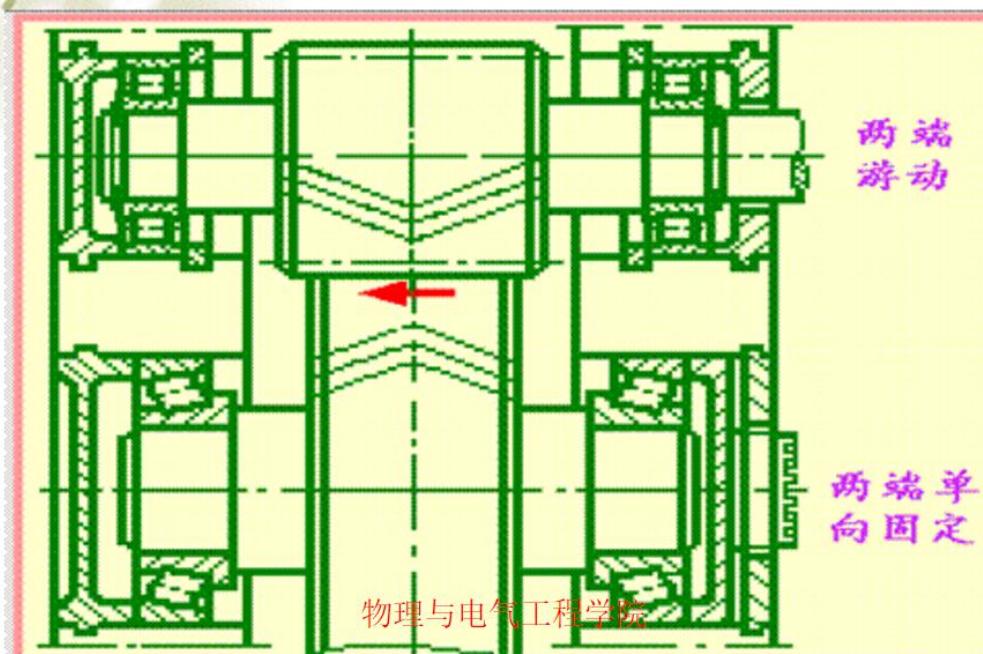
物理与电气工程学院

径向载荷由左右两端轴承共同承担。

53



3、 Tow sides floating : Used to shafts of herringbone gears 两端游动：用于人字齿轮轴定位



物理与电气工程学院

54

4、About location sides 关于固定端



1) One direction location sides 单向固定

单向固定端可以承受一个方向的轴向力，用作单向固定端的轴承有：

深沟球轴承

角接触球轴承

圆锥滚子轴承



2) Tow directions location sides

双向固定端



双向固定端可以承受两个方向的轴向力，用作双向固定端的轴承有：

深沟球轴承

一对角接触球轴承

一对圆锥滚子轴承

向心轴承与推力轴承的组合



3) Floating sides 游动端

游动端不承受任何轴向力，而是保证轴伸缩时能自由游动。用作游动端的轴承有：

深沟球轴承

圆柱滚子轴承

物理与电气工程学院

57

Locations of the bearings 轴承定位



轴向定位

轴肩定位

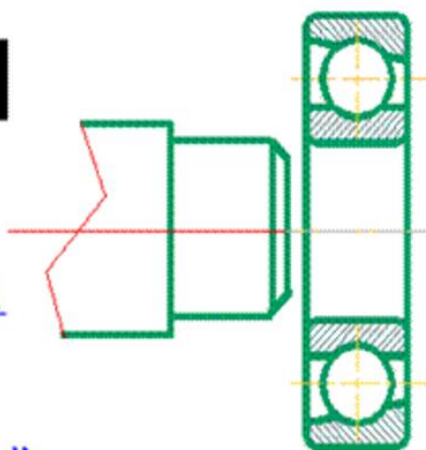
轴环定位

套筒定位

弹性卡圈定位

螺母定位

轴承座端盖定位



物理与电气工程学院

58



三、Bearing fits 轴承配



1. 滚动轴承是标准件，其内孔与外径在配合时不必标注公差。

2. 滚动轴承的回转套圈一般受旋转载荷，应选紧配合；不回转套圈受局部载荷，应选松配合。

3. 当轴承受摆动载荷时，内外套圈均应选较紧配合，具体应考虑以下几个方面：

1. 载荷类型
2. 载荷大小
3. 工作温度
4. 旋转精度
5. 结构要素
6. 装拆方便
7. 轴向位移

物理与电气工程学院

59



Bearing lubrication and sealing 轴承润滑和密封

物理与电气工程学院

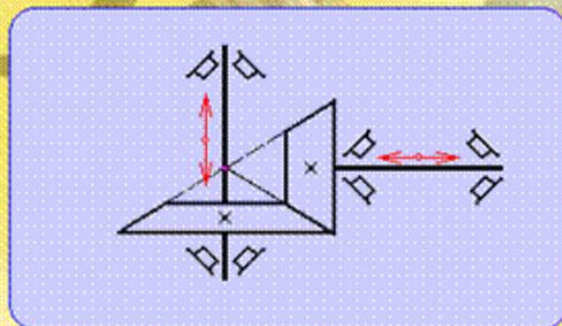
60



五、 Clearance adjusting 间隙调整

锥齿轮传动轴系

在锥齿轮传动中，为保证锥齿轮正确啮合，必须使两锥齿轮锥顶重合，因此，轴承的组合位置应能按下图中箭头方向调整。



单击继续