

精品课程配套教材

21世纪应用型人才培养“十三五”规划教材

“双创”型人才培养优秀教材

# 机械设计 基础

25-12

主编◇芦书荣 周 培 沈 枫 王志斌

西北工业大学出版社



## 第 10 章 轮 系

### 10.1 轮系的分类

在第 8 章中讨论了一对齿轮的传动原理和设计方法。在一般机械中,通常采用一系列齿轮传动,以满足机器工作要求。如卷扬机要通过减速器将电动机的高转速降至生产要求的转速;机床要通过变速箱将电动机的单一转速变为多级转速;汽车要通过差速器将发动机的运动分解为两驱动轮的运动。这种由一系列齿轮组成的传动系统称为齿轮系,简称轮系。

根据轮系运转时齿轮轴线是否固定,将轮系分为定轴轮系和周转轮系。

#### 10.1.1 定轴轮系

当组成轮系的所有齿轮在轮系运转时,各齿轮的轴线都是固定不动的,则该轮系称为定轴轮系,如图 10-1 所示。

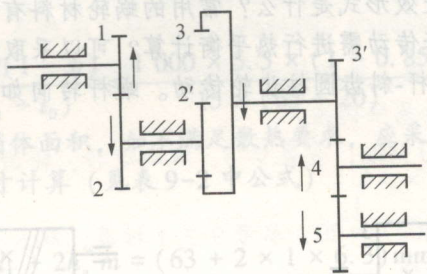


图 10-1 定轴轮系

#### 10.1.2 周转轮系

当轮系运转时,若其中至少有一个齿轮的轴线可绕另一个齿轮的轴线转动,这样的轮系称为周转轮系。如图 10-2 所示,齿轮 2 既绕自身轴线  $O_2$  转动,又绕齿轮 1 和 3 的轴线  $O_1$  转动,如自然界的行星一样,既有自转又有公转,故称齿轮 2 为行星轮。支承行星轮的构件 H 称为行星架或系杆。与行星轮啮合且轴线固定的齿轮 1 和 3 称为中心轮。行星架与中心轮的轴线必须重合,否则轮系不能转动。

有关齿轮传动的承载能力计算已在第 8 章中讨论,本章仅从运动分析的角度讨论轮系传动比的计算方法和轮系在机械传动中的应用。



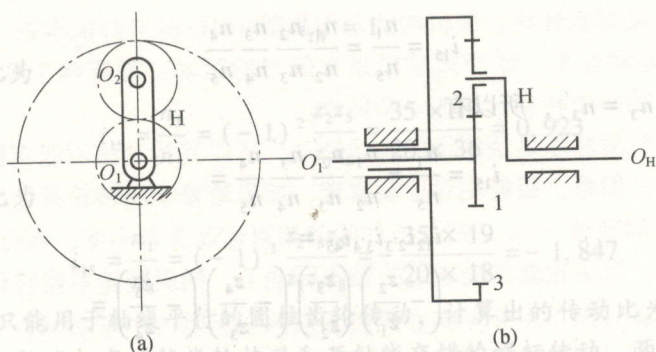


图 10-2 周转轮系

## 10.2 定轴轮系的传动比

轮系中，首、末两轮的角速度或转速之比，称为轮系的传动比。

图 10-3 所示的一对圆柱齿轮传动可视为最简单的定轴轮系，若齿轮 1 是主动轮（即首轮），齿轮 2 是从动轮（即末轮），其传动比为

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \pm \frac{z_2}{z_1}$$

图 10-3 (a) 所示为一对外啮合圆柱齿轮传动，两轮转向相反，取负号；图 10-3 (b) 所示为一对内啮合圆柱齿轮传动，两轮转向相同，取正号。

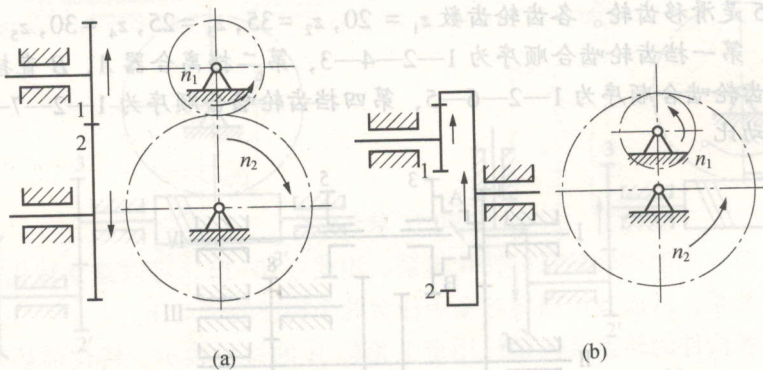


图 10-3 一对圆柱齿轮传动

在图 10-1 所示的定轴轮系中，若齿轮 1 是主动轮， $z_1, z_2, z_2', z_3, z_3', z_4, z_5$  分别表示各齿轮齿数， $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5$  分别对应为各齿轮的转速。按上述表达方式，则各对啮合齿轮的传动比为

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = -\frac{z_2}{z_1}, i_{2'3} = \frac{n_2}{n_3} = \frac{z_3}{z_2'}, i_{3'4} = \frac{n_3}{n_4} = -\frac{z_4}{z_3'}, i_{45} = \frac{n_4}{n_5} = -\frac{z_5}{z_4}$$

该轮系的传动比可写为



$$i_{15} = \frac{n_1}{n_5} = \frac{n_1}{n_2} \frac{n_2}{n_3} \frac{n_3}{n_4} \frac{n_4}{n_5}$$

因为  $n_2 = n_2'$ ,  $n_3 = n_3'$ , 所以有

$$\begin{aligned} i_{15} &= \frac{n_1}{n_5} = \frac{n_1}{n_2} \frac{n_2}{n_3} \frac{n_3}{n_4} \frac{n_4}{n_5} = \\ &= i_{12} i_{2'3'} i_{3'4} i_{45} = \\ &= \left( -\frac{z_2}{z_1} \right) \left( \frac{z_3}{z_2'} \right) \left( -\frac{z_4}{z_3'} \right) \left( -\frac{z_5}{z_4} \right) = \\ &= (-1)^3 \frac{z_2 z_3 z_5}{z_1 z_2' z_3} \end{aligned}$$

上述计算结果表明, 定轴轮系的传动比等于组成该轮系的各对齿轮传动比的连乘积, 也等于轮系中从动轮齿数的连乘积与主动轮齿数连乘积之比。首、末两轮的转向是否相同, 取决于轮系中外啮合次数。此外, 齿轮 4 同时与齿轮 3' 和齿轮 5 啮合, 做一次主动轮又做一次从动轮, 其齿数  $z_4$  在计算中可消去, 即齿轮 4 不影响轮系传动比的大小, 但确能改变从动轮的转向。这种齿轮称为惰轮。

对于轮系中首、末两轮的转向, 也可以在传动图上, 根据外啮合两轮转向相反, 内啮合两轮转向相同的关系, 依次画转向箭头来确定, 如图 10-1 所示。

综上所述, 若以 1 表示首轮,  $k$  表示末轮,  $m$  表示 1 至  $k$  轮之间外啮合次数, 则定轴轮系的传动比为

$$i_{1k} = \frac{n_1}{n_k} = (-1)^m \frac{\text{所有从动轮齿数的乘积}}{\text{所有主动轮齿数的乘积}} \quad (10-1)$$

**例 10-1** 图 10-4 所示某汽车变速箱, I 轴是输入轴, IV 轴是输出轴, A, B 是离合器, 齿轮 3、齿轮 5 是滑移齿轮。各齿轮齿数  $z_1 = 20$ ,  $z_2 = 35$ ,  $z_3 = 25$ ,  $z_4 = 30$ ,  $z_5 = 19$ ,  $z_6 = 36$ ,  $z_7 = 18$ ,  $z_8 = 18$ 。第一挡齿轮啮合顺序为 1—2—4—3, 第二挡离合器 A, B 直接将 I 轴和 IV 轴相连, 第三挡齿轮啮合顺序为 1—2—6—5, 第四挡齿轮啮合顺序为 1—2—7—8—5, 为倒车挡。求各挡传动比。

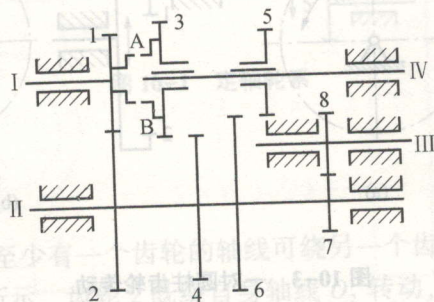


图 10-4 汽车变速箱

**解:** 由式 (10-1) 得

第一挡传动比为

$$i_{13} = \frac{n_1}{n_3} = (-1)^2 \frac{z_2 z_3}{z_1 z_4} = \frac{35 \times 25}{20 \times 30} = 1.458$$

第二挡传动比为



$$i_{1IV} = 1$$

第三挡传动比为

$$i_{15} = \frac{n_1}{n_5} = (-1)^2 \frac{z_2 z_5}{z_1 z_6} = \frac{35 \times 19}{20 \times 36} = 0.923$$

第四挡传动比为

$$i_{15} = \frac{n_1}{n_5} = (-1)^3 \frac{z_2 z_8 z_5}{z_1 z_7 z_8} = -\frac{35 \times 19}{20 \times 18} = -1.847$$

式(10-1)只能用于轴线平行的圆柱齿轮传动,计算出的传动比为负值,说明1、k两轮转向相反。对两轴线相交的锥齿轮传动和两轴线交错的蜗杆传动,两轮的转向没有相同或相反的意义,所以传动比的大小仍可用式(10-1)计算,各轮的转向只能在图中用画箭头的方法表示。

**例 10-2** 在图 10-5 (a) 所示的轮系中,锥齿轮 1 是主动件,转向如图示。各齿轮齿数  $z_1 = 20, z_2 = 30, z_2' = 18, z_3 = 30, z_3' = 2$  (转向见图示),  $z_4 = 40$ 。若  $n_1 = 1000 \text{ r/min}$ , 求蜗轮 4 的转速  $n_4$  及各轮的转向。

解: 由式(10-1)得

$$i_{14} = \frac{n_1}{n_4} = (-1)^2 \frac{z_2 z_3 z_4}{z_1 z_2' z_3'} = \frac{30 \times 30 \times 40}{20 \times 18 \times 2} = 50$$

$$n_4 = \frac{n_1}{i_{14}} = \frac{1000}{50} \text{ r/min} = 20 \text{ r/min}$$

各轮的转向如图 10-5 (b) 所示的箭头。其中蜗轮 4 的转向,是通过对蜗杆应用右手定则,判定出蜗杆轴向力的方向,从而确定蜗轮 4 圆周力  $F_{t4}$  方向(见图 10-5 (b))。蜗轮 4 是从动件,啮合点处转向与圆周力方向相同。

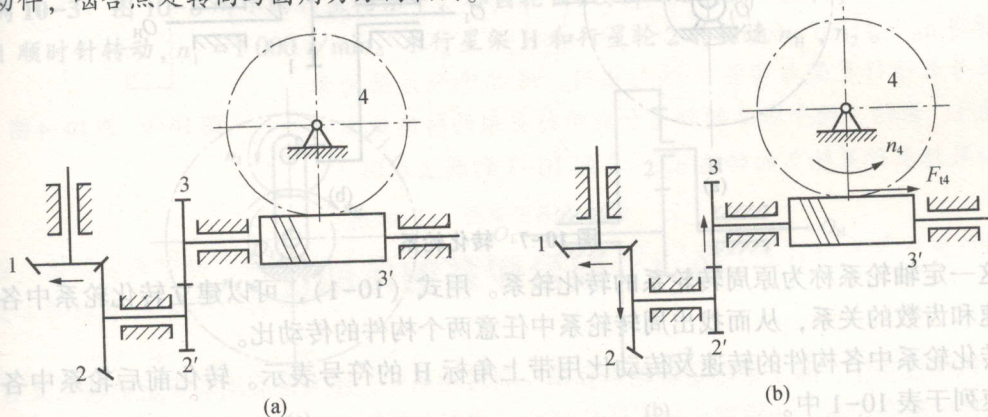


图 10-5 例 10-2 图

### 10.3 周转轮系的传动比

由 10.1.2 节可知,周转轮系与定轴轮系的区别在于周转轮系中有转动的轴线。图 10-6 (b) 所示的周转轮系,只有一个中心轮能转动,该机构活动构件数  $n=3, p_L=3, p_H=2$ , 机构的自由度  $F=1$ , 即只需一个原动件,这种轮系称之为行星轮系。图 10-6 (c) 所示的周