



第五章 轮系

5.1 轮系的类型

5.2 定轴轮系及其传动比

5.3 周转轮系及其传动比

5.4 复合轮系及其传动比

5.5 轮系的应用

5.6 几种特殊的行星传动简介

机械设计基础主要研究机械中的**常用机构**和**通用零件**的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。



第五章 轮系

5.1 轮系的类型

5.2 定轴轮系及其传动比

5.3 周转轮系及其传动比

5.4 复合轮系及其传动比

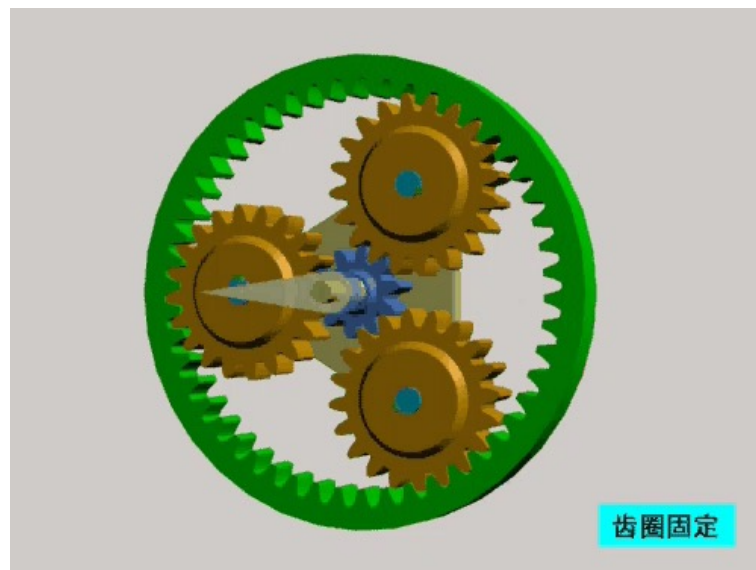
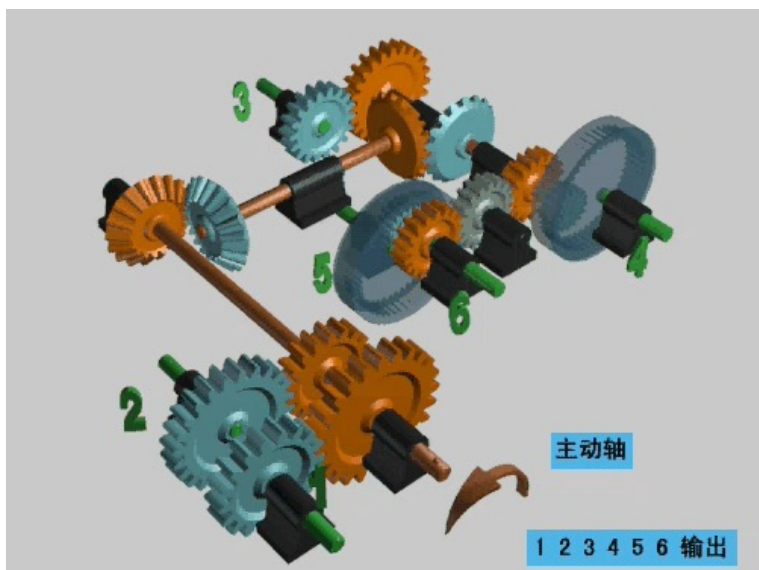
5.5 轮系的应用

5.6 几种特殊的行星传动简介

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

轮系的类型

- **轮系**——由一系列相互啮合的齿轮所组成的齿轮传动系统。
可分为：定轴轮系，周转轮系。
- **定轴轮系**——运转时，各齿轮几何轴线的位置固定不动。
- **周转轮系**——运转时，至少有一个齿轮的几何轴线是绕着其他定轴齿轮的轴线转动。





第五章 轮系

5.1 轮系的类型

5.2 定轴轮系及其传动比

5.3 周转轮系及其传动比

5.4 复合轮系及其传动比

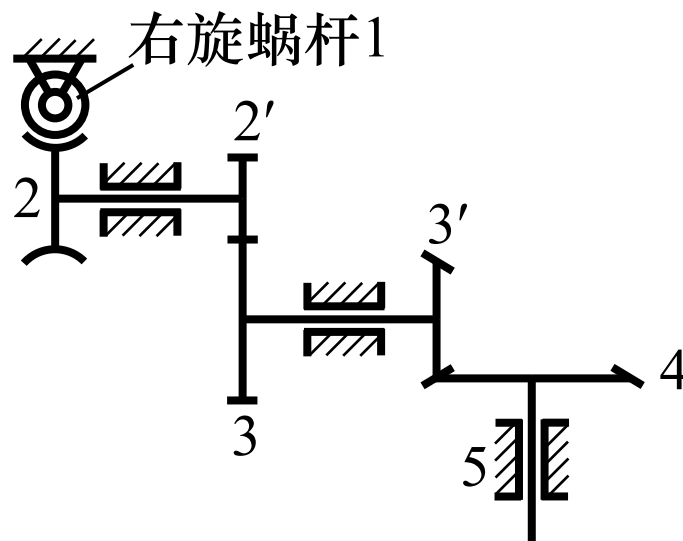
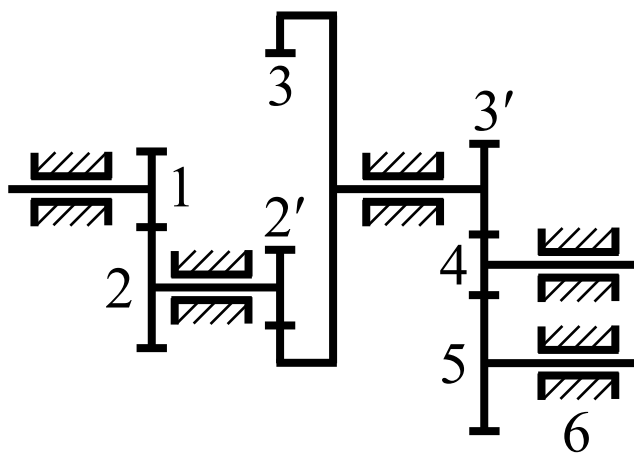
5.5 轮系的应用

5.6 几种特殊的行星传动简介

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

定轴轮系及其传动比

- **定轴轮系**——运转时，各齿轮几何轴线的位置固定不动。
- **平行轴定轴轮系**——仅由平面齿轮机构组成，各齿轮轴线平行，也称平面定轴轮系。
- **非平行轴定轴轮系**——含有空间齿轮机构，也称空间定轴轮系。

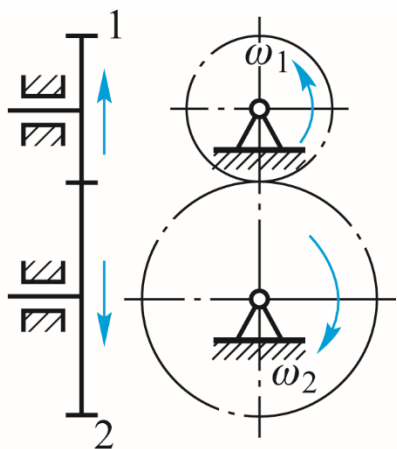


定轴轮系及其传动比

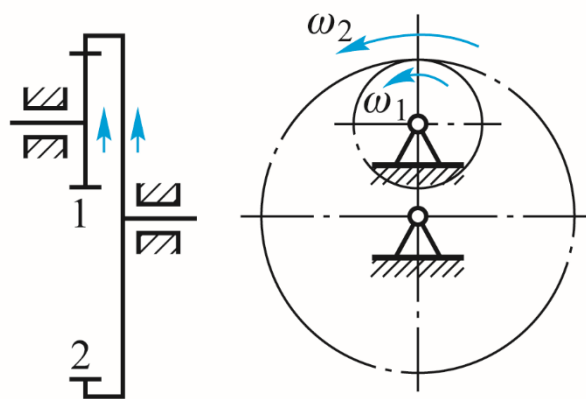
当轮系运动时，其输入轴 a 与输出轴 b 的角速度（或转速）之比称为该轮系的传动比， $i_{ab} = \omega_a / \omega_b = n_a / n_b$ 。

确定一个轮系的传动比，包括计算其大小和确定输入轴与输出轴之间的转向关系。

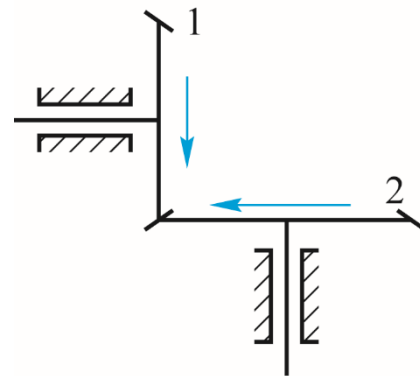
一对齿轮的转向关系可通过标注箭头的方法来确定，箭头方向表示齿轮可见侧（轴线外侧）的圆周速度方向。



平行轴外啮合：
转向相反



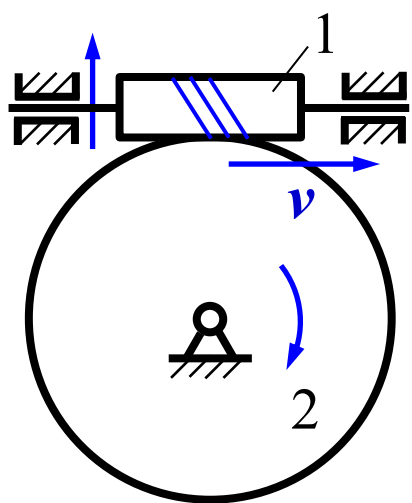
平行轴内啮合：
转向相同



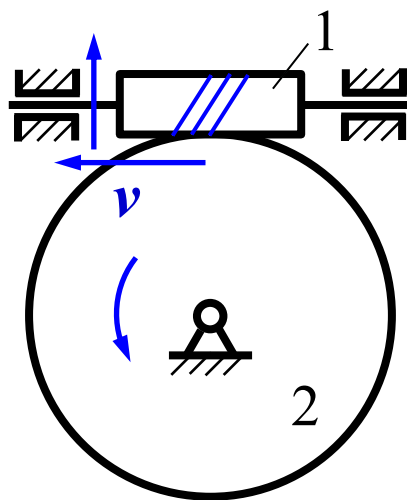
锥齿轮啮合

定轴轮系及其传动比

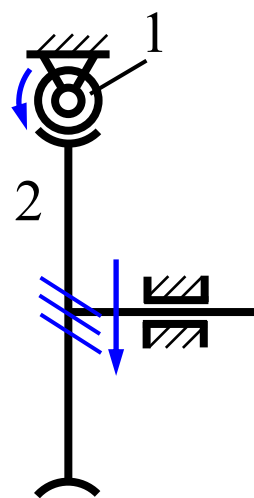
蜗杆蜗轮转向关系判断的左右手法则：蜗杆、蜗轮的轴线交错垂直，两者轮齿旋向相同；左旋时用左手，右旋时用右手，拇指伸直，四指握拳；四指弯曲方向与蜗杆转向一致，拇指指向的相反方向为蜗轮上啮合点的速度方向。



已知右旋轮齿和
蜗杆转向，确定
蜗轮转向



已知左旋轮齿和
蜗轮转向，确定
蜗杆转向



已知蜗杆、蜗轮
转向，确定轮齿
旋向

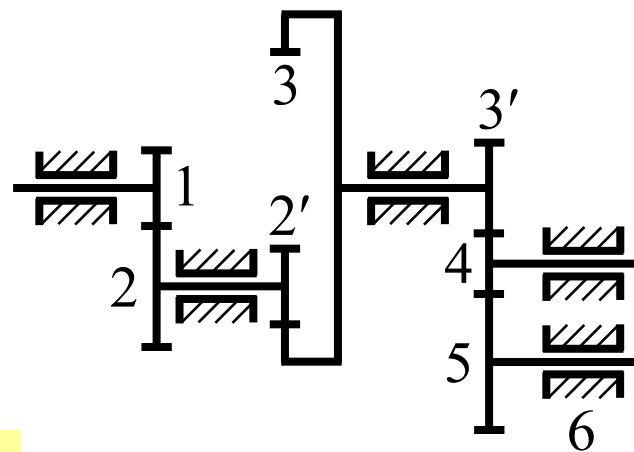
定轴轮系及其传动比

当输入轴、输出轴的轴线平行时，可通过传动比的正、负号分别表示转向相同或相反。

图示平面定轴轮系，设齿轮1为输入，齿轮5为输出，则各对齿轮的传动比为

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{z_2}{z_1}, \quad i_{2'3} = \frac{\omega_{2'}}{\omega_3} = \frac{z_3}{z_{2'}}$$

$$i_{3'4} = \frac{\omega_{3'}}{\omega_4} = -\frac{z_4}{z_{3'}}, \quad i_{45} = \frac{\omega_4}{\omega_5} = -\frac{z_5}{z_4}$$



$$i_{12} i_{2'3} i_{3'4} i_{45} = \frac{\omega_1 \omega_{2'} \omega_{3'} \omega_4}{\omega_2 \omega_3 \omega_4 \omega_5} = (-1)^3 \frac{z_2 z_3 z_4 z_5}{z_1 z_{2'} z_{3'} z_4}$$

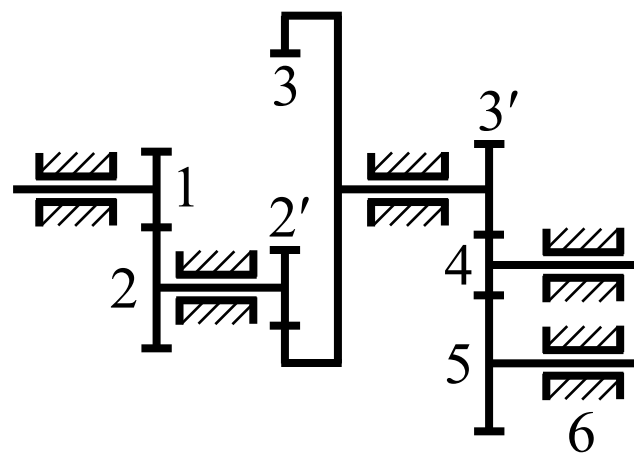
$$\omega_{2'} = \omega_2, \omega_3 = \omega_{3'} \quad \longrightarrow \quad i_{15} = \frac{\omega_1}{\omega_5} = \frac{\omega_1 \omega_{2'} \omega_{3'} \omega_4}{\omega_2 \omega_3 \omega_4 \omega_5} = (-1)^3 \frac{z_2 z_3 z_4 z_5}{z_1 z_{2'} z_{3'} z_4}$$

定轴轮系及其传动比

$$i_{15} = \frac{\omega_1}{\omega_5} = \frac{\omega_1 \omega_2' \omega_3' \omega_4}{\omega_2 \omega_3 \omega_4 \omega_5} = (-1)^3 \frac{z_2 z_3 z_4 z_5}{z_1 z_2' z_3' z_4}$$

平面定轴轮系的传动比：大小为各对齿轮传动比的连乘积，其值等于各对齿轮从动轮齿数的乘积与各对齿轮主动轮齿数的乘积之比。

若轮系中有 m 个外啮合，则从输入轴到输出轴，其角速度方向应经过 m 次变号，即这种轮系传动比的符号可用 $(-1)^m$ 来判定。



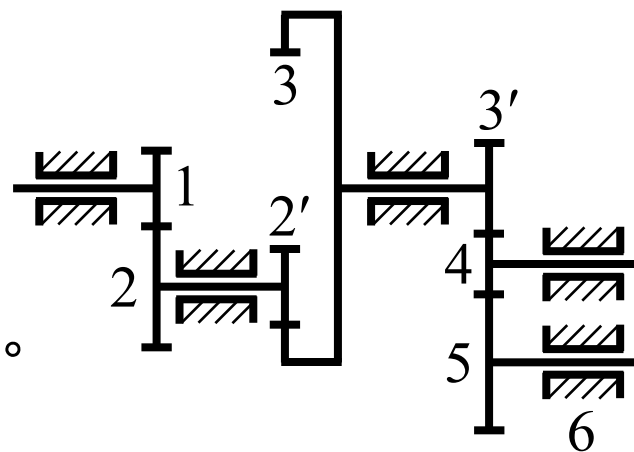
$$m = 3$$

$$i_{15} = \frac{\omega_1}{\omega_5} = (-1)^m \frac{z_2 z_3 z_4 z_5}{z_1 z_2' z_3' z_4} = - \frac{z_2 z_3 z_4 z_5}{z_1 z_2' z_3' z_4}$$

定轴轮系及其传动比

公式右边分子、分母中的 z_4 互相消去，表明**齿轮4的齿数不影响传动比的大小**，这种齿轮通常称为**惰轮**或**过桥轮**。

惰轮虽然不影响传动比的大小，但却能改变传动比的正、负号。如果没有齿轮4而齿轮3'直接与齿轮5啮合，则齿轮5的转动方向与齿轮1相同。



$$i_{15} = \frac{\omega_1}{\omega_5} = (-1)^m \frac{z_2 z_3 z_4 z_5}{z_1 z_{2'} z_{3'} z_4} = - \frac{z_2 z_3 z_4 z_5}{z_1 z_{2'} z_{3'} z_4}$$

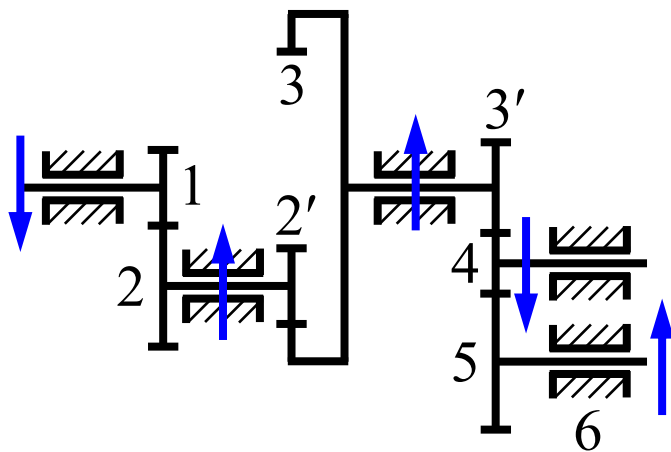
定轴轮系及其传动比

任意平面定轴轮系：输入轴A与输出轴B的传动比为

$$i_{AB} = \frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{n_A}{n_B} = (-1)^m \frac{\text{所有从动轮齿数的连乘积}}{\text{所有主动轮齿数的连乘积}}$$

可用画箭头的方法来确定输入轴与输出轴的转向关系。

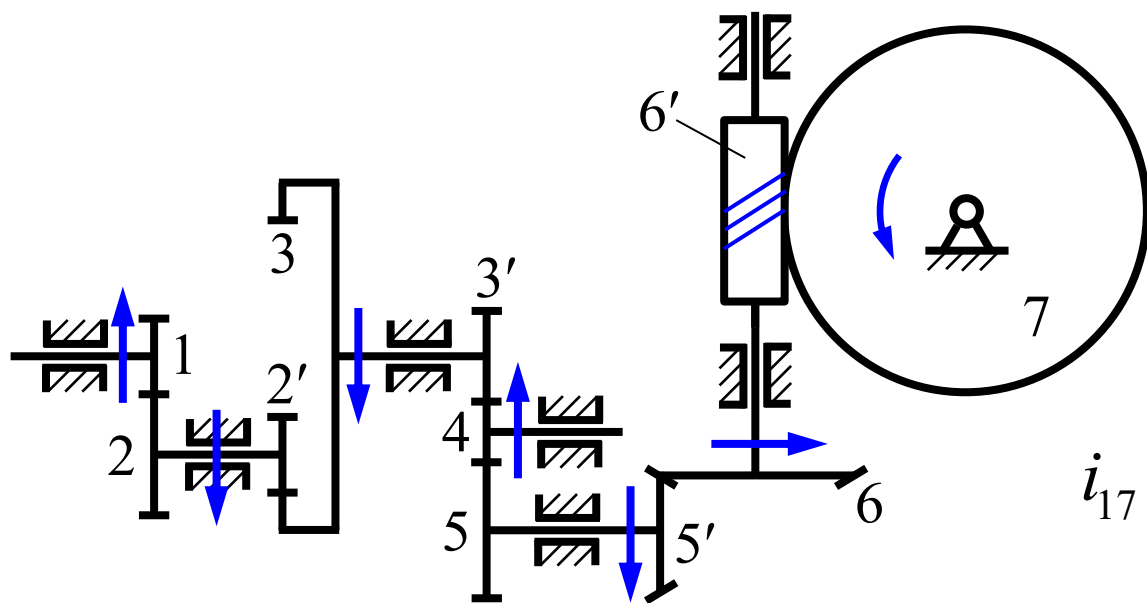
如图，假设主动轮1的转向



定轴轮系及其传动比

图示空间定轴轮系：这种轮系的**传动比大小**仍可用平面定轴轮系的公式计算。

由于一对空间齿轮的轴线不平行，两轮的转向关系不能用相同或相反来反映，所以这种轮系中各轮的转向必须在图上用箭头示出而不能用于 $(-1)^m$ 来确定。



传动比大小

$$i_{17} = \frac{n_1}{n_7} = \frac{z_2 z_3 z_4 z_5 z_6 z_7}{z_1 z_{2'} z_{3'} z_4 z_{5'} z_{6'}}$$



第五章 轮系

5.1 轮系的类型

5.2 定轴轮系及其传动比

5.3 周转轮系及其传动比

5.4 复合轮系及其传动比

5.5 轮系的应用

5.6 几种特殊的行星传动简介

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

周转轮系及其传动比

一、周转轮系的组成

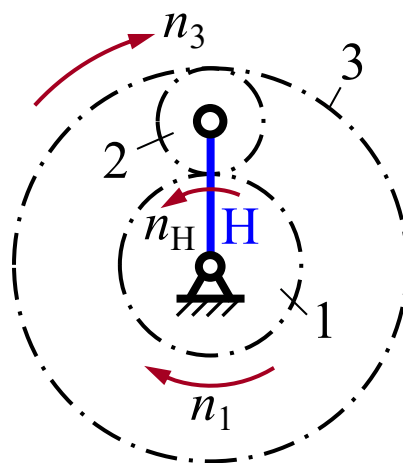
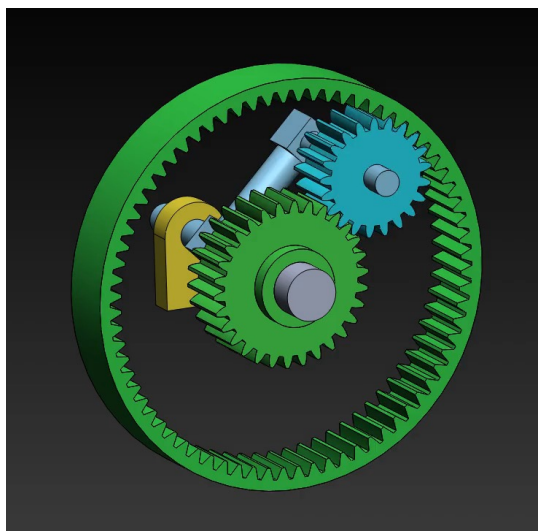
图示周转轮系：

行星轮2——空套在H上，自转(轴线 O_2) + 公转(轴线 O_H)

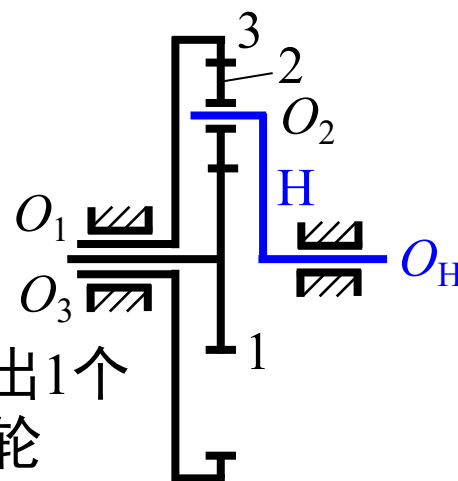
行星架或转臂H——支持行星轮的构件，作定轴转动

中心轮或太阳轮1、3——轴线位置固定的齿轮

行星架与中心轮的几何轴线重合



仅画出1个
行星轮

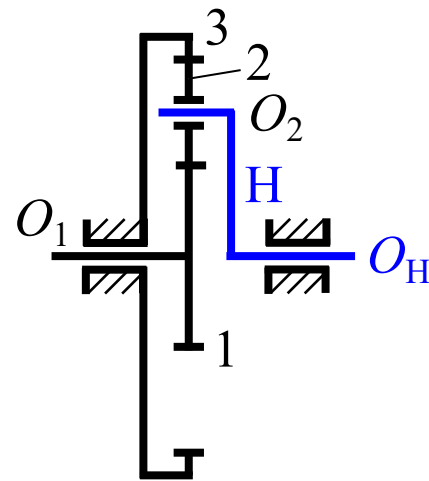
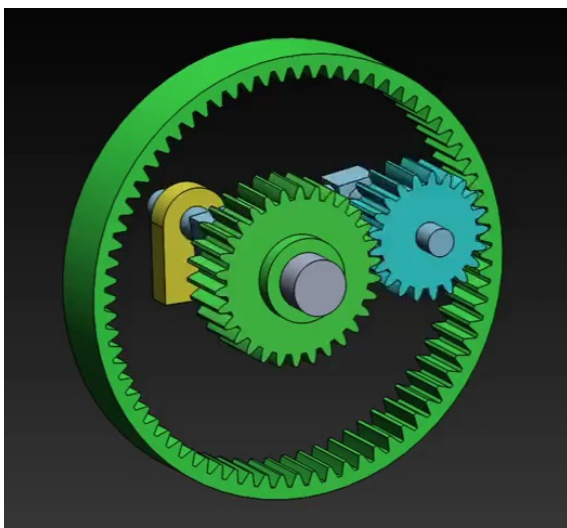
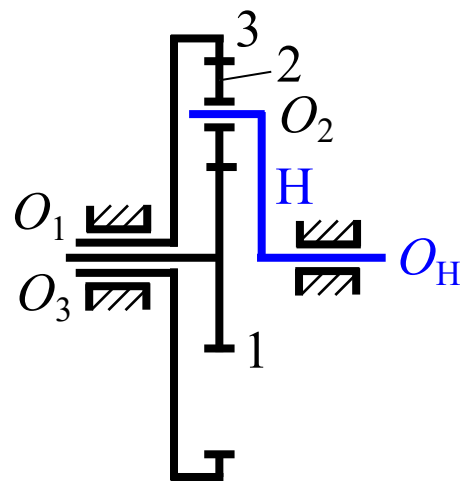
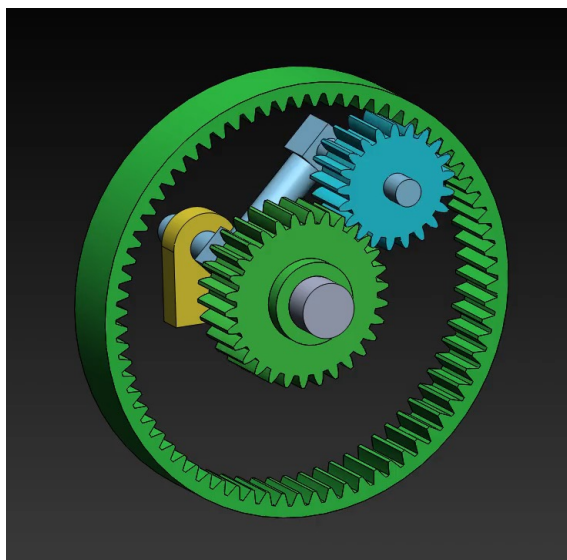


周转轮系及其传动比

基本周转轮系——行星轮 + 行星架 + 与行星轮啮合的中心轮 + 机架

差动轮系——自由度为2的基本周转轮系

行星轮系——自由度为1的基本周转轮系



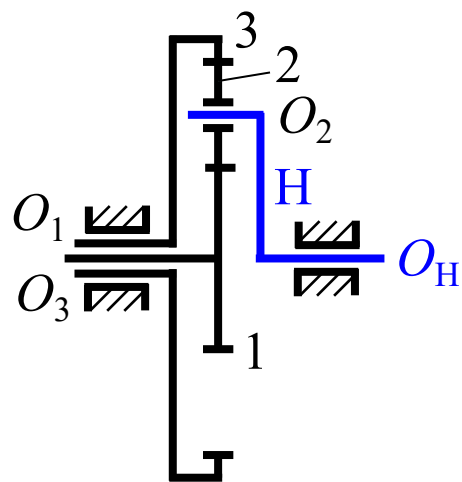
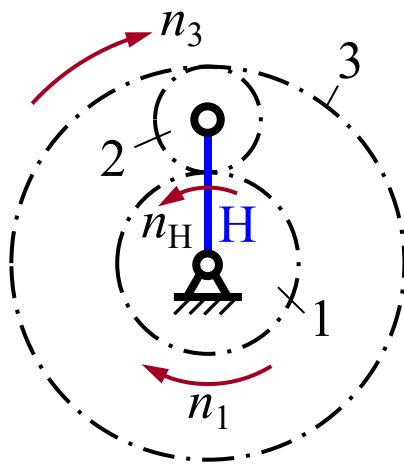
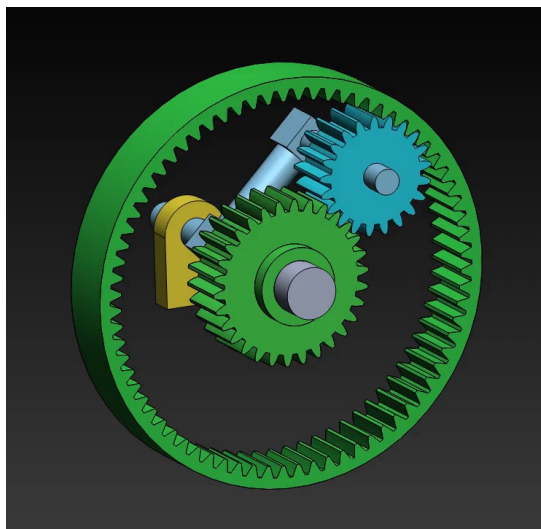
周转轮系及其传动比

二、周转轮系传动比的计算

图示基本周转轮系，因行星轮2的运动不是绕固定轴线的简单转动，各构件间的传动比不能直接用定轴轮系的求解方法。

为解决周转轮系的传动比计算问题，应设法将其转化成定轴轮系，也即应当设法使行星架固定不动。

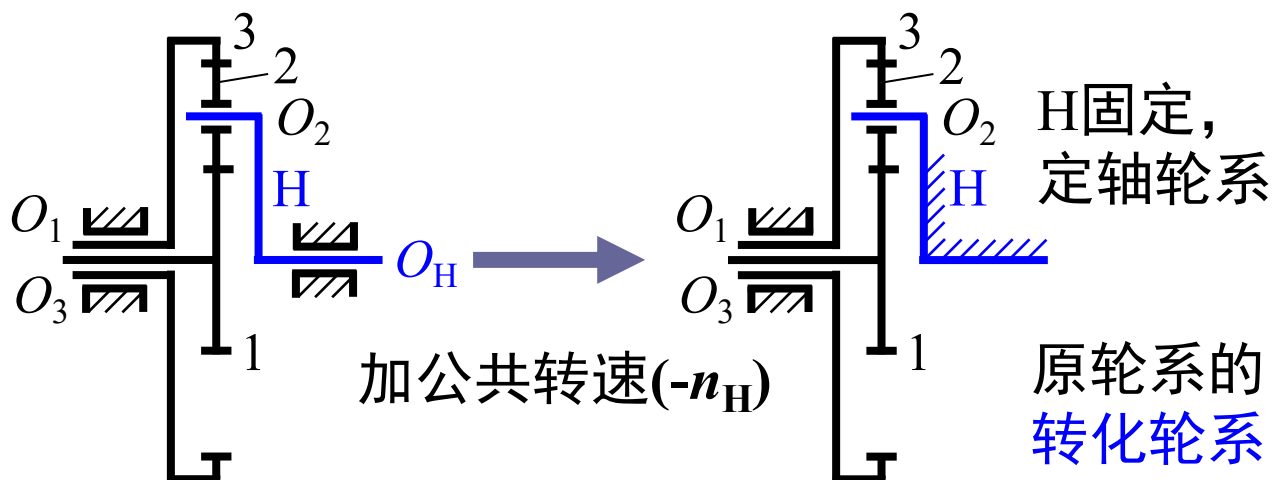
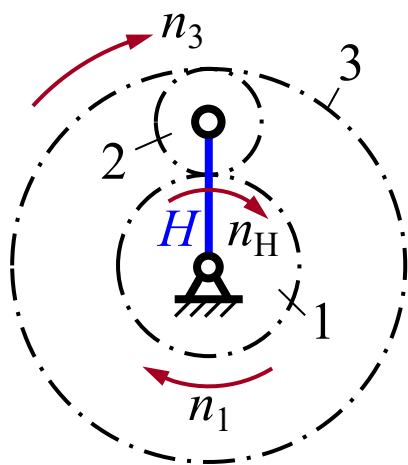
由相对运动原理可知，给基本周转轮系加上一个附加的公共转动后，周转轮系各构件间的相对运动并不改变。



周转轮系及其传动比

现给该周转轮系整体加上一个公共转速($-n_H$)，则其各构件的转速应为（角标H表示构件相对于H的相对转速）：

构件代号	原有转速	加上公共转速为($-n_H$)的转动后各构件的转速
1	n_1	$n_1^H = n_1 - n_H$
2	n_2	$n_2^H = n_2 - n_H$
3	n_3	$n_3^H = n_3 - n_H$
H	n_H	$n_H^H = n_H - n_H = 0$

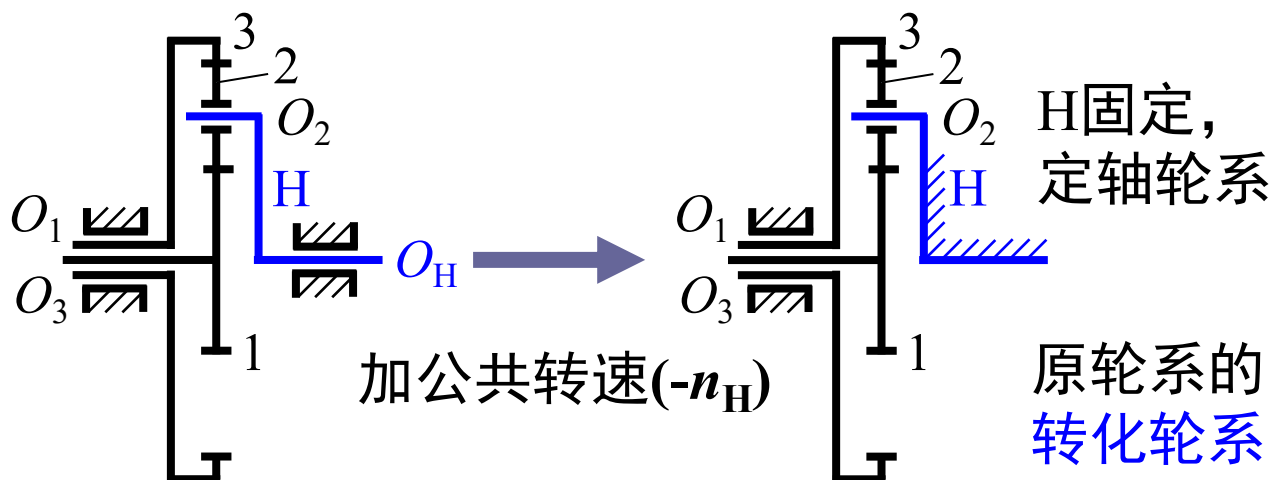
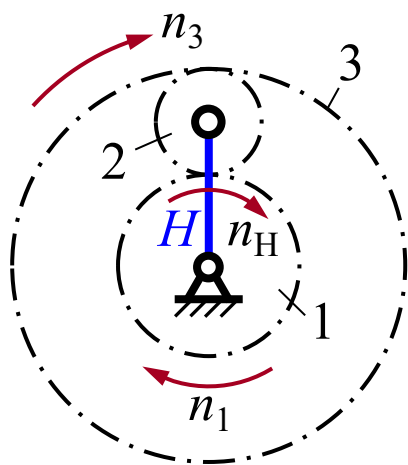


周转轮系及其传动比

转化轮系中任意两轮的传动比均可用定轴轮系的方法求得：

$$i_{13}^H = \frac{n_1^H}{n_3^H} = \frac{n_1 - n_H}{n_3 - n_H} = (-1)^1 \frac{z_2 z_3}{z_1 z_2} = -\frac{z_3}{z_1}$$

上式齿数比前的符号是根据转化轮系（定轴轮系）中外啮合数或通过画箭头的方法确定的。



周转轮系及其传动比

一般情况——任何周转轮系中的齿轮G至齿轮K相对于行星架H的传动比为

$$i_{GK}^H = \frac{n_G^H}{n_K^H} = \frac{n_G - n_H}{n_K - n_H} = \pm f(z)$$

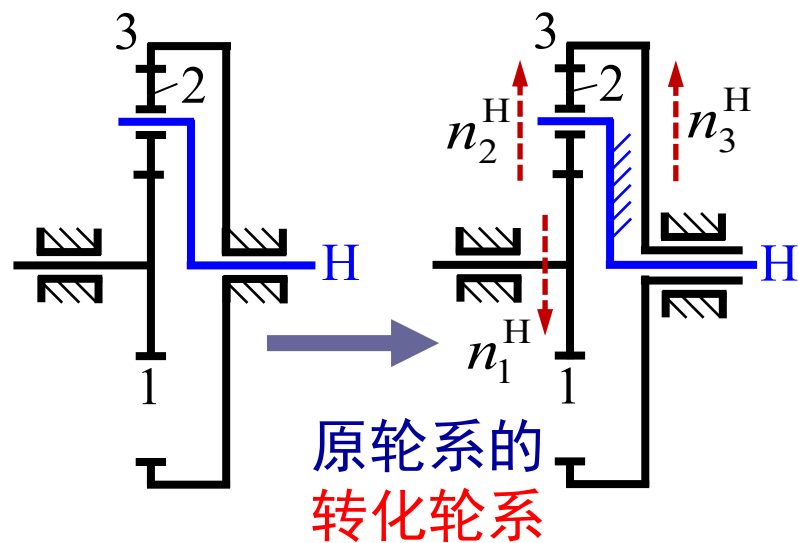
上式使用时的注意事项：

- 齿轮G、齿轮K和行星架H三者的轴线必须平行；
- 转速 n_G 、 n_K 、 n_H 带有转动方向信息，通常可设某一转向（如顺时针）为正，则反转时为负，或为负时表示反转；
- 齿数比 $f(z)$ 的大小由定轴轮系（周转轮系的转化轮系）的方法求出；
- $f(z)$ 前的正、负号按定轴轮系的方法确定，即依据外啮合数或通过画箭头的方法确定。

周转轮系及其传动比

【例】图示轮系，已知各轮齿数 $z_1 = 27$ 、 $z_2 = 17$ 、 $z_3 = 61$ ，齿轮1的转速 $n_1 = 6000 \text{ r/min}$ ，求传动比 i_{1H} 和行星架H的转速 n_H 。

解：将行星架H视为固定，得原轮系的转化轮系。用虚线箭头表示转化轮系中各齿轮相对于H的转向，写出转化轮系的传动比：



$$i_{13}^H = \frac{n_1^H}{n_3^H} = \frac{n_1 - n_H}{n_3 - n_H} = (-1)^1 \frac{z_2 z_3}{z_1 z_2} = -\frac{z_3}{z_1}$$

将 $n_3 = 0$ 和齿数代入：

$$\frac{n_1 - n_H}{0 - n_H} = -\frac{61}{27}$$

$$i_{1H} = \frac{n_1}{n_H} = 1 + \frac{61}{27} \approx 3.26$$

$$n_H = \frac{n_1}{3.26} = \frac{6000}{3.26} \approx 1840 \text{ r/min}$$

转向同 n_1

周转轮系及其传动比

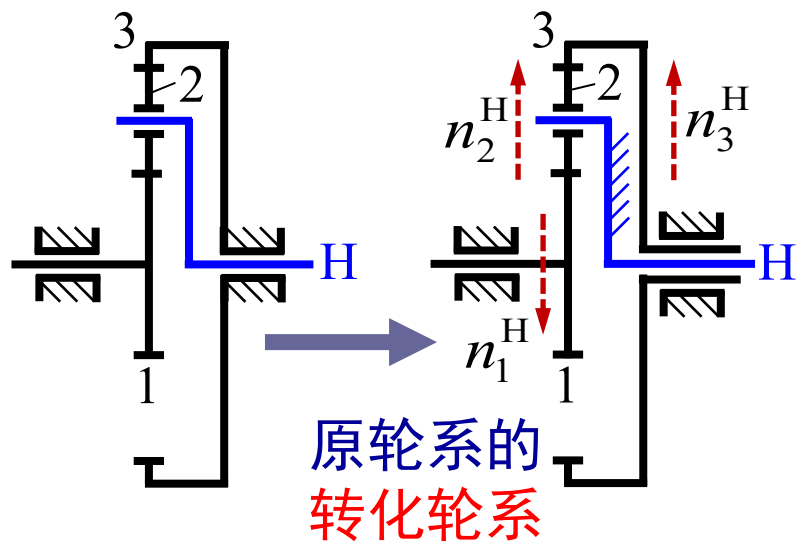
【例】图示轮系，已知各轮齿数 $z_1 = 27$ 、 $z_2 = 17$ 、 $z_3 = 61$ ，齿轮1的转速 $n_1 = 6000 \text{ r/min}$ ，求传动比 i_{1H} 和行星架H的转速 n_H 。

求行星轮2的转速 n_2 ：

$$i_{12}^H = \frac{n_1^H}{n_2^H} = \frac{n_1 - n_H}{n_2 - n_H} = -\frac{z_2}{z_1}$$

$$\frac{6000 - 1840}{n_2 - 1840} = -\frac{17}{27}$$

$$n_2 \approx -4767 \text{ r/min}$$



转向与 n_1 相反

周转轮系及其传动比

【例】图示差动轮系，已知各轮齿数 $z_1 = 60$ 、 $z_2 = 40$ 、 $z_2' = z_3 = 20$ ，若 n_1 和 n_3 均为120r/min，但转向相反（如图中实线箭头），求 n_H 的大小和方向。

解：固定H，得转化轮系。用虚线箭头表示转化轮系中各齿轮相对于H的转向，写出转化轮系的传动比：

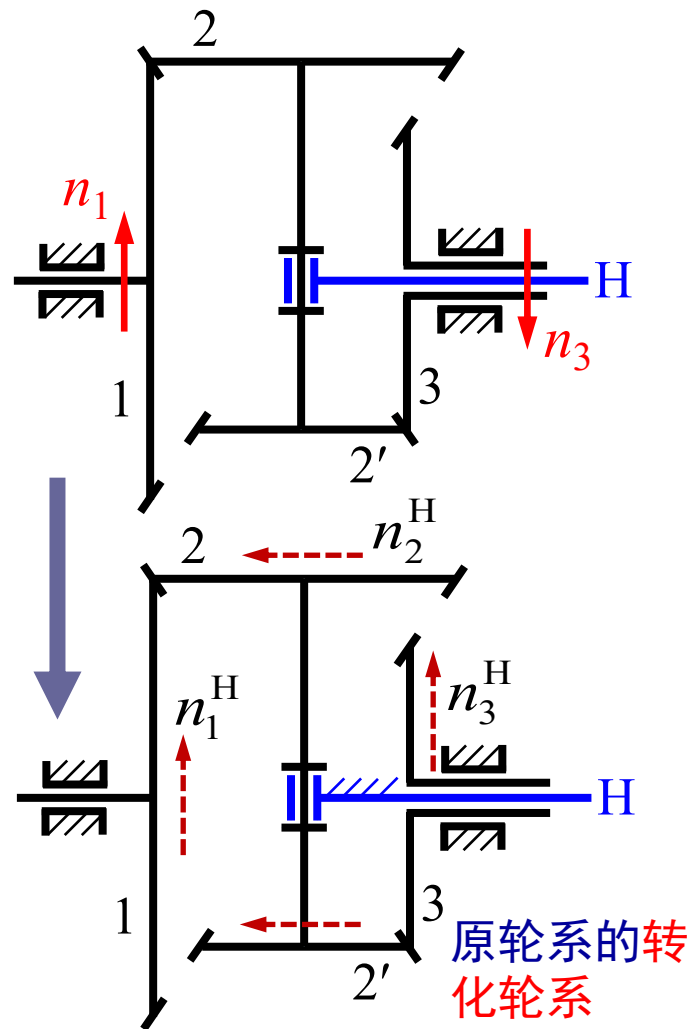
$$i_{13}^H = \frac{n_1^H}{n_3^H} = \frac{n_1 - n_H}{n_3 - n_H} = (+) \frac{z_2 z_3}{z_1 z_2'}$$

设 n_1 转向为正，则 n_3 转向为负

$$\frac{120 - n_H}{-120 - n_H} = (+) \frac{40 \times 20}{60 \times 20} = \frac{2}{3}$$

$$n_H = 600 \text{ r/min} \quad \text{转向同 } n_1$$

以上方法不能求本例中行星轮2的转速 n_2 。





第五章 轮系

5.1 轮系的类型

5.2 定轴轮系及其传动比

5.3 周转轮系及其传动比

5.4 复合轮系及其传动比

5.5 轮系的应用

5.6 几种特殊的行星传动简介

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

复合轮系及其传动比

复合轮系——由两个及以上基本周转轮系组合而成，或由定轴轮系与若干基本周转轮系组合而成。

复合轮系传动比的计算——首先将基本周转轮系和定轴轮系区分开来，然后分别列出方程式，最后联立求解所要求的传动比。

正确区分各个轮系的关键在于找出各个基本周转轮系，找基本周转轮系的一般方法——先找**行星轮**（几何轴线的位置不固定、有自传和公转的齿轮），再找**行星架**（支持行星轮的构件），最后是**中心轮**（与行星轮相啮合的定轴齿轮）。

周转轮系及其传动比

【例】图示卷扬机减速器，已知各轮齿数，求传动比 i_{15} 。

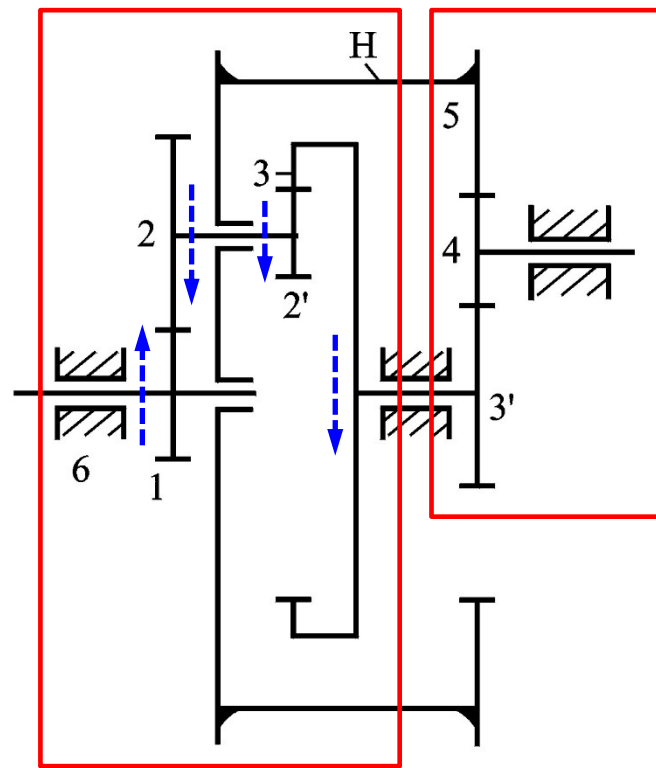
解：左侧1—2—2'—3—H(5)—6构成差动轮系，右侧3'—4—5—6构成定轴轮系。

差动轮系：1—2—2'—3—H(5)—6

$$i_{13}^5 = \frac{n_1 - n_5}{n_3 - n_5} = -\frac{z_2 z_3}{z_1 z_{2'}}$$

定轴轮系：3'—4—5—6

$$i_{3'5} = \frac{n_{3'}}{n_5} = \frac{n_3}{n_5} = -\frac{z_5}{z_{3'}}$$



$$i_{15} = \frac{n_1}{n_5} = \frac{z_2 z_3}{z_1 z_{2'}} \left(\frac{z_5}{z_{3'}} + 1 \right) + 1 > 1$$

1至5是减速， n_1 与 n_5 转向相同。

周转轮系及其传动比

【例】图示轮系，1为右旋蜗杆（转向如图），已知各轮齿数，且 $z_3 = z_3'$ 、 $z_4 > z_5$ ，求传动比 i_{15} ，并确定轮5的转向。

解：定轴轮系：1—2

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad n_2 \text{ 转向} \uparrow$$

行星轮系：2'—3—H—4 $n_4 = 0$

$$i_{2'4}^H = \frac{n_{2'} - n_H}{n_4 - n_H} = -\frac{z_4}{z_{2'}} \quad i_{2'H} = \frac{n_{2'}}{n_H} = 1 + \frac{z_4}{z_{2'}}$$

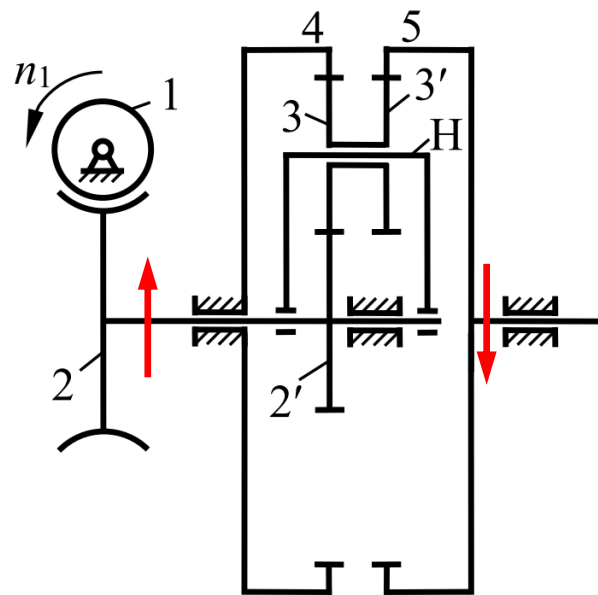
行星轮系：5—3'—3—H—4

$$i_{54}^H = \frac{n_5 - n_H}{n_4 - n_H} = \frac{z_{3'} z_4}{z_5 z_3} \quad n_4 = 0 \quad i_{5H} = \frac{n_5}{n_H} = 1 - \frac{z_{3'} z_4}{z_5 z_3} = 1 - \frac{z_4}{z_5} < 0$$

整理：

$$i_{25} = \frac{n_2}{n_5} = \frac{i_{2'H}}{i_{5H}} = \left(1 + \frac{z_4}{z_{2'}}\right) / \left(1 - \frac{z_4}{z_5}\right) = \frac{(z_{2'} + z_4) z_5}{z_{2'} (z_5 - z_4)} < 0 \quad n_5 \text{ 转向} \downarrow$$

$$i_{15} = \frac{n_1}{n_5} = i_{12} \times i_{2'5} = \frac{z_2 z_5 (z_{2'} + z_4)}{z_1 z_{2'} (z_5 - z_4)}$$





第五章 轮系

5.1 轮系的类型

5.2 定轴轮系及其传动比

5.3 周转轮系及其传动比

5.4 复合轮系及其传动比

5.5 轮系的应用

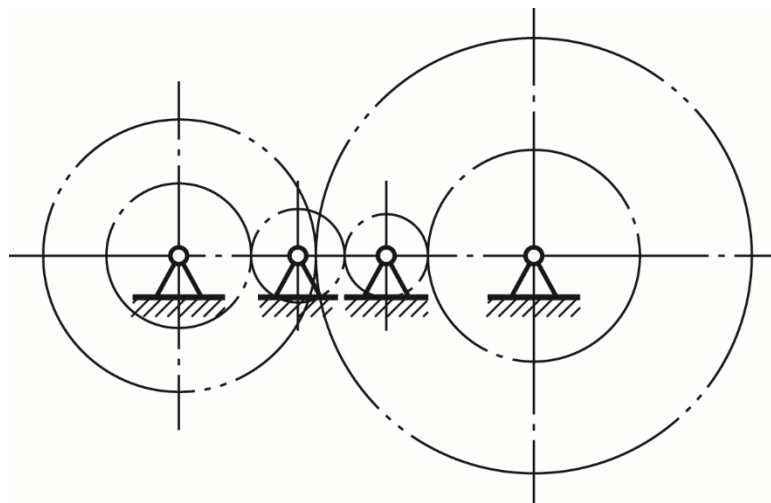
5.6 几种特殊的行星传动简介

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

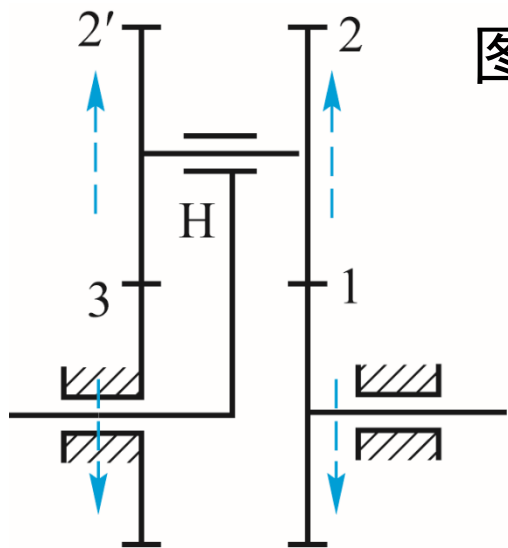
轮系的应用

一、相距较远两轴之间的传动

用多对齿轮构成的轮系代替一对齿轮，实现相距较远两轴之间的传动，可减小占据空间。



二、获得较大传动比



图示轮系， $z_1=100$ ， $z_2=101$ ， $z_2'=100$ ， $z_3=99$ 。

$$i_{13}^H = \frac{n_1^H}{n_3^H} = \frac{n_1 - n_H}{n_3 - n_H} = \frac{n_1 - n_H}{0 - n_H} = (-1)^2 \frac{z_2 z_3}{z_1 z_2'} = \frac{z_2 z_3}{z_1 z_2'}$$

$$\frac{n_1}{n_H} = 1 - \frac{z_2 z_3}{z_1 z_2'} = 1 - \frac{101 \times 99}{100 \times 100} = \frac{1}{10000}$$

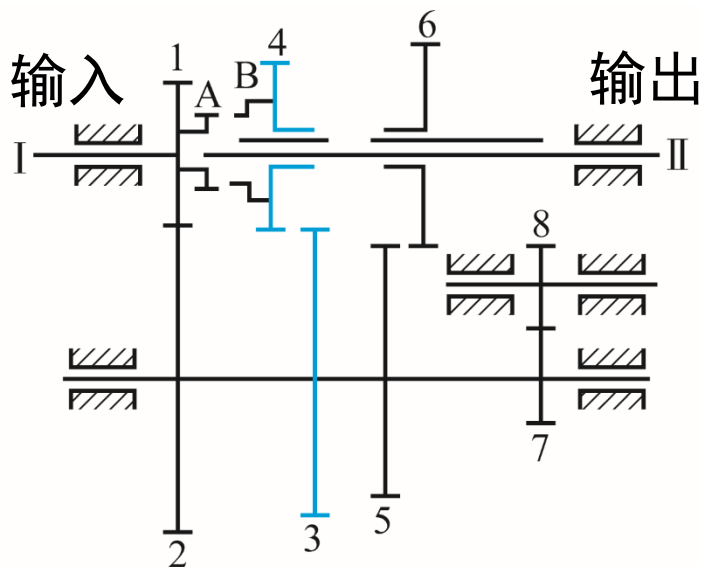
$$i_{H1} = \frac{n_H}{n_1} = 10000$$

轮系的应用

三、实现变速传动

汽车齿轮变速箱——当拨动齿轮到不同的位置，便可得到四种不同的输出转速：

- 1) 当离合器A与B接合时，汽车以高速前进；
- 2) 当4与3啮合时，汽车以中速前进；
- 3) 当6与5啮合时，汽车以低速前进；
- 4) 当6与8啮合时，汽车以最低速倒车。



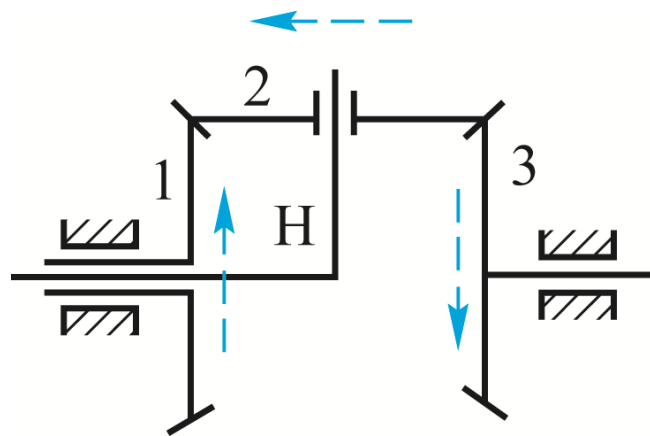
轮系的应用

四、合成运动和分解运动

运动合成——图示差动轮系，当两个中心轮1、3为主动时，行星轮2和行星架H的运动确定，即行星轮2或行星架H的运动是两中心轮1、3运动的合成。

$$i_{13}^H = \frac{n_1^H}{n_3^H} = \frac{n_1 - n_H}{n_3 - n_H} = -\frac{z_2 z_3}{z_1 z_2} = -1$$
$$2n_H = n_1 + n_3$$

行星架H转速（或转角）的两倍，等于两中心轮1、3转速（或转角）之和。



轮系的应用

运动分解——图示汽车后桥差速器（复合轮系， $z_1 = z_3$ ），汽车转弯时将轮5的转动分解为轮1和轮3的两个转动。

差动轮系：1—2—3—4(H)

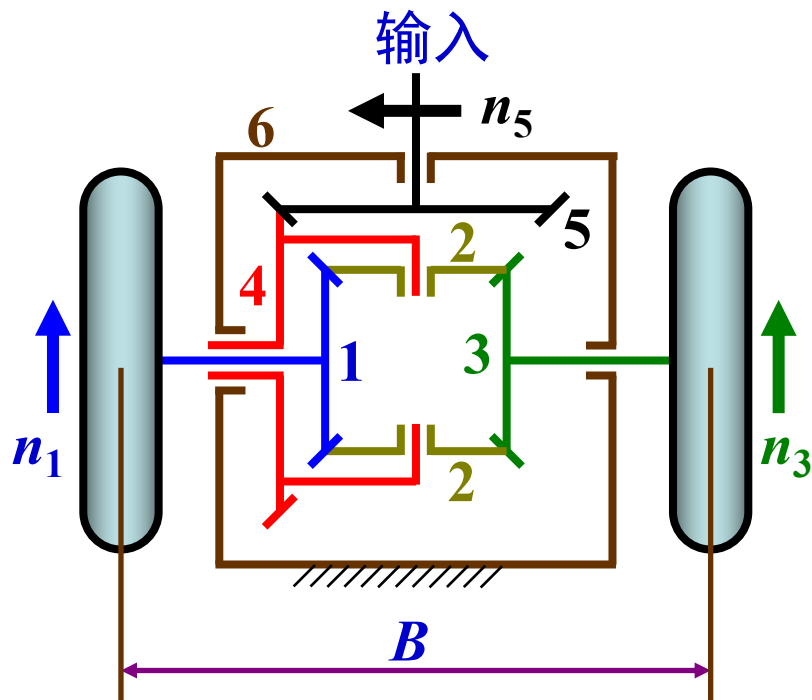
$$i_{13}^{(4)} = \frac{n_1 - n_4}{n_3 - n_4} = -\frac{z_3}{z_1} = -1$$

$$n_4 = \frac{n_1 + n_3}{2}$$

当汽车在平坦道路上**直线行驶**时，左、右两车轮滚过的路程相等，所以转速也相等

$$n_1 = n_3 = n_4$$

此时，1、2、3、4间无相对运动，如同一个整体。



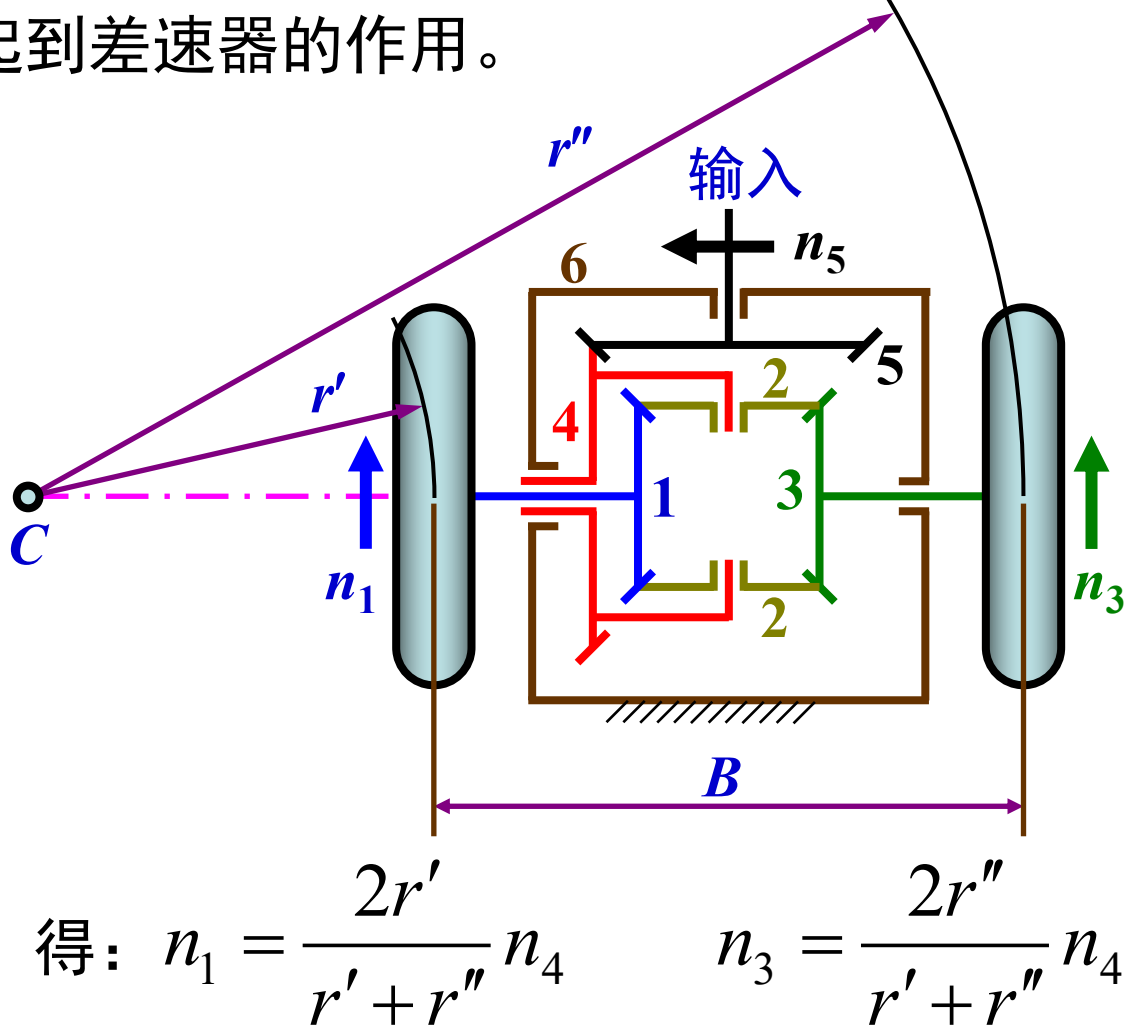
轮系的应用

当汽车向**左转弯**时，右车轮比左车轮转得快，轮1和轮3之间发生相对运动，轮系起到**差速器**的作用。

因两车轮直径相等，而理论上它们与地面之间是纯滚动，所以两轮转速与车轮至瞬时转动中心C的距离成正比

$$\frac{n_1}{n_3} = \frac{r'}{r''} = \frac{r'}{r' + B}$$

结合： $n_4 = \frac{n_1 + n_3}{2}$



得： $n_1 = \frac{2r'}{r' + r''} n_4$ $n_3 = \frac{2r''}{r' + r''} n_4$



第五章 轮系

5.1 轮系的类型

5.2 定轴轮系及其传动比

5.3 周转轮系及其传动比

5.4 复合轮系及其传动比

5.5 轮系的应用

5.6 几种特殊的行星传动简介

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

几种特殊的行星传动简介

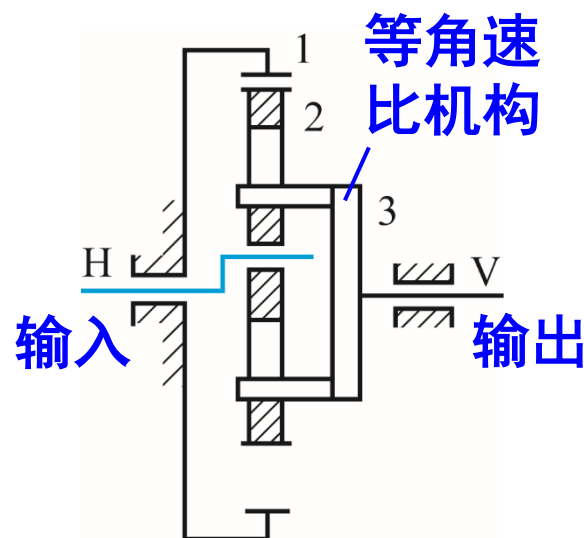
一、渐开线少齿差行星传动

图示行星轮系，行星架H为输入轴，借助等角速比机构3提取行星轮2的绝对转速并通过轴V输出。

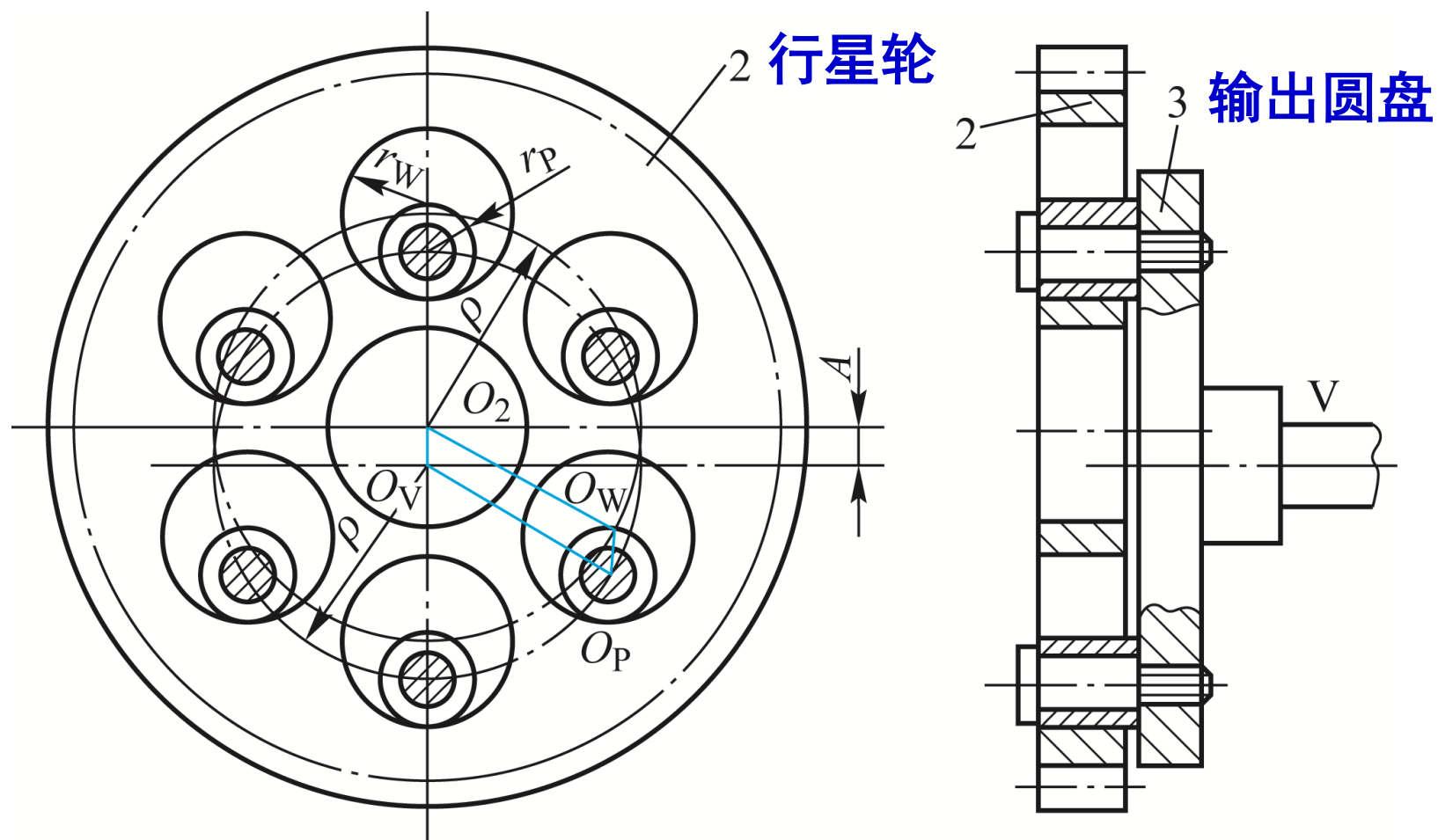
$$i_{21}^H = \frac{n_2 - n_H}{n_1 - n_H} = \frac{n_2 - n_H}{-n_H} = \frac{z_1}{z_2}$$

$$i_{HV} = i_{H2} = \frac{n_H}{n_2} = \frac{1}{i_{2H}} = \frac{1}{1 - \frac{z_1}{z_2}} = -\frac{z_2}{z_1 - z_2}$$

齿轮1和2的齿数相差很少(一般为1~4)，故称为少齿差传动。它输出的是行星轮的绝对转动。



轮系的应用

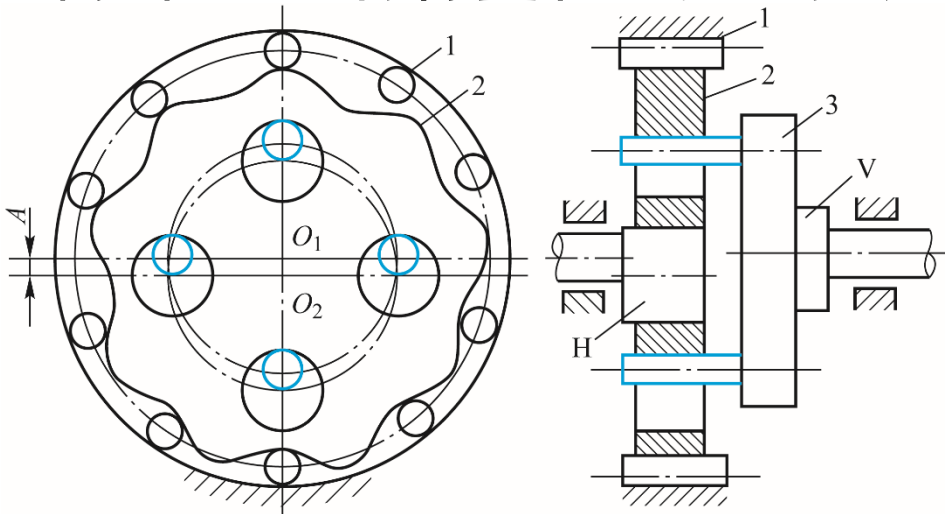


双盘销轴式等角速比机构

二、摆线针轮行星传动

如图：1为针轮，2为摆线行星轮，H为行星架，3为输出机构。运动由行星架H输入，通过输出机构3将行星轮2的绝对转速由轴V输出。

$$z_1 - z_2 = 1$$
$$i_{HV} = \frac{n_H}{n_2} = -\frac{z_2}{z_1 - z_2} = -z_2$$



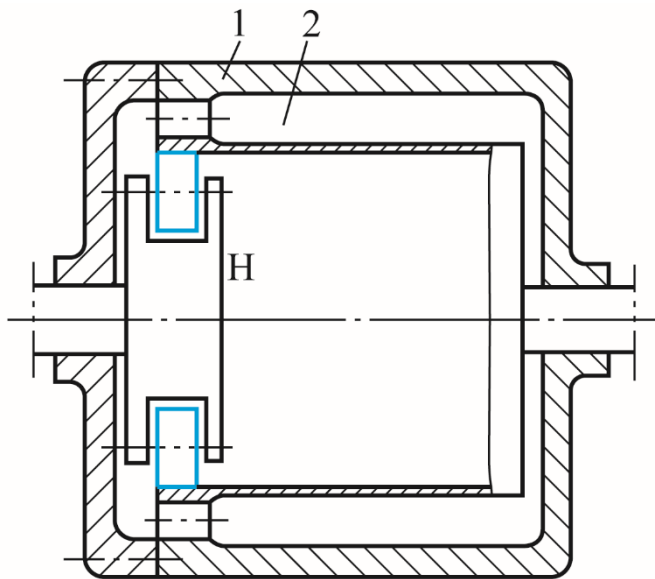
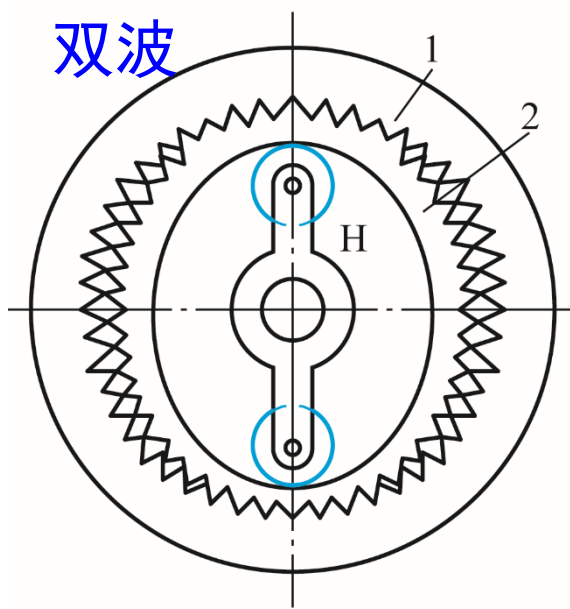
摆线针轮行星传动是一种**一齿差行星传动**。两者的区别仅在于：在摆线针轮行星传动中，行星轮2的齿廓曲线不是渐开线，而是短幅外摆线的等距曲线；中心轮1采用了圆柱销形针齿，又称为针轮。

轮系的应用

三、谐波齿轮传动

利用机械波使薄壁齿圈产生弹性变形来达到传动目的。由三个主要构件组成：刚轮1，柔轮2，波发生器H。柔轮比刚轮少一个至几个齿。波发生器由一个椭圆盘和一个柔性钢珠轴承组成，也可以由一个转臂和几个滚子组成。通常波发生器为原动件，而柔轮和刚轮之一为从动件，另一为固定件。

双波



三波

