

齿轮传动原理

北京齿轮厂教育科编

北京人民出版社

齿轮传动原理

北京齿轮厂教育科编

*

北京人民出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印刷

*

787×1092 毫米 32 开本 8,375 印张 168,000 字

1975 年 2 月第 1 版 1975 年 3 月第 1 次印刷

印数 1--70,000

书号: 150.1·7 定价: 0.60 元

目 录

概 述	1
一、 齿轮传动的特点和种类	1
二、 齿轮传动的基本要求	5
第一章 圆柱齿轮啮合的基本原理	12
第一节 渐开线齿形	12
第二节 直齿圆柱齿轮各部名称及其计算	22
第三节 短齿齿轮	32
第四节 渐开线齿轮啮合的特点	36
第五节 齿条与齿轮啮合的特点	46
第二章 斜齿圆柱齿轮螺旋齿轮和蜗轮蜗杆	51
第一节 斜齿圆柱齿轮的构造	51
第二节 斜齿圆柱齿轮各部尺寸的计算	57
第三节 斜齿圆柱齿轮啮合的特点	63
第四节 圆柱螺旋齿轮传动	65
第五节 蜗轮蜗杆传动	70
第三章 齿轮的加工原理和移距修正	79
第一节 齿轮的加工原理	79
第二节 从标准齿轮向修正齿轮的发展	84
第三节 等移距修正齿轮及其计算	88
第四节 不等移距修正齿轮及其计算	93

第五节	移距修正齿轮的应用	96
第四章	圆柱齿轮的测量和检验	102
第一节	圆柱齿轮传动的公差标准	102
第二节	固定弦齿厚测量法	138
第三节	公法线长度测量法	143
第四节	跨棒距测量法	156
第五节	噪音、接触区和双面啮合综合检验	162
第五章	圆锥齿轮的啮合概念	169
第一节	圆锥齿轮的五个锥面和三个角	169
第二节	圆锥齿轮和圆柱齿轮传动的比较	170
第三节	圆锥齿轮节角和齿数比的关系	173
第四节	圆锥齿轮的渐开线齿形	176
第六章	直齿锥齿轮	180
第一节	直齿锥齿轮各部名称	180
第二节	标准直齿锥齿轮的尺寸计算	181
第三节	修正的直齿锥齿轮的尺寸计算	184
第七章	螺旋锥齿轮	190
第一节	螺旋锥齿轮的类型和特征	190
第二节	圆弧齿锥齿轮的尺寸计算	194
第三节	延伸外摆线齿锥齿轮尺寸计算	204
第四节	圆弧齿锥齿轮与延伸外摆线齿锥 齿轮的比较	218
第五节	准双曲面齿轮介绍	220
第八章	圆锥齿轮的检验	225
第一节	直齿锥齿轮的检验	225

第二节	螺旋锥齿轮的检验·····	234
第九章	轮系及其计算·····	240
第一节	定轴轮系传动比的计算·····	240
第二节	行星轮系传动比的计算·····	245

概 述

一、齿轮传动的特点和种类

现在，齿轮传动已经被广泛地应用在金属切削机床、汽车、拖拉机、飞机和其他机械制造业中，成为机械传动系统中重要的组成部分。

齿轮传动所以得到广泛的应用，是由于它与其他机械传动(如皮带传动、链条传动和摩擦传动等)相比具有以下特点：

- (1) 能保证恒定的瞬时传动比，传递运动准确可靠；
- (2) 传递功率的范围比较宽，可以从很小的功率直到几万马力；经过磨齿的齿轮传动圆周速度可达 100 米/秒；
- (3) 机械传动效率比较高，一般圆柱齿轮传动效率可达 98% 以上，而且使用寿命也较长；
- (4) 齿轮机构的结构紧凑，体积比较小。

齿轮传动的主要缺点是：传动噪音比较大，对冲击比较敏感，不宜用在轴线距离较大的部件上。同时，齿轮制造精度要求比较高，相应的成本也比较高。

齿轮传动最初出现的是直齿圆柱齿轮传动。随着工农业生产和科学技术的发展，齿轮传动的类型不断增加。当前广泛应用的齿轮传动分类如下。

(一) 两轴平行的圆柱齿轮传动

按轮齿的方向可分为:

- (1) 直齿圆柱齿轮传动, 如图 1 所示;
- (2) 斜齿圆柱齿轮传动, 如图 2 所示;
- (3) 人字齿轮传动, 如图 3 所示。

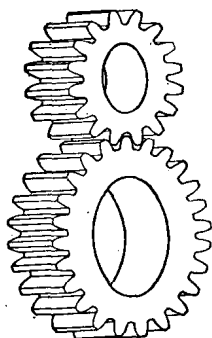


图 1

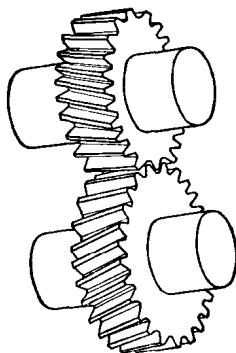


图 2

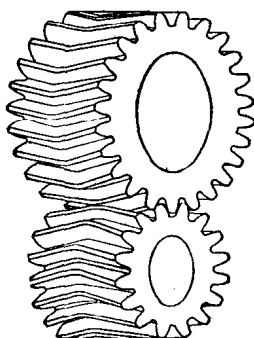


图 3

按啮合情况可分为:

- (1) 外啮合齿轮传动, 如图 1, 2, 3 所示;

(2) 内啮合齿轮传动, 如图 4 所示;

(3) 齿轮与齿条啮合传动, 如图 5 所示。

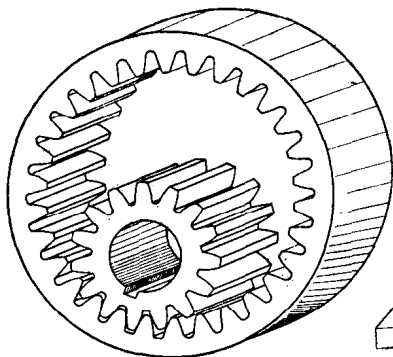


图 4

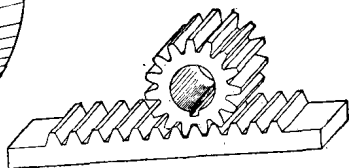


图 5

二、两轴不平行的齿轮传动

1. 两轴相交的圆锥齿轮传动:

(1) 直齿圆锥齿轮传动, 如图 6 所示;

(2) 斜齿圆锥齿轮传动, 如图 7 所示;

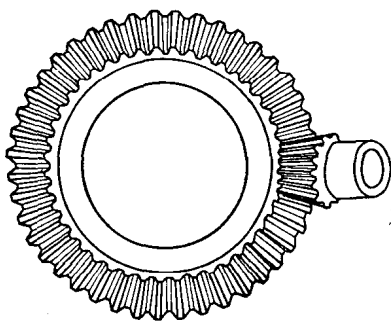


图 6

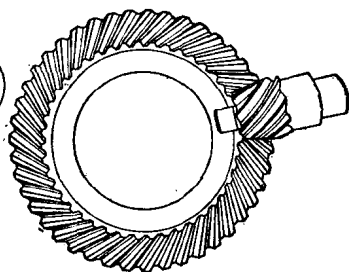


图 7

(3) 螺旋锥齿轮传动, 如图 8 所示。

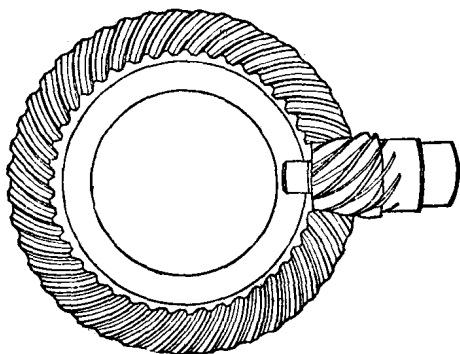


图 8

2. 两轴交叉的齿轮传动:

(1) 螺旋圆柱齿轮传动, 如图 9 所示;

(2) 准双曲面齿轮传动, 如图 10 所示;

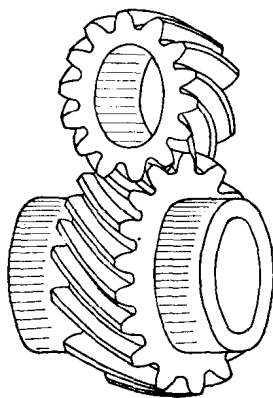


图 9

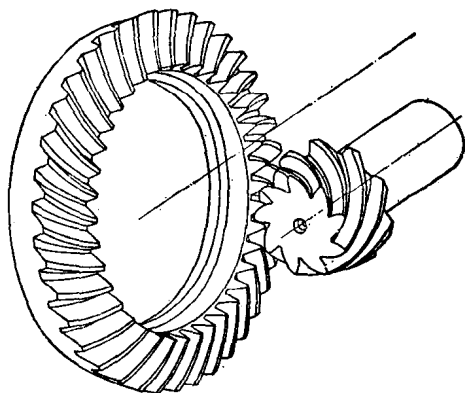


图 10

(3) 蜗轮蜗杆传动, 如图 11 所示。

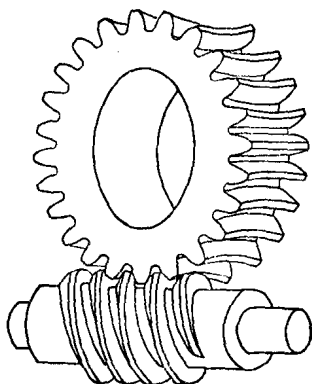


图 11

二、齿轮传动的基本要求

传动就是传递运动和动力的意思。

运动有快慢, 也就是有速度的大小。对于轴的转动来讲, 就是有转速。常用“ n ”表示轴的转速, n_1 表示第一根轴的转速, n_2 表示第二根轴的转速。如 $n=10$ 转/分, 即表示每分钟转 10 圈。

传动比也叫速比, 用“ i ”代表。在一般情况下, 传动比是指被动轴的转速和主动轴的转速之比。即:

$$i_{21} = \frac{\text{第二根轴的转速 } n_2}{\text{第一根轴的转速 } n_1}$$

但是在汽车行业, 常用主动轴的转速和被动轴的转速之比定为传动比。即: $i_{21} = \frac{n_1}{n_2}$, 本书中遇到这种情况时, 将加以

注明。

对于齿轮传动，传动比和齿数是有关系的。当主动轮转过一个齿时，被动轮也转过一个齿；当主动轮在每分钟内转过 k 个齿时，被动轮也应在每分钟内转过 k 个齿。

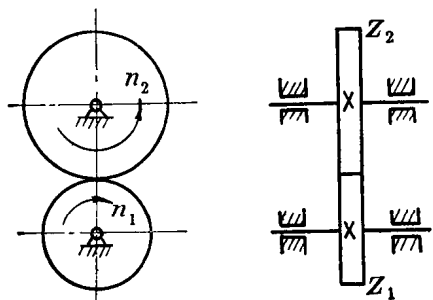


图 12

如图 12 所示，假设主动轮以每分钟 n_1 转的转速带动被动轮旋转，使被动轮具有每分钟 n_2 的转速，且两者转向相反。主动轮每分钟转过的齿数 $k_1 = n_1 z_1$ ；被动轮每

分钟转过的齿数 $k_2 = n_2 z_2$ 。

式中： z_1 ——主动轮齿数； z_2 ——被动轮齿数。

由于这两个齿轮每分钟转过的齿数应该相等，即： $k_1 = k_2$ 。

所以 $n_1 z_1 = n_2 z_2$ 由此可得

$$i_{21} = \frac{n_2}{n_1} = (-1) \frac{z_1}{z_2} \dots \dots \dots (1)$$

当外啮合齿轮传动时，两轮的转向相反，所以规定传动比取负号，用 (-1) 表示。

图 13 为一对内啮合齿轮传动，两轮的转向相同，所以规定传动比取正号（“+”号常省略），即

$$i_{21} = \frac{n_2}{n_1} = (+1) \frac{z_1}{z_2}$$

传动比 i_{21} 也可写成如下的形式：

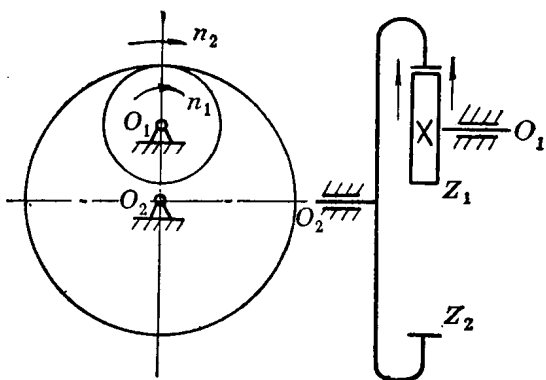


图 13

$$i_{21} = \frac{\text{被动轮转速}}{\text{主动轮转速}} = (\pm 1) \frac{\text{主动轮齿数}}{\text{被动轮齿数}}$$

同样，我们可以确定圆锥齿轮和蜗轮蜗杆的传动比。

图 14 为圆锥齿轮传动，其传动比

$$i_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2}$$

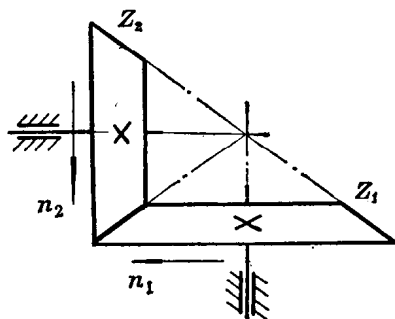


图 14

图 15 为蜗轮蜗杆传动，其传动比

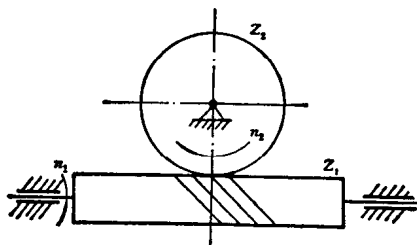


图 15

$$i_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2}$$

或
$$i_{21} = \frac{\text{蜗轮转速}}{\text{蜗杆转速}} = \frac{\text{蜗杆头数}}{\text{蜗轮齿数}}$$

对于圆锥齿轮传动和蜗轮蜗杆传动，因为两轮的轴不平行，所以两轮的转向相同或相反没有意义，在传动比计算公式中不需用正负号，它们的转向常在图中直接表示出来。

齿轮传动一般是用于传递一定功率的等速旋转运动。有时也用于等速直线运动与等速旋转运动间的转换（如齿条与齿轮的传动）；或传递有一定规律的变速旋转运动（如非圆齿轮传动）。

为了传递等速运动，齿轮传动中每一瞬间的速比都应保持不变，不应有冲击和振动现象；为了要传递一定的功率，齿

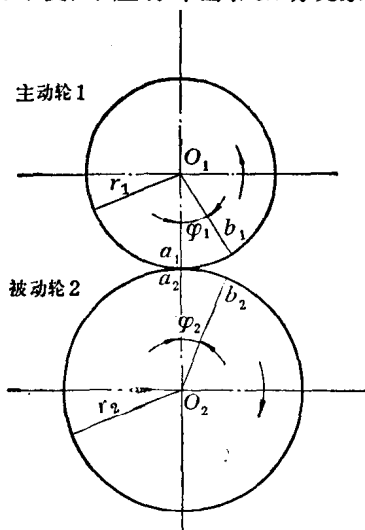


图 16

轮的牙齿上就须承受一定大小的力，即承受一定的载荷。这就给齿轮传动提出了两个基本要求：

- (1) 传动平稳；
- (2) 承载能力强。

本书着重讨论传动平稳的问题，也就是怎样使速比保持一定。为了比较深刻地认识这个问题，我们先分析一下摩擦轮传动和直线齿形的齿轮传动。

1. 摩擦轮传动

摩擦轮传动是依靠两轮间的摩擦力来实现的。在传动时，两轮直接接触并互相压紧，在接触处便产生摩擦力，借此将主动轮 1 的运动传给被动轮 2。如图 16 所示。

当摩擦力足够大，而被动轮的阻力相当小的时候，这两个摩擦轮的外圆表面作无滑动的纯滚动，即主动轮外圆上的某一点转过一段弧长，被动轮外圆上的任一点也随着转过相等的弧长。如果在某一时间里，1 轮上的 a_1 点转过一个 φ_1 角到 b_1 点，2 轮上的 a_2 点就相应地转过一个 φ_2 角到 b_2 点，而且弧长 $\widehat{a_1b_1}$ 一定等于弧长 $\widehat{a_2b_2}$ 。

$$\text{即： } \widehat{a_1b_1} = \widehat{a_2b_2}$$

转角 φ_1 和 φ_2 的度量可以用“度”作为单位，但是采用“弧度”作为单位更为方便。在一个圆中，当弧长与半径之比等于 1 时，这弧长所对的圆心角叫做 1 弧度。所以 1 弧度就是弧长等于半径的圆心角。

当 φ_1 和 φ_2 用弧度表示时，圆弧长度等于它所对应的角和半径的乘积。即

$$\widehat{a_1b_1} = \varphi_1 r_1 \qquad \widehat{a_2b_2} = \varphi_2 r_2$$

$$\text{由于 } \widehat{a_1b_1} = \widehat{a_2b_2},$$

$$\text{所以 } \varphi_1 r_1 = \varphi_2 r_2, \text{ 或 } \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{r_1}{r_2}$$

将上式左边分子分母同除以 t (代表时间)，就变成：

$$\frac{\frac{\varphi_2}{t}}{\frac{\varphi_1}{t}} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{r_1}{r_2} = i_{21} \dots\dots\dots (2)$$

式中： ω_1 和 ω_2 分别为两轮的角速度，即两轮在单位时间

里分别转过的角度。当“ t ”取定为某一个数值的时候， ω_1 和 ω_2 代表这一段时间里两轮的平均角速度， i_{21} 代表这一段时间里的平均速比；当“ t ”取为足够小的“一瞬间”时， ω_1 和 ω_2 代表这“一瞬间”的角速度， i_{21} 代表这“一瞬间”的速比——瞬时速比。

可以看出，只要两轮的摩擦力和阻力相比是足够大的时候，不管在那一点接触，它的平均速比和瞬时速比都是稳定不变的，所以传动是平稳的。

总是：
$$i_{21} = \frac{r_1}{r_2}$$

但是，当传动的力量很大，大到超过摩擦力的时候，就会出现打滑的现象，传动比就变化了，根本无法保持一定的数值，传动就不平稳。

2. 直线齿形齿轮传动

直线齿形的齿轮在古老的水车上采用过，这种齿轮的牙齿齿形是直线。如图 17 所示。当它们的

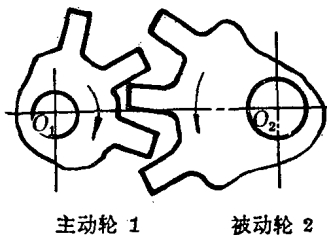


图 17

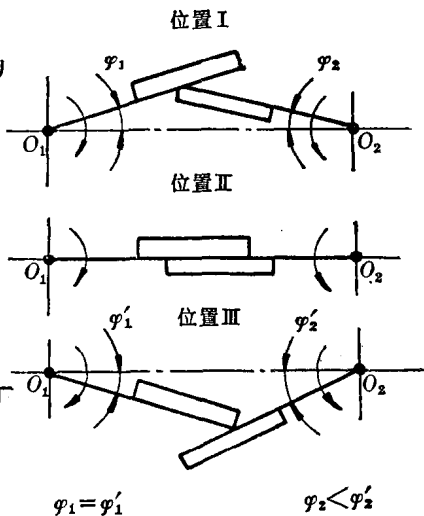


图 18

齿数一定的时候，它们的传动比怎样呢？

从平均值的角度来看，它们的传动比是一定的。但是在每一瞬间它们的传动比并不能保持一定。也就是说，当主动轮以一定的转速转动时，被动轮在每一瞬间的转速是变化的。

我们在一对齿上来作分析，如图 18 所示，假定 1 轮主动，2 轮被动，主动轮等速旋转，从位置 I 转到位置 II，再转到位置 III。可以看出，当 $\varphi_1 = \varphi_1'$ 的时候，显然 $\varphi_2 < \varphi_2'$ ，也就是说被动轮的转速是先慢后快的。

这一对齿传动完毕，第二对齿又是这样，主动轮等速旋转而被动轮先慢后快地变速旋转。可见其传动是不平稳的。

这样的齿形曲线(即直线)的齿轮传动，在低速轻载的时候，问题还不太大。可是在高速重载的时候，就会产生撞击和发生事故。

在长期生产实践中发现有几种齿形的齿轮能够满足传动平稳这个基本要求，如广泛地应用于汽车、机床和仪器制造中的渐开线齿轮，常用于钟表和某些仪表中的摆线齿轮以及在某些重型机械中采用的点啮合圆弧齿轮，等等。由于渐开线齿轮不仅能满足传动平稳的基本要求，而且便于制造和安装，所以目前应用最广泛。本书讨论渐开线齿轮的有关问题。

第一章 圆柱齿轮啮合的基本原理

第一节 渐开线齿形

一、渐开线的形成

在圆盘的圆周上围绕一根棉线，棉线头上拴一枝铅笔，拉紧线头逐渐展开，铅笔尖在纸上画出的曲线就叫做渐开线

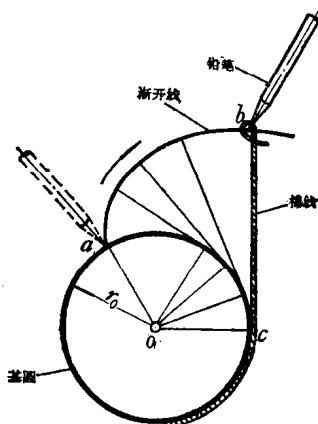


图 1-1

(图 1-1)。或者，用一根直线在定圆上作无滑动的滚动(纯滚动)，该直线上任意一点描出的轨迹(曲线)，也是渐开线。

渐开线齿轮的齿形就是这条渐开线的一段。

二、与渐开线有关的基本要素

1. 基圆:

围绕棉线的圆盘，或者直线沿着滚动的定圆叫做渐开线的基圆(图 1-2)。