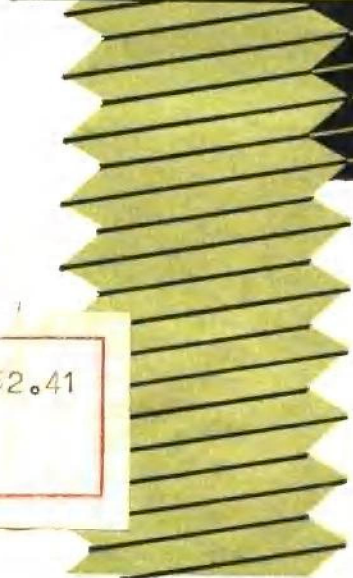
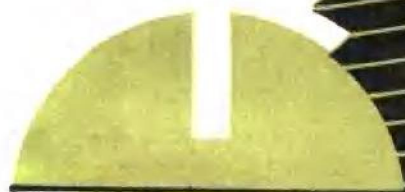


鄂中凯 蔡春源
高泽远 编



机械设计基础丛书

齿轮
传动
设计

机械工业出版社

132.41

本书共分四章，包括圆柱齿轮传动、圆锥齿轮传动、蜗杆传动、轮系等。各章主要包括下列内容：啮合原理、设计计算、加工方法及制造精度、典型结构及零件工作图等。在各章后均附有例题。

本书的计量单位均采用国际单位制，标准资料均采用我国近年来公布的最新标准。

本书可供机械方面的工程技术人员、技术工人参考使用，也可作为大专院校机械类各专业的教学参考书。

齿 轮 传 动 设 计

鄂中凯 蔡春源 高泽远 编

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 5·字数 106 千字

1985年11月北京第一版·1985年11月北京第一次印刷

印数 00,001—10,100·定价 1.25元

*

统一书号：15033·5889

前 言

为了实现四个现代化的宏伟目标，各个生产部门都力求大搞技术革新，推动技术进步，因而迫切需要以最新的机器来装备自己，以求不断提高产品质量、提高工效和经济效益。为此，机械设计日益成为技术改革中的重要环节。为适应这一新的形势需要，根据“发展国民经济必须依靠科学技术，科学技术必须为国民经济服务”的方针，从当前实际需要出发而组织编写了这套《机械设计基础丛书》。

本书共分九册：

- 一、平面连杆机构设计
- 二、凸轮机构设计
- 三、斜面机构和螺旋机构设计
- 四、挠性传动设计
- 五、齿轮传动设计
- 六、轴系零部件设计
- 七、常用机械设计
- 八、机器测绘技术
- 九、润滑和密封

本书以结构设计为重点，介绍了设计计算的必要基础知识，并提供了许多设计实例，为设计工作引路。关于设计计算，除应用一般数学运算外，还考虑使用算图法（即诺谟图），它具有运算简便迅速、数据可靠的优点，故本书尽量采用图算法进行计算。

本书是在机械设计学习班试用的基础上重新整理编写

的，在编写过程中得到许多同志的支持和帮助，特别是东北工学院徐灏教授。参加审阅的同志有：郑福庭、方昆凡、郭胜楠、蔡绍琇、陈修鸿等同志，编者在此表示衷心的感谢。

本书论述了齿轮的原理、设计、制造、精度、结构等有关问题，是齿轮传动设计的基础。书中所选用的标准资料全部采用我国近年来公布的最新标准，计量单位全部采用国际单位制。为了便于读者使用，本书编入的齿轮强度计算方法为简化的齿轮强度计算方法，并相应于各种计算方法绘出了图解线图。

本书绪论、第一章由鄂中凯编写，第二、三章由蔡春源编写，第四章由高泽远编写，全书由鄂中凯统校。由于我们水平所限，难免存在某些缺点错误，希望读者给予批评指正。

编者

1982年12月

《机械设计基础丛书》

主编：张季高 毕传湖 曹金汤
编者：王汉文 马先贵 郑福庭 王晓东
毕传湖 何英斌 高泽远 张秀艳
张和远 周鹏翔 阎以诗 曹金汤
鄂中凯 蔡春源

目 录

前言	
绪论	1
第一节 齿轮传动的特点和分类	1
第二节 齿轮传动类型选择的原则	3
第一章 圆柱齿轮传动	6
第一节 概述	6
第二节 齿廓啮合的基本定律	7
第三节 渐开线和渐开线齿廓的啮合性质	9
第四节 渐开线标准直齿圆柱 齿轮各部分名称和基本尺寸	13
第五节 一对渐开线齿轮的啮合传动	18
第六节 渐开线标准齿轮的公法线长度和固定弦齿厚	21
第七节 齿轮的加工方法及齿轮精度简介	24
第八节 根切现象及变位齿轮简介	30
第九节 齿轮轮齿的失效形式	32
第十节 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	35
第十一节 齿轮的材料和许用应力	44
第十二节 斜齿圆柱齿轮传动	50
第十三节 渐开线圆柱齿轮传动的图解计算	64
第十四节 圆弧齿轮传动简介	64
第十五节 圆柱齿轮的结构、规定画法和零件工作图	71
第二章 圆锥齿轮传动	80
第一节 圆锥齿轮传动的啮合特点	80
第二节 圆锥齿轮传动的几何尺寸计算	81
第三节 圆锥齿轮的齿廓形成及当量齿数	82
第四节 圆锥齿轮传动的强度计算	84

VI

第五节	圆锥齿轮的结构、规定画法及零件工作图	88
第三章	蜗杆传动	96
第一节	概述	96
第二节	圆柱蜗杆传动的基本参数和几何尺寸的计算	98
第三节	蜗杆、蜗轮的转向及滑动速度	103
第四节	蜗杆传动的强度计算	104
第五节	蜗杆传动的热平衡计算及润滑	109
第六节	蜗杆和蜗轮的结构、规定画法和零件工作图	112
第七节	新型蜗杆传动简介	117
第四章	轮系	121
第一节	概述	121
第二节	定轴轮系及其传动比	122
第三节	周转轮系及其传动比	126
第四节	混合轮系及其传动比	133
第五节	轮系的应用	137
第六节	少齿差行星传动和谐波传动简介	141
参考文献	151

绪 论

第一节 齿轮传动的特点和分类

一、齿轮传动的特点和应用

齿轮传动是机械中应用最广泛的一种机械传动型式。与其它型式的机械传动相比,齿轮传动具有以下特点:

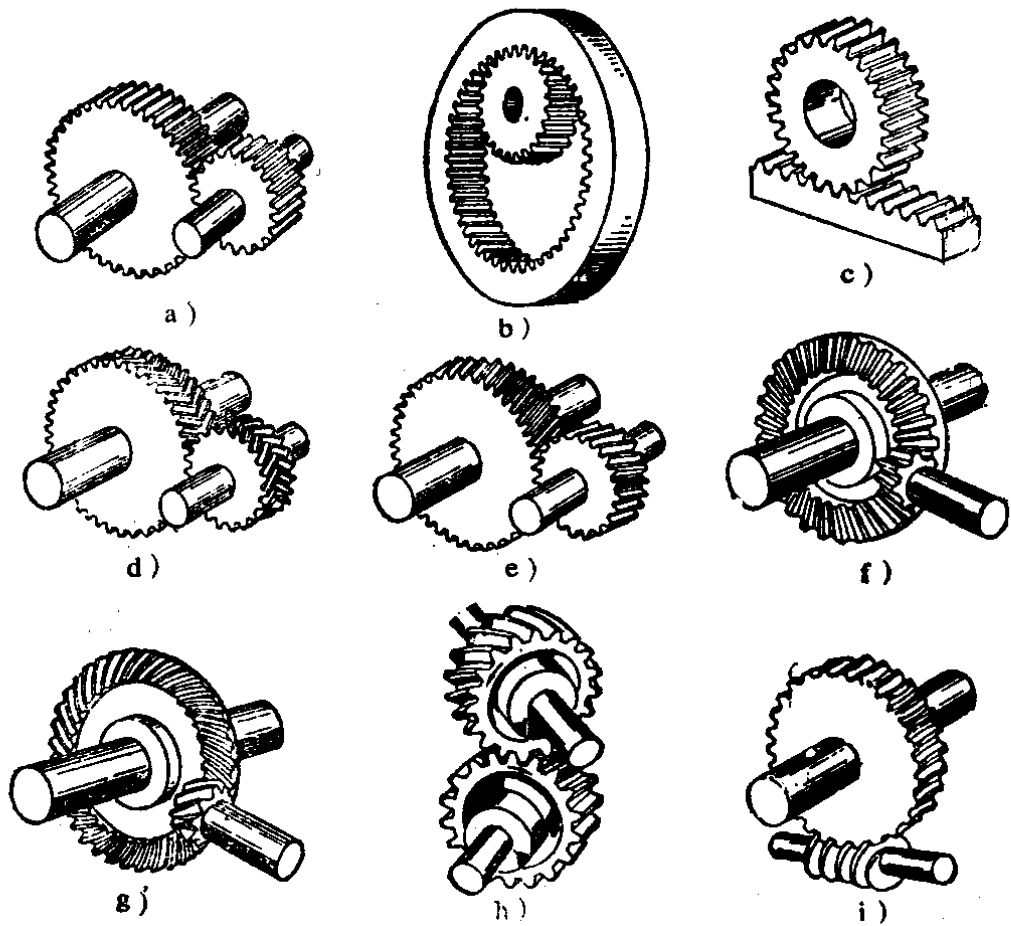
- (1) 瞬时传动比恒定。
- (2) 传动效率较高,例如,一对闭式渐开线圆柱齿轮传动的效率 $\eta = 0.96 \sim 0.995$ 。
- (3) 工作可靠、寿命较长。
- (4) 结构紧凑,适用于近距离传动。
- (5) 可实现平行轴、任意角相交轴、任意角交错轴之间的传动。
- (6) 它要求较高的制造和安装精度,而且成本较高。

齿轮传动应用极广,以圆柱齿轮为例,直径有小于 1 mm 的,也有达到 33 m 的,传递的功率有的高达 72000 kW,圆周速度有达到 300 m/s 的。在各工业部门中都广泛应用各种各样的齿轮传动。

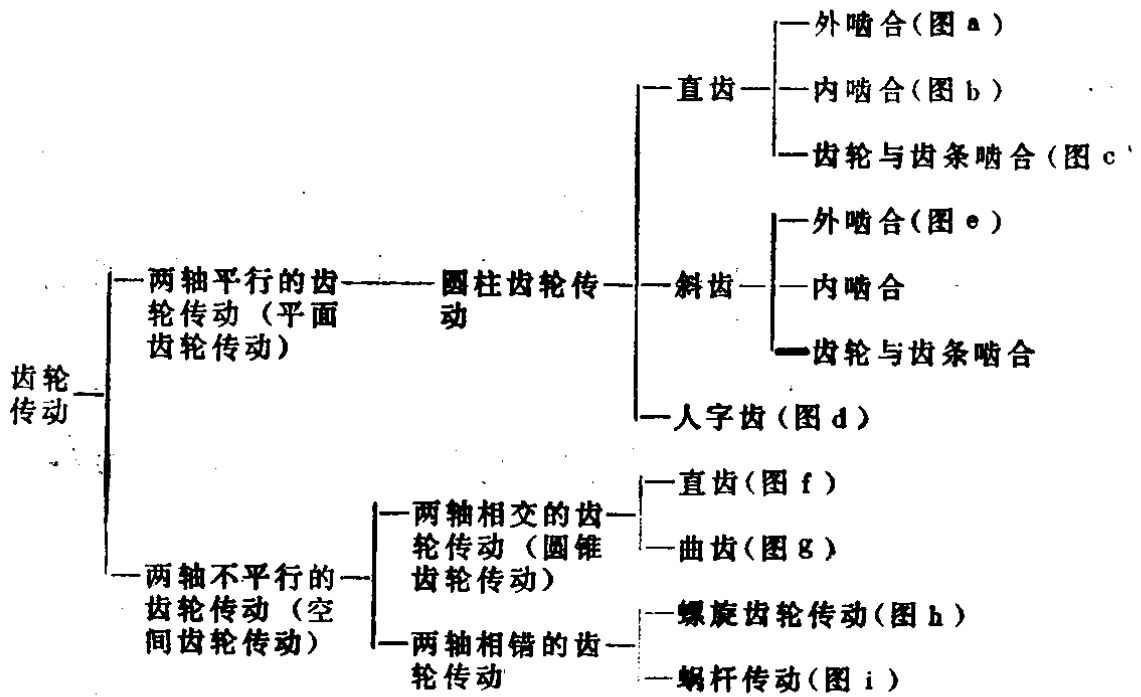
二、齿轮传动的分类

按照两轴的相对位置和齿向,可将齿轮传动分为如下类型,如下图所示。

按照齿廓曲线,齿轮传动又可分为渐开线、摆线和圆弧齿轮等,其中渐开线齿轮应用最广。



齿轮传动的种类



按照齿轮传动是否封闭，还可分为闭式传动和开式传动两种。闭式齿轮传动的齿轮、轴承等全部装在刚性较大的密闭箱壳内，所以润滑条件好，封闭严密，安装精确，可保证齿轮传动良好的工作。因此用得很广。开式齿轮传动的齿轮是外露的，容易落入灰砂，不能保证良好的润滑，所以轮齿易磨损，多用于低速传动中。

第二节 齿轮传动类型选择的原则

齿轮传动的类型选择是一个涉及面比较广的问题。在选择齿轮传动的类型时，除了要考虑各种齿轮传动的特点和适用范围外，还要着重从以下几方面综合对比地加以考虑。

(1) 考虑使用条件，如对传动的结构尺寸、重量、效率、功率、速度、传动比、可靠性的要求等。对以上要求应作全面分析，如大功率、长期运转的固定式设备，应着重提高其齿轮传动的效率、延长其使用寿命；对短期间歇运转的移动式设备，则主要要求结构紧凑；又如对重要的齿轮传动，则要求其具有较高的可靠性。

(2) 考虑工艺条件，如生产厂的工艺水平、设备条件及生产批量等。

(3) 考虑合理性、先进性、工艺性等。

(4) 参考已有或类似机械的使用经验进行选型。尽可能选用结构和工艺较简单的传动，如渐开线圆柱齿轮传动等。

表1为各类齿轮传动的主要特点和适用范围，供选型时参考。

表 1 各类齿轮传动的主要特点和适用范围

名称	主要特点	适用范围			
		传动比	传动功率	速度	应用举例
渐开线圆柱齿轮传动	传动的速度和功率范围很大；传动效率高，一对齿轮可达98~99.5%，精度越高，效率越高；对中心距的敏感性小，装配和维修比较简便，可以进行变位切削及各种修形、修缘，以适应提高传动质量的要求；易于进行精确加工	单级1~8，最大到10 两级到45 三级到75	到25000 kW 最大72000kW	到150 m/s 最高300 m/s	应用非常广泛
单圆弧齿轮传动	接触强度高；效率高；磨损小而均匀；没有根切现象；弯曲强度低于渐开线齿轮；不能做成直齿	单级1~8，最大到10 两级到45 三级到75	高速传动可达6000kW 低速传动输出转矩达1.2 MN·m(117.7 t·m) 功率达4800kW	到100 m/s	高速传动如用于鼓风机、制氧机、汽轮机；低速传动如用于轧钢机械、矿山机械、起重运输机械等
双圆弧齿轮传动	除具有单圆弧齿轮的优点外，弯曲强度也高于渐开线齿轮；可用同一把滚刀加工一对齿轮；传动平稳；振动和噪声较小				
圆弧齿轮传动					

圆锥齿轮传动	直齿圆锥齿轮	轴向力小, 可用滑动轴承, 比曲线锥齿轮制造容易; 可制成鼓形齿	1~8	500 PS	$< 5 \text{ m/s}$	用于机床、汽车、拖拉机及其他机械中轴线相交的传动
	曲线圆锥齿轮	比直齿锥齿轮传动平稳, 噪声小, 承载能力大。由于螺旋角产生轴向力, 轴承应考虑止推问题	1~8	5000 PS	$> 5 \text{ m/s}$, $\geq 40 \text{ m/s}$ 需磨齿	用于汽车驱动桥传动, 机床, 拖拉机传动
蜗杆传动	圆柱蜗杆传动	普通圆柱蜗杆传动	8~80	到200 kW	$v_s \leq 15 \sim 35 \text{ m/s}$	多用于中、小负荷, 间歇工作的情况下, 如轧钢机压下装置, 小型转炉倾动机构等
		圆弧圆柱蜗杆传动				
	环面蜗杆传动	接触线相对速度夹角接近 90° , 有利于形成油膜, 同时接触齿数多, 当量曲率半径大, 因而承载能力大, 一般比普通圆柱蜗杆传动大2~3倍	5~100	到4500 kW		轧机压下装置、各种绞车、冷挤压机、转炉、军工产品以及其他冶金矿山设备

第一章 圆柱齿轮传动

第一节 概 述

圆柱齿轮传动用于传递两平行轴间的运动，它是应用最广泛的齿轮传动。圆柱齿轮传动可分为直齿、斜齿、人字齿圆柱齿轮传动；亦可分为外啮合、内啮合圆柱齿轮传动及齿轮齿条传动。本章主要讲述渐开线外啮合圆柱齿轮传动。

实践指出，齿轮传动在工作过程中，经常遇到的问题有噪声、冲击、振动、断齿、点蚀（齿面出现麻点）、磨损、塑性变形等。为了解决这些问题，通常对齿轮传动提出两项基本要求：

1. 传动平稳

即要求齿轮在传动过程中，每个瞬时的传动比恒定不变，以减少冲击、振动和噪声。

2. 承载能力高

即要求齿轮的尺寸小、重量轻，而且强度高、有足够的寿命。也就是在工作过程中轮齿不断折、不发生塑性变形，齿面不点蚀，不严重磨损等。

为了满足传动平稳的要求，齿廓曲线必须具有一定的形状，而且一对齿轮啮合时必须符合一定的啮合条件。为了满足承载能力高的要求还必须合理的选择材料，根据强度要求确定适当的尺寸和结构。为此，我们将详细讲述齿轮传动的有关问题。

第二节 齿廓啮合的基本定律

如上所述,对齿轮传动的基本要求之一,就是要保持传动平稳。所谓传动平稳是指当主动轮以等角速度 ω_1 回转时,从动轮也以等角速度 ω_2 回转,即在齿轮啮合过程中瞬时传动比 $i = \frac{\omega_1}{\omega_2}$ 为一常数。如果瞬时传动比不等于常数,则当主

动轮以等角速度回转时,从动轮的角速度将是变化的,因而产生惯性力,使轮齿承受附加动载荷。这不仅影响轮齿的强度,使其过早破坏,并且引起机件振动,影响传动质量,尤其对高速传动影响更大。

齿廓啮合的基本定律就是要研究当齿廓形状符合什么条件时才能使瞬时传动比恒定不变。

图 1-1 所示为两啮合齿轮的齿廓 E_1 和 E_2 在 K 点接触的情形。两轮的角速度分别为 ω_1 和 ω_2 , 则齿廓 E_1 上 K 点的速度 $v_{K1} = \omega_1 \overline{O_1K}$; 齿廓 E_2 上 K 点的速度 $v_{K2} = \omega_2 \overline{O_2K}$ 。

过 K 点作两齿廓的公法线 NN , 其与两轮的连心线 O_1O_2 交于 C 点。由于两齿廓在啮合过程中不应互相压入或分离, 所以 v_{K1} 和 v_{K2} 在公法线 NN 上的分速度应相等, 故 $ab \perp NN$ 。

过 O_2 作 $O_2Z \parallel NN$, 与 O_1K 的延长线交于 Z 点, 因 $\triangle Kab$ 与 $\triangle KO_2Z$ 的对应边互相垂直, 故 $\triangle Kab \sim \triangle KO_2Z$, 因

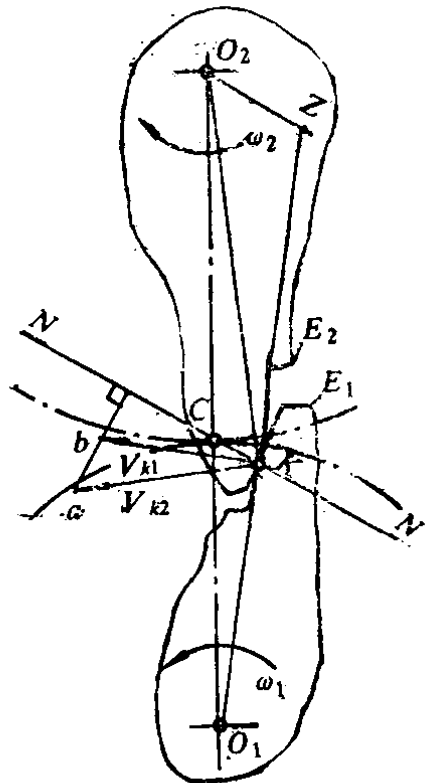


图1-1 一对齿廓的啮合

而

$$\frac{v_{K1}}{v_{K2}} = \frac{\overline{KZ}}{\overline{O_2K}}$$

$$\frac{\omega_1 \overline{O_1K}}{\omega_2 \overline{O_2K}} = \frac{\overline{KZ}}{\overline{O_2K}}$$

即
$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\overline{KZ}}{\overline{O_1K}}$$

又因在 $\triangle O_1 O_2 Z$ 中 $\overline{CK} \parallel \overline{O_2 Z}$, 故

$$\frac{\overline{KZ}}{\overline{O_2K}} = \frac{\overline{O_2C}}{\overline{O_1C}}$$

因而得

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\overline{O_2C}}{\overline{O_1C}} \quad (1-1)$$

上式说明两轮的角速度与连心线被齿廓接触点的公法线所分得的两线段成反比。

由此可见, 要使传动比恒定不变, 则应使 $\frac{\overline{O_2C}}{\overline{O_1C}}$ 恒为常数。

但因两齿轮的中心 O_1 和 O_2 为定点, $\overline{O_1 O_2}$ 为定长, 故欲满足上述要求, 必须使 C 成为连心线上一个固定点。此固定点 C 称为节点。

因此, 欲使齿轮传动得到定传动比, 两轮齿廓的形状必须符合下述条件, 即两轮齿廓不论在任何位置接触, 过接触点所作齿廓的公法线必须通过中心连线上的一定点。这就是齿廓啮合的基本定律。

理论上符合上述条件的齿廓曲线有很多, 但在生产实际中, 齿廓曲线的选择还应综合地考虑制造、安装及强度等各方面要求。目前在机械制造中采用的齿廓曲线有渐开线、摆

线和圆弧等，其中以渐开线齿廓应用最多，故本章只讨论渐开线齿轮传动。

如图 1-1 所示，分别以 O_1 、 O_2 为圆心，以 $\overline{O_1C}$ 、 $\overline{O_2C}$ 为半径，过节点 C 所作的两个相切的圆称为节圆。由式 (1-1) 可得， $\omega_1 \overline{O_1C} = \omega_2 \overline{O_2C}$ 即两节圆具有相等的圆周速度，这表明一对齿轮在传动过程中，其两节圆作纯滚动。

第三节 渐开线和渐开线齿廓的啮合性质

一、渐开线的形成及其性质

如图 1-2 所示，当一直线 NK 沿半径为 r_b 的圆作无滑动的纯滚动时，此直线上任意一点 K 的轨迹 AKD 称为该圆的渐开线。该圆称为基圆，而直线 NK 称为发生线。

从渐开线的形成过程中，我们可以看出渐开线有以下几个特性：

(1) 发生线在基圆上滚过的线段长度 \overline{NK} 等于基圆上被滚过的一段弧长 \widehat{NA} ，即 $\overline{NK} = \widehat{NA}$ 。

(2) 因为渐开线形成时， K 点附近很小一段曲线可以看成是以 N 点为中心，以 \overline{NK} 为半径所画的一小段圆弧，所以 \overline{NK} 就是渐开线上 K 点的曲率半径。当然 \overline{NK} 也是渐开线在 K 点的法线。由此可见，渐开线上各点的曲率半径是变化的， K 点离基圆越远，其曲率半径越大，即渐开线越平直。又因 \overline{NK} 切线于基圆，

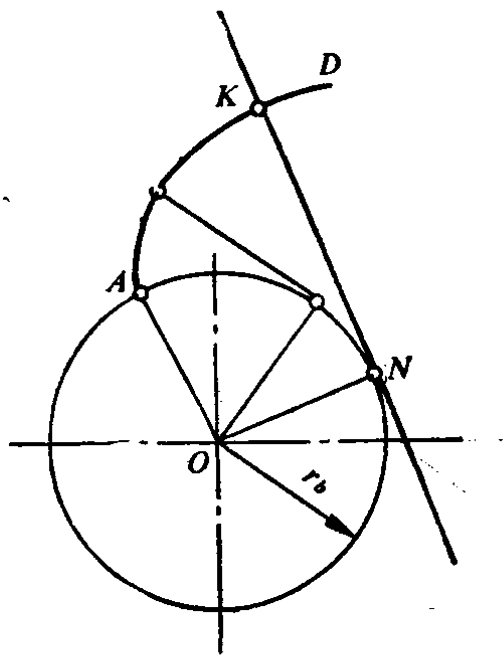


图1-2 渐开线的形成

所以渐开线上任意一点的法线必与基圆相切。

(3) 基圆半径相等, 则渐开线完全相同; 基圆半径不等, 则其相应的渐开线相似。

如图 1-3 所示, 基圆半径越小, 则其渐开线相应点 K 处的曲率半径也越小; 基圆半径越大, 则其渐开线相应点 K 处的曲率半径也越大 (如 $\overline{N_2K} > \overline{N_1K}$); 而当基圆半径趋近于无穷大时, 则其渐开线趋近于一条直线。

(4) 基圆以内没有渐开线。

(5) 渐开线齿廓上各点的压力角是变化的。

渐开线齿廓上任一点法向压力的方向线与该点速度方向之间所夹的锐角称为该点的压力角。如图 1-4 所示, 当齿廓在任意点 K 接触时, K 点的法向压力 F_n 的方向线与速度 v_k 之间的夹角 α_k 即为渐开线齿廓在 K 点的压力角。由直角 $\triangle ONK$ 可求得

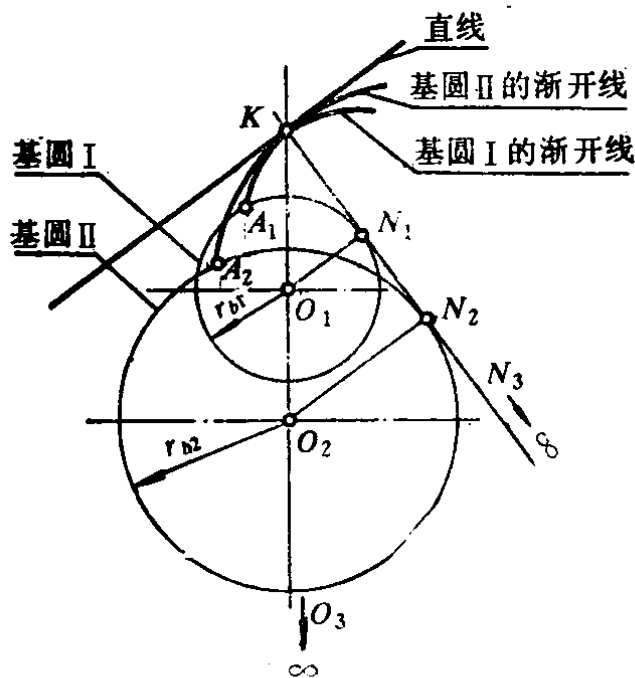


图 1-3 不同基圆的渐开线齿廓

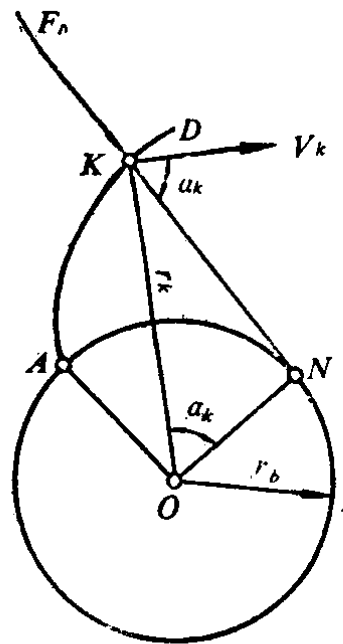


图 1-4 渐开线齿廓上任一点的压力角

$$\cos\alpha_k = \frac{\overline{ON}}{\overline{OK}} = \frac{r_b}{r_k} \quad (1-2)$$

因为对于已经制造好的齿轮， r_b 为常数，所以从式(1-2)可以看出：渐开线齿廓上各点的压力角 α_k 是不相等的，它随半径 r_k 的不同而不同。随着 r_k 的增大， α_k 也相应增大。在渐开线的起始点（基圆上）压力角等于零。

二、渐开线齿廓满足齿廓啮合的基本定律

根据渐开线的形成及其性质，不难证明用渐开线作为齿廓曲线满足齿廓啮合的基本定律，并能保证定传动比传动。

如图 1-5 所示，两渐开线齿轮的基圆半径分别为 r_{b1} 和 r_{b2} ，由此二基圆形成的渐开线齿廓分别为 E_1 和 E_2 。设此两齿廓在任意点 K 相接触，过 K 点作公法线，根据渐开线特性 2 可知，此公法线必同时与两基圆相切，即为两基圆的内公切线 N_1N_2 。当两齿轮齿廓曲线切制完成并安装固定后，两基圆的大小及位置即固定，其在同一方向的内公切线只有一条，所以两齿廓在任意

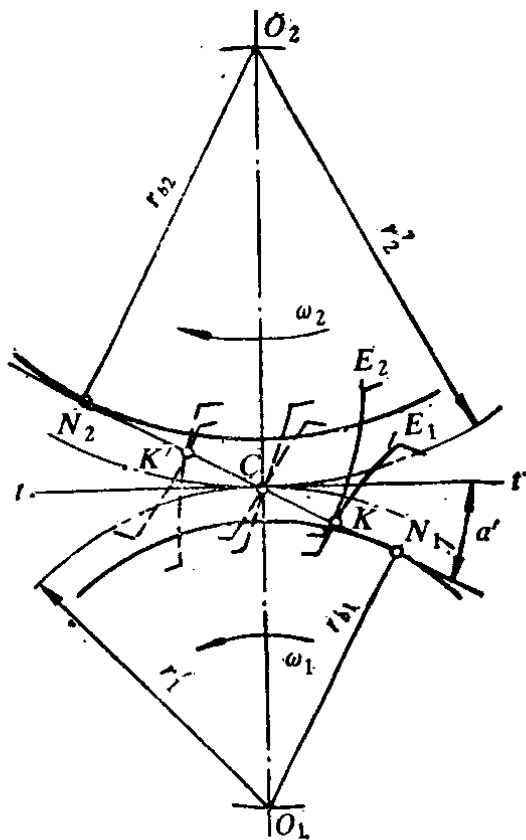


图1-5 渐开线齿轮的啮合

点接触时（如在 K' 点接触），其接触点的公法线皆为与两基圆内公切线 N_1N_2 重合的一条定直线，故它与连心线 O_1O_2 的交点 C 亦必为定点。这就证明了渐开线齿廓能满足齿廓啮合