The background of the cover is a vibrant red. On the left side, there are four large, stylized orange characters: 'M' at the top, 'Z' below it, 'α' (alpha) below that, and 'β' (beta) at the bottom. On the right side, the title '齿轮测绘' (Gear Drawing) is written vertically in white, enclosed within a large, rounded orange rectangular frame.

齿轮测绘

崔再生 编著

机械工业出版社

# 齿 轮 测 绘

崔 再 生 编 著



机 械 工 业 出 版 社

本书系统地介绍了渐开线圆柱齿轮和标准直齿锥齿轮的计算及测绘方法，收集整理了典型计算和测绘实例46例，为系统总结测绘方法，还介绍了齿轮测绘流程图。

本书中的齿轮术语、要素代号全部采用 GB3374—82、GB2821—81 标准。本书通俗易懂、实用性强，读者对象主要是从事机修测绘、设备更新改造、机械设计、齿轮加工等方面工作的工程技术人员和技术工人。

## 齿 轮 测 绘

崔再生 编著

责任编辑：吴天培 责任校对：宁秀娥  
版式设计：乔玲

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）  
(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

开本 787×1092 1/32 \*印本157#·插页1 字数303千字  
1988年7月重庆第一版·1988年7月重庆第一次印刷  
印数 0.001—6.400 定价 4.60 元

ISBN 7-111-00613-5/TG·167

# 目 录

第一章 渐开线齿轮的种类和用途 .....	1
一、圆柱齿轮的种类和用途 .....	1
二、圆锥齿轮的种类和用途 .....	3
三、渐开线齿轮传动几何要素名称及代号 .....	3
第二章 圆柱齿轮传动的基本理论基础 .....	11
一、渐开线的形成原理 .....	11
二、渐开线的基本特性 .....	11
三、渐开线参数方程 .....	12
四、渐开线圆柱齿轮的啮合方程 .....	14
五、渐开线齿轮的啮合条件 .....	40
六、齿轮啮合传动中的干涉和切齿时的根切与顶切 .....	42
七、避免根切的最少齿数 $z_{\min}$ .....	45
八、常见的齿轮基本术语 .....	46
第三章 标准齿轮传动几何计算 .....	55
一、标准直齿圆柱齿轮传动几何计算 .....	55
二、标准斜(人字)齿圆柱齿轮传动几何计算 .....	66
三、标准直齿圆锥齿轮传动几何计算 .....	72
第四章 圆柱齿轮的变位 .....	75
一、变位齿轮的形成原理和定义 .....	75
二、变位齿轮的啮合特点 .....	79
三、避免根切的最小变位系数 $x_{\min}$ .....	82
四、变位齿轮的啮合方程 .....	86
五、变位齿轮的啮合种类 .....	88
六、变位系数的确定 .....	96
七、变位齿轮啮合传动几何计算 .....	111

八、变位齿轮的应用实例 .....	153
第五章 齿轮的测量和检验 .....	163
一、圆柱齿轮各种齿厚的计算公式及测量 .....	163
二、圆柱齿轮的检验 .....	250
第六章 圆柱齿轮的测绘 .....	276
一、齿轮测绘工作的任务和定义 .....	276
二、齿轮测绘的准备工作 .....	276
三、圆柱齿轮测绘时几何要素的测定 .....	277
四、圆柱齿轮的测绘实例 .....	340
五、齿轮工作图的绘制与图面的标注 .....	400
第七章 标准直齿锥齿轮的测绘 .....	408
一、测绘前的准备工作 .....	408
二、标准直齿锥齿轮的测绘 .....	408
三、标准直齿锥齿轮的测绘实例 .....	417
附表1. 常见齿形角的常用函数 .....	423
附表2. 常用齿轮材料及热处理 .....	423
参考文献 .....	424

# 第一章 渐开线齿轮的种类和用途

## 一、圆柱齿轮的种类和用途

机械制造业中最常用的是平行轴圆柱齿轮传动。按轮齿的方向可以分为以下三种类型：

1) 直齿圆柱齿轮传动，见图1-1。其特点是大小齿轮的轴线互相平行，齿线与齿轮轴线平行；外啮合时两齿轮转动的方向相反。直齿轮工艺性好，精度容易保证，应用最广。

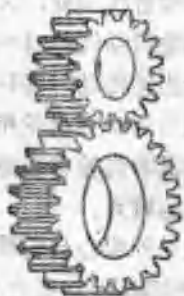


图1-1 直齿圆柱齿轮传动

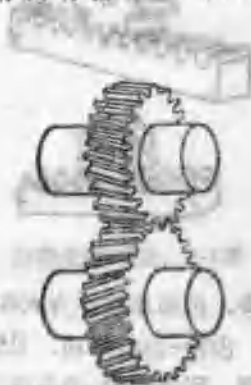


图1-2 斜齿圆柱齿轮传动

2) 斜齿圆柱齿轮传动，见图1-2。其特点是大小齿轮的轴线互相平行，但齿线与齿轮的轴线不平行；由于轮齿倾斜一螺旋角，传动过程中产生轴向力；斜齿轮重合度大，传动平稳，适于高速重载传动。

3) 人字齿轮传动，见图1-3。其特点是，它不仅具有

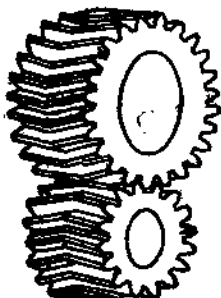


图1-3 人字齿轮传动

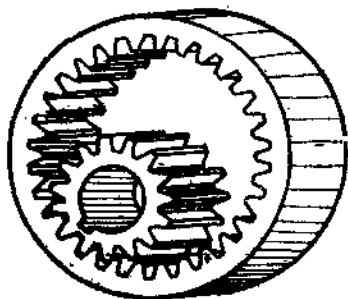


图1-4 内啮合齿轮传动

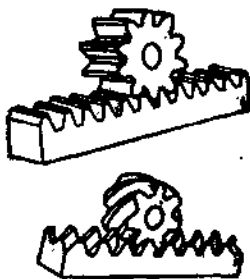


图1-5 齿轮-齿条传动

斜齿轮的特点，而且能够自相平衡传动过程中产生的轴向力，从而可以采用较大的螺旋角，进一步提高承载能力和平稳性。

按啮合性质分，又可分为外啮合齿轮传动(图1-1~图1-3)和内啮合齿轮传动(图1-4)。内啮合齿轮与外啮合齿轮相比，内啮合齿轮具有齿轮中心距小，结构

紧凑，齿面承载能力大和重合度大的特点。

齿轮-齿条传动，见图1-5。它是外啮合齿轮传动的一个特例。利用齿轮-齿条传动，可以把回转运动变为直线运动(或相反)。

圆柱齿轮传动的应用范围非常广泛。齿轮直径从1mm到20m，齿轮模数可从0.1~50，齿轮的圆周速度高达300m/s，齿轮所传递的功率从百分之几kW到几十万kW。因此，圆柱齿轮被广泛应用在金属切削机床、矿山机械、起重运输机械、印刷机械、汽车拖拉机及航空设备中。

## 二、圆锥齿轮的种类和用途

圆锥齿轮的种类繁多，圆锥齿轮按齿线可分为直齿锥齿轮（图1-6直齿锥齿轮和图1-7斜齿锥齿轮）和曲线齿锥齿轮（图1-8螺旋锥齿轮和曲线锥齿轮）两大类。直齿锥齿轮



图1-6 直齿锥齿轮



图1-7 斜齿锥齿轮

可以改变传动轴的方向，由于制造较为简便，应用较为广泛。斜齿锥齿轮的加工受到刨齿机床的限制，而且不容易保证精度，很少使用。由于曲线齿锥齿轮具有重合度大，传动平稳和承载力大的特点，广泛用于汽车、拖拉机上，但制造较为复杂。



图1-8 螺旋锥齿轮

由于篇幅所限，本书只重点介绍标准直齿锥齿轮传动。

## 三、渐开线齿轮传动几何要素名称及代号

1. 圆柱齿轮传动几何要素名称及代号 圆柱齿轮传动几何要素名称及代号见表1-1及图1-9~图1-11。变位圆柱齿



表1-1 圆柱齿轮传动几何要素名称及代号

几何要素名称		几何要素代号		几何要素名称		几何要素代号	
		新	旧			新	旧
齿数	齿数	$z$	$z$	齿高	弦齿高	$\bar{h}_a$	
	小轮齿数	$z_1$	$z_1, z_{小}$		固定弦齿高	$\bar{h}_c$	$h_{fix}$
	大轮齿数	$z_2$	$z_2, z_{大}$	齿厚	分度圆齿厚	$s$	$s_D, s_{分}$
	齿数和 啮合齿数	$z_{\Sigma}$	$z_{\Sigma}, z_{和}$ $z'$		弦齿厚、分度圆 弦齿厚	$\bar{s}$	
模数	模数	$m$	$m, M$	角 度	固定弦齿厚	$\bar{s}_0$	$s_{ax}$
	法向模数	$m_n$	$m_n, M_n, M_{法}$		基圆齿厚	$s_b$	$s_0$
	端面模数	$m_t$	$m_t, M_t, M_{端}$		齿顶厚	$s_a$	$s_{v}, s_w$
	啮合模数	$m'$			压力角、分度 圆压力角	$\alpha$	$\alpha$
	刀具模数	$m_0$			齿形角	$\alpha$	$\alpha$
齿距	齿距	$p$	$f$	刀具齿形角	$\alpha_0$	$\alpha_0, \alpha_{ax}$	
	法向齿距	$p_n$	$f_n$	啮合角、 工作压力角	$\alpha'$	$\alpha_s$	
	端面齿距	$p_t$	$f_s$				
	基圆齿距	$p_b$	$f_0$				
直径	分度圆直径	$d$	$d_f, d_D, d_{分}$	中心 距	分度圆中心距	$a$	$A_D$
	节圆直径	$d'$	$d, d_{节}$		啮合中心距	$a'$	
	齿顶圆直径	$d_a$	$D_e, D_w, D_{顶}$		切齿中心距	$a_0$	
	齿根圆直径	$d_f$	$D_i, D_{根}$	公法 线	公法线长度	$W$	$L$
	基圆直径	$d_b$	$d_0, d_i, d_{基}$		斜齿轮公法线长度	$W_0$	$L_n$
半径	分度圆半径	$r$	$R_f, R_D$	法 线	跨越齿(槽)数	$k$	$n$
	节圆半径	$r'$	$r, r_{节}$		跨越齿(槽)测 量的公法线长度	$W_k$	
	齿顶圆半径	$r_a$	$r_e, R_e$		变位公法线长度	$W_x$	
	齿根圆半径	$r_f$	$r_i, r_{根}$			$W_{fix}$	
	基圆半径	$r_b$	$r_0$				
齿高	齿高、全齿高	$h$	$H$	螺旋 角	螺旋角、分度 圆螺旋角	$\beta$	$\beta, \beta_D, \beta_{分}$
	齿顶高	$h_a$	$h'_a$		基圆螺旋角	$\beta_b$	$\beta_0$
	齿根高	$h_f$	$h'_f$				
	工作高度	$h'$					

(续)

几何要素名称		几何要素代号		几何要素名称	几何要素代号	
		新	旧		新	旧
旋向	左旋的	L	左、左旋 右、右旋	传动比	$i$	$i_n$
	右旋的	R			$u$	$i_1, i_2$
	齿顶高系数	$k_a^*$	$f_0$	分度圆齿宽	$e$	$w$
	顶隙系数	$c^*$	$C_0$	基圆齿厚半角	$\psi_b$	
	顶隙	$c$		齿率半径	$\rho$	
	齿宽	$b$	$b, B$	齿深过渡曲线半径	$\rho_f$	
	重合度	$\epsilon$	$\epsilon$	$\alpha$ 角的新升线系数	$\text{inv}\alpha$	$\text{inv}\alpha$

注：表中几何要素名称及代号均以《GB2821—81 齿轮几何要素代号》为准。

轮转动几何要素名称及代号见表1-2。圆柱齿轮测绘用几何要素名称及代号见表1-3。

表1-1及图1-9~图1-11中几何要素代号主要角标的意义：

- 0——刀具的（标注在主代号右下角）；
- 1——小轮的（标注在主代号右下角）；
- 2——大轮的（标注在主代号右下角）；
- \*（星号）——尺寸系数（标注在主代号的右上角）；
- '（撇）——工作的、啮合的、节圆的（标注在主代号的右上角）；
- （横线）——弦的（标注在主代号的正上方）；
- a——齿顶的（标注在主代号的右下角）；
- f——齿根的（标注在主代号的右下角）；
- b——基圆的（标注在主代号的右下角）；
- n——法向的（标注在主代号的右下角）；

- t —— 端面的 (标注在主代号的右下角) ;  
 Σ —— 总和的 (标注在主代号的右下角) ;

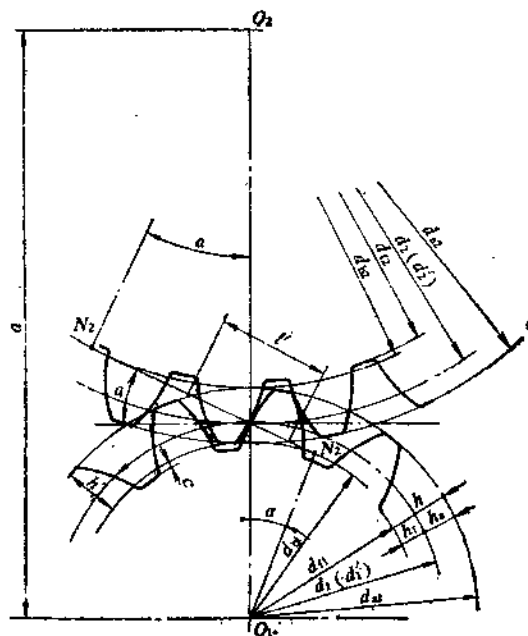


图1-9 圆柱齿轮传动几何要素

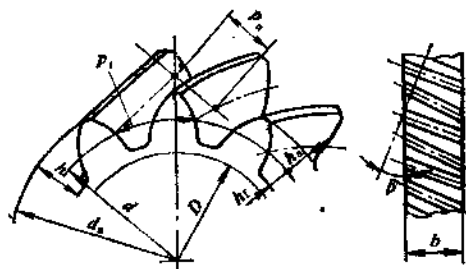


图1-10 圆柱齿轮传动几何要素(斜齿轮传动)

- c——固定弦的、常值的（标注在主代号的右下角）；  
 x——变位的（标注在主代号的右下角或与n并用）；  
 max——最大的（标注在主代号的右下角）；  
 min——最小的（标注在主代号的右下角）。

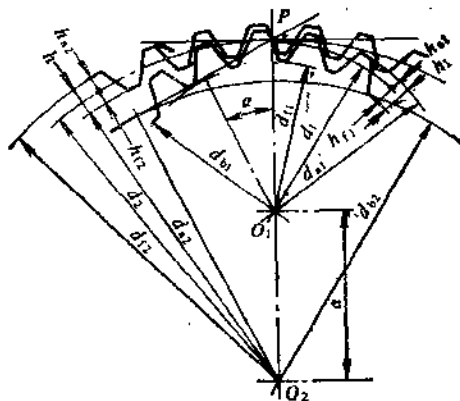


图1-11 圆柱齿轮传动几何要素（内啮合传动）

2. 直齿锥齿轮传动几何要素名称及代号 直齿锥齿轮传动几何要素名称及代号见表1-4、表1-5及图1-12、图1-13。

表1-2 变位圆柱齿轮传动几何要素名称及代号

几何要素名称	几何要素代号		几何要素名称	几何要素代号	
	新	旧		新	旧
变位系数、径向变位系数	x	$\xi$ ①	避免根切的最小变位系数	$x_{min}$	$\xi_{min}$
小轮变位系数	$x_1$	$\xi_1$	齿顶变尖的变位系数	$x_s$	$\xi_w$
大轮变位系数	$x_2$	$\xi_2$	齿顶变尖最大允许的变位系数	$x_{max}$	$\xi_{max}$
总变位系数	$x_\Sigma$	$\xi_\Sigma$ 、 $\xi_{总}$ 、 $\xi_{和}$			

(续)

几何要素名称	几何要素代号		几何要素名称	几何要素代号	
	新	旧		新	旧
标准根切的最少齿数	$z_{min}$	$z_{min0}$	中心距变动系数	$\nu$	$\lambda$ ②
变位量	$x_m$	$\xi_m$	齿顶高降低系数	$\sigma$	$\sigma$ ③
变位齿轮公法线长度	$W_x$		中心距变动比	$\nu_2$	$\lambda_0$ ④
变位斜齿轮公法线长度	$W_{ox}$		变位比	$x_0$	$\xi_0$ ⑤
变位中心距	$a'$		反变位比	$x_0$	$\sigma_0$ ⑥

注: GB2821-81 对变位齿轮传动几何要素的名称及代号未做详细规定, 前者对某些惯用代号做了标注, 与 GB2821-81 代号一并列入新代号栏中。① 也称“修正系数”、“零”系数。② 也称“分离系数”、“中心距分离系数”。③ 也称“齿顶高降低系数”、“反变位系数”、“齿顶降低系数”、“齿顶高变动系数”。④ 也称“中心距变动系数”、“系数”。⑤ 也称“变位系数”。⑥ 也称“反变位系数”、“齿顶高降低模数”。

表1-3 圆柱齿轮测绘用几何要素名称及代号

几何要素名称	几何要素代号	几何要素名称	几何要素代号
测量的两合中心距	$d''$	初定基圆齿距	$\underline{pb}$
测量的齿顶圆直径	$d_a''$	初定模数	$\underline{m}$
测量的齿根圆直径	$d_f''$	初定齿形角	$\underline{\alpha}$
测量的齿高	$h''$	初定齿顶高系数	$\underline{h_a''}$
测量的直齿条公法线长度	$W_k'', W_{k+1}''$	初定顶隙系数	$\underline{c''}$
测量的斜齿条公法线长度	$W_{nk}'', W_{nk+1}''$	初定螺旋角	$\underline{\beta}$
测量的小斜齿轮公法线长度	$W_{1-k}''$	测量的小斜齿轮公法线长度	$W_{n1-k}''$
测量的大斜齿轮公法线长度	$W_{2-k}''$	测量的大斜齿轮公法线长度	$W_{n2-k}''$
测量的小齿轮变位公法线长度	$W_{z1-k}''$	测量的变位小斜齿轮公法线长度	$W_{nz1-k}''$
测量的大齿轮变位公法线长度	$W_{z2-k}''$	测量的变位大斜齿轮公法线长度	$W_{nz2-k}''$

表1-4 直齿锥齿轮传动几何要素名称及代号

几何要素名称	几何要素代号		几何要素名称	几何要素代号	
	新	旧		新	旧
轴交角	$\Sigma$	$\Sigma$	齿高	$h$	$h, H$
冠轮齿数	$z_c$	$z_c$	齿顶高	$h_a$	$h_{a'}, h''$
齿数	$z$	$z$	齿根高	$h_f$	$h_{f'}, h''$
当量齿轮齿数	$z_v$	$z_v$	齿顶高系数	$h_a^*$	$f_{a'}, f_a$
大端模数	$m$	$m$	顶隙系数	$c^*$	$c_0$
齿北角	$a$	$a_0$	顶隙	$c$	$c$
齿宽	$b$	$b$	背锥角	$\delta_v$	
齿数比	$u$	$i, z$	外锥距	$R$	$L, L_0$
安装距	$A$	$A, K$	冠顶距	$A_k$	$A$
节圆锥角	$\delta'$	$\varphi$	轮冠距	$X$	
分度圆锥角	$\delta$	$\varphi_a$	内锥距	$R_i$	
顶圆锥角	$\delta_a$	$\varphi_c$	齿顶尖角	$\phi_1$	
根圆锥角	$\delta_f$	$\varphi_f$	端顶角	$\phi_2$	
齿顶角	$\theta_a$	$\Delta', r_0$	齿坯总宽	$B$	
齿宽角	$\theta_1$	$\Delta'', r_1$	齿宽在轴线上的投影	$b_a$	
节圆直径	$d'$	$D$	背锥距	$R_v$	
分度圆直径	$d$	$D_a$			
齿顶圆直径	$d_a$	$D_0$			
齿根圆直径	$d_f$	$D_i$			

注：表中除 $A_k, \phi_1, \phi_2, B, b_a, R_v, X$ 名称及代号外，均采用 GB2821-81及 GB3374-82 标准。

表1-5 直齿锥齿轮测绘用几何要素名称及代号

几何要素名称	几何要素代号	几何要素名称	几何要素代号
测量的轴交角	$\Sigma^0 \approx 90^\circ$	测量的端顶角	$\phi_2^0$
测量的齿全高	$h^0$	初定大端模数	$m$
测量的齿顶圆直径	$d_a^0$	初定基圆齿距	$p_b$
测量的齿宽	$b^0$	初定齿形角	$\alpha$
测量的当量齿轮齿数	$W^0$	初定齿顶高系数	$h_a^0$
摩公法线长度		初定齿顶隙系数	$c^0$
测量的锥距	$R^0$	测量的轮冠距	$X^0$
测量的齿顶尖角	$\phi_1^0$		

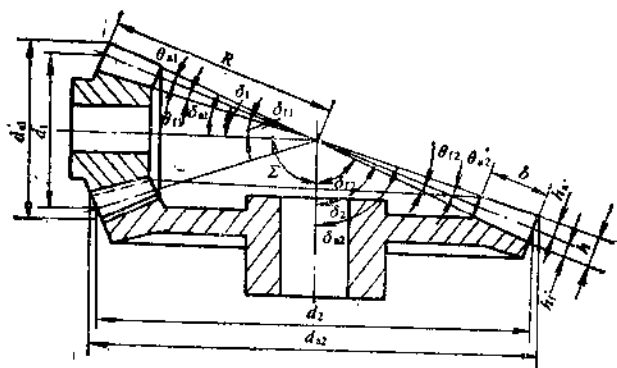


图1-12 直齿锥齿轮传动几何要素

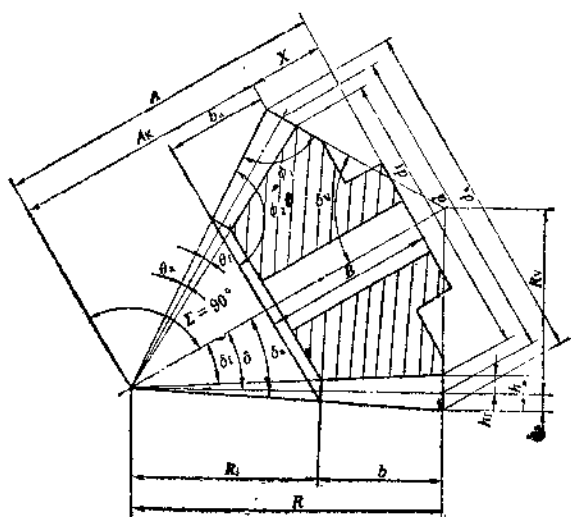


图1-13 直齿锥齿轮传动几何要素（锥齿轮要素详图）

## 第二章 圆柱齿轮传动的 基本理论基础

### 一、渐开线的形成原理

为了研究渐开线齿轮的一系列问题，必须首先了解什么叫做渐开线。

假设有一理想圆为 $G$ ，见图2-1，当直线 $AB$ 在 $G$ 圆上作无滑动的纯滚动时，直线 $AB$ 上任意一点的轨迹称为渐开线。如图2-1中 $\widehat{ab}$ 就是直线 $AB$ 上 $b$ 点的滚动轨迹——渐开线。我们把圆 $G$ 叫做基圆，直线 $AB$ 叫做发生线 $\ominus$ 。

渐开线的形成原理虽然简单，但是非常重要，有些齿轮机床（如Y7163型、Y7125型磨齿机）就是用其原理设计而成的。

渐开线齿轮的研究不仅离不开渐开线，就是测绘和生产（甚至修理齿轮机床）一个渐开线齿轮，往往也离不开渐开线原理。

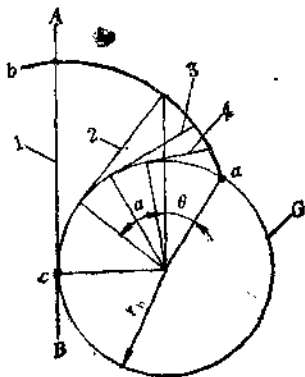


图2-1 渐开线形成原理

### 二、渐开线的基本特性

根据渐开线的形成原理，可以将渐开线的基本特

$\ominus$  过去也有叫“母线”、“刨成线”、“展成线”的。



性<sup>①</sup>综述如下:

1) 弧长  $\widehat{ac}$  等于发生线上线段  $\widehat{bc}$  的长度, 换言之, 发生线在基圆上滚动一段的长度等于被展开的弧长, 即  $\widehat{ac} = \widehat{bc}$ 。

2) 发生线在滚动过程中形成许多与基圆相切的线图 2-1 中的 1、2、3、4 线, 把这些线叫做渐开线的法线。法线分别与基圆相切并垂直于过切点的基圆半径  $r_b$  (法线与渐开线的切线垂直)。因此得出结论: 渐开线上任意一点的法线必与其基圆相切。反之, 基圆上的切线必为渐开线上某一点的法线。

3) 法线 1、2、3、4 分别是渐开线上四点的曲率半径, 由此可知, 渐开线上各点的曲率半径是不相同的。越远离基圆的渐开线曲率半径越小, 越靠近基圆的渐开线曲率半径越大。

4) 渐开线的形状决定于基圆的大小, 基圆相同, 则渐开线完全相同, 基圆不同则渐开线也不同。基圆越大, 则渐开线在相应点的曲率半径越大, 即渐开线越平直。当基圆半径无穷大时, 渐开线就变成垂直于发生线的直线, 此时齿形变成齿条齿形。

### 三、渐开线参数方程

在研究渐开线参数方程之前, 我们先来分析一下作用在渐开线上的力和运动速度, 见图 2-2。设一对轮齿在  $P$  点接触, 由渐开线特性可知, 轮齿受力  $\vec{F}$  的方向线必通过基圆的切线(发生线), 也就是渐开线的法线。而速度  $\vec{V}$  的方

① 有的书刊将“基圆以内无渐开线”列为渐开线特性之一是不妥当的, 因为此条根本不属于渐开线范畴。