

任敬心 刘洪忠 张应昌 编著

齿 轮 工 程 学

國防工業出版社

CHILUN GONGCHENG XUE

齿 轮 工 程 学

任敬心 刘洪忠 张应昌 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书共分十章, 内容包括圆柱齿轮、蜗杆蜗轮、圆锥齿轮的啮合传动原理及几何尺寸计算; 渐开线圆柱齿轮精度; 齿轮加工机床的传动系统与调整; 齿轮刀具的设计与计算; 圆柱齿轮加工方法(滚齿、插齿、剃齿、珩齿及磨齿)及圆锥齿轮加工方法; 圆柱齿轮加工工艺过程及加工误差分析。全书侧重于齿轮的精密加工。

本书可作为机械制造专业教学参考书, 亦可供在齿轮制造业、机床制造业、汽车拖拉机制造业、航空发动机及仪表制造业、柴油机制造业、船舶制造业、纺织机械制造业以及各类机器制造业中从事齿轮设计与制造的技术人员参考。

齿 轮 工 程 学

任敬心 刘洪忠 张应昌 编著

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

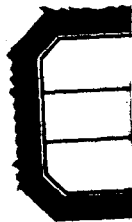
*

787×1092 1/16 印张 24 556千字

1985年11月第一版 1985年11月第一次印刷 印数: 0,001—4,070册

统一书号: 15034·2942 定价: 4.90元

科技新书目 109—129



作者的话

齿轮是各类机械、仪器、仪表中普遍应用的构件。随着生产技术的不断发展，机构设计精度的普遍提高，对齿轮质量的要求也越来越高。齿轮在航空产品中也占有重要的地位，对产品性能有较大的影响，为提高加工质量，以航空制造工程为对象的专业学生及工厂中有关的专业人员，系统、深入地掌握齿轮啮合传动原理及各类齿轮加工机床、刀具、工艺等技术知识很有必要。为此，我们编写了这本有关齿轮原理、加工及齿轮精度的综合参考书。

本书是以本专业多年来采用的教材为蓝本，经过整理、充实写成的。在编写过程中，我们陆续收到了西安交通大学、华中工学院、上海交通大学、山东工学院、国营五一机械厂等兄弟院校、工厂的有关齿轮原理与齿轮加工方面的教材，这些教材对本书的编写帮助很大，在此向这些兄弟单位及编者表示衷心地感谢。

参加本书编写的有任敬心（第一、三、四、八、九章）、刘洪忠（第五、六、七、十章）、张应昌（第二、三章）。书稿完成后，承蒙国营黎阳机械厂蒲作鸿、孟汉成同志、国营平水机械厂丁瑜生、高士秀同志、国营渭河工具厂郑国治同志、国营红旗机械厂包友金、乌奕华同志审阅，提出了许多修改意见，我们对此深表谢意。

由于水平所限，缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

目 录

本书主要符号	1
--------	---

第一章 齿轮啮合传动原理

§ 1-1 齿廓啮合的基本定律	3
§ 1-2 渐开线及其基本性质	5
一、渐开线的形成	5
二、渐开线的基本性质	6
三、渐开线齿廓的压力角	7
四、渐开线的数学方程式	7
§ 1-3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸	8
一、齿轮的基本参数	8
二、外啮合齿轮传动的几何尺寸计算	10
§ 1-4 一对渐开线直齿圆柱齿轮的啮合	12
一、啮合特性	12
二、正确啮合的基本条件	15
§ 1-5 齿条与齿轮的啮合	18
一、齿条的特点	18
二、基本齿条和工具齿条	19
三、齿条与齿轮的啮合	20
四、齿条与齿轮啮合传动的重叠系数	22
§ 1-6 齿条形刀具切齿时的根切现象	22
一、齿根过渡曲线	23
二、根切现象	24
三、不产生根切的最少齿数	25
§ 1-7 渐开线变位齿轮的原理与几何尺寸计算	26
一、什么是变位齿轮	26
二、变位齿轮齿厚的计算式	28
三、一对变位齿轮的啮合特点及尺寸计算	30
四、变位齿轮的传动类型	34
五、变位齿轮传动几何尺寸的计算	36
§ 1-8 内啮合齿轮传动的几何尺寸计算	37
一、标准直齿内齿轮	37
二、内啮合齿轮传动的特点	38
三、标准内齿轮的几何尺寸计算	39
四、内啮合变位齿轮传动的啮合角及中心距	40
五、用插齿刀插制内齿轮时的齿根高减小量	42

六、内啮合变位齿轮几何尺寸计算	44
七、内啮合齿轮传动的校验	47
§ 1-9 斜齿渐开线圆柱齿轮传动	54
一、斜齿轮齿廓曲面的形成原理与啮合特点	54
二、斜齿圆柱齿轮的基本参数	56
三、斜齿圆柱齿轮的几何尺寸计算	58
四、斜齿圆柱齿轮啮合的基本条件及重合系数	61
五、斜齿圆柱齿轮的当量齿轮	63
六、变位斜齿圆柱齿轮	64
§ 1-10 渐开线圆柱螺旋齿轮传动	67
§ 1-11 蜗杆蜗轮传动	69
一、普通圆柱蜗杆的类型	70
二、蜗杆蜗轮传动主要参数的选择	76
三、蜗杆蜗轮传动的几何尺寸计算	78
§ 1-12 轮系	80
一、定轴轮系传动比的计算	80
二、周转轮系传动比的计算	81

第二章 齿轮误差及其对使用性能的影响

§ 2-1 对齿轮传动的基本要求	87
§ 2-2 齿轮误差及其对使用性能的影响	88
一、影响传递运动准确性的误差	88
二、影响齿轮传动平稳性的误差	92
三、影响齿面载荷分布均匀性的误差	95
§ 2-3 齿轮副误差	96
一、齿轮副的切向综合误差 $\Delta F'_{ic}$ 和齿轮副的切向一齿综合误差 $\Delta f'_{ic}$	96
二、接触斑点	96
三、齿轮副的侧隙	97
四、齿轮轴线的平行度误差 Δf_x 与 Δf_y	98
§ 2-4 渐开线圆柱齿轮精度制 (JB179-83)	99
一、适用范围	99
二、精度等级	99
三、齿轮副的侧隙	99
四、齿坯精度	100
五、齿轮精度的标注方法	100

第三章 滚 齿

§ 3-1 滚齿原理及工作运动	101
§ 3-2 Y3180 型滚齿机	103
一、机床传动系统	103
二、滚齿机的调整	108

§ 3-3 滚齿过程的简析	120
§ 3-4 齿轮滚刀	122
一、齿轮滚刀的基本蜗杆	122
二、阿基米德蜗杆的轴向齿形角	123
三、阿基米德齿轮滚刀的设计	123
四、阿基米德齿轮滚刀的设计计算步骤	133
§ 3-5 蜗轮滚刀	134
一、蜗轮滚刀加工蜗轮的特点	134
二、蜗轮滚刀切齿时的进给方式	135
三、阿基米德蜗轮滚刀的设计	136
四、阿基米德蜗轮滚刀的设计计算步骤	141
§ 3-6 滚齿误差	142
一、分析滚齿误差的基本方法	142
二、滚刀误差	146
三、机床误差	157
四、齿轮毛坯基准和安装误差	161
五、滚齿误差的计算	164

第四章 插 齿

§ 4-1 插齿加工原理	167
§ 4-2 Y54 插齿机	168
一、用途与规格	168
二、传动系统	168
三、计数机构	172
§ 4-3 外啮合直齿插齿刀的特征及变位系数的选择	172
一、插齿刀的特征	173
二、插齿刀的磨刀	177
三、插齿刀变位系数的选择	177
§ 4-4 外啮合直齿插齿刀的设计计算	186
一、主要参数计算顺序	186
二、外啮合直齿插齿刀的设计计算步骤	189
§ 4-5 用内啮合直齿插齿刀插制内齿轮	193
一、插齿时插齿刀的齿根与内齿轮的齿顶发生干涉——干涉顶切	193
二、插齿刀在径向切入内齿轮过程中的齿顶干涉——切入顶切	194
三、用插齿刀切出的内齿轮齿形根部与配对齿轮啮合时的过渡曲线干涉	198
四、插齿刀切内齿轮时的负啮合角现象	198
五、内齿轮齿根与配对齿轮齿顶间的径向间隙的变化	198

第五章 剃 齿

§ 5-1 剃齿加工原理	200
一、剃齿作用的产生	200

二、剃齿过程及其理论	201
三、剃齿切削速度	205
§ 5-2 剃齿方法	206
一、纵向剃齿	206
二、斜向剃齿	206
三、横向剃齿	207
四、三种剃齿法的综合分析	208
§ 5-3 剃齿机及三种剃齿法在机床上的实现	210
一、剃齿机的基本运动	210
二、Y4232A 剃齿机	210
三、三种剃齿法在普通剃齿机上的实现	211
§ 5-4 剃齿刀	212
一、剃齿刀结构	212
二、剃齿刀重磨	213
三、剃齿刀齿形修正	213
§ 5-5 剃齿工艺	219
一、剃前刀具	219
二、剃齿工作要点	221
三、剃齿对剃前误差的纠正能力	229

第六章 磨 齿

§ 6-1 磨齿方法简介	232
§ 6-2 展成磨齿法的理论基础	233
一、齿轮和齿条的啮合特点	233
二、齿轮与齿条啮合时纯滚动的实现方法	234
§ 6-3 圆盘形砂轮磨齿	234
一、双片碟形砂轮磨齿	234
二、锥面砂轮磨齿	256
§ 6-4 蜗杆形砂轮磨齿	264
一、在Y7215 型磨齿机上磨齿	264
二、在瑞士NZA型磨齿机上磨齿	269

第七章 珩齿和研齿

§ 7-1 珩齿	281
一、简介	281
二、珩齿原理及工艺特点	281
三、珩磨轮	282
四、珩齿工艺	284
§ 7-2 研齿	286
一、研齿原理与方法	286
二、研磨轮	286

三、研齿工艺参数	287
----------------	-----

第八章 直齿圆锥齿轮传动与加工

§ 8-1 圆锥齿轮传动的基本概念	288
一、圆锥齿轮的理论齿廓曲线——球面渐开线	288
二、圆锥齿轮的近似齿廓曲线——背锥渐开线	289
三、当量齿轮及当量齿数	290
四、圆锥齿轮传动的啮合条件	290
五、圆锥齿轮传动比	291
§ 8-2 标准直齿圆锥齿轮的几何参数和尺寸计算	291
§ 8-3 变位直齿圆锥齿轮的几何尺寸计算	295
一、普通圆锥齿轮的最小齿数	295
二、直齿圆锥齿轮的变位特点	295
三、高变位及高-切变位直齿圆锥齿轮的几何尺寸计算	296
§ 8-4 展成刨齿的工作原理	298
§ 8-5 Y236 型直齿圆锥齿轮刨齿机	300
一、机床的主要技术性能	300
二、工作过程	301
三、机床传动系统	301
§ 8-6 刨齿刀	308
一、刨齿刀的结构	308
二、刨齿刀的几何角度	309
§ 8-7 刨齿时工件在机床上的安装调整	311
§ 8-8 刨齿时刀架安装角 λ 的调整计算	312
§ 8-9 齿面接触的分析与修正	314
一、沿齿长的接触及其修正	314
二、沿齿高的接触及其修正	315

第九章 螺旋锥齿轮传动与加工

§ 9-1 螺旋锥齿轮的类型和特点	318
§ 9-2 圆弧锥齿轮的基本参数及几何尺寸计算	319
一、圆弧齿锥齿轮的基本参数	319
二、圆弧齿锥齿轮的几何尺寸计算	323
§ 9-3 圆弧齿锥齿轮的加工原理及切齿方法	327
一、圆弧齿锥齿轮的加工原理	327
二、圆弧齿锥齿轮的切齿方法	330
§ 9-4 YS2250 圆弧齿锥齿轮铣齿机	331
一、机床主要技术性能	332
二、机床的主要部件	332
三、机床的传动原理与工作过程	332
四、机床传动系统	333

五、机床的主要调整部位	340
§ 9-5 圆弧齿锥齿轮铣刀盘	343
一、铣刀盘的种类及其结构	343
二、铣刀盘的公称直径	345
三、铣刀盘的切削方向	346
四、铣刀盘的齿形角及刀号	347
五、铣刀盘的刀顶距 W 及形成直径 d_w 、 d_n	349
六、刀体基距、刀齿基距和垫片厚度	352
§ 9-6 固定安装切齿法的修正计算	352
一、对角线接触及其修正	353
二、螺旋角偏斜及其修正	356
三、精切小轮时铣刀盘中心坐标的确定	358
§ 9-7 固定安装切齿法的调整计算	359

第十章 圆柱齿轮加工工艺过程

§ 10-1 常用齿轮材料	364
§ 10-2 齿轮热处理方法及其工艺安排原则	365
一、热处理方法	365
二、热处理工艺安排原则	367
§ 10-3 齿轮加工基准选择	367
§ 10-4 齿形加工方案及加工方法选择	367
§ 10-5 齿轮类零件工艺过程	368
一、渗碳齿轮的基本工艺路线	368
二、氮化齿轮的基本工艺路线	369
三、渗碳齿轮工艺过程示例	369
参考文献	375

本书主要符号

a ——标准中心距	s_b ——基圆齿厚
a' ——啮合中心距	s' ——节圆齿厚
c ——径向间隙	$\bar{s}$ ——分圆弦齿厚
c^* ——径向间隙系数	S ——斜齿轮、蜗杆导程
i ——传动比	W ——公法线长度（又作弧齿铣刀盘刀顶距用）
m ——模数	n ——公法线长度跨测齿数（又作转速用）
m_n ——法向模数	ε ——重迭系数
m_t ——端面模数	β ——分圆螺旋角
DP ——径节	β_b ——基圆螺旋角
r ——分圆半径（或分度圆半径）	x ——变位系数
r_b ——基圆半径	τ ——圆锥齿轮切向变位系数
r' ——节圆半径（但磨削节圆半径用 r_m 表示，不加“'”）	λ ——分度圆分离系数（又作蜗杆分度圆柱螺纹升角用）
r_a ——顶圆半径	σ ——齿顶高降低系数
r_f ——根圆半径	ρ ——曲率半径
k^* ——齿高系数	θ ——渐开角
h_a ——齿顶高	Σ ——轴间角
h_f ——齿根高	θ_f ——圆锥齿轮齿根角
h_t ——全齿高	θ_a ——圆锥齿轮齿顶角
b ——齿宽	δ ——圆锥齿轮节锥角
α ——分圆压力角（齿条齿形角）	δ_a ——圆锥齿轮顶锥角
α_n ——法向分圆压力角	δ_f ——圆锥齿轮根锥角
α_t ——端面分圆压力角	L ——圆锥齿轮锥顶距（节锥母线长度）
α' ——啮合角（但磨削角用 α_m 表示，不加“'”）	q ——蜗杆特性系数
α_m ——磨削角	K ——刀具铲背量
p ——分圆周节	Z_0 ——滚刀头数
p_b ——基节	γ_a ——刀具前角
p_x ——轴向齿距	α_a ——刀具顶刃后角
p' ——节圆周节	α_c ——刀具侧刃后角
Z ——齿数	r_0 ——刀具分圆半径（又作弧齿铣刀盘公称半径用）
Z_d ——当量齿数	
s ——分圆齿厚（又作进给量或其它代号用）	

r_{b0} ——刀具基圆半径	ΔF_b ——接触线误差
r_{a0} ——刀具顶圆半径	ΔF_{px} ——轴向齿距误差
r_{f0} ——刀具根圆半径	$\Delta f_{f\beta}$ ——螺旋线波度误差
h_{a0}^* ——刀具齿顶高系数	ΔE_s ——齿厚偏差（上偏差 E_{ss} 、下偏差 E_{si} ）
h_{f0}^* ——刀具齿根高系数	ΔE_w ——公法线平均长度偏差（上偏差 E_{ws} 、下偏差 E_{wi} ）
ΔF_p ——周节累积误差	e_h ——几何偏心
ΔF_r ——齿圈径向跳动	$e_{\bar{m}}$ ——运动偏心
ΔF_w ——公法线长度变动	v ——线速度
Δf_f ——齿形误差	ω ——角速度
Δf_{pt} ——周节偏差	
Δf_{pb} ——基节偏差	
ΔF_{β} ——齿向误差	

第一章 齿轮啮合传动原理

齿轮传动可以传递空间任意轴间的运动，与其它机械传动相比有以下特点：①在传动过程中，瞬时传动比稳定，传递运动准确可靠；②适用的功率和速度范围较广泛；③传动效率较高，而且使用寿命较长；④在传递同样功率的情况下，尺寸较小，结构紧凑。齿轮传动也有一定的局限性和不足之处，例如，当传递轴线间距离较长的运动时，不如皮带传动和链轮传动那样方便；当传递直线运动时，不如液压传动那样平稳。此外，对于精度要求较高的齿轮，如航空发动机中的高速精密齿轮及遥控跟踪系统中的精密小模数齿轮等，其制造工艺较困难，成本较高。

齿轮传动的类型很多，可分为两大类：两轴线互相平行和两轴线相交或交错 of 的齿轮传动。前者用来传递平行轴间的运动，常用的类型有直齿圆柱齿轮传动、斜齿圆柱齿轮传动及人字齿轮传动等；后者用来传递两不平行轴或两轴线位置互成 90° 的两轴间的旋转运动，常用的类型有圆锥齿轮传动、螺旋齿轮传动及蜗杆蜗轮传动等。

对齿轮传动应有两方面的基本要求：第一，传动要准确平稳——保证瞬时传动比不变，以免产生冲击、振动和噪音；第二，承载能力要高——保证齿轮轮齿有足够的强度，能传递较大的动力，而且使用寿命要长。影响上述基本要求的因素是多方面的，例如，齿廓曲线的选择及齿轮几何尺寸的设计、材料及热处理方式的确定、齿轮精度等级及误差参数的确定以及加工方法的选择等。本章着重讨论第一方面基本要求的有关问题。

§ 1-1 齿廓啮合的基本定律

一对齿轮的传动比为主动轮角速度 ω_1 与从动轮角速度 ω_2 之比，通常以 i_{12} 表示，即

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (1-1)$$

一对齿轮的传动比是否恒定，取决于相互啮合的两个轮齿齿廓曲线的形状。

图1-1表示一对齿轮1及齿轮2的齿廓 C_1 及 C_2 相互啮合，两齿廓在 K 点相切， tt 为两齿廓公共切线，我们把 K 点称为啮合点。过啮合点 K 作两齿廓的公共法线 NN （与 tt 相垂直），它与连心线 O_1O_2 相交于 P 点。现设两轮的瞬时转动角速度各为 ω_1 和 ω_2 ，而它们啮合点的向量半径各为 r_{K1} 和 r_{K2} ，那么，齿廓 C_1 在 K 点的线速度为

$$v_1 = \omega_1 \cdot r_{K1}$$

其方向垂直于向量半径 $\overline{O_1K}$ 。

齿廓 C_2 在 K 点的线速度为

$$v_2 = \omega_2 \cdot r_{K2}$$

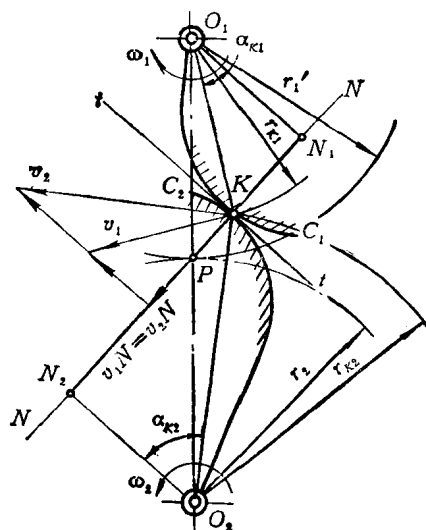


图1-1 定传动比传动的条件

其方向垂直于向量半径 $\overline{O_2K}$ 。

为分析问题方便起见，兹将这两个速度各分解在公共法线 NN 和公共切线 tt 方向上。两齿廓在接触传动时，沿公共法线 NN 方向的分速度应该相等，即 $v_{1N}=v_{2N}$ 。因为，如 $v_{1N}>v_{2N}$ ，则齿廓 C_1 将嵌入齿廓 C_2 中；又如 $v_{1N}<v_{2N}$ ，则齿廓 C_1 将与齿廓 C_2 脱离。上述两种情况都是不允许的，故

$$v_1 \cos \alpha_{K_1} = v_2 \cos \alpha_{K_2}$$

即

$$\omega_1 r_{K_1} \cos \alpha_{K_1} = \omega_2 r_{K_2} \cos \alpha_{K_2}$$

从 O_1 和 O_2 各作公共法线 NN 的垂线，分别与 NN 相交于 N_1 和 N_2 ，由 $\triangle O_1N_1K$ 和 $\triangle O_2N_2K$ 中得出

$$\overline{O_1N_1} = r_{K_1} \cos \alpha_{K_1}$$

$$\overline{O_2N_2} = r_{K_2} \cos \alpha_{K_2}$$

因此得

$$\omega_1 \overline{O_1N_1} = \omega_2 \overline{O_2N_2}$$

即

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\overline{O_2N_2}}{\overline{O_1N_1}}$$

又由于 $\triangle O_1PN_1 \sim \triangle O_2PN_2$ ，故

$$\frac{\overline{O_2N_2}}{\overline{O_1N_1}} = \frac{\overline{O_2P}}{\overline{O_1P}}$$

所以

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\overline{O_2N_2}}{\overline{O_1N_1}} = \frac{\overline{O_2P}}{\overline{O_1P}} \quad (1-2)$$

式(1-2)表示了齿廓啮合的基本定律，即两齿轮转动角速度之比（传动比 i_{12} ）等于其中心连线 $\overline{O_1O_2}$ 被齿廓啮合点的公法线分成的两线段（ $\overline{O_2P}$ 和 $\overline{O_1P}$ ）的反比。应指出，式(1-2)所表达的速比是指齿廓在 K 点啮合的那一瞬时的传动比。

如果希望传动比在任何瞬时都是定值，则必须使比值 $\frac{\overline{O_2P}}{\overline{O_1P}}$ 保持不变。由于 P 点是

中心线上的一点，而中心距 $\overline{O_1O_2}$ 不变，所以，为了得到定传动比，在啮合过程中必须保持 P 点固定不动。

与上述情况相反，若 P 点在啮合过程中不能保持固定不动，则不能构成定传动比的条件。如图1-2所示，齿廓 C_1 与齿廓 C_2 相互啮合，在初始位置时，两齿廓于 K_1 点接触，两齿廓在 K_1 点的公共法线与中心连线的交点为 P_1 ，那么瞬时传动比为

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\overline{O_2P_1}}{\overline{O_1P_1}}$$

在图示虚线位置啮合时，两齿廓于 K_2 点接触，两齿廓在 K_2 点的公共法线与中心线的交点为 P_2 ，此时的瞬时传动比为

$$i'_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\overline{O_2P_2}}{\overline{O_1P_2}}$$

显然,若采用图 1-2 所示的一般曲线做齿廓,传动比将是变数。

若要求所选的齿廓曲线在任何位置啮合时,其公法线都必须通过中心线上的一个定点 P ,则会带来满意的结果。定点 P 称为节点,以 O_1 、 O_2 为圆心,过节点 P 所作的圆称为节圆,节圆半径 $\overline{O_1P}$ 和 $\overline{O_2P}$ 分别以 r'_1 和 r'_2 表示,由式 (1-2) 知

$$\omega_1 \overline{O_1P} = \omega_2 \overline{O_2P}$$

$$\omega_1 r'_1 = \omega_2 r'_2$$

即

$$v_{P1} = v_{P2}$$

由此可知,两节圆在节点 P 处的圆周速度大小相等、方向相同,则二齿轮在啮合过程中沿节圆柱做纯滚动。

根据上述分析可知,欲使两齿廓的瞬时传动比保持恒定不变,它们的形状不可任意选取。如果给出一个齿轮的齿廓曲线,那就应按照公法线通过定点 P 的原则,求出与其啮合的另一个齿轮的齿廓曲线。这样的齿廓叫做共轭齿廓,这个齿廓曲线叫做共轭曲线。能够实现定传动比的齿廓曲线是无限多的,因为可以根据给定齿廓由数学解析法或图解法求得另一共轭齿廓。但是,在选取齿轮传动用的齿廓曲线时,还必须考虑其它一些因素,例如,这种曲线是否易于精确加工;承载能力是否强;耐磨性能是否好;齿轮装配误差对传动质量的影响是否大等等。由于齿廓曲线为渐开线的齿轮制造容易、安装方便、互换性好,所以应用最广。另外,在计时仪表及油泵中较多使用摆线齿廓的齿轮传动,因为摆线齿轮耐磨性好,而且齿数可以很少。在重载荷传动中,也采用圆弧和变态外摆线等作为齿廓曲线。近年来,还采用摆线针轮行星传动及谐波传动等新型的齿轮传动。

由于目前广泛采用渐开线齿廓曲线,所以本章主要讨论渐开线齿轮的啮合。

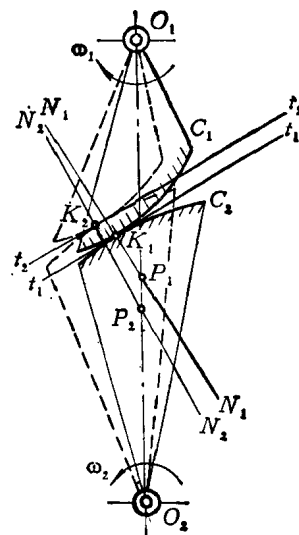


图1-2 变传动比传动

§ 1-2 渐开线及其基本性质

一、渐开线的形成

如图1-3所示,渐开线齿轮轮齿两侧的工作齿廓是由两段对称的渐开线所组成。渐开线的形成过程如图1-4所示,当一直线 L 沿某一半径为 r_b 的圆周作纯滚动,该直线从

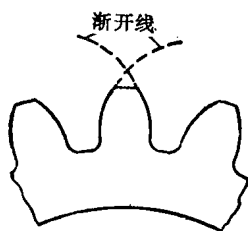


图1-3 渐开线齿廓曲线

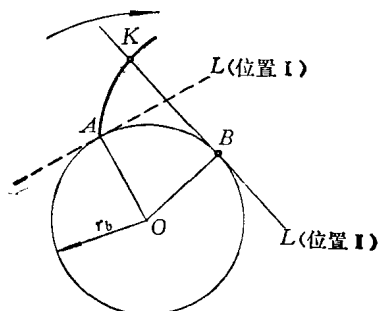


图1-4 渐开线的形成

位置Ⅰ顺时针方向滚动到位置Ⅱ时，直线上任一点 K 所形成的轨迹 AK 就是该圆的渐开线，该圆称为该渐开线的基圆，直线 L 称为渐开线的发生线。

二、渐开线的基本性质

分析渐开线的形成过程，可知渐开线有以下几个重要性质：

1. 发生线上基圆的切点 B 到渐开线上一点 K 间的直线长度 $\overline{BK}$ ，等于 K 点所描绘出渐开线的起始点 A 至切点 B 之间的弧长 $\widehat{AB}$ （图1-4），即

$$\overline{BK} = \widehat{AB}$$

2. 发生线 BK 是基圆的切线，也是渐开线上任意点 K 的法线。

3. 同一基圆所生成的两条渐开线，彼此间法线距离相等，并且等于两条渐开线起始点间的基圆弧长（图1-5），即

$$\widehat{A_1A_2} = \overline{K_1K'_1} = \overline{K_2K'_2} = \overline{K_3K'_3} = \overline{K_4K'_4} \dots\dots$$

证明如下：

$$\widehat{A_2B_1} = \widehat{A_1A_2} + \widehat{A_1B_1}$$

$$\overline{B_1K'_1} = \overline{K_1K'_1} + \overline{K_1B_1}$$

因为

$$\widehat{A_2B_1} = \overline{B_1K'_1}$$

所以

$$\widehat{A_1A_2} + \widehat{A_1B_1} = \overline{K_1K'_1} + \overline{K_1B_1}$$

又因

$$\widehat{A_1B_1} = \overline{K_1B_1}$$

所以

$$\widehat{A_1A_2} = \overline{K_1K'_1}$$

同理可证 $\widehat{A_1A_2} = \overline{K_2K'_2} = \overline{K_3K'_3} = \overline{K_4K'_4} \dots\dots$

4. 渐开线上各点的曲率半径不等。如图1-4所示， B 点可视为发生线 L 沿基圆作纯滚动时的“瞬时转动中心”。因此， $\overline{BK}$ 为渐开线上 K 点的曲率半径， B 点为曲率中心。渐开线上愈近基圆的部分，曲率半径愈小，曲率愈大，即渐开线愈弯曲；离基圆愈远的部分，曲率半径大，曲率小，即渐开线愈平坦。

5. 渐开线的形状取决于基圆的大小。基圆大小相同，才有完全相同的渐开线。如图

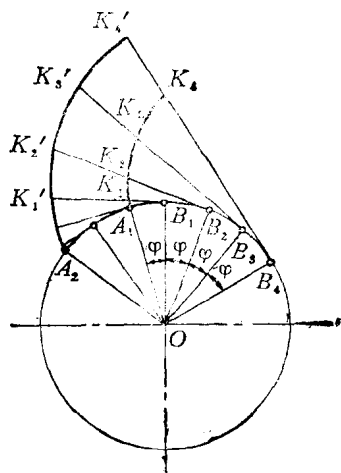


图1-5 同一基圆所生成的两渐开线间的法线距离相等

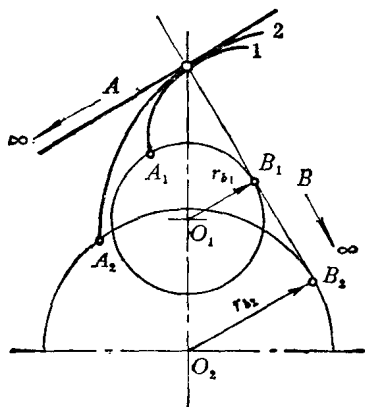


图1-6 不同基圆的渐开线形状

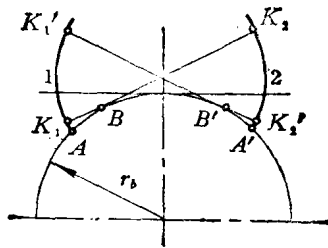


图1-7 公法线长度

1-6所示, 基圆半径小时所生成的渐开线1弯曲得较厉害; 基圆半径大时所生成的渐开线2较平直; 基圆半径为无穷大时, 所生成的渐开线变成了一条倾斜的直线, 这就是齿条齿廓的情况。

6. 同一基圆生成的任意两条反向的渐开线间的公法线长度处处相等。如图1-7所示, 在以 r_b 为半径的基圆上有两条反向的渐开线1及2。在渐开线1上任选一点 K_1 , 其法线为 $\overline{BK_1}$ 。延长 $\overline{BK_1}$ 交渐开线2于 K_2 点, 则 $\overline{BK_2}$ 必然是渐开线2在 K_2 点的法线。因此, $\overline{K_1K_2}$ 是渐开线1和2的公法线。同理 $\overline{K'_1K'_2}$ 也是渐开线1和2的公法线。由于

$$\begin{aligned}\overline{K_1K_2} &= \overline{BK_1} + \overline{BK_2} = \widehat{BA} + \widehat{BA'} = \widehat{AA'} \\ \overline{K'_1K'_2} &= \overline{B'K'_1} + \overline{B'K'_2} = \widehat{B'A} + \widehat{B'A'} = \widehat{AA'}\end{aligned}$$

所以

$$\overline{K_1K_2} = \overline{K'_1K'_2}$$

7. 发生线沿基圆作纯滚动时, 在转过同样的 φ 角时, 其上一描绘的渐开线弧长随着渐开线向外延伸而逐渐增大 (图1-5), 即 $\widehat{K_3K_4} > \widehat{K_2K_3} > \widehat{K_1K_2} \dots\dots$ 。

8. 基圆内无渐开线。

上述渐开线的基本性质, 对于学习和研究齿轮啮合传动原理及分析齿轮加工原理是十分重要的。

三、渐开线齿廓的压力角

当一对渐开线齿廓 C_1 和 C_2 (图1-8) 相互作用时, 在从动轮渐开线齿廓 C_2 上所受正压力 P 的方向应沿着接触点 K 的法线方向 (不考虑摩擦), 亦即图所示 $\overline{KB}$ 的方向。受力后, 从动轮绕 O 轴转动, 所以渐开线齿廓 C_2 上的 K 点速度 v 的方向与 $\overline{OK}$ 垂直。这个压力方向与速度方向之间的夹角 α_x 就是渐开线齿廓上任意点 K 的压力角。

由图1-8可以看出, 向径 $\overline{OK}$ 与 $\overline{OB}$ 之间的夹角就等于 α_x , 因此, 由 $\triangle OBK$ 中得到

$$\cos \alpha_x = \frac{r_b}{r_x} \quad (1-3)$$

上式表明, 由于基圆半径 r_b 不变, 所以渐开线齿廓上各点的压力角随 r_x 的变化而变化, 亦即渐开线齿廓各点的压力角不等。当 K 点远离齿轮中心 O , 即 r_x 增大, α_x 随之增大, 相反, 当 K 点接近基圆, 即 r_x 减小, α_x 随之减小。显然, 基圆上的压力角等于零。

四、渐开线的数学方程式

为了对渐开线齿轮啮合传动的一些参数进行计算, 需知渐开线的数学方程式最常用的是极坐标方程式。由图1-8可知, 渐开线上任意点 K 的位置可用极坐标 (r_x, θ_x) 表示。 r_x 为渐开线上任意一点的向径, θ_x 为渐开线上任意一点的渐开角。

由式(1-3)知任意一点 K 的向径为

$$r_x = \frac{r_b}{\cos \alpha_x}$$

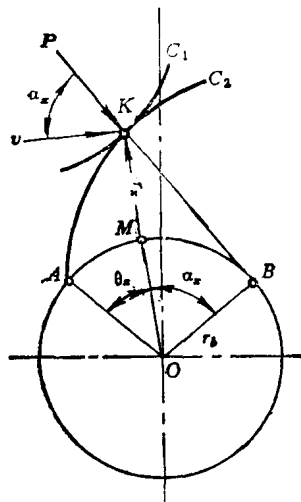


图1-8 渐开线齿廓的压力角