

机械制造工厂
机械动力设备修理技术手册

第一篇
第三册 圆柱齿轮传动

(修订第一版)

《机修手册》第一篇修订小组

修 订 说 明

《机修手册》试用本从1966年开始分册出版，到1973年底，已基本出齐。自从无产阶级文化大革命以来，全国人民在毛主席革命路线的指引下，掀起抓革命、促生产的高潮，我国社会主义革命和经济建设正在飞跃前进。近几年来，广大机修工作者纷纷来信要求我们再版。我们考虑到，试用本有部分内容已陈旧了；未出版的少数分册，由于完稿时间较早，亦存在同样的问题。为此，未出版的分册也就不再出版试用本，而连同已出版的分册一起进行修订，一律作为“修订第一版”出版。

本手册修订后共分七篇。第一篇：设备修理的设计、计算与测绘；第二篇：设备零件的修复和加工工艺；第三篇：金属切削机床的修理；第四篇：铸造、锻压、起重运输设备和工业炉的修理；第五篇：动力设备的修理；第六篇：电气设备的修理；第七篇：设备的保养。

本篇是以试用本第一篇为基础进行修订的。原有的十七章，除第十七章“设备主要备件的制造工艺”划归第二篇之外，其余十六章均加保留。由于合并原有第一、二、三章为一章，另增加“标准件”一章，所以本篇现有十五章，分为十三册。即：第一章“设备修理的基本资料”（第一册）；第二章“设备修理的常用材料”（第二册）；第三章“圆柱齿轮传动”（第三册）；第四章“圆锥齿轮传动”（第四册）；第五章“蜗杆传动”（第五册）；第六章“皮带传动”和第七章“链传动”（第六册）；第八章“螺纹与滚珠丝杠副”（第七册）；第九章“弹簧”和第十章“键联结”（第八册）；第十一章“联轴器”（第九册）；第十二章“标准件”（第十册）；第十三章“滚动轴承”（第十一册）；第十四章“滑动轴承”（第十二册）；第十五章“液压传动”（第十三册）。对于保留的章节，都作了不同程度的修改与补充。其中第四章“圆锥齿轮传动”是重新编写的，第十五章“液压传动”未出过试用本，也是重新编写的。

此次修订，修订小组和各编写单位在接受广大读者对试用本的合理意见的基础上，还进行了一定的调查研究。尽管如此，修订本仍难免有不足之处或错误，希望广大读者继续提出意见和批评，以便重版时修正。

本篇修订工作是在北京市机械工业局和汽车工业公司的领导下组成修订小组负责进行的。参加修订小组的有：北京汽车制造厂，北京第一机床厂，北京内燃机总厂，北京开关厂，北京第六机床厂，北京机床配件厂，北京起重机器厂等。顺此一并说明。

目 次

一、圆柱齿轮传动计算常用代号及名称	3-1
(一) 直齿圆柱齿轮传动计算常用代号和名称	3-2
(二) 斜齿圆柱齿轮计算常用代号和名称	3-6
二、渐开线圆柱齿轮传动的基本知识	3-9
(一) 渐开线及其特性	3-9
(二) 渐开线齿轮的啮合条件	3-10
(三) 直齿圆柱齿轮任意半径上的齿厚	3-11
(四) 直齿圆柱齿轮齿形的画法	3-13
1. 20° 齿形的近似画法	3-13
2. $14\frac{1}{2}^\circ$ 齿形的近似画法	3-15
3. 坐标法	3-16
(五) 渐开线齿轮啮合传动的质量指标	3-22
1. 啮合系数	3-22
2. 滑动比	3-22
3. 压强比	3-23
(六) 齿轮啮合传动中的干涉和切齿时的根切与顶切	3-25
1. 外啮合齿轮的干涉	3-25
2. 内啮合齿轮的干涉	3-26
3. 外啮合齿轮的根切和顶切	3-27
4. 内齿轮的顶切	3-28
(七) 避免根切的最少齿数 $z_{\min}$	3-28
三、圆柱齿轮的变位	3-31
(一) 避免齿轮根切的方法	3-31
(二) 齿轮变位原理	3-32
(三) 圆柱齿轮变位啮合的种类	3-36
1. 高度变位啮合	3-36
2. 角度变位啮合	3-37
(四) 变位系数的选择	3-38
1. 齿轮的失效形式	3-38
2. 变位系数选择原则和方法	3-39
3. 变位系数的限制	3-45
四、圆柱齿轮的齿形制和变位制	3-51
(一) 我国圆柱齿轮的齿形制	3-51
) 各国圆柱齿轮的齿形制	3-52

(三) 各国的变位制	3-53
五、直齿圆柱齿轮传动的几何计算	3-54
(一) 非变位直齿圆柱齿轮传动的几何计算	3-54
(二) 变位直齿圆柱齿轮传动的几何计算	3-57
(三) 油泵齿轮的变位计算	3-74
六、斜齿(人字齿)圆柱齿轮传动的几何计算	3-76
(一) 非变位斜齿(人字齿) 圆柱齿轮传动的几何计算	3-77
(二) 变位斜齿(人字齿) 圆柱齿轮传动的几何计算	3-79
七、螺旋齿圆柱齿轮传动的几何计算	3-88
八、内啮合圆柱齿轮传动的几何计算	3-92
(一) 非变位内啮合直齿圆柱齿轮传动的几何计算	3-94
(二) 变位内啮合直齿圆柱齿轮传动的几何计算	3-95
(三) 一齿差内啮合直齿圆柱齿轮传动的几何计算	3-97
1. 参数选择	3-97
2. 确定变位系数的方法	3-99
3. 一齿差内齿轮传动的几何计算及验算	3-101
九、齿条传动	3-102
十、变位齿轮啮合情况的验算	3-105
(一) 根切	3-105
(二) 齿顶变尖	3-105
(三) 外啮合齿轮传动中干涉的验算	3-105
(四) 内啮合齿轮传动中干涉的验算	3-106
1. 过渡曲线干涉的验算	3-106
2. 渐开线干涉的验算	3-107
3. 齿面重迭的验算	3-108
(五) 啮合系数 ε 的验算	3-109
1. 直齿圆柱齿轮啮合系数的验算公式	3-109
2. 斜齿圆柱齿轮啮合系数的验算公式	3-109
3. 直齿齿条传动啮合系数的验算公式	3-110
4. 图表法	3-110
(六) 滑动比 η 的验算	3-115
(七) 压强比 ζ 的验算	3-115
十一、圆柱齿轮的齿厚测量计算	3-119
(一) 分度圆弦齿厚	3-119
(二) 固定弦齿厚	3-127
(三) 公法线长度的测量	3-131
1. 跨测齿数 n 的确定	3-132
2. 公法线长度 L 的计算	3-133

(四) 圆棒测量齿厚.....	3-203
1. 圆棒(钢球)直径 d_p	3-203
2. 圆棒测量 M 值的计算	3-204
十二、变位齿轮在机修工作中的应用	3-212
(一) 磨损齿轮的修复.....	3-212
(二) 以模数制齿轮代替径节制齿轮.....	3-216
(三) 齿轮与齿条传动中的磨损及修理后中心距增大的补偿.....	3-217
十三、直齿圆柱齿轮的测绘	3-218
(一) 直齿圆柱齿轮几何参数的测量.....	3-218
1. 齿顶圆直径 D_w^* 及齿根圆直径 D_f^*	3-218
2. 齿全高 h''	3-219
3. 公法线长度 L''	3-219
4. 分度圆弦齿厚 s_f'' 及固定弦齿厚 s_x''	3-221
5. 中心距 A''	3-221
6. 齿侧隙 C_n''	3-222
(二) 直齿圆柱齿轮基本参数的确定.....	3-222
1. 模数制或径节制	3-222
2. 齿形角 α_0 及模数 m (或径节 DP).....	3-232
3. 齿高系数 f 及齿顶隙系数 C_0	3-236
(三) 变位直齿圆柱齿轮的识辨及变位系数的确定.....	3-236
1. 确定变位啮合形式	3-236
2. 确定变位系数	3-237
(四) 磨损严重的变位齿轮的测绘.....	3-252
1. 公法线长度的补偿	3-252
2. 齿顶圆直径的补偿	3-254
3. 其他补偿	3-254
十四、斜齿(人字齿)圆柱齿轮的测绘	3-265
(一) 斜齿(人字齿)圆柱齿轮几何参数的测量	3-265
1. 滚印法	3-265
2. 万能铣床法	3-266
3. 正弦棒原理法	3-267
4. 钢珠测量法	3-267
5. 顶径法	3-268
(二) 斜齿(人字齿)圆柱齿轮基本参数的确定	3-268
1. 齿形角 α_{0n} 和模数 m_n (或径节 DP)	3-268
2. 齿顶高系数 f_{0n} 及齿顶隙系数 C_{0n}	3-269
3. 螺旋角 β_f	3-270
(三) 变位斜齿圆柱齿轮的识辨.....	3-270
1. 确定变位啮合形式	3-270
2. 确定变位系数	3-270

十五、螺旋齿圆柱齿轮的测绘	3-282
十六、齿条的测绘	3-284
十七、圆柱齿轮传动的精度等级及其公差	3-288
(一) 圆柱齿轮的精度等级及其应用	3-290
(二) 圆柱齿轮传动的各种偏差、公差的代号和定义	3-293
(三) 圆柱齿轮的公差	3-298
1. 圆柱齿轮的运动精度规范	3-298
2. 直齿和窄斜齿 $\left(b < \frac{4m_n}{\sin \beta_f}\right)$ 圆柱齿轮的工作平稳性规范	3-299
3. 宽斜齿和人字齿 $\left(b > \frac{4m_n}{\sin \beta_f}\right)$ 圆柱齿轮的工作平稳性规范	3-300
4. 传动中齿的接触精度规范	3-300
5. 测隙规范	3-301
6. 公法线长度、齿厚的公差	3-304
7. 齿坯公差	3-311
(四) 内齿轮齿厚公差	3-312
(五) 齿条公差	3-314
十八、圆柱齿轮的材料及其热处理	3-316
十九、圆柱齿轮传动的强度验算	3-317
二十、圆柱齿轮工作图的绘制	3-321
附录1 渐开线函数表	3-324
附录2 英国曼里特变位制	3-336
附录3 瑞士变位制VSM15525	3-337
附录4 捷克斯洛伐克变位制	3-342
附录5 ЦКБР 变位制	3-364
附录6 HKM3变位制	3-372
附录7 苏联国家标准变位制 (ГОСТ 2185-43)	3-373
附录8 红色无产者工厂的变位制	3-374
附录9 库德里也切夫变位制	3-379
附录10 乌姆诺夫变位制	3-383
附录11 希伯尔变位制	3-388
附录12 DIN870 变位制	3-390
附录13 白金汉变位制	3-392
附录14 福列尔-赛克斯变位制	3-393
附录15 插齿刀主要参数	3-394
附录16 库德里也切夫油泵变位齿轮	3-397
附录17 常用函数	3-398
参考文献	3-399
表次(代索引)	3-401

一、圆柱齿轮传动计算常用代号及名称

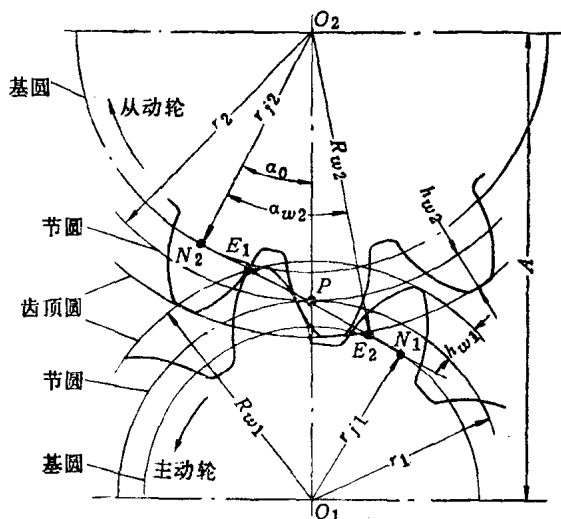


图3-1-1 直齿圆柱齿轮传动

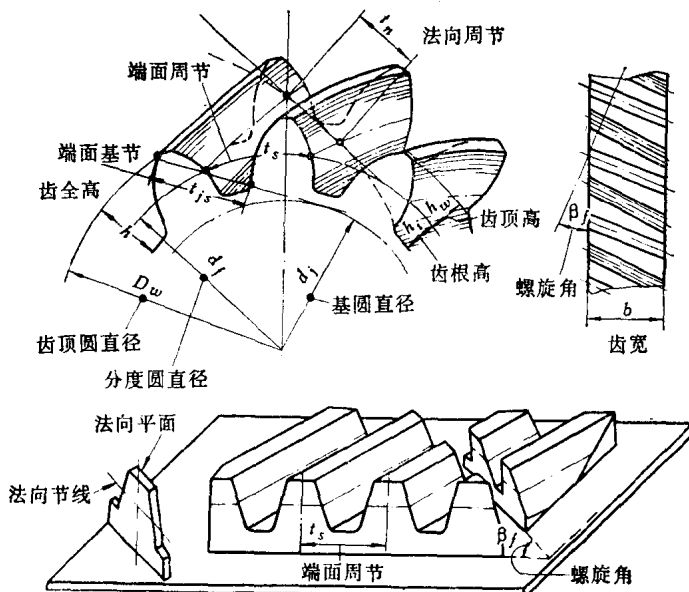


图3-1-2 斜齿圆柱齿轮

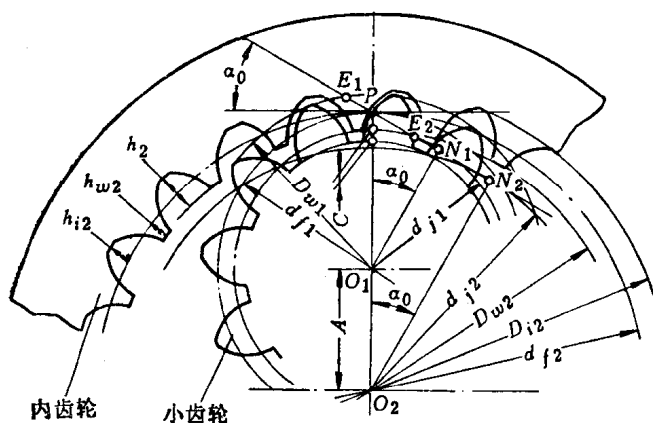


图3-1-3 内啮合齿轮传动

(一) 直齿圆柱齿轮传动计算常用代号和名称

表3-1-1 直齿圆柱齿轮计算常用代号及名称

代 号	名 称	附 注
A	两共轭齿轮计算啮合中心距	$A = A_0 + (\xi_2 \pm \xi_1)m \mp \sigma m = A_0 + \lambda m$
A_0	两共轭齿轮非变位(理论)啮合中心距	$A_0 = \frac{(z_2 \pm z_1)m}{2}$
A''	实测中心距	
A_q	切齿时中心距	
$\Delta' A$	反变位置(齿顶高减低量)	$\Delta' A = \sigma_0 A_0 = \sigma m$
b	齿宽	
C_n	齿侧隙	
C''_n	实测齿侧隙	
C_0	径向间隙系数(齿顶隙系数)	
CP	周节(英制)	
D_i	齿根圆直径	
D''_i	实测齿根圆直径	
DP	径节(英制)	

(续)

代 号	名 称	附 注
D_w	齿顶圆直径	以齿轮中心为圆心, 通过节点 P 所作的圆称为节圆。一对啮合齿轮, 节圆的线速度相等。非变位齿轮和高度变位齿轮的节圆与分度圆重合
D_w''	实测齿顶圆直径	
D_w'	补偿后齿顶圆直径	
d	节圆直径	
d_f	分度圆直径	
d_j	基圆直径	
d_j'	补偿后的基圆直径	
d_p	测量齿厚用圆棒直径	计算齿轮尺寸时设想的一个圆, 在此圆上, 其周节等于标准模数乘 π 。并且此圆上齿廓的压力角等于刀具角 $d_j = zm \cos \alpha_0$
f	齿高系数	齿根圆与分度圆之间的径向距离 $h_i = r_f - R$; 齿顶圆与分度圆之间的径向距离 $h_w = R_w - r_f$; 齿顶圆与节圆之间的径向距离 $h'_w = R_w - r$
f'	初定齿高系数	
h	齿全高	
h''	实测齿全高	
h_f	分度圆齿厚测量用齿高	
h_i	齿根高	
h_w	齿顶高	
h'_w	节圆齿顶高	
h_x	固定弦齿厚测量用齿高	
i_n	传动比	
i_q	切齿时传动比	$i_n = \frac{n_1}{n_2}$, n_1 主动轮转数, n_2 被动轮转数 $i_q = \frac{z_d}{z}$ $i_x = \frac{z_2}{z_1} \geq 1$
i_x	齿数比	
K_p	圆棒测量系数	
K_w	齿顶宽系数	$K_p = \frac{\pi}{2} \cos \alpha_0 - 2\xi \sin \alpha_0$

(续)

代 号	名 称	附 注
L	变位齿轮的公法线长度	齿轮在啮合传动中, 轮齿接触点在啮合线上所经过的距离
L''	实测公法线长度	
L'	补偿后的公法线长度	
L_0	非变位齿轮的公法线长度	
l	实际啮合线长度	为便于计算齿轮尺寸的一个参数, 它反映周节大小及轮齿的大小
M	圆棒测量尺寸	
M''	实际圆棒测量尺寸	
m	模数	
m'	初定模数	
m_f	双模制中计算分度圆直径的模数	
m_h	双模制中计算齿高用的模数	
n	测量公法线长度的跨测齿数	
P	节点	
R_i	齿根圆半径	两啮合齿轮的啮合线与两轮中心连线的交点
R_i''	实测齿根圆半径	
R_w	齿顶圆半径	
R_w''	实测齿顶圆半径	
r	节圆半径	
r_f	分度圆半径	
r_j	基圆半径	
$\widehat{S}$	节圆弧齿厚	
$\widehat{S}_f$	分度圆弧齿厚	
S_f	分度圆弦齿厚	
S_f''	实测分度圆弦齿厚	
$\widehat{S}_j$	基圆弧齿厚	
$\widehat{S}_j'$	初定基圆弧齿厚	

(续)

代 号	名 称	附 注
S_x	固定弦齿厚	
S_x''	实测固定弦齿厚	
S_w	齿顶宽	
S_w''	实测齿顶宽	
t	周节	$t = \pi m$
t_j	基节	$t_j = \pi m \cos \alpha_0$
t_j'	初定基节	
z	齿数	
z_c	两啮合齿轮的齿数差	$z_c = z_2 - z_1$
z_d	插齿刀齿数	
$z_{\min}$	不产生根切的最少齿数	
z_Σ	两啮合齿轮的齿数和	$z_\Sigma = z_1 + z_2$
α	(节圆)啮合角	两啮合齿轮传动时, 啮合线与节圆节点处切线 所成的夹角 $\cos \alpha = \frac{A_0}{A} \cos \alpha_0$
α_0	分度圆压力角、齿形角、刀具角	
α_0'	初定齿形角	
α_p	圆棒测量时, 圆棒接触点的压力角	
α_q	插齿时, 插齿刀与齿轮的啮合角	
α_w	齿顶圆压力角	$\alpha_w = \cos^{-1} \frac{d_j}{D_w}$
γ	齿间半角	图3-2-7
δ	齿厚半角	图3-2-4
δ_f	分度圆弧齿厚半角	
δ_j	基圆弧齿厚半角	
δ_w	齿顶圆弧齿厚半角	

(续)

代 号	名 称	附 注
ε	啮合系数	
ζ	压强比	
η	滑动比	
θ	渐开线角	
λ	中心距变动系数	$\lambda = \frac{A - A_0}{m} = \frac{z_2 \pm z_1}{2} \lambda_0 = \xi_2 \pm \xi_1 \mp \sigma$
λ_0	中心距变动模数	$\lambda_0 = \frac{A - A_0}{A_0} = \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha} - 1 = \xi_0 \mp \sigma_0$
ξ	变位系数	
ξ'	初定变位系数	
ξ_d	插齿刀的变位系数	
ξ_0	变位模数	$\xi_0 = \frac{\text{inv} \alpha - \text{inv} \alpha_0}{\text{tg} \alpha_0}$
ξ_z	总变位系数	$\xi_z = \frac{z_2 \pm z_1}{2} \xi_0 = \xi_2 \pm \xi_1$
ρ	齿廓曲率半径	
σ	反变位系数 (齿顶高减低系数)	$\sigma = \frac{\Delta' A}{m} = \frac{\sigma_0 A_0}{m} = \frac{z_2 \pm z_1}{2} \sigma_0 = \xi_1 \pm \xi_2 \mp \lambda$
σ_0	反变位模数 (齿顶高减低模数)	$\sigma_0 = \frac{\Delta' A}{A_0} = \frac{\sigma m}{A_0} = \pm \xi_0 \mp \lambda_0$

注 公式中带“±”及“∓”符号的，上面的符号用于外啮合，下面的用于内啮合。

(二) 斜齿圆柱齿轮计算常用代号和名称

表3-1-2 斜齿圆柱齿轮计算常用代号和名称

代 号	名 称	附 注
$C_{0n(0z)}$	法向(端面)齿顶隙系数	
$f_{0n(0z)}$	法向(端面)齿高系数	
h_{fn}	分度圆法向齿厚测量用齿高	
h_{zn}	固定弦法向齿厚测量用齿高	

(续)

代 号	名 称	附 注
K_3	相当齿数系数	$K_3 = \frac{\text{inv} \alpha_{0s}}{\text{inv} \alpha_{0n}}$
K_j	基圆直径系数	$K_j = \frac{\cos \alpha_{0n}}{\cos \beta_j}$
K_n	公法线长度计算系数(与跨齿数有关)	$K_n = (n - 0.5) \pi \cos \alpha_{0n}$
K_β	公法线长度计算系数(与螺旋角有关)	$K_\beta = \cos \alpha_{0n} \text{inv} \alpha_{0s}$
L	变位齿轮法向公法线长度	
L_0	非变位齿轮法向公法线长度	
$m_{n(s)}$	法向(端面)模数	
m_{bs}	端面啮合模数	
S_{fn}	法向分度弦齿厚	
S_{xn}	法向固定弦齿厚	
$t_{n(s)}$	法向(端面)周节	
$t_{fn(fs)}$	法向(端面)基节	
z_l	当量齿数	$z_l = \frac{z}{\cos^3 \beta_f}$
z'_l	相当齿数	$z'_l = K_3 z$
$\alpha_{0n(0s)}$	法向(端面)齿形角	
α_s	节圆端面啮合角	
α_{ws}	齿顶圆端面压力角	$\alpha_{ws} = \cos^{-1} \frac{d_f \cos \alpha_{0s}}{D_w}$
β_f	分度圆螺旋角	
β_j	基圆螺旋角	
δ	轴交角	
e_β	轴面啮合系数	
$\lambda_{n(s)}$	法向(端面)中心距变动系数	
$\xi_{n(s)}$	法向(端面)变位系数	
$\xi_{n\Sigma(s\Sigma)}$	法向(端面)总变位系数	
$\sigma_{n(s)}$	法向(端面)齿顶高减低系数	

图3-1-1~图3-1-3,表3-1-1和表3-1-2的代号下角字的意义说明如下:

- 1 —— 代表小齿轮;
- 2 —— 代表大齿轮;
- c —— 取“差”字的汉语拼音 cha 的第一个字母, 如 z_c ;
- d —— 取“刀”字的汉语拼音 dao 的第一个字母, 如 z_d , ξ_d ;
- f —— 取“分”字的汉语拼音 fen 的第一个字母, 如 d_f , s_f ;
- i —— 取“底”字的汉语拼音 di 的第二个字母, 如 D_i , h_i ;
- j —— 取“基”字的汉语拼音 ji 的第一个字母, 如 d_j , t_j ;
- l —— 取当量的“量”字的汉语拼音 liang 的第一个字母, 如 z_l (当量齿数), z'_l (相当齿数);
- n —— 法向;
- s —— 端面;
- q —— 取切齿的“切”字汉语拼音 qie 的第一个字母, 如 i_q ;
- x —— 固定弦的意思, 从 JB179-60, 如 s_x , h_x ;
- w —— 取外径的“外”字汉语拼音 wai 的第一个字母, 如 D_w , h_w ;
- Σ —— 和的意思, 如 z_Σ , ξ_Σ 。

4) 渐开线形状完全决定于基圆的大小。基圆相同, 则渐开线完全相同;

基圆越大，则渐开线在其相应点的曲率半径越大，即渐开线越平直。当基圆半径变成无穷大时，渐开线就变成垂直于发生线的直线。齿条的齿廓就是这种情况（图3-2-2）。另外，齿数、模数都相同，而齿形角不同的两个齿轮，齿形角小者（如 $\alpha_0 = 14\frac{1}{2}^\circ$ ），基圆直径（ $d_f = mz \cos \alpha_0$ ）大，齿廓就比较平直；齿形角大者（如 $\alpha_0 = 20^\circ$ ），基圆直径小，齿廓曲率就比较大。

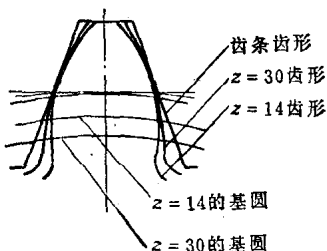


图3-2-2 齿数不同对齿廓曲率的影响

5) 基圆以内无渐开线。

根据渐开线的特性，可以导出渐开线的方程式：

$$\theta = \operatorname{tg} \alpha - \alpha$$

式中， θ 是渐开线角。它是任意点压力角 α 的函数，所以也叫做渐开线函数（附表 1-1），通常以 $\operatorname{inv} \alpha$ 表示。即

$$\operatorname{inv} \alpha = \operatorname{tg} \alpha - \alpha \quad (3-2-1)$$

公式中右边第二项 α 是弧度值，不是角度值。

从图 3-2-1 可知（ $ob_1 = r_1$ ， $ob_2 = r_2$ ）

$$\cos \alpha_1 = \frac{r_f}{r_1}, \quad \cos \alpha_2 = \frac{r_f}{r_2}$$

也就是说渐开线上各点的压力角是不同的，随各点的位置不同而异。离基圆中心越远，压力角越大，如图 3-2-1 中的 $\alpha_1 > \alpha_2$ 。通常所说的齿轮压力角，是指分度圆上的压力角而言。齿顶圆上的压力角 α_w 比分度圆上的压力角 α_0 要大。

（二）渐开线齿轮的啮合条件

渐开线齿轮传动的特点是：在传动过程中，各对轮齿的接触点，一定落在两基圆的内公切线 N_1N_2 上（图 3-2-3），这条线称为理论啮合线。同时，从渐开线的形成可知，这条线又是这些接触点的公法线。

渐开线齿轮传动时, 要求在任何一瞬间的传动比 i_n 必须是常数。因之, 主动轮基圆转过的弧长必须等于被动轮基圆转过的弧长 (图3-2-3), 也就是说两轮的基节 t_j 必须相等。

一对啮合齿轮的连续传动不能仅靠一对轮齿来进行。为了使各轮齿在交替啮合时仍能确保传动的正确性, 则啮合线上的各对轮齿都应能同时互相啮合。也就是说, 两轮的基节 t_j 必须相等。即

$$\pi m_1 \cos \alpha_{01} = \pi m_2 \cos \alpha_{02}$$

从上式可知, 不论一对啮合齿轮的模数和压力角是否相同, 只要满足上式关系, 均能正确啮合传动。

由于分度圆上的模数及压力角都已标准化, 因之一对啮合的渐开线齿轮, 其正确的啮合条件是:

- 1) 两轮的模数必须相同。
- 2) 两轮的分度圆压力角必须相同。

3) 对斜齿圆柱齿轮言, 两轮的螺旋角必须相同而方向相反。

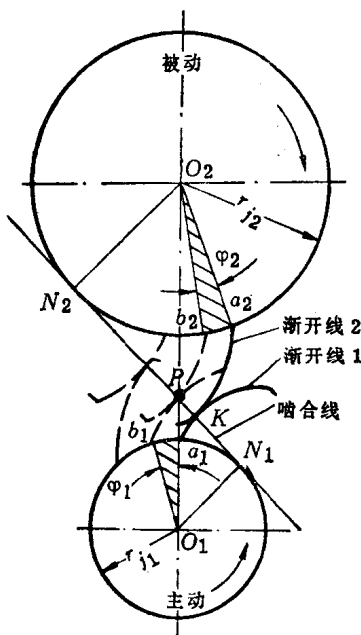


图3-2-3 渐开线的接触

(三) 直齿圆柱齿轮任意半径上的齿厚

- 1) 分度圆弧齿厚

$$\widehat{S}_f = \frac{\pi m}{2} \pm 2\xi m \operatorname{tg} \alpha_0 \quad (3-2-2)$$

- 2) 基圆弧齿厚

$$\widehat{S}_j = d_j \delta_j = m \cos \alpha_0 \left(\frac{\pi}{2} \pm 2\xi \operatorname{tg} \alpha_0 \pm z \operatorname{inv} \alpha_0 \right) \quad (3-2-3)$$

- 3) 齿顶圆弧齿厚

$$\widehat{S}_w = D_w \delta_w = D_w \left(\frac{\pi}{2z} \pm \frac{2\xi \operatorname{tg} \alpha_0}{z} \pm \operatorname{inv} \alpha_0 \mp \operatorname{inv} \alpha_w \right) \quad (3-2-4)$$

- 4) 任意圆弧齿厚

$$\widehat{S}_x = d_x \delta_x = d_x \left(\frac{\pi}{2z} \pm \frac{2\xi \operatorname{tg} \alpha_0}{z} \pm \operatorname{inv} \alpha_0 \mp \operatorname{inv} \alpha_x \right) \quad (3-2-5)$$