

渐开线 内齿轮副的 设计与计算

杨兰春 编著



机械工业出版社

渐开线内齿轮副的设计与计算

杨兰春 编著



机械工业出版社

(京) 新登字 054 号

本书根据工业实践中提出的问题和需求, 依照内齿轮副的啮合特性, 论述了渐开线内齿轮副的啮合原理、加工理论、啮合质量指标、变位及变位系数选择、几何尺寸计算、强度设计等问题, 并简要介绍了少齿差行星齿轮系、零齿差输出机构的基本理论。

本书可供工程技术人员及技术工人在设计、研究和生产内齿轮副时参考。亦可作为机械工程类大专学生所学机械原理、机械设计、机械零件等课程的辅助教材或选修课教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

渐开线内齿轮副的设计与计算/杨兰春编著. —北京: 机械工业出版社, 1995.1

ISBN7-111-04451-7

1. 渐… I. 杨… II. ①渐开线齿轮-内齿轮-齿轮副-设计②渐开线齿轮-内齿轮-齿轮副-计算 IV. TH132.413

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 10182 号

出版人: 马九荣 (北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 刘小慧 版式设计: 王颖 责任校对: 韩晶

封面设计: 肖晴 责任印制: 路琳

机械工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1995 年 6 月第 1 版·1995 年 6 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32·10.375 印张·265 千字

0 001—1 500 册

定价: 17.00 元

前 言

国内外动力齿轮传动正沿着小型化、高速化、标准化、小振动、低噪声的方向发展。行星齿轮传动的发展和少齿差、零齿差内齿轮副的应用,是当代齿轮发展的一大特征,是齿轮传动小型化的一个典型标志。内齿轮副的研制及其啮合理论、设计理论知识的普及应用已是当前发展动力齿轮传动的一个重要任务。

目前,由于内齿轮的加工理论、啮合干涉、变位及测量技术、设计计算等一系列技术问题尚未被广大工程技术人员、技术工人所掌握,严重影响了内齿轮传动的发展、应用和传动质量的提高。为了普及内齿轮副的基础知识和提高设计能力作者编著了“渐开线内齿轮副的设计与计算”一书。

本书遵循“立足全局、反映共性、突出重点、面向国内、服务生产、便于应用、贯彻标准”的原则,力求将内齿轮副的设计计算理论、方法及内齿轮副的特殊技术问题编入书内。本书共分10章,对内齿轮副的基本概念,插齿刀与齿轮坯的机床啮合理论,直、斜齿内齿轮的几何计算,内齿轮副的质量指标,内齿轮副的变位,啮合干涉,强度计算等问题进行了详细论述。对少齿差、零齿差内齿轮副进行了简介。

在编写过程中得到傅则绍、鄂中凯教授及齿轮工程界前辈、同行的帮助和支持。在编写工作中秦立高、李丽芬、骞一青等同志给予了具体帮助,这里一并表示感谢。

本书可供齿轮工程界技术人员、高级齿轮工参考,并可用作高校机械原理、机械零件课的辅助教材或选修课教材。

由于作者水平所限,书内错误及不当之处望读者批评指教。

作者

1994年1月

几何要素代号

(GB2821—81)

1 主代号

1.1 小写罗马字母(斜体)

<i>a</i>	中心距,标准中心距
<i>b</i>	齿 宽
<i>c</i>	顶 隙
<i>d</i>	直径,分度圆直径
<i>e</i>	槽宽,分度圆槽宽,偏心距
<i>h</i>	齿高,全齿高
<i>i</i>	传动比
<i>j</i>	侧 隙
<i>k</i>	跨越齿数,跨越槽数(用于内齿轮)
<i>m</i>	模 数
<i>n</i>	转 数
<i>p</i>	齿距,分度圆齿距
<i>q</i>	蜗杆直径系数
<i>r</i>	半径,分度圆半径
<i>s</i>	齿厚,分度圆齿厚
<i>u</i>	齿数比
<i>v</i>	线速度,分度圆上的线速度
<i>x</i>	径向变位系数
<i>y</i>	中心距变动系数
<i>z</i>	齿 数

1.2 大写罗马字母(斜体)

<i>M</i>	量柱或量球的测量距
<i>P</i>	径 节

R 锥距, 外锥距

W 公法线长度

1.3 小写希腊字母(斜体)

α 压力角, 齿形角, 分度圆压力角

β 螺旋角, 分度圆螺旋角

γ 导程角

δ 锥角, 分锥角

ϵ 重合度

η 槽宽半角

θ 与齿高有关的角度

ρ 曲率半径

τ 齿距角, 冠轮上的齿距角

φ 作用角

ψ 齿厚半角

ω 角速度

1.4 大写希腊字母(斜体)

Σ 轴交角

2 复合主代号

d' 节圆直径

d_a 齿顶圆直径

d_b 基圆直径

d_f 齿根圆直径

h' 工作高度

h_a 齿顶高

h_a^* 齿顶高系数

$\bar{h}_a$ 弦齿高

h_{a0} 刀具齿顶高

h_{a0}^* 刀具齿顶高系数

$\bar{h}_c$ 固定弦齿高

h_f 齿根高

h_0	刀具齿高
$\text{inv}\alpha$	α 角的渐开线函数
j_n	齿轮副的法向侧隙
j_r	齿轮副的径向侧隙
j_t	齿轮副的圆周侧隙
P_z	导程
R_i	内锥距
R_m	中心锥距
r_a	齿顶圆半径
r_b	基圆半径
r_f	齿根圆半径
$\bar{s}$	弦齿厚, 分度圆弦齿厚
$\bar{s}_c$	固定弦齿厚
x_t	切向变位系数
z_v	当量齿数
z_0	刀具齿数
δ'	节锥角
δ_a	顶锥角
δ_f	根锥角
ε_a	端面重合度
ε_β	纵向重合度
ε_γ	总重合度
θ_a	齿顶角
θ_f	齿根角
φ_a	端面作用角
φ_β	纵向作用角
φ_γ	总作用角

3 角标 (除特殊注明者外均标注在主代号的右下角)

3.1 小写罗马字母(正体)

a	齿顶的, 齿顶高的
b	基圆的, 基圆柱的
c	常值的, 固定弦的
e	外部的, 大端的
f	齿根的, 齿根高的
i	内部的, 小端的
k	跨齿数的, 跨槽数的
m	中点的, 平均的
max	最大的
min	最小的
n	法向的, 法面上的
r	半径的, 径向的
s	齿厚的
t	切向的, 端平面上的
v	背锥上的, 当量圆柱齿轮上的
x	轴的, 轴向的, 轴平面上的
y	任意圆柱面上的, 任意圆锥面上的, 任意点的
z	齿的, 齿数的, 螺旋线的

3.2 大写罗马字母(正体)

L	左方的, 左旋的
M	量柱测量距的(M 尺寸的)
R	右方的, 右旋的

3.3 希腊字母(斜体)

α	端面重合的, 压力角的, 齿高方向的
β	纵向重合的, 螺旋角的, 齿长方向的
γ	总重合的

3.4 阿拉伯数字(正体)

0	刀具的
1	小轮的, 蜗杆的
2	大轮的, 蜗轮的

3.5 其它标记

* (星号) 尺寸系数(尺寸和模数的比值,标注在主代号的右上角)

' (一撇) 工作的、啮合的、节圆的、节圆锥的、节曲面
上的(标注在主代号的右上角)

" (两撇) 双面啮合的(标注在主代号的右上角)

— (横线) 弦的(标注在主代号的正上方)

4 齿轮几何要素代号的组合示例

a_0	切齿中心距
b_1	小轮齿宽
b_2	大轮齿宽
c^*	顶隙系数
d_1	小轮分度圆直径, 蜗杆分度圆直径
d_2	大轮分度圆直径, 蜗轮分度圆直径
d_1'	小轮节圆直径
d_2'	大轮节圆直径
d_{a1}	小轮齿顶圆直径
d_{a2}	大轮齿顶圆直径
d_{f1}	小轮齿根圆直径
d_{f2}	大轮齿根圆直径
e_n	分度圆法向槽宽
e_t	分度圆端面槽宽
e_x	分度圆轴向槽宽
m_i	小端模数
m_m	中点模数
m_n	法向模数
m_0	刀具模数
m_t	端面模数
m_x	轴向模数

p_b	基圆齿距
p_n	法向齿距
p_t	端面齿距
p_x	轴向齿距
s_a	齿顶厚
s_b	基圆齿厚
s_n	法向齿厚, 蜗杆分度圆柱的法向齿厚
s_i	曲线齿锥齿轮的小轮小端法向齿厚
s_0	刀具齿厚
s_t	端面齿厚
s_x	蜗杆分度圆柱的轴向齿厚
W_k	跨 k 齿测量的公法线长度(对于外齿轮), 跨 k 槽测量的公法线长度(对于内齿轮)
x_1	小轮径向变位系数
x_{t2}	大轮切向变位系数
z_1	小轮齿数, 蜗杆齿数
z_2	大轮齿数, 蜗轮齿数(插齿刀加工外齿轮时被加工齿轮用 z_2 表示)
α'	啮合角, 工作压力角
α_a	顶圆压力角
α_n	法向压力角
α_t	端面压力角
α'_t	端面啮合角
α_y	任意点 y 的压力角
α_0	刀具齿形角
α''	和基准齿轮双面啮合的压力角
β_b	基圆螺旋角
ρ_f	齿根过渡曲线半径
ψ_b	基圆齿厚半角

目 录

第1章 概述	1
一、内齿轮副的特点	1
二、内齿轮副的发展趋势	2
三、内齿轮副的分类	3
1. 直齿内齿轮副	3
2. 斜齿内齿轮副	3
3. 人字齿内齿轮副	3
第2章 渐开线齿轮、齿轮副的基本问题	4
一、渐开线	4
1. 渐开线的形成	4
2. 圆的渐开线性质	5
3. 广义渐开线的极坐标方程式	8
4. 广义渐开线的直角坐标方程式	8
二、渐开线齿轮副的啮合特性	9
三、圆柱齿轮及圆柱齿轮副的基本术语	10
1. 假想齿槽外齿轮	10
2. 假想圆柱面和假想圆	10
3. 齿轮轮齿上的参考平面	13
4. 齿距	15
5. 压力角	16
6. 模数与径节	16
7. 基本齿廓与 GB1365—88 标准	18
8. 圆柱齿轮副的啮合参数与运动参数	19
9. 齿条与齿轮的啮合——齿条副	24
四、齿条刀具与齿轮毛坯的啮合	24
1. 齿条刀具展成齿轮时的根切与顶切	26
2. 齿条刀具展成齿轮时齿廓起始点的压力角	26

五、变位外齿轮副	28
1. 外齿轮副的无侧隙啮合方程式	28
2. 外齿轮副的中心距变化系数	28
3. 外齿轮副的齿顶圆变化系数	29
第3章 渐开线内齿轮副基本啮合原理	31
一、内齿轮副的螺旋轴	31
二、Euler-Savary 定理	32
三、内齿轮副的基本啮合定理	33
四、内齿轮副的径向变位	35
五、内齿轮副正常工作的条件	37
1. 直齿内齿轮副的正确啮合条件	37
2. 斜齿内齿轮副的正确啮合条件	38
3. 内齿轮副的连续工作条件	38
六、内齿轮副的无侧隙啮合方程式	39
七、内齿轮副的中心距分离量和分离系数	40
八、齿顶圆变动量与变动系数	41
九、变位内齿轮副的类别	43
1. 标准内齿轮副	44
2. 高变位内齿轮副	45
3. 角变位内齿轮副	45
第4章 插齿刀与齿轮毛坯的机床啮合	47
一、插齿刀	47
1. 插齿刀是有切削能力的变位齿轮	49
2. 插齿刀的几何尺寸计算	50
3. 斜齿插齿刀简介	53
二、插齿刀与齿轮毛坯的机床啮合	54
1. 插齿刀展成齿轮时的运动特点	54
2. 机床啮合参数计算	55
3. 被加工齿轮的齿根圆半径	57
三、插齿刀加工内、外齿轮产生的干涉	60
1. 被切齿轮渐开线起始点压力角	60
2. 插齿刀加工外齿轮时的根切	64
3. 插齿刀加工外齿轮时产生的顶切	66

4. 关于内齿轮不产生根切的讨论	70
5. 加工内齿轮时的顶切	71
第5章 内齿轮的几何尺寸计算	91
一、内齿轮顶圆直径的限制条件	91
二、直齿圆柱齿轮的齿厚与弦齿厚	92
1. 齿厚	92
2. 弦齿厚	93
三、直齿圆柱齿轮固定弦齿厚与固定弦齿高	95
1. 外齿轮的固定弦齿厚与固定弦齿高	95
2. 内齿轮的固定弦齿厚与固定弦齿高	96
四、直齿圆柱齿轮的公法线长度	97
1. 外齿轮公法线长度	97
2. 内齿轮公法线长度	100
五、斜齿圆柱齿轮的测量尺寸计算	101
1. 齿厚	102
2. 固定弦齿厚	101
3. 公法线长度	102
六、圆棒（或球）测量法	104
1. 测量内齿轮时 M 值的计算	114
2. 圆棒（球）直径 d_p 的计算	115
3. 斜齿内齿轮的圆棒（球）测量尺寸	118
七、斜齿内齿轮的几何尺寸计算	119
1. 齿面形成	119
2. 斜齿内齿轮的基本关系式	120
3. 斜齿内齿轮的有关计算公式	121
4. 斜齿内齿轮的当量齿轮与当量齿数	123
5. 斜齿内齿轮几何尺寸计算	123
第6章 内齿轮副的啮合质量指标	124
一、内齿轮副的重合度	124
1. 直齿内齿轮副的重合度	124
2. 斜齿内齿轮副的重合度	126
3. 齿轮轮齿啮合过程及重合度的关系	127
二、内齿轮副的滑动率	129

1. 内齿轮副啮合点处的速度分析	130
2. 内齿轮副的滑动率	132
3. 内齿轮副滑动率的调节	134
4. 等滑动率曲线	136
三、内齿轮副的几何压力系数	136
1. 内齿轮副齿面接触应力	137
2. 内齿轮副的几何压力系数	137
3. 影响几何压力系数的因素	138
四、内齿轮副的啮合效率	140
1. 机械效率的基本概念	141
2. 齿轮减速器的效率	141
3. 内齿轮副的啮合效率	142
第7章 内齿轮副变位系数的选择	147
一、选择变位系数应考虑的问题	147
1. 变位系数对齿轮副强度的影响	147
2. 变位系数对轮齿齿厚、顶切、根切、干涉的影响	149
二、内齿轮副变位系数的选择	150
1. 将节点置于双对齿啮合区的内齿轮副	150
2. 节点外啮合内齿轮副	153
3. 内齿轮副变位系数的选择方法	155
第8章 内齿轮副的几何尺寸计算	229
一、插齿刀加工内齿轮时的机床啮合	229
1. 选择插齿刀	229
2. 啮合尺寸计算	229
二、内齿轮副齿顶圆变动系数	229
三、顶隙混合制内齿轮副	231
四、内齿轮副的啮合角	231
1. 正啮合角	232
2. 零度啮合角	232
3. 负啮合角	233
4. 90° 啮合角	233
五、改善内齿轮副啮合条件的几种方案	234
1. 增大端面重合度	234

2. 小啮合角内齿轮副	234
3. 齿廓修形	234
4. 齿向修形	235
六、内齿轮副的设计计算	236
1. 渐开线齿轮几何参数的基本关系式	236
2. 内齿轮副的几何尺寸设计计算	236
第9章 承载能力计算	243
一、失效形式和设计准则	243
1. 闭式软齿面齿轮副的设计准则	244
2. 闭式硬齿面齿轮副的设计准则	244
3. 开式齿轮副的强度计算	245
二、内齿轮副的受力分析及名义切向力	245
1. 名义载荷计算	245
2. 内齿轮副的受力分析	246
三、齿面接触强度计算	247
1. 基础公式	247
2. 齿面接触强度计算式的推导	248
3. 齿面接触强度计算中的有关系数	250
四、轮齿弯曲强度计算	276
1. 齿根危险截面及基础公式	276
2. 系数 Y_F 、 Y_S 、 Y_β	278
3. 计算载荷系数	283
五、齿轮材料的许用应力 $\sigma_{H\beta}$ 、 $\sigma_{F\beta}$	284
1. 许用接触应力 $\sigma_{H\beta}$	284
2. 许用弯曲应力 $\sigma_{F\beta}$	291
六、举例	298
第10章 少齿差行星齿轮系	303
一、少齿差行星齿轮系	303
1. 少齿差行星齿轮系的构成	303
2. 少齿差行星齿轮系的传动比计算	305
3. 少齿差行星齿轮传动的限制条件	307
二、零齿差内齿轮副传动	308

1. 零齿差内齿轮副的中心距计算.....	308
2. 重合度.....	311
3. 主要几何限制条件.....	311
4. 零齿差内齿轮副的传动比.....	312
5. 零齿差内齿轮副几何参数选择.....	312
6. 变位切削.....	314
主要参考文献.....	315

第1章 概 述

齿顶曲面位在齿根曲面之内的齿轮称内齿轮；内齿轮与共轭外齿轮啮合组成的齿轮副称内齿轮副（图 1-1）。为了便于制造、安装、获得高精度，内齿轮的齿廓多采用圆的渐开线。内齿轮的齿线可为直线、螺旋线、人字螺旋线。内齿轮副可为平行轴、相交轴、交错轴三种。传递运动和动力的内齿轮副称内齿轮传动。本书仅论述目前用途最广的渐开线圆柱内齿轮副即渐开线平行轴内齿轮副（传动）。

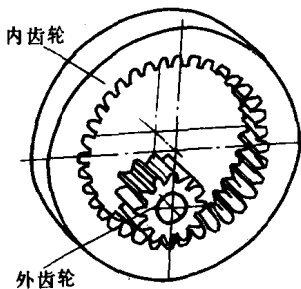


图 1-1

一、内齿轮副的特点

(1) 内齿轮的齿顶圆柱面小于齿根圆柱面，大于基圆柱面（见图 2-14）。

(2) 中心距较小。由于两相啮齿轮的节圆内切，节点位在两齿轮回转中心连线的延长线上，所以中心距为两节圆半径之差，中心距较小，故可方便地设计出体积小、重量轻、结构紧凑的内齿轮传动机构。

(3) 诱导曲率半径大，齿根厚度增大。共轭内齿轮副的相啮齿面呈凸凹啮合，所以诱导曲率半径大，诱导曲率小， $(k^{(12)} = \frac{1}{\rho_{(12)}})$ 有利于提高齿面的接触强度 $(\sigma_{\max} \propto \sqrt{k^{(12)}})$ ，另外由于内齿轮凹齿面工作齿根有所增厚，弯曲强度亦有所提高。

(4) 润滑条件有所改善。由于两相啮齿面呈凸凹啮合，诱导曲率小，再加上齿轮转向相同，润滑油不易被挤出，有利于共轭