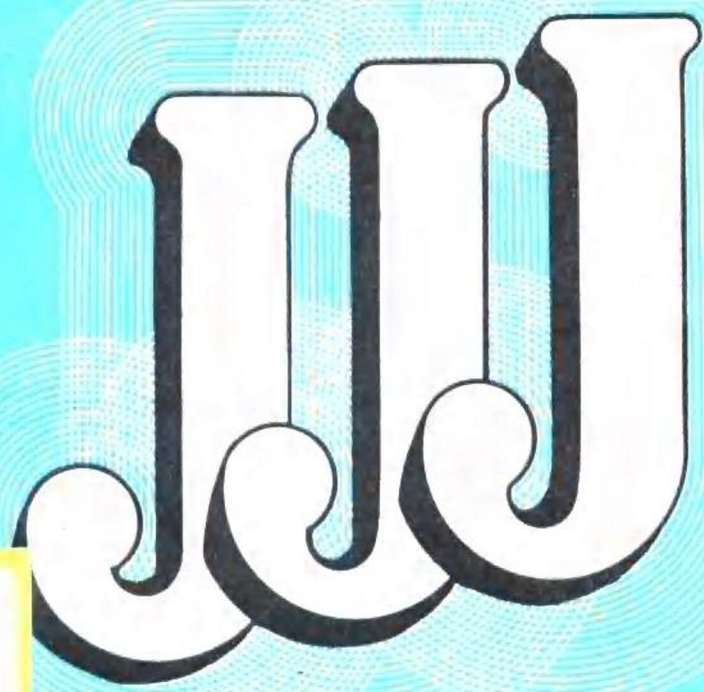


国家机械工业委员会统编

中级齿轮工工艺学

机械工人技术理论培训教材

JHJIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

本书的内容有：变位齿轮的概述、应用和几何尺寸计算；滚齿机上加工大质数齿轮、蜗轮、链轮、圆弧齿轮及用指形铣刀铣齿；磨齿机、刨齿机及其加工调整；圆柱齿轮及锥齿轮、蜗轮的常用测量方法，齿厚和公法线长度计算和齿轮加工误差的影响；齿轮机床的精度对加工工件精度的影响；常用齿轮夹具和齿轮加工工艺路线。

本书主要作为具有初级技术理论知识的中级齿轮工的培训教材，也可供有关工人自学。

本书由上海拖拉机齿轮厂诸为民、何琪芬编写，由上海汽车拖拉机工业联营公司职工大学李智康、上海拖拉机齿轮厂郑学康审稿。

中级齿轮工工艺学

国家机械工业委员会统编

*

责任编辑：吴天培 版式设计：罗文莉
封面设计：林胜利 方芬 责任校对：李广孚

*

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）

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 5 · 字数 108 千字

1988 年 9 月北京第一版 · 1988 年 9 月北京第一次印刷

印数 00,001—15,800 · 定价：2.10 元

*

ISBN 7-111-01047-7/TG·245

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材148种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以基本概念和原理为主,突出针对性和实用性,着重讲授

基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前言

第一章 变位齿轮的应用和计算	1
第一节 变位齿轮概述	1
第二节 变位齿轮的应用	10
第三节 圆柱齿轮的高度变位和计算方法	16
第四节 圆柱齿轮的角度变位和计算方法	25
复习题	34
第二章 滚齿机上加工其他齿轮的方法	35
第一节 大质数齿轮的加工	35
第二节 采用指形铣刀加工	44
第三节 蜗轮加工	49
第四节 其他齿轮的加工	54
复习题	58
第三章 磨齿机、刨齿机及其加工调整	59
第一节 磨齿机及其加工调整	59
第二节 刨齿机及其加工调整	75
复习题	97
第四章 齿轮的检测和计算	98
第一节 锥齿轮的检测	98
第二节 蜗杆、蜗轮的检测	100
第三节 齿轮精度的其他检测方法	101
第四节 齿厚和公法线长度的计算	104
第五节 齿轮的加工误差对啮合精度的影响、产生的原因和消除方法	109
复习题	115

VI

第五章	常用齿轮加工机床	117
第一节	常用齿轮加工机床的性能、结构和调整方法	118
第二节	齿轮加工机床精度的影响	127
第三节	提高工件加工精度的方法	132
复习题		137
第六章	常用齿轮夹具和齿轮加工工艺路线	138
第一节	常用的齿轮夹具	138
第二节	齿轮加工工艺路线的基本知识	140
第三节	热处理对齿轮精度的影响	147
复习题		153

第一章 变位齿轮的应用和计算

第一节 变位齿轮概述

在齿轮传动机构中，由于各种圆柱齿轮的设计和制造方便，互换性好，便于安装，所以应用广泛。

一、变位齿轮概念

在初级工艺学中，我们已经学习了标准齿轮的加工。所谓标准齿轮，即不变位齿轮，就是要：①模数、分度圆压力角、齿顶高系数、径向间隙系数采用国家标准规定的参数；②按标准中心距，即 $a = (m/2)(z_1 + z_2)$ 安装工件和刀具；③采用标准齿轮刀具，加工出来的齿轮。如果这三个条件中的某一条不符合而加工出来的齿轮，则为非标准齿轮。变位齿轮是非标准齿轮，是不按标准安装中心距安装工件和刀具，或采用变位刀具加工出来的齿轮，如图 1-1 所示。

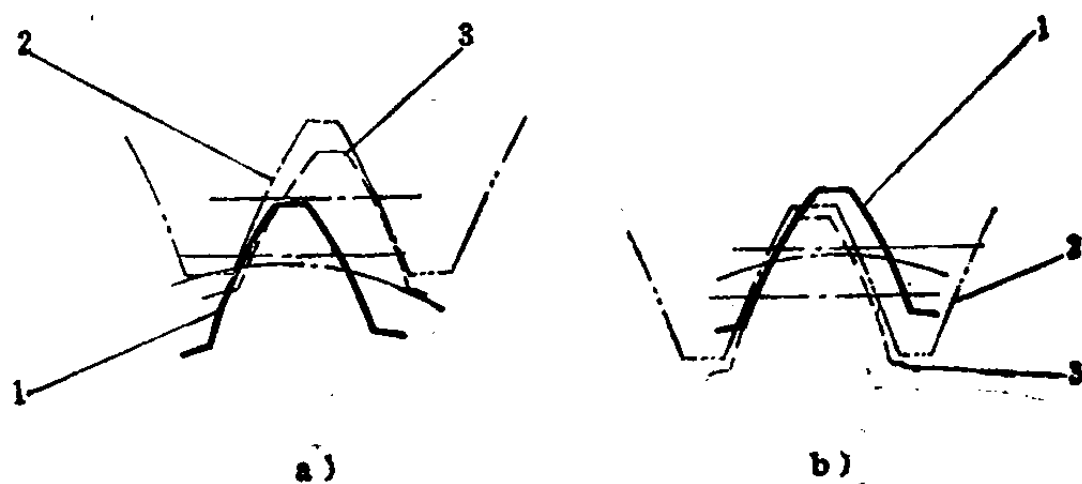


图1-1 变位齿轮

1—标准齿 2—滚刀 3—变位齿

制造结构简单、紧凑，承载能力高的机械设备，标准齿轮往往不能满足某些部件的特殊使用要求。例如，机床中的齿轮油泵，为了减小尺寸，提高输油量，油泵齿轮通常只有7~8齿，如果用标准齿轮就会发生严重根切，影响使用寿命。又如，在机床变速箱中，两轴中心距已一定，要求配制二对（或二对以上）齿轮，即用同一齿轮与不同齿数的齿轮啮合，用标准齿轮就不可能实现。但只要将齿轮形状稍加改变就可实现，这样就有了变位齿轮。

变位齿轮的制造，主要通过改变刀具与工件的相对位置获得，即改变刀具和工件的安装中心距。在我们的生产上是很难保证刀具和工件的安装中心距绝对标准而没有误差。当安装中心距大于标准中心距时，切出的就是正变位齿轮；反之，就是负变位齿轮。因此，我们在生产上，一定要按规定的中心距安装，否则就不能获得预料的效果。

二、齿轮的变位和变位系数

1. 齿轮的变位 齿轮的变位，也称移距变位，就是移动刀具和工件的相互位置，不必改变刀具几何参数。

用滚齿刀或插齿刀加工齿轮的情形，如图1-2所示。图中虚线表示加工标准齿轮时的安装位置，刀具中线与齿轮的分度圆相切，此时，由于刀具直线齿廓部分顶线超过了N点，齿轮产生根切现象，图中虚线齿形。为了避免根切，将刀具移离工件一段距离 X 而移至实线位置，只要刀具移距后的齿顶线不超过N点，就不会发生根切现象，图中实线齿形就是刀具移动距离后切出来的没有根切的齿轮。这种齿轮即为变位齿轮。

刀具移动的距离 X ，称为变位量。

2. 变位系数 齿轮的变位量是一个系数和模数的乘积，

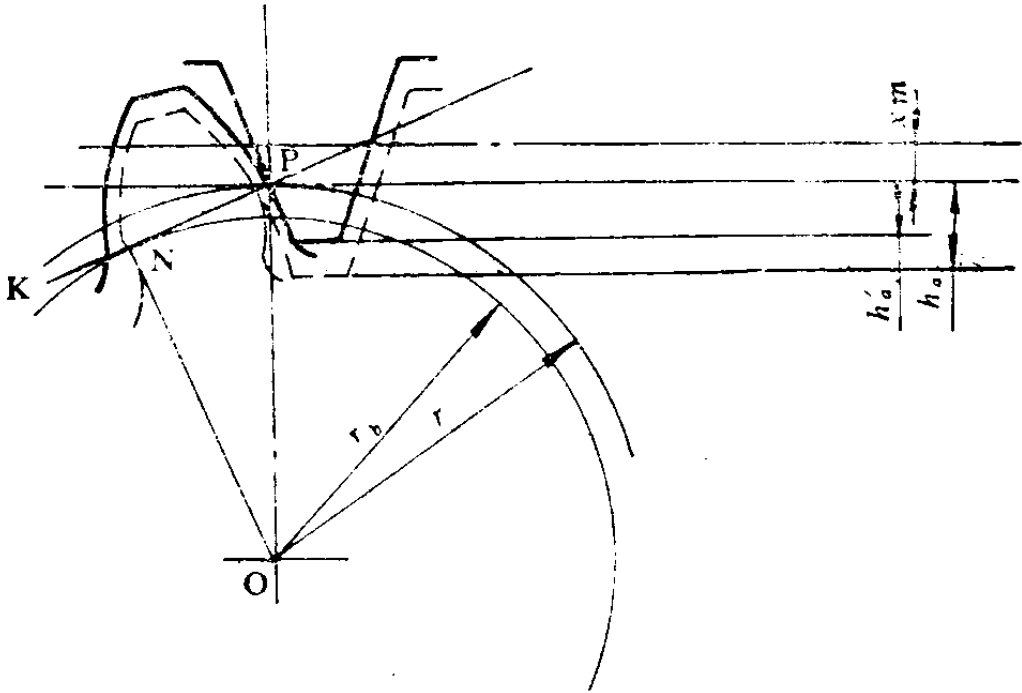


图1-2 齿轮的移距变位

这个系数称为变位系数。变位系数是表示一个齿轮变位量大小的参数。变位系数也是计算变位齿轮几何尺寸的一个重要参数。对于内齿轮来说，变位系数是假想齿条形刀具相对于切削标准齿轮的移距量除以模数。变位系数可用下式计算，即

$$x = \frac{X}{m} \quad (1-1)$$

式中 x ——变位系数；
 X ——齿轮的变位量；
 m ——齿轮的模数。

三、变位齿轮种类

用改变标准刀具位置（或轮坯位置）或标准刀具齿形参数的方法，切制成的齿轮叫变位齿轮。切削标准齿轮时刀位（刀具的位置）叫标准刀位。它与被切齿轮的中心距为 a_0 。

按刀具与轮坯位置关系可分为：

1. 标准齿轮 切齿时，用齿形角 $\alpha = 20^\circ$ ，齿顶高系数

$h_a^* = 1$ 的标准齿轮刀具，按标准安装中心距 a_0 安装， $a = a_0$ 切至全齿深 $h = (2h_a^* + c^*)m$ ，此时刀具中线 $M-M$ 与被切齿轮分度圆 d 作纯滚动。刀具的中线 $M-M$ 就是节线 $M-M$ ，被切齿轮的分度圆就是节圆。这样加工出来的就是标准

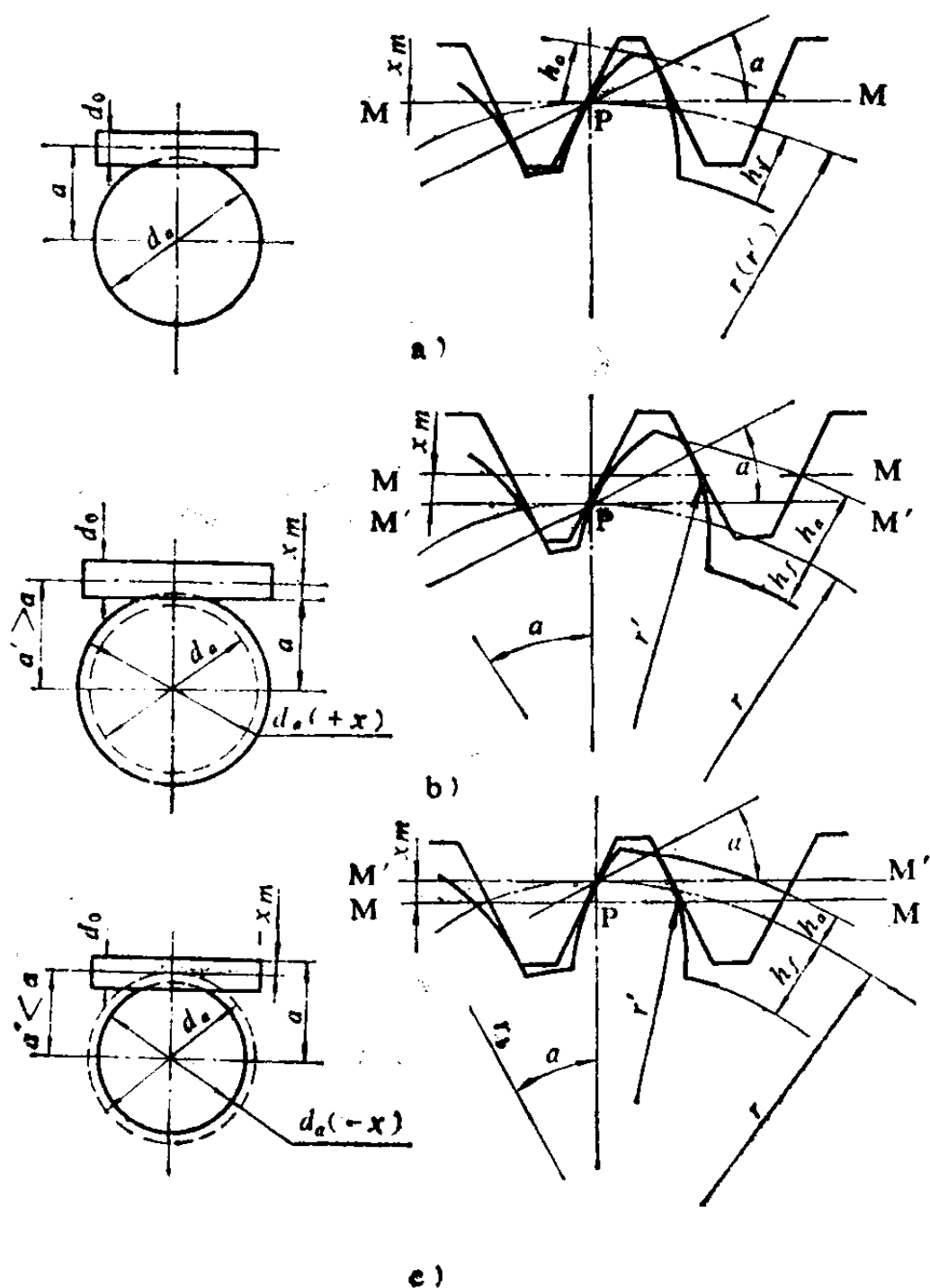


图1-3 变位齿轮种类

齿轮，分度圆上齿槽宽等于齿厚，所以其分度圆齿厚 $s = \frac{\pi m}{2}$ ，分度圆压力角 $\alpha_1 = \alpha = 20^\circ$ 。见图 1-3 a。

2. 正变位齿轮 切齿时，仍用标准齿轮刀具，但齿轮刀具的中线 $M-M$ 移离被切齿轮中心一个距离 X 值，安装中心距 $a > a_0$ ，此时，刀具中线 $M-M$ 与被切齿轮分度圆不相切，节线 $M'-M'$ 与中线不重合，节圆与分度圆不重合，分度圆上齿槽减小而齿厚增大。这样，刀具位置移离被切齿轮中心的，叫“正变位”（或正移距）。用刀具位置移离轮坯中心方法加工的齿轮，叫“正变位齿轮”（或正移距齿轮）。移距 X 称“正变位量”， $X = x \cdot m$ ，变位系数 x 取正值，称正变位系数，见图 1-3 b。

3. 负变位齿轮 切齿时，仍用标准齿轮刀具，齿轮刀具的中线 $M-M$ 移近被切齿轮中心一个距离 X 值，安装中心距 $a < a_0$ ，分度圆上齿槽宽增大而齿厚减小。这样，刀具位置移近被切齿轮中心的，叫“负变位”（或负移距）。用刀具位置移近轮坯中心方法加工的齿轮，叫“负变位齿轮”（或负移距齿轮）。移距 X 称“负变位量”， $X = x \cdot m$ ，变位系数 x 取负值，称负变位系数，

见图 1-3 c。

4. 切向变位齿轮 沿与齿轮分度圆相切的方向改变刀位方法加工的齿轮，叫切向变位齿轮，切向变位量 $X_t = x_t \cdot m$ ， x_t 为切向变位系数。使分度圆齿厚增大的，称“正切向变位”。使

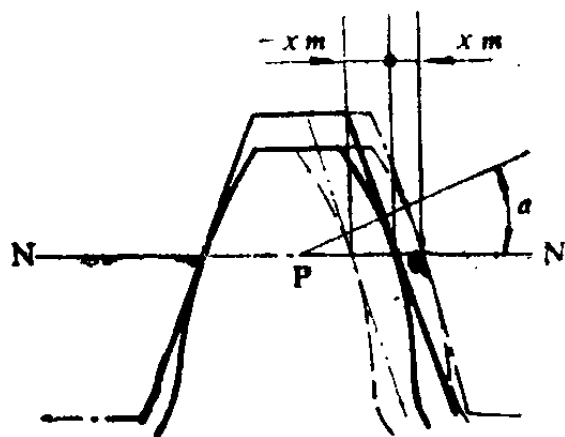


图1-4 切向变位

分度圆齿厚减小的，称“负切向变位”，如图1-4所示。

四、齿轮变位后对传动的影响

齿轮经过变位后，它就和标准齿轮有所不同，如正变位齿轮的齿顶会变尖，齿厚增加；负变位齿轮则齿厚减薄，对齿轮强度会产生一定的影响。

1. 齿顶变尖 正变位齿轮，由于刀具与工件的中心距增大，使齿顶高增加，在齿顶部分齿厚就减薄，甚至两齿廓线可能形成交点。因此，正变位齿轮轮齿的齿高部分强度降低，有时为了避免齿顶变尖的问题，可采用降低齿顶高系数的方法。

2. 啮合角改变 齿轮变位后，特别是角度变位齿轮，其节圆不再与分度圆重合，节点也就不在其分度圆上，而在分度圆以内或在分度圆以外。当然，其啮合点的压力角（啮合角），也就不再是标准的压力角。正变位传动的变位齿轮，其啮合角增大；负变位传动的变位齿轮，其啮合角减小。

3. 强度变化 由于齿轮经过变位，分度圆上的齿厚发生变化，为了保持轮齿有一定的高度，齿顶圆和齿根圆直径也随着变化。正变位齿轮，齿顶圆直径和齿根圆直径增大，这样，轮齿的齿根部分的齿厚就增大，分度圆齿厚也增大，轮齿的强度也就增大；反之，就减小。

五、变位齿轮传动中的几个基本公式

1. 无侧隙啮合方程式 一对齿轮传动时，如一只齿轮的轮齿两侧都与对方的轮齿相接触，即齿的两侧都没有间隙，这样的传动不会引起齿与齿之间的冲击，这种情况称无侧隙啮合。实际上，一对齿轮传动时，为了使相互啮合的齿廓间形成油膜，避免轮齿因摩擦发热而膨胀引起的挤轧现

象，必须留有一定的齿侧间隙。但由于这种间隙很小，通常是由制造公差来保证，所以在设计齿轮时，都按无侧隙啮合考虑。当一对齿轮作无侧隙啮合时，是沿节圆相切方向作纯滚动，一只齿轮的节圆上的齿厚应等于另一只齿轮在节圆上的齿槽宽，即 $s'_1 = e'_2$ ， $s'_2 = e'_1$ 。而两轮的节圆上的齿距应相等。 $p' = s'_1 + e'_1 = s'_2 + e'_2 = s'_1 + s'_2$ 。通过运算化简得到无侧隙啮合方程式为：

$$\operatorname{inv} \alpha' = \frac{2(x_1 + x_2) \tan \alpha}{z_1 + z_2} + \operatorname{inv} \alpha \quad (1-2)$$

式中 α' ——节圆上啮合角；

α ——分度圆上压力角；

x_1 、 x_2 ——齿轮 1、齿轮 2 的变位系数。

式 (1-2) 表明：若两轮的变位系数之和 $(x_1 + x_2) \neq 0$ ，则啮合角 α' 不等于分度圆压力角 α ，两轮的节圆与分度圆不重合，即两轮的分度圆分离或相交，这时两轮的中心距就不等于标准中心距。

2. 变位齿轮的中心距 a' 和中心距变动系数 y 由式 (1-2) 而知，变位后两齿轮中心距 a' 应为

$$a' = a_0 \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} \quad (1-3)$$

式中 a_0 ——标准齿轮在标准安装时的中心距。

设两齿轮变位后的中心距 a' 与标准中心距之差为 $ym = a' - a$ ，

当两齿轮作无侧隙啮合时，

$$\begin{aligned} ym = a' - a &= a_0 \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} - 1 \right) \\ &= \frac{m}{2} (z_1 + z_2) \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} - 1 \right) \end{aligned}$$

$$\therefore y = \frac{z_1 + z_2}{2} \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} - 1 \right) \quad (1-4)$$

式中 y ——中心距变动系数;

α ——分度圆上压力角;

α' ——节圆上啮合角。

3. 齿顶高变动系数 σ 一对变位齿轮传动时 ($x_2 = x_1 + x_2 \neq 0$), 为了既要满足无侧隙啮合的条件, 又要保证齿底径向间隙 $c = c^* \cdot m$, 需将两变位齿轮齿顶削去一段 $\sigma \cdot m$, 如图 1-5 所示, 这就使变位齿轮的全齿高要比标准齿轮全齿高 $h = (2h_a^* + c^*)m$ 小一些, 齿顶圆直径也相应减小。从齿顶高削减量 $\sigma m = (x_1 + x_2)m - ym$ 得

$$\sigma = x_1 + x_2 - y \quad (1-5)$$

式中 σ ——齿顶高变动系数;

x_1 、 x_2 ——齿轮 1、齿轮 2 的变位系数;

y ——中心距变动系数。

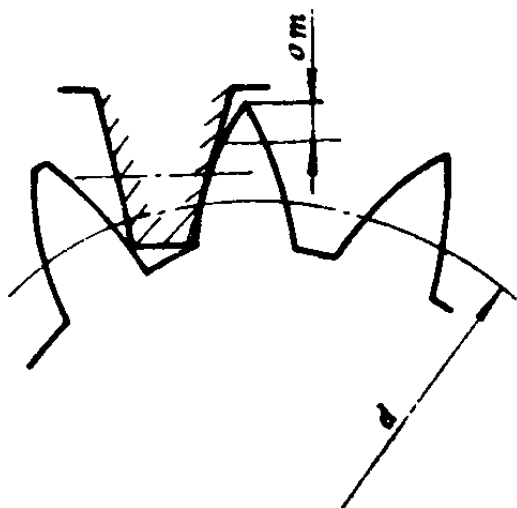


图1-5 齿高变动

六、变位齿轮的传动类型

按照一对齿轮的变位系数之和 $x_2 = x_1 + x_2$ 的不同情况, 可将齿轮传动分为三种基本类型, 即, 标准齿轮传动、高度变位齿轮传动和角度变位齿轮传动。

1. 标准齿轮传动

(1) 标准齿轮传动的齿数条件 标准齿轮可视为变位系数 $x = 0$ 的变位齿轮。由于两齿轮的变位系数 $x_1 = x_2 = 0$, 为了避免根切, 因此两齿轮的齿数都必须大于最小齿

数 $z_{\min}$, 即 $z_1 > z_{\min}$ 、 $z_2 > z_{\min}$ 。

(2) 标准齿轮的啮合角 α , 中心距变动系数 y 与齿顶高变动系数 σ 根据无侧啮合方程式(1-2)

$$\operatorname{inv} \alpha' = \frac{2(x_1 + x_2)}{z_1 + z_2} \tan \alpha + \operatorname{inv} \alpha$$

由于 $x_1 + x_2 = 0$, $\therefore \alpha' = \alpha$

由式(1-4)
$$y = \frac{z_1 + z_2}{2} \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} - 1 \right)$$

当 $\alpha' = \alpha$ 时, $y = 0$

又由式(1-5) $\sigma = x_1 + x_2 - y$

得 $\sigma = 0$

即当两标准齿轮无侧隙啮合传动时, 其啮合角 α' 等于分度圆压力角, 故节圆与分度圆重合。

2. 高度变位齿轮传动

(1) 高度变位齿轮传动的齿数条件高度变位齿轮的变位系数是一正一负, 且绝对值相等, 显然小齿轮应用正变位, 而大齿轮应采用负变位, 为了保证大小齿轮都不发生根切, 则必须 $z_1 + z_2 \geq 2z_{\min}$ 。

(2) 高度变位齿轮传动的啮合角 α' 、中心距变动系数 y 、齿顶高变动系数与标准齿轮传动一样, 由于 $x_1 + x_2 = 0$, 所以高度变位齿轮传动也是

$$\alpha' = \alpha; \quad y = 0; \quad \sigma = 0$$

3. 角度变位齿轮传动 在这类传动中, 如两齿轮变位系数之和大于零, 即 $x_1 + x_2 > 0$, 称为正传动; 如两齿轮变位系数之和小于零, 即 $x_1 + x_2 < 0$, 则称为负传动。

(1) 正传动 正传动的齿数条件, 由于 $x_1 + x_2 > 0$, 所以两齿轮齿数之和可以小于 $2z_{\min}$ 。

正传动齿轮, 由于 $x_1 + x_2 > 0$, 根据式(1-2)、式(1-4)、式(1-5)可得

$$\alpha' > \alpha; \quad y > 0; \quad \sigma > 0$$

即在正传动中, 啮合角 α' 大于分度圆压力角 α , 故节圆大于分度圆, 因此其中心距 a' 大于标准中心距 a , $a' > a$ 。又由于 $\sigma > 0$, 故两轮的全齿高 h 比标准齿轮缩短 σm 。

(2) 负传动 负传动的齿数条件, 由于 $x_1 + x_2 < 0$, 故仿前可得负传动的齿数条件为 $z_1 + z_2 > 2z_{\min}$ 。

负传动中, 因为 $x_1 + x_2 < 0$, 根据式(1-2)、式(1-4)、式(1-5)可得

$$\alpha' < \alpha; \quad y < 0; \quad \sigma > 0$$

即在负传动中, 啮合角 α' 小于分度圆压力角 α , 故其节圆小于分度圆, 即两轮的分度圆相交, 所以中心距变动系数 $y < 0$, 其中心距 a' 小于标准中心距 a 。又因 $\sigma > 0$ 与正传动相同, 两轮的全齿高比标准齿轮减小 σm 。

高度变位齿轮传动和角度变位齿轮传动, 都是在齿轮直径方向上的变位, 所以属于径向变位齿轮传动。

第二节 变位齿轮的应用

一、避免根切

当 $\alpha = 20^\circ$ 、 $h_a^* = 1$ 时, 不发生根切的最小齿数为 17, 若一对齿轮的传动比是 5 时, 大齿轮的齿数就要大于 85 齿, 传动结构就很大。若要传动结构紧凑, 小齿轮齿数必须小于 17, 那么就会产生根切现象, 而不能使用。利用变位齿轮, 采用正变位方法, 就可以使小齿轮避免根切现象, 同时大齿轮也减小齿数, 使传动结构更紧凑。

1. 齿轮的根切现象 齿轮传动, 在满足强度的前提下,

希望尽量减小尺寸，因 $d = m \cdot z$ ，而模数 m 是由工作时的应力决定的，不能任意减小，于是只能通过减少齿轮的齿数来实现减小尺寸。但齿数也不能任意减少，到一定的齿数（如齿顶高系数 $h_a^* = 1$ ，压力角 $\alpha = 20^\circ$ 的齿轮，齿数 $z < 17$ ）时，就会发生根切。

（1）根切

齿轮加工时，刀齿齿顶的运动轨迹进入齿轮的齿根部分，所切出的曲线把齿轮齿根部分的渐开线切去的现象，称根切现象。

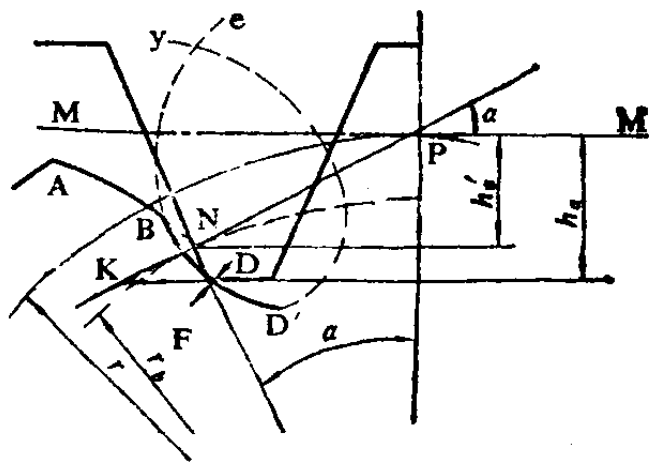


图1-6 齿轮的根切现象

如图1-6所示。

（2）产生根切的原因 齿轮轮齿的渐开线齿形的一段中 AB 是由齿条滚刀的刀齿侧刃包络切出的，而轮齿齿根的过渡曲线部分中的 BD' ，则是由刀齿齿顶 D 的相对运动轨迹所形成的（刀齿齿顶 D 的运动轨迹是一条曲线 ye ，准确的讲，是一条延长渐开线），如图 1-7 所示。轮齿的齿形是由渐开线 AB 及其相切的过渡曲线 BD' 组成。 $\overline{PN}$ 为理论啮合线，N 为啮合极限点（啮合线与基圆的切点）。当齿条和齿数很少的小齿轮传动时，由于小齿轮的齿数 z_1 很少，即基圆很小，那么，啮合点 B（齿条齿顶线与理论啮合线交点）超过了啮合极限点 N，则齿条刀具齿顶的相对运动的轨迹线 ye 将进入小齿轮的齿根部分，将齿轮的齿根部分的渐开线切去，形成了根切现象。如果齿轮的材料和硬度相同时，就