

变位齿轮在机械修理中的应用

尹启承 张荣仙

7

ANWEICHILUNZAIJIXIE
XIULIZHONGDEYINGYONG

变位齿轮在机械修理中的应用

尹启承 张荣仙

*

山西人民出版社出版 (太原并州路七号)

山西省新华书店发行 山西省七二五厂印刷

*

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: $7 \frac{1}{8}$ 字数: 148千字

1980年3月第1版 1980年3月第1次印刷

印数: 1—14,500册

*

书号: 15088·103 定价: 0.53元

序 言

渐开线齿轮在机械传动领域内取得主导地位将近200年，其间虽然也有时出现停滞，但总的来说，却一直是在向前发展的。近来，国内外又正在加强研究提高齿轮承载能力，适应各种工作条件，延长齿轮使用寿命，减少齿轮传动装置的体积和重量等工作，以满足客观形势的发展要求。所有这些工作，现已取得很大成就。因此，可以认为在今后的一段时期内，渐开线齿轮传动仍然会是机械传动中最广泛的一种传动型式。既然渐开线齿轮传动在机械设备中还要广泛使用；而使用就必然产生各种磨损，有磨损就要修理，这是客观规律。问题是采用什么样的修理方法，才能质量高，成本低。本书介绍的针对齿轮主要失效形式，在保持原设计的传动性能的前提下，应用变位齿轮的修理方法，由于变位齿轮具有能提高齿轮传动的接触强度，减少齿轮磨损和胶合的可能性，以及增强轮齿的抗弯强度等优点，较之沿袭过去按实物测绘数据，原封不动地照搬原设计尺寸，制作新齿轮，更换旧齿轮的方法，易于达到降低修理成本，缩短修理时间，提高修理质量，延长使用寿命的目的。

一般地说，变位齿轮的计算，是比较繁琐的。本书根据修理工作的特点及易于测得的原齿轮设计的几何参数，将变位齿轮的计算公式，按计算步骤给以分解和简化。这样，就为具有初中以上文化水平的修理人员应用变位齿轮于修理工

作，提供了有利条件。

我们都知道，修理工作的特点之一，是不能轻易改变原设计的性能和结构（改装设备例外）。为此，就要测出原设计的主要几何参数及特性参数。要做到这一点，正确的测绘和计算方法是重要手段。为此目的，本书以一定的篇幅介绍了应用变位制前必需的测绘工作，使读者能据此测出原齿轮设计的几何参数，以便在应用前，可以将选择修理方案和对修换齿轮的一切计算工作，建立在可靠的原始数据上，从而能保证原设计性能不变。

鉴于我国过去有部分径节制齿轮传动的装置，及今后还有可能要引进英美等国的机械设备，这就必然要遇到需要对径节制齿轮对进行修复或更换的情况。而现在国内不再生产径节制刀具，维修部门常常因寻找这种刀具而煞费苦心，甚至影响修理进程。为此，本书以一章的篇幅详细叙述了如何以模数变位制来替代的计算办法。这就不仅解决了暂时缺少刀具的困难，而且为以后再次需要修理时提供了方便。

金属切削机床是一切设备修理部门和机械制造企业中普遍的设备，而齿轮与齿条对在机床中常常被用作由回转运动变为直线运动的传动装置，但磨损到一定程度后，就会使啮合间隙过大而影响机床的性能和精度。要修复这一间隙，不管是采取更换齿条或齿轮，都必须应用变位制齿轮的原理和计算方法。本书第六章就是为了适应这一补偿磨损和修理间隙的需要而编写的。

此外，还考虑到少齿差行星传动机构，目前正在机械传动中应用。因此，在本书的最后一章专题介绍了修理该传动齿轮对时，如何应用变位制及其应注意的问题和需要校核的

项目。

总之，本书对变位齿轮在机械修理中的应用，从原理设计到加工方法作了系统的介绍；并列举实例，可供参考。对从事机械修理的人员，实为一本有价值的学习和参考资料。

朱景梓

79年4月19日

• 3 •

目 录

第一章	齿轮变位原理	1
一、	变位齿轮的形成	1
二、	变位齿轮的种类	2
三、	应用变位齿轮的目的	6
第二章	测绘和计算工作	8
一、	测量齿顶圆直径	8
二、	计算齿形角	10
三、	测量齿轮对的中心距	19
四、	测量全齿高	20
五、	测量螺旋角	21
六、	确定模数(或径节)	26
第三章	变位齿轮的识别及变位制的确定	36
一、	齿轮是否存在变位制的识别	36
二、	确定变位系数	38
三、	实例	47
第四章	修换齿轮对的方法	57
一、	据齿轮对的失效形式修换齿轮对	57
二、	据齿轮对的磨损程度修换齿轮对	72
三、	实例	77
第五章	以模数制变位齿轮代替径节制齿轮	88
一、	求出DP值	88

二、确定替代的模数值·····	90
三、选择变位系数·····	91
四、齿顶宽的校核·····	97
五、实例·····	99
第六章 补偿磨损和修复间隙·····	109
一、当导轨面不修理,仅补偿齿轮与齿条的间隙·····	109
二、当导轨面进行修理,对齿条与齿轮啮合间隙的补偿 ·····	112
三、实例·····	116
第七章 少齿差行星传动齿轮对的修理·····	121
一、变位齿轮内啮合传动的基本知识·····	121
二、修理前的准备工作·····	128
三、主要参数的决定·····	132
四、切制内啮合齿轮对的几何计算·····	135
五、实例·····	138
附录:	
附表一 渐开线函数表·····	147
附表二 系数 X 和 σ_0 的数表·····	175
附表三 公法线长度表·····	181
附表四 少齿差齿轮对的几何参数·····	188
附表五 用插齿刀制齿时,不发生顶切和根切的插齿刀的最少 齿数·····	212
附表六 直齿插齿刀主要参数·····	216

第一章 齿轮变位原理

用齿条刀具切制齿轮时，若刀具的中线与被加工齿轮的分度圆相切，此时切削出来的齿轮称为标准齿轮（非变位齿轮）。若改变刀具对于齿轮中心的相对位置，也就是说将齿条刀具移离或移近齿轮中心时，则切削出来的齿轮称为变位齿轮。

由于变位齿轮具有一系列优点，又加工简单，所以在机械工程上得到愈来愈广泛的应用，因而在机械设备修理中就不可避免地要碰到各种变位齿轮，以及用变位齿轮来修理和替换非变位齿轮。为此，首先介绍一下齿轮变位的基本概念和原理。

一、变位齿轮的形成

目前机械工程上最常用的齿轮是渐开线齿轮。渐开线齿轮重要优点之一，是其中心距离略为变更而不影响其传动比。因为渐开线齿轮的传动比与其基圆半径成反比，而当齿轮制成以后，其基圆的大小固定不变。因此，当渐开线齿轮的中心距略为变更时，其传动比仍旧不会变。这一特性使我们只要改变刀具与工件的相对位置，就可以达到应用变位齿轮的各项目的。

应用齿条型刀具（或齿轮插刀）切制齿轮时，如果刀具的节线（或分度圆）与工件的分度圆相切，则所切出的齿轮，

不但其模数和齿形角都与刀具相同，并且它的分度圆齿厚等于齿间宽度（因为在齿条的节线上，齿厚等于齿间宽度）。

如果将齿条向远离轮坯的方向移开，即作正移距，从而使分度圆沿着齿条节线与齿顶线之间的某条直线作无滑动的滚动，所切成的齿轮，称为正变位齿轮。它的特征是分度圆上的齿厚大于齿间宽度，齿厚增大，即：

$$S_f = \left(\frac{\pi}{2} + 2x \operatorname{tg} \alpha_o \right) m > \frac{\pi m}{2}$$

轮齿变得较强。齿廓为离基圆较远的一段渐开线，它具有较小的曲率。

如果把齿条移近轮坯，即作负移距，从而使分度圆沿着齿条节线与齿根线之间的某条直线作无滑动的滚动，则所切出的齿轮称为负变位齿轮。它的特征是分度圆上的齿厚小于齿间宽度。齿厚减小，即：

$$S_f = \left(\frac{\pi}{2} - 2x \operatorname{tg} \alpha_o \right) m < \frac{\pi m}{2}$$

轮齿的强度降低。齿廓终止于具有较大曲率的一段渐开线上。

如上所述，不改变机床的传动比，而改变刀具同工件的相对位置，同样可以切出相同模数和齿形角的齿轮。只是其分度圆齿厚有所改变，齿轮的齿顶高与齿根高也有改变。这种齿轮叫做变位齿轮。

二、变位齿轮的种类

变位齿轮的特性完全决定于变位系数 X_1 和 X_2 的数值。

因此，根据切削变位系数 $X_c = X_1 + X_2$ 和安装变位系数 λ 这两项的不同，可以把变位齿轮分为以下两种类型。

1. 高度变位齿轮啮合

小齿轮和大齿轮分齿圆之间的距离 $\lambda m = 0$ 。但齿轮切削时，一个齿轮是正变位切削而另一个齿轮是负变位切削，变位系数的绝对值相等而符号相反，即 $X_1 = -X_2$ 。这种齿轮对称为高度变位齿轮，它具有下列基本特点：

(1) 中心距不变，即
$$A = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2}$$

(2) 啮合角仍等于基齿条的齿形角，即 $\alpha = \alpha_0$ 。

(3) 齿轮的节圆与分度圆重合，即 $d = d_f$ 。

(4) 齿顶圆直径 D_e 和齿根圆直径 D_i 不同于正常齿轮，因而齿顶高和齿根高也不同于正常齿轮。正变位的齿顶高明显地大于负变位的齿顶高。

(5) 全齿高保持正常，即 $h_1 = h_2$ 。

(6) 分度圆弧齿厚不同于正常齿。

(7) 变位系数 X_1 和 X_2 大小相等，符号相反，变位系数的代数和等于零。

(8) 由于负变位齿轮齿廓渐开线的平均曲率半径减小，使轮齿的弯曲强度降低，而且滑动比增大。为了使一对啮合齿轮的强度及磨损情况趋于均等，当传动比接近于1时，很少采用高度变位，而当传动比为1时，则完全不采用。

(9) 高度变位只可在齿数和 Z_c 大于无根切时齿轮最少齿数的两倍时采用；否则，负变位齿轮必产生根切现象。

根据高度变位齿轮的上述特点，它具有以下的优缺点：

(1) 由于其中一个齿轮的齿数可以小于 Z_{min} ，所以在

传动比一定的情况下，可以减小传动机构的尺寸。

(2) 由于小齿轮的齿顶圆增大，同时大齿轮的齿顶圆减小，结果使实际啮合线向大齿轮的极限点移动，从而使小齿轮的最大滑动比和压强比减小，大齿轮的最大滑动比和压强比则相应增加；合理地调整了两轮齿的磨损情况。

(3) 由于小齿轮齿根部的齿厚增大，大齿轮的则略为减小，从而使两轮的齿根强度趋于接近。

(4) 能保持正常的中心距。

(5) 必须成对配对，不能互换。

(6) 大小齿轮的齿顶圆增减虽然相同，但由于 $R_{e2} > R_{e1}$ ，因此会使实际啮合线的长度略有减短；从而使其重合度也略为减少。

2. 角度变位齿轮啮合

这种齿轮啮合对的中心距 A 与非变位啮合的中心距 A_0 不同； $A > A_0$ 时为正角度变位， $A < A_0$ 时为负角度变位。随着两个齿轮变位系数的不同，正负角度变位啮合各有两种情况：

(1) 正角度变位啮合

正角度变位齿轮啮合具有下列基本特点：

A、中心距大于正常齿轮啮合对的中心距。

B、啮合角大于刀具齿形角。

C、两分度圆不相切，并保持距离 $\lambda m > 0$ 。

D、齿顶高不同于标准齿轮：

$$h' = m (f_0 + X - \sigma)$$

E、全齿高小于标准齿轮：

$$h = m (2f_0 + C'_0 - \sigma)$$

F、一对齿轮变位系数的代数和大于零。这时有三种情况：

X_1 和 X_2 都是正值。

X_1 为正， X_2 为负，但 $X_1 > |X_2|$ 。

X_1 为正， X_2 为零。

由于正角度变位具有上述特点，因此，它有如下优缺点：

A、因分度圆离远，啮合角增大，理论啮合线增长，而实际啮合线减短，实际啮合线端点到两极限点距离加大；因此，滑动比和压强比均减小，使齿轮的磨损减少。

B、由于同上的原因，重叠系数有较多的减小，但因齿廓的磨损减少，故按设计所得的重合度能保持较长的工作期间而不致锐减。

C、由于两齿轮都是正变位或正变位大于负变位，故齿轮对的抗弯强度增加。

D、由于可在任意给定的中心距下用标准刀具切制，故中心距可不受刀具模数的限制。

(2)负角度变位啮合

负角度变位齿轮的啮合对，具有下列基本特点：

A、中心距小于正常齿轮的中心距。

B、啮合角小于刀具的齿形角。

C、两分度圆相交，因而距离 $\lambda_m < 0$ ，且分度圆与节圆不重合。

D、两齿轮变位系数的代数和小于零，这里也有三种情况，即：

X_1 和 X_2 都是负值。

X_1 为零， X_2 为负。

X_1 为正, X_2 为负, 但 $|X_2| > X_1$

由以上特点可知, 这种啮合在齿数和较大 (大于 $2Z_{min}$) 的情况下用于凑配中心距时, 是最为合适的。

三、应用变位齿轮的目的

齿轮经过变位后, 其齿廓虽然仍有同一基圆的渐开线, 但所占取的渐开线部分则不同。即正变位齿轮利用曲率半径较大的渐开线部分, 而负变位齿轮则由于其齿顶高减小, 使基圆以上的渐开线齿廓的长度减小, 从而使其平均曲率半径也就减小。变位齿轮齿廓曲线曲率半径的变化, 使其几何参数和啮合性质均产生了一系列的改变, 而能达到如下的几种目的:

1. 消除根切现象

即消除用滚刀法切制齿数少的正常齿轮时产生的根切现象, 以免降低轮齿的强度及其使用寿命。

2. 提高齿轮传动的接触强度

即增大变位系数, 以利用曲率半径较大的渐开线线段。换言之, 保证最大接触强度的方法是选用尽可能大的总变位系数 X_c , 也就是选用最大的啮合角。

根据计算和试验, 采用变位的方法, 可使齿轮传动的承载能力提高 20~25%, 而寿命则可延长 200%。

3. 减小齿的磨损和胶合的可能性

变位可以显著降低滑动速度和减少滑动比, 从而提高齿轮的耐磨性, 并减少胶合的倾向。此外, 采用正变位并因而利用曲率半径较大的渐开线线段时, 还能改善传动的流体动力性能和齿的润滑条件。

4. 增高齿的抗弯强度

在模数不变的情况下，抗弯强度随着齿形系数 π_y 的增大而增加。而齿形系数又随着变位系数的增加而增加。如果总的变位系数已定，为了增高抗弯强度，还可在两个齿轮之间适当分配这一数值，使强度较差的齿轮得到较多的加强，以提高整个传动的强度。

5. 凑配中心距

在齿数和模数已定的情况下，当一对啮合齿轮的中心距不能满足公式 $A_0 = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2}$ 时，通过变位能使两啮合齿轮适应给定的中心距。

由以上的介绍，可知切制变位齿轮并不需要应用专门的刀具和对机床进行特殊的调正。这样不仅制造简单而且具有一系列的优点。所以在机械制造业中得到愈来愈广泛的应用。这就使得在机械设备修理工作中，不可避免地会碰到各种变位齿轮，和应用变位齿轮来修复或更换已失效的齿轮对，以提高齿轮的啮合传动质量。现将变位齿轮在机械设备修理工作中应用的几个方面，分别叙述于下。

第二章 测绘和计算工作

在应用前，原齿轮的许多参数，大多没有原始资料，因而只能通过对现有齿轮进行测绘和计算，才能得到需要的数据。为此，在本章中着重介绍常用的齿轮参数及其测绘和计算方法。

一、测量齿顶圆直径

由于齿顶外径不易磨损，且测绘较易，所以在测绘工作中，常常以齿轮外径（齿顶圆直径）作为计算其它齿轮参数的依据之一，要求尽量测得准确。

测量时可用精密卡尺或千分尺进行，为了准确，应在三、四个点上进行测量，取其中最大值；当被测齿轮的齿顶圆直径有磨损时，更为必要。当齿数为偶数，可直接量出。当齿数为奇数时，测得的数值就不是真实的齿顶圆直径尺寸（如图1），应按

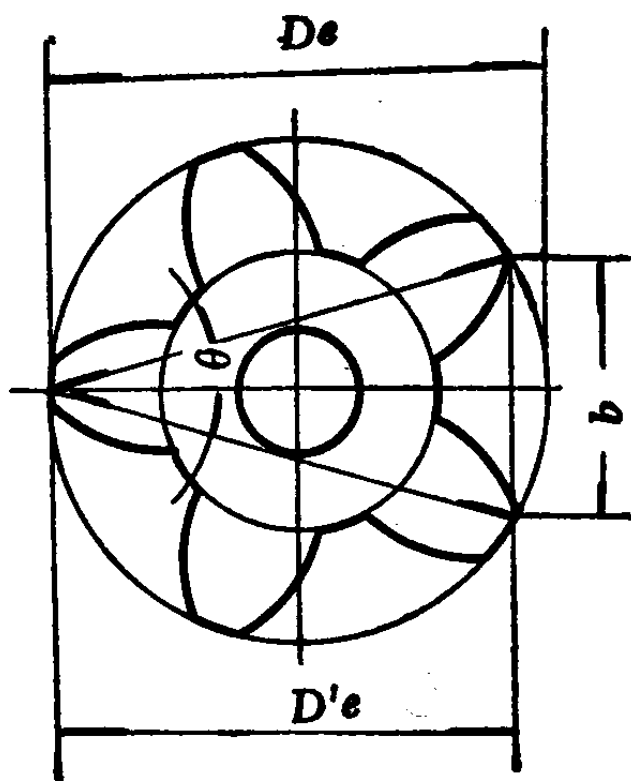


图1 齿顶圆直径测量

下式进行修正：

$$D_e = \frac{D'_e}{\cos^2 \theta}$$

式中： D'_e 为实测外径尺寸

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{b}{2D'_e}$$

但实际应用中是按下式进行修正：

$$D_e = D'_e \sec \frac{90^\circ}{Z} \quad (Z \text{ 为齿数})$$

由于齿顶圆直径是其它参数的计算依据，因此，测出后还应用其它方法进行校核。常用的方法之一是：用测量齿顶圆直径的方法。测出齿根圆直径 D_i ，则

$$D_e = d + 2H_1$$

$$D_i = d + 2H_2$$

或 $D_e = D_i + 2h$ h 为全齿高，可以用深度尺量出。

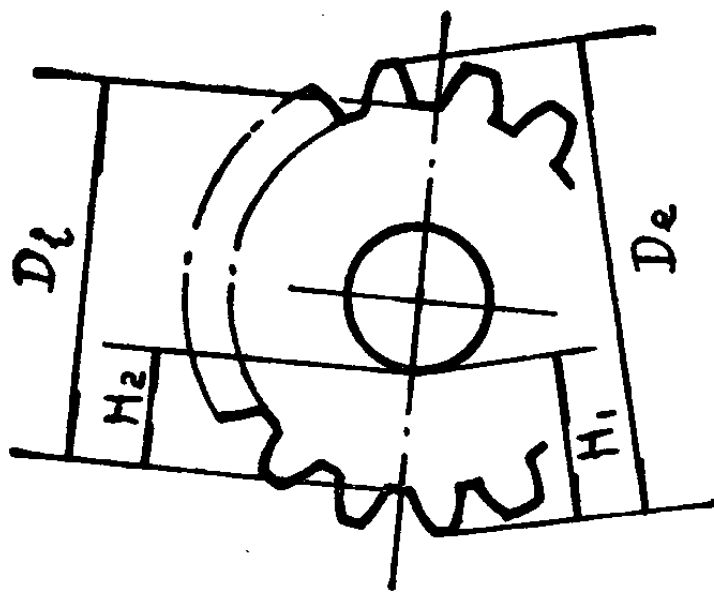


图2 齿顶圆直径测量

对于齿顶圆直径，有时为了更高的准确度，在计算时还加上齿顶圆直径制造公差，即

$$D_e = D_{\text{实测}} + \frac{|\Delta D|}{2}$$

式中： $D_{\text{实测}}$ 为未加制造公差的实测尺寸。

ΔD 为齿顶圆直径制造公差。

二、计算齿形角

计算齿形角，先要测量基节 t_0 ，测量基节的方法有多种，以用基节仪直接测量为准确，但是需要用专门测量仪器，而且操作起来也不方便。常用的方法是测量齿轮的公法线长度。这个方法是：用精密游标卡尺（最少也要用刻度值为0.02毫米的）或公法线千分尺测量公法线长度 L_n 和 L_{n+1} （图3）。齿轮的基节 t_0 按下式计算：

$$t_0 = L_n - L_{n-1} \quad \text{或} \quad t_0 = L_{n+1} - L_n$$

式中： L_n 为按照规定的跨测齿数 n 测量的公法线长度。

L_{n-1} 为比 n 少一个齿的公法线长度。

L_{n+1} 为比 n 多一个齿的公法线长度。

测量公法线长度应跨齿数 n 可由附录三（公法线长度表）中查出。

由于一对啮合齿轮的基节必须相等，即小齿轮的基节 t_{01} 等于大齿轮的基节 t_{02} 。所以为了能测得正确数值，最好将大小齿轮一并测量数次，取其中出现次数最多的数值为准。一般说来，大齿轮磨损较少，所得的数据较准确。测量时应在磨损较少的齿面进行，以免因磨损而影响测量的准确度。