

变位齿轮原理和应用

顏 龍 編

上海科学技术出版社

变位齒輪原理与应用

顏 龍 編

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本書主要介紹變位齒輪在機械上的各種應用與基本原理，內容力求與目前工廠實際情況相結合。為了使讀者易于了解與運用，書中介紹了許多圖表與例題。由於變位齒輪在机床上的應用最為廣泛，原理也較複雜，故對机床方面的取材較多。

本書可供機械工程師、技術人員在齒輪設計方面的參考，也可作為高等工業學校、中等技術學校“機械原理”、“機械零件”、“机床設計”課程的參考書。

變 位 齒 輪 原 理 與 應 用

顏 龍 編

*

上海科學技術出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可證出003號

上海勞動印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

開本787×1092毫米 1/32 印張3 5/8 插圖4 字數77,000

1958年10月第1版 1959年4月第1版第2次印刷

印數 5,501~10,500

統一書號：15119·885

定價：(十二)0.54元¹

序

每一部機器差不多都有齒輪傳動裝置，齒輪傳動的改進，可以提高機器的質量。

隨着機械工業的發展，標準切削齒輪已不能滿足機械設計的要求，變位齒輪在現代機械中已經得到了廣泛的應用。工廠工作的同志常常遇到變位齒輪的有關問題而不能得到合理解決，闡述變位齒輪的理論與實際相結合的書籍，目前尚少見有，作者茲根據工廠現場的經驗與學習蘇聯的體會，編寫此書以供有關同志的參考。

本書共分四章，對於漸開綫的性質與變位齒輪的基本概念，只作簡扼地介紹；而着重敘述變位齒輪的計算方法與如何應用以解決現場中的實際問題，關於變位系數的選擇原則與方法，也作了專章討論；為了使讀者易于掌握變位齒輪的應用，本書特地介紹了幾種變位齒輪在機械上應用的典型實例、計算例題以及設計計算時所常用的圖表。至於變位齒輪各種計算公式的推導，由於一般“機械原理”書上都有介紹，本書不再討論。

“變位齒輪”與“修正齒輪”只是名詞上的不同，而後者易與“機械零件”書上常用的“修正系數”、齒輪上的“齒形修正”相混淆。本書所討論的“變位齒輪”，是專指“變位切削”而言，作者認為，若變位齒輪是指“變位安裝”則不夠全面，不能包括齒高變位齒輪，並且不作變位切削而作變位安裝的齒輪，實際應用上幾乎是沒有的。一般說來，變位安裝是由於變位切削所引起。

本書內容着重介紹變位齒輪的實際應用，力求與現場實際情況相結合。書中大部分內容曾在“機械製造”雜誌上發表過，由於許多工廠同志提供了很多現場資料和問題，更豐富了本書的內容。

本書主要內容，曾經作者最近在天津第一機床廠技術人員組成的“變位齒輪講習班”講授過一遍，根據教學經驗，又作一次修改。

本書可供機械工程師、技術人員參考，也可作為高等工業學校以及中等技術學校關於“機械原理”、“機械零件”、“機床設計”課程的參考書。

由於作者水平所限，書中難免存在缺點和錯誤，希望同志們指正和批評。

顏龍 1958 年 3 月於天津

目 次

序.....	1
第一章 变位齒輪的基本概念.....	1
1 導言	1
2 漸开綫的性質	2
3 变位齒輪的概念	6
4 变位齒輪的種類	9
5 变位齒輪的製造	12
第二章 变位齒輪的計算方法.....	15
1 变位齒輪的一般計算	15
2 齒輪泵中的变位齒輪的計算	50
3 旧齒輪的修復驗算	52
4 变位齒輪的修配	57
第三章 变位系数的选择.....	61
1 变位系数的选择对于变位齒輪傳动質量的影响	61
2 机床設計时常用的两种初步选择变位系数的方法	67
3 苏联国家标准 (Гост 2185—43) 直齒圓柱齒輪变位系数的选择方法	70
4 古茨巴赫 (Kutzbach) 变位系数选择方法 (或称 DIN 制)	72
5 庫德略甫采夫 (В. Н. Кудрявцев) 等制訂的变位系数选择表格	73
6 格罗曼 (М. В. Громан) 介紹的变位系数选择圖表	76
7 噶甫利連科 (В. А. Газриленко) 圖解法	81
第四章 变位齒輪在机械上的应用.....	86
1 減少齒輪的齒效	86
2 改善齒輪的磨損	88
3 凑配兩傳动軸中心距	93
4 修复磨損了的旧齒輪	99
5 变位齒輪的几种典型应用实例	100
参考文献	110

第一章 变位齒輪的基本概念

1 導 言

齒輪是机械傳动中重要零件之一,差不多每一部机器都少不了齒輪傳动裝置。在机械工作者的共同努力研究下,齒輪性能在不断的提高和改進。虽然标准齒輪能滿足大多数的要求,但有时还需要采用非标准尺寸的齒輪(变位齒輪)。現时变位齒輪的应用已逐漸受到了重視,并且在机械制造業中更得到了廣泛地应用。

机械傳动中采用变位齒輪 (смещенные передачи),具有下列几个优点: 能减少齒輪的齒数,使机械結構大大地减小,節省金屬材料; 改善齒輪的磨損情况,提高齒輪的使用寿命; 增大或减小齒輪对中心距离,使与傳动軸距离相适应,以解决在一对軸上同时安裝好几对齒輪时、常發生的設計上的問題; 齒輪磨損报废时,应用变位切削方法,能修复大齒輪,節省金屬材料。

变位齒輪的切制也是很方便的,只要調整标准齒輪刀具与待加工齒輪毛坯的相对位置,便可以切制出我們所需要的变位齒輪,并不需要另外准备特殊的齒輪刀具。

虽然,目前我們已經掌握了变位齒輪的原理与应用,但变位齒輪运用到現在時間还不長,尚有許多的知識正待我們繼續去研究和改進,使它能得到更大的發展,能在机械傳动中起更大的作用。

2 漸开綫的性質

变位齒輪的齒廓也是采用漸开綫構成的，所以，在討論变位齒輪以前，有必要先談一談漸开綫的性質。

如果用一条直綫，使它在圓周上作純滾動，則这条直綫上的任意一点所画出的曲綫，就是漸开綫。

如圖 1 所示，將一直綫 A 在圓 B 的圓周上作純滾動，直綫上的一点 a ，所画出的曲綫 C 便是漸开綫。而圓 B 称为基圓，直綫 A 称为母綫，在母綫上，由点 a_1 到母綫与基圓的切点 b 之間的長度称为母綫長度。

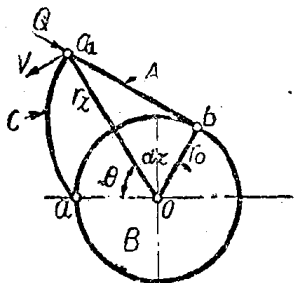


圖 1

由于母綫 A 是在基圓 B 上作純滾動的，所以母綫 a_1b 的長度，应等于弧長 $\widehat{ab}$ 。

由基圓圓心 O ，作直綫連接 a 、 a_1 、 b 各点，則 Oa 与 Oa_1 兩直綫間所夾的角 θ 称为漸开綫角。 Oa_1 与 Ob 所夾的角 α_x 称为压力角，也就是齒廓在以 a_1 点接触时，其綫速度 v 与正压力 Q (在不考慮摩擦时) 間的夾角。

由此可見，漸开綫上任意一点的漸开綫角与压力角都不相同的。在漸开綫的开始点 (a 点) 接触时，漸开綫角与压力角都等于零。离基圓圓周愈远的点，漸开綫角愈大；当兩輪齒在節点接触时，压力角正好等于嚙合角。

漸开綫上任意一点 (a_1) 的位置，可以用極坐标即漸开綫角及徑綫 r_x 來表示。

因

表 1 渐开线函数 $\theta = \text{inv } \alpha_s = \text{tg } \alpha_s - \alpha_s$

α°	各行前几位 相同的数字	0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'
1	0.000	00177	00225	00281	00340	00400	00504	00598	00704	00821	00950	01092	01248
2	0.000	01418	01603	01804	02020	02253	02503	02771	03058	03364	03689	04035	04402
3	0.000	04790	05201	05634	06091	06573	07079	07610	08167	08751	09362	10000	10668
4	0.000	11364	12000	12647	13314	14003	14715	15450	16209	16992	17800	18634	19504
5	0.000	22220	23352	24522	25731	26978	28266	29594	30963	32374	33827	35324	36864
6	0.00	03845	04008	04175	04347	04524	04706	04897	05098	05300	05514	05730	05958
7	0.00	06115	06337	06564	06797	07035	07279	07528	07783	08044	08310	08582	08861
8	0.00	09145	09435	09732	10034	10343	10659	10980	11308	11643	11984	12332	12687
9	0.00	13048	13416	13792	14174	14563	14960	15363	15774	16193	16618	17051	17492
10	0.00	17941	18397	18860	19332	19812	20299	20791	21289	21810	22360	22860	23396
11	0.00	23941	24405	24877	25358	25848	26347	26854	27369	27891	28421	28959	29516
12	0.00	31171	31632	32104	32585	33075	33575	34085	34605	35135	35675	36224	36784
13	0.00	39754	40534	41325	42126	42938	43760	44593	45437	46291	47157	48033	48921
14	0.00	49819	50729	51650	52582	53526	54482	55448	56427	57417	58420	59434	60460
15	0.00	61498	62548	63611	64686	65773	66873	67985	69110	70248	71398	72561	73738
16	0.0	07493	07613	07735	07857	07982	08107	08234	08362	08492	08623	08755	08889
17	0.0	09025	09161	09299	09439	09580	09722	09866	10012	10158	10307	10453	10608
18	0.0	10760	10915	11071	11228	11387	11547	11709	11873	12038	12205	12373	12543
19	0.0	12715	12888	13063	13240	13418	13598	13779	13963	14148	14334	14523	14713
20	0.0	14904	15093	15283	15480	15689	15890	16092	16296	16502	16710	16920	17132

續表 1

α°	各行前几位 相同的数字	0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'
21	0.0	17345	17560	17777	17995	18217	18440	18665	18891	19120	19350	19583	19817
22	0.0	20054	20292	20533	20775	21019	21266	21514	21765	22018	22272	22529	22788
23	0.0	23049	23312	23577	23845	24114	24386	24660	24936	25214	25495	25778	26062
24	0.0	26350	26639	26931	27225	27521	27820	28121	28424	28729	29037	29248	29560
25	0.0	29975	30293	30613	30935	31260	31587	31917	32249	32583	32920	33260	33602
26	0.0	33947	34294	34644	34997	35352	35709	36069	36432	36798	37166	37537	37910
27	0.0	38287	38666	39047	39432	39819	40209	40602	40997	41395	41797	42201	42607
28	0.0	43017	43430	43845	44264	44685	45110	45537	45967	46400	46837	47276	47718
29	0.0	48164	48612	49064	49518	49976	50437	50901	51368	51838	52312	52788	53263
30	0.0	53751	54238	54728	55221	55717	56217	56720	57226	57736	58249	58765	59285
31	0.0	59809	60336	60866	61400	61937	62478	63022	63570	64122	64677	65236	65799
32	0.0	66364	66934	67507	68034	68605	69250	69838	70430	71026	71626	72230	72838
33	0.0	73449	74064	74634	75307	75934	76565	77200	77839	78483	79130	79781	80437
34	0.0	81097	81760	82428	83100	83777	84457	85142	85832	86525	87223	87925	88631
35	0.0	89342	90058	90777	91502	92230	92963	93701	94443	95190	95942	96698	97459
36	0.	99822	99899	99877	10055	10133	10212	10292	10371	10452	10533	10614	10696
37	0.	10778	10861	10944	11028	11113	11197	11283	11369	11455	11542	11630	11718
38	0.	11806	11895	11985	12075	12165	12257	12348	12441	12534	12627	12721	12816
39	0.	12911	13006	13102	13199	13297	13395	13493	13592	13692	13792	13893	13995
40	0.	14097	14200	14308	14407	14511	14616	14722	14829	14936	15043	15152	15261

附表 1

α°	各行前几位 相同的数字	0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'
41	0.	15370	15480	15591	15703	15815	15928	16041	16153	16270	16386	16502	16619
42	0.	16737	16845	16974	17093	17214	17336	17457	17579	17703	17826	17951	18076
43	0.	18202	18329	18457	18585	18714	18844	18975	19106	19238	19371	19505	19639
44	0.	19774	19910	20047	20185	20323	20463	20603	20743	20885	21028	21171	21315
45	0.	21460	21606	21753	21900	22049	22198	22348	22499	22651	22804	22958	23112
46	0.	23268	23424	23582	23740	23899	24059	24220	24382	24545	24709	24874	25040
47	0.	25208	25374	25543	25713	25883	26055	26228	26401	26576	26752	26929	27107
48	0.	27285	27465	27646	27828	28012	28196	28381	28567	28755	28943	29133	29324
49	0.	29516	29709	29903	30098	30295	30492	30691	30891	31092	31295	31493	31703
50	0.	31903	32116	32324	32534	32745	32957	33171	33385	33601	33818	34037	34257
51	0.	34478	34700	34924	35149	35376	35604	35833	36063	36295	36529	36763	36999
52	0.	37237	37476	37716	37958	38202	38446	38693	38941	39190	39441	39693	39947
53	0.	40202	40459	40717	40977	41239	41502	41767	42034	42302	42571	42843	43116
54	0.	43390	43667	43945	44225	44506	44789	45074	45361	45650	45940	46232	46526
55	0.	46822	47119	47419	47720	48023	48328	48635	48944	49255	49563	49882	50199
56	0.	50518	50838	51161	51486	51813	52141	52472	52805	53141	53478	53817	54159
57	0.	54503	54849	55197	55547	55900	56255	56612	56972	57333	57698	58064	58433
58	0.	58804	59178	59554	59933	60314	60697	61083	61472	61863	62257	62653	63052
59	0.	63454	63838	64265	64674	65086	65501	65919	66340	66753	67189	67618	68050

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{\overline{a_1 b}}{\overline{Ob}} = \frac{\overline{ab}}{\overline{Ob}} = \frac{r_0(\alpha_x + \theta)}{r_0} = \alpha_x + \theta,$$

$$\theta = \operatorname{tg} \alpha_x - \alpha_{x_0}$$

角 θ 称为角 α_x 的渐开线函数, 其值随 α_x 而改变, 常用 $\operatorname{inv} \alpha_x$ 表示, 为了计算方便起见, 将 $\operatorname{inv} \alpha_x$ 列成表 1 以便查考。

因

$$\cos \alpha_x = \frac{r_0}{r_x},$$

或

$$\left\{ \begin{array}{l} r_x = \frac{r_0}{\cos \alpha_x}, \\ \operatorname{inv} \alpha_x = \operatorname{tg} \alpha_x - \alpha_{x_0} \end{array} \right. \quad (1)$$

若将基圆分成若干等分, 从基圆上的各等分点上, 绘出渐开线, 如图 2 所示, 因点 a, b, c 各为圆周上的等分点, 而 $\overline{ab} = \overline{bc}$, 在 a, b 点所绘出的渐开线中

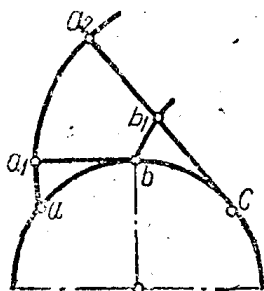


图 2

$$\overline{a_2 c} = \overline{ac},$$

$$\overline{b_1 c} = \overline{bc},$$

$$\overline{a_2 b_1} = \overline{a_1 b} = \overline{ab}.$$

由此可见, 从同一个基圆上作出两个相邻的渐开线, 在法线方向上, 彼此之间的距离是固定不变的, 它的长

度等于两条渐开线起点之间的基圆弧线长, 通常以基节 t_0 表示。若基圆上任意两点 a, b 之间的间隔极小而趋于零时, 则这两条渐开线将完全重合。所以, 只要母线是在同一个基圆 (或半径相同的基圆) 上作纯滚动, 母线上的任意一点所绘出的渐开线形状都是相同的。

3 变位齿轮的概念

应用齿条刀具切削齿轮时, 若刀具的中线与被加工齿轮的

分度圓粗切,此時被切削齒輪的齒厚與齒間相等,這種齒輪稱為標準齒輪。

切削變位齒輪時,齒條刀具的位置就要改變,如圖3所示,由位置I移到位置II,由於刀具角并未作任何改變,故不會影響被加工齒輪的基圓,而齒輪的漸開綫齒廓也不會改變。並且由圖3中可見,在齒條刀具改變位置的前後,該齒輪齒廓雖仍由同一漸開綫繪出,但漸開綫是增長了一些,而且齒厚、齒間、齒頂高、齒根高、實際嚙合綫長等都改變了。

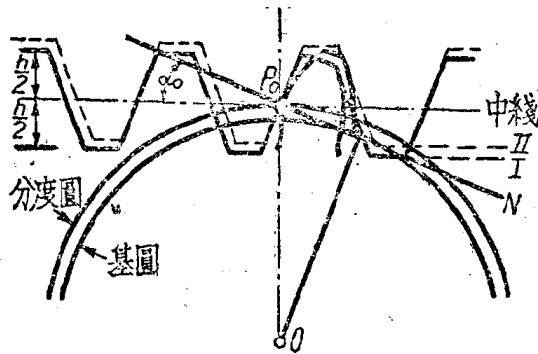


圖 3

變位齒輪安裝時,有時與標準齒輪中心距相等,也有時與標準中心距不等,這都不會影響齒輪對的嚙合傳動。

圖4-a所示為標準齒輪對嚙合傳動時的情形,其兩軸間的距離

$$A_0 = \frac{m'}{2}(z_1 + z_2),$$

式中 m ——模數。

此時,節點在 P_0 處,嚙合角 α 等於刀具角 α_0 ; 節圓半徑等於分度圓半徑,因此節圓與分度圓合而為一。其傳動比為

$$i_{1,2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{r_{n1}}{r_{n2}} = -\frac{\frac{r_{o2}}{\cos \alpha_0}}{\frac{r_{o1}}{\cos \alpha_0}} = -\frac{r_{o2}}{r_{o1}}, \quad (2)$$

式中 ω_1, ω_2 ——分别表示齒輪 1 与齒輪 2 的角速度；
 r_{n1}, r_{n2} ——分别表示齒輪 1 与齒輪 2 的分度圓半徑；
 r_{o1}, r_{o2} ——分别表示齒輪 1 与齒輪 2 的基圓半徑。

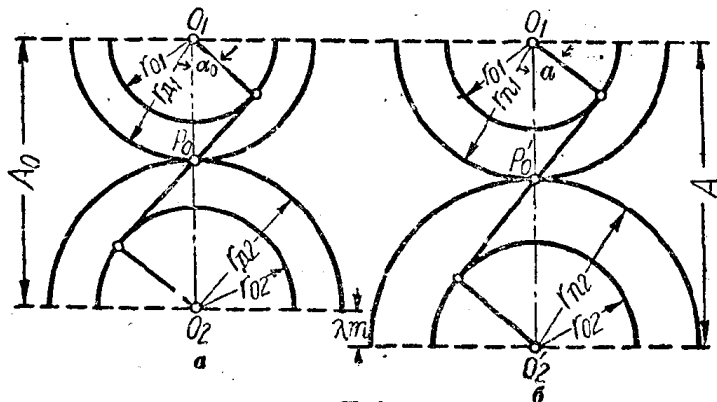


圖 4

若某对变位齒輪的齒數、模數、刀具角都与某对标准齒輪相同，而中心距 $A > A_0$ (圖 4-6)，此时節圓与分度圓分离，嚙合角 α 大于刀具角 α_0 ，節点 P_0' 的位置也改变了。其傳动比为

$$i_{1,2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{r_{n1}}{r_{n2}} = -\frac{\frac{r_{o2}}{\cos \alpha}}{\frac{r_{o1}}{\cos \alpha}} = -\frac{r_{o2}}{r_{o1}}, \quad (3)$$

式中 r_{n1}, r_{n2} ——分别表示齒輪 1 与齒輪 2 的節圓半徑。

由此可見，齒輪对的傳动比是根据基圓半徑而定。若改用变位齒輪对(角度变位齒輪)，中心距虽然有所改变，但因基圓并未改变，故并不影响齒輪对的傳动比。

4 变位齒輪的种类

切制变位齒輪时,由于齒輪刀具位置改变的不同,可以分成徑向变位与切向变位两种。

徑向变位——切制齒輪时,若將齒条刀具的位置沿齒輪毛坯的直徑方向改变,这样切制出來的齒輪,就称为徑向变位齒輪,或簡称变位齒輪。

切制变位齒輪时,若增加齒条刀具与待加工齒輪中心的距离,則称为正变位切削,通常簡称为正变位;若縮短齒条刀具与待加工齒輪中心的距离,这种变位切削称为負变位。

齒条刀具与待加工齒輪中心距离的改变量,称为变位量。变位量的大小,通常用下式表示:

$$X = \pm \xi m_0. \quad (4)$$

式中 ξ ——变位系数。当刀具靠近待加工齒輪中心时,符号为負;

当刀具远离待加工齒輪中心时,符号为正。

若齒輪对的总变位系数 $\xi_{和} = \xi_1 + \xi_2 > 0$, 則这种齒輪对称为正变位齒輪对; 通常簡称正变位齒輪; 若总变位系数 $\xi_{和} = \xi_1 + \xi_2 < 0$, 則称为負变位齒輪; 若总变位系数 $\xi_{和} = \xi_1 + \xi_2 = 0$, 称为齒高变位齒輪。正变位齒輪与負变位齒輪統称为角度变位齒輪。

同时, 标准切削齒輪也可以看成 $\xi_1 = \xi_2 = 0$, 为变位齒輪的一种特例。

(一)正变位齒輪 这种变位齒輪在机械上应用非常廣泛, 它可能有以下三种情形:

(1) 两个齒輪同时都是正变位切削, 即变位系数 ξ_1 和 ξ_2 同

时都为正值；

(2) 一个齒輪是正變位切削，另一個齒輪是標準切削，即變位係數 ξ_1 (或 ξ_2) 為正，而 ξ_2 (或 ξ_1) 為 0；

(3) 一個齒輪是正變位切削，另一個齒輪是負變位切削，即 ξ_1 (或 ξ_2) 為正，而 ξ_2 (或 ξ_1) 為負，此時，必須滿足下列條件：

當 ξ_1 為正值， ξ_2 為負值時 $|\xi_1| > |\xi_2|$ ，

當 ξ_2 為正值， ξ_1 為負值時 $|\xi_2| > |\xi_1|$ 。

應用正變位齒輪，能獲得小於最少齒數的齒輪尚且不致發生根切現象，並能縮小齒輪的尺寸，使結構緊湊；嚙合角增大，改善齒輪嚙合性能或增大齒輪對中心距，以適合傳動軸位置。

正變位齒輪的主要缺點是重疊係數減小較多，設計時必須進行驗算，使重疊係數在容許範圍內，以免影響齒輪對傳動的平穩。

(二) 負變位齒輪 這種變位齒輪，也可能有以下三種情形：

(1) 兩個齒輪同時都是負變位切削，即變位係數 ξ_1 、 ξ_2 同時都為負；

(2) 一個齒輪是負變位切削，另一個齒輪是標準切削，即變位係數 ξ_1 (或 ξ_2) 為負，而 $\xi_2=0$ (或 $\xi_1=0$)；

(3) 一個齒輪為負變位切削，另一個齒輪為正變位切削。即變位係數 ξ_1 (或 ξ_2) 為正，而 ξ_2 (或 ξ_1) 為負。這時，必須滿足下列條件

$$|\xi_1| < |\xi_2| \quad (\text{或} \quad |\xi_2| < |\xi_1|)。$$

採用這種變位齒輪，雖然能夠得到較大的重疊係數，但卻有較大的滑動係數和壓力係數，故磨損較快，並且齒根強度較弱，所以應用不廣。僅在縮短齒輪對中心距以湊配兩軸位置時的情況下應用。

(三)齒高變位齒輪 齒輪切制時，一個齒輪是正變位切削，而另一個齒輪是負變位切削，變位系數 $\xi_1 = -\xi_2$ (或 $\xi_2 = -\xi_1$) 時，這種變位齒輪，稱為齒高變位齒輪。

齒高變位齒輪的嚙合角和刀具角相等，分度圓與節圓重合，中心距與標準齒輪對中心距相同。所以在不能改變齒輪對中心距的情況下，常應用齒高變位齒輪。

由於齒高變位齒輪的變位系數，一個是正值，而另一個是負值，所以在齒數相同的齒輪對，不宜採用齒高變位。並且這種齒輪，只能容許一個齒輪的齒數在標準切削最少齒數以下。

應用這種變位齒輪，能使相嚙合的兩齒輪齒根強度趨近相等，而改善齒輪對的嚙合性能。

齒高變位齒輪與角度變位齒輪，通常可以根據以下兩個原則來選擇：

(1) 由兩傳動軸中心距決定——當兩傳動軸中心距等於標準齒輪對中心距時，必須採用齒高變位齒輪；當兩傳動軸中心距大於(或小於)標準齒輪對中心距時，必須採用角度變位齒輪。

(2) 由齒輪的齒數決定——若齒輪對中只有一個齒輪的齒數小於標準切削時最少齒數，可以採用齒高變位齒輪，但也可以採用正變位齒輪。這時根據兩傳動軸中心距來決定；若齒輪對中兩個齒輪的齒數都小於標準切削時最少齒數，必須採用正變位齒輪。

正變位齒輪的優點較多，應用較廣，故宜盡量採用正變位齒輪。

切向變位——切制齒輪時，若將齒條刀具沿其中綫平移，則所切的齒輪齒廓曲綫，在切綫方向的位置有所改變(齒厚增大或減少)，這種切削方法，通常稱為切向變位切削。