

第 1 章 机械原理实验

实验 1 机构认知及机构运动简图测绘实验

1. 实验目的

- (1) 掌握根据实际机器或机构模型绘制机构运动简图的原理和方法。
- (2) 验证或巩固机构自由度的计算,并明确自由度与原动件的关系。
- (3) 通过实验了解机构运动简图的作用和意义。

2. 实验内容

- (1) 观察机构中的构件形式、构件间的自由度、连接方式及运动副的类型。
- (2) 观察各种不同的机构模型,计算机机构的自由度。
- (3) 观察各种不同的机构模型,按比例尺绘制实物机构的机构运动简图。

3. 实验设备和工具

- (1) 机械原理示教柜。
- (2) 机构模型。
- (3) 游标卡尺。
- (4) 学生自备:直尺、铅笔、橡皮、草稿纸。

4. 实验原理

机构运动简图是一种实用、简练的工具语言,是研究机构运动学和动力学问题的重要工具之一。机构的运动仅与机构中所有数目的构件组成的运动副数目、种类、相对位置有关,因此在机构运动简图中可以忽略构件的复杂外形和运动副的具体构造,而用简略的符号代表相应的构件和运动副,即机构运动简图是表示机器或机构传动原理及运动特征的最简单的图形。

在绘制机构运动简图时,要按一定的比例尺定出各运动副的相对位置,以此表明实际机构的运动特征。根据机构运动简图可以了解机构的组成并定量地进行机构的运动分析和动力分析。不按比例绘制的简图称为机构示意图。它只是为了表明机构的结构状况,所以只能定性地表示机构的某些运动特性(如自由度)。

正确画出机构运动简图(见表 1-1~表 1-3),是机械工程技术人员必须掌握的基本技能,在机械工程领域具有非常重要的作用。

表 1-1 常用平面运动副的符号

运动副名称		运动副符号	
		两运动构件构成的运动副	两构件之一固定时的运动副
平面运动副	转动副		
	移动副		
	平面高副		
空间运动副	点接触与线接触高副		
	圆柱副		
	球面副及球销副		
	螺旋副		

表 1-2 常用机构运动简图符号

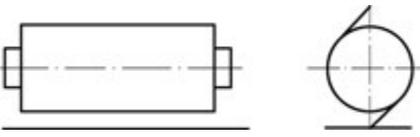
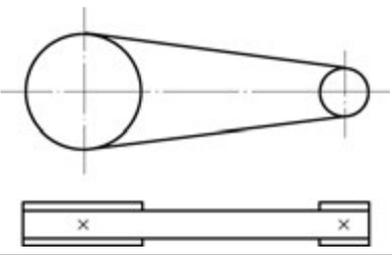
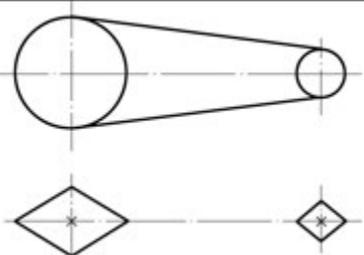
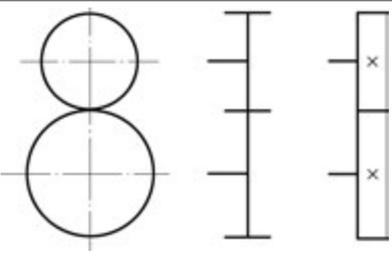
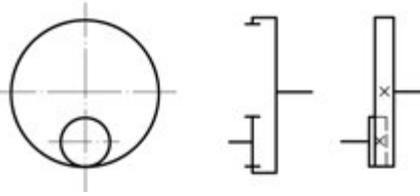
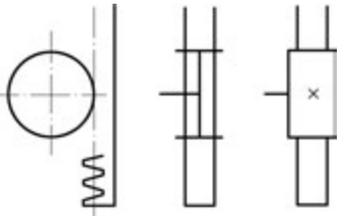
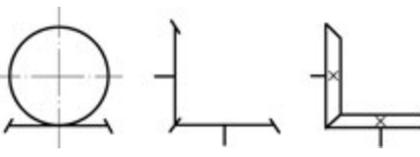
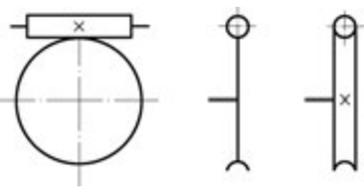
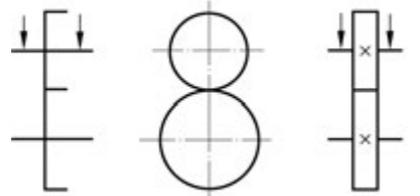
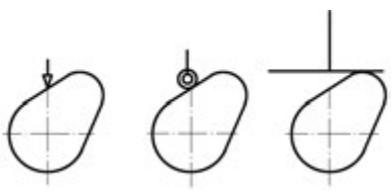
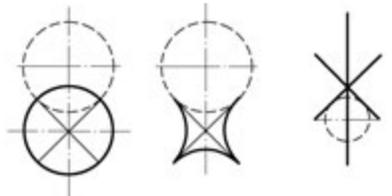
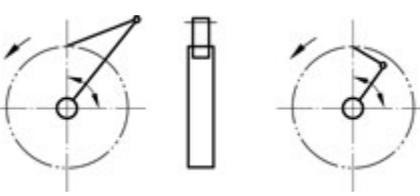
<p>在支架上的电动机</p>		<p>带传动</p>	
<p>链传动</p>		<p>外啮合圆柱齿轮传动</p>	
<p>内啮合圆柱齿轮传动</p>		<p>齿轮齿条传动</p>	
<p>锥齿轮传动</p>		<p>圆柱蜗杆传动</p>	
<p>摩擦轮传动</p>		<p>凸轮机构</p>	
<p>槽轮传动</p>		<p>棘轮机构</p>	

表 1-3 一般构件的表示方法

杆、轴类构件	—————				
固定构件					
同一构件					
两副构件					
三副构件					

5. 实验内容与步骤

(1) 分析机构的运动,找到原动件和工作部分,再根据运动传递的路线确定原动件和工作部分之间的传动部分。为了使机构运动简图正确地反映机构的运动特征,应正确选择测绘投影面。

(2) 测绘时,使被测的机器缓慢运动,从原动件开始仔细观察机构的运动,从而确定组成机构的构件数目。

(3) 从原动件开始,根据相连接的两构件间的接触情况及相对运动的性质,依次确定各个运动副的种类和级别。

(4) 从原动件开始,按规定符号及构件的连接次序(一个构件至少与两个构件用运动副连接)逐步画出机构运动简图的草稿。然后用数字(1,2,…)分别标注各构件,用英文字母(A,B,…)分别标注各运动副。

(5) 仔细测量机构的运动学尺寸(如构件上回转副的中心距和移动副之间的夹角等)。选定一个各构件均可见的机构位置,以适当的比例在实验报告上将草稿画成正规的机构运动简图。其中,长度比例尺=实际长度(cm):图上长度(cm)。

(6) 列出运动副及其构件,写出运动的传递过程。

(7) 按公式 $W = 3n - 2P_1 - P_h$ 计算机构的自由度,须注意机构中存在局部自由度、虚约束、复合铰链时自由度的计算。

6. 注意事项

- (1) 绘图时要求不增减杆件数目,不改变运动副性质。
- (2) 不描述机器实际复杂的外形和运动副的具体机械结构,而是采用简单直观的线条和符号表示构件及运动副。
- (3) 加强对演化机构的理解。

实验2 渐开线齿轮范成原理实验

1. 实验目的

- (1) 掌握用范成法切制渐开线齿轮的基本原理,观察渐开线部分及过渡曲线部分的形成过程。
- (2) 熟悉渐开线齿轮基本尺寸的计算公式。
- (3) 通过观察齿条刀具加工渐开线齿廓的过程,了解渐开线齿轮的根切现象和齿顶变尖现象,以及壁面根切的方法。
- (4) 分析、比较标准齿轮和变位齿轮的异同点。

2. 实验设备和工具

(1) 齿轮范成仪。齿条刀具和被切齿轮的主要参数:

- ① $m=20, \alpha=20^\circ, h_a^*=1, c^*=0.25, z=10$ (正变位齿轮);
- ② $m=20, \alpha=20^\circ, h_a^*=1, c^*=0.25, z=8$ (正变位齿轮)。

(2) 学生自备: A4 打印纸 2 张、圆规、剪刀、铅笔、橡皮。

3. 实验原理

范成法又称为展成法或包络法,是齿轮加工中一种最常见的加工方法,如插齿、滚齿、磨齿等都属于这种方法。它是利用一对齿轮(或齿轮和齿条)的齿廓啮合定律来切制齿廓的,加工时其一轮作为刀具,另一轮作为待加工轮坯,刀具和轮坯按齿数比做定传动比传动。刀具除做范成运动外还沿着轮坯轴线做切削运动,这样切制的齿廓就是刀具刀刃在轮坯各个位置的包络线。由于在实际加工时,看不到刀刃在各个位置形成包络线的过程,故通过齿轮范成仪来表现这一过程。本实验将模拟齿条插刀范成加工渐开线齿轮的过程,由范成仪保证刀具的节线与轮坯的节圆做纯滚动,用铅笔将刀具刀刃在切削时曾占据的各个位置的投影描绘在轮坯纸上,这样就能清楚地观察到轮齿范成加工的过程和最终加工出的完整齿形。

若刀具齿廓为渐开线,则其包络线也必然是渐开线。由于在实际加工时看不到形成包络线的刀刃的一系列位置,故通过范成仪来实现上述刀具与轮坯间的范成运动,用铅笔画出刀具刀刃的一系列位置,就能清楚地观察到齿轮的范成加工过程。

4. 齿轮范成仪的构造和使用方法

图 1-1 所示为齿轮范成仪简图,用 A4 纸模拟裁剪的毛坯,并用压板固定在圆盘上,圆盘可绕其中心的固定轴转动。代表切齿刀具的齿条通过螺钉固定在刀架上,齿条刀具可沿溜槽水平移动。刀架与圆盘之间通过钢丝的带动,保证圆盘上的分度圆与溜板上刀具的节线做纯滚动。

松开齿条刀具上的螺钉即可调整齿条刀具相对于轮坯中心的距离,因此,齿条可以安装在相对于圆盘各个位置上,如把齿条中线安装在与圆盘的分度圆相切的位置,则可以绘出

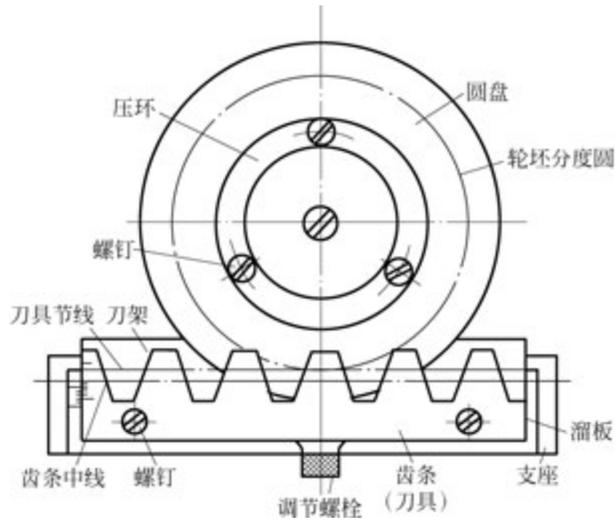


图 1-1 齿轮范成仪简图

标准齿轮的齿廓。当齿条的中线与圆盘的分度圆间有移距时(其移距值 x mm 可以在溜板的刻度上直接读出来),可按移距的大小和方向绘出各种正移距或负移距变位齿轮。

5. 齿轮各参数的计算公式

(1) 分度圆直径: $d = mz$

(2) 变位系数: $x = \frac{z_{\min} - z}{z_{\min}}$

(3) 齿顶圆直径: $d_a = (z + 2h_a^* + 2x)m$

(4) 齿根圆直径: $d_f = (z - 2h_a^* - 2c^* + 2x)m$

(5) 齿顶高: $h_a = \frac{(2h_a^* + 2x)m}{2} = (h_a^* + x)m$

(6) 齿根高: $h_f = \frac{(2h_a^* + 2c^* - 2x)m}{2} = (h_a^* + c^* - x)m$

6. 实验步骤

(1) 根据齿条刀具的模数 m 和被加工齿轮的齿数 z , 计算分度圆的直径, 以及标准齿轮和正、负移距变位齿轮的基圆、齿根圆及齿顶圆直径, 将计算结果填在实验报告中, 在纸上画出齿轮的基圆、齿根圆和齿顶圆直径, 并标注上, 沿齿顶圆剪下圆形“轮坯”。

(2) 将纸张固定在圆盘上, 调节齿条刀具的中线, 使其与毛坯分度圆相切, 制作标准齿轮。

(3) 开始切制齿轮时, 将齿条刀具溜板推到最右边, 然后每当把溜板向左移动一个微小的距离(2~3mm), 便在代表轮坯的图纸上用铅笔描下刀具刀刃的位置, 溜板从右到左移动到顶端, 直到形成 2 个或 3 个完整的齿形为止。

(4) 调节齿条刀具离开轮坯中心, 作正移距 x mm, 再将图纸转动到相应的象限, 然后重复步骤(3)。

(5) 调节齿条刀具使其接近轮坯中心, 作负移距 x mm, 再将图纸转动到相应的象限, 然

后重复步骤(3)。

(6) 比较所得的标准齿轮和变位齿轮在分度圆上的齿厚、齿间、基节,以及齿顶齿厚、齿根圆、齿顶圆、分度圆和基圆的相对变化特点。

实验3 渐开线齿轮基本参数测量实验

1. 实验目的

- (1) 培养动手能力,掌握应用游标卡尺测定渐开线圆柱齿轮主要参数的方法。
- (2) 通过测量和计算,巩固并熟悉齿轮的各部分尺寸、各参数间的相互关系和渐开线的性质。

2. 实验内容

- (1) 测量齿轮的齿顶圆直径、齿根圆直径及跨过 k 和 $k+1$ 个齿的公法线长度。
- (2) 根据测得的数据,运用所学知识推算出被测齿轮的相关参数。
- (3) 判断所测齿轮是标准齿轮还是变位齿轮。

3. 实验设备和工具

- (1) 齿数为奇数的标准直齿圆柱齿轮、变位直齿圆柱齿轮;齿数为偶数的标准直齿圆柱齿轮、变位直齿圆柱齿轮。
- (2) 游标卡尺。游标卡尺的结构形式如图 1-2 所示。

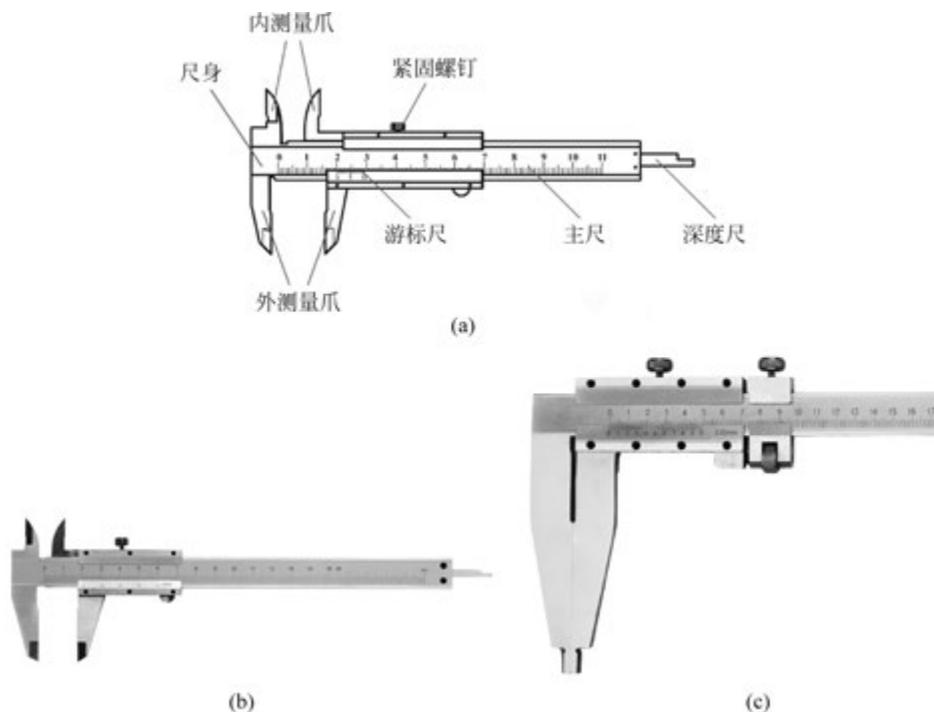


图 1-2 游标卡尺的结构形式

- (a) 游标卡尺的结构形式 1(测量范围一般为 $0\sim 125\text{mm}$ 、 $0\sim 150\text{mm}$); (b) 游标卡尺的结构形式 2(测量范围一般为 $0\sim 200\text{mm}$ 、 $0\sim 300\text{mm}$); (c) 游标卡尺的结构形式 3(测量范围一般大于 300mm)

4. 实验原理和方法

渐开线直齿圆柱齿轮的主要参数：齿数 z 、模数 m 、齿顶高系数 h_a^* 、顶隙系数 c^* 、分度圆压力角 α 、变位系数 x 等。

1) 确定齿数 z

齿数直接从待测齿轮上数出来。

2) 公法线长度 W_k 和 W_{k+1} 的测定

测量公法线长度 W_k 和 W_{k+1} 的目的是测定基圆基节 P_b ，从而确定齿轮的模数 m 、压力角 α 和变位系数 x ，这是测量齿轮基本参数的关键项目。

测量原理如图 1-3 所示，由渐开线性质可知，渐开线的法线相切于基圆，其长度等于基圆上两渐开线起点间的弧长跨 k 个齿的公法线与跨 $k+1$ 个齿的公法线，仅少一个基圆齿距 P_b 。

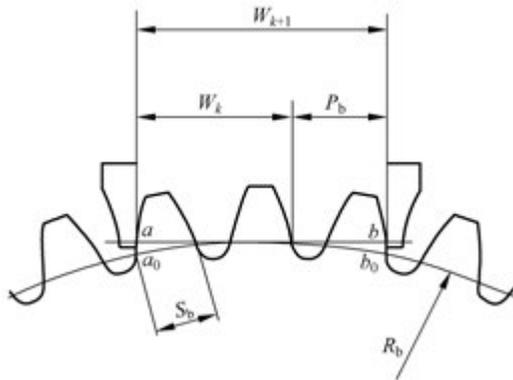


图 1-3 游标卡尺测定公法线长度

实验测量时，用游标卡尺跨过 k 个齿，测得齿廓间的公法线距离为 W_k ，然后跨过 $k+1$ 个齿，测得其距离为 W_{k+1} 。为了保证游标卡尺的两个量足与齿廓在分度圆附近相切， k 值应根据被测齿轮的齿数 z 参照表 1-4 确定。

表 1-4 齿轮齿数和测量齿个数的关系

z	12~18	19~27	28~36	37~45	46~54	55~63	64~72	73~81
k	2	3	4	5	6	7	8	9

测定公法线长度 W_k 和 W_{k+1} 时，为了减少测量误差，应在不同位置重复测量三次，然后取算术平均值。

3) 测量齿顶圆直径 d_a 和齿根圆直径 d_f

用游标卡尺测量齿顶圆直径 d_a 和齿根圆直径 d_f 时，为了减少误差，同一数据应在不同位置测量三次，然后取算术平均值。测量方法如下：

(1) 当齿数为偶数时，齿顶圆直径 d_a 和齿根圆直径 d_f 可用游标卡尺在待测齿轮上直接测出，如图 1-4 所示。

(2) 当齿数为奇数时，不能通过直接测量得到准确值，应采用间接测量方法，如图 1-5 所示。先测量出齿轮轴孔直径 D ，再分别测量出孔壁到某一齿顶的距离 H_1 和孔壁到某一齿根的距离 H_2 。则齿顶圆直径和齿根圆直径分别为

$$d_a = D + 2H_1 (\text{mm}), \quad d_f = D + 2H_2 (\text{mm})$$

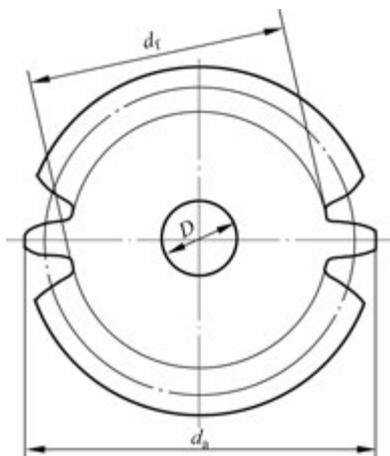


图 1-4 偶数齿测量

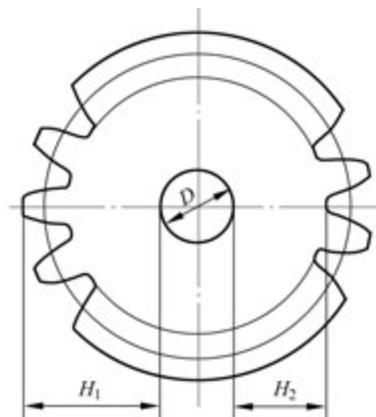


图 1-5 奇数齿测量

4) 确定模数 m 和压力角 α

如图 1-3 所示,由渐开线的性质可知,齿廓间的公法线 \overline{ab} 与所对应的基圆上的圆弧 a_0b_0 的长度相等,因此有

$$W_k = (k-1)P_b + S_b \quad (1-1)$$

$$W_{k+1} = kP_b + S_b \quad (1-2)$$

所以有

$$W_{k+1} - W = P_b = m\pi\cos\alpha \quad (1-3)$$

$$m = \frac{P_b}{\pi\cos\alpha} \quad (1-4)$$

在表 1-5 中,查出与计算出的 P_b 相近的值,视为 P_b 的准确值,同时查出与之对应的模数 m 和压力角 α (注意:由于被测齿轮为模数制齿轮,故计算出的 P_b 值与表中的径节制齿轮的 P_b 值相近,若出现两者相差较大的情况,则是由于测量误差过大所致,应重新检查测量数据)。

表 1-5 基圆齿距 P_b

模数 m	径节 D_p	P_b/mm				
		$\alpha=22.5^\circ$	$\alpha=20^\circ$	$\alpha=17.5^\circ$	$\alpha=15^\circ$	$\alpha=14.5^\circ$
1	25.4000	2.902	2.952	2.966	3.034	3.041
1.5	16.9333	4.354	4.428	4.494	4.552	4.562
2	12.7000	5.805	5.904	5.992	6.069	6.083
2.5	10.1600	7.256	7.380	7.490	7.580	7.604
3	8.4667	8.707	8.856	8.989	9.104	9.125
3.5	7.2571	10.159	10.332	10.478	10.621	10.645
4	6.3500	11.610	11.809	11.986	12.138	12.166
4.5	5.6444	13.061	13.285	13.483	13.655	13.687

续表

模数 m	径节 D_p	P_b/mm				
		$\alpha=22.5^\circ$	$\alpha=20^\circ$	$\alpha=17.5^\circ$	$\alpha=15^\circ$	$\alpha=14.5^\circ$
5	5.0800	14.512	14.761	14.981	15.173	15.208
5.5	4.6182	15.963	16.237	16.479	16.690	16.728
6	4.2333	17.415	17.713	17.977	18.207	18.249
6.5	3.9077	18.866	19.189	19.475	19.724	19.770
7	3.6286	20.317	20.665	20.973	21.242	21.291
8	3.1750	23.220	23.617	23.969	24.276	24.332
9	2.8222	26.122	26.569	26.966	27.311	27.347
10	2.5400	29.024	29.521	29.922	30.345	30.415
11	2.3091	31.927	32.473	32.958	33.330	33.457
12	1.1167	34.829	35.426	35.954	36.414	36.498
13	1.9538	37.732	38.378	38.950	39.449	39.540
14	1.8143	40.634	41.330	41.947	42.484	42.581
15	1.6933	43.537	44.282	44.943	45.518	45.623
16	1.5875	46.439	47.234	47.939	48.553	48.665
18	1.4111	52.244	53.138	53.931	54.622	54.748
20	1.2700	58.049	59.043	59.924	60.691	60.831
22	1.545	63.854	64.947	65.916	66.760	66.914
25	1.0160	72.561	73.803	74.905	75.864	76.038

5) 确定变位系数 x 及变位齿轮的判定

直齿圆柱齿轮的公法线长度计算公式为

$$W_k = m \cos \alpha [(k - 0.5)\pi + z \cdot \text{inv} \alpha] + 2xm \sin \alpha \quad (1-5)$$

式中, W_k 为用游标卡尺跨测 k 个齿所测得的实际公法线长度。公式(1-5)除了变位系数 x , 其余参数均已知, 将所有已知参数代入式中, 可求得变位系数 x 。若所测齿轮是标准齿轮, 则计算出的 $x=0$ 或 $x \approx 0$; 若所测齿轮为变位齿轮, 则计算出的 $x \neq 0$ 。6) 确定齿厚 s

$$\text{对于标准齿轮: } s = \frac{\pi m}{2}$$

$$\text{对于变位齿轮: } s = \frac{\pi m}{2} + 2mx \tan \alpha$$

7) 确定齿间

$$\text{齿间: } g = P_b - s$$

8) 确定全齿高 h

对于偶数齿, 有

$$h = (d_a - d_f) / 2 (\text{mm})$$

对于奇数齿, 有

$$h = (H_1 - H_2) (\text{mm})$$