

第2版

上册

# 齿轮手册

齿轮手册编委会 编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 第 14 篇 齿轮的测绘

---

主 编 侯东海

编写人

审稿人

第 1 章 杨寿夜 (郑州机械研究所)  
袁和相 (郑州机械研究所)

刘忠明  
刘世军

第 2 章 侯东海

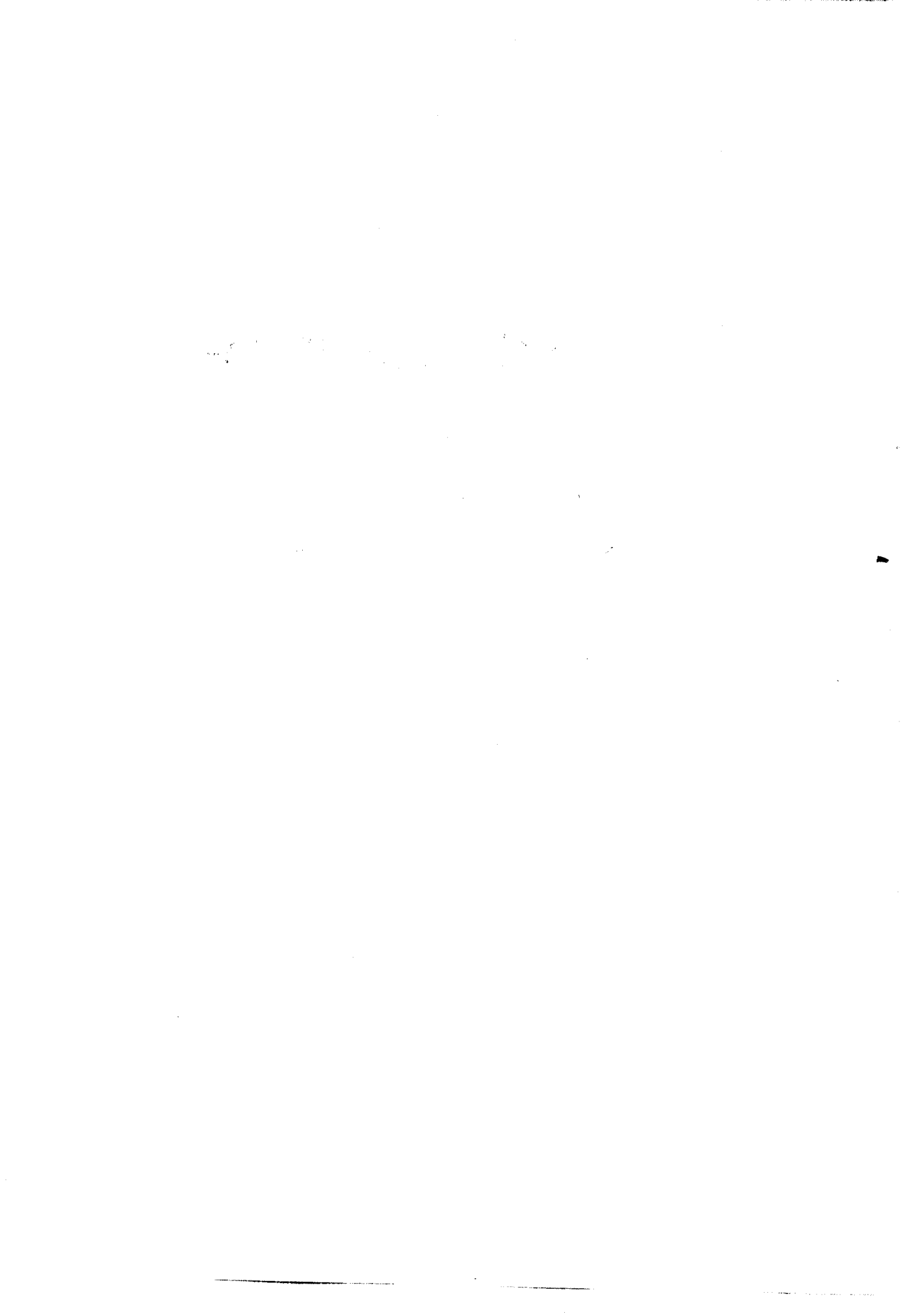
侯东海  
杨寿夜

第 3 章 张肖志 (郑州机械研究所)

侯东海  
张元国

第 4 章 冯澄宙 (郑州工业大学)

侯东海  
张元国



# 第 1 章 圆柱齿轮的测绘

## 1 概述

在冶金、矿山、电站、石化、车辆、船舶和航空航天等工程中,有许多齿轮装置是从国外引进的,尤其是大型成套设备上的齿轮装置,其设计及制造水平较高。对这些齿轮装置进行解体测绘,有助于消化、吸收国外先进技术,提高我国齿轮设计、工艺、制造及装配水平,促进我国引进设备的国产化,同时对引进生产线的维护和正常运行提供保障。

齿轮测绘是一项较复杂的工作,首先必须了解被测齿轮箱的应用场合、负荷大小、速度高低、润滑油的参数、润滑方式、材料与热处理工艺和齿面强化工艺等,还要了解是哪个国家、什么厂家及什么年代生产的齿轮箱,采用什么标准设计制造,是米制还是英制齿轮等。测绘的目的是在了解上述情况的基础上,根据齿轮箱及齿轮副实物,采用必要的计量手段,通过对已知参数和测量的参数的分析计算,最终确定出齿轮的基本参数和工艺,如:齿数  $z$ 、法向模数  $m_n$ 、法向压力角  $\alpha_n$ 、分度圆螺旋角  $\beta$ 、齿顶高系数  $h_a^*$ 、法向变位系数  $x_n$ 、中心距  $a$ 、齿轮副的顶隙、侧隙、齿轮材料与热处理工艺、精度、齿面硬度、切齿方法及工艺路线等。

通过测绘达到比较准确地描绘出齿轮副原设计的本来面目,从而能够重新生产或研制出该齿轮副的目的。

## 2 渐开线圆柱齿轮的测绘

### 2.1 直齿圆柱齿轮的测绘

#### 2.1.1 直齿圆柱齿轮的参数测量

(1) 齿数和齿宽 被测齿轮的齿数  $z_1$  和  $z_2$  可直接数出。

被测齿轮的齿宽可用游标卡尺测出。

(2) 中心距  $a$  中心距的测量是比较关键的,因为中心距  $a$  的测量精度将直接影响齿轮副的测绘结果,必须准确地测出齿轮副的实际中心距。

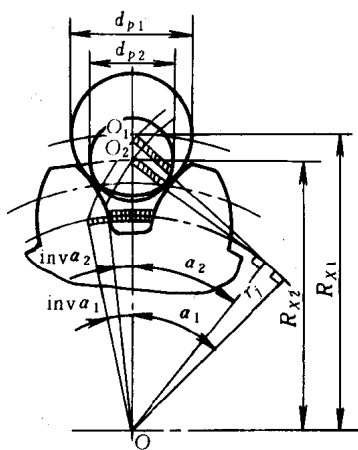
测量中心距时,可直接测量两齿轮轴或对应的两箱体孔间的距离,再测出轴或孔的直径,通过换算得到中心距。以上的测量均需反复测量,还要测出轴和箱体孔的圆度、圆柱度及轴线间的平行度,它们对换算中心距都有影响。测轴径或孔径应分别采用外径千分尺和

内径千分尺,测轴或孔间距离可采用精密游标卡尺。

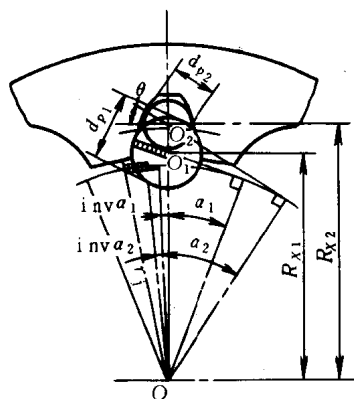
(3) 公法线长度  $W_k$  和基节  $p_b$  通过测量公法线长度基本上可确定模数和压力角。在测量公法线长度时,需注意选择适当的跨齿数进行测量,一般要在相邻齿上多测几组数据,以便比较选择。

对于直齿和斜齿圆柱齿轮,可用公法线千分尺或精密游标卡尺测出两相邻齿公法线长度  $W_k$  和  $W_{k+1}$  ( $k$  为跨齿数),则基节  $p_b$  为

$$p_b = W_{k+1} - W_k \quad (14.1-1)$$



a)



b)

图 14.1-1 用跨棒或跨球法测公法线长度

- a) 用圆棒(钢球)测量外齿轮基节
- b) 用圆棒(钢球)测量内齿轮基节

对于齿宽较窄的外斜齿 ( $b < \frac{4m_n}{\sin\beta}$ ) 或人字齿 (或齿数较少的内、外直齿), 其公法线不能直接测量时, 可通过跨棒或跨球 (斜齿只能用跨球) 方法来测量, 从而通过必要的计算求得  $p_b$ , 见图 14.1-1。

采用两组不同直径的圆棒 (或钢球), 即  $d_{p2}$  和  $d_{p1}$ , 分别测量圆棒 (或钢球) 中心至齿轮中心的距离  $R_x$  值, 并计算  $\Delta d_p$ , 即

$$\Delta d_p = d_{p2} - d_{p1} = \pm 2r_b \left[ \operatorname{inv} \left( \arccos \frac{r_b}{R_{x2}} \right) - \operatorname{inv} \left( \arccos \frac{r_b}{R_{x1}} \right) \right] \quad (14.1-2)$$

式中 “+” 号用于外啮合, “-” 号用于内啮合。

计算时, 要先假设不同的模数  $m$  及分度圆压力角  $\alpha$  的组合, 查出对应于基节表 (见表 14.1-4) 中的不同  $p_b$ , 再由  $r_b = \frac{z p_b}{2\pi}$ , 算出不同的  $r_b$ , 然后分别代入上式进行试算, 若等式两边趋于相等, 则这组对应的  $m$  和  $\alpha$  即为所求的模数和压力角。

当被测齿轮齿数为奇数时, 其外 (内) 齿的  $R_x$  值可通过以下的测量与计算 (见图 14.1-2~4)。

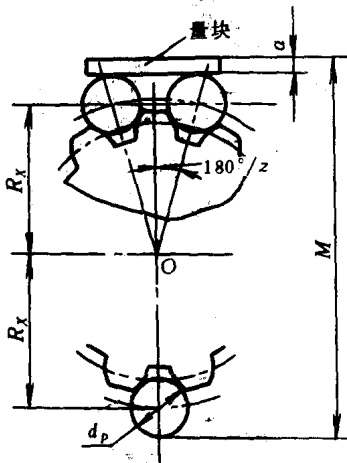


图 14.1-2 奇数齿外齿轮测量

1) 奇数外齿 由图 14.1-2 可知

$$R_x = \frac{M - d_p - a}{1 + \cos \frac{180^\circ}{z}} \quad (14.1-3)$$

2) 奇数内齿 由图 14.1-3 可知

$$R_x = \frac{M + d_p + a}{1 + \cos \frac{180^\circ}{z}} \quad (14.1-4)$$

或由图 14.1-4 得到

$$R_x = \frac{M + d_p + a + b}{\cos \frac{180^\circ}{z} + \cos \frac{360^\circ}{z}} \quad (14.1-5)$$

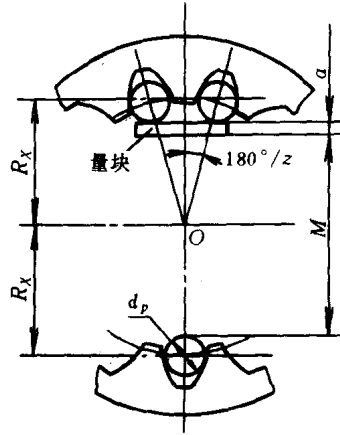


图 14.1-3 奇数齿内齿轮测量

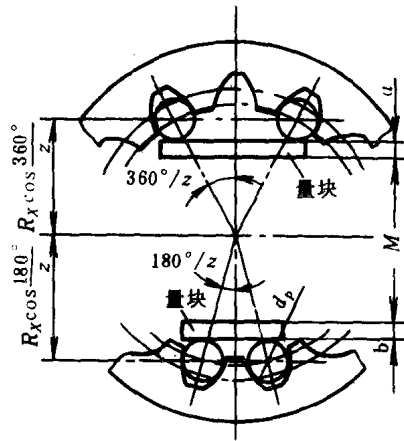


图 14.1-4 奇数齿内齿轮测量

圆棒 (球) 直径  $d_p$  推荐值为

外直齿:  $d_p = 1.68m$

内直齿:  $d_p = 1.476m$

斜齿:  $d_p = 1.75m_n$  (钢球直径)

选用的圆棒 (球) 的直径  $d_{p2}$  与  $d_{p1}$  之差要尽量大些, 一般控制在 0.5~3mm 之内, 以减少测量误差对结果的影响。但球或棒与齿廓的接触点一定要控制在齿廓的渐开线部位上。

(4) 齿顶圆直径与齿根圆直径 用精密游标卡尺或螺旋千分尺测量齿顶圆直径  $d_{a1}$  和  $d_{a2}$ , 在不同的径向方位上测几组数据, 取其平均值。

当被测齿轮的齿数为奇数时, 不能直接测出齿顶圆直径, 可先测得图 14.1-5 中的  $D$  值, 通过式 (14.1-6) 或式 (14.1-7) 计算求得齿顶圆直径  $d_a$ 。

$$1) \quad d_a = D \sec^2 \theta \quad (14.1-6)$$

式中  $\theta = \arctan \frac{b}{2D}$

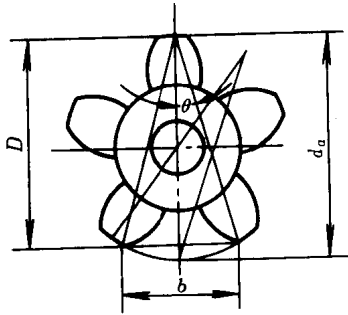


图 14.1-5 齿顶圆直径的测量

2) 近似算法为

$$d_a = D \sec \frac{90^\circ}{z} \quad (14.1-7)$$

当测绘带内孔的奇数齿齿轮时, 可通过测量内孔直径  $d$  和内孔壁到齿顶的距离  $H_1$  来确定  $d_a$  以及通过测量内孔直径  $d$  与由内孔壁到齿根的距离  $H_2$  确定  $d_f$ , 由图 14.1-6 可知

$$d_a = d + 2H_1 \quad (14.1-8)$$

$$d_f = d + 2H_2 \quad (14.1-9)$$

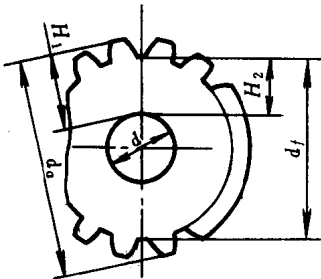


图 14.1-6 用精密游标卡尺测齿高

(5) 全齿高 可用深度尺直接测出全齿高  $h$ , 也可以通过测量齿顶和齿根到齿轮内孔(或轴径)的距离, 换算得到  $h$  (见图 14.1-6)。

通过对全齿高的测量及计算, 可以判断齿轮的变位形式, 确定齿顶高系数, 并判别模数制还是径节制。

(6) 齿侧间隙及齿顶间隙 为了保证齿轮副能进行正常啮合运行, 齿轮副需要有一定的侧隙及顶隙。

$$\text{理论侧隙 } j = (W_{k1} - W_{k1}') + (W_{k2} - W_{k2}')$$

$$\text{理论顶隙为 } c \cdot m$$

工业现场往往用压铅法测出齿轮副的静态啮合侧隙及顶隙。

(7) 齿面硬度、材料及热处理方式

通过硬度计可测出齿面的硬度。

根据齿面硬度及肉眼观察齿部表面, 确定其热处理方式。

齿轮材料的测定, 可在齿轮不重要部位钻孔取样进行材料化学成分分析, 确定齿轮材质。

(8) 其他测量

1) 精度 对于重要的齿轮, 在条件许可情况下, 可用齿轮测量仪器测量轮齿的精度, 但应考虑齿面磨损情况, 酌情确定齿轮的精度等级。

2) 齿面粗糙度 可用粗糙度测量仪测出齿面粗糙度。

3) 修形 对于高速齿轮与重载齿轮, 还应在实测的齿廓与齿向误差数值基础上检查齿面是否有修形设计。

### 2.1.2 直齿圆柱齿轮基本参数的确定

齿轮测绘中, 有些参数可直接测定给出, 有的齿轮参数(如模数、变位系数等)必须通过计算判断及比较才能合理确定。

(1) 模数、压力角的确定 模数在测量时无法直接确定。在英制计算体系中是采用径节制, 模数  $m$  与径节  $P$  的关系为  $m = 25.4/P$ , 表 14.1-1 为世界主要采用模数制国家的系列标准, 表 14.1-2 为径节系列标准。

表 14.1-1 世界主要采用模数制国家的系列标准模数

国 别	ISO	中 国	苏 联	德 国	捷 克	法 国	日 本
标准号	ISO	GB	ГОСТ	DIN	CSNO	NFE	JIS B
模 数	54—1996	1357—87	9563—60	780	14608	23—011	701—63
0.1		*	*	*			*
0.12		*					
0.15		*	*				*
0.2		*	*	*	*		*
0.25		*	*	*	*		*
0.3		*	*	*	*		*
0.35		*	*	*			*
0.4		*	*	*	*		*
0.45			*	*			*
0.5		*	*	*	*	*	*
0.55			*	*		*	*

(续)

国 别	ISO	中 国	苏 联	德 国	捷 克	法 国	日 本
标准号	ISO	GB	ГОСТ	DIN	ČSNO	NFE	JIS B
模 数	54—1996	1357—87	9563—60	780	14608	23—011	701—63
0.6		*	*	*	*	*	*
0.65				*			*
0.7		*	*	*	○	*	*
0.8		*	*	*	*	*	*
0.9		*	*	*	○	*	*
1.0	*	*	*	*	*	*	*
1.125	○		*	*		*	
1.25	*	*	*	*	*	*	*
1.375	○		*	*		*	
1.5	*	*	*	*	*	*	*
1.75	○	*	*	*	*	*	*
2.0	*	*	*	*	*	*	*
2.25	○	*	*	*	*	*	*
2.5	*	*	*	*	*	*	*
2.75	○	*	*	*	*	*	*
3	*	*	*	*	*	*	*
3.25		○		*	○		*
3.5	○	*	*	*	*	*	*
3.75		○		*	○		*
4	*	*	*	*	*	*	*
4.25							*
4.5	○	*	*	*	*	*	*
4.75				*			*
5	*	*	*	*	*	*	*
5.25				*			*
5.5	○	*	*	*	○	*	*
5.75				*			*
6	*	*	*	*	*	*	*
6.25				*			*
6.5	(○)	○		*	○		*
6.75				*			*
7	○	*	*	*	*	*	*
7.5				*			*
8	*	*	*	*	*	*	*
8.5				*			*
9	○	*	*	*	*	*	*
9.5				*			*
10	*	*	*	*	*	*	*
11	○	*	*	*	○	*	*
12	*	*	*	*	*	*	*
13				*	○		*
14	○	*	*	*	*	*	*
15				*	○		*
16	*	*	*	*	*	*	*
18	○	*	*	*	*	*	*
20	*	*	*	*	*	*	*
22	○	*	*	*	*	*	*
24				*			*
25	*	*	*	*		*	*
27				*			*
28	○	*	*	*			*
30				*			*
32	*	*	*	*			*
33				*			*
36	○	*	*	*			*
39				*			*
40	*	*	*	*			*
42				*			*
45	○	*	*	*			*
50	*	*	*	*			*
55			*	*			*
60			*	*			*

注：\* 为应用的模数，○为尽可能不用的模数。

表 14.1-2 径节系列标准

径节系列 P	1	双模数系列 $m_1/m_2$ ( $m_1$ 计算分度圆直径用; $m_2$ 计算齿高用)	1.5 1.25	双径节系列 $P_1/P_2$ ( $P_1$ 计算分度圆直径用; $P_2$ 计算齿高用)	$\frac{3}{4}$
	$1\frac{1}{4}$		$\frac{4}{5}$		
	$1\frac{1}{2}$		$\frac{5}{7}$		
	$1\frac{3}{4}$		$\frac{2}{1.75}$		$\frac{6}{8}$
	2		$\frac{2.25}{1.75}$		$\frac{7}{9}$
	$2\frac{1}{4}$		2.5 2		$\frac{8}{10}$
	$2\frac{1}{2}$		$\frac{2.75}{2}$		$\frac{9}{11}$
	$2\frac{3}{4}$		$\frac{3}{2.25}$		$\frac{10}{12}$
	3		$\frac{3.25}{2.5}$		$\frac{11}{14}$
	$3\frac{1}{2}$		3.5 2.5		$\frac{12}{14}$
	4		$\frac{3.75}{2.75}$		$\frac{14}{18}$
	5		$\frac{4}{3}$		$\frac{16}{21}$
	6		$\frac{4.5}{3.25}$		$\frac{18}{24}$
	7		5 3.75		$\frac{20}{26}$
	8		$\frac{5.5}{4}$		$\frac{22}{29}$
	9		$\frac{6}{4.5}$		$\frac{24}{32}$
	10		$\frac{6.5}{5}$		$\frac{26}{35}$
	11		$\frac{7.5}{5.5}$		$\frac{28}{37}$
	12		$\frac{8}{6.5}$		$\frac{30}{40}$
	14				$\frac{32}{42}$
	16				$\frac{34}{45}$
	18				$\frac{36}{48}$
	20				$\frac{38}{50}$
	22				$\frac{40}{54}$
	24				
	26				
	28				
	30				

$$m = \frac{d_a}{z + 2h_a^*} \quad (14.1-10)$$

$$P = 25.4 \frac{(z + 2h_a^*)}{d_a} \quad (14.1-11)$$

式中  $h_a^*$  见表 14.1-3, 模数及径节见表 14.1-1 和表 14.1-2。

根据上式计算出来的值, 如果  $m$  值是标准值, 则该齿轮为模数制; 如果  $P$  值是标准值, 则该齿轮为径节制。否则, 这个齿轮可能为变位齿轮。

2) 用基节  $p_b$  来确定模数  $m$  和压力角  $\alpha$

$$m = \frac{p_b}{\pi \cos \alpha} \quad (14.1-12)$$

米制齿轮的压力角通常为  $20^\circ$ 、 $14.5^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $17.5^\circ$ 、 $22.5^\circ$ 、 $25^\circ$  和  $30^\circ$  等。

英制齿轮压力角通常为  $20^\circ$ 、 $14.5^\circ$ 、 $15^\circ$ , 其次是  $16^\circ$ 、 $17^\circ$ 、 $17.5^\circ$  和  $22.5^\circ$  等。

可通过计算或查基节表 (表 14.1-4) 确定合理的模数和压力角。

公式中, 基节只与模数和压力角有关, 而且模数和压力角已标准化, 所以用基节来确定模数是比较准确的。

(2) 齿顶高系数  $h_a^*$  和顶隙系数  $c^*$  在确定模数的同时也确定了齿顶高系数  $h_a^*$ 。若  $h_a^*$  不接近 1, 就有可能是变位齿轮, 若  $h_a^*$  接近于 0.8, 还可能是短齿齿形。当然, 要注意接近于 1 也还可能是短齿变位齿轮。

顶隙系数  $c^*$  可根据全齿高按下式计算

$$c^* = \frac{h}{m} - 2h_a^* \quad (14.1-13)$$

计算出  $c^*$  值后再按表 14.1-3 套用标准值。

(3) 变位系数的确定 齿轮副分为标准齿轮和变位齿轮两种, 而变位齿轮又分为高度变位和角度变位。

当  $a' = a$ , 且  $d_a' = d_a$  时, 为标准齿轮副

当  $a' = a$ , 且  $d_a' \neq d_a$  时, 为高度变位齿轮副

当  $a' \neq a$  时, 为角度变位齿轮副

式中  $a'$ ——实测中心距;

$a$ ——理论中心距。

1) 标准齿轮副

$$x_1 = x_2 = 0 \quad (14.1-14)$$

2) 高度变位齿轮副 ( $x_1 + x_2 = 0$ )

$$x_1 = \frac{1}{4} \left( \frac{d_{a1}' - d_{a2}'}{m} - z_1 + z_2 \right) \quad (14.1-15)$$

或 
$$x_1 = \frac{d_{a1}' - d_a}{2m}$$

$$x_2 = -x_1$$

式中  $d_{a1}'$ 、 $d_{a2}'$ ——实测小、大轮齿顶圆直径;

$d_{a1}$ ——理论的标准小轮齿顶圆直径。

1) 通过实测的顶圆直径  $d_a$ , 齿数  $z$  和齿顶高来判断该传动齿轮副是模数制还是径节制, 并可初步确定该值, 即



表 14.1-3 世界主要国家圆柱齿轮基准齿形基本参数

国 别	齿形种类	标 准 号	$m$ 或 $p$	$\alpha$	$h_a^*$	$c^*$	$p_f$	备 注
国际标准化组织	标准齿形	ISO R53—1998	$m$	20°	1	0.25	0.38 $m$	
中 国	标准齿形	GB 1356—88	$m$	20°	1	0.25	0.38 $m$	
	短齿齿形	GB 1356—88	$m$	20°	0.8	0.30		
前苏联	标准齿形	ГОСТ 13755—68	$m$	20°	1	0.25	0.4 $m$	
	短齿齿形	ГОСТ 13755—68	$m$	20°	0.8	0.30		
	旧标准齿形	ОСТ BKC 6922	$m$	20°	1	0.20		
美 国	标准齿形	ASA B6.1—1932	$P$	14.5°	1	0.157	$\frac{0.157}{P}$	
	标准复合齿形	ASA B6.1—1932	$P$	14.5°	1	0.157	$\frac{0.2}{P}$	
	标准齿形	ASA B6.1—1932	$P$	20°	1	0.157	$\frac{0.3}{P}$	
	短齿齿形	ASA B6.1—1932	$P$	20°	0.8	0.2		
	标准齿形	ASA B6.1—1968	$P$	20°	1	0.4		>P20 剃齿法
	标准齿形	ASA B6.1—1968	$P$	25°	1	0.4		>P20 剃齿法
	标准齿形	ASA B6.19	$P$	20°	1	0.2 0.35		<P20 剃齿法
瑞 士	标准齿形	VSM 15520	$m$	20°	1	0.25 0.167		用于磨齿法
	马格齿形		$m$	15°	1	0.167		
	马格齿形		$m$	20°	1	0.167		
联邦德国	标准齿形	DIN 867	$m$	20°	1	0.1~0.3		
	短齿齿形		$m$	20°	0.8	0.1~0.3		
	旧标准齿形		$m$	15°	1	0.167		
捷 克	标准齿形	CSNO 14607	$m$	20°	1	0.25		
	标准齿形	CSNO 14607	$m$	15°	1			
英 国	A 级复合齿形	BSS 436—1940	$P$	20°	1	0.44		
	A、B、C、D 级复合齿形	BSS 436—1940	$P$	20°	1	0.25		
	标准齿形		$P$	14.5°	1	0.157		
	短齿齿形		$P$	20°	0.8	0.30		
	标准齿形		$P$	20°	1	0.35		
法 国	标准齿形	NF E23—011	$m$	20°	1	0.25	0.4 $m$	
	短齿齿形		$m$	20°	0.75	0.20		
日 本	标准齿形	JIS B1701—63	$m$	20°	1	0.25		
	短齿齿形	JIS B1701—63	$m$	14.5°	1	0.25		

表 14.1-4 基圆齿距  $p_b = \pi m \cos \alpha$  数值表

(mm)

$m$	$P$	$\alpha$						
		25°	22.5°	20°	17.5°	16°	15°	14.5°
1	25.4000	2.847	2.902	2.952	2.996	3.020	3.035	3.042
1.058	24	3.012	3.071	3.123	3.170	3.195	3.211	3.218
1.155	22	3.289	3.352	3.410	3.461	3.488	3.505	3.513
1.25	20.3200	3.559	3.628	3.690	3.745	3.775	3.793	3.802
1.270	20	3.616	3.686	3.749	3.805	3.835	3.854	3.863
1.411	18	4.017	4.095	4.165	4.228	4.261	4.282	4.292
1.5	16.9333	4.271	4.354	4.428	4.494	4.530	4.552	4.562
1.588	16	4.521	4.609	4.688	4.758	4.796	4.819	4.830
1.75	14.5148	4.983	5.079	5.166	5.243	5.285	5.310	5.323
1.814	14	5.165	5.265	5.355	5.435	5.478	5.505	5.517
2	12.7000	5.694	5.805	5.904	5.992	6.040	6.069	6.083
2.117	12	6.028	6.144	6.250	6.343	6.393	6.424	6.439
2.25	11.2889	6.406	6.531	6.642	6.741	6.795	6.828	6.843
2.309	11	6.574	6.702	6.816	6.918	6.973	7.007	7.023
2.5	10.1600	7.118	7.256	7.380	7.490	7.550	7.586	7.604
2.540	10	7.232	7.372	7.498	7.610	7.671	7.708	7.725
2.75	9.2364	7.830	7.982	8.118	8.240	8.305	8.345	8.364
2.822	9	8.035	8.191	8.331	8.455	8.522	8.563	8.583
3	8.4667	8.542	8.707	8.856	8.989	9.060	9.104	9.125
3.175	8	9.040	9.215	9.373	9.513	9.588	9.635	9.657
3.25	7.8154	9.254	9.433	9.594	9.738	9.815	9.862	9.885
3.5	7.2571	9.965	10.159	10.332	10.487	10.570	10.621	10.645
3.629	7	10.333	10.533	10.713	10.873	10.959	11.012	11.038
3.75	6.7733	10.677	10.884	11.070	11.286	11.325	11.380	11.406
4	6.3500	11.389	11.610	11.809	11.986	12.080	12.138	12.166
4.233	6	12.052	12.286	12.496	12.683	12.783	12.845	12.875
4.5	5.6444	12.813	13.061	13.285	13.483	13.590	13.665	13.687
5	5.0800	14.236	14.512	14.761	14.981	15.099	15.173	15.208
5.08	5	14.464	14.744	15.000	15.211	15.341	15.415	15.451
5.5	4.6182	15.660	15.963	16.237	16.479	16.609	16.690	16.728
5.644	4.5	16.070	16.381	16.662	16.910	17.044	17.127	17.166
6	4.2383	17.083	17.415	17.713	17.977	18.119	18.207	18.249
6.350	4	18.080	18.431	18.746	19.026	19.176	19.269	19.314
6.5	3.9077	18.507	18.866	19.189	19.475	19.629	19.724	19.770
7	3.6286	19.931	20.317	20.665	20.973	21.139	21.242	21.291
7.257	3.5	20.662	21.063	21.242	21.743	21.915	22.022	22.072

(续)

m	P	$\alpha$						
		25°	22.5°	20°	17.5°	16°	15°	14.5°
8	3.175	22.778	23.220	23.617	23.969	24.159	24.276	24.332
8.467	3	24.108	24.575	24.996	25.369	25.569	25.693	25.573
9	2.8222	25.625	26.112	26.569	26.966	27.179	27.311	27.374
9.236	2.75	26.297	26.807	27.266	27.673	27.892	28.027	28.092
10	2.54	28.472	29.025	29.521	29.962	30.199	30.345	30.415
10.160	2.5	28.928	29.489	30.000	30.441	30.682	30.831	30.902
11	2.3091	31.320	31.927	32.473	32.958	33.219	33.380	33.457
11.289	2.25	32.143	32.766	33.327	33.824	34.092	34.257	34.336
12	2.1167	34.167	34.829	35.426	35.954	36.329	36.414	36.498
12.700	2	36.160	36.861	37.492	38.052	38.353	38.539	38.627
13	1.9538	37.014	37.732	38.378	38.950	39.259	39.449	39.540
14	1.8143	39.861	40.634	41.330	41.947	42.278	42.484	42.581
14.514	1.75	41.325	42.126	42.847	43.487	43.831	44.043	44.145
15	1.6933	42.709	43.537	44.282	44.943	45.298	45.518	45.623
16	1.5875	45.556	46.439	47.234	47.939	48.318	48.553	48.665
16.933	1.5	48.212	49.147	49.989	50.734	51.136	51.384	51.502
18	1.4111	51.250	52.244	53.139	53.931	54.358	54.622	54.748
20	1.2700	56.945	58.049	59.043	59.924	60.398	60.691	60.831
20.320	1.25	57.856	58.978	59.987	60.883	61.364	61.662	61.804
22	1.1545	62.639	63.854	64.947	65.916	66.438	66.760	66.914
25	1.0160	71.181	72.561	73.803	74.905	75.497	75.864	76.038
25.4	1	72.320	73.722	74.984	76.103	76.705	77.077	77.255

3) 角度变位齿轮副 ( $x_1 + x_2 \neq 0$ ) 变位系数的计算步骤如下:

a. 求角度变位后的啮合角  $\alpha'$

$$\alpha' = \arccos\left(\frac{a}{a'} \cos \alpha\right) \quad (14.1-16)$$

b. 求变位系数之和  $x_2$

$$x_2 = \frac{z_2}{2 \tan \alpha} (\operatorname{inv} \alpha' - \operatorname{inv} \alpha) \quad (14.1-17)$$

c. 求中心距变动系数  $y$

$$y = \frac{a' - a}{m} \quad (14.1-18)$$

d. 求齿顶高变动系数  $\Delta y$

$$\Delta y = x_2 - y \quad (14.1-19)$$

e. 按齿顶圆直径计算变位系数

$$x_1 = \frac{1}{4} \left( \frac{d_{a1} - d_{a2}}{m} - z_1 + z_2 + 2x_2 \right) \quad (14.1-20)$$

$$x_2 = x_2 - x_1 \quad (14.1-21)$$

通过上述计算并圆整的变位系数再以其计算两轮齿顶圆直径、公法线长度及中心距,从而核对所确定的变位系数的准确程度。

也可通过实测齿轮的公法线长度来计算变位系数,即

$$x_1 = \frac{W'_{k1} - W_k}{2m \sin \alpha} \quad (14.1-22)$$

式中  $W'_{k1}$ ——实测公法线长度;

$W_k$ ——非变位齿轮的公法线长度。

这种处理方法也受到一些因素的影响,如啮合侧隙、轮齿的磨损、制造及测量的误差等都会影响变位系数的准确性。因此,也只能作为一种参考数据。通过上述几种计算方法算出的变位系数要进行圆整,一般情况下圆整到小数点后3位即可,当被测齿轮的模数很大时,圆整的位数还要多一些,位数的多少以通过对中

心距  $a$ 、齿顶圆  $d_a$  及公法线长度  $W$  的验算均符合要求为止。

在特殊情况下,如齿轮副的中心距很大、放射性或高温等特定场合人无法接近或齿轮箱正在运行无法开箱检测时,只能对齿轮备件测绘,可通过下式近似估算啮合角  $a'$ ,并判断变位形式,即

$$\operatorname{inv} a' = \left[ \frac{W'_{k_1} + W'_{k_2} + 2\Delta}{p_b} - (k_1 + k_2 - 1) \right] \frac{\pi}{z_x} \quad (14.1-23)$$

式中  $W'_{k_1}$ 、 $W'_{k_2}$ ——两齿轮公法线长度;

$k_1$ 、 $k_2$ ——跨齿数;

$\Delta$ ——齿厚的减薄量,一般为 0.08~0.25mm。

若试算出的啮合角  $a' = a$ ,可视为标准啮合或高度变位;若  $a' \neq a$ ,相差很大,即为角度变位。这种方法只适用于齿轮备件为新的或没有很大磨损时。

(4) 其他计算

1) 公法线长度  $W_k$  及跨齿数  $k$

$$k = \frac{z}{180^\circ} \arccos \left( \frac{z \cos a}{z + 2x} \right) + 0.5 \quad (14.1-24)$$

$$W_k = m \cos a [(k - 0.5)\pi + z \operatorname{inv} a] + 2m x \sin a \quad (14.1-25)$$

当被测齿轮的齿厚和齿槽不等时,其公法线长度不能按上式计算,应按下式计算:

$$W_k = k' p_b + \bar{s} \cos a + d_b \cos \beta_b \operatorname{inv} a' + 2m x \sin a \quad (14.1-26)$$

式中  $k'$ ——跨齿槽数。

2) 固定弦齿高  $\bar{h}_c$  和固定弦齿厚  $\bar{s}_c$

$$\bar{s}_c = m \cos^2 a \left( \frac{\pi}{2} + 2x \tan a \right) \quad (14.1-27)$$

$$\bar{h}_c = \frac{d_a - d}{2} - \frac{1}{2} \bar{s}_c \tan a \quad (14.1-28)$$

3) 跨棒(球)距  $M$  圆棒(球)中心所在圆的压力角  $a_M$

$$\operatorname{inv} a_M = \operatorname{inv} a + \frac{d_p}{d \cos a} + \frac{2x \tan a}{z} - \frac{\pi}{2z} \quad (14.1-29)$$

$M$  值为

$z$  为偶数时

$$M = \frac{d_b}{\cos a_M} + d_p = \frac{m z \cos a}{\cos a_M} + d_p \quad (14.1-30)$$

$z$  为奇数时

$$M = \frac{d_b}{\cos a_M} \cos \frac{90^\circ}{z} + d_p = \frac{m z \cos a}{\cos a_M} \cos \frac{90^\circ}{z} + d_p \quad (14.1-31)$$

关于直齿圆柱齿轮的测绘步骤,可参照表 14.1-5 进行。

## 2.1.3 直齿圆柱齿轮的测绘实例

### 1. 冶金矿山齿轮的测绘

某钢厂卷扬机传动箱内的一对直齿外啮合平行轴渐开线齿轮的测绘。

(1) 实测数据

$z = 23$ ,  $d'_{a1} = 154.48\text{mm}$ ,  $W'_3 = 47.65\text{mm}$ ,  $W'_4 = 65.33\text{mm}$ ;  $z_2 = 121$ ,  $d'_{a2} = 739.022\text{mm}$ ,  $W'_{14} = 249.38\text{mm}$ ,  $W'_{15} = 267.08\text{mm}$ ,  $a' = 435\text{mm}$ 。

(2) 测绘数据处理

1) 计算基圆齿距

$$p_b = W'_4 - W'_3 = 65.33 - 47.65 = 17.68\text{mm}$$

$$p_b = W'_{15} - W'_{14} = 267.08 - 249.38 = 17.70\text{mm}$$

2) 确定模数  $m$  及压力角  $a$  由表 14.1-4 查得  $p_b = \pi m \cos a = 17.713\text{mm}$  时的模数及压力角分别为  $m = 6\text{mm}$ 、 $a = 20^\circ$  的米制齿轮。

3) 判断变位形式并求变位系数

$$a = \frac{m}{2} (z_1 + z_2) = \frac{6}{2} (23 + 121) = 432$$

$$a \neq a'$$

由  $a' \neq a$  说明该齿轮副为角度变位传动。

求啮合角  $a'$

$$a' = \arccos \left( \frac{a}{a'} \cos a \right)$$

$$= \arccos \left( \frac{432}{435} \cos 20^\circ \right) = 21^\circ 3' 32''$$

求变位系数和  $x_z$

$$x_z = \frac{z_1 + z_2}{2 \tan a} (\operatorname{inv} a' - \operatorname{inv} a)$$

$$= \frac{23 + 121}{2 \tan 20^\circ} (\operatorname{inv} 21^\circ 3' 32'' - \operatorname{inv} 20^\circ)$$

$$= 0.512745$$

求中心距变动系数  $y$

$$y = \frac{a' - a}{m} = \frac{435 - 432}{6} = 0.5$$

求齿顶高变动系数  $\Delta y$

$$\Delta y = x_z - y = 0.512745 - 0.5 = 0.012745$$

按齿顶圆直径计算变位系数

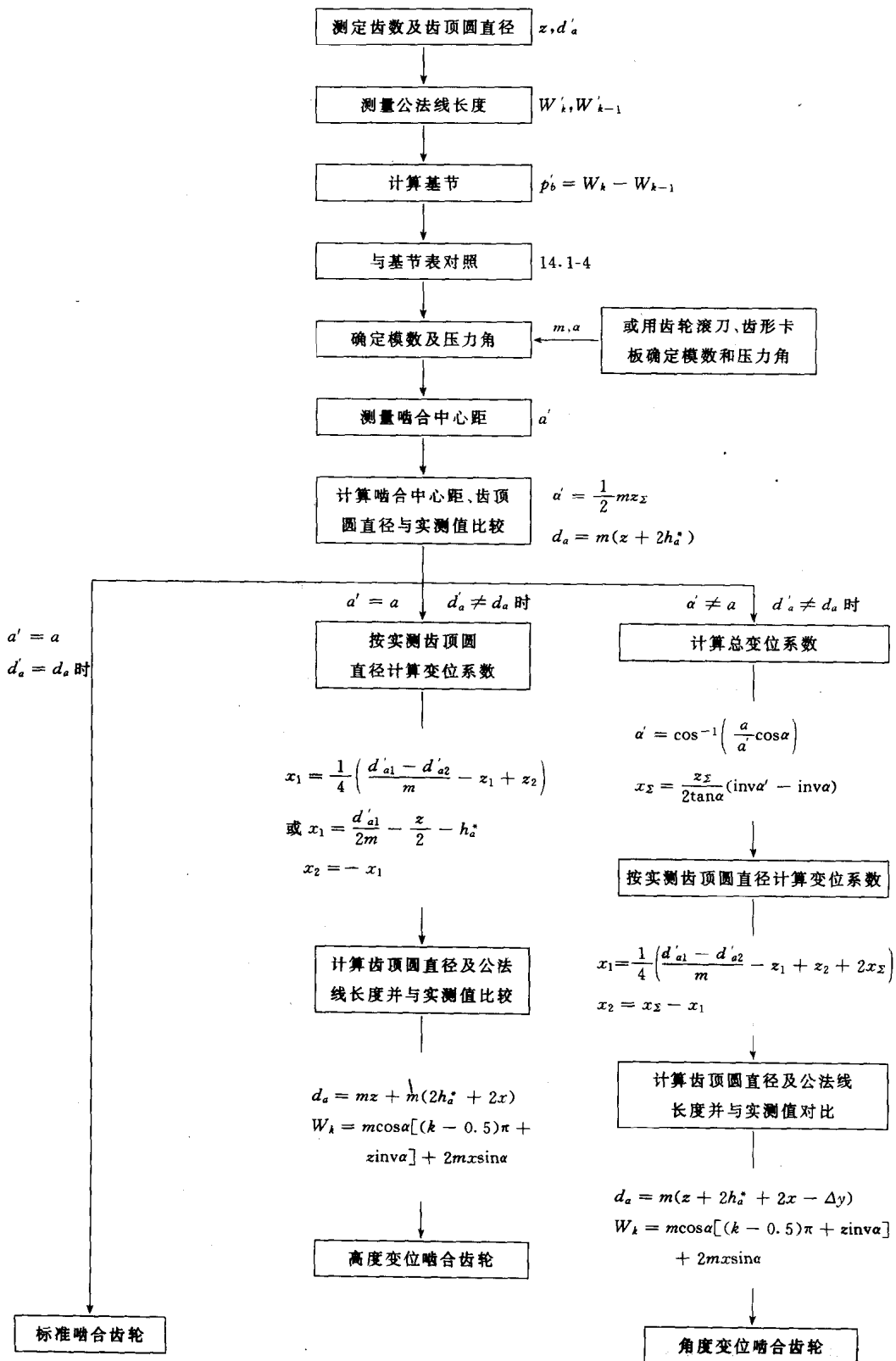
$$x = \frac{1}{4} \left( \frac{d'_{a1} - d'_{a2}}{m} - z_1 + z_2 + 2x_z \right)$$

$$= \frac{1}{4} \left( \frac{154.48 - 739.002}{6} - 23 + 121 + 2 \times 0.512745 \right) = 0.40035$$

取  $x_1 = 0.4$

则  $x_2 = x_z - x_1 = 0.5128 - 0.4 = 0.1128$

表 14.1-5 直齿圆柱齿轮测绘程序



4) 验算齿顶圆直径 按已确定的变位系数  $x_1$  和  $x_2$ , 验算齿顶圆直径, 取标准齿顶高系数  $h_a^* = 1$ 。

$$\begin{aligned} d_{a1} &= m(z_1 + 2h_a^* + 2x_1 - 2\Delta y) \\ &= 6(23 + 2 \times 1 + 2 \times 0.4 - 2 \times 0.0128) \\ &= 154.646 \text{ mm} \end{aligned}$$

比实测  $d'_{a1}$  (154.48mm) 大 0.166mm。

$$\begin{aligned} d_{a2} &= m(z_2 + 2h_a^* + 2x_2 - 2\Delta y) \\ &= 6(121 + 2 \times 1 + 2 \times 0.1128 - 2 \times 0.0128) \\ &= 739.20 \text{ mm} \end{aligned}$$

比实测  $d'_{a2}$  (739.022mm) 大 0.178mm。

5) 验算法线长度及减薄量 按已确定的变位系数  $x_1$  及  $x_2$ , 验算法线长度及减薄量。

$$\begin{aligned} W_3 &= m \cos \alpha [(k-0.5)\pi + z_1 \text{inv} \alpha] + 2x_1 m \sin \alpha \\ &= 6 \cos 20^\circ [(3-0.5)\pi + 23 \times 0.014904] + 2 \times \\ &\quad 0.4 \times 6 \sin 20^\circ = 47.855 \text{ mm} \end{aligned}$$

比实测  $W'_3$  (47.650mm) 大 0.205mm。

$$\begin{aligned} W_{14} &= m \cos \alpha [(k-0.5)\pi + z_2 \text{inv} \alpha] + 2x_2 m \sin \alpha \\ &= 6 \cos 20^\circ [(14-0.5)\pi + 121 \times 0.014904] + \\ &\quad 2 \times 0.1128 \times 6 \sin 20^\circ = 249.747 \text{ mm} \end{aligned}$$

比实测  $W'_{14}$  (249.38mm) 大 0.367mm。

6) 验算中心距  $a$  按已确定的  $x_1$  和  $x_2$ , 验算中心距  $a$ 。

$$\begin{aligned} \text{inv} \alpha' &= \frac{2 \tan \alpha}{z_2} + \text{inv} \alpha = \frac{2 \tan 20^\circ}{23 + 121} \times 0.5128 + \text{inv} 20^\circ \\ &= 0.01749628 \end{aligned}$$

可得  $\alpha' = 21^\circ 3' 27''$ 。

$$\begin{aligned} \Delta y &= \left[ \frac{\text{inv} \alpha' - \text{inv} \alpha}{2 \tan \alpha} - \frac{1}{2} \left( \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} - 1 \right) \right] z_2 \\ &= \left[ \frac{\text{inv} 21^\circ 3' 27'' - \text{inv} 20^\circ}{2 \tan 20^\circ} - \frac{1}{2} \left( \frac{\cos 20^\circ}{\cos 21^\circ 3' 27''} - 1 \right) \right] \\ &\quad (23 + 121) = 0.013456 \end{aligned}$$

$$y = x_2 - \Delta y = 0.5128 - 0.013456 = 0.4993444$$

$$a_c = a + m y = 432 + 6 \times 0.4993444 = 434.996 \text{ mm}$$

实测中心距为 435mm, 计算与实测只差 0.004mm。

## 2. 行星齿轮的测绘

某钢厂卷扬机传动箱内行星传动为单级的 NGW (直齿) 减速器中行星齿轮的测绘。

### (1) 实测数据

实测中心距  $a_c$  (太阳轮与行星轮) =  $a'_{cb}$  (行星轮与内齿轮) = 113.78mm。

太阳轮  $z_a = 24$ ,  $d'_{a_a} = 80.18 \text{ mm}$ ,  $W'_{a_3} = 24.12 \text{ mm}$ ,  $W'_{a_4} = 32.98 \text{ mm}$ 。

行星轮  $z_c = 50$ ,  $d'_{a_c} = 158.24 \text{ mm}$ ,  $W'_{c_6} = 51.78 \text{ mm}$ ,  $W'_{c_7} = 60.72 \text{ mm}$ 。

内齿轮  $z_b = 126$ ,  $d'_{a_b} = 374.3 \text{ mm}$ ,  $W'_{b_{14}} = 125.72 \text{ mm}$ 。

### (2) 测绘数据处理

#### 1) 计算基圆齿距 $p_b$

$$p_b = W'_{a_4} - W'_{a_3} = 32.98 - 24.12 = 8.86 \text{ mm}$$

$$p_b = W'_{c_7} - W'_{c_6} = 60.72 - 51.78 = 8.94 \text{ mm}$$

2) 确定模数  $m$  及压力角  $\alpha$  由表 14.1-4 查得  $p_b = \pi m \cos \alpha = 8.856 \text{ mm}$  时的模数及压力角分别为  $m = 3 \text{ mm}$ ,  $\alpha = 20^\circ$  的米制齿轮。

3) 判断变位形式并求变位系数 外啮合 (太阳轮与行星轮) 理论中心距  $a_{ac}$

$$a_{ac} = \frac{m}{2} z_\Sigma = \frac{3}{2} (24 + 50) = 111$$

$$a_{ac} < a'_{ac}$$

这说明该传动副为角度变位。

内啮合 (行星轮与内齿轮) 理论中心距  $a_{cb}$

$$a_{cb} = \frac{m}{2} (z_b - z_c) = \frac{3}{2} (126 - 50) = 114$$

$$a_{cb} > a'_{cb}$$

这也说明该传动副为角度变位。

求角度变位后的啮合角  $\alpha'$

$$\begin{aligned} \alpha'_{ac} &= \arccos \left( \frac{a_{ac}}{a'_{ac}} \cos \alpha \right) \\ &= \arccos \left( \frac{111}{113.78} \cos 20^\circ \right) = 23^\circ 32' 49'' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha'_{cb} &= \arccos \left( \frac{a_{cb}}{a'_{cb}} \cos \alpha \right) \\ &= \arccos \left( \frac{114}{113.78} \cos 20^\circ \right) = 19^\circ 41' 36'' \end{aligned}$$

求变位系数之和  $x_\Sigma$

$$\begin{aligned} x_{\Sigma ac} &= \frac{z_a + z_c}{2 \tan \alpha} (\text{inv} \alpha'_{ac} - \text{inv} \alpha) \\ &= \frac{24 + 50}{2 \tan 20^\circ} (\text{inv} 23^\circ 32' 49'' - \text{inv} 20^\circ) = 1.00754 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{\Sigma cb} &= \frac{z_b - z_c}{2 \tan \alpha} (\text{inv} \alpha'_{cb} - \text{inv} \alpha) \\ &= \frac{126 - 50}{2 \tan 20^\circ} (\text{inv} 19^\circ 41' 36'' - \text{inv} 20^\circ) \\ &= -0.07276 \end{aligned}$$

求中心距变动系数  $y$

$$y_{ac} = \frac{a'_{ac} - a_{ac}}{m} = \frac{113.78 - 111}{3} = 0.92667$$

$$y_{cb} = \frac{a'_{cb} - a_{cb}}{m} = \frac{113.78 - 114}{3} = -0.07333$$

求齿顶高变动系数  $\Delta y$

$$\begin{aligned} \Delta y_{ac} &= x_{\Sigma ac} - y_{ac} = 1.00754 - 0.92667 \\ &= 0.08087 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta y_{cb} &= x_{\Sigma cb} - y_{cb} = -0.07276 - (-0.07333) \\ &= 0.00057 \end{aligned}$$

按齿顶圆直径分配变位系数

$$x_a = \frac{1}{4} \left( \frac{d'_{aa} - d'_{ac}}{m} - z_a + z_c + 2x_{\Sigma ac} \right)$$

$$= \frac{1}{4} \left( \frac{80.18 - 158.24}{3} - 24 + 50 + 2 \right. \\ \left. \times 1.00754 \right) \approx 0.5$$

$$x_c = x_{\Sigma ac} - x_a = 1.00754 - 0.5 \approx 0.5$$

$$x_b = x_{\Sigma b} + x_c = -0.07276 + 0.5 \approx 0.43$$

4) 按确定的变位系数  $x_a$ 、 $x_c$  和  $x_b$  验算齿顶圆直径取标准齿顶高系数  $h_a^* = 1$ 。

$$d_{aa} = m(z_a + 2h_a^* + 2x_a - 2\Delta y_{ac})$$

$$= 3(24 + 2 \times 1 + 2 \times 0.5 - 2 \times 0.08087)$$

$$= 80.515 \text{ mm}$$

比实测  $d'_{aa}$  值大 0.33 mm。

$$d_{ac} = m(z_c + 2h_a^* + 2x_c - 2\Delta y_{ac})$$

$$= 3(50 + 2 \times 1 + 2 \times 0.5 - 2 \times 0.08087)$$

$$= 158.515 \text{ mm}$$

比实测  $d'_{ac}$  值大 0.27 mm。

$$d_{ab} = m(z_b - 2h_a^* + 2x_b - 2\Delta y_{cb})$$

$$= 3(126 - 2 \times 1 + 2 \times 0.43 - 2 \times 0.00057)$$

$$= 374.577 \text{ mm}$$

比实测  $d'_{ab}$  值大 0.28 mm。5) 按  $x_a$ 、 $x_c$  和  $x_b$  验算法线长度及减薄量

$$W_{a3} = m \cos \alpha [(k - 0.5)\pi + z \text{inv} \alpha] + 2x_a m \sin \alpha$$

$$= 3 \cos 20^\circ [(3 - 0.5)\pi + 24 \text{inv} 20^\circ] +$$

$$2 \times 0.5 \times 3 \sin 20^\circ = 24.175 \text{ mm}$$

比实测  $W'_{a3}$  值大 0.06 mm。

$$W_{c6} = 3 \cos 20^\circ [(6 - 0.5)\pi + 50 \text{inv} 20^\circ] +$$

$$2 \times 0.5 \times 3 \sin 20^\circ = 51.837 \text{ mm}$$

比实测  $W'_{c6}$  值大 0.06 mm。

$$W_{b14} = 3 \cos 20^\circ [(14 - 0.5)\pi + 126 \text{inv} 20^\circ] +$$

$$2 \times 0.43 \times 3 \sin 20^\circ = 125.738 \text{ mm}$$

比实测  $W'_{b14}$  值大 0.02 mm。6) 按  $x_a$ 、 $x_c$  和  $x_b$  验算中心距  $a$ 

a. 外啮合

$$\text{inv} \alpha'_{ac} = \frac{2 \tan \alpha}{z_{\Sigma}} x_{\Sigma ac} + \text{inv} \alpha$$

$$= \frac{2 \tan 20^\circ}{24 + 50} \times 1 + \text{inv} 20^\circ = 0.02475$$

得  $\alpha'_{ac} = 23^\circ 31' 38''$ 

$$\Delta y_{ac} = \left[ \frac{\text{inv} \alpha'_{ac} - \text{inv} \alpha}{2 \tan \alpha} - \frac{1}{2} \left( \frac{\cos \alpha'_{ac}}{\cos \alpha} - 1 \right) \right] z_{\Sigma ac}$$

$$= \left[ \frac{\text{inv} 23^\circ 31' 38'' - \text{inv} 20^\circ}{2 \tan 20^\circ} - \frac{1}{2} \left( \frac{\cos 20^\circ}{\cos 23^\circ 31' 38''} - 1 \right) \right] \times$$

$$(24 + 50) = 0.0799$$

$$y_{ac} = x_{\Sigma ac} - \Delta y_{ac} = 1.00754 - 0.0799$$

$$= 0.9276$$

$$\alpha'_{acc} (\text{计算值}) = \alpha_{ac} + m y_{ac} = 111 + 3 \times 0.9276$$

$$= 113.78 \text{ mm}$$

实测中心距与计算值完全相等。

b. 内啮合

$$\text{inv} \alpha'_{cb} = \frac{2 \tan \alpha}{z_{\Sigma}} x_{\Sigma cb} + \text{inv} \alpha_{cb}$$

$$= \frac{2 \tan 20^\circ}{126 - 50} \times (-0.07) + \text{inv} 20^\circ$$

$$= 0.01423353$$

$$\alpha'_{cb} = 19^\circ 42' 19''$$

$$\Delta y_{cb} = \left[ \frac{\text{inv} \alpha'_{cb} - \text{inv} \alpha_{cb}}{2 \tan \alpha} - \frac{1}{2} \left( \frac{\cos \alpha'_{cb}}{\cos \alpha_{cb}} - 1 \right) \right] z_{\Sigma cb}$$

$$= \left[ \frac{\text{inv} 19^\circ 42' 19'' - \text{inv} 20^\circ}{2 \tan 20^\circ} - \frac{1}{2} \left( \frac{\cos 20^\circ}{\cos 19^\circ 42' 19''} - 1 \right) \right]$$

$$(126 - 50) = 0.00054$$

$$y_{cb} = x_{\Sigma cb} - \Delta y_{cb} = -0.07276 - 0.00054$$

$$= -0.07222$$

$$\alpha'_{cbc} (\text{计算值}) = \alpha_{cb} - m y_{cb} = 114 + 3(-0.07222)$$

$$= 113.783 \text{ mm}$$

实测中心距比计算中心距小 0.003 mm。

## 2.2 斜齿圆柱齿轮的测绘

斜齿圆柱齿轮的测绘基本上与直齿圆柱齿轮相同。其不同点是轮齿倾斜一个角度,使轮齿具有端面及法面不同的两套参数。一般测绘计算是以标准渐开线齿形的端面参数为依据的,在测绘中还要穿插端面及法面参数的换算,这两套参数均与轮齿分度圆柱螺旋角  $\beta$  的余弦有关,容易搞混,测绘计算时应予注意。

斜齿轮的基本参数均以法面参数为标准值,斜齿轮测绘主要是采用适当的办法或使用必要的轮齿测量仪器,较准确地测出其分度圆柱螺旋角  $\beta$ ,以保证这两套参数测绘的准确度。

斜齿轮的端面与法面参数的关系为:

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta} \quad (14.1-32)$$

$$x_t = x_n \cos \beta \quad (14.1-33)$$

$$h_{at}^* = h_{an}^* \cos \beta \quad (14.1-34)$$

$$c_t^* = c_n^* \cos \beta \quad (14.1-35)$$

$$y_t = y_n \cos \beta \quad (14.1-36)$$

$$\Delta y_t = \Delta y_n \cos \beta \quad (14.1-37)$$

$$\tan \alpha_t = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} \quad (14.1-38)$$

2.2.1 斜齿圆柱齿轮的测绘方法

斜齿圆柱齿轮测绘步骤与直齿圆柱齿轮大致相同,主要是增加了螺旋角的测量,测量分度圆柱螺旋角  $\beta$  有以下几种方法。

(1) 一般测量方法

1) 滚印法 在齿轮的齿顶圆上涂上一层较薄的红丹,把白纸蒙在其上或使齿轮在纸上滚动,可得到较为清晰的压痕,见图 14.1-7。

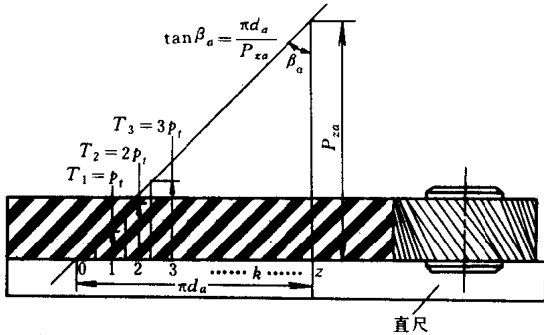


图 14.1-7 滚印法测螺旋角

根据顶圆螺旋角  $\beta_a$  和齿顶圆直径  $d_a$  等参数求分度圆柱螺旋角  $\beta$

$$\tan \beta_a = \frac{\pi d_a}{P_z} \quad (14.1-39)$$

$$\tan \beta = \frac{d}{d_a} \tan \beta_a \quad (14.1-40)$$

或  $\sin \beta = \pi m_n \frac{z}{P_z} = \pi m_n \frac{k}{P_{zk}}$

式中  $P_z$ ——轮齿导程;

$P_{zk}$ ——跨  $k$  个齿所对应的轴向齿距。

2) 滚珠—轴向齿距法 如图 14.1-8 所示,轴向齿距为

$$p_z = \frac{l - d_f}{k} \quad (14.1-41)$$

$$\sin \beta = \frac{\pi m_n}{p_z} \quad (14.1-42)$$

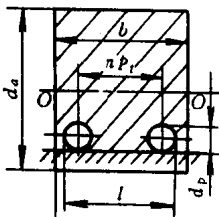


图 14.1-8 滚珠—轴向齿距法测螺旋角

上述方法的测量精度较低,只作为测绘粗略估算或参考用。

(2) 精确测量法

1) 在没有较好的测齿条件下,齿轮大小适中,可通过上述的粗略方法测得齿顶圆螺旋角  $\beta_a$  及齿顶圆  $d_a$ , 然后计算出轮齿的近似导程  $P'_z$

$$P'_z = \frac{\pi d_a}{\tan \beta_a} \quad (14.1-43)$$

可在较新的铣床或车床上配上分度头,也可在精度较高的滚齿机或螺纹加工机床上,根据  $P'_z$  选配交换齿轮,将被测齿轮安装后,用千分表压在齿面上,若工件旋转过程中,千分表的指针基本不动,则说明这个导程即为切制轮齿时的实际导程。若千分表指针摆动较大,表示  $\beta_a$  有误差,造成导程误差  $\Delta P_z$ 。(千分表压在齿面上的任意部位,尽管沿齿高各点齿面上螺旋角不同,但导程都是一样的,不影响测量结果)。

$$\Delta P_z = \frac{P_z'^2 \Delta e}{\pi d_a l - P_z' \Delta e} \quad (14.1-44)$$

式中  $\Delta P_z$ ——导程误差;

$P'_z$ ——近似导程;

$l$ ——测头相对齿轮的轴向位移;

$\Delta e$ ——千分表的读数。

实际导程  $P_z = P'_z \pm \Delta P_z$ , 表值增加取“-”号;表

值减少取“+”号。实际  $\beta_a$  值由式  $\cot \beta_a = \cot \beta'_a \pm \frac{\Delta P_z}{\pi d_a}$  算出。

经过反复的校准,即选配、更换不同的交换齿轮,最后得到校准的  $\beta_a$ , 然后再根据  $\tan \beta = \frac{d}{d_a} \tan \beta_a$  便可算出较准确的分度圆螺旋角  $\beta$ 。

2) 在精密台式仪器上,如用瑞士的 SP-60, PH-100……,前联邦德国的 OPTON LIMM500 等均可精确地直接测出分度圆螺旋角  $\beta$ 。

3) 大型精密齿轮(装在箱体中的或正在运转着的齿轮)在齿宽比较大时,可通过上置式或旁置式轴向齿距仪等较准确的测出  $\beta$  值。

注意:在齿轮测绘过程中,往往受到各种条件限制,很难把全部数据精确地测出来,如螺旋角等。在这种情况下,测绘仿制的齿轮副不能单件更换使用,只能成对使用。

斜齿轮公法线长度  $W_k$ 、跨齿数  $k$ 、固定弦齿厚  $\bar{s}_c$  和固定弦齿高  $\bar{h}_c$  的计算公式见表 14.1-6 和表 14.1-7。

当被测齿轮的齿厚和齿槽不等时,其公法线长度不能按表 14.1-7 公式计算,应为

$$W_k = k P_{bn} + \bar{s}_c \cos \alpha_t + d_c \cos \beta_b \operatorname{inv} \alpha_t + 2 m_n x_n \sin \alpha_n \quad (14.1-45)$$

式中  $k'$ ——跨齿槽数。

关于斜齿轮的测绘步骤,可参照表 14.1-8 进行。



表 14.1-6 斜齿轮固定弦齿厚  $\bar{s}_c$  和固定弦齿高  $\bar{h}_c$  计算式

$\alpha_n$	不变位 $x_{n1}=x_{n2}=0$		高变位 $x_{n1}=x_{n2}$		角变位 $x_{n1} \neq x_{n2}$	
	$\bar{s}_c$	$\bar{h}_c$	$\bar{s}_c$	$\bar{h}_c$	$\bar{s}_c$	$\bar{h}_c$
通式	$0.5\pi m_n \cos^2 \alpha_n$	$(1-0.125\pi \sin 2\alpha_n)m_n$	$0.5\pi m_n \cos^2 \alpha_n + m_n x_n \sin 2\alpha_n$	$(1-0.125\pi \sin 2\alpha_n + x_n \cos^2 \alpha_n)m_n$	$(0.5\pi \cos^2 \alpha_n + x_n \sin 2\alpha_n)m_n$	$(1-0.125\pi \sin 2\alpha_n + x_n \cos^2 \alpha_n - \Delta y_n)m_n$
14.5°	$1.47232m_n$	$0.80962m_n$	$(1.47232+0.4848x_n)m_n$	$(0.80962+0.9373x_n)m_n$	$(1.47232+0.4848x_n)m_n$	$(0.80962+0.9373x_n - \Delta y_n)m_n$
15°	$1.46557m_n$	$0.80365m_n$	$(1.46557+0.5000x_n)m_n$	$(0.80365+0.9330x_n)m_n$	$(1.46557+0.5000x_n)m_n$	$(0.80365+0.9330x_n - \Delta y_n)m_n$
16°	$1.45145m_n$	$0.79190m_n$	$(1.45145+0.5299x_n)m_n$	$(0.79190+0.9240x_n)m_n$	$(1.45145+0.5299x_n)m_n$	$(0.79190+0.9240x_n - \Delta y_n)m_n$
17.5°	$1.42876m_n$	$0.77476m_n$	$(1.42876+0.5736x_n)m_n$	$(0.77476+0.9096x_n)m_n$	$(1.42876+0.5736x_n)m_n$	$(0.77476+0.9096x_n - \Delta y_n)m_n$
20°	$1.38705m_n$	$0.74758m_n$	$(1.38705+0.6428x_n)m_n$	$(0.74758+0.8830x_n)m_n$	$(1.38705+0.6428x_n)m_n$	$(0.74758+0.8830x_n - \Delta y_n)m_n$
22.5°	$1.34076m_n$	$0.72232m_n$	$(1.34076+0.7071x_n)m_n$	$(0.72232+0.8536x_n)m_n$	$(1.34076+0.7071x_n)m_n$	$(0.72232+0.8536x_n - \Delta y_n)m_n$
25°	$1.29024m_n$	$0.69918m_n$	$(1.29024+0.7660x_n)m_n$	$(0.69918+0.8214x_n)m_n$	$(1.29024+0.7660x_n)m_n$	$(0.69918+0.8214x_n - \Delta y_n)m_n$

注：对直齿圆柱齿轮，表中  $\alpha_n = \alpha$ ,  $m_n = m$ 。

表 14.1-7 斜齿轮公法线  $W$  及跨齿数  $k$  计算式

$\alpha_n$	不变位		变位	
	$k$	$W_k$	$k$	$W_k$
通式	$\frac{\alpha_n}{180^\circ} z \frac{\operatorname{inv} \alpha_t}{\operatorname{inv} \alpha_n} + 0.5$	$m_n \cos \alpha_n [(k-0.5)\pi + z \operatorname{inv} \alpha_t]$	$\frac{1}{180^\circ} z \left( \cos^{-1} \frac{z \cos \alpha_t}{z+2x_t} \right) \frac{\operatorname{inv} \alpha_t}{\operatorname{inv} \alpha_n} + 0.5$	$m_n \cos \alpha_n [(k-0.5)\pi + z \operatorname{inv} \alpha_t] + 2x_n m_n \sin \alpha_n$
14.5°	$14.52813z \operatorname{inv} \alpha_t + 0.5$	$m_n [3.41526(k-0.5) + 0.96815z \operatorname{inv} \alpha_t]$	$1.00194z \operatorname{inv} \alpha_t \left( \arccos \frac{z \cos \alpha_t}{z+2x_t} \right) + 0.5$	$m_n [3.41526(k-0.5) + 0.96815z \operatorname{inv} \alpha_t] + 0.50076x_n m_n$
15°	$13.55058z \operatorname{inv} \alpha_t + 0.5$	$m_n [3.0345(k-0.5) + 0.96593z \operatorname{inv} \alpha_t]$	$0.90337z \operatorname{inv} \alpha_t \left( \arccos \frac{z \cos \alpha_t}{z+2x_t} \right) + 0.5$	$m_n [3.0345(k-0.5) + 0.96593z \operatorname{inv} \alpha_t] + 0.51764x_n m_n$
16°	$11.86292z \operatorname{inv} \alpha_t + 0.5$	$m_n [3.0199(k-0.5) + 0.96126z \operatorname{inv} \alpha_t]$	$0.74143z \operatorname{inv} \alpha_t \left( \arccos \frac{z \cos \alpha_t}{z+2x_t} \right) + 0.5$	$m_n [3.0199(k-0.5) + 0.96126z \operatorname{inv} \alpha_t] + 0.55127m_n x_n$
17.5°	$9.85427z \operatorname{inv} \alpha_t + 0.5$	$m_n [2.9962(k-0.5) + 0.9537z \operatorname{inv} \alpha_t]$	$0.56310z \operatorname{inv} \alpha_t \left( \arccos \frac{z \cos \alpha_t}{z+2x_t} \right) + 0.5$	$m_n [2.9962(k-0.5) + 0.9537z \operatorname{inv} \alpha_t] + 0.60141x_n m_n$
20°	$7.45512z \operatorname{inv} \alpha_t + 0.5$	$m_n [2.9521(k-0.5) + 0.93969z \operatorname{inv} \alpha_t]$	$0.37276z \operatorname{inv} \alpha_t \left( \arccos \frac{z \cos \alpha_t}{z+2x_t} \right) + 0.5$	$m_n [2.9521(k-0.5) + 0.93969z \operatorname{inv} \alpha_t] + 0.68404x_n m_n$
22.5°	$5.81017z \operatorname{inv} \alpha_t + 0.5$	$m_n [2.9025(k-0.5) + 0.92388z \operatorname{inv} \alpha_t]$	$0.25823z \operatorname{inv} \alpha_t \left( \arccos \frac{z \cos \alpha_t}{z+2x_t} \right) + 0.5$	$m_n [2.9025(k-0.5) + 0.92388z \operatorname{inv} \alpha_t] + 0.76537x_n m_n$
	$4.63349z \operatorname{inv} \alpha_t + 0.5$	$m_n [2.8472(k-0.5) + 0.90631z \operatorname{inv} \alpha_t]$	$0.18534z \operatorname{inv} \alpha_t \left( \arccos \frac{z \cos \alpha_t}{z+2x_t} \right) + 0.5$	$m_n [2.8472(k-0.5) + 0.90631z \operatorname{inv} \alpha_t] + 0.84524x_n m_n$

注：直齿轮时， $\alpha_t = \alpha_n = \alpha$ 。