

中华人民共和国第六机械工业部

指导性技术文件

**精密齿轮传动链力矩、
空回及传动误差计算和检查方法**

CB/Z 178—80

目 录

一、术语、定义和符号.....	(1)
二、力矩计算方法.....	(3)
三、力矩检查方法.....	(13)
四、一对齿轮空回计算方法.....	(13)
五、由其他因素造成的侧隙计算方法.....	(20)
六、其他传动元件的空回计算方法.....	(24)
七、传动链的总空回计算方法.....	(25)
八、传动误差计算方法.....	(26)
九、空回和传动误差计算用表.....	(28)
十、传动图中空回的表示方法及检查表格式.....	(42)
十一、空回和传动误差的检查方法.....	(43)

精密齿轮传动链力矩、 空回及传动误差计算和检查方法

本文件适用于原始齿形角为 20° ，法向模数在1.5mm以下的渐开线精密齿轮传动链的力矩、空回和传动误差的计算和检查。

本文件所指精密齿轮传动链是由直齿、斜齿圆柱齿轮，齿条，扇形齿轮；直齿圆锥齿轮（轴向剖面压力角为 20° 的）；蜗杆、蜗轮；联轴节；微型轴承等组成。

本文件依据的基础标准是GB 307-77《滚动轴承技术条件》及JB(M)1-75《专用轴承技术条件》；国家标准《精密机械圆柱齿轮》；JB 306-62《小模数圆锥齿轮传动公差》；蜗杆、蜗轮传动公差按各企业标准。

本文件的空回计算公式，主要计算空回最大值和传动误差值，空回最小值不作计算，只对有温度补偿要求的齿轮副计算最小极限空回值。

一、术语、定义和符号

1. 力矩计算用符号见表1。

表 1

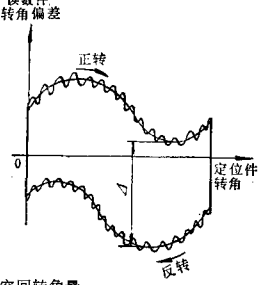
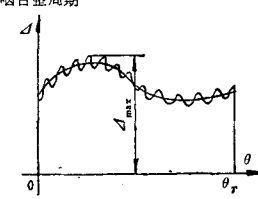
序号	名 称	符 号	单 位
1	主动件上的力矩	M_1	克力·厘米
2	从动件上的力矩	M_2	克力·厘米
3	轴承的摩擦阻力矩	M_c	克力·厘米
4	除齿轮啮合负载外的其他负载力矩	M_g	克力·厘米
5	齿轮传动比 $i_{2-1} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$	i_{2-1}	
6	主动轮齿数	Z_1	
7	从动轮齿数	Z_2	
8	传动效率	η	
9	圆锥齿轮差动器传动效率	η_c	
10	滑动摩擦系数	μ	
11	摩擦角	φ	
12	切向力（圆周力）	F_t	克力
13	径向力	T	克力
14	法向力	F_n	克力
15	轴向力	F_x	克力
16	轴承套数	n	
17	模 数	m	毫米
18	斜齿圆柱齿轮法向模数	m_n	毫米

续表 1

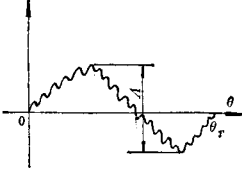
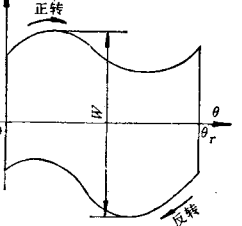
序号	名 称	符 号	单 位	
19	蜗杆轴向模数	m_x	毫米	
20	直(斜)齿圆柱齿轮分度圆(法向)压力角	α		
21	圆锥齿轮分度圆锥角	ψ_f		
22	螺旋齿轮分度圆螺旋角	β		
23	蜗杆螺旋升角	λ_f		
24	分度圆直径	d_f		毫米
25	联轴节拨盘轴心线之间不同心(轴)度	E_a		毫米
26	联轴节拨盘轴心线与拨销中心线之间的距离	R_1		毫米
27	十字联轴节外圆半径	R		毫米
28	万向联轴节用系数	b		
29	万向联轴节联接轴轴心线夹角	θ		

2. 空回及传动误差计算用术语、符号见表 2。

表 2

序号	术 语 名 称	符 号	定 义
1	空 回 读数件 转角偏差  空回转角量 空回转值量 空回最大值	Δ Δ_A Δ_{max}	在主动件传动从动件的过程中, 定位件转到定位位置及反转到该定位位置所对应的读数件两位置的变动量即为读数件的空回 以读数件的实际转角来表示的空回量 以在传动中被传送的数据的单位来表示的空回量。 一对齿轮空回计算值为正(+)值表示啮合有间隙。 一对齿轮空回计算值为负(-)值表示啮合有“过盈” 啮合整周期中的空回最大值
2	啮合整周期 	θ_r	空回或传动误差变化的一个整周期。 单个齿轮时: $\theta_r = 360^\circ$ 一对齿轮时: $\theta_r = \frac{Z_p}{Z_1} \times 360^\circ$ 式中: Z_p ——两个啮合齿轮的最小公倍数; Z_1 ——读数齿轮齿数

续表 2

序号	术 语 名 称	符 号	定 义
3	单向传动误差 读数件 转角偏差  单向传动误差转角量 单向传动误差转值量	λ λ_A	单向传动时, 读数件的实际位置和理想位置的偏差。 在啮合整周期中的最大值和最小值之差 以读数件的实际转角表示的单向传动误差量 以在传动中被传递的数据的单位来表示的单向传动误差量
4	双向传动误差 读数件 转角偏差  双向传动误差转角量 双向传动误差转值量	W W_A	双向传动时正转和反转实际位置对理想位置的偏差在 啮合整周期中的最大变动量 以读数件的实际转角表示的双向传动误差量 以在传动中被传递的数据的单位来表示的双向传动误差量
5	侧 隙 侧隙平均值 侧隙离散幅值	j j_p j_b	按国家标准GB(各种因素引起的侧隙加注注释表示。 详见各有关条文)

二、力矩计算方法

3. 传动链力矩计算应由从动件开始, 逐级向主动件折算, 其每一级的计算公式如下:

$$M_1 = \frac{M_2 i_{2-1}}{\eta} + n \cdot M_{c1} + M_{g1}$$

$$i_{2-1} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

式中: M_c 值见表 3。

4. M_2 包括从动轴上的负载和从动轴上的轴承摩擦力矩。

$$M_2 = M_{g2} + M_{c2}$$

(1) 计算传动链工作状态时的力矩, 取

$$M_2 = M_{g2} + M_{c2}$$

当负载力矩较大时, $M_{g2} \gg M_{c2}$, 则 M_{c2} 可忽略不计。

当负载力矩 M_{g2} 较小时 (如度盘, 指针等), M_{c2} 不能忽略。

(2) 计算传动链装配状态力矩时, 取

$$M_2 = M_{c2}$$

5. 各种类型齿轮副和联轴节的效率计算公式及计算值见表 4~9。

(1) 滑动摩擦系数 μ 的推荐值: 当钢对钢并有良好润滑时, 取 $\mu = 0.10$, 研磨后取 $\mu = 0.08$, 无润滑时取 $\mu = 0.18$ 。

(2) 查表 7、8、9 时, 若 $i \neq 1$, 可按下式计算 η :

$$\eta_{1-2} = \frac{\eta_1 + \eta_2}{2}$$

式中: η_{1-1} ——传动比为 $i_{1-1} = \frac{Z_1}{Z_2}$ 的效率;

η_1 ——传动比为 $i_{1-1} = \frac{Z_1}{Z_1} = 1$ 时的效率;

η_2 ——传动比为 $i_{2-2} = \frac{Z_2}{Z_2} = 1$ 时的效率。

(3) 万向联轴节轴线夹角 θ 在 $0^\circ \sim 15^\circ$ 之间, 一般不大于 10° 。

(4) 当齿轮副中心距为可调时, 传动效率应减小到 0.7 倍。

单列径向滚动轴承摩擦力矩值 M_c (一套值)

表 3

单位: 克力·厘米

润滑脂	轴承型号		力矩值											
	100008	1000082	100008	1000083	1000084	1000085	1000086	1000087	1000088	1000089	1000800			
	/1.5		/2.5											
7008号脂	0.2	0.5	0.7	1.2	2.0	3.4	5.8	8.3	10.5	12.4	14.6			
7101号脂	0.1	0.2	0.4	0.7	1.2	2.0	3.4	4.8	6.0	7.1	8.2			
201号脂	0.1	0.2	0.5	0.8	1.4	2.2	3.8	5.4	6.9	8.2	9.6			
3号脂	0.1	0.2	0.4	0.7	1.2	1.9	3.4	4.8	5.8	7.1	8.1			

润滑脂	轴承型号		力矩值											
	100009	1000092	100009	1000093	1000094	1000095	1000096	1000097	1000098	1000099	1000900			
	/1.5		/2.5											
7008号脂	0.5	0.8	1.3	2.2	3.6	5.4	7.9	10.3	13.0	14.5	16.8			
7101号脂	0.3	0.5	0.7	1.1	1.8	2.8	4.5	6.3	7.5	8.7	11.2			
201号脂	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3.0	4.8	7.2	9.4	10.2	12.2			
3号脂	0.3	0.5	0.7	1.1	1.7	2.9	4.6	6.1	7.4	9.2	11.2			

润滑脂	轴承型号		力矩值										
			23	24	25	26	27	28	29	200	201	202	203
7008号脂			2.0	4.8	7.3	12.0	17.1	22.7	31.7	43.0	56.2	70.9	90.0
7101号脂			1.2	2.3	4.8	8.0	12.4	16.9	23.1	30.9	41.6	55.8	70.3
201号脂			1.6	3.2	5.5	9.5	14.7	19.3	26.0	34.1	46.5	60.5	77.6
3号脂			1.1	2.1	4.7	8.2	12.7	16.3	23.0	30.1	41.5	55.5	70.6

润滑脂	轴承型号		力矩值									
			34	35	17	18	19	100	101	102	103	
7008号脂			5.6	8.5	13.2	19.0	28.4	40.9	53.1	68.3	87.0	
7101号脂			3.6	5.8	9.2	12.8	18.5	26.5	35.1	43.9	54.0	
201号脂			4.8	7.1	11.3	15.2	21.3	28.9	38.5	47.3	58.6	
3号脂			4.1	6.1	9.0	13.0	19.3	26.9	35.2	43.5	53.2	

各种齿轮和联轴节的效率 η 计算公式

表 4

传动元件 类 型		效率 η 的计算公式	圆周力 F_t 、法向力 F_n 轴向力 F_x 计算公式(克力)	修正系数 C		备 注
				$F_n > 3000$ 克力	$F_n \leq 3000$ 克力	
直齿圆柱 齿 轮		$\eta = 1 - C \cdot \mu \cdot \pi \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right)$	$F_t = \frac{20M_2}{mZ_2}$ $F_n = \frac{F_t}{\cos\alpha}$		$C = \frac{F_t + 292}{F_t + 17.4}$ $C = \frac{F_t + 302}{F_t + 17.8}$	当 $i = 1, \mu = 0.1$ 时 η 可查表 5。 双片圆柱齿轮效率 $\eta = 0.9$
直齿条		$\eta = 1 - C \cdot \mu \cdot \pi \frac{1}{Z}$	$F_t = \frac{20M_2 \cdot \cos\alpha}{m_n \cdot Z}$ 当齿轮为主动时, 齿 轮 上 的 力 矩 $M_1 = \frac{F_t}{\eta} \cdot \frac{d_f}{20}$ 斜齿齿条传动时: $F_x = F_t \cdot \operatorname{tg}\alpha$		$C = \frac{F_t + 292}{F_t + 17.4}$	
直齿圆锥 齿 轮		$\eta = 1 - 1.62 \cdot C \cdot \mu \cdot \pi \left(\frac{\cos\psi_{f1}}{Z_1} + \frac{\cos\psi_{f2}}{Z_2} \right)$	$F_t = \frac{20M_2}{m \cdot Z_2}$ $F_n = F_t / \cos\alpha$ $F_x = F_t \cdot \sin\psi_f \cdot \operatorname{tg}\alpha$			当 $\alpha = 20^\circ, i = 1$ $\psi_{f1} + \psi_{f2} = 90^\circ$ 时 η 可查表 6
螺 旋 齿 轮	轴线 平行	$\eta = 1 - C \cdot \mu \cdot \pi \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right)$	$F_t = \frac{20M_2 \cdot \cos\beta_2}{m_n \cdot Z_2}$		$C = \frac{F_n + 311}{F_n + 18.5}$	当 $\alpha = 20^\circ, \beta_2 \leq 20^\circ$ $i = 1, \mu = 0.10$ 时 η 可查表 5
	轴线 垂直	$\eta = C \cdot \frac{\operatorname{tg}\beta_2}{\operatorname{tg}(\beta_2 + \varphi)}$ $\varphi = \arctg \frac{\mu}{\cos\alpha}$	$F_n = \frac{F_t}{\cos\beta_2 \cdot \cos\alpha}$			当 $\alpha = 20^\circ,$ $\mu = 0.10$ 时 η 可查表 7
	轴线成 任意角 度	$\eta = C \cdot \frac{1 - \frac{\mu \cdot \operatorname{tg}\beta_1}{\cos\alpha}}{1 + \frac{\mu \cdot \operatorname{tg}\beta_2}{\cos\alpha}}$	$F_x = F_t \cdot \operatorname{tg}\beta_2$		$C = \frac{F_n + 105}{F_n + 240}$	当 $\alpha = 20^\circ,$ $\mu = 0.10$ 时 η 可查表 8
蜗轮蜗杆		$\eta = C \cdot \frac{\operatorname{tg}\lambda_f}{\operatorname{tg}(\lambda_f + \varphi)} \quad (F_n \leq 3000 \text{ 克力})$ $\eta = C \cdot \frac{\operatorname{tg}\lambda_f + \varphi}{\operatorname{tg}(\lambda_f + \varphi)} \quad (F_n > 3000 \text{ 克力})$	$F_t = \frac{20M_2}{Z_2 \cdot m_c}$ $F_n = \frac{F_t}{\cos\lambda_f \cdot \cos\alpha}$ $F_{x1} = F_{t1} \cdot \operatorname{ctg}\lambda_{f1}$ $F_{x2} = F_{t2} \cdot \operatorname{tg}\lambda_{f2}$			
盘 轮 联 轴 节		$\eta = 1 - \frac{2C \cdot \mu \cdot E}{\pi \cdot R_1}$	$F_n = F_t = \frac{M_2}{R_1}$			
十 字 联 轴 节		$\eta = 1 - \frac{4C \cdot \mu \cdot E}{\pi \cdot R}$	$F_n = F_t = \frac{M_2}{R}$		$C = \frac{F_n + 311}{F_n + 18.5}$	
万 向 联 轴 节		$\eta = 1 - b \cdot \mu$				b 系数, 根据 θ, M_2 查表 9

表 7

两轴线垂直的钢螺旋齿轮效率 η

螺旋角 β_2	周 力												率															
	力												效															
	F ₁ (克力)												η															
	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	125	150	200	250	300	500	1000	2000	3000~10000	
45°	0.36	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.70	0.75	0.78	0.78	0.81	
42°30'	0.36	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.48	0.49	0.49	0.50	0.51	0.52	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.70	0.75	0.78	0.78	0.81
40°	0.36	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.70	0.75	0.78	0.78	0.81	
37°30'	0.36	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.70	0.75	0.78	0.78	0.81	
35°	0.35	0.37	0.37	0.38	0.39	0.40	0.40	0.41	0.43	0.44	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.50	0.51	0.53	0.55	0.59	0.61	0.62	0.68	0.73	0.75	0.80		
32°30'	0.35	0.35	0.37	0.37	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.44	0.46	0.47	0.48	0.50	0.51	0.53	0.54	0.58	0.60	0.62	0.67	0.72	0.74	0.80	
30°	0.35	0.35	0.35	0.37	0.37	0.38	0.39	0.40	0.40	0.41	0.43	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.50	0.52	0.54	0.57	0.59	0.61	0.66	0.72	0.74	0.79	
27°30'	0.34	0.35	0.35	0.36	0.37	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.43	0.44	0.45	0.46	0.48	0.49	0.51	0.53	0.56	0.59	0.61	0.65	0.71	0.73	0.78	
25°	0.34	0.35	0.35	0.36	0.36	0.37	0.38	0.38	0.40	0.41	0.41	0.42	0.42	0.43	0.45	0.46	0.47	0.48	0.50	0.53	0.55	0.58	0.60	0.65	0.69	0.73	0.77	
22°30'	0.34	0.34	0.34	0.35	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.40	0.41	0.41	0.42	0.43	0.45	0.46	0.47	0.50	0.51	0.55	0.57	0.58	0.64	0.68	0.73	0.76	
20°	0.33	0.33	0.34	0.34	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.39	0.40	0.41	0.41	0.43	0.44	0.45	0.46	0.48	0.50	0.53	0.55	0.57	0.62	0.67	0.71	0.74	
17°30'	0.32	0.32	0.32	0.33	0.34	0.35	0.35	0.36	0.37	0.37	0.38	0.38	0.40	0.41	0.42	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.51	0.53	0.56	0.60	0.66	0.68	0.72	
15°	0.30	0.31	0.31	0.31	0.32	0.33	0.34	0.34	0.35	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.40	0.41	0.43	0.45	0.46	0.49	0.51	0.53	0.57	0.62	0.65	0.69	
12°30'	0.29	0.29	0.30	0.31	0.31	0.31	0.32	0.32	0.33	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.44	0.46	0.49	0.50	0.55	0.60	0.62	0.65	
10°	0.26	0.27	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.30	0.31	0.31	0.32	0.33	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.37	0.40	0.41	0.44	0.45	0.46	0.50	0.55	0.58	0.61	

续表 8

螺 纹 线 分度 圆 径 d _s	螺 纹 线 分度 圆 径 d _s	力 F _r (克 力)																	升 角												
		周 率																													
		5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	250	300	350		400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	2500	3000	
0.6	8	16°32'	0.220	0.330	0.340	0.350	0.380	0.390	0.400	0.410	0.420	0.430	0.450	0.480	0.520	0.540	0.550	0.570	0.580	0.590	0.610	0.620	0.620	0.640	0.640	0.660	0.670	0.688	0.71	16°42'	
	12	11°19'	0.290	0.290	0.300	0.300	0.320	0.330	0.340	0.350	0.370	0.380	0.390	0.420	0.450	0.460	0.490	0.500	0.510	0.520	0.540	0.550	0.570	0.580	0.580	0.590	0.600	0.61	0.63	11°19'	
	16	8°32'	0.250	0.260	0.280	0.290	0.300	0.320	0.330	0.340	0.340	0.350	0.380	0.400	0.430	0.440	0.450	0.480	0.490	0.500	0.510	0.520	0.530	0.540	0.550	0.560	0.570	0.58	0.58	8°32'	
	18	7°38'	0.240	0.250	0.270	0.280	0.290	0.310	0.320	0.330	0.330	0.360	0.380	0.400	0.420	0.430	0.440	0.450	0.460	0.470	0.480	0.490	0.500	0.510	0.510	0.520	0.530	0.540	0.55	0.55	7°38'
	20	3°49'	0.160	0.180	0.180	0.190	0.190	0.200	0.220	0.220	0.230	0.250	0.270	0.270	0.290	0.300	0.300	0.310	0.320	0.330	0.330	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.360	0.370	0.38	3°49'	
0.8	16	5°43'	0.210	0.220	0.230	0.240	0.250	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.320	0.340	0.360	0.380	0.400	0.420	0.430	0.440	0.450	0.460	0.470	0.480	0.490	0.500	0.510	0.520	0.52	0.54	7°38'
	18	5°05'	0.200	0.210	0.210	0.230	0.240	0.250	0.260	0.270	0.280	0.290	0.310	0.320	0.330	0.350	0.360	0.370	0.380	0.400	0.410	0.410	0.420	0.420	0.430	0.450	0.460	0.48	5°43'		
	20	4°34'	0.190	0.200	0.200	0.210	0.220	0.230	0.240	0.240	0.250	0.260	0.280	0.300	0.310	0.320	0.330	0.350	0.360	0.370	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380	0.390	0.400	0.41	0.42	4°34'	
	12	11°19'	0.290	0.290	0.300	0.320	0.330	0.340	0.350	0.370	0.380	0.380	0.420	0.450	0.460	0.490	0.500	0.510	0.520	0.540	0.550	0.560	0.570	0.580	0.580	0.600	0.61	0.63	11°19'		
	16	8°32'	0.250	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.310	0.320	0.330	0.340	0.360	0.370	0.400	0.430	0.440	0.450	0.480	0.490	0.500	0.510	0.520	0.530	0.540	0.550	0.560	0.58	8°32'		
1.0	18	7°38'	0.240	0.250	0.280	0.280	0.290	0.300	0.310	0.320	0.330	0.340	0.360	0.380	0.410	0.420	0.430	0.440	0.450	0.460	0.470	0.480	0.490	0.500	0.510	0.520	0.530	0.55	0.55	7°38'	
	20	6°51'	0.230	0.240	0.250	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.310	0.320	0.350	0.360	0.380	0.400	0.410	0.410	0.430	0.450	0.460	0.470	0.480	0.490	0.500	0.510	0.520	0.530	0.55	0.59	6°51'
	12	14°56'	0.310	0.320	0.330	0.340	0.360	0.370	0.380	0.390	0.400	0.410	0.420	0.430	0.450	0.490	0.510	0.530	0.550	0.560	0.570	0.600	0.610	0.610	0.620	0.620	0.640	0.650	0.67	0.69	14°56'
	16	11°19'	0.290	0.290	0.300	0.300	0.320	0.330	0.340	0.350	0.370	0.380	0.390	0.420	0.450	0.460	0.490	0.500	0.510	0.520	0.540	0.550	0.560	0.570	0.580	0.600	0.61	0.63	11°19'		
	18	10°05'	0.280	0.290	0.300	0.310	0.320	0.330	0.350	0.360	0.370	0.370	0.410	0.430	0.450	0.470	0.480	0.490	0.510	0.520	0.530	0.540	0.550	0.560	0.570	0.570	0.58	0.62	10°05'		
1.0	20	9°05'	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.310	0.320	0.330	0.340	0.350	0.360	0.390	0.410	0.430	0.450	0.460	0.460	0.480	0.500	0.510	0.520	0.520	0.530	0.550	0.550	0.560	0.59	9°05'	
	16	3°35'	0.170	0.170	0.180	0.180	0.190	0.200	0.210	0.210	0.220	0.240	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.310	0.320	0.320	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.350	0.350	0.360	0.37	3°35'	
	18	3°11'	0.150	0.160	0.170	0.170	0.180	0.190	0.190	0.200	0.210	0.210	0.230	0.240	0.250	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.300	0.310	0.310	0.310	0.310	0.320	0.320	0.320	0.34	3°11'	
	20	2°52'	0.140	0.150	0.160	0.160	0.170	0.170	0.180	0.180	0.190	0.200	0.200	0.220	0.230	0.240	0.250	0.250	0.260	0.270	0.270	0.280	0.280	0.280	0.280	0.290	0.300	0.300	0.31	0.31	2°52'
	25	2°18'	0.120	0.130	0.130	0.140	0.140	0.150	0.160	0.160	0.170	0.180	0.190	0.200	0.200	0.220	0.220	0.240	0.240	0.240	0.250	0.250	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.28	0.28	2°18'

续表 8

模数 m_e	头数	蜗杆 分度圆直径	蜗杆螺旋线 升角	周 力 F_t (克力)																螺旋线 升角											
				5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	250	300		350	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	2500
1.0	2	16	7°07'	0.240	0.250	0.260	0.280	0.290	0.300	0.310	0.320	0.320	0.350	0.370	0.380	0.400	0.410	0.410	0.430	0.450	0.460	0.470	0.480	0.490	0.500	0.51	0.52	7°07'			
		18	6°21'	0.220	0.230	0.240	0.250	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.310	0.330	0.350	0.360	0.380	0.390	0.400	0.420	0.440	0.440	0.450	0.460	0.480	0.480	0.49	0.51	6°21'		
		20	5°43'	0.210	0.210	0.220	0.230	0.240	0.250	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.320	0.340	0.350	0.360	0.370	0.380	0.400	0.410	0.410	0.420	0.420	0.430	0.450	0.450	0.46	0.48	5°43'
		25	4°34'	0.190	0.200	0.210	0.220	0.220	0.230	0.240	0.240	0.240	0.250	0.250	0.280	0.300	0.310	0.320	0.330	0.340	0.350	0.360	0.370	0.380	0.380	0.380	0.390	0.400	0.41	0.42	4°34'
		16	10°37'	0.280	0.280	0.300	0.310	0.320	0.330	0.340	0.350	0.370	0.370	0.380	0.410	0.440	0.450	0.480	0.490	0.500	0.520	0.530	0.540	0.540	0.550	0.570	0.580	0.590	0.59	0.63	10°37'
1.0	3	18	9°28'	0.250	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.310	0.320	0.330	0.340	0.370	0.390	0.410	0.430	0.440	0.450	0.470	0.480	0.490	0.500	0.510	0.520	0.530	0.54	0.60	9°28'		
		20	8°32'	0.250	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.310	0.320	0.330	0.340	0.340	0.370	0.390	0.410	0.430	0.440	0.450	0.470	0.480	0.490	0.500	0.510	0.530	0.54	0.58	8°32'		
		25	6°51'	0.230	0.240	0.250	0.260	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.310	0.310	0.320	0.330	0.330	0.360	0.380	0.400	0.410	0.410	0.430	0.440	0.450	0.460	0.470	0.490	0.49	0.53	6°51'
		16	14°02'	0.310	0.310	0.320	0.340	0.350	0.360	0.370	0.380	0.400	0.410	0.420	0.450	0.480	0.500	0.520	0.530	0.550	0.560	0.580	0.600	0.610	0.610	0.640	0.650	0.65	0.68	14°02'	
		18	12°32'	0.290	0.300	0.310	0.320	0.330	0.340	0.350	0.360	0.370	0.380	0.390	0.400	0.410	0.410	0.440	0.460	0.490	0.510	0.520	0.530	0.550	0.560	0.570	0.580	0.600	0.620	0.62	0.63
1	4	20	11°19'	0.290	0.290	0.300	0.300	0.320	0.330	0.340	0.350	0.370	0.380	0.390	0.420	0.450	0.460	0.490	0.500	0.510	0.520	0.540	0.550	0.560	0.570	0.590	0.600	0.61	0.63	11°19'	
		25	9°05'	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.310	0.320	0.330	0.340	0.350	0.350	0.380	0.390	0.410	0.430	0.450	0.460	0.490	0.500	0.510	0.520	0.530	0.550	0.550	0.59	9°05'		
		20	4°17'	0.190	0.190	0.200	0.200	0.210	0.220	0.230	0.240	0.250	0.270	0.290	0.300	0.310	0.320	0.330	0.340	0.350	0.360	0.370	0.370	0.380	0.380	0.390	0.41	0.41	4°17'		
		3	3°26'	0.160	0.160	0.170	0.170	0.180	0.190	0.200	0.200	0.210	0.210	0.220	0.250	0.270	0.280	0.290	0.300	0.310	0.320	0.320	0.330	0.330	0.330	0.36	0.36	3°26'			
		30	2°52'	0.140	0.140	0.150	0.150	0.160	0.170	0.170	0.180	0.180	0.190	0.200	0.210	0.220	0.230	0.240	0.250	0.250	0.270	0.270	0.280	0.280	0.290	0.300	0.31	0.32	2°52'		
1.5	32	2	2°41'	0.140	0.140	0.140	0.150	0.160	0.170	0.170	0.180	0.190	0.200	0.220	0.230	0.240	0.240	0.250	0.250	0.270	0.270	0.280	0.280	0.290	0.300	0.32	0.32	2°41'			
		20	8°32'	0.250	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.310	0.320	0.330	0.340	0.370	0.390	0.410	0.430	0.440	0.450	0.470	0.480	0.490	0.500	0.510	0.530	0.54	0.58	8°32'			
		25	6°51'	0.230	0.240	0.250	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.310	0.310	0.320	0.350	0.360	0.380	0.400	0.410	0.420	0.440	0.450	0.460	0.470	0.480	0.490	0.500	0.50	0.53	6°51'	
		30	5°43'	0.210	0.210	0.220	0.230	0.240	0.250	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.320	0.340	0.350	0.360	0.370	0.380	0.400	0.410	0.410	0.420	0.420	0.430	0.450	0.450	0.46	0.48	5°43'
		32	5°21'	0.210	0.210	0.210	0.220	0.230	0.240	0.250	0.250	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.330	0.340	0.340	0.360	0.370	0.380	0.400	0.410	0.410	0.430	0.440	0.45	0.46	5°21'	
4	25	12	12°41'	0.300	0.300	0.310	0.340	0.350	0.360	0.370	0.390	0.400	0.410	0.440	0.470	0.480	0.510	0.520	0.530	0.540	0.560	0.570	0.580	0.590	0.620	0.630	0.66	0.66	12°41'		
		25	10°13'	0.280	0.290	0.300	0.310	0.320	0.330	0.340	0.350	0.360	0.370	0.380	0.410	0.440	0.460	0.470	0.480	0.500	0.510	0.520	0.530	0.540	0.550	0.560	0.570	0.580	0.60	10°13'	
		30	8°32'	0.250	0.260	0.270	0.280	0.290	0.300	0.310	0.320	0.330	0.340	0.340	0.370	0.390	0.410	0.430	0.440	0.450	0.470	0.480	0.490	0.500	0.510	0.530	0.530	0.54	0.58	8°32'	
		20	16°42'	0.320	0.330	0.340	0.340	0.360	0.380	0.400	0.410	0.420	0.440	0.470	0.510	0.530	0.540	0.570	0.580	0.600	0.610	0.620	0.620	0.640	0.640	0.660	0.670	0.68	0.71	16°42'	
		25	13°19'	0.300	0.310	0.320	0.330	0.340	0.350	0.360	0.370	0.380	0.400	0.410	0.420	0.440	0.480	0.490	0.520	0.530	0.540	0.560	0.560	0.590	0.600	0.620	0.640	0.65	0.67	13°19'	
4	30	11	11°19'	0.290	0.290	0.300	0.300	0.320	0.330	0.340	0.350	0.370	0.380	0.390	0.420	0.450	0.460	0.490	0.500	0.510	0.520	0.540	0.550	0.560	0.570	0.590	0.600	0.61	0.62	11°19'	

系数 b 的数值

表 9

系数 θ (度)	被 传 递 力 矩 M_2 (克力·厘米)				
	100	250	500	750	1000
	比 例 系 数 b				
0	0.40	0.24	0.16	0.13	0.12
2.5	0.63	0.46	0.34	0.30	0.29
5	1.00	0.72	0.53	0.48	0.46
7.5	1.45	1.04	0.80	0.70	0.66
10	2.40	1.75	1.37	1.24	1.13

6. 圆锥齿轮差动器的力矩和效率计算公式如下:

$$M_1 = \frac{M_2}{\eta_c} \cdot i_{2-1}$$

$$\eta_c = 2 \cdot \eta^2 - 1$$

式中: i_{2-1} ——差动器的传动比, 根据不同情况分别选取 2、1、1/2。

η ——圆锥齿轮副的效率, 可按表计算或查表。估算时, 取 $\eta_c = 0.6$ 。

7. 估算时, 各类传动副、联轴节的效率 η 和系数 C 见表 10。

表 10

中心距 结构形式	直齿圆柱齿轮		直齿圆 锥齿轮	直齿条	螺旋齿轮			蜗杆蜗轮	圆锥齿轮 差动器	联轴节		
	单片	双片			两轴平行	两轴垂直	两轴任意相交			盘销	十字	万向
	η				C				η_c	η		
中心距不可调	0.92	0.9	0.9	0.92	0.9	0.85	0.85	0.9	0.6	0.98	0.96	0.9
中心距可调	0.64	0.63	0.63	0.64	0.63							

8. 设计文件中的力矩检查表的格式推荐如表 11。

空回、传动误差、力矩检查表

表 11

序 号	主 动 件	读 数 件	定 位 件	空 回		单向传动误差		双向传动误差		力 矩 (克力·厘米)	备 注
				允 许 最 大 值							
				转 值 量 (单位)	转 角 量 (单位)	转 值 量 (单位)	转 角 量 (单位)	转 值 量 (单位)	转 角 量 (单位)		

注: ① 力矩与空回、传动误差合并为一个检查表, 参阅第 65 条。

② 主动件、读数件和定位件可在传动图中引出线上画圆圈(细实线)内标注。如: ④。

③ 应制动元件、加负载元件及负载力矩的大小和单位, 电磁离合器吸合或断开, 均应标注在备注栏中。

三、力矩检查方法

9. 按仪器或部件的设计要求和力矩检查表进行检验。
10. 传动链的齿轮、轴承等活动部位, 应按设计要求涂润滑油脂, 再将传动链按正、反方向作适当的运转后, 提交检验。
11. 检查设备和工具: 弹簧秤、砝码、力臂杆、力矩盘及检查伺服电机的启动电压(电流)等, 如果利用其它方法和设备, 可由工厂、设计单位和使用单位共同协商决定。
12. 检查力矩时, 应以适当的测量线速度, 使砝码匀速下降, 或拉弹簧秤匀速垂直上升。仲裁时, 测量线速度取 0.8 米/分, 但测量轴的转速不得大于 6 转/分。
13. 检查力矩时, 一般要考虑到传动链末级运转的整周期, 在整个周期内, 基本均匀分布抽测 6 段以上, 取其中的最大值为测量值。
14. 在满足传动链力矩要求的同时, 装配质量应保证转动灵活、均匀、平稳。在产品有特殊要求时, 可由专门技术条件规定允许的力矩范围。
15. 力矩检查记录表的格式推荐如表 12。

力矩测量记录表

表 12

序号	主 动 件	制 动 件	力矩允许值		力矩实 测 值												备 注	
			最 大	范 围	第一段		第二段		第三段		第四段		第五段		第六段			
					最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小		

注: ① 加负载元件和实际所加负载值记入备注栏。

② 无平稳性要求时, 力矩允许值即为力矩最大值。

③ 力矩允许范围, 根据设计要求计算给出。

四、一对齿轮空回计算方法

16. 一对齿轮空回最大值计算公式如下:

$$\Delta_{\max} = \Delta_p + \Delta_b$$

式中: Δ_p ——一对齿轮空回的平均值;

Δ_b ——一对齿轮空回的离散幅值。

各种齿轮副的 Δ_p 和 Δ_b 的计算见第 18~21 条。

17. 一对直齿圆柱齿轮空回平均值和空回离散幅值的计算公式见表 13。

表 13

名 称	符 号	单 位	条 件	计 算 公 式	备 注		
齿 轮 副 空 回	平均值和离散幅值	角分	中心距不可调	$\Delta p = K_o (j_{1p1} + j_{1p2} + j_{p0} + j_{pxr1} + j_{pxr2} + j_{pq})$			
				$\Delta b = K_o \sqrt{j_{1b1}^2 + j_{1b2}^2 + j_{b0}^2 + j_{bxr1}^2 + j_{bxr2}^2 + j_{bq}^2}$			
			中心距可调	$\Delta p = K_o (K_o \sqrt{j_{1b1}^2 + j_{1b2}^2 + j_{01} + j_{02} + j_{pq}})$			
				$\Delta b = K_o \cdot K_o \sqrt{j_{1b1}^2 + j_{1b2}^2 + 9j_{bq}^2}$			
空回换算系数	K_o		$K_o = \frac{6.88}{mZ_1}$				
概率系数	K_o		$K_o = 0.33$	采取工艺措施			
单 个 齿 轮 制 造 因 素	侧隙的平均值	j_{1p}	中心距不可调	$j_{1p} = 0.36 E_{\alpha a}^* + E_{\alpha i}^* $	查表 29		
	侧隙的离散幅值	j_{1b}		$j_{1b} = 0.36 E_{\alpha a}^* - E_{\alpha i}^* $			
	保留侧隙	j_s		$j_s = 0.36 F_t^*$	查表 30		
中 心 距 因 素	侧隙的平均值	j_{p0}		$j_{p0} = 0.73 (\mu_0 - a_0)$	查表 31		
	侧隙的离散幅值	j_{b0}		$j_{b0} = 0.73 F_0$	查表 32		
径 向 间 隙 因 素	侧隙的平均值	j_{pxr}	微米	F_t	~500	$j_{pxr} = 0$	U_{pr} 查表 33
					>500~1000	$j_{pxr} = 0.36 U_{pr}$	
	>1000			$j_{pxr} = 1.06 U_{pr}$			
	F_c			~500	$j_{bxr} = 0$	U_{br} 查表 33	
>500~1000		$j_{bxr} = 0.36 U_{br}$					
>1000	$j_{bxr} = 1.06 U_{br}$						
其 他 因 素	侧隙的平均值	j_{pq}			一般情况下可不计算, 需要计算时可见第24条		
	侧隙的离散幅值	j_{bq}					

注: ① Z_1 ——齿轮副中读数齿轮齿数;

F_t ——节圆周上的切向合力;

a_0 ——理论壳体中心距;

μ_0 ——实际壳体中心距的平均值;

F_0 ——壳体中心距偏差离散幅值。

② 采取工艺措施指进行精密选配、调整等各种工艺措施。

18. 一对斜齿圆柱齿轮空回平均值和空回离散幅值的计算公式见表14。

表 14

名 称	符号	单位	条 件	计 算 公 式	备 注	
齿 轮 副 空 回	平均值和离散幅值	角分	中心距不可调	$\Delta p = K_o (i_{p1} + i_{p2} + i_{p\alpha} + i_{p\gamma 1} + i_{p\gamma 2} + i_{p\gamma 3} + i_{p\gamma 4} + i_{p\gamma 5})$		
	$\Delta b = K_o \sqrt{i_{b1}^2 + i_{b2}^2 + i_{b\alpha}^2 + i_{b\gamma 1}^2 + i_{b\gamma 2}^2 + i_{b\gamma 3}^2 + i_{b\gamma 4}^2 + i_{b\gamma 5}^2}$					
	中心距可调		$\Delta p = K_o (K_o \sqrt{i_{b1}^2 + i_{b2}^2} + i_{s1} + i_{s2} + i_{p\alpha})$			
			$\Delta b = K_o \cdot K_o \sqrt{i_{b1}^2 + i_{b2}^2 + 9i_{b\alpha}^2}$			
空回换算系数	K_o		$K_o = \frac{6.88}{m_n Z_1}$			
概率系数	K_o		$K_o = 0.33$	采取工艺措施		
单 个 齿 轮 制 造 因 素	侧隙的平均值	i_{p1}	中心距不可调	$i_{p1} = 0.36 E_{\alpha 1}^* + E_{\alpha 2}^* $	查表29	
	侧隙的离散幅值			$i_{b1} = 0.36 E_{\alpha 1}^* - E_{\alpha 2}^* $		
保 留 侧 隙	平均值	i_s	中心距可调	$i_s = 0.36 F_s^*$	查表30	
	离散幅值			$i_{b s} = 0.73 E_{\alpha 1}^* $	查表31	
中 心 距 因 素	侧隙的平均值	$i_{p\alpha}$		$i_{p\alpha} = 0.73 (\mu_a - a_0)$	查表32	
	侧隙的离散幅值			$i_{b\alpha} = 0.73 F_{\alpha}$		
径 向 间 隙 因 素	侧隙的平均值	$i_{p\gamma r}$	微米	~ 500	$i_{p\gamma r} = 0$	
				$>500 \sim 1000$	$i_{p\gamma r} = 0.36 U_{p\gamma r}$	$U_{p\gamma}$ 查表33
	>1000			$i_{p\gamma r} = K_{\beta} U_{p\gamma r}$	查表35	
	侧隙的离散幅值			~ 500	$i_{b\gamma r} = 0$	
$>500 \sim 1000$		$i_{b\gamma r} = 0.36 U_{b\gamma r}$	$U_{b\gamma}$ 查表33			
		>1000	$i_{b\gamma r} = K_{\beta} U_{b\gamma r}$	查表35		
轴 向 间 隙 因 素	侧隙的平均值	$i_{p\gamma z}$	克力	~ 300	$i_{p\gamma z} = 0$	
				$>300 \sim 1000$	$i_{p\gamma z} = 0.5 U_{p\gamma z} \sin \beta$	$U_{p\gamma z} \sin \beta$
	>1000			$i_{p\gamma z} = U_{p\gamma z} \sin \beta$	查表36	
	侧隙的离散幅值			~ 300	$i_{b\gamma z} = 0$	
$>300 \sim 1000$		$i_{b\gamma z} = 0.5 U_{b\gamma z} \sin \beta$	$U_{b\gamma z} \sin \beta$			
		>1000	$i_{b\gamma z} = U_{b\gamma z} \sin \beta$	查表36		
其 他 因 素	侧隙的平均值	$i_{p\alpha}$			一般情况下可不计算, 需要计算时可见第24条	
	侧隙的离散幅值					$i_{b\alpha}$

注: ① Z_1 ——齿轮副中读数齿轮齿数, m_n ——法向模数, F_t ——节圆周上的切向合力, F_x ——轴向合力, K_{β} ——螺旋角的转换系数, $K_{\beta} = \sqrt{\cos^2 \beta + 0.132}$ 可查表34, a_0 ——理论壳体中心距, μ_a ——壳体中心距的平均值, F_{α} ——壳体中心距偏差离散幅值。

② 当 $\beta \leq 5^\circ$ 时, $K_{\beta} = 1.06$, $i_{p\gamma z} = i_{b\gamma z} = 0$ 。

③ 当 $F_x > 300 \sim 1000$ 克力时, $i_{p\gamma z} = i_{b\gamma z} = 0$ 。

④ 采取工艺措施指进行精密选配, 调整等各种工艺措施。

19. 一对直齿圆锥齿轮空回平均值和空回离散幅值计算公式见表15。

表 15

名 称	符号	单位	条 件	计 算 公 式	备 注	
齿轮副空回	平均值	角分		$\Delta p = K_o \left(\sqrt{j_{b_1}^2 + j_{b_2}^2 + j_{s1} + j_{s2} + j_{pxz1} + j_{pxz2} + j_{pq}} \right)$		
	离散幅值			$\Delta b = K_o \sqrt{j_{b_1}^2 + j_{b_2}^2 + j_{b_{xz1}}^2 + j_{b_{xz2}}^2 + j_{b_q}^2}$		
空回换算系数	K_o			$K_o = \frac{6.88}{mZ_1}$		
单个齿轮制造因素	侧隙的离散幅值	微米		$i_{tb} = 0.36\delta_{e_f}$	查表 37	
	保留侧隙			$j_z = \Delta m S$	查表 38	
轴向间隙因素	侧隙的平均值	微米	克力	~300	$j_{pxz} = 0$	
				>300~1000	$j_{pxz} = 0.36U_{px} \sin\psi_f$	$U_{px} \sin\psi_f$
	>1000			$j_{pxz} = 0.73U_{px} \sin\psi_f$	查表 39	
	~300			$j_{bxz} = 0$		
	>300~1000			$j_{bxz} = 0.36U_{bx} \sin\psi_f$	$U_{bx} \sin\psi_f$	
	>1000			$j_{bxz} = 0.73U_{bx} \sin\psi_f$	查表 39	
其他因素	侧隙的平均值	j_{pq}		一般情况下可不计算, 需要计算时可见第24条		
	侧隙的离散幅值	j_{bq}				

注: ① Z_1 ——齿轮副读数齿轮齿数;

F_x ——轴向合力。

② 不论圆锥齿轮副的轴线可调或不可调, 而两圆锥齿轮可各自沿轴线调整, 则皆按本公式计算。

20. 蜗杆蜗轮副空回平均值和空回离散幅值的计算公式见表16。

表 16

名 称	符号	单位	条 件	计 算 公 式	备 注
蜗轮副空回	平均值	角分	中心距不可调	$\Delta p = K_o (j_{p1} + j_{p2} + j_{p0} + j_{pxr} + j_{pxz} + j_{pxz1} + j_{pxz2} + j_{pq})$	
				$\Delta b = K_o \sqrt{j_{b_1}^2 + j_{b_2}^2 + j_{b_0}^2 + j_{b_{z1}}^2 + j_{b_{z2}}^2 + j_{b_{z11}}^2 + j_{b_{z22}}^2 + j_{b_q}^2}$	
	离散幅值		中心距可调	$\Delta p = K_o (j_{t p1} + j_{t p2} + j_{p x z 1} + j_{p x z 2} + j_{p q})$	
				$\Delta b = K_o \sqrt{j_{b_1}^2 + j_{b_2}^2 + j_{b_{x z 1}}^2 + j_{b_{x z 2}}^2 + j_{b_q}^2}$	
蜗杆侧隙	平均值	微米		$i_{t p1} = \Delta m S + \frac{1}{2} \delta_s$	
	离散幅值			$i_{t b_1} = \frac{1}{2} \delta_s$	
	平均值			$i_{t p1} = 0.18 \Delta_s M + \Delta_x M $	
	离散幅值			$i_{t b_1} = 0.18 \Delta_s M - \Delta_x M $	
蜗轮侧隙(折算到蜗杆上)	平均值			$i_{t p2} = 0.36 \Delta_s a + \Delta_x a $	
	离散幅值			$i_{t b_2} = 0.36 \Delta_s a - \Delta_x a $	

续表 16

名 称	符号	单 位	条 件	计 算 公 式	备 注	
空回换算系数	K_0			$K_0 = \frac{6.88}{m_c Z}$		
中心 距 因素	侧隙的平均值	j_{pa}		$j_{pa} = 0.73 (\mu_a - a_0)$	查表 32	
	侧隙的 离散幅值	j_{ba}		$j_{ba} = 0.73F_a$		
径 向 间 隙 因 素	侧隙的 平均值	j_{pr}	克 力	~500	$j_{pr} = 0$	
				>500~1000	$j_{pr} = 0.36U_{pr}$	U_{pr} 查表 33
				>1000	$j_{pr} = K_{\lambda f} U_{pr}$	查表 40
	侧隙的 离散幅值	j_{br}		>1000	$j_{pr} = 1.06U_{pr}$	U_{pr} 查表 33
				~500	$j_{br} = 0$	
				>500~1000	$j_{br} = 0.36U_{br}$	U_{br} 查表 33
>1000	$j_{br} = K_{\lambda f} U_{br}$	查表 40				
>1000	$j_{br} = 1.06U_{br}$	U_{br} 查表 33				
轴 向 间 隙 因 素	侧隙的 平均值	j_{pz}	克 力	~300	$j_{pz} = 0$	
				>300~1000	$j_{pz} = 0.5U_{pz}$	U_{pz} 查表 33
				>300~1000	$j_{pz} = 0.5U_{pz} \operatorname{tg} \lambda_f$	查表 41
				>1000	$j_{pz} = U_{pz}$	U_{pz} 查表 33
				>1000	$j_{pz} = U_{pz} \operatorname{tg} \lambda_f$	查表 41
				>1000	$j_{pz} = U_{pz} \operatorname{tg} \lambda_f$	查表 41
	侧隙的 离散幅值	j_{bz}		~300	$j_{bz} = 0$	
				>300~1000	$j_{bz} = 0.5U_{bz}$	U_{bz} 查表 33
				>300~1000	$j_{bz} = 0.5U_{bz} \operatorname{tg} \lambda_f$	查表 41
				>1000	$j_{bz} = U_{bz}$	U_{bz} 查表 33
				>1000	$j_{bz} = U_{bz} \operatorname{tg} \lambda_f$	查表 41
				>1000	$j_{bz} = U_{bz} \operatorname{tg} \lambda_f$	查表 41
其他 因素	侧隙的平均值	j_{pq}		一般情况下可不计算, 需要计算时可见第 24 条		
	侧隙的 离散幅值	j_{bq}				

注: ① m_c ——蜗杆轴向模数; Z ——蜗杆头数; a_0 ——理论壳体中心距; μ_a ——实际壳体中心距的平均值; F_a ——壳体中心距偏差离散幅值; $K_{\lambda f}$ ——蜗杆换算系数, $K_{\lambda f} = \sqrt{\operatorname{tg}^2 \lambda_f + 0.132}$ 可查表 40。

② 注脚 1 和 2 分别代表蜗杆和蜗轮。

③ 当 $\lambda_f \leq 5^\circ$ 时, $j_{pz} = j_{bz} = 0$; 当 $\lambda_f \leq 15^\circ$ 时, $K_{\lambda f} \approx 0.36$ 。④ F_t ——节圆周上的切向合力; F_x ——轴向合力。⑤ 轴向剖面压力角接近 20° , 也可以近似使用。

21. 在第 17 至 20 条中查表或计算单个齿轮侧隙离散幅值时, 对于非整转工作的齿轮, 侧隙离散幅值应乘以修正系数 K_θ , 当使用角 $\theta \geq 180^\circ$ 时, $K_\theta = 1$; 当 $90^\circ < \theta < 180^\circ$ 时, $K_\theta = 0.7$; 当 $\theta \leq 90^\circ$ 时, $K_\theta = 0.5$ 。

22. 直齿、斜齿圆柱齿轮和直齿圆锥齿轮一对齿轮的空回的平均值和离散幅值简化计算公式如下:

$$\Delta_p = K_p \frac{21600}{mZ}$$

$$\Delta_b = K_b \frac{21600}{mZ}$$

式中: K_p ——空回平均值简化计算系数, 见表17、18、19;

K_b ——空回离散幅值简化计算系数, 见表17、18、19。

注: 本条的简化系数 K_p 、 K_b 适用于齿轮副啮合中心距公差 $F_{\alpha} = 0.02\text{mm}$, 且齿轮副的 $m(Z_1 + Z_2)$ 应在 30~40mm 范围内的一对齿轮的空回计算。

当齿轮副各个齿轮侧隙类型不同时, 其齿轮副的 K_p 、 K_b 取各侧隙类型的系数和的平均值。

直齿和斜齿圆柱齿轮空回简化计算系数表 (中心距不可调)

$$K_p = \frac{0.364}{1000\pi} [E_{\alpha 11}^* + E_{\alpha 12}^* + |E_{\alpha 21}^* + E_{\alpha 22}^*|]$$

$$K_b = \frac{0.364}{1000\pi} \sqrt{|E_{\alpha 11}^* - E_{\alpha 12}^*|^2 + |E_{\alpha 21}^* - E_{\alpha 22}^*|^2 + F_{\alpha}^2}$$

mm

表 17

模 数	侧隙	4 级 精 度		5 级 精 度		6 级 精 度		7 级 精 度		8 级 精 度	
		K_p	K_b	K_p	K_b	K_p	K_b	K_p	K_b	K_p	K_b
0.1~0.3	a	0.0032		0.0048		0.0065		0.0088		0.0121	
	b	0.0046		0.0061		0.0079		0.0102		0.0136	
	c	0.0056	0.0033	0.0071	0.0041	0.0088	0.0052	0.0111	0.0067	0.0145	0.0089
	d	0.0081		0.0096		0.0114		0.0137		0.0169	
	e	0.0119		0.0140		0.0153		0.0180		0.0212	
	f	0.0161	0.0037	0.0180	0.0047	0.0195	0.0058	0.0221	0.0076	0.0253	0.0098
>0.3~0.6	a	0.0035		0.0051		0.0070		0.0096		0.0133	
	b	0.0049		0.0065		0.0083		0.0110		0.0147	
	c	0.0058	0.0034	0.0075	0.0043	0.0093	0.0055	0.0119	0.0072	0.0157	0.0098
	d	0.0084		0.0100		0.0118		0.0145		0.0182	
	e	0.0121		0.0138		0.0159		0.0187		0.0224	
	f	0.0163	0.0038	0.0181	0.0048	0.0201	0.0062	0.0228	0.0080	0.0265	0.0106
>0.6~1.0	a	0.0037		0.0053		0.0074		0.0103		0.0140	
	b	0.0050		0.0067		0.0090		0.0117		0.0154	
	c	0.0059	0.0035	0.0077	0.0045	0.0097	0.0058	0.0126	0.0077	0.0163	0.0103
	d	0.0086		0.0102		0.0123		0.0152		0.0189	
	e	0.0123		0.0141		0.0162		0.0191		0.0231	
	f	0.0165	0.0039	0.0183	0.0050	0.0204	0.0064	0.0233	0.0084	0.0272	0.0111
>1.0~1.5	a	0.0039		0.0059		0.0081		0.0113		0.0154	
	b	0.0054		0.0073		0.0095		0.0126		0.0172	
	c	0.0063	0.0036	0.0082	0.0048	0.0104	0.0062	0.0136	0.0083	0.0177	0.0112
	d	0.0093		0.0112		0.0133		0.0166		0.0207	
	e	0.0130		0.0151		0.0173		0.0205		0.0249	
	f	0.0176	0.0040	0.0197	0.0053	0.0220	0.0068	0.0252	0.0090	0.0295	0.0120

直齿和斜齿圆柱齿轮空回简化计算系数表

(中心距可调)

$$K_p = K_b = \frac{1}{3} \times \frac{0.364}{1000\pi} \sqrt{F_{n1}^2 + F_{n2}^2}$$

mm

表 18

模 数	精 度 等 级				
	4 级	5 级	6 级	7 级	8 级
0.1~0.3	0.00058	0.00093	0.00133	0.00183	0.00254
>0.3~0.6	0.00062	0.00098	0.00139	0.00198	0.00273
>0.6~1.0	0.00069	0.00109	0.00155	0.00214	0.00299
>1.0~1.5	0.00076	0.00120	0.00171	0.00236	0.00332

直齿圆锥齿轮空回简化计算系数表

$$K_p = K_b = \frac{1}{2} \times \frac{0.364}{1000\pi} \sqrt{\delta_{a1}^2 + \delta_{a2}^2}$$

mm

表 19

模 数	精 度 等 级			
	5 级	6 级	7 级	8 级
~0.5	0.00082	0.0013	0.0021	0.0034
>0.5~1	0.0010	0.0016	0.0025	0.0040

23. 直齿、斜齿圆柱齿轮和直齿圆锥齿轮的空回的估算公式如下:

$$\Delta = K_d \frac{21600}{mZ}$$

式中: K_d ——空回估算系数, 见表 20、21。注: 本条的估算系数 K_d 适用条件同第 22 条的注。直齿和斜齿圆柱齿轮空回估算系数 K_d 值表

(中心距不可调)

mm

表 20

模 数	精 度 等 级				
	4 级	5 级	6 级	7 级	8 级
0.1~1.0	0.008	0.011	0.014	0.018	0.024
>1.0~1.5	0.008	0.011	0.014	0.019	0.025

直齿和斜齿圆柱齿轮(中心距可调)及直齿圆锥齿轮空回估算系数 K_d 值表

mm

表 21

模 数	精 度 等 级				
	4 级	5 级	6 级	7 级	8 级
0.1~1.5	0.001	0.002	0.003	0.004	0.006

注: 直齿圆锥齿轮 JB 306—62 中模数规定到 1, 精度最高规定为 5 级。

五、由其他因素造成的侧隙计算方法

24. 由其他因素造成的侧隙计算公式见表 22。

 μm

表 22

齿 轮 类 型	侧 隙	
	平 均 值	离 散 幅 值
直齿圆柱齿轮	$j_{pq} = j_{pxz} + j_N + j_\theta + j'_f$	$j_{bq} = j_{bxz} + j_{bR}$
斜齿圆柱齿轮	$j_{pq} = \cos\beta(j_{pxz} + j_N + j_\theta + j'_f)$	$j_{bq} = \cos\beta(j_{bxz} + j_{bR})$
直齿圆锥齿轮	$j_{pq} = j_{pxz} + j_N + j_\theta + j'_f$	$j_{bq} = j_{bxz} + j_{bR}$
蜗 杆	$j_{pq} = \frac{1}{\text{tg}\lambda_f}(j_{pxz} + j_N + j_\theta + j'_f)$	$j_{bq} = \frac{1}{\text{tg}\lambda_f}(j_{bxz} + j_{bR})$
蜗 轮	$j_{pq} = j_{pxz} + j_N + j_\theta + j'_f$	$j_{bq} = j_{bxz} + j_{bR}$

注：① 公式中各项计算见第 26、27、28 和 29 条。

② 由于不推荐用传动研磨（以后简称研磨）的方法来控制空回和传动误差，其前提是齿面上无加工毛刺，若有毛刺可用加油传动啮合或适当的研磨去除毛刺，在个别情况下可以用研磨补偿率计算覆盖区域以外的小概率事件和某项因素稍有超差带来的坏影响，以提高空回和传动误差的合格率，所以在由其他因素造成的空回计算中不考虑研磨对空回的影响。

25. 对不上销的键联结的齿轮，由于键和键槽间隙因素造成的侧隙计算公式如下：

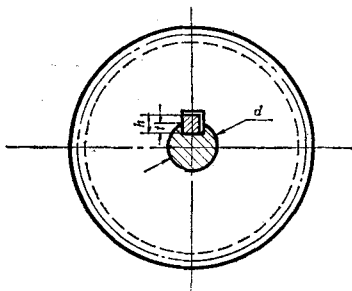


图 1

$$\text{平均值} \quad j_{pxz} = \frac{mZ}{d + 2(h-t)} \cdot X_{ps} \quad (\text{微米})$$

$$\text{离散幅值} \quad j_{bxz} = \frac{mZ}{d + 2(h-t)} \cdot X_{bs} \quad (\text{微米})$$

式中： h ——键高（毫米）； t ——键槽深（毫米）； X_{ps} 、 X_{bs} ——键槽和键的间隙平均值和离散幅值。

$$X_{ps} = \delta_{sp} + \delta_{fp} \quad (\text{微米})$$

$$X_{bs} = \sqrt{\delta_{sb}^2 + \delta_{fb}^2} \quad (\text{微米})$$

式中： δ_s ——键槽公差（微米）； δ_f ——键公差（微米）。当经过精密选配时， $X_{ps} = X_{bs} = 10\mu\text{m}$ 。

26. 由装置的转动部分的偏心因素造成的侧隙计算公式见表23。

齿轮副类型		侧 隙		μm		备 注
				一 般 情 况	采 取 工 艺 措 施	
直、斜齿圆柱齿轮副、蜗杆副	平均值	j_{pR}	$j_{pR} = 0$	$j_{pR} = 0$		
	离散幅值	j_{bR}	$j_{bR} = 0.36 \sqrt{(\Delta D_x - \Delta d_x)^2 + e_2^2 + e_3^2}$	$j_{bR} = 0.25 \sqrt{5^2 + e_2^2 + e_3^2}$		
直齿圆锥齿轮副	平均值	j_{pR}	$j_{pR} = 0$	$j_{pR} = 0$		
	离散幅值	j_{bR}	$j_{bR} = 0.36 \cos \psi_f \sqrt{(\Delta D_x - \Delta d_x)^2 + e_2^2 + e_3^2}$	$j_{bR} = 0.25 \cos \psi_f \sqrt{5^2 + e_2^2 + e_3^2}$		

注：① 表中代号 ΔD_x 是齿轮孔径上偏差， Δd_x 是配合轴径下偏差，可查 GB 174—59。

② 表中代号 e_2 是安装齿轮的轴颈处对轴的支承处的径向跳动公差，可查 GB 1184—75。

③ 表中代号 e_3 是轴承内圈或外圈的径向摆动。

④ 当轴径 $d < 10\text{mm}$ ，孔轴配合采用 $\frac{K7}{h6}$ ， $\frac{J7}{h6}$ ，轴承精度为G、E、D级，轴的径跳8、9、10级时计算公式中代号的值可查表 42。

⑤ 采取工艺措施指进行精密选配、调整等各种工艺措施。

27. 由弹性变形因素造成的侧隙计算

(1) 轴的扭转变形造成的侧隙计算公式如下：

$$j_N = K_N \cdot M \cdot L \cdot d_f \quad (\text{微米})$$

式中： K_N ——扭转弹性侧隙系数， $K_N = 1.02 \times 10^4 \cdot \frac{1}{Gd^4}$ ；

G ——轴材料剪切弹性模数，公斤/厘米²；

d ——轴工作段直径，毫米；

M ——轴上扭转力矩，克·厘米；

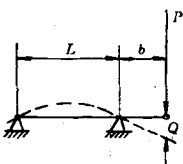
L ——轴上传递力矩的轴向距离，毫米；

d_f ——(端面)分度圆直径，毫米。

当轴直径 d 为3~17mm，轴材料为钢或铝合金时，则 K_N 可查表43。

(2) 轴的弯曲变形造成的侧隙计算公式见表24。

结构形式		μm		简 图
		齿 轮 类 型	齿 轮 类 型	
直齿圆柱、圆锥齿轮蜗杆蜗轮		斜 齿 圆 柱 齿 轮		
筒 支 架		$j_Q = K_Q \frac{Ma^2(L-a)^2}{d_f \cdot L}$	$j_Q = K_Q \frac{Ma^2(L-a)}{d_f \cdot L} \cos \beta$	

结构形式	齿 轮 类 型		简 图
	直齿圆柱、圆锥齿轮蜗杆蜗轮	斜齿圆柱齿轮	
外伸梁	$i_0 = K_Q \frac{Mb^2(L+b)}{d_f}$	$i_0 = K_Q \frac{Mb^2(L+b)}{d_f} \cos\beta$	

注: K_Q —弯曲变形侧隙系数, $K_Q = 3.08 \times 10^{-4} \frac{1}{Ed^4}$;

E —轴材料弹性模数, 公斤/厘米²;

d —轴工作段直径, 毫米;

M —轴上传动力矩, 克·厘米;

L —轴的两支承点间的距离, 毫米;

a —负载中点到一支支承点的距离, 毫米;

b —负载中点到邻近支承点的外伸距离, 毫米;

d_f —(端面)分度圆直径, 毫米;

β —螺旋角。

当轴直径 d 为 3~17mm、轴材料为钢或铝合金时, 则 K_Q 可查表 43。

28. 温度变化引起的一对齿轮的温度变化侧隙计算公式如下:

$$j_i' = 1000[a\alpha_0 \Delta t - (\alpha_1 R_1 + \alpha_2 R_2) \Delta t] \cdot 2 \operatorname{tg} \alpha \quad (\text{微米})$$

当在铝或铝合金壳体上两钢齿轻啮合时, 可按下列公式计算:

$$j_i' = 0.84 \times 10^{-2} a \Delta t \quad (\text{微米})$$

当 j_i' 为“+”值时, 表示增大侧隙, 为“-”值时, 表示减小侧隙。

式中: α_0 —壳体材料的线膨胀系数, 铝材料取 $\alpha_0 = 0.23 \times 10^{-4}$

α_1 、 α_2 —啮合齿轮 1、2 材料的线膨胀系数, 钢材料取 $\alpha = 0.115 \times 10^{-4}$;

R_1 、 R_2 —啮合齿轮 1、2 的分度圆半径, (毫米);

Δt —温度差值。变化后温度与装配时温度 (一般为 20°C) 的偏差 (°C)。当升温时为“+”, 降温时为“-”值;

a —传动中心距 (或相似中心距) 计算公式见表 25。

mm

表 25

齿 轮 副 类 型	计 算 公 式
直齿圆柱齿轮副	$a = \frac{1}{2} m (Z_1 + Z_2)$
斜齿圆柱齿轮副	$a = \frac{1}{2} m_n \left(\frac{Z_1}{\cos \beta_1} + \frac{Z_2}{\cos \beta_2} \right)$
直齿圆锥齿轮副	$a = L_1 \cos \psi_1 + L_2 \cos \psi_2$
蜗杆蜗轮副	$a = \frac{1}{2} (d_f + mZ_2)$

注: 其中 L 为一个锥齿轮轴线到另一个锥齿轮靠近齿轮端的轴承端面的距离。当某齿轮为反锥结构时, 其 L 前带“-”号。

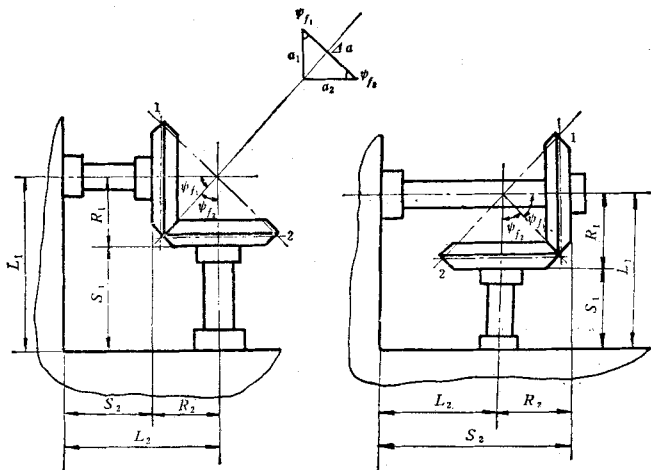


图 2

29. 有温度补偿要求的齿轮副验算和最小极限空回的计算公式见表26。

μm

表 26

步骤	计算项目	计算公式	备注		
1	齿轮副的温度补偿侧隙 j'_0	$j'_0 = j'_t + j_0$	j'_t ——温度变化侧隙见第28条 j_0 ——最小油膜厚度见注④		
2	直齿圆锥齿轮副 直齿、斜齿圆柱齿轮副 蜗杆蜗轮副	中心距不可调 $j'_t = (\Delta_m S_1 + \Delta_m S_2) - (j_b R_1 + j_b R_2)$	j_{0R} ——由装置的转动部分的偏心因素造成的侧隙见第26条, 当采取各种工艺措施(如精密选配、调整等)时 j_{0R} 可忽略		
		中心距可调 $j'_t = 0.73(E_{\alpha S_1} + E_{\alpha S_2} - F_\alpha) - (j_b R_1 + j_b R_2)$			
		中心距可调 $j'_t = 0.73(E_{\alpha S_1} + E_{\alpha S_2}) - (j_b R_1 + j_b R_2)$			
		中心距不可调 $j'_t = \angle_m S_1 + 0.73(\angle_s a_2 - F_\alpha) - (j_b R_1 + j_b R_2)$			
		中心距可调 $j'_t = (\angle_m S_1 + 0.73 \angle_s a_2) - (j_b R_1 + j_b R_2)$			
3	比较	$j'_t > j'_0$	若不满足 $j'_t > j'_0$ 时应重新选择侧隙类型		
4	齿轮副最小极限空回 Δ_j (角分)	$\Delta_j = K_0 j'_t$	K_0 ——空回换算系数 $K_0 = \frac{6.88}{mZ}$		
注: ① 中心距可调的齿轮副(蜗杆蜗轮除外)。虽可用调整中心距方法来保证实际 $j'_t > j'_0$ 。但相对啮合位置及啮合位置及啮合齿高将不符合设计、制造的规范所以对中心距可调的齿轮副也应选择侧隙类型, 使设计、制造与装调一致。					
② 在要求不高时, 为减少齿轮品种, 对中心距可调齿轮副的齿轮设计时都可取同一种侧隙类型来制造。: 而由装配时调整中心距使实际 $j'_t = j'_0$ 。此时计算其空回应在 Δ_j 、 Δ_b 公式中以 j'_t 代替 $(j_{t1} + j_{t2})$ 即可。					
③ 直齿圆锥齿轮副因可在径向或轴向调整, 故皆视为中心距可调。					
④					
	模数 mm	≤0.3	>0.3~0.6	>0.6~1	>1~1.5
	油膜厚度 μm j_0	1	2	3	4

六、其他传动元件的空回计算方法

30. 盘销联轴节的空回最大值计算公式如下:

$$\Delta_{\max} = \Delta_p + \Delta_b \quad (\text{角分})$$

式中: Δ_p ——空回平均值;

$$\Delta_p = \frac{1}{R} K_{pL} \quad (\text{角分})$$

$$K_{pL} = 1.72[(B_s + B_x) - (d_s + d_x)]$$

Δ_b ——空回离散幅值。

$$\Delta_b = \frac{1}{R} \cdot K_{bL} \quad (\text{角分})$$

$$K_{bL} = 2.4\sqrt{\delta_B^2 + \delta_d^2}$$

式中: B_s, B_x ——槽宽尺寸的上下偏差, 微米;

d_s, d_x ——销轴直径尺寸的上下偏差, 微米;

δ_B, δ_d ——槽和销轴尺寸的公差值之半, 微米;

R ——销轴中心到回转中心的距离, 毫米;

K_{pL}, K_{bL} ——空回平均值和离散幅值系数。

当 B 和 d 尺寸为 3~18mm, 其公差配合为 $\frac{H6}{h5}, \frac{H7}{h6}, \frac{H8}{h7}, \frac{H9}{h8}$ 时, 则 K_{pL}, K_{bL} 可查表 44。

31. 十字联轴节和万向联轴节的空回最大值计算公式如下:

$$\Delta_{\max} = \Delta_p + \Delta_b \quad (\text{角分})$$

式中: Δ_p ——空回平均值;

$$\Delta_p = \frac{1}{d} \cdot K_{pL} \quad (\text{角分})$$

$$K_{pL} = 6.88[(B_s + B_x) - (b_s + b_x)]$$

Δ_b ——空回离散幅值。

$$\Delta_b = \frac{1}{d} \cdot K_{bL} \quad (\text{角分})$$

$$K_{bL} = 9.63\sqrt{\delta_B^2 + \delta_b^2}$$

式中: B_s, B_x ——槽尺寸的上下偏差, 微米;

b_s, b_x ——凸块 (或凸爪、接头环) 尺寸的上下偏差, 微米;

δ_B, δ_b ——槽和凸块 (或凸爪、接头环) 尺寸的公差值之半;

d ——带槽圆盘 (或接叉) 外径或盘销中心至旋转中心的半径的两倍, 毫米;

K_{pL}, K_{bL} ——空回平均值和离散幅值系数。

当 B 和 b 尺寸为 3~18mm, 其公差配合为 $\frac{H6}{h5}, \frac{H7}{h6}, \frac{H8}{h7}, \frac{H9}{h8}$ 时, 则 K_{pL}, K_{bL} 可查表 44。

32. 圆锥差动器的空回最大值计算公式如下:

$$\Delta_{\max} = \Delta_p + \Delta_b$$

式中: Δ_p ——差动器空回平均值;

$$\Delta_p = 2K_\alpha \Delta_{pd}$$

Δ_b ——差动器空回离散幅值, $\Delta_b = 2K_\alpha \Delta_{bd}$;

Δ_{pd}, Δ_{bd} ——太阳轮与行星轮一对齿轮的空回平均值和离散幅值。计算公式见第 19 条一对直齿圆锥齿轮的空回计算。其中齿轮取 α 侧隙; 保留侧隙项及间隙因素的各侧隙项皆取为零;

K_o ——概率系数，一般取 0.33~0.7。当要求较高时，采取各种工艺措施（如精密选配，调整适当研磨等）时，可取 0.33。

七、传动链的总空回计算方法

33. 传动链的总空回最大值计算公式如下：

$$\Delta_{\Sigma \max} = \Delta_{p\Sigma} + \Delta_{b\Sigma}$$

式中： $\Delta_{p\Sigma}$ 、 $\Delta_{b\Sigma}$ ——传动链总空回的平均值和离散幅值。

$$\Delta_{p\Sigma} = \Sigma \left(\frac{\Delta_{pn}}{i_{n-1}} \right)$$

$$\Delta_{b\Sigma} = \sqrt{\Sigma \left(\frac{\Delta_{bn}}{i_{n-1}} \right)^2}$$

式中： Δ_{pn} 、 Δ_{bn} ——传动链第 n 对齿轮或传动元件（如联轴节、差动器等）空回平均值和离散幅值；
 i_{n-1} ——第 n 对齿轮（或传动元件）中读数齿轮（该数件）到齿轮传动链空回的读数齿轮（该数件）“1”的传动比。

注：① 本条适用于除平行传动链和重叠传动链外的要正反转工作的一般传动链的总空回计算。

② 当为单侧啮合传动、双片齿轮传动、自动调节啮合中心距传动和振荡状态下的传动时其 $i'_{i,p} \approx i'_{i,b} \approx 0$ ，即 $\Delta = 0$ 。

34. 传动链总空回最大值的简化计算公式如下：

$$\Delta_{\Sigma \max} = \Delta_{p\Sigma} + \Delta_{b\Sigma}$$

式中： $\Delta_{p\Sigma}$ 、 $\Delta_{b\Sigma}$ ——传动链总空回平均值、离散幅值。

$$\Delta_{p\Sigma} = \Sigma \left(\frac{\Delta_{pn}}{i_{n-1}} \right)$$

$$\Delta_{b\Sigma} = 0.7 \Sigma \left(\frac{\Delta_{bn}}{i_{n-1}} \right)$$

式中： Δ_{pn} 、 Δ_{bn} ——传动链第 n 对齿轮或传动元件（如联轴节、差动器等）空回平均值和离散幅值；
 i_{n-1} ——同第 33 条。

注：本条仅适用于齿轮对数较少的传动链总空回的近似计算。

35. 传动链总空回最大值的估算公式如下：

$$\Delta_{\Sigma \max} = \Sigma \left(\frac{\Delta_n}{i_{n-1}} \right)$$

式中： Δ_n ——传动链第 n 对齿轮或传动元件（如联轴节、差动器等）估算的空回值；
 i_{n-1} ——同第 33 条。

36. 平行传动链两支路间的空回计算

(1) 平行传动链原理示意图

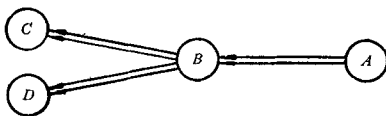


图 3

图中：A——主动件；B——分支（处）件；C——读数件；D——定位件；
 $B \rightarrow C$ ——读数支路； $B \rightarrow D$ ——定位支路； $A \rightarrow B$ ——主动支路

(2) 空回最大值计算公式如下:

$$\Delta_{\Sigma \max} = \Delta_{p\Sigma} + \Delta_{b\Sigma}$$

式中: $\Delta_{p\Sigma}$ 、 $\Delta_{b\Sigma}$ ——平行传动链两支路间的空回平均值和空回离散幅值。

$$\Delta_{p\Sigma} = (\Delta_{p\Sigma 2} - \Delta_{p\Sigma 1}) / i_{B-C}$$

$$\Delta_{b\Sigma} = \sqrt{\Delta_{b\Sigma 2}^2 + \Delta_{b\Sigma 1}^2} / i_{B-C}$$

式中: $\Delta_{p\Sigma 2}$ 、 $\Delta_{b\Sigma 2}$ ——由分支处齿轮到定位件的定位支路总空回平均值和离散幅值(以分支件 B 为定位支路空回的读数)其计算见第 33 条。

$\Delta_{p\Sigma 1}$ 、 $\Delta_{b\Sigma 1}$ ——由分支处齿轮到平行传动链的读数支路的总空回平均值和离散幅值(以分支件 B 为读数支路空回的读数)计算见第 33 条。

37. 重叠传动链的空回计算

(1) 重叠传动链是同一个主动件以同样的齿轮、轴等组成同样的传动比(一般为两个传动链)同时传至同一个从动件的传动链。原理示意图如图 4。



图 4

图中: A——主动件; B——从动件

(2) 空回最大值计算公式如下:

$$\Delta_{\Sigma \max} = K_{\Sigma} \Delta_{p\Sigma}$$

式中: $\Delta_{\Sigma \max}$ ——A 到 B 的传动空回最大值;

$\Delta_{p\Sigma}$ ——A 到 B 按其中一个单条传动链计算的空回平均值;

K_{Σ} ——重叠修正系数。一般为两个传动链重叠时可取 $K_{\Sigma} = 0.7 \sim 1$ 。

八、传动误差计算方法

38. 一对齿轮的单向传动误差计算公式见表 27。

角分

表 27

齿轮副类型	计 算 公 式	备 注
直齿圆柱、圆锥齿轮副	$\lambda = K_0 K_0 \sqrt{F_1'^2 + F_2'^2 + (\Delta D_{v1} - \Delta d_{v1})^2 + (\Delta D_{v2} - \Delta d_{v2})^2 + e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + e_4^2}$	$K_0 = \frac{6.88}{m Z_2}$
斜齿圆柱齿轮副	$\lambda = K_0 K_0 \sqrt{F_1'^2 + (\Delta D_{v1} - \Delta d_{v1})^2 + e_2^2 + e_3^2} \cos^2 \beta_1 + (F_2'^2 + (\Delta D_{v2} - \Delta d_{v2})^2 + e_2^2 + e_3^2) \cos^2 \beta_2$	$K_0 = \frac{6.88}{m_n Z_2}$
蜗杆蜗轮副	$\lambda = K_0 K_0 \sqrt{\delta r_{\Sigma}^2 + (\Delta D_{v1} - \Delta d_{v1})^2 + e_2^2 + e_3^2 + \delta r_{\Sigma}^2 \cdot \frac{1}{\cos^2 \beta_1} + [(\Delta D_{v1} - \Delta d_{v1})^2 + e_2^2 + e_3^2] \operatorname{tg} \lambda_1}$	$K_0 = \frac{6.88}{m_z Z_2}$

注: ① K_0 ——概率系数取 0.7~1。一般当中心距不可调时可取 1, 当中心距可调并采取各种工艺措施时可取 0.7。

② 对于非整转工作的齿轮, 计算时应在该齿轮的 F_1' (或 δT_2), $(\Delta D_{v1} - \Delta d_{v1})$, e_2 , e_3 前乘以修正系数 K_0 , 取法同第 21 条。

③ 注脚 1、2——定位齿轮(蜗杆)和读数齿轮(蜗轮)。

④ ΔD_v ——齿轮孔径上偏差, 微米。

⑤ Δd_v ——配合轴径下偏差(带“-”号), 过盈配合时取 $(\Delta D_v - \Delta d_v) = 0$, 微米。

⑥ e_2 ——装齿轮轴颈对支承外径跳公差, 微米。

⑦ e_3 ——当外圆固定时取轴承内环外滚道直径公差; 当内圆固定时取轴承外环内滚道直径公差, 微米。

当轴颈尺寸为1~10mm, 配合公差为 $\frac{K7}{h6}$ 、 $\frac{J7}{h6}$ 时, $\Delta D_1, \Delta d_2, e_2, e_3$ 可查表2。

当为圆锥齿轮副时, 以 $\delta T_{x1}, \delta T_{x2}$ 代 F'_{i1}, F'_{i2} 。

39. 单向传动误差的简化计算公式见表28。

角分

表 28

齿 轮 副 类 型	计 算 公 式	备 注
直齿圆柱、圆锥齿轮副	$A = K_o K_o \sqrt{F'_{i1} + F'_{i2}}$	$K_o = \frac{6.88}{mZ}$
斜齿圆柱齿轮副	$A = K_o K_o \sqrt{F'_{i1} \cos^2 \beta_1 + F'_{i2} \cos^2 \beta_2}$	$K_o = \frac{6.88}{m_n Z_2}$
蜗杆蜗轮副	$A = K_o K_o \sqrt{\delta T_{x2}^2 + \delta_{bz}^2 \frac{1}{\cos^2 \lambda_f}}$	$K_o = \frac{6.88}{m_1 Z_1}$

注: ① 当采取各种工艺措施(如精密选配、调整等)则各旋转偏心可忽略时, 单向传动误差可按本条计算。

② 当为圆锥齿轮副时, 以 $\delta T_{x1}, \delta T_{x2}$ 代 F'_{i1}, F'_{i2} 。

40. (盘销) 联轴节的单向传动误差计算公式如下:

$$A = \arcsin \frac{R}{\rho} \quad (\text{角分})$$

式中: R ——主、从动盘两轴线的偏心量, 毫米;

ρ ——主动盘的销钉中心到主动盘轴心线的距离, 毫米。

41. 差动器单向传动误差计算公式如下:

$$A = \frac{13.76}{mZ} \cdot K_o \sqrt{\delta T_{x1}^2 + \delta T_{x2}^2} \quad (\text{角分})$$

式中: A ——太阳轮间的单向传动误差。若是太阳轮(定位件)到系杆(读数件)的单向传动误差再

$$\text{乘 } i = \frac{1}{2};$$

$\delta T_{x1}, \delta T_{x2}$ ——太阳轮和行星轮的运动误差的公差, 微米;

mZ ——太阳轮的模数和齿数;

K_o ——修正系数, 0.7~1。当要求较高时, 采取各种工艺措施(如精密选配、调整等)后, 可取 $K_o = 0.7$ 。

42. 传动链的单向传动误差计算公式如下:

$$A_x = \sqrt{\sum \left(\frac{A_n}{i_{n-1}} \right)^2} \quad (\text{角分})$$

式中: A_n ——第 n 对齿轮副或传动元件(如联轴节、差动器等)单向传动误差;

i_{n-1} ——第 n 对齿轮(或传动元件)中的读数齿轮(或读数件)到传动链单向传动误差的读数件的传动比。

注: 当传动链为单向传动时, 传动误差只是单向传动误差, 不计算双向传动误差。

43. 一对齿轮副的双向传动误差计算公式如下:

$$W = A_p + \sqrt{A_b^2 + A^2}$$

式中: A_p, A_b ——一对齿轮的空回平均值和离散幅值, 见第18~21条(注意换算到 A 的同一个读数件上);

A ——一对齿轮的单向传动误差, 见第38或39条。

44. 传动链的双向传动误差计算公式如下:

$$W_x = A_{px} + \sqrt{A_{bx}^2 + A_x^2} \quad (\text{角分})$$

式中: A_{px}, A_{bx} ——传动链的空回平均值和离散幅值(注意换算到 A_x 的同一个读数件上), 见第33~37条;

A_x ——传动链的单向传动误差, 见第42条。

九、空回和传动误差计算用表

45. 直齿、斜齿圆柱齿轮(中心距不可调)的侧隙表

$$j_{ip} = 0.36 |E_{\alpha s}^* + E_{\alpha f}^*|$$

$$j_{ib} = 0.36 |E_{\alpha s}^* - E_{\alpha f}^*|$$

表 29

精度等级	配合种类	法向模数 mm	侧隙 代号	分 度 圆 直 径 mm									
				>6	>6~12	>12~20	>20~32	>32~50	>50~80	>80 ~125	>125 ~200	>200 ~315	>315 ~500
				μm									
5	a	0.1~0.3	j_{ip}	5.76	6.12	6.84	7.20	7.56	7.92	8.64	—	—	—
			j_{ib}	5.76	6.12	6.84	7.20	7.56	7.92	8.64	—	—	—
		>0.3	j_{ip}	—	6.84	7.20	7.56	7.92	8.64	9.00	9.72	11.16	—
			j_{ib}	—	6.84	7.20	7.56	7.92	8.64	9.00	9.72	10.44	—
		>0.6~1	j_{ip}	—	7.20	7.92	8.28	8.64	9.00	9.36	10.08	11.52	14.04
			j_{ib}	—	7.20	7.92	8.28	8.64	9.00	9.36	10.08	10.80	11.88
	>1~1.5	j_{ip}	—	—	8.28	8.64	9.00	9.36	10.08	10.80	12.24	14.04	
		j_{ib}	—	—	8.28	8.64	9.00	9.36	10.08	10.80	11.52	12.60	
	b	0.1~0.3	j_{ip}	7.20	8.28	9.00	10.08	11.16	12.24	13.68	—	—	—
			j_{ib}	5.76	6.12	6.84	7.20	7.56	7.92	8.64	—	—	—
		>0.3	j_{ip}	—	9.00	9.36	10.44	11.52	12.96	14.04	16.20	19.08	—
			j_{ib}	—	6.84	7.20	7.56	7.92	8.64	9.00	9.72	10.44	—
		>0.6~1	j_{ip}	—	9.36	10.08	11.16	12.24	13.32	14.40	15.84	18.72	23.40
			j_{ib}	—	7.20	7.92	8.28	8.64	9.00	9.36	10.08	10.80	11.88
	>1~1.5	j_{ip}	—	—	10.44	11.52	12.60	13.68	15.12	16.56	19.44	23.40	
		j_{ib}	—	—	8.28	8.64	9.00	9.36	10.08	10.80	11.52	12.60	
	c	0.1~0.3	j_{ip}	7.92	9.00	11.16	11.52	13.32	14.40	16.56	—	—	—
			j_{ib}	5.76	6.12	6.84	7.20	7.56	7.92	8.64	—	—	—
		>0.3	j_{ip}	—	9.72	11.52	11.88	13.68	15.12	16.20	19.08	21.96	—
			j_{ib}	—	6.84	7.20	7.56	7.92	8.64	9.00	9.72	10.44	—
>0.6~1		j_{ip}	—	10.08	12.24	12.60	14.40	15.48	16.56	18.72	22.32	26.28	
		j_{ib}	—	7.20	7.92	8.28	8.64	9.00	9.36	10.08	10.80	11.88	
>1~1.5	j_{ip}	—	—	12.60	12.96	14.76	15.84	17.28	19.44	22.32	27.00		
	j_{ib}	—	—	8.28	8.64	9.00	9.36	10.08	10.80	11.52	12.60		
d	0.1~0.3	j_{ip}	9.36	10.44	12.60	13.68	15.48	17.28	19.44	—	—	—	
		j_{ib}	5.76	6.12	6.84	7.20	7.56	7.92	8.64	—	—	—	
	>0.3	j_{ip}	—	11.16	12.96	14.04	15.84	18.00	19.80	22.68	27.00	—	
		j_{ib}	—	6.84	7.20	7.56	7.92	8.64	9.00	9.72	10.44	—	
	>0.6~1	j_{ip}	—	11.52	13.68	14.76	16.56	18.36	20.16	22.32	27.36	32.76	
		j_{ib}	—	7.20	7.92	8.28	8.64	9.00	9.36	10.08	10.80	11.88	
>1~1.5	j_{ip}	—	—	14.04	15.12	16.92	18.72	20.88	23.04	27.36	32.76		
	j_{ib}	—	—	8.28	8.64	9.00	9.36	10.08	10.80	11.52	12.60		
e	0.1~0.3	j_{ip}	12.60	14.70	16.56	18.36	21.24	24.48	27.36	—	—	—	
		j_{ib}	6.84	7.56	7.92	8.28	9.00	9.36	10.08	—	—	—	
	>0.3	j_{ip}	—	15.12	17.28	19.08	21.60	25.20	27.72	31.68	37.08	—	
		j_{ib}	—	7.92	8.64	9.00	9.36	10.08	10.44	11.52	12.60	—	
	>0.6~1	j_{ip}	—	15.48	17.64	19.44	21.96	25.56	28.44	32.04	37.08	43.92	
		j_{ib}	—	8.28	9.00	9.36	9.72	10.44	11.16	11.88	12.60	13.68	
>1~1.5	j_{ip}	—	—	18.00	19.80	22.68	25.92	28.80	32.40	37.80	44.64		
	j_{ib}	—	—	9.36	9.72	10.44	10.80	11.52	12.24	13.32	14.40		
f	0.1~0.3	j_{ip}	15.48	18.36	21.60	24.84	28.44	32.40	36.72	—	—	—	
		j_{ib}	6.84	7.56	7.92	8.28	9.00	9.36	10.08	—	—	—	
	>0.3	j_{ip}	—	18.72	22.32	25.56	28.80	33.12	37.08	42.48	50.76	—	
		j_{ib}	—	7.92	8.64	9.00	9.36	10.08	10.44	11.52	12.60	—	
	>0.6~1	j_{ip}	—	19.08	22.68	25.92	29.16	33.48	37.80	42.84	50.76	60.48	
		j_{ib}	—	8.28	9.00	9.36	9.72	10.44	11.16	11.88	12.60	13.68	
>1~1.5	j_{ip}	—	—	23.04	26.28	29.88	33.84	38.16	43.20	51.48	61.20		
	j_{ib}	—	—	9.36	9.72	10.44	10.80	11.52	12.24	13.32	14.40		

续表 29

精度等级	配合种类	法向模数 mm	侧隙 代号	分 度 圆 直 径 mm									
				~6	>6~12	>12~20	>20~32	>32~50	>50~80	>80 ~125	>125 ~200	>200 ~315	>315 ~500
				μm									
a	0.1~0.3	j_{1p}	7.92	8.64	9.00	9.72	10.08	10.80	11.52	—	—	—	
		i_{1b}	7.92	8.64	9.00	9.72	10.08	10.80	11.52	—	—	—	
	>0.3 ~0.6	j_{1p}	—	9.36	10.08	10.44	11.16	11.52	12.24	13.32	14.40	—	
		i_{1b}	—	9.36	10.08	10.44	11.16	11.52	12.24	13.32	14.40	—	
	>0.6~1	j_{1p}	—	10.08	10.44	11.16	11.52	12.24	12.96	13.68	14.76	16.20	
		i_{1b}	—	10.08	10.44	11.16	11.52	12.24	12.96	13.68	14.76	16.20	
	>1~1.5	j_{1p}	—	—	11.52	11.88	12.60	12.96	13.68	14.76	15.48	16.92	
		i_{1b}	—	—	11.52	11.88	12.60	12.96	13.68	14.76	15.48	16.92	
	b	0.1~0.3	j_{1p}	9.36	10.80	11.16	12.60	13.68	15.12	16.56	—	—	—
			i_{1b}	7.92	8.64	9.00	9.72	10.08	10.80	11.52	—	—	—
		>0.3 ~0.6	j_{1p}	—	11.52	12.24	13.32	14.76	15.84	17.28	19.08	21.60	—
			i_{1b}	—	9.36	10.08	10.44	11.16	11.52	12.24	13.32	14.40	—
>0.6~1		j_{1p}	—	12.24	12.60	14.04	15.12	16.56	18.00	19.44	21.96	25.56	
		i_{1b}	—	10.08	10.44	11.16	11.52	12.24	12.96	13.68	14.76	16.20	
>1~1.5	j_{1p}	—	—	13.68	14.76	16.20	17.28	18.72	20.52	22.68	26.28		
	i_{1b}	—	—	11.52	11.88	12.60	12.96	13.68	14.76	15.48	16.92		
c	0.1~0.3	j_{1p}	10.08	11.52	13.32	14.04	15.84	17.28	18.72	—	—	—	
		i_{1b}	7.92	8.64	9.00	9.72	10.08	10.80	11.52	—	—	—	
	>0.3 ~0.6	j_{1p}	—	12.24	14.40	14.76	16.92	18.00	19.44	21.96	25.20	—	
		i_{1b}	—	9.36	10.08	10.44	11.16	11.52	12.24	13.32	14.40	—	
	>0.6~1	j_{1p}	—	12.96	14.76	15.48	17.28	18.72	20.16	22.32	25.56	29.88	
		i_{1b}	—	10.08	10.44	11.16	11.52	12.24	12.96	13.68	14.76	16.20	
>1~1.5	j_{1p}	—	—	15.84	16.20	18.36	19.44	20.88	23.40	26.28	30.60		
	i_{1b}	—	—	11.52	11.88	12.60	12.96	13.68	14.76	15.48	16.92		
d	0.1~0.3	j_{1p}	11.52	12.96	14.76	16.20	18.00	20.16	22.32	—	—	—	
		i_{1b}	7.92	8.64	9.00	9.72	10.08	10.80	11.52	—	—	—	
	>0.3 ~0.6	j_{1p}	—	13.68	15.84	16.92	19.08	20.88	23.04	25.56	29.52	—	
		i_{1b}	—	9.36	10.08	10.44	11.16	11.52	12.24	13.32	14.40	—	
	>0.6~1	j_{1p}	—	14.40	16.20	17.64	19.44	21.60	23.76	25.92	29.88	34.92	
		i_{1b}	—	10.08	10.44	11.16	11.52	12.24	12.96	13.68	14.76	16.20	
>1~1.5	j_{1p}	—	—	17.28	18.36	20.52	22.32	24.48	27.00	30.60	35.64		
	i_{1b}	—	—	11.52	11.88	12.60	12.96	13.68	14.76	15.48	16.92		
e	0.1~0.3	j_{1p}	14.76	16.92	19.08	21.24	24.12	27.72	30.60	—	—	—	
		i_{1b}	9.00	9.72	10.44	11.16	11.88	12.60	13.32	—	—	—	
	>0.3 ~0.6	j_{1p}	—	18.00	20.16	21.96	24.84	28.44	31.32	35.28	41.04	—	
		i_{1b}	—	10.80	11.52	11.88	12.60	13.32	14.04	15.12	16.56	—	
	>0.6~1	j_{1p}	—	18.36	20.52	22.68	25.20	29.16	32.04	36.00	41.40	47.88	
		i_{1b}	—	11.16	11.88	12.60	12.96	14.04	14.76	15.84	16.92	18.36	
>1~1.5	j_{1p}	—	—	21.24	23.40	25.92	29.88	32.76	36.72	42.12	49.60		
	i_{1b}	—	—	12.60	13.32	13.68	14.76	15.48	16.56	17.64	19.08		
f	0.1~0.3	j_{1p}	17.64	20.52	24.12	27.72	31.32	35.64	39.96	—	—	—	
		i_{1b}	9.00	9.72	10.44	11.16	11.88	12.60	13.32	—	—	—	
	>0.3 ~0.6	j_{1p}	—	21.60	25.20	28.44	32.04	36.36	40.68	46.08	54.72	—	
		i_{1b}	—	10.80	11.52	11.88	12.60	13.32	14.04	15.12	16.56	—	
	>0.6~1	j_{1p}	—	21.96	25.56	29.16	32.40	37.08	41.40	46.80	55.08	64.44	
		i_{1b}	—	11.16	11.88	12.60	12.96	14.04	14.76	15.84	16.92	18.36	
>1~1.5	j_{1p}	—	—	26.28	29.88	33.12	37.80	42.12	47.52	55.80	65.16		
	i_{1b}	—	—	12.60	13.32	13.68	14.76	15.48	16.56	17.64	19.08		

续表 29

精度等级	配合种类	法向模数 mm	侧 隙 代号	分 度 圆 直 径 mm									
				~6	>6~12	>12~20	>20~32	>32~50	>50~80	>80 ~125	>125 ~200	>200 ~315	>315 ~500
				μm									
a	0.1~0.3	<i>h_{1p}</i>		10.80	11.52	12.24	12.96	13.68	14.76	15.84	—	—	—
		<i>h_{1b}</i>	10.80	11.52	12.24	12.96	13.68	14.76	15.84	—	—	—	
	>0.3 ~0.6	<i>h_{1p}</i>	—	12.96	13.68	14.40	15.12	15.84	16.92	18.00	19.44	—	
		<i>h_{1b}</i>	—	12.96	13.68	14.40	15.12	15.84	16.92	18.00	19.44	—	
	>0.6~1	<i>h_{1p}</i>	—	14.04	14.76	15.48	16.20	16.92	18.00	19.08	20.52	22.32	
		<i>h_{1b}</i>	—	14.04	14.76	15.48	16.20	16.92	18.00	19.08	20.52	22.32	
	>1~1.5	<i>h_{1p}</i>	—	—	15.84	16.56	17.28	18.00	19.08	20.16	21.60	23.04	
		<i>h_{1b}</i>	—	—	15.84	16.56	17.28	18.00	19.08	20.16	21.60	23.04	
	b	0.1~0.3	<i>h_{2p}</i>		12.24	13.68	14.40	15.84	17.28	19.08	20.88	—	—
			<i>h_{2b}</i>	10.80	11.52	12.24	12.96	13.68	14.76	15.84	—	—	
		>0.3 ~0.6	<i>h_{2p}</i>	—	15.12	15.84	17.28	18.72	20.16	21.96	23.76	26.64	—
			<i>h_{2b}</i>	—	12.96	13.68	14.40	15.12	15.84	16.92	18.00	19.44	—
>0.6~1		<i>h_{2p}</i>	—	16.20	16.92	18.36	19.80	21.24	23.04	24.84	27.72	32.40	
		<i>h_{2b}</i>	—	14.04	14.76	15.48	16.20	16.92	18.00	19.08	20.52	22.32	
>1~1.5		<i>h_{2p}</i>	—	—	18.00	19.44	20.88	22.32	24.12	25.92	28.80	33.12	
		<i>h_{2b}</i>	—	—	15.84	16.56	17.28	18.00	19.08	20.16	21.60	23.04	
c		0.1~0.3	<i>h_{3p}</i>		12.96	14.40	16.56	17.28	19.44	21.24	23.04	—	—
			<i>h_{3b}</i>	10.80	11.52	12.24	12.96	13.68	14.76	15.84	—	—	
		>0.3 ~0.6	<i>h_{3p}</i>	—	15.84	18.00	18.72	20.88	22.32	24.12	26.64	30.24	—
			<i>h_{3b}</i>	—	12.96	13.68	14.40	15.12	15.84	16.92	18.00	19.44	—
	>0.6~1	<i>h_{3p}</i>	—	16.92	19.08	19.80	21.96	23.40	25.20	27.72	31.32	36.00	
		<i>h_{3b}</i>	—	14.04	14.76	15.48	16.20	16.92	18.00	19.08	20.52	22.32	
	>1~1.5	<i>h_{3p}</i>	—	—	20.16	20.88	23.04	24.48	26.28	28.80	32.40	36.00	
		<i>h_{3b}</i>	—	—	15.84	16.56	17.28	18.00	19.08	20.16	21.60	23.04	
	d	0.1~0.3	<i>h_{4p}</i>		14.40	15.84	18.00	19.44	21.60	24.12	26.64	—	—
			<i>h_{4b}</i>	10.80	11.52	12.24	12.96	13.68	14.76	15.84	—	—	
		>0.3 ~0.6	<i>h_{4p}</i>	—	17.28	19.44	20.88	23.04	25.20	27.72	30.24	34.56	—
			<i>h_{4b}</i>	—	12.96	13.68	14.40	15.12	15.84	16.92	18.00	19.44	—
>0.6~1		<i>h_{4p}</i>	—	18.36	20.52	21.96	24.12	26.28	28.80	31.32	35.64	41.76	
		<i>h_{4b}</i>	—	14.04	14.76	15.48	16.20	16.92	18.00	19.08	20.52	22.32	
>1~1.5		<i>h_{4p}</i>	—	—	2.60	23.04	25.20	27.36	29.88	32.40	36.72	42.48	
		<i>h_{4b}</i>	—	—	15.84	16.56	17.28	18.00	19.08	20.16	21.60	23.04	
e		0.1~0.3	<i>h_{5p}</i>		17.64	20.52	22.68	24.84	28.08	32.04	35.28	—	—
			<i>h_{5b}</i>	11.88	13.32	14.04	14.76	15.84	16.92	18.00	—	—	
		>0.3 ~0.6	<i>h_{5p}</i>	—	21.60	23.76	25.92	29.16	33.12	36.36	40.32	46.44	—
			<i>h_{5b}</i>	—	14.40	15.12	15.84	16.92	18.00	19.08	20.16	21.96	—
	>0.6~1	<i>h_{5p}</i>	—	22.32	24.84	27.00	29.88	33.84	37.08	41.40	47.16	54.00	
		<i>h_{5b}</i>	—	15.12	16.20	16.92	17.64	18.72	19.80	21.24	22.68	24.48	
	>1~1.5	<i>h_{5p}</i>	—	—	25.56	28.08	30.96	34.92	38.16	42.12	48.24	55.08	
		<i>h_{5b}</i>	—	—	16.92	18.00	18.72	19.80	20.88	21.96	23.76	25.56	
	f	0.1~0.3	<i>h_{6p}</i>		20.52	24.12	27.72	31.32	35.28	—	—	—	—
			<i>h_{6b}</i>	11.88	13.32	14.04	14.76	15.84	—	—	—	—	
		>0.3 ~0.6	<i>h_{6p}</i>	—	25.20	28.80	32.40	36.36	41.04	45.72	51.12	60.12	—
			<i>h_{6b}</i>	—	14.40	15.12	15.84	16.92	18.00	19.08	20.16	21.96	—
>0.6~1		<i>h_{6p}</i>	—	25.92	29.88	33.48	37.08	41.76	46.44	52.20	60.84	70.56	
		<i>h_{6b}</i>	—	15.12	16.20	16.92	17.64	18.72	19.80	21.24	22.68	24.48	
>1~1.5		<i>h_{6p}</i>	—	—	30.60	34.56	38.16	42.84	47.52	52.92	61.92	71.64	
		<i>h_{6b}</i>	—	—	16.92	18.00	18.72	19.80	20.88	21.96	23.76	25.56	

续表 29

精度等级	配合种类	法向模数 mm	侧隙 代号	分 度 圆 直 径 mm									
				~6	>6~12	>12~20	>20~32	>32~50	>50~80	>80 ~125	>125 ~200	>200 ~315	>315 ~500
				#m									
a	0.1~0.3	<i>j_{1p}</i>		14.76	15.84	16.92	18.00	19.08	20.16	21.60	—	—	—
		<i>i_{1b}</i>	14.76	15.84	16.92	18.00	19.08	20.16	21.60	—	—	—	
	>0.3 ~0.6	<i>j_{1p}</i>	—	18.00	18.72	19.80	20.88	21.96	23.40	24.84	26.64	—	
		<i>i_{1b}</i>	—	18.00	18.72	19.80	20.88	21.96	23.40	24.84	25.64	—	
	>0.6~1	<i>j_{1p}</i>	—	19.08	20.16	21.24	21.96	23.04	24.48	25.92	28.08	30.24	
		<i>i_{1b}</i>	—	19.08	20.16	21.24	21.96	23.04	24.48	25.92	28.08	30.24	
	>1~1.5	<i>j_{1p}</i>	—	—	21.60	22.68	23.76	24.84	26.28	27.72	29.52	31.68	
		<i>i_{1b}</i>	—	—	21.60	22.68	23.76	24.84	26.28	27.72	29.52	31.68	
	b	0.1~0.3	<i>j_{1p}</i>	16.20	18.00	19.08	20.88	22.68	24.48	26.64	—	—	—
			<i>i_{1b}</i>	14.76	15.84	16.92	18.00	19.08	20.16	21.60	—	—	—
		>0.3 ~0.6	<i>j_{1p}</i>	—	20.16	20.88	22.68	24.48	26.28	28.44	30.60	33.84	—
			<i>i_{1b}</i>	—	18.00	18.72	19.80	20.88	21.96	23.40	24.84	26.64	—
>0.6~1		<i>j_{1p}</i>	—	21.24	22.32	24.12	25.56	27.36	29.52	31.68	35.28	39.60	
		<i>i_{1b}</i>	—	19.08	20.16	21.24	21.96	23.04	24.48	25.92	28.08	30.24	
>1~1.5		<i>j_{1p}</i>	—	—	23.76	25.56	27.36	29.16	31.32	33.48	36.72	41.04	
		<i>i_{1b}</i>	—	—	21.60	22.68	23.76	24.84	26.28	27.72	29.52	31.68	
c		0.1~0.3	<i>j_{1p}</i>	16.92	18.72	21.24	22.32	24.84	26.54	28.80	—	—	—
			<i>i_{1b}</i>	14.76	15.84	16.92	18.00	19.08	20.16	21.60	—	—	—
		>0.3 ~0.6	<i>j_{1p}</i>	—	20.88	23.04	24.12	26.64	28.44	30.60	33.48	37.44	—
			<i>i_{1b}</i>	—	18.00	18.72	19.80	20.88	21.96	23.40	24.84	26.64	—
	>0.6~1	<i>j_{1p}</i>	—	21.96	24.48	25.56	27.72	29.52	31.68	34.56	38.88	43.20	
		<i>i_{1b}</i>	—	19.08	20.16	21.24	21.96	23.04	24.48	25.92	28.08	30.24	
	>1~1.5	<i>j_{1p}</i>	—	—	25.92	27.00	29.52	31.32	33.48	36.36	40.32	44.64	
		<i>i_{1b}</i>	—	—	21.60	22.68	23.76	24.84	26.28	27.72	29.52	31.68	
	d	0.1~0.3	<i>j_{1p}</i>	18.36	20.16	22.68	24.48	27.00	29.52	32.40	—	—	—
			<i>i_{1b}</i>	14.76	15.84	16.92	18.00	19.08	20.16	21.60	—	—	—
		>0.3 ~0.6	<i>j_{1p}</i>	—	22.32	24.48	26.28	28.80	31.32	34.20	37.08	41.76	—
			<i>i_{1b}</i>	—	18.00	18.72	19.80	20.88	21.96	23.40	24.84	26.64	—
>0.6~1		<i>j_{1p}</i>	—	33.40	25.92	27.72	29.88	32.40	35.28	38.16	43.20	48.60	
		<i>i_{1b}</i>	—	19.08	20.16	21.24	21.96	23.04	24.48	25.92	28.08	30.24	
>1~1.5		<i>j_{1p}</i>	—	—	27.36	29.16	31.68	34.20	37.08	39.96	44.64	50.40	
		<i>i_{1b}</i>	—	—	21.60	22.68	23.76	24.84	26.28	27.72	29.52	31.68	
e		0.1~0.3	<i>j_{1p}</i>	21.96	24.84	27.72	29.88	33.48	37.80	41.40	—	—	—
			<i>i_{1b}</i>	16.20	17.64	19.08	19.80	21.24	22.68	24.12	—	—	—
		>0.3 ~0.6	<i>j_{1p}</i>	—	26.64	29.16	31.68	34.92	39.24	42.84	47.52	54.00	—
			<i>i_{1b}</i>	—	19.44	20.52	21.60	22.68	24.12	25.56	27.36	29.52	—
	>0.6~1	<i>j_{1p}</i>	—	27.72	30.60	32.76	36.36	40.32	43.92	47.50	55.08	62.64	
		<i>i_{1b}</i>	—	20.52	21.96	22.68	24.12	25.20	26.64	28.44	30.60	33.12	
	>1~1.5	<i>j_{1p}</i>	—	—	32.04	34.20	37.80	41.76	45.36	50.04	56.52	64.08	
		<i>i_{1b}</i>	—	—	23.40	24.12	25.56	26.64	28.08	29.88	32.04	34.56	
	f	0.1~0.3	<i>j_{1p}</i>	24.84	28.44	32.76	36.36	40.68	45.72	50.76	—	—	—
			<i>i_{1b}</i>	16.20	17.64	19.08	19.80	21.24	22.68	24.12	—	—	—
		>0.3 ~0.6	<i>j_{1p}</i>	—	30.24	34.20	38.16	42.12	47.16	52.20	58.32	67.68	—
			<i>i_{1b}</i>	—	19.44	20.52	21.60	22.68	24.12	25.56	27.36	29.52	—
>0.6~1		<i>j_{1p}</i>	—	31.32	35.64	39.24	43.56	48.24	53.28	59.40	68.76	79.20	
		<i>i_{1b}</i>	—	20.52	21.96	22.68	24.12	25.20	26.64	28.44	30.60	33.12	
>1~1.5		<i>j_{1p}</i>	—	—	37.08	40.68	45.00	49.68	54.72	60.84	70.20	80.64	
		<i>i_{1b}</i>	—	—	23.40	24.12	25.56	26.64	28.08	29.88	32.04	34.56	

46. 直齿、斜齿圆柱齿轮（中心距可调）的侧隙表（见表30）

47. 直齿、斜齿圆柱齿轮保留侧隙表（见表31）

48. 壳体中心距因素造成的侧隙表（见表32）

$$j_{is} = 0.36F_v'$$

表 30

精度等级	法向模数 m	分 度 圆 直 径 d mm									
		~6	>6~12	>12~20	>20~32	>32~50	>50~80	>80 ~125	>125 ~200	>200 ~315	>315 ~500
	mm	μm									
5	0.1~0.3	5.04	5.40	5.76	5.76	6.12	6.48	6.84			
	>0.3~0.6	5.40	5.76	6.12	6.12	6.48	6.84	7.20	7.92	8.64	
	>0.6~1	6.12	6.48	6.84	6.84	7.20	7.56	7.92	8.64	9.36	10.08
	>1~1.5		7.10	7.56	7.56	7.92	8.28	8.64	9.36	10.44	11.16
6	0.1~0.3	7.20	7.56	7.92	8.28	8.64	9.36	10.08			
	>0.3~0.6	7.56	7.92	8.28	8.64	9.00	9.72	10.44	11.16	12.24	
	>0.6~1	8.64	9.00	9.36	9.72	10.08	10.80	11.52	12.24	13.32	14.40
	>1~1.5		10.08	10.44	10.80	11.16	11.88	12.60	13.32	14.40	15.48
7	0.1~0.3	10.08	10.44	10.80	11.52	12.24	12.96	13.68			
	>0.3~0.6	10.80	11.16	11.88	12.60	13.32	14.04	14.76	15.84	17.28	
	>0.6~1	11.88	12.24	12.96	13.68	14.40	15.12	15.84	16.92	18.36	19.80
	>1~1.5		13.68	14.40	15.12	15.84	16.56	17.28	18.36	19.80	21.24
8	0.1~0.3	14.04	14.40	15.12	15.84	16.92	18.08	19.08			
	>0.3~0.6	15.12	15.48	16.20	17.28	18.36	19.44	20.52	21.96	23.76	
	>0.6~1	16.56	16.92	18.00	19.08	20.16	21.24	22.32	23.76	25.56	27.72
	>1~1.5		19.08	20.16	21.24	22.32	23.40	24.48	25.92	27.72	29.88

续表 31

分度圆直径 d mm	法向模数 m_n mm	精度等级																										
		5						7						8														
		a	b	c	d	e	f	a	b	c	d	e	f	a	b	c	d	e	f									
0.1~0.3	0	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23	0	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23	—	—	0	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23					
>0.3	>0.6	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23			
>80	>0.6~1	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23			
>1~1.5	>1~1.5	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23	4.38	6.57	9.49	15.33	23.36	37.23			
0.1~0.3	0	5.11	8.03	10.95	17.52	27.01	43.8	0	5.11	7.3	10.95	17.52	27.01	43.8	0	5.11	7.3	10.95	17.52	—	—	—	—	—	—			
>0.3	>0.6	5.11	7.3	10.95	17.52	27.01	43.8	0	5.11	7.3	10.95	17.52	27.01	43.8	0	5.11	7.3	10.95	17.52	27.01	43.8	0	5.11	7.3	10.95	17.52	27.01	43.8
>125	>0.6~1	5.11	7.3	10.95	17.52	27.01	43.8	0	5.11	7.3	10.95	17.52	27.01	43.8	0	5.11	7.3	10.95	17.52	27.01	43.8	0	5.11	7.3	10.95	17.52	27.01	43.8
>1~1.5	>1~1.5	5.11	7.3	10.95	17.52	27.01	43.8	0	5.11	7.3	10.95	17.52	27.01	43.8	0	5.11	7.3	10.95	17.52	27.01	43.8	0	5.11	7.3	10.95	17.52	27.01	43.8
0.1~0.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
>0.3	>0.6	6.57	9.49	13.14	20.44	31.39	50.37	0	5.84	8.76	12.41	20.44	31.39	50.37	0	5.84	8.76	12.41	20.44	31.39	50.37	0	5.84	8.76	12.41	20.44	31.39	50.37
>200	>0.6~1	5.84	8.76	12.41	20.44	31.39	50.37	0	5.84	8.76	12.41	20.44	31.39	50.37	0	5.84	8.76	12.41	20.44	31.39	50.37	0	5.84	8.76	12.41	20.44	31.39	50.37
>1~1.5	>1~1.5	5.84	8.76	12.41	20.44	31.39	50.37	0	5.84	8.76	12.41	20.44	31.39	50.37	0	5.84	8.76	12.41	20.44	31.39	50.37	0	5.84	8.76	12.41	20.44	31.39	50.37
0.1~0.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
>0.3	>0.6	7.3	10.95	16.81	24.82	38.69	61.32	0	7.3	10.95	16.81	24.82	38.69	61.32	0	7.3	10.95	16.81	24.82	38.69	61.32	0	7.3	10.95	16.81	24.82	38.69	61.32
>315	>0.6~1	7.3	10.95	16.81	24.82	38.69	61.32	0	7.3	10.95	16.81	24.82	38.69	61.32	0	7.3	10.95	16.81	24.82	38.69	61.32	0	7.3	10.95	16.81	24.82	38.69	61.32
>1~1.5	>1~1.5	7.3	10.95	16.81	24.82	38.69	61.32	0	7.3	10.95	16.81	24.82	38.69	61.32	0	7.3	10.95	16.81	24.82	38.69	61.32	0	7.3	10.95	16.81	24.82	38.69	61.32
0.1~0.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
>0.3	>0.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
>500	>0.6~1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
>1~1.5	>1~1.5	10.95	14.6	20.44	30.66	47.45	74.46	0	9.49	13.87	18.98	29.95	46.72	74.46	0	9.49	13.87	18.98	29.95	46.72	74.46	0	9.49	13.87	18.98	29.95	46.72	74.46

表 32

类 别	按各齿轮传动中心坐标标注公差		按啮合中心坐标标注公差	
	1	2	3	4
序 号				
标注方法				
壳 体 啮 合 中 心 距	夹 角 β^*	$\beta < 35^\circ$ 或 $\beta > 55^\circ$	$\beta < 35^\circ$ 或 $\beta > 55^\circ$	$\beta < 35^\circ$ 或 $\beta > 55^\circ$
	平均 值 $F_a - a_o$	0	0	0
公 差	离 散 幅 值 $\pm F_o$	$\sqrt{2}\delta$	$\frac{\sqrt{2}\delta}{2}$	$\frac{\sqrt{2}\delta}{2}$
	mm	$\pm\delta = 0.01$	$\pm\delta = 0.02$	$\pm\delta = 0.01$
侧 隙 代 号	i_{po}	0	0	0
	i_{ba}	μm	10.30	14.56
		10.30	14.56	14.56
		7.28	10.30	7.28
		7.28	10.30	10.30

注: ① β 是两齿轮中心连线(或基准面(用坐标表示就是x轴或y轴))的夹角, 该夹角取在 0° 至 90° 范围内, 图纸上 β 不标注。
 ② 离散幅值 F_o 只是壳体加工时造成的, 不同于小模数齿轮副中的传动中心距公差 i_o 。
 ③ 推荐按啮合中心距坐标标注公差。
 ④ F_a 实际壳体中心距的平均值。 a_o 理论壳体中心距。

49. 一对滚珠轴承在各种轴向间隙下的轴向间隙和径向间隙表

 μm

表 33

轴承内径 mm	轴向间隙 U_x	轴向间隙的 平均值 U_{px}	轴向间隙的 离散幅值 U_{bx}	径向间隙 U_r	径向间隙的 平均值 U_{pr}	径向间隙的 离散幅值 U_{br}	备 注
$> 3 \sim 8$	30~120	75	45	8~15	11.5	3.5	一般用于直齿圆柱齿轮的轴（空回公式中无影响）
	30~80	55	25				对传动链的空回影响较小，而力矩影响较大处
	20~40	30	10	3~8	5.5	2.5	斜齿圆柱齿轮的轴 对传动链的空回影响较大，而力矩影响较小处
	10~30	20	10	2~5	3.5	1.5	一般用于蜗杆及蜗轮的轴
	10~20	15	5				一般用于直齿圆锥齿轮的轴，在影响侧隙那端的轴向间隙（在不影响侧隙的那端还可有20~60 μm ）

- 注：① 同一内径的各种不同型号和精度等级的轴承径向间隙近似相等。
 ② 本表指滚动轴承中单列向心球轴承，若为径向止推或止推轴承时轴向间隙可为0~0.01 μm 。
 ③ 直齿圆锥齿轮轴向间隙控制见示意图5。

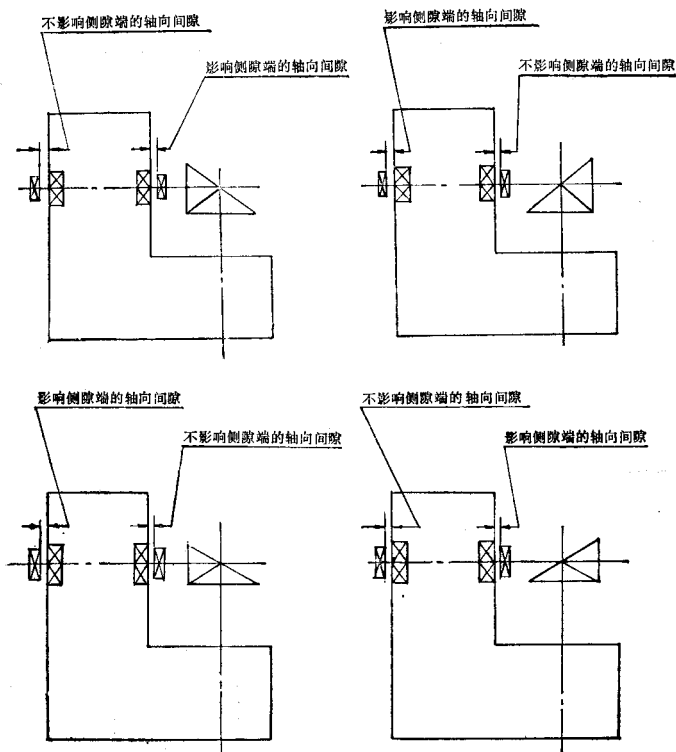


图 5 直齿圆锥齿轮轴向间隙示意图

50. 斜齿圆柱齿轮由轴承径向游隙造成的侧隙因螺旋角的转换系数表

$$K_{\beta} = \sqrt{\cos^2 \beta + 0.132}$$

表 34

螺旋角 β	转换系数 K_{β}	螺旋角 β	转换系数 K_{β}	螺旋角 β	转换系数 K_{β}	螺旋角 β	转换系数 K_{β}	螺旋角 β	转换系数 K_{β}
2°	1.063	14°	1.037	26°	0.969	38°	0.868	50°	0.738
4°	1.062	16°	1.028	28°	0.955	40°	0.848	52°	0.715
6°	1.059	18°	1.018	30°	0.939	42°	0.827	54°	0.691
8°	1.055	20°	1.007	32°	0.923	44°	0.806	56°	0.667
10°	1.050	22°	0.996	34°	0.905	46°	0.784	58°	0.642
12°	1.043	24°	0.983	36°	0.887	48°	0.761	60°	0.618

51. 斜齿圆柱齿轮由径向间隙因素造成的侧隙计算用表

表 35

螺旋角 β	轴 向 松 动				螺旋角 β	轴 向 松 动			
	20~40 μ m		30~80 μ m			20~40 μ m		30~80 μ m	
	$K_{\beta}U_{pr}$	$K_{\beta}U_{br}$	$K_{\beta}U_{pr}$	$K_{\beta}U_{br}$		$K_{\beta}U_{pr}$	$K_{\beta}U_{br}$	$K_{\beta}U_{pr}$	$K_{\beta}U_{br}$
μ m				μ m					
2°	5.846	2.658	12.224	3.720	32°	5.076	2.308	10.614	3.230
4°	5.841	2.655	12.213	3.717	34°	4.978	2.262	10.408	3.168
6°	5.824	2.648	12.178	3.706	36°	4.878	2.218	10.200	3.104
8°	5.802	2.638	12.132	3.692	38°	4.774	2.170	9.982	3.038
10°	5.775	2.625	12.075	3.675	40°	4.664	2.120	9.752	2.968
12°	5.736	2.608	11.994	3.650	42°	4.548	2.068	9.510	2.894
14°	5.704	2.592	11.926	3.630	44°	4.433	2.015	9.269	2.821
16°	5.654	2.570	11.822	3.598	46°	4.312	1.960	9.016	2.744
18°	5.599	2.545	11.707	3.563	48°	4.186	1.902	8.752	2.664
20°	5.538	2.518	11.580	3.524	50°	4.059	1.845	8.487	2.583
22°	5.478	2.490	11.454	3.486	52°	3.932	1.788	8.222	2.502
24°	5.406	2.458	11.304	3.440	54°	3.800	1.728	7.946	2.418
26°	5.330	2.422	11.144	3.392	56°	3.668	1.668	7.670	2.334
28°	5.252	2.388	10.982	3.342	58°	3.531	1.605	7.383	2.247
30°	5.164	2.348	10.798	3.286	60°	3.399	1.545	7.107	2.163

注： U_{pr} 、 U_{br} 见表33。

52. 斜齿圆柱齿轮由轴向间隙因素造成的侧隙计算用表

表 36

螺旋角 β	轴 向 松 动				螺旋角 β	轴 向 松 动			
	20~40 μm		30~80 μm			20~40 μm		30~80 μm	
	$U_{pz}\sin\beta$	$U_{bz}\sin\beta$	$U_{pz}\sin\beta$	$U_{bz}\sin\beta$		$U_{pz}\sin\beta$	$U_{bz}\sin\beta$	$U_{pz}\sin\beta$	$U_{bz}\sin\beta$
μm				μm					
2°	1.05	0.35	1.92	0.875	32°	15.90	5.30	29.15	13.25
4°	2.10	0.70	3.85	1.75	34°	16.77	5.59	30.74	13.98
6°	3.15	1.05	5.78	2.62	36°	17.64	5.88	32.34	14.70
8°	4.17	1.39	7.64	3.48	38°	18.48	6.16	33.88	15.40
10°	5.22	1.74	9.57	4.35	40°	19.29	6.43	35.36	16.08
12°	6.24	2.08	11.44	5.20	42°	20.07	6.69	36.80	16.72
14°	7.26	2.42	13.31	6.05	44°	20.85	6.95	38.22	17.38
16°	8.28	2.76	15.18	6.90	46°	21.57	7.19	39.54	17.98
18°	9.27	3.09	17.00	7.72	48°	22.29	7.43	40.86	18.58
20°	10.26	3.42	18.81	8.55	50°	22.98	7.66	42.13	19.15
22°	11.25	3.75	20.62	9.38	52°	23.64	7.88	43.34	19.70
24°	12.21	4.07	22.38	10.18	54°	24.27	8.09	44.50	20.22
26°	13.14	4.38	24.09	10.95	56°	24.87	8.29	45.60	20.72
28°	14.07	4.69	26.68	11.72	58°	25.44	8.48	46.64	21.20
30°	15.00	5.00	27.50	12.50	60°	25.98	8.66	47.63	21.65

注: U_{pz} 、 U_{bz} 见表 33。

53. 直齿圆锥齿轮侧隙表

$$j_{is} = 0.368e_j$$

表 37

精度等级	端面模数 m_s mm	齿 轮 直 径 mm							
		~12	>12~20	>20~30	>30~50	>50~80	>80~120	>120~200	>200~320
		μm							
5	~0.5	2.52	2.88	3.24	3.60	3.96	4.68	5.76	7.20
	>0.5~1	3.24	3.24	3.60	3.96	4.68	5.76	6.84	7.92
6	~0.5	3.96	4.32	5.04	5.76	6.48	7.56	9.36	11.52
	>0.5~1	5.04	5.40	5.76	6.48	7.56	9.00	10.80	12.96
7	~0.5	6.48	7.20	7.92	9.00	10.08	12.24	15.12	18.00
	>0.5~1	7.92	8.64	9.36	10.08	12.24	14.40	16.56	19.80
8	~0.5	10.08	11.52	12.96	14.40	16.20	19.80	23.40	28.80
	>0.5~1	12.96	13.68	15.12	16.20	19.80	23.40	27.00	32.40

54. 直齿圆锥齿轮的保留侧隙表

$$j_s = \Delta_m S$$

表 38

精度等级	结合形式	端面模数 m_s mm	齿 轮 直 径 mm							
			~12	>12~20	>20~30	>30~50	>50~80	>80~120	>120~200	>200~320
			μm							
5.6	D	~1	8	8	9	9	10	11	13	15
	D _b		12	13	14	15	18	21	24	28
	D _c		17	18	21	24	28	32	38	45
	D _s		28	30	34	40	48	55	65	75
7	D		12	12	13	13	15	16	18	21
	D _b		16	17	18	20	22	25	28	32
	D _c		21	22	25	28	32	36	40	48
	D _s		32	34	38	45	50	60	70	80
8	D		19	19	20	21	22	24	26	28
	D _b		22	23	24	26	28	30	34	40
	D _c		26	28	30	34	38	42	48	55
	D _s		34	38	42	46	52	60	70	80

55. 直齿圆锥齿轮由轴向间隙因素造成的侧隙计算用表

(轴向松动10~20 μm)

表 39

分度圆锥角 ψ_f	$U_{\rho z} \sin \psi_f$		分度圆锥角 ψ_f	$U_{\rho z} \sin \psi_f$		分度圆锥角 ψ_f	$U_{\rho z} \sin \psi_f$	
	$U_{\rho z} \sin \psi_f$	$U_{b_z} \sin \psi_f$		$U_{\rho z} \sin \psi_f$	$U_{b_z} \sin \psi_f$		$U_{\rho z} \sin \psi_f$	$U_{b_z} \sin \psi_f$
6°	1.58	0.525	26°	6.57	2.19	46°	10.78	3.60
8°	2.08	0.695	28°	7.04	2.34	48°	11.14	3.72
10°	2.61	0.87	30°	7.50	2.50	50°	11.49	3.83
12°	3.12	1.04	32°	7.95	2.65	52°	11.82	3.94
14°	3.63	1.21	34°	8.38	2.80	54°	12.14	4.04
16°	4.14	1.38	36°	8.82	2.94	56°	12.44	4.14
18°	4.64	1.54	38°	9.24	3.08	58°	12.72	4.24
20°	5.13	1.71	40°	9.64	3.22	60°	12.99	4.33
22°	5.62	1.88	42°	10.04	3.34			
24°	6.10	2.03	44°	10.42	3.48			

注: $U_{\rho z}$ 、 U_{b_z} 见表33。

56. 蜗杆由轴承径向间隙造成的侧隙因螺旋角的转换系数表

$$K_{\lambda_j} = \sqrt{\operatorname{tg}^2 \lambda_j + 0.132}$$

表 40

分度圆螺旋角 λ_j	转换系数			分度圆螺旋角 λ_j	转换系数		
	K_{λ_j}	$K_{\lambda_j} U_{pr}$	$K_{\lambda_j} U_{br}$		K_{λ_j}	$K_{\lambda_j} U_{pr}$	$K_{\lambda_j} U_{br}$
1°26'~1°55'	0.365	1.276	0.547	11°19'	0.415	1.452	0.622
2°09'~2°52'	0.366	1.281	0.549	12°02'~12°53'	0.425	1.488	0.638
3°03'~3°49'	0.368	1.289	0.552	13°09'~13°30'	0.434	1.518	0.651
4°05'~4°54'	0.372	1.301	0.558	14°02'	0.441	1.543	0.661
5°05'~5°43'	0.375	1.314	0.563	14°56'	0.451	1.577	0.676
6°05'~6°51'	0.381	1.332	0.571	15°57'	0.462	1.618	0.693
7°07'~7°36'	0.386	1.350	0.578	16°42'	0.471	1.649	0.707
8°08'~8°32'	0.392	1.371	0.588	17°45'	0.484	1.695	0.726
9°05'~9°39'	0.399	1.397	0.599	18°26'	0.493	1.725	0.740
10°12'~10°51'	0.408	1.428	0.612	20°48'	0.526	1.840	0.788

注: U_{pr} 、 U_{br} 见表 33。

57. 轴向间隙因素造成的蜗轮侧隙计算用表

(轴向松动10~30 μm)

表 41

螺旋角 λ_j	$U_{pr} \operatorname{tg} \lambda_j$	$U_{br} \operatorname{tg} \lambda_j$	螺旋角 λ_j	$U_{pr} \operatorname{tg} \lambda_j$	$U_{br} \operatorname{tg} \lambda_j$	螺旋角 λ_j	$U_{pr} \operatorname{tg} \lambda_j$	$U_{br} \operatorname{tg} \lambda_j$
1°	0.35	0.17	10°	3.53	1.76	19°	6.89	3.44
2°	0.70	0.35	11°	3.89	1.94	20°	7.28	3.64
3°	1.05	0.52	12°	4.25	2.13	21°	7.68	3.84
4°	1.40	0.70	13°	4.62	2.31	22°	8.08	4.04
5°	1.75	0.87	14°	4.99	2.49	23°	8.49	4.24
6°	2.10	1.05	15°	5.36	2.68	24°	8.90	4.45
7°	2.46	1.23	16°	5.73	2.87	25°	9.33	4.66
8°	2.81	1.41	17°	6.11	3.06			
9°	3.17	1.58	18°	6.50	3.25			

注: U_{pr} 、 U_{br} 见表 33。

58. 旋转偏心因素中的偏差和径跳表

表 42

轴颈尺寸 mm	GB 159—174—59			GB 1184—75			GB 307—77											
	配合公差			径跳精度等级			向心滚动球轴承精度											
	孔		轴	8	9	10	G	E	D									
	Gc	Gd	d															
偏差代号			径跳代号			径向摆动												
ΔD_z			Δd_z			e_s												
			μm			内圈		外圈		内圈		外圈						
1~3	3	7	-6	10	20	40	10	15	5	7	3.5	5	6	9				
3~6	4	9	-8	12	25	50									8	3.5	6	9
6~10	4	11	-10	15	30	60												

59. 弹性侧隙系数表

表 43

轴 直 径 mm	轴 材 料			
	钢		铝 合 金	
	弹 性 侧 隙		系 数 代 号	
	K_N	K_Q	K_N	K_Q
3	15.5×10^{-5}	18.09×10^{-5}	46.5×10^{-5}	54.30×10^{-5}
4	4.9×10^{-5}	5.72×10^{-5}	14.7×10^{-5}	17.17×10^{-5}
5	2.02×10^{-5}	2.35×10^{-5}	6.06×10^{-5}	7.03×10^{-5}
6	0.97×10^{-5}	1.13×10^{-5}	2.91×10^{-5}	3.39×10^{-5}
7	0.53×10^{-5}	0.61×10^{-5}	1.57×10^{-5}	1.83×10^{-5}
8	0.31×10^{-5}	0.36×10^{-5}	0.92×10^{-5}	1.07×10^{-5}
9	0.19×10^{-5}	0.22×10^{-5}	0.57×10^{-5}	0.67×10^{-5}
10	0.13×10^{-5}	0.15×10^{-5}	0.38×10^{-5}	0.44×10^{-5}
11	0.09×10^{-5}	0.10×10^{-5}	0.26×10^{-5}	0.30×10^{-5}
12	0.06×10^{-5}	0.07×10^{-5}	0.18×10^{-5}	0.21×10^{-5}
13	0.04×10^{-5}	0.05×10^{-5}	0.13×10^{-5}	0.15×10^{-5}
14	0.03×10^{-5}	0.04×10^{-5}	0.10×10^{-5}	0.11×10^{-5}
15	0.025×10^{-5}	0.03×10^{-5}	0.07×10^{-5}	0.09×10^{-5}
17	0.015×10^{-5}	0.02×10^{-5}	0.045×10^{-5}	0.05×10^{-5}

60. 联轴节空回系数表

表 44

配 合 尺 寸 B, b, d mm	配 合 种 类	盘 销 联 轴 节		十 字 和 万 向 联 轴 节	
		系 数 代 号		系 数 代 号	
		K_{pL}	K_{bL}	K_{pL}	K_{bL}
3~6	$\frac{D_1}{d_1}$	22.36	11.37	89.44	45.44
	$\frac{D}{d}$	36.12	18.38	144.48	73.50
	$\frac{D_3}{d_3}$	51.60	26.05	206.40	104.19
	$\frac{D_4}{d_4}$	86.00	42.57	344.00	170.27
>6~10	$\frac{D_1}{d_1}$	25.80	13.02	103.20	52.09
	$\frac{D}{d}$	44.72	22.72	178.88	90.87
	$\frac{D_3}{d_3}$	63.64	32.06	254.56	128.23
	$\frac{D_4}{d_4}$	103.20	51.08	412.80	204.62
>10~18	$\frac{D_1}{d_1}$	32.68	16.37	130.72	65.51
	$\frac{D}{d}$	53.32	27.06	213.28	108.23
	$\frac{D_3}{d_3}$	77.40	39.07	309.60	156.28
	$\frac{D_4}{d_4}$	120.40	59.60	481.60	238.38

十、传动图中空回的表示方法及检查表格式

61. 每对齿轮的标注引出线一般由主动轮引出。其标注如图 6。

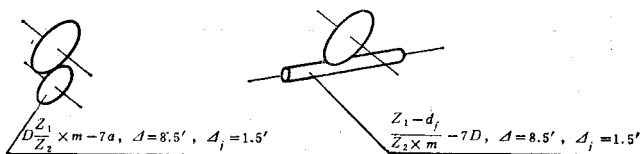


图 6

图中： D ——表示中心距可调整。若中心距不可调整则不标注。对锥齿轮副皆看为可调，所以可省略不注； Z_1 ——有引出线的齿轮的齿数（或蜗杆的头数）； Z_2 ——与有引出线的齿轮啮合的齿轮齿数； m ——齿轮的模数（或 d_f ——蜗杆分度圆直径）； $7a$ 、 $7b$ ——精度等级及侧隙配合。若两齿轮精度或侧隙类型不同，则用分式标注如 $\frac{7a}{7b}$ ，分别为有引出线的齿轮的精度和侧隙类型； Δ ——一对齿轮（概率法）最大空回值，max 省略不标注。建议装配用传动图注转角量 Δ ，系统用传动图注转值量 Δ 。若简化只注 Δ 时应在图纸上统一说明。标注的空回 Δ 值以引出齿轮为读数齿轮； Δ_j ——最小极限空回，若无要求，则不标注。

62. 当有过渡轮时，标注引出线应由主动轮和过渡轮分别引出。如图 7。

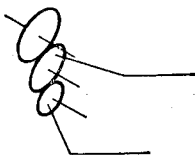


图 7

63. 当一个主动轮带动两个（或两个以上）从动轮时，标注引出线靠近啮合点处从主动轮分别引出。（标注的空回 Δ 值以引出齿轮为读数齿轮）。如图 8。

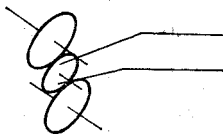


图 8

64. 对联轴节从主动件引出，万向联轴节从主动接叉引出，差动器从太阳轮引出。其标注方法如图 9。

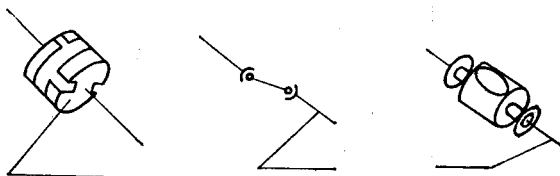


图 9

65. 设计文件中的空回、传动误差检查表的格式推荐如表45。

空回、传动误差及力矩检查表

表 45

序 号	主 动 件	读 数 件	定 位 件	空 回		单向传动误差		双向传动误差		力 矩	备 注
				允 许 最 大 值						(克力·厘米)	
				转值量 (单位)	转角度 (单位)	转值量 (单位)	转角度 (单位)	转值量 (单位)	转角度 (单位)		

注：① 空回、传动误差与力矩合并为一个检查表，参阅第8条。

② 为了简明标注主动件、从动件、读数件、制动件和定位件，可在传动图中引出线后加圆圈标元件代号如“④”。相应各栏填写该元件的代号。

③ 转值量与转角度应标明单位。

④ 备注栏主要写明制动件，加负载件和负载力矩值及单位（克力·厘米）等。

⑤ 检查空回、传动误差时，若传动链要加负载力矩是工作时模拟负载，称为“工作状态的空回（或传动误差）”。若该负载力矩只是检查数值稳定而加的负载，称为“检验状态的空回（或传动误差）”。若是传动链不标注加负载力矩，计算空回时，只计算传动链本身的摩擦力矩，称为“装配状态的空回（或传动误差）”。如何检验和计算由设计根据需决定。备注栏中若不注明即为“装配状态空回（或传动误差）”。

⑥ 当该传动链对某些项（如单向传动误差等）无要求时，则表格中该项可省略，不必列入。

十一、空回和传动误差的检查方法

空回和传动误差是与力矩有密切关系的，若图纸和文件上未标有对该传动链应加负载力矩的要求时，则空回和传动误差的检查必须在传动链的固有摩擦力矩等于和小于规定的要求值情况下进行。若图纸和文件上标明了对该传动链的负载力矩要求时，则空回和传动误差的检查必须在规定的负载力矩作用下进行。

66. 检查常用量具

(1) 刻度盘

有固定指标式和固定游标式两种（图10）。

刻度盘的周值 360° ，格值有 0.5° 、 1° 、 2° （也可根据需要要有周值300格和100格等刻度）。

游标式的可读到 $0.1^\circ \sim 0.05^\circ$ （ $6' \sim 3'$ ）。

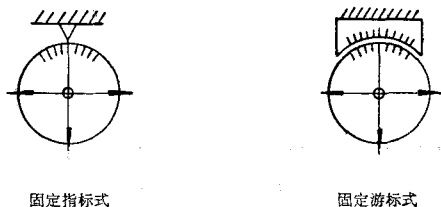


图 10

(2) 千分表

用千分表或杠杆千分表（靠表）在一定的半径 R 上来测量弦长 L 值。并以弦长近似代替弧长。

转角值: $\theta \approx \frac{L}{R} 3438$ (角分)

其中: L 、 R (同一长度单位)。或就规定一定的 R (如 50mm) 上的线量 L 值 (如以 μm 为单位)。
测量范围: 一般 $\theta \leq 30'$ (因近似性的限止)。

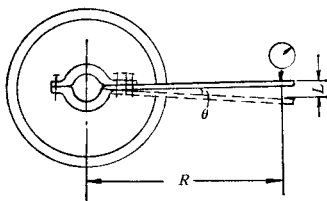


图 11

(3) 平行光管: 又称自动准直仪或自准直测角仪其测量原理见图12。

它是由望远镜与平行光管组合而成的一种光学仪器。头部有一读数显微镜, 自显微镜的目镜中可以看到透明的大十字分划板上的十字线, 光源经棱镜将光投影到小十字分划板上, 把小十字线照亮, 同时通过物镜变成平行光将小十字线象投射到反射镜上, 再射回物镜筒内, 形成一个新的小十字线象。

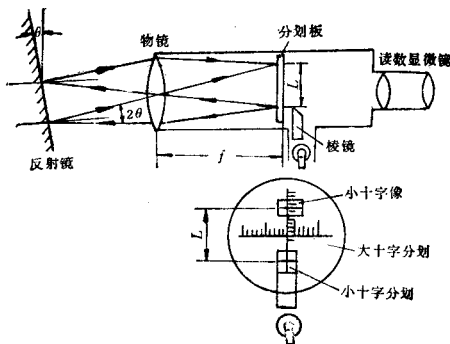


图 12

若反射镜反射的平行光束和投射的平行光束夹角 2θ , 则反射回来的小十字线象将与原来的小十字线错开一段距离 L , 则 L 和 θ 的关系为: $L = 2\theta f$, 式中 f 是物镜的焦距, 因此分划盘上能读出分划 L 值即 θ 转角值 (公式中为弧度单位)。

测量范围: $\pm 110'$ 格值 $1'$ 或 $\pm 60'$ 格值 $0.5'$ 等。

(4) 光学刻度盘 (图13)

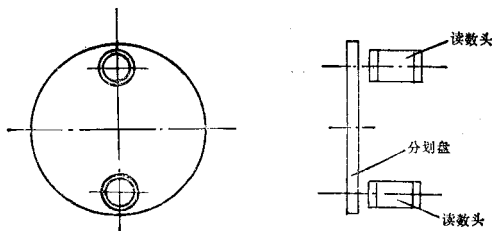
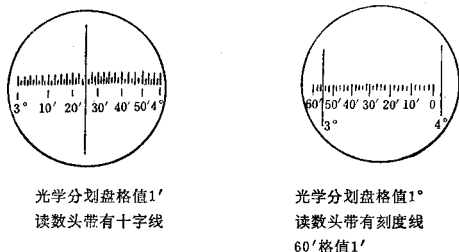


图 13

它由光学分划盘和读数头组成。光学分划盘刻度范围 $360'$ 格值 $1'$ 或格值 1° 。读数头有两种，一种带有刻度线，其刻度范围为 $60'$ 格值 $1'$ 。它们分别与格值是 $1'$ 的或 1° 的分划盘配对使用。注意调整光学分划盘与旋转中心重合使齿跳符合规定值，可用光学分划盘上的基准刻线来校正。当要求精确时，可在对称 180° 处再增加一个读数头，取两个读数头的读数平均值（以消除偏心误差）。



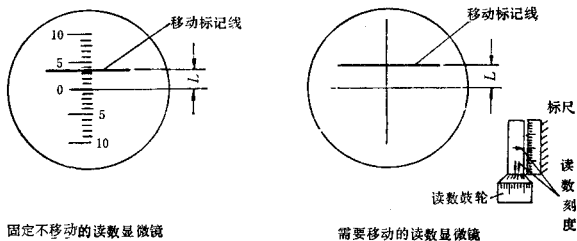
光学分划盘格值 $1'$
读数头带有十字线

光学分划盘格值 1°
读数头带有刻度线
 $60'$ 格值 $1'$

图 14

(5) 读数显微镜以标记线的移动弦长 L 用光学读数显微镜来求得 L 值。

在测量时，读数显微镜按移动与否分两类（图15），固定不动的读数显微镜必须带有分划刻度，需要移动的读数显微镜必须带有标尺和读数鼓轮，以供微调时读数。



固定不动的读数显微镜

需要移动的读数显微镜

图 15

转角值的计算公式：同千分表测量法公式，将 L 换算成 θ 转角值。

测量范围：一般为 $\theta \leq 30'$ （因近似性限止）。

(6) 光栅式传动链综合测量仪

原理：在主动轴带动从动轴正反向传动时，两光栅头分别输出电讯号，由相位比较仪（可按理论速比装定）比较出误差讯号，放大后输给纸带式记录器自动记录出误差曲线，即可得出空回与传动误差的变化数值。

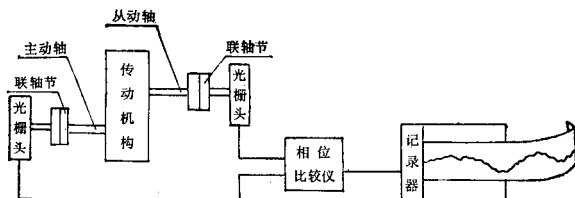


图 16

读数方法：记录纸上可读出单向传动误差 A ；

按定标信号以记录纸对并法可读出空回 Δ 和双向传动误差 B 。

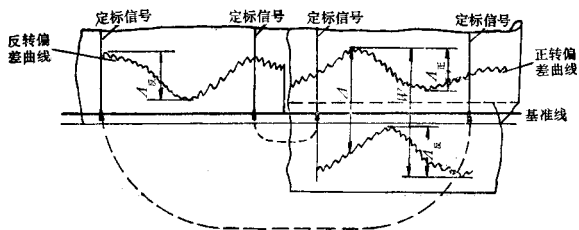


图 17 记录纸对并法示意图

测量范围： 360° （格值 $1'$ 或 $0.5'$ ）。

67. 量具的选择

(1) 该数件处量具应根据需测量的数值范围和精度要求来选用相适应的测量范围，格值和精度的量具。对传动误差，除有限转角外一般都需测量范围是 360° （无限）的量具。

(2) 定位件处量具应考虑其定位精度。一般定位件的定位误差可取为 $\pm 1/2$ 刻线宽度。

68. 空回的制动测量法按下述顺序进行：

- (1) 按空回检查表用制动装置把所需制动的定位件可靠地制动住；
- (2) 在该数件上按一个旋转方向（或移动方向）加规定测量力矩（或力）；
- (3) 用量具在该数件上读数；
- (4) 改变该数件上测量力矩的方向；
- (5) 再在该数件的量具上读数；
- (6) 二次读数之差即为该点该次的空回；
- (7) 在同一点上测三次空回值，然后取算术平均值作为该点的空回值。
- (8) 放松制动件，转过一个位置再测另一点的空回。重复(1)~(7)。

69. 空回的传动测量法按下述顺序进行：

- (1) 在从动件上按规定加负载力矩（若图纸和文件未写明则不加）；

- (2) 将主动件向一个方向转动(带动负载方向),在定位件上取定位点,读数件上读数;
- (3) 继续将主动件向这个方向转动足够的角度;
- (4) 将主动件反转,并将负载力矩也反向,重新将定位件转回到定位点,在读数件上进行第二次读数;

(5) 二次读数差即为该点该次测量的空回值;

注:注意空回的“正”、“负”,其定义见第一章表2。

(6) 每点测三次,取算术平均值作为该点的空回值;

(7) 重新在定位件上另取一定位点,再测另一点的空回。重复(1)~(6)。

70. 单向传动误差间断测量法按下述顺序进行:

(1) 从动件上按规定加负载力矩(若图纸或文件上未写明则不加);

(2) 主动件按一个方向转动(带动负载方向),在已带动从动件的情况下(即已消除空回后),将定位件和读数件皆对零位(或记下读数作为零位);

(3) 继续按此方向转动主动件,在定位件上按顺序装定规定的装定值,在读数件上顺序读出实际值;

(4) 以读数件上的实际值减去理论值就是该点的偏差值(带正负号);

(5) 所有读数点的偏差值的变动范围(即偏差值的最大值和最小值之差——峰间值)就是单向传动误差值的实际值 A 。

注:另一方向测量传动误差方法相同。

71. 双向传动误差间断测量法按下述顺序进行:

(1) 按第70条(1)至(4)款进行,此为正常转偏差值;

(2) 将主动件继续按此方向转动足够角度后反转(若有负载也应反向),在定位件上按顺序装定规定的装定值,在读数件上顺序读出实际值;

(3) 以反转的读数件上的实际值减去理论值就是该点的反转偏差值(带正负号);

(4) 同一点的正转和反转偏差值的绝对值之和就是该点的空回值;

(5) 正转和反转的所有读数点的偏差值的变动范围(即偏差值的最大值和最小值之差——双向峰间值)就是双向传动误差的实际值 W 。

72. 空回和传动误差的连续测量必须用能动态的自动连续测量与记录传动偏差值的自动测量仪。如光栅式传动链综合测量仪。

用光栅式传动链测量仪来测量空回和传动误差的方法按下述顺序进行:

(1) 按第66条(6)款原理示意图联接好各个部分;

(2) 从动件上按规定加负载力矩(若图纸或文件未写明时则不加);

(3) 开动主动电机让传动链带动负载旋转,记录器上自动记录出偏差曲线;

(4) 开关反向,使主动电机反转,同时将所加负载反向自动记录出反转偏差曲线;

(5) 按第66条(6)款读数方法读数,记录空回和传动误差数值。

73. 应注意和要特别说明的几个问题

(1) 对传动链的检查项目和方法按图纸或文件中规定。若图纸或文件中未写明检查方法时一般按间断测量法(空回检查按间断测量法中的传动测量法)。

(2) 若需加负载力矩或测量力矩时,图纸或文件中应写明所加的力矩的大小。

(3) 图纸或文件中规定空回检查时在主动件上加测量力矩(或在主动齿轮的节圆上用“测力计”即“测克计”,加测量力),以及规定制动定位件时,则应用间断法中的制动测量法。

(4) 一对齿轮或齿轮传动链的空回和传动精度是周期性变化的,因此在测量时必须注意到它们的变化周期即“啮合整周期”。

一对齿轮的以读数齿轮的转角表示的“啮合整周期” θ_r 为:

$$\theta_T = \frac{Z_p}{Z_1} \times 360^\circ$$

其中: Z_T ——读数齿轮齿数;

Z_p ——两啮合齿轮齿数的最小公倍数。

传动链的“啮合整周期”用读数件上的转角来表示。对减速传动来说一般可近似用定位件那对齿轮“啮合整周期”来代替。

空回用间断法测量时, 图纸或文件中一般不规定测量点, 测量时可自行选择测量点。一般可在“啮合整周期”中取近似等分点, 但等分点数不应少于 8 个。也可抽检感觉较大值的点。

传动精度用间断法测量时, 测量点数按图纸或文件中规定。

用连续测量法时, 读数件的转动范围必须超过“啮合整周期”。

(5) 受严重偏心重力作用的零件如扇形齿轮、凸轮等, 在旋转时, 会使齿轮总是单面啮合, 测不出空回。因此在测量时必须根据图纸或文件中规定也可自行采取消除偏心重力的方法, 否则应用固定法测量或应在有偏心重力旋转零件未装前测量空回, 装后不再检查。

(6) 用间断法中传动法测量空回时, 若未规定在定位件上加负载力矩或工作时无负载(如套装配度盘等), 而本身摩擦力矩甚小, 因油膜、偏心重力、安装测量用反射镜等而引起的偏心重力以及其他因素的影响要引起“浮动”, 使啮合齿面在传动中不能贴紧, 空回反映不出, 因此图纸或文件中对此种情况的定位件的最后一对齿轮应规定用制动法。否则, 在测量时应规定在定位件上加本身摩擦力矩的 2 倍的测量用负载力矩。

(7) 除平行传动链外, 当测出的空回为“负值”时, 应该重新装调来消除。

(8) 对减速传动链中测量空回时常取主动件为读数件, 从动件为定位件。而测量传动精度时常取从动件为读数件, 主动件为定位件。以便于测量读数和系统误差计算。

(9) 对空回间断测量中仅出现一次的特大特小值而仍在该点再测量时不再出现的偶然点不计入该点的算术平均值内。

74. 空回测量记录表的格式推荐如表 46。

空 回 测 量 记 录 表

表 46

图 号 _____ 名 称 _____ 检查表中序号 _____ 共 _____ 页第 _____ 页
 主动件 _____ 定位件 _____ 读数件 _____ 空回允许最大值 _____
 制动物件 _____ 加负载件 _____ 负载值 _____ 测量者 _____ 日期 _____

测量位置	1		2		3		4		5		6		7		8	
	读数	差值	读数	差值	读数	差值	读数	差值	读数	差值	读数	差值	读数	差值	读数	差值
1																
2																
3																
4																
5																
平均值																

注: ①“读数”栏内上格和下格分别填写空回测量时读数件正反向两个读数值。

②“差值”栏内为“读数”栏内上格与下格之差值, 即实测空回值。

