

机械传动的 测绘技术及实例

JIXIE CHUANDONG DE GEHUI JISHU JI SHILI

© 张展 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机械传动的测绘 技术及实例

张 展 编著



机械工业出版社

前 言

机械传动是使用量大面广的传动装置。传动技术是将各种形式的能量进行传递、分配、控制和变化运动形式的一种技术，而机械传动技术是其中的主要组成部分。传动技术的发展水平是机电产品能否向自动化、高效化、高速化、多样化、轻量化、高精度和高可靠性方向发展的主要因素之一，所以传动技术是装备制造业的基础性关键技术。

随着我国工业的发展，国际交往日益增多，引进设备与日俱增，如何使进口产品国产化？首先要消化人家的产品，对进口产品进行测绘、仿制，掌握第一手资料，然后再进行改进和创新。因此，机械传动的测绘是至关重要的环节。同时，对旧设备传动装置进行改造、革新，也需要通过测绘、仿制、创新、积累经验这一重要环节。

为了适应科学技术的发展、教学、科研及生产的需要，我们编写了《机械传动的测绘技术及实例》，其中有圆柱齿轮传动、锥齿轮传动、蜗杆传动、小模数齿轮传动、轴类零件、带传动、链传动的测绘，以及各国相关标准的对照，并列有大量的测绘实例。在编写时，我们坚持“技以新为贵，商以信为重，业以人为本，人以德为先”的精神，编写时注重实用性、科学性和先进性。

本书由张展编著，在编写过程中，得到了上海交通大学张国瑞教授，上海理工大学崔建昆、麦云飞副教授，上海同济大学归正副教授，上海努浩公司总经理张弘松，江苏上齿集团公司董事长、总经理张焰庆，同行专家朱腊英、曾建峰、马凯、柯怡，以及华电重工的叶卓、任改运、刘文超的大力支持与合作，其中曾建峰、柯怡参与部分编写及整理工作，在此深表感谢！

测绘手段与测绘技术，随着科学技术的发展在不断的不断发展之中，限于编者的学识水平与经验，书中若有不妥之处，敬请广大读者给予批评指正。

张 展

目 录

前言

第1章 圆柱齿轮传动的测绘 1

- 1.1 直齿圆柱齿轮的测绘 9
- 1.2 斜齿圆柱齿轮的测绘 39
- 1.3 齿条的测绘 56
- 1.4 内齿轮的测绘 56
- 1.5 交错轴斜齿轮的测绘 58
- 1.6 其他类型的渐开线圆柱齿轮
的测绘 59

第2章 锥齿轮传动的测绘 63

- 2.1 概述 63
 - 2.1.1 锥齿轮的模数 63
 - 2.1.2 锥齿轮的齿形制 64
 - 2.1.3 锥齿轮的变位 64
- 2.2 锥齿轮的简易测绘 69
- 2.3 等高齿曲线齿锥齿轮的测绘 76
- 2.4 准双曲面齿轮的测绘 79
- 2.5 锥齿轮成对简化测绘 82
- 2.6 测绘实例 83

第3章 蜗杆传动的测绘 108

- 3.1 概述 108
- 3.2 蜗杆、蜗轮的测绘 108
 - 3.2.1 圆柱蜗杆、蜗轮的测绘 108
 - 3.2.2 双导程圆柱蜗杆、蜗轮的
测绘 116
 - 3.2.3 圆弧圆柱蜗杆、蜗轮的
测绘 120
 - 3.2.4 环面蜗杆、蜗轮的测绘 123

第4章 小模数齿轮传动的 测绘 126

- 4.1 小模数圆柱齿轮的测绘 126
- 4.2 小模数锥齿轮传动的测绘 152
- 4.3 小模数蜗杆传动的测绘 155

第5章 轴类零件的测绘 157

- 5.1 轴的常用材料 157
- 5.2 轴的结构设计 159
- 5.3 轴的加工和装配工艺性 165
- 5.4 轴的典型工作图 166

第6章 带传动的测绘 168

- 6.1 带传动的类型、特点与应用 168
- 6.2 带传动的发展特点 170
- 6.3 V带传动的测绘 170
- 6.4 带轮及典型工作图 195

第7章 链传动的测绘 203

- 7.1 概述 203
- 7.2 套筒滚子链传动在钢厂的应用
概况 203
- 7.3 套筒滚子链传动的测绘 204
 - 7.3.1 套筒滚子链传动的测绘
内容 204
 - 7.3.2 套筒滚子链的代用 204
 - 7.3.3 套筒滚子链链轮的测绘 206
- 7.4 套筒滚子链链轮的齿槽形状
(端面齿形)和轴向齿廓 211
 - 7.4.1 链轮的齿槽形状
(端面齿形) 212
 - 7.4.2 链轮的轴向齿廓 214
- 7.5 套筒滚子链链轮的材料及
热处理 216
- 7.6 对绘制链轮制造图的要求 217
- 7.7 链轮的尺寸公差、几何公差、
表面粗糙度和精度等级 218
- 7.8 链传动的布置及其维护 221
- 7.9 链传动中所产生的故障及
其对策 222

附录 常用角度的三角函数值 224

参考文献 226

第 1 章 圆柱齿轮传动的测绘

齿轮是使用量大面广的传动件。随着我国的改革开放，国际交往日益增多。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。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。

齿轮测绘是一项复杂而细致的工作，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产品，采用什么标准设计制造，是公制齿轮还是英制齿轮等。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 α_n 、分度圆螺旋角 β 、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 c 、侧隙 j_n 、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，比较准确地描绘出齿轮副原设计的本来面目，从而达到重新生产或研制出该齿轮副的目的，满足使用要求。

了解世界主要工业国家圆柱齿轮的设计及参数使用情况，对于圆柱齿轮的测绘来说是十分必要的。目前，世界主要工业国家采用的模数系列见表 1-1。

表 1-1 世界主要工业国家采用的模数系列

国 别	中 国	ISO	俄罗斯	德 国	捷 克	法 国	日 本
标 准 号	GB	ISO	ГОСТ	DIN	CSNO	NFE	JIS B
模 数	1357	54	9563	780	14608	23—011	1701
0.1	*		*	*			*
0.12	*						
0.15	*		*				*
0.2	*		*	*	*		*
0.25	*		*	*	*		*
0.3	*		*	*	*		*
0.35	*		*	*			*
0.4	*		*	*	*		*

2 机械传动的测绘技术及实例

(续)

国 别	中 国	ISO	俄罗斯	德 国	捷 克	法 国	日 本
模 数 标准号	GB 1357	ISO 54	ГОСТ 9563	DIN 780	CSNO 14608	NFE 23—011	JIS B 1701
0.45			*	*			*
0.5	*		*	*	*	*	*
0.55			*	*		*	*
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	*	○	*	*	○	*	*

(续)

国 别	中 国	ISO	俄罗斯	德 国	捷 克	法 国	日 本
标 准 号	GB	ISO	ГОСТ	DIN	CSNO	NFE	JIS B
模 数	1357	54	9563	780	14608	23—011	1701
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				*			

(续)

国 别	中 国	ISO	俄罗斯	德 国	捷 克	法 国	日 本
标 准 号	GB	ISO	ГОСТ	DIN	CSNO	NFE	JIS B
模 数	1357	54	9563	780	14608	23—011	1701
40	*	*	*	*			
42				*			
45	*	○	*	*			
50	*	*	*	*			
55			*	*			
60			*	*			

注：* 为常用的模数，○为尽可能不用的模数。

对于顶隙的要求，当 ISO 标准在德国征求意见时，得到的反映是，顶隙等于 $0.25m$ 的规定过于死板，根据不同的制造方法和模数的大小，顶隙在 $0.1m \sim 0.3m$ 是比较合适的。建议顶隙的优先值为 $0.17m$ 、 $0.25m$ 和 $0.3m$ 。较大的齿根圆角有利于齿根的强度，所以顶隙 $0.1m$ 仅适用于特殊情况。

齿根圆角与顶隙肯定是有关的，所以相应于优先采用的顶隙给出表 1-2 所列的最大圆角半径。

表 1-2 顶隙 c 和齿根圆角最大半径 $\rho_{f\max}$

顶隙 c	$0.17m$	$0.25m$	$0.3m$
齿根圆角半径 $\rho_{f\max}$	$0.25m$	$0.38m$	$0.45m$

世界主要国家圆柱齿轮基准齿形基本参数如表 1-3 所列。圆柱齿轮基节 $p_b = \pi m \cos \alpha$ 数值如表 1-4 所列。

对于外啮合圆柱齿轮，当圆周速度大于表 1-5 的数值而需要修缘时，推荐使用表 1-6 所列数据。

表 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	α	h_a^*	c^*	ρ_f	备 注
国际标 准化组织	标准齿形	ISO R53	m	20°	1	0.25	$0.38m$	
中国	标准齿形	GB 1356	m	20°	1	0.25		
	短齿齿形	GB 1356	m	20°	0.8	0.30		
俄罗斯	标准齿形	ГОСТ 13755	m	20°	1	0.25	$0.4m$	
	短齿齿形	ГОСТ 13755	m	20°	0.8	0.30		
	旧标准齿形	ОСТ БКК 6922	m	20°	1	0.20		

(续)

国别	齿形种类	标准号	m 或 P	α	h_a^*	c^*	ρ_f	备注
美国	标准齿形	ASA B6.1	DP	14.5°	1	0.157	$\frac{0.157}{DP}$	
	标准复合齿形	ASA B6.1	DP	14.5°	1	0.157	$\frac{0.2}{DP}$	
	标准齿形	ASA B6.1	DP	20°	1	0.157	$\frac{0.3}{DP}$	
	短齿齿形	ASA B6.1	DP	20°	0.8	0.2		
	标准齿形	ASA B6.1	DP	20°	1	0.4		$>P20$ 剃齿法
	标准齿形	ASA B6.1	DP	25°	1	0.4		$>P20$ 剃齿法
	标准齿形	ASA B6.19	DP	20°	1	$\frac{0.2}{0.35}$		$<P20$ 剃齿法
瑞士	短齿齿形	ASME 15520	DP	22.5°	0.875	0.125		
	标准齿形	VSM 15520	m	20°	1	$\frac{0.25}{0.167}$		用于磨齿法
	马格齿形		m	15°	1	0.167		
德国	马格齿形		m	20°	1	0.167		
	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		
捷克	旧标准齿形	CSN 146—7	m	15°	1	0.167		
	标准齿形	CSN 14607	m	20°	1	0.25		
英国	标准齿形	CSN 14607	m	15°	1			
	A 级复合齿形	BSS 436	P	20°	1	0.44		
	A、B、C、D 级复合齿形	BSS 436	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		
法国	标准齿形		P	20°	1	0.35		
	标准齿形	NF E23-011	m	20°	1	0.25	$0.4m$	
日本	短齿齿形		m	20°	0.75	0.20		
	标准齿形	JIS B1701	m	20°	1	0.25		
日本	短齿齿形	JIS B1701	m	14.5°	1	0.25		

6 机械传动的测绘技术及实例

表 1-4 基节 $p_b = \pi m \cos \alpha$ 数值表

(单位: mm)

m	P	α							
		30°	25°	22.5°	20°	17.5°	16°	15°	14.5°
1	25.4000	2.721	2.847	2.902	2.952	2.996	3.020	3.035	3.042
1.058	24	2.878	3.012	3.071	3.123	3.170	3.195	3.211	3.218
1.155	22	3.142	3.289	3.352	3.410	3.461	3.488	3.505	3.513
1.25	20.3200	3.401	3.559	3.628	3.690	3.745	3.775	3.793	3.802
1.270	20	3.455	3.616	3.686	3.749	3.805	3.835	3.854	3.863
1.411	18	3.839	4.017	4.095	4.165	4.228	4.261	4.282	4.292
1.5	16.9333	4.081	4.271	4.354	4.428	4.494	4.530	4.552	4.562
1.588	16	4.320	4.521	4.609	4.688	4.758	4.796	4.819	4.830
1.75	14.5148	4.761	4.983	5.079	5.166	5.243	5.285	5.310	5.323
1.814	14	4.935	5.165	5.265	5.355	5.435	5.478	5.505	5.517
2	12.7000	5.441	5.694	5.805	5.904	5.992	6.040	6.069	6.083
2.117	12	5.760	6.028	6.144	6.250	6.343	6.393	6.424	6.439
2.25	11.2889	6.122	6.406	6.531	6.642	6.741	6.795	6.828	6.843
2.309	11	6.282	6.574	6.702	6.816	6.918	6.973	7.007	7.023
2.5	10.1600	6.802	7.118	7.256	7.380	7.490	7.550	7.586	7.604
2.540	10	6.911	7.232	7.372	7.498	7.610	7.671	7.708	7.725
2.75	9.2364	7.482	7.830	7.982	8.118	8.240	8.305	8.345	8.364
2.822	9	7.678	8.035	8.191	8.331	8.455	8.522	8.563	8.583
3	8.4667	8.162	8.542	8.707	8.856	8.989	9.060	9.104	9.125
3.175	8	8.638	9.040	9.215	9.373	9.513	9.588	9.635	9.657
3.25	7.8154	8.842	9.254	9.433	9.594	9.738	9.815	9.862	9.885
3.5	7.2571	9.522	9.965	10.159	10.332	10.487	10.570	10.621	10.645
3.629	7	9.873	10.333	10.533	10.713	10.873	10.959	11.012	11.038
3.75	6.7733	10.203	10.677	10.884	11.070	11.286	11.325	11.380	11.406
4	6.3500	10.883	11.389	11.610	11.809	11.986	12.080	12.138	12.166

(续)

m	P	α							
		30°	25°	22.5°	20°	17.5°	16°	15°	14.5°
4.233	6	11.517	12.052	12.286	12.496	12.683	12.783	12.845	12.875
4.5	5.6444	12.243	12.813	13.061	13.285	13.483	13.590	13.665	13.687
5	5.0800	13.603	14.236	14.512	14.761	14.981	15.099	15.173	15.208
5.08	5	13.821	14.464	14.744	15.000	15.211	15.341	15.415	15.451
5.5	4.6182	14.964	15.660	15.963	16.237	16.479	16.609	16.690	16.728
5.644	4.5	15.356	16.070	16.381	16.662	16.910	17.044	17.127	17.166
6	4.2333	16.324	17.083	17.415	17.713	17.977	18.119	18.207	18.249
6.350	4	17.276	18.080	18.431	18.746	19.026	19.176	19.269	19.314
6.5	3.9077	17.685	18.507	18.866	19.189	19.475	19.629	19.724	19.770
7	3.6286	19.045	19.931	20.317	20.665	20.973	21.139	21.242	21.291
7.257	3.5	19.744	20.662	21.063	21.242	21.743	21.915	22.022	22.072
8	3.175	21.766	22.778	23.220	23.617	23.969	24.159	24.276	24.332
8.467	3	23.036	24.108	24.575	24.996	25.369	25.569	25.693	25.753
9	2.8222	24.486	25.625	26.112	26.569	26.966	27.179	27.311	27.374
9.236	2.75	25.128	26.297	26.807	27.266	27.673	27.892	28.027	28.092
10	2.54	27.207	28.472	29.025	29.521	29.962	30.199	30.345	30.415
10.160	2.5	27.642	28.928	29.489	30.000	30.441	30.682	30.831	30.902
11	2.3091	29.928	31.320	31.927	32.473	32.958	33.219	33.380	33.457
11.289	2.25	30.714	32.143	32.766	33.327	33.824	34.092	34.257	34.336
12	2.1167	32.648	34.167	34.829	35.426	35.954	36.329	36.414	36.498
12.700	2	34.553	36.160	36.861	37.492	38.052	38.353	38.539	38.627
13	1.9538	35.369	37.014	37.732	38.378	38.950	39.259	39.449	39.540
14	1.8143	38.090	39.861	40.634	41.330	41.947	42.278	42.484	42.581
14.514	1.75	39.488	41.325	42.126	42.847	43.487	43.831	44.043	44.145
15	1.6933	40.810	42.709	43.537	44.282	44.943	45.298	45.518	45.623

(续)

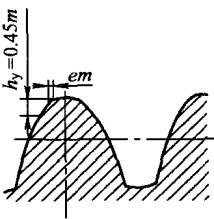
m	P	α							
		30°	25°	22.5°	20°	17.5°	16°	15°	14.5°
16	1.5875	43.531	45.556	46.439	47.234	47.939	48.318	48.553	48.665
16.933	1.5	46.070	48.212	49.147	49.989	50.734	51.136	51.384	51.502
18	1.4111	48.973	51.250	52.244	53.139	53.931	54.358	54.622	54.748
20	1.2700	54.414	56.945	58.049	59.043	59.924	60.398	60.691	60.831
20.320	1.25	55.285	57.856	58.978	59.987	60.883	61.364	61.662	61.804
22	1.1545	59.855	62.639	63.854	64.947	65.916	66.438	66.760	66.914
25	1.0160	68.017	71.181	72.561	73.803	74.905	75.497	75.864	76.038
25.4	1	69.106	72.320	73.722	74.984	76.103	76.705	77.077	77.255

表 1-5 外啮合圆柱齿轮的许用圆周速度

齿轮类型	精度等级		
	6 级	7 级	8 级
	圆周速度/(m/s)		
直齿圆柱齿轮	10	6	4
斜齿圆柱齿轮	16	10	6

表 1-6 齿顶修缘高度和深度

(单位: mm)

图 形	精度等级					
	6 级		7 级		8 级	
	m	e	m	e	m	e
	2~2.75	0.01	2~2.5	0.015	2~2.75	0.02
	3~4.5	0.008	2.75~3.5	0.012	3~3.5	0.0175
	5~10	0.006	3.75~5	0.010	3.75~5	0.015
	11~16	0.005	5.5~7	0.009	5.5~8	0.012
			8~11	0.008	9~16	0.010
			12~20	0.007	18~25	0.009
			22~30	0.006	28~50	0.008

注: 1. 表中的数值是指在基准齿形上的修缘数值。

2. 基准齿形上的修缘部分是一条直线, 也允许采用均匀的凸形曲线。

3. 在大批量生产中, 对于特别重要的传动齿轮以及受工艺要求所限制时, 允许改变修缘形状和数量。

4. 内啮合齿轮传动也可以应用本表数值。

1.1 直齿圆柱齿轮的测绘

1. 几何参数的计算

计算公式以角度变位为主，高度变位和标准啮合是其特例。

2. 直齿圆柱齿轮的测绘步骤

首先数出被测齿轮的齿数 z_1 和 z_2 ，然后按下述步骤进行。

(1) 测量齿顶圆直径及齿根圆直径 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以减少齿轮齿顶圆柱面的不圆度和锥度的影响，取其平均值。

当被测齿轮的齿数为偶数时，可直接测出齿顶圆直径 d_a ；当被测齿轮的齿数为奇数时，则不能直接测出齿顶圆直径 d_a 。由图 1-1 可知：

$$d_a = D \csc^2 \theta$$

$$d_a = \frac{b^2}{4D^2} + D$$

$$d_a = D \sec \frac{90^\circ}{z} = D / \cos \frac{90^\circ}{z}$$

式中 D ——奇数齿实测顶圆直径 (mm)；

b ——相邻两齿的齿尖距 (mm)；

d_a ——齿顶圆直径 (mm)。

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 来确定， d_a 由图 1-2 可得

$$d_a = d + 2H$$

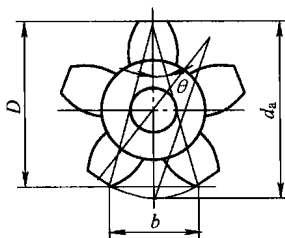


图 1-1 齿顶圆直径的测量

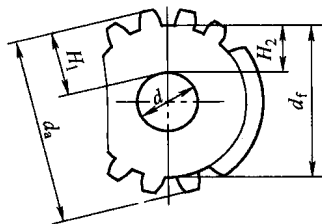


图 1-2 用精密游标卡尺测齿高

(2) 测量齿全高 通过对齿全高 h 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是模数制还是径节制。

测量方法如图 1-2 所示，可通过测量齿顶和齿根到齿轮内孔（或轴径）的距

离, 经换算得到 h ; 也可直接用深度卡尺测得 h 。

(3) 测量公法线长度 W_k 、基节 p_b 及压力角 α 可通过测量一个齿轮的两相邻齿的公法线 W_{k2} 及 W_{k1} , 按其差值 $\Delta W_k = W_{k2} - W_{k1} = p_b$, 由基节表查得的理论基节和实测基节比较, 与实测基节相近似的理论基节所对应的模数 m 及压力角 α 即为所求的 m 及 α , 这也就辨认出了被测齿轮是公制还是英制, 即是模数制还是径节制。基节 p_b 可由表 1.4 查得。

公制齿轮的压力角通常较多使用 20° 、 14.5° 、 15° 、 17.5° 、 22.5° 、 25° 和 30° 等。

在测绘开始时, 有时首先通过实测的顶圆直径 d_a 、齿数 z 和标准齿顶高来判断该传动齿轮副是属于模数制还是径节制, 即

$$m = \frac{d_a}{z + 2h_a^*}$$

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

式中 h_a^* 见表 1-3, 各国采用的都不相同。
径节系列标准见表 1-7。

代入不同的 h_a^* , 看符合哪一种。若均相差甚大, 则必为变位齿轮, 可通过实际公法线 W_k 与计算 p_b 来判断该传动齿轮的 m 与 α , 这种方法只适用于内外直齿及宽外斜齿齿轮。

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, 可通过使用跨棒或跨球 (斜齿只能用跨球) 的方法来测量, 从而通过必要的计算求得适宜的 p_b , 如图 1-3 所示。

采用两组不同直径的圆棒 (或钢球), 即 d_{m2} 和 d_{m1} , 分别测量跨棒 (或跨球) 距 R_x , 并计算 Δd_m , 即

$$\Delta d_m = d_{m2} - d_{m1} = \pm 2r_b \left[\operatorname{inv} \left(\arccos \frac{r_b}{R_{x2}} \right) - \operatorname{inv} \left(\arccos \frac{r_b}{R_{x1}} \right) \right]$$

在计算时, 要先假设不同的 m 及 α 的组合, 查出对应于基节表中的不同的 p_b , 再由 $r_b = \frac{zp_b}{2\pi}$ 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

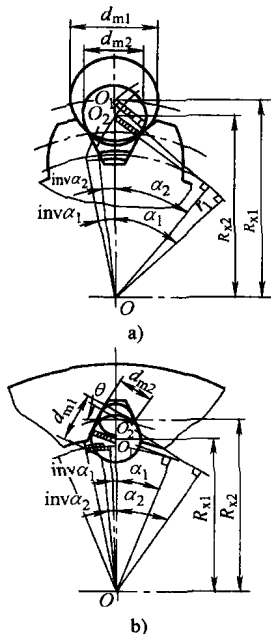


图 1-3 用跨棒或跨球法测公法线长度

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

等, 则这组对应的 m 及 α 即为所求。

表 1-7 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)	$\frac{1.5}{1.25}$	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)	$\frac{3}{4}$	径 节 系 列 P	7	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)	$\frac{3.75}{2.75}$	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)	$\frac{18}{24}$
	$1\frac{1}{4}$		$\frac{1.75}{1.5}$		$\frac{4}{5}$		8		$\frac{4}{3}$		$\frac{20}{26}$
	$1\frac{1}{2}$		$\frac{2}{1.75}$		$\frac{5}{7}$		9		$\frac{4.5}{3.25}$		$\frac{22}{29}$
	$1\frac{3}{4}$		$\frac{2.25}{1.75}$		$\frac{6}{8}$		10		$\frac{5}{3.75}$		$\frac{24}{32}$
	2		$\frac{2.5}{2}$		$\frac{7}{9}$		11		$\frac{5.5}{4}$		$\frac{26}{35}$
	$2\frac{1}{4}$		$\frac{2.75}{2}$		$\frac{8}{10}$		12		$\frac{6}{4.5}$		$\frac{28}{37}$
	$2\frac{1}{2}$		$\frac{3}{2.25}$		$\frac{9}{11}$		14		$\frac{6.5}{5}$		$\frac{30}{40}$
	$2\frac{3}{4}$		$\frac{3.25}{2.5}$		$\frac{10}{12}$		16		$\frac{7.5}{5.5}$		$\frac{32}{42}$
	3		$\frac{3.5}{2.5}$		$\frac{11}{14}$		18		$\frac{8}{6.5}$		$\frac{34}{45}$
	$3\frac{1}{2}$				$\frac{12}{14}$		20				$\frac{36}{48}$
	4				$\frac{14}{18}$		22				$\frac{38}{50}$
	5				$\frac{16}{21}$		24				$\frac{40}{54}$
	6						26				
							28				
							30				

在测量时, 当被测齿轮的齿数为奇数时, 则其外 (内) 齿的 M 值不能直接测得, 而需要通过以下的测量与计算 (见图 1-4 ~ 图 1-6):

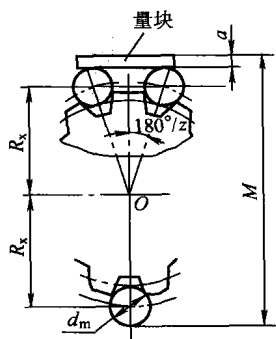


图 1-4 奇数齿外齿轮的测量

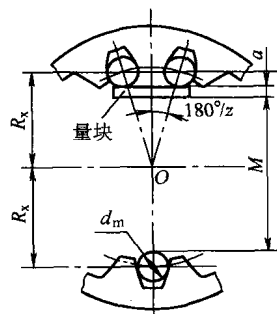


图 1-5 奇数齿内齿轮测量

1) 奇数外齿时, 由图 1-4 可知:

$$R_x = \frac{M - d_m - a}{1 + \cos \frac{\pi}{z}}$$

2) 奇数内齿时, 由图 1-5 可知:

$$R_x = \frac{M + d_m + a}{1 + \cos \frac{\pi}{z}}$$

对奇数内齿轮, 还可由图 1-6 得到

$$R_x = \frac{M + d_m + a + b}{\cos \frac{\pi}{z} + \cos \frac{2\pi}{z}}$$

测量直齿圆柱齿轮时, 推荐圆棒 (或圆球) 直径 d_m 为

外齿时: $d_m = 1.68m$

内齿时: $d_m = 1.476m$

测量斜齿圆柱齿轮时, 推荐钢球直径为

$$d_m = 1.75m_n$$

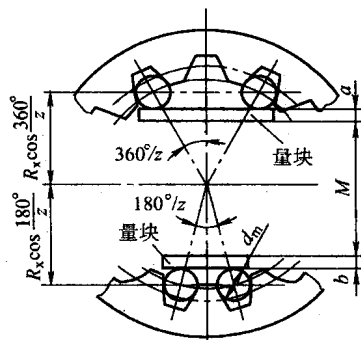


图 1-6 奇数齿内齿轮测量

选用的圆棒 (或圆球) 的直径 d_{m2} 与 d_{m1} 之差要尽量大些, 以减少测量误差对结果的影响, 该误差值一般控制在 $0.5 \sim 3\text{mm}$ 之内, 但球或棒与齿廓的接触点一定要控制在齿廓的渐开线部分上。

表 1-8 给出了标准圆棒 (或钢球) 的直径 d_m 系列。

表 1-8 圆棒 (或钢球) 直径标准 d_m

模数	径节	直齿外齿轮	直齿内齿轮	斜齿齿轮
m_n	P	$1.68m_n$	$1.476m_n$	$1.75m_n$
1.5		2.520	2.214	2.625
(1.588)	16	2.668	2.344	2.779
1.75		2.940	2.583	3.063
(1.914)	14	3.048	2.677	3.175
2		3.360	2.952	3.500
(2.117)	12	3.557	3.125	3.705
2.25		3.780	3.321	3.938
(2.309)	11	3.879	3.408	4.041
2.5		4.200	3.690	4.375
(2.54)	10	4.267	3.749	4.445

(续)

模 数	径 节	直齿外齿轮	直齿内齿轮	斜齿齿轮
2.75		4.620	4.059	4.813
(2.822)	9	4.741	4.165	4.939
3		5.040	4.428	5.250
(3.175)	8	5.334	4.686	5.556
3.25		5.460	4.797	5.688
3.5		5.880	5.166	6.125
(3.629)	7	6.097	5.356	6.351
3.75		6.300	5.535	6.563
4		6.720	5.904	7.000
(4.233)	6	7.111	6.248	7.048
4.5		7.560	6.642	7.875
5		8.400	7.380	8.750
(5.08)	5	8.534	7.498	8.890
5.5		9.240	8.118	9.625

(4) 分度圆弦齿厚 $\bar{s}$ 及固定弦齿厚 s_e 。除了用测量公法线来表示轮齿的弧线齿厚外, 还可利用测量轮齿的分度圆弦齿厚 $\bar{s}$ 和固定弦齿厚 s_e 来表示。

①分度圆弦齿厚
$$\bar{s} = d \sin \frac{90^\circ}{z} = mz \sin \frac{90^\circ}{z}$$

分度圆弦齿高

$$\bar{h} = m \left[1 + \frac{z}{2} \left(1 - \cos \frac{90^\circ}{z} \right) \right]$$

②固定弦齿厚

$$s_e = \frac{1}{2} \pi m \cos^2 \alpha + x m \sin 2\alpha$$

固定弦齿高

$$\bar{h}_e = m \left[1 - \frac{1}{8} \pi \sin 2\alpha \right] + x m \cos^2 \alpha - \Delta y m$$

当压力角 α 不同时, 固定弦齿高 $\bar{h}_e$ 及固定弦齿厚 s_e 也不同。

(5) 中心距 a 及变位形式 中心距 a 的测量精度, 直接影响整个齿轮副的测绘结果, 测准实际中心距 a 可进一步判断齿轮副的变位类型。

一般最简捷的方法是在箱体内侧, 测得齿轮副的最大外廓与最小外廓尺寸, 然后再测出该对应部分的轴颈的直径尺寸, 通过换算得到中心距 a ; 或测量箱体