

机械实验系列丛书

机械基础实验指导书

张 炜 主编

苏州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械基础实验指导书 / 张炜主编. —苏州: 苏州
大学出版社, 2019. 8
(机械实验系列丛书)
ISBN 978-7-5672-2924-2

I. ①机… II. ①张… III. ①机械学—高等学校—教
学参考资料 IV. ①TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 170469 号

机械基础实验指导书

张 炜 主编

责任编辑 肖 荣

苏州大学出版社出版发行

(地址:苏州市十梓街1号 邮编:215006)

苏州工业园区美柯乐制版印务有限责任公司印装

(地址:苏州工业园区东兴路7-1号 邮编:215021)

开本 787 mm × 1 092 mm 1/16 印张 7.25 字数 161 千

2019 年 8 月第 1 版 2019 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5672-2924-2 定价:29.00 元

苏州大学版图书若有印装错误,本社负责调换
苏州大学出版社营销部 电话:0512-67481020
苏州大学出版社网址 <http://www.sudapress.com>
苏州大学出版社邮箱 sdcbs@suda.edu.cn



前言 Preface

教育部在《高等学校基础课实验教学示范中心建设标准》中指出:实验教学是构成高等学校课程教学的重要组成部分。中心应按照新世纪经济建设和社会发展对高素质创新性人才培养的需要,同理论教学紧密结合,科学地设置实验项目,并注重先进性、开放性和将科研成果转化为教学实验,形成适应学科特点及自身系统性和科学性的、完整的课程体系,全面培养学生的科学作风、实验技能以及综合分析、发现和解决问题的能力,使学生具有创新、创业精神和实践能力。苏州大学机械基础教学实验中心于2006年被评定为省级示范基础课实验教学中心,经过10多年的不断改革与建设,形成了与机械基础新课程体系相适应的实验教学体系与标准,开设了能满足不同层次教学要求的实验课程,体现了测试手段与方法的先进性和现代化。学生通过实验了解和掌握现代测试技术与实验研究的方法,特别是传感技术、驱动、控制及信息的采集与处理;培养动手能力和实验能力,形成严谨、实事求是和敢于探索的科学态度与作风。

本书是根据机械基础实验课程教学的基本要求和“机械基础实验教学示范中心”建设要求而编写的。本书主要内容分为三大部分:机械原理与机械设计基本技能、材料基本力学性能测定、数据测量与公差技术,共包含19个基础性实验,涵盖了“机械原理”“机械设计”“机械设计基础”“精密机械设计”“材料力学”“互换性与检测技术”等课程相应的基本实验,可供机械、材料、纺织、过程装备、机电一体化等机械类专业的学生使用。在本书的编写过程中编者注重以下几个方面的问题:

1. 工程知识:能够将数学、自然科学、工程基础和专业知用于解决智能制造系统分析、设计、集成的复杂工程问题。
2. 问题分析:能够应用数学、自然科学和工程科学的基本原理,识别、表达并通过文献研究智能制造系统的分析、设计、集成问题,以获得有效结论。
3. 科学研究:能够基于科学原理并采用科学方法对智能制造系统的分析、设计、集成进行研究,包括设计实验、分析与解释数据以及通过信息综合得到合理有效的结论。
4. 现代工具:能够针对智能制造系统的分析、设计、集成问题,开发、选择与使用恰当



的技术、资源、现代工程工具和信息技术工具,对复杂工程问题进行预测与模拟,并能够理解其局限性。

5. 个人和团队:能够在多学科背景下的团队中承担个体、团队成员以及负责人的角色。

本书由张炜担任主编,周宏林、高枫、沈卫峰分别参与第一到第三部分实验内容的编写工作。几年来,在实验教学体系与实验室改革建设、实验教材体系的构建与编写及应用与完善过程中,得到了冯志华教授的大力支持,以及陈再良、倪俊芳教授的悉心指导和帮助。在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加上时间仓促,书中错误在所难免,希望广大读者批评指正。



目 录 Contents

第一部分 机械原理与机械设计基本技能

实验 1	机构运动简图的测绘和分析	3
实验 2	齿轮范成原理实验	6
实验 3	渐开线齿轮参数测量	8
实验 4	带传动实验	13
实验 5	液体动压滑动轴承特性实验	17
实验 6	齿轮传动效率测试实验	22
实验 7	减速器拆装实验	27

第二部分 材料基本力学性能测定

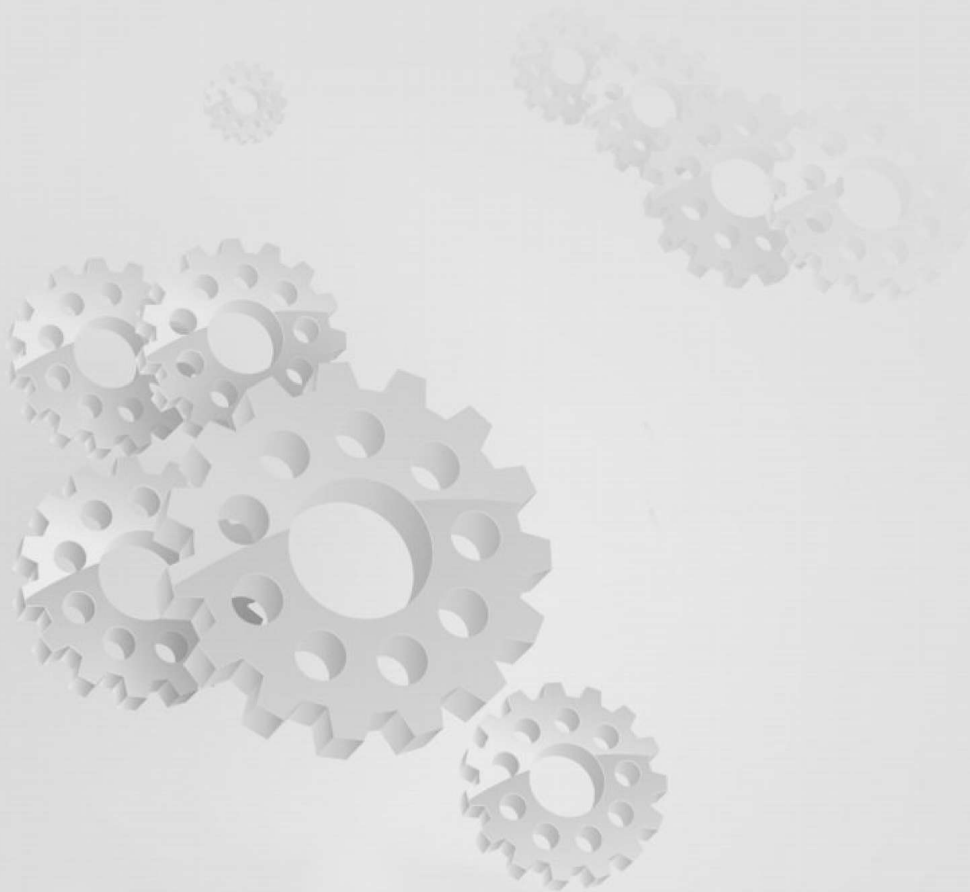
实验 8	金属材料的拉伸实验	33
实验 9	金属材料的压缩实验	40
实验 10	电阻应变片的粘贴技术	44
实验 11	纯弯曲梁的正应力实验	48
实验 12	弯扭组合应力测定实验	55

第三部分 数据测量与公差技术

实验 13	光滑工件尺寸的检测	67
实验 14	表面粗糙度的检测	71
实验 15	形状和位置误差的检测	75
实验 16	齿轮参数的综合检测	83
实验 17	螺纹误差的检测	97
实验 18	外螺纹单一中径测量	101
实验 19	测量结果与测量误差的评定	104

第 部分

机械原理与机械设计基本技能





实验1 机构运动简图的测绘和分析

一、实验目的

1. 掌握根据实际机构或模型的结构测绘平面机构运动简图的基本方法。
2. 掌握平面机构自由度的计算方法及验证机构具有确定运动的条件。
3. 掌握对机构进行分析的方法。

二、实验设备和工具

1. 各种机器实物或机构模型。
2. 直尺。
3. 自备绘图工具。

三、实验原理和方法

(一) 测绘原理

从运动的观点来看,各种机构都是由构件通过各种运动副的联接所组成,机构运动仅与组成机构的构件数目和构件所组成的运动副的类型、数目、相对位置有关。因此,在测绘机构运动简图时可以撇开构件的复杂外形和运动副的具体构造,而用简略的符号来代表构件和运动副,并按一定比例表示运动副的相对位置,以此表明实际机构的运动特征。

正确的机构运动简图应该符合下列条件:

1. 机构运动简图上各构件的尺寸、运动副的相对位置及其性质应保持与原机构的特性一致。
2. 机构运动简图应保持原机构的组成特点及运动特点。

(二) 测绘方法

1. 分析机构的运动,认清固定件、原动件和从动件。
2. 由原动件出发,按照运动传递的顺序,仔细分析相联接的两个构件间的接触方式及相对运动的性质,从而确定构件数目、运动副的类型和数目。



3. 合理选择投影面。一般选择机构中多数构件的运动平面作为投影面,如果一个投影面不能将机构的运动情况表达清楚,可另外补充辅助投影面。

4. 确定原动件的位置,选定适当的比例,定出各运动副之间的相对位置,并用构件和运动副的符号绘制机构运动简图。

❖ 示例: 绘制图 1-1 所示的偏心轮机构运动简图

1. 当使原动件(偏心轮)运动时可发现机构具有四个运动单元,机架 1——相对静止,偏心轮 2——相对机架做回转运动,连杆 3——相对机架做平面平行运动,滑块 4——相对机架做直线运动,如图 1-1(a)所示。

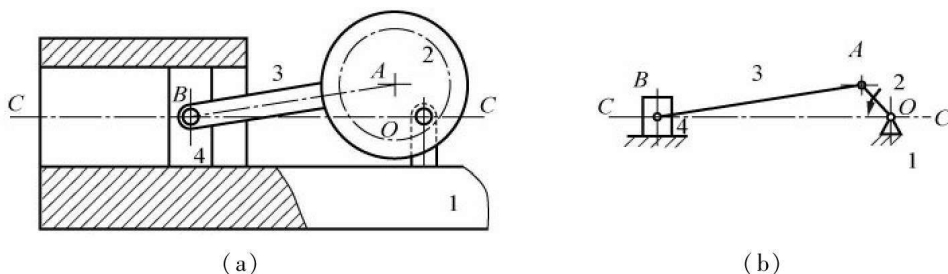


图 1-1 偏心轮机构

2. 根据各相互联接的构件间的接触情况可知,全部四个运动副均系低副:构件 2 相对机架 1 绕 O 点回转,组成一个转动副,其轴心在 O 点;构件 3 相对构件 2 绕 A 点回转,组成第二个转动副,其轴心在 A 点;构件 4 相对构件 3 绕 B 点回转,组成第三个转动副,其轴心在 B 点;构件 4 相对机架 1 沿 $C-C$ 做直线移动,组成一个移动副,其导路方向同 $C-C$ 。

3. 该机构为平面机构,选择构件的运动平面为投影面。

4. 确定原动件 2 相对机架 1 的位置,如图 1-1(a)所示,首先画出偏心轮 2 与机架 1 组成的转动副以及滑块 4 与机架 1 组成移动副的导路 $C-C$,然后按一定比例画出连杆 3 与偏心轮 2 组成的转动副轴心 A (A 是偏心轮,有几何中心)。线段 OA 称为偏心距,即曲柄的长度。再用同一比例画出滑块 4 与连杆 3 组成的转动副轴心 B , B 应在 $C-C$ 上。线段 AB 代表连杆 3 的长度。最后把连杆和运动副用符号相联接,并用数字标注各构件,如图 1-1(b)所示。

5. 计算机构自由度 F 。机构自由度计算公式为

$$F = 3n - 2P_L - P_H$$

其中, n ——活动构件数, P_L ——低副数目, P_H ——高副数目。



四、注意事项

1. 画机构运动简图必须按照一定的比例。
2. 固定件即机架要画斜线,以便与活动构件相区别。
3. 原动件须画上箭头表示运动方向,以便与从动件相区别。
4. 机构运动简图上的构件必须用数字标出(包括固定件)。
5. 机构运动简图上的运动副必须用英文字母标明。
6. 注意正确确定出转动副的位置,充分理解“回转件的回转中心是它相对回转表面的几何中心”。

五、实验步骤

1. 在草稿纸上徒手绘制指定的若干机构的简图(运动副的相对位置只需目测,使图形与实物大致成比例)。
2. 对其中一个机构按一定比例绘制。(由教师指定机构)
3. 计算各机构的自由度数,并将结果与实际结构相对照,说明此机构是否具有确定的运动。
4. 整理、书写实验报告。

机构运动简图测绘实验报告

姓名_____ 学号_____ 成绩_____ 实验日期_____

机构名称		自由度计算	$F =$
原动件数目		运动链能否成为机构	



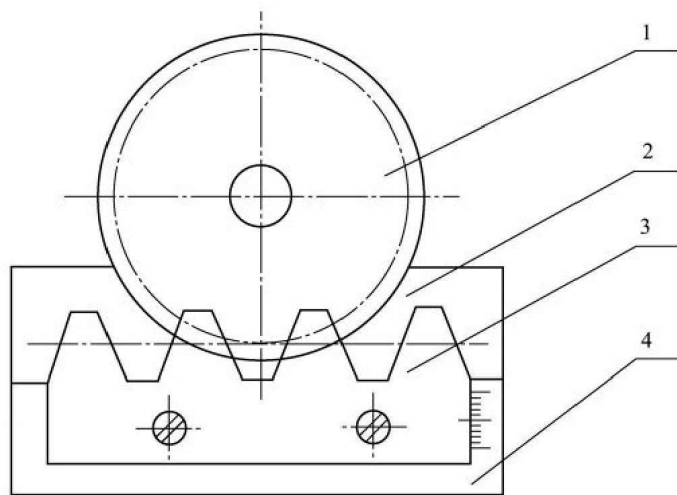
实验 2 齿轮范成原理实验

一、实验目的

1. 掌握用范成法制造渐开线齿轮的基本原理。
2. 了解渐开线齿轮产生根切现象的原因和避免根切的方法。
3. 分析比较标准齿轮和变位齿轮的异同点。

二、实验设备和工具

齿轮范成仪的结构如图 2-1 所示:托盘 1 绕其固定轴心转动,在托盘的周缘刻有凹槽,凹槽内绕有钢丝。钢丝绕在凹槽内以后,其中心线形成的圆应等于被加工齿轮的分度圆。钢丝两端分别固定在滑架 4 上。滑架 4 可在底座 2 上沿水平方向左右移动。



1. 托盘; 2. 底座; 3. 齿条刀具; 4. 滑架。

图 2-1 齿轮范成仪的结构示意图

三、实验原理和方法

范成法即利用一对齿轮互相啮合时共轭齿廓互为包络线的原理来加工齿轮。加工



时,其中一轮为刀具,另一轮为齿坯,它们仍保持固定的角速比传动,完全和一对真正的齿轮互相啮合传动一样;同时刀具还沿轮坯的轴向做切削运动,这样所制作的齿轮的齿廓就是刀具刀刃在各个位置的包络线。若用渐开线作为刀具齿廓,则其包络线亦为渐开线。由于在实际加工时看不到各个位置形成的包络线的过程,故通过齿轮范成仪来实现轮坯与刀具之间的传动过程,并用笔将加工齿轮过程中刀具刀刃的各个位置绘制在纸上,这样就能清楚地观察到齿轮范成的过程。

在切制标准齿轮时,将刀具中线调节至与被加工齿轮分度圆相切的位置;当切制变位齿轮时,应重新调整刀具中线的位置,使刀具中线与齿轮分度圆之间的距离为变位量 xm 的值(x 为变位系数),这样切出的齿轮就是变位齿轮。齿条插刀的参数为:压力角 $\alpha = 20^\circ$,模数 $m = 20 \text{ mm}$ 。

四、实验步骤

(一) 计算所加工的标准齿轮和变位齿轮的各参数并填入表 2-1。

表 2-1 标准齿轮和变位齿轮的各参数

名称	符号	计算公式	计算结果	
			标准齿轮	变位齿轮
齿数	z		10	10
最小变位系数	x_{\min}			
基圆直径	d_b			
齿顶圆直径	d_a			
齿根圆直径	d_f			
分度圆齿厚	S			

(二) 绘制标准齿轮

1. 通过圆环将圆形图纸压紧在齿轮范成仪的圆盘上,并注意使图纸中心与圆盘中心重合。
2. 调整刀具使其中线与分度圆相切,即此时刀具处在切制标准齿轮的位置上。
3. 绘制时,首先将齿条推至左边(或右边)极端位置,用手推动齿条使其移动。每移动一格,用笔沿齿条轮廓在图纸上画下该齿廓在齿坯上的投影线,直到形成 2~3 个完整的齿形为止。此过程中要注意轮坯上齿廓的形成过程。
4. 观察所得的齿廓是否有根切现象,找出原因,以便进行变位。

(三) 绘制变位齿轮

按上述位置把齿条刀退后(远离齿轮中心) xm ,然后按绘制标准齿轮的方法绘出 2~3 个齿形即可。



实验 3 渐开线齿轮参数测量

一、实验目的

1. 掌握渐开线直齿圆柱齿轮基本参数的测量方法。
2. 巩固齿轮参数之间的相互关系和渐开线的性质等知识。

二、实验设备和工具

1. 游标卡尺。
2. 测试齿轮。

三、实验原理和方法

利用游标卡尺测量齿轮的公法线长度 W_k 及 W_{k+1} 、齿轮的顶圆直径 d_a 、根圆直径 d_f ，根据这些数据运用一些基本公式去推求齿轮的基本参数(m 、 z 、 α 、 h_a^* 、 c^*)。

1. 测量公法线长度 W_k 及 W_{k+1} ，求出 m 、 α 。

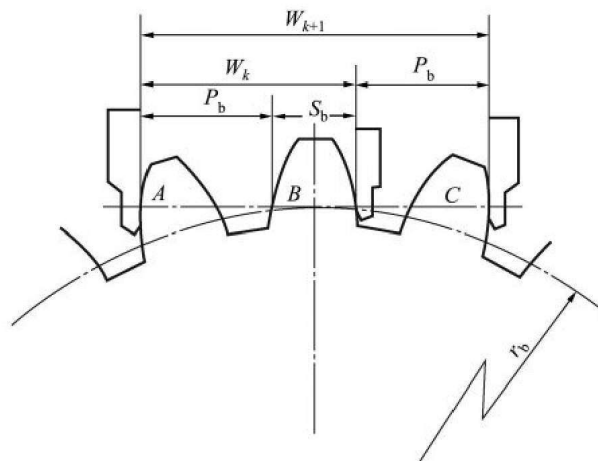


图 3-1 测量齿轮的基本参数

如图 3-1 所示，游标卡尺的两个卡脚与齿廓的渐开线部分相切，两切点之间的长度即



公法线长度。首先跨过 k 个齿测出 W_k , 再跨过 $k+1$ 个齿测出 W_{k+1} , 根据渐开线上任意一点的法线必与基圆相切的基本性质可知, 公法线长度 W_k 应等于对应基圆上的弧长。显而易见, 有

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

$$W_{k+1} = kP_b + S_b$$

故基节

$$P_b = W_{k+1} - W_k$$

又因 $P_b = \pi m \cos \alpha$, 所以 $m = \frac{W_{k+1} - W_k}{\pi \cos \alpha}$ 。

分别设上式中的 α 为 20° 和 15° , 求出模数 m , 由模数表确定 m 的值及相应的 α 。也可根据 P_b 由基节表(附表)直接查取 m 及 α 的值。

为保证游标卡尺的两个卡脚与齿廓的渐开线部分相切, 跨齿数 k 可由表 3-1 查取。

表 3-1 齿数 z 与跨齿数 k 的对应关系

z	10 ~ 17	18 ~ 26	27 ~ 35	36 ~ 44	45 ~ 53	54 ~ 62	63 ~ 71	72 ~ 80
k	2	3	4	5	6	7	8	9

2. 测量齿根圆直径 d_f 和齿顶圆直径 d_a , 求出 h_a^* 、 c^* 。

如图 3-2 所示, 测得齿顶圆直径 d_a 、齿根圆直径 d_f 。若被测齿轮的齿数为偶数, 可直接测得 d_a 、 d_f 。若被测齿轮的齿数为奇数, 可间接测得 d_a 、 d_f 。此时,

$$d_a = D + 2H_1$$

$$d_f = D + 2H_2$$

由根圆公式可知

$$d_f = m(z - 2h_a^* - 2c^*)$$

$$\text{正常齿: } h_a^* = 1, c^* = 0.25$$

$$\text{短齿: } h_a^* = 0.8, c^* = 0.3$$

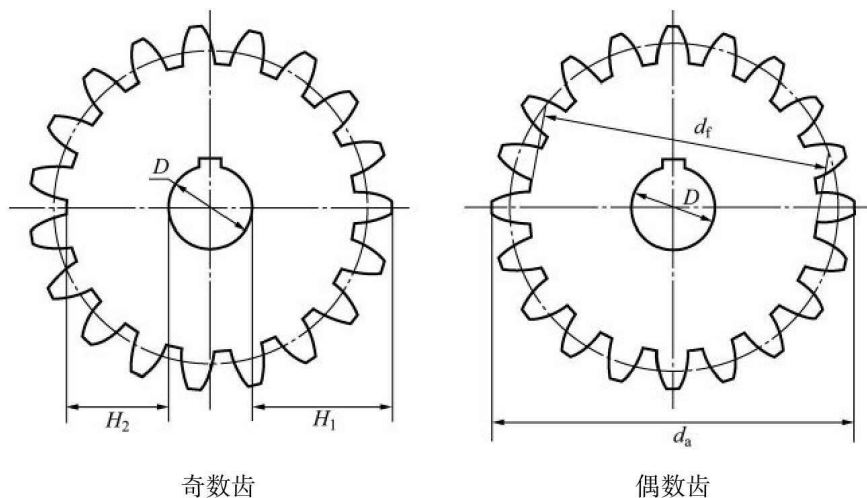


图 3-2 测量齿顶圆直径和齿根圆直径



判断被测齿轮是正常齿还是短齿,将两组值分别代入根圆公式,最接近实测值的一组即所求的 h_a^* 、 c^* 。

四、实验内容

选用奇数齿和偶数齿的齿轮各一个进行测量。确定基本参数:齿数 z 、模数 m 、压力角 α 、齿顶高系数 h_a^* 、顶隙系数 c^* 。

五、实验步骤

1. 测量前将被测齿轮擦干净,数出齿数 z ,并确定跨齿数 k 。
2. 测量 W_k 、 W_{k+1} 、 d_a 、 d_f (D 、 H_1 、 H_2)。对每个量在不同位置测量三次,读数精确到小数点后两位,取平均值作为测量数据。
3. 根据测量数据,求出被测齿轮的基本参数: α 、 m 、 h_a^* 、 c^* 。
4. 分析讨论所求结果,整理实验报告(表 3-2)。

表 3-2 渐开线齿轮参数测定实验报告

单位:mm

班级学号						姓名			
实验日期						同组人			
指导教师						成绩			
项目		奇数: $z =$ $k =$				偶数: $z =$ $k =$			
		1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
测量数据	d_a								
	d_f								
	H_1								
	H_2								
	D								
	W_k								
	W_{k+1}								
计算结果	P_b								
	m								
	α								
	h_a^*								
	c^*								



附表:

基节 $P_b = \pi m \cos \alpha$ 的数值

单位: mm

模数 (m)	径节 (DP)	$P_b = \pi m \cos \alpha$				
		$\alpha = 22.5^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 17.5^\circ$	$\alpha = 15^\circ$	$\alpha = 14.5^\circ$
1	25.400 0	2.902	2.952	2.996	3.034	3.041
1.058	24	3.071	3.123	3.170	3.210	3.218
1.155	22	3.352	3.410	3.461	3.505	3.513
1.25	20.320 0	3.628	3.690	3.745	3.793	3.817
1.270	20	3.686	3.749	3.805	3.854	3.863
1.411	18	4.095	4.165	4.228	4.282	4.292
1.5	16.933 3	4.354	4.428	4.494	4.552	4.562
1.588	16	4.609	4.688	4.758	4.819	4.830
1.75	14.514 3	5.079	5.166	5.243	5.310	5.323
1.814	14	5.265	5.355	5.435	5.505	5.517
2	12.700 0	5.805	5.904	5.992	6.069	6.083
2.117	12	6.144	6.250	6.343	6.424	6.439
2.25	11.288 9	6.530	6.642	6.741	6.828	6.843
2.309	11	6.702	6.816	6.918	7.007	7.023
2.5	10.160 0	7.256	7.380	7.490	7.586	7.604
2.54	10	7.372	7.498	7.610	7.708	7.725
2.75	9.236 4	7.982	8.118	8.239	8.345	8.364
2.822	9	8.191	8.331	8.455	8.563	8.583
3	8.466 7	8.707	8.856	8.989	9.104	9.125
3.175	8	9.215	9.373	9.513	9.635	9.657
3.25	7.815 4	9.433	9.594	9.738	9.862	9.885
3.5	7.257 1	10.159	10.332	10.487	10.621	10.645
3.629	7	10.533	10.713	10.873	11.012	11.038
3.75	6.773 3	10.884	11.070	11.236	11.379	11.406
4	6.350 0	11.610	11.809	11.986	12.138	12.166
4.233	6	12.286	12.496	12.683	12.845	12.875
4.5	5.644 4	13.061	13.285	13.483	13.655	13.687
5	5.080 0	14.512	14.761	14.981	15.173	15.208



续表

模数 (m)	径节 (DP)	$P_b = \pi m \cos \alpha$				
		$\alpha = 22.5^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 17.5^\circ$	$\alpha = 15^\circ$	$\alpha = 14.5^\circ$
5.080	5	14.744	15.000	15.221	15.415	15.451
5.5	4.618 2	15.963	16.237	16.479	16.690	16.728
5.644	4.5	16.381	16.662	16.910	17.127	17.166
6	4.233 3	17.415	17.713	17.977	18.207	18.249
6.350	4	18.431	18.746	19.026	19.269	19.314
6.5	3.907 7	18.866	19.189	19.475	19.724	19.770
7	3.628 6	20.317	20.665	20.973	21.242	21.291
7.257	3.5	21.063	21.424	21.743	22.022	22.072
8	3.175 0	23.220	23.617	23.969	24.276	24.332
8.467	3	24.575	24.996	25.369	25.693	25.753
9	2.822 2	26.122	26.569	26.966	27.311	27.374
9.236	2.75	26.807	27.266	27.673	28.027	28.092
10	2.54	29.024	29.521	29.962	30.345	30.415
10.160	2.5	29.489	30.000	30.441	30.831	30.902
11	2.309 1	31.927	32.473	32.958	33.830	33.457
11.289	2.25	32.766	33.327	33.824	34.257	34.336
12	2.116 7	34.829	35.426	35.954	36.414	36.498
12.700	2	36.861	37.492	38.052	38.539	38.627
13	1.953 8	37.732	38.378	38.950	39.449	39.540
14	1.814 3	40.634	41.330	41.947	42.484	42.581
14.514	1.75	42.126	42.847	43.487	44.043	44.145
15	1.693 3	43.537	44.282	44.943	45.518	45.623
16	1.587 5	46.439	47.234	47.939	48.553	48.665
16.933	1.5	49.147	49.989	50.773 4	51.384	51.502
18	1.411 1	52.244	53.139	53.931	54.622	54.748
20	1.270 0	58.049	59.043	59.924	60.691	60.831
20.320	1.25	58.978	59.987	60.883	61.662	61.804
22	1.154 5	63.854	64.947	65.916	66.760	66.914
25	1.106 0	72.561	73.803	74.905	75.864	76.038
25.400	1	73.722	74.984	76.103	77.077	77.255