

高等院校二十一世纪创新规划教材

机械原理与设计 综合实验教程



主 编 刘文光 贺红林

副主编 江 一 占晓煌



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

机械原理与设计 综合实验教程

主 编 刘文光 贺红林
副主编 江 一 占晓煌



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

中国水利水电出版社
综合教材系列
机械原理与设计
刘文光 贺红林 主编
江一 占晓煌 副主编
浙江水利水电出版社
（杭州）

ISBN 7-309-07511-2

内 容 简 介

机械原理与设计综合实验教程是在总结教学团队多年来的教学经验的基础上,结合目前常见的教学仪器设备,按照机械设计系列课程的实验教学体系构架而进行编写的。编写本书的宗旨是引导学生在机械认知的基础上,掌握实验基本原理、基本技能和实验方法,进一步培养学生机械设计创新意识和分析、解决工程实际问题的能力。

按照教学内容的体系,适应不同层次学生的实验教学需求,全书共分六章,主要内容包括机械原理典型实验、机械设计典型实验、机械设计上机实验、机械原理选做实验、机械设计选做实验和机械原理课程设计。本书结构严谨、内容丰富,强调理论与实践相结合,融入了作者多年的教学改革成果,反映了学科发展。

本书适用于《机械原理》、《机械设计》及《机械设计基础》课程的配套实验教材,也可作为相关人员进行教学、科研及实验工作的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理与设计综合实验教程/刘文光,贺红林主编.

—杭州:浙江大学出版社,2014.1

ISBN 978-7-308-12569-7

I. ①机… II. ①刘… ②贺… III. ①机构学—
实验—高等学校—教学参考资料 ②机械设计—实验—
高等学校—教学参考资料 IV. ①TH111 ②TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第282729号

机械原理与设计综合实验教程

主编 刘文光 贺红林

责任编辑 邹小宁

文字编辑 叶梦箫

封面设计 王聪聪

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路148号 邮政编码 310007)

(网址:<http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州教联文化发展有限公司

印 刷 浙江富林印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13.75

字 数 335千

版 次 2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-12569-7

定 价 28.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

前言

创新源于问题,始于实践。作为认识世界和改造世界的科学实验,是培养工科学生创新意识与实践能力的重要环节,也是培养学生理论联系实际的作风与严谨求实的科学态度的重要过程,更是培养学生懂得仪器设备的原理与实验方法的有效渠道。所以《机械原理》、《机械设计》和《机械设计基础》等课程必须开设相应的实验项目,以帮助学生验证、巩固和加深课堂讲授的基本理论,加强理论联系实际及独立工作能力的培养,达到培养学生认识实验对象、了解实验设备、明白实验原理、懂得实验方法的目的。

本书是在南昌航空大学机械设计教研部编写的《机械原理实验》和《机械设计实验》

两本自编教材的基础上发展而来,主要内容已作为机械类专业的实验指导书十余年,不断充实更新,汇集了本教研部几代人多年的教学心得和体会。本书结合目前常见的实验教学仪器编写,实验内容包含验证性、综合性和设计性等多类实验项目;根据培养需求,还融入了机械设计上机实验内容。每个实验均编写了实验目的、实验原理、实验设备和工具、实验步骤及注意事项。编写过程中,作者借鉴国内重点大学的若干先进经验,除对经典的实验内容做简明、严谨的阐述外,还在吸取教学团队教学改革经验的基础上,对机械原理课程设计的内容和体系作了一些变革,其宗旨就是指导学生能在短时间内,将所学的机械原理运用于一个简单的机械系统,通过机械传动方案总体设计,机构分析与综合,进一步巩固掌握课堂教学知识,并结合实际得到工程设计方面的初步训练,达到培养学生综合运用技术资料,进行机械创新设计能力和应用计算机解决工程实际问题能力。

全书共分6章,分别是机械原理典型实验、机械设计典型实验、机械设计上机实验、机械原理选做实验、机械设计选做实验和机械原理课程设计。因此,本书不仅注重实验项目的基础性,也注重实验项目的系统性,同时考虑了实验项目的层次性。

本书由刘文光和贺红林主编,参编的还有邓禾根、吴晖、朱保利、江一、占晓煌、梁发周和封立耀等老师,硕士研究生严铨完成了书中部分插图的重新绘制工作。全书编写过程中得到了南昌航空大学机械设计教研部各位同仁的鼎力支持并提出了许多宝贵意见。由于编者水平有限,书中难免存在一些错误和不妥之处,敬请广大读者不吝批评指正。如有任何疑问或建议,请反馈至 liuwg14@163.com。

编者

2013年10月

目 录

第1章 机械原理典型实验	1
1.1 机构运动简图的绘制与分析实验	1
1.2 渐开线齿廓范成原理实验	7
1.3 直齿圆柱齿轮参数测定实验	9
1.4 转子动平衡实验	15
第2章 机械设计典型实验	21
2.1 螺栓联接测试实验	21
2.2 带传动性能分析实验	28
2.3 减速器结构分析与拆装实验	34
第3章 机械设计上机实验	38
3.1 机械零件CAD上机实验	38
3.2 SolidWorks 软件简介	39
3.3 带传动CAD设计实例	46
第4章 机械原理选做实验	81
4.1 机构创新设计认知实验	81
4.2 凸轮轮廓检测实验	84
4.3 机构系统动力学调速实验	88
4.4 机械运动学与动力学参数测试实验	91
4.5 机构运动创新设计方案实验	100
4.6 机构创新组合实验	107
第5章 机械设计选做实验	119
5.1 机械零件认知实验	119
5.2 机械结构认知实验	127
5.3 液体动压滑动轴承油膜压力与摩擦分析实验	132
5.4 轴系结构设计实验	139
5.5 机械系统创意组合实验	140



第6章 机械原理课程设计	167
6.1 引言	167
6.2 课程设计题目	168
6.3 机械运动方案设计	170
6.4 平面机构的运动分析	187
附录	201
附录A 机构运动简图测绘实验报告表	201
附录B 渐开线齿廓范成原理实验报告表	203
附录C 直齿圆柱齿轮参数测定实验报告表	209
参考文献	211

第1章 机械原理典型实验

(A2—0844) 821 各分册编委: 机械工业出版社 1.1 章

机械原理实验是培养大学生机械创新设计能力、实践动手能力和工程分析能力的重要途径。本章重点介绍机构运动简图绘制与分析实验、渐开线齿廓范成原理实验、直齿圆柱齿轮参数测定实验和转子动平衡实验等常做实验。其他实验内容,可以从第4章机械原理开放性实验项目中选做。

1.1 机构运动简图的绘制与分析实验

1.1.1 实验目的

- (1)熟悉各种运动副、构件及机构的代表符号。
- (2)掌握平面机构运动简图测绘的基本方法。
- (3)验证并巩固机构自由度的计算方法。
- (4)掌握根据实际机械或模型的结构来分析机构组成的方法。

1.1.2 实验内容

依据指导老师提供的各种机械实物或模型绘制机构运动简图,计算机构自由度并分析机构的运动及其组成原理。

1.1.3 实验设备和用具

- (1)几种机器(如冲床等)的实物或模型。
- (2)测量工具包括钢尺、卷尺、内外卡钳。
- (3)绘制用具:包括三角板、圆规、铅笔、草稿纸。

1.1.4 实验原理、方法和步骤

1. 实验原理

在已知原动件的运动规律的情况下,机构的运动只与构件的数目和连接构件的运动副的类型、数目及其相对位置有关,而与构件的几何形状和运动副的具体结构无关。



所以,我们在绘制机构运动简图时,可以撇开构件的复杂外形以及运动副的具体构造,而用国标规定的符号来表示构件和运动副(如表 1.1~表 1.3 所示),并按照一定的比例尺确定各个运动副的相对位置,绘制出能忠实反映机构在某一位置时各构件间相对运动关系的简图,即机构运动简图。利用机构运动简图,可以方便地计算机构的自由度,以此为基础还可以分析机构的运动学和动力学特性。

表 1.1 常用机构运动副的符号(GB 4460—84)

运动副名称	运动副符号	
	两运动构件构成的运动副	两构件之一为固定时的运动副
转动副		
	注释:平面 5 级低副,自由度为 1,引入 2 个转动约束和 3 个移动约束。	
平面运动副		
	注释:平面 5 级低副,自由度为 1,引入 3 个转动约束和 2 个移动约束。	
平面高副		
	注释:平面 4 级高副,自由度为 2,引入 2 个转动约束和 2 个移动约束。	



(续 表)

运动副名称	运动副符号	
	两运动构件构成的运动副	两构件之一为固定时的运动副
螺旋副		
平面运动副	注释:空间5级低副,自由度为1,引入2个转动约束和3个移动约束;或者引入3个转动约束与2个移动约束。	
球面副		
球销副		
	注释:球面副为空间3级低副,自由度为3,引入3个移动约束;球销副为空间4级低副,自由度为2,引入1个转动约束和3个移动约束。	

表 1.2 常用机构运动简图符号

机构名称	简图符号	机构名称	简图符号
在机架上的电机		齿轮齿条传动	
带传动		圆锥齿轮传动	



(续 表)

机构名称	简图符号	机构名称	简图符号
链传动		圆柱蜗杆 蜗轮传动	
外啮合圆柱 齿轮传动		凸轮传动	
内啮合圆柱 齿轮传动		棘轮机构	

表 1.3 一般构件的表示方法

构件名称	常用符号
杆、轴构件	
固定构件 (通常表示 机架)	
同一构件 (通常表示 两构件的 永久连接)	



(续 表)

构件名称	常用符号
两副构件 (表示同一构件上内含两个运动副)	
三副构件 (表示同一构件上内含三个运动副)	
注意事项	绘制构件时应撇开构件的实际外形,而只考虑运动副的性质。例如:

2. 实验方法与步骤

(1)了解所测绘机构的名称与功用,查清机构的原动件及工作构件(执行构件)。

(2)缓慢地转动原动件,细心观察运动在构件间的传递情况,了解并分析活动构件及运动副的数目及其性质。在了解活动构件及运动副数目时,要特别注意:第一,当两构件间的相对运动很小时,不要误认为一个构件;第二,由于制造精度的问题,同一构件各部分之间的联接有稍许松动或有间隙时,不要误认为两个构件。碰到这种情况,要仔细分析,正确判断。

(3)要选择最能表示机构特征的平面作为绘制简图的视图投影平面;同时,要将原动件放在一适当位置,以使机构运动简图最为清晰。

(4)按GB 4460—84中规定的符号绘制机构运动简图时,应根据机构组成原理,从原动件开始,先画运动副,再用直线段联接属于同一构件上的各个运动副,即得各相应的构件;原动件的运动方向要用箭头标出;初步绘制时,可按大致比例(称之为机构示意图),并从原动件开始分别用1、2、3……表示各构件,用A、B、C……等字母表示各运动副。



(5) 仔细测量机构的各运动学尺寸(如转动副的中心距,移动副导路的位置等);对于高副则应仔细测出高副的轮廓曲线及其位置,然后以一适当的比例尺 μ_l 作出正式的机构运动简图(μ_l = 实际长度/图上长度,单位为 m/mm)。

3. 机构自由度计算

对于平面机构,其自由度数 F 可按公式(1-1)计算:

$$F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' \quad (1-1)$$

式中, n 为机构中活动构件的数目(它等于机构的构件总数减1); p_l 为机构中低副的数目; p_h 为机构中高副的数目; p' 为虚约束数目(它由虚约束部分带入的构件数 n' 、低副数 p'_l 及高副数 p'_h ,按公式 1-2 计算得到)。

$$p' = 2p'_l + p'_h - 3n' \quad (1-2)$$

式中, F' 为局部自由度数目。

在计算时,首先,要注意机构中可能出现的复合铰链、局部自由度、虚约束等;再由机构具有确定运动的条件,判断自由度计算结果的正确与否,如有出入,应找出原因并纠正;最后根据机构运动简图及自由度数分析机构的组成。

1.1.5 注意事项

- (1) 在机构运动简图中应正确标出有关运动构件的序号等。
- (2) 注意一个构件在中部与其他构件用转动副连接的表示方法。
- (3) 机架的尺寸不要遗漏。
- (4) 两个运动副不在同一平面时,应注意其相对位置尺寸的测量方法。

1.1.6 思考题

- (1) 什么叫机构? 构件与零件有何联系和区别?
- (2) 什么叫运动副? 常用的运动副的规定符号有哪些?
- (3) 什么是机构运动简图? 一张正确的机构运动简图应包括哪些必要的内容? 绘制机构运动简图时,原动件的位置能否任意选定? 会不会影响运动简图的正确性?
- (4) 机构具有确定运动的条件是什么?
- (5) 什么叫复合铰链、局部自由度和虚约束?
- (6) 什么叫基本杆组?
- (7) 自由度大于或小于原动件的数目时,会产生什么结果?

1.1.7 实验报告

实验报告应包括实验目的、实验内容、实验设备、实验原理、实验步骤以及实验结果分析等内容,实验记录可参考附录 A 表格撰写,并完成指导老师布置的思考题。



1.2 渐开线齿廓范成原理实验

1.2.1 实验目的

- (1) 掌握用范成法切制渐开线齿轮的基本原理, 观察齿廓渐开线部分及过渡曲线部分的形成过程。
- (2) 了解渐开线轮齿的根切现象以及采用变位修正来避免根切的方法。
- (3) 分析比较标准齿轮与变位齿轮的异同点, 了解变位后对齿轮尺寸产生的影响。

1.2.2 实验内容

用范成仪在齿廓范成圆盘纸(以下简称为圆盘纸)上(预先画好分度圆、齿顶圆、齿根圆及三个区域)依次用铅笔描绘出齿条刀具相对于轮坯在各个位置的包络线, 即形成被切齿轮的渐开线齿廓, 并分别在三个区域内画出标准齿轮、正变位齿轮和负变位齿轮, 以做分析比较。

1.2.3 实验设备和用具

- (1) 齿轮范成仪(每组一台)。
- (2) 一张剪好的圆盘纸(自备)。
- (3) 绘制用具: 包括直尺、三角板、量角器、铅笔、红铅笔、橡皮(自备)。

1.2.4 范成仪的构造及工作原理

如图 1.1 所示, 齿轮范成仪的圆盘 1 表示被加工齿轮的毛坯, 安装在机架 4 上, 并可绕机架上的固定轴 O 转动。代表切齿刀具的齿条 2 安装在滑板 3 上, 当移动滑板时, 轮坯圆盘 1 上安装的与被加工齿轮具有同等大小分度圆的齿轮与固接在滑板上的齿条啮合, 并保证被加工齿轮的分度圆与滑板 3 上的齿条中线作纯滚动, 从而实现范成运动。松开螺母 5 即可调整齿条刀具相对于轮坯的中心距。

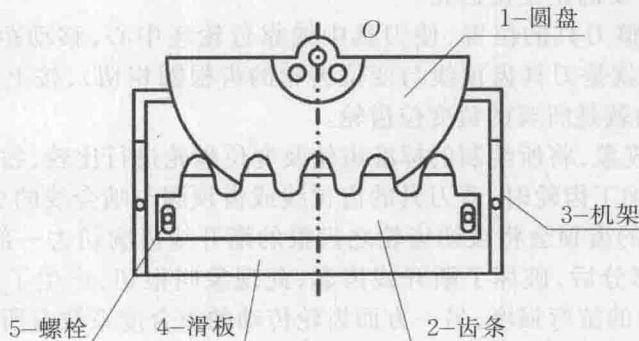


图 1.1 齿轮范成仪的构造简图



齿条刀具2可以安装在相对于圆盘1的各个位置上,若调整齿条刀具时使齿条刀具分度圆与圆盘1的分度圆相切,则可以绘制出标准齿轮的齿廓。而当齿条刀具2的中线与圆盘1的分度圆间有距离时(该距离 xm 可以通过滑板3上的刻度尺直接读出来),于是根据 $x \geq x_{\min}$ 的大小和方向即可绘出各种正变位或负变位齿轮。

对于 $\alpha = 20^\circ$ 的标准齿条刀具,要加工标准齿轮且不发生根切,对应的最少齿数为 $z_{\min} = 17$ 。当齿轮的齿数 $z < z_{\min}$ 时, $x_{\min}$ 为正值,说明为了避免根切,该齿轮应采用正变位,其变位系数 $x \geq x_{\min}$,刀具移出。反之,当 $x < x_{\min}$ 时, $x_{\min}$ 为负值,说明该齿轮在刀具移进 $x_{\min}$ 的条件下采用负变位也不会发生根切。

范成法是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的。加工时,其中一轮为刀具,另一轮为轮坯,由机床的传动链迫使它们保持固定的角速比旋转,完全和一对真正的齿轮互相啮合传动一样,同时刀具还沿着加工轮坯的轴向作切削运动,这样所得齿轮的齿廓就是刀具刀刃在各个位置的包络线。

用渐开线作为刀具齿廓,则其包络线也必为渐开线。由于在实际加工时,看不到刀刃在各个位置形成包络线的过程,故通过齿轮范成仪来实现刀具与加工轮坯的传动过程(范成运动),并用笔将刀具刀刃的各个位置记录在纸上(轮坯),这样就能清楚地观察到齿轮范成的全过程。

1.2.5 实验步骤及要求

(1)根据已知的刀具参数和被加工齿轮的齿数、变位系数,计算出被加工齿轮的分度圆直径、基圆直径、最小变位系数、标准齿轮的齿顶圆与齿根圆直径,以及变位齿轮的齿顶圆与齿根圆直径,画在代表轮坯的圆盘纸上。

(2)将“轮坯”安装在齿轮范成仪的圆盘上,注意必须要对准中心。

(3)调整刀具的位置,使其中线与被加工齿轮分度圆相切。

(4)“切削”齿廓时,先将齿条刀具移向一端,但刀具的齿廓退出轮坯中标准齿轮的齿顶圆,然后每当刀具向另一端移动2~3mm距离时,用笔将刀刃在轮坯上的位置如实的记录下来,每移动一次距离时,就记录一下,直到形成完整的齿形为止,同时应注意轮坯上齿廓形成的过程。此时范成出的齿轮为标准齿轮。

(5)重新调整刀具的位置,使刀具中线远离轮坯中心,移动距离为 $|xm|$,再“切制”齿廓(此时也就是刀具齿顶线与变位齿轮的齿根圆相切),按上述操作过程,这样“切制”出来的齿轮就是所要的正变位齿轮。

(6)再重新调整刀具的位置,使刀具中线靠近轮坯中心,移动距离为 $|xm|$,再“切制”齿廓,(此时也就是刀具齿顶线与变位齿轮的齿根圆相切),按上述操作过程,这样“切制”出来的齿轮就是所要的负变位齿轮。

(7)观察根切现象,将所绘制的标准齿轮及变位齿轮进行比较,找出它们的异同点。

(8)用范成法加工齿轮时,若刀具的齿顶线或齿顶圆与啮合线的交点超过被切齿轮的极限点,则刀具的齿顶会将被切齿轮之齿根的渐开线齿廓切去一部分。被切制的齿轮根部被切去一部分后,破坏了渐开线齿廓,此现象叫根切,产生了严重根切的齿轮,一方面削弱了轮齿的抗弯强度,另一方面齿轮传动的重合度系数有所降低,这对传动十分不利,应避免根切现象的产生。



1.2.6 思考题

(1)用齿条刀具加工标准齿轮时,刀具与轮坯之间的相对位置和相对运动有何要求?为什么?

(2)移距的目的是什么?刀具相对轮坯作正移距或作负移距,相对标准齿轮而言,轮齿的形状有何不同?

(3)通过实验,你所观察到的根切现象发生在基圆内还是基圆之外?分析产生根切的原因。

(4)用齿条插刀加工时,刀具与轮坯之间应保证实现怎样的运动?

(5)为什么用渐开线作为齿轮轮廓曲线能保证定传动比?

(6)用范成法加工渐开线齿轮时,可以用同一把刀具加工同一模数和分度圆压力角而不同齿数的齿轮,为什么?仿形法行否?

(7)比较用同一齿条刀具加工出标准齿轮与变位齿轮的几何参数: m 、 α 、 r 、 r_b 、 h 、 h_f 、 h_a 、 r_a 、 r_f 、 S 、 S_b 、 S_a 、 S_f ,哪些改变了?

1.2.7 实验报告

实验报告应包括实验目的、实验内容、实验原理、实验步骤以及实验结果分析等,其中实验记录可参考附录B表格撰写,并完成指导老师布置的思考题。

1.3 直齿圆柱齿轮参数测定实验

1.3.1 实验目的

(1)掌握用游标卡尺测定渐开线直齿圆柱齿轮基本参数的方法。

(2)认识齿轮的基本参数与其齿形间的关系。

(3)熟悉齿轮各参数间的关系式。

1.3.2 实验内容

测量并确定一对标准齿轮和一对变位齿轮的基本参数。

1.3.3 实验用具

被测齿轮、游标卡尺(刻度值为0.02mm)、若干相关表格和计算器。

1.3.4 实验原理与方法

因为对现有机械设备中的齿轮进行仿制或修配,首先都必须对其进行测绘,所以测绘的目的是要根据实物寻找原齿轮参数(如模 m 、齿数 z 、压力角 α 、径向间隙系数 c^* 、齿顶高系数 h_a^* 及变位系数 x 等)。这些参数中只有 z 可直接数出,其余则需根据

测量某些尺寸并进行推算得到。

1. 齿顶圆直径的测量

当齿数为偶数时,齿顶圆的直径可以直接测出。如果齿数为奇数时,直接测得的不是齿顶圆直径,而是 d'_a , 见图 1.2。 d'_a 测得后,可由式(1-3)计算 d_a :

$$d_a = d_a' \cdot \sec \frac{90^\circ}{z}$$

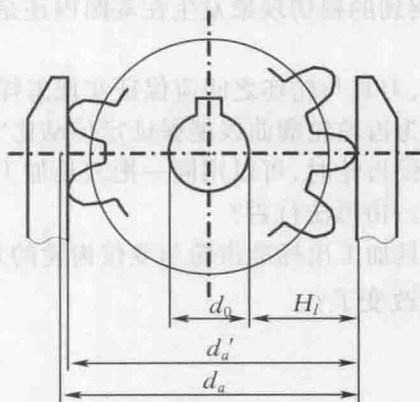


图 1.2 齿顶圆直径测量示意图

若奇数齿齿轮是带内孔的,也可由测得的内孔直径 d_0 和孔壁到齿顶间的距离 H_1 ,按式(1-4)算出:

$$d_n = d_0 + 2H_l \quad (1-4)$$

2. 模数和压力角的确定

若被测齿轮为标准齿轮,则模数 m 可按式(1-5)确定:

$$m = \frac{d_a}{z + 2h_n^*} \quad (1-5)$$

如图 1.3 所示,若事先无法确定被测齿轮是标准齿轮还是变位齿轮,首先应测出齿轮的基圆齿距 p_b ,然后通过跨 K 齿测得的公法线长度 W_K 与跨 $K+1$ 齿(或 $K-1$ 齿)所测得的公法线长度 W_{K+1} (或 W_{K-1})之差来计算 p_b ,见式(1-6)。

$$p_h = W_{K+1} - W_K \quad \text{或} \quad p_h = W_K - W_{K-1} \quad (1-6)$$

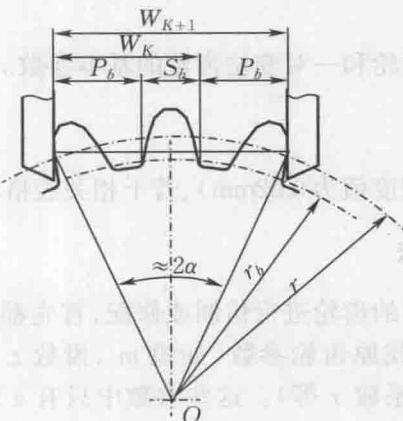


图 1.3 基圆齿距测量示意图

确定跨齿数 K 的原则是使卡爪在分度圆附近与齿廓相切, K 值可由表 1.4 查得。

表 1.4 测量公法线长度的跨齿个数 K ($\alpha=20^\circ$)

齿数 z	9~17	18~26	27~35	36~44	45~53	54~62	63~71
跨齿数 K	2	3	4	5	6	7	8

在测量时,应注意卡尺不能接触齿尖或齿根圆角。由于加工误差,齿轮的公法线长度在不同位置测量时会有所变动,所以 W_K 和 W_{K+1} (或 W_{K-1}) 应在同一位置测量,并变更测量部位几次,求其平均值。在测量已工作过的齿轮时,由于大齿轮的磨损比小齿轮少,而两个相互啮合的齿轮的基圆齿距,其理论值应相等,故以测量大齿轮较为准确。 P_b 求得后,可按式(1-7)求模数:

$$m=\frac{P_b}{\pi \cos \alpha} \tag{1-7}$$

国家标准规定 $\alpha=20^\circ$,但历史上也有 $\alpha=15^\circ$ 或 25° 的齿轮,在国外标准中,还有其他值的压力角,因此用上式计算 m 时,无法确定 α 的值。由于任何标准中的模数与压力角都只是有限数的系列,故可将 P_b 与 m 和 α 制成表格,再由 P_b 值即可同时找到对应的 m 与 α 值。这种表格在一般的手册中均能找到。兹摘录其中的部分列入表 1.5,以供查用。

表 1.5 不同模数、压力角与对应的基圆齿距 P_b

α		$\alpha=20^\circ$	$\alpha=15^\circ$
m	P_b	$P_b=\pi m \cos \alpha$	
1.0		2.952	3.034
1.5		4.428	4.552
2.0		5.904	6.069
2.5		7.380	7.586
3.0		8.856	9.104
3.5		10.332	10.621
4.0		11.809	12.138
4.5		13.285	13.655
5.0		14.761	15.173
5.5		16.237	16.690
6.0		17.713	18.207
8.0		23.617	24.276
10		29.521	30.345