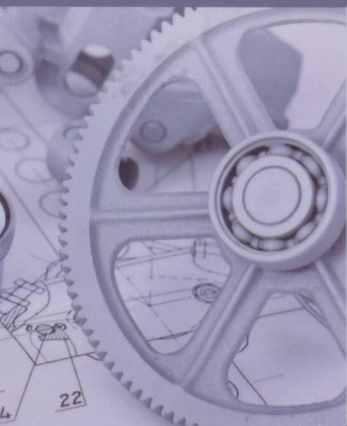




“十二五”普通高等教育规划教材



机械工程实验教程

Mechanical Engineering Experiment Course

黄方平 华顺明 主编



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

014026453

TH-33
18

“十二五”普通高等教育规划教材

机械工程实验教程

黄方平 华顺明 主 编
高德 主 审



 中国轻工业出版社



北航

C1717822

TH-33

18

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程实验教程/黄方平, 华顺明主编. —北京:
中国轻工业出版社, 2014. 2

“十二五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5019-9628-5

I. ①机… II. ①黄…②华… III. ①机械工程—实
验—高等学校—教材 IV. ①TH—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 317926 号

内 容 简 介

《机械工程实验教程》是为适应高层次应用创新人才培养的需要,按照教育部高等教育教学改革工程的要求,在教学改革和实践的基础上撰写而成的。

书中系统地介绍了机械工程的基本实验技术,每一章节均对实验目的、实验原理和实验方法做了比较系统的论述,对实验中常用仪器的原理、构造、操作规程做了较详细的介绍。内容包括机械工程学科基础课程实验、主要专业基础课程实验,增加了创新设计性实验和综合性实验内容,形成了较为完整的实验教学体系。

《机械工程实验教程》可作为高等工科院校机械类、近机类及非机类各专业的实验综合教材,也可供成人高等工科院校师生及有关工程技术人员参考。

责任编辑:杜宇芳

策划编辑:杜宇芳

责任终审:孟寿萱

封面设计:锋尚设计

版式设计:王超男

责任校对:吴大鹏

责任监印:张 可

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号,邮编:100740)

印 刷:北京君升印刷有限公司

经 销:各地新华书店

版 次:2014年2月第1版第1次印刷

开 本:787×1092 1/16 印张:10.5

字 数:239千字

书 号:ISBN 978-7-5019-9628-5 定价:34.00元

邮购电话:010-65241695 传真:65128352

发行电话:010-85119835 85119793 传真:85113293

网 址:<http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

130716J1X101ZBW

前 言

“机械工程实验教程”着重培养学生的基本机电系统实验技能和创新设计能力，是高等工科教学中不可缺少的实践性教学环节。为了培养适应我国机电装备制造业的高级工程技术人才，机械基础实验课程必须不断深化改革，随着浙江大学宁波理工学院实践教学体系和机电与能源省级实验教学示范中心建设，以培养学生“工程思想、创新思维、实践能力”为主线，对机械工程实验课程进行了改革，将原机械设计制造及其自动化专业和机械电子工程专业中的学科基础课程和专业基础课程中的实验项目进行整合，在总结改革实践经验的基础上，编写了本书。

“机械工程实验教程”以培养学生创新能力和综合设计能力为目标，以机械工程实验自身教学规律为主线，合理构建实验教学体系。在教学组织上，加大实践教学的改革力度，增加实验教学的学时，培养学生的动手能力，构建独立的机械工程实验教学体系，单独设立机械工程综合实验系列课程，分布在第3~6学期机械工程综合实验及机械工程综合创新设计与实践等课程组成，单独计算学生实验课成绩，培养学生综合创新能力。

本书结合浙江大学宁波理工学院实验教学的具体条件，构建了机械工程的实验课程体系，并与“工程材料”、“机械原理”、“机械设计”“互换性与技术测量”等学科大类课程以及“机械制造技术基础”、“液压与气压传动”、机电控制测试类课程等机械专业的主干课程衔接。在实验项目的开发和配置方面，改革原有的验证性实验项目，开发先进的设计性、综合性实验项目，实现实验内容由单一型向综合型转变；在实验方法上实现由演示型、验证型向参与型、设计型转变。

本书由黄方平、华顺明主编，参加编写工作的人员有童森林、楼应侯、李继强、王晓军、张美琴、王贤成、林贇、张钊、王向垠。本书由高德教授主审。

作者
2014. 1

第一章 绪论	1
第一节 机械工程实验课程	1
第二节 孔的测量	15
第三节 轮廓仪测表面粗糙度	35
第四节 双管（光切法）显微测表面粗糙度	58
第五节 工具显微镜测圆度	61
第六节 三针法测量外螺纹中径	65
第七节 形状误差的测量	67
第八节 位置误差的测量	73
第六章 工程材料及热处理实验	76
第一节 金相试样制备和硬度计使用	76
第二节 钢的热处理	90
第三节 综合实验——冷冲模材料热处理、性能试验及失效分析	95
第七章 液压与气压传动实验	97
第一节 液压元件拆装实验	97

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 机械原理实验	(2)
第一节 机械原理展示实验	(2)
第二节 机构运动简图的测绘与分析	(2)
第三节 渐开线齿轮几何参数测定	(4)
第四节 渐开线直齿圆柱齿轮范成实验	(7)
第五节 刚体回转体动平衡实验	(8)
第三章 机械设计实验	(12)
第一节 带传动的滑动及效率测定实验	(12)
第二节 封闭功率流式齿轮传动效率的测定	(14)
第三节 液体动压径向滑动轴承实验	(21)
第四节 链条、万向节传动实验	(27)
第五节 减速器拆装实验	(30)
第四章 机械制造技术基础实验	(33)
第一节 车刀的几何角度及其测量	(33)
第二节 普通车床三箱的认识	(36)
第三节 机床夹具综合实验 (一) —— 夹具拆装	(37)
第四节 机床夹具综合实验 (二) —— 专用夹具测绘	(43)
第五节 机床夹具综合实验 (三) —— 专用夹具设计	(45)
第五章 互换性与技术测量实验	(50)
第一节 长度测量	(50)
第二节 孔径测量	(53)
第三节 轮廓仪测量表面粗糙度	(55)
第四节 双管 (光切法) 显微镜测量表面粗糙度	(58)
第五节 工具显微镜测量螺纹	(61)
第六节 三针法测量外螺纹中径	(65)
第七节 形状误差的测量	(67)
第八节 位置误差的测量	(73)
第六章 工程材料及热处理实验	(76)
第一节 金相试样制备和硬度计使用	(76)
第二节 碳钢热处理	(90)
第三节 综合实验——冷冲模材料热处理、性能试验及失效分析	(95)
第七章 液压与气压传动实验	(97)
第一节 液压元件拆装实验	(97)

第二节	变量叶片泵静、动态特性实验	(98)
第三节	溢流阀——静动态特性实验	(101)
第四节	液压系统节流调速实验	(102)
第五节	液压回路设计及组装实验	(103)
第六节	气动基本回路实验 (一)	(104)
第七节	气动基本回路实验 (二)	(105)
第八章	机电控制实验	(109)
第一节	控制系统典型环节的模拟	(109)
第二节	二阶系统的瞬态响应分析	(111)
第三节	控制系统应用软件及典型控制系统建模分析	(112)
第四节	电机正反转的继电器控制	(115)
第五节	电机 Y - Δ 启动的继电器控制	(116)
第六节	控制 (步进) 电机实验	(118)
第七节	车床电器控制电路的模拟实验	(122)
第八节	三相异步电机 Y - Δ 启动的 PLC 控制实验	(122)
第九节	十字交通灯的 PLC 控制实验	(123)
第十节	桥路搭接实验	(124)
第十一节	PLC 综合应用实验	(126)
第十二节	单片机 IO 及时钟操作	(126)
第十三节	定时器操作	(127)
第十四节	TimerA 操作	(128)
第十五节	UART 串行双机通信实验	(129)
第十六节	12 位 AD 转换实验	(130)
第十七节	键盘和 LED 显示	(131)
第九章	机械工程测试技术实验	(134)
第一节	信号的分解与合成	(134)
第二节	传感器应用实例	(137)
第三节	直流电桥	(140)
第四节	转矩转速的多传感器测量	(142)
第五节	激光传感器测量数控机床精度	(147)
第十章	机械综合创新实验	(152)
第一节	机构运动创新实验	(152)
第二节	轴系结构设计综合实验	(156)
第三节	机电液自动生产线系统综合实验	(158)
参考文献		(160)

第一章 绪 论

为了培养适应我国机电装备制造业的高级工程技术人才,随着浙江大学宁波理工学院实践教学体系和机电与能源省级实验教学示范中心的建设,以培养学生“工程思想、创新思维、实践能力”为主线,我们对机械工程实验课程进行了内容重组和改革。

一、学生实践创新能力培养的重要性

对于工程创新性人才培养,工程实践能力无疑是基础。学生的工程创新能力,应该是创新思维能力和创新实践能力的总和。浙江大学宁波理工学院从 2008 年开始进行实践教学体系的建设和改革,将工程创新所需实践能力当做人才培养的关键之一,在教学各环节进一步强化实践,保证学生在理论知识面广度和深度上的获得与工程创新能力的提高,在工程实践中达到协调发展。

机械工程实验在机械类专业培养中有十分重要的地位,课程的任务不仅培养学生系统地掌握机械工程领域的实验原理、方法手段和实验技能,包括机电系统功能和结构表达与综合分析,一般运动参数、动力学参数以及机械性能参数测试,而且培养学生具备独立进行工程实验研究的能力,包括实验方案设计、仪器设备选用和系统搭建,实验过程操作,实验数据分析处理以及实验创新等。

二、机械工程实验教学内容体系及特点

本实验教程既包括机械原理、机械设计、工程材料及热处理、互换性与技术测量、机械制造技术基础等学科大类课程实验,同时也覆盖了液压与气压传动、机械工程测试技术、控制工程基础、机电传动控制、单片机基础等专业基础课程实验。对于机械类专业学生而言,这些课程是培养学生专业能力的主干课程,并且很多高校已将实验从传统的依附于理论课而变革为独立设课。实验课时大大增加,实验目标和要求进一步提升,实验方法和手段也进一步更新。

通过分层次的教学构建多层次的实验教学体系,针对机械类专业学生工程教育的特点,建立从认知性和验证性实验,到设计性和综合性实验,再到创新性和研究性实验的教学体系,培养学生的工程思想、创新思维、实践能力。

对于具体实验项目选编,结合浙江大学宁波理工学院机械类专业实践教学体系和省级实验教学示范中心的建设,同时参考相关高校的实验教学实际情况,设立了机械工程综合实验 I ~ IV 四门综合实验课程对应专业主干课程,分别在第 3 学期至第 6 学期开设,同时设立专业综合创新设计与实践课程。本教材精选了共 61 个相对独立的实验项目,包括基础性实验、设计综合性实验和创新研究性等类型实验。

第二节 变量叶片泵静、动态特性实验	(98)
第三节 溢流阀——静动态特性实验	(101)
第四节 液压系统节流调速实验	(102)
第五节 液压回路设计及组装	(103)
第六节 气动基本回路实验 (一)	(104)

第二章 机械原理实验

第一节 机械原理展示实验

一、实验目的

了解常见机构的类型、特点、用途、基本原理以及运动特性,对“机械原理”课程有一个全面的感性认识,培养对本课程的学习兴趣。

二、实验设备

本实验设备为 VCD 机控制的机械原理陈列柜。它由 10 个机构陈列柜组成,主要展示常见的各类机构,介绍机构的形式和用途,演示机构的基本原理和运动特性。

三、实验内容

- (1) 序言。介绍蒸汽机和家用缝纫机等典型机器及各种运动副。
- (2) 平面连杆机构。
- (3) 机构运动简图及平面连杆机构的应用。
- (4) 凸轮机构。包括盘形凸轮、移动凸轮及空间凸轮。
- (5) 齿轮机构。平行轴齿轮传动、相交轴齿轮传动及相错轴齿轮传动。
- (6) 渐开线齿轮的基本参数及渐开线、摆线的形成。
- (7) 周转轮系。
- (8) 间歇运动机构。棘轮机构、槽轮机构、齿轮式间歇机构及连杆停歇机构。
- (9) 组合机构。串联组合、并联组合及叠合组合。
- (10) 空间机构。空间四杆机构、空间连杆机构、空间五杆机构及空间六杆机构。

第二节 机构运动简图的测绘与分析

一、实验目的

(1) 通过实物测绘,学会测绘实际机器和模型的机构运动简图的方法;理解构件、运动副的概念。

(2) 分析和验证机构自由度,进一步理解机构自由度的概念,掌握机构自由度的计算方法,并进一步理解复合铰链、虚约束及局部自由度的概念。

(3) 验证机构具有确定运动的条件。

(4) 分析一些四杆机构的演化过程,验证其曲柄存在的条件。

二、实验设备和工具

- (1) 运动机构模型。
- (2) 直尺、三角尺、橡皮、草稿纸（自备）。

三、实验原理和方法

1. 原理

由于机构的运动仅与机构中构件的数目和构件所组成的运动副的数目、类型、相对位置有关，因此，在绘制机构运动简图的时候，可以撇开构件的形状和运动副的具体构造，而用一些简略的符号（表 2-1 为常用符号示例）来代表构件和运动副，并按一定的比例表示各运动副的相对位置，以此来说明机构的运动特性。

表 2-1 常用符号示例

名 称		符 号
低副	转动副	
	移动副	
	螺旋副	
高副	凸轮副	
	齿轮副	
构件	活动构件	
	机架	

机构运动简图应与原机构具有完全相同的运动特性。

2. 测绘方法

(1) 测绘时使被测绘的机器或模型缓慢的运动, 从原动构件开始仔细观察机构的运动, 分清各个运动单元, 从而确定做成机构的构件数目。

(2) 根据相连接的两构件间的接触情况及相对运动的性质, 确定各个运动副的种类。

(3) 在草稿纸上徒手按规定的符号机构间的连接次序, 从原动件开始, 逐步画出机构运动简图的草图。用数字 1、2、3、…分别标注构件, 用字母 A、B、C、…分别标注各运动副。

(4) 仔细测量机构的运动尺寸 (如回转副的中心距和移动副导路间的夹角等)。注意选定原动构件的位置, 并按一定的比例将草稿画成正式的运动简图。

$$\text{比例尺 } \mu = \frac{\text{实际长度 (m)}}{\text{图上长度 (mm)}} \quad (2-1)$$

四、实验步骤和要求

1. 至少按比例绘制出三种机器或机构的运动简图, 其余的可通过目测画出与实物大致成比例的机构示意图。

2. 计算机构自由度, 与实际自由度对照, 看结果是否相符。

3. 对机构进行分析 (高副低代、分离杆组、确定杆组和机构级别等)。

五、思考题

1. 一个正确的“机构运动简图”应能说明哪些内容?
2. 绘制机构运动简图时, 原动件的位置为什么可以任意选定? 会不会影响简图的正确性?
3. 机构自由度的计算对测绘机构运动简图有何帮助?

第三节 渐开线齿轮几何参数测定

一、实验目的

1. 掌握应用游标卡尺测定渐开线直齿圆柱齿轮基本参数的方法。
2. 通过测量和计算, 熟练掌握有关齿轮各几何参数之间的相互关系和渐开线性质的知识。

二、实验设备和工具

1. 齿轮一对 (齿数为奇数和偶数各一个)。
2. 游标卡尺 (游标读数值不大于 0.05mm)。
3. 渐开线函数表。
4. 计算工具。

三、原理和方法

单个渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数有：齿数 z 、模数 m 、齿顶高系数 h_a^* 、分度圆压力角 α 、变位系数 x ；一对渐开线直齿圆柱齿轮啮合的基本参数有：啮合角 α' 、顶隙系数 c^* 、中心距 a 。

本实验是用游标卡尺来测量轮齿，并通过计算得出一对直齿圆柱齿轮的基本参数。其原理和方法如下：

1. 确定齿轮的模数 m 和压力角 α

标准直齿圆柱齿轮公法线长度的计算如下：
如图 2-1 所示，若卡尺跨 n 个齿，其公法线长度为

$$l_n = (n - 1) p_b + s_b$$

同理，若卡尺跨 $n + 1$ 个齿，其公法线长度则应为

$$l_{n+1} = np_b + s_b$$
$$l_{n+1} - l_n = p_b \tag{2-2}$$

所以
又因
所以

$$p_b = p \cos \alpha = \pi m \cos \alpha$$
$$m = \frac{p_b}{\pi \cos \alpha} \tag{2-3}$$

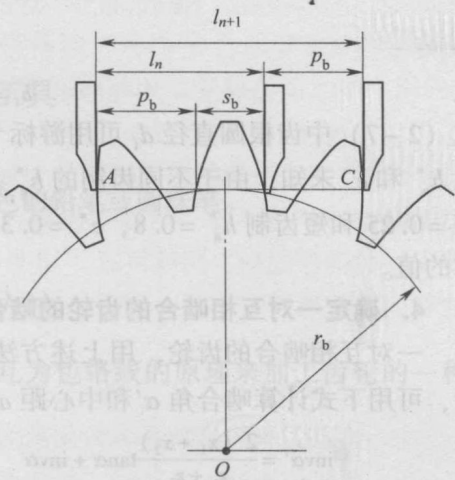


图 2-1 公法线长度测量

式中 p_b 为齿轮基圆周节，它由测量得到的公法线长 l_n 和 l_{n+1} 代入式 (2-2) 求得。 α 可能是 15° 也可能是 20° ，故分别用 15° 和 20° 代入式 (2-3) 算出两个模数，取其模数最接近标准值的一组 m 和 α ，即为所求齿轮的模数和压力角。

为了使卡尺的两个卡脚能保证与齿廓的渐开线部分相切，所需的跨齿数 n 按下式计算

$$n = \frac{\alpha}{180} z + 0.5 \tag{2-4}$$

或直接由表 2-2 查出。

表 2-2 所需的跨齿数 n

z	12 ~ 18	19 ~ 27	28 ~ 36	37 ~ 45	46 ~ 54	55 ~ 63	64 ~ 72
n	1	2	3	4	5	6	7

2. 确定齿轮的变位系数 x

根据基圆的齿厚公式

$$s_b = s \cos \alpha + 2r_b \operatorname{inv} \alpha = m \left(\frac{\pi}{2} + 2x \tan \alpha \right) \cos \alpha + 2r_b \operatorname{inv} \alpha$$

得

$$x = \frac{\frac{s_b}{m \cos \alpha} - \frac{\pi}{2} - z \operatorname{inv} \alpha}{2 \tan \alpha} \quad (2-5)$$

式中 s_b 可由以上公法线长度公式求得, 即:

$$s_b = l_{n+1} - np_b \quad (2-6)$$

将式 (2-6) 代入式 (2-5) 即可求出变位系数 x 。

3. 确定齿轮的齿顶高系数 h_a^* 和顶隙系数 c^*

根据齿轮齿根高的计算公式

$$h_f = \frac{mz - d_f}{2} \quad (2-7)$$

又

$$h_f = m (h_a^* + c^* - x) \quad (2-8)$$

式 (2-7) 中齿根圆直径 d_f 可用游标卡尺测定, 因此可求出齿根高 h_f 。在式 (2-8) 中仅 h_a^* 和 c^* 未知, 由于不同齿制的 h_a^* 和 c^* 均为已知标准值, 故分别用正常齿制 $h_a^* = 1$, $c^* = 0.25$ 和短齿制 $h_a^* = 0.8$, $c^* = 0.3$ 两组标准值代入, 符合式 (2-7) 的一组即为所求的值。

4. 确定一对互相啮合的齿轮的啮合角 α' 和中心距 a

一对互相啮合的齿轮, 用上述方法分别确定其模数 m 、压力角 α 和变位系数 x_1 、 x_2 后, 可用下式计算啮合角 α' 和中心距 a :

$$\operatorname{inv} \alpha' = \frac{2 (x_1 + x_2)}{z_1 + z_2} \tan \alpha + \operatorname{inv} \alpha \quad (2-9)$$

$$a = \frac{m}{2} (z_1 + z_2) \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} \quad (2-10)$$

实验时, 可用游标卡尺直接测定这对齿轮的中心距 a' , 测定方法如图 2-2 所示。首先使该对齿轮做无齿侧间隙啮合, 然后分别测量齿轮的孔径 d_{k1} 、 d_{k2} 及尺寸 b , 由此得

$$a' = b + \frac{1}{2} (d_{k1} + d_{k2}) \quad (2-11)$$

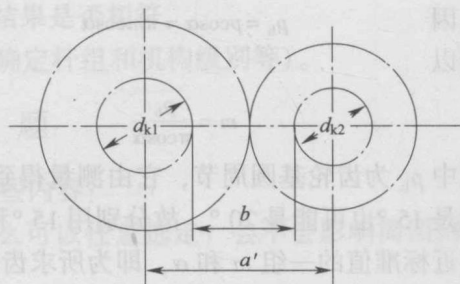


图 2-2 中心距测量

四、步骤和要求

1. 直接数齿轮的齿数 z 。
2. 由式 (2-4) 计算或查表得测量时卡尺的跨齿数 n 。
3. 测量公法线长度 l_n 和 l_{n+1} 及齿根圆直径 d_f 、中心距 a' , 读数精确到 0.01mm。注意每个尺寸应测量三次, 记入实验报告附表, 取其平均值作为测量结果。
4. 逐个计算齿轮的参数, 记入实验报告附表。最后将计算的中心距与实测的中心距进行比较。

五、思考题

1. 通过两个齿轮的参数测定, 试判别该对齿轮能否互相啮合。如能, 则进一步判别它们的传动类型是什么。
2. 在测量齿根圆直径 d_f 时, 对齿数为奇数和偶数的齿轮在测量方法上有什么不同?

3. 测量齿轮公法线长度是根据渐开线的什么性质？

第四节 渐开线直齿圆柱齿轮范成实验

一、实验目的

- 1. 掌握用范成法制造渐开线齿轮齿廓的基本原理。
- 2. 了解渐开线齿轮产生根切现象的原因及其避免方法。
- 3. 分析比较标准和变位齿轮的异同点。

二、实验仪器和工具

- 1. 齿轮范成仪。
- 2. 圆规、三角尺、绘图纸（A3）、两支不同颜色的铅笔或圆珠笔。
- 3. 剪刀。

三、实验原理和方法

范成法是利用一对齿轮互相啮合时其共轭齿廓互为包络线的原理来加工齿轮的一种方法。

加工时，其中一齿轮为刀具，另一齿轮为轮坯，两者保持固定的角速度比对滚，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作切削运动，最后轮坯上被加工出来的齿廓就是刀具刀刃在各个位置上的曲线簇的包络线。为看清楚齿廓形成的过程，可以用图纸作轮坯。在不考虑切削和让刀运动的情况下，刀具与轮坯对滚时，刀刃在图纸上所印出来的各个位置的包络线，就是被加工齿轮的齿廓曲线。

由于齿条可以看作一个齿数为无穷多的齿轮的一部分，所以本实验用的范成仪是以齿轮与齿条啮合设计的，如图 2-3 所示。可以用它来验证齿廓范成原理及了解刀具加工齿轮的关系。它的结构可以看成由齿坯与刀具两部分组成。

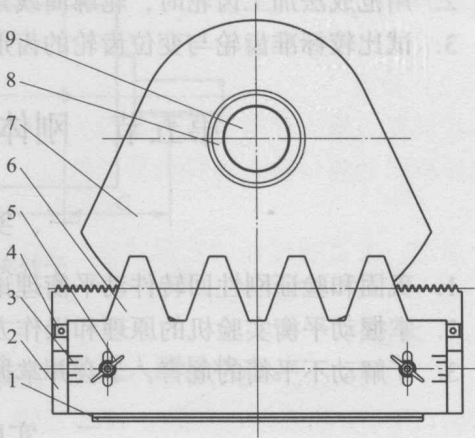


图 2-3 测量装置

- 1—机座 2—托板 3—滑架 4—标尺 5—蝶形螺母
- 6—齿条刀 7—底盘 8—压板 9—螺母

四、实验步骤和要求

1. 根据已知的刀具参数和被加工齿轮分度圆直径，计算被加工齿轮的基圆、不发生根切的最小变位系数与最小变位量、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。然后根据计算数据将上述 6 个圆画在同一张纸上，并沿最大圆的圆周剪

成圆形纸片，作为本实验的“轮坯”。

2. 拧开零件9螺母，把“轮坯”安装到范成仪的7底盘上（注意对准中心），并用8压板压住后拧上9。

3. 调节6齿条刀的分度线，使其与被加工齿轮的分度圆相切。刀具处于切制标准齿轮的安装位置上。

4. “切制”齿廓时，先移动2托板把刀具移向一端，使刀具的齿廓退出齿坯中标准齿轮的齿顶圆；然后每当刀具向另一端移动2~3mm（参照4标尺）距离时，描下刀刃在图纸轮坯上的位置，直到形成4~5个完整的轮齿齿廓曲线为止。此时应注意轮坯上齿廓的形成过程。

5. 观察根切现象（用标准渐开线齿廓检验所绘得的渐开线齿廓或观察刀具的齿顶线是否超过被加工齿轮的极限点）。

6. 拧开5蝶形螺母重新调整刀具，使刀具分度线远离轮坯中心，移动距离为避免根切的最小变位量，再“切制”齿廓。此时也就是刀具齿顶线与变位齿轮的根圆相切。按照上述的操作过程，同样可以“切制”得到4~5个完整的正变位齿轮的齿廓线。为便于比较，此轮廓线可用另一种颜色的笔画出。

五、思考题

1. 齿条刀具的齿顶高和齿根高为什么都等于 $(h_a^* + c^*)m$?
2. 用范成法加工齿轮时，轮廓曲线是如何形成的?
3. 试比较标准齿轮与变位齿轮的齿形有什么不同，并分析其原因。

第五节 刚体回转体动平衡实验

一、实验目的

1. 巩固和验证刚性回转件动平衡理论和方法。
2. 掌握动平衡实验机的原理和操作方法。
3. 了解动不平衡的危害，学会并掌握其解决方法。

二、实验仪器和工具

1. YYQ-5D 硬支承平衡机。
2. 在校正平面上具有校正孔的转子。
3. 平衡质量（与校正孔相应的螺钉、螺母及橡皮泥）。
4. 尺子。

三、实验原理

刚性转子的平衡原理是基于理论力学中的力系平衡理论。

由理论力学的知识可以知道，一个力可以分解为与其相平行的两个分力，所以质量分布不在同一回转面内的回转构件，其不平衡量都可以认为是在两个任选回转面内、

由矢量半径分别为 r_1 和 r_2 的两个不平衡质量 m_L 和 m_R 产生。因此,只需对 m_L 和 m_R 进行平衡就可达到动平衡的目的。本实验就是使用通用电测回转体动平衡机,测定所选平衡校正面内相应的不平衡重径积 $m_L r_1$ 和 $m_R r_2$ 的大小和相位并加以校正,最后达到动平衡。

硬支承平衡机是目前被广泛采用的校验各种旋转体动不平衡的先进设备,具有效率高、操作方便、电测单元可直接显示不平衡的质量大小和相位等优点。YYQ-5D 硬支承平衡机采用压电传感器作为机电换能器,其工作原理如下:

动平衡机由平衡台、支承架、传动系统、压电传感器、光电架、电测箱等组成。由传动系统上单向电容运转电机经双塔轮,用“O”形带拖动“弓”形传动装置,带动工件转动。由于工件不平衡产生的离心力,迫使支承架周期性振动,使安装在支承架中间的压电传感器受力产生电位差,变成一个周期电信号输入电测箱。另一方面由光电头发出与工件转速同频率的一组基准电压输入电测箱,作为相位参考基准和测速电信号。两信号相比较得出不平衡量在两个选定平面上所在的相位及大小。于是,只要我们在这两个位置上分别加上或除去一个适当的平衡质量,即可达到平衡。

四、实验步骤和要求

1. 装夹转子。

如图 2-4 所示:

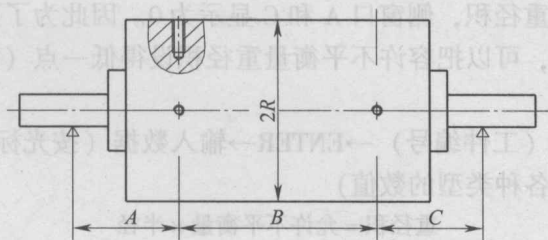


图 2-4 装夹转子

2. 动平衡机的启动

接通电源后,测试系统进行自检及系统调零,自动进入测量状态。

3. 转子数据设置

(1) MCB-960 电测箱的窗口简介

MCB-960 电测箱是以微处理器为核心的电测系统,它以数字形式在 6 个显示窗口显示测量结果,转子数据的设置或某种工作状态。6 个显示窗口分别以 A、B、C、D、E、F 来表示。如图 2-5 所示。

显示窗左侧的图标或小字母表示显示窗的功能,其中:

○ 表示显示不平衡幅值 (见 A、C 窗口);

○ 表示显示转速 (见窗口 B);

∠ 表示显示不平衡相位 (见窗口 D、F)。

显示窗的右侧表示相应的单位,如: mg、kg、mm。

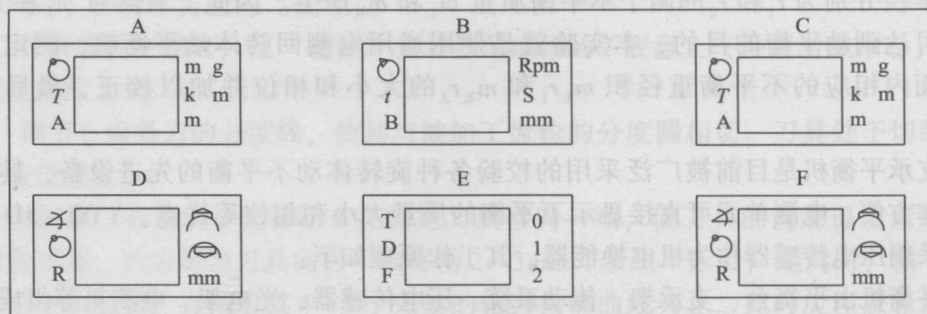


图 2-5 MCB-960 电测箱窗口

显示窗左侧的 A、B、C、R (D 窗口表示 r_1)、R (F 窗口表示 r_2) 为各种支承形式的转子参数, 需要设置并储存起来备用。

窗口 D、F 的图标  表示加重方式,  表示去重方式。

窗口 B 的字符 t 表示测量时间, s 表示单位为秒。

窗口 E 的 T 定义为不平衡量容许比

$$T = \frac{\text{实际不平衡量的重径积}}{\text{容许不平衡量的重径积}}$$

窗口 A、C 的 T 为设定的容许不平衡量的重径积, 单位为 $\text{mg} \cdot \text{mm}$ 。

这两个量要在转子参数设置时进行设置, 并储存。当实测转子不平衡量的重径积小于设定的容许不平衡量的重径积, 侧窗口 A 和 C 显示为 0。因此为了要进一步了解平衡的情况, 在设置转子参数时, 可以把容许不平衡量重径积设得低一点 (一般为 $1/3 \sim 1/2$)。

(2) 设置

按设置 $\rightarrow$ 输入序号 (工件编号) $\rightarrow$ ENTER $\rightarrow$ 输入数据 (按光标 “ $\leftarrow$ ”、“ $\uparrow\downarrow$ ”、“ $\downarrow$ ” 来选择不同的窗口输入各种类型的数值)

$$\text{重径积} = \text{允许不平衡量} \times \text{半径}$$

加重、去重通过移动光标 “ $\pm$ ” 来完成

HE - “ $\times$ ” 代表支承方式 “” (1、2、3、4、5、6)

4. 测量

(1) 启动电机, 待各个显示窗口数据稳定时, 读出显示窗口 A、C 显示的不平衡量及显示窗口 D、F 所显示的相位, 按测量键 (M), 停车, 在实验数据记录及实验报告中记录数据。

(2) 按照显示窗口 D、F 所显示的相位在相应位置加重或减重, 重量为显示窗口 A、C 显示的不平衡量。

(3) 开车, 待各个显示窗口数据稳定时, 显示窗口 A、C、D、F 所显示的数值为 0, 停车。

5. 验证

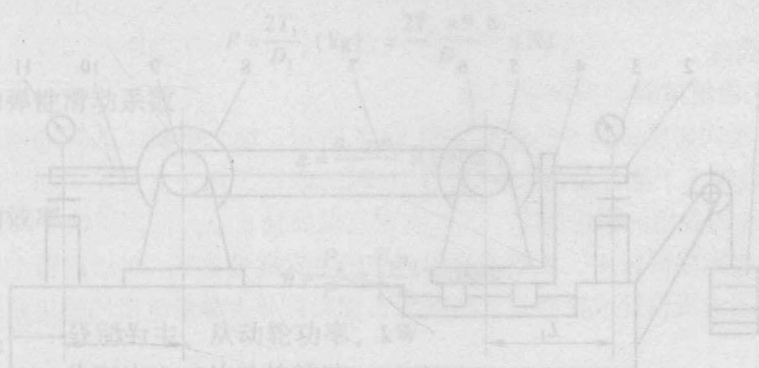
(1) 在转子上拧上螺钉及螺母 (重量约为 1g, 一共有 8 个螺纹孔, 任意一个即可), 比如在左边相位为 270 的地方。

(2) 开车, 待各个显示窗口数据稳定时, 这时显示窗口 A 所显示的数值为 1g, 显示窗口 D 所显示的数值为 270。

五、思考题及实验结果分析

1. 刚性转子在什么条件下需要进行动平衡实验？其目的是什么？
2. 为什么要取两个校正平面才能进行动平衡？
3. 记录并处理实验数据。

器外处备觉卸夹 二



式中, P_1 、 P_2 ——分别为主、从动轮功率, W ;
 n_1 、 n_2 ——分别为主、从动轮转速, r/min ;

随着负载的改变 (F 的改变), 图 2-1-1 中 P_1 、 P_2 的值也相应改变, 这样可获得一组 η 和 μ 值, 然后可求出滑动摩擦系数和效率。

5. 实验结果及分析

1. 开关接通前, 检查调速旋钮是否复位。
2. 加上砝码, 使带加上预紧力。
3. 把测力杠杆压在测力计上, 把百分表指针调“零”。
4. 接通电源, 平稳调节调速旋钮, 使转速达到某一值, 测出 P_1 、 P_2 、 n_1 、 n_2 值, 并计算出 η 和 μ 值。
5. 把负载稍接在发电机的输出端, 通过改变负载, 测出 P_1 、 P_2 、 n_1 、 n_2 值, 并计算出 η 和 μ 值。