



国家级实验教学示范中心系列规划教材
普通高等院校机械类“十一五”规划实验教材

机械设计基础实验教程

JIXIE SHEJI JICHU SHIYAN JIAOCHENG

主编 沈艳芝

主审 景常海 闻 岩



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

机械设计基础实验教程

JIXIE SHEJI JICHU SHIYAN JIAOCHENG

主编 沈艳芝

主审 景常海 闻 岩

常州大学图书馆
藏书章



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 提 要

基于实验教材是一种有形的、可检验的教学软实力载体这一指导思想,编者整合了分散的、各自独立的四门机械设计基础类课程的相关实验项目,并且增加了综合设计及创新设计实验,构建成了一本完整而系统化的实验教材。本书的主要内容包括“机械原理”、“金属工艺学及机械制造技术基础”、“互换性原理与测量技术基础”和“机械设计”课程的相关实验项目。

本书不仅可以满足高等工院校机械类及近机械类专业的实验教学需要,也可供广大教师及相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础实验教程/沈艳芝 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2011.5
ISBN 978-7-5609-7020-2

I. 机… II. 沈… III. 机械设计-实验-高等学校-教材 IV. TH122-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 056184 号

机械设计基础实验教程

沈艳芝 主编

策划编辑:万亚军

封面设计:潘 群

责任编辑:刘 飞

责任校对:朱 霞

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉楚海文化传播有限公司

印 刷:华中科技大学印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:4.5 插页:2

字 数:120千字

印 次:2011年5月第1版第1次印刷

定 价:12.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

国家级实验教学示范中心系列规划教材
普通高等院校机械类“十一五”规划实验教材

编委会

丛书主编 吴昌林 华中科技大学

丛书编委 (按姓氏拼音顺序排列)

邓宗全	哈尔滨工业大学
何玉林	重庆大学
黄平	华南理工大学
孔建益	武汉科技大学
蒙艳玫	广西大学
芮执元	兰州理工大学
孙根正	西北工业大学
谭庆昌	吉林大学
唐任仲	浙江大学
王连弟	华中科技大学出版社
吴鹿鸣	西南交通大学
杨玉虎	天津大学
朱如鹏	南京航空航天大学
竺志超	浙江理工大学

序

知识来源于实践,能力来自于实践,素质更需要在实践中养成,各种实践教学环节对于培养学生的实践能力和创新能力尤其重要。一个不争的事实是,在高校人才培养工作中,当前的实践教学环节非常薄弱,严重制约了教学质量的进一步提高。这引起了教育工作者、企业界人士乃至普通百姓的广泛关注。如何积极改革实践教学内容和方法,制订合理的实践教学方案,建立和完善实践教学体系,成为高等工程教育乃至全社会的一个重要课题。

有鉴于此,“教育振兴行动计划”和“质量工程”都将国家级实验教学示范中心建设作为其重要内容之一。自2005年起,教育部启动国家级实验教学示范中心评选工作,拟通过示范中心实验教学的改进,辐射我国2000多万在校大学生,带动学生动手实践能力的提高。至今已建成219个国家级实验教学示范中心,涵盖16个学科,成果显著。机械学科至今也已建成14个国家级实验教学示范中心。应该说,机械类国家级实验教学示范中心建设是颇具成果的:各中心积极进行自身建设,软硬件水平都是国内机械实验教学的最高水平;积极带动所在省或区域各级机械实验教学中心建设,发挥辐射作用;成立国家级实验教学示范中心联席会机械学科组,利用这一平台,中心间交流与合作更加频繁,力争在示范辐射作用方面形成合力。

尽管如此,应该看到,作为实践教学的一个重要组成部分,实验教学依然还很薄弱,在政策、环境、人员、设备等方方面面还面临着许多困难,提高实验教学水平进而改变目前实践教学薄弱的现状,还有很多工作要做,国家级实验教学示范中心责无旁贷。近年来,高校实验教学的硬件设备都有较大的改善。与之相对应的是,实验教学在软的方面还亟待提高。就机械类实验教学而言,改进实验教学体系、开发创新性实

验教学项目、加大实验教材建设这三点就成为当务之急。实验教学体系与理论教学体系相辅相成,但与理论教学体系随着形势发展不断调整相比,现有机械实验教学体系还相对滞后,实验项目还缺少设计性、创新性和综合性实验,实验教材也比较匮乏。

华中科技大学出版社在国家级实验教学示范中心联席会机械学科组的指导下,邀请机械类国家级实验教学示范中心,交流各中心实验教学改革经验和教材建设计划,确定编写这套《普通高等院校机械类“十一五”规划实验教材》,是一件非常有意义的事情,顺应了机械类实验教学形势的发展,可谓正当其时。其意义不仅在实验教材的编写出版满足了本校实验教学的需要。更因为经过多年的积累,各机械类国家级实验教学示范中心已开发出不少创新性实验教学项目,将其写入教材,既满足本校实验教学的需要,又展示了各中心创新性实验教学项目开发成果,更为我国机械类实验教学开发提供借鉴和参考,体现了示范中心的辐射作用。

国内目前机械类实验教学体系尚未形成统一的模式,基于目前情况,“普通高等院校机械类‘十一五’实验规划教材”提出以下出版思路:各国家级实验教学示范中心依据自身的实验教学体系,编写本中心的实验系列教材,构成一个子系列,各子系列教材再汇聚成《普通高等院校机械类“十一五”规划实验教材》丛书。以体现百花齐放,全面、集中地反映各机械类国家级实验教学示范中心的实验教学体系。此举对于国内机械类实验教学体系的形成,无疑将是非常有益的探索。

感谢参与和支持这批实验教材建设的专家们,也感谢出版这批实验教材的华中科技大学出版社的有关同志。我深信,这批实验教材必将在我国机械类实验教学发展中发挥巨大的作用,并占据其应有的地位。

国家级实验教学示范中心联席会机械学科组组长
《普通高等院校机械类“十一五”规划实验教材》丛书主编



2008年9月

前 言

实践教育是创新人才培养体系的重要组成部分。基础实验教学对于提高学生的综合素质、培养学生的创新精神与实践能力具有特殊作用,对于激发学生的学习兴趣、促进学生将知识转化为能力、逐步地完成由学习者到实践者的转变,具有不可替代的作用。机械设计基础实验教学现在已经成为培养机械类本科生实践能力的最重要的基础性实践教学环节之一。通过实际操作的基本训练、实验方法的基本应用,在进一步巩固和加深课程基本理论的同时,也培养了学生的实际动手能力、细微观察能力、实验设计能力、创新思维能力;通过实验分析,可促进学生开拓新思路、设计新方案、探索新观点,逐步获得新的实验技术。

随着我国高等教育的飞速发展,并由精英型向大众化转型,为进一步加强实践教学,全面提高本科教学质量,编者所在实验中心作为国家级机电液一体化实验示范中心,除了需要较强的硬件环境以外,更需要提升其相应的软实力。软实力涵盖的内容十分丰富,其中包含无形和有形的内容,而实验教材是一种有形的、可检验的教学软实力载体。因此,针对机械设计基础实验教学,有必要编写一本完整而系统化的实验教材。

本书的编写目的就是要在优化、整合与机械设计基础课程相对应的实验的基础上,将分散的、各自独立的实验项目,构建成一个序列化的有机体系。本教材整合了“机械原理”、“金属工艺学及机械制造技术基础”、“互换性原理与测量技术基础”和“机械设计”课程的实验内容,具有相对的完整性、系统性和连续性,贯穿于工件设计、加工、检测及装配过程的始终。编者所在学校机械类及近机械类专业在大二下学期开设“机械原理”、“金属工艺学及机械制造技术基础”课程的实验,在大三上学期开设“互换性原理与测量技术基础”课程的实验,在大三下学期开设“机械设计”课程的实验。针对上述实验的顺序进行方式,编者所在实验中心逐步实施了四位一体的实验教学模式。具体做法是,学生在“机械原理”的相关实验中,自己选定参数(常规组)设计齿轮;在“金属工艺学及机械制造技术基础”的相关实验中,选择加工条件,进而分析所设计齿轮的加工精度;在“互换性原理与测量技术基础”的相关实验中,对自己设计和加工的齿轮进行误差(包括齿形误差、齿向误差、公法线平均长度偏差、公法线长度变动量、齿厚偏差等)检测。通过齿轮误差测量实验,学生可以透彻地理解齿轮设计、加工中公差的意义,对接下来的机械设计实验中减速器拆装的配合公差就会有更进一步的认识,在创新设计实验中会得到更加具体地体现。本书作为一本内容相互关联且可以随时查阅的实验教材,可以使学生逐步形成一个完整的机械设计基础理论体系,并对相关实验有科学的认识,使机械设计基础知识相互渗透,提高了学生在综合设计实验中对基础知识的灵活运用能力。

本书由沈艳芝统稿并担任主编,景常海、闻岩担任主审,参加本书的编写人员为(按姓氏笔画排序)王福全(第2章、第3章)、吴玲(第2章、第3章)、吴思育(第1章、第4章、第5章)、景常海(第1章、第4章、第5章)。

在本书的编写过程中,编者参考了许多专家编著的各种文献资料及其他院校教师编写的相关实验教材,并得到了同行的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

虽然本书倾注了编者大量的心血,但由于水平有限,书中难免有错误和疏漏之处,恳请广大读者批评、指正,并提出宝贵意见,以求改进。

编 者

2011年1月

目 录

第 1 章 机械原理实验	(1)
1.1 综合机构运动简图的测绘和分析实验	(1)
1.2 齿轮范成原理的计算机模拟实验	(4)
1.3 齿轮参数的测定实验	(6)
1.4 刚性转子动平衡实验	(8)
第 2 章 金属工艺学及机械制造技术基础实验	(13)
2.1 车刀几何角度的测量实验	(13)
2.2 冲压模具的结构分析与拆装实验	(15)
第 3 章 互换性原理与测量技术基础实验	(19)
3.1 位置度误差的测量实验	(19)
3.2 圆柱形工件外径测量实验	(22)
3.3 工件表面粗糙度测量实验	(26)
3.4 齿轮轴的齿厚偏差 ΔE_s 、公法线长度变动量 ΔF_w 、 公法线平均长度偏差 ΔE_{wm} 测量实验	(30)
第 4 章 机械设计实验	(33)
4.1 螺栓组的静、动态特性实验	(33)
4.2 带传动实验	(47)
第 5 章 综合设计及创新实验	(50)
5.1 轴系结构设计实验	(50)
5.2 机构运动方案创新设计实验	(52)
参考文献	(68)

第1章

机械原理实验

1.1 综合机构运动简图的测绘和分析实验

1.1.1 预习内容

平面机构自由度。

1.1.2 实验目的

(1) 了解生产中实际使用的机器的用途、工作原理、运动传递过程、机构组成情况和机构的结构分类。

(2) 初步掌握根据实际使用的机器进行机构运动简图测绘的基本方法、步骤和注意事项。

(3) 加强理论与实际的联系,验算机构自由度,进一步了解机构具有确定运动的条件和有关机构结构分析的知识。

1.1.3 实验设备和工具

(1) 缝纫机、摆式飞剪模型、教具模型。

(2) 钢板尺、卷尺、卡尺、角度尺。

(3) 铅笔、橡皮、三角板、圆规及草稿纸(此项自带)。

1.1.4 实验原理

从运动学观点来看,机构的运动仅与组成机构的构件和运动副的数目、种类及它们之间的相互位置有关,而与构件的复杂外形、断面大小、运动副的构造无关。为了简单明了地表示一个机构的运动情况,可以不考虑那些与运动无关的因素(如机构外形、断面尺寸、运动副的结构等),而用一些简单的线条和所规定的符号表示运动副和构件(规定符号见表 1-1),并按一定的比例表示各运动副的相对位置,以表明机构的运动特性。

表 1-1 运动副和构件的规定符号

名 称		符 号
低 副	回转副	
	移动副	
	螺旋副	
高 副	凸轮副	
	齿轮副	
构 件	有运动副元素 的活动构件	
	机架	

1.1.5 实验步骤

- (1) 缓慢转动被测机构的原动件,找出从原动件到工作部分的机构传动路线。
- (2) 由机构的传动路线找出构件数目、运动副的种类和数目。
- (3) 合理选择投影平面。投影平面选择原则:对平面机构,运动平面即为投影平面;对其他机构,选择大多数构件运动的平面可作为投影平面。
- (4) 在草稿纸上徒手按规定的符号及构件的连接顺序,逐步画出机构运动简图的草图,然后用数字标注各构件的序号,用英文字母标注各运动副。
- (5) 仔细测量机构的运动学尺寸,如回转副的中心距和移动副导路间的相对位置,并标注在草图上。
- (6) 在图纸上任意确定原动件的位置,选择合适的比例尺把草图画成正规的运动简图。比例尺的选定如下。

$$\mu_L = \frac{L_{AB}}{A_B} \quad (1-1)$$

式中: μ_L ——比例尺(m/mm);

L_{AB} ——构件的实际长度(m);

A_B ——图纸上表示构件的长度(mm)。

图 1-1(a)为缝纫机引线机构和摆梭机构的结构简图,图 1-1(b)为送料机构的结构简图。
图 1-2 为摆式飞剪机构的结构简图。

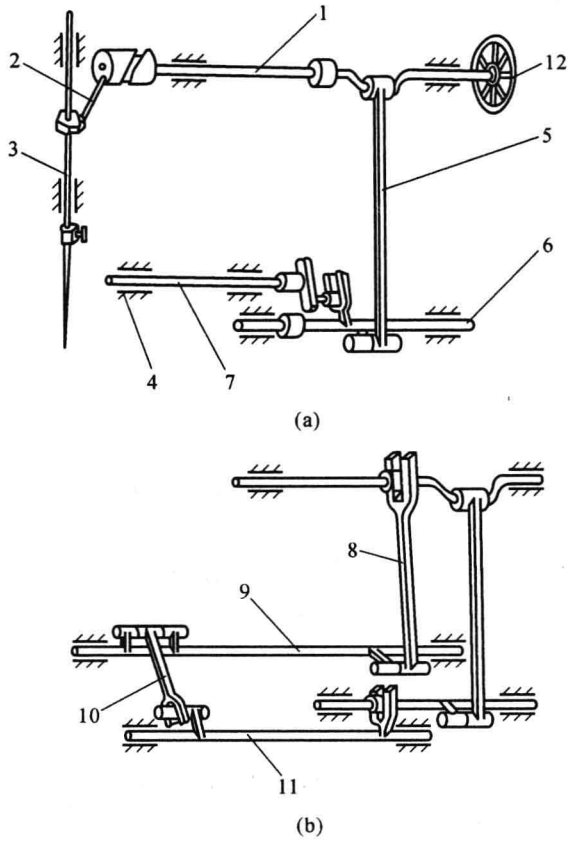


图 1-1 JA1-1 型缝纫机结构简图

(a) 引线机构和摆梭机构; (b) 送料机构

1—上轴; 2—小连杆; 3—针杆; 4—机架; 5—大连杆; 6—摆梭;
7—下轴; 8—牙叉; 9—送布料; 10—牙架; 11—抬牙轴; 12—手轮

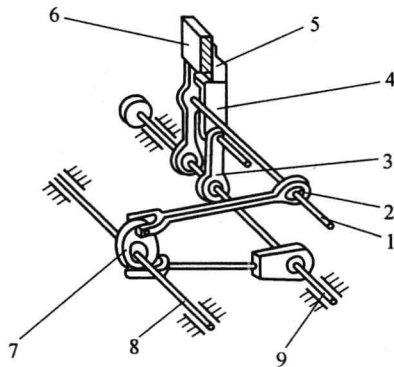


图 1-2 摆式飞剪机构结构简图

1—中间轴; 2—中间轴铰链; 3—下刀架; 4—下刀刃;
5—上刀架导轨; 6—上刀刃; 7—摆杆; 8—轴; 9—主轴

1.2 齿轮范成原理的计算机模拟实验

1.2.1 预习内容

范成法原理,根切。

1.2.2 实验目的

(1) 掌握用范成法切制渐开线齿轮的基本原理,了解工厂中实际加工渐开线齿轮(滚齿加工与插齿加工)的生产过程。

(2) 熟悉渐开线齿轮各参数的计算公式及不同参数对齿形的影响,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) 分析标准齿轮与变位齿轮的异同点,学生可以自主设计实验题目,利用“齿轮范成原理计算机模拟系统”软件验证自己结论的正确性。

1.2.3 实验设备和工具

(1) 计算机(“齿轮范成原理计算机模拟系统”软件,计算器)。

(2) 传统机械式齿轮范成仪。

(3) 打印机(共享,用于打印实验报告)。

范成仪的构造如图 1-3 所示。圆盘 1 绕其固定轴心 O 转动,在圆盘 1 上固定有周边切有齿的扇形齿轮 2,齿条 3 固定在横拖板 4 上,并可沿机座 7 作水平方向移动,齿条移动时带动

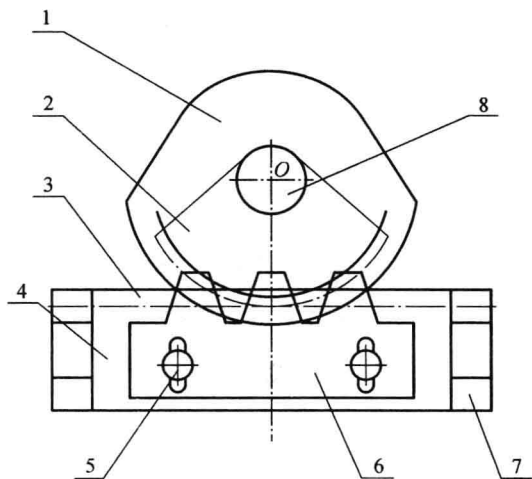


图 1-3 齿轮范成仪

1—圆盘;2—扇形齿轮;3—齿条;4—横拖板;5—紧固螺钉;6—刀具;7—机座;8—压盖

扇形齿轮转动,齿条与齿轮啮合的中心线所形成的圆(以 O 为圆心)等于被加工齿轮的分度圆。通过齿条、扇形齿轮的作用使圆盘相对于横拖板的运动与被加工齿轮相对于齿条刀具的运动一样。松开紧固螺钉5,刀具6可以在横拖板4上沿垂直方向移动,从而可以调节刀具中线至被加工轮坯中心的距离,这样就能加工标准齿轮或变位齿轮。

1.2.4 实验原理

范成法又称展开法、共轭法或包络法。应用范成法加工齿轮就是利用机构本身形成的运动来加工齿轮的一种方法。对齿轮传动来说,一对互相啮合的齿轮的共扼齿廓是互为包络的,因此加工时视其一轮为刀具,视另一轮为待加工轮坯。只要刀具与轮坯之间的运动和一对真正的齿轮互相啮合传动一样,则刀具刀刃在轮坯的各个位置的包络线就是渐开线。实际加工时,刀具除作展成运动外,还沿着轮坯轴线作切削运动。本实验将模拟齿条插刀范成加工渐开线齿轮的过程(与实际不同之处在于,实验中轮坯静止,齿条绕其作纯滚动,但二者的相对运动与实际加工时相同)。

1.2.5 实验内容及步骤

(1) 仔细观察传统的机械式齿轮范成仪,了解刀具与轮坯的相对运动关系。

(2) 进入“齿轮范成原理计算机模拟系统”,了解实验目的、实验原理、实验仪器,设置待模拟加工齿轮的各项参数,并按照给定的公式进行计算。

(3) 计算正确即可进入模拟过程,利用“控制中心”提供的各种按钮执行相关的操作,控制树的结构如图1-4所示。

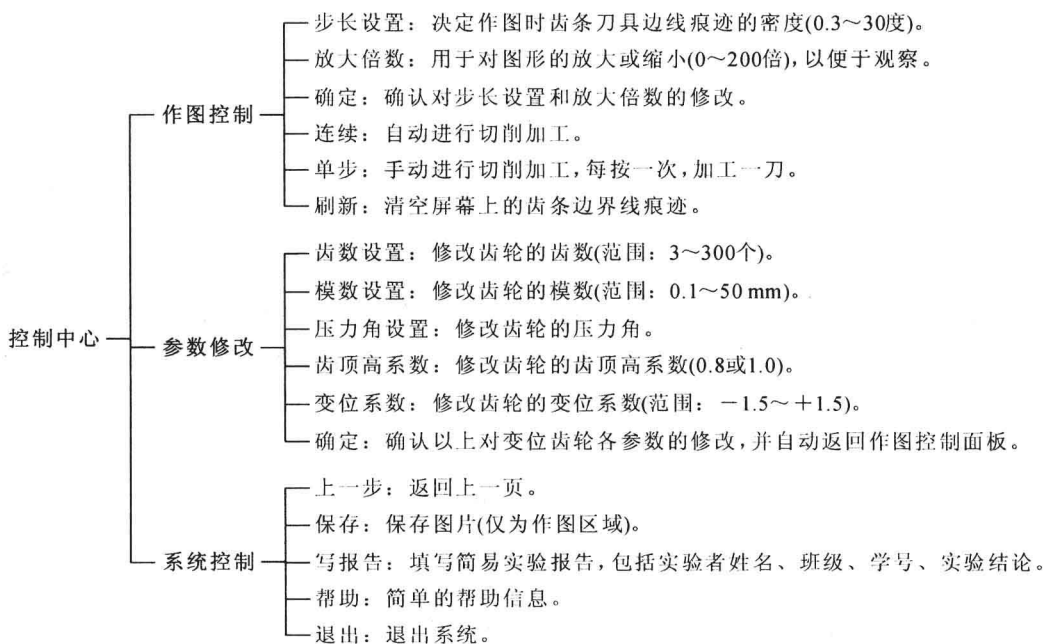


图 1-4 控制树

(4) 一旦进入模拟阶段,便可以直接通过参数修改面板修改齿轮的各项参数,无须进行过程计算或返回上一步,这样可以节省时间,便于快速对比改变参数后齿形的变化。

(5) 经过多轮对比后,得出实验结论,选择 1~2 张典型的图片,打印。

(6) 填写完整的实验报告,实验结束。

1.3 齿轮参数的测定实验

1.3.1 预习内容

压力角,变位系数。

1.3.2 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) 巩固并熟悉齿轮的各部分尺寸及参数之间的关系和渐开线的性质。

1.3.3 实验设备和工具

(1) 齿轮。

(2) 游标卡尺。

(3) 渐开线函数表(自备)。

(4) 计算器(自备)。

1.3.4 实验原理

渐开线圆柱齿轮的基本参数有齿数 z 、模数 m 、齿顶高系数 h_a^* 、径向间隙系数 c^* 、分度圆压力角 α 、变位系数 χ 等。在本实验中,首先应用游标卡尺来测量,然后通过计算确定齿轮的这些基本参数。根据渐开线性质,当用游标卡尺跨过 n 个齿时,测得的齿廓间的公法线长度为 w_n , $w_n = \overline{ab}$,如图 1-5 所示。根据渐开线性质 $\overline{ab} = \widehat{a'b'}$, $\widehat{a'b'}$ 为基圆弧长。然后再跨 $n+1$ 个齿,测得其公法线长度为 $w_{n+1} = \overline{ac}$,同理 $\overline{ac} = \widehat{a'c'}$ 。

当 $w_{n+1} - w_n = \widehat{a'c'} - \widehat{a'b'} = p_b$, 根据求得的基圆周节 p_b 可得出模数为

$$m = \frac{p_b}{\pi \cos \alpha} \quad (1-2)$$

根据标准, $\alpha = 15^\circ$ 或 $\alpha = 20^\circ$, 故分别将 α 代入式(1-2)算出相应的模数,其数值最接近于标准的一组 m 和 α 即为所求的值。

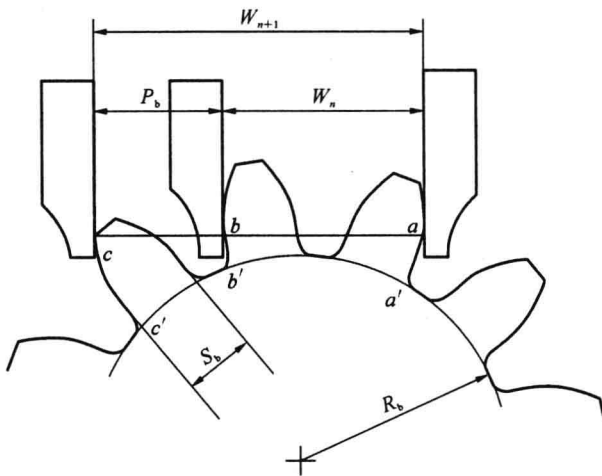


图 1-5 公法线测量

被测齿轮可能是变位齿轮,此时还需确定变位系数 χ ,由基圆齿厚计算公式可知:

$$s_b = s \cos \alpha + 2R_b \operatorname{inv} \alpha = m \left(\frac{\pi}{2} + 2\chi \tan \alpha \right) \cos \alpha + mz \cos \alpha \operatorname{inv} \alpha \quad (1-3)$$

则

$$\chi = \frac{\frac{s_b}{m \cos \alpha} - z \operatorname{inv} \alpha - \frac{\pi}{2}}{2 \tan \alpha} \quad (1-4)$$

式中: $s_b = w_{n+1} - n p_b$ 。

齿轮的齿顶高系数 h_a^* 和径向间隙系数 c^* 可用下面的方法确定。因为齿根高

$$h_f = (h_a^* + c^* - \chi)m = (mz - d_f)/2 \quad (1-5)$$

式中, d_f 可用游标卡尺测定, m 、 χ 已算出, 仅 h_a^* 、 c^* 未知, 且 h_a^* 、 c^* 也有一定的标准, 当 $h_a^* = 1$ 时, $c^* = 0.25$; 当 $h_a^* = 0.8$ 时, $c^* = 0.3$ 。将上述两组 h_a^* 、 c^* 值代入上面所述式(1-5)中, 符合或接近等式的一组 h_a^* 、 c^* 即为所求之值。

1.3.5 实验步骤

- (1) 直接数出齿轮的齿数, 根据齿数按表 1-2 查出跨齿数 n 。

表 1-2

齿数 z	12~18	19~27	28~36	37~45	46~54	55~63	64~72
跨齿数 n	2	3	4	5	6	7	8

- (2) 按跨齿数 n , 测量公法线长度 w_n 、 w_{n+1} 和齿轮的齿顶圆直径 d_a 、齿根圆直径 d_f , 对每一个尺寸应测量三次, 取其平均值作为测量数据。

- (3) 计算 p_b 、 α 、 m 、 χ 、 h_a^* 、 c^* 。

1.4 刚性转子动平衡实验

1.4.1 预习内容

铰链四杆机构、凸轮机构、齿轮机构、周转轮系。

1.4.2 实验目的

- (1) 加深理解和巩固所学的转子动平衡的理论知识。
- (2) 掌握和熟悉动平衡机的使用方法,以及利用动平衡机对刚性转子进行动平衡的基本方法。

1.4.3 实验设备和工具

RYS-5A 型闪光式动平衡机、实验用转子、天平、橡皮泥。

1.4.4 动平衡机简介

本实验是在 RYS-5A 型闪光式动平衡机上进行的。

1. 主要结构

该机的主要机构如图 1-6 所示,主要由驱动系统 1、床身 2、上摆架系统 3、闪光灯 4、簧片 5、传感器 6、电测箱 7 组成。由橡胶带拖动工件旋转,用闪光灯确定不平衡重相位,由电流表读数指示不平衡重的大小。

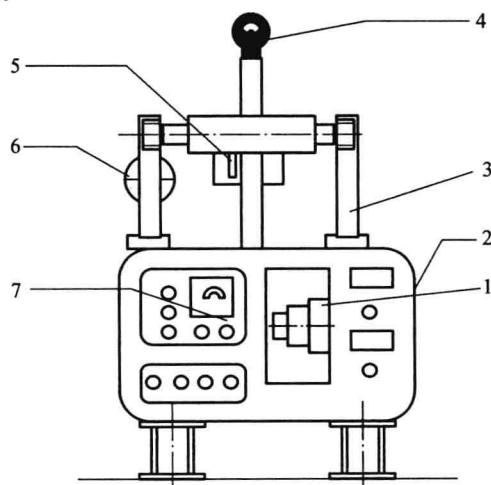


图 1-6 RYS-5A 型闪光式动平衡机

1—驱动系统;2—床身;3—上摆架系统;4—闪光灯;5—簧片;6—传感器;7—电测箱

2. 电测箱体正面

电测箱体正面如图 1-7 所示,其上各旋钮的作用分述如下。

(1) “电源”开关:启闭电测箱。

(2) “轻、重”旋钮:用来指示闪光灯所指示的相位是轻位还是重位。当该旋钮指向“重”时,闪光灯所示的相位为不平衡质量所在的位置,此时应去掉不平衡质量,转子方能平衡。当该旋钮指向“轻”时,闪光灯所示的相位为不平衡质量所在的位置的对面,此时应该加上不平衡质量,转子方能平衡。

(3) “左、静、右”旋钮:当指向“左”(“右”)时,测量的是左(右)平衡平面上的不平衡质量的大小和相位;指向“静”时,用于静平衡。

(4) “输入衰减”旋钮:当传感器收到的振动信号过强,电流表读数超过满刻度时,旋动此钮可按 1、2、5、10、20 各挡顺序衰减,衰减比例分别为 0、50%、80%、90%、95%。接地挡是输入信号与地短路。

(5) “转速范围”旋钮:根据工作转速,将该旋钮旋至适当的一挡,以便使信号频率在相应的范围内。Ⅰ挡为 2000~3000 r/min,Ⅱ挡为 3000~6000 r/min,Ⅲ挡为 6000~10000 r/min。

(6) “转速选择”旋钮:从复杂的振动信号中,选出与转子旋转频率同拍的电信号,旋转此钮使电流读数呈最大值时信号同拍,此时电流表所示读数和闪光灯所示的相位才是正确的。

(7) “左面”、“右面”、“左量”、“右量”旋钮:这四个旋钮是为调整面的分离电路而设置的旋钮。

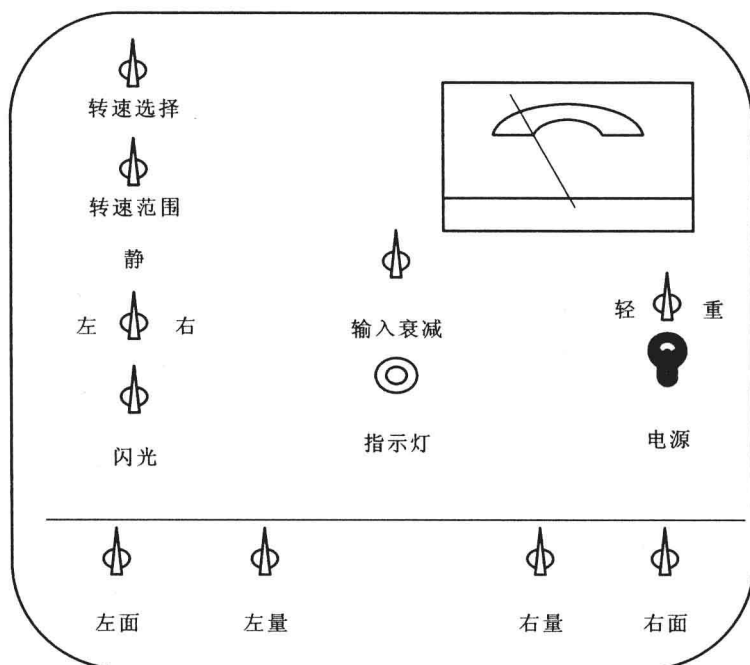


图 1-7 电测箱体正面

RYS-5A 型闪光式动平衡机在电测系统中设有“面的分离电路”(解算电路),用以消除左、右两平衡平面的相互干扰,以便对左、右两平衡平面分别平衡。但解算电路对不同质量和尺寸的转子需用标准转子调试,故适用于批量生产。对于单件(包括标准转子)和批量很小的生产通常用试凑配重法进行单件测试。本次实验即为单件测试,故不用解算电路(此时“左