



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

现代机械制造实训教程

——模拟现代机械制造企业基本运作的大实验平台

XIANDAI JIXIE ZHIZAO SHIXUN JIAOCHENG

王小纯 胡映宁 主编

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



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

现代机械制造实训教程

——模拟现代机械制造企业基本运作的大实验平台

王小纯 胡映宁 主编

华中科技大学出版社

中国·武汉

<http://www.hustp.com>

图书在版编目(CIP)数据

现代机械制造实训教程/王小纯 胡映宁 主编. —武汉: 华中科技大学出版社, 2009 年 10 月

ISBN 978-7-5609-5740-1

I. 现… II. ①王… ②胡… III. 机械制造-高等学校-教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 184215 号

现代机械制造实训教程

王小纯 胡映宁 主编

策划编辑: 刘 锦

封面设计: 潘 群

责任编辑: 刘 勤

责任校对: 刘 竣

责任监印: 周治超

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: 华中科技大学惠友文印中心

印 刷: 华中科技大学印刷厂

开本: 787mm×1092mm 1/16

印张: 10.75 插页: 2

字数: 260 000

版次: 2009 年 10 月第 1 版

印次: 2009 年 10 月第 1 次印刷

定价: 19.80 元

ISBN 978-7-5609-5740-1/TH · 208

(本书若有印装质量问题, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书为完成“现代机械制造实践教学体系”实践工作的专用指导教材。全书内容分为4篇,共25章。第1篇为机械制造基础实验,包含机械典型零件表面粗糙度、几何与形位测量,以及典型机床基本构造认识等六个实验,该部分的实验以教师指导为主。第2篇为数控设备及加工误差分析实验,包含现代加工设备的原理、构造及基本操作,加工过程误差产生的原因、误差分析及误差控制的方法等四个实验,该部分的实验中教师只起引导作用。第3篇为以典型零件为主线的模拟现代集成制造实验,该实验环节为“现代机械制造实践教学体系”的核心部分。该环节以一个典型的机械零件为主线,通过对该零件的设计、分析、工艺设计、夹具设计、刀具选用、数控仿真与加工、加工后零件的测量、工艺分析,并给出加工评价,以模拟现代机械制造企业的产品生产基本运作流程。在该环节里,学生是真正的实验主体,他们既可“张扬”个性、也可充分发挥团队合作的优势来完成任务。第4篇为计算机辅助企业生产管理平台实验,包含PDM和ERP的共七个实验(可选择部分开设)。通过该环节的实践,同学们不但可以初探企业运作的内核,还可初步掌握产品数据管理(PDM)和企业资源计划(ERP)这两大现代企业谋发展的使能技术。

本书主要作为机械工程及自动化专业本科生的创新实践指导教材,也可供机械类及近机类专业的本科、专科和高职的学生作教材使用,还可供相关工程技术人员参考。

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

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

在知识经济和经济全球化的形势下,激烈竞争的焦点将聚集于创新人才的竞争,围绕工程型和复合型创新人才培养模式的研究,在多年探讨与实践机械类创新人才的培养途径后,我们构建出适合机械类创新人才培养途径的,模拟现代企业生产的“现代机械制造实践教学体系”,并以实验独立设课的形式进行人才培养。同学们在完成了“机械制造技术基础”、“现代加工技术”、“生产系统信息化技术”、“计算机集成制造”、“计算机辅助工程分析”等相关课程的学习后,便可进入“现代机械制造实践教学体系”进行实践。

在“现代机械制造实践教学体系”实验独立设课的研究过程中,得到了广西大学各级领导和广西大学机械工程学院部分教师的帮助和支持,也曾得到华中科技大学机械科学与工程学院现代制造技术研究室的技术指导,作者借此一隅谨表衷心感谢:感谢华中科技大学出版社对我们的大力支持,使本书得以顺利出版发行;感谢华中科技大学机械科学与工程学院现代制造技术研究室对编写本书给与的支持;感谢梁式、段明扬、胡珊珊、邓耀国、邓敏和、苗剑、麻芳兰、覃爱梅、黄炳琼等老师对编写本书作出的贡献与支持;感谢张庆力、陈邦道、苏家强、黄子强、黄基烽、王文军等同志为本书编写所做的工作。

特别要感谢廖小平、蒙艳玫、王勇三位老师,正是在他们的大力支持下,本书才得以顺利完成编撰工作。他们不但对本书的编撰工作进行了无私的指导,还将自己科研项目的成果(ERP软件和三轴联动数控系统)无偿提供给本实践教学体系,这不但使本实践教学体系锦上添花,而且为同学们今后的创新作出了良好的表率。

本书从创新人才的培养目标出发,按本专业的改造计划,通过整合相关的课程,进行实验独立设课建设,探讨理论与实践相结合,以实践教学为主、课堂授课为辅的新模式。由于我国对工程型创新人才培养的机制、途径、环境等研究尚属起步阶段,还缺乏理论和系统的研究,尤其是面向知识经济和经济全球化的产品、技术、管理及市场创新等多层次创新人才的培养,以及交叉学科型、复合型创新人才的培养,因此在理论和实践方面都有待进一步深入地探讨研究。希望本书的出版能对该方面的探讨研究起到“抛砖引玉”的作用。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者
2009 年 8 月

目 录

绪论	(1)
----	-----

第 1 篇 机械制造基础实验

第 1 章 光滑孔、轴直径的测量	(5)
1.1 实验目的	(5)
1.2 实验内容	(5)
1.3 用杠杆比较仪测量轴	(5)
1.4 用立式测长仪测轴	(6)
1.5 用内径指示表测量孔	(8)
1.6 测量数据处理及零件合格性的评定	(9)
第 2 章 形状和位置误差的测量	(11)
2.1 实验目的	(11)
2.2 实验内容	(11)
2.3 用合像水平仪或平面度检查仪测量导轨的直线度误差	(11)
2.4 用指示表测量轴的圆度误差	(13)
2.5 箱体位置误差测量	(14)
第 3 章 表面粗糙度的测量	(15)
3.1 实验目的	(15)
3.2 实验内容	(15)
3.3 用 TR240 便捷式表面粗糙度仪测量表面粗糙度	(15)
3.4 用双管显微镜测量表面粗糙度	(17)
3.5 用干涉显微镜测量表面粗糙度	(19)
第 4 章 普通螺纹主要几何参数的检测	(22)
4.1 实验目的	(22)
4.2 实验内容	(22)
4.3 用工具显微镜测量螺纹中径、螺距和牙型半角	(22)
第 5 章 渐开线圆柱齿轮几何参数的测量	(25)
5.1 实验目的	(25)
5.2 实验内容	(25)
5.3 在万能测齿仪上测量齿轮齿距偏差和齿距累积误差	(25)
5.4 用公法线指示千分尺测量齿轮公法线	(28)
5.5 用基节仪测量基节偏差	(29)
5.6 用齿轮卡尺测量齿轮分度圆齿厚偏差	(30)
第 6 章 CA6140 车床床头箱结构	(31)

6.1	实验目的与要求	(31)
6.2	实验仪器与设备	(31)
6.3	内容和步骤	(31)

第2篇 数控设备及加工误差分析

第7章	数控设备的结构及其原理	(33)
7.1	数控机床分类	(33)
7.2	数控机床的伺服系统	(35)
7.3	可重构数字式机电测控试验平台	(39)
7.4	数控机床的功能认识实验	(40)
第8章	步进电动机的驱动控制	(42)
8.1	实验目的	(42)
8.2	实验仪器与设备	(42)
8.3	基本原理和方法	(42)
8.4	实验步骤	(44)
第9章	加工过程误差的统计分析	(46)
9.1	实验目的与要求	(46)
9.2	实验仪器与设备	(46)
9.3	基本原理和方法	(46)
9.4	实验步骤	(49)
第10章	丝杠运动误差的数据补偿	(52)
10.1	实验目的	(52)
10.2	实验仪器与设备	(52)
10.3	基本原理和方法	(52)
10.4	实验步骤	(53)

第3篇 以典型零件为主线的模拟现代集成制造实验

第11章	零件的选用与分析	(54)
11.1	零件简介	(54)
11.2	根据二维分析建立其三维立体模型	(54)
11.3	计算机辅助工程分析(CAE)(选做)	(55)
第12章	基于CAPP的CA6140车床拨叉工艺规程设计	(57)
12.1	实验目的与要求	(57)
12.2	实验准备	(57)
12.3	上机步骤	(58)
第13章	典型零件的数控编程及加工仿真	(64)
13.1	实验目的与要求	(64)
13.2	实验软件	(64)
13.3	实验内容及步骤	(64)
第14章	组合夹具的组装和专用夹具的设计	(67)

14.1	实验目的与要求	(67)
14.2	组合夹具的特点及应用范围	(67)
14.3	组合夹具的元件及其作用	(68)
14.4	组合夹具组装原理与实验方法步骤	(69)
14.5	专用夹具的设计	(70)
第 15 章	典型刀具的测量、选用及性能评价	(72)
15.1	实验目的与要求	(72)
15.2	实验设备	(72)
15.3	车刀量角仪的结构与使用方法	(72)
15.4	加工零件所用刀具的选择	(75)
第 16 章	零件的数控加工	(79)
16.1	实验目的与要求	(79)
16.2	实验设备	(79)
16.3	实验内容	(81)
第 17 章	切削过程中的切削力及振动信号的测定(选做)	(83)
17.1	实验目的与要求	(83)
17.2	切削力测量原理与实验方法	(83)
17.3	切削过程中振动信号的测量原理与实验方法	(87)
第 18 章	零件加工工艺的合理性分析	(90)
18.1	实验目的与要求	(90)
18.2	评价零件加工质量的实验方法	(90)
18.3	LK G—90C 三坐标测量机的硬件和软件系统	(90)
18.4	综合评价零件加工的合理性	(93)
 第 4 篇 计算机辅助企业生产管理平台——PDM 与 ERP 基础实验		
第 19 章	PDM(Smar Team)基本界面熟悉	(95)
19.1	PDM(Smar Team)简介	(95)
19.2	PDM(Smar Team)案例演示实验	(96)
第 20 章	PDM(Smar Team)生命周期管理	(104)
20.1	首次检入对象	(105)
20.2	检出对象	(107)
20.3	检入对象	(110)
20.4	发布对象	(111)
第 21 章	邕科鼎 ERP 系统基本界面熟悉	(114)
21.1	实验目的	(114)
21.2	实验步骤	(114)
第 22 章	邕科鼎 ERP 基础数据的设置与维护	(119)
22.1	实验目的	(119)
22.2	实验步骤	(119)
第 23 章	邕科鼎 ERP 的销售、库存与采购模块实验	(123)

23.1	实验目的	(123)
23.2	实验步骤	(123)
第 24 章	崑科鼎 ERP 的生产控制模块实验	(129)
24.1	实验目的	(129)
24.2	实验步骤	(129)
第 25 章	崑科鼎 ERP 的综合实验	(133)
25.1	实验目的	(133)
25.2	实验步骤	(133)
附录	实验考核汇总	(140)
参考文献		(160)

结 论

当今世界科学技术突飞猛进,综合国力的竞争日趋激烈。处于工业中心地位的制造业,特别是机械制造业,是国民经济持续发展的基础,是工业化、现代化建设的发动机与动力源,是在国际竞争中取胜的法宝之一。以机械制造技术为代表的制造技术,对一个国家的技术经济发展起着至关重要的作用。经济发达国家都把制造业作为本国的经济支柱,十分重视制造业的发展,并能根据科技与经济的发展,不断提升制造业在国民经济中的地位,不断调整制造业的发展战略和政策方针。而随着需求的个性化及制造的全球化、信息化,改变了制造业的传统观念和生组织方式。精益生产、敏捷制造、智能制造、虚拟制造、虚拟企业等新概念相继出现,其特点是五个转变,即从以技术为中心向以人为中心转变、从金字塔式的多层次生产管理结构向扁平的网络结构转变、从传统的顺序工作方式向并行工作方式转变、从按功能划分部门的固定组织形式向动态的和自主管理的小组工作组织形式转变、从质量第一的竞争策略向快速响应市场的竞争策略转变。

在知识经济及经济全球化的时代,经济上的激烈竞争将集中于科技的竞争,而科技竞争又归结为创新人才的竞争。正如《中国教育改革和发展纲要》所指出的:世界范围的经济竞争、综合国力竞争,实质上是科学技术的竞争和民族素质的竞争。从这个意义上说,谁掌握了面向21世纪的教育,谁就能在21世纪的国际竞争中处于战略主动地位。为国家培养出大批高质量、高层次的人才,对于提高和增强我国综合国力,迎接新世纪的挑战,立足于世界民族之林具有重大战略意义。中国要建设社会主义现代化强国,必须要培养一大批具有社会主义觉悟的爱国敬业的创新型人才。创新是民族的灵魂,实验教学的首要任务是培养学生的创新思维和提高学生的创新能力。同时,实验教学是高等工科院校的一个重要教学环节,它对培养大学生工程实践能力和创新能力具有不可替代的作用。

旧的机械制造实验教学内容 and 形式已不能满足时代发展的需要。为了满足科学技术的发展和变化的需求,我们系统地研究了专业结构调整的一些基本理论,如学科建设与专业建设的关、专业建设与课程建设的关、人才需求与专业发展之间的关、专业结构与产业结构的关、市场需求与学校办学定位等关,并在此基础上,借助于学校教改工程的全面展开,依托“机械工程重点学科”建设,特别是“机械工程国家级实验示范中心”建设,结合课程体系的调整 and 教学内容的改造,既对传统的实验教学内容 and 形式进行了扬弃,在保留传统实验经典部分的基础上,删除了落后的部分,又在继承的基础上进行创新,将原来单纯的演示性、验证性实

验通过整合、重组改造为综合性、设计性实验,并增加了代表学科发展的新知识、新理念,具有一定前瞻性的新实验。不但使实验教学内容能适应经济建设对培养人才的需求,而且改变了传统实验教学形式单一、内容重复、课程壁垒、条块分割的情况,使学生由被动学习转变为主动掌握。

遵循教育部教改方案中关于实验独立设课的指示精神,我们构建出“现代机械制造实践教学体系”(如图 0-1 所示)。该实践教学体系由三大模块组成:①工程基础培训模块;②工程素质与工程理念培养模块;③大工程实训与创新能力培养模块。进入实践教学体系,同学们首先要接受机械工程的基础培训,完成机械典型零件表面粗糙度、几何与形位测量,以及典型机床基本构造认识的基本训练;然后,了解进行现代加工的设备原理和构造,并学习数控设备的基本操作,掌握加工过程误差产生的原因、误差分析及控制的方法,完成对同学们的工程素质与工程理念的基本培养;最后,同学们便可进入本实践教学体系的最重要的一个环节,在这里,他们可以充分体验现代企业产品生产与生产管理的主要过程,接受大工程的实训与创新能力的培养。

人才培养必须面向工程实际,在人才培养中应突出“做中学”,强调对工程实践能力的培养。为了真实模拟现代机械制造企业的基本运作流程,使同学们在校学习期间就能了解现代企业的基本情况,更为了打破过去那种由于课程壁垒和条块分割而造成的“知识孤岛”状况,使同学们的所有知识能通过该环节贯穿于整个实践的思维中,我们精心设计出了“模拟现代机械制造企业基本运作大实验平台”,如图 0-2 所示。为构建这个“大实验平台”,我们以一个典型的机械零件为主线,通过对该零件的设计、分析、工艺设计、夹具设计、刀具选用、数控仿真与加工、加工后零件的测量、工艺分析,并给出加工评价,以模拟现代机械制造企业的产品生产基本运作流程。在这个过程中,同学们要综合运用已有的知识和在本实践教学体系的第一、第二模块中所获得的基本技能,使用 CAD、CAE、CAPP、CAM 等大型工程软件和三坐标数控铣床、加工中心、三坐标测量机等现代机械加工设备,对零件进行设计、分析与加工。通过企业生产管理模块的实践,同学们不但可以初探企业运作的内核,还可初步掌握产品数据管理和企业资源计划这两大现代企业使能技术。而通过企业产品生产模块的实践,同学们不但可以了解现代企业的基本产品生产情况,还可掌握制造过程的交叉、并行、协同及其有机联系,更可提升自身发现问题、分析问题、解决问题的能力,从而激发他们的创新潜能。

在现代机械制造实践教学体系中,第一模块以实验指导教师指导为主,第二模块实验指导教师只起引导作用;而在第三模块中,实验指导教师主要进行实验的管理与答疑,学生是真正的实验主体,他们以小组的形式进入该模块,充分发挥团队合作的优势来完成任务。这样,就为同学们营造了一个既能接受工程素质培训,又能突出个性,发挥创造潜能的良好实践环境,使学生对产品的设计制造方法有一个基本完整的体验和认识。学生通过实践,可获得现代生产方式和组织管理能力的基本训练,并初步建立起市场、信息、质量、成本、效益、安全、环保等大工程意识,了解现代企业的五个转变,以及这五个转变的解决方案,为创造潜能的释放奠定基础。

要构建一个规范合理的实践体系,还需要设计一个既能积极引导、又能很好发挥学生创新能力的实验考核体系。长期以来,我们把实验报告作为判定学生实验成绩的主要标准,这就会形成误导。为了避免这种误导,就要求我们在实验教学中,既要注重实验考核的结果,同时也应重视学生参与实验的过程。多年的实践证明,只有把这两者有机结合起来,才能对学生的实验能力和实验成绩进行有效地评价。为此,我们设计了各实验考核指标占实验总成绩的比重

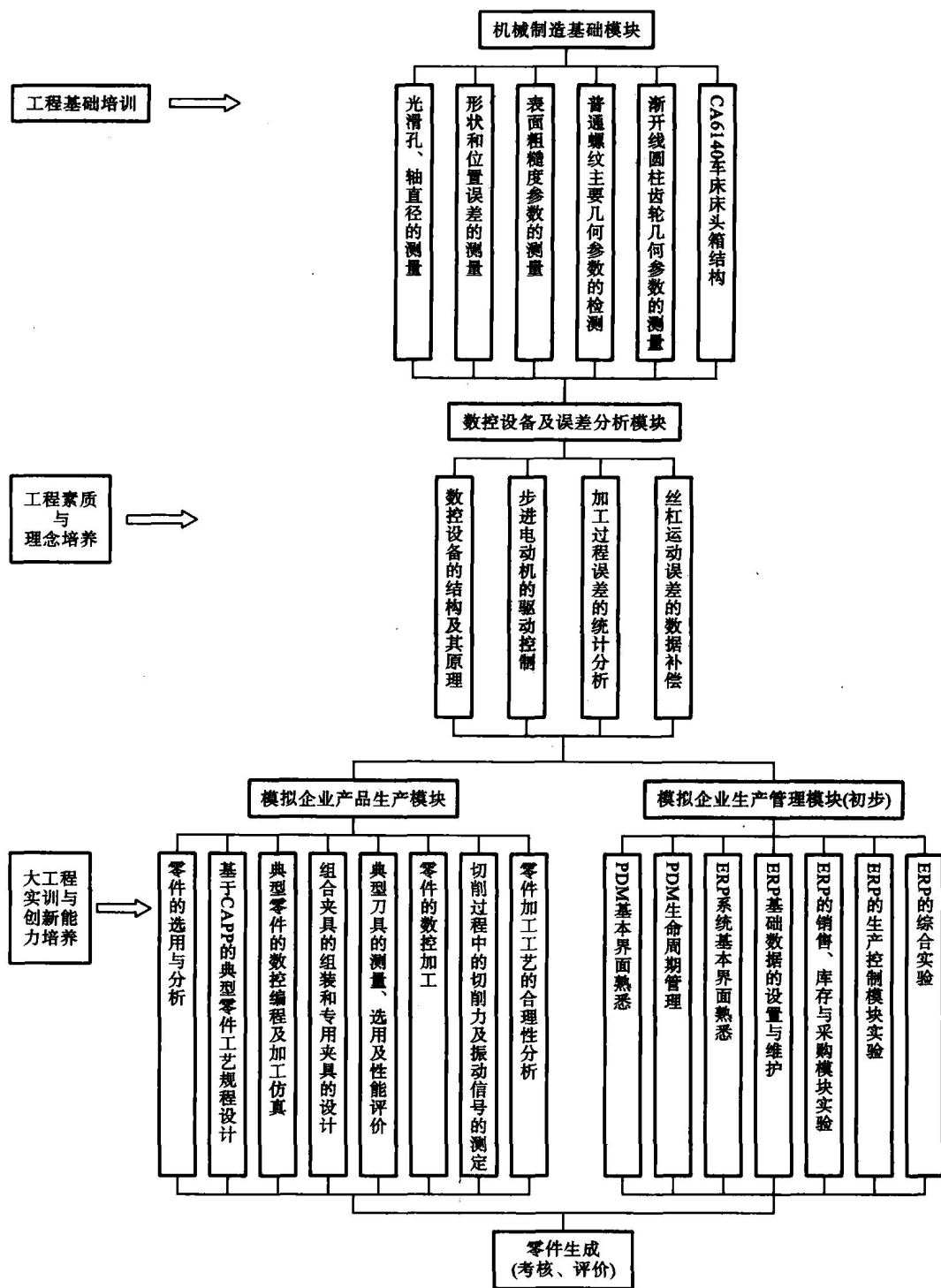


图 0-1 现代机械制造实践教学体系图

图,如图 0-3 所示。

在进行该实验独立设课的学时安排时,建议课内学时设置为 46 个学时。其中:第一模块,即工程基础培训模块,6 个学时;第二模块,即工程素质与工程理念培养模块,4 个学时;第三模

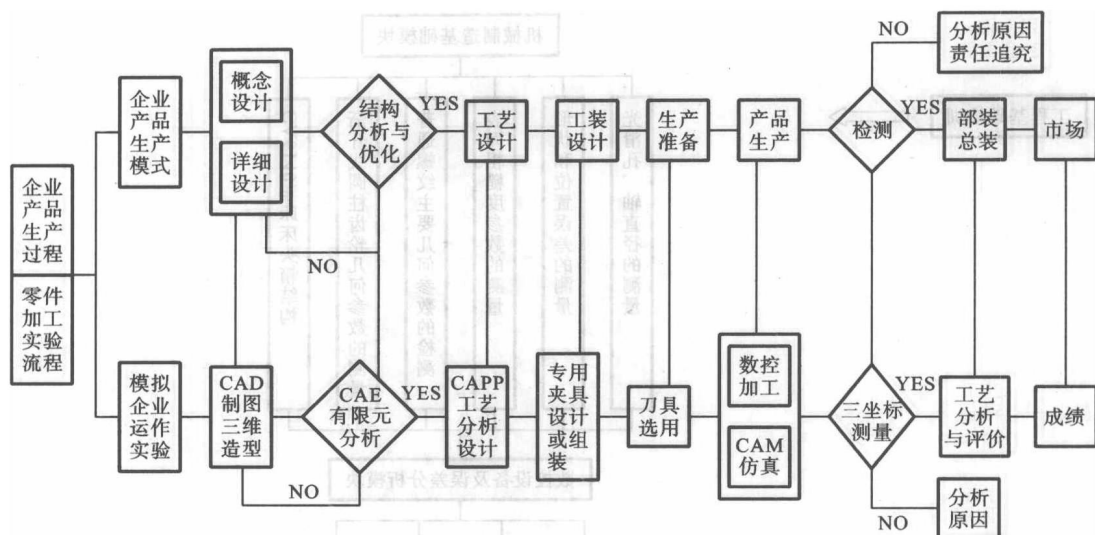


图 0-2 模拟现代机械制造企业基本运作的大实验平台图

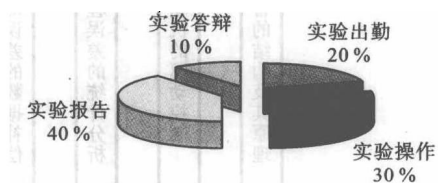


图 0-3 各实验考核指标占总成绩的比重图

块,即大工程实训与创新能力培养模块,36个学时。使用院校可根据具体情况进行增减,书中部分内容可供学生在进行实训时自学和参考。

第 1 篇 机械制造基础实验

第 1 章

光滑孔、轴直径的测量

1.1 实验目的

- (1) 了解轴、孔零件的尺寸和形位误差的测量方法。
- (2) 了解测长仪和内径指示表(百分表和千分表)的原理、调整和测量方法。
- (3) 巩固轴、孔零件有关尺寸及形位公差的概念,学会由测量数据判断零件合格性的方法。

1.2 实验内容

- (1) 用杠杆比较仪和立式测长仪测量轴。
- (2) 用内径指示表(百分表、千分表)测量孔。

1.3 用杠杆比较仪测量轴

1. 仪器概述

杠杆比较仪又称杠杆齿轮式测量仪,它是一种在设计上和结构上都比较完善的机械式测量仪。它主要用比较法测量工件的几何形状和位置误差。其测量方法属接触测量,一般用相对测量法测量轴的尺寸。杠杆比较仪的灵敏度和精度较高,示值较稳定,仪器外观及主要部分如图 1-1 所示。

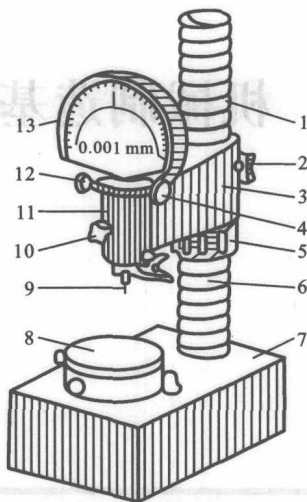


图 1-1 杠杆比较仪

1—立柱 2—紧固螺钉 3—微调手轮 4—细调手轮 5—螺母 6—拨叉
7—底座 8—工作台 9—测头 10—紧固螺钉 11—臂架 12—紧固螺钉 13—测微表

2. 测量方法

(1) 核对仪器精度与被测零件是否匹配。

(2) 选择测帽 测平面或圆柱面用球形测帽；测小于 10 mm 的圆柱面用刀口形测帽；测球面用平测帽。

1.4 用立式测长仪测轴

1. 仪器概述

立式测长仪用于长度测量，其测量方法属接触测量，一般用绝对测量法（有时也可作相对测量）测量轴类零件及其他零件的外尺寸。

仪器外形及主要部分如图 1-2 所示。本仪器的读数装置为螺旋显微镜，其原理如图 1-3 所示。

固定在测量轴 8 上的毫米玻璃刻度尺，可随测量轴移动（见图 1-3），其上刻有长 100 mm、间隔为 1 mm 的刻线 101 条（0~100 mm）。部件 2 是固定玻璃板，其上有间隔为 0.1 mm 的刻线 11 条（0、1、2~9、10），称为丝米刻度尺。部件 1 是可绕其中心旋转的玻璃圆盘，其上刻有螺距为 0.1 mm 的两条并列的阿基米德螺旋线，螺旋线的极点与圆盘旋转中心重合，称为微米刻度尺。与螺旋线极点同心的圆周上刻有 100 等分的圆周刻度。当圆盘 1 旋转一周时，螺旋线沿径向移动一个螺距（0.1 mm），同时圆周刻度转过 100 格，所以圆周刻度每格相当于螺旋线径向移动 $0.1 \text{ mm} / 100 = 0.001 \text{ mm}$ （即 $1 \mu\text{m}$ ）。

在目镜视场中，只能看到毫米刻度尺、螺旋线及圆周刻度尺的一小部分，如图 1-4 所示。

当测帽与仪器工作台接触时，目镜视场中的读数应该为零，即箭头指示线对准圆周刻度尺