

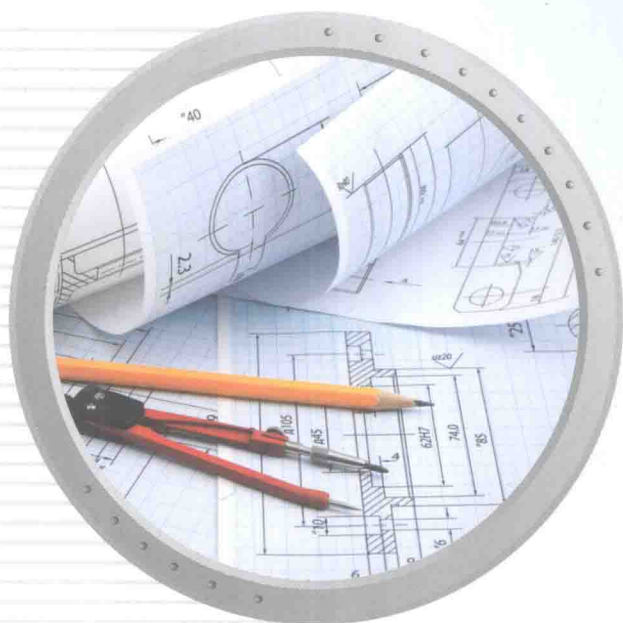


全国高职高专机械类“工学结合-双证制”  
人才培养“十二五”规划教材



# 现代测量技术实训

许耀东 郑卫 主编



 华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>

全国高职高专机械类“工学结合-双证制”人才培养“十二五”规划教材

# 现代测量技术实训

主 编 许耀东 郑 卫  
副主编 包幸生 姚东胜 曹志鸿  
主 审 刘素华

华中科技大学出版社  
中国·武汉

## 内 容 简 介

本书是在介绍传统测量方法(如依靠测量平台、游标类测量器具、指示表等的测量)的基础上,对现代测量方法进行了系统的介绍。书中内容包括典型辅助测量、专用仪器测量、光学测量、激光测量、触针测量、三维扫描测量(逆向工程软件使用)和三坐标测量等。

本书内容共分为8个项目,每个项目都包含了基本原理的介绍和测量实例的说明,书中既有传统经典测量方法的介绍,又有现代前沿测量技术(如三维扫描测量和三坐标测量)的介绍,还包括逆向工程软件的使用方法的介绍。全书内容结构紧凑,层次分明,由浅入深。本书可作为职业院校测量类课程的教材,也可供从事测量测绘的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代测量技术实训/许耀东,郑卫主编. —武汉:华中科技大学出版社,2014.9  
ISBN 978-7-5680-0371-1

I. ①现… II. ①许… ②郑… III. ①测量学-高等职业教育-教材 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 200740 号

现代测量技术实训

许耀东 郑 卫 主编

策划编辑:万亚军

责任编辑:万亚军

封面设计:范翠璇

责任校对:李 琴

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)81321915

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:10

字 数:259千字

版 次:2014年9月第1版第1次印刷

定 价:25.00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

## 全国高职高专机械类“工学结合-双证制”人才培养“十二五”规划教材

### 编委会

#### 丛书顾问:

陈吉红(华中科技大学)

#### 委员(以姓氏笔画为序):

万金宝(深圳职业技术学院)

王 平(广东工贸职业技术学院)

王兴平(常州轻工职业技术学院)

王连弟(华中科技大学出版社)

王怀奥(浙江工商职业技术学院)

王晓东(长春职业技术学院)

王凌云(上海工程技术大学)

王逸群(贵州航天职业技术学院)

王道宏(嘉兴职业技术学院)

牛小铁(北京工业职业技术学院)

文申柳(四川化工职业技术学院)

毛友新(安徽工业经济职业技术学院)

尹 霞(湖南化工职业技术学院)

田 鸣(大连职业技术学院)

吕修海(黑龙江农业工程职业技术学院)

朱江峰(江西工业工程职业技术学院)

刘 敏(烟台职业学院)

刘小芹(武汉职业技术学院)

刘小群(江西工业工程职业技术学院)

刘战术(广东轻工职业技术学院)

刘昭琴(重庆航天职业技术学院)

闫瑞涛(黑龙江农业经济职业学院)

杜红文(浙江机电职业技术学院)

李 茹(天津职业大学)

李 权(滨州职业学院)

李传军(承德石油高等专科学校)

何时剑(淮安信息职业技术学院)

秘 书:季 华 万亚军

何晓凤(安徽机电职业技术学院)

宋放之(北京航空航天大学)

张 勃(漯河职业技术学院)

张 健(湖北工业职业技术学院)

张 焕(河南牧业经济学院)

张云龙(青岛职业技术学院)

张录鹤(安徽国防科技职业学院)

张俊玲(贵州工业职业技术学院)

陈泽宇(广州铁路职业技术学院)

陈子珍(宁波职业技术学院)

陈天凡(福州职业技术学院)

金 濯(江苏农牧科技职业学院)

郑 卫(上海工程技术大学)

周 敏(中山职业技术学院)

胡翔云(湖北职业技术学院)

荣 标(宁夏工商职业技术学院)

贾晓枫(合肥通用职业学院)

黄红兵(六安职业技术学院)

黄定明(武汉电力职业技术学院)

黄晓东(九江职业技术学院)

崔西武(武汉船舶职业技术学院)

葛建中(芜湖职业技术学院)

董建国(湖南工业职业技术学院)

解顺兴(武汉华中数控股份有限公司)

窦 凯(广州番禺职业技术学院)

颜惠庚(常州工程职业技术学院)

## 序

目前我国正处在改革发展的关键阶段,深入贯彻落实科学发展观,全面建设小康社会,实现中华民族伟大复兴,必须大力提高国民素质,在继续发挥我国人力资源优势的同时,加快形成我国人才竞争比较优势,逐步实现由人力资源大国向人才强国的转变。

《国家中长期教育改革和规划纲要(2010—2020年)》提出:发展职业教育是推动经济发展、促进就业、改善民生、解决“三农”问题的重要途径,是缓解劳动力供求结构矛盾的关键环节,必须摆在更加突出的位置。职业教育要面向人人、面向社会,着力培养学生的职业道德、职业技能和就业创业能力。

高等职业教育是我国高等教育和职业教育的重要组成部分,在建设人力资源强国和高等教育强国的伟大进程中肩负着重要使命并具有不可替代的作用。自从1999年党中央、国务院提出大力发展高等职业教育以来,高等职业教育培养了大量高素质技能型专门人才,为加快我国工业化进程提供了重要的人力资源保障,为加快发展先进制造业、现代服务业和现代农业做出了积极贡献;高等职业教育紧密联系经济社会,积极推进校企合作、工学结合人才培养模式改革,办学水平不断提高。

“十一五”期间,在教育部的指导下,教育部高职高专机械设计制造类专业教学指导委员会根据《高职高专机械设计制造类专业教学指导委员会章程》,积极开展国家级精品课程评审推荐、机械设计与制造类专业规范(草案)和专业教学基本要求的制定等工作,积极参与了教育部全国职业技能大赛工作,先后承担了“产品部件的数控编程、加工与装配”“数控机床装配、调试与维修”“复杂部件造型、多轴联动编程与加工”“机械部件创新设计与制造”等赛项的策划和组织工作,推进了双师队伍建设和课程改革,同时为工学结合的人才培养模式的探索和教学改革积累了经验。2010年,教育部高职高专机械设计制造类专业教学指导委员会数控分委会起草了《高等职业教育数控专业核心课程设置及教学计划指导书(草案)》,并面向部分高职高专院校进行了调研。2011年,根据各院校反馈的意见,教育部高职高专机械设计制造类专业教学指导委员会委托华中科技大学出版社联合国家示范(骨干)高职院校、部分重点高职院校、武汉华中数控股份有限公司和部分国家精品课程负责人、一批层次较高的高职院校教师组成编委会,组织编写全国高职高专机械设计制造类工学结合“十二五”规划系列教材,选用此系列教材的学校师生反映教材效果好。在此基础上,响应一些友好院校、老师的要求,以及教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)中提出的要推行“双证书”制度,强化学生职业能力的培养,使有职业资格证书专业的毕业生取得“双证书”的理念。2012年,我们组织全国职教领域精英编写全国高职高专机械类“工学结合-双证制”人才培养“十二五”规划教材。

本套全国高职高专机械类“工学结合-双证制”人才培养“十二五”规划教材是各参与院校“十一五”期间国家级示范院校的建设经验以及校企结合的办学模式、工学结合及工学结合-双证制的人才培养模式改革成果的总结,也是各院校任务驱动、项目导向等教学做一体的教学模式改革的探索成果。

具体来说,本套规划教材力图达到以下特点。

(1) 反映教改成果,接轨职业岗位要求 紧跟任务驱动、项目导向等教学做一体的教学改革步伐,反映高职机械设计制造类专业教改成果,注意满足企业岗位任职知识要求。

(2) 紧跟教改,接轨“双证书”制度 紧跟教育部教学改革步伐,引领职业教育教材发展趋势,注重学业证书和职业资格证书相结合,提升学生的就业竞争力。

(3) 紧扣技能考试大纲、直通认证考试 紧扣高等职业教育教学大纲和执业资格考试大纲和标准,随章节配套习题,全面覆盖知识点与考点,有效提高认证考试通过率。

(4) 创新模式,理念先进 创新教材编写体例和内容编写模式,针对高职学生思维活跃的特点,体现“双证书”特色。

(5) 突出技能,引导就业 注重实用性,以就业为导向,专业课围绕技术应用型人才的培养目标,强调突出技能、注重整体的原则,构建以技能培养为主线、相对独立的实践教学体系。充分体现理论与实践的结合,知识传授与能力、素质培养的结合。

当前,工学结合的人才培养模式和项目导向的教学模式改革还需要继续深化,体现工学结合特色的项目化教材的建设还是一个新生事物,处于探索之中。“工学结合-双证制”人才培养模式更处于探索阶段。随着本套教材投入教学使用和经过教学实践的检验,它将不断得到改进、完善和提高,为我国现代职业教育体系的建设和高素质技能型人才的培养作出积极贡献。

谨为之序。

全国机械职业教育教学指导委员会副主任委员  
国家数控系统技术工程研究中心主任  
华中科技大学教授、博士生导师

陈吉红

2013年2月

# 前 言

随着测量技术的发展,现代测量技术已经突破了传统测量技术依赖测量平台的限制,开始向专用化、多样化、复合化、精密化和智能化的方向发展。现代测量技术多综合采用光机电技术,随着计算机技术的发展,软件控制和测量以及自动分析报告功能出现,简化了测量过程,降低了对操作的要求,但对操作者自身知识的积累和对操作的理解提出了更高的要求。特别是高端的三坐标测量仪器或三维扫描设备,需要经过专业的培训和多年的实践才能熟练掌握其精髓。而这方面的资料往往是企业内部培训教材,市场上很少有对这方面进行系统介绍的教材。为了使读者能够快速地了解现代测量技术特点,熟悉其应用,而不再将现代测量技术视为高深的领域而望而生畏,本书从最基本的知识入手,由浅入深,循序渐进地对现代测量知识进行了分门别类的介绍,使读者能够对现代测量有个系统的了解,并在实践中获得提高。

本书是在介绍传统测量技术(主要依靠测量平台、游标类测量器具、指示表等的测量)的基础上,对现代测量方法进行了系统的介绍。书中内容包括典型辅助测量、专用仪器测量、光学测量、激光测量、触针测量、三维扫描测量和三坐标测量等,体现测量手段从低级到高级的演变过程,适合掌握初级测量测绘知识的学生和企业技术人员使用,可以帮助其获得知识和技能上的提升。

全书内容分为8个项目,每个项目根据项目导向、任务驱动的教学要求编写,以项目案例作为导入,对测量知识点按照测量对象、测量原理、测量方法和测量结果分析四个方面进行详细的介绍。在理论知识介绍上,突出基本原理的介绍及其在实践的应用,避免烦琐、深奥的理论推导,与实践紧密结合,具有针对性而不空洞,同时在操作技能介绍上,注重理论的支撑和铺垫,使学生在实践中知其然并知其所以然。

本书由上海工程技术大学高职学院许耀东、郑卫任主编,由包幸生、姚东胜、曹志鸿任副主编。具体编写分工如下:第1章、第4章、第7章由许耀东编写,第2章、第3章由郑卫编写,第5章由姚东胜编写,第6章由曹志鸿编写,第8章由包幸生编写。本书由上海工程技术大学高职学院刘素华副教授主审。另外在编写过程中,得到许多同行、专家的支持与协助,在此表示衷心的感谢。

书中许多内容是编者在教学研究中的经验总结,由于现代测量技术发展迅速、内容丰富,书中描述难免存在偏颇、疏漏和不当之处,恳请广大读者批评、指正!

编 者

2014年5月

# 目 录

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 项目 1 测量技术认知 .....      | (1)   |
| 项目 2 量针测量 .....        | (3)   |
| 任务 1 量针认知 .....        | (3)   |
| 任务 2 量针测量 .....        | (3)   |
| 项目 3 框式水平仪测量 .....     | (8)   |
| 任务 1 框式水平仪认知 .....     | (8)   |
| 任务 2 导轨直线度测量 .....     | (9)   |
| 项目 4 光学测量 .....        | (11)  |
| 任务 1 光学测量认知 .....      | (11)  |
| 任务 2 万能测长仪测量 .....     | (17)  |
| 任务 3 万能工具显微镜测量 .....   | (20)  |
| 任务 4 数显光学投影仪测量 .....   | (25)  |
| 任务 5 影像测量仪测量 .....     | (29)  |
| 项目 5 激光测量 .....        | (44)  |
| 任务 1 激光测量认知 .....      | (44)  |
| 任务 2 激光测径仪测量 .....     | (45)  |
| 任务 3 激光干涉仪测量 .....     | (50)  |
| 项目 6 触针测量 .....        | (58)  |
| 任务 1 触针法认知 .....       | (58)  |
| 任务 2 电动轮廓仪测量 .....     | (58)  |
| 任务 3 粗糙度测量计测量 .....    | (61)  |
| 项目 7 三维扫描测量 .....      | (63)  |
| 任务 1 三维扫描认知 .....      | (63)  |
| 任务 2 三维扫描仪测量 .....     | (67)  |
| 任务 3 逆向设计软件认知 .....    | (79)  |
| 任务 4 三维测量 .....        | (96)  |
| 项目 8 三坐标测量 .....       | (107) |
| 任务 1 三坐标测量机认知 .....    | (107) |
| 任务 2 接触式三坐标测量 .....    | (114) |
| 任务 3 三坐标测量 .....       | (128) |
| 任务 4 非接触式三坐标测量认知 ..... | (139) |
| 附录 .....               | (143) |
| 参考文献 .....             | (151) |



# 项目 1 测量技术认知

自古以来,人们就用到了几何量测量的标准量值及器具。古人在建造长城、金字塔时所用的工具及测量方法都已经达到了很高的水平;古埃及的建筑工人凭借简单的铅垂线、木制方尺和直尺测量,但他们的测量可精确到毫米。例如胡夫金字塔的底边长约 230 m,而它的尺寸、边线差异不超过平均长度的 0.05%——这意味着在横跨 230 m 的区间内,只有 0.11 m 的偏差。

在古代,手指的宽度、脚的长度、步幅的距离、犁沟的长度,都被创造性地用于几何量测量。例如:古埃及人定义手指、手掌、手、肘作为长度单位;古代英国人将人脚长度定义为长度单位,这就是现在所说的“英尺”。随后,人们又定义了质量单位,发明了测量温度和压力的方法,公布了度量衡的法定标准,推出了各种长度和内径、外径测量仪器。这些测量技术构成了现代测量技术的基础。

传统的测量技术往往采用平板加高度尺加卡尺的检验模式,采用固定的、专用的或手动的工量具进行检验。在测量技术上,光栅尺及以后的容栅、磁栅、激光干涉仪的出现,革命性地把尺寸信息数字化,不但可以进行数字显示,而且为几何量测量的计算机处理、控制打下了基础。随着工业化进程的发展,为了适应高速化、柔性化、通用化、自动化及精密化检验的需要,坐标测量技术出现了,伴随着控制技术和计算机软件技术的迅猛发展,测量机已从早期的手动型、机动型迅速转化为数控型,测量速度更快,测量精度更高,大大降低了测量操作人员的工作强度。

现代化的测量机多用于产品测绘、复杂型面检测、工夹具测量、研制过程中间测量、CNC 机床或柔性生产线在线测量等方面。它不仅在精密检测和质量控制上扮演着重要角色,同时,在产品设计和生产过程控制和模具制造方面发挥着越来越重要的作用,并在汽车工业、航空航天、机床工具、国防军工、电子和模具等领域得到了广泛的应用。表 1.1 所示为坐标测量技术与传统测量技术在测量方式和便利性上的比较。

表 1.1 坐标测量技术与传统测量技术的比较

| 传统测量技术                      | 坐标测量技术                        |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 对工件要进行人工的、精确及时的调整           | 不需对工件要进行特殊的调整                 |
| 专用测量仪和多工位测量仪很难适应测量任务的改变     | 简单调用所对应的软件模块完成测量任务            |
| 与实体标准或运动标准进行测量比较            | 与数学(或数字)模型进行测量比较              |
| 尺寸、形状和位置测量在不同的仪器上进行不相干的测量数据 | 尺寸、形状和位置的评定在一次安装中即可完成         |
| 手工记录测量数据                    | 产生完整的数字信息,完成数据输出、统计和分析 CAD 设计 |



同时,随着数控坐标测量系统的推动,各种测头探针自动更换装置、自动上下料机构相继出现,使得测量系统能够很好地被整合在现代化工业生产中,发挥重要作用。尤其是伴随着数字技术和 CAD 技术的广泛应用,测量软件成为测量机与其他外部设备、加工设备和 CAD 系统沟通的桥梁。测量机不再是消极的判定角色,可被广泛用于逆向设计、生产监测、信息统计、反馈信息等多种领域。

便携式测量系统的应用解决了一些大尺寸零部件的测量问题,同时更加适合在现场的工作测量。这类产品主要包括以激光跟踪仪和关节臂式测量机为核心而延展出的多种产品,有效地解决了汽车以及航空航天领域各种部件装配、生产工具校验和各种尺寸工件的测量与测绘问题。

而专业的测量机厂商已经突破了一般意义上的技术服务,正在试图采用更新、更专业的手法使得客户服务的效率更高、更全面、更及时。售后增值服务项目在测量机制造商提供的产品服务方面所占的比重越来越大。所谓售后增值服务,指的是面向超过产品保修期的所有产品和服务项目以及为满足客户需要而提供相应的产品与服务。专业的测量机制造商提供了伴随整个测量机生命周期的产品技术服务。除了保修期内的机器安装、培训、技术支持和产品保修项目外,售后增值服务涉及了产品保修期后的所有服务项目,包括测量软件升级、测量机改造、维修校准、合同服务、合约检测以及各种零部件供应等。

例如全球知名的测量机生产跨国企业——海克斯康(Hexagon)测量技术集团,其销售及服务网络遍及巴西、中国、法国、德国、意大利、美国、瑞士和瑞典。凭借在全球安装超过 55 000 台测量机、超过 8 500 套便携式测量系统、数以百万计的量具(量仪)和超过 25 000 套 PC-DMIS 通用测量软件,该集团为客户提供了完善的技术支持,并确保设计中的产品尽快投产。时至今日,该集团测量和化工两大产业拥有着青岛、上海、北京、香港、武汉等多个产业基地,年收入超过 10 亿元。

## 项目2 量针测量

### 任务1 量针认知

量针是经过精密加工的定尺寸检验量具,类似于塞规。它经常用于辅助测量的场合,如圆弧半径测量、螺纹测量、齿轮径向跳动测量等。

### 任务2 量针测量

#### 2.2.1 内圆弧半径测量

##### 1. 测量原理及方法

由于圆弧是非完整的圆,其半径的测量通常采用弓高弦长法间接实现,即先测出圆弧的弦长与弓高,再计算出被测圆弧的半径。

如图2.1所示,对任一圆弧的弦AC作垂直平分线(中垂线),则该线必通过圆心O。弦AC的长度S称为弦长,BD称为弓高,用 $h$ 表示, $\overline{OA}$ 是圆弧的半径 $R$ 。

由直角三角形 $\triangle AOB$ 可得

$$R^2 = \left(\frac{S}{2}\right)^2 + (R-h)^2 \quad (2.1)$$

将式(2.1)整理后得

$$R = \frac{S^2}{8h} + \frac{h}{2} \quad (2.2)$$

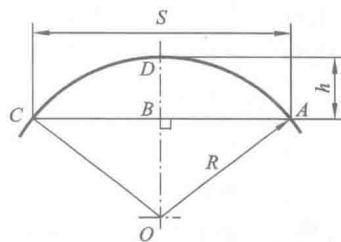


图 2.1 弓高弦长法测量原理

被测件的特点和测量条件不同, $R$ 的计算形式也不同,但都是根据这一基本原理演变而来的。

图2.2所示为内圆弧半径测量示意图。利用三角形相似( $\triangle OO_2B \sim \triangle O_2O_3C$ )原理,得

$$\frac{h}{r} = \frac{2r}{R-r} \quad (2.3)$$

由式(2.3)可以推出

$$R = \left(\frac{2r}{h} + 1\right)r = \left(\frac{d}{h} + 1\right) \cdot \frac{d}{2} \quad (2.4)$$

式中: $r$ 为量针的半径; $R$ 为被测圆弧的半径; $d$ 为量针的直径; $h$ 为高度尺测量的实际尺寸。

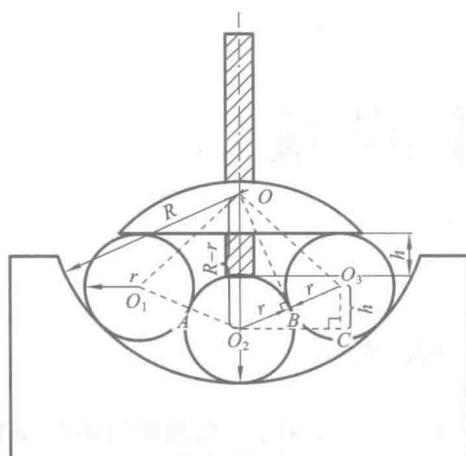


图 2.2 内圆弧测量示意图

## 2. 测量步骤

(1) 选用三支直径相同的量针,用外径千分尺测量其直径  $d$ ,然后将它们置于内圆弧当中。

(2) 将高度尺置于左右两侧的量针上,测量中间量针顶部到左右量针顶部之间的高度  $h$ 。

(3) 根据测量的高度  $h$  和量针的直径  $d$ ,代入式(2.4)中,即可计算出内圆弧半径的大小。

## 3. 测量数据示例

根据前面的测量数据,量针的直径  $d=18\text{ mm}$ ,高度尺测量的高度  $h=5.32\text{ mm}$ ,则内圆弧半径

$$R = \left( \frac{d}{h} + 1 \right) \frac{d}{2} = \left( \frac{18}{5.32} + 1 \right) \times \frac{18}{2} \text{ mm} \\ \approx 4.383 \times 9 \text{ mm} = 39.447 \text{ mm}$$

## 2.2.2 螺纹中径测量

### 1. 螺纹中径介绍

螺纹中径用符号  $d_2$  表示,它是在牙型宽和牙槽宽相等的同轴圆柱面上直径的大小,介于螺纹大径和小径之间,是检验螺纹连接松紧程度和旋合性的重要指标。常用的检测方法包括综合检验法和单项检验法。综合检验法是通过螺纹环规或螺纹通规检验螺纹中径,分别适用于外螺纹或内螺纹检验,只能判断螺纹中径是否满足公差带的合格要求,不能确定具体尺寸。单项检验法通常是指利用量针法对外螺纹进行螺纹单一中径的测量,可以测出螺纹中径的实际大小。量针法分为三针法、单针法和双针法,下面主要介绍三针法和单针法。

### 2. 测量原理及方法

#### 1) 三针法测量

三针法是采用三根直径相当的精密圆柱形量针,结合测量工具(如游标卡尺或公法线千分尺)进行螺纹中径测量的一种方法。现取螺距  $P=6\text{ mm}$ ,牙形角  $\alpha=30^\circ$  的梯形螺纹,通过三针法测量螺纹单一中径。

(1) 根据计算公式

$$d_0 = \frac{P}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} \quad (2.5)$$

求得量针的直径  $d_0=3.1\text{ mm}$ ,如图 2.3 所示。

(2) 将三根量针放入螺纹的牙槽中,测得  $M=39.20\text{ mm}$ ,如图 2.4、图 2.5 所示。

根据三针法测量中径的计算公式

$$d_2 = M - d_0 \left( 1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) + \frac{P}{2} \cdot \cot \frac{\alpha}{2} \quad (2.6)$$

得到梯形螺纹中径  $d_2=35.319\text{ mm}$ 。

#### 2) 单针法测量

单针法测量原理跟三针法测量原理相似,螺纹中径的计算公式为

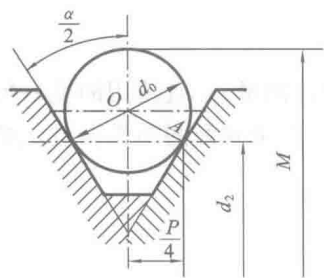


图 2.3 量针与牙槽相切

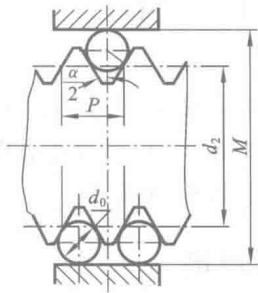


图 2.4 应用三针法测量螺纹中径

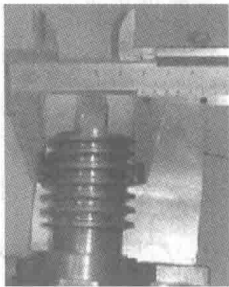


图 2.5 实测螺纹的 M 值

$$d_2 = 2M - d_0 \left( 1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) + \frac{P}{2} \cot \frac{\alpha}{2} - d \quad (2.7)$$

式中： $d$  为螺纹大径的实测尺寸。

3. 测量结果示例

实际工作中,根据不同螺纹牙型角  $\alpha$  可简化得到中径  $d_2$  的不同计算式,如表 2.1 所示。由于螺纹中径  $d_2$  有公差要求,在实际测量时往往根据中径  $d_2$  的公差,推算出  $M$  的极限尺寸,再根据  $M$  实际测量值是否在  $M$  允许的极限尺寸范围内判断螺纹是否合格。

表 2.1 用三针法测量螺纹中径

| 螺 纹 类 型                              | 标 记     | 三针直径         | 测得 M 值的计算式                | 测得中径 $d_2$ 的计算式           |
|--------------------------------------|---------|--------------|---------------------------|---------------------------|
| 米制普通螺纹、统一螺纹<br>( $\alpha=60^\circ$ ) | UN,M    | $d_0=0.577P$ | $M=d_2+3d_0-0.866P$       | $d_2=M-3d_0+0.866P$       |
| 英制惠氏螺纹、管螺纹<br>( $\alpha=55^\circ$ )  | BS,PT,G | $d_0=0.564P$ | $M=d_2+3.1657d_0-0.9605P$ | $d_2=M-3.1657d_0+0.9605P$ |
| 梯形螺纹( $\alpha=30^\circ$ )            | Tr      | $d_0=0.518P$ | $M=d_2+4.864d_0-1.866P$   | $d_2=M-4.864d_0+1.866P$   |

注:在实际工作中,如果成套的三针没有最佳值,可选用与最佳值相接近的三针来代替。

例如:已知普通螺纹 M20×2.5-6g,公称直径  $d=20$  mm,螺距  $P=2.5$  mm,中径  $d_2=18.376$  mm,中径公差  $T_{d_2}=170$   $\mu\text{m}$ ,代号 g 的基本偏差为  $-42$   $\mu\text{m}$ ,则计算可知:

$d_2$  的最大极限尺寸

$$d_{2\max} = d_2 + \text{es} = (18.376 - 0.042) \text{ mm} = 18.334 \text{ mm}$$

$d_2$  的最小极限尺寸

$$d_{2\min} = d_{2\max} - T_{d_2} = (18.334 - 0.170) \text{ mm} = 18.164 \text{ mm}$$

最佳的量针直径

$$d_0 = 0.577P = 0.577 \times 2.5 \text{ mm} = 1.4425 \text{ mm}$$

故选取  $d_0$  为 1.44 mm 的量针。

$M$  允许的最大极限尺寸为

$$\begin{aligned} M_{\max} &= d_{2\max} + 3d_0 - 0.866P = (18.334 + 3 \times 1.44 - 0.866 \times 2.5) \text{ mm} \\ &= 20.489 \text{ mm} \end{aligned}$$

$M$  允许的最小极限尺寸为

$$M_{\min} = M_{\max} - T_M = (20.489 - 0.170) \text{ mm} = 20.319 \text{ mm}$$

下面可根据实测  $M$  值判断螺纹是否合格。

#### 4. 测量结果分析

应用量针法测量螺纹中径时,能对外螺纹的中径进行较精确的测量;测量使用的量针尺寸与被测的螺纹相关;测量时须注意夹紧力的控制,过松或过紧都会产生测量的随机误差。量针法测量螺纹适合检验外螺纹,不适合检验内螺纹。

### 2.2.3 齿轮径向跳动测量

### 1. 齿轮径向跳动认知

渐开线圆柱齿轮是机器、仪器中使用最广泛的传动零件,主要用来传递运动和动力。对齿轮的使用要求可归纳为以下几个方面:① 传递运动的准确性;② 传动的平稳性;③ 载荷分布的均匀性;④ 侧隙的合理性。

因此,齿轮的综合测量应包含上述四个方面的内容。

齿轮径向跳动是指各齿间的固定弦到其旋转轴心线间距离的最大变动量,该值主要用来评定由齿轮几何偏心所引起的径向误差。齿轮径向跳动在齿轮传动中将影响齿轮传递运动的准确性,它是评价齿轮传动精度的指标之一。目前对齿轮精度的测量理论主要有基于齿轮几何形状和位置精度的几何精度理论、基于齿轮传动质量和位置精度的传动精度理论、基于齿轮形状位置精度和传动精度的整体误差理论和基于统计学的统计精度理论。按齿轮测量时序的不同,可分为离线测量、在机测量和在线测量。

## 2. 测量原理及方法

齿轮径向跳动常用的测量方法是直接测量法,需要通过齿轮径向跳动检查仪、万能测齿仪和偏摆仪等测量器具进行测量,并需要采用齿轮加装心轴以及顶尖装夹的方法。如图 2.6 所示,选择合适的测头安置在齿槽中,一般测头直径为 1.68 倍的齿轮模数。应用直接法测量时,齿轮需配置心轴,对心轴的制造精度、心轴与齿轮的安装精度及顶尖的同轴度都有很高的要求。

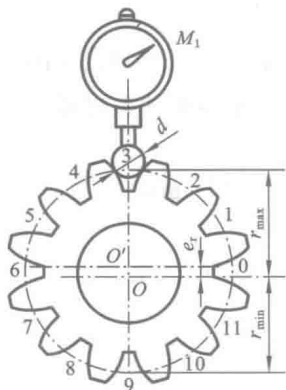


图 2.6 触头与齿廓接触

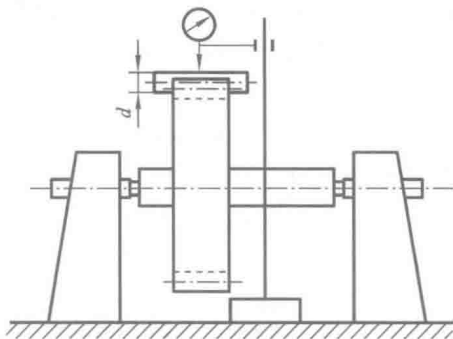


图 2.7 偏摆仪测量齿轮

图 2.7 所示为偏摆仪的外形图,主要由活动顶尖及顶尖座、偏摆仪导轨、百分表及磁性表架等组成。偏摆仪主要用于检测轴类、盘类零件的径向跳动和端面跳动,还可以用来检测齿轮径向跳动。偏摆仪的主要技术参数如下:

(1) 莫氏 2 号顶尖  $60^\circ$  锥面的径向跳动  $\leq 0.005 \text{ mm}$ ;

- (2) 顶尖轴线在 100 mm 范围内对导轨的平行度(水平、垂直方向) $\leq 0.005$  mm;
- (3) 被测零件最大直径为 270~400 mm;
- (4) 测量长度为 300 mm、500 mm、1 000 mm、1 500 mm。

### 3. 测量步骤

(1) 根据被测齿轮的模数选用合适的量针嵌入齿槽当中,或选用合适的球形测量头装入百分表测量杆的下端。

(2) 将被测齿轮和心轴装在偏摆检查仪的两顶尖上,拧紧紧固螺钉。

(3) 调整百分表,使测头与量针最高点接触,或使测量头置于齿槽中与齿廓接触。调整百分表的零位,并使其指针压缩 1~2 圈。

(4) 每测一齿,记录百分表的读数,逐齿测量一圈,并记入表 2.2 中,读取最大值  $F_{r\max}$  与最小值  $F_{r\min}$  之差  $\Delta F_r$ ,即为齿轮径向跳动测量值。

(5) 处理测量结果,并判断齿轮的质量( $\Delta F_r \leq F_r$  为合格)。

### 4. 思考题

- (1) 产生齿轮径向跳动的主要原因是什么? 它对齿轮传动有什么影响?
- (2) 为什么测量齿轮径向跳动时,要根据齿轮的不同模数选用不同直径的球形测头?

表 2.2 齿轮径向跳动测量

| 仪器        | 名 称         |                  | 测量范围/mm |                                            | 示值范围/mm | 分度值/mm                     |    |       |  |
|-----------|-------------|------------------|---------|--------------------------------------------|---------|----------------------------|----|-------|--|
|           | 偏摆仪         |                  | 1       |                                            | 10      | 0.01                       |    |       |  |
| 被测齿轮      | 编号          | 模数 $m/\text{mm}$ | 齿数 $Z$  | 压力角 $\alpha$                               | 精度等级    | 齿轮径向跳动公差 $F_r/\mu\text{m}$ |    |       |  |
|           | NO.         | 3                | 40      | $20^\circ$                                 | 9       | 56                         |    |       |  |
| 测量数据记录及结果 | 齿序          | 指示表读数            |         | 齿序                                         | 指示表读数   |                            | 齿序 | 指示表读数 |  |
|           | 1           |                  |         | 11                                         |         |                            | 21 |       |  |
|           | 2           |                  |         | 12                                         |         |                            | 22 |       |  |
|           | 3           |                  |         | 13                                         |         |                            | 23 |       |  |
|           | 4           |                  |         | 14                                         |         |                            | 24 |       |  |
|           | 5           |                  |         | 15                                         |         |                            | 25 |       |  |
|           | 6           |                  |         | 16                                         |         |                            | 26 |       |  |
|           | 7           |                  |         | 17                                         |         |                            | 27 |       |  |
|           | 8           |                  |         | 18                                         |         |                            | 28 |       |  |
|           | 9           |                  |         | 19                                         |         |                            | 29 |       |  |
|           | 10          |                  |         | 20                                         |         |                            | 30 |       |  |
|           | 齿轮径向跳动量(误差) |                  |         | $\Delta F_r = \text{最大读数} - \text{最小读数} =$ |         |                            |    |       |  |
| 结论        |             |                  |         | 理由                                         |         |                            |    |       |  |

# 项目 3 框式水平仪测量

## 任务 1 框式水平仪认知

### 1. 框式水平仪简介及工作原理

框式水平仪是测量各种机床及其他设备导轨直线度误差的常用测量器具。在框式水平仪中,主水准器安装在铸铁框架下部的大孔内,在使用之前主水准器已调整得与框架底面平行。在标准水平面上,主水准器气泡居于读数窗口中部,当水平仪倾斜放置时,气泡将发生偏移,偏移量可以从读数窗口刻线上读得,如图 3.1 所示。

水平仪的刻度值是气泡运动一格时的倾斜度,以  $\text{mm/m}$  为单位,刻度值称为读数精度或灵敏度。常见的框式水平仪的外形尺寸有  $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ 、 $250\text{ mm} \times 250\text{ mm}$ ,精度为  $0.02\text{ mm}/1000\text{ mm}$ 。若将水平仪安置在长  $1000\text{ mm}$  的平整表面上,在右端垫上  $0.02\text{ mm}$  高的垫片,水平仪倾斜,此时气泡的运动距离正好为一个刻度,如图 3.2 所示。

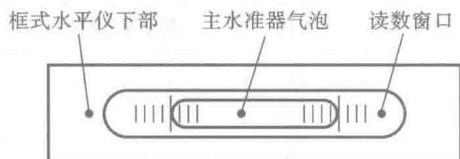


图 3.1 框式水平仪读数窗

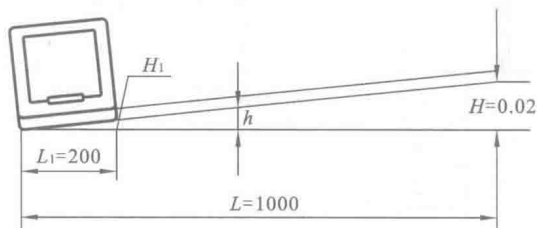


图 3.2 框式水平仪

为减少水平仪在移动过程中与导轨直接接触产生的磨损,便于导轨分段精确测量,通常水平仪放在垫铁上,垫铁的长度即为每次移动测量的距离。垫铁又称为桥尺,垫铁长度称为桥尺跨距。对于精度为  $0.02\text{ mm}/1000\text{ mm}$  的水平仪,若将其放在  $500\text{ mm}$  长的垫铁上测量机床导轨,那么水平仪的气泡每运动 1 格,就说明垫铁两端的高度差是  $0.01\text{ mm}$ 。

利用框架水平仪对导轨进行测量时,首先应调整整体导轨的水平度,即将框架水平仪置于导轨的中间和两端位置上,调整导轨的水平状态,使它的气泡在各个部位都能保持在刻度范围内,再将被测导轨分成若干等分段,每段长度应等于所选桥尺的跨距,然后将框式水平仪置于桥尺之上,其相对位置在测量中不得移动。测量时,从被测导轨一端测量到另一端,按桥尺跨距依次首尾相接,读取相对读数,然后处理测量数据,计算直线度误差值。

### 2. 框式水平仪型号及参数

框式水平仪尺寸为  $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ ,精度为  $0.02\text{ mm}/1000\text{ mm}$ ,所用桥尺跨距为  $200\text{ mm}$ 。



## 任务 2 导轨直线度测量

### 1. 导轨直线度测量原理

根据框架水平仪的使用方法进行测量,按最小条件用作图法处理测量结果,确定直线度误差。

(1) 在直角坐标系中,用横坐标代表被测导轨长度,并分成 7 等份;纵坐标表示测量结果累积值,单位为“格”,用描点法画出误差折线。

(2) 作两条平行线包容误差折线,并使折线至少有高低相间三点与平行线接触。如图 3.4 中 1 点、7 点为两高点,3 点为一低点,则此两平行直线间的区域为最小包容区域。两平行线在纵坐标方向上的距离,即为所测量导轨的直线度误差  $\Delta$ (单位:格)。

### 2. 测量步骤

(1) 将被测导轨、框式水平仪、桥尺用汽油清洗干净。

(2) 将导轨分成 7 个等分段,每段长度为桥尺跨距(200 mm)。

(3) 将框式水平仪安置在桥尺上,并一同置于被测导轨的一端,即第一测量段上。

(4) 在框式水平仪刻度线上确定一读数零点。这一零点应是气泡某一边最靠近气泡的那一条刻线,如图 3.3 中左边的第一条短刻线。在以后的测量中都以这条线为准,测取读数。

(5) 依次测量,记录各段的相对读数(注意正负号,此时正负号表示测量段上后一点相对于前一点的高低)。

(6) 将相对读数换算成累计读数,也就是把原来后点相对前点的读数换算成各点相对于起始点的读数。

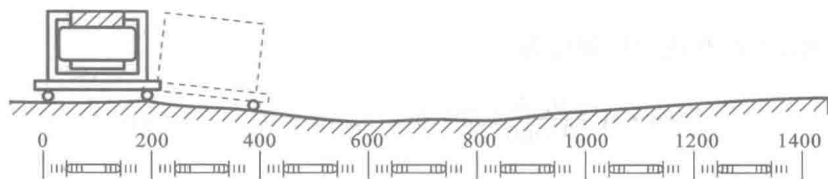


图 3.3 框式水平仪测量

### 3. 测量结果示例(表 3.1)

表 3.1 测量数据

| 测量序号   | 1 | 2  | 3  | 4    | 5    | 6    | 7    |
|--------|---|----|----|------|------|------|------|
| 相对读数/格 | 0 | -3 | -2 | +0.5 | +1.5 | +0.5 | +0.5 |
| 累计读数/格 | 0 | -3 | -5 | -4.5 | -3   | -2.5 | -2   |

### 4. 结果分析

根据测量数据确定实际直线度误差。框式水平仪刻度值为 0.02 mm/1 000 mm,它表示当桥尺跨距为 1 000 mm 时,气泡移动一格,桥尺前后两点的高度差为 0.02 mm;而在实际测量中,桥尺跨距为 200 mm,因此气泡移动一格,产生的高度差为