



全国高等院校机械类“十三五”规划系列教材



互换性与 测量技术基础

景修润 唐克岩 孙荣敏 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

全国高等院校机械类“十三五”规划系列教材

互换性与测量技术基础

主 编 景修润 唐克岩 孙荣敏
副主编 睦满仓 姜全新 刘 敏

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

理论与实践的结合,重点在于“如何结合”。关于互换性与测量技术,全国同类教材各具特色。本教材结合新的国家标准,增加了大量的生产生活案例,多个案例属于“首创首发”,希望能给读者耳目一新之感,使读者有所“悟”。

本教材共分十章,内容包括互换性与标准化、测量技术基础、尺寸的公差配合与检测、几何公差与检测、表面粗糙度与检测、圆锥和角度的公差配合与检测、尺寸链基础、光滑极限量规设计、常用结合件的公差与检测、渐开线圆柱齿轮的公差与检测等。

本教材可以作为高等院校机械类(近机械类)本、专科各专业的教学用书,也可以作为有关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术基础/景修润,唐克岩,孙荣敏主编. —武汉:华中科技大学出版社,2018.2

全国高等院校机械类“十三五”规划系列教材

ISBN 978-7-5680-3715-0

I. ①互… II. ①景… ②唐… ③孙… III. ①零部件-互换性-高等学校-教材 ②零部件-测量技术-高等学校-教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 029433 号

互换性与测量技术基础

Huhuanxing yu Celiang Jishu Jichu

景修润 唐克岩 孙荣敏 主编

策划编辑:汪 富

责任编辑:程 青

封面设计:原色设计

责任校对:张会军

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:13.75

字 数:358千字

版 次:2018年2月第1版第1次印刷

定 价:39.80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

全国高等院校机械类“十三五”规划系列教材

编委会

主任委员

吴昌林 华中科技大学

委员(排名不分先后)

王立 北京科技大学

孙石 长春工程学院

段富海 大连理工大学

董欣 东北农业大学

关丽杰 东北石油大学

蔡业彬 广东石油化工学院

张健 广东海洋大学

戴士杰 河北工业大学

黄星梅 湖南大学

刘旺玉 华南理工大学

周晓勤 吉林大学

昃向博 济南大学

迟毅林 昆明理工大学

李忠 岭南师范学院

杨萍 兰州理工大学

朱学军 宁夏大学

王世刚 齐齐哈尔大学

张传伟 西安科技大学

朱林 西安石油大学

孙文磊 新疆大学

艾超 燕山大学

费少梅 浙江大学

翟国栋 中国矿业大学

高荣 淮阴工学院

前 言

“互换性与测量技术基础”是高等院校机械类(近机械类)各专业的重要技术基础课程。它结合了标准化和计量学两个领域的相关知识,主要涉及几何公差和误差检测两方面内容,与工程图学、机械设计、机械制造、质量检测与控制等学科知识有着密切关系。机械工程技术人员和管理人员必须掌握与互换性和测量技术相关的基本知识和技能。

本教材针对机械类(近机械类)本科和专科教学,按照简明易读和实用性的原则编写。在编写过程中既注重解读基本概念、基本理论,又增加了检测技术讲解深度;为了更好地与其他专业课的内容衔接,增加了大量应用实例,以加深读者对基础理论在工程实践应用中的理解。本教材结合了机械制造及自动化、机电一体化等相关专业的课程设置和课程内容,注重与相近课程的联系,与专业和课程的改革相适应,适用于机械类(近机械类)相关专业不同层次的教学。

本教材主要特点如下:

- (1) 注重基础,突出重点,突出理论与检测实践的结合,重点结合企业生产实践;
- (2) 采用了大量实用案例和图表,以拓宽读者的知识面,有助于读者有所“悟”;
- (3) 精简课后习题,按照考试题型(填空题、选择题、判断题等)编写;
- (4) 对必要的专业术语给出了英文翻译,增加了必要的专业英语词汇;
- (5) 采用机械行业最新的技术和标准。

本教材共分 10 章,建议 40 个学时,教师可根据实际情况取舍。本教材还配套了丰富的 PPT 课件,可通过邮箱 hustp_jixie@163.com 获取,以方便教师更好地组织教学工作。

本书由多所院校从事本专业及相关专业教学的多位一线教师编写,得到了其所在院校和单位的大力支持,在此一并表示感谢!参加本书编写的有:湖北工业大学工程技术学院景修润(第 1 章、第 2 章、第 9 章),成都理工大学工程技术学院唐克岩(第 6 章、第 7 章),广西科技大学鹿山学院孙荣敏(第 3 章、第 8 章),长江大学工程技术学院眭满仓(第 10 章),荆楚理工学院姜全新(第 4 章),华夏理工学院刘敏(第 5 章)。全书由景修润统稿。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中难免存在错漏之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2017 年 12 月

目 录

第 1 章 互换性与标准化	(1)
1.1 互换性	(1)
1.2 公差与检测	(2)
1.3 标准与标准化	(3)
习题一	(5)
第 2 章 测量技术基础	(7)
2.1 测量	(7)
2.2 计量单位与量值传递	(9)
2.3 测量方法与测量器具	(12)
2.4 测量误差	(15)
2.5 测量误差的处理	(19)
习题二	(22)
第 3 章 尺寸的公差、配合及检测	(23)
3.1 基本概念	(23)
3.2 尺寸的公差与配合国家标准	(28)
3.3 尺寸公差与配合的选用	(37)
3.4 尺寸的检测	(42)
习题三	(50)
第 4 章 几何公差与检测	(52)
4.1 基本概念	(52)
4.2 形状公差与误差	(61)
4.3 方向、位置、跳动公差与误差	(66)
4.4 公原则	(74)
4.5 几何公差的选用	(83)
4.6 几何误差的检测	(93)
习题四	(95)
第 5 章 表面粗糙度与检测	(98)
5.1 基本概念	(98)
5.2 表面粗糙度的评定	(99)
5.3 粗糙度轮廓参数的选择和表面结构的标注	(104)
5.4 表面粗糙度轮廓的检测	(109)
习题五	(111)
第 6 章 圆锥和角度的公差、配合与检测	(112)
6.1 圆锥的配合	(112)

6.2 圆锥的公差及其应用	(117)
6.3 角度公差	(124)
6.4 锥度与角度的检测	(126)
习题六	(128)
第7章 尺寸链	(129)
7.1 基本概念	(129)
7.2 尺寸链的建立与分析	(131)
7.3 完全互换法解尺寸链	(133)
7.4 大数互换法解尺寸链	(139)
7.5 装配尺寸链的解法	(142)
习题七	(146)
第8章 光滑极限量规的设计	(148)
8.1 光滑极限量规概述	(148)
8.2 量规的设计原则	(149)
8.3 量规的设计	(151)
习题八	(154)
第9章 常用结合件的公差与检测	(155)
9.1 普通螺纹联接的公差与检测	(155)
9.2 滚动轴承的公差与配合	(166)
9.3 单键和花键的公差配合与检测	(174)
习题九	(184)
第10章 渐开线圆柱齿轮的公差及检测	(186)
10.1 齿轮传动的基本要求	(186)
10.2 影响渐开线圆柱齿轮精度的因素	(186)
10.3 渐开线圆柱齿轮精度的评定参数与检测	(189)
10.4 渐开线圆柱齿轮精度的国家标准及应用	(193)
10.5 齿轮副的精度及检测指标选择	(202)
10.6 齿轮新旧国家标准对照	(207)
习题十	(211)
参考文献	(212)

第1章 互换性与标准化



1.1 互 换 性

1. 互换性及其意义

在日常生产生活中,经常使用可以相互替换的零部件。例如我们使用的圆珠笔替芯、手机电池;汽车、自行车、手表等机器或仪表的零件坏了,只要换一个相同规格的新零件即可。同一规格的零部件,不需要任何挑选、调整或修配,就能装配到机器上去,并且符合使用性能要求,这种特性就叫互换性(interchangeability)。

互换性给产品的设计、制造和使用维修都带来了很大的方便。

在设计方面:按互换性进行设计,就可以最大限度地采用标准件、通用件、同一结构要素件,大大减少计算、绘图等工作量,还可以采用模块化设计、计算机辅助设计,直接调用图库或模块图纸,从而缩短设计周期,并有利于产品品种的多样化。

在制造方面:互换性有利于组织大规模专业化生产,有利于采用先进工艺和高效率的专用设备并使用计算机辅助制造,有利于实现加工和装配过程的机械化、自动化,从而减轻工人的劳动强度,提高生产率,保证产品质量,降低生产成本。国内很多汽车厂不生产发动机,而采用其他品牌发动机进行配套,只需进行适当的调校即可。

在使用方面:零部件具有互换性,可以及时更换那些已经磨损或损坏了的零部件,减少机器的维修时间和费用,减少停线、停产时间,提高设备的利用率。我国古代的雕版印刷是一个伟大的创造,但印一种书就得雕一回版,费时费力,无法迅速、大量地印刷书籍,一旦这部书不再重印,或者雕版中某一个字损坏,那个雕版就完全没用了。毕昇发明的活字印刷术,以胶泥活字代替整个雕版,一个字为一个印,字印的互换性大大提高,从而提高了印刷效率。

总之,互换性对缩短产品设计周期,保证产品质量,提高生产效率,降低制造成本,增加经济效益具有重大的意义。它不仅适用于大批量生产,即使是单件小批生产,也常常采用已标准化了的具有互换性的零部件。显然,互换性已成为现代制造业中一个普遍遵守的技术经济原则。

2. 互换性的分类

(1) 按决定的参数不同,可分为几何参数互换和功能互换。

几何参数互换是指零部件的尺寸、形状、位置、表面粗糙度等几何参数具有互换性。零部件的几何参数、力学性能以及物理化学性能等参数都具有互换性,称为功能互换。机械零部件一般需要满足功能互换的要求,本课程重点介绍几何参数的互换性。

(2) 按互换程度,可分为完全互换与不完全互换。

若一批零部件在装配时不需分组、挑选、调整 and 修配,装配后即能满足使用性能要求,这些零部件就具有完全互换性。有些工厂招收残疾人(如盲人)从事零部件的装配工作,就是因为零部件具有完全互换性。大型汽车厂在产量上升时,会临时招收短期合同工,他们进行必要的培训后,即可从事装配工作,说明汽车零部件的互换性很好。

分组互换法是装配工艺中经常采用的一种装配方法。当装配精度要求较高时,采用完全互换法将提高零部件制造精度要求,使加工困难、成本增加。这时可适当降低零部件的制造精度,即将公差放大,使之便于加工,在零部件加工完成后,通过测量将零部件按实际尺寸的大小分为若干组,分组进行装配,这样既可保证装配的精度,又能解决加工难的问题。例如,在发动机的活塞销和销孔的装配中,有 $0.5 \sim 5.5 \mu\text{m}$ 的过盈量,若采用完全互换法进行装配,活塞销和销孔的公差分别为 $2.5 \mu\text{m}$,这会给机械加工造成极大的困难,也不经济。但是,实际生产中采用分组装配法,将二者的公差分别放大到 $10 \mu\text{m}$,然后,分别测量活塞销和销孔,再分组,按照“大孔配大轴、小孔配小轴”的方法装配,既保证了装配精度,又大大降低了制造成本。仅同一组内零部件具有完全互换性,组与组之间不能互换的零部件具有不完全互换性。

调整与修配互换是指装配时需要挑选、调整或修配零部件,才能使之达到装配的精度要求,属于不完全互换。

(3) 按部位或者范围,可分为内互换和外互换。

内互换是指零部件内部组成零件之间的互换性。例如,滚动轴承内、外圈滚道表面与滚珠(滚柱)表面间的装配互换性。这种内互换常常采用不完全互换。

外互换是指零部件与相配件间的互换性。例如,滚动轴承内圈与轴、外圈与轴承座孔的配合。这种外互换往往要求完全互换。

完全互换有利于提高生产效率,但是会使成本上升。在使用要求与制造水平、经济效益没有矛盾时,可采用完全互换;反之采用不完全互换。零部件或者整车装配生产的自动化程度越高,对零部件的互换性要求越高,对装配工人的技能要求越低。

1.2 公差与检测

1. 误差与公差

由于设备精度有限,在测量工具、测量方法、加工与检测环境、检测人员等多方面因素的影响下,零件在制造完成后,最终的检测结果与真实值之间总会存在一定的差异,这种不可避免的差异就是误差。把同一规格的一批零件的几何参数做得完全一致既不可能,也没有必要。只要把几何参数的误差控制在一定的范围内,就能满足互换性的要求。

零件几何参数误差的允许范围叫作公差(tolerance)。它包括尺寸公差、几何公差和角度公差等。

2. 检测与质量

检测(measurement)包含检验与测量。零件加工完成后是否满足公差要求,要通过检测加以判断。几何量的检验是指确定零件的几何参数是否在规定的上下极限值范围内,并做出合格性判断,而不必得出被测量的具体数值;测量是“用数据说话”,是将被测量与标准计量单位的量进行比较,以确定被测量的具体数值的过程。

优良质量的产品是不是靠检测出来的呢? GB/T 19000—2016 标准中质量的定义是:客体的一组固有特性满足要求的程度。检测不仅用来评定产品质量,而且用于产品质量管控,以便及时调整生产,控制工艺过程,预防废品产生。因此,产品质量的提高,除设计和制造精度的提高外,往往更有赖于检测精度的提高。质量问题不仅仅是质量管理部门和质检人员的责任,也不仅仅是设计、制造哪一个部门的责任,而是需要全面的质量管理,质量控制存在于产品设

计、制造、销售等各个环节、各个阶段,需要全过程、全员、全社会的参与。

3. 实现互换的条件

零件设计时给定合理的精度(尺寸公差、几何公差、表面粗糙度等),制造时严格按照设计精度制造,质量检测时进行科学检测,是保证产品质量、实现互换性生产的必要条件和手段。

1.3 标准与标准化

全球经济一体化使得零部件可以实现全球范围内的采购。在满足互换性的前提条件下,成本越低、质量越好的产品,越有竞争优势。这为现代化企业实现多品种、大规模的生产分工和协作创造了必要的条件。为使社会生产有序地进行,必须通过标准化使产品的规格、品种简化,使分散的、局部的生产环节相互协调和统一。可见标准化是实现互换性的前提。通常,一流的“龙头”企业非常注重起草并贯彻标准(行业称为“贯标”)。

1. 标准

标准(standard)是对重复性事物和概念所做的统一规定,它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础,经有关方面协商一致,由主管机构批准,以特定形式发布,作为共同遵守的准则和依据。

我国于1988年通过的《中华人民共和国标准化法》中规定,国家标准和行业标准分为强制性标准和推荐性标准两大类。少量的有关食品药品、产品生产储运、环境保护、通用的试验检验方法、制图与互换配合、国家需要控制的重要产品质量之类的标准属于强制性标准,国家强制性标准代号为GB。国家将用法律、行政和经济等各种手段来维护强制性标准的实施。大量的标准(80%以上)属于推荐性标准,推荐性标准也应积极采用,推荐性标准的代号为GB/T。自1998年起国家还启用了GB/Z这一代号,它表示“国家标准化指导性技术文件”。

标准按不同的级别颁发。我国技术标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。对于其法律效力,法律规定国家鼓励企业自愿采用。按照《中华人民共和国标准化法》(2017年版)第十二条规定,对于某一技术要求,没有国家标准(GB)方可制定行业标准,如机械标准(代号为JB)等,没有国家标准和行业标准方可制定地方标准(代号为DB)。关于该技术要求的国家标准公布之后原行业标准即行废止,关于该技术要求的国家标准或者行业标准公布之后原地方标准即行废止。而企业标准(代号为QB)的制定见于两种情况,一是在没有国家标准、行业标准和地方标准的情况下应当制定;二是已有国家标准、行业标准或地方标准的,可以制定严于国家标准、行业标准或地方标准的企业标准,在企业内部适用。另根据国务院《中华人民共和国标准化法实施条例》第三十二条,企业未按规定制定标准或未按规定要求将产品标准上报备案的(即通常所说的“无标生产”)都要承担法律责任。可见,国家标准要求不一定高于企业或者地方标准。

在国际上,为了促进世界各国在技术上的统一,成立了国际标准化组织(简称ISO)和国际电工委员会(简称IEC),由这两个组织负责制定和颁发国际标准。我国于1978年恢复参加ISO组织后,陆续修订了我国的标准。修订的原则是,在立足我国生产实际的基础上向ISO靠拢,以利于促进我国在国际上的技术交流和产品贸易。

2. 标准化

标准化(standardization)是技术工作的一部分内容,是联系设计、生产和管理的纽带,是指在经济、技术、科学及管理等社会实践中,对重复性事物和概念通过制定、发布和实施标准,达

到统一,以获得最佳秩序和社会效益的全部活动过程。

标准化是组织现代化生产的重要手段,是实现互换性的必要前提,是国家制造业现代化水平的重要标志之一。它对社会进步和科学技术发展起着巨大的推动作用。

产品设计过程中,标准化会签是一项很重要的工作。在工程图纸标题栏里需要签名的栏目中一般含有“设计”“校对”“工艺(会签)”“标准化”“审核”“批准”等栏目。其中,标准化技术管理人员的图纸会签工作是产品设计中的重要环节,通过图纸的标准化会签,不仅可以采用新的国家标准,采用互换性更好的标准件,还可以减少重复设计,以降低成本,提高效益。

3. 优先数和优先数系标准

合理选用优先数是实现标准化的有效途径。在机械设计中,需要确定很多参数,而这些参数往往不是孤立的,一旦选定其中的一个参数,这个数值就会按照一定规律,影响一切有关的参数。例如,螺栓的尺寸一旦确定,将会影响螺母的尺寸、丝锥和板牙的尺寸、螺栓底孔的尺寸以及加工螺栓底孔的麻花钻头的尺寸等。

为使产品的参数选择能遵守统一的规律,国家标准 GB/T 321—2005《优先数和优先数系》对各种技术参数的数值做了统一规定。

GB/T 321—2005《优先数和优先数系》中,规定了五个系列,它们是十进制等比数列的优先数系,分别用系列符号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示,其中,前四个系列为基本系列,R80 为补充系列,仅用于分级很细或基本系列中的优先数不能适应实际情况的特殊场合。各系列的公比为

R5 的公比: $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$; R10 的公比: $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$;
R20 的公比: $q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$; R40 的公比: $q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$;
R80 的公比: $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$ 。

优先数系的五个系列中任一个项的值都是优先数。按公比计算得到的优先数的理论值,除 10 的整数幂外,都是无理数,工程技术上不能直接应用。实际应用的都是经过圆整后的近似值。根据圆整的精确程度,可分为计算值和常用值。

- (1) 计算值取五位有效数字,供精确计算用。
- (2) 常用值即经常使用的、通常所称的优先数,取三位有效数字。

表 1.1 中列出了 1~10 范围内基本系列的常用值和计算值。将表中所列优先数乘以 10, 100, …, 或乘以 0.1, 0.01, …, 即可得到所有大于 10 或小于 1 的优先数。

表 1.1 优先数系的基本系列(摘自 GB/T 321—2005)

基本系列(常用值)				计算值	基本系列(常用值)				计算值
R5	R10	R20	R40		R5	R10	R20	R40	
1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000				3.35	3.3497
			1.06	1.0593			3.55	3.55	3.5481
		1.12	1.12	1.1220				3.75	3.7584
			1.18	1.1885	4.00	4.00	4.00	4.00	3.9811
	1.25	1.25	1.25	1.2589				4.25	4.2170
			1.32	1.3335			4.50	4.50	4.4668
		1.40	1.40	1.4125				4.75	4.7315
			1.50	1.4962		5.00	5.00	5.00	5.0119

续表

基本系列(常用值)				计算值	基本系列(常用值)				计算值			
R5	R10	R20	R40		R5	R10	R20	R40				
1.60	1.60	1.60	1.60	1.5849					5.30	5.3088		
				1.70	1.6788					5.60	5.6234	
				1.80	1.80	1.7783					6.00	5.9566
				1.90	1.8836	6.30	6.30	6.30	6.30	6.3096		
		2.00	2.00	2.00	1.9953					6.70	6.6834	
					2.12	2.1135					7.10	7.0795
			2.24	2.24	2.2387					7.50	7.4989	
					2.36	2.3714	8.00	8.00	8.00	8.00	7.9433	
			2.50	2.50	2.50	2.5119					8.50	8.4140
						2.65	2.6607					9.00
					2.80	2.8184					9.50	9.4406
					3.00	2.9854	10.00	10.00	10.00	10.00	10.0000	
			3.15	3.15	3.15	3.1623						

派生系列:允许从基本系列和补充系列中隔项取值组成派生系列。如在 R10 系列中每隔两项取值得到 R10/3 系列,即 1.00,2.00,4.00,8.00,⋯,它即是常用的倍数系列。还可以灵活地从基本系列中跨系列隔行取值组成新的系列。

机械工程中常见的量值,如长度、直径、容积、转速及功率等的分级,基本上都是按一定的优先数系进行的,换句话说,在这些量值中总是能找到优先数系的“影子”。本课程涉及的公差尺寸分段、标准公差精度分级及表面粗糙度的参数系列等,基本上都采用优先数系。

例 1.1 机床主轴转速为 200,250,315,400,500,630,⋯,单位为 r/min,问该列数据属于哪种系列? 公比为多少?

解 (1) 由于优先数系中,首项均为 1,将上述数列每项除以 200,得到新的数列:1,1.25,1.575,2,2.5,3.15,⋯;

(2) 查表 1.1 可知,该新数列为基本系列 R10,公比为 $\sqrt[10]{10}$ 。所以机床主轴的转速所列数据属于基本系列 R10,公比为 $\sqrt[10]{10}$ 。

【本章主要内容及学习要求】

互换性作为一根主线贯穿于本书的所有章节。本章的重点是互换性的概念和意义,以及互换性、公差、测量技术和标准化之间的关系。读者应了解 GB/T 321—2005《优先数和优先数系》的有关规定,了解《中华人民共和国标准化法》的相关内容。

习 题 一

- 1-1 完全互换与不完全互换有何区别? 各用于何种场合?
- 1-2 按标准颁发的级别分,我国标准有哪几种?

1-3 互换性的前提条件是什么?

1-4 下面三组数据属于哪种系列? 公比 q 为多少?

(1) 电动机转速有: 375, 750, 1500, 3000, ..., 单位为 r/min。

(2) 汽油发动机的排量有: 1.1, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.3 等, 单位为 L。

(3) 白炽灯泡的功率有: 15, 25, 30, 60, 100, 300, 1000 等, 单位为 W。

第2章 测量技术基础



2.1 测量

1. 测量与质量波动

测量(measurement)是零部件制造完成后对其质量进行把关的重要环节,是对零部件设计时给定的合理的精度(尺寸与尺寸公差、几何公差、表面粗糙度等)用数据进行确认的过程,并以此来判定该零部件是否符合图纸技术要求和能否实现互换性。

机械制造过程中,一个完整的测量过程主要包括以下4个要素。

(1) 测量对象:技术测量的主要对象是几何量,包括长度、宽度、角度、表面粗糙度、几何误差以及零件的特定参数(如硬度、抗拉强度等力学性能参数)等。

(2) 测量单位:机械制造中常用的长度单位为毫米(mm)。在机械工程图纸上以毫米(mm)为单位的量可省略不写。

(3) 测量方法:测量时采用的测量原理、测量器具以及测量条件等。

(4) 测量精度:测量结果与真值的符合程度。

由于测量影响因素的不稳定性,测量结果与真值之间总有差别,这个差别就是测量误差。换句话说,误差的产生是因为产品质量是波动的。造成产品质量波动的原因主要有5大因素,即人、机(机器、设备、工装)、料(材料)、法(方法)、环(环境)这5大因素。人的影响因素是排在第一位的,尤其在测量过程中,测量者即人的主观因素是一个不可忽略的因素,在其他测量条件相同的情况下,不同的人得到的测量结果往往会有很大差别。

2. 测量的技术要求

测量的实质是将被测的几何量 X 与作为计量单位或者标准的量 E 进行比较,从而确定二者比值 q 的过程,即

$$q = \frac{X}{E} \quad \text{或} \quad X = qE \quad (2.1)$$

测量是生产是实现零部件的互换性不可或缺的环节。对测量技术的基本要求是:使用统一的计量标准,采用正确的测量方法和合理地运用测量工具,将测量误差控制在允许的范围,达到必要的测量精确度。此外,应积极采用先进的测量工具和方法,提高检测效率,降低成本,提高经济效益。

3. 测量技术中的基本原则

适当掌握一些测量原则,可以提高测量结果的精确度和可靠性。

(1) 基准统一原则。测量基准与设计基准、工艺基准、装配基准应尽可能保持一致,这样可以避免基准转换带来的误差。例如,某人在同一台仪器上测量身高,一次穿着鞋,一次光着脚,两次测量出来的结果肯定不一致,其原因就是两次测量不是同一个测量基准。

(2) 最小变形原则。测量过程中要求被测工件与测量器具之间的相对变形最小。测量过程中,主要是要尽量避免或者减少热胀冷缩带来的误差。

(3) 最短测量链原则。测量时应尽量减少测量链的组成环节,减少累积误差。例如要测量 10 m 的距离,应尽可能选用长度大于 10 m 的测量工具;如果没有这样的工具,那么一般要求测量链不超过 4 个环节,即选用长度大于 $10/4\text{ m}=2.5\text{ m}$ 的测量工具。

(4) 阿贝原则。又称阿贝测长原则,1890 年由恩斯特·阿贝(Ernst Abbe)提出,其要求是:将测量线(标准长度量)安放在被测线(被测长度量)的延长线上,即二者串联布置。在设计测量器具和测量工件时,阿贝原则都具有重要的指导意义。例如,千分尺的设计是符合阿贝原则的,而游标卡尺的设计却不符合阿贝原则。如图 2.1 所示,(a)为千分尺,(b)为游标卡尺,假设千分尺的螺旋测微杆轴线与被测线的偏斜角度为 θ (弧度),而游标卡尺的活动测量爪倾斜角度也为 θ (弧度),两者测量误差分析见表 2.1。假定 $S=X'=20\text{ mm}$, $\theta=0.0003\text{ rad}$,则 $\delta_1=X'\theta^2/2=9\times 10^{-4}\text{ }\mu\text{m}$,而 $\delta_2=S\theta=6\text{ }\mu\text{m}$ 。显然,千分尺的测量误差更小,精度更高。

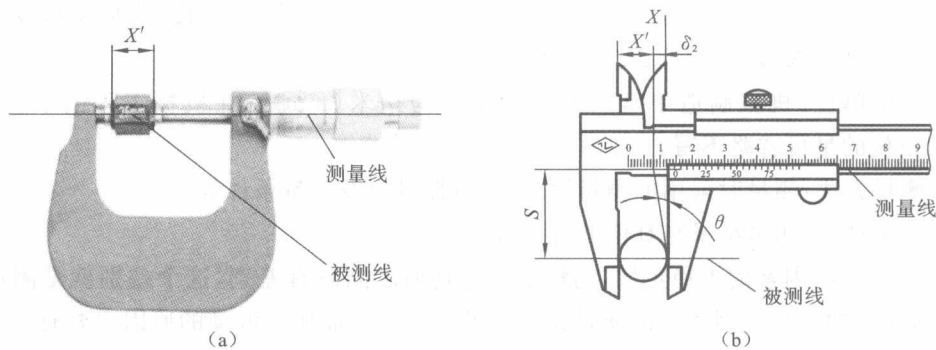


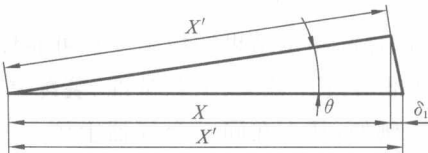
图 2.1 千分尺和游标卡尺测量比较

(a) 千分尺测长度;(b) 游标卡尺测直径

(5) 闭合原则。以测量 n 边形棱体角度为例,其棱体内角之和为 $(n-2)\times 180^\circ$,测量时内角会出现各个大小不同的值,但是按照闭合原则,最后的累积误差为零。

(6) 重复原则。多次重复测量,不仅可以防止出现粗大误差,还可以判断测量的客观条件是否稳定。

表 2.1 千分尺与游标卡尺测量误差比较

	千 分 尺	游 标 卡 尺
设计是否符合“阿贝原则”	是	否
测量时测量线与被测线	在一条直线上	不在一条直线上
测量误差 δ	$\delta_1=X'(1-\cos\theta)$, 其中, X' 为实际值。 当 $\theta\rightarrow 0$ 时, $(1-\cos\theta)\approx\theta^2/2$, 即 $\delta_1=X'\theta^2/2$ 	$\delta_2=X-X'=S\tan\theta$ 其中, X 为理论值, X' 为实际值。 当 $\theta\rightarrow 0$ 时, $\tan\theta\approx\theta$, $\delta_2=S\theta$

2.2 计量单位与量值传递

1. 长度计量单位与量值传递系统

1) 长度计量单位

所谓计量单位是用来量度同类量大小的一个标准量,机械中常用的计量单位包括长度计量单位和角度计量单位。1984年国务院发布了《国务院关于在我国统一实行法定计量单位的命令》,并发布了《中华人民共和国法定计量单位》,其中规定长度的基本单位为米(m)。机械设计及制造过程中常用的单位为毫米(mm);精密测量时,多采用微米(μm)为单位;超精密测量时,则用纳米(nm)为单位。其换算关系是:

$$1\text{ m}=10^3\text{ mm}=10^6\text{ }\mu\text{m}=10^9\text{ nm}$$

1791年,法国最初定义米:以通过巴黎的地球子午线的四千万分之一为1 m。1889年,第一届国际计量大会上规定,采用热胀系数小的铂铱合金制成具有刻线的基准尺,作为国际米原器保存在巴黎。但是,由于金属内部的不稳定性,以及外部环境的影响,国际米原器的可靠性并不理想,而且各国要定期将基准米尺送往巴黎与国际米原器进行校对,很不方便。1960年,第十一届国际计量大会决定采用光波波长作为长度单位的基准,并通过了米的定义,1 m是氪 $86(^{86}\text{Kr})$ 原子 2P_{10} 与 5d_5 能级之间跃迁辐射在真空中波长的1 650 763.73 倍的长度。1983年,第十七届国际计量大会正式通过了米的新定义,米是光在真空中 $1/299\,792\,458\text{ s}$ 时间间隔内所经路径的长度。

1985年,我国采用自行研制的碘吸收稳定的 $0.633\text{ }\mu\text{m}$ 氦氖激光辐射波长,复现了国家长度基准——米。

2) 长度量值传递系统

采用光的行程作为长度基准,提高了测量精度,而且稳定可靠。但是,在实际生产制造及科研活动中,使用这么高精度的长度基准成本太高,也没有必要。所以,要把长度的基准量值准确地传递到生产中所使用的测量器具和被测量的工件上去,就必须建立一套完整的长度量值传递系统(quantity transmission system)。我国从组织上,自国家计量局到地方企业计量局(处、科室),已经建立起各级计量管理机构,负责其管辖范围内的计量工作和量值传递工作。在技术上,从国家波长基准开始,长度量值分两个平行的系统向下传递:一个是端面量具(量块)系统;另一个是刻线量具(线纹尺)系统。其中量块传递系统的应用十分广泛。长度量值传递系统如图2.2所示。

2. 量块

1) 量块长度

量块是没有刻度的、截面为矩形的平面平行的端面量具。量块用特殊合金钢制成,具有线胀系数小、不易变形、硬度高、耐磨性好、工作面表面粗糙度小以及研合性好等特点。量块除了作为传递长度尺寸的实物基准外,还用于测量器具(如游标卡尺、高度尺、千分尺等)的检定和校准,用于精密设备的调整、精密划线和精密工件的测量等。

量块通常制成长方形六面体,它有两个相互平行的测量面和四个非测量面。测量面的表面非常光滑平整,具有研合性,两个测量面间具有精确的尺寸。量块上标的尺寸称为量块的标

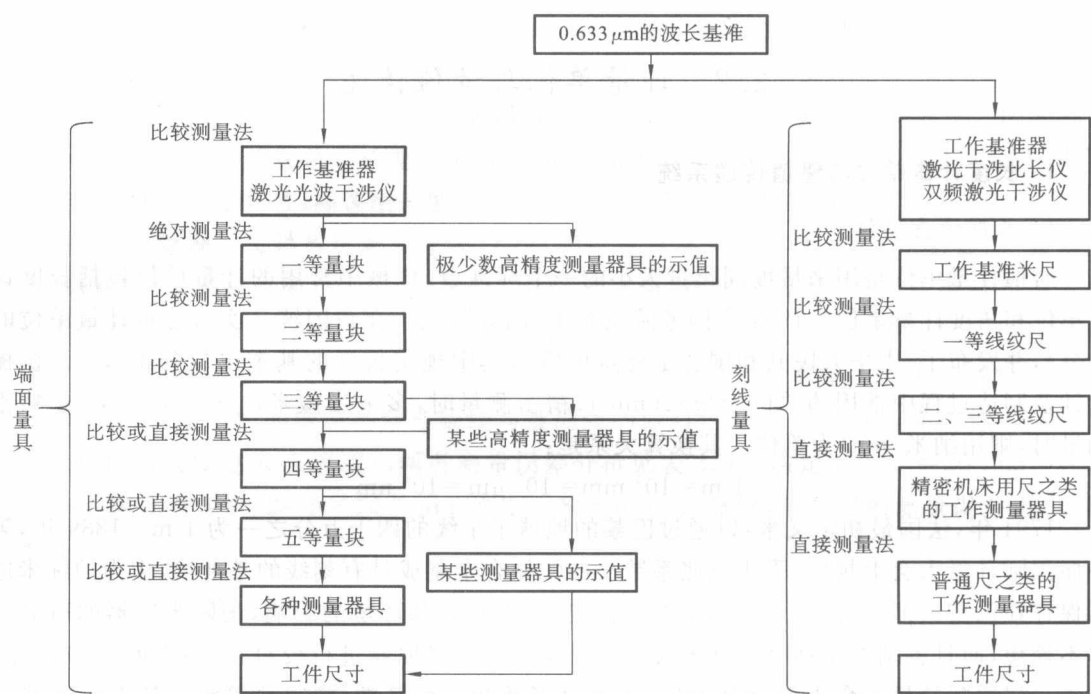


图 2.2 长度量值传递系统

称长度 l_n 。 $l_n < 6 \text{ mm}$ 的量块可在测量面上作长度标记， $l_n > 6 \text{ mm}$ 的量块，有数字的平面的右侧面为上测量面。如图 2.3 所示，从量块一个测量面上任意一点（边缘去锐角部分除外）到另一个平行面的垂直距离称为量块长度 L_i ，从量块一个测量面上中心点到另一个平行面的垂直距离称为量块中心长度 L 。

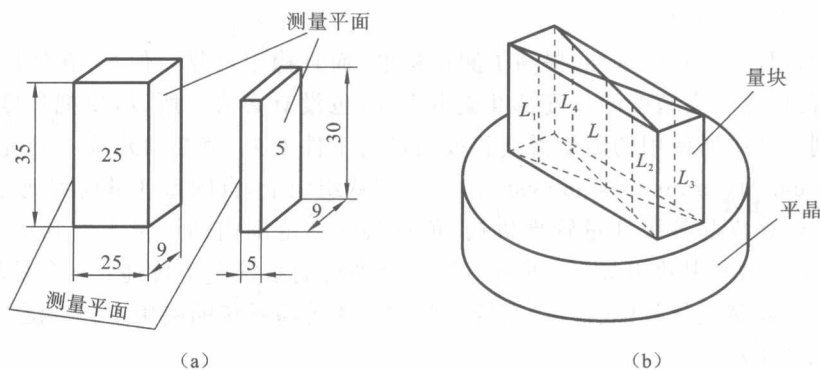


图 2.3 长度量块

2) 量块的“级”和“等”

为了满足不同的使用场合对量块精度的要求，将量块做成不同的精度等级。划分量块精度有两种规定：按“级”划分和按“等”划分。GB/T 6093—2001 按制造精度将量块分为 0、1、2、3 和 K 级，共五级，其中 0 级精度最高，3 级精度最低，K 级为校准级。量块按级使用时，以量块的标称长度 l_n 为工作尺寸，该尺寸包含了量块的制造误差，它们将被带入测量结果中，但因不需要加修正值，故使用比较方便。

国家计量标准 JJG 146—2011《量块》按检定精度将量块分为 1~5 等，精度依次降低。量