

普通高等教育智能制造系列教材

# 智能检测技术 与应用

孙福英 赵元 杨玉芳 / 主编

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等教育智能制造系列教材

# 智能检测技术与应用

主 编 孙福英 赵 元 杨玉芳  
副主编 刘业峰 刘 洋 张丽娜  
参 编 李 超 鲍君善 李进冬  
主 审 李康举 公丕国

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书分为4个模块,系统地介绍了智能测量及测量技术的基础知识、测量机在线检测、三坐标测量技术与三坐标激光扫描的应用。检测设备的基础操作,包括检测设备的维护保养、检测设备的操作、操纵盒的使用、测头的校验、测量工件坐标系的建立;工件测量元素的方法,包括几何元素的测量方法、几何尺寸的测量方法、几何公差的测量、数模测量、迭代方法建立坐标系;激光扫描的应用及逆向设计基础,包括激光扫描测头的应用、激光扫描测头的主要特点、激光扫描测头的操作流程和 Geomagic studio 基本操作及基本流程。本书结合实例讲解测量的全部过程,并且采用项目、任务驱动式,方便进行项目教学,以实例操作,掌握应用技术,以技能训练,适于实训教学。

本书可作为应用型本科、高职高专机制、机电、智能制造、车辆工程等相关专业的教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

智能检测技术与应用 / 孙福英, 赵元, 杨玉芳主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2020. 6

ISBN 978-7-5682-8501-8

I. ①智… II. ①孙… ②赵… ③杨… III. ①自动检测系统-新技术应用 IV. ①TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 089603 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14.25

字 数 / 335 千字

版 次 / 2020 年 6 月第 1 版 2020 年 6 月第 1 次印刷

定 价 / 46.00 元

责任编辑 / 江 立

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 刘亚男

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

“智能检测技术与应用”是一门实用性和操作性较强的理实一体化课程。随着教育改革的深入，教学内容需要及时调整与更新，教学方法需要进一步提升。特别是该课程涉及标准化领域和计量学领域，更应将最新的国家标准和先进的智能检测技术及时地传授给学生。同时，教学中应针对创新型人才培养的需要，引入模块化结构体系，采用项目引入方式，调动学生学习的积极性和主动性，实现以教师为主导、以学生为中心的教学方法。

智能检测技术与应用在数字化工厂与车间总控、机器人、智能设备完美结合，主要解决了工厂、车间和自动生产线及产品制造领域实现的智能转化，完成了从手动方式到自动方式的优化蜕变。智能检测技术与应用是数字化工厂中智能输出数据的重要组合要素。

本书以模块-项目-任务式的结构组织全书内容，以项目为引领、以任务为驱动，配备相关的理论知识来构成项目化教学模块，从而优化教材内容。学生能够通过智能检测技术的学习，了解检测设备的测量原理、组成、特点及操作流程，掌握 PC-DMIS 软件的应用及测量机的使用方法，掌握零件坐标系的建立，掌握批量程序测量的先进测量技术。学生可以通过计算机控制窗口进行操作，使三坐标测量机与总控、机器人、单元总控进行联机，实现智能检测。通过“做中学、学中做、边学边做”来实施任务，实现理论知识与技能训练的统一，突出实践动手能力的培养，重视知识、能力、素质的协调发展。各项目的任务设置了“任务导入”“知识链接”“任务实施”和“知识拓展”环节，相关环节步步紧扣，高效地实施工作任务。本书贯彻最新的国家标准和行业标准，在引入相关精密测量仪器内容介绍的同时，项目内容也尽可能体现新知识、新方法、新工艺、新技术的应用，强调实用性、典型性和规范性。

本书的相关操作均取自现场实际操作，以图文并茂的方式呈现，步骤与图形一一对应，便于学生的自学与操作练习；同时，在编写结构上，模块之间相互独立，具有一定的灵活性，便于在教学过程中有针对性地进行训练。

本书可作为普通高等院校、高等职业技术学院和成人高等教育等层次智能制造、机电类或相关专业的教学用书，也可供从事生产、科研工作的工程技术人员参考。

本书的编写分工如下：模块一由沈阳工学院孙福英，沈阳机床股份有限公司李超编写；模块二由沈阳工学院赵元、杨玉芳，沈阳新松机器人自动化股份有限公司鲍君善编写；模块三由沈阳工学院孙福英、刘洋、张丽娜编写；模块四由沈阳工学院刘业峰、孙福英，沈阳机床股份有限公司李进冬编写。

本书书稿承沈阳机床股份有限公司刘春时，沈阳新松机器人自动化股份有限公司王健，东北大学巩亚东教授，沈阳工学院李康举教授、公丕国教授精心审阅，他们提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，欢迎读者提出宝贵建议。

编 者  
2020 年 1 月

## 模块一 测量技术的相关知识

项目一 机械测量基础认知	(3)
任务一 机械测量技术的基本认知	(3)
任务二 常用测量单位及其换算	(9)
任务三 测量基准和量值传递	(10)
项目二 测量误差分析与数据处理	(14)
任务一 测量误差与测量精度	(14)
任务二 测量误差的合成及最小二乘法的应用	(18)
任务三 测量误差的处理与等精度测量列的数据处理	(22)

## 模块二 测量机的在线检测

项目一 智能检测技术与控制技术基础	(33)
任务一 智能检测与智能控制的认知	(33)
任务二 智能检测与控制技术的应用	(38)
项目二 智能检测技术应用——在线三坐标自动测量系统	(46)
任务 智能检测与智能控制的认知	(46)

## 模块三 三坐标测量技术技能训练项目

项目一 轴承端盖的测量	(53)
任务一 三坐标测量机的简介	(53)
任务二 三坐标测量机的准备工作	(64)
任务三 轴承端盖中测头的选择和校验	(67)
任务四 轴承端盖几何特征的手动测量	(78)
任务五 轴承端盖的实际测量	(83)
项目二 箱体的智能测量	(88)
任务一 测头的选择和校验	(88)
任务二 几何特征的测量	(89)

任务三 建立零件坐标系	(101)
任务四 箱体的实际测量	(111)
<b>项目三 叶轮的智能测量</b>	(116)
任务一 叶轮测头的选择和校验	(116)
任务二 CAD 辅助测量	(117)
任务三 迭代法建立坐标系	(120)
任务四 坐标测量的尺寸误差评价及报告输出	(126)
任务五 叶轮的實際測量	(145)
<b>项目四 智能测量综合训练</b>	(152)
任务一 三坐标测量机测量前的规范操作	(153)
任务二 三坐标测量机测头的校验	(155)
任务三 零件坐标系的建立	(159)
任务四 测量件的测量	(163)
任务五 坐标测量的尺寸误差评价及报告输出	(170)

#### 模块四 三坐标激光扫描测头的应用及逆向设计基础

<b>项目一 激光扫描测头测量</b>	(179)
任务一 激光扫描测头的应用及主要特点	(179)
任务二 激光扫描测头的操作流程	(181)
<b>项目二 Geomagic Studio 基本操作</b>	(188)
任务一 Geomagic Studio 软件界面的认识	(188)
任务二 Geomagic Studio 逆向建模的基本流程	(200)
任务三 Geomagic Studio 阶段处理的基本操作	(202)
<b>项目三 典型零件的实际操作</b>	(211)
任务 汽车倒后镜的实际操作	(211)
<b>参考文献</b>	(221)

# 模块一



## 测量技术的相关知识





## 项目一

# 机械测量基础认知



### 项目目标

- 了解机械产品质量检验的主要内容；
- 了解测量的定义及测量的种类；
- 掌握常用测量单位及其换算；
- 掌握标准量块的使用及查表方法。



### 任务列表

学习任务	知识点
任务一 机械测量技术的基本认知	测量的定义及机械产品的质量检验
任务二 常用测量单位及其换算	常用测量单位及其换算
任务三 测量基准和量值传递	量值传递的标准；标准量块的使用及查表方法

## 任务一 机械测量技术的基本认知



### 任务导入

机械测量技术是机械行业检验产品质量的重要手段。因此，了解测量的基本概念、标准量块的等级分类，掌握测量方法尤为重要。如图 1-1-1 为多种计量器具。

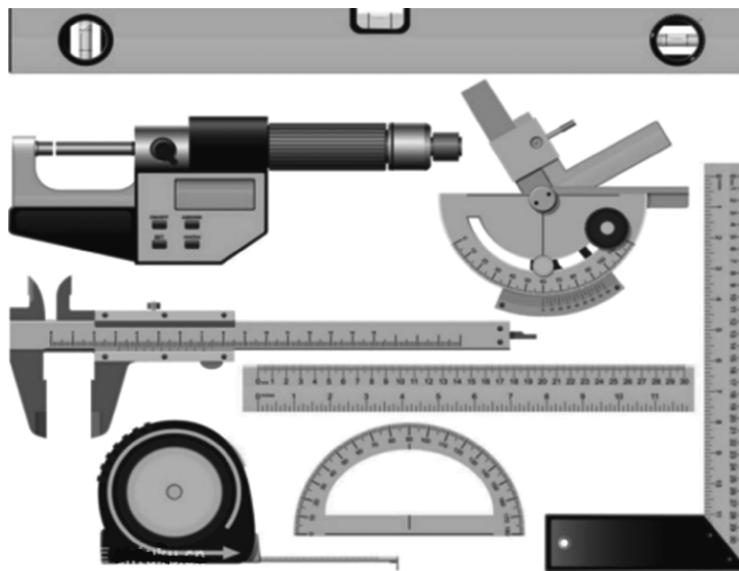


图 1-1-1 多种计量器具

**知识链接**

1. 测量的定义

判断产品是否满足设计的几何精度要求，通常有以下几种方式。

1) 测量

测量就是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。在这一过程中，将被测对象与标准量进行比较，并以被测量与单位量的比值及其准确度表达测量结果。例如，用游标卡尺测量轴径，就是将被测量对象（轴的直径）用特定测量方法（游标卡尺）与长度单位（毫米）相比较。若其比值为 30.62，且准确度为  $\pm 0.03 \text{ mm}$ ，则测量结果可表达为  $(30.62 \pm 0.03) \text{ mm}$ 。测量四要素及其定义如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 测量四要素及其定义

测量要素	定义
测量对象	主要指需要测量的几何量，包括长度、角度、表面粗糙度以及形位误差等
计量对象	用以度量同类量值的标准量。在长度计量中，单位为米 (m)；在机械制造中，常用单位为毫米 (mm)；在智能精密测量中，常用单位为微米 ( $\mu\text{m}$ )；在角度测量中，常用单位为度、分、秒
测量方法	是指在进行测量时所采用的测量原理、测量器具和测量条件的总和。根据被测对象的特点，如精度、大小、轻重、材质、数量等来确定所用的计量器具
测量精度	是指测量结果与真值的一致程度。测量过程中不可避免地会出现测量误差，误差大说明测量结果离真值远，精确度低

## 2) 测试

测试是指具有试验性质的测量，也可理解为试验和测量的全过程。

## 3) 检验

检验是判断被测物理量是否在规定范围内的过程，一般来说，就是确定产品是否满足设计要求，即判断产品是否合格的过程，通常不要求测出具体数值。几何量检验即确定零件的实际几何参数是否在规定的极限范围内，并作出合格与否的判断过程。因此，检验也可理解为不要求知道具体数值的测量。

## 4) 计量

计量是为实现测量单位的统一和量值的准确可靠而进行的测量。

## 2. 机械产品的质量检验

机械产品是工业产品的基础，其产品的用途极为广泛，涉及钢铁、机电、交通、运输、电工、电子、轻工、食品、石化、能源、采矿、冶炼、建筑、环保、医药、卫生、航空、海洋、军工、农业等各个领域。如图 1-1-2 为机械检测的过程。

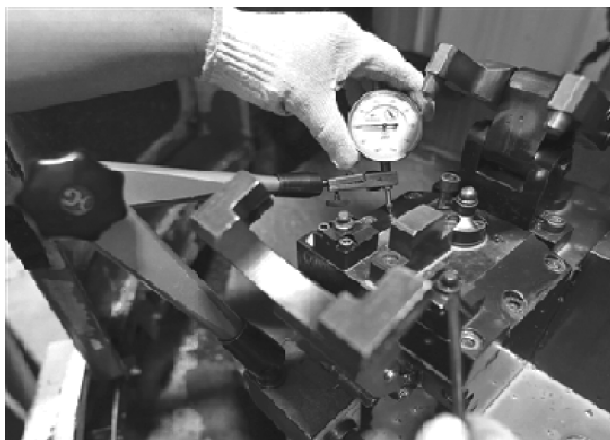


图 1-1-2 机械检测的过程

### 1) 机械产品质量检验的基本认知

机械产品无论其尺寸、形状、结构如何变化，它都是由若干分散的、不具有独立使用功能的制造单元（零件），或具有某种或某项局部功能的组件（部件），或具有综合性能的组装整体（整机）组成的。机械产品的用途千差万别，其结构性能也不尽相同。因此，在进行机械产品质量检验时，不但要对机械产品整机的综合性能进行评定，还必须对每个零件金属材料的化学成分（金属元素含量及非金属夹杂物含量）、显微组织以及材料（金属和非金属）的力学性能、尺寸、形状、位置和表面粗糙度等进行质量检验与测量。

### 2) 机械产品质量检验的主要内容

机械产品的质量检验担负着生产过程中的特殊职能，它的任务是不但要挑出不良品，还应该对不良品产生的原因进行分析，寻找改进方案，采取预防措施，从根本上保证产品质量。质量检验包括宣传产品的质量标准和产品制造质量的度量，比较度量结果与质量标准的符合程度，作出符合性的判断，合格品的安排（转工序、入库），不良品的处理（返

修、报废)，数据记录（为产品质量的统计分析提供依据），数据整理和分析，以及提出预防不良品的方案，供决策者参考。

### 3) 机械产品质量检验的分类

机械产品的质量检验贯穿了整个机械产品的生产过程（从原材料进厂到制造过程中的各种工序，最后到出厂）。企业根据自身的具体情况设置检验机构，形成一个工作系统，采取各种方法进行质量检验。当生产条件和检验目的不同时，其检验方法也不相同，根据不同的分类方法，检验可分为以下几种。

(1) 按检验工作性质分类有：尺寸精度检验、外观质量检验、几何形状检验、位置精度检验、性能检验、可靠性检验、重复性检验、分析性检验。

(2) 按工艺过程分类有：进厂检验、工序检验、入库检验。

(3) 按检验地点分类有：定点检验和流动检验。

(4) 按检验性质分类有：破坏性检验和非破坏性检验。

(5) 按检验数量分类有：全数检验和抽样检验。

(6) 按预防性检验分类有：首件检验、统计检验和频数检验。

(7) 按人员责任分类有：自检、互检、专检。

### 4) 机械产品质量检验的基本步骤

机械产品质量检验的基本步骤如图 1-1-3 所示。

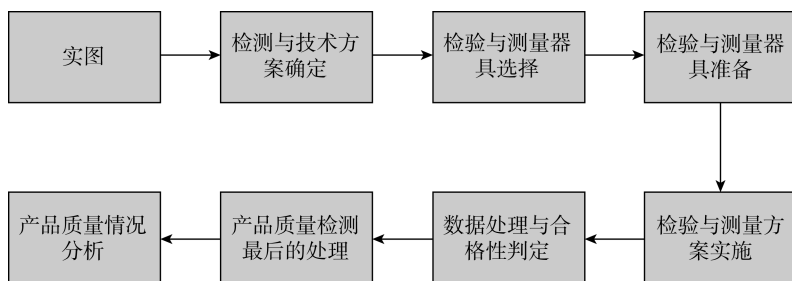


图 1-1-3 机械产品质量检验的基本步骤

### 5) 机械产品质量检验的相关制度

机械产品在生产过程中的三检制度如下。

(1) 自检：由操作者对自己加工的产品按工艺文件要求进行检验并记录。

(2) 互检：由工序组长或班长、工段长等，对自己管辖的生产工人加工的产品，是否符合工艺文件要求进行的检验；也可由班组长组织同工序人员检验对方加工的产品。

(3) 专检：由企业质检部门的检验员完成，凡自检或互检不合格的产品不得交验，经检验不合格的产品标识或隔离。未经检验不合格的产品不得转工序或入库，凡转工序或入库的产品必须有检验人员签章的合格证明，凡没有检验合格的产品下道工序或库房保管应拒绝接收。

### 3. 测量方法的分类

测量方法是指在进行测量时所用的，按类别叙述的一组操作逻辑次序。按照不同的分类方法，测量方法可分为多种类型。测量方法的分类及其含义如表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 测量方法的分类及其含义

分类方法	测量方法	含 义	说 明
按实际测量是否 为被测量划分	直接测量	直接测量是指直接从计量器具上获得被测量量值的测量方法	测量精度只与测量过程有关，如用游标卡尺测量轴的直径、用千分尺测量外尺寸等
	间接测量	间接测量是指通过直接测量与被测参数有已知关系的其他量而得到该被测量量值的测量方法	测量精度不仅取决于有关参数的测量精度，且与所依据的计算公式有关
	绝对测量	绝对测量是指被计量器具显示数值，即被测几何量的量值，如用测长仪测量零件，其尺寸由刻度尺直接读出	如用游标卡尺、千分尺、测长仪等测量轴径
	相对测量	相对测量也称比较测量，是指计量器具指示出被测几何量相对于已知标准量的偏差，测量结果为已知标准量与该偏差值的代数和	相对测量不能直接读出被测数值的大小，在实际测量工作中也称比较法或微差法，如用量块比较仪测量直径
按零件上被测量参数的多少划分	单项测量	单项测量是指分别测量工件各个参数的测量方法	如分析在加工过程中造成不良品的原因或者分别测量螺纹的中径、螺距和牙型半角
	综合测量	综合测量是指将被测零件的实际外轮廓与标准外轮廓相比较，同时对影响被测量零件质量的几个参数进行测量	综合测量能全面评定零件各个参数的综合误差，如用投影仪检验零件轮廓；用螺纹极限量规检验螺纹；用双啮仪来评定齿轮质量等
按被测工件表面与量仪之间是否有机械作用的测量力划分	接触测量	接触测量是指将量具或量仪的触端直接与被测零件表面相接触得到测量结果的方法	如用内径表测量孔径、外径千分尺测量圆柱体
	非接触测量	非接触测量是指量具或量仪测头与被测零件表面不直接接触，而是通过其他介质（光、气流等）与零件接触得到测量结果	如用光切显微镜测量零件表面粗糙度，即在投影仪上将放大的零件轮廓图像与标准的图形相比较

续表

分类方法	测量方法	含 义	说 明
按被测量是否在加工过程中划分	在线测量	在线测量是指零件在加工过程中进行的测量	测量结果直接用来控制零件的加工过程，能及时防止和消灭废品，主要应用在自动生产线上
	离线测量	离线测量是指零件在加工完成后到检验站进行的测量	测量结果仅限于发现并剔出废品
按被测量或零件在测量过程中所处的状态划分	静态测量	测量时，被测表面与测量头是相对静止的，没有相对运动	如用千分尺测量零件的直径
	动态测量	测量时，被测表面与测量器具的测量头之间有相对运动，反映被测参数的变化过程	如用激光丝杆动态检查仪测量丝杆、用激光干涉比长仪测量线纹尺的精度
按决定测量结果的全部因素或条件是否改变划分	等精度测量	等精度测量是指决定测量精度的全部因素或条件都不变的测量，如使用同一计量器具、同一测量方法，对同一被测几何量所进行的测量	一般情况下都采用等精度测量
	不等精度测量	不等精度测量是指在测量过程中，有一部分或全部因素（或条件）发生改变	只运用于重要科研实验中的高精度测量

## 任务实施

- 解释下列名词：
  - 测量；
  - 检验；
  - 计量。
- 分析讨论下列问题：
  - 请简述测量四要素的主要内容。
  - 机械产品质量检验的基本步骤有哪些？

## 知识拓展

思考并讨论手动机械测量和智能机械测量有哪些优缺点？根据 i5 智能工厂谈谈你对测量的认知。

## 任务二 常用测量单位及其换算

### 任务导入

在测量几何量时，必须有统一的长度计量单位。因此，在实际测量中必须采用国际单位制，米（m）为长度的基本单位。

### 知识链接

我国国务院于1984年发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，决定在采用国际单位制的基础上，我国计量单位一律采用《中华人民共和国法定计量单位》中规定的单位，其中将米（m）作为长度的基本单位，同时使用米的十进制倍数和分数的单位。在超精密测量中，长度计量单位采用纳米（nm）。米（m）、毫米（mm）、微米（ $\mu\text{m}$ ）、纳米（nm）间的换算关系如下：

$$1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}; 1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}; 1 \text{ nm} = 10^{-3} \mu\text{m}$$

机械制造中常用的角的度量单位是度（ $^{\circ}$ ）、分（'）、秒（"）和弧度（rad）。用度作单位来测量角的制度称为角度制。若将整个圆周分为360等分，则每一等分弧所对的圆心角的角度即为 $1^{\circ}$ ；圆周一周所对的圆心角为 $360^{\circ}$ 。度、分、秒的关系采用60进制制，即 $1^{\circ} = 60'$ ， $1' = 60''$ 。用弧度作单位来测量角的制度称为弧度制。与半径等长的弧所对的圆心角的弧度即为1 rad。圆周所对的圆心角为 $2\pi \text{ rad}$ ，约等于6.283 2 rad。 $1 \mu\text{rad} = 10^{-6} \text{ rad}$ 。角度和弧度的换算关系如下：

$$1^{\circ} = 0.017\ 453 \text{ rad}; 1 \text{ rad} = 57.295\ 764^{\circ}$$

在生产实际工作中，我们常会遇到英制长度单位的零件，如管子直径以英寸（in）作为基本单位，它与法定长度的换算关系是 $1 \text{ in} = 0.025\ 4 \text{ m} = 25.4 \text{ mm}$ 。

我国的市制长度单位是（市）里、丈、尺、分，如 $1 \text{ 里} = 150 \text{ 丈}$ ， $1 \text{ 丈} = 10 \text{ 尺}$ ， $1 \text{ 尺} = 10 \text{ 寸}$ ， $1 \text{ 寸} = 10 \text{ 分}$ 。我国现行法定计量单位是国际制单位，市制单位已不再使用，此处只作了解。

### 任务实施

我国计量单位一律采用什么来作为长度计量单位？以什么作为基本单位？说出其换算关系。

## 任务三 测量基准和量值传递

### 任务导入

国际上统一以米作为长度基准。在实际应用中，为了保证量值统一，必须把长度基准的量值准确传递到生产中应用的计量器具和被测工件上。

### 知识链接

#### 1. 长度基准与量值传递

国际上统一使用的公制长度基准是在1983年第17届国际计量大会上通过的，长度基准为米。米的定义：光于真空中在 $1/299\,792\,458\text{ s}$ 的时间间隔内所行进的距离。为了保证长度测量的精度，还需要建立准确的量值传递系统。鉴于激光稳频技术的发展，一般用激光波长作为波长标准来复现“米”。

在实际应用中，不能直接将光波作为长度基准，长度基准的量值传递系统如图1-1-4所示。

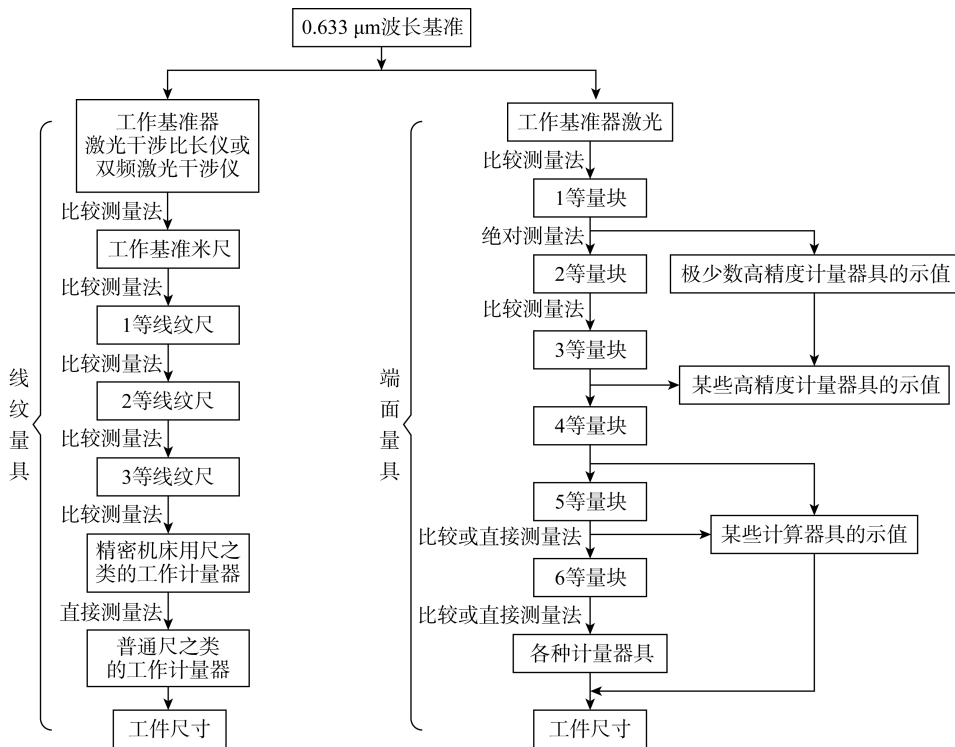


图 1-1-4 长度基准的量值传递系统