

长度计量测试丛书

表面粗糙度测量

翟靖圣 编著



中国计量出版社

长度计量测试丛书

第十一分册

表面粗糙度测量

翟绪圣 编著

长度计量测试丛书编委会审订

中国计量出版社

内 容 提 要

本书是《长度计量测试丛书》第十一分册。主要介绍表面粗糙度的基本概念、评定参数及其检测方法，同时介绍几种常用的检测仪器的调整使用方法以及测量误差分析。

本书共分六章，主要内容是：表面粗糙度的基本概念；光切法测量表面粗糙度；干涉法测量表面粗糙度；针描法测量表面粗糙度；表面波纹度及其测量；新技术在表面粗糙度测量中的应用等。可供中等以上文化程度的 在职计量测试人员、工程技术人员、计量管理干部、科研工作者以及大专院校有关专业师生参考。

长度计量测试丛书第十一分册

表面粗糙度测量

朱桂兰 编著

长度计量测试丛书编委会审订

责任编辑 朱桂兰

—*

中国计量出版社出版

北京和平里11区7号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—*

开本 787×1092/32 印张 0.6 字数 200 千字

1989年1月第1版 1989年1月第1次印刷

印数 1—15 000

ISBN 7-5026-0191-0/TB·166

定价 4.60 元

前 言

长度计量测试丛书是根据计量出版社关于按学科分类组编丛书的总体计划，由中国计量测试学会几何量专业委员会配合计量出版社组织编写的。

党的十二大提出：到本世纪末力争使全国工农业的年总产值翻两番。为实现此宏伟目标，必须发展机械工业，因为机械工业是国民经济的装备部，应该适当超前。而标准化和计量测试仪器与技术测量是机械工业发展的基础和先决条件，因此必须更超前于机械工业。在计量测试学科领域中，长度的计量测试是重要的一个方面。随着机械产品愈益向精密方向发展，介绍长度计量测试方面的知识、科研成果及经验，以便为机械工业未来的发展打好基础、积蓄力量、创造条件，实为当务之急。这就是组织这套丛书的目的。

翻两番，振兴经济，必须依靠科学技术的进步。科学技术需要大量学有专长的专业人材去掌握。目前我国计量测试领域内很多职工缺乏必要的科学知识和操作技能，熟练工人和科学技术人员严重不足。为适应未来经济发展的需要，现在必须立即着手培养计量专业的人才，提高现有计量测试人员的科学技术水平。近年来更有大批青年新同志参加工作，他们是发展计量测试科学技术的重要力量，迫切需要系统地学习一些计量基础知识，以便结合工作实践更快地提高技术水平，促进计量科学技术的进步。这套丛书主要是针对这部分人员编写的。当然也可作为计量测试短训班的教材或参考资料，并可供大专院校师生及有关工程技术人员和科研工作

者参考。

丛书比较全面地将长度计量测试领域中所涉及的基础理论、基本知识和实用技术等进行了深入浅出的阐述，重点放在计量测试技术的实际运用方面，同时也简要地对有关技术的发展动向作些介绍。

整套丛书共有二十个分册，每一分册独立论述一个专题。为照顾系统性和便于读者学习，有些内容在不同的分册中有些重复，但侧重点各不相同，这样就把丛书的系统性和分册的独立性统一起来，读者可根据自己的需要选择学习。

本丛书在组编过程中，得到计量出版社的全面支持，还得到有关计量部门、大专院校、科研机构、工矿企业和广大计量工作者的支持和关心，我们在此深表谢意。

限于我们的经验和水平，这套丛书可能存在不少缺点和错误，我们衷心欢迎广大读者给予批评指正。

长度计量测试丛书编委会
一九八三年元月十六日

长度计量测试丛书编委会

主 编： 梁晋文

副主编： 许金钊 徐孝恩

编 委： （按姓氏笔划排列）

王 钺 铮 许金钊 朱桂兰

刘瑞清 何 贡 陈林才

李继楨 李隆铸 庚以深

林洪桦 费业泰 徐孝恩

黄生耀 黄福芸 梁晋文

目 录

第一章 表面粗糙度的基本概念	(1)
一、零件的几何精度	(1)
(一) 尺寸精度	(1)
(二) 形状精度	(1)
(三) 位置精度	(2)
二、表面粗糙度对零、部件使用性能的影响	(3)
(一) 对摩擦磨损的影响	(3)
(二) 对机器和仪器工作精度的影响	(4)
(三) 对配合性质的影响	(4)
(四) 对零件强度的影响	(5)
(五) 对抗腐蚀性的影响	(5)
三、表面粗糙度的评定基准	(5)
(一) 中线制 (<i>M</i> 制)	(6)
(二) 包络线制 (<i>E</i> 制)	(8)
(三) 取样长度 l	(8)
(四) 评定长度 l_n	(8)
四、表面粗糙度的评定参数	(9)
(一) 与微观不平度高度有关的参数	(10)
(二) 与微观不平度间距有关的参数	(14)
(三) 与微观不平度形状有关的参数	(16)
(四) 其它参数	(20)
(五) 各评定参数之间的关系	(24)
五、表面粗糙度国家标准的特点和应用分析	(27)
(一) GB 8505—83《表面粗糙度 术语 表面及其参数》	(27)
(二) GB 1031—83《表面粗糙度 参数及其数值》	(28)
(三) GB 131—83《机械制图 表面粗糙度代号及其 标注》	(34)

六、表面粗糙度测量方法分类	(38)
(一) 与粗糙度标准样板进行比较的比较法	(38)
(二) 在某一区域内作定量综合检验	(40)
(三) 在某一截面内作定量检验	(41)
七、表面粗糙度测量的基本原则	(42)
(一) 测量方向	(42)
(二) 测量部位	(44)
(三) 表面缺陷	(44)
第二章 光切法测量表面粗糙度	(45)
一、光切法原理	(45)
二、光切显微镜原理	(48)
三、光切显微镜的光学系统	(50)
(一) 光切显微镜的鉴别率与测量范围	(53)
(二) 物镜的放大倍率	(56)
(三) 弯曲狭缝光栏的作用	(57)
(四) 平行玻璃板	(58)
四、光切显微镜的结构原理	(59)
(一) 壳体	(61)
(二) 测微目镜头	(61)
(三) 升降微动机构	(62)
五、光切显微镜的调整与使用	(62)
(一) 光切显微镜的调整	(62)
(二) 物镜放大倍数的标定	(66)
(三) 仪器常数 C 的确定	(68)
六、表面粗糙度的测量和评定	(71)
(一) 微观不平度高度参数的测量和计算	(71)
(二) 微观不平度间距参数的测量和计算	(78)
七、照相法评定表面粗糙度	(80)
(一) 照相操作方法	(80)
(二) 照相法评定表面粗糙度	(81)
八、几种常见表面粗糙度的测量	(82)
(一) 圆柱表面粗糙度的测量	(82)

(二) 圆锥表面粗糙度的测量	(83)
(三) 球形表面粗糙度的测量	(88)
九、测量误差的分析与计算	(84)
第三章 干涉法测量表面粗糙度	(91)
一、光波干涉原理	(91)
二、干涉显微镜工作原理与结构	(95)
(一) 干涉显微镜工作原理	(95)
(二) 干涉显微镜的结构	(103)
三、干涉显微镜的调整与使用	(114)
(一) 干涉条纹的调整	(114)
(二) 干涉条纹清晰度的调整	(116)
(三) 狭缝目镜头的使用	(123)
四、用干涉显微镜测量表面粗糙度	(129)
(一) 光波波长值的取用	(130)
(二) 测微目镜的对线法	(131)
(三) 测量干涉条纹的宽度	(131)
(四) 测量微观不平度	(132)
(五) 用目视估计法测量表面微观不平度	(134)
(六) 照相法测量表面粗糙度	(135)
(七) 几种常见表面粗糙度的测量	(135)
五、干涉显微镜的精度分析	(140)
(一) 干涉滤光片波长值的影响	(140)
(二) 数值孔径的影响	(140)
(三) 物镜鉴别率的影响	(142)
(四) 测微目镜的机构误差	(144)
(五) 瞄准误差	(144)
第四章 针描法测量表面粗糙度	(147)
一、针描法原理	(147)
二、电动轮廓仪的工作原理与分类	(153)
(一) 电动轮廓仪工作原理	(153)
(二) 电动轮廓仪的分类	(154)
三、电感式轮廓仪	(158)

(一) 主要结构	(156)
(二) 电路简介	(160)
(三) 仪器的操作与使用	(178)
四、其他形式轮廓仪	(179)
(一) 泰勒塞夫 3 型轮廓仪	(179)
(二) BCJ-2 型轮廓仪	(184)
(三) 感应式轮廓仪	(188)
(四) 压电式轮廓仪	(191)
(五) 泰勒塞夫 5 型轮廓仪	(194)
五、用轮廓仪测量表面粗糙度的步骤	(196)
(一) 准备工作	(196)
(二) 测量 R_a 值的方法	(197)
(三) 测量 R_z 值的方法	(202)
(四) 测量计算 S_m 和 S 的方法	(202)
(五) 测量 R_y 值的方法	(208)
(六) 轮廓支承长度率 t_p 的测量	(208)
(七) 几种形状表面粗糙度的测量	(208)
第五章 表面波紋度及其測量	(213)
一、表面波紋度的概念	(213)
二、表面波紋度与粗糙度及形状误差的分离	(214)
(一) 液圆式滤波	(214)
(二) 电气截止式滤波	(220)
(三) 几何滤波法	(222)
三、表面波紋度的评定参数	(222)
(一) 幅值参数	(223)
(二) 间距参数	(226)
(三) 综合参数	(227)
四、表面波紋度的測量	(228)
(一) 平面波紋度的測量	(228)
(二) 圓形表面波紋度的測量	(232)
(三) 齿輪螺旋綫波紋度誤差的測量	(237)
第六章 新技术在表面粗糙度測量中的应用	(241)

一、激光散斑技术在表面粗糙度测量中的应用	(241)
(一) 激光散斑	(242)
(二) 测量表面粗糙度的激光散斑技术	(245)
二、全息干涉技术在表面粗糙度测量中的应用	(267)
三、电子光学技术在表面粗糙度测量中的应用	(269)
四、光外差干涉法测量表面粗糙度	(275)
五、用计算机辅助测量表面粗糙度	(276)

第一章 表面粗糙度的基本概念

任何机器或仪器都是由若干相互关联的零件与部件装配组合而成的，因而各个零件自身的精度最终都影响着整台机器或仪器的精度。这里所说的零件的精度包括几何参数、机械性能以及物理、化学性能等方面的功能。表面粗糙度是几何精度的一种。

一、零件的几何精度

零件在切削加工过程中，由于机床—刀具—夹具—工件所组成的工艺系统存在着不可避免的各种误差，如在切削过程中刀具会产生大量的切削热，刀具与工件之间的摩擦，以及整个工艺系统因切削可能产生振动等等原因，都会影响零件的几何精度。

零件的几何精度主要包括以下几个方面：

（一）尺寸精度

完工零件的实际尺寸与设计时给定的基本尺寸之差称为实际偏差。当实际尺寸在允许的尺寸变动范围之内，该零件就可以保证质量。其允许的尺寸变动量称为尺寸公差。故公差是对零件尺寸精度要求的数值量度。

（二）形状精度

零件是由几何特征的一些基本要素——点、线、面等所构成的形体。形体的理想要素是指几何学意义上的要素，而实际要素是加工零件通过测量反映出来的真实要素的情况。实际形状对理想形状的变动量就是形状误差；所允许的变动

全量就可以作为衡量其形状精度的指标。

形状误差可以分成三类，如图 1—1 所示。

(1) 宏观几何形状误差：即通常所说的形状误差。其衡量指标有直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度、面轮廓度等（图 1—1(a)）。

(2) 微观几何形状误差：是指加工表面上所具有的较小间距和微小峰谷不平度这种微观几何形状的尺寸特征，通常称为表面粗糙度〔图 1—1(b)〕^(*)。

(3) 表面波纹度：是介于宏观和微观几何形状误差之间的一种表面形状误差。通常情况下，它使表面形成明显的周期性波纹状，其波峰与波长值较大〔图 1—1(c)〕。

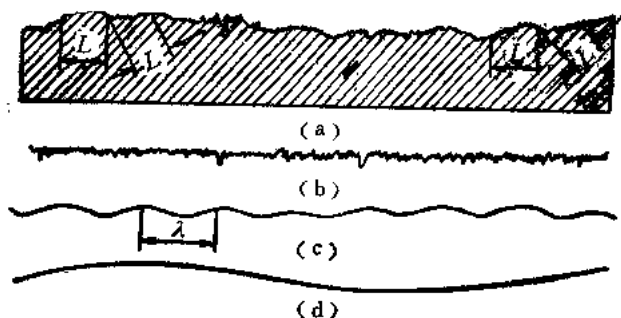


图 1—1

(三) 位置精度

位置精度是指相互关联的各形体之间的实际位置对其理想位置的变动情况。允许的变动全量为位置公差。其衡量指标有平行度、垂直度、倾斜度、同轴度、对称度、位置度、

^(*)表面粗糙度 (Surface Roughness)，我国过去习惯称为“表面光洁度”。它是指表面微观不平度的程度，较确切地反映了微观几何形状的概念。今后，可将“表面光洁度”理解为“表面粗糙度”的反义词。不能理解为表面光滑、光亮、洁净的程度。

跳动等。

为控制零件的尺寸精度及宏观几何形状和位置精度，我国制定了公差与配合（GB 1800~1804—79）和形状和位置公差（GB 1182~1184—80，GB 1958—80）等国家标准。至于零件表面波纹度方面，目前只有原机械工业部颁布的指导性文件（JB/Z 168—81）；对于零件表面粗糙度则颁布了表面粗糙度国家标准（GB 1031—83、GB 3505—83 和 GB 131—83）。

本书只介绍有关表面粗糙度的基本概念及有关的测量方法和测量仪器。

二、表面粗糙度对零、部件 使用性能的影响

表面粗糙度这种微观的几何形状误差，主要是由切削过程中刀具在工件表面上留下的刀痕而产生的。此外，它还受积屑瘤的产生和脱落、切削时金属的塑性变形以及加工过程各方面振动的影响。

表面微观几何形状误差的大小及其形状特征，对机器或仪器零件的使用性能有很大影响。

（一）对摩擦磨损的影响

两个相互接触的物体在外力作用下发生相对运动时，在接触面间产生切向的运动阻力 f ，叫做摩擦阻力。这种现象叫做摩擦。

通过大量的实验，发现摩擦阻力 f 与表面粗糙度之间存在

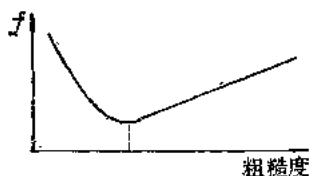


图 1—2

在着一定的关系,如图 1—2 所示。随着表面粗糙度值的逐渐减小,摩擦系数最初是减小的,然后又逐渐增大,中间有一个最小值^[34]。

表面粗糙度直接影响零、部件的摩擦与磨损。

据统计,世界上大约有三分之一的能源消耗在摩擦上;大约有 80% 坏损零件是由于磨损报废的。如果适当减小零件的表面粗糙度,即可以减小摩擦系数,从而提高工作机械的效率,减小零件的磨损,延长机器使用寿命。因而,研究对摩擦、磨损有着重要影响的表面粗糙度,其作用十分重要。但是,当零件表面过于“光洁”时,不利于润滑油的贮存,反而使两工作表面间的摩擦系数加大,加剧磨损。故应选择一定数值的表面粗糙度,使摩擦与磨损接近最小值(如图 1—2 所示)。

(二) 对机器和仪器工作精度的影响

零件表面粗糙不平,使摩擦系数增大,磨损也加大,这样不仅降低了机器或仪器零、部件运动的灵活性,而且不能长期保持原有精度。同时,由于粗糙表面的实际有效接触面积小,在相同的载荷下,接触表面的单位面积压力增大,导致零件表面层的变形加大,即表面层的接触刚度变差,这也影响机器或仪器的工作精度。

(三) 对配合性质的影响

对间隙配合而言,粗糙表面易于磨损,使其间隙很快加大,破坏了原来配合的性质。特别是在尺寸小、公差小、精度高的情况下,表面粗糙度对配合性质的影响则更大。

对过盈配合,表面粗糙度会减小实际有效过盈,降低连接强度,偏离了原有过盈配合性质。例如:直径为 180 mm 的轮轴为过盈配合,根据实测及实验,微观凸峰最大高度为 36.5 μm 时,虽比微观凸峰的最大高度为 18 μm 时的配合增

加了 15% 的过盈量，但其连接强度反而降低了 45~50%^[54]。

所以，减小表面粗糙程度，可以提高间隙配合性质的稳定性和过盈配合的连接强度。

(四) 对零件强度的影响

零件表面越粗糙，则应力集中现象越严重，特别是在交变载荷作用下，影响更大，零件很容易因此而遭到破坏。减小表面粗糙度，特别是减小零件在沟槽或圆角处的表面粗糙度，可以提高零件的疲劳强度，零件尺寸可相对地设计得小一些，从而减轻了零件的重量。

(五) 对抗腐蚀性的影响

零件表面越粗糙，则积聚在表面上的腐蚀性气体或液体也越多，通过表面微观不平度的凹谷处形成的原电池效应，由零件的表层向内部渗透，使腐蚀加剧。减小表面粗糙度则可以增强零件抗腐蚀的能力。

表面粗糙度是评定表面质量的重要指标，它不仅影响着零件的耐磨性、强度和耐腐蚀性，也影响设备的工作精度、使用性能、动力消耗、噪音以及寿命。因此，评价零件质量时，表面粗糙度是其中重要的一项。另外，对研究金属切削加工工艺，调整与验收机床时，可用完工零件表面粗糙度的大小来判别机床及加工工艺条件的优劣。即使在测绘机械设备的的工作中，也可以通过对表面粗糙度的测量和对表面加工纹理的分析，便可推断出该表面的加工工艺。再者，减小零件的表面粗糙度，对改善连接处的密封性能和提高美感亦颇有作用。

三、表面粗糙度的评定基准

表面粗糙度是零件表面的几何特性，表面粗糙度的评定本质上是三维的，然而比较现实的是将它简化成二维来测

算，即可采用一个平面与实际表面相截，获得实际表面的轮廓曲线，再对轮廓曲线上凹凸不平的高度和间距进行计算，以取得表面粗糙度的某种评定参数值。

通过测量获得实际表面的轮廓曲线之后，需要规定用于定量计算表面粗糙度参数数值的基准线，作为计算各种轮廓参数的基础，目前有两种基准制。

(一) 中线制 (M 制)

以“中线”为基准线评定轮廓曲线的计算制，就是中线制 (M 制)。

对被测零件的实际轮廓作轮廓的最小二乘中线，这条中线是具有几何轮廓形状并且划分实际轮廓曲线的基准线。在取样长度内使轮廓曲线上各点的轮廓偏距 (轮廓偏距指的是在测量方向上轮廓曲线上各点至基准线的距离) 的平方和为最小，如图 1—3 所示。

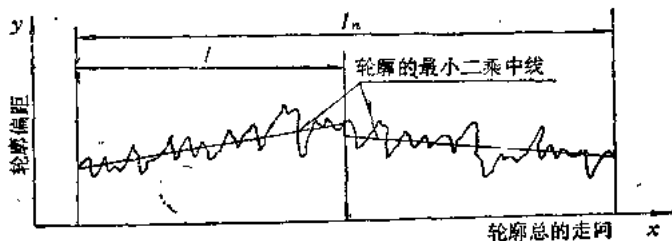


图 1—3

轮廓的最小二乘中线 (亦称为平均线) 是一条理想线。若用电子线路求解此中线，不太困难，但是，要求解在零件表面轮廓图上的中线就比较复杂，具体内容在第四章中再作介绍。