



机械基础标准化丛书

光滑工件尺寸的检验与光滑极限量规

陈达秀 吴京祥 编



陕西科学技术出版社

机械基础标准化丛书

主 编: 赵卓贤

副主编: 柏永新 王玉荣

顾 问: 赵文蔚

编 委: (按姓氏笔划为序)

丁步陶 王玉荣 仲小亚 吴京祥 柏永新
赵文蔚 赵卓贤 张光慎 胡明韬 廖伽尼

机械基础标准化丛书

光滑工件尺寸的检验与光滑极限量规

陈达秀 吴京祥 编

陕西科学技术出版社出版发行

(西安市北大街131号)

新华书店经销 陕西省印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 5.5印张 11.8万字

1987年12月第1版 1987年12月第1次印刷

印数: 1—6,000

统一书号: 15202·169 定 价: 1.30元

出版说明

在积极采用国际标准和国外先进标准的技术经济政策指引下,我国机械基础标准以国际标准为蓝本,近十年积极开展了修订和制订工作。为配合这些标准的宣讲和贯彻,向全国广大工程技术人员提供一套系统的学习材料,陕西省标准化协会特组织本省有关高等院校的部分教师和工程技术人员,编写了这套丛书。

本丛书共分十五个分册,计有《优先数和优先数系》、《机械制图—国家标准释疑》、《表面粗糙度》、《形位公差及公差原则》、《形位误差检测》、《公差配合及其应用》、《光滑工件尺寸的检验与光滑极限量规》、《滚动轴承公差配合》、《锥度、角度系列及圆锥公差》、《普通螺纹公差与配合》、《普通螺纹量规》、《渐开线圆柱齿轮精度》、《键和花键的公差与配合》、《特殊螺纹》、《尺寸链》,将于近两年内陆续出版。

本丛书的编写特点为:内容紧扣标准,概念解释确切,注重通俗实用,各册均有所长。对标准的历史、一般内容及类同项目介绍从简。

本丛书可供机械行业从事设计、制造、标准化、计量和管理等方面的工程技术人员应用机械基础标准时参考,亦可作为大专院校有关专业师生应用与学习这些标准的辅助材料。

参加本丛书的编撰者共二十余人,其中有十人为教授、副教授,有不少同志直接参与了有关标准的制订修订工作;有的编者在相应的学术上有一定造诣。虽然我们有这样一些较强的编撰者,但编写这样一套标准化丛书毕竟是一次尝试,所以不足之处和错误在所难免,热忱欢迎读者批评指正。

编者的话

国家标准《光滑工件的检验》及《光滑极限量规》，是新国标《公差与配合》的两项配套标准。这两项标准的正确贯彻为产品的互换性和提高产品质量提供了技术保证，也将有利于国际上的技术交流。

本书共分五章：第一、二章综述了两项标准的理论基础，并对国际上几种现行的同类标准进行了分析和比较。第三、四章讲解了两项标准的主要内容。第五章扼要叙述了两项标准实施中的仲裁方法和原则。全书最后收入了两项标准的附表和机械工业部指导性技术文件。还收入了量规的旧专业标准供比较研究用。

本书由陈达秀、吴京祥两同志合写，王玉荣同志审稿，机械基础标准化丛书编委会审定。

目前，两项标准正在宣讲贯彻，愿本书能给读者以帮助。但由于编者水平所限，凡不妥之处敬请指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1—1 国际上几种现行检验制的分析与比较	(1)
§ 1—2 检验中常用术语及定义	(3)
§ 1—3 测量误差及误差合成	(5)
第二章 极限尺寸判断原则	(13)
§ 2—1 极限尺寸与实体尺寸	(13)
§ 2—2 局部实际尺寸与作用尺寸	(14)
§ 2—3 极限尺寸判断原则	(15)
第三章 光滑工件尺寸的检验标准	(18)
§ 3—1 光滑工件尺寸的检验标准的应用范围	(18)
§ 3—2 验收原则	(19)
§ 3—3 安全裕度与验收极限	(21)
§ 3—4 计量器具的选择方法	(23)
第四章 光滑极限量规	(29)
§ 4—1 光滑极限量规国家标准的结构组成	(29)
§ 4—2 量规的公差带	(31)
§ 4—3 光滑极限量规遵循的公差原则	(47)
§ 4—4 量规的主要技术要求	(48)
§ 4—5 光滑极限量规的使用	(51)
§ 4—6 量规的结构型式	(57)
§ 4—7 轴用量规的校对规	(60)
§ 4—8 光滑极限量规设计计算举例	(61)
第五章 争议的仲裁	(64)
附录一 中华人民共和国国家标准: 光滑工件尺寸的检验《GB3177—82》	(65)
附录二 中华人民共和国机械工业部指导性技术文件《JB/Z181—82》: 《GB 3177—82》光滑工件尺寸的检验使用指南	(67)
附录三 中华人民共和国国家标准: 光滑极限量规《GB1957—81》	(70)
附录四 推荐的量规型式和应用尺寸范围	(74)
附录五 校对量规	(75)
附录六 工具专业标准《GL34—62》	(75)
参考文献	(82)

第一章 绪 论

光滑工件尺寸的检验标准《GB3177—82》和光滑极限量规标准《GB1957—81》都是公差与配合标准《GB1800—79至1804—79》的配套标准。前者对在车间条件下用普通计量器具进行零件完工尺寸的验收作出了规定，内容包括检验的验收原则、安全裕度的设立、验收极限的确定和计量器具的选择方法等。后者对光滑极限量规设计的型式、量规公差、量规的正确使用等作了具体的规定。两项标准构成了一个完整的检验制，从不同的使用条件和检测方法对车间检验工件统一了检验原则，因此将能更好地保证产品质量，使公差与配合标准得到确实的保证。凡是在贯彻公差与配合标准《GB1800—79至1804—79》的产品上，应同时按两项检验标准对零件完工尺寸进行验收。

光滑工件尺寸的检验标准是我国第一个正式的国家检验标准，它是等效采用了国际检验制的同类标准。光滑极限量规标准以国际检验制的同类标准为依据，结合我国的生产实际作了必要的变更。

§ 1—1 国际上几种现行检验制的分析与比较

对国际上几种现行的检验制分析比较其科学性、严密性和实用性，确认我国两项检验标准的先进性。这里仅对三种有代表性的检验标准作要点的分析。它们是经互会标准《CTCЭB303—76》、ISO1938建议草案和美国标准《ANSI B4.4M—1981》。

一、经互会标准《CTCЭB303—76》分析

经互会标准《CTCЭB303—76》是由苏联提出的，它也被苏联采纳为国家标准。主要内容如下：

1. 允许测量误差的极限值

标准按照零件的公称尺寸和制造公差规定了允许的测量误差极限值，该值约等于制造公差的20~30%。测量误差极限值为测量器具的误差、标准器件的误差、测量力引起的误差、温度变形引起的误差以及由于被测表面的曲线形状引起的误差、操作者的主观误差等多项因素的总合成效果。标准对允许的测量误差极限值列出了数表供选用。

2. 验收极限的规定

该标准规定了两种验收极限，第一种验收极限是和零件制造公差相应的极限尺寸相重合。第二种验收极限是相对极限尺寸往公差带内移动一定距离，从而缩小了制造公差，得到一对新的验收极限，保证较高验收要求的尺寸精度。

验收极限和极限尺寸重合的方法主要使用在加工过程的工艺精度参数未知，按标准数表所选定的允许测量误差极限值所引起的误收率以及误收尺寸范围不影响零件使用性

能时,可直接按图样上标注的极限尺寸验收。关于误收率和误收的尺寸范围,在标准中都提供了数表和曲线供查找。

验收极限不和极限尺寸重合,向公差带内移动一个距离而获得验收极限的方法,有两种使用情况:第一种情况是工艺精度参数未知,按标准中数表所选定的允许测量误差极限值所引起的误收率和误收尺寸范围将影响零件的使用性能时,则可以由极限尺寸向公差带内移动允许测量误差值之半,从而得到一对新的验收极限。如检验 $\phi 100h6$ ($\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.022 \end{smallmatrix}$)的轴,由标准查得允许测量误差极限值为0.006 mm,当需要内缩时取值为0.003mm,则可得到一对新的验收极限为 $\phi 100 \begin{smallmatrix} -0.003 \\ -0.019 \end{smallmatrix}$ 。第二种情况是工艺精度参数已知,按标准提供的数表和曲线求出了误收率和误收尺寸范围,则可直接按误收尺寸范围内缩到极限尺寸以内,从而得到验收极限。仍讨论上述轴的检验,由标准资料求出其误收尺寸范围为 $C=0.1IT=0.0022\text{mm}$ (IT为标准公差),则内缩量可取为0.002mm,得到验收极限为 $\phi 100 \begin{smallmatrix} -0.002 \\ -0.020 \end{smallmatrix}$ 。

经互会标准是以允许测量误差极限值来选择测量器具和确定验收极限,它既考虑了继续使用传统的验收方法,又考虑了在较高要求下采用内缩了的验收极限来验收零件尺寸,其方法是科学的。但是实际应用中需要按工艺过程和检验的具体条件来计算,比较繁琐和麻烦。因此,我国制订检验标准时未参照采纳。

二、国际标准ISO1938建议草案的分析

ISO1938建议草案是对《ISO/R1938—71》的修订。它包括术语定义和一般原则、光滑极限量规、极限指示计、测量检验四个部分。它保留了原标准的优点:如仍设立了内缩量允许值A (由计量器具内在误差引起的不确定度和由测量条件因素引起的不确定度两部分构成),并且改进了原标准没有提供实用的A值数表和选择计量器具不确定度数值数表的缺点。ISO1938建议草案既具备了科学性又提供了实用数表,是一个较好的检验制度。

1. 验收准则

ISO1938建议草案明确规定验收准则:尽可能地确保验收的工件尺寸不超越其最大实体极限(MML)和最小实体极限(LML) (引自原标准用语)。

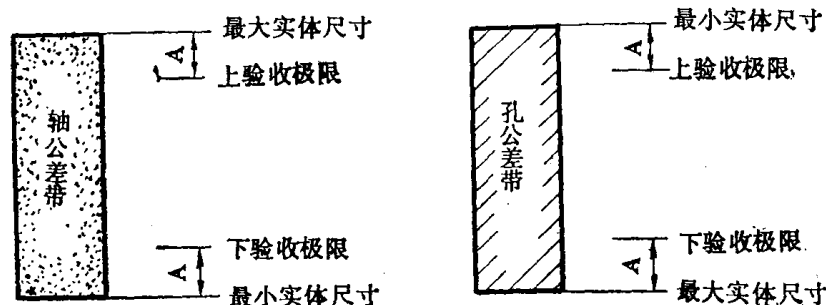


图 1—1 极限尺寸和验收极限的关系

2. 验收极限和安全裕度

验收极限规定在向工件尺寸公差带内部移动一个安全裕度A值处。标准还给出了安全裕度允许值A的数表。工件尺寸公差相应的两个极限尺寸和验收极限的关系由图 1—1 表示。

安全裕度A所考虑的内容包括了计量器具的内在误差引起的不确定度、调整标准器具引起的不确定度、各种测量条件偏离标准规定值引起的不确定度等。标准给出的安全裕度值A约为工件尺寸公差值的5~10%。

3. 计量器具所允许的不确定度值 u_1

ISO1938建议草案给出了对应于各种尺寸公差值的计量器具允许的不确定度值 u_1 ，该值为安全裕度值的主要部分， $u_1 = 0.9A$ 。 u_1 是选择计量器具的依据。若所选用的计量器具的不确定度值为 u ，则使 $u \leq u_1$ 。

4. 车间常用计量器具的不确定度

为了标准使用方便，ISO1938建议草案对车间常用计量器具的不确定度值 u 给出了推荐表格，非常有利于标准的推行。

建议草案按工件尺寸公差确定安全裕度值，从而计算出验收极限。再以安全裕度所允许的计量器具不确定度去选择合适的计量器具。其资料较齐备，计算较简便，也能较好地保证按工件的极限尺寸验收零件的完工尺寸，是一个科学性强、使用方便的检验制度。为此，我国检验标准等效采用了建议草案的原则和有关数表，只在计量器具不确定度推荐表格方面，根据国内量具、量仪的生产和使用情况，经过实验验证提出了适合我国国情的推荐数值表。

三、美国工件的检验标准《ANSI B4.4M—1981》

美国工件的检验标准《ANSI B4.4M—1981》采用了和ISO1938建议草案基本相同的体制：

(1) 标准内容包括了：一般规定、光滑极限量规、极限指示计和测量检验部分。

(2) 上、下验收极限由工件的最大、最小极限尺寸向公差带内移动安全裕度A值获得。但该标准是以尺寸公差的5~10%计算安全裕度值，没有给出A的数表。

(3) 新标准中没有包括计量器具不确定度的内容，使用中需另行查阅计量器具的有关资料。

美国标准基本采用ISO1938建议草案的体系启示我们：目前世界各主要工业国都在积极采用国际制。它说明国际制具有较广泛的国际基础。我国检验制采用国际制即有利于我国的生产发展，又有利于国际经济贸易和技术的交流。

§ 1—2 检验中常用术语及定义

工件尺寸的检验中常涉及到计量学、计量器具的特性参数、测量误差等方面的术语。为了统一概念，便于介绍检验标准，以下介绍一些常用的术语及定义。

一、测量与检验

测量是对被测量与同类量进行比较以得到被测量值或误差值的过程。测量过程中要有适当的计量器具和测量方法。由于获得量值使用的计量器具和方法不同，可以分为直接测量和间接测量。直接测量是将被测量与量具或量仪的标尺刻度进行比较，无需其它

辅助计算获得被测量值的过程。间接测量则需要辅助计算，然后方可获得被测量值的过程。如测量出圆周长度计算直径；用三针法测量螺纹计算出中径等。在测量过程中量具或量仪所指示的量值仅为被测量与标准量的差值，则被测量的全部值需求出标准量和计量器具指示值的代数和，这种测量过程称为比较（或相对）测量。

检验是通过测量或其它方法以分辨和确定产品的某个方面是否达到设计和使用要求的过程：如通过工件尺寸的测量获得被测量值后判断其尺寸是否符合其极限范围；用极限量规判断工件是否符合设计要求；用观察、比较和感觉等方法确定零件的外观质量是否达到使用要求等。因此，检验是一个概念范围较广、使用方法更多样的产品质量的评定过程。

二、计量器具、量具、量仪

凡能用来以直接和间接方法测出被测对象量值的量具、仪器和计量装置统称为计量器具。量具是以固定形式复现量值的计量器具，它一般没有指示器，也没有运动的测量元件，如钢尺、量块等。计量仪器是可以将被测量转换成直接观测的指示值或等效信息的计量器具。等效信息如记录图表、打印记录、显示被测量值等装置。车间所使用的游标尺、千分尺和百分表等都属于计量仪器，但因其结构较简单，习惯上称它们为通用量具。

三、计量器具的特性参数

计量器具的特性参数是选择计量器具的根据。主要的使用参数包括以下六项：

（1）分度值：计量器具的两相邻刻线所代表量值之差，它表示相应器具能读出的被测量的最小单位。如千分尺的分度值为0.01mm。一般地说分度值越小，量仪的精度越高。

（2）标称值：计量器具上标注的所有量值都称为标称值。如千分尺某一位置的刻线代表15.55mm，该值即为标称值。

（3）示值：测量过程中由计量器具所指示的被测量值。如游标尺测某轴直径时，游标尺指示为15.02mm、15.04mm等。这些被测量值都是从某一位置的标称值获得。

（4）示值范围：计量器具所能指示的最低值到最高值之间的范围。如千分尺的0~25mm、25~50mm等。示值范围表示相应仪器所能测量的尺寸误差大小限。过去习惯上称其为“刻度范围”，现在不推荐使用这一术语。

（5）测量范围：在允许的误差限内计量器具的最大、最小量值范围。对于量具，测量范围即等于其示值范围。而计量仪器的测量范围则往往和该仪器的调整部件的调整范围有关，如立柱上测臂的升降范围大小等。

（6）灵敏度：计量器具对被测量变化的反映能力。它可用被观测变量的增量 ΔL 和相应的被测量的增量 Δx 之比来表示。

$$S = \Delta L / \Delta x$$

（1—1）

式中：S—灵敏度。

当被观测变量 ΔL 和被测量 Δx 为同一量纲的条件下，灵敏度又可称为放大比，以K

字母表示，故可得到下式：

$$K = \text{刻线间距/分度值} \quad (1-2)$$

式中刻线间距即计量器具两刻线间的设计距离值。

四、测量误差的有关术语

由计量器具、测量环境、被测对象和测量者共同组成一个测量系统。测量系统的各组成部分都将带来测量误差。无论测量过程中如何严格选择计量器具，尽量仔细和严格操作，以及认真控制测量环境，也不可避免存在着各种误差因素，形成测量误差。

(1) 测量误差：测量结果与被测量真值之差。可用下式表示：

$$\Delta = x - \mu \quad (1-3)$$

式中 Δ 表示测量误差， x 表示测量结果， μ 表示被测量的真值。注意：测量结果并非测得值。

(2) 测得值：由计量器具直接反映或经过必要的计算而获得的量值。

(3) 测量结果：由测量所得到的被测量值。若直接用测得值或在等精度测量后取其测得系列值的算术平均值作为测量结果，称为未修正的测量结果。若对测得值或等精度测量系列值的算术平均值进行系统误差的修正后作为测量结果，则称为已修正的测量结果。

(4) 真值：被观测的量本身所具有的大小。真值是一个理想概念，一般地说真值是无可取得的。在实际测量中常用高等级的标准量进行比较所获得的实际值来代替真值。

(5) 绝对误差：测量结果与被测量真值之差。

(6) 相对误差：测量的绝对误差与被测量真值之比。

(7) 测量的重复性：在相同的测量条件下，对同一量进行多次重复测量，其测量结果不一致的程度。测量的重复性常用随机不确定度来估计其范围大小。

(8) 测量不确定度：由于测量误差的存在，使被测量值不能肯定的程度。测量误差由测量结果与被测量的真值之差来表示，从概念上讲它应该是一个确定值。而测量不确定度则可根据统计方法或其它近似方法，对大量测量值进行标准偏差计算和估计，以求出其测得值可能分散的区间，而获得其不确定度。因此，测量不确定度反映了测量结果中未能修正的系统误差和随机误差的综合极限，即表达了测量结果中未能确定的全部量值范围。

(9) 准确度：测量结果与真值的一致程度。准确度反映了各类测量误差的综合效果。对于修正过已定系统误差的测量结果，准确度用测量不确定度表徵。

(10) 正确度：表示测量结果中系统误差大小的程度。对于修正过已定系统误差的测量结果，正确度用未定系统误差来表徵。

(11) 精确度：表示测量结果中随机误差大小的程度。在一定条件下进行等精度测量所求得的随机误差分散区间，称为随机不确定度，即为精密度的表徵值。

§ 1—3 测量误差及误差合成

任何一个测量过程都是由测量对象、测量器具、测量环境以及测量者几方面共同组

成。参与测量的各种因素都将引起测量误差。在检验标准中必需研究测量的准确度，对测量结果作出可靠程度的判断。不知道可靠程度的测量结果是没有实用意义的。

一、测量误差的来源

由于任意一个测量过程参与的因素不完全相同，因此，分析误差来源时需要结合具体情况逐一分析所有因素。特别注意研究引起该过程测量误差的主要因素。但是，一般的测量过程中测量误差的来源可能包括下述诸方面：

1. 标准器具的误差

作为测量过程中提供标准的标准器具，如刻线尺、量块等，它们自身的制造误差或检定误差将直接反映到测量结果中去。正确选用标准器具，取其对测量误差的影响值小于允许的测量总误差的三分之一至十分之一的范围。

2. 测量器具的误差

测量器具从其加工、装配到调整等各个环节，甚至设计原理都将存在着一定的误差。它们将共同构成测量器具的质量指标。按传统的测量器具检定参数看，测量器具的示值误差和示值的稳定性指标能较全面地反映测量器具各项误差的综合结果。具体分析，有下列几项因素：

(1) 阿贝误差：测量技术和量仪设计的基本原则称为阿贝原则，其内容是：测件与标准的测量方向应处于同一直线上。违背阿贝原则的测量器具和测量方法所引起的误差称为阿贝误差。千分尺基本符合阿贝原则，游标尺则不符合阿贝原则。由于被测量与刻线尺不同一直线上，当游标尺框和尺体存在间隙时则会因测爪倾斜引起测量误差，这种误差即为阿贝误差。实际应用中许多测量仪都不能完全消除这种误差。

(2) 原理误差：在设计测量器具时经常采用近似原理设计运动机构以代替理想运动的轨迹。如用等分刻度度盘代替不等分刻度度盘；以圆弧代替某曲线的一段轨迹等。在设计中将核算由它引起的误差值并控制在允许的范围中。或者采取一定的改善措施使它不超出允许的范围。

(3) 测量器具的制造、装配和调整引起的误差：如刻线误差、螺旋副的螺距误差、杠杆臂长度误差、光学系统放大倍率误差等等。这些误差都将按一定的规律反映到测量结果中去。

3. 测量力引起的误差

在接触测量方法中，测头与测件之间有一定的测量力以保证可靠的接触。但是测量力也将引起被测件和测头接触处表面的弹性变形，这种微小的变形称为压陷效应，它将引起测量误差。许多量器具在设计时设置了限力机构以尽量减小由压陷效应引起的测量误差，如千分尺、千分表、比较仪等。正确使用时其测力在允许的范围内。

由于测头和工件表面形状不同，两者所用材料不同，将引起不同的压陷效应量。按赫芝公式可以计算各种条件下的压陷量。

工件为圆柱形表面，选用平面形测头时，用计算公式：

$$Y = K_2 F / L \cdot \sqrt[3]{1/D} \quad (1-4)$$

工件为球形和平面形，选用平面形或球形测头时，用计算公式为：

$$Y = K_1 \sqrt[3]{F^2/d_1}$$

(1—5)

式中:

Y—压陷量 (μm);

F—测量力 (g);

D—被测工件直径 (mm);

d₁—测头或工件球径 (mm);

L—测头和工件表面的接触长度 (mm);

K₁、K₂—系数, 由接触物体的材料确定, 见表 1—1。

表1—1 压陷效应计算系数

材料 系数	钢 对 钢	硬质合金对钢	钢对青铜	硬质合金对青铜	钢对黄铜
K ₁ × 10 ²	2.0	1.4	2.3	2.0	2.4
K ₂ × 10 ²	0.41	0.4	—	—	—

当用钢制球形测头 (球径d₁ = 3.6mm) 测量平面形钢制工件时, 由上面式 (1—5) 计算得到压陷效应值如表 1—2 所示。

表1—2 压陷效应计算值示例

F (g)	1	5	10	20	50	100	200	500
Y (μm)	0.01	0.04	0.06	0.08	0.17	0.28	0.44	0.81

表中F—测量力, Y—压陷效应值。

公式中是以静态测力计算。当测量时测头相对工件有冲击而产生动态测量力将远大于上述计算数值。因此要正确使用器具, 尽量减少动态测量力的影响。各种尺寸公差所允许的测量力大小推荐如表 1—3。

表1—3 尺寸公差允许的测量力

被测尺寸公差 (μm)	≤ 2	> 2 ~ 10	> 10
允许测量力 (g)	< 250	< 400	< 1000

有限力机构的各种量仪的测量力及变动范围, 如表 1—4 所示。

4. 读数误差

读数误差包括瞄准误差和视差两部分。由于各种量仪的读数装置结构不同, 对被测件轮廓瞄准和对指示刻线的瞄准误差不同。同时它与被测件轮廓形状特点、器具的刻线状态以及照明条件、测量者的分辨能力有关。视差则主要决定于测量者的主观因素和刻线器件结构有关。现代仪器逐步采用数字显示或打印记录式获取测量值, 则可消除读数误差。

表1—4

各种量仪测量力及变动范围

量 仪 名 称	测 量 力 (g)	允许变化范围 (g)
百分尺类	700~1100	—
百分表类	120	± 50
千分表类	120	± 40
杠杆百分表类	30~120	—
杠杆齿轮式测微仪	200	± 80
光学计、测长仪	200	± 20
扭簧式测微仪	150~200	± 30
电感式测微仪		
轴向测头	150~200	—
旁向测头	10~50	—

5. 测量温度条件引起的误差

测量的实际环境，往往偏离标准温度 +20℃，由其引起的测量误差值可由以下公式计算：

$$\Delta L = L [(\alpha_1 - \alpha_2)(t_1 - 20) + \alpha_2(t_1 - t_2)] \quad (1-6)$$

式中：L—被测值大小；

t_1 、 t_2 —被测件与器具实际温度；

α_1 、 α_2 —被测件与器具的材料线膨胀系数。

由计算公式可以看出：当 $t_1 \approx t_2$ 、 $\alpha_1 \approx \alpha_2$ 时，将引起测量误差。只有在实际生产环境中尽量选取和被测件线膨胀系数相等的器具材料，尤其避免采用线膨胀系数大的轻金属测量器具；另一方面，尽量减小被测件和测量器具的实际温度差，才能减少这种测量误差。在精密计量的恒温室内可以使被测件和计量器具的实际温度都更接近标准温度 +20℃。但是，在一般车间条件下只能以尽量减小二者的实际温度差值来控制该项测量误差。

6. 被测件的形状误差引起的测量误差

在正常工艺条件下生产的零件，也将存在一定数量的形状误差，这种形状误差将引起测量误差。由形状误差引起的测量误差主要有以下几种情况：

(1) 表面形状不规则，使测头不能接触被测点，增加了测得值偏离真值的程度。

(2) 由于形状误差存在，对同一要素多次测量时，将因被测点的变化引起测得值不同。其测得值的变化规律随形状误差形式而不同。如圆柱表面存在着素线直线度误差，若呈中凹或中凸形式，其直径变化区间尺寸分布是呈指数曲线变化；若呈锥形，其直径变化区间尺寸分布是呈均匀斜率的直线变化；若没有素线直线度误差，其直径变化

区间的尺寸分布范围为零,即没有尺寸分布问题。测量时无法选择超出最大实体边界危险性最大的点,一般也不要求选择这样的测量点,因此,只有按各种形状误差的形式分析其引起测得值的分布情况,从而分析可能的测量误差。

(3) 采用两点法测量尺寸时,只能获得局部实际尺寸,当零件存在着奇数棱的圆度误差或轴线直线度误差时,有可能误收违反极限尺寸判断原则的工件,这时,存在着较大的测量误差。

由形状引起的测量误差,可以用统计的方法,以概率理论进行计算。经实际计算结果说明:在正常工艺条件下,选用恰当精度的计量器具。各类形式的形状误差引起的测量结果误收率都在1%左右,但在出现奇数棱圆度误差和轴线直线度误差时,误收率可能高达7%。因此,检验中注意这两类形式的形状误差出现的可能性是非常必要的。但是,在一般情况下因形状误差引起的测量结果误收率是不大的。

二、测量误差性质的分类

测量过程不可避免地存在着各种测量因素引起的误差,在同一测量条件下,对同一被测量进行多次重复测量的测得值也不完全相同。测量过程中,由于测量工具和工件间的作用,使测量结果不能准确地反映被测对象的原有状态。即使在非常仔细的操作过程中也会因为器具的分辨水平使测得值和真值间存在着差异。上述种种情况造成的测量误差可用下式表达:

$$\Delta = x - \mu \quad (1-7)$$

式中: Δ —测量误差;

x —测量结果;

μ —真值或实际值。实际值是满足规定准确度的测量结果,一般用比测量被测量所用标准高一至二个等级的标准时所获得的测量结果代替真值。

在研究测量误差时,按误差的性质分为三类:

1. 系统误差

测量过程中出现的某些误差,其数值和符号固定不变,或者遵循明显规律变化。这类误差称为系统误差。系统误差是在测量前就已存在,它们以确定的规律影响着测量结果。如测量方法选择不够完善;所依据的理论存在着误差,以弦代弧、三点求圆心等;测量器具自身存在着某种固定的缺陷;不可调整的零位误差、导轨移动方向与测量面不垂直;测量环境的温度、湿度、电磁场等偏离了标准规定;测量人员感觉器官存在着固定差异等等都将引起系统误差。

系统误差如果在测量前可以掌握,则应极力消除其影响。对于难以掌握未能消除的系统误差,要确定或估计其误差值,作误差的数据处理。

2. 随机误差

在同一测量条件下,对同一被测量重复测量,每次测量结果也会出现无规律的随机性变化,这种变化是符号和数值都呈现随机性,为此称其为随机误差。产生的原因如:量仪和零件表面间的摩擦力变化、轴承导轨间隙、观察者对准能力的变化等。随机误差的描述和数值处理要按概率统计原理进行。

在测量误差中的某些系统误差的规律不易确定，或者为了简化测量过程，常常把它们作为随机误差处理。如标准器具的尺寸误差、器具刻线的误差等。这种处理方法称为系统误差随机化处理。它将使测量误差的分析和处理更加方便和实用。

3. 粗大误差

在测量过程中存在着超出规定条件的估计误差值，称其为粗大误差。它产生的原因往往是读数错误、器具不正确的使用或者产生了缺陷等。粗大误差出现的概率是很小的，因此必需以随机误差统计判据来剔除它们。概率理论中对不同的假定条件和理论公式建立了多种判据，需按具体情况选取应用。

三、随机误差的特点及性质

生产实际测量中统计的随机误差分布曲线是多种多样的，以中心极限定理为依据，近似地以正态分布曲线代替各种实际分布曲线，而且以连续型随机误差规律代替实际中离散型随机误差来进行分析和处理，将使分析计算工作简化，实践证明它也是能较好地指导生产实际的。

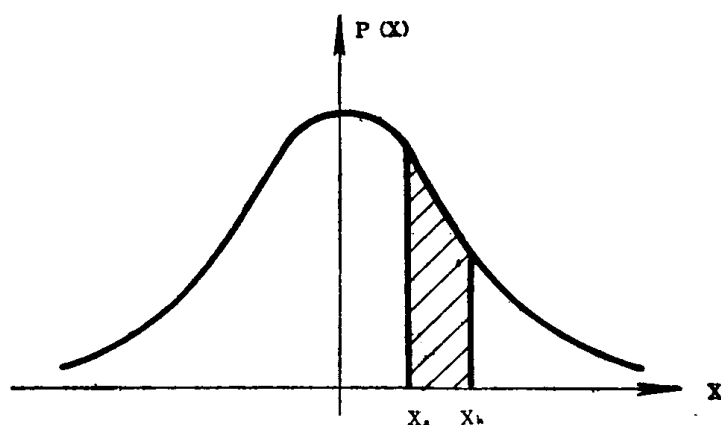
测量实践也证明：当较好地消除了明显的系统误差和粗大误差的情况下，随机误差的分布规律可以用正态分布曲线描述。

1. 正态分布曲线的数学式

在一定条件下，对同一被测量多次重复测量，得到一系列等精度测量结果为 x_1 、 x_2 、 x_3 …… x_n 。则各测量结果出现的概率密度可用正态分布函数来描述：

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (1-8)$$

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad (1-9)$$



式中： x_i —各次测得值 x_1 、 x_2 、…… x_n ；

μ —被测量的真值；

σ —标准偏差。

标准偏差 σ 是正态分布曲线的特征值（图1—2）。该值越小，表明测量结果的分散范围越窄，即小误差出现的概率越大，测量结果越精密。反之， σ 值越大，曲线趋向平坦，测量结果分散范围越宽，大误差出现的概率

图1—2 正态分布曲线

增高，测量结果精密性越差。

2. 随机误差的特性

随机误差的数学特性可以归纳为三点：其一是单峰性，即正态分布曲线是以其中心

而相对集中分布的，横坐标的原点由大量测量所获算术平均值确定。所有数据中在算术平均值附近的频率最大，呈现一个峰值，称为单峰性；其二是对称性，横坐标所有数据是以中心对称分布的，误差绝对值越小出现的频率越大，绝对值越大，出现的频率越小。而且，绝对值相同而符号相反的误差值出现的概率相等。所有误差的代数和将趋近于零，此即对称性；其三是有界性，在横坐标上偏离原点愈远，即误差愈大，出现的概率近于零。即随机误差的绝对值有一个分布的有限范围，此即有界性。

3. 标准偏差及其估计值

标准偏差的计算式是以被测量的真值为基础，但使用不方便，只有当测量次数 n 趋近于无穷大时，该式才具有价值。在实用中，往往用算术平均值代替真值，其计算结果称为标准偏差的估计值 S 。计算方法如下：

$$S = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2 / (n-1)} \quad (1-10)$$

公式中的 v_i 称为残差，如有一组等精度测得值 $x_1, x_2, \dots, x_n$ ，则可由诸值求得算术平均值和残差：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-11)$$

$$v_i = x_i - \bar{x} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1-12)$$

将残差 $v_1, v_2, \dots, v_n$ 代入计算式，即可求出 S 值。由于正态分布曲线的对称性，所有残差的代数和应趋近于零，因此，当测量次数 n 有限时，以标准偏差估计值 S 公式进行计算，应遵守残差代数和为零的约束条件，故公式中引入了 $(n-1)$ 进行计算。

以标准偏差估计值 S 代替标准偏差 σ ，测量次数影响其值的准确性。如 $n=10$ ，上述两值相差5%； $n=20$ ，相差2.5%。但是测量次数的增加并不能使其差值线性地减小，一般应用中很少超过50次。一般取 $n=4 \sim 20$ 次。

4. 随机误差的界限

正态分布曲线的分布区间，是以其概率要求为依据划分的，如分布为 $\pm a$ 误差限内，求出其概率 P_0 ，则 $\pm a$ 称为概率 P_0 的误差极限。因为随机误差计算的目的有不同，可以提出不同概率要求的误差极限：如求出计量器具的随机误差（包括未定系统误差）的极限；分析工艺过程中测量总误差的极限；测量误差剔除粗大误差的极限等等。在计量器具的误差计算中常取 $\pm 2\sigma$ 作极限，测量总误差极限计算和剔除粗大误差计算中常取 $\pm 3\sigma$ 作极限，它们分别对应的概率 P_0 为95%和99.73%。

5. 测量总误差

测量过程中各项引起测量误差的因素对测量结果的影响有传递函数的数学关系式，各项单独的随机误差和未定系统误差也可能遵循正态分布或者遵循其它非正态分布规律。但是在检验标准制定中尽量排除非正态分布和传递函数的复杂关系式，对于误差极限也都一律按 $\pm 3\sigma$ 选取，所以仅讨论服从正态分布的独立误差分量合成，用高斯求和法处理。当已知各误差分量的标准偏差 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$ 时，测量总误差的合成标准偏差计算式如下：

$$\sigma_{\text{合}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} \quad (1-13)$$

或者用极限误差合成式，若各误差分量的误差极限为 $\pm \Delta_1, \pm \Delta_2 \dots \pm \Delta_n$ ，则合成误差极限用下式计算：

$$\Delta_{\text{合}} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} \quad (1-14)$$

6. 测量结果的不确定度

测量结果的不确定度是以其未定系统误差与随机误差的分布范围来表达。分布范围愈大，其不确定度愈大，测量结果精密度愈低。单次测量结果不确定度即为 $\Delta_{\text{合}}$ 。实际测量中若取多次测量结果的算术平均值表示，其精密度将大大提高。如单次测量结果为 $L_1, L_2 \dots L_n$ ，则其多次测量结果的算术平均值为 $\bar{L}$ 。 $\bar{L}$ 可用下式计算：

$$\bar{L} = (L_1 + L_2 + \dots + L_n) / n \quad (1-15)$$

$\bar{L}$ 比任意一次单次测量结果更接近其真值，因此其不确定度所指的 $\bar{L}$ 分布范围可用下式计算：

$$\Delta_{\bar{L}} = \Delta_{\text{合}} / \sqrt{n} \quad (1-16)$$

从式中可知：测量次数越多，其算术平均值的不确定度值越小，精密度得到提高。但是，这种取算术平均值的方法在车间验收零件完工尺寸时并不实用。它只用于精密零件的测量结果分析和精密测量结果的数据处理中。