《质量专业综合知识》第五章---5节 PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文
https://www.100test.com/kao_ti2020/256/2021_2022__E3_80_8A_E8_B4_A8_E9_87_8F_E4_c67_256438.htm 第五节 测量误差和测量不确定度 一、测量误差和测量结果修正 (一)测量误差 测量结果减去被测量的真值所得的差，称为测量误差，简称误差。测量结果是人们认识的结果，不仅与量的本身有关，而且与测量程序、测量仪器、测量环境以及测量人员等有关。而被测量真值是与被测量的定义一致的某个值，它是量的定义的完整体现，是与给定的特定量的定义完全一致的值，只有通过完善的或完美无缺的测量才能获得。真值从本质上说是不能确定的。但在实践中，对于给定的目的，并不一定需要获得特定量的"真值"，而只需要与"真值"足够接近的值。这样的值就是约定真值，对于给定的目的可用它代替真值。例如:可以将通过校准或检定得出的某特定量的值，或由更高准确度等级的测量仪器测得的值，或多次测量的结果所确定的值，作为该量的约定真值。 测量结果的误差往往是由若干个分量组成的，这些分量按其特性可分为随机误差与系统误差两大类，而且无例外地取各分量的代数和。换言之，任意一个误差，均可分解为系统误差和随机误差的代数和，即可用下式表示: 误差=测量结果-真值=(测量结果-总体均值) (总体均值-真值) =随机误差 系统误差 测量结果与在重复性条件下，对同一被测量进行无限多次测量所得的结果的平均值之差，称为随机误差。随机误差大抵来源于影响量的变化，这种变化在时间上和空间上是不可预知的或随机的，它会引起被测量重复观测值的变化，故称之为"随机效应"。可以认为，正

是这种随机效应导致了重复观测中的分散性。在重复性条件下，对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值与被测量的真值之差，称为系统误差。由于只能进行有限次数的重复测量，真值也只能用约定值代替，因此可能确定的系统误差只是其估计值，并具有一定的不确定度。系统误差大抵来源于影响量，它对测量结果的影响若已识别，则可定量表述，故称之为"系统效应"。该效应的大小若是显著的，则可通过估计的修正值予以补偿。(二)测量结果修正 对系统误差尚未进行修正的测量结果，称为未修正结果。当由测量仪器获得的只是单个示值时，该示值通常是未修正结果；而当获得几个示值时，未修正结果通常由这几个示值的算术平均值求得。例如:用某尺测量圆柱直径，单次观测所得的示值为14.7mm，则该测得值是未修正结果。如果进行10次测量，所得的示值分别为14.9、14.6、14.8、14.6、14.9、14.7、14.7、14.8、14.9、14.8(mm)，则该测量列的未修正结果为其算术平均值，即(14.9 14.6 … 14.8)/10=14.77≈14.8(mm)。对系统误差进行修正后的测量结果，称为已修正结果。用代数方法与未修正测量结果相加，以补偿其系统误差的值，称为修正值。在上述例子中，若该尺经量块检定，其修正值为-0.1mm，则单次测量的已修正结果为(14.7-0.1)mm=14.6mm；而10次测量的已修正结果为(14.8-0.1)mm=14.7mm。修正值等于负的系统误差，也就是说，加上某个修正值就像扣掉某个系统误差，其效果是一样的。即: 真值=测量结果 修正值=测量结果-误差 需要强调指出的是:系统误差可以用适当的修正值来估计并予以补偿，但这种补偿是不完全的，也即修正值本身就含有不确定度。当测量结果以代数和的方式与修正值相加之后，

其系统误差的绝对值会比修正前的小，但不可能为零，也即修正值只能对系统误差进行有限程度的补偿。 二、测量不确定度 (一)基本概念 测量的目的是为了确定被测量的量值。测量结果的质量(品质)是量度测量结果可信程度的最重要的依据。测量不确定度就是对测量结果质量的定量表征，测量结果的可用性很大程度上取决于其不确定度的大小。所以，测量结果表述必须同时包含赋予被测量的值及与该值相关的测量不确定度，才是完整并有意义的。 表征合理地赋予被测量之值的分散性、与测量结果相联系的参数，称为测量不确定度。从词义上理解，"不确定度"即怀疑或不肯定，因此，广义上说，测量不确定度意味着对测量结果可信性、有效性的怀疑程度或不肯定程度。实际上，由于测量不完善和人们认识的不足，所得的被测量值具有分散性，即每次测得的结果不是同一值，而是以一定的概率分散在某个区域内的多个值。虽然客观存在的系统误差是一个相对确定的值，但由于我们无法完全认知或掌握它，而只能认为它是以某种概率分布于某区域内的，且这种概率分布本身也具有分散性。测量不确定度正是一个说明被测量之值分散性的参数，测量结果的不确定度反映了人们在对被测量值准确认识方面的不足。即使经过对已确定的系统误差的修正后，测量结果仍只是被测量值的一个估计值，这是因为，不仅测量中存在的随机因素将产生不确定度，而且，不完全的系统因素修正也同样存在不确定度。 不要把误差与不确定度混为一谈。测量不确定度表明赋予被测量之值的分散性，是通过对测量过程的分析和评定得出的一个区间。测量误差则是表明测量结果偏离真值的差值。经过修正的测量结果可能非常接近于真值(即误差很

小)，但由于认识不足，人们赋予它的值却落在一个较大区间内(即测量不确定度较大)。为了表征赋予被测量之值的分散性，测量不确定度往往用标准差表示。在实际使用中，由于人们往往希望知道测量结果的置信区间，因此测量不确定度也可用标准差的倍数或说明了置信水平的区间的半宽表示。为了区分这两种不同的表示方法，分别称它们为标准不确定度和扩展不确定度。本小节涉及的某些内容与概念需用概率统计的概念与术语，可参见《质量专业理论与实务(中级)》第一章。1.标准不确定度 以标准差表示的测量不确定度，称为标准不确定度，用符号u表示，它不是由测量标准引起的不确定度，而是指不确定度以标准差来表征被测量之值的分散性。由于测量结果的不确定度往往由许多原因引起，对每个不确定度来源评定的标准差，称为标准不确定度分量。标准不确定度分量有两类评定方法，即A类评定和B类评定。用对观测列进行统计分析的方法来评定标准不确定度，称为不确定度的A类评定，有时也称为A类不确定度评定。所得到的相应的标准不确定度称为A类不确定度分量，用符号uA表示。用不同于对观测列进行统计分析的方法来评定标准不确定度，称为不确定度的B类评定，有时也称为B类不确定度评定。所得到的相应的标准不确定度称为B类不确定度分量，用符号uB表示。当测量结果是由若干个其他量的值求得时，测量结果的标准不确定度，等于这些其他量的方差和协方差适当和的正平方根，称之为合成标准不确定度，用符号uc表示。合成标准不确定度是测量结果标准差的估计值，它表征了测量结果的分散性。2.扩展不确定度 用标准差的倍数或说明了置信水平的区间的半宽表示的测量不确定度，称为扩展不确

定度，通常用符号U表示。扩展不确定度确定的是测量结果的一个区间，合理地赋予被测量之值的分布的大部分可望包含于此区间。实际上，扩展不确定度是由合成不确定度的倍数表示的测量不确定度，它是将合成标准不确定度扩展了k倍得到的，即U=kuc，k称为包含因子。通常情况下，k取2(或3)。〔注〕假设测量结果是标准差为uc的正态分布，它位于〔-kuc，kuc〕之间的概率为2Φ(k)-1，取k=2、3时，2Φ(k)-1=95.45%、99.73%，当取k=2.575时，2Φ(k)-1=9900%。如果只知道，uc2的估计值sc2为自由度v的X2分布，则对于置信度为γ=1-α而言，k=tγ(ν)，tγ(ν)是自由度为ν的t分布的γ=1-α分位数。(二)测量不确定度的来源 测量过程中有许多引起测量不确定度的来源，它们可能来自以下十个方面: 1.对被测量的定义不完整或不完善 例如:定义被测量是一根标称值为1m的钢棒的长度，若要求测准到微米级，则被测量的定义就不够完整，因为此时被测钢棒受温度和压力的影响已较明显，而这些条件没有在定义中说明。由于定义的不完整，将使测量结果中引入温度和压力影响的不确定度。这时，完整的定义应是:标称值为1m的钢棒在25.0°C和101325 Pa时的长度。若在定义要求的温度和压力下测量，就可避免由此引起的不确定度。2.实现被测量定义的方法不理想 如上例，被测量的定义虽然完整，但由于测量时温度和压力实际上达不到定义的要求(包括由于温度和压力的测量本身存在不确定度)，使测量结果中引人了不确定度。3.取样的代表性不够，即被测量的样本不能代表所定义的被测量 例如:测量某种介质材料在给定频率下的相对介质常数，由于测量方法和测量设备的限制，只能取这种材料的一部分作为样块进行测量。如

果测量所用的样块在材料的成分或均匀性方面不能完全代表定义的被测量，则样块将引起不确定度。4.对被测量过程受环境影响的认识不周全，或对环境条件的测量与控制不完善同样以上述钢棒为例，不仅温度和压力影响其长度，实际上，湿度和钢棒的支撑方式都有明显影响。但由于认识不足，没有采取措施，就会引起不确定度。5.对模拟仪器的读数存在人为偏差(偏移) 模拟式仪器在读取其示值时，一般是估读到最小分度值的1/10。由于观测者的位置和观测者个人习惯不同等原因，可能对同一状态下的显示值会有不同的估读值，这种差异将产生不确定度。6.测量仪器的分辨力或鉴别力不够 数字式测量仪器的不确定度来源之一，是其指示装置的分辨力。即使指示为理想重复，这种重复性所贡献的测量不确定度仍然不为零，这是因为，当输入信号在一个已知的区间内变动时，该仪器却给出了同样的指示。7.赋予测量标准和标准物质的值不准 通常的测量是通过被测量与测量标准的给定值进行比较实现的，因此，该测量标准的不确定度将直接引入测量结果。例如:用天平测量时，测得质量的不确定度中包括了标准砝码的不确定度。8.用于数据计算的常量和其他参量不准 例如:在测量黄铜的长度随温度变化时，要用到黄铜的线热膨胀系数。查有关数据手册可以找到所需的值，与此同时，也可从手册上查出或计算出该值的不确定度，它同样是测量结果不确定度的一个来源。9.测量方法和测量程序的近似性和假定性 例如:被测量表达式的近似程度，自动测试程序的迭代程度，电测量中由于测量系统不完善引起的绝缘漏电、热电势、引线电阻上的压降等，均会引起不确定度。10.在表面上看来完全相同的条件下，被测量重复观测值的变

化 在实际工作中我们经常发现，无论怎样控制环境条件以及各类对测量结果可能产生影响的因素，而最终的测量结果总会存在一定的分散性，即多次测量的结果并不完全相同。这种现象是一种客观存在，是由一些随机效应造成的。上述不确定度的来源不一定是独立的，例如，第10项可能与前面各项都有关。(三)测量不确定度的评定 1.测量模型的建立 被测量指的是作为测量对象的特定量。在实际测量的很多情况下，被测量Y(输出量)不能直接测得，而是由N个其他量X1，X2，…，XN(输入量)通过函数关系f来确定的: Y=f(X1，X2，…，XN)(5.5-1) 上式表示的这种函数关系，就称为测量模型，或测量过程的数学模型。测量模型f代表所使用的测量程序和评定方法，它描述如何从输入量Xi的值求得输出量Y的值。输入量X1，X2，…，XN本身可看做被测量，也可能取决于其他量，甚至包括系统效应的修正值和修正因子，因此，函数关系式f可能非常复杂，以至于不能明确地表示出来。当然，数学模型有时也可能简单到Y=X。例如:用卡尺测量工件的尺寸，工件的尺寸就等于卡尺的示值。数学模型不是惟一的。采用不同的测量方法和不同的测量程序，就可能有不同的数学模型。例如:一个随温度t变化的电阻器两端的电压为V，在温度为t0时的电阻为R0，电阻器的温度系数为α，则电阻器的损耗功率P(输出量或被测量)取决于V，R0，α和t(输入量)，即: P=f(V，R0，α，t)=V2/R0〔1 α(t-t0)] (5.5-2) 同样是测量该电阻器的损耗功率P，我们也可采用测量其端电压和流经电阻的电流I来获得，则P的数学模型就变成: P=f(V，I)=VI (5.5-30) 数学模型可用已知的物理公式求得，也可用实验的方法确定，有时甚至只能用数值方程给出。如果数据表明，f未

能将测量过程模型化至测量所要求的准确度，则必须在f中增加其他输入量，即增加影响量。例如:在电阻功率的测量中，增加电阻上已知的温度非均匀分布、电阻温度系数的非线性关系、电阻值与大气压力的关系等，直至测量结果满足要求。 在输入量X1，X2，…，XN中，一类是当前直接测定的量，其值和不确定度得自于单一观测、重复观测，或依据经验的调整等，并可能涉及仪器读数的修正值，以及诸如环境温度、大气压力、湿度等影响量修正值的确定。而另一类则是从外部引入的量，例如:与已校准的测量标准、有证参考物质相关的量，或从手册中查出的参考数据等。 设式(5.5-1)中被测量Y的估计值，即输出估计值为y，输入量Xi的估计值，即输入估计值为xi，则有y=f(x1，x2，…，xN)(5.5-4) 在此，输入值是经过对模型中所有主要系统效应的影响修正的最佳估计值。否则，须将必要的修正值作为独立的输入量引入测量模型中。 对于一随机变量，可以使用其分布方差或方差的正平方根，即标准差，来量度其值的分散性。与输出估计值或测量结果y相关的测量标准不确定度u(y)，是被测量Y的标准差，它是通过与输入估计值相关的标准差，即标准不确定度u(xi)来确定的。与估计值相联系的标准不确定度具有与估计值相同的量纲。在有些情况下，使用相对标准不确定度，即估计值的测量不确定度除以估计值的模，可能更为适当，它的量纲为1。当估计值等于0时，相对不确定度的概念不适用。 2.输入估计值测量不确定度的评定 (1)概述 与输入估计值相关的测量不确定度，采用"A类"或采用"B类"方法评定。标准不确定度的A类评定，是通过对观测列的统计分析来评定不确定度的方法。此时，标准不确定度为通过求平均程序或适

当的回归分析求得的平均值的实验标准差。标准不确定度的B类评定，是用不同于对观测列统计分析的方法来评定不确定度的方法。此时，标准不确定度是根据其他知识或信息得出的。 (2)标准不确定度的A类评定 当在相同的测量条件下，对某一输入量进行若干次独立的观测时，可采用标准不确定度的A类评定方法。 假定重复测量的输入量Xi为量Q。若在相同的测量条件下进行n(n>1)次独立的观测，量Q的估计值为各个独立观测值qj(j=1，2，…，)的算术平均值与输入估计值 相关的测量不确定度可按以下方法之一评定:(a)值qj的实验方差s2(q)是概率分布方差的估计值，可按下式计算 其(正)平方根称为实验标准差。算术平均值 方差的最佳估计值，是由下式给出的平均值的实验方差:s2（)=s2(q)/n(5.5-7) 其(正)平方根称为平均值的实验标准差。与输入估计值 相关的标准不确定度即平均值的实验标准差:u)=s( )(5.5.8) 值得注意的是，一般而言，当重复测量次数n较小(n〔例5.5-1]对一等标准活塞压力计的有效面积进行测量。在各种压力下，测得10次活塞有效面积S0与工作基准活塞面积S5之比li如下: 0.250670 0.250673 0.250670 0.250671 0.250675 0.250671 0.250675 0.250670 0.250673 0.250670 则由式(5.5-7)求得L的标准不确定度u(L)为: u(L)=s(L)=s(li)/ =0.63×10-6 (b)对于特性比较明确且处于统计控制之下的测量过程来说，使用所获得的合并样本标准差sp来描述分散性，可能比采用通过有限次数的观测值获得的标准差更为合适。sp为测量过程长期的组内方差平均值的平方根。在此情况下，若输入量Q的值由非常有限的n次独立观测值的平均值 求得，则平均值的方差可按下式估计: s2( )=sp2/n(5.5-9) 根据该值，按式(5.5-8)即可求出标准不确定度

。〔例5.5-2]在实行量块的测量保证方案时，为使实验处于控制状态，要以核查标准量块来建立单个量块的标准差。若第1次核查时的样本标准差为s1=0.015μm，第2次核查时的样本标准差为s2=0.013μm，……多次核查的合并样本标准差sp为0.014μm(条件为诸样本标准差无显著差异)。若以sp核查标准量块的合并样本标准差，用以考察任一次测量(设测量次数为n=6)，则标准不确定度u(x)为: u(x)=sp/ =0.014/ =0006(μm) (3)标准不确定度的B类评定B类标准不确定度评定是用不同于对观测列统计分析的方法，来评定与输入量Xi的估计值xi相关的不确定度。即根据所有可获得的关于Xi可能变异性的信息，做出科学的、经验的判断，来评定标准不确定度u(xi)。用于不确定度B类评定的信息来源一般包括: ①以前的观测数据；②对有关材料和仪器特性的了解和经验；③生产部门提供的技术说明文件；④校准证书、检定证书或其他文件提供的数据；⑤手册或某些资料给出的参考数据及其不确定度；⑥规定实验方法的国家标准或类似技术文件中给出的重复性限或复现性限。运用所掌握的信息进行测量不确定度的B类评定，要求有一定的知识、经验和技巧。适当评出的B类标准不确定度，可与A类标准不确定度一样可靠。B类不确定度评定的最常用方法有以下四种: (a)已知扩展不确定度和包含因子 如输入估计值xi来源于制造部门的说明书、校准证书、手册或其他资料，其中同时还明确给出其扩展不确定度U(xi)及包含因子k的大小，则与输入估计值相关的标准不确定度u(xi)为: u(xi)=U(xi)/k(5.5-10) 〔例5.5-3]校准证书上指出，标称值为1kg的砝码的实际质量m=100000032g，并说明按包含因子k=3给出的扩展不确定度U=024mg。则由该砝码导致

的测量标准不确定度分量u(m)为: u(m)=0.24mg/3=80μg 相对标准不确定度为: urel(m)=u(m)/m=80×10-9 (b)已知扩展不确定度和置信水平的正态分布 如果给出xi在一定置信水平p下的置信区间的半宽，即扩展不确定度Up，除非另有说明，一般按正态分布来评定其标准不确定度u(xi)，即: u(xi)=Up/kp(5.5-11)其中，kp--置信水平p下的包含因子。 正态分布的置信水平p(置信概率)与包含因子kp之间存在着下表所示的关系。 〔例5.5-4]校准证书上给出标称值为10Ω的标准电阻器的电阻Rs在23°C时为: R.(23°C)=(10.00074±000013)Ω同时说明置信水平p=99%。 由于U99=0.13mΩ，按表5-5-1，kp=2.58，故其标准不确定度u(Rs)=0.13mΩ/2.58=50μΩ。 (c)其他几种常见的分布 除了正态分布外，其他常见的分布有t分布、均匀分布、反正弦分布、三角分布、梯形分布、两点分布等。 若只知道输入量的估计值xi分散区间的上限和下限分别为a 和a-(例如测量仪器的出厂指标、温度范围、由自动数据简化引起的舍入或截断误差)，则只能保守一些假定输入量Xi在上、下限之间的概率分布为均匀(矩形)分布。按照上述情况(b)的做法，输入估计值xi及其标准不确定度u(xi)分别为: xi=(a a-)/2(5.5-12) u2(xi)=(a -a-)2/12(5.5-13)如果上、下限之差用2a表示，即a -a-=2a，则: u2(xi)=a2/3(5.5-14) 或: u(xi)=a/(5.5-15) [例5.5-5]手册中给出纯铜在20°C时的线膨胀系数α20(Cu)为16.52×10-6°C-1，并说明此值的变化范围不超过±0.40×10-6°C-1。保守一些假定α20(Cu)在此区间内为均匀分布，则线膨胀系数的标准不确定度u(α)为: u(α)=0.40×10-6°C-1/1.73=0.23×10-6°C-1。 (d)由重复性限或再现性限求不确定度 在规定实验方法的国家标准或类似技术文件中，

按规定的测量条件，当明确指出输入量的两次测得值之差的重复性限，或再现性限R时，如无特殊说明，则输入估计值的标准不确定度为: $u(x_i)=r/2.83$(5.5-16) 或$u(x_i)=R/2.83$(5.5-17) 这里，重复性限，或再现性限R的置信水准为95%，并作为正态分布处理。 3.输出估计值标准不确定度的计算 (1)当全部输入量彼此独立或不相关时，与输出估计值y相关的标准不确定度，即合成标准不确定度。 灵敏系数c_i表示输出估计值y随输入估计值x_i的变化而变化的程度。它可以从模型函数f按式(5.5-19)评定，或采用数值方法计算，即分别计算因输入估计值x_i的 $u(x_i)$和$-u(x_i)$的变化而引起的输出估计值y的变化，所得的y值之差除以$2u(x_i)$即为c_i的值。有时，可以通过实验，例如分别在$x_i \pm u(x_i)$重复测量，找出输出估计值y的变化以求出c_i的值。 (2)当两个输入量X_i和X_k之间有一定程度的相关性时，即它们之间不是相互独立的，那么，其协方差也应作为不确定度的一个分量来考虑。在以下情况下，与两个输入量X_i和X_k的估计值相关的协方差可以认为是零或影响非常小:(a)输入量X_i和X_k相互独立，例如，它们是在不同的独立实验中重复而且非同时测得的，或它们分别代表独立进行的不同评定所得出的量；(b)输入量X_i和X_k中的一个可作为常量看待；(c)研究表明，输入量X_i和X_k之间没有相关性的迹象。 有时，可以通过改变测量程序来避免发生相关性，或者使协方差减小到可以忽略不计的程度。例如:通过改变所使用的同一台标准器等。 4.扩展不确定度的评定 扩展不确定度是确定测量结果区间的量，合理赋予被测量之值分布的大部分可望含于此区间。实际上，扩展不确定度是将输出估计值的标准不确定度u(y)扩展了k倍后得到的，这里的k称为包含因子。即:

U=ku(y)(5.5-27) k值一般为2，有时为3，这取决于被测量的重要性、效益和风险。当可以赋予被测量正态分布，且与输出估计值相关的标准差的可靠性足够高时，包含因子k=2，这代表扩展不确定度的包含概率约为95%。扩展不确定度是测量结果取值区间的半宽，该区间可期望包含了被测量之值分布的大部分。而测量结果的取值区间在被测量值概率分布中所包含的百分数，称为该区间的置信水平或置信概率，用符号p表示。与置信水平相联系的扩展不确定度，用符号Up表示。例如:若合理地赋予被测量之值的分散区间包含全部的测得值，则此区间的置信概率为p=100%，扩展不确定度用U100表示，它就是置信区间的半宽，通常用符号a表示。若只包含95%的被测量之值，则此区间称为置信概率为p=95%的置信区间，其半宽就是扩展不确定度U95；类似地，若要求99%的概率，则半宽为U99。显然，U955.测量不确定度的报告 一个完整的测量结果应包含两部分: (1)被测量Y的最佳估计值，即输出估计值y，一般由测量列的算术平均值给出；(2)描述该测量结果分散性的测量不确定度，它实际上是测量过程中来自测量设备、环境、人员、测量方法及被测对象的所有不确定度因素的集合。报告测量不确定度有两种方式:一种是直接使用合成标准不确定度，另一种是使用扩展不确定度。在进行基础计量学研究和基本物理常量的测量时，通常使用合成标准不确定度。除此之外，一般采用扩展不确定度来报告测量不确定度。设被测量是标称值为100g的标准砝码质量ms下面举例说明其测量结果的表达方法: (1)用合成标准不确定度表达(a)ms=100.02147g，u(ms)=0.35mg。(b)ms=10002147(35)g，括号中的数是u(ms)的数值，与所说明结果的最后位数字相对应

。 (c)ms=100.02147(0.00035)g，括号中的数是u(ms)的数值，用所说明结果的单位表示。 (2)用扩展不确定度表达 (a)ms=100.0215g，U(ms)=0.7mg(k=2)。 (b)ms=(1000215±00007)g，其中±后的数是扩展不确定度U(ms)，k=2。 需要指出的是:输出估计值y及其标准不确定度u(y)或扩展不确定度U(y)的数值都不应给出过多的有效位数。一般来说，最终报告时，扩展不确定度U(y)至多为两位有效数字，即可取1～2位有效数字。但在计算过程中，为了避免修约误差，可能需要保留一些多余的位数。 按照1～2位有效位数，对测量不确定度的数值进行修约时，一般要将最末位后面的数都进位而不是舍去。例如:U(y)=10.4mm，应进位到11mm。一旦测量不确定度的有效位数确定了，则应采用它的修约间隔来修约测量结果，以确定其有效位至哪一位。也就是说，当采用同一测量单位来表述测得值及其不确定度时，它们的有效位数应是对齐的。 6.测量不确定度的分类和评定流程 (四)测量不确定度应用实例 〔例5.5-6]高值电阻的测量 1.测量任务 在某电子设备的生产中，需要使用1MΩ的高值电阻，设计要求其最大允许误差应在±0.1%以内。为此，对选用的高值电阻进行测量，以确定其电阻值是否满足预期的使用要求。 2.测量方法 用一台数字多用表对被测电阻器的电阻进行直接测量，测量系统按图5.5-2连接。 3.测量仪器 使用5位半的数字多用表一台，经检定合格并在有效期内。 最大允许误差为:±(0.005%×读数 3×最低位数值)；测量时所用档的满量程值为1999.9kΩ，最低位数值为0.01kΩ；当环境温度为(5～25)°C时，温度系数的影响可忽略。 4.实测记录 在室温(23±1)°C下，用该数字多用表重复测得的显示值Ri列于表5.5-2。 5.测量

不确定度评定 (1)测量模型电阻器的电阻值就等于数字多用表的电阻显示值R。 (2)标准不确定度分量 ①A类评定 ②B类评定 根据数字多用表的技术指标，确定其最大允许误差的区间的半宽a为: a=0.005%R 3×0.01kΩ 设测量值在该区间内为均匀分布(矩形分布)。由数字多用表不准引*的标准不确定度分量u2(R)为: u2(R)=a/ =(0.005%×999.408KΩ 3×0.01kΩ)/1.73=0046kΩ (3)合成标准不确定度由于上述2项标准不确定度分量之间不相关，所以合成标准不确定度uc(R)为: (4)扩展不确定度取包含因子k=2，故扩展不确定度U为: U=ku。(R)=2×0.094kΩ=0.188kΩ≈0.2kΩ 6.测量结果报告 电阻器的电阻值为R=(999.4±0.2)kΩ，扩展不确定度为U=0.2kΩ，包含因子k=2。可见，符合电阻器的设计要求(1000±1)kΩ，故该电阻器可用于某电子设备的生产中。