

# 一种选取有效测量点简化测量不确定度计算的方法

周 锋 王瑞宝

(中国人民解放军 92571 部队计量站 三亚 572000)

**摘 要:** 提出了一种利用二次插值法选取测量点,简化测量不确定度计算的方法。采用曲线拟合的方式,对已知典型固定点进行二次插值求解,得到逼近实际曲线的二次插值函数。通过与逐点计算法、典型点法和分段法 3 种方法比较,结果显示,二次插值法计算得到的测量不确定度在量值范围内近似连续性,能够较好地表述整个量值范围内的测量不确定度,克服了严重歪曲测量不确定度的问题,并且有效减少了计算量,很好地体现了测量标准的校准和测量能力。

**关键词:** 测量不确定度;二次插值;测量标准

**中图分类号:** TB9 TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 410.55

## Simple method to calculate measurement uncertainty by effective measurement points

Zhou Feng Wang Ruibao

(Measuring Station of Unit 92571, PLA, Sanya 572000, China)

**Abstract:** A simple method to calculate measurement uncertainty by effective measurement points used quadratic interpolation is proposed. Curve fitting method was used to quadratic interpolation on typical fixed values. It resulted to quadratic interpolation function approaching the actual curve. Comparing with point-by point method, typical point method and stepwise method, it shows that measurement uncertainty by calculating quadratic interpolation approximate continuity, and can express the measurement uncertainty well over the entire range of value, overcome the serious misinterpretation of uncertainty, reduce the amount of computation effectively, represent calibration and measurement capability of measurement standard well.

**Keywords:** measurement uncertainty; quadratic interpolation; measurement standard

### 1 引 言

计量技术机构建立测量标准过程中,需要用不确定度来表示测量标准的校准和测量能力(CMC),从而确定计量技术机构能够进行量值传递的范围,即实验室能力认可。CNAL/AC01:2005《检测和校准实验室认可准则》和 CNAS-CL07《测量不确定度的要求》均要求校准证书应给出测量不确定度<sup>[1-2]</sup>。2011 年之前用来表示实验室能力的测量不确定度以典型点的不确定度值来表示,已经不能满足客户判定校准结果是否满足使用的要求。中国合格评定国家认可委员会(CNAS)要求实验室在证书报告中,必须给出每一个校准结果的测量不确定度值。

不确定度评定中,测量点的选取是个关键问题,一

般有 3 种方法确定测量点<sup>[3-9]</sup>:1)选取参数在整个量值范围内的所有测量点;2)选取参数在量值范围内的典型固定点;3)分段选取量值范围内典型点。方法 1 得到的测量不确定度具有连续性,真实体现了测量标准的校准和测量能力,但过程过于烦琐,计算量大;方法 2 得到整个范围内的不确定度是近似的,计算过程简单,但评定点数量过少,容易歪曲测量不确定度,不确定度呈非线性变化时不适用,且误差大;方法 3 是用各个区域内的最大不确定度来表示校准和测量能力,方法虽然简单,但误差大。

针对上述不确定度表示中存在的问题,提出了一种利用二次插值法来选取测量点,简化测量不确定度计算的方法,得到整个量值范围内的测量不确定度,计算量小,有一定的精度。

收稿日期:2015-03

## 2 二次插值法

在生产和实验中,有时只能给出未知函数  $f(x)$  的一些离散点的值  $(x_i, f(x_i))$ ,  $i = 0, 1, \dots, n$ ; 给不出  $f(x)$  的具体表达式,或者函数  $f(x)$  的表达式过于复杂不利于运算,这时需要用简单而便于计算近似函数  $\varphi(x)$  来逼近函数  $f(x)$ 。插值法是函数逼近的重要方法之一,有着广泛的应用。简单地讲,用给定未知函数  $f(x)$  的若干函数值的点构造近似函数  $\varphi(x)$ ,要求  $\varphi(x)$  与  $f(x)$  再给定点的函数值相等,则称函数  $\varphi(x)$  为插值函数<sup>[10]</sup>。其中,二次插值法是常用的代数多项式插值之一,形式简单,便于计算,在某些情况下能够较好地逼近给定函数,用简单函数表示复杂函数,因此二次插值法适合近似表示复杂函数。

二次插值法计算公式如式(1)所示。

$$\varphi_2(x) = f(x_0)l_0(x) + f(x_1)l_1(x) + f(x_2)l_2(x) \quad (1)$$

$$l_0(x) = \frac{x-x_1}{x_0-x_1} \cdot \frac{x-x_2}{x_0-x_2} \quad (2)$$

$$l_1(x) = \frac{x-x_0}{x_1-x_0} \cdot \frac{x-x_2}{x_1-x_2} \quad (3)$$

$$l_2(x) = \frac{x-x_0}{x_2-x_0} \cdot \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \quad (4)$$

式中:  $x_0, x_1, x_2$  为已知点;  $f(x_0), f(x_1), f(x_2)$  为3个已知点的函数值;  $l_0(x), l_1(x), l_2(x)$  为插值基函数。

测量不确定度评定过程中,可通过固定点的不确定度值,利用二次插值法求得测量不确定度的近似函数,从而得到量值范围内不确定度的光滑曲线。

## 3 量值范围内不确定度评定

一切测量结果都不可避免地具有不确定度,测量不确定度是评价测量结果可信性、可比性的重要指标。在实验室能力认可工作中,实验室必须制定测量不确定度的评定程序,对每一个校准点都应该包括有关测量不确定的说明。测量不确定度评定包括A类评定和B类评定,通过确定对应于各输入量的标准不确定度分量求得合成标准不确定度,进而确定扩展不确定度。

实例1: 评定面功率计 0 dBm 功率值在 0.05~10 GHz 频率范围内的不确定度,说明目前存在的表示不确定度的3种方法。表1、表2、表3分别给出了3种方法获得的不确定度值,不确定度曲线图如图1所示,其中方法1插值方法为线性插值。从图中可以看出,方法1分析了多个典型频率点,用线性插值将点连接,近似连续性。方法2只对最小值和最大值进行不确定度评定,对整个范围分析不全面,如果存在两点之外更大测量不确定度的点,就会因只使用2个点的测量不确定度值而曲解了其校准和测量能力。方法3采用分段分析

的方法,简化了不确定度计算,但可以看出,其不确定度并不是所有区域的最佳值,不能很好地表述整个范围内的不确定度情况。

表1 实例1方法1得到的不确定度

频率/GHz	0.05	0.1	0.3	0.5	1	2	3
不确定度/dB	0.20	0.18	0.15	0.14	0.14	0.11	0.12
频率/GHz	4	5	6	7	8	9	10
不确定度/dB	0.12	0.16	0.14	0.15	0.23	0.25	0.30

表2 实例1方法2得到的不确定度

频率/GHz	0.05	10
不确定度/dB	0.20	0.30

表3 实例1方法3得到的不确定度

频率/GHz	0.05~1	1~7	7~10
不确定度/dB	0.20	0.16	0.30

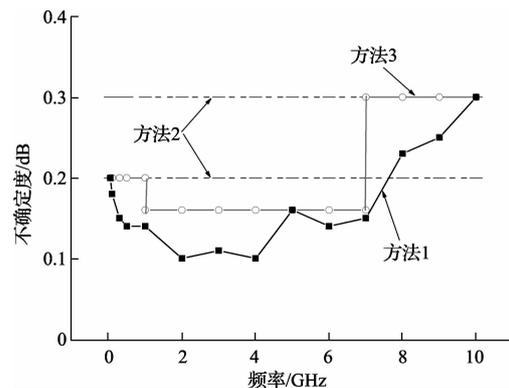


图1 3种方法得到的不确定度

从图1中可以看出:在量值范围内对所有典型点进行不确定度评定,能够较好地表述测量标准的测量不确定度,体现了计量技术机构测量标准的校准和测量能力,但是工作量巨大,较为烦琐,简单的评定又存在曲解不确定度的风险。

为了减少对每个点的测量不确定度计算,减小工作量,采用二次插值法对最小值、中间典型点、最大值进行分析,来确定功率计 0 dBm 功率值在量值范围内其他点的不确定度。将 0.05 GHz、4 GHz 和 10 GHz 点及其对应的不确定度值 0.20 dB、0.12 dB、0.30 dB 代入式(1)~(4),用二次插值法计算得到的不确定度表示为  $u_1(x) = 0.0051(x^2 - 8.06x + 40)$ ,计算曲线如图2所示。由图2可见,二次插值法计算所得的不确定度曲线能够较好地逼近方法1逐点计算的曲线,克服了方法2和方法3存在的问题。量值范围内不确定度呈现不规则曲线时,可以用二

次插值法逼近,从而减少计算量。

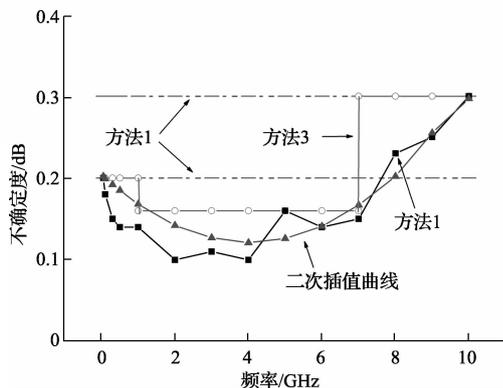


图2 二次插值法计算的0 dBm功率不确定度

测量标准在量值范围内不确定度呈现不规则曲线时可以用二次插值法逼近,从而减少计算量。下面以信号源检定装置为例,阐述测量接收机FSMR26在频率0.5~10 GHz,相对不确定度呈现规则曲线时,二次插值法计算得到的相对不确定度与其近似程度。

实例2:在信号源检测装置中,利用二次插值法计算测量接收机FSMR26在频率0.5~10 GHz范围内相对不确定度。对0.5~10 GHz典型频率点进行不确定度分析,分析过程中只考虑测量接收机频率准确度引入的相对标准不确定度分量和测量重复性引入的相对标准不确定度分量。测量接收机频率测量的最大允许误差为 $\pm(2.0 \times 10^{-8} \times \text{频率} + 0.1 \text{ Hz})$ ,通过两者相对标准不确定度的平方根计算得到合成标准不确定度,再乘以包含因子2就可以得到扩展不确定度。图3显示了在0.5~10 GHz典型频率点扩展不确定度的计算结果。利用式(1)~(4)计算得到的相对不确定度为 $u_2(x) = 0.0051(x^2 - 8.06x + 40)$ ,二次插值曲线如图3所示。

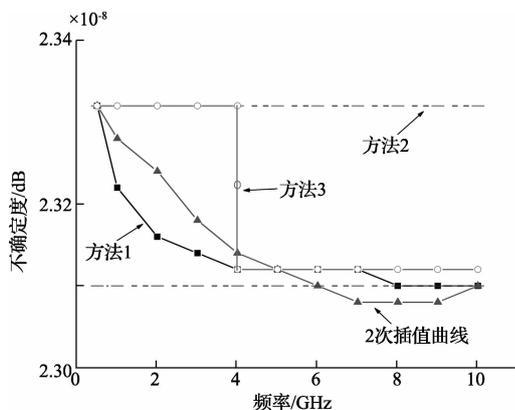


图3 二次插值法计算的频率相对不确定度

从图3中可以看出,二次插值曲线能较好逼近方法一逐点计算曲线,简化了不确定度的计算过程,同时克服了方法2和方法3严重歪曲不确定度的情况。可以看出,二

次插值法也适用于不确定度呈现规则曲线时的情况。

上述两个实例表明,利用二次插值法曲线拟合特性,得出量值范围内测量不确定度的函数表达式,进而求得区间内任意一点的不确定度值,满足了CNAS关于校准和测量能力对不确定度表示的要求。用较少的计算得到整个量值范围内的测量不确定度,极大地方便了用户掌握测量的性能,使实验室的校准和测量能力更加科学。

#### 4 结论

提出了一种利用二次插值法选取测量点,简化测量不确定度计算的方法。采用曲线拟合的方式,逼近实际曲线,以简化测量标准建立过程中对测量标准不确定度的计算。结果表明,二次插值法能够简化测量不确定度计算,所得测量不确定度在量值范围内近似连续性,克服了严重歪曲不确定度的问题,适用性较广,可用于规则和不规则不确定度曲线,计算量较小。能够较好地表述整个量值范围内的测量不确定度,体现测量标准的认可范围、校准和测量能力。

#### 参考文献

- [1] CNAL/AC01:2005 检测和校准实验室认可准则[S].
- [2] CNAS-CL07:2011 测量不确定度的要求[S].
- [3] 张海滨,王中宇,刘智敏. 测量不确定度评定的验证研究[J]. 计量学报,2007,28(3):193-197.
- [4] 王鲁. 测量不确定度的评定及其在力值计量中的应用与研究[D]. 杭州:浙江大学,2014.
- [5] 宋明顺,方兴华,黄佳,等. 校准和检测中微小样本测量不确定度评定方法研究[J]. 仪器仪表学报,2014,35(2):419-426.
- [6] 徐波. TD-LTE 测试系统载波泄漏测量不确定度评定[J]. 国外电子测量技术,2013,32(5):49-51.
- [7] 苏灏庆,何玉珠. 某型导引头测试系统的测量不确定度研究[J]. 电子测量技术,2013,36(2):31-33.
- [8] 冯登超. 测量不确定度在多元数据处理的应用[J]. 电子测量与仪器学报,2009(增刊1):46-50.
- [9] 王化吉. EMC 传导发射测试测量不确定度评定[J]. 国外电子测量技术,2012,31(3):42-44.
- [10] 马昌凤,林伟川. 现代数值计算方法[M]. 北京:科学出版社,2013:64.

#### 作者简介

周锋,1983年出生,硕士研究生,工程师。主要研究方向为计量技术、电磁场与微波技术。

E-mail:2650945@163.com

王瑞宝,1973年出生,工学博士,工程师。主要研究方向为计量技术、仪器仪表、电磁兼容。

E-mail:179782184@qq.com