

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.03.18

无线电领域测量标准的过程控制

王林林, 周佳胜, 宋晓婵, 蔡进
(中国人民解放军 61236 部队, 北京 100094)

摘 要: 现行文件规定的过程控制方法对于部分无线电领域的测量标准过于严格, 导致无法利用核查数据建立测量标准的过程控制图, 本文提出一种适用于无线电领域的控制图设计方法, 为标准使用维护人员提供一种参考。

关键词: 无线电; 测量标准; 核查; 过程控制

中图分类号: TB97

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795 (2015) 03-0070-04

Quality Control of the Measurement Standard in Wireless Metrology

WANG Linlin, ZHOU Jiasheng, SONG Xiaochan, CAI Jin

(No. 61236 of PLA, Beijing 100094, China)

Abstract: It is too strict to set up a quality control graph for some measurement standards in the wireless metrology according to the current criteria on process control methods. A new quality control method is discussed in this paper in order to provide an idea for the measurement standard operators.

Key words: wireless metrology; measurement standard; check; quality control

0 引言

任何一个过程, 包括生产过程和测量过程, 都会受到各种因素的影响。这些影响可能源于过程固有的波动, 也可能来源于异常原因引起的波动。测量过程中固有的随机波动始终存在, 不能消除, 属于正常现象; 而来源于异常原因所引起的波动则属于非正常现象, 必须避免。如果利用一个很稳定的核查标准, 即寻找一个很稳定的被测对象, 通过对其进行定期测量, 就能对测量标准形成一个过程控制, 而休哈特控制图是普遍用来判断测量过程是否处于受控状态的一种统计工具。

针对测量标准的统计控制主要有两方面的作用: 诊断, 对已有的测量标准进行诊断, 以评估该测量标准是否已经达到稳定状态; 控制, 针对进行中的测量过程进行控制, 以确定测量过程是否满足预期指标, 或是否需要进行调整、改进^[1]。采用过程控制确保测量标准始终处于受控状态, 是保证测试结果质量的有效措施^[2]。

1 常用方法

1.1 数据来源

对于正在运行的测量标准, 根据相关体系文件要求, 按照事先制定的核查计划, 对标准进行定期的重复测量^[3], 利用历年历次的核查数据建立过程控制的数据库; 对于新建标准利用其在不同环境条件下测得的 k 组 (一般 k 不小于 20)、每组测量 n 次 (各体系要求不同, 在利用贝塞尔公式计算试验标准差时, 一般 n 不小于 6) 的数据建立数据库。当获取测试数据时, 如环境发生突发性改变, 测试人员应当场决定是否保留在此期间的测试数据, 如有离群值出现, 应现场剔除离群值。

1.2 控制图法

控制图法是将核查结果画在确定了控制极限的图表上, 如果核查数据在预先规定的控制限以内, 表明测量过程处于统计控制状态; 如果测试数据超出控制限或者发生其他小概率事件, 应判断测量标准失控, 采取有效的措施直到测量标准再次受控。

控制图主要有三种: 平均值-标准偏差控制图 ($\bar{x}$ -s 图)、平均值-极差控制图 ($\bar{x}$ -R 图)、中位值-极差控制图 ($\tilde{x}$ -R 图)。这里主要分析平均值-标准偏差控制图

收稿日期: 2015-02-05; 修回日期: 2015-03-23

作者简介: 王林林 (1986-), 男, 黑龙江牡丹江人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事军事计量研究。

($\bar{x}$ - s 图)。对于平均值控制图中心线为 CL ，上下限分别为 UCL 和 LCL ：

$$CL = \bar{\bar{x}} \tag{1}$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s} \tag{2}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s} \tag{3}$$

对于标准偏差控制图中心线为 CL ，上下限分别为 UCL 和 LCL ：

$$CL = \bar{s} \tag{4}$$

$$UCL = B_4 \bar{s} \tag{5}$$

$$LCL = B_3 \bar{s} \tag{6}$$

式中： $\bar{\bar{x}}$ 为各组测试数据平均值的平均值； $\bar{s}$ 为各组测试数据标准差的平均值； A_3 ， B_3 ， B_4 为系数，其取值见表 1。

表 1 控制图中控制限的系数表

样本 n	A_3	B_3	B_4
2	2.659	0	3.267
3	1.954	0	2.568
4	1.628	0	2.266
5	1.427	0	2.089
6	1.287	0.030	1.970
7	1.182	0.118	1.882
8	1.099	0.185	1.815
9	1.032	0.239	1.761
10	0.975	0.284	1.716

1.3 统计检验法

统计检验法利用测试数据建立初始的过程参数，最后利用分布函数及相关信息表格建立控制极限。

过程参数的建立：

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{7}$$

$$\bar{s}_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_j)^2} \tag{8}$$

组间平均值 A_c 和组间标准差 s_c 为

$$A_c = \bar{\bar{x}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{x}_j \tag{9}$$

$$s_c = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (\bar{s}_j - A_c)^2} \tag{10}$$

式中： m 通常要求 12 组或者更多； n 一般要求不能小于 6。

建立参数后进入日常核查阶段，由每次的核查原始记录计算出该次的核查数据，即平均值和实验标准偏差，利用 t 检验和 F 检验对核查结果进行统计检验。

平均值控制利用 t 检验方法，当满足式 (11) 时，第 k 次核查的平均值通过 t 检验，过程受控。

$$t = \left| \frac{\bar{x}_k - A_c}{s_c} \right| \leq 3 \tag{11}$$

测量过程的标准偏差利用 F 检验方法，有

$$\bar{s}_k = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_k)^2} \tag{12}$$

$$s_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_j^2} \tag{13}$$

当满足 $s_k < s_p \sqrt{F_\alpha}$ 时，表明测量标准重复性在允许范围内，测量过程受控。 F_α 取值见表 2。

表 2 F 分布表 ($\alpha=0.01$)

$F_\alpha \begin{smallmatrix} \nearrow \nu_1 \\ \searrow \nu_2 \end{smallmatrix}$	3	4	5	6	7	8	9
10	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94
11	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63
12	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39
13	5.74	5.21	4.88	4.62	4.44	4.30	4.19
14	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03
15	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89

平均值控制图 and 标准差控制图关联紧密，使用时一定成对出现，当其中任何一个发生小概率事件时，表明测量标准处于失控状态，应当及时采取措施。很多计量人员通过标准核查利用控制图法对测量标准进行过程控制。

2 无线电领域的特殊性

2.1 重复性

无线电计量领域几乎尽是数字式仪表，这类仪表测试精度高、测量不确定度小，部分仪器溯源过程甚至不满足检定规程要求的量传关系。所以，在重复性条件^[4]下进行的重复性测量，实验标准偏差往往非常小。

2.2 稳定性

数字式仪表虽然在短期测量中重复性非常小，但是由于内部晶振、衰减器等器件随季节或环境的变化会表现出一定的波动，即稳定性带来的影响。但是在式 (2) 和 (3) 中并未体现出稳定性对标准产生偏差的作用。

2.3 核查件

并不是所有的测量标准都适合用控制图法对标准进行过程控制。有些标准由于无法找到一个相对于标准比较稳定的核查件，例如，小功率标准装置，它是

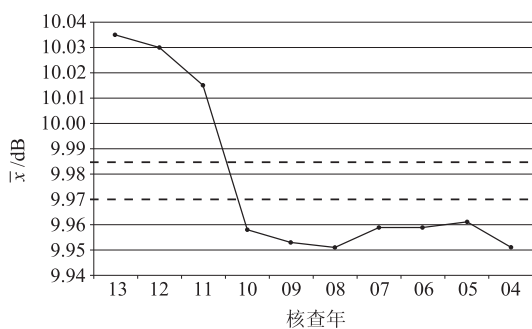
利用一个标准功率座对功率敏感器进行量值传递, 显然, 找不到一个比功率标准稳定性优越的被测功率敏感器, 假设可以, 那这项工作就不会称为标准核查; 如果退而求其次, 那么无法说明测量标准失控是核查件导致的还是测量标准真的发生了异常。

以测量接收机 HP8902A 为主标准器的微波衰减标准装置为例证, 过去一段时间内(2004 年至 2013 年 10 年间, 每年测量 6 次)的标准核查数据如表 3 所示。

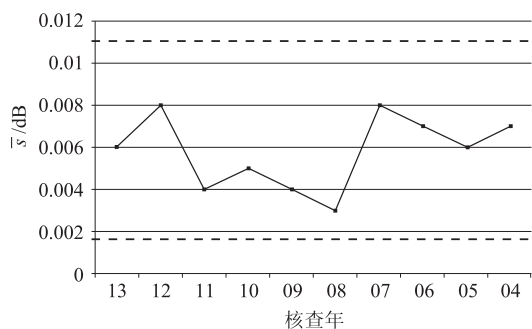
表 3 微波衰减历年核查数据($n=6$)

时间	$\bar{x}/\text{dB}$	s/dB
2013 年	10.035	0.006
2012 年	10.030	0.008
2011 年	10.015	0.004
2010 年	9.958	0.005
2009 年	9.953	0.004
2008 年	9.951	0.003
2007 年	9.959	0.008
2006 年	9.959	0.007
2005 年	9.961	0.006
2004 年	9.951	0.007
平均值	9.977	0.006

按照平均值-标准偏差控制图($\bar{x}$ - s 图)控制限的计算方法, 可以得到微波衰减标准装置的控制限, 如图 1 所示。



(a) 平均值控制结果



(b) 标准偏差控制结果

图 1 微波衰减标准装置的控制限

从图 1(a)中可以看出, 平均值控制结果均超出控制限, 按过程控制理论应当判断为标准失控, 但事实并非如此。分析数据得知, 由标准偏差引入的控制限太窄, 导致即使建立控制图的原始数据都发生了超限现象, 根本谈不上测量标准的过程控制。每组的试验标准差很小, 致使控制限距离参考值非常近, 如果采用更多次数的测量作为样本, 则用贝塞尔公式算出的标准差将更小, 与此同时 A_3 更小(见表 1), 这将导致上下控制限十分接近参考值, 测试稍有偏离参考就会产生核查数据超限现象。采用这种方式作为测量标准的过程控制显然不合适, 因为在确定上下限的模型中没有包含仪器稳定性引入的波动。

3 适合的控制图设计

上面的例子可以看出对于某些无线电测量标准, 平均值控制图没有考虑到仪器的长期稳定性, 给了过于严格的控制极限, 导致过程控制无法进行。过程控制的意义不言而喻, 因此需设法找到适合无线电领域的平均值控制图。

3.1 最大允许误差限控制图

测量标准溯源至上级计量机构获得“合格”结论时, 认为测量标准器具满足出厂给定的技术指标。此时利用仪器出厂数据中的最大允许误差限(MPE)指标建立控制限, 即能反映出仪器的准确度, 又能反映仪器的长期稳定度引起的可控波动给测量带来的影响。测量标准的过程控制限表示如下:

$$CL = x_{\text{参考值}} \quad (14)$$

$$UCL = CL + |MPE| + U \quad (15)$$

$$LCL = CL - |MPE| - U \quad (16)$$

$$UCL_0 = CL + |MPE| - U \quad (17)$$

$$LCL_0 = CL - |MPE| + U \quad (18)$$

式中: UCL 为控制上限; UCL_0 为控制上限警戒线; LCL 为控制下限; LCL_0 为控制下限警戒线; U 为标准在该点的扩展不确定度。

最大允许误差限控制图(如图 2 所示), A 区为合格判定区, 测量标准处于可控状态; B 区为警戒区, 测量标准可能处于失控状态; C 区为不合格判定区, 测量标准失控, 应立即采取措施。

由于被测量在重复性条件下的测量重复性很小, 因此在控制图中, 选取被测量的测量平均值或者是单次测得量值, 差别不大, 可以在控制图中体现一组测试的平均值, 也可将一组核查的 n 个值同时加入。

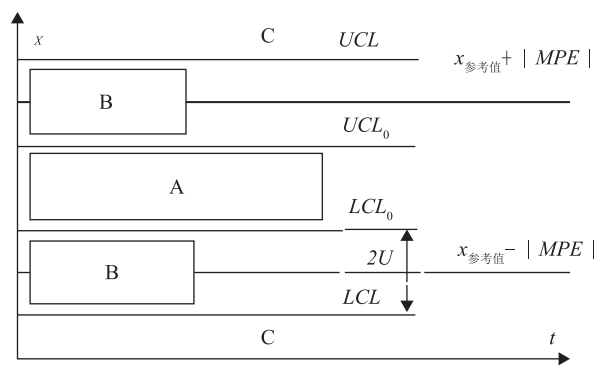


图2 最大允许误差限控制图

3.2 标准偏差控制图

控制图法要求控制图要成对出现才有意义，最大允许误差限控制图能体现出测量标准的准确度及稳定性，而不能体现出测量标准测试的分散性，因此本方法依然沿用平均值-标准偏差控制图($\bar{x}$ -s 图)中的标准差控制图及其方法。

4 结果比对

上述提到的数据按照最大允许误差限控制法完成的控制图如图3所示。由图3可观测到微波衰减标准装置处于稳定可控状态，更加符合实际情况。这里最大允许误差限(MPE)采用线性相加合成，如果觉得控制范围过于宽泛，可采用方和根法进行MPE合成。

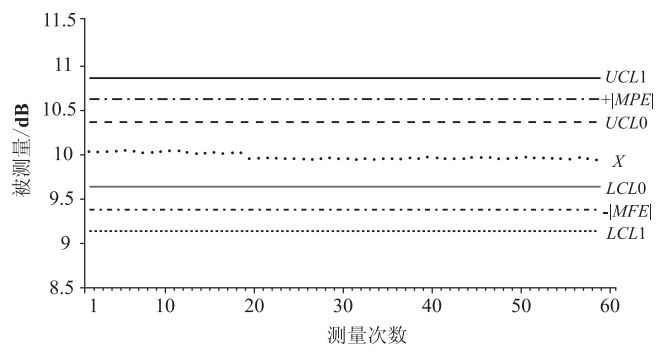


图3 微波衰减标准装置于10 GHz/10 dB 条件下的过程控制图

5 结束语

无线电领域的计量存在其特殊性，直接采用其他领域建立的过程模型往往存在不适用的情况，本篇文章大胆设想利用最大允许误差限控制图代替原来文件中不适合本领域的平均值控制图过程控制方法，希望能给该领域的工作人员提供些许帮助。

参考文献

[1] 倪育才. 实用测量不确定度评定[M]. 北京: 中国质检出版社, 中国标准出版社, 2014.

[2] 叶德培, 宋振国, 高永辉. 军用实验室认可培训教程[M]. 总装备部技术基础管理中心, 2003.

[3] 中国人民解放军总装备部. GJB 2749A-2009 军事计量测量标准建立与保持通用要求[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2009.

[4] 国家质量监督检验检疫总局. JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示[S]. 北京: 中国质检出版社, 2013.

“2015 计量测试技术学术交流会”即将召开

各有关单位:

为追踪行业前沿, 探讨计量技术的发展趋势和热点问题, 推动计量测试技术发展, 促进行业内技术交流, 共享技术进步最新成果, 由中航工业第304研究所主办、计测技术传媒(中国计量测控网 www.jlck.cn、《计测技术》编辑部)承办的“2015 计量测试技术学术交流会”将于2015年7月21日~24日在兰州召开。

本届大会将邀请国内资深计量测试专家作专题报告, 并组织参会代表就热点问题进行学术交流活动。会议主题包括:

1. 互联网+计量, 探讨利用互联网提高计量测试的效率及降低成本。
2. 工业4.0时代, 计量发展所面临的挑战与机遇。
3. 在线计量, 在线监测/监控/校准。
4. 面向未来的产业计量。
5. 航空器产业计量。
6. “十三五”计量展望。

联系人: 韩冰, 隗硕 电 话: 010-62457157, 62457159 手 机: 136992526 1515801646107

中航工业北京长城计量测试技术研究所
《计测技术》编辑部 中国计量测控网