

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2018.04.07

数字示波器技术能力比对中时基 检定结果异常值分析

寇琼月, 周睿, 王鹏

(中国人民解放军 92228 部队, 北京 100072)

摘要: 基于实验室间数字示波器时基检定技术能力比对项目, 介绍比对数据处理方法及结果的表征, 具体分析某实验室时基检定结果异常值产生和造成检定结论误判的原因, 提出实际检定工作中出现类似问题时的处置方法。

关键词: 数字示波器; 时基; 比对; E_n 值; 异常值

中图分类号: TB97

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795 (2018) 04-0030-05

The Analysis of Outliers of the Time-based Verification Results in the Inter-laboratory Comparison of Digital Oscilloscopes

KOU Qiongyue, ZHOU Rui, WANG Peng

(NO. 92228 of PLA, Beijing 100072, China)

Abstract: Data processing methods and estimations of results are introduced and compared based on the program which is the time-based calibration and comparison of the inter-laboratory digital oscilloscopes. The outliers of the laboratory time-based measuring results and the reasons resulted in misjudgments of verification results are analyzed. The processing method of similar problems in actual inspections is provided.

Key words: digital oscilloscope; time base; comparison; E_n value; outlier

0 引言

实验室间比对是按照预先规定的条件, 由两个或多个实验室对相同或类似的测试样品进行检测的组织、实施和评价, 从而确定实验室能力、识别实验室存在的问题与实验室间的差异, 是判断和监控实验室能力的有效手段之一^[1]。基于 16 个计量机构数字示波器计量技术能力比对工作的实际情况, 针对数字示波器时基检定中, 有两个实验室的比对数据与其它实验室存在较大偏差, 也偏离了比对参考实验室提供的参考值的情况, 介绍了比对数据分析处理方法, 分析了异常值产生的原因, 提出实际检定工作中出现类似问题时的处置方法。

1 比对数据处理方法及结果的表征

1.1 归一化偏差法

数字示波器技术能力比对主要过程是: 主持实验室携带传递标准, 按照拟定的顺序在各参比实验室间进行传递, 各参比实验室在规定时间内完成检定及测量结果不确定度评定, 主持实验室对各参比实验室提

交的测量数据进行统计、分析处理, 评价参比实验室的技术能力^[2]。

用“归一化偏差法”^[3]来评定各实验室的结果, 根据比对结果数据, 计算各实验室测量结果的归一化偏差 E_n

$$E_n = \frac{A_j - A_s}{\sqrt{U_j^2 + U_s^2}} \quad (1)$$

式中: E_n 为某实验室的测量结果的归一化偏差; A_j 为第 j 个实验室的测量结果; U_j 为第 j 个实验室测量结果的扩展测量不确定度 ($k=2$); A_s 为传递标准的参考值; U_s 为传递标准参考值的扩展测量不确定度 ($k=2$)。

当某实验室测量结果的归一化偏差的绝对值满足 $|E_n| \leq 1$ 时, 判该测量结果符合要求或判为测量结果一致, 即受控; 若 $|E_n| > 1$ 时, 判该测量结果离群或测量结果不一致^[4]。

1.2 归一化偏差中 A_s 和 U_s 的确定

1.2.1 参比实验室示波器校准仪时基技术能力分析

参比实验室的示波器校准仪时标信号技术能力相差甚大, 根据示波器校准仪技术能力划分为三类, 如表 1 所示。从表 1 延迟 10 ms 引入最大允许误差绝对值可知,

示波器校准仪引入的不确定度相差两个数量级,若 16 个参比实验室均采用参考实验室(主标准器为 9500B)提供的参考值进行数据处理,则参考值的扩展不确定度在归一化偏差计算中将被淹没。归一化处理主要由参比实验室不确定度量值决定,在测量值与参考值接近的情况下,归一化偏差 $|E_n|$ 值均小于 1,没有可比性,也说明不了问题。因此,时基比对数据处理中,持有 5520A

(SC300)示波器校准仪的参比实验室,不参加时基归一化数据处理。其它参比实验室按技术能力及参考值确定方法分两组进行数据处理,第一组,对于与参考实验室具有同等技术能力的参比实验室,归一化偏差中 A_s 和 U_s 采用参考值法,对应于表 1 中第一类;第二组,对于其它技术能力相近的参比实验室归一化偏差中 A_s 和 U_s 采用算术平均值法,对应于表 1 中第二类。

表 1 参比实验室示波器校准仪时基技术能力比较

类别	示波器校准仪型号	参比实验室代码	时标信号输出范围	最大允许误差	延迟 10ms 引入最大允许误差绝对值/ns
第一类	5820A	05, 09, 10	2 ns ~ 20 ms	$\pm 3.3 \times 10^{-7}$	3.3
	9500B	01, 11, 12	1 ns ~ 5 s	$\pm 2.5 \times 10^{-7}$	2.5
第二类	5520A(SC600)	03, 04, 06, 07, 08, 13, 14, 15	2 ns ~ 50 ms	$\pm 2.5 \times 10^{-6}$	25
第三类	5520A(SC300)	02, 16	5 s ~ 100 μ s	$\pm (25 + t \times 1000) \times 10^{-6}$, t 的单位为 s	350

1.2.2 参考值法

对应表 1 中第一类,归一化偏差数据处理中的 A_s 和 U_s 采用参考值法来确定,由比对参考实验室为传递标准提供参考值(参考标准为 FLUKE9500B 示波器校准仪),比对现场测试期间,两台传递标准器先后 4 次返回参考实验室获取参考值,主持实验室根据参考实验室提供的 4 次参考检定值,取平均值为传递标准的参考值 A_s ,并完成测量扩展不确定度 U_s 的评定。

1.2.3 算术平均值法

对应表 1 中第二类,归一化偏差数据处理中的 A_s 和 U_s 采用算术平均值法来确定,具体方法如下:

设测试结果为 A_i (i 为参加实验室的编号, N 个实验室参加, $i = 1, 2, \cdots, j, \cdots, N$),每个测量结果的扩展不确定度为 U_i ($U_i = ku_{ci}, k = 2$),除去被评价的实验室的测量结果后,计算其余实验室测量结果的算术平均值,以此算术平均值作为被测量的约定真值 A_s 。

$$A_s = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1, i \neq j}^N A_i$$

(3)

则

$$U_s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1, i \neq j}^N U_i^2}$$

(3)

1.3 参比实验室时基比对数据统计

此次比对的两台传递标准均参加了比对现场测试,16 个参比实验室提交的数据均有效。本文选择传递标

准 TDS3032C(编号: C013920)数字示波器检定数据进行归一化数据处理及比对结果分析,时基比对数据如表 2 所示,参比实验室名称以代码标称。

表 2 参比实验室数字示波器时基比对数据

实验室代码	延迟 10 ms 时基测量结果	
	实验室测量值 A_j /ns	实验室测量值的不确定度 U_j /ns
01	-20.67	2.9
02	-21.3	400
03	-21.3	28
04	-13	29
05	-23.3	3.9
06	-20.7	29
07	-41.0	28.8
08	-22.1	28
09	-20.6	4.0
10	-19.5	3.8
11	-22.5	2.8
12	-24.4	3.4
13	-29.2	28
14	-22	29
15	-26.4	29
16	-25.9	404.2

1.4 测量异常值判定方法

1.4.1 异常值的剔除方法

在进行时基归一化偏差计算之前,先用统计方法剔除异常的测量结果,异常值的剔除方法采用格拉布斯准则^[5],即:

计算 N 个实验室对同一被测量的测量结果的平均值 $\bar{A}$ 及实验标准偏差 $s(A_j)$ 。

$$s(A_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_j - \bar{A}_j)^2}{n - 1}} \quad (4)$$

式中: n 为测量次数; A_j 为每个实验室测得值; $\bar{A}_j$ 为实验室测量结果平均值。

从 N 个测量结果中找出可疑值 A_d (通常将测量结果从小到大排列后,以最小值或最大值为可疑值),或 A_d 满足式(5),则 A_d 为异常值,予以剔除。

$$|A_d - \bar{A}_j| > gs(A_j) \quad (5)$$

其中, g 值可在格拉布斯准则表中查得。

1.4.2 延迟 10 ms 时基测量结果异常值判定

16 个参比实验室提供 16 个时基测量值,因此,首先取 $N = 16$,查格拉布斯准则表得 $g(16, 0.05) = 2.44$,取 TDS3032C 示波器时基误差测量值(见表 2) A_j 中最小值为第一个可疑值,经判定最小值 $A_7 = -41.0$ 为异常值,予以剔除;再取 $N = 15$,查格拉布斯准则表得 $g(15, 0.05) = 2.41$,取 A_j 中最大值为第二个可疑值,判定结果:最大值 $A_4 = -13$ 为异常值,予以剔除;再取 $N = 14$, $g(14, 0.05) = 2.37$,取 $A_{13} = -29.2$ 为第三个可疑值,经判定为非异常值。即时基测量数据中编号为 07,04 实验室提供的数据含粗大误差,予以剔除。

1.5 比对结果表述

比对结果表述通常采用控制图法。那么,表 3 中的比对数据处理结果即可表示为图 1,其中用菱形表示参比实验室的测量结果,菱形向上和向下延伸线段代表该实验室报告的测量结果扩展不确定度;基线为各实验室在测量点的参考值(即圆点标志) A_s 的连线,菱形与基线的偏差为 $(A_j - A_s)$ 。图 2 为参比实验室时基归一化偏差 E_n 值控制图,编号为 02,16 实验室因测量标准技术能力不满足被测件时基量传要求,不参与此项归一化处理;编号为 04,07 实验室时基测量结果经判定,作为异常值被剔除。

表 3 时基测量第一组比对数据处理结果

实验室代码	A_j/ns	U_j/ns	A_s/ns	U_s/ns	E_n
01	-20.7	2.9	-24.5	3.4	0.85
05	-23.3	3.9	-24.5	3.4	0.23
09	-20.6	4	-24.5	3.4	0.74
10	-19.5	3.8	-24.5	3.4	0.98
11	-22.5	2.8	-24.5	3.4	0.45
12	-24.4	3.4	-24.5	3.4	0.02

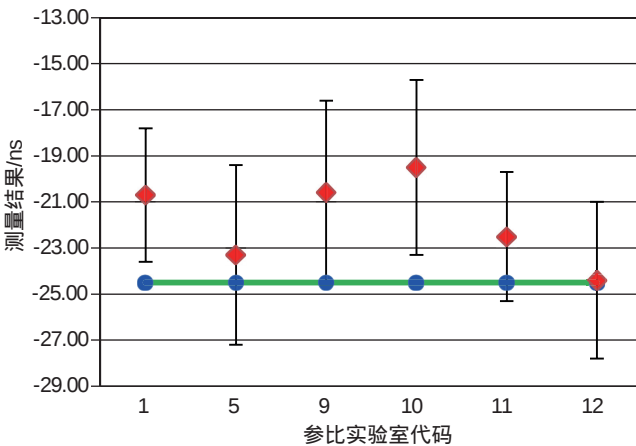


图 1 延迟 10 ms 时基测量第一组比对测量结果及不确定度图

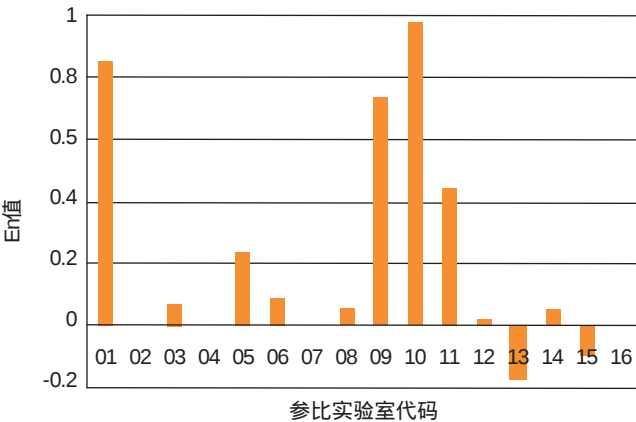


图 2 时基归一化偏差 E_n 值控制图

2 时基测量结果异常值分析

2.1 延迟 10 ms 时基测量结果异常值描述

14 个参比实验室的时基测量值,经格拉布斯准则进行异常值判定,得出 04,07 实验室提供的数据含粗大误差,予以剔除。以 07 实验室为例分析异常值产生原因,07 实验室时基比对测量数据如表 4 所示。

表 4 参比实验室数字示波器时基比对数据

示波器校准仪型号	10 ms 输出 最大允许误差	被测示波器型号	时基最大允许 误差/ns	时基测量参考 值 A_s /ns	参比实验室时基 测量结果 A_j /ns
5520A(SC600)	± 25 ns	TDS3032C	± 200	-20	-41(合格)
		TDS3032B		-185	-204(超差)

2.2 时基测量结果异常值分析

2.2.1 时基测量结果异常值来源判定

1)判定量传关系的符合性

最大允许误差为 ± 25 ns 的源(示波器校准仪)检定最大允许误差为 ± 200 ns 的表(数字示波器)，测试不确定度比为 8:1，满足量传要求；测量标准溯源合格，且在有效期内。

2)判定比对被测件完好性及操作的正确性

由于两台被测示波器均较参考值偏离 -20 ns，排除被测件出现异常。设备连接、阻抗匹配及操作，均无误。

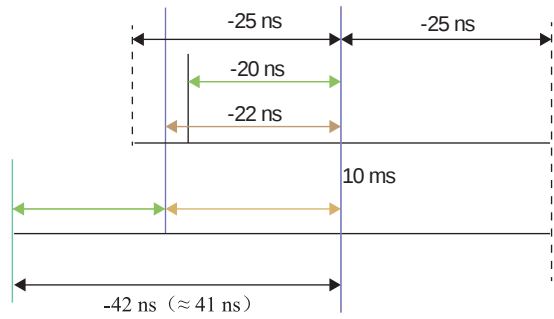
3)判定测量标准输出信号的准确性

比对现场主持实验室采用频率计(型号：53132A)对示波器校准仪输出的 10 ms 时标信号进行了测试，测量值为 9.9999783 ms，示波器校准仪 10 ms 时标信号输出较标称值偏小 22 ns，其在该点最大允许误差为 ± 25 ns，因而判定示波器校准仪 10 ms 时标信号符合技术要求。查测量标准溯源证书，证明该数据准确。

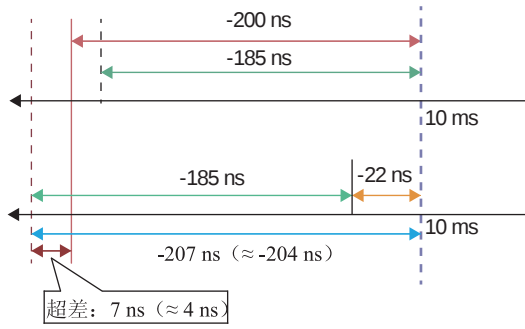
2.2.2 时基测量结果异常值原因分析

基于示波器校准仪 10 ms 时标信号偏差分析，得知，07 实验室时基测量结果 -41 ns，由被测示波器时基偏差(-20 ns)和示波器校准仪 10 ms 时标信号偏差(-22 ns)两部分组成，这也是该实验室时基偏离过大的原因。而且测量结果偏小的量值(21 ns)与示波器校准仪 10 ms 偏差的量值(22 ns)相当，如图 3(a)所示。

对于 TDS3032B 数字示波器，时基测量中体现的更为突出，07 实验室判定时基超差，给出时基检定不合格结论。经参考实验室检定，TDS3032B 示波器时基测量值为 -185 ns(即参考值)，该测量点最大允许误差 -200 ns，所以该示波器时基检定结论为合格。07 实验室测得该示波器时基测量值为 -204 ns，因超出最大允许误差范围，07 实验室判定该示波器时基不合格。原因同样是时基测量结果 -204 ns 中包含了被测示波器时基偏差(-185 ns)和示波器校准仪 10 ms 时标信号偏差(-22 ns)，如图 3(b)所示。



(a) TDS3032C示波器异常值分析



(b) TDS3032B示波器超差示意图

图 3 07 参比实验室时基比对测量异常值分析图

若去除示波器校准仪 -22 ns 的影响，07 实验室测得的时基绝对误差为 -182 ns，与参考值基本一致，且

在最大允许误差 -200 ns 以内，检定结论应为合格，与参考实验室给出的检定结论一致，如表 5 所示。

表 5 07 参比实验室时基比对测量异常值分析表

被测示波器型号	时基最大 允许误差/ns	参比实验室时 基测量结果/ns	测量标准 时标偏差/ns	时基测量当 时参考值/ns	结论
TDS3032C	± 200	-41	-22	-20	时基测量结果约等于测量标准偏差与时基误差之和
TDS3032B		-204(超差)	-22	-185	

经以上分析可知异常值产生的原因是：主标准器示波器校准仪 10 ms 时标输出信号偏差(- 22 ns) 带入并 叠加在测量结果上，使得测量结果偏离增大；在被测件(TDS3032B 示波器)时基测量值接近其允许误差极限(- 200 ns) 时，由于主标准器偏差的叠加，致使检定结果偏大，超出了最大允许误差极限，给出不合格结论，造成误判。因此，在实际检定工作中，若检定结果超差，且所用测量标准溯源结果接近最大允许误差极限，应分析测量标准偏差对测量结果的叠加影响，再进行合格判定。若单纯从检定结果判定检定项目合格与否，具有误判风险，应进行全面的分析、验证。

3 结论

本文介绍了数字示波器时基技术能力比对数据处理方法及结果表征，具体分析了时基测量结果比对异常值产生原因，指出实际检定工作中，当测量标准技术能力接近其最大允许误差，且检定结果超差时，应当进行综合分析，考虑测量标准偏差对测量结果的影响，避免因检定值超差单方面给出误判。同时，文中梳理出的比对数据处理方案具有一定代表性，可供组织实验室间比对的主持实验室参考借鉴。

参 考 文 献

[1] 中国实验室国家认可委员会. 能力验证指南[M]. 北京：中国计量出版社，2001.

[2] 吕石，任伟，寇琼月. 实验室间技术能力比对或测试中参考值确定方法的研究[C]//军事计量学术交流会议论文集. 北京：总装备部电子信息基础部，2005：372 - 375.

[3] 中国合格评定国家认可委员会. CNAS—GL02. 能力验证结果的统计处理和评价指南[S]. 北京：中国计量出版社，2014.

[4] 国家质量监督检验检疫总局. JJF 1117 - 2010 计量比对[S]. 北京：中国计量出版社，2010.

[5] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T27043 - 2012 合格评定能力验证的通用要求[S]. 北京：中国计量出版社，2012.

收稿日期：2017 - 11 - 16

作 者 简 介



寇琼月(1976 -)，女，硕士，高级工程师。1999 年毕业于中国计量学院检测技术及仪器仪表专业，同年到部队从事军事计量工作至今，主要从事无线电计量与测试方面的研究。获军队科技进步奖 10 项，发表学术论文 25 篇。



《宇航计测技术》2018 年 3 期目次

量子整孔标准研究进展

大型卫星总体装配的测试及校准技术

微波超宽带高速数控幅度调节器研制

基于 CAN 总线的分布式智能发控技术研究

基于稀疏时频分解的空中目标微动特征分析

超宽带变频系统中的本振产生技术研究

氢钟在守时钟组配置中的应用研究

基于移动站的转发式地面站设备时延标校方法

基于 IP over CCSDS 协议的天地一体化网络地面软网关技术

MW 级太空发电站微波能量波束指向控制精度分析

一种新型薄膜热电堆热流传感器的标定实验

新形势下国防军工计量技术规范管理探讨

国外计量测试技术发展动态及趋势综述

"互联网 + " 计量发展现状与建议

大数据技术在航天产品质量管理中的探讨