

电磁环境干扰场强测试实验室间 比对设计与实现

王桂娟¹, 石磊¹, 张鹏², 张钦娟³

- 中国电子科技集团公司第54研究所, 石家庄 050000;
- 中电网通国测技术服务(河北)有限公司, 石家庄 050000;
- 中国泰尔实验室, 北京 100000

摘要: 为确保各电磁环境检测实验室间电磁环境干扰场强检测结果的准确性、一致性, 评价实验室电磁环境检测能力、更准确地评估电磁辐射对人类健康的潜在影响、对仪器设备和环境设施的不利影响, 从电磁环境检测实验室间比对的目入手, 对电磁环境干扰场强测试系统的架构及原理进行了研究, 结合电磁环境干扰场强测试方法, 对电磁环境检测实验室间比对进行了设计, 提出了电磁环境检测实验室间比对的方案及比对测试结果统计方法及评价原则, 并经实际应用实现了电磁环境干扰场强测试实验室间比对过程, 为电磁环境检测实验室开展实验室间比对提供了参考。

关键词: 电磁环境检测; 电磁环境干扰场强; 实验室间比对; 异常值; 不确定度

Design and Implementation of Inter-laboratory Comparisons for Interference Field Strength Measurement in Electromagnetic Environments

WANG Guijuan¹, SHI Lei¹, ZHANG Peng², ZHANG Qinjuan³

- The 54th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shijiazhuang 050000, China;
- Lab of Guoce Technologies & Services Hebei Co. Ltd. of CENC, Shijiazhuang 050000, China;
- China Telecommunication Technology Labs, Beijing 100000, China)

Abstract: In order to ensure the accuracy and consistency of electromagnetic interference field strength testing results among various electromagnetic environment testing laboratories, evaluate the laboratory's electromagnetic environment testing ability, more accurately evaluate the potential impact of electromagnetic radiation on human health and the adverse effects on instruments, equipment, and environmental facilities. The architecture and principle of the electromagnetic environment interference field strength testing system were studied from the purpose of comparison between electromagnetic environment testing laboratories. Combined with the electromagnetic environment interference field strength testing method, this paper makes a comparison between electromagnetic environment testing laboratories, and presents a scheme for comparison between electromagnetic environment testing laboratories, as well as statistical methods and evaluation principles for comparison test results. Through practical application, it achieves the comparison process of electromagnetic environment interference field strength testing between laboratories, and provides a reference for conducting inter-laboratory comparisons between electromagnetic environment testing laboratories.

Keywords: electromagnetic environment measurement; electromagnetic environment interference field strength; inter-laboratory comparison; outlier; uncertainty

0 引言

随着现代社会的快速发展, 电子设备和通信技术的广泛应用, 我们身处的电磁环境也在不断变化。为了保障人类健康与通信安全, 电磁环境检测成为一项重要的任务。电磁环境检测在许多领域有着广泛的应用^[1-3]。首先, 它在通信行业中起着重要作用。可以帮助评估无线电台和基站的

的辐射水平^[4], 确保其符合国家标准范围内, 并为通信网络的规划和优化提供数据支持。其次, 也在工业领域中得到应用。例如, 在电力输送和变电站建设时^[5-6], 需要对周围的电磁环境进行监测, 以确保设备运行的安全性和稳定性。此外, 还在医疗、环保等领域中发挥重要作用。总之, 电磁环境检测是保障人类健康与通信安全的关键步骤。通过

收稿日期: 2024-05-11; 修回日期: 2024-05-20。

作者简介: 王桂娟(1984-), 女, 硕士, 高级工程师。

通讯作者: 张钦娟(1986-), 女, 博士, 高级工程师。

引用格式: 王桂娟, 石磊, 张鹏, 等. 电磁环境干扰场强测试实验室间比对设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(10): 92-97.

对电磁辐射水平的监测和评估, 可以及时发现潜在的健康风险, 并制定相应措施进行干预。同时, 也为通信行业、工业领域以及其他相关领域提供了可靠的数据支持, 确保设备正常运行和环境安全。因此, 如何确保电磁环境检测结果的准确性、有效性是十分重要的。

当前, 电磁环境检测的方法多种多样, 其中包括电磁场测量、频谱分析、辐射功率测定等。电磁场测量是通过仪器设备对特定区域内的电磁场进行监测和记录。频谱分析则是针对无线电频段的辐射信号进行频谱扫描, 以确定频率、强度和干扰源等信息。辐射功率测定则是通过测量设备辐射出的功率水平来评估辐射强度。对实验室来说, 如何确保电磁环境检测结果的准确性、有效性是十分重要的, 而确保检测结果有效性的重要手段之一是实验室间比对。本文将就电磁环境检测的重要参数之一电磁环境干扰场强给出开展实验室间比对的过程、方案及结果评估方法。实验室间比对就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, 在保证不同实验室间检测结果的一致性和有效性方面是十分有效的^[7]。

1 电磁环境干扰场强测试系统架构及原理

电磁环境干扰场强测试系统主要包括频谱仪 (接收机)、低噪放 (衰减器)、射频电缆、测试天线以及数据处理系统^[8], 系统架构如图 1 所示。

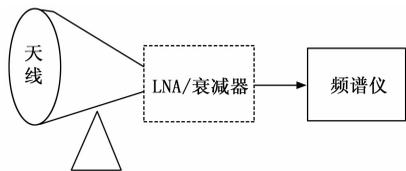


图 1 测试系统连接示意图

电磁环境干扰场强测试系统通过天线接收空间中的电磁波, 并将接收到的电磁波转换成可以在传输线上传输的导行波; 测试系统中的射频电缆可以有效地传输天线接收到的空间中的电磁波, 可靠连接测试天线和频谱仪, 低噪放, 是根据被测电磁环境的电磁信号的大小适时选择使用, 优质的射频电缆可以使接收到的信号在传输过程中的损耗降到最低; 测试系统中的低噪声放大器可以在放大信号时引入尽可能小的内部噪声, 以尽可能地提高低噪声放大器输出的信噪比, 尤其适用于放大周围电磁环境中微弱干扰信号的场景; 测试系统中的频谱分析仪用于分析和测量电信号的频谱结构, 会将接收到的信号进行放大、滤波和处理, 以便得到一个准确的电磁场强度数值, 其基本工作原理为: 首先将输入的信号通过衰减器衰减, 确保该信号处于第一混频器的线性工作区; 其次, 通过混频器与扫描本振电路提供的本振信号混频, 得到中频信号, 然后对该中

频信号进行再放大、滤波、检波, 将信号变成一定规律变化的直流信号在显示屏上显示。

根据上述电磁环境干扰场强测试系统架构, 可以得出在天线口面接收到的干扰信号可以通过以下公式进行计算:

$$P_R = P_m + L - G_d - G_i(\varphi)$$

其中: P_R 为天线口面的干扰信号电平 (dBm), P_m 为频谱仪读数 (dBm), L 为电缆、连接器等损耗之和 (dB), G_d 为低噪放增益 (dB), $G_i(\varphi)$ 为天线在被干扰方向上的增益 (dBi)。一般通过频谱分析仪使用 dBm 为单位表示测得的空间电磁环境干扰信号大小, 与要求的电磁环境干扰场强 E (dB μ V/m) 应使用以下的换算关系^[9]:

$$E = P + F + A$$

其中: E 为场强值 [dB (μ V/m)], P 为频谱分析仪读数 (dBm), F 为折算系数 (dB), 频谱分析仪输入阻抗为 50 Ω 时该折算系数为 107 dB, 输入阻抗为 75 Ω 时该折算系数为 109 dB, A 为天线系数 (dB [1/m])。

一般来说, 常用测试系统阻抗为 50 Ω , 此时电磁环境干扰场强计算公式如下:

$$E = K + P + 107 + L - G_d - G_i(\varphi)$$

其中: E 为场强值 (dB [μ V/m]); K 为天线系数 (dB [1/m]); P 为频谱仪读数 (dBm); L 为电缆损耗 (dB); G_d 为低噪放增益 (dB); $G_i(\varphi)$ 为天线在被干扰方向上的增益 (dBi)。

2 设计与实现

2.1 初步设计及流程

实验室间比对方案是确保实验室间比对结果准确、可靠的关键, 实验室间比对方案的设计应注意以下内容:

1) 实验室间比对方案的设计基础是建立明确、统一的比对目标。牵头实施比对活动的实验室应给出明确的比对目标, 传达给参与比对的实验室并获得参与实验室对目标的认可。

2) 确定实验室间比对的测试项目参数, 根据参与比对的实验室能力情况确定测试项目所依据的测试方法, 需要时编制检验检测作业指导书明确比对测试中的操作流程, 并明确测试结果数据的表述、精度等要求。

3) 寻找实验室间比对所用样品, 根据选用的不同的实验室间比对测试项目, 确定对比对样品的稳定性、一致性的评估方法, 确保比对结果的准确、有效性。

4) 明确实验室比对过程中的质量控制措施, 包括但不限于比对测试样品的流转、保存和使用中的控制, 比对测试环境设施的控制, 比对测试数据和结果的记录、传递等。

5) 制定实验室比对结果的统计、分析方法, 该环节也是设计实验室间比对方案的重要组成部分。科学、合理地各个参与实验室比对的机构上报数据和结果进行统计、分析, 是确保实验室间比对活动有效、达成比对目标的关键。

对于本文阐述的电磁环境干扰场强测试实验室间比对

活动,由于电磁环境检测中被测样品的特殊性,电磁环境干扰场强检测实验室间比对不涉及样品传递,需要参与比对的实验室在相同的时间、对同一地点的电磁环境干扰场强进行测试,各实验室将检测结果及不确定度在规定时间内发到实施机构,由主导实验室将测试结果进行统计分析,根据每一个参加比对的实验室与其他实验室测试结果的一致程度来评价^[10]。

电磁环境干扰场强测试实验室间比对方案的设计与制定,由比对主导实验室首先利用自身技术能力、该比对项目的经验积累拟定实验室比对方案,比对方案应至少包括比对项目测试方法、比对测试结果统计方案及评价原则;其次由实验室间比对参与实验室的专家代表对实验室间比对方案进行评审,最后由主导实验室按照方案组织推进实验室间比对工作。

实验室间比对流程如图 2 所示。

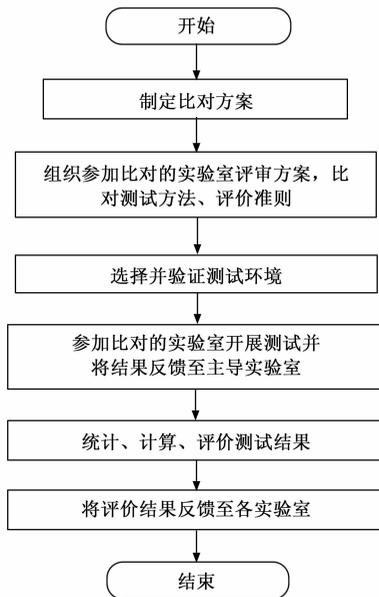


图 2 电磁环境检测实验室间比对流程图

2.2 实验室间比对项目测试方法及要求

本次电磁环境干扰场强比对中采用的测试方法主要依据为 GB/T 25003—2010《VHF/UHF 频段无线电监测站电磁环境保护要求和测试方法》^[11]。

电磁环境干扰场强测试系统的连接如图 1 所示。

比对测试核心仪表频谱仪(测量接收机)的基本要求原则如下:

- 1) 测量频段应覆盖 30~3 000 MHz;
- 2) 提供包括 10 kHz 测量带宽在内的多种带宽选择;
- 3) 具有峰值检波方式。

频谱仪(测量接收机)的检波方式选用峰值检波,在 30~3 000 MHz 测量频段范围内,测量接收机的测量带宽设为 10 kHz。

电磁环境干扰场强测试用天线应参考准则:

- 1) 覆盖频率范围 30~200 MHz、且经过校准具备校准因子的双锥天线;
- 2) 覆盖频率范围 200~1 000 MHz、且经过校准具备校准因子的对数周期天线;
- 3) 覆盖频率范围 1 000~3 000 MHz、且经过校准具备校准因子的双脊喇叭天线;

如若无法选择上述天线,应尽量选用具备计量校准因子的无源校准天线。

参与比对的各实验室的检验检测人员应对选取的测试样品(同一时间、同一地点)、使用各自测试系统对 30~3 000 MHz 不同频段(频段划分可参考:30~200 MHz、200~1 000 MHz、1 000~3 000 MHz)进行干扰场强测试。测试开始后对不同频段各测试一次,每次测试均进行水平极化和垂直极化,测试并记录测试频段最大干扰信号的频率、幅度和极化方式,具体测试步骤如下:

- 1) 在预选地点,各实验室按要求架设测量天线和连接测试系统,天线极化方式,天线辐射方向应保持一致;
- 2) 测量设备通电预热,依据测量天线的频率范围及要求确定测量频段、检波方式、测量带宽及扫描步长等参数,测试迹线设为最大保持;
- 3) 各实验室频谱仪参数设置完毕后,同时进行 2 分钟的持续观测,并在观测时间结束后记录测量数据;
- 4) 旋转天线至另一极化,重复步骤 3);
- 5) 更换测量天线,重复步骤 2)~4) 的测量过程,直到完成 30~3 000 MHz 频段测量的全部任务。

各实验室应根据自身测试系统对应的电磁环境干扰场强计算公式为数学模型,进行测试结果的不确定度评估。各实验室需将测试结果及其测量不确定度进行记录,并上报至主导实验室。

2.3 比对测试结果统计方法及评价原则

鉴于本项目比对的被测物为电磁环境,其不存在标准物质/标准样品、无可参考标准的并行分析测量、比对来确定指定值,因此比对测试结果统计所需指定值必来源于专家公认值或参加比对的实验室结果的统计分析^[12],本文将采用参加实验室更容易接受的参加者测试结果统计分析方法来确定指定值。而参加比对的实验室数量有限,无法获得足够多的样品量,因此为了更准确地进行结果统计和评估,将按以下步骤开展比对测试结果的统计和评价。

2.3.1 异常值的剔除

异常值是指一组测定数据中的个别值,其与平均值的偏差超过 3 倍标准差,明显偏离其所属数据集的其余数据。在测试过程中,由于参加比对的实验室的检验试验人员的疏忽,读错、记错测试数据或操作不当、仪器精度不够或突然故障等主观、客观因素的存在,造成测试结果含有粗大误差^[13-14],进而测试的数据集中存在异常值。

对于电磁环境检测,相关实验室条件不容易控制,加

之不同实验室间影响测量结果的因素很多, 故测量结果出现异常值得机会较大^[15]。

在进行数据统计分析时, 异常值是不可取得, 应先从数据集中进行剔除^[16]。剔除的异常值仅在计算指定值时剔除该值, 但仍应在实验室间比对的结果评估中进行评价。异常值可按下列方法进行统计处理:

1) 对于如数据单位错误、小数点错误、计算错误等的明显的错误数据, 应从数据集中剔除, 单独处理^[17], 尤其不应在确定指定值及其不确定度的过程中使用。另外, 即使是明显的错误的测试结果也应由主导实验室的数据专家进行判断和识别。

2) 在完成 1) 的剔除后, 剩余数据集按照 3 倍标准差法识别异常值。

3 倍标准差法是一种常用的剔除异常值的方法, 也称为 3σ 方法。它基于数据的标准差来判断是否存在离群值。标准差是描述数据离散程度的统计量, 表示数据点相对于平均值的偏离程度。3 倍标准差法剔除异常值的原理是, 假设数据服从正态分布, 根据正态分布的性质, 数据集平均值的一倍标准差范围内包含约 68.3% 的数据, 数据集平均值的两倍标准差范围内包含约 95.4% 的数据, 数据集平均值的 3 倍标准差范围内包含约 99.7% 的数据, 即表示在 3 倍标准差范围内的数据占据了绝大部分的比例, 而在 3 倍标准差范围之外的数据则可以被认为是异常值或者离群点。因此, 可以通过计算数据的均值和标准差, 然后剔除均值加减 3 倍标准差范围之外的数据, 来剔除异常值。设对某项目观测 n 次, 所得量为:

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$$

剔除该组数据异常值的操作步骤如下:

1) 计算数据的均值和标准差;

平均值为:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum X_i}{n}$$

标准差为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n}}$$

$$\sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

其中: \sum 表示 $\sum_{i=1}^n$ 。

2) 计算均值加减三倍标准差的范围: $\bar{X} \pm 3\sigma$;

3) 剔除均值加减三倍标准差范围之外的数据。

2.3.2 指定值的确定

指定值的确定有多种方法, 如已知值 (根据特定实验室间比对物品配方 (如制造或稀释等) 确定的结果)、有证参考值 (根据定义的检测或测量方法确定) (针对定量检测)、参考值 (根据对能力验证物品和可溯源到国家标准或国际标准的标准物质/标准样品或参考标准的并行分析、测

量或比对来确定)、由专家参加者确定的公认值、由参加者确定的公认值等^[17]。并且, 上述列举的方法确定的指定值的不确定度是逐渐增大的。

本文中指定值的确定采用由参与比对的实验室确定的公认值确定, 即以参与比对的实验室的结果 (剔除掉异常值后) 的平均值作为指定值, 指定值的不确定度是比较大的, 因此应对指定值的不确定度进行评定, 并在后续结果统计和评定时采用使用指定值的不确定度。

2.3.3 指定值的不确定度评估

不确定度评估首先应确定数学模型^[18-19], 此处根据指定的来源推导数学模型过程如下:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

其中: X_i 为各参与比对的实验室的测试结果 (剔除异常值), n 为参与比对的实验室 (剔除异常值上报实验室) 的数量。

因而, 指定值的不确定度与各参与比对的实验室息息相关, 而各参与比对的实验室按照测试方法及自身仪器设备情况均进行了不确定度评定 U_i ($k=2$)。因此, 指定的不确定度计算过程如下^[18-19]。

1) 根据各参与比对的实验室的扩展不确定度 U_i ($k=2$) 计算标准不确定度:

$$u_i = U_i \div 2$$

2) 根据上述数学模型及比对测试过程可知, 自由度 $\nu = n-1$, 计算指定值的标准不确定度:

$$u_c = \sqrt{\frac{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}{n-1}}$$

3) 计算指定值的扩展不确定度:

$$U_c = k \times u_c$$

k 为包含因子, 一般取 $k=2$ (包含概率为 95%)。

2.4 统计量计算及评定

对各参与比对实验室结果的统计方法如下:

$$E' = \frac{|X_i - \bar{X}|}{U_c}$$

其中: X_i 为某实验室的检验结果; \bar{X} 为各实验室的检验结果 (剔除异常值) 的平均值, 指定值; U_c 为指定值的不确定度。

当 $E' \leq 1$, 表明该实验室测试结果满意, 无需采取进一步措施^[17];

当 $E' > 1$, 表明该实验室测试结果不满意, 需进行按实验室相关规定采取进一步的处理措施。

3 实验结果与分析

电磁环境干扰场强检测实验室间比对不涉及样品传递, 需要参与比对的实验室在相同的时间、对同一地点的电磁环境干扰场强进行测试。

参加本次电磁环境干扰场强测试实验室间比对的实验室共 3 家, 其比对测试数据及结果见表 1。

表 1 比对项目测试结果

| 实验室 | 频段 /MHz | 频率 /MHz | 极化 | 干扰场强测试结果 /dBuV /m | 不确定度 (k=2) |
|-----|-------------|---------|----|-------------------|------------|
| A | 30~200 | 150 | H | 72.08 | 1.18 |
| B | | | | 71.96 | 1.30 |
| C | | | | 75.74 | 2.48 |
| A | 30~200 | 150 | V | 70.98 | 1.18 |
| B | | | | 67.57 | 1.30 |
| C | | | | 68.99 | 2.48 |
| A | 200~1 000 | 600 | H | 87.72 | 1.12 |
| B | | | | 89.96 | 1.12 |
| C | | | | 88.85 | 1.61 |
| A | 200~1 000 | 600 | V | 85.26 | 1.12 |
| B | | | | 87.27 | 1.12 |
| C | | | | 86.07 | 1.61 |
| A | 1 000~3 000 | 2 800 | H | 94.09 | 1.66 |
| B | | | | 93.67 | 1.24 |
| C | | | | 92.53 | 1.90 |
| A | 1 000~3 000 | 2 800 | V | 91.64 | 1.66 |
| B | | | | 92.79 | 1.24 |
| C | | | | 93.38 | 1.90 |

根据表 1, 进行实验室间比对结果的统计和分析, 具体步骤如下。

1) 异常值剔除:

本方案采用的是三倍标准差法来进行三家测试数据的异常值剔除, 即先根据三家实验室的测试数据计算数据的均值和标准差, 再计算均值加减三倍标准差的范围, 最后剔除均值加减三倍标准差范围之外的数据。数据计算情况见表 2。

表 2 异常值剔除计算

| 实验室 | 频率 /MHz | 极化 | 干扰场强测试结果 /dBuV /m | 平均值 | 标准差 | 均值减三倍标准差 | 均值加三倍标准差 |
|----------|------------|----------|-------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| A | 150 | H | 72.1 | 73.26 | 1.75 | 68.01 | 78.51 |
| B | | | 72 | | | | |
| C | | | 75.7 | | | | |
| A | 150 | V | 71 | 69.18 | 1.39 | 65.01 | 73.35 |
| B | | | 67.6 | | | | |
| C | | | 69 | | | | |
| A | 600 | H | 87.7 | 88.84 | 0.91 | 86.11 | 91.57 |
| B | | | 90 | | | | |
| C | | | 88.9 | | | | |
| A | 600 | V | 85.3 | 86.2 | 0.82 | 83.74 | 88.66 |
| B | | | 87.3 | | | | |
| C | | | 86.1 | | | | |
| A | 2 800 | H | 94.1 | 93.43 | 0.66 | 91.45 | 95.41 |
| B | | | 93.7 | | | | |
| C | | | 92.5 | | | | |
| A | 2 800 | V | 91.6 | 92.6 | 0.72 | 90.44 | 94.76 |
| B | | | 92.8 | | | | |
| C | | | 93.4 | | | | |

根据表 2 得知, 3 家实验室的检测数据均无异常值。

2) 指定值确定及其不确定度计算:

本方案由参与实验室间比对的三家实验室测试数据的平均值作为指定值, 同时, 鉴于本次参与比对的实验室只有 3 家, 故需要使用指定值的不确定度来进行实验室间比对统计量的计算。按照 4.3 节给出的指定值不确定度计算过程完成计算, 形成结果如表 3 所示。

表 3 指定值的不确定度

| 实验室 | 频率 /MHz | 极化 | 干扰场强测试结果 dBuV/m | 各实验室不确定度 k=2 | 各实验室标准不确定度 | 指定值的标准不确定度 | 指定值的扩展不确定度 k=2 |
|-----|---------|----|-----------------|--------------|------------|------------|----------------|
| A | 150 | H | 72.08 | 1.18 | 0.59 | 1.07 | 2.14 |
| B | | | 71.96 | 1.3 | 0.65 | | |
| C | | | 75.74 | 2.48 | 1.24 | | |
| A | 150 | V | 70.98 | 1.18 | 0.59 | 1.074 | 2.15 |
| B | | | 67.57 | 1.3 | 0.65 | | |
| C | | | 68.99 | 2.48 | 1.24 | | |
| A | 600 | H | 87.72 | 1.12 | 0.56 | 0.8 | 1.6 |
| B | | | 89.96 | 1.12 | 0.56 | | |
| C | | | 88.85 | 1.61 | 0.805 | | |
| A | 600 | V | 85.26 | 1.12 | 0.56 | 0.8 | 1.6 |
| B | | | 87.27 | 1.12 | 0.56 | | |
| C | | | 86.07 | 1.61 | 0.805 | | |
| A | 2800 | H | 94.09 | 1.66 | 0.83 | 0.99 | 1.98 |
| B | | | 93.67 | 1.24 | 0.62 | | |
| C | | | 92.53 | 1.9 | 0.95 | | |
| A | 2800 | V | 91.64 | 1.66 | 0.83 | 0.99 | 1.98 |
| B | | | 92.79 | 1.24 | 0.62 | | |
| C | | | 93.38 | 1.9 | 0.95 | | |

3) 统计量计算及评估:

对各参与比对实验室的测试数据计算, 结果如表 4 所示。

根据表 4 的计算结果可以看出, A、B 两家实验室所有的测试结果均满意, 而 C 实验室在 150 MHz 水平极化时测试结果不满意, 其余测试频点下水平极化、垂直极化的测试结果均满意。

4) 实验室间比对结果报告及其应用:

实验室间比对测试、统计计算结束后, 应出具电磁环境干扰场强实验室间测试能力比对报告, 报告由主导实验室编制并发出。实验室间比对报告所包含的信息以需要使用该报告的相关方能够通过该报告可以准确、清晰地判断参加实验室的检测质量水平为宜。

本次实验室间比对的报告中明确了该实验室间比对的计划负责人、技术专家、统计专家、报告批准人等相关人员信息。报告中除明确给出各参与实验室的比对结果外, 还包括参加比对的实验室清单, 比对测试的地点、比对过程各个阶段的实际开展时间、比对测试项目及测试要

求概述、比对结果评价原则概述等内容。

表 4 比对测试数据的统计计算

| 实验室 | 频率/ MHz | 极化 | 干扰场强 测试结果 dBuV/m | 指定值的 扩展不确 定度 | 指定值 | E' |
|-----|------------|----|------------------------|--------------------|------|------|
| A | 150 | H | 72.1 | 2.14 | 73.3 | 0.55 |
| B | | | 72 | | | 0.61 |
| C | | | 75.7 | | | 1.16 |
| A | 150 | V | 71 | 2.14 | 69.2 | 0.84 |
| B | | | 67.6 | | | 0.75 |
| C | | | 69 | | | 0.09 |
| A | 600 | H | 87.7 | 1.6 | 88.8 | 0.7 |
| B | | | 90 | | | 0.7 |
| C | | | 88.9 | | | 0.01 |
| A | 600 | V | 85.3 | 1.6 | 86.2 | 0.59 |
| B | | | 87.3 | | | 0.67 |
| C | | | 86.1 | | | 0.08 |
| A | 2 800 | H | 94.1 | 1.98 | 93.4 | 0.33 |
| B | | | 93.7 | | | 0.12 |
| C | | | 92.5 | | | 0.45 |
| A | 2 800 | V | 91.6 | 1.98 | 92.6 | 0.48 |
| B | | | 92.8 | | | 0.1 |
| C | | | 93.4 | | | 0.39 |

此外, 还针对 C 实验室在 150 MHz 水平极化时的测试结果不满意原因进行了分析, 建议 C 实验室针对该不满意结果进行开展原因分析, 实施纠正和纠正措施, 必要时再次寻求实验室间比对, 对该不满意结果进行闭环。同时, 结合本次比对工作开展情况, 给出了电磁环境检测实验室在日后开展电磁环境检测中的注意事项, 以达到提升实验室检测质量水平的目的。

4 结束语

随着我国实验室认可体系的日趋完善和不断发展, 越来越多的实验室通过参与能力验证或开展实验室间比对的方式来验证自身检验检测数据的准确性、可靠性, 确保实验室质量有效性的重要手段^[20], 并以此不断提升自身技术水平。但由于电磁环境检测样品的特殊性, 电磁环境检测实验室间比对在结果评定过程中如果主导实验室水平有限, 可能会引起参与比对实验室对评价结果的质疑, 如若评价结果存在问题也会对利用评价结果实施改进、改进措施的实验室造成负面影响, 因此, 准确、可靠地开展实验室间比对是十分重要的。

电磁环境检测实验室间比对的关键是指定值的确定是采用专家公议值法还是参与比对实验室测试结果统计法, 前者需要由获得参加实验室认可的权威专家, 专家的权威性、技术水平直接决定了评价结果的可靠性, 后者使用参与比对实验室测试结果的统计值(平均值、中位值等)作为指定值, 其缺陷是数据统计方法受限于参与实验室数量

较少时(如小于 10 个^[12])不宜采用常用的简单的稳健的 Z 比分数法。本文给出了一种利用指定值不确定度的统计评价方法, 不受参与实验室数量限制, 但要求参与实验室具有较好地开展不确定度评定的水平, 以确保实验室间比对结果的准确、可靠。

参考文献:

- [1] 吴悠, 郭世伟, 王伟, 等. 遥测固定站电磁环境的评估[J]. 中国科技信息, 2014 (7): 54-56.
- [2] 赵斌, 詹达海. 机场选址电磁环境测试介绍[J]. 数字通信世界, 2020 (11): 30-32.
- [3] 刘佳琦, 胡雨振, 邓杰, 等. 地铁站电磁环境检测评估及防护建议[J]. 安全与电磁兼容, 2021 (2): 92-95.
- [4] 袁军. 广播电视发射塔周围电磁环境预测与测量[D]. 郑州: 郑州大学, 2013.
- [5] 殷晓红, 王立杰, 佟瑶, 等. 变电站作业场所电磁环境分析与评价[J]. 黑龙江电力, 2013 (2): 162-165.
- [6] 姜雨泽, 刘士强, 谢连科, 等. 山东电网高压直流输电线路电磁环境测量分析[J]. 电测与仪表, 2021 (10): 125-132.
- [7] 宋时权. 关于压裂支撑剂实验室比对结果的分析与探讨[J]. 计量与测试技术, 2015, 42 (11): 36-37.
- [8] 马明武. 电磁环境测试系统性能指标测试方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [9] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 13615-2009 地球站电磁环境保护要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 6-7.
- [10] 万豪, 刘曼, 王桂娟. 北斗卫星导航产品质量检测机构比对测试方案[J]. 中国检验检测, 2019 (4): 23-25.
- [11] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 25003-2010 VHF/UHF 频段无线电监测站电磁环境保护要求和测试方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 2-5.
- [12] 王琳, 宋福祥, 尚致楠, 等. 电磁环境检测实验室间比对活动性能统计方法的探讨[C] // 武汉: 2015 年全国电磁环境与管理学术交流会, 2015: 8-11.
- [13] 张敏, 袁辉. 拉依达(PauTa)准则与异常值剔除[J]. 郑州工业大学学报, 1997, 18 (1): 85-88.
- [14] 鲁娟, 柯长久, 罗梦灵, 等. 移液器检定结果的异常值剔除与符合性判定[J]. 计量与测试技术, 2021 (5): 69-71.
- [15] 潘炳发, 李张义, 胡迎春. 实验室间比对试验方式的探讨[J]. 现代制造技术与装备, 2017, 247 (6): 178-179.
- [16] 张镇炎. 产品质量检测中试验数据异常值的处理[J]. 电子质量, 2007 (2): 34-35.
- [17] 姜华, 陈平. 专家议值在能力验证指定值确认中的应用[J]. 质量与认证, 2018 (1): 53-54.
- [18] 李丹丹, 宋庆军, 孙秋香, 等. 某高温试验能力验证的不确定度评定[J]. 环境技术, 2020 (4): 62-464.
- [19] 魏亚静. 一种导航系统时间溯源链路及其不确定度分析方法研究[D]. 西安: 中国科学院国家授时中心, 2016.
- [20] 邱军, 王霞, 蔺益, 等. 检验检测机构能力验证工作问题研究及对策[J]. 中国测试, 2020 (s1): 25-28.