

40台工频电场测量仪器实验室间比对研究

徐国勇¹, 陈青松¹, 赖明珍¹, 侯美茵², 何智鹏¹

摘要:

[目的] 通过工频电场测量仪器的实验室间比对,了解广东省职业卫生技术服务机构工频电场测量仪器的配置、校准情况及性能。

[方法] 以广东省40家职业卫生技术服务机构(以下简称“参比机构”)的40台工频电场测量仪器(以下简称“参比仪器”)为研究对象,查验其校准证书。以某变压器为标准源,组织方用同一台仪器在距离其1.0 m处进行不同时间段的检测,采用单因素方差分析法检验其稳定性。在稳定性检验后,由参比机构测量人员持参比仪器在距离标准源1.5 m和2.0 m的测量点进行比对检测,采用基于四分位数稳健统计技术的 z 比分数对测量结果进行分析。

[结果] 标准源稳定性检验中,第1天下午、第2天上午、第2天下午共3个时间段电场强度比较,差异无统计学意义[(209.52 ± 0.38) (209.96 ± 0.51)和(209.74 ± 0.60) V/m, $P > 0.05$],表明标准源可满足实验室间比对的稳定性要求。40台参比仪器中有1台参比仪器未送检,2台参比仪器校准证书已过期,1台参比仪器校准结果超出允差范围。40台参比仪器实验室间 z 比分数(z_B)为-1.16~13.41,实验室内 z 比分数(z_W)为-1.29~25.26;其中2台参比仪器 $|z_B|$ 及 $|z_W|$ 均 >3.00 ,1台参比仪器 $|z_B| > 3.00$,为离群结果;4台参比仪器 $|z_B|$ 或 $|z_W| > 2.00$,为有问题结果。根据比对结果,判定3台参比仪器不合格。

[结论] 以变压器为标准源进行工频电场测量仪器的实验室间比对具有可行性,目前广东省职业卫生技术服务机构配置的工频电场测量仪器在使用上仍存在一定的问題。

关键词: 工频电场; 测量仪器; 实验室间比对; 质量控制; z 比分数

引用: 徐国勇, 陈青松, 赖明珍, 等. 40台工频电场测量仪器实验室间比对研究[J]. 环境与职业医学, 2017, 34(7): 593-597. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2017.17110

Inter-laboratory comparison study on 40 power frequency electric field measuring instruments XU Guo-yong¹, CHEN Qing-song¹, LAI Ming-zhen¹, HOU Mei-yin², HE Zhi-peng¹ (1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Occupational Disease Prevention and Treatment, Institute of Physical Factors Monitoring, Guangdong Province Hospital for Occupational Disease Prevention and Treatment, Guangzhou, Guangdong 510300, China; 2. Department of Public Health and Health Promotion, Community Health Management Center, Shenzhen Luohu Hospital Group, Shenzhen, Guangdong 518000, China). Address correspondence to CHEN Qing-song, E-mail: qingsongchen@aliyun.com · The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract:

[Objective] To understand the configuration, calibration, and performance of power frequency electric field measuring instruments in Guangdong occupational hygiene technical service agencies by inter-laboratory comparison.

[Methods] Forty power frequency electric field measuring instruments were selected from 40 occupational hygiene technical service agencies in Guangdong Province, and calibration certificates were examined. Using a transformer as standard source, measurements were conducted at 1.0 m distance from the transformer at different time periods, and homogeneity was evaluated by one-way ANOVA. Spot measurements were then conducted at 1.5 m and 2.0 m distance from the standard source by surveyors from each agency using respective measuring instrument, and the measurement results were analyzed by z -score.

[Results] Homogeneity analysis results showed that there was no statistical difference in electric field intensity among three

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

[基金项目] 广东省职业病防治重点实验室(编号: 2012A061400007)

[作者简介] 徐国勇(1983—),男,硕士,副主任医师;研究方向:职业卫生;E-mail: 830302xgy@163.com

[通信作者] 陈青松, E-mail: qingsongchen@aliyun.com

[作者单位] 1. 广东省职业病防治院物理因素监测所, 广东省职业病防治重点实验室, 广东 广州 510300; 2. 罗湖医院集团社区健康管理中心公共卫生与健康促进部, 广东 深圳 518000

selected time periods [(209.52 ± 0.38), (209.96 ± 0.51), and (209.74 ± 0.60) V/m for afternoon of the first day, morning of the second day, and afternoon of the second day, respectively, $P > 0.05$], indicating that the standard source was qualified for inter-laboratory comparison in terms of stability. One measuring instrument was unable to provide calibration certificate, calibration certificates of two instruments were expired, and one instrument's calibration result was not within tolerance range. The inter-laboratory z -score (z_B) of 40 measuring instruments ranged from -1.16 to 13.41, while the intra-laboratory z -score (z_W) ranged from -1.29 to 25.26. Both $|z_B|$ and $|z_W|$ of two instruments were above 3.00, and the $|z_B|$ of another instrument was above 3.00, indicating outliers; the $|z_B|$ or $|z_W|$ of four instruments were above 2.00, indicating problematic results. In light of those results, three instruments were unqualified.

[Conclusion] It is feasible that a transformer could be applied as standard source in inter-laboratory comparison of power frequency electric field measuring instruments. There are still problems in the use of power frequency electric field measuring instruments in Guangdong occupational hygiene technical service agencies.

Keywords: power frequency electric field; measuring instrument; inter-laboratory comparison; quality control; z -score

Citation: XU Guo-yong, CHEN Qing-song, LAI Ming-zhen, et al. Inter-laboratory comparison study on 40 power frequency electric field measuring instruments[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2017, 34(7): 593-597. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2017.17110

实验室间比对在早期被广泛应用于生物样品、化学样品的盲样考核中^[1-2],近几年亦逐渐在现场采样和检测方面展开应用^[3-4],对于提高实验室能力发挥了重要作用。本课题组前期以某高压线为标准源进行了工频电场和磁场的测量仪器实验室间比对,发现只要找到稳定电磁场源即可开展;同时了解珠三角部分职业卫生技术服务机构工频电场和磁场的测量仪器性能,发现未配备远程读数系统的工频电场测量仪器在手持检测的情况下结果偏差较大^[5]。为了解广东省职业卫生技术服务机构工频电磁场测量仪器的配置、校准及性能情况,广东省职业病防治院(以下简称“组织单位”)于2015年9月组织开展了工作场所工频电场测量仪器实验室间比对活动,考虑到目前工频磁场职业接触限值及测量方法的国家标准暂未颁布,本次只针对工频电场的测量进行比对。

1 对象和方法

1.1 对象

以自愿参加本次比对的广东省40家职业卫生技术服务机构(以下简称“参比机构”)所配置的40台工频电场测量仪器(以下简称“参比仪器”)为研究对象。40家参比机构包括10家地市级单位、6家区县级单位和24家第三方公司。

1.2 方法

1.2.1 标准源稳定性检验 为避免室外环境造成的影响,保证活动开展的便捷性,拟以某单位室内变压器为标准源,该变压器正常运行,能稳定产生工频电场。组织单位分别于连续2日的下午同一时间段以及其中1日的上午共3个时间段,距该变压器1.0 m处,由专人用同1台NBM550宽带场强计(NARDA,德国)每

隔5 min进行1次检测,每个时间段各检测10次,参考CNAS—GL03:2006《能力验证样品均匀性和稳定性评价指南》有关规定进行标准源的稳定性检验^[6],以判定该标准源是否稳定。

1.2.2 校准证书收集及检查 收集参比机构的参比仪器最近1次的校准证书,检查其是否在校准期内以及校准结果是否在允差范围内。

1.2.3 定点测量比对 各参比机构职业卫生技术服务人员以距标准源1.5 m(A点)和2.0 m(B点)处作为测量点,依次进行测量,记录原始数据。比对检测完成后,现场提交比对结果。依据CNAS—GL02:2014《能力验证结果的统计处理和能力评价指南》,采用基于四分位数稳健统计技术的 z 比分数进行分析,分别计算实验室间 z 比分数(z_B)和实验室内 z 比分数(z_W)。将 z 比分数划分为3个等级, $|z| \leq 2.00$ 为满意结果, $2.00 < |z| < 3.00$ 为有问题结果, $|z| \geq 3.00$ 为离群结果^[7]。 z_B 和 z_W 的计算方法见公式1~公式4。

$$S = (x_A + x_B) / \sqrt{2} \quad (\text{公式1})$$

$$z_B = (S - M_S) / \text{标准化 } IQR_S \quad (\text{公式2})$$

$$D = (x_A - x_B) / \sqrt{2} \quad (\text{公式3})$$

$$z_W = (D - M_D) / \text{标准化 } IQR_D \quad (\text{公式4})$$

上式中, x_A :A点的测量值; x_B :B点的测量值; M_S 或 M_D : S 或 D 的中位数; IQR_S 或 IQR_D : S 或 D 四分位间距;标准化 $IQR = 0.7413 \times IQR$ 。

1.3 比对结果评定

对于本次工作场所工频电场测量仪器的实验室间比对结果判定只考虑现场测量结果的 z 比分数,出现2个有问题结果或1个及以上离群结果则判定为不合格。

1.4 统计学分析

采用SPSS 23.0软件进行统计分析。计量资料经

正态性检验服从正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 描述;3组组间比较采用单因素方差分析;检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 仪器基本情况

本次40台参比仪器共涉及7种类型,包括了目前职业卫生技术服务机构常用的型号。各参比仪器型号、数量及参数见表1。

表1 40台工频电场测量仪器基本情况
Table 1 Basic information of 40 power frequency electric field measuring instruments

仪器型号 Instrument type	仪器公司 Company	数量(台) Quantity	响应频率(Hz) Response frequency	电场测量量程(V/m) Measuring range of electric field
NBM550 宽带场强计(NBM550)	德国 NARDA 公司(NARDA , German)	5	$5 \sim 1 \times 10^5$	$0.01 \sim 1 \times 10^5$
PMM8053 电磁场测量系统(PMM8053)	德国 PMM 公司(PMM , German)	5	$5 \sim 1 \times 10^5$	$0.01 \sim 1 \times 10^5$
HI-3604 工频电磁场测试仪(HI-3604)	美国 Holaday 公司(Holaday , USA)	5	$30 \sim 2 \times 10^3$	$1 \sim 2 \times 10^5$
NF-5035 手持场强仪(NF-5035)	德国 Aaronia 公司(Aaronia , German)	4	$1 \sim 1 \times 10^6$	$0.1 \sim 2 \times 10^4$
SMP-560 宽频电磁辐射分析仪(SMP-560)	西班牙 Wavecontrol 公司(Wavecontrol , Spain)	1	$1 \sim 6 \times 10^{10}$	—
RJ-5 工频电场场强仪(RJ-5)	中国建德梅城公司(MeiCheng , China)	17	$30 \sim 2 \times 10^3$	$1 \sim 2 \times 10^4$
H-3A 工频场强仪(H-3A)	中国武汉宇信公司(YuXin , China)	3	$30 \sim 1 \times 10^2$	$20 \sim 2 \times 10^5$

表2 标准源前1.0m处的稳定性检验结果(V/m)

Table 2 Homogeneity test results at 1.0 m distance from standard source

序号 Serial number	第1天下午 Afternoon of the first day	第2天上午 Morning of the second day	第2天下午 Afternoon of the second day
1	209.20	209.00	208.80
2	209.10	209.60	209.20
3	209.10	209.50	209.40
4	209.50	209.90	209.00
5	209.30	210.10	210.10
6	209.60	210.90	209.80
7	209.50	210.10	210.20
8	209.60	210.30	210.50
9	210.10	210.20	210.10
10	210.20	210.00	210.30

2.3 校准证书检查结果

40家参比机构有1家未提供参比仪器的校准证书;39份参比仪器的校准证书中,有2份校准证书不在有效期内,1份证书的校准结果超出了允差范围。见表3。

2.4 定点测量的比对结果

定点测量比对中,40台参比仪器于标准源1.5m处的测量结果为9.10~725.11V/m,标准源2.0m处的测量结果为2.00~334.00V/m, z_B 为-1.16~13.41, z_W 为-1.29~25.26。其中有2台参比仪器 $|z_B|$ 及 $|z_W|$ 均 >3.00 ,有1台参比仪器 $|z_B|>3.00$,为离群结果;有4台参比仪器 $|z_B|$ 或 $|z_W|>2.00$,为有问题结果;其余33台参比仪

2.2 稳定性检验结果

组织单位于3个不同时间段在该标准源前1.0m处测得的电场强度见表2,其平均电场强度分别为(209.52 $\pm$ 0.38)(209.96 $\pm$ 0.51)和(209.74 $\pm$ 0.60)V/m,3个时间段的电场强度检测结果比较,差异均无统计学意义($F=1.898$, $P=0.169$),说明该标准源在不同时间段的现场电场强度均是稳定的。

器 $|z_B|$ 和 $|z_W|$ 均 ≤ 2.00 ,为满意结果。见表3。

2.5 比对结果判定

40台参比仪器中有3台参比仪器出现1个及以上离群结果,判定为不合格;其余37台参比仪器判定为合格。见表3。

表3 40台参比仪器计量校准及实验室间比对结果

Table 3 Calibration and inter-laboratory comparison results of 40 instruments

仪器编号 Instrument number	计量校准(1=是,0=否) Calibration(1=Yes , 0=No)			现场测量结果 Measurement result		
	是否送检 Calibrated	是否有 效期内 Within validity period	结果是否 在允差范 围内 Within tolerance range	z_B	z_W	比对结果判定 (1=合格,0=不合格) Judgement (1=Qualified , 0=Unqualified)
1	1	1	1	0.01	0.42	1
2	1	1	1	0.38	0.09	1
3	1	1	1	0.89	-1.01	1
4	1	1	1	-0.49	-0.07	1
5	1	1	1	-0.88	-0.61	1
6	1	1	1	-0.24	0.69	1
7	1	1	1	-1.11	-0.90	1
8	1	1	1	-0.04	-0.03	1
9	1	1	1	0.22	0.22	1
10	1	1	1	0.70	1.03	1
11	1	1	1	-0.93	-0.78	1
12	1	1	1	-0.01	0.03	1
13	1	1	0	1.04	1.17	1
14	1	1	1	0.01	-0.24	1
15	1	1	1	-0.47	-0.18	1

续表3

仪器编号 Instrument number	计量校准(1=是, 0=否) Calibration(1=Yes, 0=No)			现场测量结果 Measurement result		
	是否送检 Calibrated	是否在有效期 Within validity period	结果是否在 允差范围内 Within tolerance range	z_R	z_H	比对结果判定 (1=合格, 0=不合格) Judgement (1=Qualified, 0=Unqualified)
16	1	1	1	11.42	-1.04	0
17	1	1	1	-0.93	-0.74	1
18	1	1	1	-0.26	0.38	1
19	1	1	1	-1.16	-0.73	1
20	1	1	1	0.17	0.62	1
21	1	1	1	1.24	2.88	1
22	1	1	1	1.14	2.45	1
23	1	0	—	1.08	1.74	1
24	1	1	1	0.49	2.37	1
25	1	1	1	-0.28	-0.03	1
26	1	1	1	0.01	-1.00	1
27	1	1	1	0.10	0.48	1
28	1	1	1	-0.29	0.03	1
29	1	1	1	-0.59	-0.03	1
30	1	1	1	-0.76	-0.69	1
31	1	1	1	0.22	0.59	1
32	1	1	1	2.58	-1.29	1
33	1	1	1	-0.70	-0.49	1
34	1	1	1	3.40	6.79	0
35	1	1	1	-1.09	-0.80	1
36	0	—	—	13.41	25.26	0
37	1	1	1	-0.22	0.11	1
38	1	0	—	0.81	-0.88	1
39	1	1	1	-1.11	-0.77	1
40	1	1	1	-0.49	0.24	1

[注]—: 无该项数据。

[Note]—: No data.

3 讨论

工频电场存在于许多行业和工作岗位中^[8-9],众多研究者会对工业企业的变电设施进行工频电场的识别及检测^[10-12],且工频电场是国家安全监管总局对职业卫生技术服务机构甲级和乙级资质认可条件中的重点检测项目,是职业卫生技术服务机构重要的检测项目之一,开展工频电场测量仪器的实验室间比对是检验职业卫生技术服务机构工频电场测量能力的有效方式。目前暂未发现国外有开展相关研究,我国赵福祥等以高压线地面投影点为测量点开展过江苏省市级环境监测站工频测量仪器的比对,发现部分比对结果不满意^[13],前期本课题组亦以高压线作为标准源进行工频电磁场测量仪器的比对设计^[5]。考虑到在高压线下方开展可能会受天气影响且容易造成民众的误解,同时为了活动开展的便捷性,本次以某单

位室内变压器为标准源,标准源稳定性检验结果满足CNAS—GL03:2006的样品稳定性要求^[6],说明该变压器作为标准源开展本次比对是可行的。

本次比对发现,40家单位参比仪器共涉及7种类型,基本涵盖了目前职业卫生技术服务机构常用的工频电场测量仪器型号,包括国外和国内的、三轴和单轴的、配置连接线和未配置连接线的设备。我国电力行业标准DL/T 799.7—2010《电力行业劳动环境监测技术规范 第7部分:工频电场、磁场监测》建议一般不使用单轴测量仪^[14],本课题组在前期比对中亦发现手持单轴设备未能避免邻近效应使得测得电场强度结果明显偏高^[5]。本次比对过程中由于组织方准备了干燥非金属脚架,检测人员检测时大多将仪器固定在脚架上,再离开一段距离进行读数。从结果看,大部分仪器检测结果未出现严重偏离,说明现有仪器只要能避免手持操作,结果亦具有可比性。但在作业现场实际检测时,检测人员操作未配置连接线的设备未必会准备脚架支撑,且单轴的设备需旋转探头寻找最大值方向,因此目前职业卫生技术服务机构配置的工频电场测量仪器在使用上仍存在的问题。同时,国产仪器均为上世纪80年代开发生产,性能参数及操作舒适性等均有待提高,且不能测量工频磁场,而国外的仪器价格又偏高,针对课题组已经研制并即将由国家相关部门颁布的《100 kHz以下电磁场职业接触限值及测量方法》,如何研发一款既能测量电场又能测量磁场、操作方便、性价比高的仪器值得进一步探讨。

每年对测量仪器进行计量校准且结果合格是计量认证实验室认可对测量仪器的基本要求^[15]。本次研究结果显示,有1台参比仪器未送检,2台参比仪器校准证书已过期,1台参比仪器校准结果超出了允差范围,说明有部分参比机构未按照实验室认可准则及规定进行仪器的送检及结果确认,未做好质量控制,以致不能保证测量结果的准确性。本次比对的第13台仪器校准证书检查结果在5 kV/m等高强度场强时超出允差范围,但本次比对的场源场强较低,因此该参比仪器现场比对 z 比分数满意,但在实际使用中如测量高强度场强仍可能出现测量结果不准确的情况。本次研究结果显示,有3台参比仪器本次比对结果不合格,其原因既可能与未将仪器送检以致不能保证仪器测量结果的准确性有关,又可能与现场操作如手持测量仪器、测量数据未稳定即读数等有关。因此职业卫生技术服务人员需在日常工作中做好仪器保养和维

护,及时送检并对检定结果进行确认;在现场检测时需了解测量过程中的影响因素,严格按照国家标准进行测量,以保证测量结果的准确性和稳定性。

综上所述,本研究通过以变压器为标准源进行工频电场测量仪器的实验室间比对,了解广东省部分职业卫生技术服务机构工频电场测量仪器的配置及性能情况,有关比对方法较易执行,标准源较稳定方便,比对现场较易控制,可为今后开展工频电场实验室间比对提供重要参考。由于工频电场测量时存在较多注意事项,如测量者与探头的距离、探头摆放高度等,在下一步的研究中可开展工频电场相关测量操作方面的比对,以期发现技术人员对标准测量方法的熟悉程度、操作能力等问题。

参考文献

- [1]祝海珍,张蓉蓉.职业卫生有机物考核样的质量控制[J].中国卫生检验杂志,2013,23(18):3608-3609.
- [2]张锋,张力.江苏省职业卫生体检机构盲样考核结果分析[J].江苏预防医学,2013,24(4):61-62.
- [3]潘巧裕,戎伟丰,张子群,等.职业卫生技术服务机构工作场所空气采样和检测实验室间比对[J].中国职业医学,2015,42(2):167-171.
- [4]徐国勇,林瀚生,肖斌,等.职业卫生技术服务机构噪声现场测量操作能力实验室间比对[J].中国职业医学,2015,42(1):51-54.
- [5]徐国勇,陈青松,赖明珍,等.工作场所工频电磁场测量仪器实验室间比对研究[J].中国职业医学,2016,43(1):65-68.
- [6]能力验证样品均匀性和稳定性评价指南:CNAS—GL03:2006[S].北京:中国计量出版社,2006.
- [7]能力验证结果的统计处理和能力评价指南:CNAS—GL02:2014[S].北京:中国计量出版社,2014.
- [8]陈青松,晏华,徐国勇,等.50家企业工频电磁场职业暴露现状调查[J].中国职业医学,2009,36(1):27-29.
- [9]黎世林,徐国勇,陈青松,等.发电厂作业员工频电磁场职业暴露现状调查[J].职业卫生与应急救援,2012,30(3):131-133,146.
- [10]朱凤云.某热电厂建设项目职业病危害控制效果评价[J].环境与职业医学,2012,29(7):452-455.
- [11]梁泳梅,廖明亮,聂新强,等.江门某粮食码头项目职业病危害识别与关键控制点分析[J].中国卫生工程学,2015,14(2):140-142,144.
- [12]李华亮,李丽,曾广诚,等.不同电压等级变电站工频电磁场暴露状况调查[J].环境与职业医学,2013,30(11):847-849.
- [13]赵福祥,张起虹,蔡新华,等.工频电磁场的测量比对[J].电力环境保护,2008,24(2):58-59.
- [14]电力行业劳动环境监测技术规范第7部分:工频电场、磁场监测:DL/T 799.7—2010[S].北京:中国电力出版社,2011.
- [15]检测和校准实验室认可准则:CNAL/AC01:2005[S].北京:中国标准出版社,2005.

(收稿日期:2017-01-06;录用日期:2017-04-19)

(英文编辑:汪源;编辑:丁瑾瑜;校对:汪源)

【告知栏】

《环境与职业医学》杂志免收审稿费的通知

本着竭诚为广大作者和读者服务的宗旨,《环境与职业医学》杂志从2016年1月1日起免收审稿费。

《环境与职业医学》唯一投稿方式是在线投稿,官方网址为http://jeom.scdc.sh.cn:8081。广大作者投稿时,请注意阅读网站主页公布的“作者指南”,认真检查稿件的研究内容是否符合《环境与职业医学》刊载范畴,写作格式是否符合本刊的要求。网上投稿时务必填写必要项目,并按照本刊要求提供所需的投稿材料,以免延误送审时间。

欢迎业内新老作者踊跃投稿,继续关注和支持本刊的发展。

《环境与职业医学》杂志编辑部