

对温度湿度气压国际比对结果的进一步分析

南雪景 贺晓雷 李昌兴 李建英 赵旭
(中国气象局气象探测中心, 北京 100081)

摘要: 基于欧洲气象计量研究计划 (MetroMet), 继WMO RA VI实验室比对 (ILC) 后, 世界气象组织RA II, V和VI的区域仪器中心 (RIC) 参加了温度、湿度和气压量值的实验室比对。比对采用圆环形传递路线, 主导实验室依次完成测试后, 参比实验室相继测试, 然后主导实验室再次测试, 直至闭环。比对协议指出参考值取主导实验室的两次量值的加权平均值; 本文指出参考值取全部实验室的单次量值的加权平均值, 然后利用各实验室报告的比对结果, 分别采用不同算法确定2个参考值, 用归一化偏差 E_n 值作为比对判据评价各实验室的测量结果。比较两个不同参考值的结果评价情况, 验证参比实验室在比对评价不满意的测量点与每个主导实验室的数据兼容性, 说明采用全部实验室的单次量值计算参考值的算法更合理。

关键词: 温度, 湿度, 气压, 实验室比对, 参考值, 结果评价

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2022.04.008

Reanalysis of Interlaboratory Comparison in the Field of Temperature, Humidity and Pressure

Nan Xuejing, He Xiaolei, Li Changxing, Li Jianying, Zhao Xu
(Meteorological Observation Center of CMA, Beijing 100081)

Abstract: Following the Interlaboratory Comparison (ILC) completed in WMO RA VI under the MetroMet project of Europe, a further Interlaboratory Comparison focusing on atmospheric temperature, humidity and pressure was started in the Regional Instrument Centers (RIC) of WMO RA II, V and VI. The ILC was performed in a round-robin scheme, with a single loop. Every pilot laboratory performed two sets of measurements, at the beginning and at the end of the loop. And the participating laboratories performed their measurements in between. According to the ILC, the reference value for calculation was based on the weighted mean from the pilot laboratories. In this paper, it is proposed that the reference value for calculation be based on the weighted mean from all laboratories. Using the comparison results from each laboratory, two reference values were determined by different algorithms. And the measurement results of each laboratory were evaluated with reference to E_n numbers. Furthermore, The effects of two reference values on the evaluation results were compared to verify the data compatibility between the participating laboratory and the pilot laboratory in terms of the unsatisfying results from some measurement points of the former. The analysis shows that, compared to the calculation method that takes the weighted mean from the pilot laboratories as the reference value, it is more reasonable and equitable to take the weighted mean from all the laboratories as the reference value.

Keywords: temperature, humidity, pressure, Interlaboratory Comparison, reference value, evaluation result

0 引言

全球统一、高质量的气象资料是实施准确天气预报、监测全球气候变化的重要保证^[1]。世界气象组织联合国际计量局开展旨在改进全球气象观测资料计量溯源性的研究即欧洲气象计量研究计划MetroMet^[2-3]。依据《ISO/IEC 17043: 2010能力验证提供者认可准则》^[4], 世界气象组织VI区协 (WMO Regional Association VI) 于2015年率先在欧洲开展气象温度、

湿度、大气压力量值的实验室比对 (Interlaboratory Comparison)^[5]。斯洛文尼亚环境署 (ARSO) 的卢布尔雅那仪器中心和首都卢布尔雅那大学电气工程学院 (UL-FE) 作为主导实验室参加了欧洲实验室比对^[6-7]。

2018年, WMO RA II 的日本气象厅 (JMA) 筑波仪器中心联合ARSO和UL-FE, 提议共同作为主导实验室在WMO RA II 和 V 的区域仪器中心间开展实验室比对。WMO RA II 的中国气象局 (CMA) 北京仪器中心, WMO RA V 的澳大利亚气象局 (BoM) 墨尔本仪器中心和菲律宾大气地球物理及天文服务管理局 (PAGASA) 的马尼拉仪器中心受邀作为参比实验室参加比对。参照欧洲的实验室比对方案, 本次比对采用

收稿日期: 2022年3月25日; 修回日期: 2022年7月22日
第一作者: 南雪景 (1976—), Email:nanxuejing@yeah.net
通信作者: 李昌兴 (1970—), Email:leecharson@sina.com

相同的传递标准, 确定比对协议编号为MM-ILC-2018-THP-2, 本次比对是WMO RA II, V间开展的首次气象计量实验室比对。除马尼拉仪器中心外, 其他实验室均获得国际认可准则ISO/IEC17025的能力认证^①, 比对是实现国际互认和考核实验室能力的有效手段。另外, 获得国际认可的实验室还需定期参加实验室比对或能力验证计划, 以保证其校准结果质量。

1 比对试验

1.1 传递标准

传递标准与欧洲实验室比对所用仪器相同, 温度仪器为两支Pt100 铂电阻温度传感器及配套的数据采集器, 湿度仪器是一支电容式湿度传感器, 气压仪器是一台数字压力传感器。

1.2 比对方式

比对采用圆环传递方式^[8-10], 2018年3月—2019年2月, 主导实验室依次对传递标准进行测试后, 参比实验室相继测试, 然后主导实验室再次测试, 直至闭环。传递标准的运输路线见图1。

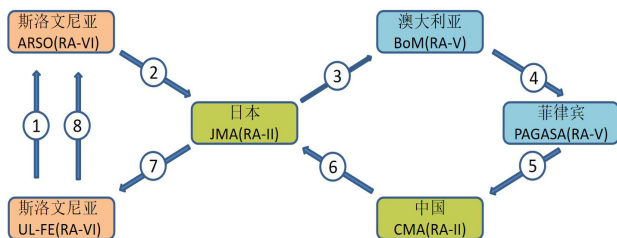


图1 传递标准的运输路线图
Fig. 1 Transportation route of travelling standard

1.3 试验方法

比对协议建议各实验室采用已认证的国家计量技术标准化方法和程序测量, 避免额外地重复测量。比对对环境要求室内气温为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$; 相对湿度为30%~60%。

温度比对点为 -30°C 、 -20°C 、 -10°C 、 0°C 、 10°C 、 20°C 、 30°C 、 40°C 等共计8个测量点, 各测量点设定的温度偏差值不超过 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ^[11]。

相对湿度比对点为10%、20%、35%、55%、75%、90%、95%等共计7个测量点, 各测量点设定的相对湿度偏差值不超过 $\pm 3\%$ ^[12-14]。

气压比对点为800 hPa、850 hPa、900 hPa、950 hPa、1000 hPa、1050 hPa、1100 hPa等共计7个测量点, 气压比对时从最低压力点800 hPa开始, 逐步

升至1100 hPa; 再从高压点逐步降至低压点, 直至完成比对循环, 各测量点的设定压力偏差值不超过 $\pm 20\text{ hPa}$ ^[15]。

2 数据处理方法

比对协议建议各实验室依据校准不确定度认可准则报告测量结果^②, 各实验室要依据最佳测量能力开展校准, 用置信概率 $P=95\%$ 或包含因子 $k=2$ 的扩展不确定度表示其校准和测量能力即各实验室宣称的不确定度^[16]。

2.1 参考值及其不确定度

计量比对参考值应采用比对量值的最佳估计值, 它具有合理赋予的不确定度。参加本次比对的实验室的量值复现和溯源情况较为明确, 可认为各实验室的量值均为独立复现, 因此采用部分或全部实验室的量值确定参考值^[17]。参考值取相应实验室测得的示值误差的加权平均值, 权重与相应实验室的标准不确定度平方成反比。

按两种算法讨论参考值及其不确定度, 如式(1)与(2)。

2.1.1 算法1: 主导实验室全部量值的加权平均法

比对协议指出参考值取各主导实验室两次量值的加权平均值, 权重与各主导实验室的相应标准不确定度平方成反比; 参考值的标准不确定度的平方取主导实验室全部量值的权重之和的倒数。

$$x_r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}} \quad (1)$$

参考值的标准不确定度平方为:

$$u^2(x_r) = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}} \quad (2)$$

式中: x_r 为参考值; x_i 为主导实验室的示值误差; n 为测量总次数 $n=6$ 或 $n=4$ (UL-FE未参加气压比对); $u(x_r)$ 为参考值的标准不确定度; $u(x_i)$ 为主导实验室的标准不确定度。

2.1.2 算法2: 全部实验室单次量值的加权平均法

参考值取全部实验室单次量值的加权平均值, 其中主导实验室两次量值分别取其宣称不确定度的较大值与较小值单独计算, 权重与各实验室相应的标准不确定度平方成反比^[18]; 参考值的标准不确定度的平方

① [https://community.wmo.int/activity-areas/imop/Regional Instrument Centers](https://community.wmo.int/activity-areas/imop/Regional%20Instrument%20Centers).

② JCGM 100: 2008 International Organization for Standardization, Evaluation of measurement data—Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM).

取全部实验室单次量值的权重之和的倒数，分别见式(1)和式(2)。

此算法中 x_i 为各个实验室的示值误差； n 为比对实验室总数， $n=6$ （温度比对）， $n=5$ （湿度比对，PAGASA未参加）或 $n=4$ （气压比对，UL-FE未参加，某参比实验室未参与参考值计算）； $u(x_i)$ 为各个实验室的标准不确定度。

2.2 比对结果的评价方法

比对协议指出测量结果采用归一化偏差 E_n 值进行评价^[19]。 E_n 值为各实验室比对结果与参考值的差值与该差值的不确定度之比，传递标准在比对期间的漂移取各主导实验室两次量值变化量的最大值，如式(3)和式(4)。

$$E_n = \frac{x_k - x_r}{k \times \sqrt{u^2(x_k) + u^2(x_r) + u_e^2(x)}}, \quad (3)$$

$$u_e(x) = \frac{\max|x_{i,1} - x_{i,2}|}{2\sqrt{3}}, \quad (4)$$

式中： x_r 为参考值； x_k 为实验室测得的示值误差； k 为包含因子， $k=2$ ； $u(x_k)$ 为实验室示值误差的标准不确定度； $u(x_r)$ 为参考值的标准不确定度； $u_e(x)$ 为传递仪器漂移引入的标准不确定度； $x_{i,1}$ 为主导实验室第一次测得的示值误差； $x_{i,2}$ 为主导实验室第二次测得的示值误差。

2.3 比对结果的评价标准

测量结果一致性评价标准：

$|E_n| \leq 1$ ，比对结果满意；

$|E_n| > 1$ ，比对结果不满意，应分析原因。

3 比对结果分析

为便于分析，主导实验室编号取1#~3#；参比实验室编号取4#、5#和CMA。采用算法1，将各主导实验室的两次量值全部参与计算得到参考值 x_r 及其不确定度 U ；计算得到漂移不确定度 u_e 。采用算法2确定参考值时，将1#，2#，3#宣称的 U 较大值记A组，其宣称的 U 较小值记B组，然后将主导实验室的两组量值分别与参比实验室的量值共同计算参考值，最后用归一化偏差 E_n 值评价各实验室比对结果^[20]。

3.1 温度测量结果评价

6个实验室均参加了温度比对，各实验室报告的两支铂电阻温度传感器的示值误差分别为 $x_i(t1)$ 、 $x_i(t2)$ ，并且宣称的测量不确定度 U 相同。分别计算得到温度比对的参考值 $x_r(t1)$ 、 $x_r(t2)$ ，及漂移不确定度 $u_e(t1)$ 、 $u_e(t2)$ 见表1。

表1 温度比对参考值(单位: °C)

Table 1 The reference value for temperature calibration (unit: °C)

参考值	算法1			算法2, A组			算法2, B组			漂移 $u_e(t)$	
	$x_i(t1)$	$x_i(t2)$	U	$x_i(t1)$	$x_i(t2)$	U	$x_i(t1)$	$x_i(t2)$	U	$u_e(t1)$	$u_e(t2)$
-30	0.035	0.049	0.000	0.035	0.050	0.000	0.035	0.049	0.000	0.000	0.001
-20	0.028	0.045	0.000	0.029	0.045	0.000	0.029	0.047	0.000	0.000	0.001
-10	0.012	0.029	0.000	0.011	0.029	0.000	0.012	0.030	0.000	0.001	0.001
0	-0.002	0.018	0.000	0.001	0.019	0.000	-0.002	0.018	0.000	0.002	0.001
10	-0.002	0.018	0.000	-0.001	0.019	0.000	-0.003	0.017	0.000	0.001	0.001
20	-0.008	0.015	0.000	-0.006	0.013	0.000	-0.007	0.017	0.000	0.001	0.002
30	-0.021	0.005	0.000	-0.017	0.004	0.000	-0.023	0.007	0.000	0.003	0.001
40	-0.027	0.002	0.000	-0.022	0.004	0.000	-0.030	0.002	0.000	0.003	0.003

采用算法1得到两支铂电阻温度传感器的比对结果判据，分别为 $E_n - T1$ 和 $E_n - T2$ ，见图2。

从图2可以看出，所有实验室的比对结果判据 $|E_n|$ 小于1，采用算法2计算参考值后，用 E_n 值进行评价，所有实验室的比对结果均满意，与采用算法1进行评价的情况相同。

1#实验室先后两次宣称的不确定度分别为 0.007 °C 与 0.009 °C ，2#实验室两次宣称的不确定度均为 0.013 °C ，3#实验室先后两次宣称的不确定度分别为 0.045 °C 与 0.046 °C ，4#和CMA宣称的不确定度均为 0.025 °C ，5#实验室未参加 0 °C 以下温度点的比对，在 0 °C 以上温度点比对时宣称的不确定度为 0.080 °C 。按照公式(2)，采用算法1与算法2得到的参考值不确定度均为 0.000 °C ，两种算法得到的参考值对比对结果评价一致。

3.2 湿度测量结果评价

除参比实验室PAGASA之外，其余实验室参加了湿度比对，计算得到湿度比对的参考值 $x_r(H)$ 及其不确定度 U ，以及漂移不确定度 $u_e(H)$ 见表2，各实验室相对湿度 E_n 值见图3。

从图3可以看出，4#实验室根据算法1得到的参考值进行比对结果评价时，在90%和95%两个测量点的 $|E_n| > 1$ ；根据算法2得到的评价结果在90%测量点的 $|E_n| > 1$ ，表明其测得值离群。4#实验室在95%测量点的结果评价情况因参考值的取值不同出现差异。其他实验室的比对结果均满意。

3.3 气压测量结果评价

除主导实验室UL-FE外，其余实验室参加了气压比对，传递标准可同时显示4个压力值，测量示值误差记为：左上-UL，右上-UR，左下-LL，右下-LR，各实验室报告的4个示值误差相应不确定度 U 均相同。

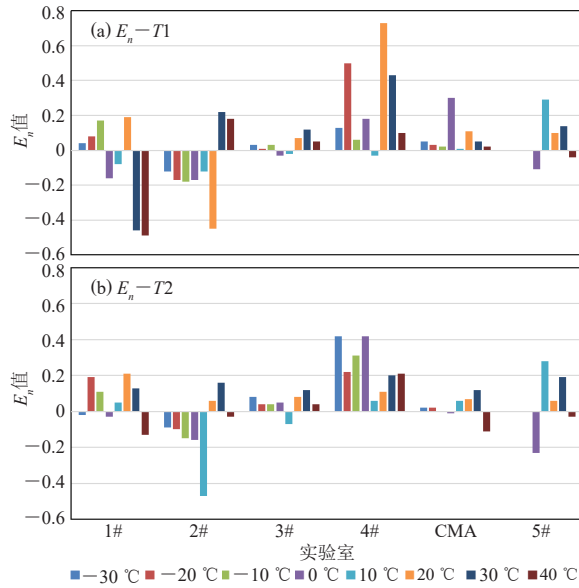


图2 各实验室温度比对的 E_n 值——PT100 (算法1)
Fig. 2 Summary of E_n values for all temperature calibrations for PT 100 (method one)

表2 湿度比对参考值 (单位: %)

Table 2 The reference value for humidity calibration(unit: %)

参考值	算法1		算法2, A组		算法2, B组		漂移
	$x_r(H)$	U	$x_r(H)$	U	$x_r(H)$	U	
10%	-0.13	0.35	-0.24	0.27	-0.25	0.26	0.03
20%	0.01	0.35	-0.06	0.29	-0.01	0.28	0.06
35%	0.24	0.40	0.28	0.37	0.37	0.35	0.07
55%	0.65	0.40	0.75	0.44	0.94	0.41	0.14
75%	1.30	0.40	1.32	0.49	1.77	0.45	0.23
90%	1.62	0.40	1.78	0.51	2.23	0.46	0.24
95%	1.68	0.40	1.71	0.53	2.20	0.47	0.26

3.3.1 比对结果评价

参比实验室4#、5#和CMA根据算法1得到的参考值进行比对结果评价时, 各测量点的 E_n 值见表3。

从表3可以看出, CMA有1个结果不满意; 5#有29个结果不满意, 其他比对结果均满意。5#分析原因称其气压标准器, 在比对前很长时间没进行计量溯源, 计算时未考虑长期稳定性引入的不确定度^[20]。鉴于5#实验室的气压标准器超检, 为保证参考值的合理性与可靠性, 算法2计算参考值时未采用5#的量值。

采用两种算法计算的参考值 $x_r(P)$ 及其不确定度 $U(x_r)$ 见表4。

1#实验室先后两次宣称的不确定度分别为0.08 hPa与0.05 hPa, 2#实验室两次宣称的不确定度分别为0.08 hPa, 4#实验室宣称的不确定度为0.03 hPa, CMA宣称的不确定度为0.04hPa, 5#实验室仅参加部分测量点的比对, 其宣称的不确定度为0.08hPa。按照公式(2), 采用算法1与算法2得到的参考值不确定度

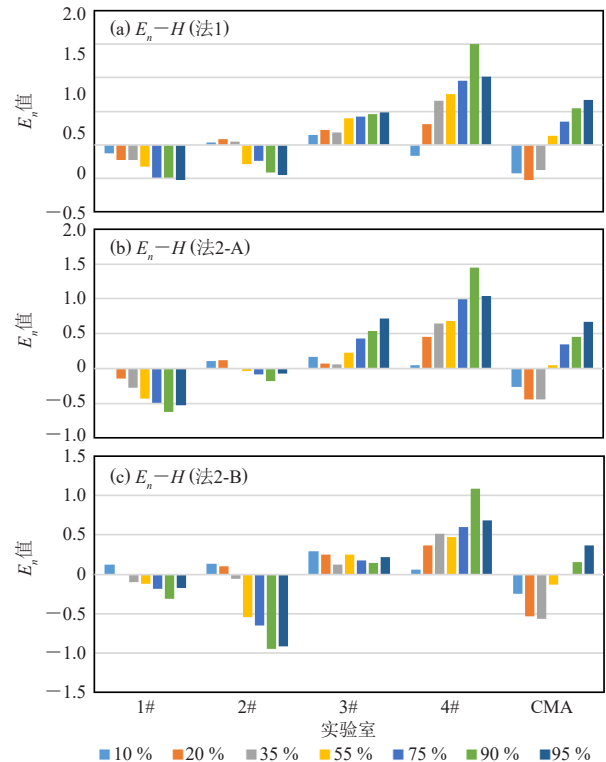


图3 各实验室湿度比对的 E_n 值
Fig. 3 Summary of E_n values for all humidity calibrations

表3 参比实验室气压比对的 E_n 值(算法一)

Table 3 E_n value of participating laboratory for pressure calibration (method one)

实验室	4#				CMA				5#			
	UL	UR	LL	LR	UL	UR	LL	LR	UL	UR	LL	LR
800	0.62	0.56	0.43	0.72	0.84	0.78	0.86	0.94				
850	0.72	0.47	0.43	0.43	0.81	0.68	0.74	0.86				
900	0.76	0.69	0.54	0.7	0.85	0.43	0.85	0.79	1.55	1.28	1.43	1.4
950	0.98	0.68	0.64	0.74	1.03	0.59	0.74	0.64	1.66	1.39	1.37	1.42
1000	0.71	0.52	0.39	0.57	0.62	0.46	0.52	0.78	1.29	1.08	1.12	1.22
1050	0.89	0.63	0.42	0.42	0.77	0.37	0.73	0.55	1.26	0.92	0.92	1.03
1100	0.88	0.63	0.63	0.6	0.77	0.55	0.55	0.52				
1050	0.89	0.42	0.42	0.54	0.77	0.37	0.55	0.47	1.26	1.03	1.03	1.08
1000	0.6	0.52	0.39	0.77	0.71	0.28	0.52	0.49	1.46	1.08	1.00	1.22
950	0.8	0.58	0.37	0.52	0.88	0.32	0.69	0.64	1.57	1.22	1.34	1.42
900	0.76	0.49	0.54	0.48	0.66	0.43	0.66	0.6	1.66	1.39	1.54	1.51
850	0.76	0.39	0.47	0.47	0.98	0.6	0.89	0.68				
800	0.76	0.43	0.64	0.58	0.98	0.64	0.86	0.8				

均为0.000 °C, 两种算法得到的参考值对比对结果评价一致。

各实验室根据算法2得到的参考值进行比对结果评价时, 各测量点的 E_n 值见图4。

从图4可以看出, 5#仍有19个测量结果不满意, 其余测量结果均满意。其中CMA在UL-950hPa-up测量点评价结果满意, 与采用算法1得到的参考值评价情

表4 气压比对参考值(单位: hPa)

Table 4 the reference value for pressure calibration (unit: hPa)

参考值 $x_r(P)$	算法1					算法2, A					算法2, B				
	UL	UR	LL	LR	U	UL	UR	LL	LR	U	UL	UR	LL	LR	U
800	-0.41	-0.20	-0.26	-0.29	0.00	-0.38	-0.17	-0.23	-0.26	0.00	-0.38	-0.17	-0.24	-0.26	0.00
850	-0.39	-0.19	-0.26	-0.28	0.00	-0.36	-0.17	-0.24	-0.25	0.00	-0.37	-0.17	-0.24	-0.26	0.00
900	-0.39	0.19	-0.27	-0.28	0.00	-0.35	-0.17	-0.24	-0.25	0.00	-0.36	-0.17	-0.24	-0.25	0.00
950	-0.39	-0.20	-0.26	-0.28	0.00	-0.35	-0.18	-0.23	-0.26	0.00	-0.36	-0.18	-0.23	-0.26	0.00
1000	-0.36	-0.20	-0.24	-0.27	0.00	-0.33	-0.17	-0.22	-0.24	0.00	-0.34	-0.17	-0.22	-0.24	0.00
1050	-0.38	-0.22	-0.25	-0.28	0.00	-0.35	-0.20	-0.23	-0.26	0.00	-0.35	-0.20	-0.23	-0.26	0.00
1100	-0.36	-0.21	-0.24	-0.27	0.00	-0.33	-0.19	-0.22	-0.24	0.00	-0.33	-0.19	-0.22	-0.25	0.00
1050	-0.38	-0.22	-0.25	-0.29	0.00	-0.35	-0.20	-0.23	-0.26	0.00	-0.35	-0.20	-0.23	-0.27	0.00
1000	-0.37	-0.20	-0.24	-0.27	0.00	-0.34	-0.18	-0.22	-0.24	0.00	-0.34	-0.18	-0.22	-0.25	0.00
950	-0.40	-0.20	-0.26	-0.28	0.00	-0.36	-0.18	-0.24	-0.26	0.00	-0.37	-0.18	-0.24	-0.26	0.00
900	-0.38	-0.19	-0.27	-0.28	0.00	-0.35	-0.18	-0.24	-0.26	0.00	-0.36	-0.17	-0.24	-0.26	0.00
850	-0.39	-0.19	-0.26	-0.28	0.00	-0.36	-0.17	-0.23	-0.26	0.00	-0.36	-0.17	-0.24	-0.26	0.00
800	-0.40	-0.19	-0.26	-0.29	0.00	-0.37	-0.17	-0.23	-0.26	0.00	-0.37	-0.17	-0.23	-0.26	0.00

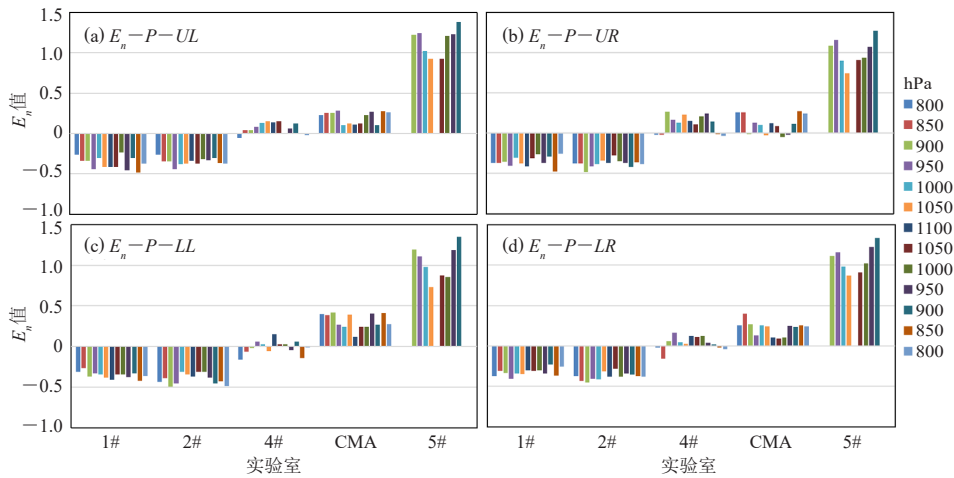


图4 各实验室气压比对的 E_n 值(算法2)

Fig. 4 Summary of E_n values for all pressure calibrations (method two)

况不一致。

3.3.2 参比实验室不满意结果验证

为验证算法1确定参考值的合理性,将CMA在UL-950hPa-up的量值分别与每个主导实验室两次测量结果确定的参考值逐一对比,比对结果图示见图5。

从图5可以看出, CMA在UL-950hPa-up比对点与1#和2#的比对结果所在短线与纵坐标为“0.00”的横线均相交,比对结果满意,表明算法1确定参考值的合理性值得商榷。不难看出:气压比对时,参比实验室的量值与主导实验室之间有较明显的系统性偏差,采用算法1确定参考值时,对同样提供独立量值的非主导实验室不公平。

4 比对结果评价讨论

WMO RA II, V和VI区域仪器中心国际比对有来自5个国家的6个气象计量实验室参加, ARSO、

UL-FE和JMA的仪器中心作为主导实验室参加比对, BoM, CMA和PAGASA的仪器中心作为参比实验室参加比对。比对协议采用算法1取主导实验室全部量值的加权平均确定参考值, 本文采用算法2即利用全部实验室单次量值确定参考值, 其中主导实验室的两次量值分为A组和B组即其宣称不确定度的较大值与较小值。比较由两种不同参考值, 得到测量结果判据 E_n 值, 分别对温度、相对湿度和气压比对结果进行评价。

1) 温度比对中, 6个实验室共提交138个量值, 由两种不同参考值得到的比对结果均满意。

2) 湿度比对中, 5个实验室共提交56个量值, 4#在90%的量值由两种不同参考值得到的比对结果不满意; 4#在95%的量值由算法1确定参考值得到的比对结果不满意, 由算法2确定的参考值得到的比对

结果满意。其他实验室的量值由两种不同参考值得到的比对结果均满意。

3) 气压比对中, 6个实验室共提交344个量值, 5#实验室提交32个量值, 由算法1确定参考值得到的比对结果中29个不满意; 由算法2确定参考值得到的比对结果中19个不满意。CMA在UL-950hPa-up的量值由算法1确定参考值得到的比对结果不满意, 由算法2确定参考值得到的比对结果满意。其他实验室的量值由两种不同参考值得到的比对结果均满意。

为比较两种不同算法确定参考值对评价结果的影响, 将式(1)与(2)分别变换为(5)与(6)如下:

$$\frac{x_r}{u^2(x_r)} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{u^2(x_i)}, \quad (5)$$

$$\frac{1}{u^2(x_r)} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}, \quad (6)$$

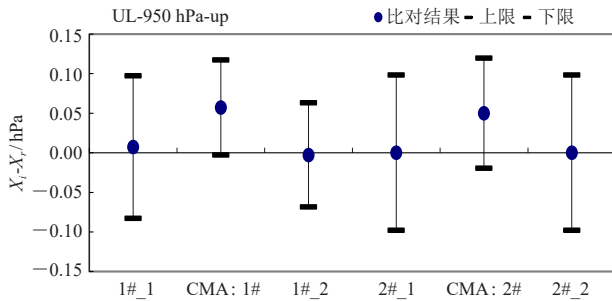


图5 CMA与主导实验室在UL-950hPa比对的结果图示(算法1)
Fig. 5 Result of some pressure calibrations at UL-950hPa-up (method one)

从式(6)可知,每增加一个独立量值 x_i 的 $u(x_i)$,参考值的不确定度 $u(x_r)$ 就会减小。算法1确定参考值时,如果仅取主导实验室的单次量值,在其他参比实验室宣称的不确定度都较大时,是简单且稳健的合理方法。但将每个主导实验室的两次测量结果,分别作为独立的量值,参与计算参考值,则参考值不确定度会被过低估计。

当参比实验室的量值不确定度与主导实验室宣称的较小不确定度接近或更小时,算法1确定的参考值只片面地包括主导实验室的量值贡献,且过低估计 $u(x_r)$,从而导致参比实验室的量值比对结果判断 E_n 值偏大,甚至大于1。如气压比对中1#和2#宣称的不确定度 $U=0.08$ hPa, 4#的 $U=0.03$ hPa, CMA的 $U=0.04$ hPa。由算法1确定的参考值得到的参比实验室的比对结果 E_n 值偏大。

本次比对旨在监测WMO RA II, V和VI各区域仪器中心的实验室测量能力,遵循独立溯源实验室间比对时,利用全部独立量值确定的参考值及其不确定度最佳准则。采用算法2确定参考值时,宣称不确定度较小的参比实验室的量值参与计算参考值,有合理且相对较大的权重,使得参考值更接近比对量值的最佳估计值。所以,由全部实验室的单次量值确定的参考值得到的比对结果评价情况更合理。

比对报告^[20]指出,BoM和CMA区域仪器中心的温度、湿度、气压实验室均获得国际认可准则ISO/IEC 17025的测量能力认证。如果二者的测量结果也参与计算参考值,比对数据的评价结果将会明显不同。本文进一步分析表明,将全部实验室的单次量值参与计算参考值进行结果评价更合理。另外,5#实验室分析原因称其气压标准器在本次比对前很长时间未进行计量溯源,计算测量结果不确定度时未考虑计量标准长期稳定性引入的参量;后续该实验室的气压标准器及时送检后,其业务操作已无问题,该实验室声称日后将开展不确定度评定的研究工作。4#实验室在

湿度比对中90%和95%测量点的 $|E_n| > 1$,可能与其宣称的不确定度过低有关。

此外,欧洲气象计量研究计划MetroMet还将在WMO其他区协的区域仪器中心间开展实验室比对,如非洲区域RA I等。本次比对经验表明,日后实验室国际比对之前有必要制定详细的比对方案,甚至要求各实验室提供不确定度评定报告。

参考文献

- [1] Beges G, Drnovsek J, Bojkovski J, et al. Automatic weather stations and the quality function deployment method. *Meteorological Applications*, 2015, 22(S1): 861-866.
- [2] 张庆龄. 面向气象学的计量学. *气象科技进展*, 2014, 4(3): 66-69.
- [3] Merlone A, Lopardo G, Sanna F, et al. The MetroMet project—metrology for meteorology: challenges and results. *Meteorological Application*, 2015, 22(S1): 820-829.
- [4] 中国合格评定国家认可委员会. CNAS-CL03能力验证提供者认可准则. 北京: 中国合格评定国家认可委员会, 2010.
- [5] Bojkovski J, Drnovsek J, Groselj D, et al. Interlaboratory Comparison in the field of Temperature, Humidity and Pressure. IOM Report-No. 128. Geneva: WMO, 2018.
- [6] Bojkovski J, Drnovsek J, Groselj D, et al. WMO Interlaboratory Comparison in Europe with loops linkage and data processing. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 2019, 36(2): 257-267.
- [7] Groselj D, Razpotnik A, Bojkovski J. Interlaboratory Comparison in the south eastern part of RA VI using calibration kit. <https://wmo.public.int> (2021-09-30).
- [8] 李庆忠, 李海根, 陈秋贤. 计量比对理论与实践. 北京: 中国计量出版社, 2009.
- [9] 费业泰. 误差理论与数据处理第7版. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [10] 王池, 原遵东, 林延东, 等. JJF 1117—2010 计量比对. 北京: 中国计量出版社, 2010.
- [11] Bertiglia F, Lopardo G, Merlone A, et al. Traceability of Ground-Based Air-Temperature Measurements: a case study on the Meteorological Observatory of Moncalieri (Italy). *International Journal of Thermophysics*, 2015, 36(2-3): 589-601.
- [12] Hussain F, Khairuddin S, Othman H. Inter-laboratory comparison for calibration of relative humidity devices among accredited laboratories in Malaysia. *International Journal of Thermophysics*, 2017, 38(1): 15.
- [13] Aytekin S O, Kalemci M. National Interlaboratory Comparison in scope of relative humidity in the range from 11% rh to 95% rh at 23 °C. *International Journal of Thermophysics*, 2015, 36(10-11): 3466-3473.
- [14] Gee R M, Farley R S, Sax P, et al. An Interlaboratory Comparison of relative humidity and temperature probes using diverse generation techniques. *International Journal of Thermophysics*, 2018, 29(5): 1696-1708.
- [15] Groselj D, Razpotnik A. Traceability of air pressure calibration at EARS WMO regional instrument center. <https://wmo.public.int> (2021-09-30).
- [16] 罗振之, 施彦昌, 金华彰, 等. JJF1001—1998 通用计量术语及定义. 北京: 中国计量出版社, 2010.
- [17] 原遵东, 王池, 林延东. 确定量值比对参考值的准则. *仪器仪表学报*, 2010, 31(10): 2381-2385.
- [18] 原遵东, 王池, 林延东. 比对参考值与等效度计算方法探讨. *计量学报*, 2011, 32(1): 93-96.
- [19] Filipe E. Evaluation of calibration laboratories performance. *International Journal of Thermophysics*, 2011, 32(11-12): 2477-2484.
- [20] Nakashima K, Barcenas F, Dollery I, et al. Report on Interlaboratory Comparison in the Field of Temperature, Humidity and Pressure. IOM Report-No. 134. Geneva: WMO, 2021.