



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

便携式大气温室气体柱浓度遥感监测仪 校准规范

Calibration Specification for Portable Remote Sensing Instruments for
Atmospheric Greenhouse Gas Column Concentration Measurements

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

便携式大气温室气体柱浓度 遥感监测仪校准规范

JJF XXXX—XXXX

Calibration Specification for Portable
Remote Sensing Instruments for Atmospheric
Greenhouse Gas Column Concentration Measurements

归口单位：全国生态环境监管专用计量测试技术委员会

主要起草单位：中国环境监测总站

中国科学技术大学

浙江工业大学

中国计量科学研究院

参加起草单位：中国科学院合肥物质科学研究院

本规范委托全国生态环境监管专用计量测试技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

引 言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 术语	1
3.2 计量单位	1
4 概述	1
5 计量特性	2
6 校准条件	2
6.1 环境条件	2
6.2 测量标准仪器	2
7 校准项目和校准方法	3
7.1 校准前准备	3
7.2 示值误差	3
7.3 重复性	3
7.4 精密度	4
8 校准结果表达	4
9 复校时间间隔	5
附录 A	6
附录 B	8
附录 C	9

引 言

JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

便携式大气温室气体柱浓度遥感监测仪校准规范

1 范围

本规范适用于基于被动红外原理的便携式大气二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)柱浓度遥感监测仪的校准。其他温室气体组分可参照执行。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

T/AHEPI 03—2022 《温室气体柱浓度地基监测技术规范傅里叶变换红外光谱法》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范。

3 术语和定义

3.1 术语

下列术语适用于本规范。

3.1.1 温室气体柱浓度 greenhouse gas column concentration

从地面到大气层顶中某种温室气体相对于干空气的柱平均摩尔分数，记为 X_{gas} 。

[来源：T/AHEPI 03—2022，3.3，有修改]

3.1.2 精密度 precision

在本规范中精密度指代一段时间内仪器测量值与参考量值之间差值的标准偏差。

3.2 计量单位

所有计量单位都应采用国家法定计量单位来表示。

气体浓度单位： $\mu\text{mol/mol}$ 或 nmol/mol 。

4 概述

便携式大气温室气体柱浓度遥感监测仪主要采用被动红外遥感技术，通过测量太阳辐射经过大气传输后形成的温室气体特征吸收光谱，基于光谱反演算

法获得大气温室气体柱浓度数据。仪器通常由太阳跟踪模块、光学收集模块、光谱探测模块、数据处理模块及辅助模块组成，主要技术路线包括但不限于傅里叶变换红外光谱技术、光栅光谱技术和激光外差光谱技术等。

5 计量特性

仪器的计量特性见表 1。

表 1 计量性能要求

气体种类	示值误差	重复性	精密度
CO ₂	±2 μmol/mol	0.4 μmol/mol	1 μmol/mol
CH ₄	±10 nmol/mol	4 nmol/mol	5 nmol/mol

注：以上计量特性要求仅供参考，不作为合格性判定依据。

6 校准条件

6.1 环境条件

- (1) 环境温度：（-10~40）℃；
- (2) 相对湿度：≤85%；
- (3) 大气压：（80~160）kPa；
- (4) 供电电压：AC（220±22）V，（50±1）Hz；
- (5) 外场测试气象条件：无遮挡，晴朗无云或少云，大气状态稳定，太阳天顶角≤80°。

6.2 测量标准仪器

测量标准仪器应为具有量值溯源性的固定式地基柱浓度遥感监测标准仪器或移动式传递标准仪器。标准仪器的量值应通过飞机原位观测或 AirCore 采样系统获取的垂直廓线数据实现溯源。XCO₂ 最大允许误差为 0.16%，XCH₄ 最大允许误差为 0.4%。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准前准备

校准工作应在晴朗、无云或少云且无遮挡的室外条件下进行。被校仪器应布设在距离标准仪器水平直线距离不超过 100 m 的位置，确保两者观测条件基本一致。校准前，应按照仪器使用说明书的要求对被校仪器和标准仪器进行预热和系统检查，确认仪器处于稳定工作状态后方可开展校准。

7.2 示值误差

被校仪器应与测量标准仪器在同一观测条件下开展连续同步观测。分别计算被校仪器与标准仪器的 10 min 测量平均值，并进行时间匹配，有效匹配对数 $n \geq 150$ ，按照公式（1）计算被校仪器的示值误差。

$$\overline{\Delta C} = \frac{\sum_{k=1}^n \Delta C_k}{n} \quad (1)$$

$$\Delta C_k = C_k - C_{s,k} \quad (2)$$

式中：

n ——同步测量次数；

$\overline{\Delta C}$ —— n 次同步测量值示值误差的算术平均值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 nmol/mol ；

ΔC_k ——被校仪器与标准仪器第 k 次同步测量值的示值误差， $\mu\text{mol/mol}$ 或 nmol/mol ；

$C_{s,k}$ ——标准仪器的第 k 次同步测量值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 nmol/mol ；

C_k ——被校仪器的第 k 次同步测量值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 nmol/mol 。

7.3 重复性

选取晴朗、少云且无剧烈天气活动、大气状态稳定的典型日开展仪器观测。选取当地时间 11:00 到 13:00 期间的测量数据，测量次数 $n \geq 10$ 。按照公式（3）计算被校仪器测量的标准偏差，作为仪器的测量重复性。

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (C_k - \overline{C})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

式中：

S ——重复性， $\mu\text{mol/mol}$ 或 nmol/mol ；

C_k ——被校仪器第 k 次测量值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 nmol/mol ；

$\bar{C}$ ——被校仪器 n 次测量值的平均值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 nmol/mol ；

n ——测量次数。

7.4 精密度

被校仪器应与测量标准仪器在同一观测条件下开展连续同步观测。分别计算被校仪器与标准仪器的 10 min 测量平均值，并进行时间匹配，有效匹配对数 $n \geq 150$ ，按照公式（4）计算被校仪器的精密度。

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (\Delta C_k - \overline{\Delta C})^2}{n-1}} \quad (4)$$

式中：

S ——精密度， $\mu\text{mol/mol}$ 或 nmol/mol ；

ΔC_k ——被校仪器与标准仪器第 k 次同步测量值的示值误差， $\mu\text{mol/mol}$ 或 nmol/mol ；

$\overline{\Delta C}$ —— n 次同步测量值示值误差的算术平均值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 nmol/mol ；

n ——测量次数。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映，校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；

h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

k) 校准环境的描述；

l) 校准结果及其测量不确定度的说明；

m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识、以及签发日期；

n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；

o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

仪器的复校时间间隔一般为 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

校准原始记录参考格式

原始记录编号：____ 校准证书编号：____
 委托单位名称：____ 委托单位地址：____
 仪器名称：____ 制造厂商：____
 型号规格：____ 出厂编号：____
 校准依据：____
 校准地点：____
 环境温度：____ °C 相对湿度：____ % 天气情况：____
 校准日期：____ 年 ____ 月 ____ 日 校准员：____ 核验员：____

1. 示值误差及其扩展不确定度

序号	CO ₂ /(μmol/mol)		CH ₄ /(nmol/mol)	
	标准值	测量值	标准值	测量值
平均值				
示值误差				
不确定度 (<i>k</i> =2)				

2. 重复性

序号	测量值	
	CO ₂ /(μmol/mol)	CH ₄ /(nmol/mol)
1		
2		
3		
4		
...		
10		
平均值		
重复性		

3. 精密度

序号	CO ₂ /(μmol/mol)			CH ₄ /(nmol/mol)		
	标准值	测量值	示值误差	标准值	测量值	示值误差
示值误差 平均值						
精密度						

附录 B

校准证书（内页）参考格式

证书编号：

校准的天气条件：

温度： °C；相对湿度： %；大气压力： kPa

校准结果：

校准项目	校准结果		
示值误差	气体种类	误差值	扩展不确定度 ($k=2$)
	CO ₂ /(μmol/mol)		
	CH ₄ /(nmol/mol)		
重复性	气体种类	结果	
	CO ₂ /(μmol/mol)		
	CH ₄ /(nmol/mol)		
精密度	气体种类	结果	
	CO ₂ /(μmol/mol)		
	CH ₄ /(nmol/mol)		

附录 C

示值误差的不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 校准方法

在晴朗无云的天气条件下，将标准仪器与被校仪器开机预热，使其处于稳定工作状态后开展不少于 3d 的同步观测。分别计算标准仪器与被校仪器观测数据的 10 min 算术平均值，并进行时间匹配。有效匹配数据对数应不少于 150 组（ $n \geq 150$ ）。以 CO₂ 为例，按照公式(C.1, C.2)计算示值误差。

C.1.2 校准用标准仪器：TCCON 站。TCCON 测量结果通过 AirCore 气体垂直廓线观测和飞机原位气体垂直廓线观测进行校准，量值可溯源至 SI，CO₂ 柱浓度最大允许误差为 0.16%。

C.1.3 校准对象：便携式大气温室气体柱浓度遥感监测仪。

C.2 测量模型

示值误差按照（C.1, C.2）计算：

$$\overline{\Delta C} = \frac{\sum_{k=1}^n \Delta C_k}{n} \quad (\text{C.1})$$

$$\Delta C_k = C_k - C_{s,k} \quad (\text{C.2})$$

式中：

$\overline{\Delta C}$ —— n 次同步测量值示值误差的算术平均值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

ΔC_k ——被校仪器与标准仪器第 k 次同步测量值的示值误差， $\mu\text{mol/mol}$ ；

$C_{s,k}$ ——标准仪器的第 k 次同步测量值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

C_k ——被校仪器的第 k 次同步测量值， $\mu\text{mol/mol}$ 。

C.3 各输入量的不确定度

C.3.1 随机因素引入的不确定度 $u(\Delta C_k)$

$u(\Delta C_k)$ 主要由大气成分浓度变化及仪器测量随机波动等因素引起。为减少大气浓度变化的影响，不单独考虑 C_k 和 $C_{s,k}$ 的测量重复性，而直接采用两者差值 ΔC_k 的精密度作为不确定度分量。

该分量采用 A 类方法评定，按照贝塞尔公式计算标准偏差。

$$u(\Delta C_k) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (\Delta C_k - \overline{\Delta C})^2}{n-1}} \quad (\text{C.3})$$

详细的测量数据及计算过程见表 C.1。

表 C.1 不确定度 $u(\Delta C_k)$ 评定过程

序号	标准值 /($\mu\text{mol/mol}$)	测量值 /($\mu\text{mol/mol}$)	ΔC_k /($\mu\text{mol/mol}$)	序号	标准值 /($\mu\text{mol/mol}$)	测量值 /($\mu\text{mol/mol}$)	ΔC_k /($\mu\text{mol/mol}$)
1	428.237	428.928	0.692	76	426.918	427.740	0.822
2	428.148	428.699	0.550	77	427.113	427.765	0.652
3	427.666	428.518	0.851	78	427.314	427.784	0.470
4	427.716	428.487	0.771	79	427.049	427.820	0.771
5	427.472	428.344	0.872	80	427.104	427.985	0.882
6	427.324	428.135	0.811	81	427.125	427.964	0.839
7	427.731	428.222	0.491	82	426.857	428.058	1.201
8	427.876	428.171	0.295	83	427.066	428.069	1.003
9	427.896	428.131	0.235	84	427.381	428.081	0.700
10	427.344	428.068	0.725	85	427.576	428.187	0.611
11	427.425	427.993	0.568	86	427.741	428.203	0.461
12	427.481	427.943	0.462	87	427.712	428.256	0.544
13	427.072	427.878	0.806	88	427.449	428.298	0.849
14	427.098	427.976	0.878	89	427.469	428.256	0.787
15	427.041	427.884	0.843	90	427.522	428.297	0.775
16	427.215	427.908	0.693	91	427.358	428.325	0.967
17	426.853	427.929	1.076	92	427.457	428.372	0.915
18	426.893	428.008	1.115	93	427.499	428.446	0.947
19	427.450	428.089	0.639	94	427.489	428.387	0.898
20	427.828	428.226	0.398	95	427.281	428.241	0.960
21	428.127	428.412	0.285	96	427.193	428.221	1.028
22	428.142	428.553	0.411	97	427.432	428.225	0.793

序号	标准值 /($\mu\text{mol/mol}$)	测量值 /($\mu\text{mol/mol}$)	ΔC_k /($\mu\text{mol/mol}$)	序号	标准值 /($\mu\text{mol/mol}$)	测量值 /($\mu\text{mol/mol}$)	ΔC_k /($\mu\text{mol/mol}$)
23	427.877	428.507	0.630	98	427.501	428.173	0.672
24	427.729	428.441	0.712	99	430.494	431.491	0.997
25	427.921	428.776	0.855	100	430.275	431.478	1.203
26	428.444	428.876	0.432	101	430.635	431.747	1.112
27	428.714	428.932	0.218	102	430.921	432.020	1.099
28	428.742	429.152	0.410	103	431.101	432.677	1.576
29	428.119	429.154	1.034	104	431.487	433.234	1.747
30	428.328	429.181	0.854	105	431.527	432.595	1.068
31	428.486	429.244	0.758	106	430.408	431.474	1.066
32	428.416	429.120	0.704	107	430.313	431.294	0.982
33	428.133	428.977	0.843	108	430.008	431.342	1.335
34	427.553	428.727	1.173	109	429.646	431.131	1.485
35	427.768	428.927	1.159	110	429.584	430.926	1.342
36	427.951	429.005	1.053	111	429.911	430.982	1.072
37	427.935	428.781	0.846	112	429.818	430.760	0.942
38	427.764	428.585	0.821	113	429.410	431.016	1.605
39	427.879	428.652	0.773	114	429.177	430.818	1.641
40	427.915	428.881	0.966	115	429.538	430.912	1.374
41	428.265	428.840	0.575	116	429.734	430.937	1.203
42	428.352	429.027	0.674	117	429.263	430.992	1.729
43	428.462	429.150	0.688	118	429.020	430.746	1.726
44	428.721	429.354	0.633	119	429.894	431.146	1.252
45	428.535	429.128	0.593	120	430.274	431.173	0.899
46	428.026	428.734	0.708	121	429.895	431.462	1.567
47	427.649	428.581	0.932	122	429.953	431.335	1.382
48	427.378	428.359	0.981	123	430.096	431.134	1.038

序号	标准值 /($\mu\text{mol/mol}$)	测量值 /($\mu\text{mol/mol}$)	ΔC_k /($\mu\text{mol/mol}$)	序号	标准值 /($\mu\text{mol/mol}$)	测量值 /($\mu\text{mol/mol}$)	ΔC_k /($\mu\text{mol/mol}$)
49	427.355	428.298	0.942	124	429.878	431.107	1.229
50	426.948	428.056	1.108	125	429.627	431.295	1.668
51	426.862	427.846	0.984	126	429.891	431.246	1.355
52	427.149	428.147	0.998	127	430.138	431.094	0.956
53	427.207	428.177	0.969	128	430.002	430.915	0.913
54	427.397	428.173	0.775	129	429.688	430.953	1.264
55	427.603	428.291	0.688	130	429.720	430.802	1.082
56	427.152	428.349	1.197	131	429.605	430.673	1.068
57	427.179	428.352	1.173	132	429.497	430.735	1.238
58	427.591	428.433	0.842	133	429.446	430.858	1.412
59	426.901	428.361	1.460	134	429.436	430.900	1.464
60	426.775	428.123	1.349	135	429.376	430.919	1.543
61	426.682	428.039	1.357	136	429.624	430.816	1.192
62	426.348	427.828	1.480	137	429.585	430.830	1.245
63	426.251	427.483	1.232	138	429.637	430.713	1.075
64	426.228	427.402	1.174	139	429.600	430.685	1.085
65	426.142	427.421	1.278	140	429.581	430.590	1.009
66	426.219	427.423	1.204	141	429.699	430.594	0.895
67	426.031	427.443	1.412	142	429.281	430.656	1.375
68	426.102	427.321	1.219	143	429.266	430.792	1.526
69	426.104	427.276	1.171	144	429.723	430.694	0.970
70	426.575	427.953	1.378	145	429.605	430.647	1.042
71	426.711	427.827	1.117	146	429.245	430.682	1.437
72	427.105	428.240	1.135	147	429.531	430.540	1.009
73	427.069	428.086	1.017	148	429.349	430.609	1.260
74	426.855	427.769	0.914	149	429.208	430.487	1.278

序号	标准值 /(μmol/mol)	测量值 /(μmol/mol)	ΔC_k /(μmol/mol)	序号	标准值 /(μmol/mol)	测量值 /(μmol/mol)	ΔC_k /(μmol/mol)
75	426.771	427.738	0.967	150	429.112	430.483	1.372
$\overline{\Delta C}$	0.993						
$u(\Delta C_k)$	0.329						

C.3.2 标准仪器测量的不确定度 $u(C_{s,k})$

TCCON 站网测量值的不确定度采用 B 类方法评定，其最大允许误差为 0.16%，可认为服从均匀分布：

$$u(C_{tk}) = 0.16\% \frac{C_{s,k}}{\sqrt{3}} = 0.396$$

C.4 示值误差的合成标准不确定度

影响示值误差测量不确定度的分量主要是标准仪器测量的不确定度和仪器测量引入的不确定度，两者相互独立。

合成标准不确定度可由公式(C.4)导出：

$$u(\overline{\Delta C}) = \sqrt{c_1^2 u^2(\Delta C_k) + c_2^2 u^2(C_{s,k})} \quad (C.4)$$

灵敏系数 c_1 和 c_2 分别是：

$$c_1 = \frac{\partial \overline{\Delta C}}{\partial \Delta C_k} = \frac{1}{n} \quad (C.5)$$

$$c_2 = \frac{\partial \overline{\Delta C}}{\partial C_{s,k}} = -\frac{1}{n} \quad (C.6)$$

则

$$u(\overline{\Delta C}) = \sqrt{\frac{u^2(\Delta C_k)}{n^2} + \frac{u^2(C_{s,k})}{n^2}} = \sqrt{\frac{150 \times 0.329^2}{150^2} + \frac{(150 \times 0.396)^2}{150^2}} = 0.397$$

取包含因子 $k=2$ ，则示值误差的扩展不确定度为：

$$U(\overline{\Delta C}) = k \times u(\overline{\Delta C}) = 2 \times 0.397 = 0.79$$