



湖北省地方计量技术规范

JJF(鄂) 150—2025

电力行业碳计量技术规范 不确定度评定

Metrological Technical Specification for Carbon Measurement in the Electric
Power Industry—Uncertainty Assessment

2025-01-15 发布

2025-05-01 实施

湖北省市场监督管理局 发布

电力行业碳计量技术规范 不确定度评定

Metrological Technical Specification for Carbon
Measurement in the Electric Power Industry—
Uncertainty Assessment

JJF(鄂) 150—2025

归口单位：湖北省市场监督管理局

主要起草单位：国网湖北省电力有限公司

国网湖北省电力有限公司电力科学研究院

参加起草单位：湖北方源东力电力科学研究所有限公司

武汉敢为科技股份有限公司

北京雪迪龙科技股份有限公司

湖北能源集团襄阳宜城发电有限公司

本规范委托国网湖北省电力有限公司电力科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

黄 辉（国网湖北省电力有限公司电力科学研究院）
梅 欣（国网湖北省电力有限公司电力科学研究院）
周忠涛（国网湖北省电力有限公司电力科学研究院）
李阳海（国网湖北省电力有限公司电力科学研究院）
刘 俊（国网湖北省电力有限公司电力科学研究院）
鲁鸿毅（国网湖北省电力有限公司）

参加起草人：

周 淼（国网湖北省电力有限公司电力科学研究院）
徐万兵（国网湖北省电力有限公司电力科学研究院）
艾华东（湖北能源集团襄阳宜城发电有限公司）
张马将（湖北能源集团襄阳宜城发电有限公司）
王 楠（湖北方源东力电力科学研究有限公司）
许 涛（湖北方源东力电力科学研究有限公司）
张俊龙（武汉敢为科技有限公司）
张倩暄（北京雪迪龙科技股份有限公司）
曹 芬（国网湖北省电力有限公司）
贺 俊（国网湖北省电力有限公司）
胡 凯（国网湖北省电力有限公司）
贾庆岩（国网湖北省电力有限公司电力科学研究院）

目 录

引 言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和定义	(1)
4 不确定度评定技术要求	(2)
4.1 测量不确定度的来源	(2)
4.2 测量不确定度的 A 类评定	(2)
4.3 测量不确定度的 B 类评定	(2)
5 火电机组烟气直测法碳排放量不确定度评定技术要求	(3)
5.1 火电机组烟气直测法碳排放量计算	(3)
5.2 二氧化碳浓度 C_s 的标准不确定度	(3)
5.3 实测烟气流量的标准不确定度	(3)
5.4 烟气温度的标准不确定度	(4)
5.5 烟气压力的标准不确定度	(4)
5.6 烟气湿度的标准不确定度	(4)
5.7 火电机组烟气直测法碳排放量的合成标准不确定度	(4)
5.8 火电机组烟气直测法碳排放量的相对扩展不确定度	(5)
6 火电机组物料平衡法碳排放量不确定度评定技术要求	(5)
6.1 火电机组物料平衡法碳排放量计算	(5)
6.2 火电机组物料平衡法碳排放量测量不确定度评定模型	(5)
6.3 物料平衡法不确定度的 A 类评定	(6)
6.4 物料平衡法不确定度的 B 类评定	(6)
6.5 物料平衡法合成不确定度的计算；	(7)
6.6 物料平衡法扩展不确定度的确定	(7)
附录 A 不确定度评定示例	(8)

引 言

本规范以 JJF1001-2011《通用计量名词术语与定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》和 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》为基础性系列规范进行制定。

本规范参考了 GB/T27025《检测和校准实验室能力的通用要求》、GB/T31391《煤的元素分析》、GB/T32150《工业企业温室气体排放核算和报告通则》、GB/T32151.1《温室气体排放核算与报告要求第1部分：发电企业》、GB/T10184《电站锅炉性能试验规程》、GB/T27418-2017《测量不确定度评定和表示》、环办气候函〔2022〕485号《企业温室气体排放核算与报告指南 发电设施》、DL/T2376-2021《火电厂烟气二氧化碳排放连续监测技术规范》和 CAS454-2020《火力发电企业二氧化碳排放在线监测技术要求》等规范编制而成。

本规范是首次发布。

电力行业碳计量技术规范 不确定度评定

1 范围

本规范规定了电力行业碳计量标准体系中,关于火电机组碳计量不确定度评定技术要求。包括不确定度评定技术要求;烟气直测法碳计量不确定度评定技术要求;物料平衡法碳计量不确定度评定技术要求。

本规范适用电力行业以煤、油、气等为主要燃料的火电机组碳计量不确定度评定。

2 引用文件

本规范引用下列文件:

GB/T27025《检测和校准实验室能力的通用要求》

GB/T31391《煤的元素分析》

GB/T32150《工业企业温室气体排放核算和报告通则》

GB/T32151.1《温室气体排放核算与报告要求第1部分:发电企业》

GB/T10184《电站锅炉性能试验规程》

GB/T 27418-2017《测量不确定度评定和表示》

环办气候函(2022)485号《企业温室气体排放核算与报告指南 发电设施》

DL/T2376-2021《火电厂烟气二氧化碳排放连续监测技术规范》

CAS454-2020《火力发电企业二氧化碳排放在线监测技术要求》

凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

3 术语和定义

3.1 燃料燃烧碳排放 carbon emission from fuel combustion

煤、油、气等燃料在氧化燃烧过程中产生的二氧化碳排放。

3.3 火电机组碳排放 carbon emissions of thermal power unit

火电机组碳排放为火电机组燃料燃烧碳排放。

3.4 排放因子 emission factor

表征单位生产或消费活动量的温室气体排放的系数。

3.5 活动数据 activity data

导致温室气体排放的生产或消费活动量的表征值。

注:例如各种化石燃料的消耗量、原材料的使用量、购入的电量等。

3.6 碳氧化率 carbon oxidation rate

燃料中的碳在燃烧过程中被完全氧化的百分比。

3.7 烟气直测法 direct smoke measurement method

通过连续排放监测系统（CEMS），直接测量排放气体的流速和浓度等参数。

3.8 物料平衡法 material balance method

又称核算法，是碳平衡的运用，基于煤炭、飞灰和炉渣含碳量等数据，计算碳排放量。

3.9 不确定度 uncertainty

与测量结果有关，表征合理赋予被测量的值的离散度的参数。

4 不确定度评定技术要求

4.1 测量不确定度的来源

4.1.1 烟气直测法不确定度来源包括 CO₂ 浓度、烟气流量、烟气温度、烟气湿度及烟气压力。

4.1.2 物料平衡法不确定度来源包括燃煤质量、干燥基碳含量、碳氧化率、收到基含水量和空干基含水量。

4.1.3 各参数应分别进行不确定度的 A 类评定和 B 类评定。

4.2 测量不确定度的 A 类评定

测量重复性引入的不确定度为 A 类不确定度，按照贝塞尔公式计算：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (1)$$

式中：

n——重复测量次数，一般取 10；

x_i——单次测量值；

\bar{x} ——重复测量的平均值。

4.3 测量不确定度的 B 类评定

4.3.1 测量不确定度的 B 类评定简称 B 类评定，是使用不同于测量不确定度 A 类评定的方法对测量不确定度分量进行的评定，用非统计的方法对标准不确定度进行评定，称为 B 类评定。

4.3.2 发电企业需要建立计量器具定期校准制度，校准周期为每季度一次，定期更新校准值，以确保计量数据的准确性和可靠性。

4.3.3 B 类评定根据可依据信息来源分三种情况：

4.3.3.1 校准报告给出最大允许误差

最大允许误差 Δ 是指对于给定的测量仪器，规程、规范等所允许的误差极限值，有时也称为允许误差限。经检验合格的仪器设备在使用时，示值的误差不超过这一“误差限”。假设仪器的允许误差限为 $\pm\Delta$ ，并认为误差的分布为均匀分布，此时 $a=\Delta$ ， $k=\sqrt{3}$ ，B 类不确定度按照公式（2）计算：

$$u_B = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

4.3.3.2 校准报告给出扩展不确定度及包含因子

这是一个由扩展不确定度求标准不确定度的情况。校准报告给出了仪器的扩展不确定度 U 和包含因子 k ，则 B 类不确定度按照公式 (3) 计算：

$$u_B = \frac{U}{k} \quad (3)$$

4.3.3.3 仪器采用对比方式给出比对误差

当仪器采用对比方式给出比对误差 Δ 时，此时 B 类不确定度来源包括标准装置的测量不确定度和被校装置的测量不确定度。假设仪器的比对误差为 Δ ，并认为误差的分布为均匀分布，所用校准仪器的扩展不确定度 U 及包含因子 k ，则 B 类不确定度按照公式 (4) 计算：

$$u_B = \sqrt{\left(\frac{\Delta}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U}{k}\right)^2} \quad (4)$$

5 烟气直测法碳计量不确定度评定技术要求

5.1 火电机组烟气直测法碳排放量计算

火电机组烟气直测法碳排放量按照公式 (5) 计算：

$$G_{h, \text{火}} = C_s \times \frac{44}{22.4} \times Q_s \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P_0+P}{101325} \times (1 - X_{sw}) \quad (5)$$

式中：

$G_{h, \text{火}}$ ——碳排放量瞬时质量流量，t/h；

C_s ——实测干烟气中 CO_2 体积浓度；

Q_s ——实测烟气体积流量， kNm^3/h ；

t ——实测烟气温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

P_0, P ——实测大气压，烟气静压， Pa ；

X_{sw} ——为烟气中含湿量。

5.2 二氧化碳浓度 C_s 的标准不确定度

5.2.1 二氧化碳浓度的 A 类不确定度 u_{11} 按照公式 (1) 计算。

5.2.2 二氧化碳浓度的 B 类不确定度 u_{12} 从检定报告，校准报告和说明书中取值。

5.2.3 二氧化碳浓度的标准不确定度 u_1 按照公式 (6) 计算：

$$u_1 = u(C_s) = \sqrt{u_{11}^2 + u_{12}^2} \quad (6)$$

5.3 实测烟气流量的标准不确定度

5.3.1 烟气流量的 A 类不确定度 u_{21} 按照公式 (1) 计算。

5.3.2 烟气流量的 B 类不确定度 u_{22} 从检定报告，校准报告和说明书中取值。

5.3.3 烟气流量的标准不确定度 u_2 按照公式 (7) 计算:

$$u_2 = u(Q_s) = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} \quad (7)$$

5.4 烟气温度的标准不确定度

5.4.1 烟气温度的 A 类不确定度 u_{31} 按照公式 (1) 计算。

5.4.2 烟气温度的 B 类不确定度 u_{32} 从检定报告, 校准报告和说明书中取值。

5.4.3 烟气温度的标准不确定度 u_3 按照公式 (8) 计算:

$$u_3 = u(t) = \sqrt{u_{31}^2 + u_{32}^2} \quad (8)$$

5.5 烟气压力的标准不确定度

5.5.1 烟气压力的 A 类不确定度 u_{41} 按照公式 (1) 计算。

5.5.2 烟气压力的 B 类不确定度 u_{42} 从检定报告, 校准报告和说明书中取值。

5.5.3 烟气压力的标准不确定度 u_4 按照公式 (9) 计算:

$$u_4 = u(P) = \sqrt{u_{41}^2 + u_{42}^2} \quad (9)$$

5.6 烟气湿度的标准不确定度

5.6.1 烟气压力的 A 类不确定度 u_{51} 按照公式 (1) 计算。

5.6.2 烟气压力的 B 类不确定度 u_{52} 从检定报告, 校准报告和说明书中取值。

5.6.3 烟气压力的标准不确定度 u_5 按照公式 (10) 计算:

$$u_5 = u(X_{sw}) = \sqrt{u_{51}^2 + u_{52}^2} \quad (10)$$

5.7 火电机组烟气直测法碳排放量的合成标准不确定度

5.7.1 各参数的灵敏系数按照公式 (11) — (15) 计算:

$$C_1 = \frac{\partial(G_{\dot{h}})}{\partial(C_s)} = \frac{44}{22.4} \times Q_s \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P^0+P}{101325} \times (1 - X_{sw}) \quad (11)$$

$$C_2 = \frac{\partial(G_{\dot{h}})}{\partial(Q_s)} = \frac{44}{22.4} \times C_s \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P^0+P}{101325} \times (1 - X_{sw}) \quad (12)$$

$$C_3 = \frac{\partial(G_{\dot{h}})}{\partial(t)} = -C_s \times \frac{44}{22.4} \times Q_s \times \frac{273}{(273+t)^2} \times \frac{P^0+P}{101325} \times (1 - X_{sw}) \quad (13)$$

$$C_4 = \frac{\partial(G_{\dot{h}})}{\partial(P)} = C_s \times \frac{44}{22.4} \times Q_s \times \frac{273}{273+t} \times \frac{1}{101325} \times (1 - X_{sw}) \quad (14)$$

$$C_5 = \frac{\partial(G_{\dot{h}})}{\partial(X_{sw})} = -C_s \times \frac{44}{22.4} \times Q_s \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P^0+P}{101325} \quad (15)$$

5.7.2 以上碳排放量的不确定度分量之间相互独立且不相关, 不同分量之间的相关系数为 0。故烟气直测法碳排放量的合成标准不确定度为:

$$u_c(G_{\dot{h}, \text{火}}) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)} =$$

$$\sqrt{C_1^2 u_1^2 + C_2^2 u_2^2 + C_3^2 u_3^2 + C_4^2 u_4^2 + C_5^2 u_5^2} \quad (16)$$

5.8 火电机组烟气直测法碳排放量的相对扩展不确定度

$$u_r(G_{h,火}) = \frac{u_c(G_{h,火})}{G_{h,火}} \quad U_r = 2u_r(G_{h,火}), K=2 \quad (17)$$

6 物料平衡法碳计量不确定度评定技术要求

6.1 火电机组物料平衡法碳排放量计算

火电机组物料平衡法碳排放量按公式(18)和(19)计算

$$E_{(CO_2)} = m \times C_{ad} \times \frac{1-M_{ar}}{1-M_{ad}} \times OF \times \frac{44}{12} \quad (18)$$

$$OF = 1 - \frac{A_{ad}}{C_{ad}} \times \left(\frac{0.9 \times C_{fh}}{1-C_{fh}} + \frac{0.1 \times C_{lz}}{1-C_{lz}} \right) \quad (19)$$

式中:

m ——称量煤炭质量;

C_{ad} ——干燥基碳含量;

M_{ar} ——收到基含水量;

M_{ad} ——空干基含水量;

OF ——碳氧化率;

A_{ad} ——原煤中的空干基灰;

C_{fh} ——飞灰含碳量;

C_{lz} ——炉渣含碳量。

6.2 火电机组物料平衡法碳排放量测量不确定度评定模型

根据测量不确定度的传播律,考虑到收到基含水量与空干基含水量为同一种仪器测量,彼此之间相关系数为1;其他变量之间不相关,彼此之间相关系数为0。则物料平衡法不确定度按公式(20)计算:

$$u(E_{CO_2}) = \sqrt{C_m^2 u^2(m) + C_{(C_{ad})}^2 u^2(C_{ad}) + C_{OF}^2 u^2(OF) + (C_{(M_{ar})} u(M_{ar}) + C_{(M_{ad})} u(M_{ad}))^2} \quad (20)$$

式中:

$u(E_{CO_2})$ ——总合成不确定度;

$C_{(m)}$ ——质量参数灵敏系数;

$C_{(C_{ad})}$ ——元素碳参数灵敏系数;

$C_{(M_{ar})}$ ——全水参数灵敏系数;

$C_{(M_{ad})}$ ——空干基水参数灵敏系数;

$C_{(OF)}$ ——氧化率参数灵敏系数。

各敏感系数分别为：

$$C_{(m)} = \frac{\partial(E_{CO_2})}{\partial m} = C_{ad} \times \frac{1-M_{ar}}{1-M_{ad}} \times OF \times \frac{44}{12} \quad (21)$$

$$C_{(C_{ad})} = \frac{\partial(E_{CO_2})}{\partial C_{ad}} = m \times \frac{1-M_{ar}}{1-M_{ad}} \times OF \times \frac{44}{12} \quad (22)$$

$$C_{(M_{ar})} = \frac{\partial(E_{CO_2})}{\partial(M_{ar})} = m \times C_{ad} \times \frac{-1}{1-M_{ad}} \times OF \times \frac{44}{12} \quad (23)$$

$$C_{(M_{ad})} = \frac{\partial(E_{CO_2})}{\partial(M_{ad})} = m \times C_{ad} \times \frac{1-M_{ar}}{(1-M_{ad})^2} \times OF \times \frac{44}{12} \quad (24)$$

$$C_{(OF)} = \frac{\partial(E_{CO_2})}{\partial(OF)} = m \times C_{ad} \times \frac{1-M_{ar}}{1-M_{ad}} \times \frac{44}{12} \quad (25)$$

考虑到碳元素 (C_{ad} 、 C_{fh} 、 C_{lz}) 测定采用的是同一种仪器元素分析仪，彼此之间相关系数为 1，其他变量之间不相关，彼此之间相关系数为 0。则氧化率 OF 的标准不确定度模型为：

$$u(OF) = \sqrt{C_{(A_{ad})}^2 u^2(A_{ad}) + (C_{(C_{ad})}u(C_{ad}) + C_{(C_{fh})}u(C_{fh}) + C_{(C_{lz})}u(C_{lz}))^2} \quad (26)$$

式中：

$u(OF)$ ——氧化率的合成不确定度，。

各敏感系数分别为：

$$C_{(A_{ad})} = \frac{\partial(OF)}{\partial(A_{ad})} = -\frac{1}{C_{ad}} \times \left(\frac{0.9 \times C_{fh}}{1-C_{fh}} + \frac{0.1 \times C_{lz}}{1-C_{lz}} \right) \quad (27)$$

$$C_{(C_{ad})} = \frac{\partial(OF)}{\partial(C_{ad})} = \frac{A_{ad}}{C_{ad}^2} \times \left(\frac{0.9 \times C_{fh}}{1-C_{fh}} + \frac{0.1 \times C_{lz}}{1-C_{lz}} \right) \quad (28)$$

$$C_{(C_{fh})} = \frac{\partial(OF)}{\partial(C_{fh})} = -\frac{A_{ad}}{C_{ad}} \times \left(\frac{0.9 \times C_{fh}}{(1-C_{fh})^2} + \frac{0.9}{1-C_{fh}} \right) \quad (29)$$

$$C_{(C_{lz})} = \frac{\partial(OF)}{\partial(C_{lz})} = -\frac{A_{ad}}{C_{ad}} \times \left(\frac{0.1 \times C_{lz}}{(1-C_{lz})^2} + \frac{0.1}{1-C_{lz}} \right) \quad (30)$$

6.3 物料平衡法不确定度的 A 类评定

在以上测量量中，只有煤的称量涉及到重复性测量，煤的称量工具为皮带秤，对重复性测量工具采用公式 (1) 进行计算 A 类不确定度 u_A 。

6.4 物料平衡法不确定度的 B 类评定

B 类不确定度采用对应的测量仪器的检定结果，其中碳元素 (C_{ad} 、 C_{fh} 、 C_{lz}) 测定采用的是元素分析仪，水分和灰分 (M_{ar} 、 M_{ad} 、 A_{ar}) 测定采用的是工业分析仪。如检定结果中最大相对允许误差为 Δ ，则标准不确定度为：

$$u_B = \Delta \times x / \sqrt{3} \quad (31)$$

其中 x 为该测定项所对应的测定值，若为重复性测量，则取平均值。

6.5 物料平衡法合成不确定度的计算；

在煤的质量称量过程中认为 A 类不确定与 B 类不确定度相互独立不相关，则煤质量的合成不确定度为：

$$u_m = \sqrt{u_{A(m)}^2 + u_{B(m)}^2} \quad (32)$$

其余测量量均采用检定结果中的 B 类不确定度。

6.6 物料平衡法扩展不确定度的确定

扩展不确定度由合成不确定度 $u_c(y)$ 乘以包含因子 k 得到， k 一般取 2~3 之间，公式如下：
(对应置信水平近似 95% 时， $k = 2$)

$$U = u_c(y) \times k \quad (33)$$

附录A

不确定度评定示例

A1 烟气直测法的不确定度评定

A1.1 测量方法及模型

按照本规范 5.1 所述的方法。

A1.2 A 类不确定度的评定

根据公式(1)计算烟气二氧化碳浓度、烟气流量、烟气温度、烟气湿度及烟气压力的 A 类不确定度。

表 A1 各参数 A 类不确定一览表

测量物理量及单位	单位	重复性测量平均值	A 类不确定度	A 类相对不确定度(%)
烟气二氧化碳浓度	%	11.69	0.0562	0.481
烟气流量	km ³ /h	1587.68	6.60	0.416
烟气含湿量	%	11.44	0.02	0.198
烟气温度	°C	47.71	0.00996	0.021
烟气压强	Pa	73.32	0.928	1.266
碳排放量瞬时质量流量	t/h	275.22	/	/

A1.3 B 类不确定度的评定

根据公式(2)计算烟气二氧化碳浓度、烟气流量、烟气温度、烟气湿度及烟气压力的 B 类不确定度。

表 A2 各参数 B 类不确定一览表

测量仪器设备	比对误差 (绝对)	校准仪器扩展 不确定度(k=2)	B 类不确定度	B 类相对不确定度(%)
烟气分析仪 CEMS	0.33%	0.23%	0.22%	1.90
流量计	70km ³ /h	24km ³ /h	40.16km ³ /h	2.66
湿度计	1%	1%	0.76%	6.70
温度计	1.047°C	0.5°C	0.65°C	1.37
压力表	8Pa	2Pa	5.26Pa	7.16

A1.3 标准不确定度的评定

根据公式(6) - (10)计算烟气二氧化碳浓度、烟气流量、烟气温度、烟气湿度及烟气压力的标准不确定度。

表 A3 各参数标准不确定一览表

各物理量名称	单位	合成标准不确定度
烟气二氧化碳浓度	%	0.23
烟气流量	km ³ /h	42.67
烟气含湿量	%	0.76
烟气温度	℃	0.65
烟气压强	Pa	5.34

A1.4 合成标准不确定度的评定

根据公式(11) - (15) 计算烟气二氧化碳浓度、烟气流量、烟气温度、烟气湿度及烟气压力的灵敏系数, 可得各物理量的灵敏系数分别为: $C(C_s)=2352.60$ 、 $C(Q_s)=0.17$ 、 $C(t)=-0.86$ 、 $C(P)=0.0027$ 、 $C(X_{sw})=-310.20$ 。

根据公式(16) 计算碳排放总合成标准不确定度 $u(G_h)=9.44\text{t/h}$ 。总合成相对不确定度由公式(17) 计算得 $u_r(G_h)=3.43\%$ 。

A1.5 相对扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 碳排放相对扩展不确定度为

$$u_{\text{rel}}(G_h)=6.86\%$$