

中欧碳市场政策对话与合作项目

师资培训基础培训监测方法 第1部分：基于核算的方法



2025年5月14日



项目由欧盟资助



项目执行方：

adelphi 


sustainable quality consult


GLOBAL POLICY ADVISORS

欧中ETS项目网站下载资料合规声明

以下内容的编制仅限用于支持本项目项下开展的培训与研究活动，且仅用于信息传递及参考目的，未经内容提供方事先书面许可，不得以任何形式、通过任何手段，全部或部分复制、分发或用于商业目的。对于因使用该内容所含信息而导致的任何损失或损害，内容提供方不承担任何责任。

概述

- 确定碳市场（**ETS**）的监测要求
- 现有方法介绍：
 - 计算方法（第1部分——本演示文稿）
 - 测量方法，连续排放监测系统（**CEMS**）（第2部分）
- 关于欧盟碳市场（**EU ETS**）所用方法的初步见解

ETS监测要求

- 对某一工艺的二氧化碳（CO₂）排放总量进行质量测量，方式如下：
 - 二氧化碳的吨数（tCO₂/tCO₂(e)），或者
 - 每单位产出的二氧化碳吨数（tCO₂/t_{产品}或tCO₂/单位产出）
- “一吨就是一吨”对于确信ETS真实有效的重要意义：
 - 排放的一吨CO₂必须等于报告的一吨CO₂
 - 实际排放的总吨数必须等于实际报告的总吨数
- 完整性和准确性特别重要，正确识别监测边界（核算边界）是一个重要的前提条件。

确定ETS中二氧化碳排放量的主要选项包括：

- **计算法：**

- 量化所有燃料和材料的输入和输出
- 乘以适当的排放因子，必要时乘以适当的氧化和/或转化因子

- **CEMS：**

- **CEMS**测量二氧化碳排放浓度（在所有排放点）
- 确定相应的体积排放流量
- 将每个浓度与其相应的流量相乘

主要组成部分

- “源流”是指：
 - (i) 一种特定的燃料、原材料或产品，它在消耗或生产过程中会出现一处或多处排放源；或者
 - (ii) 在采用质量平衡方法时，是指一种含有碳（或转移的 CO_2 ）的特定燃料、原材料或产品
- “排放源”是指装置中可单独识别的组成部分或者装置内的某项工艺，且会排放相关温室气体
- “活动水平数据”是指计算方法所涉工艺过程中消耗或产生的每类燃料或材料的相关数量数据
- “排放因子”是指相对于某一源流活动水平数据的温室气体平均排放率

支持因素及含义理解

- **“氧化因子”**是指与燃料中所含的总碳相比，因燃烧而氧化为 CO_2 的碳的比例，以分数形式表示，排放到大气中的一氧化碳（ CO ）按其摩尔当量换算为 CO_2
- **“转化因子”**是指与排放过程发生之前源流中所含的总碳相比，以 CO_2 形式排放的碳的比例（以分数形式表示，排放到大气中的 CO 按其摩尔当量换算为 CO_2
- **“燃烧排放”**是指燃料与氧气发生放热反应过程中产生的温室气体排放
- **“工艺排放”**是指除燃烧排放之外，由物质之间的反应或者物质的转化所产生的温室气体排放，包括金属矿石的化学还原或电解还原、物质的热分解以及用作产品或原料的物质在形成过程中产生的排放
- **“测量系统”**是指一整套测量仪器及其他设备（例如采样和数据处理设备），用于确定活动水平数据、碳含量、热值或者温室气体排放的排放因子等变量

排放计算的良好实践要求



通过计算监测：标准方法

标准方法计算燃烧排放：

$$E_m = AD \times EF (\times OF)$$

E_m = 排放量 [tCO₂]

AD = 活动水平数据【TJ，燃烧的燃料数量x低位热值】，该数据通过测量（称重、流量计等方式或发票）得到

EF = 排放因子【tCO₂/TJ】；通过实际测量（根据采样计划执行，由经过认证的实验室进行操作）或默认因子得到

OF = 氧化因子；标准值或根据分析确定的值

计算工艺排放的标准方法：与上述计算燃烧排放的方法相似，但活动水平数据（ AD ）基于吨位或立方米（而非热值），并使用转化因子（ CF ）替代氧化因子（ OF ）。

通过计算监测：质量平衡方法

按质量平衡法计算（在难以将排放量与单种投入材料直接关联时（例如综合钢铁厂中的情况），或者（如大宗化学品等）产品中含碳量很高时，这种方法比较有用）：

$$E_{MB} = \sum_i (f \cdot AD_i \cdot CC_i)$$

E_{MB} = 排放量 [t CO₂]

i = 燃料或材料的指标

f = 碳转化为二氧化碳（CO₂）的摩尔质量转化因子 (3.664 t CO₂/t C)

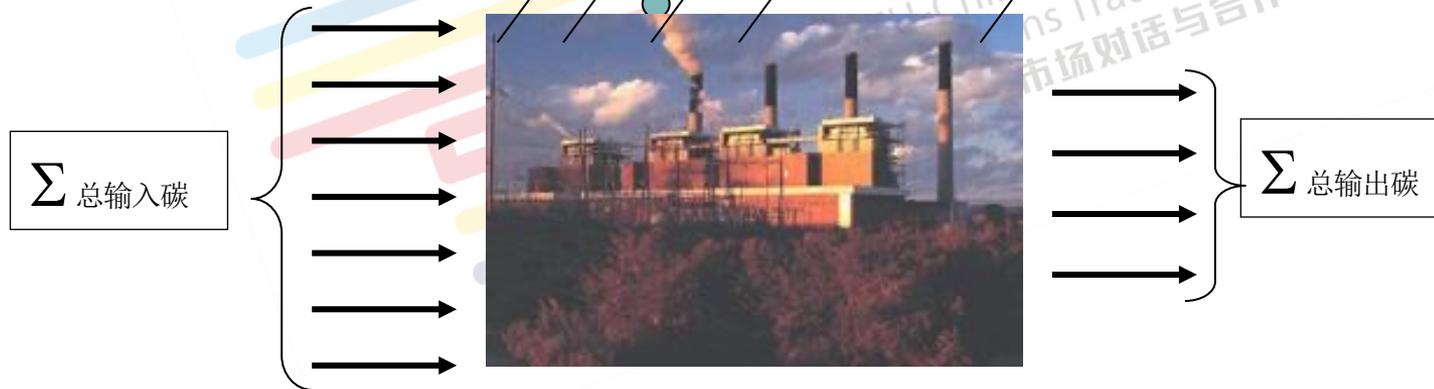
AD_i = 活动水平数据，燃料或材料的质量，单位为吨（输入材料/燃料记为正值；输出记为负值）

CC_i = 所考虑成分的碳含量

监测方法：质量平衡计算

$$\text{Emissions} = f \times (\sum C_{\text{Input}} - \sum C_{\text{Output}})$$

排放量 = 碳转化为二氧化碳的摩尔质量转换因子 × (总输入碳 - 总输出碳)



确定活动水平数据

【“活动水平数据”指的是通过过程消耗或产生的燃料或材料的数量，以太焦耳、以吨计的质量，或以标准立方米的体积表示（用于气体）】

两个选择：

- 持续计量（流量计、皮带秤等）
→ 直接测量进入或离开过程的燃料或材料的数量
- 统计单独/批次交付的计量数量，并考虑报告期间的相关库存变化：

【消耗量 = 收到的燃料或材料的数量 - 出口的数量 + 报告期开始时的库存数量 - 报告期结束时的库存数量】

与测量相关的不确定性

- 所有测量，包括燃料或材料消耗或材料生产的测量，都与一定程度的不确定性相关联
- 不确定性评估对于碳排放交易体系的监测、报告和验证至关重要，以确保测量系统符合预期用途；在欧盟碳排放交易体系的情况下，需要确认不确定性水平满足碳市场政策的要求
- 欧盟的经验教训：在第一阶段中，不同的不确定性评估方式导致了测量数据的不同质量水平。主管部门需要根据最佳实践，制定协调一致的规则，确定如何进行不确定性评估，
- 需要区分企业经营者控制的测量系统和经营者控制之外的测量系统

企业经营者控制的测量系统

- 企业经营者必须确保进行不确定性评估，以证明测量系统符合使用目的
- 企业经营者必须确保至少每年一次校准，并在每次校准后，校准结果表明测量系统仍然符合使用目的
 - 【不确定性=仪器的规定不确定性+校准不确定性+与测量环境相关的不确定性（即仪器在实际使用中的情况）】
- 与库存变动相关的不确定性也可能需要包含在评估中，具体取决于存储类型和规模
- 进行不确定性评估的可能简化方法：
 - 测量仪器的最大允许误差可作为整个报告期的不确定性

企业经营者控制之外的测量系统（例如，燃料供应商的计量）

- 采用企业经营者控制之外的测量系统进行简化的不确定性评估，如果能够表明其符合使用目的，或能提供更可靠的结果，并且不太容易受到风险的影响，则可能是可信的
- 在这种情况下，可以允许使用燃料或材料的发票金额，或者直接从测量系统获取读数
- 国家法定计量控制的立法允许的最大允许误差可用作证明符合使用目的的不确定性（无需进一步证据）
- 或者，如果适用的国家法定计量控制的要求不如所需的严格，那么可以使用从负责测量系统的贸易伙伴获得的适用不确定性的证据

进一步了解不确定性评估

欧盟委员会发布了培训材料，以支持对EU ETS不确定性评估的认识。可以阅读材料进一步了解这一主题的复杂性：

https://climate.ec.europa.eu/document/download/3fd6939a-c3df-478e-9c12-c28d60a47d9e_en?filename=uncertainty_assessment_en.pdf

该材料非常实用，可解释不确定性对监测过程的影响以及如何进行不确定性评估

确定计算因子

【“计算因子”用于补充计算排放交易体系中排放所需的数据，包括净（低位）热值、排放因子、氧化因子、转换因子、碳含量、生物质分数等。】

- 计算因子通常来自于
 - 燃料或材料的实测
 - 使用适当的默认值
- 分层系统提供了建立不同质量级别层次的良好方法。 最高层代表最高质量水平和最严格的监测要求
- 基于实测的因子代表了欧盟碳排放交易体系中的最高层次的合规要求

默认值在欧盟碳排放交易体系中的认可度

- a) 在监测与报告法规（**M&R Regulation**）中列出的标准因子和化学计量因子
- b) 欧盟成员国在其提交的联合国气候变化框架公约（**UNFCCC**）清单中使用的标准因子
- c) 与**EU ETS**主管机构达成一致的文献值
- d) 供应商提供的保证值，其中可以证明碳含量的**95%**置信区间 $\leq 1\%$
- e) 基于历史分析的值，可以证明代表将来相同燃料或材料批次的值

【根据上述(a)类和(e)类得到的默认值通常符合EU ETS的最低层次要求（即，预期准确度较低），而根据(b)、(c)和(d)类得到的默认值则符合中等层次的期望水平（即，预期准确度较高）】

使用默认值的优缺点：

- 优点：

- 方便 - 使用“现成”的数值（如果可用）
- 简单 - 减少或不需要相关的专业设备和/或采样和分析专业知识
- 减少数据处理 - 因此，减少了数据流排放计算中的管理和人为错误的风险
- 成本较低

- 缺点：

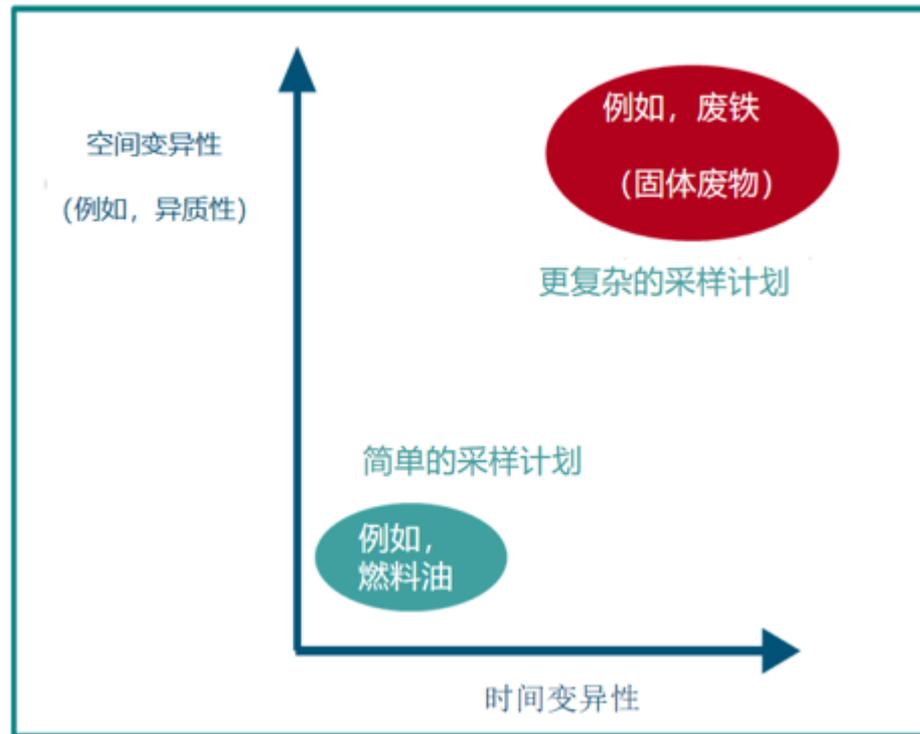
- 默认值通常不够代表性（在时间和空间上）- 燃料或物料流的不均匀程度越大，该值代表性越低
- 它们几乎总是比实际测量得到的因子要更不准确
- 不准确可能导致与实际排放相比的过度报告和过度清缴配额。 它还可能是报告不足和配额清缴不足的重要原因
- 使用因子不当时，会对以下方面带来信誉风险：(i) 公众对企业报告排放量的信心；以及 (ii) EU ETS的完整性和信誉

EU ETS对基于实际分析的计算因子的要求

- 确定计算因子的分析、取样、校准和验证必须遵循欧洲标准（ENs）或根据以下层次结构选择下一个最适用的标准：
【欧洲标准（ENs） > 国际标准化组织的标准（ISOs） > 国家标准 > 行业最佳实践指南或其他科学证明的方法，限制取样和测量偏差】
- 用于确定气态燃料和材料组成的分析仪必须进行初始和年度验证
- 任何分析的结果只适用于所取样的交付期或批次的燃料或材料（以及用于ETS活动中的情况）
- 所有分析结果必须使用，不允许“挑选”出最有利的结果
- 对于取样计划、实验室和分析频率有具体的要求

EU ETS的采样要求（用于实际分析）

- 取样必须代表所涉及的批次或交付期，并且必须没有偏见
- 排放装置必须为每种燃料/材料编制取样计划，并经主管机构批准
- 取样计划描述了样品准备方法、责任、位置、频率、数量、存储和运输等方面
- 取样计划的相关要素也必须与分析实验室协商一致
- 取样计划也必须向核查员提供（以协助核查）



EU ETS的实验室要求和最低分析频率

- 实验室必须根据与所涉及的计算因素相关的分析方法获得EN ISO/IEC 17025认可
- 未经认证的实验室只有在运营商提供以下证据时才能被使用：
 - 使用认证实验室会产生不合理的成本，或者技术上不可行，并且该实验室符合与EN ISO/IEC 17025等效的要求，并能证明具有适当的质量管理和技术能力
 - 它们是排放较低的设施，在这种情况下，可以使用任何技术上有能力的实验室，并且只需要证明在质量保证方面具有等同性
- 实测的最低频率要求在EU ETS监测与报告规定中指定，并需要经主管机构批准。

实际测量的优缺点:

- 优点:

- 更贴合实际消耗的燃料和材料（以及燃料和材料的批次）
- 更贴合特定产品和实际排放
- 实际测量几乎总是更准确的，因此应该对报告的排放数据的准确性更有信心
- 企业面临的过度报告和需要清缴额外配额的风险较小
- 实际测量增加了对测量方法和ETS完整性的信心

- 缺点:

- 实际测量需要更多的精力和资源（行政、技术、人力、时间和设备）
- 可能需要涉及专业的外部第三方服务
- 与使用默认值相比，可能会有额外的成本
- 实际测量并非总是可能的（例如由于无法进入或危险的位置）
- 代表性取样和分析可能并非总是实际的（例如大规模使用废旧轮胎）

总结：通过计算确定排放质量时需要注意的关键问题

$Em = AD \times EF (\times OF \text{ or } CF)$ 排放量 = 活动水平数据 \times 排放因子 (\times 氧化因子 或 计算因子)

- 活动水平数据 (AD) 必须来自“适用于目的”的测量和测量设备：
 - 符合允许的不确定性阈值，例如，EU ETS对于电厂主要燃料流要求 $\pm 1.5\%$ 的不确定性
 - 定期校准和维护（并能够证明持续符合所需的不确定性阈值）

不确定性 = 仪器指定的不确定性 + 校准不确定性 + 与测量环境相关的不确定性
- 对于计算因素 (包括排放因子 (EFs))，必须确保：
 - 通过实际分析获得计算因素的样品：(i) 代表了ETS过程中使用/生产的燃料或材料；(ii) 是交付/批次特定的；(iii) 在空间和时间上具有代表性，考虑到相关燃料或材料的均匀性；(iv) 由适当资质的实验室分析
(因此EU ETS要求经主管机关批准的采样计划，详见幻灯片18)
 - 计算因子的默认值尽可能具有代表性

不具代表性的因子或质量较差的默认值可能会极大地影响计算的ETS的排放质量（在某些情况下是主要的系统误差来源）

感谢您的关注！

如需更多信息或需要澄清请联系：

Robert Gemmill: rjgemmill@hotmail.com

Machtelt Oudenes: m.oudenes@sqconsult.com

Wolfgang Eichhammer: Wolfgang.Eichhammer@isi.fraunhofer.de