《电厂燃烧后吸收法碳捕集系统能效测试技术规范》

编制说明

1. 任务来源

本规范依据全国能源资源计量技术委员会能效标识计量分技术委员会秘书处要求编制，由中国计量科学研究院、华能集团清洁能源技术研究院有限公司、国家能源集团新能源技术研究院有限公司负责起草。

2. 参加单位

本规范主要起草单位包括中国计量科学研究院、华能集团清洁能源技术研究院有限公司和国家能源集团新能源技术研究院有限公司，参加起草单位包括北京低碳清洁能源研究院和北京大学。

3. 背景和意义

2020 年 9 月 22 日，我国首次向全球明确宣布“2030 年碳达峰、2060 年碳中和”的时间节点，标志着我国加速进入低碳转型期，能源行业的生产、存储和使用方式将发生系统性变革。基于我国富煤的能源禀赋及当前新能源替代过程中的诸多现实问题，火电仍然发挥着能源安全底线保障作用，以二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）为代表的负碳技术，对推动火电行业实现“碳中和”目标起到至关重要的作用。2022 年，科技部在《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022-2030 年）》中明确指出，聚焦 CCUS 技术全生命周期提升能效和降低成本，力争到 2025 年实现单位二氧化碳捕集热耗比 2020 年下降 20%，为 CCUS 技术与工业过程的深度耦合奠定技术基础。碳捕集系统能效计量测试作为支撑上述目标实现的基础性技术手段，其需求正日益迫切。

在国家鼓励政策的指引下，CCUS 技术及工程示范建设迎来快速发展的窗口期，数量和规模均呈显著增长趋势。碳捕集利用与封存技术是指将二氧化碳从人类活动过程排放或大气中分离出来并加以利用、封存的过程，分为碳捕集、运输、利用与封存等环节。据中国 21 世纪议程管理中心统计，截至 2022 年底，我国已投运和规划建设中的 CCUS 示范项目共 96 个，投运项目具备碳捕集能力约 400 万吨/年；2023 年底，国能泰州电厂 50 万吨/年碳捕集项目投产运行，中国计量科学研究院已对其完成现场测试；预计华能陇东电厂 150 万吨/年碳捕集项目也将建成投产。据预测，碳捕集需求将从 2025 年的 2400 万吨/年快速增加到 2030 年的

1 亿吨/年。随着示范项目规模不断扩大、数量持续增长，碳捕集系统能效参数测量结果的一致性和准确性将直接关系到工程验收评价、能效考核与技术进步的判定。

CCUS 技术主要包括燃烧前碳捕集、富氧燃烧和燃烧后碳捕集，其中燃烧后吸收法碳捕集是成熟度最高、最适合燃煤电厂减碳应用的碳捕集技术。该方法利用有机胺类吸收剂与二氧化碳的化学反应实现选择性吸收，在较低温度条件下吸收二氧化碳形成富液，再在较高温度条件下释放二氧化碳实现高浓度捕集，适用于燃煤电厂烟气中二氧化碳含量（14～19）%的碳捕集工程。碳捕集热耗是该类工程的核心能效参数，直接决定碳捕集工程的运行成本，已作为各级科技项目指南中碳捕集研究的考核指标。吸收法碳捕集工程领域技术开发在欧美等国起步较早，已经形成普遍认可的吸收剂及碳捕集工程测量参数评价体系。我国目前在碳捕集系统能效测试方面已形成一定的技术基础。GB/T 45121《火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统能耗测定技术规范》明确了能耗测定的测试条件和方法。GB/T 46870.1《二氧化碳捕集 第 1 部分：电厂燃烧后 CO_2 捕集性能评估方法》为捕集系统性能评估中的测量设备选择和测量方法确定提供了通用依据。然而，面向国内电厂实际运行条件的核心能效参数计量测试技术仍面临挑战：一是缺乏针对运行工况波动时的能效测试条件和方法。电厂机组负荷调整具有显著的不确定性，因而导致碳捕集系统烟气流量、CO_2 浓度与蒸汽条件通常处于持续动态变化状态。仅依据少数稳定工况下的测试数据，难以反映整个运行周期内的能源消耗与捕集产出，所得能效评价结果的代表性受到限制。二是缺乏适用于不同规模、不同系统配置条件的测量设备选择和测试方法。国内碳捕集系统的管道布置、仪表配置和安装条件各有差异。如何在差异化硬件条件下实现科学、规范的测试，确保测试结果准确性，仍有待形成统一测试准则。

据此，起草组立项开展《电厂燃烧后吸收法碳捕集系统能效测试技术规范》的编制工作。本规范面向燃煤电厂碳捕集装置，统一界定系统测试边界，明确碳捕集系统的计量特性、测试条件、测试项目和方法、测试结果表达和不确定度评定，为工程现场开展碳捕集能效测试提供统一、可落地的技术依据。本规范的制定，旨在解决碳捕集能效测量装置关键计量技术难题，填补国内碳捕集工程能效综合测量规范的空白，有效支撑我国碳捕集行业快速发展，具有重要的研究意义和应用价值。

4. 制定原则

根据吸收法碳捕集系统的工作原理，参考 GB/T 45121、GB/T 46877 和 GB/T 46870.1 等国家标准，结合国内外碳捕集工程测试评价经验及我国电厂碳捕集工程计量测试实际情况，对碳捕集系统 CO_2 纯度、CO_2 捕集率、单位时间捕集量、单位热能消耗、单位电能消耗等核心参数的计量特性、测试条件、测试项目和方法、测试结果表达和不确定度评定作出规定。此外，根据电厂碳捕集行业的需求，本规范制定过程中着重考虑了可行性和成本控制等实际问题，力求规范内容既满足计量科学性的要求，又符合工程现场测试的实际条件。

5. 制定过程

5.1 调研阶段

2025 年 6 月~9 月，中国计量科学研究院接到起草任务后，对相关国家标准、测试规范和国内外文献内容进行了详细梳理，撰写了规范制定的原则、总体路线、依据内容和注意事项等，征求相关单位和企业的初步意见和意向，并根据汇总结果形成了初步编制方案和起草组人员构成。

5.2 第一次工作会议

2025 年 10 月，项目启动后，于中国计量科学研究院召开第一次工作会议，参会专家来自华能集团清洁能源技术研究院有限公司、国家能源集团新能源技术研究院有限公司、北京低碳清洁能源研究院和北京大学。会议主要内容为：

（1）讨论本规范的适用范围，规定编制要求和注意事项。

（2）讨论燃烧后吸收法碳捕集系统能效测试技术的计量特性，行业测量准确度和不确定度要求。

（3）讨论规范起草过程中依据标准范围，明确与现行国家标准、规范保持一致的编写要求。

5.3 第二次工作会议

2026 年 3 月，在完成前期技术调研和资料收集并完成草案后，中国计量科学研究院在腾讯会议（线上）组织召开第二次工作会议，参会专家来自于国家能源集团新能源技术研究院有限公司、北京低碳清洁能源研究院和北京大学等单位。会议主要内容为：

（1）起草组汇报规范草案编制工作进展。

（2）与会专家围绕规范草案的核心技术内容开展研讨，重点讨论碳捕集系统能效测试的核算边界，明确 CO_2 捕集率、单位热能消耗、单位电能消耗等核心参数的测试方法。

（3）形成草案核心修改意见，确定下一步完善重点。

5.4 第三次工作会议

2026年7月，初稿完成后，中国计量科学研究院在腾讯会议（线上）组织召开第三次工作会议，参会专家来自于华能集团清洁能源技术研究院有限公司、北京低碳清洁能源研究院和北京大学等单位。会议主要内容为：

（1）起草组汇报规范初稿的编制情况，逐章介绍初稿内容及编制依据。

（2）与会专家对初稿逐条讨论，明确本规范的适用范围、计量特性、校准条件、校准项目与方法、校准结果表达和校准不确定度。

（3）汇总修改意见，确定征求意见稿的形成时间。

6. 规范的先进性

本次起草的《电厂燃烧后吸收法碳捕集系统能效测试技术规范》结合国家标准及企事业单位实际使用情况，规范了碳捕集系统CO_2纯度、CO_2捕集率、单位时间捕集量、单位热能消耗、单位电能消耗等核心参数的计量特性、测试条件、测试项目和方法、测试结果表达和不确定度评定等内容，本规范主要具备以下先进特征：

一、可涵盖电厂实际运行工况的能效测试。本规范将烟气和蒸汽连续供给条件下的正常运行波动纳入测试考量。基于碳捕集系统吸收、再生、供热及供电工艺链路，界定测试边界、测点布设、监测参数与计量仪表技术指标，统一不同规模系统的测点位置、监测项目及指标核算方法。依托运行数据连续采集，实现捕集产物与同期能耗的时序匹配，测试结果可表征目标运行区间的能效水平。

二、可适用于在役固定安装测量系统的在线计量。碳捕集系统的部分测量设备受生产调度和安装条件限制，拆卸送校较为困难。针对已接入DCS且尚未进行检定或校准的设备，本规范规定了现场在线计量方法，利用计量标准器确认测量系统的计量性能，确保能效测试的准确性。

三、构建了从测量设备到整体系统的多层级测试结果准确性控制方法。规范以确保单台测量设备的计量性能为基础，结合二氧化碳质量守恒，在吸收侧和再生侧同时对二氧化碳捕集量进行交叉核验。将核验结果的一致性作为判断测试数据是否有效的重要依据，以确保测试结果真实反映系统能效水平。

综上，本规范结合现场工程实际，充分考虑了非稳态运行工况测试、在役设备不便拆卸送检等现实条件，建立起从单台测量设备溯源到系统物料核验的多层级测试结果控制体系。本规范统一了碳捕集系统能效测试的测试边界、测点设置、

测试方法与数据有效性判定规则，较好满足了碳捕集系统能效计量测试的实际需要。

7. 与有关的现行法律、规范和强制性国家标准的关系

本规范与现行法律、法规和强制性国家标准一致。

8. 重大分歧意见的处理经过和依据

本规范在制定过程中无重大意见分歧。

9. 其他应予以说明的事项

本规范不涉及专利、著作权等知识产权内容。