

煤质化验误差来源分析及质量控制策略优化

王安平

国能锦界能源有限责任公司 陕西 榆林 719319

摘要：煤质化验是煤炭生产、贸易、利用及科学研究中不可或缺的关键环节，其数据的准确性直接关系到煤炭定价、工艺设计、燃烧效率、环保排放乃至国家能源战略决策。然而，煤质化验过程复杂，从采样到最终结果出具，涉及多个环节和众多影响因素，极易引入各种类型的误差。本文旨在系统性地剖析煤质化验全流程中可能产生的误差来源，将其划分为采样代表性误差、制样缩分误差、化验操作误差、仪器设备误差以及环境与人员误差五大类，并深入探讨每类误差的成因与特点。在此基础上，结合现代质量管理理念与先进技术手段，从构建全过程质量控制体系、强化关键环节控制、推动技术革新与自动化、完善人员培训与管理机制四个维度，提出一套科学、高效、可落地的质量控制策略优化方案。研究结论表明，通过实施全链条、多维度、智能化的质量控制措施，能够显著降低煤质化验的总不确定度，提升检测数据的可靠性与公信力，为煤炭行业的高质量发展提供坚实的技术支撑。

关键词：煤质化验；误差来源；质量控制；采样；制样；不确定度

引言

随着“双碳”目标的提出和能源转型的深入推进，对煤炭的清洁、高效、精准利用提出了更高要求。煤质化验作为连接煤炭资源与终端应用的核心纽带，其提供的工业分析（水分、灰分、挥发分、固定碳）、元素分析（碳、氢、氧、氮、硫）、发热量等关键指标，不仅是煤炭贸易结算的法定依据，更是电厂锅炉选型、焦化配煤、气化工艺参数设定、污染物排放预测与控制的根本基础。然而，煤质化验并非一个简单的物理化学测试过程，而是一个由采样、制样和化验三个紧密相连的子过程构成的完整链条。当前，尽管我国已建立了较为完善的煤炭检测标准体系（如GB/T系列国家标准），但在实际操作层面，由于对误差来源认识不足、质量控制体系不健全、人员技能参差不齐、设备维护不到位等原因，煤质化验结果的准确性和精密度仍存在较大波动。这不仅在商业贸易中引发纠纷，也给工业生产的稳定运行带来风险。因此，系统梳理煤质化验全流程的误差来源，并据此构建和优化一套行之有效的质量控制策略，具有重大的理论价值和迫切的现实意义。

1 煤质化验全流程误差来源深度剖析

煤质化验的总误差是采样、制样、化验三个阶段误差的综合体现。要有效控制总误差，必须对每个阶段的误差来源进行精细化识别与分析。

1.1 采样代表性误差

采样的核心目标是从大量、不均匀的煤炭批中抽取少量但能真实反映整批煤平均质量特性的样品。该环节的主要误差来源包括：（1）煤炭本身的不均匀性：这

是采样误差的根本原因。煤炭作为一种天然形成的矿物集合体，其粒度、密度、成分（尤其是灰分和硫分）在空间上存在显著差异。例如，大块矸石与细煤粉的灰分差异巨大，黄铁矿结核的局部富集会导致硫分异常。这种固有的不均匀性使得获取绝对“完美”的代表性样品成为不可能，只能通过科学方法将误差控制在可接受范围内。（2）采样方案设计不当：未根据煤炭的品种、粒度组成、预期用途及精密度要求来制定合理的采样方案。例如，对于高变异性煤炭（如原煤），若采样单元数过少、子样数不足或子样质量低于标准要求，则无法有效覆盖煤炭的不均匀性，导致采样精密度不达标^[1]。（3）采样工具与方法选择错误：使用不符合标准的采样工具（如开口尺寸过小的采样铲）会因粒度偏析而丢失大颗粒物料，造成系统性偏差。人工采样时，采样点分布不均、采样深度不够、未做到全断面或全横截面采样，都会破坏样品的代表性。机械化采样器若设计不合理、安装位置不当或运行参数（如切割速度、间隔时间）未校准，同样会引入显著误差。（4）采样过程操作不规范：采样人员未严格遵守操作规程，如在落流采样时未保证采样器以恒定速度穿过煤流，或在静止煤堆上采样时未按网格布点，而是随意抓取表面煤样，这些行为都会严重损害样品的代表性。

1.2 制样缩分误差

制样的目的是将采集到的大量初级煤样，通过破碎、混合、缩分等一系列操作，加工成符合化验要求的、质量足够小且粒度足够细的分析试样。此过程的核心挑战在于如何在减小样品量的同时，最大限度地保持其原始

特性。主要误差来源有：(1) 缩分过程中的粒度偏析：这是制样误差最主要的形式。当煤样被摊平或倒入缩分设备时，不同粒度的颗粒会因重力、形状和密度的差异而发生分离。通常，大颗粒、高密度的矸石倾向于滚向边缘或底部，而细颗粒、低密度的精煤则聚集在中心或上部。如果缩分操作（如使用二分器、堆锥四分法）未能充分混合或切割不均，就会导致缩分后的两部分样品在灰分、硫分等指标上产生系统性差异。(2) 样品损失与污染：在破碎、筛分、转移过程中，细粒煤粉极易飞扬损失。对于高挥发分或高水分煤，损失更为严重。这种损失通常是选择性的，优先损失的是特定组分，从而改变剩余样品的组成。制样设备（如破碎机、研磨机、缩分机）内部残留的前次样品、润滑油、金属磨损碎屑等，都可能混入新样品中，导致灰分升高或其他指标失真。特别是交叉污染问题，在连续处理不同品质煤样时尤为突出^[2]。(3) 水分损失（外在水分）：制样通常在室温下进行，而煤样从采集到制备完成需要一定时间。在此期间，煤样暴露在空气中，其外在水分会不断蒸发。若制样周期过长或环境湿度过低，将导致水分测定值偏低，并间接影响以收到基为基准的其他指标（如收到基低位发热量）的计算准确性。(4) 制样设备性能不佳：破碎机出料粒度不均、缩分器格槽堵塞或磨损、自动缩分机切割器不锋利或动作不精准等设备问题，都会直接影响制样的精密度和正确度。

1.3 化验操作误差

化验阶段虽然其引入的误差比例相对较小，但由于其直接产出最终报告数据，任何微小的失误都可能被放大。主要误差类型包括：(1) 称量误差：分析天平的精度、校准状态、防震防风措施以及操作人员读数习惯，都会影响称量的准确性。特别是在测定水分、灰分、挥发分等对样品质量变化敏感的项目时，毫克级的称量误差都可能导致结果超出允许差。(2) 试剂与标准物质误差：使用过期、变质或纯度不达标的化学试剂，或者标准煤样（CRM）本身定值不准、保存不当，会直接导致系统性偏差。例如，在测定全硫时，电解液失效或库仑测硫仪的标定不准确，将使结果整体偏高或偏低。(3) 仪器设备误差：量热仪的热容量未定期标定，马弗炉的温度控制系统失准（如实际温度与设定温度不符），元素分析仪的检测器灵敏度漂移等，都是常见的仪器误差来源。量热仪氧弹漏气、内筒水量不足，马弗炉炉膛内有积灰影响热传导，水分测定仪干燥剂失效等，都会影响测试结果的稳定性。(4) 方法执行偏差：操作人员未严格遵循标准方法（如GB/T212, GB/T213, GB/T476等）规定的程序。

例如，灰化时升温速率过快导致煤样爆燃飞溅，挥发分测定时坩埚盖未盖严或加热时间/温度控制不精确，发热量测定时未考虑硝酸校正热等。这些看似微小的操作细节，累积起来会造成显著的随机或系统误差。(5) 数据处理与计算错误：在进行基的换算（如收到基、空气干燥基、干燥基、干燥无灰基之间的转换）或发热量计算时，公式应用错误、输入数据有误或修约规则执行不当，也会导致最终报告结果失真。

1.4 环境与人员误差

除了上述技术性误差，外部环境和人的因素也贯穿于整个化验流程，构成重要的误差来源。(1) 环境因素：实验室温湿度波动会影响天平的稳定性、某些化学反应的速率以及煤样的水分平衡。电源电压不稳可能干扰精密电子仪器的正常工作。实验室洁净度不足，空气中粉尘沉降也可能污染样品。(2) 人员因素：这是最具不确定性的误差来源。人员的技术水平、经验、责任心、工作态度乃至生理心理状态，都会对结果产生影响。新员工操作不熟练，老员工产生经验主义或麻痹思想，缺乏有效的监督复核机制，都可能埋下质量隐患。此外，人为的数据篡改或记录疏漏等道德风险，虽属极端情况，但后果极其严重。

2 质量控制策略优化方案

针对上述系统性的误差来源，传统的、孤立的、事后检验式的质量控制模式已难以满足现代煤质检测的高要求。必须转向一种全过程、预防为主、数据驱动的综合质量控制的策略。

2.1 构建全过程质量控制（TQC）体系

打破“采、制、化”三环节各自为政的壁垒，建立覆盖从采样源头到最终报告出具的全流程质量控制体系。(1) 明确质量目标与责任：依据ISO/IEC17025《检测和校准实验室能力的通用要求》，建立完善的质量手册和程序文件，清晰界定每个岗位的质量职责和权限。(2) 实施内部质量监控：定期使用有证标准物质（CRM）进行准确度验证；通过人员比对、设备比对、方法比对等方式评估精密度；对留样进行再测试，监控长期稳定性^[3]。(3) 参加能力验证（PT）：积极参与国家或国际权威机构组织的能力验证计划，这是检验实验室整体技术能力和结果可比性的“金标准”。(4) 推行不确定度评定：对关键检测项目进行测量不确定度评定，量化结果的可信区间，为数据使用者提供更全面的信息。

2.2 强化关键环节的精准控制

2.2.1 采样环节

(1) 推广机械化、自动化采样：在条件允许的场所

(如电厂入炉煤、港口装船煤),强制使用经认证的机械化采样装置,并定期对其进行偏倚试验和精密度检验,确保其性能持续符合标准要求。(2)优化人工采样方案:对于必须人工采样的场景,应基于煤炭的变异性预先进行采样精密度估算,科学确定采样单元、子样数和子样质量。加强采样人员培训,确保其深刻理解“代表性”原则并能规范操作。

2.2.2 制样环节

(1)采用联合制样与在线水分测定:推广使用联合破碎缩分机,实现破碎与缩分一步完成,减少中间环节的样品损失和偏析。对于水分敏感的煤种,应在制样流程中尽早测定外在水分,并采取密封、快速制样的措施。(2)严格执行交叉污染防控:制定严格的设备清洗规程,不同样品间必须彻底清理设备。对高灰分、高硫分等特殊煤样,应安排在批次末尾处理,并增加清洗频次。(3)环境控制:制样室应配备空调和除湿设备,维持相对稳定的温湿度,以减少水分损失。

2.2.3 化验环节

(1)仪器智能化与联网:采用具备自动控温、自动称量、自动数据采集与处理功能的智能仪器(如全自动量热仪、智能马弗炉)。将所有仪器联网,构建LIMS(实验室信息管理系统),实现数据自动上传、防止人为篡改,并能自动进行基的换算和结果审核^[4]。(2)强化标准物质管理:建立标准物质台账,严格按照证书要求进行存储、使用和期间核查。(3)实施双人复核制:对关键步骤(如称量、终点判断)和最终报告数据实行双人独立操作或复核,形成有效的内部监督。

2.3 推动技术革新与自动化

拥抱新技术是提升质量控制效能的根本途径。(1)近红外光谱(NIR)与激光诱导击穿光谱(LIBS)技术:这些快速、无损的在线/旁线分析技术,可用于对大批量煤炭进行快速筛查和过程监控,及时发现异常批次,减少对传统慢速化学分析的依赖,并为采样方案的动态调整提供依据。(2)人工智能(AI)与大数据分析:利用LIMS积累的历史数据,通过机器学习算法,可以建立煤

质指标间的预测模型,辅助结果审核;可以识别异常数据模式,预警潜在的设备故障或操作失误;还可以优化采样和制样参数,实现个性化、精准化的质量控制。

2.4 完善人员培训与管理机制

人是质量控制体系中最活跃也最关键的要素。(1)系统化培训:建立涵盖理论知识、标准方法、实操技能、安全规范、职业道德的全方位培训体系。培训内容应与时俱进,及时纳入新标准、新技术。(2)常态化考核:通过理论考试、实操比武、盲样测试等多种形式,对人员能力进行定期评估,并将考核结果与绩效挂钩。(3)营造质量文化:高层管理者应以身作则,倡导“质量第一”的文化氛围,鼓励员工主动报告质量问题,建立非惩罚性的差错学习机制,将每一次失误都转化为改进的机会。

3 结语

煤质化验准确性关乎煤炭产业链高效公平绿色运行。本文剖析采样、制样、化验环节,揭示误差来源多元复杂,发现误差控制不能仅着眼于化验室操作,更要重视上游的采样和制样环节。为此提出四位一体质量控制策略优化方案,以“全过程质量控制”为核心,涵盖关键环节精准控制、技术革新与自动化、人员能力与文化建设。方案强调从源头构建闭环、动态、自适应的质量管理体系。未来,随着新一代信息技术融合,煤质化验质量控制将更自动化、智能化和具预测性,实验室将成为智慧中枢,释放煤质数据价值,助力我国能源事业高质量发展。

参考文献

- [1]刘慧娟.煤质化验中误差原因及有效控制方法的分析[J].山西化工,2025,45(11):107-108+227.
- [2]杨秀青.煤质化验中的误差原因及控制方法研究[J].煤炭新视界,2025,(01):51-52.
- [3]吴晶晶.煤质化验过程中误差问题与优化策略研究[J].中国设备工程,2025,(10):189-191.
- [4]维慧.煤质化验过程中误差的产生及控制[J].山西化工,2024,44(05):83-85.