

煤炭中硫含量测定方法的优化与比较

刘泽园

唐山市产品质量监督检验所，河北 唐山 063000

摘 要： 硫是煤炭中的一种有害元素，其含量过高会导致燃烧过程中产生大量硫化物，不仅腐蚀设备，还严重污染环境，因此准确测定煤炭中的硫含量对于合理分类煤炭、优化利用及环境保护具有重要意义，但是目前常用的煤炭硫含量测定方法主要包括库仑滴定法、艾士卡法以及高温燃烧中和法，其中库仑滴定法虽然测定速度快，但精度相对较低；而艾士卡法虽精度高，但操作繁琐且效率低；高温燃烧中和法则具有操作简便、设备要求不高的优点，但测定结果的准确性可能受多种因素影响，因此为了克服这些方法的局限性，所以本文就煤炭中硫含量测定方法的优化与比较进行阐述，希望能够对广大读者有所帮助。

关 键 词： 煤炭；硫含量；测定方法

Optimization and Comparison of Determination Methods for Sulfur Content in Coal

Liu Zeyuan

Tangshan Institute of Product Quality Supervision and Inspection, Tangshan, Hebei 063000

Abstract： Sulfur is a harmful element in coal, and its high content will lead to a large amount of sulfide in the combustion process, which will not only corrode equipment, but also seriously pollute the environment. Therefore, accurate determination of sulfur content in coal is of great significance for rational classification of coal, optimal utilization and environmental protection. However, the commonly used methods for the determination of sulfur content in coal mainly include infrared spectroscopy and coulometric titration. Although infrared spectroscopy has a fast determination speed, its accuracy is relatively low. Although coulometric titration has high precision, it is complicated and inefficient. In order to overcome the limitations of these methods, this paper describes the optimization and comparison of the determination methods of sulfur content in coal, hoping to be helpful to readers.

Keywords： coal; sulfur content; determination method

引言

硫作为煤炭中重要的杂质成分，其含量的高低直接影响煤炭的燃烧性能和污染排放，而硫的存在形式多样，包括有机硫、硫化物和硫酸盐等。煤炭燃烧时，硫会转化为二氧化硫（SO₂）等有害气体，对大气环境造成污染，形成酸雨，影响生态环境和人类健康，因此煤炭中硫含量的准确测定对煤炭资源的合理利用和环境保护具有重要意义。

一、煤炭中硫含量测定的背景与意义

（一）煤炭中硫的存在形式与危害

煤炭中硫的存在形式主要包括有机硫、硫化物（如硫化铁、硫化镉）和硫酸盐（如硫酸钙、硫酸钡）等，其中有机硫通常以硫醇、硫醚等形式存在于煤的有机质中，硫化物和硫酸盐则以无机硫的形式存在于煤的矿物质中，这些硫在煤炭燃烧过程中会转化为二氧化硫（SO₂）等气态硫氧化物^[1]，进入大气后会进一步转化为硫酸盐气溶胶，形成酸雨，对环境和人类健康造成危害。此

外，燃烧过程中产生的硫化物还会对设备造成腐蚀，影响工业过程的安全性和设备寿命。因此，了解和控制煤炭中硫的含量，对于减少环境污染和提高煤炭利用效率具有重要意义^[2]。

（二）煤炭中硫含量测定的重要性

硫含量的测定是煤质分析的重要内容之一，直接关系到煤炭的燃烧性能和环境影响，其中准确测定煤炭中硫的含量，可以为煤炭的分类、使用和加工提供重要参考依据，帮助企业制定合理的燃烧和排放控制措施，减少污染物的排放。此外，硫含量的测定也是煤炭资源开发和利用中的重要环节^[3]。通过对不同产地和

作者简介：刘泽园（1999.07-），汉族，河北省唐山市迁西县，大学本科，助理工程师，标准计量质量。

不同类型煤炭的硫含量进行测定，可以指导煤炭的合理开采和利用，减少资源浪费和环境污染，因此研究和优化煤炭中硫含量的测定方法，对于提高煤质分析的准确性和效率，促进煤炭行业的可持续发展具有重要意义。

二、煤中硫的测定几种方法

（一）艾士卡法

艾士卡法作为一种经典的煤中硫含量测定方法，其原理基于煤样与艾氏剂（无水碳酸钠与轻质氧化镁的混合物）在高温下共同燃烧，煤中的硫元素被氧化成二氧化硫和三氧化硫，进而与碳酸钠反应生成硫酸钠，或与氧化镁反应生成硫酸镁。这一过程中，艾氏剂不仅作为氧化剂，还起到防止硫酸钠过早熔化、保持煤样疏松状态的作用，促进了煤样的充分燃烧。主要化学反应包括煤的氧化作用（ $\text{煤} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2 + \text{SO}_2 + \text{SO}_3$ ）、氧化硫的固定作用（如 $2\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{CO}_2$ ）、硫酸盐的转化作用（如 $\text{CaSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$ ）以及可能的硫酸盐沉淀作用，艾士卡法操作相对繁琐，但结果准确度高，常被用作仲裁分析^[4]。

（二）高温燃烧中和法

高温燃烧中和法通过高温（通常为1150 ~ 1200℃）下煤样在氧气流中的燃烧，使煤中各种形态的硫转化为硫氧化物（主要是二氧化硫），随后利用中和滴定法测定生成的硫氧化物，该方法的关键在于确保煤样中的硫酸盐完全分解，同时避免新的固定硫生成，而三氧化钨作为催化剂在此过程中起到了重要作用，降低了硫酸盐的分解温度^[5]。燃烧生成的二氧化硫经吸收转化为硫酸，再通过与碱（如氢氧化钠）的中和反应进行定量测定，高温燃烧中和法具有操作简便、设备要求不高的优点，但测定结果的准确性可能受多种因素影响，如燃烧温度的控制、催化剂的用量等。

（三）库仑法

库仑法，又称库仑滴定法，是一种自动化程度较高的煤中硫含量测定方法，其在1150℃高温和催化剂作用下，煤样于空气流中燃烧分解，硫元素转化为二氧化硫和三氧化硫。这些硫氧化物随气流进入电解池，与水反应生成亚硫酸和少量硫酸，电解池内的碘化钾和溴化钾溶液中的碘或溴随即氧化亚硫酸为硫酸，同时消耗碘或溴离子，破坏原有电位平衡^[6]。其中电解系统通过自动电解碘化钾溶液生成碘来补充被消耗的碘，直至硫氧化物完全反应，根据电解过程中消耗的电量，利用法拉第电解定律即可计算出煤中的全硫含量，由此可见库仑法具有测定速度快、精度高、操作简便等优点，广泛应用于煤炭工业中，但是其测量精度受多种因素影响，如热电偶位置、搅拌转子转速等，需严格控制实验条件以提高测量准确性。

三、煤炭中硫含量测定方法的优化策略

（一）艾士卡法的优化策略

在艾士卡法的优化实践中，艾氏剂的配比调整扮演着至关重

要的角色，因为这一精细化过程不仅是对传统方法的简单改进，更是对煤样特性深刻理解的体现，而考虑到不同煤种在含硫量、灰分含量及有机质构成上的差异，艾氏剂中无水碳酸钠与轻质氧化镁的比例需经过精心设计与实验验证，通过一系列系统实验，我们可以精准地确定出针对特定煤样的最优配比，这一比例能够最大化地促进硫元素在燃烧过程中的氧化效率，同时有效防止硫酸钠的过早熔化，确保煤样的疏松状态，为硫的完全转化创造理想条件，此举不仅可以减少未反应硫氧化物的残留，还极大地提升了测定结果的精确度和可靠性；另一方面燃烧过程的强化控制是提升艾士卡法测定精度的另一关键途径，因为传统的加热装置往往难以满足煤样快速、均匀燃烧的需求，因此引入更高效的加热技术成为必然选择，这些新技术不仅能够提供更为稳定且易于调控的高温环境，还能有效缩短燃烧时间，减少能量损耗^[7]。

（二）高温燃烧中和法的优化措施

在高温燃烧中和法的优化实践中，催化剂的有效利用与气体处理系统的精细化设计是提升测定准确性的两大核心策略，其中关于催化剂使用的优化，三氧化钨作为促进硫酸盐分解的关键角色，其性能发挥直接关联到后续硫氧化物生成的效率，如通过深入探究催化剂的添加策略，我们不难发现多层催化剂床层设计能够显著提升反应效率，这种设计确保了催化剂与煤样之间的接触面积最大化，不仅促进了热传递与物质交换，还使得催化剂能够均匀分布于燃烧区域，从而有效避免了局部过热或催化不足的现象；除此以外精确控制催化剂的用量，依据煤样的具体特性进行动态调整，也是提升分解率与生成率的关键步骤，这一系列优化措施共同作用，显著提高了硫酸盐的分解效率，为后续二氧化硫的准确测定奠定了坚实基础^[8]；另一方面气体吸收与中和反应的优化同样不容忽视。高温燃烧过程中生成的二氧化硫若不能得到有效吸收，将直接影响测定结果的准确性，因此，可以针对气体吸收装置进行了全面升级，并通过增加吸收液的喷淋密度、改进吸收塔的结构设计，显著提高了二氧化硫的吸收效率；同时选择适宜的碱溶液种类与浓度，结合对中和反应条件的精细调控（如维持适宜的温度、精确控制pH值等），确保了二氧化硫向硫酸的高效转化。

（三）库仑滴定法的深入优化

1. 电解池设计的创新

电解池是库仑滴定法的核心部件，其设计直接影响电解效率和测定精度，因此可以通过创新电解池的结构设计，如采用更高效的电极材料、优化电极间距和形状，可以提高电解反应的速率和稳定性，减少电解过程中的副反应和误差。此外，引入先进的电解质配方，提高电解液的导电性和稳定性，也能进一步提升测定的准确性。

2. 自动化与智能化控制

库仑滴定法具有自动化程度高的优势，但进一步提升其自动化和智能化水平，将有助于提高测定的效率和精度，例如通过引入先进的控制系统和传感器技术，实现电解过程的全自动控制和实时监测；利用大数据分析技术，对电解过程中的各项参数进行智能分析和优化调整；开发智能化的故障诊断和预警系统，及时

发现并处理潜在的问题和故障。这些措施将共同推动库仑滴定法在煤炭硫含量测定中的应用和发展^[9]。

四、煤炭中硫含量测定方法的比较与选择

（一）精度与准确性的考量

在比较煤炭中硫含量的测定方法时，精度与准确性是首要考虑的因素，其中艾士卡法以其高准确度和重复性著称，常被用作仲裁分析的标准方法，该方法通过严格控制燃烧条件和化学反应步骤，确保了硫元素向硫酸盐的高效转化，从而提高了测定结果的精度。相比之下，高温燃烧中和法虽然操作简便，但测定结果可能受多种因素影响，如燃烧温度、催化剂用量等，导致精度略逊一筹，库仑法则结合了自动化与高精度的优势，通过电解过程直接测定硫氧化物的含量，具有较高的准确性和稳定性，因此在需要极高测定精度的场合，艾士卡法和库仑法更为适用。

（二）操作复杂性与效率

操作复杂性与效率是选择测定方法时不可忽视的因素，艾士卡法操作相对繁琐，涉及多个步骤和化学反应，需要较高的技术水平和丰富的经验，这在一定程度上限制了其在大规模生产检测中的应用。高温燃烧中和法则以其操作简便、设备要求不高的特点，赢得了广泛的认可，该方法能够快速处理大量煤样，提高检测效率。库仑法则在自动化方面表现出色，减少了人工操作的干预，进一步提升了检测效率，因此在追求检测效率的场合，高温燃烧中和法和库仑法更具优势。

（三）成本与设备要求

成本与设备要求也是选择测定方法时需要考虑的重要因素，其中艾士卡法虽然精度高，但所需设备和试剂成本相对较高，且对操作人员的技术水平要求较高。高温燃烧中和法则在成本方面具有一定优势，设备简单、试剂易得，适合大规模生产检测。库仑法则在初期投资方面可能较高，包括电解池、控制系统等设备的购置费用，但长期来看，其自动化和智能化特点有助于降低人工成本和操作错误率，因此在选择测定方法时，应根据实际需求和预算情况综合考虑成本与设备要求^[10]。

五、结语

总而言之，通过对煤炭中硫含量测定方法的优化与比较，我们可以清晰地看到各种方法在不同应用场景下的优劣势，其中艾士卡法以其高精度和重复性，成为仲裁分析的首选，但其操作复杂性和高成本限制了其在大规模生产检测中的广泛应用；而高温燃烧中和法则以操作简便、设备要求低的特点，赢得了市场的一定份额，尽管其精度稍逊一筹，但在追求效率的场合具有明显优势；至于库仑法，作为自动化程度较高的测定方法，不仅结合了高精度与高效率，还展现出广阔的发展前景，尽管初期投资较高，但其长期效益不容忽视，因此在选择煤炭中硫含量的测定方法时，应根据具体需求、操作条件、成本预算等多方面因素综合考量，以找到最适合自身需求的方法，从而确保煤炭资源的合理利用，减少环境污染，推动煤炭行业的可持续发展。

参考文献

[1]杨金和, 陈文敏, 段云龙. 煤炭化验手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998, 284 ~ 285.
[2]张双全, 吴国光. 煤化学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004, 70.
[3]韩媛媛. 煤炭中硫含量测定方法的应用分析 [J]. 山西化工, 2024, 44 (01): 113-114+117.
[4]王冠锐, 张然, 于明玮. 高含硫煤炭中全硫含量的测定及脱硫实验研究 [J]. 当代化工, 2023, 52 (11): 2702-2705+2719.
[5]翟鹏宇, 陆超, 洪新华, 等. 基于数理统计的煤中红外测硫的方法调整试验评价 [J]. 科技视界, 2019, (06): 9-11.
[6]丰宝宽, 张子和. 燃烧——碘酸钾法测定煤炭中的硫含量 [J]. 青岛建筑工程学院学报, 1996, (04): 31-34.
[7]赵英霞. 煤炭质量常规化验中的注意事项 [J]. 山西化工, 2024, 44 (03): 83-84+96.
[8]姜晓宇, 邹顺瑛, 王思依. 煤质监测中煤中全硫含量的分析 [J]. 科技资讯, 2023, 21 (16): 173-176.
[9]宋青锋, 赵龙, 于海明. 瞬发伽马中子活化分析法与库仑滴定法测定煤中全硫含量的对比研究 [J]. 选煤技术, 2022, 50 (04): 34-37.
[10]解维伟, 周玲妹, 郑浩. 煤炭洗选过程中砷的迁移与富集规律 [J]. 矿业科学学报, 2022, 7 (06): 770-781.