



Mol 碳硫分析仪对煤中碳、硫含量的测定

概述

煤是一种可燃的黑色或棕黑色沉积岩，主要由碳和其他不同比例的元素（氢、硫、氧和氮等）组成，煤被广泛用作工业原料和燃料源。由于碳和硫元素在煤的能量含量、燃烧效率和环境影响中起着重要作用，因此必须分析煤中的这些成分。



煤炭是由沼泽和泥沼中的森林残余物形成的，这些森林在数百万年间被埋在地表的沉积层之下。煤化是一个生物和地质活动相互作用的过程，通过压实将植物转化为泥炭，然后在高温高压下进一步干燥和碳化，转化为煤炭。这种化石燃料根据其碳含量、热值和水分含量进行分类，通常存在于称为煤床或煤层的层状地层中。

在热电厂中，煤炭主要用于发电，通过燃烧加热锅炉中的水以产生蒸汽，从而为与发电机相连的涡轮机提供动力。由于煤炭用于制造炼铁所需的焦炭，因此它也是钢铁工业的重要原料。此外，煤炭可以转化为液体燃料和气体，在水泥制造和其他工业过程中取代天然气和石油。

根据含碳量、水分和能量含量，煤炭可分为四种主要类型或等级：

褐煤：也称为棕色煤，是等级最低的煤炭，能量含量最低，主要用于发电。

次烟煤：这种煤炭比褐煤含碳量高，水分少，主要用于发电和供热。

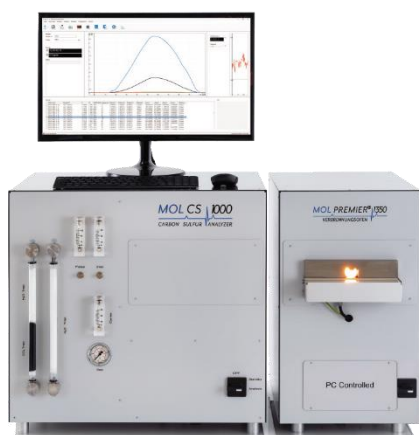
烟煤：烟煤是煤炭中最丰富的形式，含碳量高，广泛用于发电、炼焦和其他工业过程。

无烟煤：无烟煤是等级最高的煤炭，含碳量和能量最高，用于住宅和商业供热。

煤炭的碳含量决定了其热值和燃烧效率，碳含量越高则表示能量含量越高。硫含量主要引起环境问题，煤炭中的硫在燃烧过程中与氧气反应形成二氧化硫，如果不加处理就会导致酸雨和大气污染。为了减少煤炭对环境的影响，必须监测和管理其中的硫含量。准确分析煤炭中的碳和硫对于煤炭分类、估价和遵守环境法规至关重要。

本文采用德国莫尔(Mol)公司的 CS1000 碳硫分析仪对煤中的碳、硫含量进行测定。

仪器介绍



对煤炭样品的分析，Mol CS1000 碳硫分析仪使用 Premier 1350 高温燃烧炉。称量 450 mg 样品粉末到陶瓷样品舟中，对于此类非均质样品，使用较大的样品重量有助于提高碳和硫测量的重复性和可靠性，提高不同样品成分的结果一致性。使用样品导入杆推入高温燃烧炉的燃烧区，燃烧炉内的限位器确保样品始终位于燃烧区的同一位置。在氧气流中，样品被完全燃烧，产生的气体从粉尘中释放出来，通过高氯酸镁柱干燥，然后在非色散红外检测器 Mol NDIR-ORU (非色散红外光学读取单元) 中检测。EFC (全电子流量控制) 确保载气通过检测器的流量恒定。为确保操作准确性，高温燃烧炉侧面装有除水阱，可以有效去除炉出口处燃烧过程中产生的水分，防止其进入下游组件，这一点至关重要，因为凝结的水分会结合二氧化硫，从而导致硫含量测量不准确，甚至会导致“记忆效应”，即在后续分析中意外释放残留的二氧化硫，从而影响测试结果。

导致硫测量值低的另一个潜在原因可能是石英棉，它能够吸收水分并结合二氧化硫。同时也应定期更换饱和和高氯酸镁，以确保不会捕获二氧化硫。此外，燃烧温度不足会影响硫的测量精度：最低炉温要求为 1350°C，某些样品甚至可能需要高达 1450°C 才能进行精确分析。合格的高温炉必须能够提供超过 1400°C 的温度，理想情况下可达 1500°C，以确保硫酸盐的完全分解，否则会导致错误的低硫读数。Premier 1350 高温燃烧炉可以轻松达到 1550°C 的温度，从而为对不同样品成分进行全面的硫分析提供必要的温度范围。

实验方法

分析原理：煤炭在高温氧气流中燃烧，完全氧化成二氧化碳 (CO₂) 和二氧化硫 (SO₂)，这种分解需要精确控制燃烧条件，然后使用非色散红外检测器 (NDIR) 测量 CO₂ 和 SO₂。

样品类型：煤炭。

样品制备：样品需要在 105°C 干燥至恒重，以确保后续分析结果可靠且可重复。

参数设置：

参数	设置
最长分析时间 (s)	180
最短分析时间 (s)	45
燃烧炉温度 (°C)	>1350
持续时间 (s)	60



校准

为了确保校准的可靠性，石墨由于具有高纯度和稳定的碳含量，可用作碳的标样，为碳测量提供准确的校准依据。对于硫校准，建议使用一系列已知硫浓度的认证煤炭标样，因为这可以定义煤样中硫含量的典型变化。使用这些标样进行校准有助于确保碳和硫测量结果的一致性和可重复性，即使在不同或非均质样品类型中也是如此，这种校准方法提高了仪器的测量精度。

分析结果

序号	碳含量 (%)	硫含量 (%)	样品重量 (mg)	分析时间 (s)
1	62.1202	2.4325	453.0	120
2	61.7806	2.4148	448.2	116
3	62.0321	2.4146	452.5	111
4	62.0422	2.4211	453.8	118
5	61.9849	2.4192	449.9	117
6	62.0605	2.4176	450.1	122
7	62.3948	2.4252	452.1	105
8	62.3714	2.4155	451.4	112
平均值	62.09834	2.42007		
绝对偏差	0.20204	0.00619		
相对偏差	0.32536 %	0.25560 %		

结论

为了准确分析煤炭中的总碳和硫含量，Mol CS1000 碳硫分析仪与 Premier 1350 高温燃烧炉的组合非常有效。建议样品重量约为 450 mg，炉温保持在 1350°C 以上（特定材料可能需要更高的温度以确保完全燃烧）。炉体侧面加装的除水阱必不可少，因为它可以直接去除炉出口处的水分，防止二氧化硫残留并确保结果的重复性。

高氯酸镁除水阱以及所用石英棉的质量和状态也至关重要，劣质材料或维护不及时会导致吸收过多的水分或二氧化硫，使得硫测量结果可能不准确。

对于校准，高纯度石墨是理想的碳标样，建议使用具有不同硫含量的认证煤炭标样来衡量硫的变化。这种双重校准可确保可靠的基线，从而提高不同样品类型测量的精度和一致性。

为最大限度地提高测量精度，将煤样缓慢、均匀地引入炉内是有必要的。引入过快可能会发生突然、剧烈的氧化反应，在此过程中燃烧会不完全且不受控，从而影响检测精度。受控的样品引入可以使测量结果更加精确、更具可重复性。



参考标准

ISO 19579:2006 固体矿物燃料-红外光谱法测定硫含量

ASTM D6316:2017 煤和焦炭固体残渣中总碳、可燃碳和碳酸盐碳含量测定的标准方法

ASTM D5016:2024 使用红外吸收高温管式炉燃烧法测定煤和焦炭燃烧残渣中总硫的标准方法

ASTM D4239:2018 使用高温管式炉燃烧法测定煤和焦炭样品中硫含量的标准方法