

高 | 等 | 学 | 校 | 教 | 材

煤化学实验

韩晓星 王亚雄 徐喜民 主编

MEIHUAXUE SHIYAN



化学工业出版社

《煤化学实验》共三章,分别为:煤质分析基本术语、实验数据误差分析与数据处理、实验部分。实验部分包括煤的工业分析、烟煤黏结指数的测定、煤中全硫含量的测定、煤中全水分的测定、煤炭发热量的测定、煤对二氧化碳化学反应性的测定、煤的结渣性测定、煤灰熔融性的测定、奥-阿膨胀度的测定、煤中碳氢氮元素含量的测定、烟煤胶质层指数的测定、烟煤罗加指数的测定、煤中矿物质含量的测定、煤灰成分的分析 and 测定共 14 个专业实验内容。

《煤化学实验》可作为高等学校化学工程与工艺、矿物加工工程、能源化工等专业“煤化学实验”或相近实验课程的教学用书,也可供能源、燃气、煤化工、煤炭综合利用等有关生产技术人员参考。

煤化学实验

韩晓星 王亚雄 徐喜民主编

图书在版编目 (CIP) 数据

煤化学实验/韩晓星,王亚雄,徐喜民主编. —北京:
化学工业出版社, 2017. 12
高等学校教材
ISBN 978-7-122-30861-0

I. ①煤… II. ①韩…②王…③徐… III. ①煤-应
用化学-化学实验-高等学校-教材 IV. ①TQ53-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 259720 号

责任编辑: 丁建华 徐雅妮
责任校对: 王素芹

装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 7 $\frac{3}{4}$ 字数 161 千字 2018 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

前言

煤炭是一种可以用作燃料或工业原料的矿物，是中国经济快速发展的重要支撑。而煤化学是煤炭生产、加工、转化、利用的知识基础，“煤化学实验”是“煤化学”课程的实践部分，既可以独立设课，也可以作为“煤化学”课程的一部分，对培养学生的动手能力和创新实践能力十分重要。

《煤化学实验》共三章，分别为：煤质分析基本术语、实验数据误差分析与数据处理、实验部分。实验部分包括煤的工业分析、烟煤黏结指数的测定、煤中全硫含量的测定、煤中全水分的测定、煤炭发热量的测定、煤对二氧化碳化学反应性的测定、煤的结渣性测定、煤灰熔融性的测定、奥-阿膨胀度的测定、煤中碳氢氮元素含量的测定、烟煤胶质层指数的测定、烟煤罗加指数的测定、煤中矿物质含量的测定、煤灰成分的分析 and 测定共 14 个专业实验内容。本书可作为高等学校化学工程与工艺、矿物加工工程、能源化工等专业“煤化学实验”或相近实验课程的教学用书，也可供能源、燃气、煤化工、煤炭综合利用等有关生产技术人员参考。

本书的编写依附于内蒙古科技大学化学与化工学院煤化学教学团队多年来的教学实践与科学研究基础，与此同时借鉴了国内同类优秀教材。本书由韩晓星、王亚雄、徐喜民主编，赫文秀、郎中敏参与了部分内容的编写和规划工作，周晨亮、丁健参与了部分绘图和资料收集工作。在此向书中所引用资料的作者以及在编写过程中给予热心帮助和支持的老师致以诚挚的谢意。

由于编者自身学识水平所限，书中难免存在不妥及疏漏之处，衷心希望读者给予指正，使本书日臻完善。

编者

2017 年 9 月

目 录

绪论	1
一、煤化学实验简介	1
二、煤化学实验教学目的	1
三、实验方式与基本要求	1
四、学生实验守则	1
第一章 煤质分析基本术语	3
第一节 煤及其产品术语	3
第二节 煤炭分类术语	4
第三节 煤炭采样和制样术语	5
第四节 煤质分析术语	6
第五节 煤质分析结果中基的表示术语	10
第六节 煤质分析结果术语及符号	10
第二章 实验数据误差分析与数据处理	11
第一节 实验数据的测量值及其误差	11
一、真值与平均值	11
二、误差的相关概念与分类	13
三、实验误差的来源	14
四、误差的表示方法	16
五、准确度（精确度）、精密度和正确度	17
六、几种偶然误差的表示方法	19
七、有限测量次数标准误差的计算	20
八、可疑观测值的舍弃	21
九、间接测量中的误差传递	21
第二节 有效数字及其运算规则	23
一、有效数字	23
二、有效数字的运算规则	24

第三节 实验数据处理基本方法 25

一、列表法 25

二、图解法 26

三、逐差法 28

四、最小二乘法 28

第三章 实验部分 31

实验一 煤的工业分析 31

实验二 烟煤黏结指数的测定 37

实验三 煤中全硫含量的测定 42

实验四 煤中全水分的测定 47

实验五 煤炭发热量的测定 50

实验六 煤对二氧化碳化学反应性的测定 53

实验七 煤的结渣性测定 58

实验八 煤灰熔融性的测定 62

实验九 奥-阿膨胀度的测定 68

实验十 煤中碳氢氮元素含量的测定 74

实验十一 烟煤胶质层指数的测定 80

实验十二 烟煤罗加指数的测定 90

实验十三 煤中矿物质含量的测定 93

实验十四 煤灰成分的分析 and 测定 97

附录 111

参考文献 115

绪 论

一、煤化学实验简介

煤化学实验内容包括煤的工业分析、煤中全硫含量的测定、煤发热量的测定、烟煤黏结指数的测定等。实验过程分两个层次：验证性实验和综合性实验。验证性实验为验证课堂所学内容，包括煤的工业分析、煤的元素分析、煤的发热量测定及煤的有关工艺指标测定。综合性实验则由学生任取煤样，根据所学的知识，自行确定实验方案，测定出煤的各项指标，判断煤的应用范围。

二、煤化学实验教学目标

通过实验课程的学习和锻炼，使学生在具有一定动手能力的基础上，巩固和加深煤化学课程的理论知识，加强独立分析问题和解决问题的能力、综合设计及创新能力，同时培养学生灵活运用基本理论和理论指导下的科学研究能力，培养严肃认真、精益求精的科学素养。

三、实验方式与基本要求

- ① 本课程的实验开始前，任课教师必须向学生讲明实验的性质、任务、要求、课程安排和进度、实验守则及实验室安全制度、考试考核内容和办法。
- ② 实验前学生必须进行预习，写好实验提纲，经教师批准后方可进入实验室进行实验。
- ③ 实验按仪器设备情况分组，在规定的时间内由学生独立完成。实验过程中出现的问题，教师要引导学生独立分析、解决。
- ④ 任课教师在实验前清点学生人数，实验中按要求做好学生实验情况及实验结果的记录。

四、学生实验守则

- ① 严格遵守实验纪律，在实验室内保持严肃安静，遵守实验室的一切规章制度，

听从指导教师安排。

- ② 实验前要认真预习，写好预习报告，经教师提问通过后，方可准予参加实验。
- ③ 实验时要严格遵守仪器、设备、电路的操作规程，不得擅自变更，操作前须经指导教师检查同意后方可连通电路和开车，操作中仔细观察，如实记录现象和数据。仪器设备发生故障严禁擅自处理，应立即报告指导教师。
- ④ 实验后根据原始记录，处理数据、分析问题，及时作好实验总结报告。
- ⑤ 爱护仪器、注意安全，水、电、煤气、药品要节约使用。
- ⑥ 保持实验室整洁，废品、废物丢入垃圾箱内，废液统一回收处理。
- ⑦ 实验完毕将一组数据记录在签到单上，待指导教师审查通过后，做好清洁工作，恢复仪器设备原状，关好门窗和检查水、电、气源是否关好，方可离开实验室。

实验三 煤中全硫含量的测定 47

实验四 煤中全氮含量的测定 47

实验五 煤中全磷含量的测定 47

实验六 煤中全氯含量的测定 47

实验七 煤中全氟含量的测定 47

实验八 煤中全碘含量的测定 47

实验九 煤中全溴含量的测定 47

实验十 煤中全砷含量的测定 47

实验十一 煤中全汞含量的测定 47

附录 111

附录一 煤质分析常用术语 111

附录二 煤质分析常用符号 111

附录三 煤质分析常用单位 111

附录四 煤质分析常用试剂 111

附录五 煤质分析常用仪器 111

附录六 煤质分析常用标准 111

附录七 煤质分析常用方法 111

附录八 煤质分析常用数据 111

附录九 煤质分析常用图表 111

附录十 煤质分析常用公式 111

附录十一 煤质分析常用表格 111

参考文献 113

参考文献一 113

参考文献二 113

参考文献三 113

参考文献四 113

参考文献五 113

参考文献六 113

参考文献七 113

参考文献八 113

参考文献九 113

参考文献十 113

参考文献十一 113

参考文献十二 113

参考文献十三 113

参考文献十四 113

参考文献十五 113

参考文献十六 113

参考文献十七 113

参考文献十八 113

参考文献十九 113

参考文献二十 113

参考文献二十一 113

参考文献二十二 113

参考文献二十三 113

参考文献二十四 113

参考文献二十五 113

参考文献二十六 113

参考文献二十七 113

参考文献二十八 113

参考文献二十九 113

参考文献三十 113

参考文献三十一 113

参考文献三十二 113

参考文献三十三 113

参考文献三十四 113

参考文献三十五 113

参考文献三十六 113

参考文献三十七 113

参考文献三十八 113

参考文献三十九 113

参考文献四十 113

参考文献四十一 113

参考文献四十二 113

参考文献四十三 113

参考文献四十四 113

参考文献四十五 113

参考文献四十六 113

参考文献四十七 113

参考文献四十八 113

参考文献四十九 113

参考文献五十 113

第一章

煤质分析基本术语

本部分内容摘自 GB/T 3715—2007 和 GB/T 483—2007，详细内容请参照标准原文。

第一节 煤及其产品术语

- ① 煤 (coal): 亦称煤炭, 指植物遗体在覆盖底层下, 经复杂的生物化学和物理化学作用转化而成的固体有机可燃沉积岩。
- ② 煤当量 (coal equivalent): 亦称标准煤, 是能源的统一计量单位。指凡能产生 29.27MJ 低位发热量的任何能源均可折算为 1kg 煤当量值。
- ③ 毛煤 (run-of-mine coal, ROM coal): 指煤矿生产出来的, 未经任何加工处理的煤。
- ④ 原煤 (raw coal): 指从毛煤中选出规定粒度的矸石 (包括黄铁矿等杂物) 以后的煤。
- ⑤ 商品煤 (commercial coal): 指作为商品出售的煤。
- ⑥ 洗选煤 (washed coal): 指经过洗选加工的煤。
- ⑦ 精煤 (cleaned coal): 指煤经精选 (干选或湿选) 加工生产出来的、符合品质要求的产品。
- ⑧ 中煤 (middlings): 煤经精选后得到的、品质介于精煤和矸石之间的产品。
- ⑨ 洗矸 (washery rejects): 由煤炭洗选过程中排出的高灰分产品。
- ⑩ 煤泥 (slime): 粒度在 0.5mm 以下的一种洗煤产品。
- ⑪ 煤泥浆 (screened coal): 经过筛选加工的煤。
- ⑫ 矸石 (refuse, gangue): 又称矸子, 指采、掘煤炭过程中从顶、底板或煤层

夹矸混入煤中的岩石。

⑬ 动力煤 (fuel coal, steam coal): 又称动力用煤, 指通过煤的燃烧来利用其热值的煤炭。主要应用于发电煤粉锅炉、工业锅炉和工业窑炉中, 包括电煤、锅炉煤和建材用煤等。

⑭ 型煤 (briquette): 又称煤砖, 指将粉碎的煤料以适当的工艺和设备加工成具有一定几何形状 (如椭圆形、菱形和圆柱形等)、一定尺寸和一定理化性能的块状燃料。一般分工业型煤和民用型煤。

⑮ 水煤浆 (coal water mixture): 指将煤、水和少量添加剂经过物理加工过程制成的具有一定细度、能流动的稳定浆体。

第二节 煤炭分类术语

① 煤阶 (rank): 又称煤级, 指煤化作用深浅程度的阶段。

② 褐煤 (brown coal, lignite): 指煤化程度低的煤, 外观多呈褐色, 光泽暗淡, 含有较高的内在水分 and 不同数量的腐殖酸。

③ 次烟煤 (sub-bituminous coal): 指镜质体平均随机反射率 $0.4\% \leq R_{\text{ran}} < 0.5\%$ 的煤。

④ 烟煤 (bituminous coal): 指煤化程度高于褐煤而低于无烟煤的煤, 其特点是挥发分产率范围宽, 单独炼焦时从不结焦到强结焦均有, 燃烧时有烟。

⑤ 无烟煤 (anthracite): 指煤化程度高的煤, 挥发分低, 密度大, 燃点高, 无黏结性, 燃烧时多不冒烟。

⑥ 硬煤 (hard coal): 为中等变质程度煤 (烟煤) 和高变质程度煤 (无烟煤) 的合称, 镜质体平均随机反射率 $0.5\% \leq R_{\text{ran}} < 0.6\%$ 的煤, 或上限采用镜质体平均最大反射率 $R_{\text{max}} < 8.0\%$ 。

⑦ 长焰煤 (long flame coal): 指变质程度最低, 挥发分最高的烟煤, 一般不结焦, 燃烧时火焰长。

⑧ 不黏煤 (non-caking coal): 指变质程度较低的、挥发分范围较宽、无黏结性的烟煤。

⑨ 弱黏煤 (weakly caking coal): 指变质程度低、挥发分范围较宽的烟煤。黏结性介于不黏煤和 1/2 中黏煤之间。

⑩ 1/2 中黏煤 (1/2 medium caking coal): 指黏结性介于气煤和弱黏煤之间的、挥发分范围较宽的烟煤。

⑪ 气煤 (gas coal): 变质程度较低、挥发分较高的烟煤。单独炼焦时, 焦炭多细长、易碎, 并有较多的纵裂纹。

⑫ 1/3 焦煤 (1/3 coking coal): 指介于焦煤、肥煤与气煤之间的具有中等或较高

挥发分的强黏结性煤。单独炼焦时，能生成强度较高的焦炭。

⑬ 气肥煤 (gas-fat coal): 指挥发分高、黏结性强的烟煤。单煤炼焦时，能产生大量的煤气和胶质体，但不能生成强度高的焦炭。

⑭ 肥煤 (fat coal): 变质程度中等的烟煤。单独炼焦时，能生成熔融性良好的焦炭，但有较多的横裂纹，焦根部分有蜂焦。

⑮ 焦煤 (primary coking coal): 指变质程度较高的烟煤。单独炼焦时，生产的胶质体热稳定性好，所得焦炭的块度大、裂纹少、强度高。

⑯ 瘦煤 (lean coal): 指变质程度较高的烟煤。单独炼焦时，大部分能结焦。焦炭块度大，裂纹少，但熔融性较差，耐磨强度低。

⑰ 贫瘦煤 (meager lean coal): 指变质程度高、黏结性较差、挥发分低的烟煤。结焦性低于瘦煤。

⑱ 贫煤 (meager coal): 指变质程度高、挥发分最低的烟煤。一般不结焦。

■ ■ ■ ■ ■ 第三节 煤炭采样和制样术语 ■ ■ ■ ■ ■

① 煤样 (coal sample): 为确定煤的某些特性而从煤中采取的具有代表性的一部分煤。

② 采样 (sampling): 从大量煤中采取有代表性的一部分煤的过程。

③ 随机采样 (random sampling): 指在采取子样时，对采样的部位或时间均不施加任何人为的意志，能使任何部位的煤都有机会采出。

④ 系统采样 (systematic sampling): 指按相同的时间、空间或质量的间隔采取子样，但第一个子样在第一个间隔内随机采取，其余的子样按选定的间隔采取。

⑤ 多份采样 (reduplicate sampling): 指按一定的间隔采取子样，并将它们轮流放入不同的容器中构成两个或两个以上质量接近的煤样。

⑥ 批 (lot): 需要进行整体性质测定的一个独立煤量。

⑦ 子样 (increment): 采样器具操作一次或截取一次煤流全横截段所采取的一份样。

⑧ 总样 (gross sample): 从一个采样单元取出的全部子样合并成的煤样。

⑨ 分样 (partial sample): 由均匀分布于整个采样单元的若干个子样组成的煤样。

⑩ 试验室煤样 (laboratory sample of coal): 由总样或分样缩制的送往试验室供进一步制备的煤样。

⑪ 一般分析试验煤样 (general analysis test sample of coal): 破碎到粒度小于 0.2mm，并达到空气干燥状态，用于大多数物理和化学特性测定的煤样。

⑫ 煤标准物质 (certified reference-materials of coal): 附有证书的煤标准物质, 其一种或多种特性值用建立了溯源性的程序确定, 使之可溯源到准确复现的用于表示该特性值的计量单位, 而且每个标准值都附有给定置信水平的不确定度。

⑬ 专用无烟煤 (special anthracite): 专门用于测定黏结指数或罗加指数, 其技术指标达到规定要求的无烟煤。

⑭ 制样 (sample preparation): 试样达到分析或试验状态的过程, 主要包括破碎、混合和缩分, 有时还包括筛分和空气干燥, 它可以分为几个阶段进行。

⑮ 试样破碎 (sample reduction): 用破碎或研磨的方法减小试样粒度的过程。

⑯ 试样混合 (sample mixing): 将试样混合均匀的过程。

⑰ 试样缩分 (sample division): 将试样分成有代表性的、分离的几部分的制样过程。

第四节 煤质分析术语

① 工业分析 (proximate analysis): 指水分、灰分、挥发分和固定碳四个项目分析的总称。

② 外在水分 (free moisture, surface moisture): M_f , 指在一定条件下煤样与周围空气湿度达到平衡时所失去的水分。

③ 内在水分 (inherent moisture): M_{inh} , 指在一定条件下煤样与周围空气湿度达到平衡时所保持的水分。

④ 全水分 (total moisture): M_t , 煤的外在水分和内在水分的总和。

⑤ 一般分析试验煤样水分 (moisture in the general analysis test sample): M_{ad} , 又称空气干燥基煤样水分, 指在规定条件下测定的一般分析煤样水分。

⑥ 最高内在水分 (moisture holding capacity): MHC, 指煤样在温度 30°C 、相对湿度 90% 下达到平衡时测得的内在水分。

⑦ 化合水 (water of constitution): 与矿物质结合的、除去全水分后仍保留下来的水分。

⑧ 矿物质 (mineral matter): MM, 指煤中的无机物质, 不包括游离水, 但包括化合水。

⑨ 灰分 (ash): A, 指煤样在规定条件下完全燃烧后所得的残留物。

⑩ 外来灰分 (extraneous ash): 由煤炭生产过程混入煤中的矿物质所形成的灰分。

⑪ 内在灰分 (inherent ash): 由原始成煤植物中的和由成煤过程进入煤层的矿物质所形成的灰分。

⑫ 碳酸盐二氧化碳 (carbonate carbon dioxide): CO_2 , 煤中以碳酸盐形态存在的二氧化碳。

⑬ 挥发分 (volatile matter): V , 指煤样在规定条件下隔绝空气加热, 并进行水分校正后的质量损失。

⑭ 焦渣特性 (char residue characteristic): CRC , 煤样在测定挥发分后的残留物的黏结、结焦性状。

⑮ 固定碳 (fixed carbon): FC , 从测定挥发分后的煤样残渣中减去灰分后的残留物, 通常由 100 减去水分、灰分和挥发分得出。

⑯ 燃料比 (fuel ratio): FC/V , 煤的固定碳和挥发分之比。

⑰ 有机硫 (organic sulfur): S_o , 指与煤的有机质相结合的硫, 实际测定中以全硫减去硫铁矿硫和硫酸盐硫得出。

⑱ 无机硫 (inorganic sulfur, mineral sulfur): 又称矿物质硫, 煤中矿物质内的硫化物硫、硫铁矿硫、硫酸盐硫和单质硫的总称。

⑲ 单质硫 (elemental sulfur): S_e , 又称元素硫, 煤中以游离状态赋存的硫。

⑳ 全硫 (total sulfur): S_t , 煤中无机硫和有机硫的总和。

㉑ 硫铁矿硫 (pyretic sulfur): S_p , 煤的矿物质中以黄铁矿或白铁矿形态存在的硫。

㉒ 硫酸盐硫 (sulfate sulfur): S_s , 煤的矿物质中以硫酸盐形态存在的硫。

㉓ 固定硫 (fixed sulfur): 煤热分解后残渣中的硫。

㉔ 真相对密度 (true relative density): TRD , 又称真比重, 指在 20°C 时煤 (不包括煤的空隙) 的质量与同体积水的质量之比。

㉕ 视相对密度 (apparent relative density): ARD , 又称视比重或容重, 指在 20°C 时煤 (包括煤的空隙) 的质量与同体积水的质量之比。

㉖ 散密度 (bulk density): 又称堆密度或堆比重, 指在规定条件下, 单位体积散状煤的质量。

㉗ 块密度 (density of lump): 又称体重, 指整块煤的单位体积质量。

㉘ 孔隙率 (porosity): 又称孔隙度, 指煤的毛细孔体积与煤的视体积 (包括煤的空隙) 的百分比。

㉙ 弹筒发热量 (bomb calorific value): Q_b , 指单位质量的试样在充有过量氧气的氧弹内燃烧, 其燃烧产物组成为氧气、氮气、二氧化碳、硝酸和硫酸、液态水以及固态灰时释放出的热量。

㉚ 恒容高位发热量 (gross calorific value at constant volume): $Q_{gr,v}$, 指单位质量的试样在恒容条件下, 在过量氧气中燃烧, 其燃烧产物组成为氧气、氮气、二氧化碳、二氧化硫、液态水以及固态灰时释放出的热量。

恒容高位发热量在数值上等于弹筒发热量减去硝酸生成热和硫酸校正热。

㉛ 恒容低位发热量 (net calorific value at constant volume): $Q_{net,v}$, 指单位质量的试样在恒容条件下, 在过量氧气中燃烧, 其燃烧产物组成为氧气、氮气、二氧化

碳、二氧化硫、气态水以及固态灰时释放出的热量。

恒容低位发热量在数值上等于恒容高位发热量减去水（煤中原有的水和煤中氢燃烧生成的水）的汽化热。

② 恒压低位发热量（net calorific value at constant pressure）： $Q_{\text{net,p}}$ ，指单位质量的试样在恒压条件下，在过量氧气中燃烧，其燃烧产物组成为氧气、氮气、二氧化碳、二氧化硫、气态水以及固态灰时释放出的热量。

③ 元素分析（ultimate analysis）：指碳、氢、氧、氮、硫五个煤炭分析项目的总称。

④ 灰成分分析（ash analysis）：灰的元素组成（通常以氧化物表示）分析。

⑤ 着火温度（ignition temperature）：又称着火点，指煤释放出足够的挥发分与周围大气形成可燃混合物的最低燃烧温度。

⑥ 结焦性（coking property）：煤经干馏形成焦炭的性能。

⑦ 黏结性（caking property）：煤在干馏时黏结其本身或外加惰性物质的能力。

⑧ 塑性（plastic property）：煤在干馏时形成的胶质体的黏稠、流动、透气等性能。

⑨ 膨胀性（swelling property）：指煤在干馏时体积发生膨胀或收缩的性能。

⑩ 胶质层指数（plastometer indices）：由萨波日尼科夫提出的一种表征烟煤塑性的指标，以胶质层最大厚度 Y 值、最终收缩度 X 值等表示。

⑪ 胶质层最大厚度（maximum thickness of plastic layer）： Y ，烟煤胶质层指数测定中利用探针测出的胶质体上、下层面差的最大值。

⑫ 胶质层体积曲线（volume curve of plastic layer）：指烟煤胶质层指数测定中记录的胶质体上部层面位置随温度变化的曲线。

⑬ 最终收缩度（final contraction value plastometric shrinkage）： X ，烟煤胶质层指数测定中温度 730°C 时，体积曲线终点与零点线的距离。

⑭ 罗加指数（Roga index）： $R. I.$ ，指由罗加提出的煤的黏结力的量度，以在规定条件下，煤与标准无烟煤完全混合并炭化后所得焦炭的机械强度来表征。

⑮ 黏结指数（caking index）： G 指数或 $GR. I.$ ，指由中国提出的煤的黏结力的量度，以在规定的条件下烟煤与专用无烟煤完全混合并炭化后所得焦炭的机械强度来表征。

⑯ 坩埚膨胀序数（crucible swelling number）： CSN ，又称自由膨胀指数，指以在规定的条件下煤在坩埚中加热所得焦块膨胀程度的序号表征。

⑰ 奥-阿膨胀度（Audiberts-Arnu dilation）：由奥迪贝尔和阿尼二人提出的煤的膨胀性和塑性的量度，以膨胀度 b 和收缩度 a 等参数表征。

⑱ 吉氏流动度（Gieseler fluidity）：又称吉泽勒（基斯勒）流动度，指由吉泽勒提出的烟煤塑性的量度，以最大流动度等表征。

⑲ 格-金干馏试验（Gray-King assay）：又称葛-金干馏试验，指由格雷和金二人提出的煤低温干馏试验方法，用以测定热分解产物收率和焦型。

⑤⑩ 铝甑干馏试验 (Fisher-Schrader assay): 由费希尔和施拉德二人提出的低温干馏试验方法, 用以测定焦油、半焦、热解水收率。

⑤⑪ 落下强度 (shatter strength): SS, 又称机械强度或抗碎强度, 指煤炭抗破碎能力的量度, 以在规定条件下, 一定粒度的煤样自由落下后大于 25mm 的块煤占原煤样的质量分数表示。

⑤⑫ 热稳定性 (thermal stability): TS, 煤炭受热后保持规定粒度能力的量度, 以在规定条件下, 一定粒度的煤样受热后大于 6mm 的颗粒占原煤样的质量分数表示。

⑤⑬ 煤对二氧化碳的反应性 (carboxy reactivity): α , 煤与二氧化碳反应能力的量度, 以在规定条件下煤将二氧化碳还原为一氧化碳的质量分数表示。

⑤⑭ 结渣性 (clinkering property): C_{lm} , 指煤在气化或燃烧过程中, 煤灰受热、软化、熔融而结渣的性能的量度, 以一定粒度的煤样燃烧后, 大于 6mm 的渣块占全部残渣的质量分数表示。

⑤⑮ 可磨性 (grindability): 指在规定条件下, 煤研磨成粉的难易程度。

⑤⑯ 哈氏可磨性指数 (Hardgrove grindability index): HGI, 又称哈德格罗夫可磨性指数, 指由哈德格罗夫提出的煤研磨成粉难易程度的量度, 以在规定条件下, 一定粒度的煤用哈氏可磨性测定仪研磨后, 与小于 0.071mm 粒度的试样量相对应的可磨性指数表示。

⑤⑰ 磨损性指数 (abrasion index): AI, 煤磨碎时对金属件的磨损能力的量度, 以在规定条件下磨碎 1kg 煤对特定金属件磨损的质量 (mg) 表示。

⑤⑱ 灰熔融性 (ash fusibility): 又称灰熔点, 在规定条件下得到的随加热温度而变化的煤灰变形、软化、呈半球状和流动特征物理状态 (或温度)。

⑤⑲ 变形温度 (deformation temperature): DT, 又称 T_1 , 指在灰熔融性测定中, 灰锥尖端 (或棱) 开始变圆或变曲时的温度。

⑤⑳ 软化温度 (softening temperature): ST, 又称 T_2 , 指在灰熔融性测定中, 灰锥弯曲至锥尖触及托板或灰锥变成球体时的温度。

⑤㉑ 半球温度 (hemispherical temperature): HT, 指在灰熔融性测定中, 灰锥形状变至近似半球形, 即高约等于底长的一半时的温度。

⑤㉒ 流动温度 (flow temperature): FT, 又称 T_3 , 指在灰熔融性测定中, 灰锥融化展开成高度小于 1.5mm 的薄层时的温度。

⑤㉓ 灰黏度 (ash viscosity): 煤灰在熔融状态下对流动阻力的量度。

⑤㉔ 碱/酸比 (base/acid ratio): 煤灰中碱性组分 (铁、钙、镁、锰等的氧化物) 与酸性组分 (硅、铝、钛的氧化物) 之比。

⑤㉕ 酸性基 (acidic groups): 煤中呈酸性的含氧官能团的总称, 主要为羧基和酚羟基。

⑤㉖ 腐殖酸 (humic acid): HA, 煤中能溶于稀苛性碱和焦磷酸钠溶液的一组高分子量的多元有机、无定形化合物的混合物。

第五节 煤质分析结果中基的表示术语

- ① 收到基 (as received basis): ar, 又称应用基, 以收到状态的煤为基准。
- ② 空气干燥基 (air dried basis): ad, 又称分析基, 指与空气湿度达到平衡状态的煤为基准。
- ③ 干燥基 (dry basis): d, 又称干基, 以假想无水状态的煤为基准。
- ④ 干燥无灰基 (dry ash-free basis): daf, 又称可燃基, 以假想无水、无灰状态的煤为基准。
- ⑤ 干燥无矿物质基 (dry mineral matter-free basis): dmmf, 又称有机质, 以假想无水、无矿物质状态的煤为基准。

第六节 煤质分析结果术语及符号

收到基全水分, $M_{t,ar}$;

空气干燥基全硫, $S_{t,ad}$;

干燥无灰基挥发分, V_{daf} ;

干燥无矿物质基固定碳, FC_{dmmf} ;

收到基恒压低位发热量, $Q_{net,p,ar}$ 。

第二章

实验数据误差分析与数据处理

通过实验测量所得大批数据是实验的主要成果，但在实验中，由于实验设备方法的不完善、周围环境的影响，以及测量仪表和人的观察等方面的原因，实验测量值和真实值总是存在一定的差异。误差是直接或间接的实验测量值与客观存在的真实值之差，所以在整理这些数据时，首先应对实验数据的可靠性进行客观的评定。

误差分析的目的就是评定实验数据的准确性，通过误差分析，认清误差的来源及其影响，并设法消除或减少误差，提高实验的准确性。对实验误差进行分析和估算，在评判实验结果和设计方案方面具有重要的意义。本章就煤化学实验中遇到的一些误差基本概念与估算方法及其数据处理作简要的介绍。

第一节 实验数据的测量值及其误差

一、真值与平均值

测量是人类认识事物本质的一种手段。通过测量和实验能使人们对事物获得定量的概念和发现事物的规律。科学上很多新的发现和突破都是以实验测量为基础的。测量就是用实验的方法，将被测量物理量与所选作为标准的同类量进行比较，从而确定它的大小。

真值是某待测物理量客观存在的确定值，也是理论值和定义值。通常真值是无法测得的，是一个理想值。科学实验中真值是指：设在测量中观察的次数为无限多，根据误差分布定律知正负误差的出现概率相等，故将各观察值相加得以平均，在无系统误差情况下，可能获得极近于真值的数值。然而在工程实验中，观察的次数都是有限的，故用有限观察次数求出平均值，只能是近似值，或称为最佳值。一般称这一最佳