

高等学校教学用书

普通燃料化学工艺学

C. B. 卡弗达諾夫主編

高等教育出版社

高等学校教学用书



普通燃料化学工艺学

C. B. 卡弗达諾夫主編

天津大学化工系燃料化学工学教研室譯

高等教育出版社

本書系根据 1947 年苏联国立化学科技書籍出版社 (Государственное научно-техническое издательство химической литературы) 出版的卡弗达諾夫 (С. В. Кафтанов) 主編的“普通燃料化学工艺学” (Общая химическая технология топлива) 一書譯出。

原書經苏联高等教育部审定为高等化工学校及化工系的教科書, 書中講述固体、液体和气体燃料热加工的基本工艺过程、設備和操作条件。除叙述这些过程的理論基础和工艺外, 書中闡述了主要設備和机械的構造应如何选择的原则, 并且討論了設備和机械的管理方法。

本書共分六篇。第一篇为固体矿物燃料的特性和热加工方法; 第二篇为低温干餾、煉焦和气化; 第三篇为低温干餾、煉焦和气化的揮發产物的冷凝和回收; 第四篇为低温干餾、煉焦和气化的液体产物的加工; 第五篇为石油及其加工; 第六篇为制取液体燃料的新方法。

本書供高等工業学校化工系燃料化学工艺学專業作为教科書, 也可供工程技術人員参考。

参加本書譯校工作的为天津大学化工系燃料化学工艺学教研室刘焯、朱士亮、叶永昌、时其昌、吳植仁、柳作良、郭崇濤、張近謀、鍾賢, 大連工学院王化周、浙江大学潘祖仁等同志。

普 通 燃 料 化 学 工 艺 学

C. B. 卡 弗 达 諾 夫 主 編

天津大学化工系燃料化学工艺学教研室譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第 054 号)

京华印書局印刷 新华書店發行

統一書号 15010·665 開本 787×1092 1/18 印張 24 插頁 1 字數 554,000 印數 0001—2,000
1958 年 4 月第 1 版 1958 年 4 月北京第 1 次印刷 定價 (10) 元 3.00

第 二 版 序

“普通燃料化学工艺学”教科書第一版在 1941 年問世。鑒于此教科書迅速售罄和对于此教科書的需要显著增長，因而著者編写了本教科書的新版。

为了提高此教科書的質量，在新版教科書的編写过程中，著者精簡了对过程和設備的某些細節的描述，并且縮短了某些章节，因而略为縮小了此教科書的篇幅。

因此，在本書第二版中沒有列入“序論”和“中溫煉焦”一章。縮短了“冷凝和回收”一章和其他各章中的个别小节。第二版中补充了下列各节：蒸餾与精餾理論簡述、催化裂化方面的新的資料和制造合成燃料的現代裝置的操作的描述。

希讀者提出自己对本書的願望和意見，对于这些願望和意見著者除感謝外均將加以考虑。

第 一 版 序

本教科書是在 E·B·拉闊夫斯基教授和 E·Д·李德尔教授的統一領導下，和科学研究所与工業部門的許多工作者的參加下，由莫斯科門捷列夫化工学院的教授和教师們編写而成的。本書是按照給热解專業学生作为共同入門課程而講授的“普通燃料化学工学”教学大綱編写的。过去所出版的不論是苏联的，或是翻譯的燃料化学方面的教科書，或者是主要从工艺的观点来討論各种燃料利用过程，而对于燃料化学加工的工艺和技术方面的一些問題注意不足，或者是只談到个別的生产，而沒有包括热解过程工艺学的全部。

近年来，燃料的化学加工在苏联获得愈来愈大的發展。联共（布）第 18 次代表大会在第三个斯大林五年計劃中对燃料化学加工提出了更加強力發展的大規模的計劃。

因此，培养这一工業部門的精通業務的工程技术干部具有特殊的意义。

由于本書是为高等化工学校編写普通燃料化学工艺学的教科書的初次嘗試，所以当然是不可能对研究燃料化学加工的多种多样过程时所發生的一切問題都加以詳尽無遺的闡述。編著者認為應該只扼要地說明燃料化学加工的一些基本問題。虽然如此，但是由于題目本身的範圍太广，所以全書的篇幅仍然是很大的。

出版了本教科書并不是說就不需要出版燃料化学工艺学各專門課程——煉焦、气化、低溫干餾等等——的教学用書了，相反地是需要出版的，因为在这些教学用書

中对专门课程的材料要讲述得更详细些。

有下列一些人参加各章的编写工作：

緒論——K·H·克洛波托夫；第一章和第二章——E·B·拉闊夫斯基教授；第三章——E·Э·李德尔教授；第四章——技术科学候补博士H·Л·塔拉諾夫；第五章——技术科学候补博士H·Л·塔拉諾夫与Л·B·納果尔斯基教授共同编写（低温煉焦爐与換热室的計算由Л·B·納果尔斯基教授编写）；第六章——K·H·克洛波托夫；第七章——E·Э·李德尔教授与技术科学候补博士H·B·皮良金和技术科学候补博士И·Л·伐尔貝洛夫共同编写（煉焦爐的計算为根据Л·B·納果尔斯基教授的材料编写）；第八章——苏联科学院通訊院士A·B·車尔尼雪夫与技术科学候补博士H·B·拉甫洛夫和M·K·皮斯明工程师共同编写；第九章——苏联科学院通訊院士A·B·車尔尼雪夫与技术科学候补博士H·C·別楚洛共同编写；第十章——И·M·古尔芬凱利工程师；第十一章——技术科学候补博士П·A·捷斯涅尔；第十二章——K·H·克洛波托夫和技术科学候补博士H·B·皮良金共同编写（低温煉焦和煉焦化学工厂中冷凝流程的描述由H·B·皮良金编写）；第十三章——技术科学候补博士H·B·皮良金；第十四章——H·H·叶果洛夫工程师B·Л·費德洛夫斯基工程师A·A·列瓦金工程师（氫的回收一节由A·A·列瓦金工程师编写）；第十五章——П·H·費多托夫副教授；第十六章——П·H·費多托夫副教授与Г·П·格利高里耶夫副教授共同编写（Г·П·格利高里耶夫副教授参加輕中油餾分加工的描述部分的编写）；第十七章和第十八章——白俄罗斯科学院通訊院士B·E·托闊夫斯基；第十九章至第二十五章——H·Г·斯切潘諾夫工程师；第二十六章——B·B·凱利采夫工程师。

希望所有在自己的学习或教学工作中使用本書的同志們提出对于本書的意見，对这些意見著者除表示感謝外均將加以考虑。

目 录

第二版序

第一版序

第一篇 固体矿物燃料的特性与热加工方法

第一章 燃料的特性	1
燃料的組成部分及其性質	1
燃料的工業分析与元素分析(2) 燃料的热值(3) 苏联最主要的产地的煤的化学組成与岩相組成(6): 絲炭、鏡煤、暗煤、亮煤、煤的岩相組成在选煤过程中的作用	
溶剂处理时分离出来的矿物煤的組成部分	9
瀝青及其組成(9) 瀝青在燃料热加工过程中的作用	
腐植酸(13): 腐植酸的物理-化学性質,在煤的老化过程中,腐植酸含量的变化,氧化煤的腐植酸	
殘留煤(15)	
固体矿产燃料的分类	15
格留涅尔的分类和頓巴斯煤的分类(15) 巴尔的分类(16)	
第二章 固体矿产燃料的热解加工过程	17
固体燃料热解加工的阶段	17
燃料的干燥(17) 初步干餾(17) 低温干餾(低温煉焦)(18) 高温煉焦(18): 煤的粘結性、煤的塑性状态、瀝青的影响	
气化(21) 破坏加氢(22)	
燃料低温干餾初級产物的变化过程的化学机理	22
初焦油及其組成与性質(22): 初焦油的蒸餾	
焦油下水(25) 低温干餾煤气及其組成(25)	
固体燃料高温干餾的产物	26
煤焦油(26): 煤焦油的芳構化	
焦爐煤气(28)	
初焦油的裂化和加氢	29
由气体合成液体燃料	32

第二篇 低温干餾,煉焦和气化

第三章 选煤	33
选煤的方法	33
煤的过篩(34): 欄篩、滾柱或滾軸篩、平面搖动篩、巴烏姆篩、費尔拉里斯式篩、考克斯篩、振動篩、轉筒篩	
煤的粉碎(40): 鄂式破碎机、輥式破碎机、鼠籠式粉碎机和錘式破碎机	
选矸(44): 平面篩或运输帶、轉动选矸台、按塊子的形狀选矸的篩子、布列德佛尔德破碎机	
按比重选煤(45): 重液中測定可选性的方法	
湿选(47): 湿选的理论流程和、水流連續上升式洗选設備、張斯錐形器、水簸机、罗氏洗选机、淘选台、浮选机	
脱水(57): 洗滌水	
干选(58)	
第四章 低温干餾(低温煉焦)	60
低温干餾的溫度和燃料的加热速度(61) 燃料塊度对产品产率的影响(62) 低温干餾的方法(62) 低温干餾时压力之作用(63) 低温干餾产品的利用(64): 半焦、初焦油	
低温干餾爐与煤气工厂及鍋爐设备的联合(64)	

第五章 低温干馏爐	67
热式固定爐	67
拉列式爐(67) “考立特”爐(69) 低温干馏爐(70)	
外热式迴轉爐	72
KSG式爐(72) 盖先式爐(72)	
固定式內热式爐	73
宾契式爐(73) 內热式三段爐(76)	
燃料移动的內热式爐	77
隧道式爐(77)	
第六章 煉焦与煉焦爐	79
煉焦技术与煉焦爐結構的發展	79
初期煉焦爐的構造	
近代煉焦爐	82
奧托式煉焦爐(82) 考培式煉焦爐(85) 科卜斯廢气循环式煉焦爐(86) 別科尔式煉焦爐(88)	
近代煉焦爐的分类	89
煉焦爐的尺寸(91)	
連續操作的直立式焦爐	92
焦爐的附件(92) 焦爐的机械和机构(94) 裝煤車、推焦机、提門裝置、帶有导焦裝置的提門机、熄焦車、熄焦塔、焦爐上使用的其他机械和机构、焦池、篩焦樓	
煉焦爐的管理	101
焦爐之裝煤(101): 煤塔、裝煤車的裝煤、裝爐、平煤	
推焦(103): 推焦前爐子之准备、推焦	
熄焦与篩焦(105): 湿法熄焦、干法熄焦、篩焦	
焦爐机械的工作時間表(106)	
煉焦爐的加热	107
加热用之附件(107): 交換机、由富气加热的焦爐改为貧气加热、控制和調节加热的裝置	
焦爐的操作条件	112
加热条件(112) 压力条件(114) 热工檢查(115)	
修砌焦爐用之耐火材料	115
焦爐之烘爐	116
煉焦爐炭化室内所进行的过程	118
煤料的塑性状态和焦炭的形成(118) 煤料的导热及傳热(119) 气体在焦爐煤餅中的运动(121)	
焦爐平衡的拟制方法	123
物料平衡(123) 热量平衡(124)	
煉焦爐的計算	126
焦炭的質量	126
焦炭的組成(127) 焦炭的物理-机械性質(127): 轉鼓試驗和落下試驗、裂紋率与气孔率	
焦炭之反应能力(129)	
第七章 固体燃料的气化	130
煤气發生过程的物理-化学基础	130
煤气發生爐工作流程(130) 气化过程各主要反应的机理(132) 固体燃料的气化过程(133)	
煤气發生爐气化过程基本反应的热效应和化学平衡(134) 煤气發生爐气化过程的化学反应的动力学基础(137)	
發生爐煤气生产过程的技术基础	139
影响固体燃料气化过程的基本因素(139) 燃料干馏残留物的反应能力(139)	
理想的發生爐煤气	141
工業發生爐煤气及其制取的技术方法	143
水煤气的間隙生产方法(146) 水煤气的連續生产方法(150) 小顆粒燃料的气化(151)	

高压气化(152)	
煤的地下气化	153
第八章 煤气发生炉及其基本零件的构造	157
煤气发生炉的型式和种类	157
固定炉栅煤气发生炉(157): 平炉栅煤气发生炉、阶梯式炉栅煤气发生炉、圆形吹风头煤气发生炉	
转动炉栅煤气发生炉(159) 凯尔别里式煤气发生炉、科列尔式煤气发生炉、杰依茨式煤气发生炉、吉里盖尔式煤气发生炉	
无炉栅式煤气发生炉(161): 液态排渣煤气发生炉	
具有机械驱动装置的煤气发生炉(162): 契帕孟式煤气发生炉、凡尔孟式煤气发生炉	
专门化的煤气发生炉(163): 利用显热的煤气发生炉、制取焦油的煤气发生炉	
动力煤气发生炉(164): 捷依吉茨式煤气发生炉、反向过程煤气发生炉	
制取水煤气和复水煤气的煤气发生装置(166): 里姆-拉姆布斯式煤气发生炉、斯脱拉赫式煤气发生炉	
煤气发生炉的加料装置和转动炉栅的传动机构(169): 加料装置、传动机构	
煤气发生过程的计算	171
煤气发生站的操作原理	172
煤气发生站的构造(172) 煤气发生炉的操作(175) 煤气发生站操作的组织-技术问题(177)	
第九章 照明煤气(家庭用煤气)的制造	179
用烟煤制造照明煤气	180
对气煤的要求(180)	
煤气炉的型式和结构	181
炉筒、瓶和室、炉灶、蓄热室、火道、从炉内导出煤气的设备	
水平瓶式煤气炉(184) 连续操作的直立瓶式煤气炉(184) 室式煤气炉(185): 水平室式煤气炉、直立室式煤气炉、连续式直立瓶式煤气炉	
瓶内导入蒸汽(186) 制造照明煤气的煤气厂的一般流程(187)	
第十章 煤气的储存与输送	188
煤气管道	188
煤气管道的计算(188): 在煤气管道沿綫上的压力损失、局部阻力、简单的和复杂的煤气管道的计算	
煤气幹綫管道(193) 煤气網(195): 城市煤气網、工厂煤气網	
热煤气管道(197) 煤气的压缩(197) 煤气管道的构造(199): 管子、管子的联结、关闭装置、补偿器、凝液排除罐、煤气管道的支柱	
储气罐	202
湿式储气罐(203) 干式储气罐(204) 高压储气罐(205) 储气罐的管理(206): 与煤气網的联接、储气罐的选择	
地下煤气庫(207)	
第三篇 低温干餾、煉焦和气化的揮發性产物之冷凝与回收	
第十一章 冷凝与回收	208
煤气的組成和性質	208
在出口处煤气的組成与温度(208) 工业煤气的特征(209) 揮發性产物的冷凝与回收过程(210): 煤气的冷却、焦油的冷凝、氨的提取、苯的回收、萘的清除、硫化化合物和氢的提取、煤气的干燥、煤气的吸送	
第十二章 煉焦化学工厂中的冷凝与回收	213
冷凝与回收的工段与设备	213
集气管(213) 煤气总管、油渣分离器与澄清器(213)	
煤气和氨水的冷却	215
焦油分离	218
煤气的抽出和輸送	221
氨的回收与加工	224
焦油上水中的氨(224) 氨的加工方法(224)	

自煤气中回收氨	226
氨洗油塔	
濃氨水的制取(228): 氨水工段之操作流程、氨蒸餾塔	
硫酸的制取(231)	
回收苯和脫苯的方法	234
洗油的特性(235): 焦油洗油、索拉油	
苯的回收与脫苯之标准流程(236) 脫苯工段流程(238) 粗苯工段的設備(239): 蒸餾塔、 分凝器、預热器、热交換器、冷凝-冷却器、油冷却器	
第十三章 煤气的脫硫	244
煤气的干法脫除硫化氢	244
箱式湖藻矿石法脫硫(244): 脫硫箱的構造特性、塔式脫硫、干法脫硫的操作条件和脫硫剂的再生	
干法脫硫的主要指标(用湖藻矿石)(249) 煤气用活性炭脫除硫化氢(250)	
湿法脫硫的方法	251
不回收硫的湿法脫硫(251): 西博法、帕奇法、鉄-苏打法和鉄-氢的方法	
同时得到元素硫的湿法脫硫(252): 砷-苏打法、砷-苏打法兩段脫硫的过程	
砷-氢法(258) 費雪尔法(258) 酚鈉脫硫法(253)	
煤气之脫除氰化氢	260
干法脫除氰化物(260)	
第四篇 煉焦、低温干餾和气化的液体产物的加工	
第十四章 粗苯的加工	262
蒸餾和精餾过程的理論基础	262
分餾和精餾(269)	
粗苯的加工	273
粗苯的化学精制(274) 初步分餾(275) 用濃硫酸精制餾分(279) 最后精餾(280)	
古馬隆树脂的制取(282) 硫酸的再生(283) 連續操作的精餾系統(284)	
第十五章 初焦油和高温焦油的加工	287
烟煤焦油的蒸餾	287
脫水(287) 間歇式蒸餾流程(290): 利用餾出物蒸汽热量的焦油蒸餾流程、苏联国立煉焦 化学工業設計院式煤焦油蒸餾流程、瀝青的澆注和冷却、焦油蒸餾的操作条件	
煤焦油餾分的二次蒸餾(295): 二次蒸餾的工艺流程	
焦油的連續蒸餾(296): 阿勃杰尔哈利琴系統、管式蒸餾系統	
餾分的結晶和加工为純品	299
萘和蒽的結晶流程(300): 蒽的吸濾、結晶萘的生产、萘的升华	
由煤焦油餾分中制取酚鈉(305): 吹汽脫油和飽和、苏打的苛化、粗酚精餾	
純含氮碱类的制取(309): 含氮碱类硫酸鹽的制取及其分解、含氮碱类的精餾	
煤焦油加工所得产品及其用途(312)	
第十六章 泥炭初焦油的加工	313
泥炭的本性及其加工温度对焦油产率和組成的影响	313
泥炭焦油加工工艺流程(314) 地蜡的制取(314) 焦油蒸餾(316) 酚类的分出与制取(319)	
石蜡生产(322) 中性油精制(323) 瀝青的用途(324)	
第十七章 焦油下水与焦油上水的利用与除毒	326
影响焦油下水与焦油上水的組成的因素	326
燃料加工的温度条件的影响(326) 所加工燃料的組成之影响(327) 冷凝方法的影响(329)	
焦油下水的产率、精制及除毒	330
焦油下水的淨化和加工(331): 用苯脫酚、用磷酸三甲酚來脫酚、廢水的最終淨化(生物法)	
第五篇 石油及其加工	
第十八章 石油之直餾	336

作为一种加工原料之石油的特性	336
石油的特性和分类(336) 石油的物理性質(337)	
石油的直餾	341
石油直餾的产品(341) 石油的蒸餾方法(342): 間歇蒸餾、連續釜連續蒸餾、使用管式裝置 的石油蒸餾、眞沸点(HTK)曲綫和一次汽化(OH)曲綫、石油在管式裝置中之蒸餾、重油減壓蒸 餾以制取潤滑油	
第十九章 重質液体燃料之裂化	349
各种物理-化学因素对于裂化过程的影响和过程的化学机理	350
温度、反应时间和压力的影响(350) 裂化过程的化学机理(350) 裂化之热力学(351)	
重复裂化(循环裂化)(353)	
裂化过程之进行方式	353
裂化工艺学(356) 液相裂化系統(356): 克洛法、溫可勒-柯赫法、石油設計院式双爐裂化法、 联合法	
气相裂化系統(361) 杜布罗瓦(Дубровин)式氧化裂化(362)	
催化裂化	363
顧德礼法(364): 催化剂、催化室、工厂操作流程	
塞摩福尔催化裂化(367) 流化床催化裂化(369)	
第二十章 裂化裝置与直餾裝置之設備	371
管式爐	371
福斯特爐(371): 爐子的輻射室与对流室、爐子的迴弯头和加热线、爐子的構造和生爐	
溫可勒-柯赫式高压爐(373) 爐子的热条件(374)	
精餾塔	375
巴者尔式塔、福斯特式塔、阿尔閼式塔、汽提塔、減压塔	
其他器械和設備	379
換热設備(換热器), 預热器和冷却器(379) 蒸發塔、油气分离器和油水分离器(380)	
第二十一章 液态与气态碳氢化合物的高温热解与聚合	382
过程的特征	382
生焦(383) 高温热解过程之原料(384)	
高温热解过程的工艺流程	385
高温热解过程的設備(386): 气体發生爐、洗滌塔	
气体的热解与聚合	388
自气体生成液态碳氢化合物(388) 过程进行条件的影响(389) 聚合过程流程(389): 催化聚合, 液相裂化气体的聚合裝置	
热解气体化学加工的途徑	393
第二十二章 自气体中回收汽油	394
自气体中提取汽油之方法	394
压缩法(394): 压缩裝置的流程	
油吸收法(396): 回收气体的吸收裝置流程, 吸收裝置的操作条件	
用吸附法从气体中提取汽油(398) 汽油之稳定化(399): 稳定化裝置流程	
第六篇 制取液体燃料的新方法	
第二十三章 加氢	402
加氢过程的实质及氢与催化剂在过程中所起的作用	402
氢的制取(403): 气体轉化裝置的流程	
加氢过程中所用的催化剂(405)	
加氢工艺学	405
加氢过程中氢的用量(406) 加氢反应的热效应(406). 某些加氢裝置的流程圖(407): 巴东-罗斯城的一个加氢工厂(美国), 皮林盖姆城的一个煤鈞加氢工厂(英国)	

加氢过程的应用范围(409)	加氢的操作条件对设备的影响(409):	氢的腐蚀, 加氢过程的设备	
第二十四章 由一氧化碳和氢催化合成汽油			412
合成的工艺流程(413)	催化剂(417)	合成过程的操作条件(418)	反应器的各种构造(418)
合成产物的产率和特性以及它们的加工(420)			

第一篇 固体矿物燃料的特性与热加工方法

第一章 燃料的特性

燃料的組成部分及其性質

可以作为热能的源泉、且在数量上能供应国民經济广泛使用的、蘊藏在自然界中的或人工制造的可燃有机物質，称为燃料。燃料有固体燃料、液体燃料和气体燃料。

燃料有天然燃料（木材、煤、石油、天然气等等）与人造燃料（木炭、焦炭、半焦、石油蒸餾产品、合成汽油等等）之分。

燃料除含有可燃的有机質之外，还含有不可燃的部分——由水分和矿物質組成的廢物。

燃料的百分組成可以用下式来表示：

$$\text{有机質} + \text{廢物} = 100, \quad (1)$$

式中“廢物”表示水分和無机部分的总和。“有机質”則表示有机部分。

燃料燃烧后所剩下的無机部分称为灰分。

無机部分中通常含有鉄、鈣、鋁、錳、鉀、鈉及其他金屬的碳酸鹽、硅酸鹽、磷酸鹽、硫酸鹽和硫化物。

其他金屬的鹽和氧化物在灰分中通常都含得很少，因此在进行燃料的工業分析时不加測定。

燃料中的含水量随燃料的开采方法和保存方法而改变。因此，燃料試样中水分含量应对燃料的一定状态而言。

按照燃料中的水分含量，可把燃料的状态分为三类：工作的、風干的或实验室的与絕對干燥的。

1. 未經干燥的燃料，也就是在这种状态下送交消費部門的燃料，称为工作燃料。工作燃料中水分的百分含量 $W_{\text{工作}}$ 是由外在水分（即燃料轉变成風干状态时失去的水分）和收湿水分（ $W_{\text{收湿}}$ ）或实验室水分（ $W_{\text{实验}}$ ）相加而成的。

2. 風干的或实验室的燃料在实验室条件下保存后还含有某恒定量的水分。这种水分称为收湿水分 $W_{\text{收湿}}$ 或实验室水分 $W_{\text{实验}}$ 。

3. 絕對干燥的燃料是在空气气流中在溫度 105°C 下干燥至恒重时得到的。

对于与某一产地的矿層組成或所檢驗的一批燃料的組成相应的平均样品來說，

它的以無水和無灰分燃料为基准的有机質組成是最有特征性的指标。燃料的組成可以用下面的方程式来表示:

$$\text{有机質}^{\text{实验}} + A^{\text{实验}} + W^{\text{实验}} = 100. \quad (2)$$

式中有机質^{实验}——燃料中有机部分的含量。A^{实验}——灰分含量和 W^{实验}——实验室水分含量。

由此方程式得出燃料的有机部分含量为:

$$\text{有机質} = 100 - (A^{\text{实验}} + W^{\text{实验}}). \quad (3)$$

如果灰分和水分测定得不准确,则对燃料的有机部分含量將得到錯誤的結果。

燃料的工業分析与元素分析

工業分析的方法已經标准化了(全苏标准 7151)。

对燃料进行工業分析时,要測定水分、揮發物产率、不揮發殘渣、灰分、硫与热值。在实验室中,揮發物产率以对所研究的燃料的風干試样的百分数表示之。实验室燃料的揮發物产率($V^{\text{实验}}$)的百分数,可按下式由工作燃料的揮發物产率 $V^{\text{工作}}$ 或絕对于干燥燃料的揮發物产率 $V^{\text{絕干}}$ 求出:

$$V^{\text{工作}} = V^{\text{实验}} \frac{100 - W^{\text{工作}}}{100 - W^{\text{实验}}}. \quad (4)$$

$$V^{\text{絕干}} = V^{\text{实验}} \frac{100}{100 - W^{\text{实验}}}. \quad (5)$$

为了确定煤的特性,从煤中除去揮發物后,对殘留在坩堝內的固体殘渣——焦炭的外形应加以描述。如果殘渣是粉狀的,則表明所分析的煤是不粘結的煤。如果坩堝中的殘留物的外形为粘結起来的焦渣,則应当說明这个焦渣的特性和外形。例如,如果粉碎了的煤的个别顆粒仅仅粘在一起,則这种焦炭称为粘在一起的焦炭。如果完全看不到个别的顆粒,或者焦炭是一个完整的整体,則在前一种情况下称为結成一塊的焦炭,而在后一种情况下称为融熔的焦炭。

表 1. 焦渣的高度与外形間的关系
(按全苏标准 7151 分析)

焦渣的高度毫米	焦 渣 的 特 征
小于 8	完全未膨脹
8—10	几乎未膨脹
10—12	極微小的膨脹
12—15	微小的膨脹
15—18	正 常 膨 脹
18—20	强 烈 膨 脹
大于 20	極强烈膨脹

頓巴斯的粘結煤生成或多或少强烈膨起的焦渣,焦渣的高度也就表明了它們外形的特征(表 1)。

矿物燃料的元素組成是用燃料的風干試样的有机分析方法來測定的。当把分析这种試样所得到的数据換算成以有机質为基准时,則从換算方法中可以看出,灰分含量若測定得不正确,就会使各个元素的含量产生若干誤差:

$$C_{\text{有机}} = \frac{C_{\text{实验}} \times 100}{100 - (W + A)} \quad (6)$$

如果 A —用試驗方法求得的灰分含量大于实际的無机杂质含量, 則由公式算出的 $C_{\text{有机}}$ 將大于燃料的有机質中碳的真实含量, 反之亦然。对多灰燃料來說, 此种誤差的数值可达 10%。

某几种燃料和造煤植物的有机部分的元素組成及热值列于表 2 中:

表 2. 某几种燃料及造煤植物的元素組成和热值

名 称	元 素 组 成, %				热 值 Q 千卡/公斤
	C	H	O	N	
造煤植物					
纖維素.....	44.4	6.2	49.3	—	—
木 材.....	49.7	6.1	43.6	0.1	4500
苔 蘚.....	49.9	6.5	42.4	1.16	—
燃 料					
年老的泥炭.....	59.7	5.3	38.0	2.18	5700
褐 炭.....	66.0	5.7	24.1	1.01	6000
土褐煤.....	67.7	5.6	25.7	—	6100
原褐煤.....	72.5	5.6	20.5	1.15	6200
亮褐煤.....	74.5	5.9	18.8	1.4	6800
焰褐煤.....	75.9	4.9	17.9	1.24	7600
粘結性气煤.....	83.2	5.4	9.9	1.56	7900
肥 煤.....	85.2	4.9	8.3	1.4	8300
貧 煤.....	91.6	3.8	4.53	—	8200
無烟煤.....	94.5	2.51	2.10	0.9	8000
半石墨.....	99.12	0.4	—	0.4	8100
腐 泥.....	50.7	8.3	32.1	—	6400
巴尔哈什煤.....	75.8	10.9	13.74	0.55	9100
瀝青質頁岩.....	76.6	9.2	14.2	—	8700
蜡 煤.....	77.0	12.6	10.1	—	9600
藻 煤.....	80.3	12.1	5.8	0.9	9900

由表 2 中可以看出, 在各种不同的燃料中碳含量的逐漸增加及氧含量的逐漸减少情形。这种碳的积聚过程或“碳化作用”, 最后可以造成几乎是純的碳, 例如半石墨或石墨的情况就是这样的。

根据有机部分中氢的含量, 可以將固体可燃矿物分为兩类: 腐植煤(4—5% 的氢)和瀝青煤或腐泥煤(8—9% 的氢)。

燃料的热值

煤的有机質是决定燃料热值的主要因素。燃料無机部分的硫化物和二硫化物在燃燒时, 放出很少的热量。

表 3. 苏联燃料最

煤 矿 所 属 地 区	煤 矿 名 称	燃 料 品 种
1	2	3
列宁格勒省.....	魏馬尔	頁 岩
古比雪夫省.....	卡什尼尔	
烏里揚諾夫斯克省.....	烏托可-查哈尔也夫.....	
頓巴斯.....	—	烟 煤
頓巴斯.....	—	長焰煤
頓巴斯.....	—	气 煤
頓巴斯.....	—	鍋爐肥煤
頓巴斯.....	—	焦 煤
頓巴斯.....	—	鍋爐粘結煤
頓巴斯.....	—	瘦 煤
頓巴斯.....	—	烟 煤
頓巴斯.....	—	烟煤粉
烏拉尔.....	基澤尔	—
庫茲巴斯煤田.....	安热罗苏賓斯克	—
庫茲巴斯煤田.....	普罗科皮耶夫斯克	—
庫茲巴斯煤田.....	克麦罗沃	—
庫茲巴斯煤田.....	列 宁	—
东西伯利亞.....	契列姆霍沃	—
哈薩克斯坦.....	卡拉干达	—
哈薩克斯坦.....	別尔乔古尔	—
远东边区.....	布卡恰恰	—
格魯吉亞.....	特基布利	—
格魯吉亞.....	特克瓦尔契利	—
北烏拉尔.....	沃尔庫塔	—
庫頁島.....	十 月	—
中亞細亞.....	苏仰克塔	—
中亞細亞.....	基及尔吉亞	—
中亞細亞.....	科克揚加克	—
中亞細亞.....	舒拉布	—
中亞細亞.....	納 綸	—
莫斯科近郊煤田.....	—	褐 煤
列宁格勒省.....	博羅維奇	—
克里米亞.....	达夫里奇	—
烏克蘭.....	亞历山大里亞	—
烏克蘭.....	基洛夫斯克	—
烏克蘭.....	克里沃罗格	—
烏拉尔.....	齐良賓斯克	—
烏拉尔.....	博戈斯洛夫	—
烏拉尔.....	基夫达	—
烏拉尔.....	阿尔条莫夫斯克	—
烏拉尔.....	別舒依	—

主要类型的特性

燃 料 平 均 組 成 %								Q _{有机} (有机質 的热值), 千卡	V _{有机} (揮發分 产率), %
W _{实验} (風干試样 的 水分)	A _{实验} (風干試样 的 灰分)	S _{实验} (風干試样 的 硫分)	C _{有机} (有机質 中的碳)	H _{有机} (有机質 中的氫)	S _{有机} (有机質中 的 硫分)	N _{有机} (有机質 中的氮)	O _{有机} (有机質 中的氧)		
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.3	46.2+12.3	0.9	75.2	9.1	1.9	0.3	13.5	8100	83.0
4.3	57.3+ 9.2	5.1	71.1	8.5	14.0	1.6	4.8	7860	79.0
6.3	63.2+ 7.3	3.5	68.2	8.7	10.5	1.5	11.1	7200	—
5.2	11.2	3.6	77.3	5.4	3.8	1.6	11.9	7800	44.0
2.8	11.1	2.9	81.0	5.4	3.2	1.6	5.8	8100	39.0
1.1	11.4	2.5	84.6	5.2	2.6	1.6	6.0	8470	30.5
1.0	10.7	2.0	87.0	4.9	2.1	1.6	4.4	8590	22.0
0.8	9.7	2.1	88.5	4.6	2.2	1.5	3.2	8590	17.0
1.0	8.5	1.5	90.6	4.3	1.6	1.6	1.9	8620	13.0
2.0	9.7	1.9	93.8	1.95	0.7	1.2	1.05	8200	3.5
2.0	17.3	1.8	93.2	1.85	0.7	1.2	1.75	8100	4.0
1.2	22.7	6.3	80.3	5.6	2.8	1.3	4.9	8370	41.0
0.6	9.0	0.5	91.2	4.3	0.5	1.8	2.2	8600	15.5
1.7	7.0	0.5	89.1	4.5	0.5	2.1	3.8	8400	18.0
1.0	13.7	0.5	86.4	4.8	0.6	2.0	6.2	8200	29.0
1.8	9.0	0.5	83.5	5.8	0.5	2.7	7.5	8250	41.0
3.7	16.0	1.3	77.9	5.8	1.4	1.6	13.3	7750	45.0
2.1	17.5	0.8	85.3	5.2	0.8	1.4	7.3	8350	29.0
1.5	33.0	4.4	78.5	6.4	6.3	1.8	—	8240	46.0
3.8	11.1	0.9	79.1	5.0	0.8	1.0	14.1	7760	37.0
4.0	18.5	1.4	78.5	5.7	1.5	1.5	12.8	7780	41.0
1.0	18.0	1.0	77.5	5.8	1.1	1.7	13.9	7750	37.0
1.3	11.9	0.7	85.6	5.3	0.7	2.4	6.0	8440	29.0
1.7	13.3	0.4	85.8	4.4	0.4	9.4	—	8250	19.0
11.2	11.8	1.1	78.5	3.8	0.2	0.8	16.1	7070	28.5
11.2	13.5	1.7	76.9	4.0	0.5	0.9	16.6	7010	33.5
5.5	20.4	2.0	77.8	5.2	0.7	1.0	14.1	7550	36.0
11.5	13.8	2.0	78.8	3.5	0.6	0.8	14.7	6950	29.5
5.5	8.7	0.5	79.8	4.9	0.5	1.2	13.6	7650	35.0
8.0	26.8	3.7	69.7	4.9	5.1	1.4	18.9	6750	45.0
6.5	28.0	7.7	68.5	5.7	10.3	1.0	14.5	7230	49.0
8.5	10.7	0.5	75.2	5.6	0.4	1.6	17.2	7300	41.5
10.0	26.0	4.4	66.4	5.9	3.6	0.7	21.4	6500	56.5
10.0	46.0	3.1	62.5	5.3	3.5	0.9	26.7	5730	55.5
9.0	23.0	5.5	69.8	6.2	6.6	0.9	16.5	7300	60.5
9.0	19.2	1.2	73.6	5.2	0.7	1.8	17.9	7150	41.0
15.0	17.5	0.5	69.5	4.4	0.5	1.5	24.1	6250	43.0
10.6	13.1	0.2	71.5	4.2	0.1	1.2	23.0	6610	41.0
11.3	11.1	0.5	71.9	5.5	0.4	1.5	20.7	7050	48.0
2.2	41.0	2.6	76.4	5.9	1.6	1.3	12.4	7760	44.0

燃料燃烧时放出的热量和有机部分的元素組成間的关系是很复杂的,而且对于不同燃料都是不同的。对含氧少的那些燃料来说,这种关系表现得最简单。与此相反,氧的含量愈多,则表示燃料的热值与燃料的元素組成之間的关系的经验公式,也愈难确定。

在最初提出的表示燃料热值与燃料的元素組成的关系的某一公式,是以假定氧以羟基形式存在于燃料中为依据的。由这个假定出发,杜朗提出了下面的公式:

$$Q = 81.4C + 341\left(H - \frac{O}{8}\right) + 22.2S, \quad (7)$$

亦即氢的热效应仅仅决定于未和氧結合的游离氢部分。这部分氢在燃烧时放出 $341\left(H - \frac{O}{8}\right)$ 千卡的热量。按照杜朗的假定,碳和硫在燃烧时放出的热量和它们在游离状态下燃烧时放出的热量一样。

这个公式适用于如石油和烟煤等含氧少的燃料。含有大量氧的化合物的燃料的热值,可以用另外的公式来表示,而公式中的系数则是用经验方法选择出来的,只适用于各该组燃料。

属于这一种的公式有:

$$\text{門捷列夫公式} \quad Q = 81C + 300H - 26(O - S); \quad (8)$$

$$\text{万德拉克公式} \quad Q = (89.1 - 0.062C^{\text{有机}})C + 270(H - 0.1O) + 25S; \quad (9)$$

$$\text{“联合”(德国)公式} \quad Q_H = 81C + 290\left(H - \frac{O}{8}\right) - 6W + 25S. \quad (10)$$

史泰尔提出一个公式,在该公式中考虑了在燃料中以各种不同形式存在的氧的化合物:

$$Q = 81\left(C - \frac{3}{8}O\right) + 57 \times \frac{3}{8}O + 345\left(H - \frac{O}{16}\right) + 25S. \quad (11)$$

史泰尔认为燃料中的氧只有一半与氢成化合物存在,而燃料中的另一部分氧是以羰基(CO)的形式存在的,因此要从能够燃烧成 CO_2 的碳的总含量中减去 $\left(\frac{3}{8}O\right)$ 。此时由 CO 燃烧成 CO_2 的热效应应增加同样的数值。

因为上述关于燃料的有机质中所含各种化合物的化学本性的概念是很简略的,所以所有举出的公式的应用范围都是有限制的。这些公式仅仅适用于已经收集有实验资料,并且根据实验资料已经选择出数字系数的煤。

氧弹中测得的燃料热值和分析組成的对比,可以用来核对根据元素組成求出的热值,因为热量計燃烧法所得到的结果比根据組成計算出来的结果可靠,特别是对于多灰燃料。

苏联最主要的产地的煤的化学組成与岩相組成

苏联的許多矿物燃料之分析特性见表 3。

由表 3 的数据可以很明显地看出,苏联富有各种各样的矿物固体燃料。

由于煤切片的显微鏡研究,得以测定和研究了煤的有机部分之岩相組成。

煤的外形和煤在热加工过程中的性状决定于煤中所含的組成。根据外形,煤可以分成亮型的、暗型的、条帶型的和炭黑型的(纖維型的)。亮型煤主要由鏡煤組成,暗型煤主要由暗煤組成,炭黑型煤主要由絲炭組成。条帶型煤是由亮型的变种和暗型的变种彼此紧密接触的混合物所組成的。