

煤结构-化学指数

分类与应用

[俄罗斯] A.M. 久利马里耶夫 (A.M. Гюльмалиев)

[俄罗斯] Г.С. 戈洛温 (Г.С. Головин)

著

[俄罗斯] С.Г. 加加林 (С.Г. Гагарин)

聂书岭 马凤云 译

贾殿赠 审校



化学工业出版社

煤结构-化学指数 分类与应用

[俄罗斯] A.M. 久利马里耶夫 (A.M. Гюльмалиев)

[俄罗斯] Г.С. 戈洛温 (Г.С. Головин)

著

[俄罗斯] С.Г. 加加林 (С.Г. Гагарин)

聂书岭 马凤云 译

贾殿赠 审校



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了一种将天然气、石油、油页岩、煤炭等可燃矿物作为化工原料分类的结构化学指数法,并且详细阐述了采用该法对煤(褐煤、烟煤、无烟煤)进行分类应用的研究工作。该法所包括的参数,均具有明确的定义、物理意义、实验测定方法及其独立性和归一性。在上述研究工作基础上,建立了俄罗斯动力用煤和焦化用煤的分类指导图,给出了指导煤非燃料用途的结构化学指数分类最适宜的参考值域,即以煤为原料,生产吸附剂、活性炭、制备液体燃料、离子交换材料(磺化煤)、焦炭、渗碳剂、热石墨、碳石墨等。

本书可供煤炭、热能与动力、化学化工等工业部门和研究、设计部门解决煤炭分类利用问题时借鉴,也可用作矿山地质、能源和化工等专业院校教师、本科生及研究生的教学参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

煤结构——化学指数分类与应用/[俄罗斯]久利马里耶夫,[俄罗斯]戈洛温,[俄罗斯]加加林著;聂书岭,马凤云译. —北京:化学工业出版社,2013.7
ISBN 978-7-122-17416-1

I. ①煤… II. ①久…②戈…③加…④聂…⑤马…
III. ①矿物燃料-有机结构化学-研究 IV. ①TQ517.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第105781号

КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ ПО СТРУКТУРНО-ХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ И ОСНОВНЫЕ ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ by ГюльмалиевА. М., ГоловинГ. С., Гагарин С. Г.
ISBN 978-5-902393-11-5

Copyright © 2007 by ООО НТК «Трек». All rights reserved.

Authorized translation from the Russian language edition published by ООО НТК «Трек»

本书中文简体字版由 ООО НТК «Трек» 授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分,违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2013-1915

责任编辑:徐雅妮

文字编辑:孙凤英

责任校对:宋 玮

装帧设计:韩 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 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张7¼ 字数85千字 2013年9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:39.00元

版权所有 违者必究



序

在俄罗斯的经济领域中，煤是电力、冶金、化工、铁路和水路运输等部门的发展基础，故而具有非常重要的作用。在 20 世纪 50 年代，煤在俄罗斯的燃料动力衡算表中具有极其重要的地位，占到 59%。之后，随着大量油田和天然气田的开发以及核能的发展，其比重逐年下降，到 20 世纪末仅占 12% ~ 13%。与此相应的是，天然气增加到 50%，石油超过 30%。但近年，煤的比重又开始上升，已达到 19%，实际上这一指标高于世界平均值。据国际能源署资料，当前，世界上各种能源总量的 23% 与 39% 的电能来自煤炭（美国、德国等工业发达国家的煤电比例高达 56% ~ 58%）。

2006 年 2 月，莫斯科召开了“俄罗斯动力与煤炭”国际论坛大会。来自 15 个国家的 180 多名专家汇聚一堂，认真讨论了世界煤炭产业与动力发展趋势。专家们建议俄罗斯调整能源战略，制定详细的发展规划，为煤炭动力的高效持续发展创造条件，以满足电煤用量的快速增长。专家们还提出，俄罗斯的煤炭质量标准应该与国际接轨。

根据俄罗斯联邦能源署《煤炭》（2006. №3 p49 ~ 56）介绍，2005 年，俄罗斯的煤炭产量达到 2.999 亿吨，地下和露天开采量分别为 1.047 亿吨和 1.952 亿吨。其中，炼焦用煤 6990 万吨。在给消费者供应的 2.73 亿吨煤炭中，国内市场销售了 1.929 亿吨，出口量为 8980 万吨，其比例为 2 : 1。俄罗斯煤炭

出口量位于世界第五，动力用煤出口量位于世界第三。俄罗斯国内市场销售的动力煤为 1.531 亿吨，其中，电煤为 8980 万吨，占 60%，其余的用于公共生活。俄罗斯炼焦业用煤为 3980 万吨，占煤炭总产量的 23.3%，占国内煤炭消耗总量的 20.6%。

当时煤炭开采企业预测，2006 年俄罗斯煤炭产量将达到 3.05 亿 ~ 3.10 亿吨。其中，炼焦用煤可达（6900 ~ 7000）万吨。按照这一开采量测算，俄罗斯已探明煤炭储量还可开采 250 年。自然，石油、天然气的储量枯竭要提前很多。因此，为使煤替代石油经济上更可行，世界上许多国家都愈来愈关注将煤加工成固体、液体和气体燃料。由此，极大地推进了煤化工工艺的发展。

固体可燃矿物在成因、变质程度、结构特性、物理和化学工艺性质等方面的多样性，决定了对它进行科学分类并不断完善分类法的必要性。目的就是充分有效地利用其能源与资源价值。

现在，独联体国家均采用统一的工业成因分类法（全苏国标 ГОСТ 25543—1988）。这个标准是按照煤炭的成因和工艺参数值确定其工业利用方向的。应该指出，该分类法仅适用于没有氧化的腐殖煤，不适用于自然界存在的其他种类的可燃矿物。

因此，基于物质构造的基本概念，研究固体可燃矿物的统一科学分类方法是非常需要的。再者，还需要考虑，如同石油化合物一样，煤中的有机物不仅可生产热能和燃烧发电，还可用于制取许多化工产品，包括各种液体燃料的替代品——重油和锅炉燃料、航空煤油、发动机油等。

本书介绍依据结构化学指数对俄罗斯煤炭进行分类的研究工作，目的是确定煤炭有机质结构化学指数与工业成因指标间的数量关系。研究对象是俄罗斯主要煤田所产煤炭的结构化学指数，以便在其基础上确定科学的分类法，使俄罗斯煤炭得到合理

利用。 研究基于俄罗斯可燃矿物研究所完成的用计算机确定煤炭结构、特性及其热化学反应能力之间相互关系的一系列工作。

书中还确定了根据俄罗斯主要煤田（库兹涅茨、伯超拉和南雅库特煤田）所产煤炭的结构化学指标计算其工艺指标的算法，为煤炭的动力及非燃料用途建立了科学分类法。 此外，介绍了煤炭的标号属性及其结构化学分类指标间的关系。

根据研究结果，提出了将煤炭用作动力及非燃料资源的合理有效途径。 俄罗斯煤炭有机质的结构特点及由其决定的加工途径，使国家可以得到在国际市场上广受欢迎的多种绿色优质有机产品。



前言

本书在有机化合物结构化学指数现代认识基础上,阐述了用一种新的科学分类法——结构化学指数分类法,对同一成因的系列天然可燃矿物天然气、石油、油页岩、煤炭等进行分类,特别详细阐述了对煤炭资源(褐煤、烟煤、无烟煤)的分类,以及利用这一新方法对煤炭进行分类的研究工作。在这一科学分类法中,对所提出参数的基本要求是物理意义准确、实验测定明确及其满足独立性和归一性。研究表明,可燃矿物中有机质的主要元素含量符合上述要求。通过研究,提出了一组能够表征单位质量可燃矿物中基础元素 n_{ϑ} ($\vartheta = \text{C}, \text{H}, \text{O}, \text{N}$ 和 S) 的含量与结构化学指数的线性方程组。结构化学指数包括芳环指数 R 、原子指数 n_{am} (平均到 n_{ϑ})、各基础元素的原子数与碳原子数之比 $n_{\vartheta}/n_{\text{C}}$ 、化学键总数 n_{CB} 、结构不饱和度指数 δ 及还原度指数 B 。以这些结构化学指数为分类参数,描述煤炭变质作用中的显微组分镜质组 Vt 、惰性组 I 和壳质组 L 。

本书还参照独联体国家所采用的全苏国家标准 ГОСТ 25543—88,推导出结构化学指数分类与工业成因分类间的函数关系,确定了烟煤粒度级别的镜质组反射率取决于结构化学指数中的不饱和度指数 δ 。煤在空气中,其 δ 与镜质组反射率 R_a 呈线性关系,若浸没在油中,则与 $R_{o,t}$ 呈非线性关系。煤中丝质组(瘠化)含量 ΣOK 可以表征煤的类别,取决于 δ 和 $n_{\text{H}}/n_{\text{C}}$ (煤中有机质中氢与碳的原子比),用回归方程来表示。煤的挥发分 V^{daf} 指标可以表征煤的类型,由煤中各显微组分的挥发分叠加

形成，每组的挥发分都与相应显微组分的结构化学指数 δ_M 相关。胶质层的厚度 y 决定着烟煤亚型，与结构化学指数还原度 B 密切相关。在煤岩成分相似的情况下，等变质还原煤的 B 值要比弱还原煤高。

另外，研究了俄罗斯库兹涅茨、伯朝拉和南雅库特三个煤田各种牌号煤的结构化学分类指数范围，并分析了三个煤田同一牌号煤所表现的差异。

在上述工作基础上，建立了俄罗斯动力用煤与焦化用煤的分类图。俄罗斯煤炭的动力性能通常是用其燃烧热值和燃烧时的反应能力来表示的。因此，在评价主要牌号动力煤（褐煤、长焰煤、气煤、瘦煤和无烟煤）的燃烧热值时，借用了具有类似有机质结构的模型化合物的热力学性质和元素组成。动力煤的燃烧热值、灰分和硫含量决定了其在技术上的应用价值和在国际煤炭市场上的价格。

根据炼焦料的主要成分，焦化工业把煤分为四类。其中，黏结类是指还原度较高（ $B = 24.5\% \sim 33.3\%$ ）、中间变质（ $\delta = 8.4 \sim 9.3$ ）的煤。结焦类是指还原度稍低（ $B = 22.5\% \sim 28.0\%$ ）、变质程度较高（ $\delta = 9.3 \sim 11.1$ ）的煤。瘦化组分主要是指丝炭化煤岩显微组分影响较大、还原度低（ $B = 18.0\% \sim 22.5\%$ ），但变质程度较高的（ $\delta = 9.8 \sim 11.1$ ）煤。在焦化作用中降低膨胀压力的煤，不仅要求变质程度低（ $\delta = 8.2 \sim 9.0$ ），还原度也要求低（ $B = 18.5\% \sim 24.5\%$ ）。研究证实，俄罗斯南雅库特煤田出产的炼焦煤质量要比库兹涅茨及伯朝拉煤田的更好。

最后，本书给出了用结构化学指数分类法对煤进行非燃料用途的参考值，诸如可指导选择最为适宜的煤生产吸附剂、活性炭，合成液体燃料、离子交换材料（磺化煤）、炼钢用的焦炭和渗碳剂、热石墨、碳石墨等。

目录

第 1 章 固体燃料分类法发展概述

- 1.1 地质成因分类法 4
- 1.2 化学工艺分类法 10
- 1.3 工业成因分类法 17

第 2 章 可燃矿物中有机质结构与化学指数的关系—— 统一科学分类的基础

- 2.1 有机物结构化学指数及其关系 33
- 2.2 换算为单位物质量的相互关系 34
- 2.3 结构化学指数分类法的基本原则 37
- 2.4 统一结构化学指数分类法的应用 39

第 3 章 用结构化学分类指数表征煤的有机质性质

- 3.1 密度 49
- 3.2 燃烧热值 54
- 3.3 镜质组平均反射率 57
- 3.4 挥发分 60
- 3.5 丝炭化（瘠化）组分含量 68
- 3.6 黏结性（胶质层厚度 y ） 72

3.7 还原度	81
---------------	----

第4章

借助结构化学指数分类法研究煤炭标号成分及其合理利用途径

4.1 根据结构化学指数评价不同标号煤炭的成分	93
4.2 俄罗斯主要煤田煤的结构化学指数	95
4.3 运用结构化学分类指数确定俄罗斯煤炭合理的动力及非燃料用途	99
结语	106
参考文献	109

第1章

固体燃料分类法发展概述

煤炭属于一种多组分岩石，是由植物经过生物化学、物理化学的变化而形成的。由于在固体可燃矿物的形成中，有机物发生变化的地质条件千差万别，使自然界中煤的成分和性质差异颇大，具有多种类别、类型和等级。

固体可燃矿物在自然界中存在的多样性，迫使我们必须按照其共性和特性进行分类。固体燃料化学的研究目的之一就是建立一种通用的分类方法。但对现代燃料分类的要求不同，故通用分类方法应以煤的突出特性为基础，使用户依据这些特性很容易选择出最为满足需求的煤。通常是以煤的物理化学特性（起源、物理性能、工业组成和元素组成、用化学试剂和溶剂处理的结果、与热处理的关系等）为选择依据的。

目前，对固体可燃矿物的分类有四种方法，即地质成因分类法（科学分类法）、化学工艺分类法、工业分类法（消费分类法）和工业成因分类法。

地质成因分类法基于煤炭起源的研究，视主要的成煤因素为煤的特性参数，为研究不同煤田、煤矿各种煤的分类奠定了科学基础^[1]。然而，在很多情况下，无法用该分类法的相关参数定量评价煤的工艺价值。

化学工艺分类法反映了最初植物的化学特性及其成煤过程。该分类法依据的是煤的元素组成、组织构成及热加工产品率，主要与煤的元素组成和有机质中碳、氢、氧的含量有关。该分类法通常用图表表示。

工业分类法（消费分类法）是根据消费者的需要（用于焦化、半焦化等），划分出煤炭标号和工艺组别。与上述两种分类法的区别在于，该法不考虑煤的自然特征，只满足眼下的需要，不顾忌未来发展，影响到煤的合理利用^[1]。

工业成因分类法以煤化学为科学基础,描述煤炭组分、化学结构、起源、形成条件及相关重要性能之间的关系,着眼于煤在各种不同工艺过程中的反应性能,与煤的工艺价值密切相关,有助于确定其有效的加工利用途径。

1.1 地质成因分类法

据 B. И. 维尔纳茨基定义^[2],“……科学分类法纯属经验论,并不是纯逻辑理论或数学理论。它的意义就在于合理地归属已存在的物质和现象,……能够被准确地定义和尽量不太主观地就位,即归入准确的物质体系”。

固体可燃矿物地质成因分类法最初是由德国古植物学家 Г. 波托涅提出的^[3]。Г. 波托涅认为凡是由生物或其组成物形成的所有矿物都可称作生物岩,并分为两大类,即非可燃性有机岩——不可燃物和可燃性有机岩——可燃物。在形成非可燃性有机岩时,生物中的有机部分变成气体和溶于水的物质,完全消失了。保留下来的是无机部分,如骨架、贝壳等。而在形成可燃性有机岩时,生物中的有机部分演变成某种形态后被保留下来。

根据原始植物的起源及化学成分,Г. 波托涅把可燃性有机岩又划分为 3 个亚组。

——腐泥煤(来自希腊词汇 sapos——腐朽的和 pelos——软泥),源于腐烂的淤泥,由沉积在死水中最简单的植物和动物形成;

——腐殖煤,由富含碳水化合物的多细胞沼泽植物和陆生植

物形成，其典型代表是泥炭、褐煤、烟煤和无烟煤；

——残殖煤（来自希腊词汇 *liptos*——残余的），来源于植物蜡、脂及类似最稳定的部分。琥珀就是其典型代表。

该法是基于最普通的起源原理，涵盖了矿物燃料的全部种类、变种及过渡形态。故适用于所有的矿物燃料。应该说，它至今仍具有重要的意义。

尽管该法具有其合理性，但存在两个致命的缺陷。一是固体可燃矿物的成因与其性能、合理利用途径只存在间接关系。当然，这一关系若能确定的话，是可以用地质成因分类法成功解决相关问题的。但遗憾的是，大多数情况下这一关系无法确定。二是与地质成因分类法本身有关。因为，该法主要建立在推测与假设的基础上，仅在很少的情况下，能够给出成因关系的直接证据。实际上，Г. 波托涅分类法无法涵盖固体可燃矿物的所有性能，故无法进行系统分类。

建立符合各种要求的自然分类法的想法是由其他研究者提出并加以发展的。在这方面，取得较大进展的是 Г. Л. 斯塔德尼科夫^[4]。他在 1937 年建立了自己的分类法，其基础是原始材料的起源、物理化学性质及其变化阶段间的相互关系。他的结论是除了腐泥煤和腐殖煤外，还存在混合型煤，即腐殖腐泥煤和腐泥腐殖煤。原始的有机质经历了泥炭、褐煤和烟煤 3 个物理化学变化阶段。遗憾的是该法未包括所有的固体可燃矿物，如残殖煤，无法用于煤的工艺评价。

Ю. А. 热姆丘日尼科夫的分类法^[5,6]非常有意义。他认为，能够发生腐泥化作用的物质主要是低等植物，如浮游海藻，而高等植物的沉积物（多为泥炭）主要是由木质纤维组织和稳定的角质化成分形成的。这样，他把腐泥煤分成两类。一类是保留有浮

游海藻细胞形态和整体群落的腐泥煤。另一类是无成形要素且可燃性有机岩全部转变为无结构物质的腐胶泥煤（来自希腊词汇 colla——胶）。他还把由高等植物变成的固体燃料划入腐殖煤组，将腐殖煤也分为两类。一类是除了腐殖酸和腐殖质外，还含有角质成分和树脂的腐殖煤。另一类是仅由角质成分和树脂组成的残殖煤。

Ю. А. 热姆丘日尼科夫将腐殖煤和残殖煤均纳入腐殖煤组的划分比 Г. 波托涅将其分开的分类法更为合理。因为，Ю. А. 热姆丘日尼科夫认为，自然界中的同类植物（高等植物）依据其碳化过程的条件，既可形成腐殖煤，也可形成残殖煤。但该法也存在不足之处，未以煤的化学成熟段划分其类（组）别。

В. А. 乌斯卡斯基和 О. А. 拉德琴科^[7]研究了不同自然地理条件下，原始有机物质的积累，以及和由高等植物、或低等有机物、或两者共同演化成为燃料、泥炭、沼泽、湖泊、海洋等过程，提出了如图 1-1 所示的煤炭、石油等可燃矿物的成因分类图。

И. И. 阿莫索夫^[1]基于对煤炭性能与原始物质、演化条件、含水性、成岩作用和变质作用等关系的研究，把成煤的全过程划分为泥炭、褐煤、烟煤、无烟煤和石墨五个阶段。其中，烟煤又被划分为 9 个变质阶段。И. И. 阿莫索夫认为，煤的反射率是反映其形成结构的主要指标，详见图 1-2。

С. Г. 阿罗诺夫和 Л. Л. 涅斯捷连科^[8]在吸取 Г. 波托涅和 Ю. А. 热姆丘日尼科夫分类法的成功之处，借鉴了 Г. Л. 斯塔德尼科夫的化学成熟阶段，提出了比较概括分类法，见表 1-1。

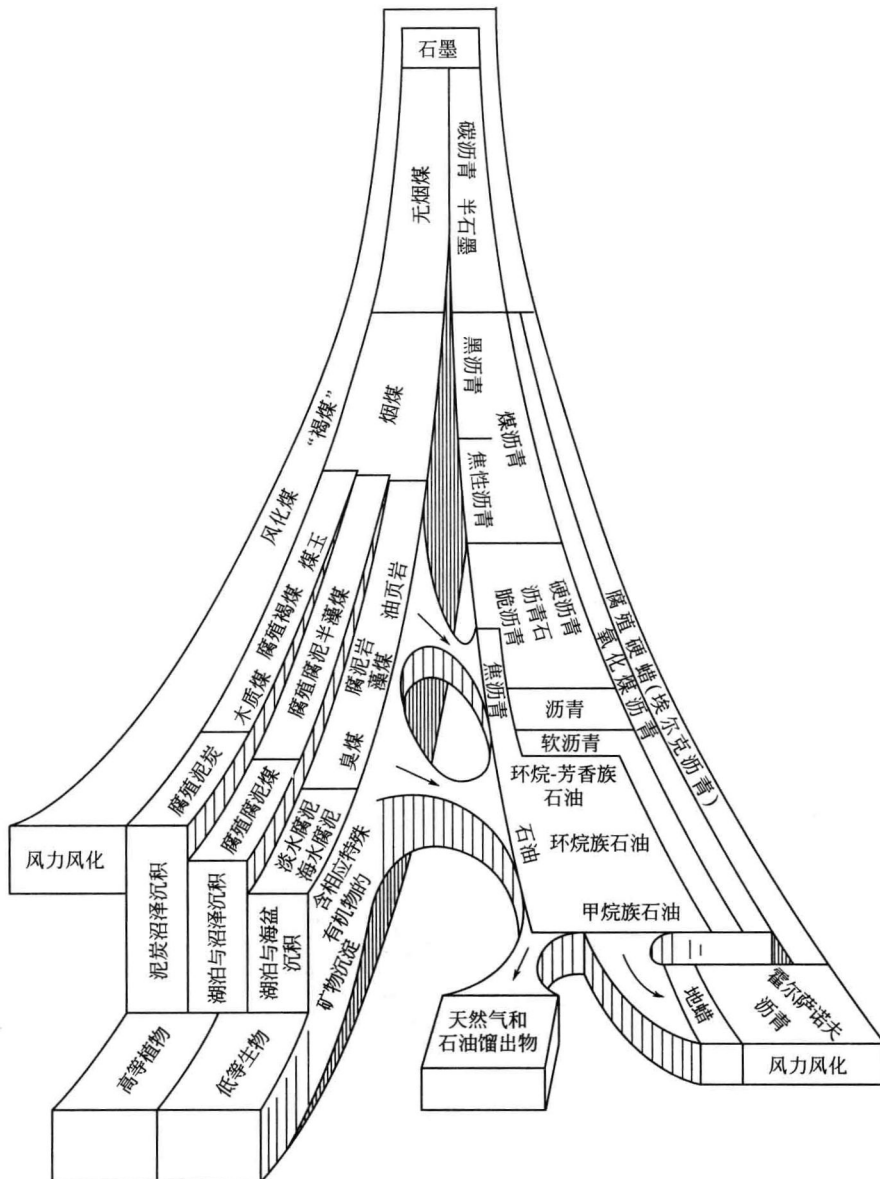


图 1-1 B. A. 乌斯卡斯基和 O. A. 拉德琴科可燃矿物成因分类图