

烟煤浮选的理论纲要

苏联 В. И. 克拉辛著

煤炭工业出版社

烟煤浮选的理论纲要

苏联 В.И. 克拉辛著

鍾灵譯 高玉柱校訂

煤炭工业出版社

內 容 提 要

本書敘述現代浮游選煤的基本原理并闡明氣泡在浮選過程中的礦化作用。此外，書中還分析了藥劑的選擇、浮選的技術操作以及浮選機的工作等問題。本書可供選煤專業工程師和研究工作人員參考。

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ФЛОТАЦИИ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ

蘇聯 В. И. КЛАССЕН 著

根據蘇聯國立煤礦技術書籍出版社(УГЛЕТЕХИЗДАТ)
1953年莫斯科第1版譯

518

烟煤浮選的理論綱要

蘇聯 В. И. 克拉辛 著

鍾靈譯 高玉柱校訂

煤炭工業出版社出版(地址：北京東長安街煤工學院)

北京市書刊出版業營業登記證出字第084號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

開本78.7×109.2公分 $\frac{1}{32}$ * 印張8 $\frac{1}{4}$ * 字數162,000

1957年3月北京第1版

1957年3月北京第1次印刷

統一書號：15035·307 印數：0,001—2,050冊 定價：(11) 1.80元

序 言

苏联共产党和苏联政府非常重视煤炭工业的发展。

苏联共产党第十九次代表大会在关于1951—1955年苏联发展第五个五年计划的指示中指出，到1955年煤产量比1950年须增长43%左右，投入生产的煤矿生产能力比第四个五年计划的相应能力增加30%左右。

在煤炭工业中应该经常改进采煤方法，广泛使用最新式的矿山机器和机械，以实现综合机械化，进一步重新装备煤炭工业并保证提高劳动生产率；应该尽力发展各种最繁重的采煤工作——首先是采煤工作面的装煤工作和掘进巷道时煤和岩石装车工作的机械化，并采用机械化支护采煤工作面的方法。

在发展采煤方法的同时，煤炭工业还应该大大扩展选煤和煤砖制造，以改进煤的品质；应该保证选煤在五年当中增加到2.7倍左右。

在我们国家里，选煤事业的大大发展是以新的、先进的技术为基础的。

为了分选煤尘和煤泥，近年来已大量采用浮选法。在伟大的卫国战争以后，浮选法更具有特别重大的意义。一方面，是由于我们的工业及各种工业技术设备增长得非常快，因而必须、同时也可能急剧增加精选煤炭的数量；另一方面，则是由于采煤和运煤工作实现了机械化，实际上增加了煤中的细粒含量，只有采用泡沫浮选法才能充分而有效地将这种细粒加以分选。

例如，在顿巴斯各选煤厂的入厂原煤中，需要用浮选法处理的细末含量就达20—25%左右。

使用这种分选方法能从高灰分的煤末中額外获得16—20%可做煉焦配料的优良精煤。

精选有用矿物所采用的泡沫浮选过程的理論，现在还远远落后于实际；这种理論落后于实际的現象在煤的浮选方面表现得更为突出。

由于沒有把浮游选煤理論的資料加以总结，使进一步研究浮选过程，將其应用到工業上，并加以改进，以及使培养选煤干部都遭到很大的困难。

著者在着手編写这本书时就認識到：按目前研究工作的情况来看，我們所提出的只能說是初步的浮选理論，絕不能說是一种怎样成熟的浮选理論。在进一步的研究工作中，我們所叙述的問題將有許多要得到确定、發展或被推翻。尽管这些工作很不完善，然而我們認為它会有助于推进浮游选煤理論的加速發展，并且在研究工作的現阶段上，已經能做出某些有实际意义的結論。

著者所討論的浮选理論各基本問題，是根据有用矿物浮选的一般性理論，并参考浮游选煤厂的生产数据及下列同志在浮游选煤方面的研究資料，像伊·恩·普拉克辛，姆·格·耶里雅舍維奇，沃·伊·特魯什列維奇，伊·夫·巴哈罗克，姆·耶·阿弗因于金，德·斯·叶勉利亞諾夫等。

由于普·阿·列賓捷尔，沃·斯·威塞罗夫斯基，伊·姆·威尔霍夫斯基，伊·茲·馬尔哥林，姆·格·耶里雅舍維奇，姆·耶·阿弗因于金和勒·阿·洛馬諾瓦諸同志供給本書若干材料并提出許多宝貴的意見，著者謹對他們表示衷心的感謝。

目 录

序 言

緒 論	6
-----------	---

第一章 在浮游选煤过程中选出的矿物的特性	9
----------------------------	---

§1. 煤的分类	9
§2. 煤岩成分	12
§3. 論煤炭的細微結構	17
§4. 煤中的瀝青	21
§5. 煤中有机物質的氧化程度	23
§6. 煤的光澤与煤的細微結構及其成分間的关系	25
§7. “矸石”中的矿物	29
§8. 煤漿中的顆粒表面的不均匀性	32

第二章 在煤的浮选过程中顆粒表面与水的	
---------------------	--

相互作用	36
------------	----

§1. 矿物顆粒的水化膜	37
§2. 借潤湿接触角和潤湿阻滯來說明矿物表面 与水的相互作用的特性	42
§3. 在浮游选煤过程中, 决定顆粒表面 水化性的因素	50
§4. 各种变質程度的煤炭的“天然憎水性”	59

第三章 在浮选过程中煤粒向空气泡粘附的过程	71
-----------------------------	----

§1. 矿粒向气泡粘附的热力学前提	71
§2. 矿粒与气泡相遇过程中的粘附动力学	76
§3. 从溶液中放出的气泡附着在矿粒表面上的动力学	85
§4. 矿粒在气泡上的固着現象	87
§5. 矿粒从气泡上挣脱	91
§6. 在煤的浮选过程中, 气泡与顆粒尺寸	

最适宜的比例	94
第四章 在浮游选煤过程中所使用的药剂	97
§1. 在浮游选煤过程中所使用的药剂的分类	98
§2. 在浮游选煤过程中, 药剂与矿物表面相互 作用的一般规律性	100
§3. 浮选烟煤末时所用的几种药剂的物理化学 特性	107
§4. 煤粒表面与药剂的相互作用	113
§5. 药剂和非硫化的矽石矿物的相互作用	131
§6. 药剂与煤中的硫化矿物的相互作用	136
§7. 矿物连生体对矿物与药剂间的相互作用所产生的 影响	140
§3. 起泡剂的作用	141
第五章 浮游选煤过程中的泡沫	146
§1. 浮游选煤过程中的泡沫結構	146
§2. 泡沫破灭的原因及其动力学	151
§3. 在浮游选煤过程中, 固体颗粒对泡沫 稳定性的影响	154
§4. 药剂对泡沫稳定性的影响	157
§5. 在浮游选煤时, 泡沫中的二次富集过程	159
第六章 不同粒度的煤粒的浮游性	161
§1. 浮选煤粒的动力学	161
§2. 浆粕的濃度与攪拌强度对不同粒度的颗粒的 浮游性所产生的影响	163
§3. 粗粒煤炭的浮选过程	169
§4. 細泥对浮游选煤过程的影响	171
第七章 在浮游选煤过程中如何选择药剂制度	189
§1. 在煤的浮选当中为了清除灰分的目的 而使用药剂	189

§2. 煤岩成分的选择浮选	198
§3. 在浮游选煤过程中的脱硫问题	203
第八章 精选煤末的浮选机	206
§1. 在浮选机中發生的过程的某些一般性理論	206
§2. 在机械式浮选机中浮选煤末时, 漿粕的濃度 对浮选工程所發生的影响	213
§3. 在煤的浮选过程中, 气泡矿化作用的特性 所产生的影响	217
§4. 浮选煤末的浮选机应具有的一些主要特点	219
第九章 几个基本的实际結論	223

緒 論

在最近几年当中，我們的許多規模宏大的煙煤煤末浮选厂都已經先后开工生产了。苏联的研究人員、工程师和斯达哈諾夫工作者的高度科学技术修养，以及在浮游选矿方面所积累的經驗，使我們能够比較迅速地掌握浮游选煤过程。目前，浮游选煤进行得非常順利，并已具有相当高的技术操作效率；在頓巴斯的几个中央选煤厂中，浮选設備的工作指标特別能証实这种說法(参閱下表)。

厂 名	送去浮选 的煤炭的 灰分%	精 煤		尾 煤	
		出量 %	灰分 %	出量 %	灰分 %
依尔明选煤厂	14.6	87.7	7.5	12.3	64.4
叶納基耶夫选煤厂	15.2	84.9	7.0	15.1	65.8
諾沃烏茲洛夫选煤厂	14.9	87.3	7.9	12.7	63.2

如果單憑在工業上运用浮选煙煤的初步成就，試圖証实浮选理論已經完全可靠，并且这方面的基本問題都已全部解决，那就錯了。要是考虑到今后對我們的工業所提出的要求，并富有批評性地將有关問題加以分析，那就能得出相反的結論：浮游选煤还应繼續不断加以改进，因为直到現在为止，仍有許多浮选的可能性尚未得到利用。現在可以用几个例子来証实这句话：到現在还没有找到十分完善的浮选剂；有許多种煤的浮选效果还很坏(如特基布利的煤和特克瓦尔切利的煤)，甚至有的煤根本不能浮选(如褐煤)；在浮选过程中，一般还只是附帶地解决煤的除硫問題，还不能單独地控制除硫过程，除此以外，

除硫的效率也并不算高；在許多情況下，浮選設備尚未發揮生產上的潛在力量；使用選擇浮選法來分選各種煤岩成分，以便調整煤的結焦性這種方法，到現在也沒有得到實現。

這樣看來，在煤炭工業的浮選工作者面前還擺着一些急待徹底解決的重要問題，其中主要的包括：

1. 擴大浮選的選擇性，並在提高精煤可燃物質回收率的同時，獲得灰分和硫分較低的精煤；
2. 降低藥劑的消耗量，尋求價值更便宜而來源又不缺乏的藥劑；消除有害物質污染廢水的現象；
3. 強化浮選過程，以提高浮選設備的生產率。

十分明顯，只有具備了相當正確的煙煤浮選理論以後，才能迅速而成功地解決上述問題。

因此必須指出，近幾年來，浮選理論之所以能夠大大地向前推進，縮短了理論與實際間的距離，是與蘇聯學者和工程師的勞動分不開的。過去所舉行的許多次廣泛的討論，對浮選理論的發展產生了特別顯著的良好影響。

在創立一般性浮選理論的基本原則時，研究工作者的主要注意力通常都集中在浮游選礦方面。至於說到浮游選煤的理論時，對應用一般性理論（主要是以浮游選礦的研究工作為基礎而制定的）的可能性這一方面，就有兩種原則上不同的觀點。一種觀點認為，浮游選礦的理論完全可以用於浮游選煤上；因此，浮游選煤理論是一件毫無意義的事，因為它本來就是一般性理論中的一部分。

擁護另一種觀點的人認為，煤是一種完全特殊的物質，因此需要創立完全獨立的浮選理論。

我們認為上述兩種極端的觀點都不正確，必須全面去考慮問題，一方面要顧及浮選的一般理論原理，另一方面也要估計

到浮游选煤的特殊性。根据以上所述，煤是具有許多独特性質的，这可由下列的数据中明显地看出。

主 要 指 标	浮 游 选 矿	浮 游 选 煤
泡沫产品的产量，%	2—20	60—85
浮选时间，分	8—40	3—6
选出颗粒的比重	3.0—7.5	1.2—1.4
润湿接触角，度	0—40	60—88
浮选的困难程度（以流程的复杂性来说明）	通常是相当难选和难易程度适中的	一般都不太难选
连生体分离的程度	通常分离得相当完全	通常不能完全分离，也不能受到調整
浮出颗粒的最大粒度，公厘	0.1—0.2	1—2
浮出来矿物的特性	通常是分选得很清楚，并具有一定性質的矿物	产品的性質会因浮选時間的变化而有所不同
在浮选过程中的磨碎程度	一般都不大	很严重

我們可以毫無疑問地認定浮游选煤与浮游选矿在本質上是有区别的；因此必須仔細研究浮游选煤的理論問題，因为它是浮选一般性理論中的組成部分。同时，还要找出一些事实和規律以便大大充实一般性的浮选理論。

在选矿的对象中，有一些浮游性与煤炭很相近的物質，例如天然硫就是这些物質中的一种。硫的天然憎水性很强，比重也不大，在浮选过程中它很容易磨碎；此外，浮起来的精矿顆粒很大，出量也相当多。所以在制定浮游选煤的理論基础时，我們可以全面地利用浮选硫黃的各种規律。

除此以外，在浮游选煤的理論中，也应该直接采用浮选理論的一般問題，如浮选的基本行为、發生于浮选机中的各种过程以及矿物表面与水相互作用的機構等。

第一章 在浮游选煤过程中选出的矿物的特性

§1. 煤 的 分 类

煤的一切主要性質都取决于煤中的原始物質和煤的生成条件。煤的生成过程可以分为两个时期，即母体物質的聚积时期和煤質在成煤地層中进行化学成分的重新組合时期。

第一个时期决定煤的原生类型；第二个时期，进行原始煤質的碳化作用。煤的最終性質决定于煤炭的原始物質在这两个时期中所發生的綜合作用。

在成煤过程中，主要的原始物質——植物的木質纖維組織受到一系列的复杂变化，結果，它們的含碳量增加，含氧量減少。成煤作用的一般程序則如表 1 所示。

成煤过程的程序(根据任竹什尼科夫的資料) 表 1

成煤阶段	成煤条件及煤的变化	煤炭成分变化的結果
1. 腐植作用	泥炭的分解	氢化作用。腐植酸的聚积
2. 碳化作用	1. 泥炭变成褐煤	一般的还原作用：增加碳的含量，減少氧的含量。脱水作用
	2. 褐煤的演化：褐煤变成烟煤与無烟煤	过程仍然朝着原来的方向發展。在最后的阶段中（貧質煤，無烟煤），氢的含量減少
	3. 增加压力与温度	石墨化作用

从表中就可以看出煤炭在成煤的地史过程中的变化是多么大的。这些变化自然要影响各种煤炭的浮游性。

在确定煤的浮游性时，矿物雜質的成分、雜質的分散程度、

各种煤的拼分間的关系和特性以及其他因素等均具有很大的意义。

要按照煤的浮游性来定出一种合理的煤炭分类法，到目前为止那还是很困难的，因为能够决定煤炭浮游性的上述各主要因素之間的关系，并不是很簡單的。現在有很多种煤炭分类方案，基本上它們可以分为兩大类。第一种煤炭分类方案是以煤炭的原始特征为基础，即根据煤的原始植物質及其碳化过程来分类。

第二种煤炭分类方案就是所謂工業分类法，这种方法是根据不同的碳化程度为根据，因为，煤的碳化程度能够决定煤炭几种最重要的工業性質(如煤的結焦性和發熱量等)。

近来也有人試圖根据煤的灰分及其可选性来进行分类，并且用非浮选法来研究选煤过程。

在苏联，最普通的煙煤分类法就是适用于頓巴斯煤炭的分类法(見表 2)。

頓巴斯煤炭的工業分类法

表 2

煤 的 牌 号	可 燃 体		下列各种元素在煤炭有机体中的含量(%)			
	揮發分含量(%)	發熱量(仟卡/公斤)	C	H	N 平均值	O
長焰煤, Л	42	7650—8100	76—86	5.0—6.0	1.8	10—17.5
瓦斯煤, Г	35—44	7900—8300	78—89	4.5—5.5	1.7	6.8—16.0
錫爐肥煤, ПЖ	26—35	8300—8700	84—90	4.0—5.4	1.7	5.0—10.5
煉焦煤, К	18—26	8400—8750	87—92	4.0—5.2	1.5	3.0—8.0
錫爐粘結煤, ПС	12—18	8450—8720	89—94	3.8—4.9	1.5	2.0—5.0
貧質煤, Т	17	8300—8700	90—95	3.4—4.4	1.2	1.6—4.5

上述分类法並沒有把無煙煤及褐煤包括在內；但是我們不

能不考虑到这两种煤炭将来也是浮选的对象。

凡是成分差别极大，且含氧量与挥发分量都很高的煤，全应算是褐煤。所有各种典型褐煤的吸水性都比烟煤大；褐煤通常含有10—25%的实验室水分，而烟煤中的实验室水分仅为2—5%。褐煤对于某几种化学化合物(如 FeCl_3 ，亚甲基蓝等)的吸附能力特别强。这种煤炭含有大量的腐植酸，并且含量的变动范围甚大(1—60%)。腐植酸在许多方面都能预先决定褐煤的性质。

烟煤不显示腐植酸的正反应。同时烟煤的水分也已经减少了。

在许多种腐植煤中，以无烟煤的碳化程度为最高，这种煤的比重和硬度都很大。无烟煤含有很少量的氢、氧和挥发分，其中，挥发分的含量在2—2.5%左右。

表3是煤炭的化学成分的特性。

各种煤炭的分析结果

表 3

可燃矿产的类型	吸附水分含量 (%)	下列成分在可燃体 中的含量(%)			比 值 $\frac{C}{H}$
		挥发分	C	H	
褐煤	14.17	—	65.0	5.61	11.7
烟煤，其牌号为：					
Д	13.57	38.81	78.58	5.15	15.2
Г	2.98	37.27	82.37	5.21	15.8
ПЖ	1.44	30.34	84.67	5.01	16.9
К	1.46	22.97	90.38	4.90	18.4
ПС	1.82	15.55	87.66	4.47	19.4
Т	1.31	12.46	89.50	4.05	22.1
无烟煤	2.74	2.66	94.12	1.97	47.7
半石墨	—	—	98.11	0.43	277.4

§2. 煤 岩 成 分

根据近代的說法，煤炭包括昏暗的組成部分和光輝的組成部分(亦即所謂拼分或組分)。这些成分共分为三类：即鏡煤类、絲炭类、和一类含有孢子、角質層及树脂体的物質。鏡煤类是由典型的鏡煤及無結構的腐植質所組成。煙煤中的絕大部分(50—90%)是由含有細微岩石組分的腐植質所構成，这种煤中包含 10—15% 左右的典型鏡煤和絲炭。

煤的“基質”中含有植物的組織和孢子花粉等的細小殘骸，这些殘骸的总名称就叫做“植物屑”。任竹什尼科夫根据植物屑和基質的性質，將煤岩类型列成圖表(見圖 1)。

在鑑定各种煤岩类型时要利用下列各种特征。

在标准的亮煤中主要是鏡煤的基質。植物屑的含量約25%。

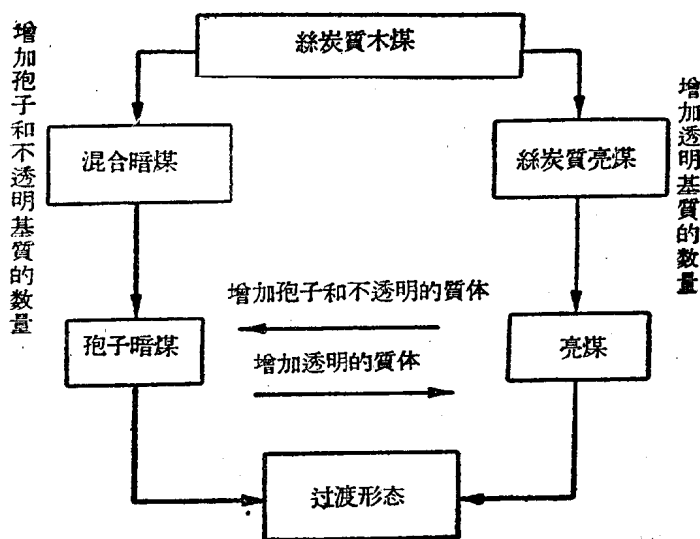


圖 1 由泥炭生成的煤岩类型示意图(根据任竹什尼科夫的資料)

亮煤可以連續不斷地向着鏡煤和絲炭方面過渡；在第一种情況下，植物屑的分量漸漸減少，在第二種情況下，植物屑的分量則漸漸增多。标准的暗煤是由少量基質所膠結的植物屑組成，這種基質可能透明（即鏡煤基質）也可能不透明（即鏡煤-絲炭基質）。

耶尔郭里斯卡娅在說明各种主要的煤岩类型時指出：“亮煤与暗煤早已不是顯微鏡鑑定成分時的固定指标了；現在已用一個总的概念——植物屑把它們統一起来，這種植物屑实际就是由微細的植物殘骸和形成基質的這些殘骸變成的產物的混合物所組成”。“這些殘骸在某種程度上會發生絲炭化的過程，根據殘骸的飽和程度，植物屑又可細分為亮煤、暗亮煤、和亮暗煤等几种”（參看表4）。

在利用浮選法來分選煤炭時，上述兩種因素——煤炭由一

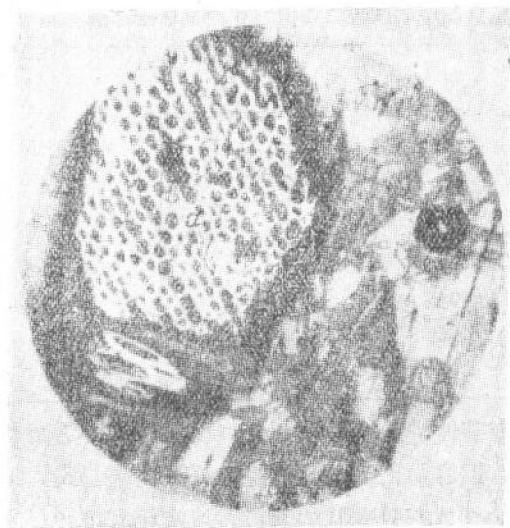


圖 2 放大 170 倍的絲炭(木質絲炭)顆粒

种結構过渡为另一种結構的連續性以及煤中含有較少量純一“单体矿物”的拼分——無疑地要發生很大的作用。同时，这两种因素还能使浮选过程遇到極大的困难。

各种煤岩成分具有如下的特性。

絲炭具有纖維狀結構，在各个小塊上都有平行取向的纖維。絲炭性脆，外觀很像木炭。絲炭在顯微鏡下呈現帶有許多小斑点 α 的連續蜂窩狀結構，这也是絲炭具有昏暗光澤的原因（見圖2）。

暗煤的硬度和韌性均較高；它的結構略呈層狀但时常是很致密的，有时还具有粒狀構造。在顯微鏡下可以很清楚地將暗煤分为兩種組成部分：即無結構的基質和粘合在基質上面的有結構的分子（如孢子，角質層和树脂体）。在暗煤中也存在着少量褐色透明并具有凝膠性的腐植質。

煤岩类型的特性（根据耶尔郭里斯卡婭的資料） 表 4

結 構 的 名 称	鏡 煤 含 量 (%)
鏡 煤	100
亮 煤	80
暗亮煤	65
亮暗煤	65
暗 煤	50
木 質	—
絲 炭	0
昏暗的物質	0

鏡煤与其他拼分的界限划分得很清楚，順着鏡煤的清晰平面去觀察，很容易把它与其他拼分分別出来。鏡煤的結構均匀（即均質的）并具有貝壳狀的断口。当碳化程度很低时，在鏡煤中可以很清楚地看到蜂窩狀結構的痕跡。鏡煤的光澤也特別