

可燃性頁岩的 熱分解

蘇聯 亞·伊·希辛著

燃料工業出版社

本書的目的在於研究頁岩在低溫和高溫下的熱分解過程和闡明決定這些過程進行方向的各主要因素的影響。著者對伏爾加頁岩的「逐級」分解做出了結論，並指出在頁岩解聚的溫度下，高速加熱及逐級恆溫加熱的作用。在研究頁岩高溫分解的幾章裏，著者研究了並流和逆流的高溫乾餾過程中低溫乾餾個別產物的熱分解，並由此確定了整個分解過程的途徑。

本書可供科學工作者、工程師和專門的高等學校學生參考。

* * *

由於原書首兩頁所述係關於蘇聯頁岩的一般性質，涉及蘇聯頁岩的資源問題，在徵得蘇聯專家С. Н. 波波夫教授的同意後，特將該部分刪去。這對於原書在研究頁岩熱分解的價值上並無影響。

* * *

可燃性頁岩的熱分解

ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

根據蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社(ГОСТОПТЕХИЗДАТ)

1948年列寧格勒俄文第一版翻譯

蘇聯 Я. И. ХИСИН 著

北京石油學院人造石油教研室譯

朱亞傑 翟福貞 韓鎮濤校訂

燃料工業出版社出版

廠址 北京東長安街燃料工業部

北京市書刊出版營業許可證出字第112號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：楊億美 戴振芳 校對：汪立群 祁 峨

書號411油67

850×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 6 $\frac{3}{4}$ 印張 * 161千字 * 定價一元五角四分

一九五五年四月北京第一版第一次印刷(1—2,100冊)

目 錄

序 論	3
第一章 研究所用頁岩之一般特性	6
頁岩內的有機物質	6
頁岩內的礦物質	14
第二章 熱解瀝青的形成	16
熱分解的開始階段	16
庫克西特頁岩	19
伏爾加頁岩	22
巴爾扎斯頁岩	27
影響熱解瀝青產率的因素	29
第三章 等溫分解過程	34
實驗室的研究方法	34
頁岩分解的一般過程	38
熱解水的放出	40
氣體的放出	45
焦油的放出	49
第四章 等溫加熱時焦油的組成	64
第五章 影響焦油放出的因素	71
持溫加熱	71
加熱速度	79
再蒸餾和再冷凝	83
燃料層高度的影響	99
礦物成分的影響	105
燃料塊度的影響	115
影響焦油放出的主要因素	117
第六章 熱分解氣體之組成	123
第七章 低溫乾餾產物的高溫分解	137
高溫分解過程	137

半焦再乾餾	133
低溫乾餾氣體的高溫分解	142
焦油的高溫分解	143
水蒸汽	153
第八章 頁岩高溫乾餾的逆流過程	158
過程的特性	158
伏爾加頁岩	160
庫克西特頁岩	162
工業試驗	165
氣體形成的來源	168
第九章 頁岩高溫乾餾的並流過程	171
實驗室的研究	171
半工業試驗	178
氣體形成的來源	187
參考文獻	194

序 論

大多數科學家已公認可燃性頁岩在煤化學中佔有其獨立的地位。但這樣把頁岩科學和廣大的煤化學分開，對其發展並無好處，因此後來又把二者合併，只是用灰分含量的不同將二者加以區別。

頁岩的灰分不只是商品上的特徵，同時它還把頁岩和他種燃料明顯地區別開來。在幾乎不含灰分的石油中，某些已發現的極少量的礦物成分大大地影響了成因物質的變化過程；如此就不能認為頁岩內大量的礦物成分對於頁岩的生成沒有影響。在研究頁岩的來源時，我們應該注意到由於燃料中無機物的存在所引起的有機物的變化。

在由成因物質變到煤狀礦物的過程中，無機物會影響有機物的變化，並在一定程度上可以確定煤的形成過程。此種影響無疑是與無機物的特性及數量都有關係的。

大量的礦物成分會使有機物的變化過程延緩進行並減低其碳化程度；故礦物質對此變化過程首先是起阻礙作用，但同時礦物成分又在化學上影響碳化過程。

假如隨着庫克西特頁岩有機物內黏土成分的增加而其氧含量也增加，則認為腐植物質是和黏土一起被帶入礦層的，或認為砂子和黏土的存在永遠可以表明煤的來源是一種混合物等說法都是不正確的。這樣就不能不認為庫克西特頁岩是一種在其生成時有地面上的植物性物質參加進去的產物，但這種看法顯然是和地質材料相矛盾的。

地質學家和煤化學家還須再加努力來研究頁岩的礦物成分如何影響有機物的某些變化過程，在條件相同而礦物質成分不同時，可燃性物質的特性如何改變，在礦物質與有機物起作用時其性質如何改變等問題。

因此在煤化學中關於頁岩方面應該注意研究頁岩內有機物和礦物質的相互作用。但在關於頁岩工業方面則可只考慮到如下的一些事實：即在熱分解的每一階段中，頁岩的礦物質都劇烈地與有機物起作用，部分地引起分解過程，並對最後產物的性質有很大的影響。有機物與礦物質相互作用的特點及其程度要由二者的性質來決定。假如礦物質或有機物的分解產物不活潑則相互作用即行減弱。在此情況下其化學不活潑性決定了其相互作用必然很弱，其相互變化的性質必然也很低。我們常常遇到活潑的礦物質和有機物，其間的相互作用深深地影響到分解的過程和產物的成分。矽酸鋁、石灰石和氧化鐵就是這樣的礦物質。

在研究兩種完全不同的頁岩時——庫克西特頁岩和伏爾加頁岩，我們曾企圖根究其分解機理的主要區別。我們認為庫克西特頁岩是由構造相似且熱穩定性相同的疊合分子所組成的，而伏爾加頁岩的有機物則是由不同種類的分子所組成的。雖然伏爾加頁岩分佈的面積很廣，而且各產地之間距離也很遠，可是無論在其有機物的熱分解過程方面，或是在其礦物質的性質方面，他們彼此間並無不同之點。這兩種頁岩熱分解的特性不但在低溫分解時可以看出，就是在高溫下，即當各種伏爾加頁岩彼此間之相似性表現得很清楚時，也同樣可以看出。

在研究低溫乾餾過程時，我們認為研究某些因素對分解過程的影響是很重要的。在實驗室裝置中我們曾研究了急速加熱和緩速加熱的影響。我們曾企圖（可惜未充分做到）肯定個別礦物成分對分解所得蒸汽及氣體產物的影響，確定這些現象的意義，並研究再冷凝和再蒸餾的情況如何。我們還想確定燃料層高度的影響並以通用的假設說明所發生的過程。

我們的工作主要就是這些。

我們用了一些在煤化學文獻中未曾用過的專門名詞；例如我們稱頁岩中的有機物為油母。這個字比較簡短而且在頁岩文獻中也較為習用。

我們稱頁岩中的脫氧物質為熱解瀝青，以便和瀝青區別開

來。

在鋁甌內按照我們所規定的條件來乾餾，稱為標準乾餾。

我們所引用的文獻主要是本國的關於頁岩方面的文獻和很少的煤化學方面的文獻。

第一章 研究所用頁岩之一般特性

頁岩內的有機物質

瀝青 可燃性頁岩中的油母僅含少量可溶於有機溶劑的物質。

當愛沙尼亞頁岩中的有機物起顯著的分解作用時，考格爾曼 [1] 曾用四氯化碳自其中取得 2.20% 的瀝青。如用其他溶劑則所得瀝青不到 1% (表 2)。

用不同溶劑萃取愛沙尼亞頁岩所得的結果 表 2

溶 劑	萃 取 時 間 小時	瀝 青 產 率 %	瀝 青 顏 色
丙酮	120	0.27	淺黃
三氯甲烷	120	0.22	淺黃
苯	124	0.43	橙綠
石油醚	119	0.49	近於無色
甲苯	124	0.52	近於無色
二甲苯	120	0.77	黃
吡啶	48	0.70	暗紅
四氯化碳	70	2.20	黃棕

我們在用酒精和酒精-苯萃取伏爾加頁岩時，得到的瀝青較多 (表 3)。

用不同溶劑由頁岩中萃取瀝青的產率，% 表 3

頁 岩	溶 劑							
	石油醚	硫醚	酒精	酒精:苯 1:1	苯	三氯 甲烷	二硫 化碳	丙酮
格多夫第一層	0.250	0.225	0.200	0.350	0.125	0.200	0.125	0.325
奧別西塞爾特第一層	0.075	0.250	0.325	0.775	0.200	0.275	0.100	0.425
喀什米爾第一層	0.170	0.460	0.950	0.960	0.270	0.370	微量	0.575
布因斯克第一層	0.100	—	0.225	0.475	0.125	0.225	0.075	0.350

另外一些人的實驗結果也差不多(表4)。

從頁岩中所得瀝青A的產率

表4

頁 岩	溶 劑	瀝青產率, %	試 驗 者
魏馬林	苯	0.250	蘇克涅維奇
奧別西塞爾特	酒精-苯	1.000	[瀝青頁岩]實驗室
奧別西塞爾特	苯	0.300	蘇克涅維奇
奧別西塞爾特	三氯甲烷	0.230	蘇克涅維奇
奧別西塞爾特	酒 精	0.290	蘇克涅維奇

伏爾加頁岩內瀝青的某些部分和礦物質相聯結，故只有在用稀鹽酸處理後才能取出。茲將瀝青C的產率列於下表中(表5)。

從頁岩中所得瀝青C的產率

表5

頁 岩	瀝 青 產 率 %	試 驗 者
奧別西塞爾特	1.73	[瀝青頁岩]實驗室
喀什米爾	1.40	希辛
格多夫	0.63	希辛

關於瀝青B，根據各試驗者所得的數據可知其變化範圍較寬(表6)。

從頁岩中所得瀝青B的產率

表6

頁 岩	溫 度, °C	瀝青產率, %	試 驗 者
愛沙尼亞	250	1.00	什涅依介爾[2]
愛沙尼亞	240—250	1.85	克列維爾, 毛赫[3]
愛沙尼亞	230—240	4.00	考格爾曼[1]
愛沙尼亞	260—280	8.00	考格爾曼[1]
魏馬林	250	1.51	蘇克涅維奇
奧別西塞爾特	250	6.40+1.35	蘇克涅維奇

愛沙尼亞頁岩在加熱到250°C時，其中的有機物質即起顯著的分解作用。在此溫度下即發生解聚作用而生成熱解瀝青。從熱

解瀝青和瀝青 B 的元素組成可以看出它們二者是相同的(表 7)。

瀝青 A 和 B 及熱解瀝青的元素組成

表 7

瀝 青	含 量, %		試 驗 者
	碳	氫	
瀝青 A	66.28	8.79	奧爾洛夫, 拉德琴科[4]
瀝青 B	80.59	8.89	克列維爾, 毛赫[3]
熱解瀝青	81.43	8.69	克列維爾, 毛赫[3]
熱解瀝青	80.53	9.49	普克素夫[5]

奧爾洛夫和拉德琴科[4]用苯從格多夫頁岩內取得瀝青 0.6%, 並測得其中含有若干酸類, 其中有 $C_7H_{12}O_2$, $C_3H_4O_2$, $C_7H_{10}O_2$ 和 $C_8H_{10}O_2$ 等等。

腐植酸 用冷鹼和熱鹼處理格多夫和伏爾加頁岩時, 並未發現頁岩中有大量的腐植酸。克列維爾和毛赫[3]用苛性鉀處理愛沙尼亞頁岩得到了一種物質, 其量為 0.6%, 可是從其成分來看(含氫 6.55—7.19%)我們沒有根據認為它是腐植酸。

奧爾洛夫和拉德琴科[4]用鹼的酒精溶液在壓力下處理格多夫頁岩時, 並未發現腐植酸。

在我們的試驗中, 用熱鹼萃取喀什米爾頁岩、奧別西塞爾特頁岩及薩維里耶夫卡頁岩時, 其產率不超過 0.2%。斯大德尼可夫[6]曾指出, 雖然腐植質曾參加庫克西特和伏爾加頁岩的形成, 但在這兩種頁岩中並無腐植酸。

奧爾洛夫和拉德琴科[4]認為「在庫克西特頁岩內並無臘和臘酸, 亦無腐植質, 但有脂肪酸。」

硫 在庫克西特頁岩內, 硫含量約在 1.1—2% 之間, 平均約為 1.5%。根據維特里赫[7]的數據, 有機硫佔全部硫的 70%, 維氏並由此做出結論: 在愛沙尼亞頁岩的有機物中含硫量在 1.5—2.4% 之間, 平均為 1.8%。

斯大德尼可夫[8]確定: 在格多夫頁岩、阿列克塞耶夫頁岩和魏馬林頁岩內有機硫含量更小。根據他的數據應認為有機硫佔

全部硫 11—51%。且在此情況下，在頁岩的有機物中含硫量在 0.7—1.5% 之間，平均為 1% 左右。

維特里赫[7]用下列數據表示在頁岩進行低溫乾餾時，硫在乾餾產物中的分佈情況：

乾餾產物中的硫含量(佔頁岩內硫的%)		
在半焦內	在焦油內	在氣體內
44.4	13.2	42.4

在焦油的各餾分中硫分佈的情況是很均勻的。在輕餾分或重餾分中硫含量並不增加：

頁岩焦油各餾分中硫的分佈情況%						
焦油 175°以下	175—200°	200—225°	225—250°	250—275°	275—300°	
1.08	1.34	0.98	0.87	1.03	1.08	0.97

伏爾加頁岩的硫含量要高得多，約為 3—5%，有時達 8%。斯大德尼可夫[6]發現：在喀什米爾頁岩中有機硫佔全硫量的半數。在奧別西塞爾特頁岩內有機硫的含量(%)則較高：

總硫量.....	5.90	5.82	3.64	5.60	3.80
有機硫.....	4.51	4.43	2.47	4.20	2.44
有機硫對硫總量的百分比...	76	76	68	77	69

喀什米爾頁岩在低溫乾餾時總硫量的 60% 左右進入餾出物中。根據我們的數據，固體殘渣中的含硫量是由加熱最終溫度來決定的(表 8)。

因加熱最終溫度的不同固體殘渣中硫含量的變化情況 表 8

頁岩含硫量, %	在下列溫度(°C)時固體殘渣中的硫佔頁岩含硫量的, %								
	300	325	350	375	400	425	450	475	500
4.52	92	81	72	53	45	44	42	41	39
4.07	93	91	80	70	48	47	43	41	40
7.70	—	—	—	—	56	50	44	43	42

喀什米爾的三種頁岩在 400°C 時，其固體殘渣中之硫已佔原來頁岩含硫量的 45—56%，而乾餾至終了時則約為 40%。在不同的加熱溫度下，喀什米爾頁岩中硫的平衡如表 9 所示。在過程

終了時頁岩內總硫量的 42% 成硫化氫而進入氣體中，約 15% 進入焦油(表 9)。

喀什米爾頁岩分解產物中硫的平衡(佔頁岩含硫量的%) 表 9

乾餾產物	頁 岩 加 熱 溫 度, °C						
	350	375	400	425	450	475	500
半 焦	80.0	68.0	55.0	50.0	44.0	45.0	42.0
氣 體	5.0	15.0	20.0	22.8	27.5	35.0	42.0
焦 油	1.1	5.6	9.6	12.1	14.5	14.5	14.5

這樣，我們由喀什米爾頁岩低溫乾餾產物中所得到的硫的分佈情況是和維特里赫由愛沙尼亞頁岩所得數據相符合的。在某些情況下，頁岩內有 13—15% 的硫進入焦油內，因此喀什米爾和其他伏爾加頁岩的頁岩含硫量顯得較高(圖 1)。

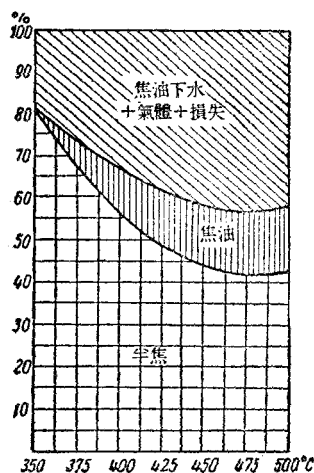


圖 1 硫之分佈情況

伏爾加頁岩焦油內的硫主要是以噻吩化合物而存在的，就像含硫量很高的基羅里頁岩焦油一樣，多德諾夫和索舍斯特文斯卡婭[45]從喀什米爾頁岩焦油內分離出了個別的噻吩同系物；涅滋任斯卡婭在輕焦油的狹餾分內找到 54% 的噻吩化合物。

拉科夫斯基和索科洛夫[46]確定了 150—160°C 和 180—190°C 的餾分內各含有 42.6% 和 35.9% 的含硫化合物。

在庫克西特焦油的餾分內，含硫量幾乎並不改變。在喀什米爾焦油餾分內沸點越低則其含量越大，而在 120—150°C 的餾分內達 10—11%。在用列氏法處理 103—130°C 的餾分時，我們找到了一種含噻吩 21.4% 的產物。值得注意的是在喀什米爾附近的石油和瀝青岩內也含有大量的硫和氮。

● **氮** 根據維特里赫[9]、沙馬林[10]、克列維爾和毛赫[3]等學者的數據，在愛沙尼亞頁岩內氮含量不大，約在0.12—0.5%之間。斯大德尼可夫[6]指出：在格多夫頁岩內氮含量極小，尚不足1%。在伏爾加頁岩內氮含量則遠較前者為多：

在喀什米爾頁岩內.....	從0.65%到0.90%
在奧別西塞爾特頁岩內.....	從0.41%到0.65%
在溫多羅頁岩內.....	從0.33%到1.00%
在烏爾納爾頁岩內.....	從0.41%到0.78%

假如我們平均規定喀什米爾頁岩的有機物含量為35%，則計算出的有機物中的氮含量幾乎多到三倍。由此可知：伏爾加頁岩的含氮量要比其他大多數頁岩和煙煤大得多。

根據我們的數據[11]喀什米爾頁岩在加熱到不同溫度時，氮的分佈情況如表10所列。

在所有乾餾溫度下，氮在焦油中的含量保持不變(0.545—0.650)(圖2)。

我們所得到的數據和過去所發表的數據不符，在過去發表的數據中，在喀什米爾頁岩的半焦內還剩有66%的氮，而在奧別西塞爾特頁岩的半焦內則剩有83%。此種差別可能是由於乾餾條件不同所致。在更早的時候已有人指出在蘇格蘭頁岩緩速乾餾時，進入氣體中的氮量由於半焦含氮量的減少而加倍。氮的含量和乾餾條件的關係可從表11看出。

在試驗中，每一最終加熱溫度都保持了1.5小時。在緩速乾餾時有大量氮化物析出而變為氣體。

在喀什米爾頁岩低溫乾餾產物中氮的分佈情況的數據和蘇格蘭頁岩的數據很相近(表12)。

氮 瓦里契斯和波波夫[12]最先在庫克西特頁岩內發現了多

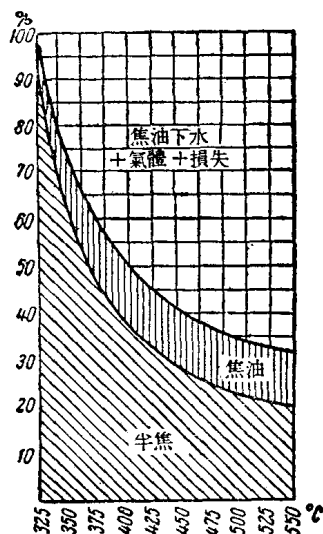


圖2 氮之分佈情況

在不同加熱溫度下氮在喀什米爾頁岩乾餾產物中的分佈情況 表 10

加熱溫度, °C	氮在半焦中的含量 %(頁岩含氮0.726)	氮之含量, %(以頁岩含氮量為 100%)		
		在半焦中	在焦油中	在氣體和水中
350	0.563	69.0	1.0	30.0
375	0.446	52.1	5.0	42.9
400	0.323	36.0	8.0	55.2
425	0.300	32.3	10.7	57.0
450	0.272	28.4	13.2	58.4
475	0.247	25.6	13.2	61.2
500	0.234	24.1	13.2	62.7
525	0.221	22.7	13.2	64.1
550	0.200	20.4	13.2	66.4

蘇格蘭頁岩乾餾產物中的含氮量(佔頁岩總氮量的%) 表 11

乾 餾 產 物	急 速 乾 餾	緩 速 乾 餾
氣 體	17.0	32.0
焦 油	20.4	20.4
半 焦	67.6	45.7
損 失	—	1.9

頁岩乾餾產物中氮的含量(佔頁岩總氮量的%) 表 12

頁 岩	半 焦	焦 油	氣體和水
蘇格蘭頁岩	23	25	47
喀什米爾頁岩	20	13	66

量的氮。根據柳特斯[13]的數據，在愛沙尼亞頁岩的有機物中含氮 0.50% 至 0.68%；在他們所研究過的煤和頁岩中也都發現了氮的存在。

碳、氫和氧 這些成分在庫克西特頁岩內的含量是不變的。柳特斯[13,14]所測定的未風化的愛沙尼亞頁岩內各該成分的含量如表 13 所示。

根據斯大德尼可夫[8]的數據，格多夫產區的庫克西特頁岩的組成也是不變的(表 14)。

對於其他產地——阿列克塞耶夫和魏馬林[15]——的庫克西特頁岩中有機物的組成並未證明是不變的(表 15)。

這些頁岩的有機物中含氮量所以減少，最可能是由於其氧化的結果，因為這些頁岩含黏土和砂較格多夫頁岩還少，其礦物質的分析並未證明中間混有大量腐植質。

愛沙尼亞頁岩油母的元素組成, %

表 13

組 成	地 層				
	A	B	C	D	E
C	77.49	76.25	75.47	76.87	76.95
H	9.13	9.10	9.20	9.32	9.30
O+N	10.92	10.57	10.82	10.07	11.01
S	1.78	1.58	1.87	2.01	2.22

格多夫頁岩油母的元素組成, %

表 14

地 層	有 機 物	C	H	焦油產率
第一地層 上分層	25.52	69.27	8.49①	16.90
第一地層 下分層	38.66	76.50	9.26	26.00
第二地層	36.81	73.82	9.40	23.48
第三地層	49.30	74.28	9.13	34.07
第四地層	39.57	76.70	9.11	23.12

① 根據 BTI 分析實驗室的數據，格多夫第一層頁岩的氮含量為 9.58%，此數據符合於從該頁岩內可得大量焦油(佔有機物的 66%)的事實。

伏爾加頁岩組成的恒定性不像愛沙尼亞頁岩和格多夫頁岩那樣顯著。根據許多試驗者的數據，喀什米爾頁岩的元素組成如表

頁岩油母中氫的含量, %

表 15

阿列克塞耶夫頁岩	氫	魏馬林頁岩	氫
第一層 第二水平坑道	9.02	第一層下分層第三熔岩	8.86
第三層 第二水平坑道	8.97	第一層 下分層第十三熔岩	8.8
從第一層(兩個分層) 第二水平坑道取得之檢查試樣	8.42		

16 所示。

喀什米爾頁岩油母的元素組成, %

表 16

碳	氫	試 驗 者
64.70	7.30	H. Д. 澤林斯基
58.44	8.04	Г. Л. 斯大德尼可夫
58.72	6.48	同 上
62.43	7.42	同 上
65.66	7.59	集克耶夫, 波德亞爾斯卡婭

頁岩內的礦物質

我們所研究的庫克西特頁岩的礦物質是含大量 CaCO_3 的泥灰土。維特里赫[9]關於頁岩石灰層組成的數據和柳特斯[14]關於頁岩內灰分組成的數據都說明, 所有地層的頁岩內之礦物質都含有較多的二氧化矽和倍半氧化物(表 17)。

愛沙尼亞頁岩內灰分之組成, %

表 17

灰分之成分	頁岩 A	岩石 A/B	頁岩 B	頁岩 B/C	頁岩 C	頁岩 D	岩石 D/E	頁岩 E
SiO_2	37.8	17.0	33.5	4.7	46.3	52.0	8.3	40.0
R_2O_3	12.9	5.7	15.5	2.8	15.4	12.8	3.0	16.2
CaO	32.2	67.5	49.5	80.0	31.0	27.0	72.0	34.4
MgO	1.5	1.3	1.5	2.3	3.3	2.6	2.1	1.8
R_2O	4.7	0.9	3.6	0.3	4.9	5.7	0.5	6.3

岩石夾層是碳酸鈣和二氧化矽的混合物，其中含有極少量的礫土。

應該指出頁岩內礦物質和不含金屬的岩石之組成是不均勻的，其中黏土物質含量也較少。

伏爾加頁岩則和庫克西特頁岩不同，前者礦物質中所含黏土物質較後者為多，所含碳酸鹽則較後者為少。但根據我們的數據，岩石灰層的組成和頁岩內礦物質的組成並無顯著差別（表 18）。

頁岩礦物質和岩石的組成是很相近的，尤其在頁岩和岩石交界處更加顯著（表 19）。

因此我們可以認為，沉積岩石在頁岩層形成時，其組成很少改變，因此頁岩內礦物質的組成和岩石灰層的組成相同。

頁岩內礦物質和岩石的組成，%

表 18

	薩維里耶夫卡			喀什米爾		布因斯克	奧別西塞爾特	
	頁 岩		岩 石	頁 岩	岩 石	頁 岩	頁 岩	岩 石
	由	到						
SiO ₂	31.7	57.5	37.2	45.5	48.66	42.97	42.3	43.54
Al ₂ O ₃	9.1	15.3	15.4	21.0 }	14.30	14.51	21.4 }	17.00
Fe ₂ O ₃	6.5	11.8	5.0		4.30	10.82		5.53
CaO	12.5	38.5	30.0	24.0	26.05	27.37	19.9	6.90
MgO	0.7	2.5	2.6	2.0	2.21	1.35	0.6	2.10
SO ₂	0.5	11.1	6.0	9.5	5.09	—	11.7	3.17

頁岩內礦物質和岩石的組成，%

表 19

	喀什米爾第二層頁岩	第二三層間之黏土	喀什米爾第三層頁岩
SiO ₂	47.82	48.66	50.28
Al ₂ O ₃	12.22	14.30	13.04
Fe ₂ O ₃	8.41	4.30	6.13
CaO	20.60	26.05	22.50