

(1) 肯定了用氯仿萃取法決定岩石中瀝青物質的主要性質(按弗洛羅夫斯加亞法)。

(2) 用螢光點滴法作石油定性測定(同上作者)

(3) 肯定了瀝青及石油萃取物的光度法測定(按 А. А. МЛЫННОЙ) 法

(4) 建議作平行萃取與順序萃取的比較試驗, 以找出最合理而簡單的分析方法; 會議中並作出了與此有關的岩石中有机物分析控制方法的決定。

(5) 指出必須加強遠景方面工作, 不僅借發光組份, 及發光色層, 而且要进行發光顯微觀察。

會議批准了 1955 年 ВНИГНИ 所擬訂的油分析方案, 並委託 ВНИГНИ 及 ВНИГРИ 在 1960 年中進行相應方法的統一工作。

會議亦批准了天然氣分析方法, 並提供了廣泛應用的儀器及色層分析, 熱色層化學分析方法。

會議計劃 1960—1961 年間進行水及岩石地球化學研究方法的統一及改進工作。並指出了必須加強岩石儲油性質的研究方法試驗工作, 特別對碳酸鹽及裂隙儲油層。

會議確認了物理及物理化學分析方法的巨大意義, 並作出了有關通過廣泛應用上述方法進一步發展並改善方法。

會議最後強調了大批分析工作必須用統一方法來進一步。

(節譯自“石油地質學問題與實驗方法問題”

陳丕濟譯)

岩石化學資料在研究生油層中的運用和解釋

鄧茨蘭、陳克仁

利用岩石化學指標並配合岩相古地質是近代研究生油層的主要途徑和方法。十年來, 由於實驗室分析研究水平的不斷提高, 越來越顯示了它的重要性。

主張石油有機成因的生油層理論認為: 生油沉積必須富含有機物質和具備還原環境。

基於以上認識, 我們從有機物、地球化學相和瀝青等方面, 在我國西部某盆地中進行了生油層的研究, 具體應用了下列八個指標:

1. 剩餘有機炭含量(Сост %);
2. 各種形式鐵的百分含量($Fe^{++}FeS_2\%$ 、 $Fe^{++}FeCO_3\%$ 、 $Fe^{+++}Fe_2O_3\%$);
3. 還原硫含量($S^{2-}\%$);
4. 鐵的還原係數(K);
5. 分散瀝青含量(B%);
6. 瀝青化係數(B/C);
7. 氯仿“A”的組分;
8. 氯仿“A”/酒精—苯“A”。

一、利用岩石化學資料研究生油層的理論基礎

(一) 有機炭的意義:

目前在岩石中所測得的有機炭含量, 實際上是剩餘有機炭的含量, 真正生油層中原始有機物質的總量, 至少包括以下四個部分:

1. 消耗在游離氧的氧化作用上的有機物質;
2. 消耗在形成還原礦物過程中的有機物質;

3. 轉化成瀝青的有機物質;

4. 殘留在母岩中的有機物質。

一般認為: 游離氧的氧化作用, 只發生在氧化相以及還原相中的弱還原亞相。但是, 關於這部分有機物質的消耗量, 我們已無法計算。

消耗在形成還原礦物上的有機物質, А. И. 季諾維也夫計算, 形成 1 克菱鐵礦需要消耗 0.215 克的有機炭; 形成 1 克黃鐵礦需要消耗 0.91 克的有機炭。因此, 我們可以根据岩石中各種形式低價鐵的含量, 近似地計算出這部份被消耗的有機物質的數量。在具體工作過程中, 如果我們假設在相同的地球化學相的條件下, 它們的消耗量是大體一致的, 則對這一數值可以省略不去計算。

關於轉化成瀝青的有機物質, Р. Д. 塔拉斯克認為生油岩在石油形成過程中僅失去了不過 10% 的有機物質。В. Ф. 李年斯基則認為在生油岩中只有 5—10% 的有機物轉化成石油。也就是說, 大部分有機物是被剩留下來了。

因此, 岩石中剩餘有機炭的含量可以大致反映沉積物中原始有機物質的總量。

(二) 鐵、硫指標的意義及應用:

1. 關於 Fe^{++}/Fe^{+++} :

眾所周知, 確定沉積環境氧化—還原狀況的主要標志是岩石中自生鐵礦物的形式。因為, 鐵是變價元素, 對 Eh 值的反應很靈敏, 它可因沉積環境 Eh 值的不同而改變自己的化合價。

实验证明：低铁中铁的碳酸盐能很好地溶于5%的稀盐酸，而对铁的硫化物则作用甚微。因此，岩石中所测得的 $Fe^{++}HCl$ 含量，主要是反映 $Fe^{++}FeCO_3$ 的含量。过去惯用的 Fe^{++}/Fe^{+++} ，由于仅仅表示了 $Fe^{++}FeCO_3$ 与 $Fe^{+++}Fe_2O_3$ 的比值，而对最说明还原环境的 $Fe^{++}FeS_2$ 没有充分表示进去，因而就大大地降低了它的使用范围和价值。

2. 各种形式铁：

A. И. 季诺维也夫指出，各种形式铁的百分含量，可以定量地估计沉积岩在沉积和成岩时期的氧化—还原强度。

石油科学研究院根据我国陆相含油气盆地分析资料的研究，制定了一个根据各种形式铁的百分含量来确定氧化—还原环境的标准（见表1）。

表1

地球化学相		各种形式铁的百分含量		
相	亚相	$Fe^{++}FeS_2$	$Fe^{++}FeCO_3$	$Fe^{+++}Fe_2O_3$
氧化相	强氧化亚相			>75
	氧化亚相		25—50	75—50
	弱氧化亚相		50—75	50—25
还原相	弱还原亚相		>75	
	还原亚相	25—50	75—50	
	强还原亚相	50—75	50—25	
硫化氢相		>75		

3. 还原硫：

实验室是根据测定岩石中总硫量和硫酸盐硫含量的差数，得出还原硫的含量。所谓还原硫，主要是硫化物硫，即黄铁矿中的二价硫，系硫酸盐被有机物还原的产物：



因此，还原硫含量能说明岩石的还原程度。

H. M. 斯特拉霍夫指出，对于淡水陆相沉积，还原硫含量相对海相或半咸水沉积，可能有偏低的现象。这是因为，在淡水盆地中，硫酸盐含量较低之故。

4. 铁的还原系数：

石油科学研究院通过对我国陆相含油气盆地大量分析数据的研究，发现 Fe^{++}/Fe^{+++} 仅适用于划分氧化相的标准，而还原硫则适用于划分还原相的标准。为了解决上述矛盾，他们曾试用 A. И. 季诺维也夫提出的 $K_F = \frac{Fe^{++}HCl + Fe^{++}FeS_2}{FeO}$ (式中 $Fe^{++}HCl$ 为菱

铁矿铁的含量， $Fe^{++}FeS_2$ 为黄铁矿铁的含量， FeO 为总铁的含量，包括 $Fe^{++}FeS_2$ 、 $Fe^{++}FeCO_3$ 、 $Fe^{+++}Fe_2O_3$ 三者之和) 指标。但是后来又发现，此指标仍不能很好地反映沉积环境的氧化—还原的程度。因为在 K_F 的分子中， $Fe^{++}HCl$ 和 $Fe^{++}FeS_2$ 是按照一般算术和相加的，而形成同样数量的 $Fe^{++}FeCO_3$ 和 $Fe^{++}FeS_2$ ，所要求的还原程度是不同的，因此石油科学院将 K_F 中的 $Fe^{++}HCl \times \frac{0.215}{0.91} = Fe^{++}HCl \times 0.236$ ，即将形成的 $FeCO_3$ 换算成相当于 FeS_2 的量。于是，这一指标就变成了

$$K_F = \frac{Fe^{++}HCl \times 0.236 + Fe^{++}FeS_2}{FeO}$$

(式中 $Fe^{++}FeS_2$ 用还原硫含量乘以系数 0.87 得之) 此一指标称之为铁的还原系数。它可以说明在沉积和成岩过程中，总铁向黄铁矿铁的转化程度。

石油科学院的同志们认为， K 值能很好地反映沉积环境的氧化—还原强度，并制定了划分地球化学相的标准(见表2)。

表2

地球化学相		铁的还原系数 (K)	
相	亚相		
氧化相	强氧化亚相	0—0.05	0—0.2
	氧化亚相	0.05—0.12	
	弱氧化亚相	0.12—0.2	
还原相	弱还原亚相	0.2—0.3	0.2—0.8
	还原亚相	0.3—0.55	
	强还原亚相	0.55—0.8	
硫化氢相		>0.8	>0.8

(三) 瀝青：

1. 沉积岩中的瀝青：

瀝青的形成作用是十分普遍的，几乎所有的沉积岩，都或多或少的含有分散瀝青物质。但是研究表明，并非所有的瀝青，都与石油有成因联系。

2. 瀝青性质及其还原程度：

查明沉积岩中分散瀝青的性质及其还原程度，可以帮助我们了解它与石油的亲缘关系。B. H. 弗洛罗夫斯卡娅在做瀝青分析时，当未经 HCl 处理之前，用氯仿和酒精-苯的提取物，分别称为氯仿 A 和酒精-苯 A。前者她认为属于还原性的，后者则归为酸性部分。利用二者的比例关系，可以判別瀝青的性质及其还原程度。

3. 有机物向瀝青的轉化程度:

表征有机物向瀝青的轉化程度, 乃是瀝青化系数。所謂瀝青化系数, 是指分散瀝青含量与剩余有机炭含量的比值—— B/C 。

沉积岩中的分散瀝青有两种, 一种是自生的原地瀝青; 另一种为外来的异地瀝青。如果岩石为非渗透性的, 其內的瀝青认为是原生的, 則該比值就叫“瀝青化系数”, 它在一定程度上代表岩石中有机物已轉化成瀝青的多少。但对渗透性岩石, 瀝青往往是次生的, 該比值具另一种意义, 可称“瀝青系数”。

严格地说, 瀝青化系数应该是瀝青中的炭和总有机炭的比—— C_B/C , 对于古代沉积物, 分散瀝青含量乘以系数 0.8, 即可近似地表示瀝青炭的含量。

(四) 利用氯仿“A”組分的“物质平衡法”判別生油层和生瀝青岩层的初步探討:

1. 关于生油层和生瀝青岩层的概念:

(1) 生油层的概念:

根据最近苏联一些学者的看法, 所謂“生油层”, 应该理解为包括微石油母岩和儲集岩在內的, 具备有生成并且能提供出油气工业聚集油源的岩层。它的基本特征是除了含有丰富的有机物质和具备还原环境外, 还需在微石油形成的过程中, 具有使微石油不断运移至外部的充分条件。

(2) 生瀝青岩层的概念:

仅具有“瀝青形成”的作用, 但在形成微石油的过程中未发生运移, 这类岩层叫“生瀝青岩层”, 它比生油层分布广泛。生瀝青岩层之所以没有能够成为生油层, 可能是因为:

i 岩石的还原程度不够, 不能形成足够数量的微石油;

ii 或者具有足够的还原程度和丰富的微石油, 但微石油没有运移至外部的充分条件, 而被“压死”在微石油母岩中, 成了今天的分散瀝青;

iii 由于某种地质原因, 使生油过程发生中断或停止。

2. 利用氯仿 A 組分的“物质平衡法”判別生油层和生瀝青岩层的可能性:

在相同的地球化学相条件以及其他条件大体一致的前提下, 岩层的原地瀝青組分主要取决于瀝青的向外运移数量。岩层会因自生瀝青的丧失或者由于获得异地瀝青, 而改变着自己氯仿 A 組分的“原始物质平衡关系”。

微石油的向外运移有充分的、不充分的和没有向外运移三种情况。如果微石油已实现向外运移(即所謂真正的生油层), 那么运移走的首先是而且主要是

輕組分的油質, 然后才是胶质, 最后是重組分的瀝青質。这样, 微石油母岩中氯仿 A 組分的現有物质平衡关系, 必然不同于它的原始物质平衡关系, 即在瀝青的数量和质量上显示出不同。如果微石油没有实现向外运移(即生瀝青岩层), 則該岩层的現有物质平衡关系, 应与其原始物质平衡关系相一致或大体相一致。

假如我們能查明在不同地球化学相条件下, 岩层的这种原始物质平衡关系, 那么利用氯仿 A 組分的“物质平衡法”来判断微石油的向外运移条件, 在原则上是成立的。由此拟定出判別生油层和生瀝青岩层的方案是可能的(見表 3)。

表 3 根据氯仿 A 組分的“物质平衡法”判断微石油向外运移条件的初步定性方案。

微石油的向外运移条件	微石油母岩中的氯仿“A”組分	儲集岩中的氯仿 A 組分
充分的	油質很低 胶质或瀝青質很高	油質很高 胶质或瀝青質很低
不充分的	油質没有显著降低	油質没有显著增高
没有	瀝青含量很高, 油質、胶质、瀝青質三者大体相一致	瀝青含量很低 油質、胶质、瀝青質三者大体相一致

二、岩石化学資料在研究生油层中的运用

在我国东部有一个沉积盆地中的含油显示分布比较广泛(平面上或者剖面上), 在若干地区, 已获小型工业油流。含油层以多层出现为特点, 井下各个大的砂岩体均具有含油(气)征象, 含油层位上下具較深湖相或浅湖相的沉积特征。油气分布严格受着岩相带的控制。根据若干产油气地区或油气显示良好地区对油气聚集因素的了解, 它主要与岩性因素有关。工区内局部构造极不发育(总的來說, 工区东部是一个大的单斜), 在“构造”部位, 油气显示亦不良好; 没有“构造”的部位, 油气显示也并非显著变坏。已知各油层含油饱和度甚低(平均 20—25% 左右), 在許多情况下, 含水饱和度和皆大于油。此种情况与油(气)产出特点完全一致。

上述情况, 使我們认为石油是原生的。在垂直剖面上似未发生长距离的运移。这也是我們通过含油层上下地层的岩石化学資料分析, 并与岩相古地理配合进行生油层研究的地质前提, 从而进一步指导普查勘探工作的开展。

(一) 岩石化学资料与生油层之间的关系:

1. 生油层中的有机物质:

工区内可能的生油层中, 一般都含有丰富的有机物质。有机炭含量的变化范围从 0.36—1.79%, 其中主要生油层是从 0.61—1.33%。然而这个下限和上限并未能最后肯定。

研究表明: 岩石中有机炭的含量与颜色和粒度有关。

随着岩石颜色的加深, 有机炭含量增高(见表 4)。

表 4

岩石颜色	有机炭含量%	标本数
紫 红、 红	0.11	81
黄	0.26	23
灰、 灰 绿	0.42	333
深 灰、 灰 黑	1.08	209
黑	4.09	66

从细砂质、粉砂质到粘土质, 其中有机炭的含量一般都是增长的(见表 5)。但是, 同样粒度成分的岩石中, 在不同的“岩相条件”下, 有机炭的含量也有很大的差别。例如, 在滨湖相粉砂岩中有机炭含量为 0.296%, 而在较深湖相的类似岩石中, 有机炭含量高达 0.792%。

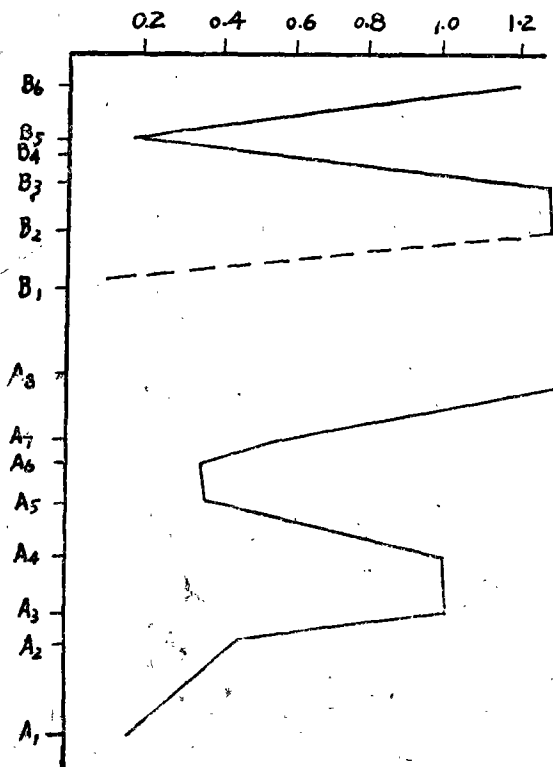
表 5

粒度成分	细砂岩	粉砂岩	泥 质 粉砂岩	粉砂质 泥 岩	泥、 頁 岩
有机炭%	0.16	0.44	0.60	1.63	3.14
标本数	109	18	21	27	23

综上所述, 根据岩石化学提供的资料, 工区内生油岩的颜色是灰色—黑色。泥岩、頁岩、粉砂质泥岩可作为主要的生油岩, 但在一定的“岩相条件”下, 粉砂岩也可以是生油岩。

工区内所研究的沉积剖面上, 根据有机炭含量的变化表明, 显示出两个旋迴, 一般地与沉积旋迴相适应(見曲綫一)。因此, 我們不难得出結論: 岩石中有

有机炭含量曲线



相—旋迴曲线



(曲线 1)

机炭含量的变化与沉积相的变化相适应，即是說：陆相沉积盆地中湖盆最扩张时期的較深湖相沉积，有机物质丰富，对生油有利；而浅湖相次之；滨湖相有机物质贫乏，不利于生油。

值得注意的是，在盆地内含煤地层中，有机炭含量經常出現許多高值。某些构造地层中，最高可达14%，平均为3.87%。

通过对盆地成煤和生油的关系分析，我們认为：对于陆相生油层来講，有机炭含量并不一定是越高越好。其理由是：

① 有机物质的“岩相条件”：沼澤相的有机堆积源于高等陆生植物；又，沼澤相系半氧化环境；再，沼澤相的水介質条件是酸性的，因此，沼澤相对生油不利。事实也如此，至目前为止，我們在該段地层中，所发现的油（气）尚极为罕見。

② 有机物质的“产状”：呈分散状态，还是集中形式。在煤系地层中，常常可以看到許多煤层，煤綫，炭質岩层、炭質条带、炭屑以及炭化植物碎片，它們均系呈集中形式产出，所以有机炭含量非常高。然而，生油母质乃是分散的有机物质，因此生油层中有机炭的含量通常都不会很高。

2. 生油沉积的地球化学相：

关于生油沉积的地球化学相問題，目前看法尚不一致，尤其还原相方面的意見很有分歧。一种认为可以接受的只是还原环境——黃鉄矿相；另一种扩大这种范围，包括菱鉄矿相在內。

根据我們对沉积岩中自生鉄矿物的共生組合及其相对含量大小的研究，初步查明：工区内要生油层的沉积环境，均为还原相中的弱还原亚相（即菱鉄矿相），K 值的变化范围从0.226到0.232。弱还原亚相的特点是：含有大量的菱鉄矿（91.60%）及少量的赤鉄矿（7.00%），黃鉄矿仅占1.40%。还原硫的含量甚微，平均为0.047%。由此可见，菱鉄矿的地球化学相也可以作为生油相。

沉积剖面中，煤和石油往往呈纵向交替和横向过渡。因此，查明含煤沉积的地球化学环境，对其生油评价，极为重要。

以砂泥岩、煤层和泥灰岩交互沉积为特征的A8段，以高含量的有机炭和瀝青著称。经过我們进一步研究的结果表明，絕大多数情况下，剖面上K值的低异常，与煤层、煤綫、炭質岩层的出現以及炭化植物碎片的富集有关。根据13个含煤层位的統計，K值从0.150变化到0.217，平均为0.206，其中有6个含煤层位的K值小于0.2，可見成煤环境是弱氧化环境，或者说几乎是弱氧化环境。因此，我們有理由认为，

含煤沉积对生油是不利的。

3. 生油层中的瀝青：

① 发光瀝青含量：

工区内陆相生油层中的分散瀝青物质十分丰富，发光瀝青含量一般均大于0.008%，（大約相当于8级以上），其上限定不定，但很少有超过0.128%，即12級的。

② 瀝青化系数：

一般都大于2%，最高可达13.5%，平均为5.2%。

③ 瀝青的还原程度：

表6

地层时代	氯仿“A”/酒精-苯“A”	标本数
B3	0.627	6
B2	1.579	10

由表6可知：盆地主要生油层之一——B2段氯仿A/酒精苯A>1，而非生油层B3段其比值<1。这说明：生油层中的瀝青是还原性的，利于石油的形成；而非生油层中的瀝青是酸性的，对石油的形成不利。

④ 生油层及生瀝青岩层中的瀝青組份：

根据氯仿“A”的組份分析，我們发现：工区内主要生油层中，发光瀝青含量通常都不太高（相对非生油层来說），而瀝青組份則一般以胶質或瀝青質为主，油質含量很低（見表7）。这是因为生油岩中的微石油在石油形成的过程中充分地实现了向外运移。

表7

时代	瀝青含量 (級別)	氯仿“A”組份 %			生油层或 生瀝青岩层
		油質	胶質	瀝青質	
A8	10.5	34.8	31.7	33.5	生瀝青岩层
A5	9.5	12.7	38.1	49.2	生油层
A4	9.0	17.6	74.3	8.1	生油层
A3	9.0	7.9	83.3	8.8	生油层

在非生油层A8地层中，氯仿A的各个組分的百分含量几乎大致相等，并且发光瀝青含量相当高，这似乎說明，該段中某些曾认为是生油层的层次，可能仅仅是一些“生瀝青岩层”而已，也就是說：在石油形成过程中，没有发生微石油的向外运移过程。

綜合上述，工区东部地区中生代的生油层，具有以下特点特征：

① 剩餘有機炭含量不低於0.3%，不超過1.8%，一般在1%左右；

② 發光瀝青含量均高於0.008%（即8級以上），瀝青化係數大於2%；

③ 氯仿“A”中以膠質或瀝青質為主，油質含量較低；

④ 氯仿“A”/酒精-苯“A”>1；

⑤ 各種形式鐵的百分含量中，以Fe⁺⁺HCl最高，Fe⁺⁺⁺HCl次之，Fe⁺⁺FeS₂最低；還原硫含量甚微，一般均小於0.1%；K值的變化範圍從0.21—0.24。

(二) 利用岩石化學資料對幾個可能生油層的評價：

1. 評價原則：

首先是岩石化學資料必須結合地質條件，其次是各生油指標一定要綜合考慮。

2. 評價準則：

根據工區內的具體情況，我們將生油條件分為良好的、中等的、較差的三種。分述如下：

① 良好的生油層：

為較深湖相或淺湖相沉積；已發現工業油流或油氣顯示良好；泥質岩百分含量大於35%；有機炭含量

1%左右；發光瀝青含量9級以上；瀝青化係數大於5%；氯仿A中油質含量很低(<10%)；I等或II等的弱還原環境。

② 中等的生油層：

為淺湖相沉積；油氣顯示中等；泥質岩百分含量大於30%；有機炭含量0.5%左右；發光瀝青含量大於8.5級；瀝青化係數大於3%；氯仿A中油質含量較低(10—20%)；II等弱還原環境。

③ 較差的生油層：

為濱湖相沉積；油氣顯示較差；泥質岩百分含量<30%；有機炭含量0.3%左右；發光瀝青含量大於8級；瀝青化係數大於2%；氯仿A中油質含量較高(>20%)，III等弱還原環境。

茲將工區內研究剖面的生油評價表列於下：

3. 關於生瀝青岩層：與良好的生油層有許多共同之處；也為較深湖相或淺湖相沉積；有機物質相當豐富；瀝青含量十分高；具備弱還原甚至是還原環境。但由於要缺乏儲集層，或具備儲集層，而缺乏“石油形成”的其他條件，然而，這些條件目前我們並沒有弄清。

(全文經孫肇才工程師審閱)

附：標誌沉積環境的岩石化學分析資料整理方法

A. И. 齊諾維也夫

本文將闡述表明沉積岩形成環境的地球化學指標的新方法，特別是表明在這些岩石中有機炭與各種形式鐵含量之間的關係。

石油有機成因的近代理論認為，生成石油的必要條件，是在沉積岩中的還原環境。許多作者指出，氧化鐵、碳酸鐵和硫化鐵含量的相互關係，可以說明在沉積形成過程中介質的氧化還原程度。在沉積形成的某些階段，把三價鐵還原成二價鐵，取決於其中的有機物質。

原始有機炭與各種形式鐵之間的含量關係，可以定量地估計成岩過程中，沉積物還原作用的強度。

原始有機物質的數量，包括消耗在氧化鐵還原作用上的有機炭，（即氧化鐵被還原之前的原始有機炭——譯者注）可以按下述公式計算：

$$C_{\text{исх}} = C_{\text{ост}} + C_{\text{Fe}^{2+}} + C_{\text{Fe}^{3+}} + C_{\text{пот}}$$

式中：

C_{ост}—殘留在岩石中的有機炭數量（即實驗室所測得的有機炭——譯者注）；

C_{Fe²⁺}—消耗在除硫化物以外，還原氧化鐵成低氧化物形式的有機炭數量（即形成FeCO₃時所消耗有機炭數量，C_{Fe²⁺}=Fe⁺⁺×0.215——譯者注）；

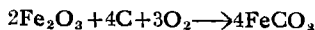
C_{Fe³⁺}—為了把氧化鐵還原成硫化物形式（黃鐵礦及白鐵礦）所必須有機炭數量（即形成FeS₂時所消耗有機炭數量，C_{Fe³⁺}=S²⁻×0.87×0.91——譯者注）；

C_{пот}—消耗在其他作用中的有機炭數量，除還原氧化鐵以外。

根據許多跡象，由於C_{пот}的數值很小，可以忽略不計，這樣一來，公式寫成：

$$C_{\text{исх}} = C_{\text{ост}} + C_{\text{Fe}^{2+}} + C_{\text{Fe}^{3+}}$$

假定，在Fe³⁺轉變成Fe²⁺時，所有的Fe都能按下面的公式變成菱鐵礦：



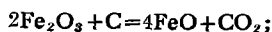
得：

$$C_{\text{Fe}^{2+}} = \frac{4\text{C}}{4\text{FeCO}_3} = \frac{\text{C}}{\text{FeCO}_3} \text{ 或}$$

$$\frac{\text{C}}{\text{Fe}} = \frac{12}{55.85} = 0.215$$

Fe₂O₃向FeS₂轉變由下述兩個過程組成，

① Fe³⁺按下述公式還原成Fe²⁺：

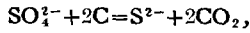


$$\frac{C}{2Fe_2O_3} = \frac{12}{2 \times 15 \times 9.7} = 0.0375 \text{ 或}$$

$$\frac{0.0375}{0.7} = 0.053,$$

式中 $0.7 = \frac{2Fe}{Fe_2O_3} = \frac{2 \times 55.85}{159.7}$

② SO_4^{2-} 按下述方式还原成 S^{2-} :



$$\frac{2C}{S^{2-}} = \frac{2 \times 12}{32} = 0.75$$

因为在黄铁矿中, Fe 占有 1 个重量单位, S 占有 1.14 个重量单位, 因而

$$C_{Fe^8} = 0.053 + 0.75 \times 1.14 = 0.91$$

利用这些被计算出来的化学系数, C_{Ost} 、 C_{Fe^2} 和 C_{Fe^8} , 就可以大致的算出 $C_{Сисх}$ 了。

在研究分析资料时, 许多学者都不用 K 系数, 而只是根据 Fe^{2+}/Fe^{3+} 或 Fe^{3+}/Fe^{2+} 的比值, 就直接作出关于沉积岩形成环境的氧化还原结论。作者认为, 这根本是有缺陷和不能令人满意的, 因为这个比值变化很大, 经常表现出是各种各样的, 所以它不能与 K 系数等量齐观。

此外, 许多作者还企图找到指标 (Fe^{2+}/Fe^{3+}) 与残余有机碳之间的关系, 显然是不会导致良好的结果, 当利用了上述系数时才得到好的结果。

$$K_{Fe} = \frac{Fe^{2+} + Fe^8}{Fe_{total}}$$

(Fe_{total})——为总铁——译者注)

岩石中, 两价 Fe 的氧化物在总 Fe 中的含量, 它表示 Fe 的还原度。

$$\text{系数: } K_C = \frac{C_{Fe^2} + C_{Fe^8}}{C_{Сисх}}$$

为原始有机碳与为了还原环境而消耗在还原氧化铁上的有机碳的比。

为了确定 Fe 的二价氧化物 (Fe^{2+} 和 Fe^8) 与 $C_{Сисх}$ 含量之间的比例关系, 必须用统计学进行计算。如果得到比 0.5 小得多的数值, 还是不能说明它们之间有关系, 因为在非线性的情况下, 比值也会比 0.5 小得多。

K_{Fe} 与 K_C 的比值, 除去非线性的部分, 在 Fe 的二价氧化物和消耗在还原氧化铁上的有机碳之间, 就恰好能够显示出有关系。

比较 K_{Fe} 和 K_C , 可以看出如果岩石能充分供给还原氧化铁所需要的有机碳, 铁就可以全部被还原。

例如 $K_{Fe} = 0.56$, $K_C = 0.88$, 铁只有 56% 被还原, 有机

碳就消耗了 88%, 这样一来, 被分析的岩石标本中, 为了 Fe 的全部还原, 有机碳在数量上就显得不够, 因此在其他相同的情况下, 自然地, Fe 的还原作用, 是不能进行到底。

为了表明沉积环境的特征, K_{Fe} 可以作为主要的指标, 因为每块标本都带有各种环境作用的痕迹。

根据 K_{Fe} 确定环境类型时, 必须注意 Fe_{total} (总 Fe) 的绝对值, Fe_{total} 越小, K_{Fe} 越接近于 1, 太接近 1 的 K_{Fe} 不能用。

下列 K_{Fe} 的范围, 可以用来确定环境类型(表 1)

表 1

系 数	沉积物形成时占优势的环境类型	
	氧 化 的	还 原 的
$K_{Fe} = \frac{Fe^{2+} + Fe^8}{Fe_{total}}$	0—0.49	0.51—1.0

表 2, 作者根据 H. M. 斯特拉霍夫和 Э. С. 薩尔曼松关于顿巴斯海相、过渡相和陆相的标本以及第二巴库斯大林诺哥尔层和高加索尤努纳可夫层淡水岩石的资料, 进行计算, 得出了 K_{Fe} 和 K_C 值的范围。

表 2

岩 石 的 名 称	K_{Fe}	K_C
顿巴斯海相 CO_2 沉积	0.77—1	0.54—0.90
海陆过程相	0.63—0.94	0.49—0.71
陆 相	0.34—0.76	0.66—0.78
第二巴库斯大林诺哥尔层	0.84—0.98	0.13—0.71
尤努纳可夫组	0.83—0.87	0.17—0.37

由表 2 看来, 顿巴斯海相 CO_2 沉积, Fe 的还原作用最剧烈, 第二巴库斯大林诺哥尔层和高加索尤努纳可夫组比过渡相, 尤其比陆相要强。

为了 Fe 的全部还原, 原始有机碳的数量是完全足够的, 因为 K_C 在任何时候, 也没有超过 K_{Fe} 。

因此, 我们利用系数 K_{Fe} 及 K_C 来确定所有地质年代里, 沉积岩形成时, 占优势的环境类型(还原的或氧化的)以及从氧化 Fe 到还原 Fe 与原始有机碳之间的关系。此外, 比较 K_{Fe} 与 K_C , 还可以看出 Fe 被有机碳还原的程度。

(译自苏联“地球化学论文集(第五辑)”陈克仁译)