

認真开展鉄的还原系数的討論

关于沉积地球化学相的指示标志—鉄的还原系数

第三普查勘探大队实验室 何志高

目前，在沉积地球化学相和生油层的研究中，应用着为数甚多的指示标志。其中对沉积环境和成岩过程物理化学特征的主要因素——氧化—还原状况的研究，比较重视。在表明氧化—还原状况方面，又以对鉄的自生矿物组合系数(一般均称为鉄的还原系数)的研究最为重视，尤其在郑爱珠等同志通过理論上的探讨和实践证明，改进了 A. И. 齐诺维也夫的 K_{Fe} 系数，从而提出 K 值系数以后，更加引起了国内相当多的石油地质工作者的巨大兴趣。最近，又有同志提出对 K 值系数中的“0.236”改为“0.25”的意见，称之为 K_1 系数。

笔者认为，在鉄的还原系数问题上很值得探讨，对解决石油生成条件和指导油气勘探的理論和实践都有着重要的意义。

在鉄的还原系数 K_{Fe} 、 K 、 K_1 等系数中，有的是完全错误的，有的则存在着严重错误。本着求知和推动我国石油地质事业向前发展的愿望，抱着实事求是的态度，一方面批判这些

错误；另一方面提出较为合理的系数来。由于地质业务陌生，基础理論知识贫乏，提出来的东西，可能错误，乃至完全荒谬，望多加指正。

一、关于鉄的还原系数 K_1 值

按 K_1 值 $\left(K_1 = \frac{Fe_{HCl}^{++} \times 0.25 + Fe_{FeS_2}^{++}}{\Sigma Fe} \right)$ 的創作者说：从理論意义上和实际显示规律性上来说， K_1 值完全和 K 值 $\left(K = \frac{Fe_{HCl}^{++} \times 0.236 + Fe_{FeS_2}^{++}}{\Sigma Fe} \right)$ 相似，但较 K 值更为合理和易于推导，其理由主要有下述二点。

(1) 将菱鉄矿 ($FeCO_3$) 缩小四倍，即可相当于黄鉄矿 (FeS_2) 的耗碳量，这是一个当量折算值。因为按化学反应式看来，一个克分子的有机碳 (C_{OPF})，可以还原一个克分子的 $FeCO_3$ ，同样，一个克分子的 C_{OPF} 却可还原四个克分子的黄鉄矿鉄。也就是说，生成菱鉄矿的耗碳量大了四倍。

(2) 0.25 的来原也可如此计算：

$$0.25 = \frac{0.053 \cdots \cdots \text{生成一克 } FeS_2 \text{ 之鉄所消耗的 } C_{OPF}}{0.215 \cdots \cdots \text{生成一克 } FeCO_3 \text{ 所消耗的 } C_{OPF}}$$

所以，应将 $0.236 \times Fe_{HCl}^{++}$ 改为 $0.25 \times Fe_{HCl}^{++}$ 。

笔者认为：在这二条理由的第一条理由中，既然认为生成 $FeCO_3$ 的耗碳量大四倍于生成 FeS_2 的耗碳量，那么，为什么不将 $FeCO_3$ 乘四，或者将 FeS_2 乘四分之一，而反去缩小菱鉄矿之值，岂不是自相矛盾吗？在理論上来讲，

更是与事实不符、错误明显，怎么会可能生成 $FeCO_3$ 的耗碳量大于生成 FeS_2 的耗碳量。

在第二条理由中，若将计算式与“0.236”的计算式相对照，从原則意义上来说，恰好是分子分母的倒置：

$$0.236 = \frac{0.215 \cdots \cdots \text{生成一克 } FeCO_3 \text{ 所消耗的有机碳的克数}}{0.91 \cdots \cdots \text{生成一克 } FeS_2 \text{ 所消耗的有机碳的克数}}$$

$$0.25 = \frac{0.053 \cdots \cdots \text{生成一克 } FeS_2 \text{ 鉄所消耗的有机碳的克数}}{0.215 \cdots \cdots \text{生成一克 } FeCO_3 \text{ 所消耗的有机碳的克数}}$$

如果按照这条理由，从意义上来分析，“0.25”需乘 $Fe_{FeS_2}^{++}$ ，而不是乘 $Fe_{FeCO_3}^{++}$ 。这样的作法，和上述一样，也是自相矛盾的，也是错误的。

当然，在提出 K_1 值的时候，还说了一些“ $FeCO_3$ 是指铁元素， FeS_2 是指全部分子式”的理由。不过，这种理由，改变不了这一原则性的错误。况且，“0.236”的本身意义正反映了 $FeCO_3$ 的“全部分子式”，也反映了 FeS_2 的“全部分子式”；恰恰相反，“0.25”才反映了 $FeCO_3$ 的“全部分子式”，而未将 FeS_2 的“全部分子式”反映出来。

“0.25”和“0.236”其值相差不大，当然可能在实际应用中显示出的基本规律相似的情况。但是，意义上二者却有着原则分歧， K_1 值的理论依据更是有本末倒置之错。无可置疑，不能将“0.236”改为“0.25”。

二、关于 K 值中的“0.236”

郑爱珠等同志改进了齐诺维也夫的 K_{Fe} 值 ($K_{Fe} = \frac{Fe_{FeCO_3}^{++} + Fe_{FeS_2}^{++}}{\Sigma Fe}$)，在铁的还原系数中，分别对待菱铁矿和黄铁矿的观点是正确的，这二种形态的铁，在应用中的确不应该等量齐观。

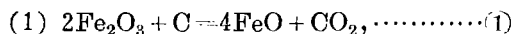
但是， K 值存在着相当严重的错误。本文主要侧重于从论述 FeS_2 的生成及其中硫的性质和 $FeCO_3$ 的生成等问题入手，以物理化学的基本理论作指导，来批判齐诺维也夫引用的几个化学反应方程式和“0.236”。

(一) 黄铁矿 (FeS_2) 的形成及其硫的性质和“0.91”

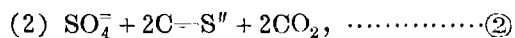
齐诺维也夫撰写了一篇为表明岩石中有机碳和各种形式铁之间的关系的文章，其中引用了几个化学反应方程式，这些反应方程式也广泛地见之于国内外有关石油地质学、地球化学等文献中。齐诺维也夫所提出的 $C_{Fe}^S = 0.91$ ，就是依据这些反应方程式推导出来的；“0.236”

也就是这些反应方程式的继续发挥。

齐诺维也夫按照 Fe_2O_3 向 FeS_2 的转变，从而计算出 C_{Fe}^S 值：



$$\frac{C}{4Fe} = 0.053;$$



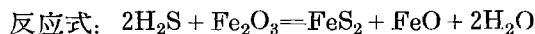
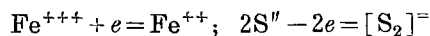
$$\frac{2C}{S} = 0.75$$

$$C_{Fe}^S = 0.053 + 0.75 \times 1.14 = 0.91 \dots\dots\dots(3)$$

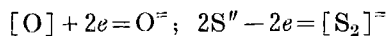
笔者认为，从这二个方程式本身来看，并无异议，应该承认它们反应进行的可能性。特别是第一个方程式(即方程式①)，从理论上推断，在客观实际的变化中是更为确切的。但是，问题就在于将这二个方程式组合起来作为形成 FeS_2 的定量计算的依据，就是非常错误的了。其所以错误，中心问题在于将 S^{--} 与 $[S_2]^{--}$ 混淆起来，两者都作为 H_2S 形态的硫来对待的观点和作法的错误。

综合各种资料、文献，推测 FeS_2 的形成有以下几种可能方式：

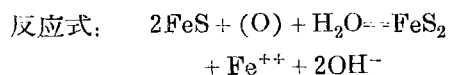
1. 硫化氢直接与高铁氧化物反应生成。即铁获得电子被还原，硫失去电子被氧化：



2. 硫化氢(或硫化物、 HS^-)和高铁氧化物，在有游离氧参与下反应生成。即硫失去电子被氧化，失去的电子为氧所获得：



3. 一硫化铁被游离氧氧化，而生成 FeS_2 。同上式一样，硫失去电子被氧化，失去的电子为游离氧所获得。



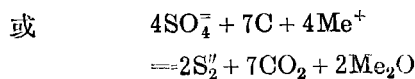
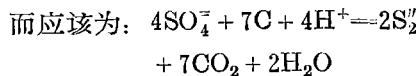
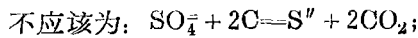
4. --硫化铁与元素硫反应生成。其电子结构相似于 $S_2O_3^{--}$ 。

5. 生物化学作用生成：从最近一些资料

报导，在富含有机物质的沉积岩和现代沉积物中，经常可以看到一些硫化矿物(尤其是 FeS_2) 的显微球粒，以莓状结构分布十分广泛；并通过化学处理、显微鉴定或同位素的测定证实系微生物成因。

6. 还有一些其他形成方式的可能性。例如，在一些资料上记载着，在成岩过程中，磁铁矿经过溶蚀而转变为金红石、板钛矿、锐钛矿和黄铁矿，有利于这种转化的条件可能是还原环境。甚至有人认为，在常温常压的成岩作用过程中，也能生成黄铁矿。

总之，沉积岩中所出现的 FeS_2 ，可以理解为：从高氧化态的 SO_4^{2-} (硫的氧化数为 +6) 还原到低氧化态 $[\text{S}_2]^{2-}$ (硫的平均氧化数为 -1)，每个硫原子不是获得 8 个电子，而是获得 7 个电子。如果与还原剂——有机物质作用，那么，化学反应方程式：



(式中 Me^+ 代表金属离子)

因此：由方程式 $\text{SO}_4^{2-} + 2\text{C} = \text{S}^0 + 2\text{CO}_2$ 来求得“0.75”是错误的；由此相应求得的“0.91”也就是错误的。

(二) 菱铁矿的形成和“0.215”

齐诺维也夫的 $\text{C}_{\text{Fe}^{2+}} = 0.215$ 来源于化学反应方程式：

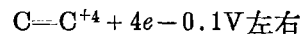
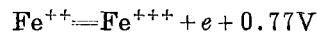
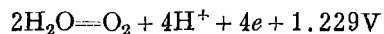


故 $\text{C}_{\text{Fe}^{2+}} = \frac{\text{C}}{\text{Fe}} = 0.215 \dots\dots\dots$ 生成一个重

量单位的 FeCO_3 的铁所消耗的有机碳的数量。

我们分析一下反应方程式④，就可以发现，形成四个分子的 FeCO_3 ，实际上只有一个碳消耗在还原 Fe_2O_3 的铁上，其他三个碳为游离氧所氧化。现在就要提出这个反应方程式是否合理的问题。

根据氧化—还原化学反应的理论，元素的变价与否是受着它本身原子的构造和介质的氧化—还原电位控制的。一般说来，离子的氧化—还原顺序决定于氧化—还原电位的顺序性；而电极电位又决定于有关氧化剂和还原剂的相对强弱；在有几种还原剂和氧化剂同时存在的场合下，只有最强的还原剂或最强的氧化剂首先发生氧化—还原反应。在反应方程式④的反应中，有机碳作为还原剂，高铁及游离氧作为氧化剂，它们的标准氧化—还原电位分别为：



当然，首先应该说明，这里所引用的电位值是在标准状况下的相对值。特别是有机物质氧化的半电位之值并非完全一致和确切；更重要的是，在岩石中所进行的氧化—还原反应还受下列因素的影响：

1. 沉积物或岩石中氧化剂或还原剂量的多少。即浓度对电位的影响。对金属离子来说(包括 H^+)，离子浓度越大电位值越正，相反，离子浓度越小电位值越负；而对非金属元素来说，离子浓度越大电位越负，离子浓度越小电位越正。如大家所熟知的聶恩斯特公式：

$$E = E_0 + \frac{0.058}{n} \log C.$$

式中： E_0 为标准极电势， C 为离子浓度， n 为氧化—还原反应中离子平衡的电子数，0.058 为随温度变化的常数。

根据计算，当 $\text{pH} = 7$ 时， $2\text{H}_2\text{O} = \text{O}_2 + 4\text{H}^+$ 的半电位为 0.815V； $\text{Fe}^{2+} = \text{Fe}^{3+}$ 之半电位值在一般情况下都可能小于 0.77V。

2. 外部地质因素、温度、压力等的影响。如直接关系到离子在溶液中的运动速度，从而出现所谓超电势等。

3. 氧化—还原的许多元素共存的相互影响。

4. 受 pH 的影响。主要表现在几种铁矿物形成时， pH 的影响是相当大的，正如，克伦宾

和加勒尔等人以 Eh 和 pH 的关系来阐明黄铁矿—菱铁矿—赤铁矿的稳定范围那样。

更重要的是, 我们还需要弄清楚, FeCO_3 中的 C 应该如何对待的问题。对沉积岩来说, 基本的、主要的能源(抛开地球内能和太阳的幅射能等而言)是有机物质的作用。高氧化态的元素还原到低氧化态是有机物质作用的结果; 高价的铁还原到低价的铁(包括菱铁矿在内的各种形态的低铁), 归根到底, 都是有机物直接或间接(例如, SO_4^- 被有机物还原为 H_2S 后, H_2S 再还原高铁到低铁)作用的结果。这是无可置疑的。但是, 形成 FeCO_3 所需之 CO_2 或 CO_3^- 的来源是多种多样的。除了反应方程式①以外, 归纳起来, 有下列几种其他的主要来源。

1. 沉积水体中溶解的 CO_2 : 0°C 时, CO_2 在水中的溶解度(按体积计)为 1.71%, 可见水体中 CO_2 的含量是很可观的。

2. SO_4^- 和非铁的高氧化态的金属元素等被有机物质还原所生成的 CO_2 , 为数也不会太少。特别是 SO_4^- 等物质的含量甚高时, 这个量将会是非常大的。

3. Fe^{+++} 、 SO_4^- 还原之前的整个沉积、成岩作用过程中, 由于有机物质和游离氧的氧化作用直至造成还原环境所生成的 CO_2 量更是为数甚多。对此, 石油地质工作者曾评论过, 它和甲烷等一样是无法估计的。

4. 水体中和沉积物中其他形式的 CO_3^- 、 HCO_3^- 的分解(或取代反应)都会提供出形成 FeCO_3 所需的 CO_2 和 CO_3^- 。如沉积物下沉或成岩时, 可以直接为其他碳酸盐所交代。

5. 有机物的去羧基作用以及生物作用所生成的 CO_2 也是不可忽视的。

6. 其他地点(左右邻区或先沉积物)的高氧化态的金属元素被有机物还原和 SO_4^- 的被有机物还原所生成的 CO_2 自达平衡后所剩余的部分分离而来, 也将参与生成 FeCO_3 的反应。

综合上述种种来源, 就可以得出结论。 FeCO_3 形成时所需的 CO_2 远远不是象反应方程

式④那样由于大量游离氧参与下同时消耗大量的有机物质所生成的。这就是反应方程式④和 $C_{\text{Fe}^{++}} = 0.215$ 存在着的严重错误的一个重要方面。

同时, 从氧化—还原反应的观点及其计算方法来看, $C_{\text{Fe}^{++}}$ 的计算没有正确反映氧化—还原反应中的式量和当量之间的关系, 因而, 也就无法反映出铁和有机碳之间的重量关系。显然, 不能用这种不正确的关系来进行氧化—还原反应的定量计算。

另外, 历来在分析工作和成果的计算中, Fe^{++} 是以 5% HCl 可溶性的铁笼统地来应用, 并将 Fe^{++} 全部作为 FeCO_3 的形式存在来对待的。实际上, 沉积岩中, 还广泛的和 FeCO_3 共生有低铁型的氧化物和硅酸盐。如磁铁矿、氢氧化亚铁、绿泥石等。对于这部分类型的低铁化合物, 如果同样以方程式④来代替(何况前已述及, 方程式④实际上是不存在的)就同样存在着明显的片面性。

因此, 上述种种理由表明, 不能应用反应方程式④来定量的计算 $C_{\text{Fe}^{++}}$ 值; 不应该采用“0.215”这个系数。

无须再述, 既然“0.91”和“0.215”都是错误的, 那么, “0.236”也就是错误的了。

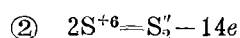
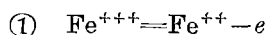
三、新的铁的还原系数(x_{Fe}) 较为合理

上面批判了齐诺维也夫所引用的几个化学反应方程式以及“0.91”、“0.215”和相应计算出来的“0.236”, 那么, 正确的反应方程式和合理的系数是什么?

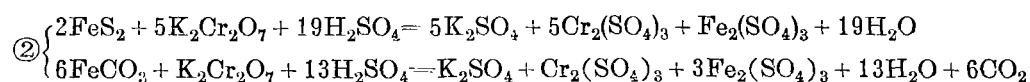
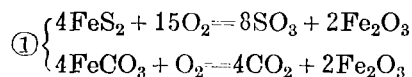
石油有机成因的近代理论表明, 富含氧的原始有机物质转变为贫氧的石油是处在一种特定的介质中, 而显示出原始有机物质强烈地被还原的结果; 石油的生成, 必须具备一个基本的外部因素——还原环境。原始有机物质转变为石油的一系列过程本身就是一种氧化—还原的变化过程; 环境的演变过程也就是一个氧化—还原变化的过程。

众所周知，氧化—还原反应的实质是一种元素或化合物失去电子而另一种元素或化合物获得(或吸引)电子所组成的反应。因此，用电化学的理论，用电子得失或转移。或电子之密度的增大减小、或称之为极性数的改变的方法，来解决 FeCO_3 和 FeS_2 的形成及其相互关系，从而把这种关系应用到铁的还原系数中去就是最为合理的。这种矛盾的普遍性无疑寓于这样的特殊性之中。新的铁的还原系数就是在这种理论和思想指导下推导出来的。下面用几个方法来阐明：

1. 用电子平衡的方法：



在离子电子方程式中：三价铁获得一个电子被还原呈二价；二个硫酸盐硫获得十四个电子被还原为 $[\text{S}_2]^{-2}$ 。在 FeS_2 分子中，有一个铁原子和二硫原子，铁从三价还原到二价，硫



从第①组反应式来看，四个分子的 FeS_2 需十五个分子氧；而四个分子的 FeCO_3 仅需一个分子氧。所以，其比值为 1:15。从第②组反应式来看，一个分子的 FeS_2 相当于二分之五个分子的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ；而一个分子的 FeCO_3 相当于六分之一分子的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 。其比值仍为 1:15，

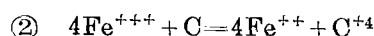
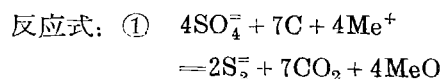
$$\text{即：} \frac{\text{FeCO}_3}{\text{FeS}_2} = \frac{\frac{1}{6}}{\frac{5}{2}} = \frac{1}{15} = 0.0667。$$

4. 用化学分析方法：

试验：准确称取 FeCO_3 和 FeS_2 的单矿物样品，分别用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液进行氧化，反应完全后，用莫氏盐溶液滴定之。由此消耗的氧化剂—— $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的量分别计算出二种矿物对 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 消耗量的比值，其数据列表如下：

从正六价还原到“负一价”(平均数)，总共获得十五个电子。而在 FeCO_3 中，仅有一个铁原子，就只获得一个电子。由此可见，形成 FeCO_3 和形成 FeS_2 所需的电子数之比为 1:15(或 $\frac{1}{15} = 0.0667$)。

2. 用有机碳还原的平衡算法：



该组反应式表明，一个 S_2^{--} 相当于 3.5 个碳，一个铁相当于 0.25 个碳。

$$\text{所以：} \frac{\text{FeCO}_3}{\text{FeS}_2} = \frac{0.25}{0.25 + 3.5} = \frac{0.25}{3.75} = \frac{1}{15} = 0.0667。$$

3. 用氧化剂氧化反推法：

反应式：

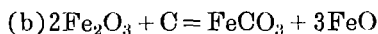
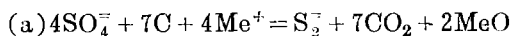
项 目 \ 数 据	FeCO ₃	FeS ₂	备 注
样品重 g	0.5	0.1	FeCO ₃ 純度为 74.15% FeS ₂ 純度为 89.8%
加入 K ₂ Cr ₂ O ₇ 量 ml	15	45	
实际消耗 K ₂ Cr ₂ O ₇ 量 ml	7.8	26.77	
0.1 克分子消耗量 ml	243.4	3576	
比 值	1	14.68	

由表可以看出：对 0.1 个克分子的 FeCO_3 和 FeS_2 来说，分别消耗 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的量为 243.4ml 和 3576ml，其比值为 $\frac{1}{14.68} = \frac{\text{FeCO}_3}{\text{FeS}_2}$ 。其所以为 14.68，而不为 15，这是多方面原因所造成的，主要是实验中的误差(可看出部分 FeS_2

未分介完全)。

上述四种方法清楚地表明,在 FeCO₃ 和 FeS₂ 形成的氧化-还原变化中,以氧化-还原理论作指导,并初步经化学分析得到验证,两者之间量的关系是一定的,同样均为一与十五之比。

因此,新的铁的还原系数(称之为 x_{Fe})采用的方程式则是:



即:形成 FeCO₃ 的计算采用反应式(b);形成 FeS₂ 的计算采用反应式(a)与(b)之和。

其计算式则为:

x_{Fe} = (Fe_{HCl}⁺⁺ + Fe_{FeS₂}⁺⁺) × 15 / ΣFe

或者 x_{Fe} = (Fe_{HCl}⁺⁺ × 0.0667 + Fe_{FeS₂}⁺⁺) / ΣFe

式中: Fe_{HCl}⁺⁺——稀盐酸溶解的低铁总含量

Fe_{FeS₂}⁺⁺——FeS₂ 形态的铁的含量

ΣFe——稀盐酸溶解的高、低铁含量与 FeS₂ 形态的铁的含量的总和。

x_{Fe} 前一种形式和后一种形式在理论上和实质上都没有区别,都可以应用。但是,在实际应用当中,前者可能比后者为好,主要表现在两个方面:

① 在地质上应用时,可以略去不必要的多余的有效数字位数,即在大多数情况下,可以勉去小数点前后的一个零或二个零。同时,在计算时,乘 15 比乘 0.0667 要方便一些。

② 在化学分析上,提出了对还原硫测定的更高精度的要求,这也是有利于指标的应用的。

四、评 论

K 值或者齐诺维也夫、古柳也娃等人仅仅在形式上把铁的自生矿物的形成视为氧化-还原反应,而没有抓住氧化-还原反应的实质。当然,不可否认,随同沉积物的水体或介质中游离氧一定也会消耗有机物质,其它变价元素

如 Mn、V 等也会与沉积介质发生电子得失、交换、转移的反应,但是,他们除了已经阐述的错误外,没有清楚的意识到,我们的指标是属于铁的还原系数,是对铁的系统来说的,不同的矛盾只有用不同的方法来解决。

电子的得失、或电子高密度的增减,是氧化-还原反应与其他化学反应的特殊性,对于氧化-还原反应系统中的任何一个反应来说,则是具有的共同的普遍的规律性。因此,我们在研究氧化-还原这一类型的反应时,就必须用这种普遍的规律性来指导,并遵循这一事物发展的总的规律。

在沉积作用(实际上可以认为时间是很短暂的)和成岩作用这一个总的系统的物质运动发展长途,我们还可以分析一下发展过程的阶段性,就可以对 x_{Fe} 有更为深刻的了解。这也是齐诺维也夫等人所没有注意的问题,即事物发展的整个过程中,存在着阶段性;不同的阶段有不同的特点。沉积作用和成岩作用这个过程,对有机物质说来,根据氧化-还原反应,可以分为二个各具特点的阶段:

1. 有游离氧的氧化-还原反应阶段,也可称为除游离氧的阶段。这个阶段的作用主要是有机物质与游离氧的作用。

2. 无游离氧的氧化-还原反应阶段,也可称为形成还原矿物的阶段。这个阶段的作用主要是有机物质与高价金属元素化合物或与 SO₄⁻ 等直接或简接的作用,推测其中应该认为伴随着有机物质转化的反应。

如果第一阶段没有进行,或者没有进行完毕,就不会有第二阶段的反应发生。这就是说,游离氧不消耗掉就不会有还原矿物的生成。假如介质中游离氧十分丰富,将有机物全部氧化完后还有剩余;或者沉积物中有机物含量很少,全部消耗在第一阶段就不能进入第二阶段,那么,这种介质就是典型的氧化环境。消耗在第一阶段的有机物质的数量,如果水不流动,或处于水体深处,波浪影响不到的区域,或者沉积物堆积非常迅速,沉积物处于“闭塞”状

态,那么,所需要的有机物质的数量主要就是与溶于水中游离氧氧化反应的数量。反之,如果水体流动,沉积物不是处于“闭塞”状态,则这种消耗就会随着水体活动的增强而增加,或随着地质构造运动的增强而增加。但是,事实上,我们很难去估计游离氧的数量,也不必要去估计第一阶段所消耗的有机物质的数量。

因此,第二阶段才形成 FeCO_3 ,这时的 FeCO_3 就不应该考虑有游离氧的参与了。据此也可以进一步阐述前述的反应方程式①由于时间和地点差别的关系,而不应该运用这个方程式的原因。对于 FeS_2 来说,虽然也可理解为分二步进行,但它的形成则是处在同一阶段之中。当然,这是一般的规律。在个别特殊的情况下,比如当 $\text{pH} > 9$ 、铁离子浓度很大时,就有可能有机物先与铁反应,而后与游离氧反应;或者二者几乎同时进行;或者二者或先或后地交换进行。但是,在有机物质较为丰富的情况下,应该看到,由于它的氧化所形成的有机酸和 CO_2 都会大大降低介质的 pH 值。这也就是石油地质工作者把 FeCO_3 这种指相矿物可作氧化相,而在大多数情况下可作还原相的矿物来对待的理论依据。

总之,通过多方面的探讨,人们完全可以清楚地看到: K_1 值(即“0.25”)错误明显,这是无可非议的;对比 x_F 系数与 K 系数,无疑 x_F 系数具有更为完善的和坚实的理论基础。从而可以认为 x_F 是所有铁的还原系数中最为合理的系数。

五、结束语

本篇文章基本上都是理论上的阐述,带有浓厚的假说性,并未涉及到地质应用,也未提出划分沉积地球化学相的具体方法及其标准。可以预料,变化多端的客观地质体往往比一般由理论研究知道的复杂得多。因而,可以说没有得到地质实践的验证,的确还只能说仅仅

认识了对于事物全貌认识的并非十分重要的一半,还有更为重要的一半没有得到解决。

这篇文章经孙肇才、陈克仁、江维林、刘永洲、李令德、王羲、沈志根、倪径明、张子培、张玉琴、刘秀菊、吴文等同志过目或讨论,特别是,何中恆、王中学、张洪林等同志提出了很多宝贵意见,特作说明,并表示感谢。

(原文讨论得更为详细,但因篇幅有限,这里作了些文字性压缩。——编者。)

参考文献

1. 毛泽东:《矛盾论》、《实践论》。
2. 地质部石油地质局中心实验室,石油地质实验,1963年1—3期,1964年6期。
3. 成都地质学院,沉积相及古地理教程,中国工业出版社,1961。
4. 南京大学地质系编,地球化学,1964。
5. В. И. 维也纳茨基,地球化学概论,科学出版社1962。
6. Л. А. 古柳也娃(гуляева)沉积岩的地球化学相、氧化—还原环境及其中的有机物。矿产专辑,第5辑,地质出版社,1957。
7. Н. М. 斯特拉霍夫、沉积物之成岩作用及其对沉积矿物形成的意义。沉积专辑,第1辑,地质出版社,1958。
8. Н. Л. 詹姆斯,含铁建造沉积相,中国工业出版社,1962。
9. С. М. 格里戈里也夫,可燃矿产形成过程及性质,地质出版社,1959。
10. 成都地质学院编,结晶学及矿物学,中国工业出版社,1961。
11. И. А. юоркевич, исследования по методике фацильно-геолимического изучения осадочных пород 1958。
12. Геохимического исследования(перевод с английского) сборник статей, издательство иностранной литературы, 1961。
13. 地质快报,1964. 11。
14. 郑爱珠、吴少华:我国陆相沉积的地球化学相