

江陵凹陷油田水分类的几个化学问题

史先谦

江乃雄 李庆芝

(中国科学院上海冶金研究所)

(上海计算数学研究所)

油田水是一个复杂的化学体系,它与地层深部油气藏存在许多相关的信息。油田水分类作为油田水地球化学的一个重要命题,它不仅是个理论问题,而且是个找油的实际问题。已经有过很多研究^[1],其中苏林分类法有较广的影响^[2]。苏林认为:CaCl₂和NaHCO₃型水是油田水型。稍后的舍尔勒分类^[1],考虑了水中阴阳离子的排列顺序以及硫酸盐的饱和程度。这些分类系统对于我国的一些油田的实际情况不尽相符。

在分析了我国几个油田的油田水化学成分特征,用数学方法进行分类研究的基础上,我们对江陵凹陷油田水的地球化学特征作了一些探讨,本文报道这些工作的初步结果。

一、非线性映照及解图

(一) 本区地质概况

江陵凹陷位于江汉盆地的西部,构造线东西向,面积约7000km²,凹陷内分布有资福寺、沙市、陵2号、八岭山等构造。江汉盆地是中新世断陷盐湖沉积盆地,盆地内沉积了白垩系到第四系。江陵凹陷晚白垩世至早第三纪沉积厚度累积达5000米,在凹陷持续沉降的过程中,属干旱一半干旱、闭塞一半闭塞环境,钙芒硝岩与盐岩相当发育。凹陷内受断裂影响,油水纵横关系错综复杂,地层水矿化度高达398克/升,富含硫酸盐,具承压封闭状态的地层水特征。

(二) 本区油田水化学综述

在江陵凹陷下第三系新沟组内,取水样60个。取样深度有的已列入附表;取样条件,均为在试油过程中,当分析氯离子含量稳定时取样。

60个水样中,凡属同时代,同层位的水,在含油边界以内者,称为含油的水,在含油边界以外者,称为非含油的水。前者共36个,后者24个。

对于这些水样的常见离子(Na⁺+K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻)及矿化度的分析数据(单位, ppm)作了初步处理,由诸比值Na/(Ca+Mg), Ca/Mg, SO₄等分别对矿化度的对应关系及Ca/Mg与SO₄的对应关系作图(图1),未发现明显的线性关系。

按苏林分类法^[2],本区60个水样分属四种水型:硫酸钠型21+6(油水同层水样本数+非含油水样本数,下同)、氯化钙型12+17、重碳酸钠型3+0、氯化镁型0+1,无论水型分布还是与油气聚集的关系,苏林分类法都未能提供合理的判别依据。

(三) 非线性映照

苏林及其它油田水分类系统均建立在水中所溶解的盐类所进行的化合作用基础之上,但是,这种假想的化合作用是不存在的。为了研究油田水中可溶成分(这里仍限于常见离子,如前所列)对于分类的相关性,即化学组成与其特性相互之间的关系,我们应用了计算化学多维空间非线性映照技术于油田水体系。

非线性映照是人工智能-统计图形识别^[3,4]的一个分支,在化学领域中是研究结构与物性之间

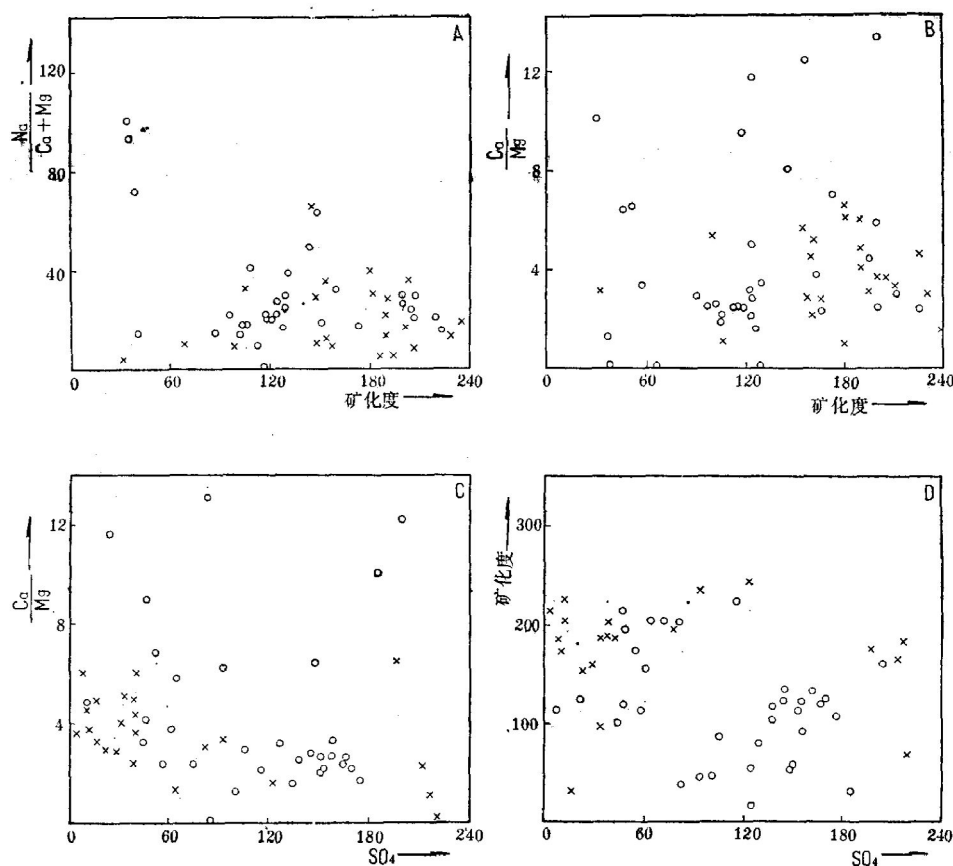


图1 油田水诸比值对应关系图

○ 油水同层水样 × 非含油水样

关系的一种有效方法。随着计算技术的发展,这种方法用于预报未知物性显示了良好效果,为研究多维信息处理提供了新的手段。

把观测值作为观察矢量记入七维空间(因为选取的基础指标为常见离子,共七项观测值,此处“维”即多元分析中的“元”)来考察已知两类——油水同层和非含油两类点阵的分布关系。多维空间中点与点之间相似性的一个极好量度是点间距离:性质相近的点,在所确定的多维空间中总是较密地相聚集,彼此间的距离则小于性质差异悬殊的点之间的距离。此处取点间距离为欧几里德距离:

$$d_{ij} = \left(\sum_{k=1}^7 (X_{ik} - X_{jk})^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

如果我们能在基本上保持点与点之间距离的基础上,将各点映照到一个两维平面,那么类别之间的关系就可以直接观察,这就是非线性映照方法的基本思想。这一方法实现的高维空间与低维显示间的映射不是线性的,因而是一种近似方法。它的优点在于不损失类别可分离性的情况下给出数据点阵的两维显示,对于复杂的多元信息,可抽提最小数目的有效特征,比之多元线性分析,尤能揭示不同信息区的可分离性。但也具有难于对映照结果作进一步分析的缺点。

经非线性映照于两维平面,新的两点之间距离为:

$$d_{ij} = \left(\sum_{k=1}^2 (Y_{ik} - Y_{jk})^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

上两式中 X_{ik} 、 X_{jk} 、 Y_{ik} 、 Y_{jk} 分别为第 i 、第 j 观察矢量在高维及二维空间中的相应分量。

据此设计误差函数

$$\varepsilon = (\sum d_{ij})^{-1} \sum \frac{(d_{ij} - d_{ij}')^2}{d_{ij}}$$

以 ε 取极小为条件，实现由高维到二维空间的非线性映照。

非线性映照过程可用最速下降法或共轭梯度法来实行最优化^[3,4]。

江陵凹陷油田水的非线性映照结果见图2，可以看出，在含油信息区与非含油信息区之间分类良好，且有明显的判决边界。

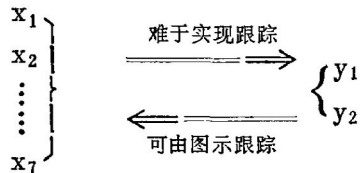
非线性映照结果，说明两类信息区可由所选取的基础指标来实现分离。

但由于过程本身的非线性，各基础指标与可分离性之间的关系仍不明确。油田水分类的研究不能仅满足于可分，更重要的要查明基于那些指标可分。

为了把认识推进一步，把映照前后，即原样空间和低维显示中的点加以对比：

观察矢量 $P(x_1, x_2, \dots, x_7)$ (高维空间) 难于观察，甚至难于想象 $\xrightarrow{\text{非线性映照}}$ 象 $P'(y_1, y_2)$ (低维显示) 显示明确

但由于点与它在低维显示中的映象存在一一对应关系，所以：



两组座标之间也有明确对应关系。

基于以上思想，我们从“解图”入手，检索非线性映照低维显示所包含的信息。主要方法是：等值线循查方法、主特征显示法、边界情况列表表示等。这些方法的相互结合，使得非线性映照得以发挥更大作用。

非线性映照低维显示的等值线循查方法，得以把各基础指标与可分离性的相关关系以图式方法概略地表示出来。各基础指标的等值线循查图如图3，其中 HCO_3^- 的等值线图过于散乱，未予列出。

从图3看到，矿化度、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 、 Cl^- 诸等值线族与分类判决边界有差不多正交的关系，就与可分离性的关系而言，它们的相关性不是很强。值得注意的是 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 诸二价离子， SO_4^{2-} 及 Ca^{2+} 的等值线族与判决边界有较为一致的走向， Mg^{2+} 的等值线族则在含油信息区内有一高峰，向外逐渐降低。这种情况提示：类别分离主要取决于 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等二价离子。

等值线循查又表现出各基础指标的变化趋势（如增大方向及梯度），也显示出非线性映照对于原样本空间所施行“扭曲”的程度。对于 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 、 Cl^- 、矿化度，等值线族平行的趋势较为一致，增大方向也相同，可见非线性映照对原样本空间中这几个基向量扭曲并不强，映照结果大致以同样层次铺展。 SO_4^{2-} 的等值线族也有基本平行的趋势，增大方向指向含油信息区，且在判决边界处有一回线，

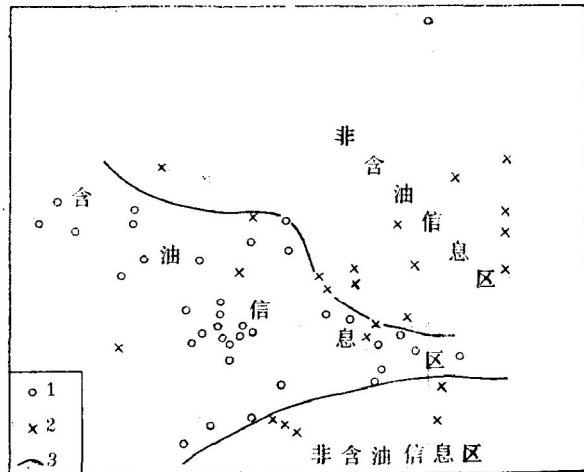


图2 非线性映照图

1. 油水同层水样 2. 非含水样 3. 两类信息区的判决边界

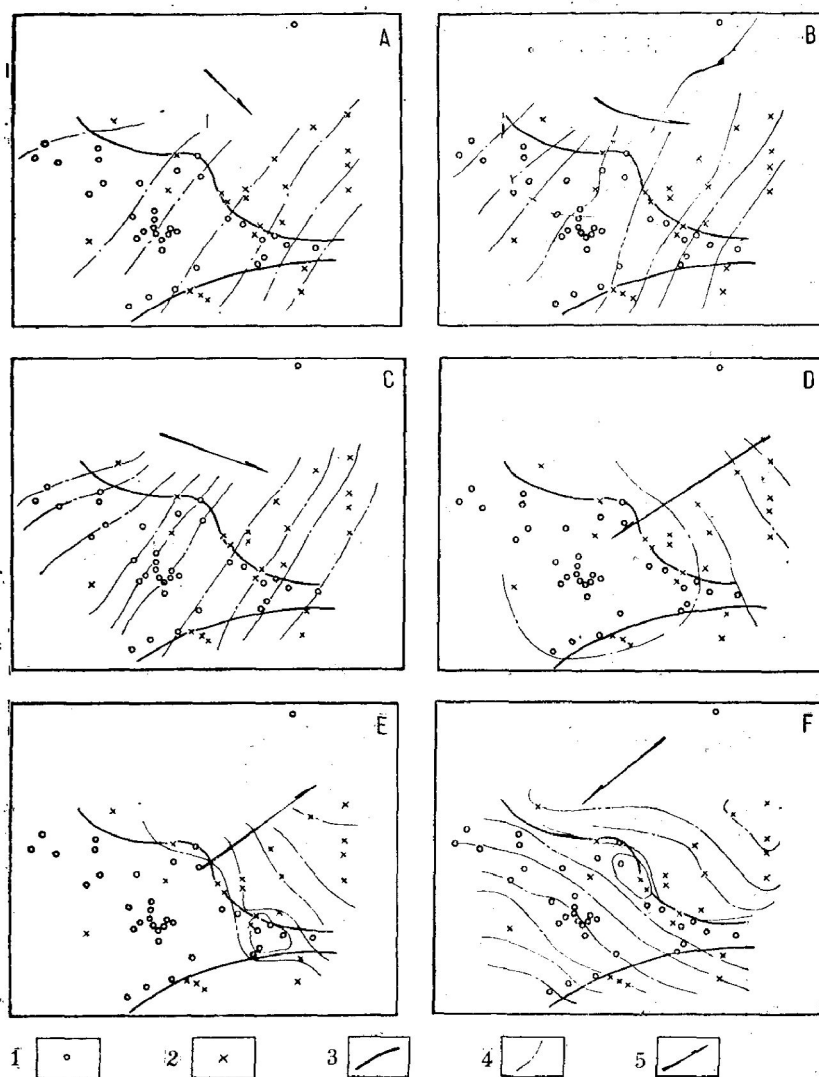


图3 非线性映照的等值线循查图

A— $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, B— Cl^- , C—矿化度, D— Mg^{2+} , E— Ca^{2+} , F— SO_4^{2-}

1. 油水同层水样 2. 非含油水样 3. 两类信息区判决边界 4. 等值线 5. 升高方向

Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的等值线族表现出更强一些的扭曲, 增大方向也各不相同。这样, 等值线循查对映照前后两空间点阵之间的对应关系, 给出一个大致的轮廓。

定义分离性指标为两类信息的类间距离与类内距离的比值, 按照各基础指标对其贡献, 计算出各统计权重因子 ϕ_k [3]。

$$\phi_k = \frac{\sum_a \sum_b P_a P_b X_{ab}^k}{\sum_c P_c X_{cc}^k}$$

其中

$$X_{ab}^k = \sum_{i,j} (x_{ik}^a - x_{jk}^b)^2$$

当只考虑两类信息区时，上式可简化为：

$$\phi_k = \frac{P_a P_b X_{ab}^k}{P_a X_{aa}^k + P_b X_{bb}^k}$$

P_a 为观察矢属于a类的简单几率（等于a类观察矢数与总观察矢数之比）

计算结果如下：

$$\begin{array}{llll} \text{Ca}^{2+} & 0.310 & \text{Mg}^{2+} & 0.299 \\ \text{Na}^+ + \text{K}^+ & 0.279 & \text{HCO}_3^- & 0.154 \\ \text{Cl}^- & 0.293 & \text{矿化度} & 0.150 \\ \text{SO}_4^{2-} & 0.292 & & \end{array}$$

按照权重因子由大到小的排列顺序，二价离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 对于分类的贡献较大，与以上等值线循查所得的结果相符，引起注意的是一价离子 Cl^- ，统计权重因子也颇不小，这样的顺序下文将予论及。

采用主特征^[4]显示，两维的主特征轴为：

$$X = -0.732[\text{Na}^+] - 0.105[\text{Mg}^{2+}] - 0.289[\text{Ca}^{2+}] + 0.082[\text{Cl}^-] + 0.230[\text{SO}_4^{2-}] + 0.286[\text{HCO}_3^-] + 0.039[\text{矿化度}]$$

$$Y = 0.143[\text{Na}^+] - 0.724[\text{Mg}^{2+}] + 0.461[\text{Ca}^{2+}] + 0.425[\text{Cl}^-] + 0.088[\text{SO}_4^{2-}] - 0.209[\text{HCO}_3^-] - 0.105[\text{矿化度}]$$

则两维主特征显示如图4所示。与图2相比，有极其相似之处。除了可分离性表现较差以外，非线性映照低维显示的主要特点，几乎都可以在主特征两维显示中得到表现，尤其因为后者所用的方法是线性变换，样本座标和主特征轴可以有明确的意义和表达式，所以借用它来近似非线性映照低维显示，可以弥补我们所提到过的一些缺陷。需要指出的是：主特征显示丢弃了协方差矩阵的其它几个较小的特征值的相应特征矢，尽管它基于的方法是线性变换，它所引起的误差也不甚大，但它已不复为完全的线性映照。用这种丢弃较小特征值的近似结果来近似地表达非线性映照，则已是双重的近似了。

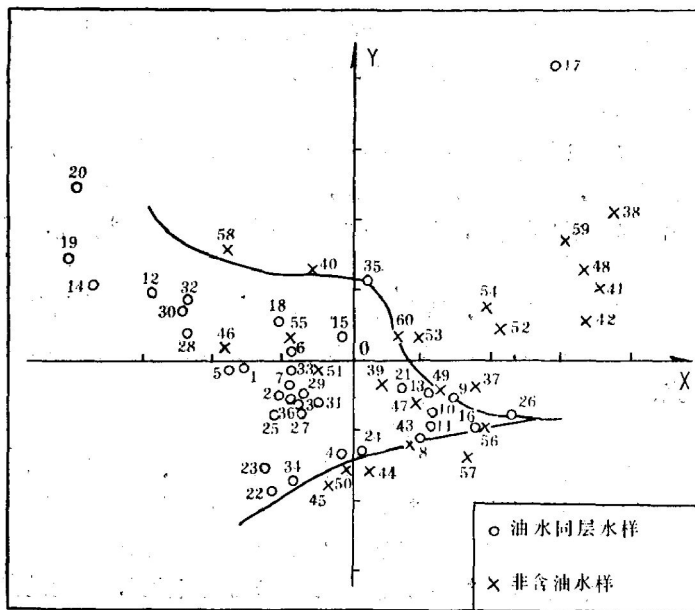


图4 两维主特征显示图

为了对原样本空间的数据分布特征进一步了解，我们用计算机对两类点阵的边界列表显示，方法是在原样本空间，对于任意给定的参数 $\text{PAR} > 0$ ，取量度标准为 d_{ab} （a、b两类点阵各自重心之间的欧几里德距离），列出所有的

$$d_{ij}^{ab} > d_{ab} \cdot \text{PAR}$$

d_{ij}^{ab} 指第i、第j观察矢分别属于a、b两类点阵

随可调参数 PAR 的取值变化，就可以给出原样本空间中两类点阵的相互交接情况的概略描述。它只从距离意义上描述边界附近样本落点的近邻情况，但对同样是从尽量保持相互距离的非线性映照，是可

以互为参照的。实际计算表明,非线性映照显示的两类信息区之间的判决边界与原样本空间内两类点阵的交接情况是较相符合的。

以上,我们对油田水化学数据进行非线性映照处理,并发展了一套线性的解图技术,以寻找油田水中溶入的常见离子与油田水分类的相互关系。从目前处理的几个油田的油田水的情况已知,非线性映照对各油田的油田水有不同的映照结果。通过对江陵凹陷油田水的分析,我们发现二价离子与分类有较强相关。 SO_4^{2-} 的升高方向与储油条件似有平行关系,这与传统的油田水分类观点不一致。考虑到本区油田水中 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 的浓度对应情况,可能与 CaSO_4 饱和有关,为了对 SO_4^{2-} 与油气储集的关系提供资料,本文第二部分进行了模拟油田水复合电解质浓溶液中 CaSO_4 的溶解度的测定实验。

二、 CaSO_4 在油田水中的溶解度研究

CaSO_4 在简单系统中的溶解度的测定,以前已有很多^[6,7],在油田水分类中舍尔勒提出关于饱和的 $\sqrt{\text{Ca}^{2+} \cdot \text{SO}_4^{2-}} > 70$ 的判据^[1],但这一判据较为粗糙。本实验模拟江陵凹陷油田水的组成,测定复合电解质溶液中 CaSO_4 的溶解度。

实验部分

在控制 HCO_3^- 微量的条件下,整个实验按离子强度(I)和温度(T)分组,取I=1、2、5三级和T=15、25°C两等。用NaCl来调整离子强度,改变 $[\text{Mg}^{2+}]$ 量以考察Mg—Ca— SO_4 诸元间关系。实验在恒温槽中进行,温度控制在 $\pm 0.1^\circ\text{C}$,所用试剂:NaCl、 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 NaHCO_3 为分析纯,以及 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 为化学纯。

溶液以去离子水配制, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 系最后过量加入,密封后放入恒温槽连续搅拌48小时,达到溶解平衡,然后取出,经过过滤,取 CaSO_4 的饱和溶液做滴定分析, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用EDTA滴定, SO_4^{2-} 用 BaCl_2 热化学滴定, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的溶解度 $[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}]$ 表示。

实验结果

实验分6组进行,结果如图5、6所示。图中横坐标为 $[\text{Mg}^{2+}]$,纵坐标为 $[\text{Ca}^{2+}]$ 、 $[\text{SO}_4^{2-}]$,单位均为mg/ml,每一级离子强度的实验数据由一拟合直线表示,可以看到直线的斜率很小,趋于平直。

讨论

1. 本文工作与前人实验值相符较好。从图5、6可以看出,同一离子强度下,曲线平直,说明在大量溶入NaCl的同时, Mg^{2+} 的含量(在0—2.0mg/ml的实验范围内)对 CaSO_4 的溶解度影响很弱,且无使之增加的趋势。这与等值线循查中不同的增高方向相符。

本实验在 $[\text{Mg}^{2+}]=0$, $[\text{HCO}_3^-]=0$ 的极端情况,也就是在NaCl— CaSO_4 — H_2O 系统,结果与文献[7]相符合。

本文采用复合电解质溶液的漫散晶格模型(diffuse-lattice model)^[5,6],取 $(\Sigma C)^{\frac{1}{3}}$ 作横轴,以 $\log \frac{f_{\pm}(0)}{f_{\pm}}$ 为纵轴作图, $\frac{1}{3}$ 律的直线关系一直延续到 $\Sigma C \approx 1.5\text{M}$ 处,然后趋于平缓,经历了 $\log f_{\pm}$ 的极小值,当 $\Sigma C > 5.5\text{M}$ 时,曲线开始回升,至 $\Sigma C > 11$ 已经超出了本文实验的浓度范围(图7)。

在溶液加入 Mg^{2+} 、 HCO_3^- (微量)的条件下,实验得出的 CaSO_4 的平均活度系数值在 $\log \frac{f_{\pm}(0)}{f_{\pm}} - (\Sigma C)^{\frac{1}{3}}$ 图上位于NaCl— CaSO_4 — H_2O 系统实验曲线上方的一个带状区域内。至于这一带状区,我们不妨有条件地称之为“饱和区”。

CaSO_4 平均活度系数 $f_{\pm}$ 的对数下限。由下式给出

$$-\log f_{\pm} = 0.848 - 0.24 \times \left\{ |(\Sigma C)^{\frac{1}{3}} - 1.69| \right\}^{3/2} \left[0.95 < (\Sigma C)^{\frac{1}{3}} < 2.2 \right]$$

2. 在二元复合电解质溶液中, 平均活度系数是离子强度 I 或浓度 ΣC 的单值函数, 其对数与 I 或 ΣC 的关系在相应图示上由一支曲线表示^[6]。而在多元复合电解质溶液中, 除个别情况外, 这一关系不再是单值曲线, 而是一个带状区域, 反映了组分之间相互作用的复杂化。由本文实验结果来看, 影响此带状区域宽度的似应主要为 $[Mg^{2+}]$ 。这与前述等离子强度条件下 $CaSO_4$ 的溶解关系构成了一个问题的两个侧面, 其描述是一致的: 总浓度 ΣC (或离子强度 I , 矿化度), 是决定 $CaSO_4$ 的 $\log f_{\pm}$ 值 (通过 $\log f_{\pm}$ 从而决定其溶解度) 的主要因素。 $[Mg^{2+}]$ 则使得具体水样中的 $\log f_{\pm}$ 值距产生一个偏差, 形成了图中所示的带状分布。

3. 上述第一轮实验, 是在油田水实际浓度范围内, 按预定的分组配制溶液样品, 还不是精确地模拟油田水样, 为确证上述结论对于本区油田水实际情况的一致性, 进行了第二轮验证实验。模拟样本选为第 27、第 28 号。溶液配制均按其各自的实际组分浓度, 然后加入过量 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, 实验条件如前所述, 实验结果见表 1:

表 1 验证实验结果 (单位 mg/ml)

样本标号	[SO ₄ ²⁻]		[Ca ²⁺]		[Ca ²⁺], [SO ₄ ²⁻]	
	实测	原值	实测	原值	实测	原值
27	8.32	8.04	1.27	1.31	10.56	10.53
28	7.40	7.11	0.98	1.03	7.25	7.32

验证实验确证了本实验关于模拟油田水的复合电解质浓溶液中 $CaSO_4$ 的溶解度的研究, 与油田水实际情况是相符合的。

4. 利用 $\log(f_{\pm}(0)/f_{\pm}) - (\Sigma C)^{\frac{1}{2}}$ 图对油田水中 $CaSO_4$ 的饱和程度作出判断。

假设诸水样中 $CaSO_4$ 均达到饱和, 由溶度积计算出相应的 $\log f_{\pm}$ 计算值, 标记此值为 $\log f_{\pm} \text{ cal.}$, 并标于图中, 样本落点基本上分布于 $NaCl-CaSO_4-H_2O$ 系统活度系数对数曲线上的一个较集中的区域, 其中有相当一部分位于所标出的饱和区内, 那么对这一部分点, 基本上有

$$\log f_{\pm} \text{ cal.} = \log f_{\pm}$$

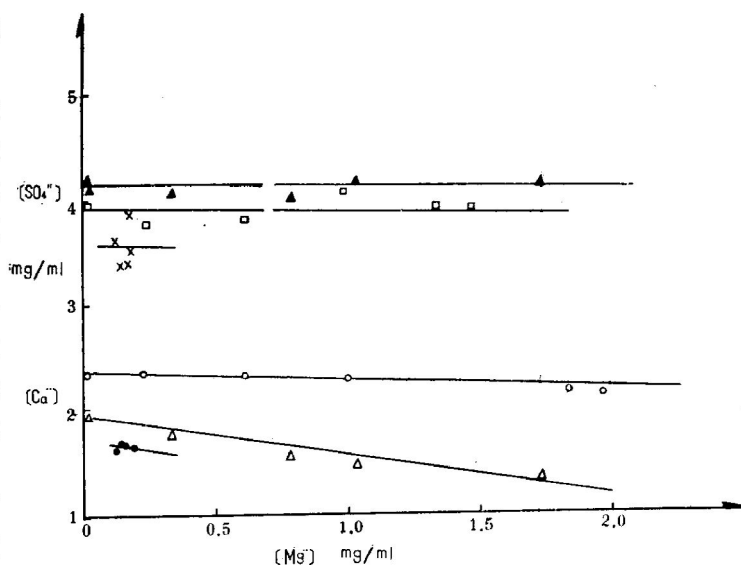


图 5 实验组 I—II 结果 $[SO_4^{2-}]$ 、 $[Ca^{2+}]$ — $[Mg^{2+}]$ 曲线
($T=15^\circ C$, 图例同图 6)

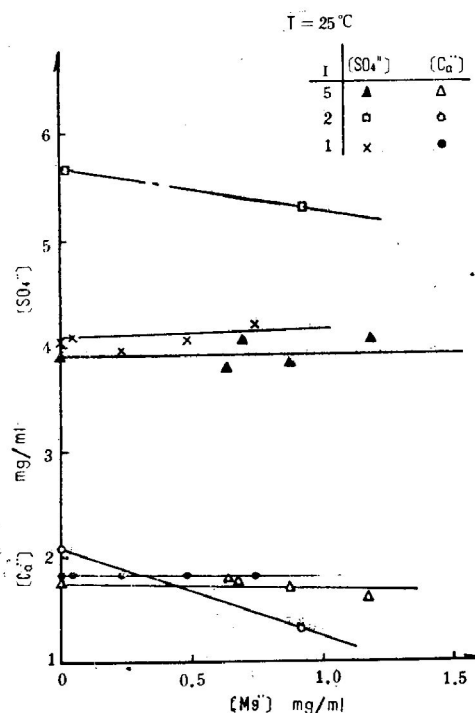


图 6 实验组 V—VI 结果 $[SO_4^{2-}]$ 、 $[Ca^{2+}]$ — $[Mg^{2+}]$ 曲线

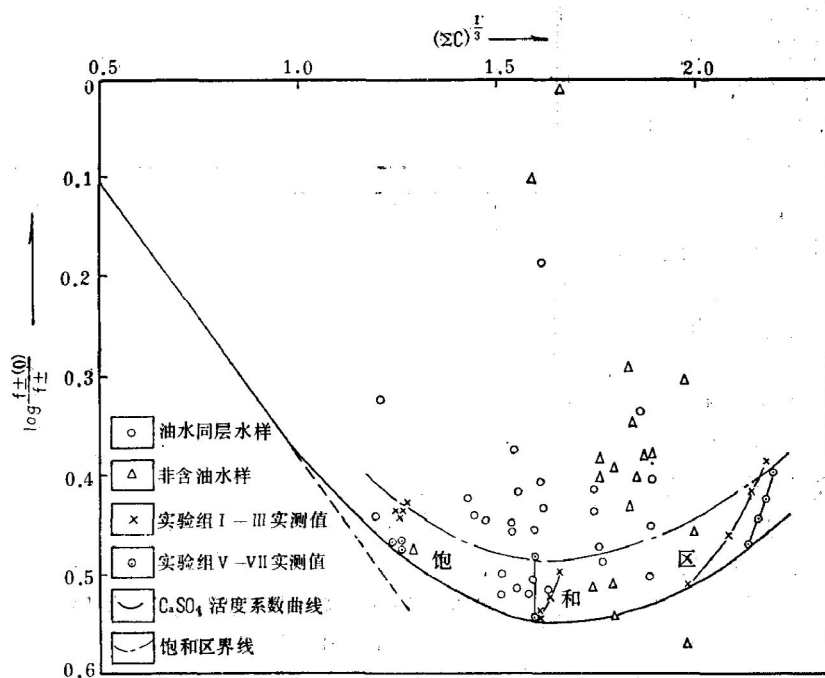


图7 模拟油田水溶液中 CaSO_4 的 $\log \frac{f_{\pm}(0)}{f_{\pm}} - (\Sigma C)^{\frac{1}{3}}$ 图

这些点就可以代表江陵凹陷油田水中, CaSO_4 达到饱和的那些样本。至于饱和区之外的落点, 上式不成立, 但对比同一 $(\Sigma C)^{\frac{1}{3}}$ 坐标, 落点的位置反映出这些点的浓度积与饱和值的差距, 我们利用这些点的相对位置来描述样本中 CaSO_4 的饱和程度。落点越接近饱和区的则距饱和状态越接近。在这样的意义上, 把饱和区上方的区域又分为近饱和区、未饱和区和远未饱和区。其中以饱和区垂直方向带宽的1.5倍作为近饱和区的带宽, 这样定义的近饱和区上缘点的浓度积约比相应的曲线所示饱和浓度积小1.5倍。由图7可知, 样本代表点落入饱和区及近饱和区的频率是很大的。

江陵凹陷油田水中 CaSO_4 已达饱和或接近饱和这一情况, 有必要在油田的开采中提请有关方面足够注意。

参照以上定义的饱和区, 可以判断油田水的稳定性 (即不因环境变异析出结晶的性质) 其不饱和量由下式给出:

$$\Delta y = \sqrt{61/10^{2x} - y}$$

式中 $y = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}]$ $\left(\frac{1}{1000} - M\right)^2$ 是样本的 CaSO_4 浓度积,

x ——由 $\log \frac{f_{\pm}(0)}{f_{\pm}} - (\Sigma C)^{\frac{1}{3}}$ 图上查得的 $\log f_{\pm}$ 值

5. 在高浓度的油田水中, 有人发现 $\frac{\text{Na}}{\text{Ca} + \text{Mg}}$ 值与水中溶入固体总浓度的关系呈上凹的二次曲线型^[1] (图8)。由上可知, 油田水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 之间的相互干扰并不强烈, 随矿化度的增高, Ca^{2+} 的允许溶入量大大增加, 达到一个最大值后减小, 而矿化度与 Na 含量之间有很好的线性关系, 所述的二次型曲线表示的趋势是很好的理解的。文献 [1] 对此作了相反的解释“最小平方曲线表明钠离子浓度的降低是与钙、镁离子有关, 直到可溶固体等于 210000mg/l 为止, 钠离子才增加”, 这是我们所不能苟同的。

综上所述可知，在 CaSO_4 处于饱和和临界状态的膏盐相沉积盆地地层水中，盐分与 CaSO_4 的溶解、析出密切相关，考虑到地层水运移、盐分、环境的综合因素，这种有条件的溶解—析出，在特定情况下，有可能造成一种利于油气储藏的封闭环境。江陵凹陷油田水中二价离子与储油信息间的较强相关，可用以上水化学与地层圈闭间的联系加以阐述。这样，在膏盐发育的地质环境中， SO_4^{2-} 与储油信息的正相关也就易于理解；同时，也可以解释溶液中稳定的一价离子的作用，回答了第一部分关于 Cl^- 权重因子顺序的留疑。

依本文工作结果，本区油田水两类观测样本关于饱和程度的分布为（表2），

表2

样 别	统计项目	饱 和	近饱和	其 余
油水同层水样	样 本 数	12	15	10
	%	32.5	40.5	27.0
	合计(%)	73.0		27.0
非含油水样	样 本 数	6	1	17
	%	25	4.2	70.8
	合计(%)	29.2		70.8

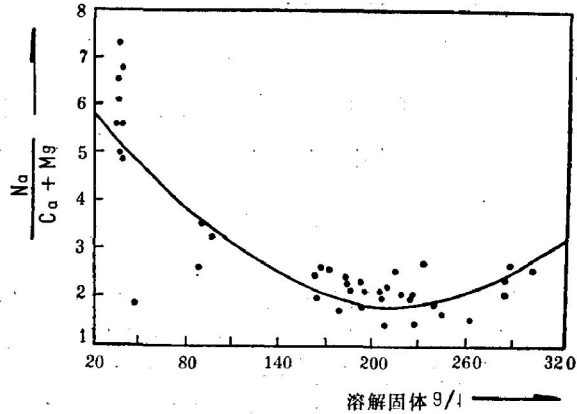


图8 某些地层水的 $\text{Na}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ 与溶解固体浓度关系曲线图

样品采自东德克萨斯盆地罗德萨地层中，曲线是分散数据($Y=a+bx+cx^2$)的最小平方理想值

含水水样中，前两区样本比例达73.0%，而总计此两区内含油的可能性达

$$\frac{\text{饱和区、近饱和区含水水样数}}{\text{此两区样本总数}} = \frac{12+15}{12+15+6+1} = 79.4\%$$

由此可以看出 CaSO_4 饱和程度作为本区油田水的一个指标的意义。

鉴于本区储油岩中膏岩发育，以上论点是易于理解的。

三、小 结

（一）在油田水分类研究中，非线性映照及线性分析的综合运用，是一种有效方法。它揭示了江陵凹陷油田水中二价离子 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与含油气信息的相关关系。

（二）江陵凹陷膏盐相沉积建造中的油田水化学成分与含油气相关等方面的特点表明，苏林分类未能实现完全分割，作为描述性分类，不足说明油田水的类型和油气藏预测。新型油田水分类应考虑特定地质环境中的油气储集模式。

（三）江陵凹陷油田水中 CaSO_4 溶解度的研究，证实本区部分地层水中 CaSO_4 已达或接近饱和，各水样的饱和程度可由 $\log \frac{f_t(0)}{f_t} - (\Sigma C)^{\frac{1}{2}}$ 图加以判断；提出 CaSO_4 的饱和程度作为本区油田水的一个指标。

本研究工作在陈念贻教授指导下完成。工作中得到程志纯、张金来、刘崇禧工程师的指导和大力帮助，在此一并致谢。

（收稿日期 1981年4月23日）

主要参考文献

- [1] Collins, A.G., 1975, Geochemistry of oil field water, Elsevier Scientific Publ. Comp.,及所附有关文献。
- [2] Сулин, В.А., 1946, Воды нефтяных месторождений в системе природных вод, Госгостехиздат.
- [3] Kowalski, B.R. and Bender, C.F., 1972, J. Amer. Chem. Soc. 94 5632.

- [4] 福永圭之介, 统计图形识别导论. 陶笃纯译, 科学出版社, 1978.
- [5] Frank, H.S. and Thompson, P.T., 1959, A point of view on ion clouds. In *The Structure of Electrolytic Solutions* edited by W.J. Hamer, John Wiley & Sons, Inc., N.Y.
- [6] 陈念贻等, 1985, 混合电解质溶液漫散晶格模型的应用. 全国第一届冶金过程物理化学学术报告会论文集, 上海科技出版社.
- [7] Linke, F.W., 1958, Solubilities of inorganic and metal organic compounds. 4th ed. Vol.I, D. Van Nostrand Company Inc.

SOME CHEMICAL PROBLEMS IN CLASSIFICATION OF OIL FIELD WATER OF JIANGLING DEPRESSION

Shi Xianqian

(Shanghai Institute of Metallurgy,
Academia Sinica)

Jiang Naixiong Li Qingzi

(Shanghai Institute of Computational
Techniques)

Abstract

The study of class separation in chemical composition of oil field water in Jiangling depression, using a multidimensional space non-linear mapping method combined with linear statistic analysis, is our example of applying a computerized pattern recognition technique to the classification study of oil field water. The Jiangling depression is a part of Jiangnan Basin developed in Cretaceous-Tertiary. During its process of continuously sinking, having a dry or semi-dry, restricted or semi-restricted interior lake sedimentary environment, the calcium mirabilite rocks and salt rocks were developed. Faults are well developed in the depression, so the oil water relations are complicated. It was proved by the above mentioned pattern recognition method that there is a good correlation between the concentration of divalent ions (such as SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , etc.) in the oil field water of Jiangling depression and oil-bearing conditions, and the positive correlation between SO_4^{2-} and the oil-bearing conditions seems different from the traditional viewpoint of oil field water investigations.

In order to interpret this result, we measured some solubility relations in the solution of simulated oil field water samples. It was noticed that in oil field water samples of Jiangling depression the Ca^{2+} concentration often decreased with the increasing of SO_4^{2-} concentration. It seemed to indicate that many of the samples were almost CaSO_4 saturated. We measured the solubility of CaSO_4 in some simulated solutions and plotted a diagram of the equation $\log \frac{f_1(0)}{f_2} - (\sum C)^{\frac{1}{2}}$ to show the saturation region of CaSO_4 in oil field water based on a diffuse-lattice model of electrolyte solutions. This experiment proved that the concentration of CaSO_4 in the water associated with oil was often saturated or nearly saturated. Therefore the concentration of CaSO_4 in oil field water can be used as a good indicator for oil exploration and development in this region. Since salt and gypsum are well developed in the reservoir rocks in Jiangling depression, which is shown by geological conditions, it is not difficult to understand this relation.