

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

## 研究簡訊

### 对准噶尔与鄂尔多斯盆地古湖含盐量的初步认识

邵宏舜 黄第藩

古沉积盆地水体含盐量的大小对水质酸碱度、生物繁殖、元素集散以及生油条件,均有一定的影响。古湖泊含盐量的研究有助于进一步了解生油条件,特别是在湖泊演化中有机质堆积和保存的介质条件的特点;有助于正确地运用陆相沉积的地球化学指标以确定生油岩系的地球化学类型。同时,在一定条件下,根据古水盆含盐量的大小及其变化规律,还可以相当正确地推断古气候特点及其演化过程。

运用岩石地球化学方法判断古沉积水盆的含盐量,在国外已获得了良好的效果。目前所使用的方法主要有:泥岩中氯的百分含量法、氯溴系数( $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ )法<sup>[6]</sup>、被吸附氯的«置换极限»法以及含盐量系数( $\frac{r_{\text{Cl}^-}}{r_{\text{HCO}_3} + r_{\text{CO}_3}}$ )法<sup>[7]</sup>四种。其中,以前两种方法最可靠,运用较广泛。

目前,我国学者对于古沉积盆地水质盐度的分析,大多是依据岩石的颜色、特殊矿物组合(如石膏、岩盐等)以及古生物方面的材料。这就不免带来了一定的在地层上的和方法本身的局限性。

本文是在我国西北区陆相地层中运用泥岩中的某些卤族元素含量及其沿剖面的变化来判断古水盆含盐量大小的初步尝试。一般说来,水盆的盐度越高,则被埋藏的 $\text{Cl}^-$ 等某些卤族元素的含量也越高<sup>[5,6]</sup>。同时,在成岩过程中,它们的含量也不会由于氧化还原电位的改变而发生变化。最后,泥岩是不易渗透的岩层,所以,地下水的交替作用也不会使它们的含盐量发生变化。这就是我们所采用的方法本身的主要依据<sup>1)</sup>。

本文依据新疆石油管理局、银川石油勘探处以及中国科学院兰州地质研究所中心分析室的资料编写而成,在此致谢。

#### 一、古沉积盆地湖水含盐量的演变

在具体讨论古水盆含盐量及其演化之前,有

必要首先谈谈划分淡水与咸水的界限指标问题。

根据准噶尔盆地泥岩中氯含量的分析资料来看,有两个明显的转折处(表1),一个在乌尔禾统的顶部( $y_3$ ),一个在侏罗系中部的红沟统( $J_{1+2}$ )。它们的氯的百分含量分别为0.020—0.036%和0.012—0.030%。从沉积物来看,红沟统代表着一个从深水湖相(不含盐类)向红层和含盐类地层过渡的层段。也就是说,它代表着一个水质盐化的转折点。根据这种情况判断,我们初步考虑以泥岩中氯含量等于0.02—0.03%作为淡水与微咸水的界限指标。与此相应,则其他的界限指标相应是:氯溴系数等于20;含盐量系数(由于影响碳酸盐的因素较多,故只作参考)约等于1.5。应该指出,这几个界限指标的数字与苏联学者根据俄罗斯陆台泥盆系的研究所得出的意见是基本相符的<sup>[5,6]</sup>。他们指出,海成泥岩中的 $\text{Cl}^-$ 含量为0.2—0.3%,而在淡水泥岩中,则下降到0.01—0.02%;氯溴系数在海成泥岩中为70—100,直至300,而淡水的仅4—20。如果考虑到泥盆纪岩石的压缩程度(即泥岩的总毛细孔隙度)一般应高于中生代岩石,那末,在准噶尔和鄂尔多斯盆地当泥岩的有关数字不超过上述界限指标时,它们就更应该是属于淡水条件的产物了<sup>[4,5]</sup>。

考虑到现代水盆的研究资料,以及前人关于水体盐度的分类,我们在此提出一个关于湖泊盐度的划分意见:淡水与微咸水的分界是盐度为0.05%;微咸水与半咸水的分界是盐度为2.47%;半咸水与咸水的分界是盐度为6%。一般来说,当大陆水盆的盐度大于6%时,沉积物中就开始有盐

1) 在大陆水盆中,还有一种苏打湖,其 $\text{Cl}^-$ 含量并不随盐度增长,这是一个值得注意的问题,但是本文研究的对象不属于这一类型,因为本文所述地区的岩石中重碳酸钠并不富集,而且钠的变化趋势也与 $\text{Cl}^-$ 含量的变化一致。

表 1 准噶尔盆地克拉玛依地区三迭系—侏罗系地球化学指标

| 系   | 统      | 地 层<br>组, 段                            | 含 盐 量 系 数<br>$K_s = \frac{Cl^-}{CO_3^{2-} + HCO_3^-}$ | 氮含量<br>Cl-%     | 氮 溴<br>系 数<br>Cl <sup>-</sup> /Br <sup>-</sup> | 硫化物<br>硫含量<br>S-% | 低 铁<br>含 量<br>Fe <sup>++</sup> -% | 铁比值<br>$\frac{Fe^{++}}{Fe^{3+}}$ | 湖盆水质相对演化曲线 |            |      |      |      |  |
|-----|--------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------|------------|------|------|------|--|
|     |        |                                        |                                                       |                 |                                                |                   |                                   |                                  | 淡水         | 微咸水 (Cl-%) |      |      |      |  |
|     |        |                                        |                                                       |                 |                                                |                   |                                   |                                  | 0.01       | 0.02       | 0.03 | 0.04 | 0.05 |  |
| 侏罗系 | 齐古统    | J <sub>2+3</sub>                       | 2—4<br>(最大达 5)                                        | 0.038—<br>0.066 | 100 以上<br>(估计)                                 | 0.05—<br>0.20     | 1—3                               | 2—7<br>(一般 5)                    |            |            |      |      |      |  |
|     | 红沟统    | 头屯河—西山<br>组 J <sub>1+2</sub>           | 1—2                                                   | 0.012—<br>0.030 | 上部 25—<br>35*<br>下部 6—<br>18                   | 0.05—<br>0.1      | 1—2                               | 4—7                              |            |            |      |      |      |  |
|     | 罗水统    | 江河组 J <sub>1+2</sub>                   | 0.5—0.9                                               | 0.008—<br>0.01  | 1.5                                            | 0.05—<br>0.09     | 1.6—2.8                           | 3—7                              |            |            |      |      |      |  |
|     | 西沟统    | 八道湾组<br>J <sub>1+2</sub>               | 0.55—0.9                                              | 0.008           | 1.5—7.0                                        | 0.05—<br>0.17     | 1.6—2.5                           | 4.7—8.5                          |            |            |      |      |      |  |
| 三迭系 | 上克拉玛依统 | 下黄灰色段<br>T <sub>3</sub> <sup>H1</sup>  | 0.4—1.1                                               | 0.008—<br>0.014 |                                                | 0—0.02            | 1.5—2.5<br>(最大 4.4)               | 4.7—9                            |            |            |      |      |      |  |
|     | 上克拉玛依统 | 上克拉玛依段<br>T <sub>3</sub> <sup>K2</sup> | 0.7—1.8                                               | 0.006—<br>0.014 | 2—10*                                          | 0.01—<br>0.14     | 2.8—4                             | 3—8                              |            |            |      |      |      |  |
|     | 上克拉玛依统 | 下克拉玛依段<br>T <sub>3</sub> <sup>K1</sup> | 0.4—1.2                                               | 0.007—<br>0.012 | 7—13*                                          | 0.02—<br>0.05     | 1—5                               | 2—10                             |            |            |      |      |      |  |
|     | 中下三迭统  | 红棕色泥岩<br>砾岩段 Y <sub>3</sub>            | 1.6—2.4                                               | 0.020—<br>0.036 | 20—<br>20.83                                   | 0—0.06            | 0—1.2                             | 0.5—2                            |            |            |      |      |      |  |
| 二迭系 | 中下三迭统  | 灰绿色泥岩<br>砾岩段 Y <sub>2</sub>            | 0.9—1.8                                               | 0.020—<br>0.042 | 17.4—30                                        | 0.01—<br>0.16     | 0.2—1.4                           | 0.5—7                            |            |            |      |      |      |  |
|     | 中下三迭统  | 灰绿色泥岩<br>砾岩段 Y <sub>2</sub>            | 0.9—2.6                                               | 0.020—<br>0.032 | 21.4                                           | 0.03—<br>0.14     | 0.6                               | 1—3                              |            |            |      |      |      |  |
|     | 中下三迭统  | 灰绿色泥岩<br>砾岩段 Y <sub>2</sub>            | 0.8—2.6                                               | 0.015—<br>0.020 | 2.6—3.9                                        | 0.05—<br>0.13     | 0.6—1.2                           | 1—2~4                            |            |            |      |      |      |  |
|     | 二迭统    | 火山碎屑岩<br>段 Y <sub>1</sub>              | 1.3—1.8                                               | 0.010—<br>0.016 | 1.15—<br>3.49                                  | 0—0.06            | 0.3—0.5                           | 0.5—1.5                          |            |            |      |      |      |  |

\*注: 系取自盆地南缘剖面的分析数值

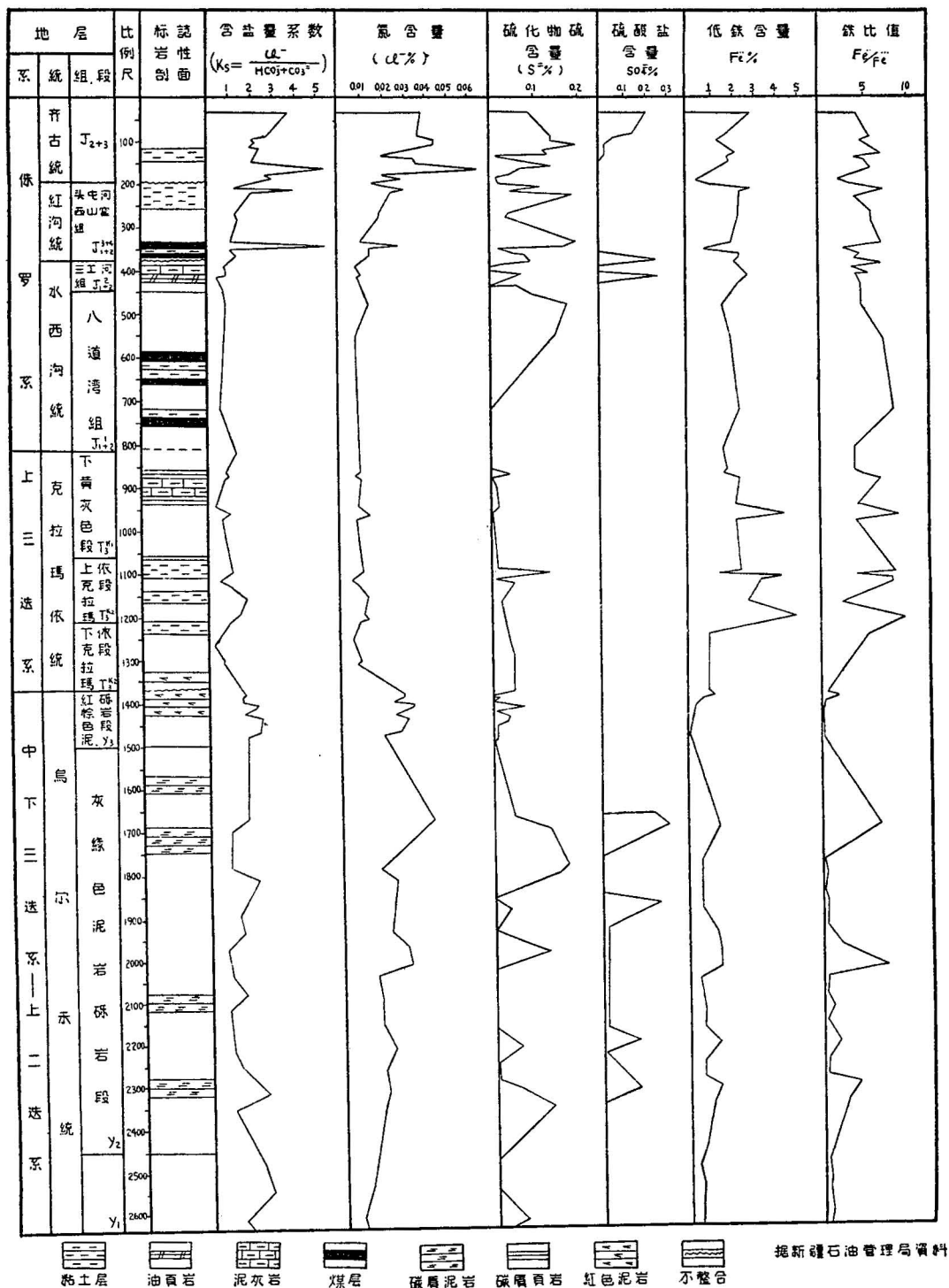


图1 新疆准噶尔盆地克拉玛依地区三迭系—侏罗系地球化学指标曲线图

类沉积出现了。

结合上述海相沉积(现阶段海水的平均盐度为 3.5%)中有关的数据情况,我们初步认为,在大陆条件下, $\text{Cl}^-$ 含量为 0.12—0.15%及  $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ 系数为 60—80 是微咸水与半咸水的界限指标。

**1. 准噶尔古湖盆** 纵观盆地西北部克拉玛依地区上二迭统一侏罗系地层剖面中  $\text{Cl}^-$ 含量、 $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ 系数和含盐量系数的变化,它们明显而一致地反映出准噶尔古湖在地史发展中存在着两个由小到大的氯含量,即水质渐趋咸水的旋迴( $\text{P}_2 \rightarrow \text{T}_{1+2}$ ,  $\text{T}_3 \rightarrow \text{J}_{2+3}$ )。这点在岩性上反映得很不明显,无法确切判断(见图 1、表 1)。而这个含盐度的变化规律与我国西北区一般所公认的当时的古气候旋迴吻合。

如图 1 与表 1 所示,当我们沿剖面追踪岩石中  $\text{Cl}^-$ 含量的变化时,不难看出,在乌尔禾时期之初( $y_1-y_2^1$ ),水质为淡水。其后(中期),很快地在泥岩中  $\text{Cl}^-$ 含量一般都超过了 0.02%,甚至达到 0.04%以上。末期  $\text{Cl}^-$ 含量又逐渐降低,但始终未超出微咸水的范围。这样就构成了水质咸化的第一个旋迴。随着古湖盆的继续演化,岩石中  $\text{Cl}^-$ 含量突然下降。由晚三迭世克拉玛依期至侏罗纪三工河期,  $\text{Cl}^-$ 含量降低到 0.01—0.014%,反映着水质一直处于淡水水域的范围。至侏罗纪红沟世,尽管  $\text{Cl}^-$ 的含量反映着水质还基本上处于淡水水域,但已显示出湖盆含盐量开始增加,甚至  $\text{Cl}^-$ 的含量偶尔可达 0.03%;而到侏罗纪晚期(齐古世),水质又重新转入了微咸水水域,  $\text{Cl}^-$ 的含量甚至可达 0.066%。这样,就构成了水质咸化的第二个旋迴。同时,从数字来看,还说明侏罗纪晚期的气候与中生代早期比较可能更干燥一些。这也是与中生代以来西北区的气候日趋干化的总趋势相符合的。

$\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ 系数也反映着相应的变化:乌尔禾时期,开始为 1.15—3.9;中期增至 17.4—30,一般均超过了淡水水域( $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ 为 20)沉积岩的  $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ 比值,而属微咸水;末期又有所下降,但基本仍属微咸水范围。在晚三迭世至早中侏罗世的三工河期  $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ 系数降低至 2—13,属淡水;至红沟世同样开始上升( $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ 系数=6—35),而齐古期估计可高达 100 以上了。

再看含盐量系数的变化,亦大致对应:在乌尔禾时期,最大值为 2.6,而至晚三迭世一早中侏罗世早、中期降至 0.4—1.2,其后又逐渐增至更

高的水准,可达 5。

当我们对图 1、表 1 中所反映的整个淡水时期进行细致的分析时,就会发现  $\text{Cl}^-$ 含量和上述其他两个系数均在早、中侏罗世八道湾—三工河期达到了最低的数字。这时  $\text{Cl}^-$ 的含量可低至 0.008%、 $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ 比值最低仅 1.5,而含盐量系数同样降低到 0.5,反映着该时期准噶尔湖盆的水质最淡。

**2. 鄂尔多斯古湖盆** 上述各项指标的变化在鄂尔多斯古湖盆却表现了另一种类型,晚三迭世水体明显咸化。沿剖面向上,盐度显著降低而后增高;向下也是显著降低而后增高。水质盐度的演变构成了两个由高到低的淡化旋迴。

如图 2 与表 2 所示,在鄂尔多斯盆地  $\text{Cl}^-$ 含量等变化的情况是:在二迭纪泥质岩中,  $\text{Cl}^-$ 含量为 0.045—0.05%,反映着水质属微咸水水域;早、中三迭世纸坊统岩石中  $\text{Cl}^-$ 含量仅 0.022%,说明自石炭纪海水退去之后,经早二迭世水质继续淡化,从而整个构成了第一个水质淡化的旋迴。在晚三迭世沿剖面自下而上,  $\text{Cl}^-$ 含量的变化反映着水质渐趋咸化,属微咸水。就是在晚期— $\text{T}_{3y}^5$ 成煤时期,水质虽有所淡化,但仍然时而微咸,时而较淡。在总的趋势上可见,晚三迭世的咸化可进一步分为两个阶段(小旋迴)。第一次发生在  $\text{T}_{3y}^1$ 至  $\text{T}_{3y}^2$ ,其  $\text{Cl}^-$ 含量是从  $\text{T}_{3y}^1$ 下部的 0.01%咸化到  $\text{T}_{3y}^2$ 上部页岩沉积时期的 0.06%(平均 0.038%)。第二次发生在  $\text{T}_{3y}^3$ 至  $\text{T}_{3y}^4$ ,水质更进一步的咸化,其  $\text{Cl}^-$ 的含量从  $\text{T}_{3y}^3$ 的 0.025%(平均值,最低为 0.02%)咸化到 0.053%(平均值,最高达 0.08%)。在经过这一咸化的历程之后,至晚三迭世晚期( $\text{T}_{3y}^5$ )水质逐渐淡化,至早、中侏罗世(延安世和直罗世)在岩石中的  $\text{Cl}^-$ 含量平均仅 0.01%左右,反映水质已处于淡水水域了。这样一来,从晚三迭世至侏罗纪湖盆水质的演化在整个趋势上构成了第二个淡化的旋迴。不过,在中侏罗世末期(安定组),水质又明显地急剧咸化。

在鄂尔多斯古湖盆的沉积物中,含盐量系数的变化与上述情况大致相应(表 2),不赘述。 $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ 因资料不完整故未曾援引。

## 二、古湖盆水体含盐量演化的相互比较

综上所述可以看出,准噶尔与鄂尔多斯这两

表2 鄂尔多斯盆地二迭系—侏罗系地球化学指标

| 地 层 | 系   | 统    | 代号                           | 含 盐 量 系 数<br>$K_s = \frac{Cl^-}{HCO_3^- + CO_3^{2-}}$ | 氯含<br>量<br>Cl-% | 硫化物<br>硫含量<br>S-% | 硫酸盐<br>含量<br>SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> % | 元素硫<br>含量<br>S% | 低铁<br>含量<br>Fe <sup>++</sup> % | 高铁<br>含量<br>Fe <sup>3+</sup> % | 铁比<br>值<br>$\frac{Fe^{++}}{Fe^{3+}}$ | 湖盆水质相对演化曲线        |      |      |      |      |      |
|-----|-----|------|------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|----------------------------------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|
|     |     |      |                              |                                                       |                 |                   |                                              |                 |                                |                                |                                      | 淡水     微咸水 (Cl-%) |      |      |      |      |      |
|     |     |      |                              |                                                       |                 |                   |                                              |                 |                                |                                |                                      | 0.01              | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 |
| 中生代 | 侏罗系 | 安定组  | J <sub>2a</sub>              | 0.6~1.0                                               | 0.070<br>0.10   |                   |                                              | 0.01            | 1.65                           | 0.66                           | 2.5                                  |                   |      |      |      |      |      |
|     |     | 直罗组  | J <sub>2c</sub>              | 1.0~0.5                                               | 0.004<br>0.010  | 0.18              | 0.01                                         | 0<br>0.01       | 2.70                           | 0.65                           | 4.15                                 |                   |      |      |      |      |      |
|     |     | 延安统  | J <sub>1y</sub>              | 0.8~1.1                                               | 0.006<br>0.012  | 0.106             | 0.01                                         | 0<br>0.01       | 3.40                           | 0.34                           | 10.0                                 |                   |      |      |      |      |      |
|     | 三叠系 | 延    | T <sub>3y</sub> <sup>5</sup> | 1.0~1.3                                               | 0.006<br>0.030  | 含量最高              |                                              | 0.013           | 2.7                            | 0.31                           | 8.71                                 |                   |      |      |      |      |      |
|     |     |      | T <sub>3y</sub> <sup>4</sup> | 1.0~1.6                                               | 0.026<br>0.080  | 0.05              | 0.01                                         | 0.012           | 2.68                           | 0.40                           | 6.70                                 |                   |      |      |      |      |      |
|     |     | 长    | T <sub>3y</sub> <sup>3</sup> | 0.8                                                   | 0.024<br>0.034  | 0.04              | 0.01                                         | 0<br>0.010      | 4.30                           | 0.60                           | 7.17                                 |                   |      |      |      |      |      |
|     |     | 统    | T <sub>3y</sub> <sup>2</sup> | 0.8~1.4                                               | 0.020<br>0.060  | 0.12              | 0.01                                         | 0<br>0.012      | 3.60                           | 0.80                           | 4.50                                 |                   |      |      |      |      |      |
|     |     |      | T <sub>3y</sub> <sup>1</sup> | 0.2~0.8                                               | 0.008<br>0.023  | 0.02              | 0.01                                         | 0.008           | 2.50                           | 0.70                           | 3.57                                 |                   |      |      |      |      |      |
|     | 二叠系 | 纸坊统  | T <sub>1+2c</sub>            | 0.1~0.3                                               | 0.022           | 0.024             | 0.08                                         |                 | 0.5                            | 0.63                           | 0.84                                 |                   |      |      |      |      |      |
|     |     | 石千峰统 | P <sub>2sg</sub>             | 0.2~2.0                                               | 0.05            | 0.004             | 0.07                                         |                 | 0.5                            | 0.60                           | 0.84                                 |                   |      |      |      |      |      |
| 古生代 | 石炭系 | 盒子统  | P <sub>1sh</sub>             | 0.2~0.6                                               | 0.045           | 0.07              | 0.04                                         |                 | 0.85                           | 0.50                           | 1.70                                 |                   |      |      |      |      |      |

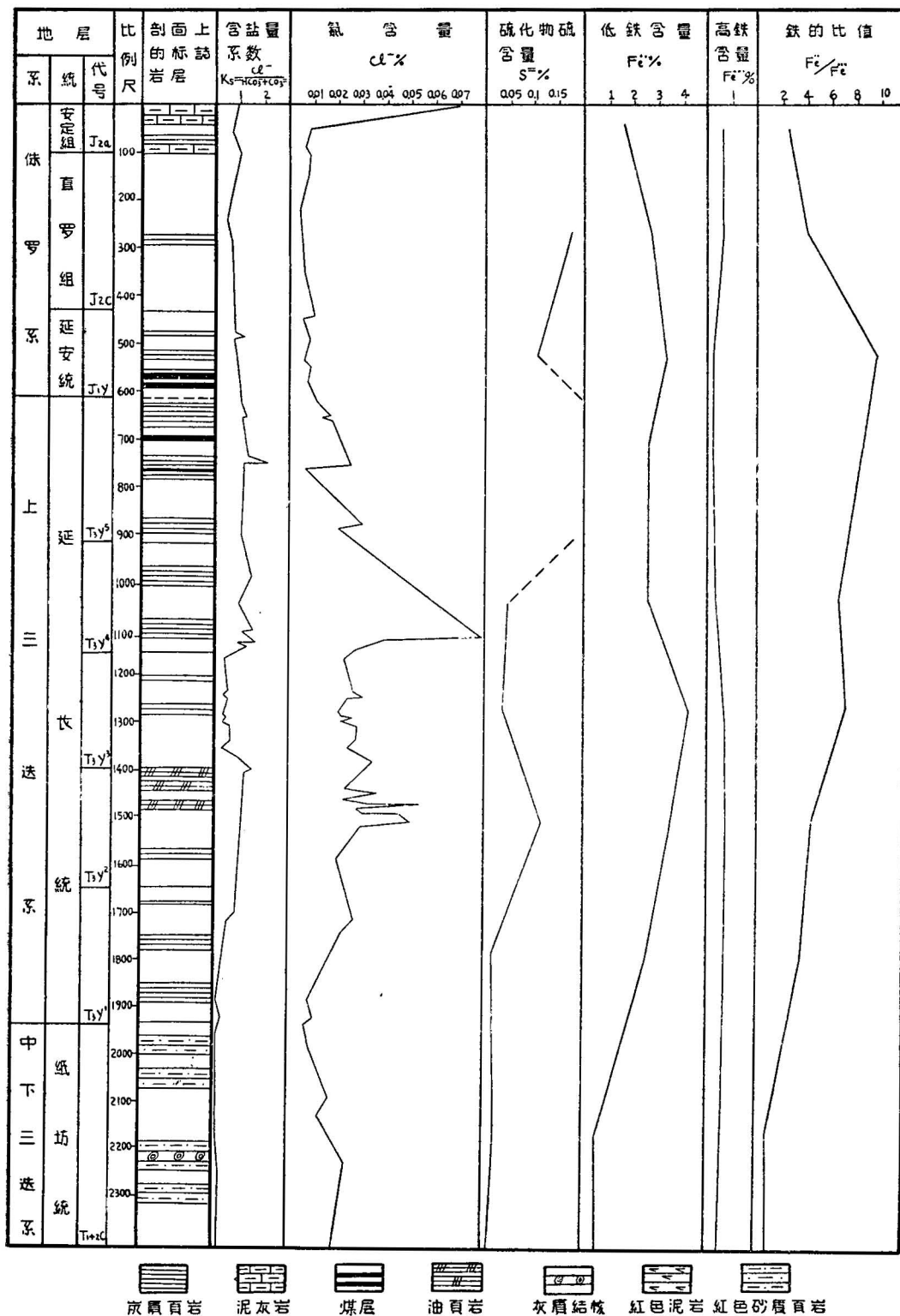


图2 鄂尔多斯盆地三迭系—侏罗系地球化学指标曲线图

表 3 水质演化对比表

[illegible]

个古湖盆水体含盐量的演化特征是(表3):

在准噶尔古湖盆：晚二迭世一早、中三迭世（乌尔禾统）的早期为淡水，中期和晚期属微咸水；晚三迭世至早、中侏罗世又属淡水，而晚侏罗世为更咸一些的微咸水。它们共同组成了两个咸化的旋迴。这种情况与世界以及我国西北区古气候的演变恰相吻合。

在鄂尔多斯古湖盆,水体含盐量的演变却与准噶尔盆地的情况不同:二迭纪属微咸水,早、中三迭世属淡水。晚三迭世在逐渐咸化中形成了微咸水水域,其后在早、中侏罗世又处于淡水水域了。随着中侏罗世末期干燥气候的来临,水质才急剧咸化,它们共同组成了两个淡化的旋迴(表3)。

由此可见,在鄂尔多斯盆地晚二迭世至三迭世水质的演变与古气候的演变情况恰恰相反。但是,这种情况又是无可怀疑的。尽管,在鄂尔多斯盆地古植物的研究早已认为晚三迭世的古气候是温暖而潮湿的;但上述地球化学的研究结果却又与曾在古湖盆中生活过的生物——介形类的研究结果一致。钟小春同志对介形类的研究证明,在晚三迭世有大量微咸水种属与淡水种属共生<sup>[2]</sup>。我们认为以这个资料来衡量水质是比较可靠的。

那么上述客观事实应如何理解呢？我们初步认为，这是由于古湖盆所处的具体地质构造条件

的差异以及由其所决定的湖盆闭塞情况的不同所引起的。

从地质构造条件上可以看出,准噶尔古湖盆在中生代至少是基本闭塞的。因此古气候的演变所导致的湖盆补给和蒸发的相对差异,在其水体的含盐度上,得到了明显而一致的反映。

但是，鄂尔多斯古湖盆的情况则不然。尽管在晚三迭世初期湖水面积有所缩小，但仍然有 50 万平方公里左右（包括向祁连山东段北麓延伸的支湖在内），湖水一般较浅（反映在岩相上是以砂岩为主），故湖水受蒸发的面积很大，加以水体不深，蒸发作用也就相对较强。同时，当时的气候可能属于半潮湿气候。这些因素，致使水体发生了一定程度的咸化。到早、中侏罗世，水质的演化情况，就与准噶尔盆地基本一致了：前期，随着我国西北区最潮湿气候的到来，发生了湖盆水体的淡化过程，进入了淡水水域，并同时形成了可燃有机岩（含煤）建造；末期，由于干燥气候的影响，水质急剧地咸化，有 2—3 层白云质沉积出现。

### 三、几点討論

1. 如果结合地层剖面进行分析(图1、2), 则关于早、中侏罗世的前半期水质最淡这一点, 就显得更有意义了。因为, 剖面上水质最淡带, 正处在

侏罗纪第一个含煤建造形成时期及其后继的同一旋迴中。从氮含量的变化特征来看,在准噶尔盆地第二含煤旋迴形成的时期(西山窑至头屯河世, J<sub>1</sub>~J<sub>2</sub>),在鄂尔多斯盆地并无煤系产生,只是在直罗组顶部形成了极富含淡水介形类化石的黑页岩与富含瓣鳃类的泥灰岩。自然,这也反映着水质的咸化从而迫使生物大量死亡。同时,侏罗纪前半期水质最淡,也是和介形类的研究资料符合的,在鄂尔多斯侏罗纪微咸水的种属绝灭了。据上述我们认为,至少早中侏罗世第一成煤旋迴形成的时期,很可能是中国西北区中生代区域性湖盆水质最淡的时候。

2. 由此不难确定,在两个盆地中,于早中侏罗世早期,气候温暖潮湿,雨量更为充沛,有大量的水流汇注于湖盆之中,导致水盆的淡化或强烈淡化。因此,在这一时期中,古湖水体自应逐渐加深,湖水逐渐广布,从而造成了湖盆水域面积的扩展。这点在准噶尔盆地中表现得最为明显,是为湖盆的全盛时期之一。由剖面上的岩性变化特征来看(图1),上部(三工河层)砂层稀少,泥岩较多,且有泥灰岩出现,均可引以为证。在鄂尔多斯盆地虽不及准噶尔盆地那样明显,但湖水向外淹覆、沉积超覆的现象也是存在的。

3. 如将下含煤地层(八道湾组)与上含煤地层(西山窑组)比较,尽管它们都是温暖潮湿气候下的含煤建造,但是其含盐量及变化是有差别的。实质上,上含煤(西山窑期)处于咸化前夕,反映水质的含盐量较高,甚至偶尔还进入了咸水的范畴;而下含煤(八道湾期,亦可包括延安世 J<sub>1y</sub>)却是处于古湖淡化的极限时期,水的盐度很低。

4. 在准噶尔盆地上三迭统中,从整个曲线的总的变化趋势来看,反映着含盐量高于早中侏罗世早期,但前者的盐度,也是非常淡的,甚至氮的含量可低至 0.006%,含盐量系数可低至 0.4。这种水质的特征,说明晚三迭世也同样达到了湖盆的全盛时代,水体最深、最广。这从岩性上也可以得到证明:上三迭统上部,除顶部以外,同样是砂岩稀少,泥岩大量出现,并有泥灰岩形成。

在鄂尔多斯盆地,由于具体的地质构造条件(地台型)等所决定,晚三迭世的湖盆面积较之早中三迭世更为缩小,不过当时水体有所加深,这一点从岩性上是可以证明的。

5. 鄂尔多斯盆地上三迭统岩石中氮含量的变化说明, T<sub>3y</sub><sup>2</sup> 上部油页岩的形成与水体一定程度

的咸化有关。可能是由于开始咸化而迫使水体中适应固定盐度的生物大量死亡、堆积,以及在盐度增加时有机质保存条件变好的结果。

从上面五个问题的讨论中,可以看出在陆相地层的泥岩中,氮含量等指标,相当灵敏而确切地反映了古湖水水质盐度的变异。这点也间接地暗示着 И. Ф. 洛西茨卡娅所认为的,即在盐度不高(<4%)的情况下,泥岩中氮含量与总孔隙度之间“没有关系”的说法是正确的<sup>[3]</sup>。在准噶尔和鄂尔多斯盆地, Cl<sup>-</sup> 的含量、Cl<sup>-</sup>/Br<sup>-</sup> 系数(和含盐量系数)所反映的古湖水体盐度演化的规律,是与地质上的情况一致的。这种测定古湖水体含盐量的地球化学方法,确定了沉积时的盐度范围及其相对的差异和演变。这点将为剖面中元素地球化学的研究打下可靠的基础。

#### 四、古湖泊在中生代的演化与陆相生油

1. 在石油成因的研究中,生油岩系的地球化学相的确定具有重大意义。但对陆相而言,在确定之前首先必须摸清古水体的盐度及其演变,才有可能正确运用各项地球化学指标,使之在一定程度上消除水质差异对指标的影响。

众所周知,元素的集散与水盆的盐度是有密切关系的。如不考虑这一点,就不可能正确地运用地层中某些有关元素地球化学的资料。譬如, Л. А. 古利雅耶娃<sup>[1]</sup>在划分地球化学相时提出了海相地层中衡量氧化还原环境的变价硫(硫化物硫)的指标。但这项指标,由于陆相地层中的沉积水质可以有各种不同的盐度而且不稳定,致使原始沉积物中被埋藏下来的硫的含量,就自然会有颇大的差异(淡水沉积中的原生沉积硫的含量很低)。因此,作者在提出上述指标时也强调了她的划分仅适用于海相。就准噶尔淡水古湖盆而言,这点表现得最清楚。正如图1所示,在泥岩中硫(S<sup>m</sup>%)的含量也表现了和 Cl<sup>-</sup> 含量等基本一致的演化规律,在两个一般公认的有利于生油的层段(淡水期),却出现了最低的数字。这在一定程度上反映了水质的影响。

综上所述,我们认为对淡水沉积硫的指标不能简单应用,必须经过校正(同时由于含量低测定精度也会较差)。在陆相地层中铁的指标在相带的划分上应较为可靠,而在应用时最好也考虑到水体盐度的某种影响。

表4 准噶尔盆地古气候与生油层划分对比表

| 作 者 的 划 分   |                                    |                              |                          | 石油管理局地化组<br>北京地质学院 |                                    |                     |       | 的划分<br>(1960) |
|-------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------------|---------------------|-------|---------------|
| 时 代         |                                    | 古 气 候                        | 生 油 建 造                  | 时 代                |                                    | 古 气 候               | 生 油 层 |               |
| 纪           | 代号                                 |                              |                          | 纪                  | 代号                                 |                     |       |               |
| 白<br>垩<br>纪 | K <sub>2</sub>                     | 干燥气候                         | 非生油建造                    | 白<br>垩<br>纪        | K <sub>2</sub>                     | 干燥气候                | 非     |               |
|             | K <sub>1</sub>                     | 半干燥气候                        | 非生油建造<br>(下部或局部可能生成少量石油) |                    | K <sub>1</sub>                     | 半干燥气候               | 生     |               |
| 侏<br>罗<br>纪 | J <sub>2-3</sub>                   |                              |                          |                    |                                    | J <sub>2-3</sub>    | 干燥气候  | 油             |
|             | J <sub>1+2</sub>                   | 潮<br><br>湿<br><br>气<br><br>候 | 边缘：含煤建造<br>中部：生油建造       | 侏<br>罗<br>纪        | J <sub>2</sub>                     | 潮                   | 可能生油层 |               |
|             | J <sub>1+2</sub>                   |                              | 生油建造<br>(重要)             |                    | J <sub>1</sub>                     | 湿<br><br>气<br><br>候 | 主要生油层 |               |
|             | J <sub>1+2</sub>                   |                              | 边缘：含煤建造<br>中部：生油建造       |                    | J <sub>1</sub>                     |                     | 可能生油层 |               |
| 三迭—二迭纪      | T <sub>3</sub>                     |                              | 生油建造<br>(重要)             |                    | T <sub>3</sub>                     | 半潮湿气候               | 主要生油层 |               |
|             | T <sub>1+2</sub><br>P <sub>2</sub> | 半潮湿气候                        | 生油建造                     |                    | T <sub>1+2</sub><br>P <sub>2</sub> | 干燥气候                | 主要生油层 |               |

2. 从准噶尔盆地  $Cl^-$  等三项指标结合地层岩性(图1)来看,在乌尔禾时期准噶尔古湖地区的气候并不是很干燥的。在地层中有相当数量的绿色泥岩,  $Cl^-$  的含量不算很高,最高也只有 0.042%, 虽不是淡水( $<0.02\%$ ),但咸化并不很强,当时的气候以半潮湿的可能性最大。随着向晚三迭世过渡,各项指标均逐渐降低,在晚三迭世已显示出应属潮湿气候下的淡水湖泊了,堆积了淡水湖相沉积,并逐渐达到了湖盆的第一个全盛时代(见前面几个问题的探讨)。从曲线递减特征来看,晚三迭世的潮湿气候并不是十分突然出现的,在乌尔禾时期的晚期已经显示出气候相对地较为潮湿了。湖盆的进一步发展,至侏罗纪初,由于印支运动的影响,暂时导致了湖盆的缩小。侏罗系下部地层中(上至三工河组)的各项指标,均说明了侏罗纪前期湖盆水质更淡,雨量更为充沛,自然,湖水可能更深,同样有与水质相应的淡水沉积。可能由于大量碎屑物质向盆地堆积,使前期湖滨碎屑岩

相带进一步扩展,而后期出现了湖盆第二个全盛时代。由曲线的变化特征来看,侏罗纪潮湿气候应为晚三迭世的延续。侏罗纪后期,各项指标均开始回升,而结束了湖盆的全盛时代。西山窑期湖水仍为淡水,有含煤建造的形成,仍处于潮湿气候之中,但水质已变成了一些。当湖泊演化到侏罗纪最后的齐古世。从图1的曲线中可以看出,湖盆水体的盐度骤然上升,地层中氯含量可达 0.066%,这说明湖盆已经发展到微咸水阶段了。看来当时的气候应划分在半干燥为宜。白垩纪时,由于我们未能取得相应地层中衡量盐度的三项指标,故很难确定。不过,从地层剖面中的岩性特征与钙、镁、钠这三种元素含量的变化来看,白垩纪早期的古气候,应仍属半干燥,而晚期可划为干燥类型。可以设想,湖盆水质的盐度是继承了侏罗纪后期的发展趋势,且进一步渐趋浓缩了。

总的说来,中生代准噶尔湖盆演化的基本规律是: 随着半潮湿气候( $P_2-T_{1+2}$ )向潮湿气

候的逐渐转化,湖盆在晚三迭世至早中侏罗世( $J_1^{2+3}$ )经历了长期的潮湿气候时期,而至中晚侏罗世( $J_2-3$ )转为半干燥气候,至晚白垩世则处于干燥气候。与之相应的,在湖泊的盐度与沉积上,这一演化过程是从微咸水介质开始的,在晚三迭世至早中侏罗世经历了长期的淡水湖泊的发展阶段,并且分别在克拉玛依世(特别是下黄灰色期)与三工河期,曾两度达到了湖盆演化中的全盛时代。其后在中、晚侏罗世至白垩纪晚期,湖盆已进入半咸水的境界了,并且日趋咸化。

1960年,新疆石油管理局科学研究所和北京地质学院60年新疆研究队,曾从准噶尔中生界中划分出几种气候类型的生油层(见表4)<sup>1)</sup>。并认为,在准噶尔盆地“过渡性半潮湿、半干燥气候最有利于生油”;中生代的主要生油层之一——上三迭统,是半潮湿气候下的产物。但是,根据笔者所阐明的水盆的盐度状况及其所反映的古气候条件(表4)来看,整个晚三迭世至早、中侏罗世都应属潮湿气候下的淡水湖相与沼泽相的沉积。它们随着水盆的加深,湖面的扩展,显示出从粗到细,从含煤建造到生油建造的旋迴(盆地中部可能都是生油建造)。因此,我们关于潮湿气候下的淡水湖泊最有利于生油的观点,又通过准噶尔古湖盆水体盐度的地球化学的初步研究,从准噶尔古湖盆含盐量所反映的古气候演化中,再次得到了证明。可以说,在准噶尔盆地最有利于生油的建造,是产生于湖泊的全盛时代这一特定的淡水时期。

3. 在鄂尔多斯这种古水体含盐量始终并不很高的湖泊中,从水体含盐量演化的旋迴里可以看出,某种程度的水体咸化也利于生油岩系与油页岩的形成。

这里,晚三迭世  $T_3y^2$ —— $T_3y^4$  这套良好的生油岩系就是微咸水条件下的产物。从而给我们从青海湖第四纪生油研究中所得出的结论,提供了

一个古湖的例证<sup>[3]</sup>。同时,对我们提出的“内陆潮湿拗陷”生油理论也是一个补充和发展。

\* \* \*

从本文中所阐明的一些情况来看,我们深感古湖水体盐度测定的地球化学方法在陆相石油成因研究中的重大意义,值得引起国内地质学者的注意。看来,它对湖泊岩相古地理、湖泊成矿阶段的演化,也有着相当重要的意义,甚至还可以作为陆相地层对比的可靠方法之一。

### 参 考 文 献

- [1] 古利雅耶娃 Л. А. 1956 沉积岩的地球化学相、氧化还原环境及其中的有机物。矿产专论,第5辑(石油地质),地质出版社。
- [2] 鍾小春 1964 鄂尔多斯盆地上三迭统及中侏罗统的介形类化石。古生物学报,第12卷3期。
- [3] 黄第藩、陈克造等 1964 青海湖第四纪沉积物中沥青的形成与陆相石油成因问题。地质学报,第44卷2期。
- [4] Athy L. E. 1930 Density, porosity and compaction of sedimentary rocks. Bull. A.A.P.G. Vol. 14, No. 1.
- [5] Лосицкая И. Ф. 1960 К вопросу об определении соленности бассейнов осадкообразования по содержанию в осадках хлора. Геолого-геохимические исследования нефтегазоносных областей СССР, Изд. АН СССР.
- [6] Страхов Н. М. 1957 Об определении соленности древних водоемов геохимическими методами. Методы изучения осадочных пород, Госгеохиздат.
- [7] Юркевич И. А. 1960 К фациально-геохимической характеристике мезо-кайнозойских отложений южной части Приморского края. Геолого-геохимические исследования нефтегазоносных областей СССР, Изд. АН СССР.

1) 1960年新疆石油管理局科学研究所与北京地质学院新疆科研队合著的“准噶尔盆地陆相沉积生油问题的探讨”。

## SOME PRELIMINARY DATA OF THE SALT CONTENT OF THE PALEO-LAKES IN THE DZUNGAR AND ORDOS AREAS

SHAO HUNG-SHUEN HUANG TI-FAN

### (Abstract)

Among the geochemical methods available for the determination of salt content of paleo water basins, the chlorine-content method, the chloro-bromine coefficient method, and the salt-content coefficient method are considered to be most effective.

It is illustrated in the present note that the boundary between fresh-water and brackish water sediments is marked when the chlorine content of mudstone 0.02% and the chlorobromo coefficient 20 (the salt content coefficient being around 1.5); and the boundary between brackish and semi-saline sedimentation is recognized when they reach respectively to 0.12—0.15% and 80.

On the basis of the criteria mentioned above it is concluded that the paleo lacustrine basins, during the period from late Permian to middle and early Triassic age, had been filled with fresh water at the earlier stage, with brackish water during the intervening and later stage. It had been of fresh water during the period from late Triassic to middle and early Jurassic, and of a more salty brackish water during the late Jurassic age. They formed together two salinization cycles, showing a very good argument with the evolution of our paleo climate at that time. The evolution of salt content in the paleo lakes of Ordos is quite different from that just mentioned: they were of fresh water during the Permian and middle early Triassic age, but during the early period of Permian the water was relatively salty, and became somewhat fresh thereafter. A brackish water territory was eventually formed in the process of gradual salinization, and the water was fresh again later during the Jurassic age. They formed together two fresh cycles. The difference in the evolution of water property of these two lake-basins is considered to be the logical consequence of their respective actual geological environments and the confinement of the lake-basins.