

http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx

水化学找油的应用及其表示方法

张 金 来

一、表示方法简介

在水化学找油研究中,我们采用了水化学直角坐标曲线的方法。

完整的水化学直角坐标曲线包括三个部分(图 1)。

第一部分水文地质剖面(下部),是根据进行水化学工作时收集的水文地质资料结合有关的其它地质资料绘制而成。在该剖面上应标出水源类型(如泉、井、钻孔等)。

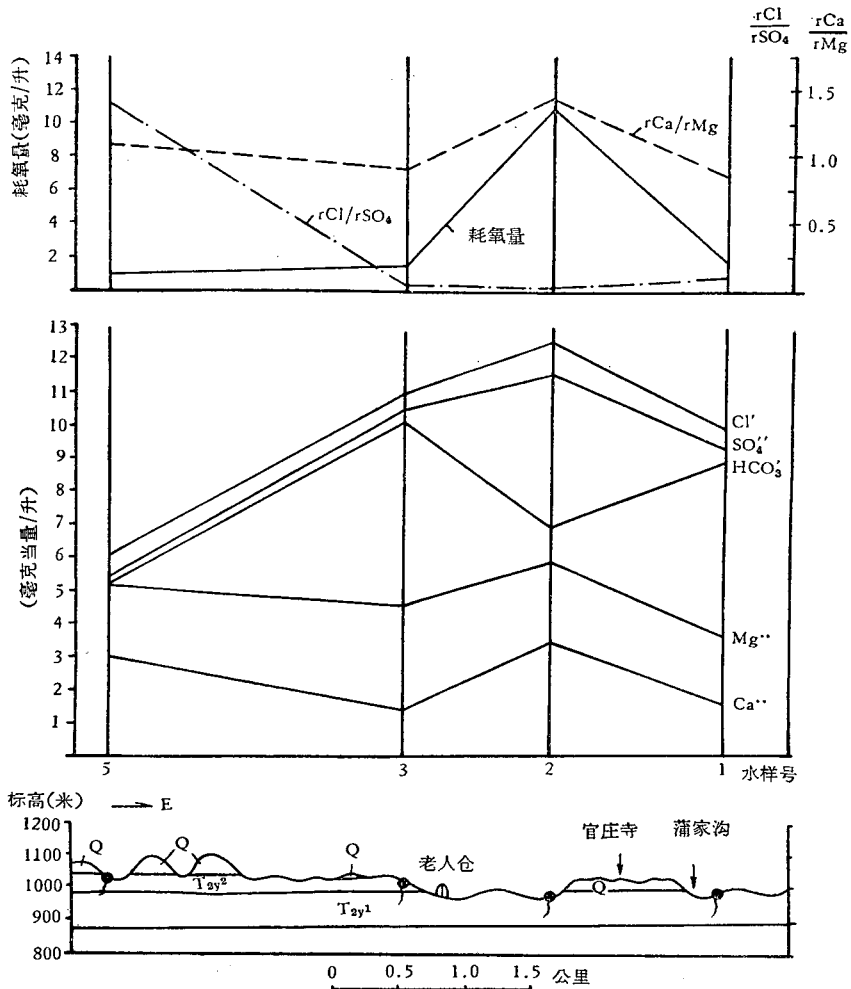


图 1 西北老人仓水化学直角坐标曲线

第二部分(中部)是采用 A. A. Бродский 的直角座标图解^[5]。与油气有关的水(尤其是深部水),各离子含量相差悬殊,如 Cl' 含量很高,而 HCO_3' 、 SO_4'' 、 Mg'' 等含量都很低。因此,纵座标比例尺不能过小,否则这些低含量的离子便表示不出来;但是,如果比例尺过大,则图面过于宽阔,内容不对称,所以比例尺应该适当。如果纵比例尺容纳不下 Cl' 含量,可采用特殊的表示方法(图 2)。

上述曲线可以表明主要离子的含量变化及阴阳离子间的比例关系,即可以表明水的成因类型。如果 Mg'' 曲线位于 HCO_3' 和 SO_4'' 之间,则属 Na_2SO_4 型水; Mg'' 曲线位于 HCO_3' 曲线之下,属 NaHCO_3 型水; SO_4'' 曲线位于 Ca'' 和 Mg'' 之间,属 MgCl_2 型水; SO_4'' 曲线位于 Ca'' 之下,属 CaCl_2 型水。

Cl' 曲线所占空间表示阴阳离子毫克当量总数之半的变化,即地下水矿化度的变化,所以该曲线能够表示出地下水矿化度形成过程中所固有的一切变化特征。如图 1 所示,对矿化度形成过程中起主要作用的是 HCO_3' 和 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 其次是 SO_4'' 和 Mg'' , Ca'' , 表示出成因类型中的组和亚组。 Na^+ 空间大于 Cl' 曲线空间,反映岩石与水之间可能有阳离子交换作用发生。图 1 所示是岩石中的 Na^+ 转入到水中,这是溶滤水的特征。

第三部分(上部),单独表示 $r\text{Cl}/r\text{SO}_4$ 、 $r\text{Ca}/r\text{Mg}$ 、 $r\text{SO}_4/r\text{HCO}_3 + r\text{CO}_3$ 、 $\frac{r\text{Cl} - r\text{Na}}{r\text{Mg}}$ 耗氧量、I、Br 等具有勘查意义的系数和微量组分,这样不仅可以看出这些指标的变化规律,而且还可以看出它们之间的吻合程度。借某些指标的吻合程度,有利于判断同油气有关的水化学异常。

图 1 所示为该区的背景值,看不出异常的规律。

上述三部分结合起来,就可以看出水化学特征的形成同油气、构造及水文地质等条件的关系。

二、水化学普查石油

在水化学普查石油研究中,最主要的工作是确定与油气有关的水化学异常(以下简称异常)。但从复杂的水化学中判断异常需要注意: 1. 在气候、地形等自然因素和岩性等地质条件的影响下,往往形成许多与异常相似的特征,因而造成许多假象; 2. 在前述因素的影响下,异常的特征也可能逐渐减弱或消失,使鉴别异常发生困难; 3. 由于研究时采用的方法不当,使一些异常不能突出地显示出来。

透过气候、地形及岩性等因素准确地鉴别异常较有效的方法¹⁾是: 1. 根据当地的气候、地形及岩性等条件,比较准确地确定出研究区的背景值(即一般值),在此基础上,通过衬托的方法,消除这些因素的影响而确定异常; 2. 在自然地理、地质、构造等条件大致相同的情况下,以已知区的异常特征做标准,与研究区进行比较的方法确定异常; 3. 结合研究区的构造条件和油气显示等特征确定异常; 4. 在同一剖面上,同时研究几个含水岩系的水化学特征,视其吻合程度而确定异常。

1) 笔者 1963 对水化学找油中确定异常方法的讨论。石油地质参考资料,第二辑。

上述方法总的说明,确定异常不仅要研究水化学成分的全部特征,而且要结合所有同水化学有关的地质、构造等资料。

研究表明,异常的成因类型主要为 CaCl_2 型,其次为 NaHCO_3 型或 MgCl_2 型 (MgCl_2 型异常的性质近似 CaCl_2 型异常,本文不讨论)。

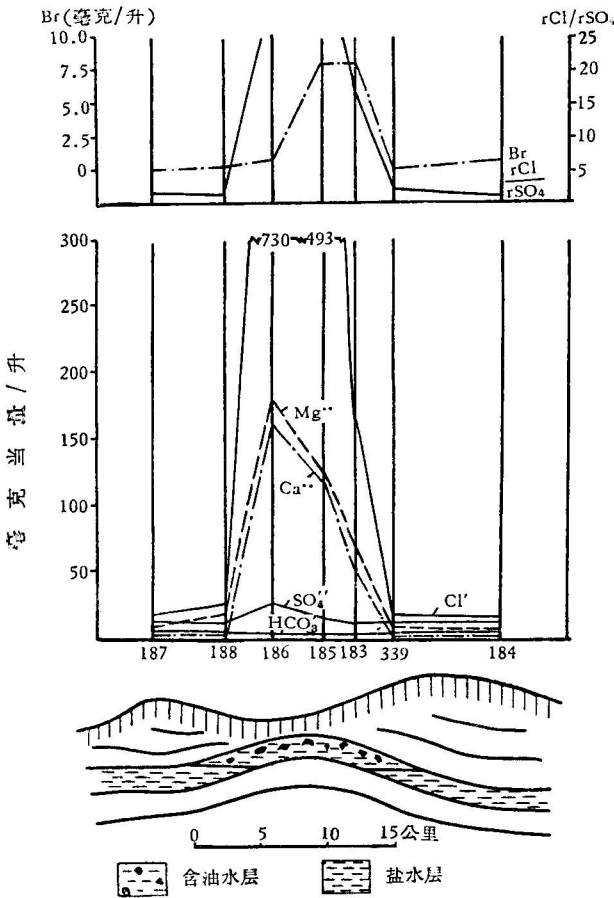


图2 我国西北某水化学异常的直角坐标曲线

甚至导致 CaCl_2 型水的形成¹⁾; 分析 183, 185, 186 点的水化学特征得知,决定其矿化度的主要是 Cl' , 其次是 Na^+ 和 Ca^{++} , 属 Cl' 组 Na^+ 亚组, 说明水化学成分是向浓缩方向发展。这与前述背景值的发展方向恰恰相反。在这样小的区域内, 出现差异如此悬殊的水化学成分, 地表成因是不可能的。

尽管如此, 还不能轻易地肯定为一个异常, 还应进一步深入地进行分析。

183, 185, 186 点的 Ca^{++} 曲线显著地升高, 而背景值中的 Ca^{++} 曲线则很低。一般说来, 若水中没有溶解石膏成分 (CaSO_4), 那么 Ca^{++} 含量相对增高的原因是这样的: 一方面因高压作用岩石中的 Ca^{++} 被挤入地下水中; 另一方面在高度浓缩的水中, 由于 NaCl 的富集, 水中的 Na^+ 可与岩石中的 Ca^{++} 进行交换作用, Ca^{++} 转入水中。由于 Ca^{++} 比 Na^+ 的吸

图2为 CaCl_2 型异常。

首先分析 184, 339, 187 点的水化学特征。它们都属 Na_2SO_4 型水 (即 Mg^{++} 曲线位于 SO_4' 和 HCO_3' 曲线之间), 矿化度不高, 分别为 24.05、29.67、32.47 毫克当量/升, 决定其矿化度的主要是 SO_4' 和 Na^+ , 属 SO_4' 组和 Na^+ 亚组。 Na^+ 空间大于 Cl' 空间, 反映了 Na^+ 从岩石内转移到水中, 这一解释可用 Ca^{++} 含量很低的事实加以验证。这些特征总的说明, 水化学成分是向淡化方向发展, 似溶滤水的特征, 是研究区背景值的代表。

在上述背景值的衬托下, 183, 185, 186, 188 点具有异常的性质。前三者为 CaCl_2 型水 (即 SO_4' 曲线位于 Ca^{++} 曲线之下) 后者为 MgCl_2 型水, 矿化度很高, 如 185, 186 点分别为 987.39, 1460.17 毫克当量/升。矿化度很高不是确定异常的唯一指标, 因为在干燥气候和闭流地形条件下, 浓缩作用可以使矿化度很高

1) 据中国科学院兰州地质研究所 1960 年资料。

附力大,这种作用在地表或近地表处只能是水中的 Ca^{++} 交换岩石中的 Na^+ 。

研究区岩石中不含石膏,因此 Ca^{++} 含量的增高应看作是受深部水影响的指标。

具有勘查意义的 $r\text{Cl}/r\text{SO}_4$ 比值在异常中突出地增高,反映了脱硫作用的存在。这也是受深部水影响的指标。

同样,象 Br 这种油田水所特有的组分在异常中含量的增高,也不是偶然的现象。

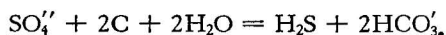
通过上述全部特征的分析,又与研究区标准油田水进行了对比,两者具有相似的特征(表 1)。

再结合水文地质剖面进行分析,其下有一幅度不大的构造,构造中有含油的盐水存在。这是异常形成的基础。后经钻探证实,异常的化学成分与下部含油盐水的化学特征确实相同。

经过上述分析,确定了异常。该异常特征成为研究区确定其它异常时的比拟标准。

由于 NaHCO_3 型异常周围的背景值往往也属 NaHCO_3 型,因此确定 NaHCO_3 型异常比确定 CaCl_2 型异常还困难。如图 3 所示,背景值(313, 103 点)和异常值(310, 323, 335 点)几乎没有多大区别,主要离子的比值关系大多相似,甚至背景值的矿化度比异常值还高。这是由于溶滤的地表盐分较多所致。在这种情况下,对确定异常有意义的指标是 $r\text{Cl}/r\text{SO}_4$ 、 $r\text{Ca}/r\text{Mg}$ 、耗氧量及环烷酸等,同时还要结合油气苗显示特征。

$r\text{Cl}/r\text{SO}_4$ 表示脱硫作用。异常中的脱硫作用是这样产生的:油气藏中的物质(碳氢化合物)以渗滤或扩散的形式向地表转移,当它通过潜水层时,便发生生物化学作用:



结果 SO_4^{--} 被 CH_4 还原而减少或消失。参加反应的脱硫细菌是随油藏物质从油藏中运移出来的。

$r\text{Cl}/r\text{SO}_4$ 比值虽然是确定 NaHCO_3 型异常的良好指标,但影响该比值的因素很多。在沼泽和各种水池底部有与大气隔绝的软泥层,如果这种软泥层的有机质发生无氧分解,便产生与油气无关的地表脱硫作用,这种现象在低洼的草原区可见到。在岩石富含石膏的地区,大量的硫酸盐进入水中,该比值会一直很低。由于人类活动和其它因素的影响所造成的地表污染,也会引起 Cl^- 含量的增高。在应用 $r\text{Cl}/r\text{SO}_4$ 比值时,消除这些因素影响的有效办法就是与 $r\text{Ca}/r\text{Mg}$ 比值相结合。

如前所述, Ca^{++} 含量增加可能与深部水有关; $r\text{Ca}/r\text{Mg}$ 有成因意义^[3],可以查明水的矿化形成过程^[5]。所以, $r\text{Cl}/r\text{SO}_4$ 与 $r\text{Ca}/r\text{Mg}$ 结合应用有助于判断引起脱硫作用的原因。在 $r\text{Ca}/r\text{Mg}$ 比值有所增高的情况下, SO_4^{--} 的消失(310, 335 点)可认为是与油有关的

表 1

项 目		油田水	异常水
主 要 离 子 (毫克当量/升)	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	1103.19	368.29
	Mg^{++}	45.42	10.00
	Ca^{++}	68.60	115.80
	Cl^-	1208.67	478.00
	SO_4^{--}	33.17	14.42
	CO_3^{--}	0.00	0.00
微 量 组 分 (毫克/升)	HCO_3^-	51.35	1.68
	矿化度	2484.72	937.35
	I	0.066	1.230
	Br	3.55	8.00
	H_2S	63.19	0.48
$r\text{Cl}/r\text{SO}_4$	环烷酸	0.00	0.00
	耗氧量	65.98	50.52
$r\text{Cl}/r\text{SO}_4$		36.13	33.16

脱硫作用进行得彻底的表现。除此而外，以下理由也可证明：1. 附近有油苗存在；2. 该区地形割切比较强烈，水的溶滤作用很强，发生地表脱硫作用的可能性很小。关于 323 点脱硫作用未进行彻底的原因尚不十分清楚，可能与沟谷两岸第四系中有芒硝 (Na_2SO_4) 存在有关。

应用 $r\text{Ca}/r\text{Mg}$ 时要注意背景值和异常值是否在同一季节取样和取样的季节。因为在地表水中该比值由春季向冬季减小^[3]。

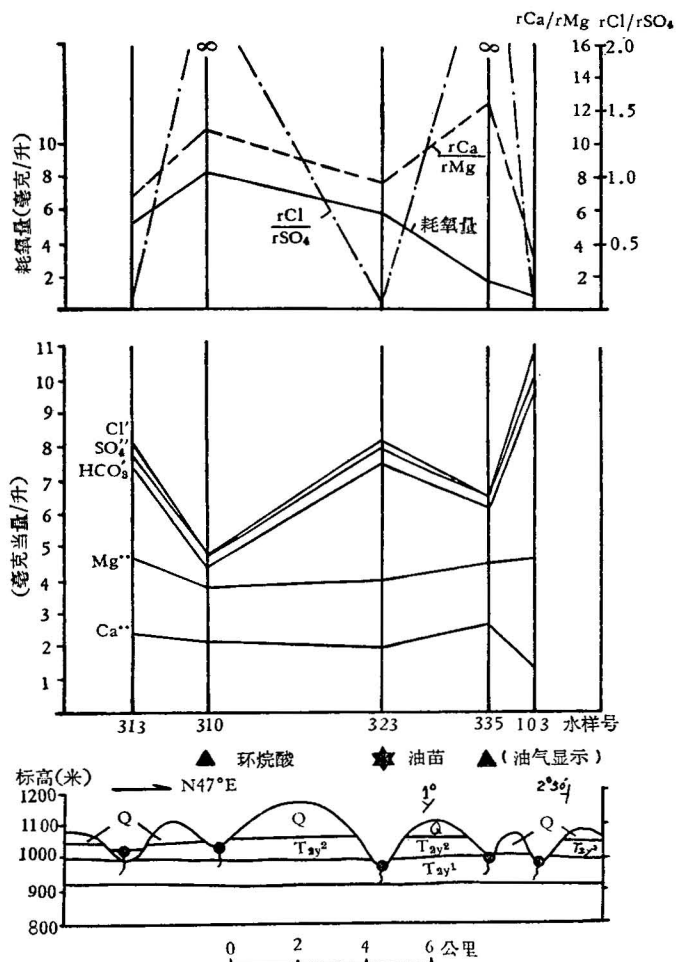


图 3 陕北某水化异常的直角座标曲线

在图 3 异常中耗氧量也有不大明显的增高。耗氧量的大小反映水中所含有机质的多少。石油是有机化合物组成的，与油有关的水必然溶解一定数量的有机质。环烷酸也是由石油直接渗入水中的。所以通常把有机质和环烷酸在水中的存在看作是地壳含油的直接指标。由于目前测定过程中有时把地表成因的腐植酸误测为环烷酸或与油有关的有机质，便降低了这两种指标的勘查意义。

环烷酸之所以在确定 NaHCO_3 型异常中的意义较大，是由于它易溶于 NaHCO_3 型水中而难溶于 CaCl_2 型水中^[4]。在应用它时与油气显示情况结合，有助于鉴别它的真实性。

三、水化学勘探石油

有工业价值的油藏通常都存在于封闭条件良好的构造中。在这种还原的水文地质环境中,油藏与地表隔离良好,防止了油藏受到地表氧化。反之,与地表联系较好、封闭较差的构造中,通常没有发展远景,由于它长期受到地表因素的影响,油藏中的石油往往比较重、粘度大、胶质多^[2]。

一般来说,矿化度和水型是水文地质封闭环境好坏的主要指标。高矿化度 CaCl_2 型水是水文地质封闭环境良好的指标,这种环境最有利于油藏的保存;中矿化度的 NaHCO_3 型水是水文地质封闭环境较差的指标,这种环境一般还能够保存油藏;低矿化度的 Na_2SO_4 型水,反映水文地质封闭环境很差,通常不利于油藏的保存。

水型不仅是水文地质封闭环境的良好指标,通常还与石油的性质有一定的关系。根据我们了解的资料,与 NaHCO_3 型水伴存的石油的比重和粘度往往都较大,胶质、沥青质和碳质的含量都较高;而与 CaCl_2 型水伴存的石油则比重和粘度较小,胶质、沥青质和碳质含量较低(表 2)。

表 2

水 型	原 油 性 质								
	比 重 D_4^{20}	粘 度 E50°C	馏 分		含 蜡 量	原 油 组 分		灰分微量元素(%)	
			油 气 (%)	煤 油 (%)		油 质	沥 青 质	Ni	Mn
Na_2SO_4 型水	油砂似黑砂糖,油质重,粘度大								
Na_2SO_4 型水	同 上								
NaHCO_3 型水	0.9096	47.8							
NaHCO_3 型水	0.913~0.916	55.2~67.4	5	15		83.64	3.21	0.005	0.05
CaCl_2 型水	0.84~0.87	56~5.7			18.9			0.07~0.1	0.07~0.1
CaCl_2 型水	0.857	7~8	18.5	30	13	90.31		0.1	0.07

因此,根据水化学成分的变化情况可以预测油藏封闭环境的好坏,对勘探石油具有指导性的意义。

例如:鄂尔多斯盆地上三迭统的水化学成分变化情况如图 4 所示。在该盆地的垂直剖面上,上三迭统是矿化度为 383~1795 毫克当量/升的 CaCl_2 型水(即 SO_4^{2-} 曲线位于 Ca^{2+} 曲线之下), Cl^- 和 Na^+ 占主要空间,属 Cl^- 组 Na^+ 亚组,是剖面上水文地质封闭环境最好的层系,应属主要勘探目的层。

侏罗系在盆地边缘及其上部,主要为矿化度 217~566 毫克当量/升的 NaHCO_3 型水(图 5)(即 Mg^{2+} 曲线位于 HCO_3^- 曲线之下), Cl^- , SO_4^{2-} 和 Na^+ 占主要空间,属 Cl^- 组或 SO_4^{2-} 组 Na^+ 亚组。反映其水文地质封闭环境虽然不如上三迭系,但仍有聚集油藏的可能,在勘探时亦应予以重视。

下白垩统(K_1)在盆地为低矿化度的 Na_2SO_4 型或 NaHCO_3 型水,属封闭环境低劣的层

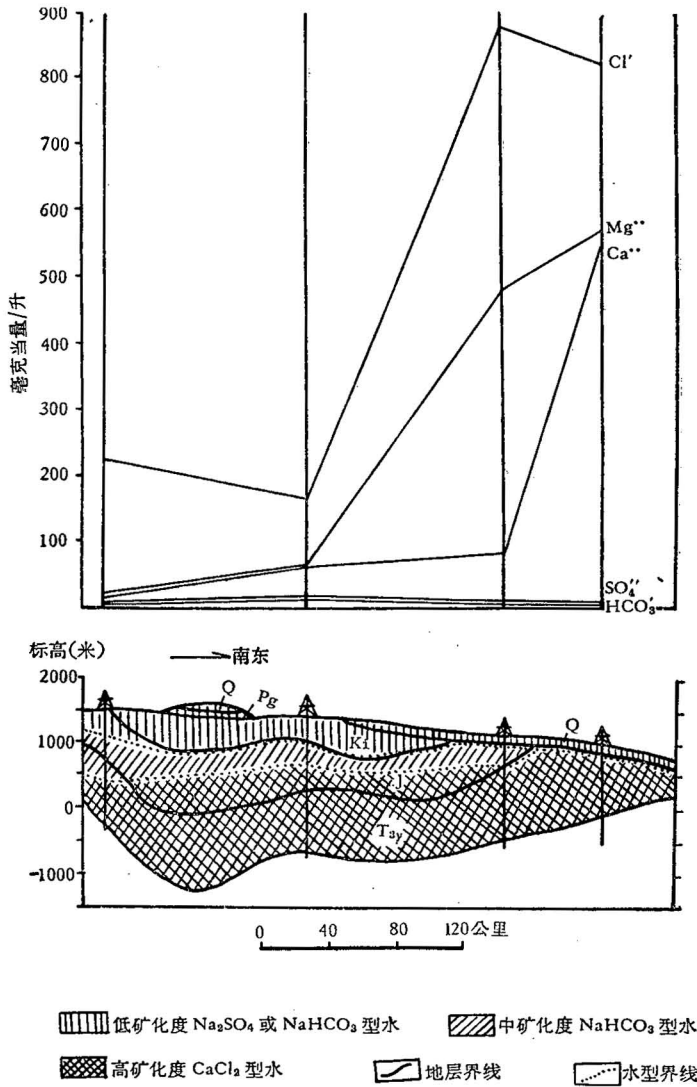


图 4 鄂尔多斯盆地上三迭统水化学直角座标曲线

系,不宜作为勘探目的层。

再如,在鄂尔多斯盆地某区对二迭系进行勘探时,起初探井布在断层上盘(图 6),揭穿二迭系的水均为低矿化度的 NaHCO_3 型或 Na_2SO_4 型水,一直未见油流。后在断层下盘钻探,第一口井就揭示到矿化度为 360 毫克当量/升的 CaCl_2 型水,指出了进一步勘探的方向。这一实例,典型地说明了水化学在石油勘探研究中对指导生产的意义。

地下水在物理、化学上是一种十分活跃的液体,它与周围介质接触而发生变化;同时也使周围介质发生了变化^[1]。地下水及其周围介质的性质及变化的速度,不但和其本身的成分有关,而且与其所处的环境密切相关。所以通过对改变后的地下水化学成分的研究,可以推测周围介质中是否有石油存在。依据这一道理,我们以水化学预测含油边界为目的对几个已知含油区进行过研究,事实表明,随着接近含油边界某些水化学指标具有明

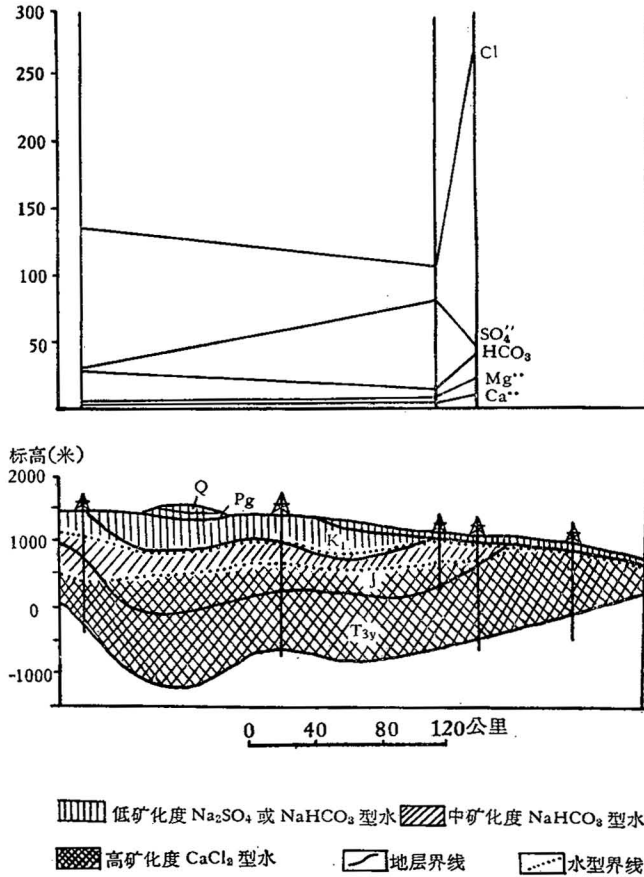


图 5 鄂尔多斯盆地侏罗系水化学直角坐标曲线

显的变化规律。

图 7 是根据某盆地含油区的主要水化学指标随着接近含油边界而变化的平均值编制的。其变化规律是：矿化度、 $(rCl - rNa)/rMg$ 和 rCl/rSO_4 均随接近含油边界而逐渐增加； $rSO_4/rHCO_3 + rCO_3$ 则随接近含油边界而减小(表 3)。

上述水化学指标的平均值随着接近含油边界而变化的总规律和总趋势虽然比较明显，但同一水化学指标的平均变化值，在不同的含油区各有所差异。经分析研究认为，这是由许多地质因素综合影响引起的，主要有：1. 水文地质封闭条件；2. 岩层的成分；3. 油储类型；4. 地下水的水平循环位置；5. 岩层的渗水性。此外，还有侵蚀深度、岩层裂隙发育程度、地质构造特点及地质构造发育史等。

表 3

水化学指标 \ 平均值	不含油地带	油水过渡地带	含油地带
矿化度(克/升)	<30	35	>40
$\frac{rCl - rNa}{rMg}$	< 2.5	5	8
$\frac{rCl}{rSO_4}$	<20	20~250	250~∞
$\frac{rSO_4}{rHCO_3 + rCO_3}$	> 4	> 3	0.6

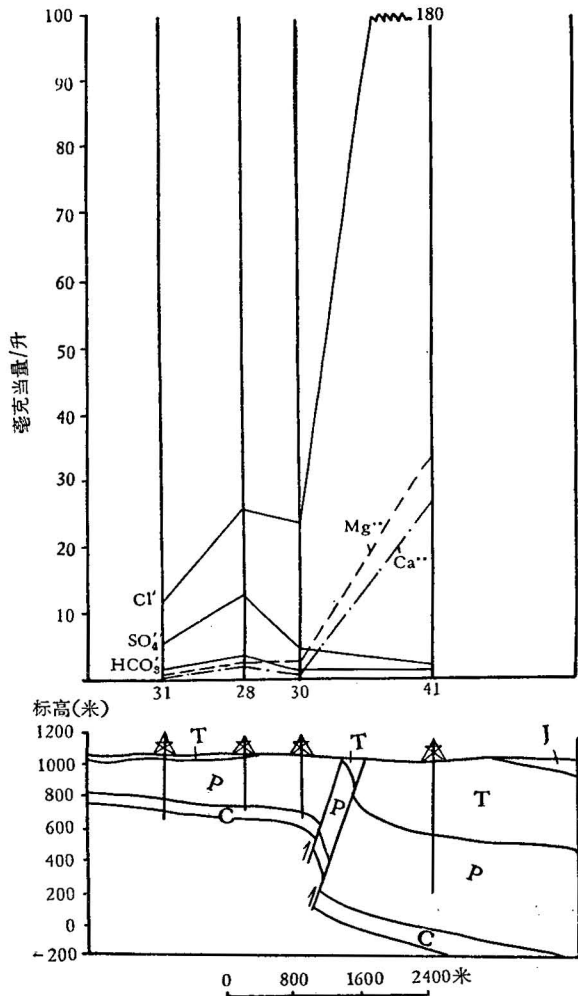


图 6 鄂尔多斯盆地某区二迭系水化学直角座标曲线

由于影响这些指标变化的因素复杂,加之这种研究仅仅是一种尝试,因此尚未真正掌握其变化规律,使预测含油边界的应用价值受到限制。这只能供继续研究时参考。

四、结 束 语

1. 在水化学找油中,采用 A. A. Бродский 的直角座标曲线比较适宜,它不仅表示出水化学成分的基本变化规律,还可以揭示出水文地质环境,便于查明含油气情况。
 2. 在水化学找油中,必须综合利用多种水化学找油指标,结合与水化学有关的地质、构造等资料,对不同条件下的水化学异常进行详细评价。
 3. 在水化学勘探石油中,主要用于预测找油目的层和含油的有利地带,至于预测含油边界,目前还极不成熟,有待今后继续研究。
- 以上讨论,由于笔者水平和经验所限,错误难免,敬请读者指教。

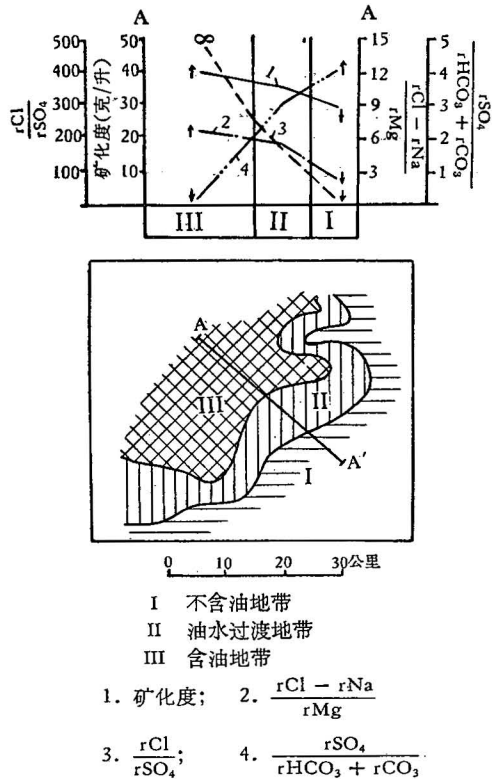


图 7 某区水化学指标随含油边界变化曲线

参 考 文 献

[1] 古列维奇 M. C. 1963 地下水综合石油普查研究的原则,《石油普查水文地质问题》,第 152 页。中国工业出版社。
 [2] 北京石油学院石油地质教研室 1961 油田水文地质学,第 161—163 页。中国工业出版社。
 [3] 杜罗夫 C. A. 1957 天然水的成因问题。水文地质专辑,第 1 辑,第 71 页。地质出版社。
 [4] 苏 林 B. A. 1956 天然水系中的油田水,第 81 页。石油工业出版社。
 [5] 閻锡屿 1958 介绍整理水文化学剖面的一种方法。水文地质工程地质,第 4 期,第 28 页。