

油气田的水文地球化学标志及其应用*

杨忠辉 周景田 李淑琴

(吉林油田管理局研究院)

提 要

本文利用松辽盆地南部地区扶余油层¹⁾中有代表性的287个水样,采用判别分析,对数据进行处理,绘出了该区八元判别函数式及R等值线图。分析了苯和有机酸各50个水样,确定了含油层水与非含油层水的分界值。利用综合判别值(R)及有机组分含量,可预测有利的含油、气地区。

松辽盆地南部水文地质特征

属于新华夏系第二沉降带的松辽盆地,东侧为吉黑海西晚期褶皱系,西侧为兴蒙海西晚期褶皱系,南面是内蒙地轴的东延部分。在这些古老褶皱系衔接地带,形成了三个指向盆地南部的主要供水区,即保乾供水区、英台供水区和怀德供水区,构成了盆地南部的区域古水文系。

主要发育于白垩纪的松辽盆地是一个大型淡水—微咸水湖泊,青山口期早—中时和嫩江期早时(嫩1、2段)为湖水两次扩张期。青山口期晚时至姚家期晚时和嫩江期中时(嫩3段)以后为湖水两次收缩期¹⁾。这些过程的结果,不仅使沉积地层具有多旋回特征,而且导致了不同沉积期水体性质的差异。

盆地的水体在纵向上可划分三套含水组合²⁾,即上部、中部和下部组合。嫩一、二段和青一段是极好的区域隔水层。上部含水组合的区域隔水层差,故水的矿化度较低,在盆地南部一般为1—10克/升,有渗入成因水掺合;中部和下部含水组合,区域隔水层好,水的矿化度分别为8—47克/升和6—48克/升,保持着封闭环境的水体特征。

盆地的发展是以下降为总趋势,沉降中心与沉积中心基本吻合,水文地质条件处于稳定状态,主要为沉积水稳定区,只是在盆地边缘和东部隆起剥蚀区有渗入成因水掺合,故使沉积水淡化或变得活跃。

油田水的形成是古湖盆沉积水经历了由地表转到地下后,伴随着石油的生成、运移和聚集过程,以及与周围介质进行的物理、化学作用的结果。所以对油田水化学组分特征的研究,不仅具有理论意义,而且对于研究石油的生成和聚集规律,指导油气勘探有实际意义。

* 本文曾于1981年12月在中国油田水地球化学学术讨论会上宣读。

1) 张 惠、贾立文等, 1979, 对松辽盆地南部早白垩世中—晚期湖盆沉积的几点认识。

2) 胡见义, 1962, 松辽盆地地质地球化学的若干问题。

扶余油层地下水化学组分分布特征

(一) 无机组分

扶余油层是盆地南部最主要的储层, 分布广, 从拗陷区到隆起区均有油气聚集或显示。该油层地下水属前述的下部含水组合。由于形成条件和封闭条件的差异¹⁾, 不同地区的水化学组分亦不同(图1、表1)。

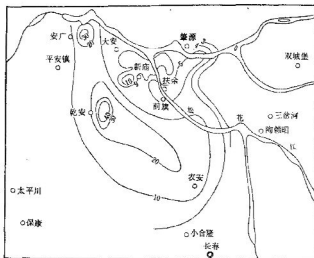


图1 松辽盆地南部扶余油层矿化度等值线图(克/升)

矿化度不同, 水中离子优势也不同。在较低和中等矿化度水中主要是 Cl^- 和 Na^+ , 二者与矿化度呈正相关。在新木、农安地区, Na^+ 与总矿化度的简单相关系数为 0.6, 偏相关系数为 0.92。其离子组合为: 阳离子 $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, 阴离子 $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ 。而在乾安地区, 流体封闭条件好, 矿化度很高, 主要组分是 HCO_3^- 且与矿化度呈正相关。其离子组合为: 阳离子 $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, 阴离子 $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ 。

HCO_3^- 含量增高的原因, 我们认为主要是本区富含 CO_2 气体影响所致。 CO_2 溶于水, 使砂岩中长石高岭土化, 形成 NaHCO_3 , 即:

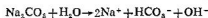


表1 扶余油层地下水化学组分特征(毫克/升)

离子	扶余	新木	乾安	红岗	农安
$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	2137	2440	11034	8209	4290
Ca^{2+}	80	254	5	61	209
Mg^{2+}	8	24	50	14	42
Cl^-	2557	3275	7108	3113	6698
SO_4^{2-}	52	226	3705	1836	118
$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	1162	775	18922	4206	18
矿化度(克/升)	6.03	6.84	40.90	32.80	11.74

1) 康伟力, 1979, 松辽盆地南部油田水特征的探讨。

据分析, 乾安地区扶余油层天然气中 CO_2 与 H_2S 含量为 64.54—80.09%, 这种高含量 CO_2 来源有两种可能: 1. 由于本区有油气聚集, 有机物质经热脱羧作用形成 CO_2 ; 2. 由于本区储油气层以下, 有厚达 1800 米的侏罗纪煤系地层, 因热解氧化而形成 CO_2 。

油田水中硫酸根含量, 标志着脱硫的强弱。盆地南部扶余油层脱硫系数 ($\frac{\text{SO}_4}{\text{Cl} + \text{SO}_4}$) 在中央拗陷区的乾安、红岗一带最大达 0.4—0.5 以上, 而到边缘的新木和扶余一带为 0.02—0.05 (图 2)。从脱硫系数、硫酸根与深度关系图 (图 3), 明显看出二者均随

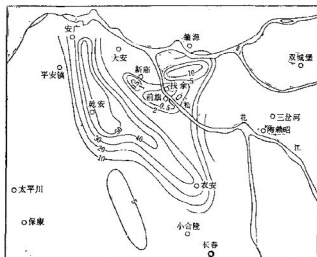


图 2 松辽盆地南部扶余油层脱硫系数等值线图

等值线值 $\times 10^{-2}$

深度增加而增加。产生脱硫系数差异的原因尽管较多, 但主要应与脱硫菌活动有关。据了解, 脱硫菌在高于 60°C 时就很活跃, 基本上没有脱硫能力; 高于 80°C 时就不能生存。所以在本区超过 1500 米以下 (高于 77°C), 生物脱硫就基本上不能进行, 而地化脱硫又很不完全, 故硫酸根就保存下来。乾安、红岗地区硫酸根高主要是这个原因, 但也很可能与该区存在膏盐有关。

盐化系数 ($\frac{\text{Cl}}{\text{HCO}_3 + \text{CO}_3}$) 与总矿化度关系, 反映了油田水由淡化到浓缩的过程。正常的浓缩过程应是随总矿化度增加, 氯离子含量也明显增加, 即盐化系数随之增大。而扶余油层地下水却表现了相反的规律, 即随总矿化度增加, 盐化系数下降, 表现

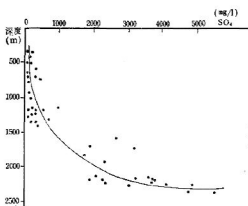


图 3 松辽盆地南部扶余油层硫酸根含量与深度关系图

了非正常的浓缩过程。其主要原因是 HCO_3 随总矿化度增加而迅速增加的结果。

(二) 有机组分

本区扶余油层油田水中普遍含可溶性有机酸、苯、环烷酸、酚等, 这些组分比非油田水中含量高2—5倍。高值区与所处的盆地位置和烃类聚集有关(详后)。

(三) 微量元素

油田水中含金属微量元素有几十种。我们应用吸收光谱法测定了Li、Mn、Bi、V、Ni等五种。从表2看出, 油田水中微量元素含量较高, 非油田水中几乎检测不出来。其中Li随地层水埋藏深度增加而增加。地层水中微量元素与油气聚集其它方面的规律尚待探讨。

表2 地下水中微量元素含量(毫克/升)

地 区 \ 元 素	Li	Mn	Bi	V	Ni
油 田 水	1.35	0.199	0.58	0.107	0.125
长 山 井 水	0	0	0	0	0
怀 德 井 水	0.1	0.04	0	/	0.04
梁 田 水	0	0	0	/	0

碘作为水化学找油指标很早就被人们所采用。我们分析了油田水与非油田水中碘的含量, 发现油田水中普遍含碘, 而非油田水则不含(表3、4)。从表中看出不同油田或同一油田中, 产层和非产层地下水中碘含量均不同, 从而为石油勘探和确定油、水层提供了参考依据。

表3 产层与非产层水中碘含量(毫克/升)

地 区 \ 类 别	产 层	非 产 层
扶 余	8 $\frac{4.3 \sim 15.8}{6.9}$	8 $\frac{3.6 \sim 5.7}{4.3}$
	5 $\frac{5.8 \sim 13}{8.6}$	3 $\frac{5.3 \sim 8.3}{6.2}$
新 立	8 $\frac{8.1 \sim 10.8}{8.2}$	2 $\frac{5.9 \sim 8.8}{7.4}$
	3 $\frac{6.5 \sim 10.8}{8.2}$	1 $\frac{6.26}{6.26}$

表4 非油田水中碘含量

位 置 \ 项 目	层 位	深 度 (米)	合 量 (毫克/升)
扶 余 郊 外	第四系	20	未检出
长 春 郊 外	白垩系	496	*
石 碑 岭 煤 田	侏罗系	200	*
营 城 子 煤 田	侏罗系	400	*
营 城 子 煤 田	侏罗系	200	*
蛟 河 煤 田	侏罗系为主	700	*

注: 分数前面的数字为样品数; 分子为数值范围;
分母为均值。

利用地下水的化学成分预测有利的含油气地区

(一) 无机组分处理方法及应用

地下水的无机组分包括六项离子及总矿化度。对于这些组分的应用, 过去只考虑个别的单指标及其间的简单比。所采用的方法多为经典的等值图、三角图法。这样就大大限制了分析数据所能提供的最好信息。

本文数据处理采用判别分析方法^[1]。要解决的问题是在已知一些样品分类的情况下, 根据多个变量确定未知样品属于哪一类, 即用水中的化学成分, 预测未知探区属于含油类还是非含油类。

采用的数学模型为两组多元线性模型, 使用国产DJS-15型计算机, 对本区287个水分

析数据作了计算, 获得八元函数关系式:

$$R = 0.166 \times 10^{-5} [\text{Na}^+] + 0.972 \times 10^{-5} [\text{Ca}^{2+}] + 0.131 \times 10^{-4} [\text{Mg}^{2+}] - 0.396 \times 10^{-6} [\text{Cl}^-] + 0.199 \times 10^{-5} [\text{SO}_4^{2-}] + 0.646 \times 10^{-6} [\text{HCO}_3^-] - 0.299 \times 10^{-6} (\text{总矿化度}) - 0.161 \times 10^{-5} [\text{深度}]$$

计算的判别函数值为:

$$R_1 = 0.190 \times 10^{-3} \quad (R_1 \text{ 为产油层})$$

$$R_2 = -0.856 \times 10^{-3} \quad (R_2 \text{ 为非产油层})$$

$$R_0 = -0.386 \times 10^{-3} \quad (R_0 \text{ 为分界值})$$

$$R_1 > R_0 > R_2$$

利用判别函数式所计算的综值 (R), 可绘制 R 等值线图 (图 4), 以反映无机组分等八个参量相互综合作用的结果, 从而提高了数据提供信息的程度。如图, 目前已知油田多分布在高 R 值区, 即 R_0 圈闭范围内; 双坨子地区当前虽无油田, 但显示为有利的含油气远景区, 应当进行详探。

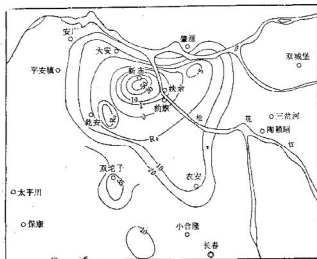


图 4 松辽盆地南部判别值 (R) 等值线图

$R_0 = -0.386 \times 10^{-3}$ 等值线值 $\times 10^{-3}$

在局部地区采用 R 值可划分油水层。如利用判别函数式, 对新木地区 101 口井的水分析资料进行计算和探讨, 绘出了该区的 R 等值线图。由图 5 看出, 生产井多数分布在 R_0 所圈闭的范围内。虽然以往对新 137 井泉三段、新 8-3² 井泉四段的试油结果和测井解释均认为是水层, 但它们的 R 值分别为 17.5×10^{-4} 、 50×10^{-4} , 远高于 R_0 (即分界值 $R_0 = -3.88 \times 10^{-4}$), 故我们预测应为油层。

(二) 地下水中的有机指标及其应用

测定挥发性短链脂肪酸 (以下简称脂肪酸) 是我们近两年新开的项目。脂肪酸是以盐的形式或游离酸的形式在地下水中存在的, 是有机质向烃类转化过程中的产物之一。近年来有人进一步指出, 脂肪酸阴离子主要来源于干酪根热催化降解, 认为具有高溶解能

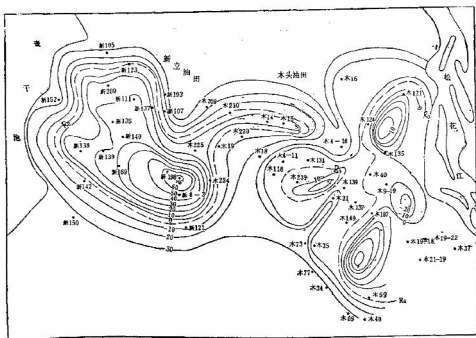


图5 新木地区判别值(R)等值线图

 $R_0 = -3.86 \times 10^{-4}$ 等值线值 $\times 10^{-4}$

力的这些阴离子是生油岩中产生的,并溶解于孔隙水中。所以根据脂肪酸产生的机理和异常,可将其作为油气勘探的直接指标^[4]。地层水中的苯和环烷酸测定在国内外早已开展,是油气勘探中油田水的特征指标。

表5 地下水中有机组分含量(毫克/升)

类别 地区 指标	油田水				非油田水			
	乾安	新木	红岗	扶余	扶余地表 松花江自来水	油田外围 长山	营城子 长春	煤田等
脂肪酸	541	515	336	172	117	117	141	84
苯	0.41	0.34	0.16	0.1	0	0	0	0

油田水、非油田水中均含脂肪酸,但前者的含量明显地高于后者,所以脂肪酸可作为油气普查的直接指标;油田水中均含苯,而非油田水则不含,二者有显著区别,所以苯可作为油田水的特征指标。

从表6看出,产层水与非产层水中有机组分是有区别的,一般产层水中有机组分含量高于非产层,但各地区产层与非产层界限值是不同的。

所以,不但用无机组分(R值)能划分油、水层,而且采用有机组分亦能判别产层与非产层,它们都是有效的石油水化学指标。

前面提到的新137井和新8-3²井的试油层位,不但其R值远高于R₀值,而且

表6 油田水中产层与非产层有机组分含量(毫克/升)

地区 指类 标	乾 安			新 水			红 岗			扶 余		
	产层	非产层	界限值	产层	非产层	界限值	产层	非产层	界限值	产层	非产层	界限值
脂肪酸	611	300	400	618	358	400	470	252	300	182	117	120
苯	0.548	0.171	0.25	0.414	0.155	0.2	0.315	0.115	0.25	0.103	0.03	0.03

* 界限值是根据产层下限值与非产层的上限值确定的。

有机组分也高于界限值(表7)。所以尽管1980年试油结果定为水层,但我们仍判断为油层,并建议:(1)在原层位继续试油;(2)在两井周围布置新探井。1981年在上述两井再次试油,均获工业油流,证实了我们的判断。

表7 新8-3²井、新137井有机组分及R值表

井号	层位	有机指标(毫克/升)			判 别 指 标	
		苯	脂肪酸	环烷酸	R	R ₀
新8-3 ²	K ₁ q ₄	0.315	522	7	50×10^{-4}	-3.86×10^{-4}
新137	K ₁ q ₃	0.52	548	32	17.5×10^{-4}	-3.86×10^{-4}

结 论

1. 烃类的聚集对地下水化学成分有一定影响,但油田水的形成是受多种因素影响和控制的。因此,对常规分析指标按通常的简单方法处理,并用于油气藏预测是有困难的。但是,结合具体地质情况及其它有关参数,采用数学方法对大量数据进行综合处理,就能提高预测效果。

2. 油田水中的苯和脂肪酸可做为油气勘探的直接指标,其含量一般高于非油田水的2—5倍。

3. 就松辽盆地南部来看,地下水中的SO₄含量与深度有关,浅油藏地下水中SO₄含量低,而深油藏地下水中SO₄含量高。

4. 本区油田水中普遍含有微量元素Li、Ni、Mn、Bi、V和I等。

关增森、张英岐、王乾福、韩广玲等同志对本文提出了宝贵意见;焦钟明、葛德安、张艳等同志参加实验、计算,并提供有关资料,在此一并致谢。

(收稿日期 1982年2月19日)

参 考 文 献

- [1] 刘肇禧, 1980. 我国东部某油田水文地球化学特征. 地球化学, 第3期.
- [2] Brian Hitchon and Horn, M.K., 1974, Petroleum indications in formation waters from Alberta, Canada. AAPG Bull. Vol.58, No.3.
- [3] Collins, A.G., 1975, Geochemistry of oil field water. Elsevier Scientific Publ. Co.
- [4] Матусевич, В.М., Ильин, В.М., 1973, Нефтегазопоисковое значение органических кислот подземных вод Западно-Сибирского бассейна. Геология нефти и газа, №.10.

HYDROCHEMICAL INDICATORS AND ITS APPLICATION TO PETROLEUM EXPLORATION

Yang Zhonghui Zhou Jinglian Li Shuqin

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Jilin Petroleum Administration)

Abstract

287 water samples were selected from Fuyu reservoir in southern part of Songliao basin. Their data were processed by means of discriminant analysis. For this part of the basin, 8 formulas of discriminant function and isograms of synthetic discriminant value R are given. Benzene and organic acid were determined with 50 water samples respectively, and threshold for waters from reservoir and non-reservoir are confined.

The author has suggested that potential regions can be predicted according to the components of discriminant value R of inorganic matter as well as of organic matter

第三届环太平洋地区能源和矿产资源会议在檀香山举行

第三届环太平洋地区能源和矿产资源会议,于1982年8月22日至28日在美国檀香山举行。会议由美国石油地质学家协会、亚洲海洋矿物资源共同开发协会议、南太平洋矿物资源共同开发协会议、夏威夷东西方中心、国际地科联和夏威夷大学发起,代表共971名。中国科学院地质研究所张文佑、李荫槐、石油工业部胡见义、甘克文、地质矿产部张宏仁、周维雄和杨登维出席了会议。

130名代表在会上作了报告,中心议题是八十年代的资源以及环太平洋地区资源开发中的方针、问题和解决办法。大会分两个阶段进行。8月23日至8月24日,举行全体会议;8月25日至8月27日,再分为地热、油气、固体矿产和再生能源等四个分会进行学术交流。在石油和天然气分会上,33名代表作了有关环太平洋地区的能源政策、含油气潜力,以及普查勘探趋向和成果等方面的报告。

会议期间,还召开了环太平洋地区编图项目讨论会,举行了“板块构造理论在资源评价中的应用”、“地热储集岩中的裂缝”等工作会议,并展出了近年来编制出版的环太平洋地区的地质图件。会后进行了为期四天的地质旅行。

上述会议之前,即8月20至22日,还举行了石油资源量评价方法专题讨论会。会议由国际地科联主办,有来自32个国家和地区的95名代表参加,我国由地质矿产部和石油工业部的上述五名代表出席。会议的目的是介绍目前在石油资源量评价中一些常用的工作方法,以利于今后的国际交流。

美国地质调查所 Bob Crovelli 和加拿大地质调查所 R. M. Procter 分别以马来西亚东部的日兰三角洲和英属哥伦比亚一海上新探区为例,介绍了应用特尔斐法和地层法进行油气资源评价的效果。此外,美国威克斯石油公司的 Douglas Klemme,美国加利福尼亚阿尔贡实验室的 Gregory Ulmishek,以及美国地质调查所 Lawrence Drew 和 James A. Momper 等,还介绍了类比法、体积产率法、发现率外推法和地球化学物质平衡法在油气资源量评价中的应用。

这次会议对于促进油气资源量评价方法的发展和规范化将起一定的作用。

(杨登维)