

## 深部水文地球化学垂直分带的倒转

郭齐军 焦守诠 万智民

(地质矿产部石油地质研究所,北京100083)

近期石油勘探揭示出含油气地层中,其油田水的水文地球化学垂直分带发生倒转现象。主要表现为矿化度随深度增加降低,水化学类型为富钠贫钙的Na-HCO<sub>3</sub>型水,Ca<sup>2+</sup>与HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>呈明显的负相关性。这些特征在靠近油气聚集区表现更明显。因此,对其深入研究将为油气勘探提供有利信息。

关键词 水文地球化学 垂直分带 倒转现象

第一作者简介 郭齐军 男 31岁 工程师 油田水文地球化学

任何地区油气藏的地下水所展布的水文地球化学规律,都反映了该地区油气的形成、运移、聚集成藏与地下水围岩之间的相互关系。同时,水化学性质与水动力条件之间具有密切地相关性,即在不同水动力场的作用下,可能会呈现不同的水化学特征和水文地球化学规律。从而可进一步运用其物理和化学条件的变化规律,对油气的聚集或保存,提供综合研究的信息。

地温梯度与压力梯度的变化以及地下水矿化度的演变,都会直接影响水溶烃的溶解度。由此人们往往以地下水水化学性质和赋存条件作为预测地下含油气丰度。30年代到40年代间,主要着眼于地下静水压力带,将地下水动态平衡状况划分为积极交替带、缓慢交替带和停滞交替带。其水化学类型也相应地由重碳酸钠型过渡到硫酸钠和氯化镁或氯化钙型水。进而将停滞交替带和氯化镁或氯化钙型水作为判别油、气聚集的有利标志。它们所处的埋深大约在2500m以浅处。

随着石油勘探的进展,研究者发现,在深部出现含油气层系或油气有利聚集的区块(带)的同时,常出现垂直水文地球化学分带倒转现象。这种现象,值得石油勘探科技人员的充分注意,有必要加以深入研究。

近年来,我们先后对松辽盆地北部、冀东南堡凹陷与东海西湖凹陷的地下水动力特征及水文地球化学进行研究,发现其深部层位地下水的矿化度低于浅部层位地下水矿化度,水化学类型多为重碳酸钠型。松辽盆地北部深层位以低矿化度为主,冀东南堡凹陷内东营组以下层位,水的矿化度低于其上覆层位,水化学类型几乎都是重碳酸钠型水,东海西湖凹陷约2900m以深出现矿化度降低并呈现重碳酸钠型水。诸如此情况,四川盆地的二叠系、寒武系、震旦系也有所发现。这种倒转现象,在美国较早发现于得克萨斯州的白垩系和路易安那州的上第三系。前苏联的伯朝拉盆地深部含油气带中也发现这种现象,并进一步将水文地球化学垂直分带划出3种类型。(1)正常类型:水矿化度随深度而增高;(2)异常类型:在整个剖面上在保持盐浓度增加的情况下,于某层段中出现地层水矿化度的降低;(3)倒转类型:水矿化度随深度加深逐渐在降低。

下面以南堡凹陷为例,对这种水文地球化学垂直分带的倒转现象的形成机理及其在石油勘探中的意义进行探讨。

## 1 南堡凹陷的区域地质、水文地质背景

南堡凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷北段,属渤海湾盆地次一级负向构造单元。南北分别以老王庄凸起、马头营凸起和沙垒田凸起的断层为界,东西分别与北塘凹陷、石臼坨凹陷相毗连。凹陷及其基底的形成和演化,与渤海湾盆地的演化基本相似。

南堡凹陷受西南庄、柏各庄两条呈人字形的边界断层的控制,形成北断南超的箕状凹陷。总体上北部是凹陷区,南部为斜坡区,在斜坡区发育老堡隆起带可视为中央隆起区。

凹陷边界断层及内部各级断层活性强,既可成为良好的流体通道,也可以由于断层两侧岩性关系而形成封堵条件。从而使断层在同一断块中或与断块之间,起着连通不同流体系统或封堵同一流体系统的作用。

上述地质构造条件制约着地下水的动态平衡关系。北部接受了补给,向南部区域活动,促使各个构造带以及多个断块构造体内,出现各自不同特征的水动力系统,也制约着凹陷内油气的运移和聚集。

区域油田水文地球化学总趋势,地下水大部分属于微咸水-咸水范畴,而以微咸水为主。水化学成分为富钠贫钙,阴离子分异组合为  $\text{Cl} > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4^{2-}$ ,同时深部的地下水矿化度比浅部层位地下水矿化度为低。

## 2 倒转现象的形成及其意义

南堡凹陷深部含油气层油田水矿化度低于浅部含油层油田水的矿化度,这种倒转现象以往将其解释为受外来水(指地表水)浸入的影响。这就提示人们在研究此倒转现象之前,首先应判断起淡化矿化度作用的“淡水”从何而来。

我们对该凹陷深部油田水测定了氧、氢稳定同位素值,并绘制了通过  $\delta^{18}\text{O}$  与  $\delta\text{D}$  的变化关系图(图 1)。图 1 反映了该凹陷深部油田水与国内外主要含油盆地油田水的氧氢同位素关系,清晰地看到随着  $\delta^{18}\text{O}$  变重, $\delta\text{D}$  向轻值方向漂移,其数据点皆落于 MWL(Meteoric Water line)线的右下方,显然该凹陷深部的油田水未受地表水的直接浸入影响。

在排除深部油田水矿化度的“淡化”,不是受地表水直接浸入影响之后,进一步应对其形成倒转现象的内因进行探讨。

南堡凹陷是一个大型生油凹陷,仅下第三系沉积厚达 3000~5000m,当泥质岩类从生物化学作用开始(以蒙脱石为例),势必经历由无序层间向有序层间的演变过程,即随着埋深和温度的改变以无序→渐变带→部分有序→有序的演变。同时,它始终伴随着热脱水作用而使其层间水不断地排出。据卡普钦科(1991)估算每平方米泥岩所脱出的水量为 0.73 吨,稀释着周围较高的矿化度水。由此所形成的水浓度差,而导致深部地层水的自由对流循环,而产生水化学分带的逆转。

该凹陷地下水化学组成显示富钠贫钙为特征,水中钙离子浓度很低,与重碳酸根离子呈负向依存关系。由于富含重碳酸盐的低矿化度的脱水作用也会形成自由对流循环,当在运移途中与油气运移相结合时,则会发生与烃类氧化无关的低流型重碳酸盐含量异常。而其含量

愈靠近含油层段愈为明显, 水的矿化度也比非含油层段的水矿化度要低的多。在凹陷深部出现这种淡化矿化度而产生倒转现象的情况下, 往往在井下发现有工业油气流或油气显示(表1)。

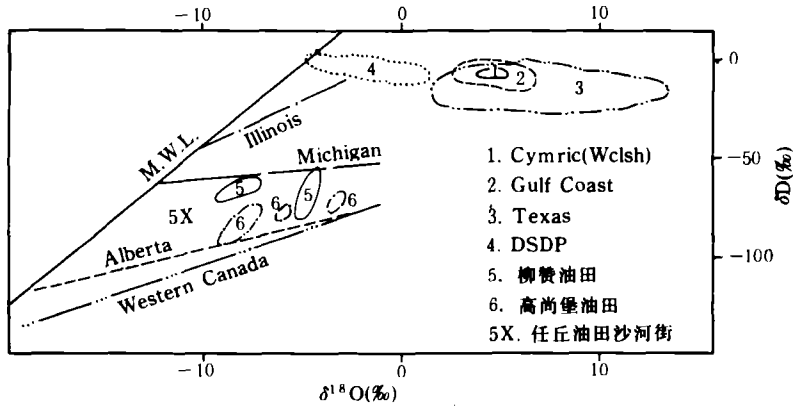


图1 高尚堡、柳赞油田水与世界主要地区相国内油田水同位素展布对照

表1 矿化度与油气的关系

井号	层位	矿化度(mg/L)	深度(m)	油气显示或油气流	附近断层名称
G31-34-26	Es <sup>3</sup> ( <sup>2</sup> )	9523	3375~3380	无	高柳
		4790	3256~3384	有	
G42	Ed <sup>1</sup>	19790	3364~3592	无	北高
G11	Es <sup>3</sup>	13170	3645~3930	无	靠近南27
N27	Es <sup>3</sup>	2212	3234~3272	有	3105、3103断 层线上
G3105	Es <sup>3</sup> ( <sup>1</sup> )	3658	3905~3658	有	
G3103	Es <sup>3</sup> ( <sup>1</sup> )	3627	4004~4029	有	

在愈靠近含油层段愈增加重碳酸根离子的含量的情况下, 同时也反映了烃类在受到硫酸盐化合物的化学氧化作用下的油田水矿化度被淡化而降低其矿化度。

南堡凹陷除深部泥质岩类中的粘土矿物的热脱水作用所排出的水淡化了矿化度外, 硫酸盐还原作用在约低于75℃~80℃地下温度的环境中多形成细菌硫酸盐还原作用(Bacterial sulphate Reduction, BSR), 在超此温度的深部则以热化学硫酸盐还原作用(Thermochemical sulphate Redution, TSR)起着积极作用, 由于硫酸盐的还原作用始终伴随着“烃类的氧化”, 同时也发生碳酸盐的溶解, 经此一系列反应过程所产生的水也淡化了矿化度。

从地质构造分析南堡凹陷长期处于新生代拗陷区, 并受着新构造运动的影响, 区域地层折合压力大致呈现随深度加深而增高。在这样区域地质构造背景条件下, 往往会出现垂直水文地球化学分带的倒转现象。如该地区在地质历史发展过程, 出现数次沉积间断, 当时的古地表水的浸渗影响因素也不宜排除。

综上所述,在一定条件下含油层组或油气藏,在遭受硫酸盐化合物的化学氧化作用的油田水,愈靠近含油层组或油藏,往往愈增加重碳酸根离子,也会出现油田水矿化度的淡化现象。故国外已将深部水文地球化学垂直分带出现矿化度倒转现象,作为判断有利油气聚集的有效标志。

(收稿日期:1994年2月14日)

### 参 考 文 献

- 1 沈照理主编.水文地球化学基础.武汉:武汉地质学院出版社,1986
- 2 王建荣.试论松辽盆地北部地下水运动模型与油气的运移聚集.石油与天然气地质文集(4),北京:地质出版社,1993

## REVERSAL OF VERTICAL ZONING IN DEEP HYDROGEOCHEMISTRY

Guo Qijun Jiao Shouquan Wan Zhimin

(*Research Institute of Petroleum Geology, MGMR*)

### Abstract

Recent petroleum exploration has revealed that the vertical zoning in the hydrogeochemistry of oil field water in petroleum bearing formations may appear reversed. The main manifestations are that the degree of mineralization reduces when the depth increases, the type of hydrochemistry is a Na HCO<sub>3</sub> type water with rich sodium ions and poor calcium ions, and there is clearly a negative correlation between the contents of Ca<sup>2+</sup> and HCO<sub>3</sub> ions. These characteristics are more obviously near petroleum-gathering areas. So a thorough study on them will provide beneficial information for petroleum exploration.