

我国高碘卤水分布规律及其形成(续完)

——高碘卤水的形成条件和找碘方向

孙大鹏

(中国科学院青海盐湖研究所 西安二部, 陕西 西安 710043)

摘要: 根据国内外大量实际资料, 从碘的分布情况及其所处的地质条件, 结合石油和天然气形成过程、油气藏类型及其分布特点, 探讨高碘卤水分布的规律及其形成条件, 在此基础上指出了我国的找碘方向。

关键词: 卤水; 碘; 分布的规律; 形成

中图分类号: P641.464

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2007)01-0020-09

1 高碘卤水形成的条件

1.1 高碘卤水形成的物质来源

对于任何一种矿产资源的形成来讲, 都必须有其丰富的物质来源, 高碘卤水也不例外。

从上述得知, 高碘卤水是分布在某些盆地不同时代的沉积物中, 其物质来源应来自各盆地不同时期的水体和水体中发育的生物群, 以及盆地周围的物质补给。

根据所述的现代不同水体中碘的分布情况来看, 无论是海水和大洋水, 或者是陆地水(湖泊、河流等), 碘含量都是很低的。如果这些水体随着水盆的演化逐步浓缩, 或者在其埋藏后逐渐浓缩, 碘含量也达不到较高的富集程度。正如科林斯海水蒸发实验结果所证实的一样(见表1), 在达到石膏析出阶段时, 碘含量仅为2 mg/L; 在钾石盐和氯化镁沉淀时, 其碘含量才增至8 mg/L。另外从古代含盐沉积中所赋存的卤水来看也是如此, 如: 前苏联西伯利亚安哥拉-勒拿自流盆地地下寒武纪含盐地层中的极限饱和卤水总矿化度在500 g/L以上, 其碘含量

仅有数 mg/L。由此可见, 高碘卤水中碘的富集不是取决于任何水体和水体的浓缩。所以说, 海水、大洋水和陆地水都不是高碘卤水形成的直接主要物质来源。

从各种水体的生物群来看, 海生生物群一般具有相当高的碘含量, 如: 海藻类、海绵类、珊瑚类(非造礁珊瑚)等。而陆地水生生物和陆地植物一般含碘量是很低的。由此看来, 某些海生生物群的大量富集应成为高碘卤水形成的主要物质来源。美国安纳达科盆地高碘卤水分布的石炭纪宾夕法尼亚和密西西比层的页岩和灰岩中有大量海藻、苔藓、有孔虫存在, 前苏联普里皮亚特盆地高碘卤水分布的泥盆纪地层中含有大量腕足类、有孔虫、斧足类等生物群, 均已充分说明了这种情况。相应地, 由于造礁珊瑚中碘含量比较低($44 \times 10^{-6} \sim 247 \times 10^{-6}$), 在许多珊瑚礁块油田的油田水中碘含量也比较低, 仅数十毫克/升。如: 前苏联乌拉尔山前拗陷二叠纪的伊希姆巴油田和布古鲁斯藏油田的油田水、加拿大阿尔伯达泥盆纪油田的油田水等。由此可见, 海成台油气盆地高碘卤水形成的主要物质来源应为某些海生生物群。

在大陆湖泊中, 某些生物群也含有较高的

收稿日期: 2005-03-16

作者简介: 孙大鹏(1934-), 男, 研究员, 主要从事地球化学研究。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

表 1 海水和卤水蒸发时碘浓度变化(mg/L)

Table 1 Variation of iodine concentration in seawater during its evaporation process(mg/ L)

元素	海水	CaSO ₄ ↓	NaCl ↓	MgSO ₄ ↓	KCl ↓	MgCl ₂ ↓
锂	0.2	2	11	12	27	34
钠	11 000	98 000	140 000	70 000	13 000	12 000
钾	350	3 600	23 000	37 000	26 000	1 200
铷	0.1	1	6	8	14	10
镁	1 300	13 000	74 000	80 000	130 000	153 000
钙	400	1 700	100	10	0	0
锶	7	60	10	1	0	0
硼	5	40	300	310	750	850
氯	19 000	178 000	275 000	277 000	360 000	425 000
溴	65	600	4 000	4 300	8 600	10 000
碘	0.05	2	5	7	8	8

碘含量,如硅藻、水苔藓等。由于这些生物群的富集,也可以成为某些大陆台油气盆地低品位高碘卤水形成的主要物质来源。

至于盆地外围的物质补给,无论岩浆岩、沉积岩或陆生植物,含碘量都很低,不足以成为高碘卤水形成的重要来源。

由上所述,可以看出高碘卤水形成的主要物质来源是海生生物群,其次为某些陆生水生生物群。然而,对石油生成来讲,其原始物质来源要比此广泛得多。因而,一般含碘油气田水的分布也较高碘卤水广泛得多。

1.2 高碘卤水形成的条件

1.2.1 构造条件

从上述高碘卤水分布的特征得知,世界上的高碘卤水主要分布在陆台区的内部拗陷和褶皱区的山前拗陷与山间拗陷的某些含油气盆地中。显然,这说明了高碘卤水的形成是与这些地区构造活动的特点紧密相联系的。

在这些盆地处于构造运动的稳定下降阶段,堆积了巨厚的富含碘的有机质沉积物,在其沉积过程中使富碘的有机物质得到迅速地埋藏,并保存下来。这对于碘从母体中进一步分异出来和碘的进一步迁移、富集都创造了良好的条件。

由于富含碘有机物质的沉积物被上覆巨厚的沉积物所埋藏,便造成了较高的温度和压力。一方面促使富碘有机物质的分解(也是促使有

机物质向油气方向转化);另一方面也促使碘物质从原始沉积物中被分泌出来(到水介质中)。A.B. 库杰里斯基用岩石加热分泌碘的实验,在一定程度上已经说明了这个问题。尽管目前岩石中所含的碘是残余量,可想而知,在成岩作用过程中,由于温度的增加,促使碘从沉积物中分泌出来应该是更明显了。从现代沉积物和古代沉积岩含碘量对比可以看出,前者最高可达 1.990×10^{-6} (西南非大陆架),后者最高仅 10^{-5} ,相差达 100 倍以上,这种差别在一定程度上应该是在沉积物的成岩作用过程中由于温度增高的影响下造成的。与此同时,由于上伏巨厚沉积物静压力影响产生的压实作用,使粘土质沉积物的孔隙度大大减小(见图 1),为其中所形成的油气和含碘水向附近的孔隙层(砂层和裂隙)中迁移也创造了良好的条件。

在这些盆地中,由于构造运动回返的影响,使这些沉积岩层发生挤压褶皱,形成了许多背斜构造。这不仅对于石油和天然气的聚集是有利的,同时,对于含碘水进一步迁移和聚集也是有利的。这就是原生气藏的形成阶段,也是高碘卤水聚集的阶段。

在褶皱区山前拗陷和山间拗陷的含油气盆地中,构造运动强烈。在一些构造带上由于断裂和泥火山发育,使原生气藏和高碘卤水层遭受破坏,油气和高碘卤水进一步迁移到上伏地层(孔隙层)中,这样,便形成了次生气藏和含碘量较低的卤水层(这是由于上覆含水孔隙

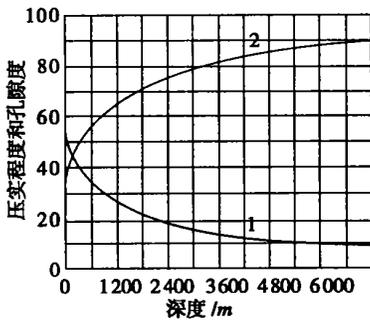


图 1 粘土岩孔隙度和压实程度随着深度的变化

1—孔隙度, 2—压实作用

Fig 1 Variation of Porosity and Compaction of clay rock with depth; 1. Porosity; 2. Compaction

层低碘层间水稀释作用的结果)。

由此可见, 在一般陆台区(或地台区)的构造条件下, 对于碘的迁移、富集和高碘卤水的形成与保存更为有利些。这种情况已被上述高碘卤水分布特征所列举的许多实例充分说明了, 故在此不再重述。

1.2.2 沉积条件

日本本岛公司曾根据日本冲绳等地下卤水的含碘资料, 从沉积条件和地球化学特征指出了在距离海岸一定范围的地带有利于碘富集。即其所划分的第 II 区间和第 III 区间(见图 2)。究竟第 II 区间和第 III 区间相当于大陆斜坡还是大陆架地带, 该公司未加以说明。同时, 将第 I 区间和第 II 区间都列为产气区也是不合适的。因为产油或产气不决定于其所处的地段, 而决定于其所处的石油形成的演化阶段。

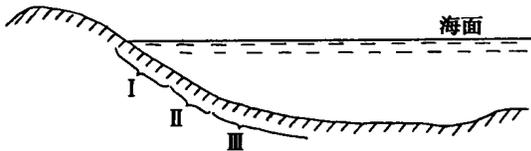


图 2 沉积条件和地球化学特征示意图

Fig 2 Schematic of the sedimentation conditions and geochemical characteristics

第 I 区间: 陆生有机质大量得到供给, $E_h = (-)$ 偏高, $1/C_{org}$ 偏低, 成油率小, 产气区, 原油比重大, 粒度大;

第 II 区间: 含碘的海栖生物起源的有机质多, pH

值 > 7 , $E_h = -200 \sim -300$ 毫伏, 微小浮游生物的遗体多, 油母岩中有细胞组织, 成油率中等, 产气区, 有 CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , 粘土粒级不太多(20%~30%左右);

第 III 区间: 有海栖生物起源的有机质, pH 值 > 7 , E_h 取前两个区间为低, 粘土粒级多, 吸附布碘, 成油率大, 产油, 产气, 天然气中多含 C_2 , C_3 等重组份。

从前面所述的现代沉积物和古代沉积岩中富碘的情况、以及高碘卤水分布的某些特征来看, 均说明了碘的富集和高碘卤水的形成是与浅海相沉积环境有着紧密联系。

上面曾指出, 高碘卤水形成的主要物质来源是海生生物群, 然而, 这些富碘海生生物群正是发育在这种浅海环境中。根据不同地带海藻类和昆布类含碘量的变化情况来看(见表 2), 也正说明浅海环境的生物群是易于富碘的。由于这些浅海生物群在沉积作用过程中大量地死亡, 而被快速地埋藏下来, 形成了大量的富碘有机质的沉积物。

表 2 不同地带海藻和昆布类碘含量变化(%)

Table 2 Comparison of iodine contents in algae and laminarias of different marine regions(%)

种类	地点		
	外海	沿海	海岸上
海藻类	1.32	0.45	0.22
昆布类	1.22	0.41~0.65	0.09~0.36

非洲西南大陆架现代沉积物就是这样一个明显的现实例子。这里, 在大陆斜坡的下部和陆架的上部存在大量富碘和有机质的沉积物。这些沉积物主要由富含有机质和硅藻的淤泥组成, 其次为有孔虫砂和介壳砂, 前者含 H_2S 。

浅海环境不仅有着大量富碘和有机质的生物群和沉积物存在, 同时有着良好的还原环境, 这种环境常常是由于部分有机质的氧化和分解造成的。这种环境不仅对于有机质保存和其向沥青方向转化是有利的, 对于碘的保存和进一步富集也创造了良好的条件。O. B. 希什金娜和 Г. А. 帕弗洛娃在研究海洋淤泥和淤泥水中碘的分布情况时曾指出: “海洋淤泥灰色粘土的还原条件(其中包括波罗的海和黑海)是由高含量的有机物质引起的, 使这里氧化—还原电位

具有一系列负值(-200~-300 mV),呈碱性介质反应。在很大程度上能够使淤泥吸收碘,使碘在淤泥中和淤泥水中富集”。这种有利于聚集碘的环境,也正是一般所认为的有利于石油和天然气生成的环境。前面,我们曾提出高碘卤水在生油岩系内原生油气藏及其含水层中分布的情况,也就是因为其早期曾处于这种还原条件下逐步开始形成的(如:安纳达科盆地、西科彼特达格地区等)。由于这种还原条件形成的富含碘的有机质的浅海相沉积物大量堆积,必然为高碘卤水的形成提供了大量物质来源及其良好的保存条件。

在这种沉积物中常常含有一定的砂层、粉砂层或生物碎屑层,在早期成岩作用过程中,为淤泥水转变为孔隙层水提供了条件。这样,由于压实作用的影响,便使含碘水和天然气逐步自淤泥层向上述孔隙层中迁移聚集。这是高碘卤水形成的早期阶段。如果上述孔隙层(即砂层、粉砂或生物碎屑层等)不存在,这种高碘卤水形成的早期阶段将无法进行,正如油页岩(或称沥青页岩)的产生一样,大量有机质和转化不完善的石油物质仍保存在原始沉积层中,碘也仍保存在原始沉积层中。沥青页岩中所以常常富含较高的碘,是其原始沉积层中富含的碘未被迁出或很少被迁出的结果。

至于,浅海相珊瑚礁外发育地带,由于这里氧气充足,造礁珊瑚本身含碘量较低,同时这些造礁珊瑚堆积后固结较快,在成岩作用过程中受上伏沉积物压实作用的影响较弱,其中所含的水份难以被挤出,大部分仍残留在礁块内。因此,在其中所形成的含碘卤水基本上就是礁块内的原生水,其含碘量一般仅具中等品位(约30~40 mg/L)。如:乌拉尔山前拗陷二叠纪的布古鲁斯藏油田和伊什姆巴油田的油田水、加拿大阿尔伯达盆地泥盆地油田的油田水等。

在浅海—泻湖相的交替沉积环境中,二者在时间上或地区上常常是相互过渡的。当水体浓缩到泻湖阶段,特别是大量盐类析出的时候,其中的生物群已极其贫乏了,仅依靠其水体浓缩,碘含量的增加极其有限,因而这种环境是不利于碘的富集。然而,正由于这些地区夹杂着许多富碘有机质的浅海相沉积存在,也会造成

高碘卤水的聚集。不过,在成岩作用过程中沉积物的压实作用和构造运动使地层遭受挤压褶皱,盐类沉积中的晶间卤水也同富碘的淤泥水一块被挤压到孔隙层中,这样,就形成了高矿化度的富钾和溴的高碘卤水。如:前苏联普里皮亚特盆地泥盆地卤水和美国帕拉多克斯盆地石炭纪卤水等。

除上所述,在海相陆源沉积地带(即大陆斜坡的中上部),这里有机物质相当丰富,但其中的大部分有机物质是来自陆源补给的,所以富碘程度比较差。尽管世界上大多数油气田是聚集在此区,其油气田卤水中碘的含量却是比较低的,特别是成煤环境与成油环境相互过渡的情况,更是如此。如前苏联俄罗斯陆台泥盆地和石炭纪的油田水,其碘含量一般仅数 mg/L,最高者为 27 mg/L。其原因除了陆源补给物质贫碘外,尚由于泥炭(沉积)牢固地吸附碘,其难以被迁出所致。所以,在海相陆源地带,特别是成煤环境的存在,不利于碘在这些地区的油气田水中进一步富集。

在大陆盆地湖相沉积环境中,由于这里水生苔藓类、硅藻类等尚含有较高的碘(灰份中含碘为 $500 \times 10^{-6} \sim 4200 \times 10^{-6}$),当这些沉积物快速的埋藏下来,处于还原环境下,在有机物质向石油沥青方向转化的同时,碘也随着油气层水进一步迁移、富集。所以在我国一些陆相含油气盆地的湖相沉积分布地带的许多油田水中,曾造成低品位的高碘卤水。

由此可见,高碘卤水的形成主要是属于富碘和有机质的还原条件下的浅海相沉积环境中,其次为大陆湖相沉积环境。这些环境不仅有利于某些石油和天然气的形成,也有利于含碘物质的堆积、保存和碘的进一步迁移和富集。这种作用过程主要发生在成岩作用的中早期阶段。

1.2.3 高碘卤水形成的水化学条件

高碘卤水主要是沉积物的原生埋藏水经过进一步演化而来。从目前这种卤水的水化学类型来看,大部分属氯化钙型,pH值一般为中性—弱碱性。这种类型卤水是由残留在沉积物中的海水(或湖水),经过细菌脱硫作用和成岩作用过程中与围岩的相互作用(主要是阳离子

交换作用等)影响下逐步形成的。

在富含碘和有机物质沉积物沉积时,水体为弱碱性—碱性的氯化镁型水。由于部分有机质分解,形成 CO_2 、 H_2O 和 H_2S 。因而使这种水体处于还原条件下。这种还原条件下的弱碱性—碱性介质环境已被 O. B. 希什金娜等人对大洋和海水现代沉积物研究所获得的资料给予证实(氧化—还原电位为 $-200 \sim -300 \text{ mV}$, $\text{pH} = 7.31 \sim 8.32$)。这种环境对于有机物质吸附的碘进一步解附和向水中迁移起着重要的作用。按照 B. M. 什维茨和其他人的意见,有机物质吸附的碘,在还原的碱性介质条件下迁移,形成络合物。另外,从黑海现代沉积物淤泥水中碘含量的垂向变化基本上也可以说明这个问题,在 $54 \sim 58 \text{ cm}$ 深度的沉积物淤泥水的碘含量占淤泥碘总含量的 0.4% ,而在 $726 \sim 740 \text{ cm}$ 深时淤泥水碘含量却占了淤泥碘总量的 37.9% 。

随着上覆沉积物的不断增加,在细菌脱硫作用和生物化学作用的影响下,孔隙水中 SO_4^{2-} 含量逐渐减少,形成硫化氢和碳酸盐,促使水型逐步向 CaCl_2 型转化。加之深层水经受地下蒸发作用和围岩的阳离子交换作用,较高浓度的氯化钙型水形成了。这种卤水对于碘向其中迁移和进一步富集均起着一定的重要作用。科莱因斯在综合他人资料时曾指出:“碘在有机物中具有一种强的固定系数,在不同的氧化状态下被炭、粘土和岩石所吸附。吸附系数随着温度和酸度而增加,在环烷酸和矿物盐,特别是氯化钙存在的情况下而减少。”^[7] 罗津曾利用二氧化硅凝胶、氧化铝和氢氧化铝从纯水溶液和含盐(钠、钾、镁、钙的氯化物和硫酸盐)的水溶液中吸附溴和碘的实验结果表明:“在有盐类参与时,溴和碘的吸附作用按下列顺序略有增强: $\text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ ”。这说明了随着 Ca^{2+} , Mg^{2+} 和 Cl^- 含量的增高碘的吸附作用逐渐在减弱。即随着 MgCl_2 型水和 CaCl_2 型水的存在和产生,其围岩对卤水中碘的吸附能力亦随之减弱。这种变化趋势正是与 CaCl_2 型水的形成过程是一致的。由此看来,无论是科莱因斯,或者是罗津,他们一致认为特别是 CaCl_2 型卤水中碘所遭受吸附作用的影响是比较弱的。因而,由于岩石和粘土(或淤泥)对碘

的吸附能力减弱,围岩中含碘有机化合物在高压和高温条件下进一步分解,并向卤水中逐步迁移富集。这种情况已被氯化钙型高碘卤水的普遍存在得到证明。

至于, NaHCO_3 型的高碘卤水,它仅分布在地表泉水、泥火山和靠近地表的浅层水或裂隙水中。前二种情况是由于受断裂和泥火山水发育的影响,使地下深层高碘卤水溢出地表与地表水或潜水混合而成。后一种情况是地表水渗入富含碘和有机物质的岩石孔隙和裂隙中。由于富碘有机物质遭受氧化而分解,在形成 NaHCO_3 型水的同时,也使分解出来的碘迁移到水介质中,并且在这种水介质中进一步富集。属于前种情况的有前苏联西土库曼盆地和前高加索地区的地表泉水和泥火山水等。属于后种情况者,如我国贵州平坝县三叠纪高碘卤水。日本有些天然气田中的高碘卤水也属于这种类型,这是由于它们正处于有机质强烈分解(生物化学作用为主)的石油形成的早期阶段,对于碘的迁移和富集同样是有利的。

由上所述,可以看出在海水体系的孔隙水(或淤泥水)过渡为深部层间水的长期演变过程中,还原环境下的弱碱性—碱性 MgCl_2 型水和 CaCl_2 型水的存在,对碘向卤水中迁移和富集都是很有利的。 NaHCO_3 型水的存在有时也有利于碘在其中迁移和富集。

1.2.4 高碘卤水形成的水文地质条件

在浅海沉积盆地中,大量富碘和有机质的沉积物被快速埋藏的同时,其中的淤泥水逐步被挤压到孔隙含水层中。这些含水层本身在盆地中就逐步形成了各自统一的水力系统。除了这些含碘水沿着孔隙层随着油气向局部构造中迁移和聚集外,在盆地边缘地带(受水区)不断接受外来水的补给,通过孔隙含水层(砂层)逐步影响到盆地内部(比较微弱),不断地将溶滤岩石和有机质的含碘水带到盆地内部靠近砂层的地区(特别是一些圈闭的构造中)。这些地区就是我们前面所述的水力活动缓慢交替带的氯化镁型卤水区和停滞带的氯化钙型卤水区。这些地区受外来水影响较小,就有可能使原始沉积水在这里保存下来。所以,大量碘才有可能在这些卤水中富集。我们在上面高碘卤水分布

特征中曾指出,高碘卤水主要分布在某些盆地的中部地带,其所以这样分布,显然也是与上述水文地质条件紧密相联系着。然而,某些盆地油气田的分布比此广泛得多,不仅仅限于盆地的中部地带。

上述情况一般主要在陆台区(或年青地台区)的沉积盆地中存在着。可是,在褶皱区的含油气盆地中常被许多大断裂分割,水力系统被复杂化。在一些构造上遭受断裂破坏或泥火山刺穿,封闭的水力系统被破坏,下部高碘卤水层卤水沿着断裂通道溢出地表,形成了许多浅水区,使其中的高碘卤水和油气散布到上覆地层中。由上所述可以看出,高碘卤水的形成是处于原来水力系统未曾遭受破坏,受外界补给影响较小的缓慢交替带和停滞带中。

综上所述,可以看出有利于高碘卤水形成的条件如下:

①浅海环境的海生生物群是形成高碘卤水的主要物质来源;

②浅海相沉积物具有丰富的有机物质和高碘含量,在低的氧化—还原电位的还原环境下和弱碱性—碱性水介质条件下,有利于富碘有机物质的保存和碘向淤泥水和孔隙水中进一步迁移、富集;

③陆台区和褶皱区的某些含油气盆地,在其构造运动的稳定下降阶段堆积了大量的浅海相沉积物。不仅提供了大量碘的物质来源,同时也为富碘有机物质分解和向水中迁移创造了有利的高温、高压条件。在其构造运动的强烈上升阶段(回返阶段)使岩层发生褶皱,形成了许多构造,是油气聚集的场所,也是高碘卤水集中的地带;

④ $MgCl_2$ 型水、 $CaCl_2$ 型水、甚至 $NaHCO_3$ 型水的弱碱性—碱性水介质条件,都是有利于沉积物或岩石中含碘物质向孔隙水中进一步迁移和富集的;

⑤含油气盆地中地下水活动的缓慢交替带和停滞带是有利于原生沉积水保存和高碘卤水形成。

上述这些条件彼此是紧密相联系的,它们综合作用于高碘卤水形成的过程中。

1.3 高碘卤水的形成过程

从上述得知,高碘卤水形成的主要物质来源是来自浅海相的海生生物群,其中包括海生植物群和海生动物群。这些生物群死亡后随着大量沉积物的堆积而被埋藏下来,直到在其孔隙层中高碘卤水的形成,要经历一个比较复杂的地质作用过程和地球化学作用过程。这里,我们根据上述沉积物的埋藏深度、所处的成岩作用阶段和构造作用性质与强度、沉积物的变化、水介质条件的改变、以及油气藏的形成阶段,将高碘卤水的形成过程划分为早期形成阶段、中期形成阶段、晚期形成阶段和后期形成阶段。

1.3.1 早期阶段

从浅海相海生生物被沉积物埋藏开始,直到它们被深埋到深度达1 000 m以上。基本上处于早期成岩作用阶段(沉积物尚未固结)^{*1}。沉积物的孔隙度约为60%~20%范围,其含水性随着深度增加逐步在减弱,淤泥水逐渐转移到孔隙层中。水介质为还原环境下的弱碱性—碱性的氯化镁型水^{*2}。此阶段有机物质的分解和碘自沉积物中迁出主要是化学作用和生物化学作用。由于这种作用促使沉积物中的碘向淤泥水和孔隙水中迁移、富集。此阶段相当于天然气和天然气藏形成阶段。因而,在某些地区上新世和更新世的气田水中碘含量可达到较高的范围(数10 mg/L~近百 mg/L)。如:日本冲绳和茂原等地的气田水。

1.3.2 中期阶段

此时期上覆沉积物已达到1 500~3 000 m厚,即其富碘有机物质沉积物埋藏在此深度范围。处于成岩作用中期阶段,沉积物基本已固结。由于这样所造成的高压高温(50~100℃)条件。使海生生物埋藏后形成的富碘有机物质(碘主要以有机化合物形式存在,如:酚基丙胺

*₁ 根据柴达木盆地第四纪资料。

*₂ 按苏林油田水分类。

酸、甲状腺素、二碘酚基丙酸等) 受热催化降解作用的影响, 继续向孔隙水中迁移。这时, 许多平缓背斜构造开始形成, 富碘水与石油和天然气逐渐向其中迁移、聚集。此阶段相当于原生油气藏形成阶段。油气田卤水中的碘含量已达到 100 ~ 200 mg/L 以上。如: 前苏联东喀尔巴阡山前拗陷第三纪博力斯拉夫油气田水和西科彼特地区白垩纪含天然气卤水等。此阶段是高碘卤水的主要形成时期。

1.3.3 晚期阶段

此时期沉积物埋藏于 3 000 米以下的深度, 成岩作用已进入后期阶段。除了富碘有机物质被继续受热催化降解, 碘不断向孔隙水或裂隙水中迁移聚集外, 此时 CaCl_2 型卤水已经形成, 岩石颗粒表面吸附的碘被解附(由于水温和水成分的改变引起的), 也加入到油气田水中。在水文地质条件的影响下, 富碘卤水在储集层中伴随着石油和天然气继续向盆地中部的构造带水力活动的缓慢交替带和停滞带迁移集中, 使卤水中的碘达到高度地富集。如: 美国安纳达科盆地石炭纪的高碘卤水等。

在褶皱区山前拗陷和山间拗陷的某些含油气盆地中, 此阶段由于构造强烈褶皱伴随着断裂和泥火山, 原生油气藏和高碘卤水聚集遭到破坏, 形成了生油岩系外的次生油气藏, 高碘卤水也随之散失到上覆岩层中(碘含量显著降低)。由此看来, 褶皱区在此阶段有时伴随着高碘卤水破坏的情况。

1.3.4 后期阶段

此阶段发生于成岩作用和构造形成以后, 也是在一般油气藏形成以后。地表水或潜水加入富碘有机质的岩石裂隙中(特别是泥质碳酸盐), 使这些岩石中的富碘有机质(如: 沥青干络根等) 遭受氧化分解, 碘又进一步向水体中迁移、富集。这种情况有时也具有相当高的碘含量。如: 我国贵州平坝县的高碘卤水。这种高碘卤水的规模和储量受着很大的局限性。

上面所述, 高碘卤水形成过程的 4 个阶段, 其中以中期和晚期阶段较为重要, 是高碘卤水的主要形成时期。在含盐的油气盆地中, 有时在此形成过程中尚有盐类沉积的晶间卤水被挤入, 因而, 这些卤水中尚显示着高矿化度、高溴

和高钾的特点。

上述高碘卤水形成的过程, 对于一般含碘卤水来讲也是同样存在着。其主要差别在于原始有机物质的不同(富碘程度)。对于大陆盆地来讲, 尚存在着原始水体的性质不同(主要是 Na_2SO_4 型), 不过, 在成岩作用和卤水变质作用过程中也将转变为 MgCl_2 型水和氯化钙型水。

2 我国的找碘方向

目前, 已知碘的主要矿源有 3 种: 海藻、碘硝石和油气田卤水。这里以油气田卤水(地下卤水)为对象, 讨论我国的找碘方向问题。

根据上述高碘卤水分布的特点和它的形成条件, 结合我国的地质情况和含碘显示的分布, 将我国找碘的远景地区划分为 3 类: 最有希望的地区、有希望地区和希望较小的地区。

2.1 最有希望的地区

这里所指的是碘含量在 100 mg/L 左右和高于 100 mg/L 的高碘卤水分布区。

2.1.1 四川盆地的西北部

此区位于龙门山褶皱带的山前拗陷区, 上三叠纪和中三叠纪在此区已相变为浅海相和早期泻湖相沉积。前者由暗色灰岩、骨屑灰岩、暗色钙质泥岩和粉砂岩组成, 富含大量生物化石, 如: 海绵、腕足类、瓣鳃类、隐藻类、苔藓虫、有孔虫、菊石、海胆、海百合等。后者主要由富含蓝藻的白云岩组成。这些岩石富含有机质和黄铁矿, 说明了当时是在还原环境下形成的, 不仅有有机质保存和向石油沥青方向转化, 同时, 也有利于富碘物质保存和向水介质中迁移富集。从现代海生生物群含碘量的分析来看, 像海绵、海藻类等都具有相当高的碘含量, 因而, 在此区的地层水中有可能发现高碘卤水, 值得在石油勘探过程中给予注意。

2.1.2 贵州南部

这里, 中三叠纪嘉陵江统和中泥盆纪浅海相沉积是相当发育的, 前者主要由暗色钙质页岩、泥灰岩、钙质砂岩、藻屑灰岩、生物介壳灰岩、泥晶灰岩等组成, 生物化石丰富, 有腕足类、海百合、珊瑚、苔藓虫、层孔虫、瓣鳃类、腹足类

和菊石等,藻类(红藻)常富集呈生物礁体。后者主要由暗色泥岩、钙质泥岩、泥晶灰岩、灰岩等组成(厚约 800~1 000 m),生物化石丰富,有珊瑚、层孔虫、腕足类、棘皮类、瓣鳃类、有孔虫、竹节石、海绵骨针、绿藻、蓝绿藻等,有时形成生物礁。由此可见,这些沉积物富含大量有机质(同时也应是富碘的),同时也是处于还原环境下形成的(含有黄铁矿和菱铁矿),对于富碘有机质的保存和碘的迁移和富集都是有利的。在平坝县中三叠纪地层水中曾发现高碘卤水,说明了在贵州南部的其他地区的三叠纪地层同样可以发现高碘卤水。至于泥盆地发现高碘卤水还是很有希望,其有机质富集程度和成碘条件不比前苏联普里皮亚特盆地有何逊色。

2.1.3 台湾省

我国台湾岛与前苏联库页岛、日本诸岛和印度尼西亚均位于环太平洋褶皱带上(阿尔卑斯褶皱带),这些地区都具有相似的地质条件,同样赋存着大量油气田。在日本许多油气田中(特别是气田)发现了大量高碘卤水,前苏联库页岛油田水中含碘量也较高(高者达 65~79 mg/L)。因而,我国台湾省也同样应该有高碘的油气田卤水存在。在台湾岛的西部第三纪中新统和上新统地层是有希望的地区和层位。

2.1.4 塔里木盆地西南部

塔里木盆地西部喀什拗陷和西南部英吉沙—叶城拗陷,与前苏联中亚地区东、西土库曼、西科彼特达格等地有着相似的侏罗纪、上白垩纪和第三纪浅海相沉积,不仅含有石油,同时,也应该是一个高碘卤水的富集区。

2.1.5 准噶尔盆地

准噶尔盆地二叠系为浅海沉积由一套巨厚的暗色含碳酸盐细碎屑岩组成。其下部富含大量珊瑚、海百合和腕足类等化石。这些沉积中含有石油和沥青,因此,在其某些原生油藏的油田水和地层水中,有可能发现高含量碘。

除上所述,我国华北地区的下古生代的浅海相沉积中,华南(如:湖南、江西等)的下古生代和上古生代浅海相沉积中,海相生物群很发育,有机质丰富,同时均有不同程度的石油和沥青显示,因而,在某些地区的地层水中或石油水中有可能发现高含碘量卤水,值得在今后的石油勘探中给予重视。

2.2 有希望的地区

这里,所指的有希望地区,即陆相含油气盆地的湖相沉积分布区、海相含油气盆地泻湖相分布区和浅海相珊瑚礁外分布区的油气田卤水和地层水。其含碘量一般数 10 mg/L,高者有时可达近百 mg/L。

①江汉盆地、南阳盆地、苏北拗陷、华北地区下第三纪的油气田卤水;

②柴达木盆地西部和准噶尔盆地南缘某些第三纪下部的油气田水和地层水;

③酒泉盆地西部第三纪中新统和下白垩纪油田水和地层水;

④四川盆地三叠纪和侏罗纪油气田水;

⑤贵州北部三叠纪气田水。

2.3 希望较小的地区

这里,所指的希望较小的地区,碘含量一般都在 20 mg/L 以下。其中包括一些与含煤沉积环境有关的油气田水、滨海相沉积中(特别是河流三角洲相)油气田水、以及许多非生油岩系内的次生油气藏所伴随的油气田卤水。如:我国西北地区各含油气盆地上三叠纪和侏罗纪油田水、我国东部一些含油气盆地被断裂后复杂化油气藏的油气田水等。

上述意见仅是根据不完整的资料进行了一些推断,因而是成熟的,有待于通过进一步勘探和研究加以补充和证实。

(参考文献略)

Distribution and Evolution Characteristics of China's Iodine-rich Brines: 3. Formation Condition of the Brines and Iodine Exploration Orientation

SUN Da-peng

(Xi'an Branch, Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710043, China)

Abstract: Based on extensive literature, the paper deals with the distribution of China's iodine resources as well as the geological conditions for its formation. In combination with the evolution, storage types and distribution features of petroleum and natural gases, the author summarized the distribution of iodine-rich brines and its formation conditions. Further, the orientation for exploring iodine resources was proposed.

Key words: Brine; Iodine; Ground brine; Distribution characteristic; Evolution

《盐湖研究》合订本征订启事

《盐湖研究》是原国家科委批准的学术类自然科学期刊,由中国科学院青海盐湖研究所主办,科学出版社出版,1993年创刊并在国内外公开发行。《盐湖研究》自公开发行以来,深受广大读者的厚爱,为了便于我刊读者和文献情报服务单位系统收藏,编辑部已完成2000年—2005年《盐湖研究》的合订本装订工作。合订本共计4册,每册仅收取工本费90元。数量有限,欲购者请与《盐湖研究》编辑部联系,联系电话:0971—6301683。