

我国卤水溴资源及其开发前景展望

林耀庭

(西南石油局第二地质大队, 四川自贡 643013)

摘要: 溴在自然界无独立的矿物, 呈强分散性稀有元素, 散布在地壳水圈里, 以油气田地下卤水、盐湖卤水、矿场盐卤水含溴浓度相对较高。溴在国民经济的用途广泛, 是我国紧缺物资, 产不敷消。而我国卤水溴资源分布广泛, 类型齐全, 同时常伴有 K、B、I、Li 等多种有用组分。充分发挥各类卤水溴资源特点, 提高卤水溴资源综合利用水平, 其开发前景广阔。

关键词: 溴; 地化特征; 用途; 资源特点; 开发前景

中图分类号: P619.211 文献标识码: A 文章编号: 1008-858X(2000)02-0059-09

我国地域辽阔, 有众多的盐湖、丰富的油气田地下卤水和被誉为矿物宝库的海水资源。这些场所和资源赋存着多种稀有组分, 如 K^+ 、 Br^- 、 I^- 、 B^{3+} 及 Sr^{2+} 、 Li^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 等。这些组分在国民经济中具有广泛而重要的用途, 特别是溴素, 它在自然界没有独立的矿石, 至今只能从卤水中提取。世界上溴的年产量于 1990 年已达 $42 \times 10^4 t$, 95% 集中产于美、以、独联体、日、英、法少数国家, 我国溴的年产量仅占世界总产量的 2%, 世界其它国家产量合计也仅占 2 左右^[1]。

美、以、俄、日等国家对卤水溴资源开发很重视, 已建立相应的溴化工业。如美国、日本从油气田地下卤水提取溴的生产不断扩大, 产量逐年增加, 仅 1975 的统计, 产量已比 1960 年翻了 6 倍, 达 $18.9 \times 10^4 t/a$; 原苏联 70% 的溴是从油气田地下卤水中提取^[2]; 以色列每年从死海生产溴产品 $(11 \sim 12) \times 10^4 t$ 。我国卤水溴资源分布广泛, 有多种类型, 具有一定资源优势, 开发前景广阔。但目前我国卤水溴化工业尚较落后, 产不敷消, 缺口很大。因此加强并合理开发利用我国卤水溴资源, 提高利用水平, 发挥其应有的经济效益和社会效益则是非常重要的。

1 溴的地化及地壳分布特征

溴在地壳中含量稀少而分布很广(其克拉克值仅为 $(5 \sim 6) \times 10^{-4} \%$), 是一种挥发性液体, 属强分散性元素。溴元素化学性质与氯相当, 它与碱金属、碱土金属形成的化合物可溶于水及多种有机溶剂, 具低沸点、易熔化和强分散性地化和物化特征(表 1)。这些特征确定了溴在地壳上的分布主要是呈多种溴化物的离子状态, 散布在地壳的水圈里。实际上地壳中 99% 的溴都分散在海水中, 虽在生物圈里某些海洋生物体内和岩石圈里氯化物型蒸发岩内也有稀散分布(溴以类质同相的形式置换氯离子, 进入氯化物盐的晶格)^[3], 但为数不多。自然界含溴浓

度相对较高的场所是油气田地下盐卤水, 盐湖卤水以及 $\text{MgCl}_2\text{—NaCl}$ 型浓盐卤和钾盐矿场卤水。

表 1 溴的地球化学及理化特征简表^[1]
Table 1 Geochemistry and properties of bromine

元素	原子	相对原	相对分	地壳中的	晶体离	外围电子	溶点	沸点	熔化热	蒸发热	密 度	
											溴 液	液蒸气
符号	序数	子质量	子质量	克拉克值 (%)	子半径 (毫微米)	层排布	$t/^{\circ}\text{C}$	$t/^{\circ}\text{C}$	$Q/(\text{J/g})$	$Q/(\text{J/g})$	$\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$	$\rho/(\text{g}/\text{L})$
Br	35	79.904	159.83	$5\sim 6\times 10^{-4}$	1.96	$4\text{s}^24\text{p}^5$	-7.3	55.78	92.06	199.80	3.119	7.59
化合价		自然界同位素		水中的溶解度		人与溴液和溴蒸气连续接触(以体积比计)						
主要	变价	种类	丰度	水 温 $t/^{\circ}\text{C}$	溶解度 $\rho/(\text{g}/\text{L})$	中毒浓度 $\rho\times 10^{-4}$ /(kg/L)	中 毒 反 应		安全浓度 $\rho\times 10^{-4}$ /(kg/L)	安 全 性		
-1	+1	^{79}Br	50.57	20	3.22	500~1000	短时间接触即能致命 >0.5-1h 有生命危险		<1	8h 内接触安全环境 空气 ACGIH 浓度		
+5	+7	^{81}Br	49.43	55	3.41	40~60			>0.1			

地壳上溴资源的地质分布,基本上与地质水体相关。按其产出地质环境的不同,可将卤水溴资源分布为四种类型(表 2)。其中海洋水溴资源类型的数量最大;油气田地下卤水和盐湖卤水是当今世界上产量最多的溴资源类型;盐矿场卤水是近年开发发展最迅速的溴资源类型。

2 溴的用途及产销形势

溴的上述独特的地化和理化特征,使它成为国民经济发展中的重要基础化工原料,在工农业及军工领域中具有广泛和特殊的用途。其化合物的 50%以上用于石油抗震添加剂,其它用于阻燃、灭火、医药、印染、农药、感光 and 军工等多个领域^[4]。在军工宇航方面,用于潜艇、舰船、宇航飞行器温度调控及毒气、摧泪弹制造等。因而西方国家曾将溴产品列为战略储备物资,对其用途及产品、产量十分保密。

近年来世界溴化工产品耗量已突破 $40\times 10^4\text{t/a}$,以 1990 年为例,用于石油添加剂耗量为 $5.77\times 10^4\text{t}$,阻燃剂 $11.70\times 10^4\text{t}$,农药为 $8.4\times 10^4\text{t}$,环保净水 $4.2\times 10^4\text{t}$,钻井选矿 $4.10\times 10^4\text{t}$,其它为 $7.50\times 10^4\text{t}$,共计 $41.69\times 10^4\text{t}$ 。而近 20 年来溴化工产品产量年平均增长率约为 30%(图 1),产销基本平衡。我国年耗溴量 $2\times 10^4\text{t}$ 以上,自产溴化工产品 6 大系列 20 个品种,年产量已达 $1.50\times 10^4\text{t}$ 左右,自给不足,尚需进口精细产品。

3 卤水溴资源特点

3.1 卤水溴资源主要分布在地壳的水圈里

溴是一种活泼的卤族元素,自然界迄今尚未见含溴的固体矿产,而主要赋存于海洋水、油

表 2 各类卤水溴资源的溴含量及其化学组分表^[5-10]
Table 2 Bromine content and chemical composition of various bromine-containing resources

溴资源 类 型	产 地	层段岩性	含盐总量 $\rho/(g/L)$	溴含量 $\rho/(mg/L)$	其 它 化 学 组 分 含 量 $\rho/$ (mg/L)						HCO_3^-	
					Na^+	K^+	B^{3+}	I^-	Li^+	Cl^-		SO_4^{2-}
海 洋 水	英国西海岸(大西洋)	海洋水	34.63	65	10500	380	4.6			19000	2625	
	日本九州(太平洋)	海洋水	33.31	65	10500	380	4.6	0.06	0.17	19000	3648	160
	中国山东莱州湾	海洋水	34.39	70	10560	380				18980	2650	140
盐 湖 卤 水	以色列死海	封闭海水	315.00	4000	31000	6000			20	161000	500	240
	土库曼里海	泻湖浓海水	322.62	380	511	46000	130		9	131000	61100	
	美国西尔兹湖	内陆盐湖	343.88	800	109400	24000	1260	30	34.38	215000	45700	2720
	中国青海大柴旦盐湖	内陆盐湖	290.37	90.31	85940	4000	745	4	2.5	158790	23980	1890
	中国青海察尔汗盐湖	内陆盐湖	338.40	49.80	28190	6700	280	2	75.0	225820	7090	650
油 气 田 地 下 卤 水	美国路易斯州Euninne	(J)斯马克奥弗	354.24	4800	63300	1370	140	5	170	197600	350	200
	美国密执安州	(D)Filer砂岩	310.00	2000	14000	8000	300	40	60	200000	400	
	俄罗斯СИЪИРСК土新斯卡亚	($\in$)	541.90	7210	11360	20500		5.7	54	337510	90	571
	白俄罗斯ПРИНАТСКИ	(D)火山沉积岩	369.58	4030	38860	2460		84	240	230110	140	210
	日本本州新潟	(N-Q ₁)		136	11840	600	84	71		20590		925
	中国山东莱州湾	(E _{2s})冲积层	172.14	350	53420	1410	17	22		97670	11200	
	中国四川威远气田	(Z)	80.00	640	27930	2918	149.4	15.07	128	49200	2153	
	中国自流井气田黑卤	(T _{1j} ³ -T _{2j} ¹)	250.00	650	92500	3500	543.5	16	60	155000	1950	350
	中国自流井气田黄卤	(T ₃ X _j)	185.00	1050	55000	475	28	22	30	112500		450
	中国四川宣汉	(T _{2j} ¹)	352.69	1675	100517	25955	1078	38	323	201971	375	337
	中国四川西部	(T _{2j} ⁴)	377.27	2533	96789	53267	4994	38.4	89.8	210084	1394	1129
	中国湖北潜江	(E ₂)	331.44	509	120430	5930		27	45.0	198830	790	360
中国湖北沙市	(E ₂)	325.00	230	103660	9053	14.4	42	65.0	198800			
矿场盐 卤水	以色列死海Sodon	钾盐矿场卤	317.16	5900	35000	7600			20.0	203000	540	
	俄罗斯ВОСТОЧН ₂ СН-ЪИРЬ	封闭变质卤	599.00	8080	11200	21130		5		323700	1048	1554
	中国山东东营	井卤滩晒卤	273.00	407	30490	3050	17	18.7	37.9	202380		

气田地下卤水和盐湖卤水。溴在油气田地下卤水中的含量较高,是重要的溴资源来源。原苏联 70% 的溴是从油气田地下卤水提取的;美国于 1969 年起所有生产的溴都来自油气田地下卤水,形成密执安的米德兰地区的制溴中心,其产量占世界溴产量的一半以上。我国四川、江汉、东营等油气盆地所利用的溴资源也都为油气田的伴生卤水。

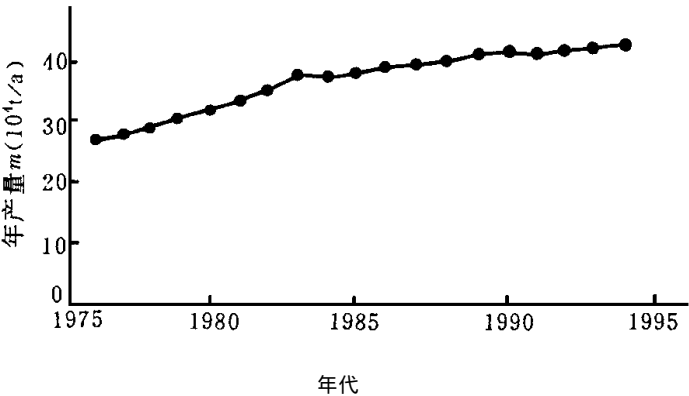


图 1 世界溴化工产品增长情况表

Fig. 1 Increasements of the world's bromine products

3.2 卤水溴以微量组分形式出现

从世界各类卤水溴资源的化学组分及溴含量看出(参见表 2):溴都以微量组分形式分布在氯化物型卤水、氯化物硫酸盐型卤水和碳酸盐型卤水中,不同地区卤水溴资源的含量与其存盐的含量比例各不相同,溴的含量迥异,但均以微量组成形式出现,而不象其它固体矿产有较固定的溴含量。通常而言海相盆地卤水溴含量较陆相盆地卤水的溴含量偏高。

3.3 地下卤水溴含量随卤水矿化度提高和卤水变质作用的加深而增加

溴是油气田地下卤水中分布最为普遍的微量元素。以四川盆地为例,几乎所有的油气田地下卤水都有分布,其溴含量与卤水变质作用的加深及矿化度关系极为密切^[9]。据四川盆地 67 个油气田构造的 240 个卤水分析资料的统计研究,其相关系数达 0.969,其关系式为(图 2)^[11]:

$$y = 8.135x - 138.7$$

式中: y 为 Br 的含量, mg/L ;
 x 为气田卤水的矿化度,
 g/L 。

对于盆地各不同地区,油气田地下卤水溴含量与矿化度关系,也相似于盆地整体,参见图 2 及表 3。

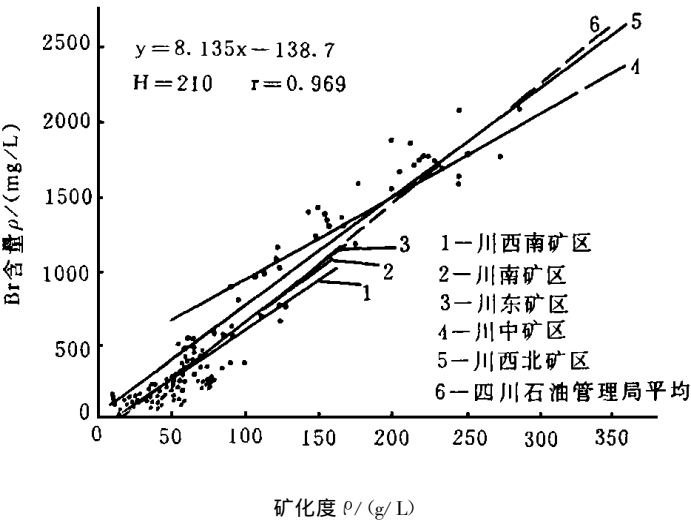


图 2 四川各矿区气田水中 Br 含量与矿化度关系图

Fig. 2 Connection diagram of bromine content with mineralization degrees in gas waters of various mineral lots of Sichuan province.

表 3 四川各矿区地层中 Br 含量与矿化度关系统计

Table 3 Statistics of the connections of bromine content with mineralization degree in ground layer waters of various mineral lots of Sichuan

矿 区	样本数	Br 含量(y)—矿化度(x)	相关系数	备 注
川 东	21	$y=7.77x-103.0$	0.886	单位 y —mg/L x —g/L
川 南	142	$y=7.72x-125.6$	0.899	
川西南	25	$y=6.90x-85.8$	0.930	不包括威远
川西北	10	$y=7.49x+11.3$	0.972	
川 中	32	$y=5.63x+397.1$	0.886	

3.4 盐湖卤水溴资源大量分布于干旱地区

卤水溴资源赋存于海洋水、油气田地下卤水和地表盐湖, 而内陆盐湖大多分布于气候干旱地区。如美国西尔兹盐湖年平均蒸发量 1800~2700mm, 夏季白天平均温度 43.3℃, 最高达 47.8℃; 夜间 23.9℃, 平均降雨量 101.6mm; 美国内华达州银峰盐湖气候干燥, 年平均蒸发量 1250mm 以上, 而 4—8 月份蒸发量占 75% 以上; 我国青海大柴旦盐湖年蒸发量为 1800mm, 而年降雨量仅 100mm。内陆盐湖地处干旱区, 蒸发量大, 有利盐湖卤水的自然蒸发浓缩, 使卤水溴浓度增大。但盐湖地区多为交通不便, 社会设施较差, 给溴资源开发带来不少困难。

3.5 油气田地下卤水溴资源常与天然气伴生, 有利开发

油气田地下卤水溴资源常与天然气伴生, 往往发现于天然气勘探开发之中, 形成气水同产现象。在气田构造中多以气藏的边水或底水形式出现, 常随天然气的采出而采出。以四川盆地为例, 盆地 85% 的已知气田具有封闭型边、底水^[12], 有水气藏已占投入开发气藏的 84%, 有水气藏的地质储量占总探明储量的 76.4%^[13], 这充分反映了油气田地下卤水溴资源常与天然气伴生的特点。

随着我国油气勘探开发工作的不断深入和发展, 各油气远景盆地将部署大量油气探井, 这无疑在客观上为我国找到更多的油气田地下卤水溴资源提供了有利条件, 溴资源将不断得以扩大。与此同时, 它与天然气密切伴生, 天然气地下压力往往可达 $1.01\times 10^4\text{kPa}$, 在天然气开发同时, 借天然气压力可将卤水送至地面, 为卤水溴资源的利用提供了方便。此外天然气开发过程中, 也迫切要求处理和利用这些气田卤水, 以便排水采气, 解决环境污染问题^[9], 有利于生态环境保护。

3.6 卤水溴资源常伴生其它多种有用组分, 具综合开发利用特点

从表 2 可知各类卤水溴资源都无一例外, 除含 Br 外, 尚含有 K、I、B、Li、Sr 等其它多种有用组分, 其含量也均能达到或超过工业指标, 具综合开发利用的特点。这就有利于提高卤水溴资源综合开发利用的经济效益和社会效益。以四川磨溪气田构造卤水为例, 卤水溴资源开发利用, 其产值占总产值的 25.3%, 而综合利用开发的氯化钾、碘素、碳酸锂、食盐、旦巴等产品, 其产值分别占总产值的 8.4%、9.19%、11.5%、21.9%、4.2% 和 19.5%, 合计为 74.7%, 是溴素产

值的3倍^[10],表明综合开发前景广阔。

4 我国卤水溴资源开发前景展望

我国卤水溴资源分布广泛,类型齐全,有海水苦卤溴资源,盐湖卤水溴资源和油气田地下卤水溴资源等,只要充分发挥我国各类卤水溴资源特点,其开发前景是广阔的。

4.1 海水苦卤溴资源

全世界海水约 $14.56 \times 10^9 \text{ m}^3$, 1 m^3 海水溶解的物质为 $0.35 \times 10^9 \text{ t}$, 其中濒临我国渤海、黄海、东海和南海的溴元素为 $2.5 \times 10^{11} \text{ t}$ ^[14]。我国东南沿岸北起东北辽宁,东沿天津、河北、山东、江苏、浙江、福建,南至广东、广西、海南等10省市为基础,现已形成海盐生产体系,有盐田面积 $3.6 \times 10^3 \text{ km}^2$,日晒制盐能力达 $1600 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。自改革开放以来,渤海湾和江浙沿岸盐场,充分发挥海水苦卤综合利用的条件和优势,吸收消化了国内外先进工艺技术,实现了“空气吹出酸法喷雾捕沫吸收尾气封闭循环制溴工艺”的成功突破,使海水制盐苦卤“先提溴后提钾”的优化工艺路线得以推广,形成溴产品规模性开发,仅进入20世纪90年代短短的几年里,我国溴素的产量已翻了两番,国内溴化工产品总量也由1990年的8000t/a到1994年猛增到15000t/a以上。目前全国海水制盐苦卤溴资源利用尚不到三分之一,若能将这一提溴工艺技术扩大推广到全国沿海各省盐场,提高海水苦卤综合利用水平,充分发挥其资源特点,海水苦卤溴资源的开发前景显然是广阔的,这对发展我国溴工业是极重要的一环。

4.2 油气田地下卤水溴资源

我国四川、江汉、东营等盆地都有油气田地下卤水分布,卤水含溴浓度高,并含有多种其它有用组分,有的已开发利用制盐,且历史悠久,具有一定的综合开发工业基础条件。油气田地下卤水含溴浓度及综合开发的经济价值均远高于海水苦卤溴资源,应为我国重点开发的溴资源。现以研究程度相对较高的四川盆地为例,油气田地下卤水溴资源具分布广、品质优、资源丰富等优势特点。

4.2.1 时空分布广

四川盆地油气田地下卤水自震旦系至白垩系均有分布,形成9大油气田水岩系及21个区域油气田水层,具多产层特点^[13]。在空间上油气田地下卤水分布在盆地众多的油气田构造,就目前已掌握的资料,盆地已有油气田地下卤水显水的构造180余个,从川东—川中—川西,川东北—川西北—川西南油气田地下卤水溴资源星罗棋布。

4.2.2 含溴浓度高,品质优良

盆地油气田地下卤水溴浓度普遍较高,据资料溴含量通常均能达到300mg/L以上(单独开采工业品位)。如下、中三叠系卤水溴含量一般为1500~2000mg/L,最高可达2533~2640mg/L,为单独开采品位的8.4~8.8倍;上三叠系为690~1900mg/L,为单独开采品位的2.3~6.3倍;威远震旦系气田水虽矿化度仅80g/L,但溴含量也可达40mg/L;寒武系卤水溴含量可达1002mg/L,石炭系为625mg/L,二叠系可达1602mg/L。据初步统计盆地油气田地下卤水溴含量达标的(达到300mg/L的单独开采工业品位)油气构造至少已有72个,详见图3。从该图可知各时代层系气田卤水溴含量除奥陶系卤水外,均达到单独开采的工业指标,且溴含量超出很

多。

若按油气田地下卤水溴含量的工业下限标准 20 ~ 200mg/L 来衡量,则盆地油气田地下卤水矿化度达到 20g/L 的都具工业价值^[11]。

值得指出的是盆地油气田地下卤水同时富含 K、B、I、Li 等多种有用组分,通常其含量也达到甚至超过工业品位,如川西某气田构造, K、B 含量分别达 53.27g/L 和 4994.36mg/L,其含量之高,实为世界罕见^[9]。可见盆地油气田地下卤水具良好的质量优势,具综合开发价值。

4.2.3 资源丰富

据国家“七·五”期间中国地质大学(北京)对四川盆地地下卤水评价研究资料,盆地卤水资源量为全国之冠。其中三叠系含水岩系地下卤水资源量为 $1.87 \times 10^{12} \text{m}^3$,占 90.63%。从盆地主要气田构造三叠系的五个卤水层计算,卤水潜在资源量(即气田构造圈闭范围内的卤水储量)为 $1.88 \times 10^{11} \text{m}^3$,可采资源量(即气田构造隔水边界所圈范围内的卤水储量)为 $1.43 \times 10^{10} \text{m}^3$ 。虽然四川盆地气田地下卤水开采历史悠久,其中驰名中外的自流井背斜气田卤水开采近 2000 年历史,但合计仅采出 $1.95 \times 10^8 \text{m}^3$,由此足见四川盆地油气田地下卤水资源极其丰富,具有巨大的数量优势。

4.3 盐湖卤水溴资源

我国盐湖分布很广,以青、藏、蒙、晋、新疆等省区最多,这些盐湖皆为内陆盐湖,卤水溴浓度虽不及油气田地下卤水的高,如青海大柴旦盐湖卤水溴含量仅 90.31mg/L,察尔汗盐湖卤水为 49.8mg/L,但在开发氯化钠、硫酸钠、氯化镁、氯化钾及硼、锂资源时,溴资源可综合回收利用。如山西运城盐湖,主产品是食盐和芒硝,现已发展成为一个多种产品无机化工原料基地,而且曾一度生产溴素。

青、藏盐湖富含硼、钾、锂,内蒙盐湖以天然碱著称,均或多或少含溴,是盐湖卤水工业宝贵的资源,随着盐湖地区交通及社会设施条件的改善,必将同时促进盐湖卤水溴工业的发展。

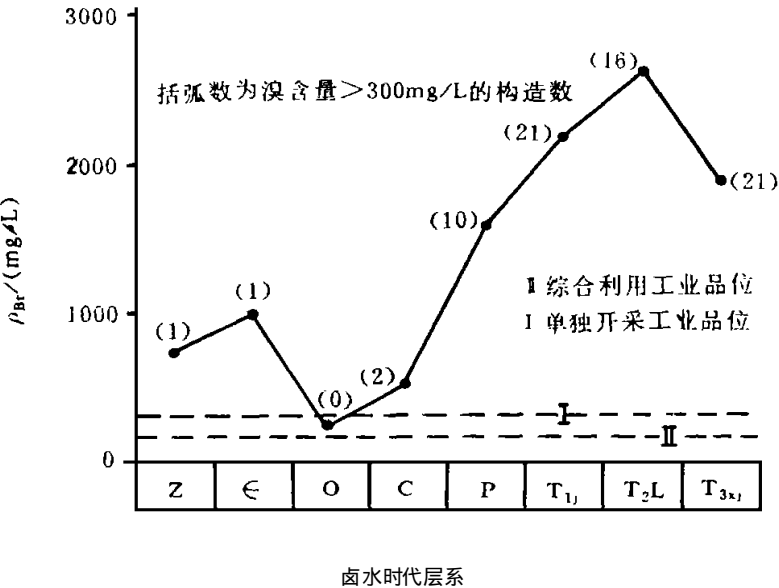


图 3 四川盆地各时代气田地下卤水含溴量及> 300mg/L 的构造数图
Fig. 3 Bromine content of gas field and underground brine of Sichuan Basin in various ages and number of the structures with a bromine content of over 300 mg·L⁻¹

5 结论

(1)我国卤水溴资源分布广泛,类型较多,资源丰富。中西部的川、鄂、黔、滇等省地下卤水含溴浓度高,伴生工业开采价值的有用组分多,并已具有一定的综合开发利用的基础条件(如四川、江汉),其综合开发的经济价值极高。随着我国油气开发重心的西移,中西部油气田地下卤水的环境污染治理日趋迫切。因此,应考虑我国溴化工产业结构布局调整,大力发展我国中西部油气田地下卤水溴化工产业。与此同时,继续发展我国沿海盐场苦卤和浅层地下卤水溴资源开发的推广利用,使沿海溴工业进一步发展壮大。对我国盐湖卤水溴资源则应提高综合利用水平,对工艺和设备加以改革,随着盐湖交通及社会设施条件的改善,进一步促进盐湖卤水溴工业的发展。总之要根据各类卤水溴资源的特点,努力提高溴资源综合利用水平,充分发挥资源的作用,促进卤水溴工业的发展。

(2)我国目前溴工业还较薄弱,生产工艺及技术设备尚落后,能耗及成本偏高,产量及深加工系列配套能力低,产品粗多精少,质量较低,产品仅限于阻燃、制药、印染、环保、农业、有机合成等少数领域,而大部分尚需要靠进口原料加工,很多精细产品仍需进口。随着国民经济的高速发展,国内石油化工、农药、有机合成、环保净水、阻燃灭火、塑料橡胶、和军工等诸多领域对溴化工产品需求迫切,应考虑溴化工产品结构和技术结构调整,变产量型为品种质量型,向深层次深加工开发发展,扩大品种范围,提高产品质量。总而言之,我国卤水溴资源的开发前景应是乐观和广阔的。

参考文献:

- [1] 金锋. 溴资源开发现状及产品发展前景[J]. 盐类地质. 1995 (1).
- [2] 林耀庭. 四川盆地气田水分布特点及开发利用意义[J]. 致密岩石气藏勘探开发. 1998 (1).
- [3] 林耀庭. 溴的地球化学学习性及其在四川找钾工作中的应用[J]. 化工矿产地质. 1995 (2): 175-176.
- [4] 林耀庭. 等. 四川盆地卤水资源优势及其开发利用展望[J]. 矿产保护与利用. 1996 (4): 12.
- [5] 黄师强. 论卤水提锂[J]. 海盐与化工. 1993 (3).
- [6] 盐类沉积学术会议论文集[C]. 中国矿物岩石地球化学学会, 沉积学会. 1994.
- [7] 水文地质工程地质地貌及第四纪地质学术论文专辑[C]. 四川: 四川省地质学会. 195.
- [8] 林耀庭. 等. 四川某地富矿卤水水文地球化学特征及其成因资源意义[J]. 岩相古地理. 1996 (4): 17.
- [9] 林耀庭. 四川气田水综合开发前景展望[J]. 中国地质. 1999 (5): 23-24.
- [10] 杨立中. 论四川盆地地下卤水资源开发利用现状及对策[J]. 四川地质学报. 1992 (3): 229.
- [11] 胡先栋. 四川气田水微量元素的分布规律及其工业价值[J]. 天然气工业. 1995 (6): 70-71.
- [12] 冉隆辉. 等. 四川盆地的气田开发[J]. 天然气工业. 1995 增刊: 9.
- [13] 许可方. 四川气田排水采气工艺技术[J]. 天然气工业. 1995 增刊: 24.
- [14] 崔清晨. 海洋资源[M]. 北京: 商务印书馆. 1981.
- [15] 林耀庭. 四川盆地卤水的氢、氧同位素地球化学特征及其成因分类研究[J]. 地质地球化学. 1997 (4): 20-21.

Bromine Resource in Brines and Its Exploitation Prospect

LIN Yao-ting

(No.2 Geological Team of Southwestern Petroleum Bureau, Zigong, China, 643013)

Abstract: Bromine is a scarce element with no isolated mineral form in nature, with is distributed in the hydrosphere. Its content is relatively high in gas field and underground waters, Salt Lake Brines and waters etc. Bromine is widely used in the national economy and its supply can not meet the demand. However, it is extensively distributed in brine resources of our country and coexists with various useful resources like K, B, I, Li, etc. Comprehensive utilization of bromine resources according to the specific characters of various brines can provide us a brighter prospect.

Keywords: Bromine, Geological features, Usefulness, Resource character, Exploitation prospect

学位论文简介

过饱和 MgSO_4 溶液的 X 射线研究

该文为硕士学位论文, 于 1999 年 5 月在中国科学院青海盐湖研究所完成。

该论文进行了过饱和 MgSO_4 水溶液结构的 X 射线衍射研究, 其溶液的水与盐之比及过饱和度分别是样 A 为 1:16 11.3%; 样 B 为 1:17, 3.496%。获得了过饱和 MgSO_4 溶液中关于 Mg^{2+} 阳离子水合、 SO_4^{2-} 阴离子水合和接触离子对 $\text{Mg}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}$ 形成的进一步的信息; 给出了数据组合前后的实验强度图形, 极化校正后的实验强度图形, 实验与理论的 Si-S 曲线, 实验与理论径向分布函数曲线。研究结果表明, 溶液中的 Mg^{2+} 离子周围存在两个水合层, 其中第二水合层中的水分子通过氢键与第一水合层中的水分子结合; SO_4^{2-} 阴离子周围具有确定的水合层, 外层水分子通过氢键与 SO_4^{2-} 基团中的 O_s 原子结合, 实验曲线也确实给出了 SO_4^{2-} 离子周围水合层的峰, 它与阳离子第二水合层形成的峰相互重叠。并且在过饱和溶液中其基团内部的 O_s 原子间的相互作用随着过饱和溶液浓度的增大而显著增强。同时在过饱和 MgSO_4 溶液中形成了接触离子对 $\text{Mg}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}$, 而该离子对的形成对于稳定溶液过饱和状态具有重要意义。通过设计理论结构函数模型对实验结果进行了进一步的解析。研究所得结构参数均与文献值接近。

论文完成者: 郭亚梅。

论文导师: 房春晖(中国科学院青海盐湖研究所, 研究员)。

Study on X-Ray of Oversaturated MgSO_4 Solution

(整理供稿 宋粤华)