

四川盆地气田水及开发利用展望⁽²⁰⁾

林耀庭, 曹善行

(西南石油局第二地质大队, 四川, 自贡 643013)

摘要:四川盆地天然气和气田水开发历史悠久。气田水具分布广、产层多、低孔渗、高承压、品质优、资源富和气水同产等特点。气田水不同程度的富含溴、碘、钾、硼、锂、铷等多种有用元素, 含量多超出开采利用品位, 为优质液态矿产资源, 经济价值极高, 综合开发利用将为国家提供多种紧缺的无机化工原料, 同时对弥补我国钾盐资源短缺具有重要意义, 并可促进天然气的开发。

关键词:气田水; 综合开发利用; 四川盆地

中图分类号: P641.131

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(1999)04-0031-08

0 引言

四川盆地天然气和盐卤水资源丰富, 开发历史悠久, 是世界上最早发现和开发利用天然气和盐卤水的地区, 对我国天然气和盐卤化工工业的发展贡献巨大, 对古代世界天然气工业发展和盐卤开发也作出过重要贡献。

四川盆地深层盐卤水往往发现于石油天然气勘探开发之中, 它常与油气共存于同一地质体内, 形成气水同产现象, 所以实际上四川盆地很多地下盐卤水就是气田水或油田水, 如威远气田水、磨溪气田水等。

盆地气田水除 NaCl 浓度较高外, 普遍不同程度的富含 Br、I、K、B、Li、Rb、Cs 等多种元素, 其含量均能达到或超过开采利用品位, 构成优质液态矿产资源, 有极高的经济价值及开发利用价值。国外对利用油气田水提取有用组分已日益重视, 生产不断扩大, 产量逐年递增。如日本、美国和前苏联都以气田水作提碘原料, 其中美、日从气田水中提取 I、Br 元素, 仅 1975 年统计资料, 其产量比 1960 年翻了 5-6 倍, 达 6500t/a 和 189 000t/a。原苏联 60-70% 的 Br 是从油气田水提取, 并取得显著的经济效益, 值得我国借鉴。

四川盆地气田水具有分布广、产层多、资源富、品质优、气水同产、利于开发等特点, 为四川的优势矿产资源。充分开发利用盆地气田水, 必将取得重要的经济效益和社会效益。

1 气田水的时空分布

1.1 气田水纵向分布具多产层特点

四川盆地面积为超过 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的大型叠层式自流盆地，自震旦纪以来盆地总体下沉，沉积盖层发育齐全，总厚 $6000 \sim 12\,000 \text{ m}$ 。其中中三叠世前是以碳酸盐岩为主的海相台地沉积，厚 $4000 \sim 7000 \text{ m}$ ；中三叠世后以碎屑岩为主的滨海—河湖相沉积，厚 $2000 \sim 5000 \text{ m}$ 。盆地气田水自震旦系至白垩纪各层系均有分布，具有多产层的特点。据资料盆地气田水分布有 9 大含气田水岩系及 21 个区域气田水层。其中上三叠系前碳酸盐岩气田水层 15 个，中三叠系的碎屑岩气田水层 6 个(表 1)。各气田水层与相邻蒸发岩或泥质页岩所构成的隔层组成了相间平行叠置的含水组合^[1]，各储层间相互隔绝，形成独立的水力系统。盆地各层系气田水浓度、水型、氢氧同位素不尽一致(图 1)，反映了各层系气田水的形成条件不尽相同^[2]。

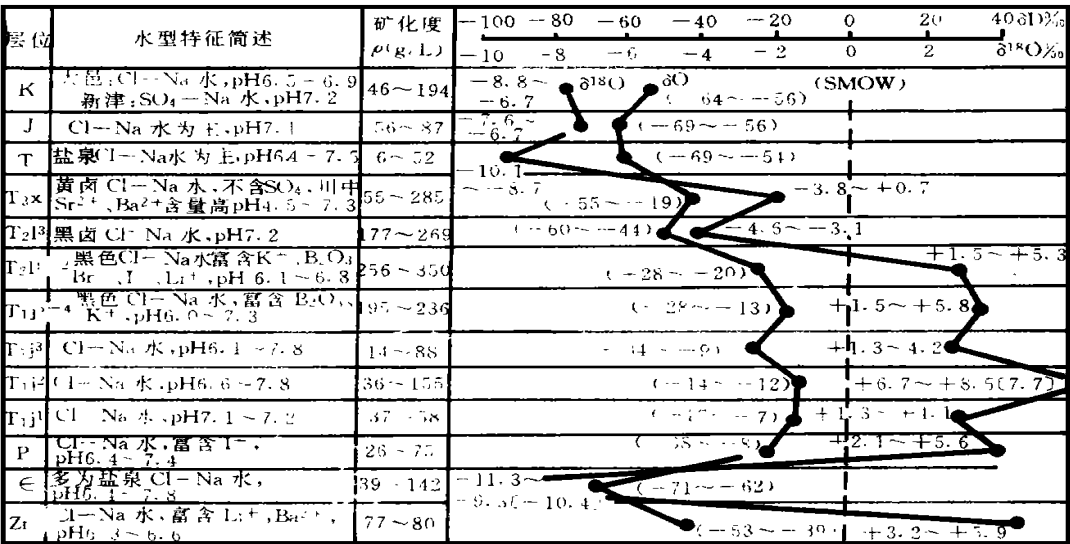
表 1 四川盆地气田水纵向划分示意

Table 1 Schematic diagram of the longitudinal division of the gas water in Sichuan basin

含卤层系	层位	编号	沉积环境及岩类	储卤类型
白垩纪	K	21	陆相碎屑岩－蒸发岩	碎屑岩储水类型
侏罗系	J _{2s} －J _{2x}	20	河湖相碎屑岩	
	J _{1-2z}	19		
上三叠系	T _{2x} ⁶	18	滨海－河湖相碎屑岩	
	T _{3x} ⁴	17		
	T _{3x} ²	16		
	中下三叠系	T _{2f} ⁴		15
T _{2f} ³		14		
T _{2f} ¹		13		
T _{1j} ⁵		12		
T _{1j} ³		11		
T _{1j} ²		10		
T _{1j} ¹		9		
T _{1f}		8		
二叠系	P _{2c}	7	浅海碳酸盐岩	
	P _{1m}	6		
石炭系	C _{2h}	5	海相碳酸盐岩	
奥陶系	O	4	浅海碳酸盐岩	
寒武系	Є ₂₊₃	3	海相碳酸盐岩－蒸发岩	
	Є ₁	2		
震旦系	Z	1	海相碳酸盐岩－蒸发岩	

1.2 气田水横向分布随层系不同而相对集中

盆地气田水分布随水文地质条件的差异及层系不同而相对集中,在诸多的气田水层,以上三叠系须家河组(T_{2x})气田水(通常称之黄卤)和中三叠系雷口坡组(T_{2l})及下三叠系嘉陵江组(T_{2j})气田水(即常称的黑卤)分布最广和最稳定,除盆地周边露头区和剥蚀区外,于盆地内均有分布。其中 T_{3x} 气田水主要在川中和川西南自贡地区, T_{2l}^3 气田水分布在乐山五通桥地区,氢、氧同位素相对较低($\delta D < 40\text{‰}$, $\delta^{18}O > -2\text{‰}$); $T_{1j}^5 - T_{2l}^1$ 气田水及上二叠系长兴组(P_2C)、下三叠系茅口组(P_{1m})气田水主要分布在自贡和川南泸州地区及川东北宣汉地区,氢、氧同位素为高值(一般 δD 在 $-20\text{‰} \pm$, $\delta^{18}O > 2.7\text{‰}$);震旦系(Zn)气田水则集中分布在川西南的威远背斜, $\delta^{18}O$ 为高值 $> 3.2\text{‰}$, δD 则较低 $< -39\text{‰}$ 。此外白垩系、侏罗系、三叠系各层系裸露型的盐卤水,主要分布在盆地周边地区,与大气降水关系密切,反映在氢、氧同位素为低值($\delta D < -50\text{‰}$, $\delta^{18}O < -7\text{‰}$),如图 2。



注:右侧图中所注数字分别为 $\delta^{18}O$ (不带括号) 和 δD (带括号) 的最小值—最大值,拐点及[]为平均值。

图 1 四川盆地各时代层系地下卤水同位素组成曲线图

Fig.1 Composition curves of isotops in the underground brine of different layer in Sichuan basin

2 气田水地质特点

2.1 气田水多属低孔隙渗透储集类型

按气田水储存介质的不同,盆地震旦系—白垩系大体可分为两大储集类型,即以上三叠系须家河组(T_{3x})底为界,其上是须家河组—白垩系以砂、泥岩为主的碎屑岩储集类型,其下为

沉积的压实作用,使地层岩石结构致密,孔隙微小,因此盆地气田水层,无论是碳酸盐岩或碎屑岩多属低孔隙、低渗透储集类型。只因后期受构造运动,特别是喜马拉雅运动的影响,盆地发育众多的局部构造,并伴随断裂发育,使储存在低孔渗介质中的气田水,在地静压力的驱动下富集到各局部构造隆起及断裂带之中。绝大多数碎屑岩平均孔隙度为 5.4%,渗透率 $<0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属低孔隙、低渗透储集类型。气田水的富集主要与构造断裂裂隙和成岩裂缝密切相关,大多具有非均质、各向异性特征。以上三叠系须家河组(T_{3x})气田水为代表,其储水层厚度、规模及单井水量较大,如川中蓬莱镇构造蓬基井 T_{2x}^4 气田水,自喷产水已 30 余年,累计产水量已逾 $4 \times 10^6 \text{m}^3$ 。而蓬莱镇构造的其它部位钻井产水量较少、差异极大。

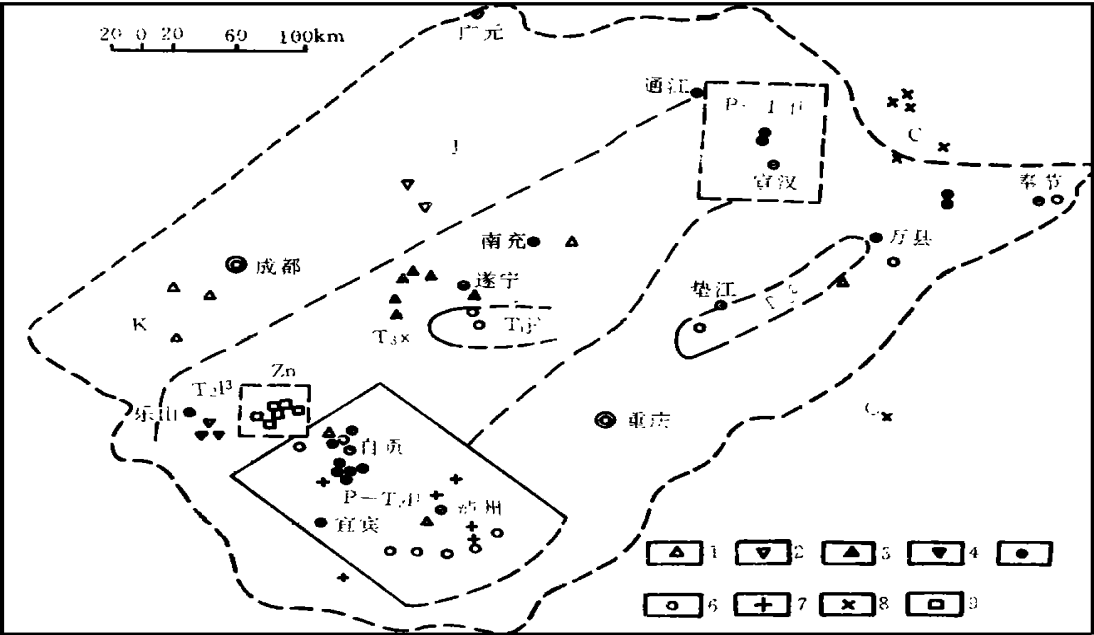


图 2 四川盆地各时代层系地下卤水分布略图

1.白垩系;2.侏罗系;3.三叠系须家河组;4.三叠系雷口坡组三段;5.三叠系嘉陵江组五段和雷口坡组

Fig.2 Sketch of underground brine distribution in different layers of Schuan basin

大多数碳酸盐岩储集层岩块的平均孔隙度 $<2\%$,渗透率 $<1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其中相对较好的储集,层孔隙度也只有 8~11%,渗透率仍 $<1 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 。从盆地多个产有气田水的构造研究表明,气田水富集的控制因素主要是断裂及其发育带,表现出极不均质、各向异性的岩溶-裂隙性储集特征,单井具有扩展并线性流动的水动力特征。如宣汉黄金口、自贡邓井关及垫江卧龙河等构造。

2.2 具气水同产特点

盆地气田水常与天然气共存于同一地质体系中,多以气藏的边水或底水形式存在,常随天然气的采出而采出。据资料四川盆地 85%的已知气田具有封闭型边、底水^[3],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地质储量的 76.4%^[4]。这不仅反映了四川盆地有水气藏多的特点,同时也说明了盆地气田水具气水同产的特点。

2.3 气田水浓度与岩相古地理及成盐关系密切

盆地气田水储存于不同层系的岩类之中,而不同的沉积岩类又形成于不同的岩相古地理及成盐环境。通常在正常海相沉积和碎屑岩建造区,气田水浓度较低,矿化度 36~150g/L;硫酸盐岩沉积建造区气田水浓度增高,矿化度在 150~330g/l;石盐沉积建造区气田水浓度高,矿化度>330g/L。可见盆地气田水浓度与各层系沉积建造及含盐性关系十分密切。

2.4 气田水常富含 Br、I、B、K、Li、Rb 等多种有用元素、品质优异

盆地气田水常富含 Br、I、B、K、Li、Rb 等多种有用元素,皆为国家紧缺物质,其含量通常能达到或超出工业品位,适合综合利用或单独开采。以川西北和川东北气田水为例,其含量分别为单独开采工业品位的数倍。

从表 2 可见,该两气田水 K⁺、B³⁺ 含量出现异常高值,成为当今世界上罕见的富钾、富硼气田水(图 3、图 4)。

表 2 川西北、川东北气田水有用元素含量与工业品位(mg/L) 对比
Table2 Comperisons of the contents of useful elements of the gas water
in northwest and hortheast Sichuan with these of industry levels

有用元素		Br ⁻	I ⁻	B ³⁺	K ⁺	Li ⁺	Sr ²⁺	Rb ⁺
工业品位	综合利用(A)	150	10	150	1300	13.1	22.1	10
	单独开采(B)	300	30	300	3100	24.6	44.2	20
气田卤水	川西北(C ₁)	2533	38.38	4994	53267	89.8	166	37.5
	川东北(C ₂)	1675	38.00	1694	25955	323.0	597	32.2
综合利用 增高倍数	C ₁ : A	16.89	3.84	33.29	40.97	6.85	7.51	3.75
	C ₂ : A	11.17	3.80	11.29	19.97	24.66	27.01	3.22
单独开采 增高倍数	C ₁ : B	8.44	1.28	16.65	17.18	3.65	3.76	1.88
	C ₂ : B	5.58	1.26	5.65	8.37	13.13	13.50	1.61

注:工业品位系根据 1994 年中国地质科学院矿床所宋鹤彬资料。

另值得一提的川东地区奥陶系、石炭系、三叠系产出有高碘气田水,碘含量为 50~100mg/L,有的甚至高达 235~290mg/L,为单独开采工业品位的 17 倍。溴含量也高,一般在 1500~2000mg/L,最高达 3470mg/L,为单独开采工业品位的 11 倍之多。震旦系气田水浓度虽偏低,但 K、Br、Li、B 等有用元素含量也较高。可见盆地气田水普遍品质优良,实际上是一种综合性的液态矿产工业原料,有极大的开发利用价值。

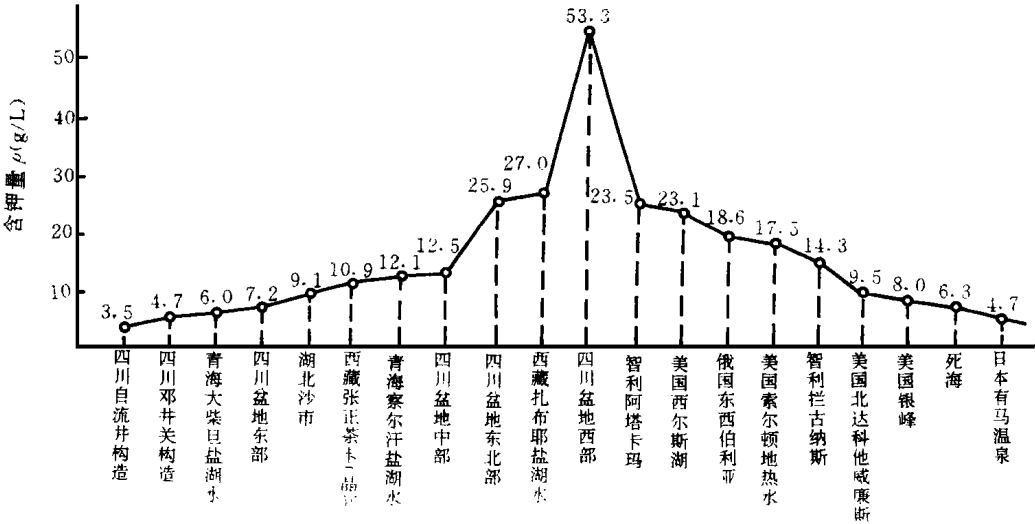


图 3 盆地西部某井富钾气田卤水与国内外含钾卤水含钾量对比图

Fig 3 Comparison diagram of the potassium content of the gas field brine in a well of the west of the basin with some potassium-containing brines

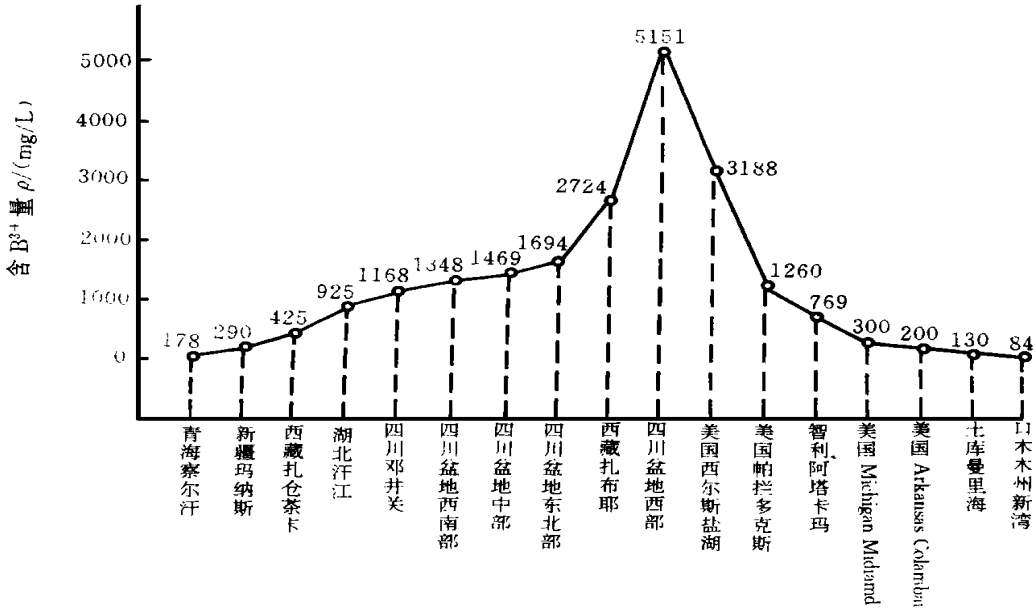


图 4 四川盆地西部某井富硼卤水与国内外卤水含硼量对比

Fig 4 Comparison diagram of the boron content of the gas field brine in a well of the west of the basin with other brines

2.5 气田水具承压特点,对开采极为有利

盆地气田水多深埋地下 1000~5000m 深处,具有较高的承压特点,可达几十兆帕

(MPa),气田水在地静压力的驱使下,往往自喷或承压至井口附近,对开采极为有利,可直接利用或在井口浅处引流抽汲利用,开采潜力较大。实践表明自喷气田水井往往自喷多年不衰,如蓬基井自1959年11月自喷气田水,至今仍然自溢。气田水开采不受产层及埋深的限制,其开采深度在相当长的时间内远小于固体矿产井巷采矿深度,而后期可使用潜水泵抽汲,可采深度又可大于固体矿产开采的人工井巷。气田水与固体矿开采相比,具有工艺简单、建设周期短、投资省、效益高等特点,对开发利用极为有利。

3 气田水开发利用展望

盆地气田水是一种综合性的液态矿产资源,其所含有的多种有用元素是军工、宇航、电子等高科技工业原料,为国家紧缺物质。所开发出的产品适销对路,有广阔的市场,具有不可低估的经济价值。如川中磨溪构造气田水据测算,制盐所获得的产值只占总产值的4.2%,而综合利用生产的氯化钾、溴素、碘素、碳酸锂、硼酸、胆巴等产品,其产值分别占总产值的8.4%、25.4%、9.19%、11.5%、21.9%、19.5,合计为95.8%,为制盐产值的23倍^[5]。

3.1 可为国家提供多种紧缺工业原料

3.1.1 溴素(Br₂)

溴是重要的化工原料,我国年耗溴素量达2000t以上。近年来开发山东莱州湾浅层地下卤水的溴,其含量仅150~350mg/L,年产量可达到10000t,但仍有很大缺口。而盆地气田水溴含量多在1000mg/L以上,最高达3400mg/L,可见盆地气田水应是我国重要的溴资源开发区。

3.1.2 碘素(I₂)

我国碘的消费量至少为500t/a。近年全国食盐全面加碘,至2000年全国实现消除碘缺乏病,仅此一项,年需碘130t。但目前我国年产碘仅200t,且主要是从海带中提取,工艺落后,成本高,难以进一步发展,尚需依赖进口解决。盆地气田水普遍含碘,通常在20~30mg/L,最高达290mg/L。因此大力开发利用四川盆地气田水的碘,将可扭转我国缺碘现状。

3.1.3 锂

锂是新的核能源,是发展高科技的重要物质。我国每年生产的碳酸锂多用于出口,目前年产量不足3000t,而从美国、日本的需求看,我国每年可出口5000t。藏北盐湖含锂量虽高,但近期尚难开发利用,从锂辉石中提取锂,则成本高、效益低。而盆地气田水锂含量通常在100~200mg/L,甚至高达300mg/L以上,极具开发利用价值。

3.1.4 硼

我国西藏有丰富的硼资源,但藏北扎布耶盐湖的硼,短期内尚难以开发利用。而从固硼来制硼酸,也存在运距远、成本高、效益低等问题。四川盆地气田水硼含量普遍较高,最高达5000mg/L以上,具开发利用价值。

3.2 可弥补我国钾盐资源短缺

钾盐主要用于农用钾肥。我国钾盐资源短缺,钾肥生产不足,农业需要缺口很大,国家每年

都需化费巨额外汇进口钾肥,如1995年进口达390 000t,耗外汇5亿多美元。据我国土壤作物普查和农业发展预测,我国钾肥需求量至少将达607 000t^[7]。目前我国年产钾肥仅20 000/t,即使到2000年扩建的青海钾肥厂正式投产,年产量也仅100 000t,折合K₂O仅630 000t/a,为届时所需量的 $\frac{1}{10}$,缺口仍很大。而气田水普遍含K⁺,一般在2~6g/L,高者可达25~53g/L,极具开发利用意义。因此积极开发利用四川气田水中的钾,则可在一定程度上弥补我国钾盐资源短缺,为农业提供优质钾肥。

3.3 气田水开发可促进天然气开发

四川盆地有水气藏占气藏总数的84%,往往是气水同产。在天然气开发中,特别是气田开发的中后期,气田水的干扰是不可避免的,气田水沿断裂及缝裂高渗透侵入气藏,当其窜入井底后,使气藏能量损失增大,井口压力降低,带水能力变差,造成气井减产,乃至水淹停产,这就成为天然气开采中的突出矛盾,因而必须进行排水采气。此时如同时对气田水进行开发利用,这不仅促进了天然气的开发,同时可防止气田水排放时对环境污染及对农作物的损害。

4 结论

四川盆地气田水具有得天独厚的资源优势,充分发挥和利用这一资源优势,必将促进四川盐卤化工和天然气工业的发展。开发出的盐卤化工产品均是国内市场上适销对路,持续需求的物资,有极大的开发潜力和市场竞争能力,可获得明显的经济效益和社会效益。

盆地气田水是一种综合性的液态矿产,它富含多种有用元素,现有的综合利用的回收工艺,完全可实现全闭合无废排放工艺。因此加强四川盆地气田水的开发及有用组分综合回收利用的力度,不仅可弥补我国钾盐资源短缺,为农业提供优质钾肥,也可为国家提供多种的工业原料。同时也是促进盆地天然气开发,提高经济效益的重要和有效途径。

参 考 文 献

- [1]徐廷谅.四川盆地卤水水文地球化学特征[J].盐类地质.1991,(1):5~8.
- [2]林耀庭,熊淑君等.氢、氧稳定同位素习性及在四川盆地卤水成因研究中的应用[J].化工矿产地质.1996,18(4):72~73.
- [3]冉隆辉,罗志立.四川盆地的气田开发[J].天然气工业.1995增刊:9.
- [4]许可方.四川气田排水采气工艺技术[J].天然气工业.1995增刊:9.
- [5]杨立中.论四川盆地地下卤水资源开发利用的现状对策[J].四川地质.1992,12(3):227~229.
- [6]林耀庭,谢泽华.多途径开辟我国钾矿资源[J].矿产保护与利用.1998,(5):38.
- [7]潘振玉,肖明威等.赴印度、泰国化肥和化工技术考察报告(上)[J].化肥工业.1997,24(2):5~7.

Gas Water of Sichuan Basin and the Pospect of its Exploitation

LIN Yaoting, CAO Shanxing

(No.2 Geological Team of Southwest Petroleum Bureau, Zigong, Sichuan Province, 643013)

(下转第8页)

Application of the Method for Determination of the Velocity by Lithium Isotopes in Water Regime Investigation in Chaerhan

XIAO Yingkai, LIU Weiguo, WANG Yunhui, QI Haiping, ZHOU Yinmin
(*Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining* 810008)

Abstract

The direction, velocity and capacity of brine flowing through a well have been measured using lithium isotopic trace and isotopic dilution mass spectrometry. The preliminary results show that the technology of isotopic trace of lithium can be used in water regime investigation of groundwater.

Keywords: Lithium, Isotope, Water regime.

(上接 38 页)

Abstract

The exploitation of natural gas and gas water in Sichuan Basin has a long history. The gas water has such geological characteristics as wide distribution, numerous storage layer, low permeability, high bearing capacity, fine quality, abundance and gas-water co-production etc. It is rich in bromine, iodine, potassium, boron, lithium, rubidium and other useful elements. Therefore, the gas water has high economic values. Comprehensive utilization of the gas water can relieve the tension of the lacking of inorganic raw materials in our country. Meanwhile, it is important for the making up of the scarceness of potassium resources in our country. It also can promote the exploitation of nature gas.

Keyword: Gas water, Comprehensive utilization, Sichuan basin.