

柴达木盆地西部第三系油田卤水资源可利用性分析

付建龙¹, 于升松², 李世金, 任海燕¹

(1 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012;

2 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008)

摘要: 通过对柴达木盆地油气钻孔资料的整理分析发现, 对第三系地层中进行油气勘探时, 经常伴有自井中喷出矿化度较高的卤水——油田水。通过对柴达木盆地构造演化分析, 早期残留的古湖水经干旱蒸发条件, 发生浓缩, 将导致有用物质组分的富集; 在此基础上, 2002 年对柴达木盆地西部第三系地层分布区的油井新取了水样, 证实该卤水中含有较高的钾硼锂碘组分。通过盐田蒸发试验, 可以得到质量较好的钾石盐、硼钾混盐、含锂碘的母液。

关键词: 油田水; 钾、硼、锂、碘; 综合利用

中图分类号: P641. 462

文献标识码: A

文章编号: 1008- 858X(2005) 03- 0017- 05

1 地质背景

1.1 地质概况

柴达木盆地地处青藏高原北部, 为祁连山、阿尔金山、昆仑山围绕的山间盆地, 以周边山系为统一整体, 是在柴达木地块基础上发育的中新生代陆相盆地, 南侧主要为花岗岩基底, 北侧为前古生代的变质岩系, 局部有花岗片麻岩、花岗岩侵入体。

盆地内第三系分布较广, 尤其是在各背斜构造部位出露较多, 层位较全。从下第三系的古一始新统、渐新统到上第三系的中新统、上新统皆有, 均属一套山麓堆积及河、湖相沉积。岩性主要为: 泥岩、钙质泥岩、页岩、含石膏泥岩、砂质泥岩, 夹砂岩、鲕状砂岩、粉砂岩及盐岩、石膏、芒硝层等组成。

柴达木地台在大地构造单元中属三级构造

单元, 依据地台构造发展过程的内部差异性, 表层构造的形态、基底性质、各地区的构造特征, 结合新生代盆地内部的隆起及沉降特征, 可分出三个亚三级单元及二个四级单元(表1)。

表1 构造单元划分表

Table 1 Partitioning of the tectonic forms

III级单元	亚III级单元	IV级单元
	柴北缘断阶带	
柴达木地台	中央拗陷带	西部隆起区 东部隆起区
	昆仑断阶带	

* 据青海省石油管理局

1.2 成矿的物质来源

区域性独特的古地理、气候水动力条件, 造就了柴达木盆地西部颇具特色的沉积物特征, 为成矿物质的来源提供了基础保障。

1.2.1 残留古湖水

柴达木盆地在印支运动以前是古特提斯海

收稿日期: 2004-03-16

作者简介: 付建龙(1961-), 男, 大学专科, 高级工程师, 长期从事盐湖资源勘探、开发和科研。

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

的组成部分^[1]；在晚白垩世时地中海水由西向东海进,其海水进入了柴达木盆地的南部地区。另外盆地受燕山运动影响,在四周山区上升的同时伴随有强烈的边界断裂活动并形成断陷盆地。据青海石油局范连顺等人的资料^[1],当时盆地内形成了两个中生界断陷区(北部断陷地区和西部断陷区)和 8 个断陷盆地。各断陷盆地成为汇水空间,使部分残留海水进入断陷盆地保留下来。

1.2.2 周边岩石的风化淋滤

经研究认为,现今柴达木盆地的主体是由印支运动以后转化为内陆盆地的。在整个中生代漫长的地质年代中,周围岩石经风化和水的淋滤将其中的盐份溶解并经河流带入盆地内是第三纪盐类矿产成矿物质的主要来源。

1.2.3 火山—地热水的补给

火山活动形成地热水中含有丰富的 K、B、Li 等^[2]。如一里坪和东、西台吉乃尔湖钾、硼、锂的富集就与布喀大坂一带的火山—地热水补给有关;雅砂图硼矿和泉华共生,其形成也与地下温泉有关。在第三纪时盆地的地形是东高西低,火山—地热水中的 K、B、Li 均可汇集到盆地西部,并在有利地段富集成矿。

1.3 第三系地层含水性

柴达木盆地西部地下水均为承压自流水^[4],而且压力较大。在以往的石油勘探过程中,在不同背斜构造和不同时代的含水层中,均有打穿高压自流水层,甚至出现高压自流水自喷无法继续施工的现象(表 2)。

表 2 地层出水位置统计表(m)
Table 2 Statistics of locations with water outflows on the strata(m)

构造名称	N ₂ ² S		N ₂ ¹ y		N ₁ ² y		N ₁ ¹ g		E ₃ g		合计
	出井	涌水量	出井	涌水量	出井	涌水量	出井	涌水量	自喷(出水)井段	涌水量	涌水量(m ³ /d)
七个泉					112 6— 315. 6	26. 9					26. 9
狮子沟					800— 1009. 4	25. 15	1079. 5— 1500	7. 39			32. 54
红沟子					160— 290	31. 5					31. 5
小梁山	99. 5— 490	302. 4			2091— 2814	153. 8			4317— 4446	400	856. 2
南翼山			946— 1749. 5	197. 9— 215. 9	2160— 2974. 5	131. 2— 135			3013— 3465 4385— 4415	630— 800	959. 1— 1250. 9
油泉子			19. 35— 35. 32 294— 455	481. 73	224— 838 925— 2090	1509. 51 — 2395. 57	1520— 2050	473. 2	2170— 2236. 8	1555. 2	4019. 24 — 4905. 5
开特米里克			78— 350 1184— 2700	自喷高 1m	3395— 3435	22000					22000
油墩子	220— 250	933. 12	736— 926 1270— 1290	933. 12	3150— 3277	704. 35					2570. 59
冷湖									2004— 2599	56. 53	56. 53

从表 2 等一些出水、自喷的钻井看, 其涌水量及变化比较大。但基本反映了含水层的富水性。

2 第三系油田卤水化学组分

与油、气所生成、运移、聚集、保存以及油、气田勘探、开发有联系的地下水, 均称为油田卤水。主要以低 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} , 高 Ca^{2+} , 高矿化度

为特点。
通过对样品的测试分析研究^[3], 该水质的水化学类型依据苏林分类法划分为氯化钙型, 以瓦式分类方法可划分为氯化物型。卤水密度最大 1.275 g/cm^3 , 一般在 $1.117\sim1.178\text{ g/cm}^3$ 之间, 矿化度最大 287.9 g/L , 最小 118.2 g/L , 一般在 $189.7\sim260\text{ g/L}$ 之间, 卤水属于中等矿化度不饱和型卤水(表 2)。

表 3 第三系油田卤水水化学特征表(单位: mg/L)
Table 3 Hydrochemical characteristics of the tertiary oilfield brines

组份 层位	K ⁺	Na ⁺	Cs ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	B ₂ O ₃	Cr	SO ₄ ²⁻	I ⁻	pH 值	密度 /(g/cm ³)	矿化度 /(g/L)
上新统	2380	77000	10390	866.4	126	2134	147600	642.1	28.05	6.90	1.147	243.0
	5740	84500	13750	927.1	170	3080	167500	889.1	37.4	7.05	1.165	279.2
	3640	82000	13880	1250	178	2492	164500	329.3	29.56	6.77	1.171	271.3
	1080	82500	5982	685.2	72	2159	147600	724.4	24.61	6.87	1.146	241.7
	1760	86500	9887	1814	130	2068	155400	329.3	28.46	7.17	1.162	259.6
	2260	82500	9056	1169	116	2432	148300	526.8	29.29	7.21	1.152	248
	920	66000	1869	282.2	16	2426	107600	2157	28.19	7.50	1.117	118.2
中新统	6520	83500	12880	463.5	180	2735	156800	230.5	36.44	5.69	1.275	265.9
	5200	60000	5816	201.5	128	4251	111900	296.4	30.29	6.46	1.120	189.7
渐新统	7880	82000	17320	382.9	206	2522	174000	197.6	34.65	6.13	1.178	287.9

由表 2 可见, 主要化学组份 K^+ 含量最高 7880 mg/L , 最低 920 mg/L , 一般在 $1760\sim6520\text{ mg/L}$ 之间; B_2O_3 含量最高 4251 mg/L , 最低含量 2134 mg/L , 一般在 $2426\sim2735\text{ mg/L}$ 之间; Li^+ 含量最高 206 mg/L , 最低含量 16 mg/L , 一般在 $72\sim180\text{ mg/L}$ 之间; I^- 含量最高 37.4 mg/L , 最低含量 24.61 mg/L , 一般在 $28\sim34.65\text{ mg/L}$ 之间。

3 蒸发试验

3.1 原卤组成

原卤样品取自钻孔卤水排出地表, 稍经自然蒸发后的卤水, 见表 4。

表 4 蒸发试验样品原始物质组份组成
Table 4 Original composition of the brine before evaporation

样号	温度 /℃	重量 /kg	pH	组份含量/%									
				K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	B ₂ O ₃	I ⁻
1	1.192/17	14160	6.13	0.664	7.51	1.48	0.024	0.026	15.4	0.029	397	0.24	50mg/L

3.2 试验装置

卤水的蒸发和除钙是在几个 $2.1\times4.0\times0.3\text{ m}$ 和 4 个 $2.1\times2.1\times0.3\text{ m}$ 的钢板焊制并经过防腐处理的金属蒸发池中进行。

3.3 试验方法

将计量后的卤水, 置于蒸发池中, 即油田卤

水加芒硝除钙, 芒硝的加入量是卤水中钙的量(mol 数计)的 110%。

取清液进行蒸发。定时观测卤水密度、温度及固体颜色、晶体形态, 在有新矿物结晶时, 进行固液分离; 分离时, 用测液体体积、密度计量, 固体用磅秤计量。并取固、液样进行化学分

析,分析元素为 K^{+} 、 Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Li^{+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 B_2O_3 。

3.4 试验结果

3.4.1 蒸发路线

取4.094t原卤除钙并蒸发,试验结果^[4]见表5。

3.4.2 结晶析出矿物

石盐、石膏、钾石盐、硼钾混盐、硼镁盐。

3.4.3 石盐段

1)由试验综合数据表(表5)可以看到,石盐+石膏的产出率在39.9%,主要成分为氯化钠和硫酸钙等。

2)分离点温度为9℃,液体密度为1.233 g/cm³,固体中钾离子含量为1.013%。

3)该阶段得石盐113.7 kg, K^{+} 损失率为3.48%, B_2O_3 损失率为5.60%, Li^{+} 损失率为

3.2%。得到石盐+石膏1630.9 kg, K^{+} 损失率为24.1%, B_2O_3 损失率为33.5%, Li^{+} 损失率为25.9%。

3.4.4 钾石盐、硼钾混盐段

含钾饱和液中主要离子成分 K^{+} 为4.438%、 B_2O_3 为1.637%、 Li^{+} 为0.146%、 SO_4^{2-} 为0.544%、 Na^{+} 为6.97%。

分离石盐、石盐+石膏后,继续蒸发得到钾石盐(28.96 kg)和硼钾混盐(106.35 kg)计135.31kg。

钾石盐中 K^{+} 离子含量37.45%占原卤中钾的21.7%,硼(含量以 B_2O_3 计1.87%)占原卤的3.7%,锂(Li^{+} 离子含量0.041%)占0.7%。

硼钾混盐中 K^{+} 离子含量14.74%,占原卤的31.4%,硼(含量以 B_2O_3 计5.87%)占原卤的42.2%,锂(Li^{+} 离子含量0.049%)占3.2%。

以母液温度,母液中钾、镁等含量控制分离点。

表 5 试验结果表
Table 5 Experimental results

试验日期	料别	样品编号	母液温度/℃	产品	重量	产率		组分含量/%								分布率/%		
				名称	kg	%	Na^{+}	K^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	B_2O_3	Li^{+}	I^{-}	K^{+}	B_2O_3	Li^{+}
8 8	入	6y1j	1.244/23	原卤	4094	100	9.69	1.22	2.209	0.175	18.51	0	0.357	0.04		100	100	100
				芒硝	329.6	8.05	35.32		0.394	0	0.446	72.04						
				石膏+石盐	1630.9	39.9	23.24	0.737	5.59	0.071		12.22	0.347	0.026		24.1	38.7	25.9
				石盐	113.7	2.78	31.6	1.53	0.737	0.223	50.84	1.317	0.744	0.046		4.8	5.8	3.2
				钾石盐	28.96	0.7	7.75	37.45	1.21	0.143	42.85	1.41	1.87	0.041		21.7	3.7	0.7
				硼钾混盐	106.35	2.6	17.4	14.74	0.432	0.63	44.31	0.812	6.05	0.049		31.3	44	3.2
				硼镁盐	21.61	0.5	2.95	3.52	0.079	7.64	35.82	2.4	1.96	0.108		2.1	2.9	1.4
		6y129	1.255/-4	母液	59.6	1.5	1.713	2	0.263	3.509	19.45	2.39	2.02	1.275	0.17	2.4	8.2	46.4
				损失及失水	2462.5	60.1										15.4	-3.3	19.3
				合计	4423.6	108.1										100	100	100

3.4.5 硼镁盐段

1)继续蒸发,试验得硼镁盐21.61kg,其中钾(离子含量3.52%)占原卤中钾的1.5%,硼(含量以 B_2O_3 计1.96%)占原卤的2.9%,锂(Li^{+} 离子含量0.108%)占原卤的1.4%。

2)所得硼镁盐,含镁7.64%,可以直接用做肥料。

以固相中是否有锂来控制,此阶段结束后母液进入老卤阶段。

3.4.6 老卤

最终得富含碘、锂的老卤59.6 kg,占原卤量的1.5%,其中,老卤中碘含量为0.17%,老卤中锂(Li^{+} 离子含量1.275%)占原卤的46%。

4 结 论

该油田卤水赋存于第三系地层中,而第三系地层在柴达木盆地沉积厚度近达万米,其油田卤水的储存量将是巨大的,由于深埋地下,受承压作用,可自喷出地表。

该油田卤水以钾、硼、锂、碘含量高为特点, 经蒸发试验, 可以得到易于加工的钾石盐产品、富含锂碘的母液, 不但有较好的找矿远景, 还具有重要的开发利用价值。

参考文献:

[1] 朱允铸. 柴达木盆地新构造运动及盐湖发展演化的研究

[M]. 北京: 地质出版社, 1990. 6.

[2] 魏新俊, 等. 柴达木盆地西部富钾盐湖物质组分、沉积特征及形成条件研究[M]. 北京: 地质出版社, 1993.

[3] 青海省地质调查院. 青海省柴达木盆地西部第三系富钾硼锂碘油田水资源远景区评价[R]. 西宁: 青海省地质调查院, 2003.

[4] 青海省地质调查院. 青海省柴达木盆地西部钾硼锂碘油田水大含水层研究[R]. 西宁: 青海省地质调查院, 2005.

Availability of Tertiary Oilfield Water Resources in Western Qaidam Basin

FU Jian-long¹, YU Sheng-song², LI Shi-jin¹, REN Hai-yan¹

(1 *Qinghai Geological Survey Department, Xining 810012, China;*

2 Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

Abstract: We find that there is always much high salinity brine and oilfield water in Tertiary strata naturally erupted from oil drills when we collect and analyze on those drill data of Qaidam Basin. From the view of tectonic evolution of Qaidam Basin, we think that the useful component of early rudimental paleo lake water becomes richer and richer under strong evaporation. Based on this, we renewedly collected samples from those Tertiary oil drills in 2002 in western Qaidam Basin. After analysis, we confirmed that there was surely full of high content of potassium, boron, lithium and iodine in oilfield waters. Through evaporating experiment in salt field, the high quality of sylvite, mixed substance of boron, potassium, lithium and iodine were produced.

Key words: Oilfield waters; Potassium; Boron; Lithium; Iodine; Comprehensive utilization

(上接 57 页)

[31] S. B. Riffat, S. A. Omer, Xiaoli Ma A novel thermoelectric-refrigeration system employing heat pipes and a phase change material— an experimental investigation[J]. *Renewable Energy*, 2001, 23: 313— 323.

[32] 何厚康, 张瑜, 闫卫东, 等. 相变纤维的研究与发展[J].

合成纤维, 2002, 31(2): 18— 21.

[33] M. Marinkovic, R. Nikolic, J. Savovic, et al. Thermochromic complex compounds in phase change materials; Possible application in an agricultural greenhouse[J]. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 1998, 51: 401— 411.

Studies and Applications of Phase Change Materials

ZHANG Jing, DING Yi-ming CHEN Nian-yi

(*Laboratory of Molten Salt Chemistry, Department of Chemistry,*

Shanghai University, Shanghai 200436, China)

Abstract: The progress in the studies and practical applications of phase change materials(PCMs) have been widely reviewed, and the classification, the performance, the energy storage mechanism and the characteristics of PCMs have been studied in this paper. The applications of PCMs in solar energy application, architectural energy economy, concentrated air conditioning and other fields have also been introduced here. And the prospective developments in PCMs have been anticipated.

Key words: Phase change materials, Heat energy storage, Temperature control, Solar energy