

柴达木盆地西部典型地区油田卤水 水化学异常及资源评价

樊启顺^{1,2}, 马海州¹, 谭红兵¹, 李廷伟¹

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 柴达木盆地自中生代末—新生代以来, 由于喜玛拉雅山运动影响, 西部形成了众多北西—南东向分布的一系列断裂和褶皱构造单元。这种多断裂带、多褶皱的构造背景, 不仅有利于深部水的运移和外围山系风化产物进一步聚集, 而且为柴达木盆地盐类资源的储存提供了丰富的空间和场所, 富集了广厚的岩盐和深部富钾卤水。在对柴达木盆地西部地表蒸发岩和卤水进行野外实地考察的过程中, 在典型的背斜构造区采集和分析了9件油田卤水水样, 通过离子含量和一些特征离子比值的分析, 发现柴达木盆地西部油田卤水具有高矿化度, 高的 Na^+ 、 Cl^- 含量和相对更高的 Ca^{2+} , 低 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 含量特征; 并且盆地西部油田卤水普遍具有较高的 K^+ 、 Br^- 、 B^{3+} 、 Sr^{2+} 、 Li^+ 等离子含量, Br 、 B^{3+} 、 Sr^{2+} 、 Li^+ 等的含量也基本达到了综合利用工业品位和单独开采工业品位, 具有潜在的资源意义。

关键词: 柴达木盆地西部; 典型地区; 油田卤水; 资源评价

中图分类号: P641.462 文献标识码: A 文章编号: 1008—858X(2007)04—0006—07

0 引 言

由于较难得到深部来源水体的样品, 对于盆地西部油田卤水的研究工作较少。基于此, 本课题组于2006年对盆地西部地表蒸发岩、卤水进行野外实地考察的过程中, 在青海石油局的帮助下采集了典型背斜构造地区(油砂山、油墩子、油泉子、南翼山、开特米里克)的9件油田卤水样品, 采样点位置如图1所示, 分析评价了该区油田卤水的水化学特征、异常离子浓度的来源及其潜在资源价值。

1 区域地质背景及采样点分布

柴达木盆地位于世界屋脊帕米尔—青藏高原北部, 四周被昆仑山、阿尔金山和祁连山所夹持, 大致呈一个不规则菱形区带。盆地东西

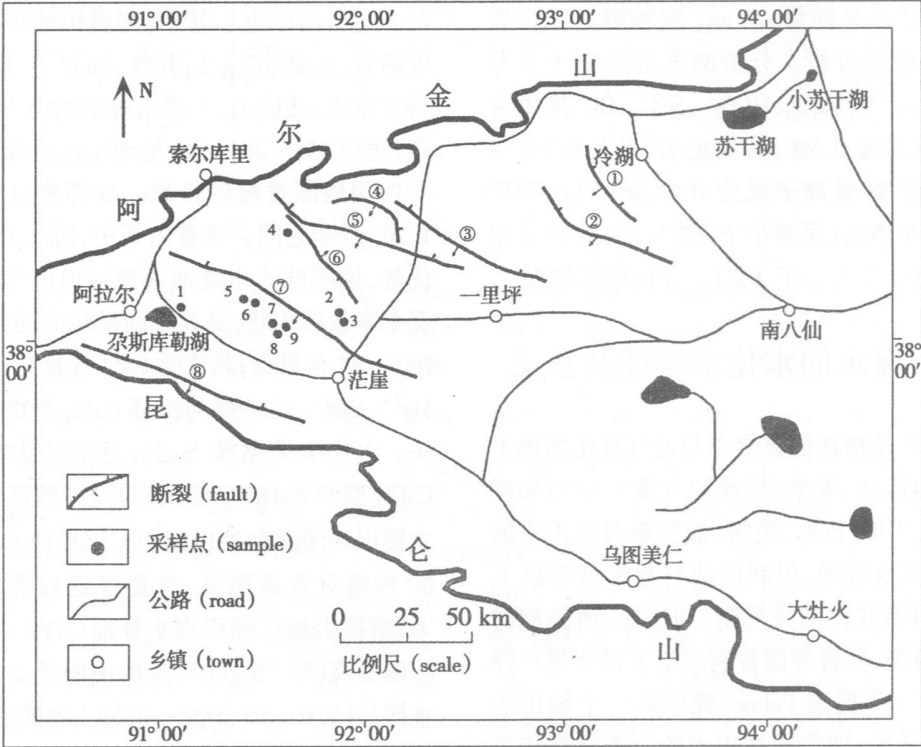
长850 km, 南北宽150~300 km, 面积约 $12.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。它是在前侏罗纪柴达木地块基础上发育起来的中、新生代内陆沉积盆地^[1]。盆地性质和构造格局是随时间而变化的, 具有多旋回盆地演化的历史。

自海西运动以来, 柴达木地块经历了多次的造山运动, 每次造山运动不仅使柴达木地块脱离海相环境, 而且加剧了盆地边缘深大断裂(带)的活动^[2]。直到中生代末—新生代初以来, 由于晚燕山运动, 柴达木地块基底断裂复活, 盆地受控于南北向的拉张; 渐新世—上新世早期, 早喜玛拉雅山运动的影响, 印度板块和欧亚板块相互的碰撞, 四周山体不断抬升, 中央拗陷盆地主体形成, 盆地西部逐渐形成“高山深盆”的沉积环境^[3], 为盆地带来了大量的盐类与碎屑物质。再加上新近纪干旱的气候条件, 加剧了成盐作用的强度, 沉积了巨厚的盐层^[4]; 上新世中期, 中喜玛拉雅山运动的影响, 断裂活动

收稿日期: 2007—04—12
基金项目: 中科院重大基础研究前期研究专项项目(2004CCA03500)
作者简介: 樊启顺(1980—), 男, 研究生, 主要从事蒸发岩地球化学、盐湖演化学习。

加剧, 盆地西部缓慢隆升, 形成了典型的大风山—黄石构造隆起; 东部不断的沉降, 湖盆沉积中心由西向东逐步迁移; 上新世晚期一早、中更新世, 晚喜马拉雅山运动在整个盆地表现普遍而且强烈, 使全盆地发生强烈褶皱, 形成了众多的褶皱和断裂构造, 在这些构造隆起带之间, 形成了大小不等的分离盆地。这主要是由于盆地周边断裂已由南北向张扭性变为南北向的压扭性^[4], 而盆地也成为挤压性的^[3], 受压缩的地层形成了成排成带的北西—南东走向的褶皱^[6]。这种山间挤压差异沉降的内陆变形特征同样也体现在柴达木地块古地磁极移曲线和古纬度变化曲线^[7]; 在晚更新世—现在, 由于新构造运动, 边缘深大断裂体系复活, 周缘山系抬升并向盆地内逆冲, 盆地内部发生强烈的构造分异^[8]; 西部地区继续隆升, 局部保留凹地, 东部三湖地

区继续沉降。盆地西部形成的大的断裂构造有利于深部水的运移和外围山系风化产物进一步聚集, 而后期褶皱形成的背斜构造又会对因断裂构造形成的溶洞、裂缝聚集的卤水资源起到封闭保存的作用。所以, 这种多褶皱、多断裂带的构造背景为柴达木盆地盐类矿物的储存提供了空间和场所, 富集了广厚的岩盐和深部富钾卤水。与此同时, 这些凹陷区内部沉积了巨厚的新生代地层, 其中包括湖泊相建造的第三系含盐层, 即在下干柴沟组(E_1^3)、上干柴沟组(E_2^3)、油砂山组(N_1^3)和狮子沟组(N_2^3)沉积了大量的蒸发岩类: 岩盐、石膏、芒硝和碳酸盐(泥灰岩和钙质泥岩)等。此次野外调查取样, 选取了柴达木盆地西部典型背斜构造区油墩子、南翼山、油砂山、油泉子、开特米里克等油气区作为重点调查区, 获得了 9 件油田卤水样品(见表 1)。



1. 油砂山; 2~3. 油墩子; 4. 南翼山; 5~6. 油泉子; 7~9. 开特米里克
①冷湖—南八仙断裂; ②鄂博梁—鸭湖断裂; ③碱北山—红三旱断裂; ④尖顶山断裂;
⑤小梁山—大风山北断裂; ⑥南翼山断裂; ⑦油泉子北—油墩子北—落雁山断裂; ⑧阿拉尔断裂

图 1 柴达木盆地西部油田卤水采样点分布图

Fig. 1 Distribution of oil field brine samples in western Qaidam Basin

表 1 柴达木盆地西部油田卤水采样点野外登记简表

Table 1 Registration form for oil field brine sampled from western Qaidam Basin

采样点	经度—纬度	海拔/ m	样品编号	样品记录概况
油砂山	90° 53′ 21. 7″E 38° 10′ 55. 1″N	2 974	ZK— 5034 井	尕斯采油一厂南区油砂山钻孔 ZK— 5034 井取得油田卤水, 据调查为该采油区唯一一见有卤水井
油墩子	91° 51′ 59. 3″E 38° 03′ 9. 50″N	2 792	YDZ— 01 YDZ— 02	盐滩一报废油井, 地表被盐壳覆盖, 出露刺鼻、灰色浑浊卤水, 出水量大, 有气泡溢出, 密度为 1. 206 g/ cm ³
南翼山	91° 26′ 38. 0″E 38° 22′ 4. 40″N	2 797	NYS— 01	见有汇卤水湖, 湖水颜色发黄, 湖岸有约 5 cm 厚的盐壳, 湖中见有黑色油水和圆锥状白色盐华
油泉子	91° 25′ 11. 6″E 38° 13′ 24. 0″N	2 902	YQZ— 01 YQZ— 02	油浅 54 井石油分离池油田水, 表面漂有一薄层黑色粘稠物
开特米里克	91° 40′ 27. 5″E 38° 13′ 24. 0″N	2 788	KTMLK— 01 KTMLK— 02 KTMLK— 03	民用采油井, 深约 500 m, 溢出水量小, 密度为 1. 116 g/ cm ³ 自喷油田水, 浑浊刺鼻, 水量大, 密度为 1. 098 g/ cm ³ 淡黄色油水, 刺鼻, 密度为 1. 092 g/ cm ³

2 样品分析

卤水样品采样量 500 mL, 现场测其比重后封口供实验室分析。分析测试常量离子成分 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻ 采用常规重量法(误差 0. 5%)和滴定法(误差 0. 2% ~ 0. 3%)测定; 微量离子成分 Br⁻、Sr²⁺、Li⁺ 采用原子吸收光谱法(误差小于 2%); B³⁺ 含量采用吸光光度法(误差小于 1%)。分析结果如表 2。

3 油田卤水的水化学特征及意义

油田水是指在储集层中与油气伴生的地下水, 是烃类运移、聚集、形成油气藏的动力和载体^[10]。近几年, 日本、美国、俄罗斯对油田水的开发利用日益重视, 但利用的有益组份多以 I、Br 为主, 只有非洲的突尼斯、利比亚, 南美洲的智利、墨西哥、秘鲁等国曾利用地下卤水生产钾盐。自 1911 年美国 Palmer 提出第一个油田水分类方案开始, 随之对油田水的分类方案作过多次修改和补充, 但目前我国广泛使用的是 Sunlin 分类法。Sunlin 认为, 裸露的地质构造中的地下水可能属于 Na₂SO₄ 型, 与地表大气降水隔绝的封闭水多属于 CaCl₂ 型, 两者之间的过渡带是 MgCl₂ 型。在油田剖面上部地段以 NaHCO₃ 型为主, 随着埋深增加过渡为 MgCl₂ 型, 最后为 CaCl₂ 型^[11]。

从水化学分析结果看, 柴达木盆地西部典型地区油田卤水矿化度普遍较高, 为 154 ~ 402 g/L, 比现代海洋水矿化度(35 g/L)高数倍甚至达十倍以上。其中, 南翼山油田卤水矿化度最高, 达到 402 g/L; 其次, 油泉子、油墩子、开特米里克、油砂山、小梁山等地的卤水矿化度较高, 达到 154 ~ 384 g/L, 呈现出由南翼山为中心向四周逐渐过渡的特征。水样密度在 1. 10 ~ 1. 26 g/cm³ 之间。常量离子中, Na⁺、Cl⁻ 占绝对优势, 说明柴达木盆地西部油田卤水溶滤了第三系岩盐沉积物, 是典型高矿化度的卤水, 所以 Na⁺、Cl⁻ 含量高; 其次为 Ca²⁺ 含量高, 明显高于 Mg²⁺、SO₄²⁻, 这主要与深部 CaCl₂ 型卤水补给有关。水化学类型按 Sunlin 分类法大部分属于 CaCl₂ 型和 NaHCO₃ 型, 表明盆地西部油田卤水主要以封闭水和油田剖面上部地段水为主。就 K⁺ 的绝对含量而言, 含量普遍较高。相比之下, 南翼山地区油田卤水样品(NYS— 01)K⁺ 的浓度最高(35. 75 g/L); 其次油墩子 2 个油田卤水样品(YDZ— 01、YQZ— 02)K⁺ 的浓度较高, 其值分别为 2. 50 g/L、1. 84 g/L; 油泉子、开特米里克、油砂山地区的油田卤水(YQZ— 01、YQZ— 02、KTMLK— 01、KTMLK— 03、YSS— 01)浓度相对较低, 平均值为 0. 2 ~ 0. 5 g/L。

微量离子中, 就 Br 元素而言, 它在地壳中的丰度为 2. 15× 10⁻⁴, 主要是以分散状态在自然界存在, 一般不单独成矿, 而易和金属、碱土金属形成溶于水的化合物, 还可以配位体的形

式与金属、碱土金属形成稳定的络合物^[13]。B 是易溶元素, 在自然界主要存在于水圈及上地壳沉积岩系中, 对于沉积环境及各种地质作用具有明显的指示意义, 是判别沉积环境、物源的有效地球化学参数^[13-14]。Sr 是典型的分散元素, 在自然界中主要以类质同象的形式分布在造岩矿物中, 是判断水体的补给来源、古沉积环境的有效地球化学参数^[15-16]。总体上看, 柴达木盆地西部油田卤水中 Br⁻ 含量都较高, 大

部分明显高于现代海水的 Br⁻ 含量, B³⁺、Sr²⁺、Li²⁺ 等含量也不低(表 2), 但区域差异性较大。相比之下, 柴达木盆地西部南翼山沉积区 Br⁻ 含量最高, 明显高于油砂山、开特米里克、油泉子、油墩子、小梁山沉积区。并且其它微量离子(B³⁺、Sr²⁺、Li²⁺)的变化趋势几乎与 Br 有同步变化规律。这些特征可能表明水体经历了变质、溶解等作用, 水化学组成发生改变, 朝着深度变质及高矿化方向发展。

表 2 柴达木盆地西部油田卤水水化学分析表

Table 2 Hydrochemical composition for oil field brine from western Qaidam Basin											
参数	油砂山	油墩子	南翼山	油泉子	开特米里克				小梁山 ^① 黄海水		
密度/ g·cm ⁻³	1. 129	1. 201	1. 201	1. 260	1. 101	1. 194	1. 116	1. 098	1. 092	未测	—
K ⁺	0. 299	2. 500	1. 840	35. 75	0. 779	0. 595	0. 245	0. 178	0. 350	0. 84	0. 34
Na ⁺	68. 48	117. 8	116. 6	44. 84	167. 1	187. 5	113. 1	124. 3	123. 7	57. 25	9. 89
Ca ²⁺	6. 510	4. 84	4. 45	69. 10	13. 58	13. 51	2. 624	2. 254	2. 385	1. 58	0. 38
Mg ²⁺	1. 300	0. 839	1. 790	5. 050	2. 064	2. 131	1. 608	1. 676	1. 227	0. 33	1. 19
SO ₄ ²⁻	0. 571	1. 340	1. 560	0. 158	0. 190	0. 152	3. 594	4. 076	3. 326	2. 05	2. 42
Cl ⁻	120. 0	192. 2	191. 8	237. 9	176. 2	179. 6	98. 74	81. 39	76. 55	89. 01	17. 53
HCO ₃ ⁻	0. 072	0. 232	0. 307	0. 292	0. 232	0. 307	0. 222	0. 345	0. 285	0. 00	0. 13
Br ⁻	98. 0	59. 5	79. 3	281. 0	80. 9	79. 07	102. 1	97. 91	89. 18	54. 8	61. 0
B ³⁺	250. 6	484. 5	394. 4	3341. 7	182. 3	227. 6	133. 9	188. 5	194. 4	84. 4	4. 30
Sr ²⁺	253. 0	116. 0	85. 4	4450	未测	未测	62. 0	74. 0	78. 0	7. 50	17. 8
Li ⁺	2. 10	20. 9	13. 0	980	91. 6	89. 9	33. 8	44. 0	66. 3	36. 0	0. 2
水型	CaCl ₂	CaCl ₂	CaCl ₂	CaCl ₂	NaHCO ₃	NaHCO ₃	NaHCO ₃	NaHCO ₃	NaHCO ₃	MgCl ₂	MgCl ₂
TDS	197. 9	320. 4	318. 9	402. 2	360. 6	384. 4	220. 7	214. 9	208. 5	154. 1	31. 96
[Na ⁺]/[Cl ⁻]	0. 88	0. 95	0. 94	0. 29	1. 46	1. 61	1. 77	2. 36	2. 49	0. 993	0. 87
100·[SO ₄ ²⁻]/[Cl ⁻]	0. 176	0. 258	0. 301	0. 025	0. 040	0. 031	1. 346	1. 852	1. 563	0. 852	10. 20
[Ca ²⁺]/[Mg ²⁺]	3. 005	3. 461	1. 492	8. 210	3. 948	3. 803	0. 979	0. 807	1. 166	2. 992	0. 19

注: (1)单位 Li⁺、Br⁻、B³⁺、Sr²⁺ 为 mg/L, 其余均为 g/L, 密度为 g/cm³; (2)水化学类型按 Sunlin 分类法计算; (3)黄海水各元素值引自文献[17]; (4)[Na⁺]/[Cl⁻]、100·[SO₄²⁻]/[Cl⁻]、[Ca²⁺]/[Mg²⁺] 为物质的量浓度比值

从油田卤水特征离子的比值分析来看, 盆地西部油田卤水中[Na⁺]/[Cl⁻] 物质的量浓度比值变化比较明显, 其值为 0. 29~2. 49, 平均值为 1. 37。若以小梁山沉积区[Na⁺]/[Cl⁻] 值(1. 00)为界点, 把盆地西部油田卤水可分为 3 部分(不包括现代海水水体类型)。大于此值为 NaHCO₃ 型水体; 等于此值为 MgCl₂ 型水体; 小于此值为 CaCl₂ 型水体。油田剖面的上部地段 NaHCO₃ 型水体中, 由于地表水体的掺合, 带来经过强烈风化作用而产生的丰富的 Na⁺, 所以

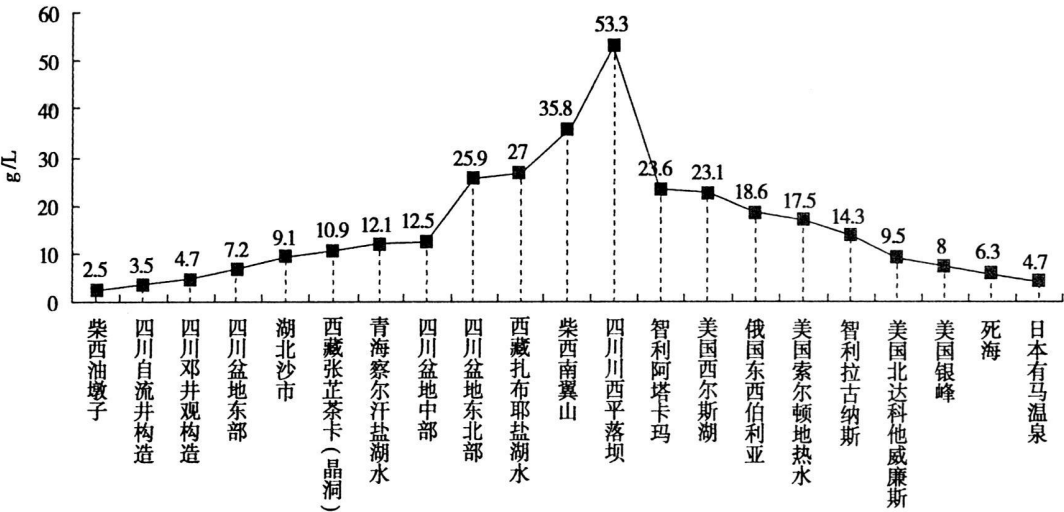
[Na⁺]/[Cl⁻] 值高; 而 CaCl₂ 型水体由于埋藏深, 地表水体或地表风化作用的影响很微弱, [Na⁺]/[Cl⁻] 值较低; 而 MgCl₂ 型水体为前两者水体的过渡水体, 说明水体已经混合, [Na⁺]/[Cl⁻] 值适中。另外, 水体类型也暗示了不同水体的封闭程度。其中, 南翼山地区油田水的[Na⁺]/[Cl⁻] 值最低为 0. 29; 油砂山、油墩子等沉积区稍高。从卤水水体类型以及 [Na⁺]/[Cl⁻] 值等可说明南翼山、油砂山、油墩子地区卤水封闭程度较高, 属于深部埋藏水, 后

期受到地表水体影响较少；而小梁山、油泉子、开特米里克地区卤水封闭程度较低，受到地表水体的掺合。 $100^{\circ}[\text{SO}_4^{2+}]/[\text{Cl}^-]$ 表示为脱硫系数，脱硫作用主要发生在还原环境下，这种环境对保存油气很有利，故脱硫作用作为一种环境指标，封闭性越好，其值越小。钙镁系数 $([\text{Ca}^{2+}]/[\text{Mg}^{2+}])$ 反映了地层水的变质程度，时间越长，封闭性越好，则变质程度就越高，值就越高^[18]。通过上述几个指标可以看出，南翼山地区油田水封闭性最好，变质程度最高；其次，油墩子、油砂山油田卤水封闭性较好，变质程度较高。这与南翼山地区高的矿化度（超过 400 g/L）、高的微量离子含量等结论是一致的。

4 油田卤水资源的远景评价

柴达木盆地是我国重要的油气区之一。盆

地西部第三系地层经常伴有自井中喷出矿化度较高的油田卤水，且具有较高的 K、B、Li、I 组分^[19]。南翼山卤水样品（NYS-01） K^+ 含量异常高，达到 35.75 g/L（折合 KCl 为 68.29 g/L），是国内、外含钾卤水含钾量的 2~10 倍（图 2）。按我国 2002 年修订颁发的《盐湖和盐类矿产地质勘查规范》的要求^[20]，开采卤水的 KCl 边界品位为 $\geq 0.3\% \sim 0.5\%$ ，最低工业品位为 $\geq 0.5\% \sim 1\%$ ；开采固态钾矿（露天开采）的 KCl 边界品位为 $\geq 3\%$ ，最低工业品位为 $\geq 8\%$ ，而南翼山地区卤水的 K^+ 折合成 KCl 已达 5.43%，已超出此标准，具有潜在的资源意义。南翼山第三系地层合计日涌水量 959.1~1 250.9 m^3 ^[9]，若以日产 1 000 m^3 油田卤井为例，按 K^+ 含量 35.75 g/L 计，可年产 KCl 12 000 t 以上，产量可观，无疑对弥补我国钾矿资源的短缺具有资源意义。



注：数字表示含钾数据；除柴达木盆地西部油田卤水样品为本次测定外，其余数据引自文献 [21]

图 2 柴达木盆地西部油田卤水与国内外含钾卤水含钾量对比图

Fig. 2 Comparison of K contents in oil field brine from western Qaidam Basin with those in other K-bearing brines at home and abroad

另外，柴达木盆地西部油田卤水中 Br^- 、 B^{3+} 、 Sr^{2+} 、 Li^+ 、 Rb^+ 等含量也较高，基本达到了综合利用工业品位和单独开采工业品位（如表 3），尤其以南翼山沉积区为代表。因此，在勘探和开发柴达木盆地油、气资源的同时，还应勘探的开发油田卤水资源。

5 结 论

（1）柴达木盆地由于喜马拉雅山运动，西部形成了众多北西—南东向分布的一系列褶皱和断层构造单元。这种多褶皱、多断裂带的构造

表 3 柴达木盆地西部油田卤水有益组分离子含量与盐湖、盐类矿产综合指标对比

Table 3 Comprehensive comparison of contents of useful components in oil field brine from western Qaidam Basin with those in salt lakes and salt minerals

有用组分	油 田 卤 水 采 样 点						综合利用指标 /(mg/L)	单独开采最低工 业指标/(mg/L)
	油沙山	油墩子	南翼山	油泉子	开特米克里	小梁山 ^②		
Br ⁻	98.0	69.4	281	80.0	94.5	54.8	50~60	300 [*]
B ³⁺	250.6	484.5	3 332.3	227.6	194.4	84.4	124.2	310.6
Li ⁺	2.10	17.0	983	90.8	46.8	36.0	24.5	49.0
Sr ²⁺	253	101	4 450	未测	74	7.5	22.1 [*]	44.2 [*]
Rb ⁻	—	0.70	1 500	未测	未测	未测	45.2	—

注：“*”综合利用工业品位和单独开采工业品位数据均来自文献[21]；其余的来自盐湖和盐类矿产地质勘查规范

背景,不仅有利于深部水的运移和外围山系风化产物进一步聚集,而且为柴达木盆地盐类资源的储存提供了丰富的空间和场所,富集了深厚的岩盐和深部富钾卤水。

(2)柴达木盆地西部油田卤水中具有高矿化度,丰富的Na⁺、Cl⁻含量。这表明柴达木盆地西部油田卤水在迁移过程中溶滤了第三系岩盐沉积物,是典型高矿化度的卤水,所以Na⁺、Cl⁻含量高;其次,具有更高Ca²⁺,较低的Mg²⁺、SO₄²⁻特征。推测与深部CaCl₂型水体有关。

(3)柴达木盆地西部油田卤水普遍具有较高的K⁺含量。南翼山地区油田卤水的K⁺折合成KCl已达5.43%。另外,南翼山第三系地层日涌水量丰富,卤水产量可观,无疑对弥补我国钾矿资源的短缺具有资源意义。

(4)柴达木盆地西部油田卤水中Br⁻、B³⁺、Sr²⁺、Li⁺等含量也较高,基本达到了综合利用工业品位和单独开采工业品位,应该得到应有的重视。

参考文献:

[1] 金之钧,李京昌,汤良杰,等.柴达木盆地新生代波动过程及油气关系[J].地质学报,2006,80(3):359-365.
[2] 张彭熹,等.柴达木盆地盐湖[M].北京:科学出版社,1987:32-233.
[3] 袁见齐,霍承禹,蔡克勤.高山深盆的成盐环境——一种新的成盐模式的剖析[J].地质论评,1983,29(2):159-165.
[4] 王文彦,宋建国.遥感技术在柴达木盆地石油勘探中的应用[C]//翟光明.北京石油地质会议报告论文集.北京:石油工业出版社,1987:342-362.

[5] 翟光明,王慎容,李干生.中国沉积盆地的特点及油气资源分布[C]//翟光明.北京石油地质会议报告论文集.北京:石油工业出版社,1987:1-19.
[6] 张启锐,谢鸣谦,薛超.青海柴达木盆地西部地区构造演化的统计分析[J].地质科学,1992,12(增刊):168-176.
[7] 吴汉宁,刘池阳,张小会,等.用古地磁资料探讨柴达木地块构造演化[J].中国科学(D辑),1997,27(1):9-14.
[8] 狄恒恕,王松贵.柴达木盆地北缘中、新生代构造演化探讨[J].地球学报,1991,16(5):533-539.
[9] 中国科学院青海盐湖研究所分析室编著.卤水和盐的分析方法[M].北京:科学出版社,1988:29-237.
[10] 李贤庆,侯杰杰,张爱云.油田水地球化学研究进展[J].地质科技情报,2001,20(2):51-54.
[11] 陈新军,石万忠,陈萍丽.惠民凹陷油田水化学场分布特征与油气聚集关系[J].天然气地球科学,2000,11(6):7-11.
[12] 曾昭华,曾雪萍.地下水中溴的形成及其与人群健康的关系[J].吉林地质,2001,20(1):57-60.
[13] 肖荣阁,大井隆夫.硼及硼同位素地球化学在地质研究中的应用[J].地学前缘,1999,6(2):361-368.
[14] 蒋少涌.硼同位素及其地质应用研究[J].高校地质学报,2000,6(1):1-16.
[15] 张西营,马海州,谭红兵.Sr的地球化学指示意义及其应用[J].盐湖研究,2002,10(3):38-44.
[16] 王增银,刘娟,王涛,等.锶元素地球化学在水文地质研究中的应用进展[J].地质科技情报,2003,22(4):91-95.
[17] 陈郁华.黄海水25℃恒温蒸发的析盐序列及某些微量元素分布规律[J].地质学报,1983,(4):379-395.
[18] 刘建伟,张峭楠.塔河油田奥陶系油田水特征离子及意义[J].地质找矿论丛,2005,20(1):40-46.
[19] 付建龙,于升松,李世金,等.柴达木盆地西部第三系油田卤水资源可利用性分析[J].盐湖研究,2001,13(3):17-21.
[20] DZ/T 0212-2002,盐湖和盐类矿产地质勘查规范[S].
[21] 林耀庭,颜仰基,吴应林.四川盆地西部富钾富矿卤水

的发现及其地球化学特征和意义[J]. 地质地球化学,

1997, 3(3):31-39.

Hydrochemical Anomaly and Resources Evaluation of the Oil Field Brines in the Typical Area of Western Qaidam Basin

FAN Qi-shun^{1, 2}, MA Hai-zhou¹, TAN Hong-bing¹, LI Ting-wei^{1, 2}

(1. *Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China*)

Abstract: From late Mesozoic to Cenozoic, a series of cracks and folds in the northwest-southeast direction were formed in the western Qaidam Basin due to Himalaya Movements. This kind of tectonic setting which is favor of the migration of deep water and aggregation of the weathering products in peripheral mountain ridges provides plenty of spaces and sites for depositing salt resources in western Qaidam Basin, and it also enriches the wide-thick halite and deep potassium-rich brines. Based upon this, nine brine samples around the typical areas were collected and analyzed for their hydrochemical compositions and characteristic ions' ratios. The results showed that the oil field brines in western Qaidam Basin have high salinity, high contents of Na^+ , Cl^- , higher content of Ca^{2+} and low contents of Mg^{2+} , SO_4^{2-} . Furthermore, there contains high contents of ions generally, such as K^+ , Br^- , B^{3+} , Sr^{2+} , Li^+ and so on, whose contents mostly reach the industrial grade for comprehensive and single exploitation. So, great importance should be attached to the useful components of salt lake resources for their exploitation and utilization. Thus it has potential resource significance.

Key words: Western Qaidam Basin; Typical area; Oil field brine; Resources evaluation