



Distribution of Formation Water in Yanchi County Block, Western Sulige Gas Field

Mingxuan Ou^{1,2}, Airong Li^{1,2*}, Shuai Yin^{1,2}, Qian Qiang^{1,2}, Hongbin Xie³

¹School of Earth Science and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, China

²Shanxi Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an Shiyou University, Xi'an, China

³Beijing ZKShining Technology Development Co., Ltd., Beijing, China

Email: 1466786422@qq.com, *348201131@qq.com

How to cite this paper: Ou, M.X., Li, A.R., Yin, S., Qiang, Q. and Xie, H.B. (2023) Distribution of Formation Water in Yanchi County Block, Western Sulige Gas Field. *Open Access Library Journal*, 10: e9907. <https://doi.org/10.4236/oalib.1109907>

Received: February 22, 2023

Accepted: March 25, 2023

Published: March 28, 2023

Copyright © 2023 by author(s) and Open Access Library Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The distribution of gas and water in the Yanchi County area of Yanchi West District of Sulige gas field is complex, and the chemical characteristics of formation water and its geological significance in natural gas production lack of systematic research, in order to make clear the difference of the chemical characteristic parameters of the target layer in the work area, the ion composition and salinity of the formation water in Shihezi 8 and Shan 1shan 2 of Yanchi block are studied, pH value and chemical characteristic parameters were studied systematically. The results show that Na^+ , K^+ and Ca^{2+} are the most abundant cations in the target formation water of the Yanchi County block in the western Sulige gas field, accounting for more than 90% of the cations. Its anions are mainly Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} . The water type is the standard calcium chloride type. The PH value of the target layer was in the range of 6 - 7.35, being weak acid-neutral The sodium chloride coefficient, modification coefficient and desulphurization coefficient showed that the alkali exchange index (Ibe) of the target layer with good sealing condition was concentrated in the range of 0.5 - 0.7, and the average value was 0.63, it shows that the gas-bearing property of the target layer is good.

Subject Areas

Petroleum Geology

Keywords

Sulige Gas Field, Shanxi Formation, Calinity, Characteristics of Formation Water, Sealing Conditions

1. 引言

在天然气的开采过程中，往往存在着油、气、水并存的现象。地层水参

与油气的全部过程，十分的重要。可以说，在油气田中水的分布情况及其化学特征对研究储层系统的封闭情况具有指示作用[1] [2] [3]。苏里格气田产气量丰富，是我国陆地天然气的主要产气田，然而在生产过程中，气田西区的产水严重，地层水主要成份尚不十分明确，这些问题在生产当中阻碍了井的部署工作[4] [5] [6]。针对苏里格气田西区盐池区块开发现状，共收集到工区内 41 口井的水化学分析数据资料，通过对地层水的化学特征参数，地层水的主要成份，矿化度主要成份，来研究油藏的性质及古地层水的运移状况，从而达到对下一步工作进行指导的目的。

2. 地质概况

盐池区块位于苏里格气田西区，构造背景属于伊陕斜坡西缘及天环坳陷的中部位置，总面积 1416 km² (图 1)。研究区地层微幅构造整体呈东高西低的单斜背景，区块西部局部表现构造抬升，整体坡降 3~10 m/km，局部构造起伏大，呈东西高、中间低凹特征，鼻轴走向为 NE 或 NEE 向[7] [8] [9]。区内天然气含量十分丰富，已探明地质储量为 1.262 × 10¹¹ m³。

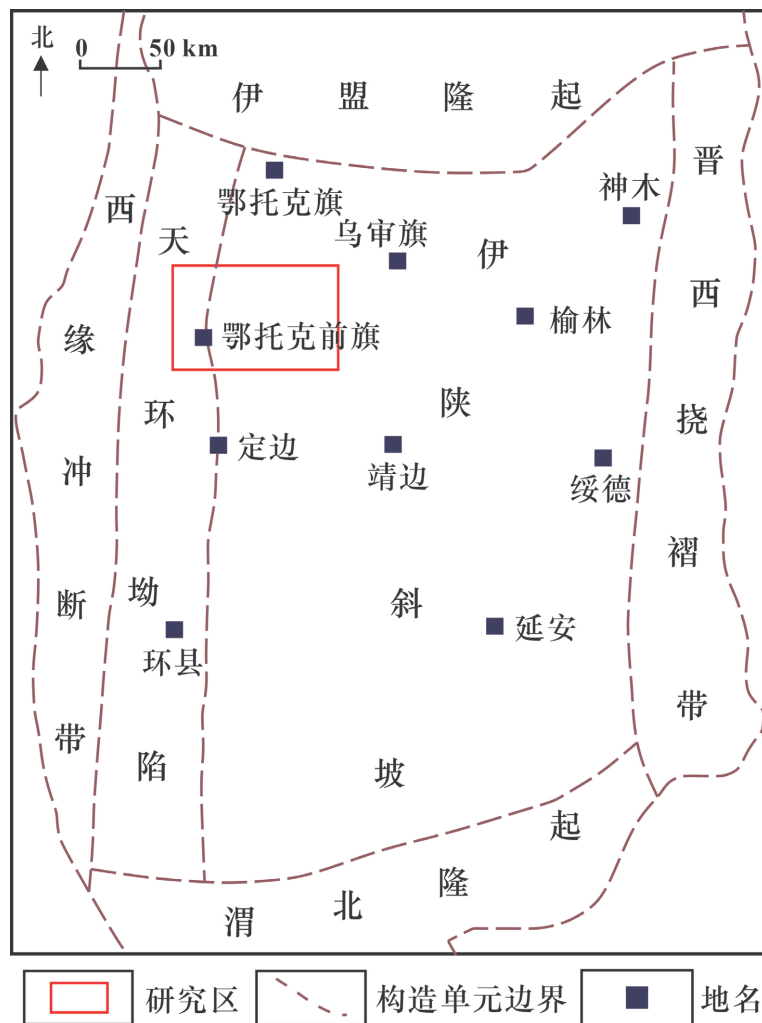


图 1. 研究区构造位置图

盐池区块处于苏里格气田气水复杂区，随着气田开发的深入，区块地质条件与气水关系复杂性凸显，产水严重影响气井产能与区块开发效果[9] [10]。针对研究区生产上存在的一系列问题，通过对盐池区块地质项资料研究认识，精细解剖盐池区块地层水型以及对油气的聚集和油气的封闭情况，生产能效与储层特征的相关关系，落实高产富集区筛选因素及其分布，实现分区分类开发，提高气藏开发效果。

3. 地层水分类与化学组成

3.1. 产水类型划分

根据收集到的测井数据、钻井过程中注返水情况以及水化学分析结果(矿化度、常量元素分析、PH 值、水化学特征参数)，根据前人对苏里格气田西区地层水的的结果[11] [12] [13]，结合产区每日生产动态，对比注水开发时注入量和反液的化学分析结果，结合生产区邻区关于地层水的研究状况，可将本次研究的目的层段(盒₈、山₁、山₂段)地层水产水类型分为三类：

1) 普通地层水：储层区内有大量的自由态水，由于存在开采压力的差异，地层液态水从储层流向井眼，最后形成地表水，其原因是返排量大于注水量，水化学特性表明，矿化度超过 40 g/L。

2) 淡化地层水：由于部分区块储层条件发生变化，部分区域连续致密，大量天然气没有排尽孔隙中的水，在试气和生产过程中，有部分水流出，与凝析水混合形成混合水。淡化后的地层水是一小部分常规地层水和凝析水的混合液，主要由透镜体水和油藏水组成。矿化度的水化学特征参数与一般地层水基本相同，主要在 18 g/l~35 g/l 之间。

3) 剩余压裂液：是指开采并在钻探过程中，从地层中渗入的泥浆，或在投产之前进行压裂作业后，剩余的压裂液，在开采过程中逐渐排出。经统计，苏里格气田研究区盒₈、山₁段剩余液的总矿化度在 15~60 g/L 范围内。

因此，本文将区块目的层盒₈、山₁、山₂的产水分普通地层水、淡化地层水、剩余压裂液三大类型。应注意，在试气时，产出的水中，单一水型的产量可能要低，而两种以上的经常能同时存在，例如地层水和剩余液的混合物。为了简化，将混合液中量最大的成分命名。

3.2. 地层水化学特征分析

研究区块盒₈、山₁、山₂储层段孔隙中存在的是普通地层水、凝析水及滞留水。通过对已有的水化学分析资料进行筛选分析，研究内容包括，地下水型、矿化度、主要阴离子组成、酸度、常量元素等内容。成果如下(表 1)。

3.3. 地层水水型

前苏联地质学专家苏林根据氯钠比等参数，提出了一种地下水类型的划分方法，并认为，碳氢化合物的聚集程度与水型之间的关系是(表 2)：CaCl₂型最利于烃类化合物的保存，重碳酸钠型次之、最不利的为硫酸钠型地下水。

按照苏林的地下水分类方法，苏里格气田盐池区块盒₈、山₁、山₂储层

表 1. 研究区水化学组分与其它区块水化学组分对比表

组分		研究区块	苏里格西区
阳离子 mg/l	K ⁺ , Na ⁺	4717.53~14357.98	2259~13,128
	Ca ²⁺	1802.4~8096.16	5728~15,295
	Mg ²⁺	30~1253.18	38~1260
	Ba ²⁺	/	0~336
阴离子 mg/l	HCO ₃ ⁻	115~75.3	63~610
	SO ₄ ²⁻	119~13582.88	0~4976
	CO ₃ ²⁻		0
	Cl ⁻	11391.86~28,707	20,807~45,333
特征系数	Na/Cl	0.29~0.67	0.07~0.31
	(Cl ⁻ -Na)/Mg	11.71~350.2	12.67~637
	Cl/Mg	18.78~565.03	17.3~832
其它	PH 值	6~7.35	5~6.1
	水型	CaCl ₂	CaCl ₂

表 2. 原生水型的特性系数

分类	地层水	
矿化度(g/L)	19.61~61.45	
特征系数	钠氯系数	0.29~0.67
	钠钙系数	0.98~4.01
	氯钙系数	3.32~6.79
	碱交换系数	0.32~0.7
水型	CaCl ₂	

段孔隙中存在地层水型多为氯化钙型，地层水为还原性型，呈滞流特征，有利于油气的聚集和储存。

4. 地层水矿化度及化学特征参数

4.1. 矿化度

油田水是由地表水向地下水转化，并伴随着烃类的产生，经过一个复杂而长期的水文地质过程。在密闭的空间内由于地下水长期与岩石、油气共存，混合物中含有大量的盐，因此，区域因素和埋深因素也同样影响着地层水的矿化度。

迪基指出，在交替停滞区内的油田水的矿化度在 50 至 350 g/L 范围内。通过对盐池地区盒₈、山₁、山₂段的水样测试后进行了统计，结果显示：总的矿化度为 20~80 g/L，平均为 61 g/L。通过与其他油藏地层水矿化程度的比较(图 2)，表明该区块盒₈、山₁、山₂段的含水属于中等浓度水，是长期与岩石反应而生成变质水类。

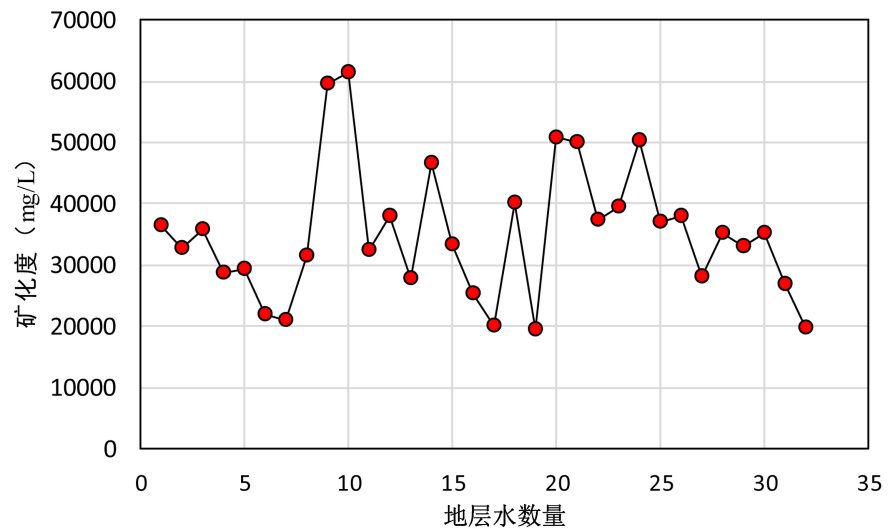


图 2. 地层水矿化度直方图

4.2. PH 值

通常，在深层盆地长期封闭、高压、高盐度的变质水体中，一般不含酸性水，多以碱性或弱酸性为主，甚至地表溶解平衡的水体 PH 值也在 7.0~8.68 左右。一般来说，深盆以碱性水或弱酸性水为主，在 PH 值即使是表面溶解平衡的水也表现出弱碱性。根据现有的水质分析数据，研究区块盒₈、山₁、山₂段地层水的 PH 值多数为弱酸性 - 中性，在 6~7.35 范围内。而地层水 PH 值偏低，主要是由于地层水溶解不平衡、残留有机酸浓度高、PH 值较低等因素所致。

4.3. 常量元素分析

工区地层水阳离子以碱土金属离子为主，其中钠钾离子含量为 3.48~17.1 g/L，平均为 6.57 g/l，平均占阳离子总量的 56.8%。工研究区中地下水层钙离子含量较高，实际水分析资料显示钙离子平均含量为 4.73 g/L，占总量的 40.9%，仅次于钠离子。钠钾钙离子的平均总含量占阳离子的 97.8%。

含量最高的阴离子 Cl⁻ 由于移动能力较强，含量较高。工区地层水阴离子中 Cl⁻ 含量在 9.6~44.8 g/L 之间，平均含量 18.25 g/L，占比阴离子总量的 92.52%；从地层水矿化度和 Cl⁻ 交会图可以看出，氯离子在地层水中的含量和总矿化度呈正相关。相关系数 $R^2 = 0.973693$ (图 3)。

HCO₃⁻ 离子的含量在地下水中一般与碳酸根离子形成电解质平衡，HCO₃⁻ 离子在水中的温度越高，消耗越多，含量越少，在深地层高温地下水水中的 HCO₃⁻ 离子含量很低。HCO₃⁻ 离子平均含量 0.467 g/L，阴离子中占比为 2.37%。

SO₄²⁻ 离子在深埋藏卤水中，由于脱硫细菌的作用，硫酸盐反应生成 H₂S 气体，使 SO₄²⁻ 减少；当 Ca²⁺、Ag⁺、Ba²⁺ 等离子含量较高时，SO₄²⁻ 含量因消耗而降低。在本区 SO₄²⁻ 数量不多，SO₄²⁻ 离子平均含量 1.0 g/L，平阴离子中占比为 5.1%。

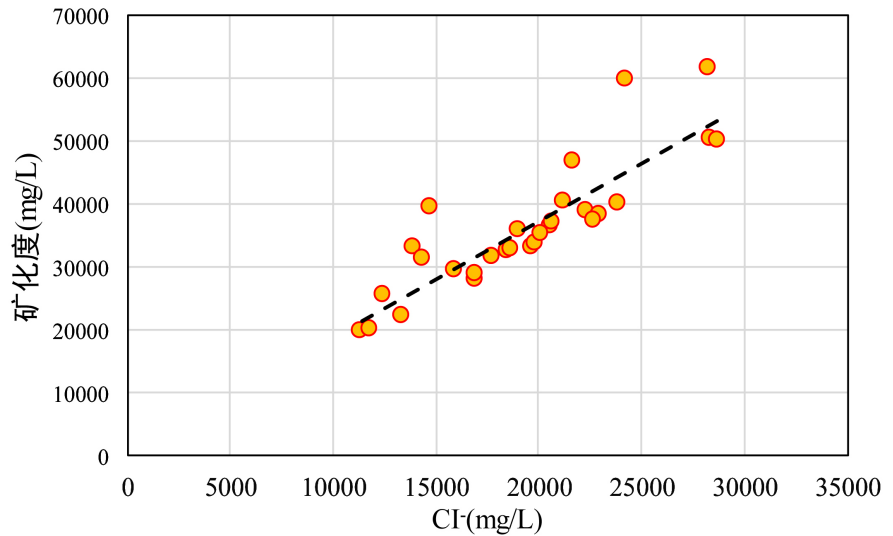


图 3. 研究区块地层水矿化度 - 氯离子交会图。

综上所述, 研究区块盒₈、山₁、山₂段储层地层水为氯化钙型, 其中阳离子以碱性离子为主; 阴离子中以 Cl⁻为主, 除 Cl⁻离子外, 且氯离子在地层水中的含量和总矿化度呈正相关。

4.4. 水化学特征系数分析

4.4.1. 钠氯系数(Na⁺/Cl⁻)

钠氯系数(Na⁺/Cl⁻)同油气聚集成藏一般无关, 它可以用来表示地层水的变质程度, 反映了地层水的地球化学环境的变化。

对于研究区块石盒子组和山西组储层来说, 地层水未受浅水层影响(图 4), 表明水动力不活跃; 淡化地层水的 Na⁺/Cl⁻值有小范围的跳动, 但主要分布在 0.32~0.45 之间, 表明主要是凝析水和由于压裂形成的残液影响较大; 残液的 Na⁺/Cl⁻值都分布在 0.2~0.42 之间; 淡化地层水、残液, Na⁺/Cl⁻值差别不大, 但整体来说要比正常地层水要高。

4.4.2. 钠钙系数(Na⁺/Ca²⁺)

统计表明(图 5), 研究区块盒₈、山₁、山₂段储层正常地层水的钠钙系数值主要是大于 1 小于 2; 淡化地层水的钠钙系数值主要 1.3~2.5 之间; 压裂液钠钙系数在值 0.5~1.7 之间。从计算结果可以看到该区地层水 Na⁺/Ca²⁺系数符合沉积盆地浅层水特征。

4.4.3. 变质系数((Cl⁻-Na⁺)/Mg²⁺, Cl⁻/Ca²⁺, Cl⁻/Mg²⁺)

氯镁系数(Cl⁻/Mg²⁺)和变质系数((Cl⁻-Na⁺)/Mg²⁺)在一定程度上可以表示地下水和岩石发生反应的程度, 当这个反应时间久的话, Na⁺、Mg²⁺越来越少, 而 Ca²⁺含量会增加。与此相应, 水变质作用越强, 油气保存越好。

研究区块盒₈、山₁段的(Cl⁻-Na⁺)/Mg²⁺比值无明显差异, 各种水型的变质系数都比 1 大; 正常地层水的 Cl⁻/Ca²⁺比值小于 5; Cl⁻/Mg²⁺比值大于 10。变质系数均在油气田水指标范围内, 说明盒₈、山₁段储层地层水与外界环境无

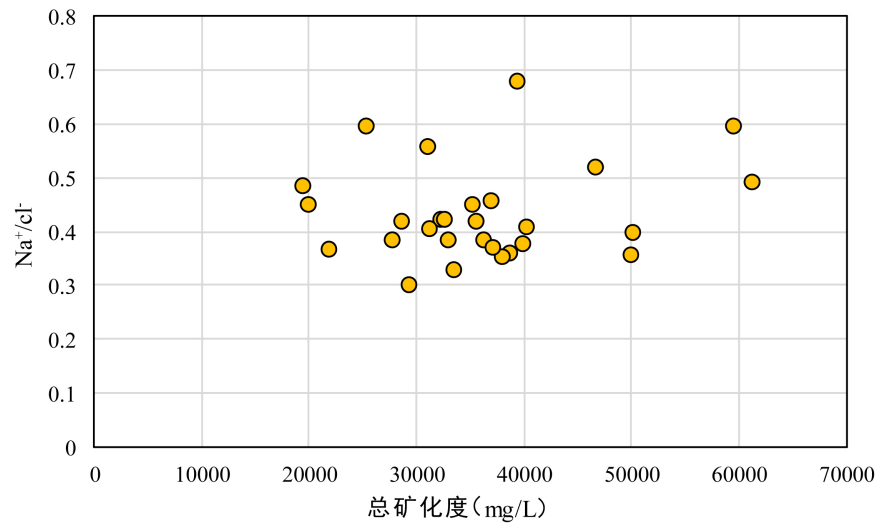


图 4. 地层水总矿化度与 Na^+/Cl^- 值交会图

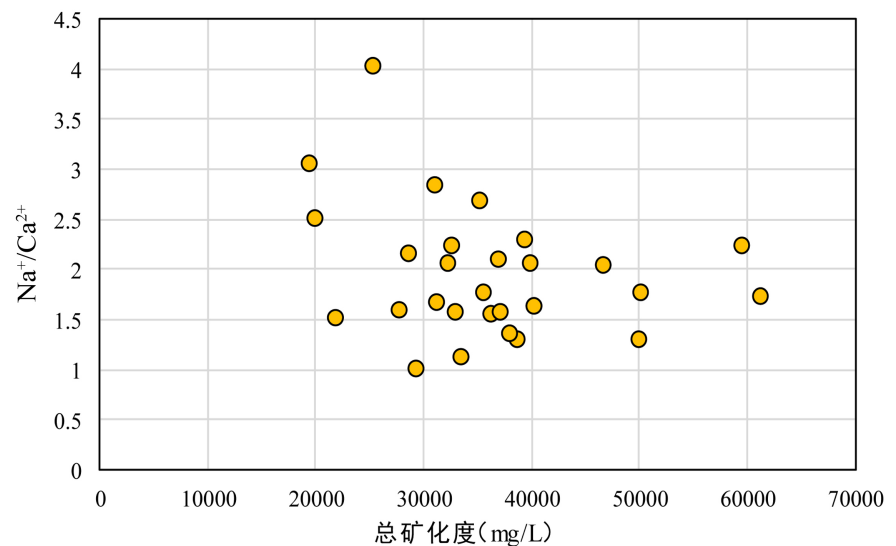


图 5. 地层水总矿化度与 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 值交会图

沟通，封闭性较高(图 6~8，表 3)。

4.4.4. 脱硫系数($\text{SO}_4^{2-} \times 100/\text{Cl}^-$)

一般来说，脱硫酸作用通常都是发生在低氧环境中，在细菌的作用下进行反应，而这种还原环境对油气的保存有利。脱硫系数($\text{SO}_4^{2-} \times 100/\text{Cl}^-$)越小，表明地层中地层水的封闭性越好，油气保存的完整性越好。

通常油气田水中硫酸盐含量很低，主要是被水环境中厌氧菌消耗，或在与烃类发生作用时，变为 H_2S 气体散出。另一方面存在石膏地层时，硫酸岩矿物的溶解又可以使得部分 SO_4^{2-} 离子进入地层水中。

研究区块 8 段、1 段、2 段储层脱硫系数分布较广(图 9)。正常地层水、脱盐地层水和残余液主要分布在 0~15 之间。总的来说，三种水的脱硫系数没有明显差异。工区地层水脱硫系数基本小于 10，平均为 7.79。总体上有利于

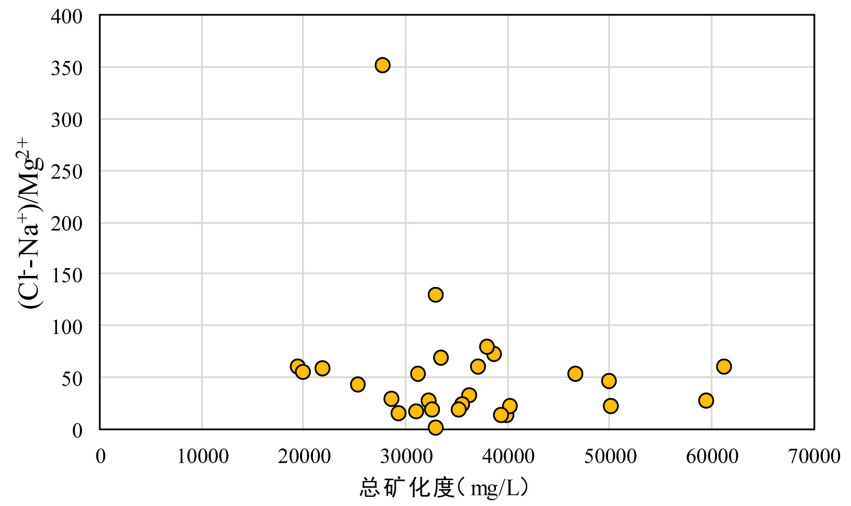


图 6. 各类水总矿化度与 $(Cl^- - Na^+)/Mg^{2+}$ 值交会图

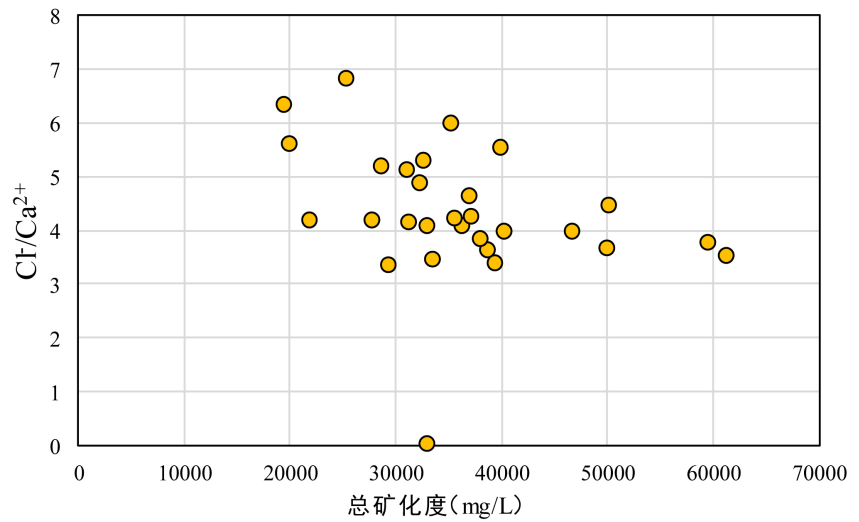


图 7. 各类水总矿化度与 Cl^-/Ca^{2+} 值交会图

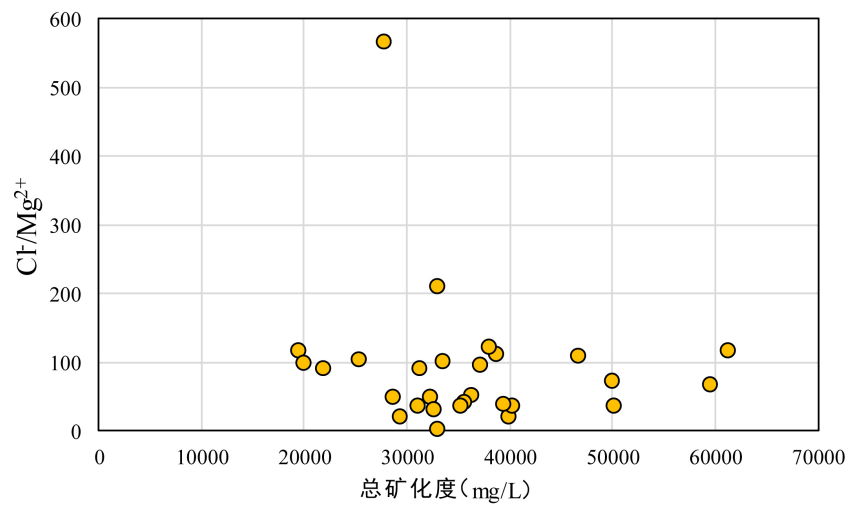


图 8. 各类水总矿化度与 Cl^-/Mg^{2+} 值交会图

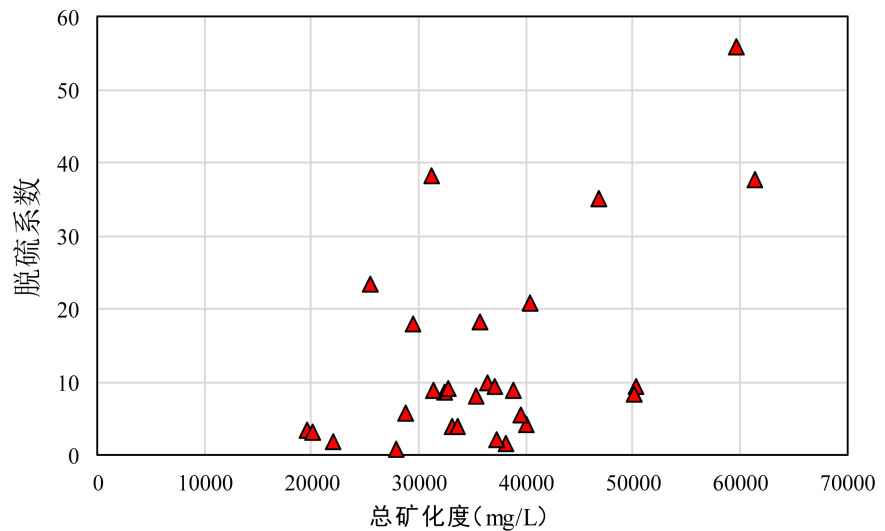


图 9. 各类水总矿化度与脱硫系数交会图

表 3. 油气伴生水变质系数与盒₈、山₁段地层水对比

变质系数	油气伴生水	盒 8、山 1、山 2 地层水
$(Cl^- - Na^+)/Mg^{2+}$	>1	11.71~350.2
Cl^-/Ca^{2+}	<26.8	3.32~6.79
Cl^-/Mg^{2+}	>5.13	18.78~565.03

天然气的保存。

5. 结论

1) 苏里格气田西区盐池区块目的层地层水的离子组成中, 阳离子钠钾钙离子含量最高, 平均总含量占阳离子的 97.8%; 其中钠钾阳离子⁺含量为 3.48~17.1 g/L, 平均为 6.57 g/l, 占阳离子总量的 56.8%, 为主要的阳离子组合。阴离子主要为 Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , 其中 Cl^- 含量在 9.6~44.8 g/L 之间, 平均含量 18.25 g/L, 平均占阴离子总量的 92.52%。主要水型为 $CaCl_2$ 型。

2) 工区采出水的钠氯系数多数集中在 0.3~0.5 之间、属于正常范围内、脱硫系数值基本都小于 10, 平均为 7.79, 三个水化学特征参数均表明水动力不活跃, 且未有浅层水的混入, 表面地下水与地表无交换作用。

3) 钠钙系数值主要是大于 1 小于 2; 压裂剩余液中钠钙系数值 0.5~1.7 之间, 符合沉积盆地浅层水钠钙系数指标。

基金项目

鄂尔多斯盆地南部长 6 油层组地层水特征与油气富集规律研究 (41772140)。

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

- [1] 金文辉. 苏西 48 区盒 8 段气水分布规律[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2010.
- [2] 李军. 苏里格气田东二区北部山西组气水分布规律[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2012.
- [3] 杨露. 子洲地区山西组 2 段气藏储集层流体分布特征研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2009.
- [4] 包艳. 苏里格气田东二区北部盒 8 段流体分布规律研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2012.
- [5] 王继平. 苏里格气田苏 20 区块气水分布规律研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 西北大学, 2014.
- [6] 侯伟. 苏里格气田苏 48 井区储层流体分布及地质建模[D]: [硕士学位论文]. 成都理工大学, 2011.
- [7] 兰义飞, 陈志华, 石林辉, 等. 苏南区块下古生界气井产水岩石测井学原因初步评价研究[J]. 国外测井技术, 2021(5): 42.
- [8] 张耀华, 朱玉双. 气藏产水机理及产能影响因素研究[J]. 国外测井技术, 2019, 40(6): 11.
- [9] 范玲玲. 苏里格气田东二区北部太原组、山西组气水分布规律研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2013.
- [10] 刘鑫. 致密砂岩气藏富水区开发技术对策研究——以子洲气田为例[D]. 成都: 成都理工大学, 2012.
- [11] 杨仁超, 董亮, 张吉, 等. 苏里格气田西区地层水成因、分布规律与控制因素[J]. 沉积学报, 2022, 40(1): 267-280.
- [12] 董亮. 苏里格气田西区 SX 区块气水分布特征的构造控制作用研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2020.
- [13] 孟德伟, 贾爱林, 冀光, 何东博. 大型致密砂岩气田气水分布规律及控制因素——以鄂尔多斯盆地苏里格气田西区为例[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(4): 607-614+635.

Appendix (Abstract and Keywords in Chinese)

苏里格气田西区盐池区块地层水分布规律

摘要: 苏里格气田盐池西区盐池地区气水分布复杂, 而地层水的化学特征及其在天然气生产中存在的地质意义缺少系统性研究, 为明确工区目的层各化学特征参数的差异性, 本文对盐池区块石盒子 8 段以及山₁山₂段地层水的离子组成, 矿化度, pH 值以及各化学特征参数进行系统研究。结果表明, Na⁺、K⁺和 Ca²⁺是苏里格气田西区盐池区块目的层地层水中含量最丰富的阳离子, 占阳离子的 90%以上。其阴离子主要是 Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻。水型为标准的氯化钙型。目的层 pH 值多数在 6~7.35 范围内, 呈弱酸性—中性; 钠氯系数、变质系数、脱硫系数三个参数显示目的层封闭条件良好碱交换指数(IBE)值集中分布在 0.5~0.7 之间, 平均值为 0.63, 表明目的层含气性良好。

关键词: 苏里格气田, 山西组, 矿化度, 地层水特征, 封闭条件