

四川盆地西部三叠系—侏罗系地层水 化学特征与油气保存关系

邓太平

(中国石化西南分公司勘探开发研究院)

摘要 对四川盆地西部 40 余口钻井的三叠系—侏罗系地层水化学特征的分析表明:地层水的变质程度在纵向上随着地层埋深而增大;区域上从盆地边缘龙门山区向盆地坳陷中心,矿化度逐渐变高,水型由开启环境的 NaHCO_3 型过渡到封闭环境的 CaCl_2 型。海相中三叠统雷口坡组的水动力环境以多样性为特征,但整体保存条件良好;陆相侏罗系上部,地层水的水动力交替较强,保存条件偏差,中下部整体进入区域性的“保存区”;陆相上三叠统须家河组总体保存条件良好,大多数位于“保存区”。地层水化学性质与油气保存的关系分析表明,油气保存的“有利区”主要位于川西坳陷带,“较有利区”位于龙门山前锋推覆带,“不利区”位于龙门山前山推覆带。

关键词 四川盆地西部; 地层水; 水化学特征; 水动力条件; 油气保存条件

中图分类号: TE135⁺4; TE122.3⁺4

文献标识码: A

大量的油气田水文地质研究成果表明,油、气、水三者作为地下流体,在地质历史发展过程中相互之间有密切的关系。地层水既是油气运移的载体,又是油气运移的驱动力,在油气生成、运移、聚集成藏或改造破坏过程中,地层水都直接地参与了地质体的演化过程。地层水的地球化学性质是其直接记录的结果,它蕴含了许多与油气藏形成和保存相关的信息。因此,通过研究地层水地球化学性质中所保留的与油气保存相关的特征,可探讨油气保存的条件^[1]。

已有的勘探表明,在四川盆地西部的三叠系和侏罗系中含有丰富的天然气资源。该地区早中三叠世为海相沉积,晚三叠世—侏罗纪为陆相沉积,但由于该地区在整个历史发展过程中经历了印支、燕山、喜马拉雅等多次构造运动,地壳经历了多次沉降与隆升变迁,因此油气保存条件的优劣对油气成藏以及油气勘探起着至关重要的作用。目前已有很多有关该地区油气保存条件研究的成果^[2-9],但从地层水化学性质的角度系统地论述保存条件的研究较少。本文在收集、整理四川盆地西部40余口钻井三叠

系—侏罗系地层水测试成果的基础上,以该地区地层水的水型、矿化度、变质系数、脱硫系数为评价参数,进行了地层水在垂向与横向上分布特征的常规分析,并由此探讨了该地区三叠系—侏罗系地层水与油气聚集保存的关系。

1 区域地质

研究区位于四川盆地西部(又称“川西地区”),主要包括盆地西缘的松潘—甘孜褶皱带和龙门山推覆构造带,以及盆地内的川西前陆坳陷(简称“川西坳陷”)三个二级构造单元。其中,龙门山推覆构造带可分为后山推覆带、前山推覆带和前锋推覆带三个三级构造单元。这些构造单元之间以青川断裂和茂汶断裂、映秀—北川断裂、马角坝断裂、江油—灌县断裂,以及龙门山前锋推覆带中的隐伏断裂(如龙泉山断裂等)为界(图1)。本文的研究范围主要包括龙门山推覆构造带中的前山推覆带和前锋推覆带两个三级构造带以及川西前陆坳陷,地理范围包括了北至广元、南至成都龙泉驿的广大地区,面积约为3万多平方千米(图1)。

收稿日期: 2013-08-15; 改回日期: 2014-12-25

本文受中国石油化工股份有限公司海相勘探前瞻性项目“川西地区石油地质综合研究与选区评价”(编号: YPH08095)资助

邓太平: 1979年生,工程师。主要从事油气地质勘探工作。通讯地址: 550004 贵州省贵阳市八鸽岩路 247 号中国石化西南分公司勘探开发研究院勘探三所; E-mail: 99267574@qq.com

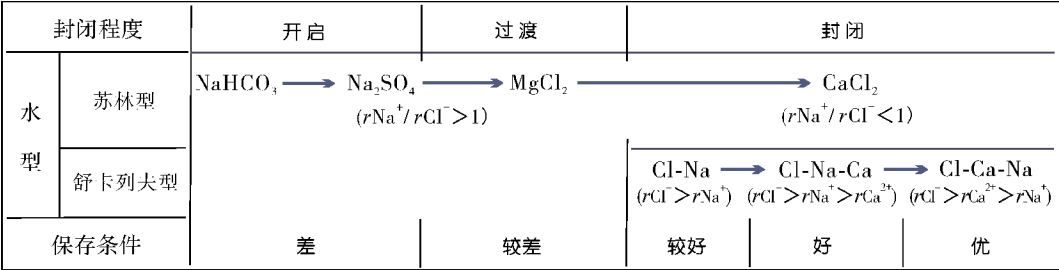


图 2 地层水型分类与保存条件的关系图

表 1 川西地区中生界地层水化学指标对比表(据多井资料综合编制)

层 位			井 深 (m)	矿化度 (g/L)	水 型		变质系数 $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$	脱硫酸系数 $(r\text{SO}_4^{2-} \times 100)/r\text{Cl}^-$	水动力环境
系	统	组/段			苏林分类	舒卡列夫分类			
侏罗系	上	蓬莱镇组(J _{3p})	750~814	21.27~27.64	CaCl ₂	Cl-Na	0.92~0.94	4.83~6.19	过渡带下部—缓慢交替带上部
	中	沙溪庙组(J _{2s})	1836~2642	18.63~52.80	CaCl ₂	Cl-Na	0.58~0.94	0.08~4.45	多变性
		千佛崖组(J _{2q})	2129~2464	49.11~81.07	CaCl ₂	Cl-Na	0.58~0.80	0~0.29	缓慢交替带
	下	白田坝组(J _{1b})	2545~3127	14.77~58.25	CaCl ₂ MgCl ₂	Cl-Na	0.77~0.98	0~0.10	缓慢交替带
三叠系	上	须家河组(T _{3x})	T _{3x} ⁵	3318~3386	33.06~41.32	CaCl ₂	Cl-Na	0.78~0.90	缓慢交替带—较稳定带
			T _{3x} ⁴	3434~4098	51.91~143.67	CaCl ₂	Cl-Na	0.65~0.87	
			T _{3x} ³	3179~3208	64.86	CaCl ₂	Cl-Na	0.89	
			T _{3x} ²	3930~5495	22.30~119.72	CaCl ₂ NaHCO ₃	Cl-Na Na-Cl	0.67~0.93	
	中	雷口坡组(T _{2l})	T _{2l} ⁴	1218~4613	10.02~383.72	CaCl ₂ Na ₂ SO ₄	Cl-Na Na-Cl	0.69~1.51	多样性
			T _{2l} ³	3232~5176	26.29~126.45	CaCl ₂	Cl-Na Cl-N-Ca	0.10~0.99	
			T _{2l} ¹	2629~5778	70.96~302.36	CaCl ₂ NaHCO ₃	Cl-Na Na-Cl-HCO ₃	0.97~1.93	
	下	嘉陵江组(T _{1j})	T _{1j} ⁴	5790	27.77	CaCl ₂	Cl-Na	0.82	缓慢交替带

类,Cl-Na型占65%,Cl-Na-Ca型(Cl-Ca-Na型)占14%(图3b)。由这组数据对照图2可以看出,封闭型水样占到了绝大部分,说明研究区地层总体开启程度相对较低,保存条件较好。

2.2 矿化度

矿化度即单位体积地层水中无机矿物的含量,它是表征水化学特点的重要参数,也是反映地下水径流条件的重要指标^[11]。当地层水的常量组分保持相对不变的情况下,保存条件较好的地层水,矿化度一般较高,反之矿化度较低。通常,随着埋藏深度的

增加,矿化度有增大的趋势;而沿着古水动力的方向,矿化度也有加大的趋势^[12]。

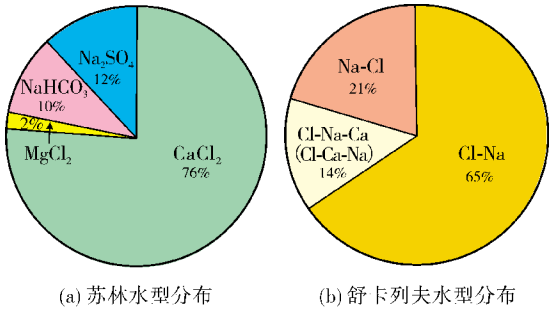


图 3 川西地区苏林及舒卡列夫分类中水型分布示意图

川西地区地层水和矿化度一般在30~150g/L,少部分钻井的地层水矿化度小于10g/L,或大于150g/L(表1)。在四川盆地历史演化过程中,由于构造运动造成的断裂对地层的切割或者造成地层被抬升剥蚀,从而在局部地区的深浅层均存在地层水淡化现象,但总体来说,随着深度的增加,地层水矿化度有增大的趋势(图4)。在深层的海相雷口坡组,地层水矿化度值从龙门山前锋推覆带向川西前陆拗陷中心呈增大的趋势(图1),也反映了雷口坡期古水动力的方向是从盆地边缘(龙门山)指向盆地内(拗陷中心)。

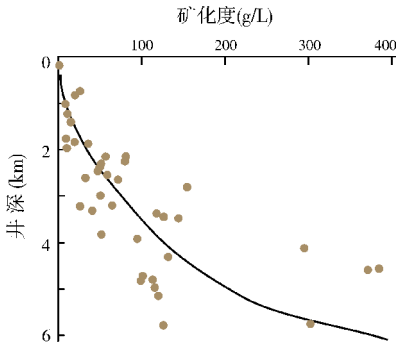


图4 川西地区地层水矿化度随井深变化趋势图

2.3 水动力条件(开启/封闭环境)

水动力条件主要与水中的离子 Na^+ 与 Cl^- 以及 Ca^{2+} 与 Na^+ 的相对比例有关。反映水动力交替强度的主要指标为变质系数($r_{\text{Na}^+/\text{rCl}^-}$),它是表征地下水变质程度的参数。变质系数越大,表明地下水变质程度越大,受渗入水的影响越明显^[13]。一般来说,现代海水的 $r_{\text{Na}^+/\text{rCl}^-}$ 值约为0.85;经过阳离子交替吸附和强烈水-岩相互作用的沉积水, $r_{\text{Na}^+/\text{rCl}^-}$ 值小于0.85;岩盐层溶滤形成的地下水, $r_{\text{Na}^+/\text{rCl}^-}$ 值大约为1;而受大气降水淋滤作用影响的地下水, $r_{\text{Na}^+/\text{rCl}^-}$ 值一般大于1^[14]。因此,地下水的变质系数若小于0.85,表明已发生了浓缩变质作用,也即代表了保存

条件好,反之则保存条件差。

川西地区三叠系—侏罗系大部分地层水样的变质系数在0.50~0.95,少部分的变质系数大于1(表1),说明这主要是经过阳离子交替吸附和强烈水-岩相互作用及岩盐层溶滤形成的地下水,地层水已发生了浓缩变质作用,只有少部分的地层水样遭到了大气降水淋滤作用,因此总体上地层的开启程度较低,保存环境较好。从地层纵向上看,川西地区地层水的变质系数有随着埋深的增加呈逐渐减小的趋势(图5)。

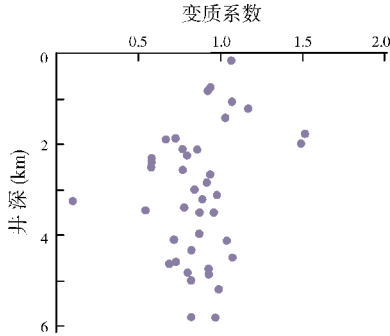


图5 川西地区地层水变质系数($r_{\text{Na}^+/\text{rCl}^-}$)随井深变化趋势图

2.4 水化学条件(氧化/还原环境)

脱硫系数($r_{\text{SO}_4^{2-}\times 100}/r_{\text{Cl}^-}$ (无机指标)、水溶饱和烃及芳烃(有机指标)是判别水化学环境的两个重要指标。地层水的氧化/还原环境主要取决于地层中氧化剂或还原剂的补给条件。地层水中的氧化剂除浅层水中的溶解氧外, SO_4^{2-} 离子是最常见的氧化剂,而有机质(尤其是烃类)则是地层中最普遍、最强的还原剂;当两者同时存在时,则取决于两者数量间的动态平衡关系。

在正常情况下,脱硫系数是反映地层水氧化/还原环境的重要指标(表2)。值得注意的是,在含膏盐层系中,不论是在缓慢交替带,还是在较稳定带,都可能出现反常的脱硫系数高异常,此时应主要依据水溶有机质指标进行综合判别。

表2 四川盆地及邻区地层水动力环境划分模式

级别	水 型		变质系数 $r_{\text{Na}^+}/r_{\text{Cl}^-}$	水动力环境	脱硫系数 $(r_{\text{SO}_4^{2-}}\times 100)/r_{\text{Cl}^-}$	水化学 环境	地层水 保存环境		油气 保存条件
	苏林分类	舒卡列夫分类							
I	NaHCO ₃ Na ₂ SO ₄	Na-HCO ₃ -Cl	≥1.00	积极交替带	>40	氧 化	开启		差
II	MgCl ₂	Cl-Na-HCO ₃ -Ca-Mg	0.96~1.00	过渡带	4~40	弱氧化	过渡		较差
	CaCl ₂	Cl-Na			1~4	弱还原			
III	CaCl ₂	Cl-Na	0.78~0.96	缓慢交替带	<1	还 原	封 闭	较好	较好
IV	CaCl ₂	Cl-Na-Ca	0.65~0.78	较稳定带				好	好
V	CaCl ₂	Cl-Ca-Na	0.10~0.65	稳定带				优	优

川西地区地层水的脱硫系数,在安县(T_2l)、雾山(T_2l 和 T_3x)、新都(K_1t 和 J_3p)等地区,基本上大于 4,说明地层处于弱氧化—氧化环境,是油气保存的不利区;其余地区,大多在 0~3,说明地层处于还原—弱还原环境,即地层的封闭性较好。

从以上的地层水型、矿化度、变质系数、脱硫系数等分析可知,川西地区地层水随着埋深的增加,总体上变质程度加深,地层封闭性变好。除安县、雾山等局部地区因断层而抬升或剥蚀、遭受到大气淋滤水的影响、不利于油气保存之外,其余大多数地区都有利于油气的保存。

3 地层水的化学分布特征

3.1 垂向分带特征

水文地质的垂向分带可反映含水单元受地表水渗入影响的程度。在没有外来流体侵入的情况下,其水型通常随埋深的加大而逐渐由 $NaHCO_3$ 型过渡到 Na_2SO_4 型,再到 $MgCl_2$ 型,最后到 $CaCl_2$ 型,并保持稳定。随着水文地质垂向分带由水动力积极交替带→过渡带→水动力缓慢交替带→较稳定带→稳定带的转变,其水文地质环境由开启转为封闭,矿化度也逐渐呈上升趋势,油气的保存条件也随之由差变好(表 2)。

四川盆地西部在三叠纪—侏罗纪整个历史发展过程中经历了海相沉积和陆相沉积以及多期构造运动,因此影响其地层水垂直分带的主要因素有沉积环境、构造运动等。由于多期构造运动可导致局部地层剥蚀并产生断层,这些地质作用可为地表水的下渗提供一定的通道,因此该地区地层水的化学性质会受到初始和后期的双重影响,地层水局部会有一定的淡化现象。

通过对四川盆地西部现有地层水资料(表 1)的分层对比,总体而言,地层水化学性质所反映的油气保存环境是随着埋深增加而逐渐变好。地层的垂向水化学分带分析如下:

蓬莱镇组(J_3p) 主要以新都地区的水样为主,其水型(苏林 $CaCl_2$ 型或舒卡列夫 $Cl-Na$ 型)、矿化度(21.27~27.64 g/L)、变质系数(0.92~0.94)和脱硫系数(4.83~6.19)均反映出水动力环境为过渡带下部—缓慢交替带上部的基本特征。

沙溪庙组(J_2s) 水动力环境表现为“多变性”

特点:如川西坳陷南部 JF1 井沙溪庙组的水型为 $CaCl_2$ (或 $Cl-Na$ 型),矿化度 18.63 g/L(偏低),脱硫系数 4.45(表现为弱氧化环境),除了变质系数相对显低(0.73)之外,多数指标反映出与蓬莱镇组类似的水动力环境。CD617 井沙溪庙组的水型为 $CaCl_2$ 型(或 $Cl-Na$ 型),矿化度 34.06 g/L,变质系数 0.94,脱硫系数 0.08,属于典型的水动力缓慢交替带上部环境,保存条件较好。L651 井的则为 $CaCl_2$ (或 $Cl-Na-Ca$)型,矿化度 52.80 g/L,变质系数 0.582,脱硫系数小于 0.24,属于水动力较稳定带——相对最好的封闭保存环境。

千佛崖组(J_2q)和白田坝组(J_2b) 全部是 $CaCl_2$ (或 $Cl-Na$)水型。其中,千佛崖组的矿化度 49.11~81.07 g/L,变质系数 0.58~0.80,脱硫系数 0~0.29;白田坝组的矿化度 14.77~58.25 g/L,变质系数 0.77~0.98,脱硫系数 0~0.10。现有的全部样品反映了千佛崖组和白田坝组中的水样全部处于保存条件较好的水动力缓慢交替带中。千佛崖组和白田坝组近乎一致的水动力条件,也许意味着已经整体进入了区域性的保存环境。

须家河组(T_3x) 水样(以 T_3x^2 为主)具有与千佛崖组—白田坝组相似的特征,如大多数水样处于区域性保存条件较好的水动力缓慢交替带,相同的水型($CaCl_2$ 或 $Cl-Na$ 型),变质系数大多小于 0.90,脱硫系数多数小于 1。但 T_3x^4 (川西坳陷中部 X882 井和 CY35 井)的封闭条件增强,表现为以 $CaCl_2$ (或 $Cl-Na-Ca$)水型为代表的水动力较稳定带特征。位于盆地边缘雾山的 W1 井由于断层破坏的原因,保存条件显著变差,属于水动力积极交替带。

雷口坡组(T_2l) 为海相地层,地层水主要受制于构造背景,水动力环境以“多样性”为特征:区内已知的海相油田水,如川西坳陷北部的 Z3 井(T_2l^3),属于保存条件相对最好的、水动力较稳定带的 $CaCl_2$ (或 $Cl-Na-Ca$)水型;坳陷中部的 GJ 井(T_1j^4)、坳陷南部的 PL4 井(T_2l^4)、PL20 井(T_2l^4)等,均处于保存条件较好的水动力缓慢交替带,属于海相地层水最普遍存在的保存类型;在靠近盆地边缘或断层附近,则以水动力过渡带—积极交替带为主,如 C31 井(T_2l^1)、C21 井(T_2l^4)、C29 井(T_2l^4)及 DC 井(T_2l^4)等;在前山带内,主要为水动力积极交替带。

3.2 区域分布特征

前已述及,研究区三叠系—侏罗系地层水的化学特征受控于构造、埋藏等因素。从盆地边缘龙门山区到盆地内的坳陷区,随着地层埋深的增大,储层的封闭条件逐渐变好,地层水的矿化度也逐渐变高,水型也由 NaHCO_3 (或 $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$) 型 (开启环境) 过渡到 CaCl_2 (或 Cl-Na) 型 (封闭环境)。

龙门山前山推覆带 为构造运动强烈地带,开启程度较高。陆相地层被剥蚀殆尽,海相中下三叠统裸露或浅埋,受构造断裂及风化作用的影响,储层裂缝系统和溶蚀孔洞发育。地下水为赋存矿化度一般小于 10 g/L 的次生淋滤水 (淡水—微咸水),水型为 NaHCO_3 ($\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$) 型、 NaHCO_3 ($\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$) 型或 Na_2SO_4 ($\text{SO}_4\text{-Na-Ca}$) 型。地下水主要接受地表水及大气降水的补给,断裂与岩溶系统为主要渗流通道,体现出了水动力自由交替带的特征^①。

龙门山前锋推覆带 为构造运动和风化淋滤作用强度减弱的地带,地层处于半封闭—封闭之间,受淋滤水与原生地层水的双重影响,上三叠统—侏罗系储层内主要赋存矿化度为 $10\sim 50\text{ g/L}$ 的次生淋滤—原生沉积混合型水,水型主要以 NaHCO_3 (或 Na-Cl-SO_4) 型、 Na_2SO_4 (或 Na-Cl) 型为主,水循环交替滞缓,属水动力过渡带^①。

川西前陆坳陷 坳陷区内的陆相储层,其埋深大于 800 m ,由于侏罗系 (下统白田坝组—上统蓬莱镇组) 中的泥岩隔层累计厚度达 $200\sim 600\text{ m}$ (单层厚度 $6\sim 12\text{ m}$),其间的千佛崖组和沙溪庙组致密砂岩也可起到一定的隔层作用,因此使得岩石的风化淋滤作用减弱,水型主要为 CaCl_2 (或 Cl-Na) 型。中三叠统雷口坡组及以下的海相储层埋深大于 2000 m ,间接隔层 (上三叠统须家河组—侏罗系) 中有大套的泥岩 (厚达 $600\sim 1800\text{ m}$),直接隔层 (上三叠统马鞍塘组—小塘子组) 中的泥岩厚 $20\sim 100\text{ m}$ 左右,局部地区还发育小范围的 (下中三叠统嘉陵江组—雷口坡组) 膏岩盖层。由于这些原因,使得岩石的风化淋滤作用被阻止,渗透能力进一步降低,储层的封闭条件变好,地层水水型主要为 CaCl_2 (或 Cl-Na) 型,矿化

度大于 25 g/L ,最大达 383.72 g/L (PL4 井)。综合考虑坳陷内海相和陆相地层的水化学特征,它们主要处于地层水的缓慢交替带至稳定带,受风化淋滤作用小,以海水的正向浓缩和变质演化为主要特征。

4 地层水化学性质与油气保存的关系

前人的研究表明,现代地层水的地球化学特征取决于地质体演化过程中的溶解作用、阳离子交替吸附作用、生物化学作用、扩散作用、浓缩作用以及混合作用等^[9-14]。通过对四川盆地西部地层水化学特征的研究认为:川西地层水地球化学特征主要受控于地质体环境的开启或封闭状态,即物理条件 (而这种状态又受控于构造活动改造程度的强弱)。受构造活动改造弱的地区,通常盖层连续分布,断裂不发育,从而地质体处于封闭状态;而受构造活动改造强的地区,通常盖层被剥蚀殆尽,或者因断裂发育而盖层被切割,从而地质体处于半封闭或开启状态^[1]。

值得注意的是,作为油气保存的化学条件——水介质的氧化或还原环境,除受控于水动力背景外,还同时与地层水中的氧化剂或还原剂的补给条件密切相关。地层水中最主要的氧化剂 SO_4^{2-} 主要来源于膏盐层 (也包括浅层地下水中的溶解氧等);而有机质,尤其是烃类,则是地层中最强的还原剂。地层水中上述两者的相对补给比例决定了氧化或还原环境。

反映水动力交替强度的变质系数和反映还原条件的脱硫系数,也是评价油气保存条件的两个主要指标^[10] (表 3)。由地层水的变质系数—脱硫系数投点判别图 (图 6),可直观地反映研究区 40 余口井不同地层所处的油气保存环境。需要说明的是,图中的保存环境划分为保存、过渡、弱保存和非保存等四个区域,但处于“保存区”内的钻井并非都是“出气”或“出油”的 (因为同时还取决于供烃条件和储层条件等);“出气”或“出油”的钻井至少应分布于“弱保存区”内,除非当含油气系统中的烃源充注速度远大于烃藏的散失速度时,“非保存区”内才可能有工业油气藏保存。

① 汤良杰,金文正,吕志洲,等. 龙门山冲断带构造特征和保存条件研究 [R]. 中国石油大学 (北京) 盆地与油藏研究中心,中国石化股份公司西南分公司勘探开发研究院,2007.

表 3 变质系数、脱硫系数与油气保存环境判别表^[10]

变质系数 rNa^+/rCl^-	脱硫系数 $(rSO_4^{2-} \times 100)/rCl^-$	油气保存环境
<1.0	<1	保存区
1.0~1.1	1~4	过渡区
1.1~1.5	4~40	弱保存区
>1.5	>40	非保存区

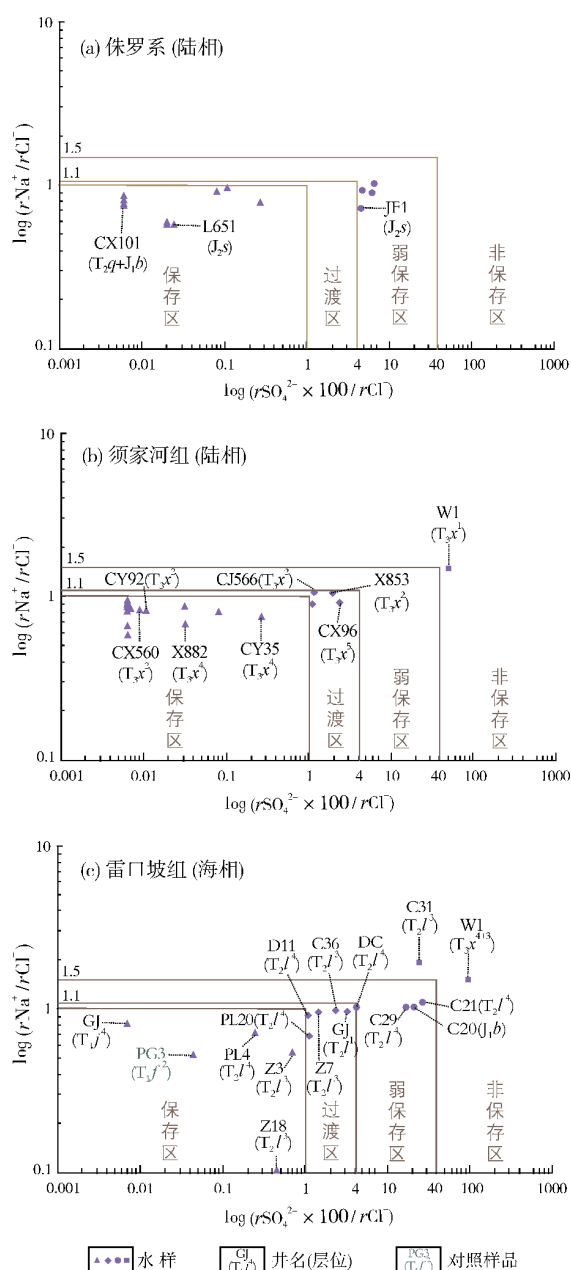


图 6 川西地区地层水变质系数—脱硫系数投点判别图

4.1 陆相侏罗系

由图6a可以看出,研究区多数井侏罗系地层水的变质系数与脱硫系数都分布于“保存区”内,少数井分布于“弱保存区”内。分析发现,后者的埋深一般小于2200m(多小于1000m),层位时代较新。

分布于“保存区”内的井,大多产水或低产气(如CX101井),对千佛崖组—白田坝组底部2545~2551m段测试,获产天然气1435.5 m³/d,产水42 m³/d;对L651井沙溪庙组2302.83~2314.83 m段加砂压裂后测试,获产天然气800 m³/d(同时产水,未测试)。这一现象在很大程度上跟储层的致密程度高有关。

值得注意的是,分布于“弱保存区”的都是埋深小于1000m的下白垩统一上三叠统蓬莱镇组(K₁—J_{3p})的水样以及埋深小于2200m的沙溪庙组(J_{2s})水样。层位时代较新或埋藏较浅的地层,在保存条件变差的同时,岩石的致密程度也随之降低,使储集性能得以改善,因此在具备充沛的烃源补给条件下就可聚集成藏。如JF1井2135.84~2147.84 m段(J_{2s}),测试获天然气无阻流量1.7×10⁴ m³,证实为较浅层常压低产工业气层。

4.2 陆相须家河组

地层水变质系数与脱硫系数基本上都分布于“保存区”和“过渡区”内(图6b),水样具有区域性整体保存特征,处于保存条件较好的水动力缓慢交替带环境内,其中的X882井和CY35井水样(T_{3x}⁴)出现在更好的水动力较稳定带环境内。须家河组总体上保存条件良好,相对优于陆相侏罗系,也优于海相雷口坡组(T_{2l})。现有成果中,仅见一例W1井(T_{3x}¹)分布于“非保存区”内。W1井位于龙门山前锋推覆带内的一个推覆体上,盖层封盖条件受到破坏,且断层封堵性差,保存受到了破坏。

川西坳陷内X853井(T_{3x}²段)测试天然气产量(无阻流量)6.1×10⁴ m³/d,X882井(T_{3x}⁴段)测试产量2.3×10⁴ m³/d,CX560井(T_{3x}²段)测试产量14×10⁴ m³/d,CX96井(T_{3x}⁵段)测试产量1.5×10⁴ m³/d,CJ566井(T_{3x}²段)测试产量(无阻流量)3.9×10⁴ m³/d,CY92井(T_{3x}²段)测试产量2.9×10⁴ m³/d。这些数据表明,在川西坳陷内有大量的井在须家河组储层中获得了工业天然气流,这同时也证明了坳陷内须家河组的地层封闭保存及烃源条件均较好,是油气聚集的有利层系。

4.3 海相雷口坡组

四川盆地东北部普光气田的 PG3 井是主要产气井,将其产气储层段飞仙关组二段(T_1f^2 段)地层水的化学指标——变质系数与脱硫系数作为对照样品绘于投点判别图(图 6c)上,发现它分布于保存条件最好的“保存区”内,且具有最理想的 $CaCl_2$ (或 $Cl-Ca-Na$)型。

四川盆地西部海相雷口坡组地层水样的变质系数与脱硫系数,其分布有一定的规律:靠近龙门山前缘推覆带的安县 C29 井、C21 井和 C20 井,江油 C31 井,雾山 W1 井等的水变质系数与脱硫系数分布于“弱保存区”到“非保存区”范围内;川西拗陷内的江油、梓潼、邛崃地区的井,其水变质系数与脱硫系数分布于“过渡区”到“保存区”范围内。

靠近龙门山前山推覆带、钻探失利的 W1 井位于“非保存区”内,而靠近龙门山前缘推覆带(即邻近露头区)的位于断层上盘的安县 C29 井、C20 井和 C21 井保存条件变差(弱保存区),但往东 6 km、位于断层下盘的 C36 井保存条件就相对较好(过渡区),而紧靠露头区的 C31 井为“非保存区”。拗陷中心的 GJ 井,南部的 PL4 井、PL20 井(保存区)以及 D11 井(过渡区)的保存条件良好;靠近盆地边缘的 Z18 井和 Z3 井储层系统均属保存区,Z3 井见 $CaCl_2$ (或 $Cl-Na-Ca$)水型,Z18 井 T_2l^3 段测试产气 $91.57 \times 10^4 m^3/d$,产油 $20.64 t/d$;Z3 井 T_2l^4 段测试产气 $8.5 \times 10^4 m^3/d$,产油 $1.02 t/d$ 。

综上所述,从龙门山前缘到拗陷区内部,海相地层的封盖条件逐渐变好。

5 油气保存条件综合分析

通过对四川盆地西部地层水与油气保存关系的研究认为,影响研究区油气藏保存条件的主要因素是大规模的断裂对盖层的破坏程度,以及由此而产生的水化学、水动力条件的优劣。综合考虑这些影响因素,研究区可划分出有利、较有利和不利等三类油气保存区(图 7)。

油气保存有利区 位于川西拗陷,即邛崃—绵阳—广元一带(图7)。构造开启程度低,风化淋滤作用基本停滞,地层水主要为 $CaCl_2$ 型,有利于油气成藏。

油气保存较有利区 位于龙门山前缘推覆带,即推覆带南段灌县断裂下盘,北段马角坝断裂至江油—灌县断裂一带(图 7)。地表出露上三叠统须家

河组三段,因中下三叠统发育很厚的膏盐岩,可形成良好的封盖层,而且在膏盐层——主滑脱面以下的地层,变形强度明显弱于冲断系统的变形强度,只发育一些小规模的断层。可能在推覆体的下盘存在保存条件较好的部位,这里有一定的勘探前景。

油气保存不利区 位于龙门山前山推覆带,即映秀—北川断裂、马角坝断裂带之间(图 7)。因构造变形强烈,且发育一系列叠瓦逆冲断层及裂缝,从而断裂的封闭条件差,地表出露上石炭统,下伏的上三叠统须家河组保存不全,风化淋滤作用强烈,水交替循环积极,地层水多为低矿化度的淡水,不利于油气保存。

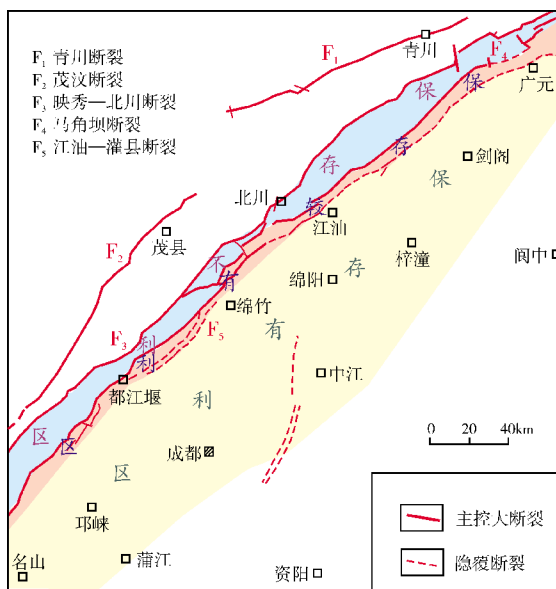


图 7 川西地区油气保存区带划分图

6 结论

(1)总体上,川西地区纵向上随着埋深的增加,地层水变质程度加深,地层封闭性变好;横向上从盆地边缘龙门山区到拗陷区,随着地层埋深的增大,储层的封闭条件逐渐变好,地层水的矿化度也逐渐变高,水型由开启环境的 $NaHCO_3$ 型过渡到封闭环境的 $CaCl_2$ 型。

(2)川西地区油气藏保存的主要因素取决于大规模的断裂对盖层的破坏程度,以及由此而产生的水化学、水动力条件的优劣。总体而言,四川盆地西部的川西前陆拗陷为油气保存有利区,龙门山前缘推覆带为较有利区,龙门山前山推覆带为不利区。

参考文献

- [1] 胡晓凤,王韶华,盛贤才,等. 中扬子区海相地层水化学特征与油气保存[J]. 石油天然气学报,2007,29(2):32-37.
- [2] 赵建成,刘树根,孙玮,等. 龙门山与四川盆地结合部的油气保存条件分析[J]. 岩性油气藏,2011,23(1):79-85.
- [3] 郭兵,刘树根,刘顺,等. 龙门山中段前山带构造特征及其形成演化[J]. 岩性油气藏,2008,20(4):59-64.
- [4] 林茂炳,吴山. 龙门山推覆构造变形特征[J]. 成都地质学院学报,1991,18(1):46-55.
- [5] 杨克明,朱彤,何鲤. 龙门山逆冲推覆构造带构造特征及勘探潜力分析[J]. 石油实验地质,2003,25(6):685-693,700.
- [6] 罗啸泉,郭东晓. 川西断裂分布特征与油气的关系[J]. 西南石油学院学报,2004,26(6):17-20.
- [7] 张永刚,马宗晋,杨克明,等. 川西坳陷中段海相系油气勘探潜力分析[J]. 地质学报,2007,81(8):1041-1047.
- [8] 匡建超,曾剑毅,储昭奎,等. 川西龙门山前缘主要断层封堵性评价[J]. 天然气工业,2008,28(11):42-45.
- [9] 罗啸泉,李书兵,何秀彬,等. 川西龙门山油气保存条件探讨[J]. 石油实验地质,2010,32(1):10-14.
- [10] 马力,陈焕疆,甘克文,等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京:地质出版社,2004.
- [11] 沈玲玲,李晓,韦玉婷. 四川温江金马地区地下水化学特征研究[J]. 广东微量元素科学,2006,13(9):56-60.
- [12] 刘桂凤,吴运强,赵增义,等. 克拉玛依百口泉油田地层水化学特征与油气成藏关系[J]. 中外能源,2007,12(1):29-34.
- [13] 贾霍甫,徐思煌. 川东北地区二叠—侏罗系地层水化学特征及其与油气聚集的关系[J]. 重庆科技学院学报:自然科学版,2005,7(2):12-15.
- [14] 曾溅辉,吴琼,杨海军,等. 塔里木盆地塔中地区地层水化学特征及石油地质意义[J]. 石油与天然气地质,2008,29(2):223-229.

编辑:赵国宪

Chemical Characteristics of Triassic-Jurassic Formation Water and Relationship of it to Hydrocarbon Preservation in the West of Sichuan Basin

Deng Daping

Abstract: According to the analysis of chemical properties of Triassic-Jurassic formation water samples from more than 40 wells in the west of Sichuan Basin, it is shown that the metamorphic grade of formation water figures a increasing tend in longitudinal with increasing depth and the mineralization degree gets gradually high in regional from the basin margin (Longmenshan Thrust) into the basin center (Chuanxi Depression), and meanwhile the water types take a change from NaHCO_3 (indicating an open environment) to CaCl_2 (an enclosed environment). The preservation condition is commonly good (closed) in marine Middle Triassic Leikoupo Formation although the hydrodynamic environment are various in it. It is poor in the upper part of continental Jurassic formation because of frequent hydrodynamic alternation but it is good in the middle and lower parts of the Jurassic formation. The preservation condition is generally good in continental Upper Triassic Xujiahe Formation. It is suggested that the "favorable zone" for hydrocarbon preservation mainly is in Chuanxi Depression, the "secondary favorable zone" is in the Longmenshan Forward Thrust, and the "unfavorable zone" is in the Longmenshan Front Thrust.

Key words: Formation water; Chemical characteristics of water; Hydrodynamic condition; Hydrocarbon preservation condition; Western Sichuan Basin

Deng Daping: Petroleum Geology Engineer. Add: Exploration & Production Institute of SINOPEC Southwest Petroleum Branch Company, 247 Bageyan Rd., Guiyang, Guizhou, 550004, China