

四川盆地三叠系地下卤水储层特征 及其富集的控制作用

林耀庭

(西南石油局第二地质大队, 四川自贡 643013)

摘要 四川盆地三叠系地下卤水分布广泛, 品质优良, 是我国开采利用最早, 工业价值最高的卤水资源。研究表明, 地下卤水储层为低孔隙低渗透致密岩石, 不利于卤水的运聚, 而后期构造形成的断裂和裂缝控制了卤水的富集作用。

关键词 地下卤水 储层 卤水品质 富集 三叠系 四川盆地

分类号 P645

四川盆地地下卤水分布广泛, 资源丰富, 从震旦系至白垩系多层系普遍含卤, 含卤层具有区域分布稳定的特点。其中尤其以上三叠系须家河组 (T_{3Xj}) 的黄卤及中、下三叠系雷口坡组 - 嘉陵江组 ($T_{2L} - T_{1j}$) 的黑卤, 其水质、水量和开采条件最为理想, 为四川盆地开采历史最早, 综合开发利用、工业价值最高的卤水, 也是目前四川卤水开发利用的主要卤层。自贡、五通桥、蓬莱镇等地都由此早已建立了有相当规模的盐化工生产基地, 产品除食盐外, 有氯化钾、硼酸、硼砂、溴素、碘素、氯化钡、碳酸锂、碳酸锶等十余种盐化工产品, 有的还畅销国外, 为国民经济的发展作出了重要贡献。本文在简要阐述四川盆地三叠系卤水形成的地质背景前提下, 着重对卤水储层特征及富集规律的控制作用进行初步研究。

1 地下卤水形成的地质背景

四川盆地为北东 - 南西向伸长的大型半开启叠层式自流盆地, 面积超过 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。早中三叠世时, 盆地处于上扬子海域的北西隅, 为一浅水碳酸盐岩和蒸发岩频繁交替的间互层^[1]。印支早幕台地隆起为陆, 盆地以泸州古隆起为中心遭受不同程度的古剥蚀^[2]。随后盆地长期处于相对沉降状态, 上三叠系沉积了 1000~2000 余米的滨海 - 河湖相碎屑岩及煤系地层。据资料三叠系地下卤水有两大储集类型及十个区域含卤层 (表 1)。各含卤层与相邻蒸发岩或泥页岩所构成的隔层关系密切, 组成了储、隔层相间平行叠置的含卤组合。三叠系地下卤水皆为深埋型, 分布广泛而稳定, 除盆地周边露头区及古剥蚀区外, 在盆地内皆有分布。

2 卤水的储层特征

卤水作为流体矿藏, 与石油、天然气类同, 是一种层控的以岩石孔隙为储存空间, 构造裂缝为主要运移通道, 运动状态较为复杂的液态矿产。

表 1 四川盆地三叠系卤水层划分示意图

含卤层系		层段代号	编号	沉积相及类型	储集卤型
上三叠系	须家河组	$T_3 \times j^6$	10	滨海河湖相碎屑岩	碎屑岩储集类型
		$T_3 \times j^4$	9		
		$T_3 \times j^2$	8		
中三叠系	雷口坡组	$T_2 L^4$	7	海相碳酸盐岩-蒸发岩	碳酸盐岩储集类型
		$T_2 L^3$	6		
		$T_2 L^1$	5		
下三叠系	嘉陵江组	$T_1 j^5$	4		
		$T_1 j^3$	3		
		$T_1 j^2$	2		
		$T_1 j^1$	1		

盆地三叠系地下卤水储层,长期处于深埋封闭条件,岩石受成岩压密作用,孔隙大为缩小,连通性极差,属低孔隙、低渗透储集类型,按储卤介质的差异,可分碎屑岩和碳酸盐岩两大储集类型

2.1 上三叠系碎屑岩储层

上三叠系须家河组二、四、六段 (T_{3XJ}^2 、 T_{3XJ}^4 、 T_{3XJ}^6)储集层多数为块状碎屑砂岩,平均孔隙度为 5.56%,单井单层平均孔隙度为 6~10%,孔隙分布较均匀,表现出相对均质,但渗透率很低,平均渗透率仅 0.23μm,属低孔隙、低渗透储层。卤水富集主要与构造裂隙密切相关,大多具有非均质,各向异性特征

2.2 中、下三叠系碳酸盐岩储层

中、下三叠系雷口坡组和嘉陵江组 (T_2L — T_1j)储层岩石为碳酸盐岩,大多数碳酸盐岩的平均孔隙度仅 2.46%,平均渗透率为 2.44μm,单层孔隙度大多在 1~3%,渗透率为 0.6~4.0μm,均为低孔渗致密储层,仅局部孔隙性较好,表现出极不均质,各向异性的岩溶裂隙储层特征

据统计资料,四川盆地三叠系各含卤层段储层的孔隙度和渗透率如表 2

3 地下卤水组分及品质特征

盆地三叠系各层系卤水形成环境及储集条件不尽一致,水化学特征各具物色,具有明显的分层性。从水化学离子组合的比例关系,可将它们区别开来(表 2)。而埋藏条件与变质程度的差异,又可使同一层段卤水化学组分及品位含量有所差别。

3.1 上三叠系须家河组 (T_{3XJ})黄卤组分特征

须家河组 (T_{3XJ})地层具六分性, T_{3XJ}^1 、 T_{3XJ}^3 、 T_{3XJ}^5 为煤系, T_{3XJ}^2 、 T_{3XJ}^4 、 T_{3XJ}^6 为煤系, T_{3XJ}^2 、 T_{3XJ}^4 、 T_{3XJ}^6 为一套长石石英砂岩,为孔隙裂隙储卤层。卤水因铁离子被氧化后生成铁的氧化物沉淀,使卤水呈显黄色,因此通常称之为黄卤。

表 2 四川盆地三叠系 各含卤层段储层岩石的 孔隙度及渗透率

含卤层段		孔隙度 (%)			渗透率 (μm)	
		最大值	平均值	样品数	平均值	样品数
上三叠系 须家河组	T ₃ X ⁶		2.40	40	0.05	16
	T ₃ X ⁴	10.11	5.86	1037	1.06	298
	T ₃ X ²	9.45	5.52	6336	0.17	3889
	平均		5.56	7413	0.23	4203
中三叠系 雷口坡组	T ₂ L ⁴	13.86	6.49	14		
	T ₂ L ³	10.20	3.70	207	3.90	204
	T ₂ L ¹	24.57	3.20	324	2.30	228
下三叠系 嘉陵江组	T ₁ J ⁵	18.91	1.80	202	0.60	181
	T ₁ J ³		1.80	624	0.80	184
	T ₁ J ² -T ₁ J ¹	30.83	2.45	856	3.18	490
平均			2.46	2227	2.44	1287

注: 1 表列为加权平均值;
2 资料来源据 1985年中国地质大学 (北京)李慈君、杨立中;
3 T₂L⁴段孔隙度据测井解释资料.

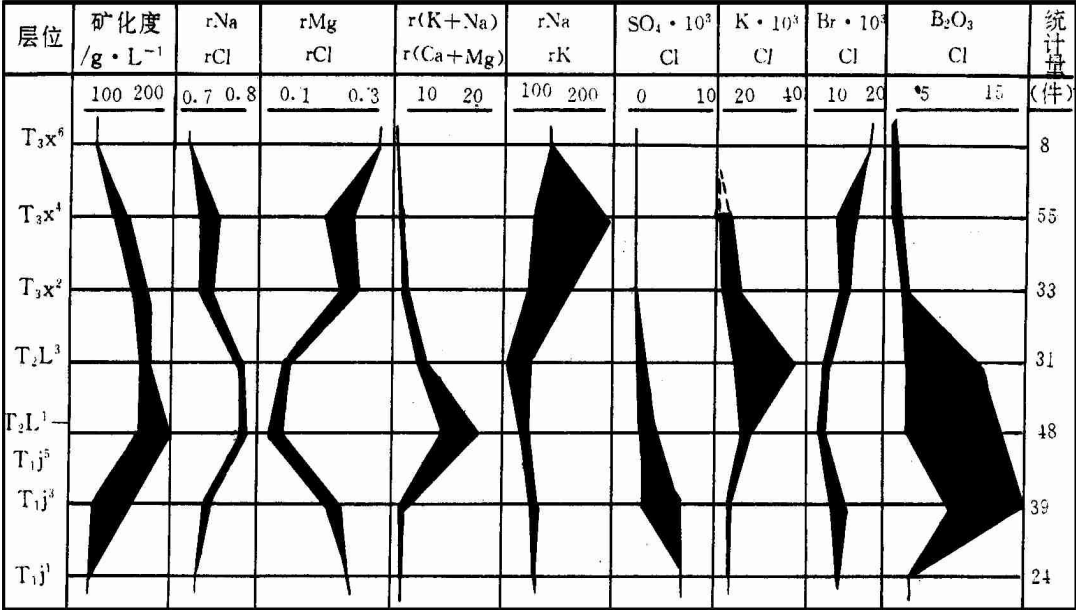


图 1 四川盆地三叠系 各主要层段卤水水化学特征系数图

黄卤形成于滨海—河湖交互的环境,海水组分及先期固体盐的溶滤是卤水组分的主要来源。鉴于当时气候温热多雨,植物茂盛,也有利煤及油气的生成。因此有机质的分解,使 Br⁻、I⁻等组分能在水中聚集。当卤水埋藏在 2000 m 左右时,Br⁻、I⁻含量分别可达 1000 mg/L 和 30 mg/L,均超过了单独开采的工业品位指标,因此黄卤常称之为工业溴碘水。此外 LiCl、B₂O₃ 含量也可综合开发利用,与中、下三叠系卤水比较,钒等重金属元素含量也较高。

3.2 中、下三叠系雷口坡组 – 嘉陵江组 (T₂L– T₁j)黑卤组分特征

中、下三叠系 (T₂L– T₁j)地层为一套海相碳酸盐岩和蒸发岩类的交替沉积,除在 T₂L⁴ T₂L³在盆地东部及南部受印支期的上升剥蚀,厚度较小外,其余地区厚度都较大且分布稳定。其中 T₂L⁴ T₂L³、T₂L¹– T₁j⁵ T₃j³ T₁j²储层由灰岩、白云岩构成的岩溶裂隙储卤层,卤水因含 H₂S 气体与铁离子作用生成硫化亚铁沉淀,使卤水呈显黑色,因此 T₂L– T₁j 卤水通常称之为黑卤。

海水是黑卤化学组成的主要物源,且含卤层与其相邻的蒸发岩关系密切, T₁j⁵、T₂L¹、T₂L⁴ 皆为四川盆地的主要成盐期,且已达到了较高的碱化阶段,以及雷口坡早期火山物质的喷发 (T₂L¹底部盆地普遍存在一层火山凝灰岩 – “绿豆岩”),这不但使 T₂L¹、T₁j⁵ 黑卤的溴、碘等组分可与 T₂xj 黄卤相媲美,而且 LiCl、B₂O₃ 含量当卤层埋藏在 1000m 左右的条件下均超过单独开采工业品位要求。川西 T₂L⁴ 卤水的 B₂O₃ 达 16080mg/L,实为世界罕见; KCl 的含量也较高,一般均可达到综合利用品位,其中川东北宣汉的 T₁j⁵– T₂L¹ 卤水 KCl 含量达 4%。川西平落坝 T₂L⁴ 卤水 KCl 含量高达 8.22%,远超过单独开采的工业品位。可见黑卤是盆地工业利用价值最高的卤水,是优质液态钾矿及工业原料水。

三叠系各层段储层卤水平行叠置,分布广泛,在无大的构造断裂切割下,各卤层之间一般均无水力联系,水化学组分品位含量不一,详见表 3。

表 3 四川盆地三叠系地下卤水组分品位含量与工业品位对比

卤水类别	卤水产层	卤 水 组 分 品 位 含 量					
		NaCl (%)	KCl (%)	LiCl (mg/L)	Br ₂ (mg/L)	I ₂ (mg/L)	B ₂ O ₃ (g/L)
黄卤	T ₃ xj	9.5~ 20.8	0.03~ 0.36	130~ 340	690~ 1900	12.0~ 53.00	10~ 0.88
黑 卤	T ₂ L ⁴	19.9	8.22	549	2533	38.0	16.08
	T ₂ L ³	13.1~ 18.30	0.26~ 1.16		510~ 930	13.0~ 33.20	49~ 2.67
	T ₂ L ¹ – T ₁ j ⁵	15.2~ 23.9	0.48~ 4.0	300~ 1730	500~ 1790	13.0~ 39.01	40~ 5.46
	T ₁ j ³ – T ₁ j ² – T ₁ j	6.3~ 10.1	0.08~ 0.12		210~ 860	11.0~ 23.00	39~ 1.53
单独 开采	工业品位	> 10	2	200	300	> 29	1.0
	边界品位	/	1	150	200	/	0.4
综合利用工业品位		/	0.5	150	150	> 20	0.4

注:工业品位根据 1972 年《矿产工业要求参考手册》^[3]

4 地下卤水富集的控制作用及规律

4.1 储层裂隙的发育是卤水富集的重要关键

卤水和油气均为地下流体矿藏,是一种层控的以岩石孔隙和裂缝为主要运移通道。而盆地三叠系地下卤水储层岩石均为低孔渗致密岩石,不利于卤水的运聚,特别是处于深埋藏封闭的地下卤水,只有后期构造作用对储卤层施加影响,形成构造裂缝发育带,增加了卤水的储渗能力,这是卤水富集的重要关键。从以下几点可得到体现。

(1) 卤水具明显的层控性,但同一层段的储卤层,产卤情况有时可大相径庭,表现出同一构造的不同部位,产卤量可高可低,变化很大,反映出极不均质各向异性的水动力特征,可见裂缝

控卤起着主导作用,有利卤水富集

(2) 储卤层的岩石基质孔渗条件与产卤量极不协调, 卤水产能往往超出岩石孔渗能力的数倍甚至到数百倍。如盆地通贤场构造通 1 井的 T_{3xj}^2 砂岩孔隙储集条件较好, 平均孔隙度为 9.4%, 但构造裂缝不发育, 产卤量很少, 仅 $0.71 \sim 0.75 \text{ m}^3/\text{d}$ 而蓬萊镇构造的蓬基井 T_{2xj}^4 砂岩基质孔渗性并不十分优越, 但岩层局部产状出现很陡 ($45^\circ \sim 68^\circ$), 并出现地层重复现象, 有逆掩断层切割含卤层, 见有大裂缝, 具备了卤水富集的条件, 卤水的产量高达 $3213 \text{ m}^3/\text{d}$, 且产卤稳定, 高产达 20 余年之久。

4.2 构造应力相对集中形成的构造断裂及裂缝发育带是卤水的富集地段

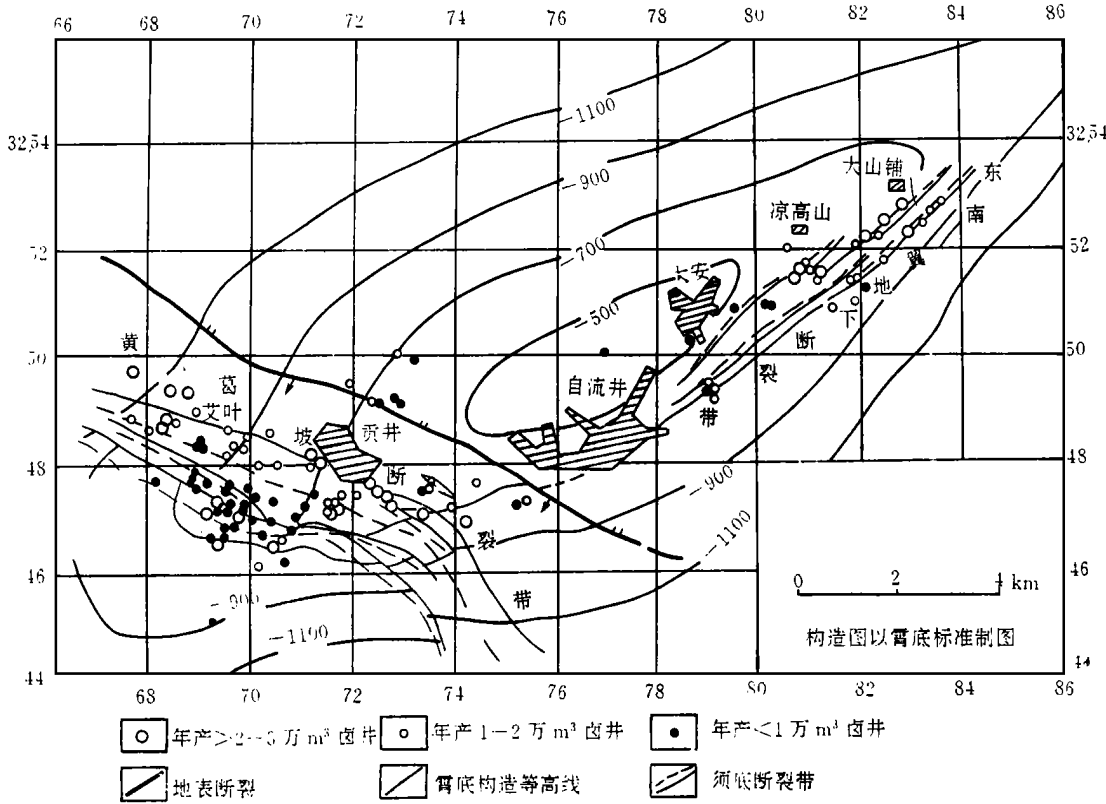
盆地三叠系地下卤水形成后经历了印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动, 特别是在喜马拉雅运动的影响下, 盆地内发育众多的局部构造, 形成了盆地当今构造轮廓, 在构造应力作用相对集中的构造断裂及裂缝发育带上, 是卤水重要富集地段。尤其是当断层切割含卤层及不同方向构造断裂的复合部位, 增大了卤层的储渗能力, 为卤水的富集和运移提供了良好的条件, 往往形成了具有开发潜力的卤水富集带或储卤的有利构造部位。从川西南地区卤水富集规律的研究表明, 背斜轴部张裂隙发育, 并且沿背斜长轴常生成有低序次高级别的走向压性断裂, 更进一步促进了裂隙发育, 有利于卤水的富集和保存; 北西向压扭性断裂也有利于卤水富集, 两个构造体系反接复合部位, 更是卤水富集的有利地段。如邓井关构造 T_{3xj} 产卤量 $> 500 \text{ m}^3/\text{d}$ 的高产井有 71.4% 集中在背斜轴部与北西向五里坡断裂带的交接带, 28.6% 分布于背斜轴部断层裂缝发育带上, 而背斜翼部裂缝不发育, 则无一口高产井便是一个明显的例证。著名的自流井气卤构造, 历经上千年的开采历史, 产卤井优存劣汰, 近代采卤井的分布几乎全与东南翼地下断裂带及北西向黄葛坡断裂发育带一致 (图 2)^[4], 可见卤水富集明显受后期构造作用强度控制。

4.3 背斜圈闭构造是卤水富集的主要形式

大量勘查工作表明, 盆地三叠系地下卤水分布, 绝大部分依附喜马拉雅运动形成的局部圈闭构造而存在, 首先盖层封闭良好, 而且卤水的富集在构造上具有明显的部位性。通常沿构造轴部及转折端的纵张裂缝发育带以及褶皱形成晚期沿剖面上的共轭扭裂面发展起来的逆冲断裂带, 再利卤水富集。而宽缓的向斜位, 则因裂缝不发育, 就缺乏卤水富集条件。因此卤水的聚集严格受背斜圈闭构造控制, 它是卤水富集的主要形式。在油气勘查中据此总结了“一占三沿”(即占构造高点、沿轴线、扭曲、陡带) 的布井原则, 大大提高了掘井的成功率, 抓住了控制油气富集的关键因素。盆地三叠系气卤产层一致, 储集条件基本相同, 储集规律具有共性, 因而油气勘查的部井原则, 也同样适用于卤水勘查工作。如川南地区具有卤水良好显示的打鼓场、长垣坝等 8 个构造的 14 口钻井, 分布于构造高点及沿轴部的要占绝大多数, 比例达 86% (表 4)。但近年来在川西、川中等地也发现了背斜气藏, 如大兴西、遂南等气藏显示, 仍值得重视。

综合上述研究表明, 卤水是层控的地下流体矿藏, 岩性决定了卤水的储集, 而后期构造形成的裂缝控制了卤水的富集。以断、褶为其特点的喜马拉雅运动的发生, 对卤水富集起到主导的控制作用。卤水勘查开发实践表明, 具中等褶皱强度, 盖层封闭良好, 并伴随一定规模断裂发育的构造, 即可使卤水能较好地保存, 而且也为卤水的运移和富集提供了良好条件, 特别是不同方向构造断裂的复合部位, 是卤水富集的最有利地段。褶皱强度过大的构造可导致卤水

藏的淋滤破坏,过弱的虽保存条件较好,但构造裂隙欠发育,又缺乏足够的卤水储存运移空间,兼顾富集和保存两个方面的条件,相对较低缓,褶皱强度中等的背斜构造,比较有利卤水富集



因此寻找卤水富集构造和地段,需首先查明局部构造及卤层构造特征以及应力相对集中部位

表 4 盆地南部地区卤水井的构造部位统计

构造部位 项 目	高 点	长 轴	其它部位	合 计
井数(个)	6	6	2	14
百分比(%)	43	43	14	100

只要所部探卤井构造部位得当,发现和找到高压力、大产量的卤水是完全可能的。以上初步研究,“抛砖引玉”,仅供从事盐卤勘查工作者参考。

参 考 文 献

- [1]林耀庭,李泽东. 蒸发岩与油气. 北京: 石油工业出版社, 1985, 10- 12.
[2]安作相,地质学报. 1962, 42(4): 370- 371.
[3]矿产工业要求参考手册编写组. 矿产工业要求参考手册. 北京: 地质出版社, 1972, 259- 283.
[4]汪蕴璞等. 深层卤水形成问题及其研究方法. 北京: 地质出版社, 1982, 173- 177.

STORAGE CHARACTERISTICS OF THE GROUND BRINE OF TRIAS IS SICHUAN BASIN AND THE DETERMINATION FACTORS OF ITS ENRICHMENT

Lin Yaoting

(No. 2 Geological team, Southwest Petroleum Bureau, Zigong, Sichuan province 643013)

Abstract

Ground brine of Trias is widely distributed in Sichuan Basin, Which has fine quality and fantastic industrial values. It is the earliest exploited brine resource of our country. Research has indicated that the storage lager of the brine is mainly of compact rocks with low prosity and poor permeability, which is unfavorable for the movement and gathering of the brine. However, ruptures and fissures in the lately formed bedrock structure determine the enrichment of the brine.

Keywords Ground Brine, Storage Layer, Brine Quality, Enrichment, Trias, Sichuan Basin