

我国高碘卤水分布规律及其形成

孙大鹏

(中国科学院青海盐湖研究所 西安二部, 陕西 西安 710043)

摘要: 根据国内外大量实际资料, 从碘的分布情况及其所处的地质条件, 结合石油和天然气形成过程、油气藏类型及其分布特点, 探讨高碘卤水分布的规律及其形成条件, 在此基础上指出了我国的找碘方向。

关键词: 卤水; 碘; 分布的规律; 形成

中图分类号: P641.464

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2006)02-0007-010

1 我国贵州地区

本区海相沉积比较发育, 特别是泥盆化和三叠纪多为浅海相沉积。这些沉积物中的生物化石和有机质含量都比较丰富。但以往在石油和天然气勘探过程中, 仅对三叠纪地下卤水进行了一些分析和研究, 所以, 这里只能讨论一下三叠纪卤水中碘的分布情况。

三叠纪天然气田卤水主要分布在贵州省北部的赤水一带(如: 旺隆构造、太和场构造和高木顶构造等)和南部平坝县羊昌河一带。

旺隆构造: 为一不对称的短轴背斜。产天然气和卤水层为三叠纪嘉陵江统的 Tc_3-Tc_4 层, 岩性为白云岩和石灰岩。旺一井在 1 305.75~1 391.8m ($Tc_4^4-Tc_4^1$) 见高压卤水, 其矿化度为 54.4 g/L, 含碘量为 29 mg/L (旺二井为 28.4 mg/L)。水型为 $CaCl_2$ 型(见表 1)。

太和场背斜构造: 太 5 井、太 1 井和太 2 井主要产气、产水量不大。产水层为三叠纪嘉陵江流的 $Tc_4^1-Tc_3^3$ 层。岩性为白云岩和石灰岩。矿化度为 56.81~57.24 g/L。含碘量为 18~20 mg/L。水型为 $CaCl_2$ 型(见表 1)。

高木顶构造: 该构造二叠纪产水量较小, 三叠纪嘉陵江流 Tc_1 产水, Tc_3 产气水。高 1、2、3 井产水, 其中以高 1 井产量最高, 每天可达 4 000 m^3 。矿化度为 197.51 g/L。含碘量为 56.95 g/L。水型为 $CaCl_2$ 型(见表 1)。

平坝县羊昌河一带: 该区卤水产于三叠纪中统上部法朗阶的黑色、灰黑色泥岩、泥灰岩和灰岩的裂隙中。此岩石富含沥青和有机质, 并有分散状黄铁矿晶体。说明这些沉积物是在还原环境下形成的。其中所含的卤水矿化度很低, 仅为 14.95 g/L, 含碘量却很高, 最高可达 483.54 mg/L(见表 1)。从羊二井 43m 以上的卤水分析结果来看, 碘含量为 45.62~483.54 mg/L。而溴含量很低, 仅为碘含量的 0.5 倍(即 $I/Br \approx 2$) (见表 2)。水型为 $NaHCO_3$ 型。

由上所述, 可以看出贵州北部赤水一带的地下卤水与南部平坝县羊昌河一带的卤水存在着明显的差异, 前者矿化度高, 并与天然气伴生, 属 $CaCl_2$ 型, 碘含量为 16~56.96 mg/L, 溴含量极高, 为 176.65~1 000.91 mg/L。后者矿化度低, 碘含量高(为 45~483.54 mg/L), 溴含量低(为 20~235.60 mg/L), 水型为 $NaHCO_3$ 型。前者属湖滨相沉积, 后者属浅海相沉积。

收稿日期: 2005-03-16

作者简介: 孙大鹏(1934-), 男, 研究员, 主要从事地球化学研究。

表 1 贵州北部和南部三叠纪地下卤水的化学组成
Table 1 Chemical composition of the Triassic underground brines of northern and southern Guizhou

# 号	层位	矿化度 /g·L ⁻¹	化 学 组 成/mg·L ⁻¹								资料来源				
			Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Br ⁻		I ⁻	B ₂ O ₃		
旺一井	Tc ₄ - Tc ₄	54.48	16 376	247.95	666	2 667	30 700	2 359	479	211	29	29	29	29	贵州地质局
旺二井	Tc ₄ - Tc ₃	54.40	16 634	298.4	561.5	2 686.5	30 351	2 509.1	78.1	205	28.4	28.4	191.2	191.2	盐湖所
太一井	Tc ₄ - Tc ₃	56.81	14 870	187.9	625	2 231	31 950	3 184	224	176.65	20.26	20.26	20.26	20.26	贵州地质局
太二井	Tc ₄ - Tc ₃	57.34	13 400	199.7	2 089.9	4 427.8	31 330	3 978	164.7	16.7	16.7	16.7	265.8	265.8	盐湖所
高一井	Tc	197.51	7 362.1	1 180.32	3 252.81	4 272.84	110 254	2 916.83	309.81	1 000.91	56.95	56.95	645.73	645.73	贵州地质局
高三井	Tc	56.78	16 880	968	3 329	32 421	2 992	189							泸州气矿
高六井	Tc	70.36	22 214	1 270	2 898	40 751	3 027	195							泸州气矿
羊二井	T _{2f} (井深 336m)	14.95	5 533	2.5	69	71	8 150	380	690	235.6	464.27	464.27	5.23	5.23	盐湖所

表 2 羊二井水质分析结果*
Table 2 Water quality of Yang'erjin

样品号	井深/m	碘含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	溴含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	资料来源
71H-184	37	45.62	20.83	贵州省
71H-185	38	161.13	77.76	地质局
71H-186	39	154.51	74.71	
71H-187	40	316.38	155.98	
71H-188	41	348.02	176.82	
71H-189	42	420.86	213.38	
71H-190	43	483.54	235.60	

*系贵州地质局资料

2 我国四川盆地

该盆地卤水分布极为广泛,川中和川南地区为三叠纪嘉陵江组和雷口坡组卤水分布区;川中尚有侏罗纪香溪组和重庆组卤水;白垩纪卤水主要分布在川西平原地区。

2.1 三叠纪卤水

三叠纪嘉陵江统,下部主要为石灰岩和白云岩,上部含有石膏和岩盐(为盆地的主要成盐

期),其岩盐中尚含有杂卤石。其上雷口坡组主要为灰岩,仅在川中和川南(成都—乐山)地区有石膏和岩盐沉积。卤水主要赋存于雷口坡组(T_r)和嘉陵江组中部($T_{c1}-T_{c4}$)的石灰岩、白云岩和硬石膏层的裂缝和溶洞中。

川中地区:如五通桥、自贡等地,所谓的黑卤即产于三叠纪雷口坡组和嘉陵江组上部(T_{c5})盐类沉积裂缝中。卤水矿化度为 $14\sim 260\text{ g/L}$,含碘量为 $3\sim 22\text{ mg/L}$,含溴量为 $11\sim 800\text{ mg/L}$,水型为 CaCl_2 型(见表 3)。

表 3 川中地区三叠纪地下卤水中碘的分布(mg/L)

Table 1 Iodine contents of the Triassic underground brines of central Sichuan

地区	层位	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	I^-	Br^-	矿化度/ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
五通桥的罗成区	T_r^3	46 380	1 911	—	71 531	1 352	107	10.5	24.5	124.4
		$\sim 66\ 572$	~ 598		$\sim 102\ 599$	$\sim 4\ 429$	~ 118	~ 10.9	~ 34.6	~ 171.2
金山地区	T_r^3	77 147	5 653	1 231	131 787	920	49	29.19	664.2	133.5 ~ 216.8
自贡地区(生卤)	T	$\text{Na}: 56\ 000$ $\sim 88\ 000$	1 900	700	85 000	1 700	100	3~22	180	14.6 ~ 260
		$\text{K}: 1400$	$\sim 4\ 200$	$\sim 1\ 000$	$\sim 164\ 000$	~ 4800	~ 550		~ 800	
(盐卤)	T	3 300 $\text{Na}: 26\ 000$ $\sim 119\ 000$	400	80	38 000	4 200	0~200	0.4~5	11	20 ~ 320
		$\text{K}: 100\sim 880$	$\sim 1\ 900$	~ 300	$\sim 170\ 000$	$\sim 22\ 000$			~ 100	
邓关(生卤)	T	$\text{Na}: 82\ 000$ $\text{K}: 2\ 000$ $\sim 2\ 800$	3 100	800	127 000	1 900	/	3~17	670	232 ~ 780

川南地区:为四川盆地的主要卤水分布区。如:长垣坝、打鼓场、五通场、塘河、东溪等构造产水量最高,日产达 $1\ 000\text{ m}^3$ 以上。观斗山、坛子坝、桐子园、宋家场、先市、石就峡等构造产水规模中等,日产量为 $100\sim 1\ 000\text{ m}^3$ 。古佛山、

黄瓜山、九奎山、阳高寺、荔枝滩、老翁滩、付家庙、沈介山、纳溪、石油沟等构造,产水量较小,日产水量小于 100 m^3 。本区产水层为嘉陵江组($T_{c3}^3 - T_{c4}^1, T_{c2}^3 - T_{c3}^1, T_{c1}$),埋藏深度均在 $1\ 500\text{ m}$ 以上。卤水矿化度一般为 $30\sim 60\text{ g/L}$ 。

高者可达 197 g/L。含碘量一般在 20 mg/L 左右。溴含量为 140 mg/L 左右, 高者可达 1 000 mg/L。水型主要为氯化钙型, 个别为

Na₂SO₄ 型(见表 4)。

上述各地区卤水均是与天然气相伴产出。

表 4 川南地区三叠纪地下卤水中碘的分布

Table 4 Iodine contents of the Triassic underground brines of southern Sichuan

地区	层位	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	I ⁻	Br ⁻	矿化度/g·L ⁻¹
塘河	7#	12 940	1 795	394	21 235	1 862	944	17	171	40.1
	3#	11 364	1 654	478	18 611	3 900	593	19	148	36.6
长垣坝	5#	11 940	1 387	564	19 137	4 353	338	18	141	37.67
先市	1#				28 000	22	326	51.5		
坛子坝	1#				22 000	22	167	39.3		
黄瓜山	21#				43 000	17	47	73.11		
阳高寺	6#				44 000	11	456	72.1		
付家庙	8#				22 000	19	173	40.6		
九奎山	15#				17 075	21	100	28.7		

2.2 侏罗纪卤水

主要分布在川中的蓬莱、五通桥、自贡等地。卤水即所谓的黄卤, 主要产于香溪组的莲花岩砂岩和同心寨砂岩中, 以及重庆组的砂溪庙砂岩中。矿化度为 48 ~ 180 g/L, 含碘量为 9 ~ 20 mg/L, 溴含量为 265 ~ 667.5 mg/L。水型为 CaCl₂ 型(见表 5)。本层也伴随有天然气。

等地。层位为下白垩纪, 由含芒硝夹石膏的沉积物组成。矿化度达 100 g/L 以上, 含碘量为 6.9 ~ 24 mg/L, 溴含量为 24 ~ 27 mg/L。

由上所述, 可以看出四川盆地地下卤水中碘的分布是比较广泛的, 其含量较高者为三叠纪嘉陵江统, 其次为侏罗纪和白垩纪。前者为滨湖相沉积, 后者为陆相沉积。

2.3 白垩纪卤水

见于川西平原, 如: 大邑、三台、新津、眉山

3 江汉盆地

江汉盆地面积达 4.4 万平方公里。其内堆

表 5 四川盆地侏罗纪地下卤水中碘的分布

Table 5 Iodine contents of the Jurassic underground brines of Sichuan Basin

地区	层位	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	I ⁻	Br ⁻	矿化度/g·L ⁻¹
蓬莱镇 蓬基井	侏罗纪							34	71500	186
五通桥地区										
金山区	侏罗纪	38177	4614	978	70758		98	18.21	667.5	106.5 128.5
五通区	侏罗纪	16377 -22832	989 -1851	292 -505	28586 -41429		225 -434	11.5 -18.5	266 -403	48.6 -70.0
中华区	侏罗纪	27121 -41646	4806 -7631	554 -1178	54130 -81832		45-57	13.6 -24.3	261 -353.9	89.6 -135.3
自贡地区	侏罗纪	Na ⁺ :2000 -67000 K ⁺ :20 -800	2800 -12000	600 -2400	5000 -110000	0-10	20-160	9-30	450 -1200	0.1-180

积了厚达 3 000~5 000 m 的以陆相为主的碎屑岩沉积和盐类沉积。盆地内的构造单元有枝江拗陷、江陵拗陷、潜江拗陷、沔阳拗陷和应城盆地。除了在江陵拗陷沙市构造沙四井中发现了高矿化度的高温高压含碘卤水(含碘量为 42 mg/L)外,在潜江拗陷第三纪下部潜江组含盐岩系中也普遍发现了含碘卤水。

在此,着重讨论一下潜江拗陷北部下第三纪潜江组地下卤水中的含碘情况。

潜江组的岩性主要由碎屑岩和盐岩互层组成。其碎屑岩中包括泥岩、砂岩和油页岩等,盐岩层除大部分为石盐外,下部常伴随有无水芒硝,上部常出现含钠、钾和镁的硫酸盐。本区的卤水层是分布在碎屑岩层中。这种情况与美国帕拉多克斯盆地石炭纪的卤水分布情况比较相似。

本区地下卤水的化学组成,从其平均含量

看,总矿化度为 279 g/L,氯离子为 160 g/L,硫酸根为 9.7 g/L,重碳酸根为 1.02 g/L,钠为 110.47 g/L,钾为 1.58 g/L,镁为 0.17 g/L,钙为 0.9 g/L,硼为 150 mg/L,锂为 60 mg/L,溴为 379.7 mg/L,碘为 11.6 mg/L。由此可见,该区卤水为高矿化度的富钾、硼、锂的高溴的含碘卤水。

潜江组的卤水根据其在砂岩层组的分布情况自上而下可划分为 6 个卤水层。这 6 个卤水层的化学组成和碘含量有着明显的差别(见表 6)、下部第 5、6 层组卤水中的碘含量较高,相应地总矿化度、氯离子含量、钾、硼和锂的含量也较高,而硫酸根离子的含量却是比较低的。上部 1、2—3、4 层含碘量较低,相应地矿化度和其他离子的含量也较低,但硫酸根含量是在增加着。由此看来,卤水中的碘含量由下而上是逐渐降低的。

表 6 潜江组第 1 至第 6 卤水层组化学组成平均值*

Table 6 Average composition of the 1-6 layers of brines in the Qianjiang group

化学成分 层组	氯离子 /(g/L)	硫酸根 /(g/L)	碘 /(mg/L)	溴 /(mg/L)	钾 /(g/L)	硼 /(mg/L)	锂 /(mg/L)	总矿化度 /(g/L)
第 1 层	154	21.8	9.5	490.3	1.06	91	40	287.4
第 2—3 层	147	10.46	9.1	333	0.77	90	52	258.6
第 4 层	156	12.29	9.8	380.8	1.35	126.3	58.1	275.1
第 5 层	166	5.73	13.6	416.1	1.50	166.9	65.7	284.96
第 6 层	165	4.90	14.0	322.1	2.43	191.2	57.3	280.59

* 根据盐湖所和江汉石油管理局资料。

潜江组卤水不仅在垂直方向上存在着上述变化,在平面上也是变化的。从第 6 卤水层卤水碘含量等值线图可以明显看出(见图 1)。碘含量从东北向西南逐渐在增高着。这种变化与砂层向此方向减少和变薄有关(见图 2),也就是说随着沉积物由河统一湖滨相过渡到湖相碘含量逐渐在增高。至于,卤水中碘含量与其他成分之间的关系,从与该层卤水其他成分的平面图中可以对比看出:

(1) 碘含量增高的地区正是矿化度增高和氯含量增加的地区(见图 3),也就是说碘含量是随着矿化度和氯离子增加而在增高的。

(2) 碘含量增高的地区也是钾、硼、溴含量

增高的地区(见图 4、5、6),即碘含量基本是随着卤水中钾、硼和溴元素的增高而增加的。

(3) 碘含量增高的地区是与硫酸根含量减低的区域相适应的,也是与氯化钙型水的增多相适应的(见图 7)。

上述第 6 卤水层碘含量的变化趋势和它与其他成分的关系,在其他卤水层中也同样是存在的,这里就不再一一列举了。

本区卤水的水化学类型以硫酸钠型为主,其次为氯化钙型,再其次为重碳酸钠型。含碘较高的卤水属于前两种水型。这种情况是该区卤水成因(地层水和盐湖卤水混合水)和所伴随的盐类沉积的性质是一致的。

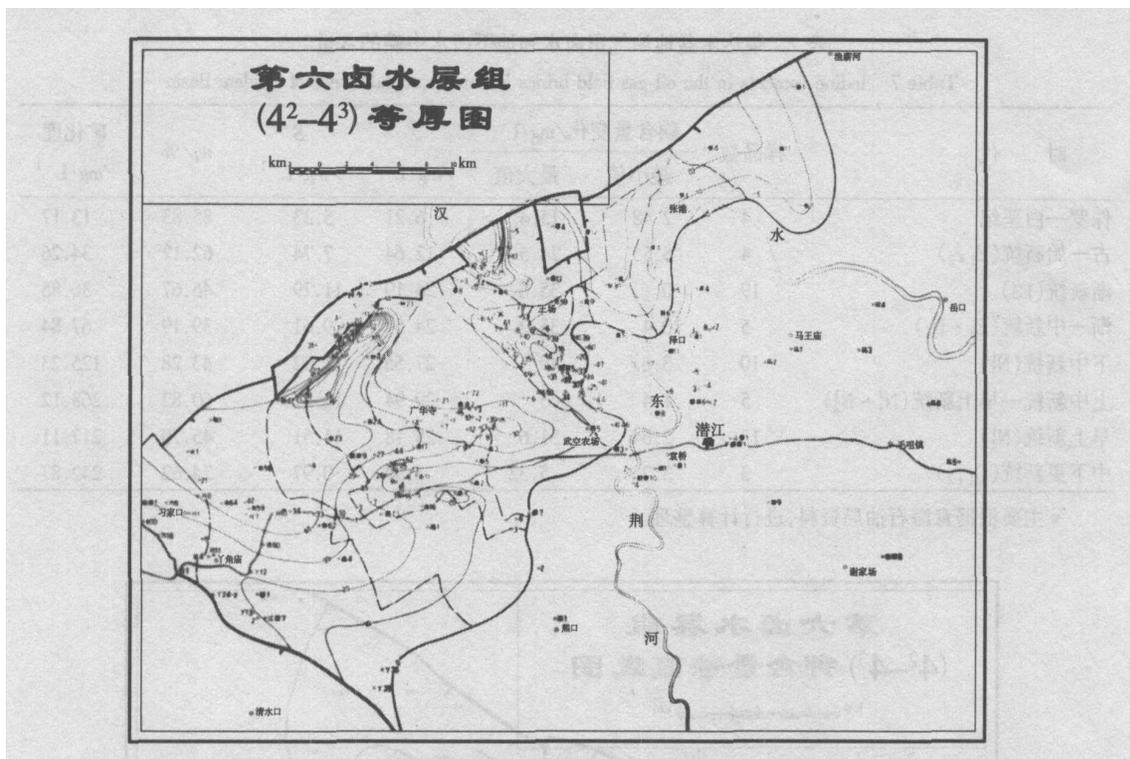


Fig. 2 Isolines of depth in the 6th brine layer

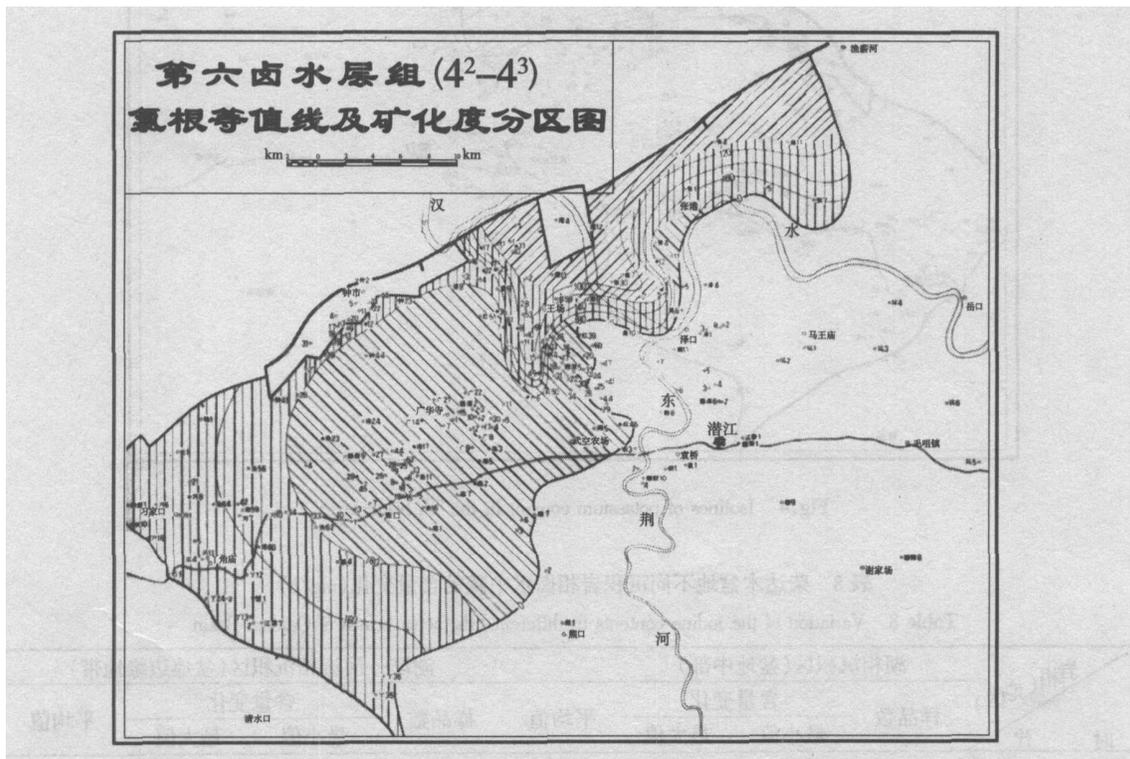


Fig. 3 Chloride content Isolines and Salinity distribution in the 6th brine layer

表 7 柴达木盆地油气田卤水和地下卤水中碘的含量*

Table 7 Iodine contents in the oil-gas field brines and underground brines of Qaidam Basin

时 代	样品数	碘含量变化/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		\bar{X} $/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	S $/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$w/\%$	矿化度 $/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
		最小值	最大值				
侏罗—白垩纪	4	2.48	15.4	6.21	5.33	85.83	13.17
古—始新统(E_{1+2})	4	5.55	24.5	12.64	7.74	62.12	34.26
渐新统(E_3)	19	0	35.6	24.19	11.29	46.67	36.85
渐—中新统(E_3-N_1)	5	10.4	35.2	24.52	9.61	39.19	67.84
下中新统(N_1^1)	10	3.6	49	27.55	11.92	43.28	125.23
上中新统—早上新统($N_1^2-N_2^1$)	5	7.4	63	29.94	18.21	60.82	268.12
早上新统(N_2^1)	13	2.64	31.6	25.18	11.51	45.70	217.11
中下更新统(Q_{1+2})	3	3.2	5.32	3.94	0.97	24.62	242.87

* 主要根据青海石油局资料, 进行计算整理。

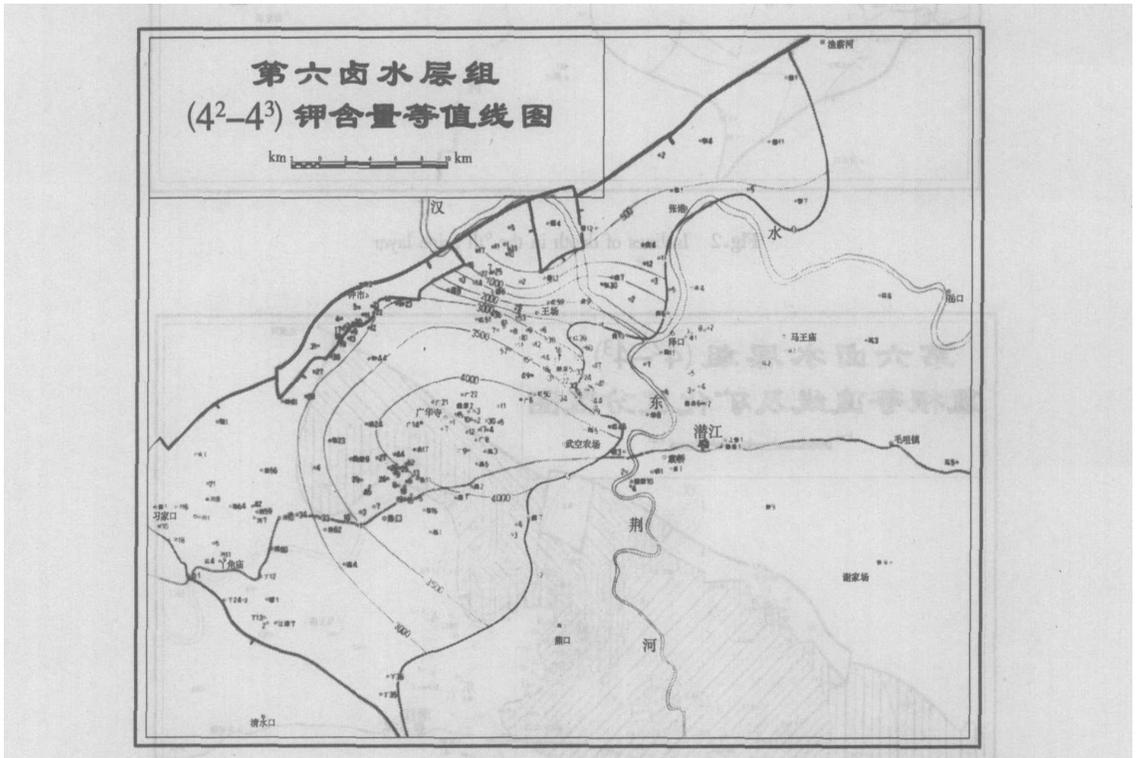


Fig. 4 Isolines of potassium content in the 6th brine layer

表 8 柴达木盆地不同沉积岩相卤水中碘的含量变化(mg/L)

Table 8 Variation of the iodine contents in different lithofacies brines of Qaidam Basin

岩相 时 代 (地区)	湖相沉积区(盆地中部)				湖滨—河流相沉积区(盆地边缘地带)			
	样品数	含量变化		平均值	样品数	含量变化		平均值
		最小值	最大值			最小值	最大值	
E_3-N_1	8	27.4	35.6	32.57	22	0	49	24.98
N_1^2	5	22.8	63	33.94	5	3.6	29	12.04
N_2^1	8	2.64	31.6	25.02	3	21.6	29	25.13

