

察尔汗盐湖 S4 层晶间卤水的粘滞性*

于升松 谭红兵 邵明昱 王克俊 雷亚川 张明刚

(中国科学院青海盐湖研究所 西宁 810008)

提要 1991 年 9 月—1994 年 12 月, 经 3 年半的粘度测知, 0.5m 水深处, 察尔汗盐湖晶间卤水运动粘滞系数多年平均值为 $3.068 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$; 3.0m 水深处, 多年平均值为 $3.324 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$; 6.0m 水深处, 多年平均值为 $4.094 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$; 9.0m 水深处, 多年平均值为 $5.717 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$; 12m 水深处, 多年平均值为 $5.207 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$ 。从 1991 年 9 月—1994 年 12 月, 各卤水深处卤水运动粘滞系数不论是年均值还是月均值均随时间推移而逐渐减小。1992 年 3 月—1994 年 12 月期间, 多年来, 3 月份卤水运动粘滞系数为 $3.473 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$, 6 月份为 $3.390 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$, 9 月份为 $3.496 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$, 12 月份为 $2.576 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$ 。由此看出, 9、3、6 月份的值较高, 12 月份的较低。晶间卤水运动粘滞系数(v)等值线基本上是南北走向分布, 即自东而西减小, 首采区 v 值较低; 表层卤水粘滞系数小, 深部卤水粘滞系数较大。从 1991 年 9 月—1992 年 12 月, 各年份卤水运动粘滞系数的平均值均随卤水深度增加而增加。卤水的粘度系数除与温度及不同种类盐的溶液有关外, 在察尔汗这种多种盐类组成的卤水中, 其卤水的运动粘滞系数比重在 1.20—1.30 范围内时, 与比重及镁含量呈好的正相关, 其相关系数分别为 0.956 和 0.920; 与 Na 含量呈好的负相关, 相关系数为 -0.918, 与其它化学组分间相关性不明显。

关键词 运动粘滞系数 察尔汗盐湖 晶间卤水

学科分类号 P734.3

察尔汗盐湖位于柴达木盆地中南部($93^{\circ}42'36''$ — $96^{\circ}14'35''$ E, $36^{\circ}37'36''$ — $37^{\circ}12'33''$ N)。它是我国最大的具有工业开采价值的第四纪内陆钾镁盐矿床, 以卤水钾矿为主, 固、液体并存。

首采区指青海钾肥厂一期工程的开采察尔汗盐湖 S4 层地下卤水矿的范围, 面积为 $84-91 \text{km}^2$, 占察尔汗盐湖总面积的 1.8%(图 1)。

粘滞性是盐湖卤水的一种物理特性, 它是液体的内摩擦, 是一层液体对另一层液体作相对运动的阻力, 确切说, 它表示卤水在流动时, 抵抗剪切变形的能力。盐湖卤水的粘滞性对卤水在固相介质内的渗透性、流动性、给水度及卤水抽取、输送和固相矿石脱水效果等均有影响。盐湖卤水粘滞性通常以粘滞系数(或粘滞度)来度量, 粘度分动力粘度 μ , 单位用 P 或 cP; 运动粘度 v , 单位用 cm^2/s 。一般情况下, 卤水运动粘滞系数(v)与卤水溶液的温度、浓度及卤水混浊度等不同种盐类成分等有关。浓度越大, v 越大, 温度越高; v 越小, 同一温度, 不同类型盐类溶液 v 不同, 其大小关系: $\text{MgSO}_4 > \text{MgCl}_2 > \text{Na}_2\text{SO}_4 >$

* “八五”国家重点科技攻关项目, 49776297 号。于升松, 男, 出生于 1941 年 10 月, 研究员, E-mail: yuss@isl.ac.cn

收稿日期: 1999-10-28; 收修改稿日期: 2000-04-12

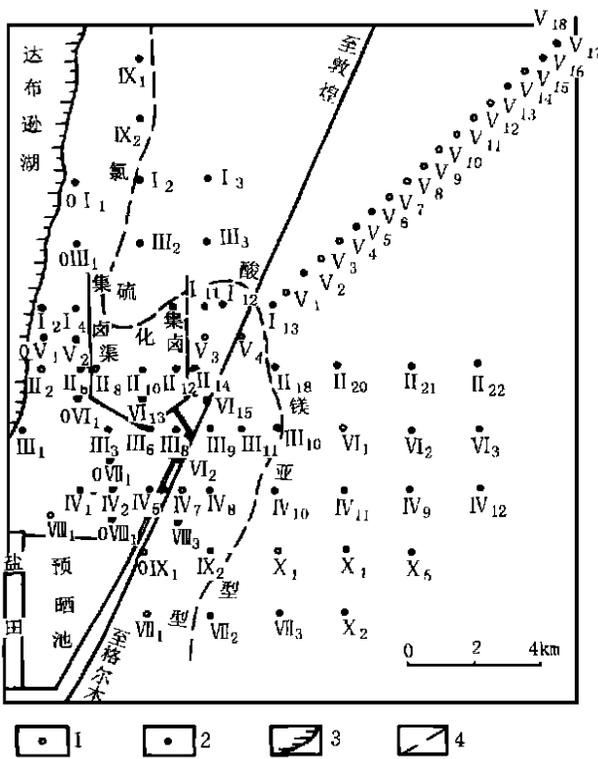


图1 察尔汗盐湖首采区钻孔及采样位置

Fig. 1 Coring and sampling locations in the Qarhan Salt Lake area

1 钻孔编号; 2 取样位置; 3 湖岸线; 4 水化学类型分界线

CaCl₂ > NaCl > K₂SO₄ > KCl.

作者在1990—1995年期间,配合青钾一期工程,研究了察尔汗盐湖卤水的开采量和卤水粘滞性。

1 晶间卤水运动粘滞系数的测定

对首采区40口钻孔,定期、分层(水深0.5m、3m、6m、9m和12m)取样,进行了为期3年半的粘滞系数动态观测,室内用乌氏粘度计测定了卤水20℃下运动粘滞系数,欲测卤水的运动粘滞系数为:

$$v_{20} = (v_{20}^{\text{标}} / \tau_{20}^{\text{标}}) \times \tau_{20}^{\text{样}}$$

$$= K \times \tau_{20}^{\text{样}}$$

$$(K = v_{20}^{\text{标}} / \tau_{20}^{\text{标}})$$

式中, K 为粘度计常数; $v_{20}^{\text{标}}$ 为20℃时蒸馏水的运动粘滞系数, $(1.0067 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s})$; $\tau_{20}^{\text{标}}$ 为20℃时蒸馏水自粘度计流出的时间; $\tau_{20}^{\text{样}}$ 为20℃时卤水自粘度计流出的时间, $v_{20}^{\text{样}}$ 为20℃卤水的运动粘滞系数。

2 S4层晶间卤水运动粘滞系数的动态变化

由表1知,1991年9月—1994年12月,经3年半的粘度监测:0.5m水深处,晶间卤水运动粘滞系数多年平均最大值为 $3.429 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ (1992年),最小值为 $2.861 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ (1994年),平均值为 $3.068 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$; 3.0m水深处,年均最大值为 $3.513 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ (1992年),最小值为 $3.068 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ (1994年),平均值为 $3.324 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$; 6.0m水深处,年均最大值为 $4.212 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ (1992年),最小值为 $3.970 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ (1993年),平均值为 $4.094 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$; 9.0m水深处,年均最大值为 $5.284 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ (1991年),最小值为 $4.342 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ (1993年),平均值为 $5.717 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$; 12m水深处,年均最大值为 $5.649 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ (1991年),最小值为 $4.969 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ (1994年),平均值为 $5.207 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。

特征:从1991年9月—1994年12月,各卤水深度处卤水运动粘滞系数不论是年均值还是月均值均随时间推移而逐渐减小。

1992年3月—1994年12月期间,多年来,3月份卤水运动粘滞系数平均值为 $3.473 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$,6月份为 $3.390 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$,9月份为 $3.496 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$,12月份为 $2.576 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。由此看出,9、3、6月份的值越高,12月份的较低。

表 1 首采区 S4 层晶间卤水多年来运动粘滞系数的变化($\times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$)Tab. 1 Interannual change in kinematic viscosity coefficient of strata S4 intercrystalline brine in first mining district ($\times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$)

时间 (年.月)	水深(m) (括号内为样品数)					均值
	0.5	3	6	9	12	
1991.09	3.333(32)	3.169(12)	3.834(13)	5.582(6)	6.05(6)	3.831
1991.12	3.130(40)	3.483(30)	4.404(30)	5.135(5)	5.168(5)	3.769
年均	3.20	3.394	4.157	5.284	5.649	
1992.03	3.282(39)	3.416(34)	4.051(19)	4.607(13)	5.029(7)	3.716
1992.06	3.135(32)	3.555(25)	4.711(14)	5.321(7)	5.866(3)	3.287
1992.09	3.430(35)	3.742(31)	4.012(24)	4.379(12)	4.903(10)	3.874
1992.12	3.139(36)	3.356(31)	4.273(15)	4.493(4)	6.034(2)	3.536
年均	3.249	3.513	4.212	4.657	5.177	
1993.03	2.995(19)	2.990(13)	3.469(11)	3.795(6)	4.93(1)	3.228
1993.06	2.927(31)	3.073(23)	3.870(14)	4.269(3)	4.707(2)	3.258
1993.09	2.822(31)	3.236(22)	4.196(13)	4.831(3)	5.438(2)	3.360
1993.12	2.977(31)	3.478(26)	4.276(13)	4.597(8)	5.200(7)	3.665
年均	2.293	3.288	3.970	4.342	5.135	
1994.03	2.909(29)	3.246(20)	4.162(12)	4.987(5)	4.787(4)	3.476
1994.06	2.727(32)	2.911(19)	3.938(10)	4.661(3)	4.638(1)	3.086
1994.09	2.666(10)	2.764(10)	3.732(8)	4.509(5)	5.044(4)	3.253
1994.01	3.033(28)	3.190(20)	4.046(8)	4.598(6)	5.120(5)	3.496
年均	2.861	3.068	3.988	4.687	4.969	
多年平均	3.068	3.324	4.094	5.717	5.207	

3 运动粘滞系数的平面分布

由图 2a、b、c 看出: 晶间卤水运动粘滞系数(v)等值线基本上是南北走向分布, 即自东而西减小, 首采区 v 值较低; 不论哪一季节, 1993 年及 1994 年首采区卤水运动粘滞系数(v)较 1992 年的小, 1993 年及 1994 年首采区卤水运动粘滞系数 v 一般为 $2.5 \times 10^{-2} - 3.0 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$, 1992 年的为 $3 \times 10^{-2} - 4 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$ 。

4 运动粘滞系数的垂直分布

表层卤水运动粘滞系数小, 深部卤水较大, 最小值为 $2.86 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$ (1994 年, 0.5m 水深处), 最大值为 $5.649 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$ (1991 年, 12m 水深处)。

特征: 从 1991 年 9 月—1992 年 12 月, 各年份卤水运动粘滞系数的年均值均随卤水深度增加而增加。

5 卤水运动粘滞系数与化学成分的关系

在同一温度下, 卤水运动粘滞系数与某些化学组成关系密切, 1991 年 9 月—12 月统计资料表明, 卤水运动粘滞系数值在比重 1.20—1.30 范围内, 与比重及 Mg 含量呈好的正相关, 其相关系数分别为 0.9557 和 0.9199, 与 Na 含量呈好的负相关, 相关系数为 -0.9182, 与其它化学组分间相关性不明显(表 2, 图 3)。

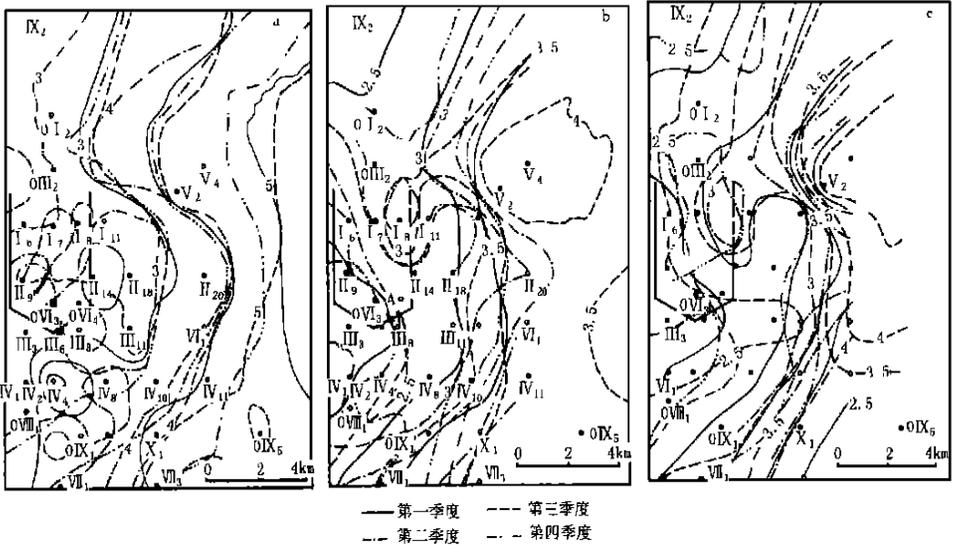


图 2 S4 层晶间卤水(潜水面下 0.5m) 运动粘度平面分布

Fig. 2 Horizontal distribution of kinematic viscosity of strata S4 intercrystalline brine (0.5 meters deep underground water level)

a. 1992 年; b. 1993 年; c. 1994 年

表 2 卤水粘度与组成相关性计算数据表

Tab. 2 Calculated data tables of brine viscosity and component relationship

相关项	相关方程	相关系数	计算值		实测值	
			粘度	相关	粘度	相关
Na	$y = 3.7583 - 0.0246x$	- 0.9182	2.30	58.5	2.32	59.2
Mg	$y = 1.0635 + 0.0339x$	0.9199	2.33	37.1	2.32	37.3
D	$y = - 44.9476 + 38.7667x$	0.9557	2.35	1.22	2.32	1.22

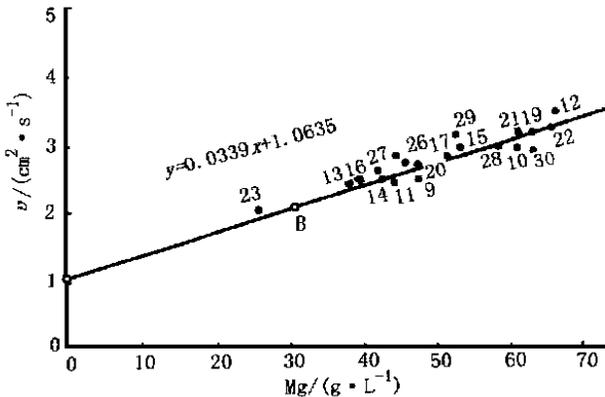


图 3 检验相关方程精度

Fig. 3 Precision T tested by Graph to Relational Equation

6 结论

6.1 察尔汗盐湖 S4 层晶间卤水的运动粘度系数同卤水的浓度呈正相关关系, 而与卤水的温度呈负相关; 同一温度条件下, 阳离子以 Mg^{2+} 为主的卤水粘滞性最大, Na^+ 为主的卤水次之, 而 K^+ 为主的最小; 阴离子则硫酸盐型卤水的大于氯物型的。

6.2 卤水运动粘滞系数的空间上随深度的增加而增大, 平面上自东而西运动粘滞系数越来越小; 时间上同一年份 3、6、9 月间粘度最大, 12 月份最小; 不同年份从 1991—1994 年四年间卤水运动粘滞系数总体上不论年均值还是月均值都在逐渐减小。

参 考 文 献

- 刘兴起, 于升松, 邵明昱, 1998. 察尔汗盐湖晶间卤水痕量元素分布特征研究. 海洋与湖沼, 29(4): 416—417
- 刘兴起, 于升松, 邵明昱, 1985. 察尔汗盐湖 91-1V4 孔沉积地层元素地球化学的研究. 湖泊科学, 7(4): 321—322
- 王方强, 鲍永恩, 刘振湖等, 1982. 盐湖矿床开采. 北京: 化学工业出版社, 17—18

VISCOSITY OF STRATA S4 INTERCRYSTALLINE BRINE IN QARHAN SALT LAKES

YU Sheng-song, TAN Hong-bing, SHAO Ming-yu, WANG Ke-jun,
LEI Ya-chuan, ZHANG Ming-gang

(Institute of Salt Lakes, The Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008)

Abstract Three and half years' determination of viscosity of strata S4 intercrystalline brine from 1991 to 1994, shows that the kinematic viscosity coefficient has a positive relationship with its concentration, but a negative with one temperature in Qarhan Salt Lakes. Besides, at the same temperature, if the type of brine positive ions are mainly dominated by Mg^{2+} , then its viscosity will be the biggest, but if dominated by K^+ , then it will be the smallest and the condition of Na^+ is between that of Mg^{2+} and K^+ . On the other hand, considering negative ions, obviously that of sulphate's is bigger than the type of chloride. As for verticle space, the kinematic viscosity coefficient increases with brine depth and horizontally it becomes smaller and smaller from East to West; In times from 1991 to 1994, the brine kinematic viscosity coefficient decreases gradually as a whole trend weather for annual averages or monthly averages, but during the same year, viscosity is relatively bigger in March, June, September than that in December.

Key words Kinematic viscosity coefficient Qarhan Salt Lake Intercristalline brine

Subject classification number P734.3