第5卷 第2期 盐湖研究 Vol.5 No.2
1997 JOURNAL OF SALT LAKE SCIENCE 1997

东台吉乃尔盐湖卤水比蒸发系数测定及回归方程

张军 刘铸唐 张宝全 王萍 李永华
(中国科学院青海盐湖研究所,西宁 810008)

摘要 东台吉乃尔盐湖卤水属于 Na^+,K^+,Mg^{2+}/Cl^-,SO_4^{2-}——H_2O 五元水盐体系,体系比较复杂,卤水在蒸发过程中结晶的盐类繁杂,影响卤水蒸发率的离子较多,同时东台吉乃尔盐湖地处气候条件特殊的柴达木盆地腹地。本文配合开发东台吉乃尔盐湖卤水资源所采用的工艺要求,对不同阶段影响卤水蒸发速率的多种气象参数和卤水性质进行了比较详细的测定,并进一步建立了相应的回归标准方程。

关键词:东台吉乃尔盐湖,卤水比蒸发系数,数学模型

前 言

位于柴达木盆地的东台吉乃尔盐湖的卤水中,贮存有丰富的盐类资源,其中锂盐的含量居各盐湖之首。是我国一个以锂盐为主的大型综合性盐类矿床,该盐湖连同其相邻的西台吉乃尔盐湖,一里坪盐湖一起构成锂矿盐湖群。

卤水资源的开发和利用,首先采用盐田进行卤水蒸发,分离各种盐类矿物后,再进一步从液固相矿物中加工生产有关化工产品。由于其工艺路线利用自然能源,耗能少,成本低、加工简单、经济效益好,为国内外所广泛采用。在利用自然能进行卤水蒸发的实际生产过程中,比蒸发系数是一个重要的工艺参数。其精确度在盐田的合理设计和实现盐田的科学管理从而提高盐田的生产效益和盐田矿物的质量等方面具有重要意义。

东台吉乃尔盐湖地处柴达木盆地腹地,气象条件具有明显的特点:气候干燥、蒸发量大、降水量小、风速高、风期长、平均大气压低,在盐湖资源开发过程中采用盐田技术具有良好的外部条件。另一方面,东台吉乃尔盐湖属硫酸镁亚型盐湖,而且卤水中锂,硼离子的含量较高,其蒸发结晶过程及其析盐规律远比已具相当开发规模的察尔汗盐湖(属较为简单的四元水盐体系)复杂。本文针对东台吉乃尔盐湖冬夏季蒸发过程中采取的工艺流程,在东台吉乃尔盐湖湖区现场对其蒸发过程中各浓缩阶段的卤水比蒸发参数配合进行实际测定的基础上,建立了东台吉乃尔盐湖冬夏季卤水比蒸发系数回归方程,为盐田设计及生产过程中进行科学管理提供了可靠的基础依据。

试 验 部 分

1. 实验简介

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

一九九四年九月至一九九五年七月进行的东台卤水比蒸发系数测定试验，主要是配合东台吉乃尔盐湖卤水在开发过程中实际采用的盐田工艺要求所进行的各参数测定。主要分两个部分：第一部分是冬季卤水在冻硝阶段的卤水蒸发。第二部分是经冬季冻硝阶段后卤水进入夏季后进一步蒸发以及原始卤水在夏季进行天然蒸发过程中各浓缩阶段的卤水蒸发速率的测定。其中，第二部分卤水比蒸发系数的测定因密切配合实际采用的盐田工艺，其准确测定更加重要。由于比蒸发系数的测定是以本地区的气象资料为参照，而本地的气象数据还是空白，所以，在进行卤水比蒸发系数测定的同时，进行了东台吉乃尔盐湖湖区的气象测定。

2. 试验原料

根据盐田试验采取的工艺要求，东台吉乃尔盐湖卤水比蒸发系数测定所用的原料卤水分两部分制备。

第一部分——冬季卤水比蒸发系数测定试验原料卤水。原料卤水的化学组成主要位于石盐饱和阶段和光卤石饱和阶段。各阶段原料卤水制备完成后均进行化学分析。

第二部分——夏季卤水比蒸发系数测定试验原料卤水。夏季卤水比蒸发试验原料卤水根据盐田工艺的要求，制备下列五个阶段的原料卤水：

1)经冷冻除硝后的石盐饱和阶段卤水。

2)经冷冻除硝后的钾石盐饱和阶段卤水。

3)经冷冻除硝后的光卤石饱和阶段卤水。

4)夏季晶间原始卤水。5)夏季硫酸镁饱和卤水和冬季氯化镁饱和卤水兑卤卤水。

3. 试验场地和仪器设备

试验场地设在东台吉乃尔盐湖湖区东北部地势比较开阔的盐壳上，靠近试验盐田区域，五个面积为1平方米高50厘米的铁制蒸发池间距3米呈南北方向排列，蒸发池半埋入盐壳，周边以盐渍土，以使蒸发池蒸发时的条件温度尽可能接近试验盐田温度的实际情况。

距试验盐田400米左右的地方，建立气象观测点，气象观测点的建立与气象仪器仪表等设备的安装均按《地面气象观测规范》的要求进行(具体安装过程和要求略)

4. 试验方法

试验由两部分组成：

第一部分：东台吉乃尔盐湖湖区基本气象资料的观测。在东台吉乃尔盐湖进行试验期间，对本地区的多种气象进行连续长期观测，观测方法按照《地面气象观测规范》的要求进行。

第二部分：东台吉乃尔盐湖卤水不同浓缩阶段比蒸发系数的测定。将在不同季节制备的东台吉乃尔盐湖卤水置入编号的蒸发池内进行蒸发，对卤水蒸发水位降低、卤水密度、卤水温度等进行测定与记录。各段同一组成的原料卤水经过一个时期蒸发后取样进行化学分析，并继续进行蒸发，经过一个阶段的蒸发后结束本阶段蒸发试验。终点卤水取样进行化学分析。

试 验 结 果

1. 东台吉乃尔盐湖湖区基本气象资料

东台吉乃尔盐湖湖区的基本气象参数的测定结果在进行数据整理后配合进行卤水比蒸发系数数学模型拟合。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2. 东台吉乃尔盐湖卤水比蒸发数据的测定

由于蒸发池面积较大，东台吉乃尔盐湖湖区风力比较强，现场试验每天的定时测定要受到风力的影响，测定卤水水位时水面经常有较大的波动，使用测针测取的水位存在着较大的误差，尤其在冬季由于蒸发量比较小，每日现场观测的卤水水位相对误差更大，直接影响到测定结果的准确度。因此，采用将测取的观测值以若干日累计量为一基本单位的办法计算。

东台吉乃尔盐湖卤水冬季比蒸发测定试验中，分别进行两个阶段的参数测定。经初步整理后得到的用于卤水比蒸发曲线拟合的主要参数如表 2。

数据处理和数学模型的建立

根据冬季和夏季比蒸发系数测定中各基本单位淡水蒸发量和不同浓缩阶段相对应的卤水蒸发计算卤水的比蒸发系数 F＝卤水蒸发量/淡水蒸发量×100%。由于进行比蒸发系数计算的淡水蒸发量和卤水蒸发量的基本单位是若干日的累计量，所以对镁离子的含量在输入计算机后进行线性内插法和算术平均法求取对应的各基本单位的平均含量，然后在坐标作图进行各相关量的散点和基本图形的数学分析。

表 1. 东台吉乃尔盐湖卤水冬季比蒸发系数曲线拟合的基本参数

序号 No.	拟合比蒸发值 %	实测比蒸发值 %	相对湿度 %	镁离子浓度 Wt%	序号 No.	拟合比蒸发值 %	实测比蒸发值 %	相对湿度 %	镁离子浓度 Wt%
1	58.75	69.40	17	2.53	31	59.62	75.30	32	2.39
3	58.26	58.70	17	2.71	33	58.76	61.10	37	2.74
5	58.01	50.00	34	2.96	35	57.20	63.40	44	3.36
7	58.05	66.60	17	2.77	37	59.12	68.40	32	2.57
9	57.54	51.30	17	2.96	39	57.31	61.40	37	3.21
11	57.16	42.20	34	3.27	41	56.06	63.10	44	3.75
13	52.77	63.40	17	4.61	43	57.02	71.90	32	3.30
15	46.09	50.10	17	6.95	45	59.01	54.20	37	2.64
17	54.31	43.30	34	4.26	47	55.22	48.60	44	4.05
19	53.77	62.00	17	4.26	49	55.16	71.90	32	3.94
21	53.06	49.10	17	4.52	51	58.85	51.40	37	2.71
23	52.43	40.50	34	4.92	53	56.81	57.10	44	3.49
25	51.97	70.30	17	4.89	55	52.74	77.00	32	4.79
27	51.21	47.20	17	5.16	57	55.44	48.50	37	3.89
29	50.61	38.30	34	5.55	59	52.71	61.30	44	4.92

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

通过对图形和数据的数学分析可知，无论在冬季比蒸发试验中，或在夏季比蒸发试验中，镁离子含量在卤水蒸发过程中与卤水蒸发量呈良好的线性变化关系。

据比蒸发系数的研究经验，将大气相对湿度和比蒸发系数的关系近似作为线性变化关系进行处理是合理的。在以上工作的基础上，设定冬季和夏季卤水蒸发系数与镁离子浓度和大气相对湿度相关的基本数学模型为：

$$F=b_0+b_1\times W+b_2\times R$$

其中：

F：冬(夏)季卤水蒸发系数(%)

b_0，b_1，b_2：常数项。

W：卤水中化学组成中镁离子浓度(Wt%)。

R：大气相对湿度(%)。

将原始数据输入计算机，完成基本参数的初步整理后进行曲线拟合，得到东台吉乃尔盐湖冬季和夏季卤水比蒸发系数的标准方程。

东台吉乃尔盐湖冬季卤水比蒸发系数标准方程 1：

$$F_1=65.50-2.87W+0.031R$$

东台吉尔乃盐湖夏季卤水比蒸发系数标准方程 2：

$$F_2=58.16-3.99W-0.092R$$

在整个蒸发过程中，卤水起点组成和终点组成的取值范围原则上以本次试验中测定的实际组成为准，但在实际应用中可作适当处延。

结　　论

东台吉乃尔盐湖卤水 Na^+，K^+，Mg^{2+}，//Cl^-，SO_4^{2-}——H_2O 五元水盐体系，并且 Li，B 离子含量较高，其体系比较复杂，但由冬夏季卤水比蒸发系数的测定试验中及其数据的数学分析可知，比蒸发系数与镁离子含量的关系存在着比较简单的线性关系。

东台吉乃尔盐湖冬季卤水蒸发系数标准方程 1：

$$F_1=65.50-2.87W+0.031R$$

东台吉尔乃盐湖夏季卤水蒸发系数标准方程 2：

$$F_2=58.16-3.99W-0.092R$$

从数学方差分析中可得，冬夏季卤水比蒸发系数的拟合方程均高度显著。

F_1，F_2 的实测值与拟合值分别见表 1 和表 2。

结 果 讨 论

东台吉乃尔盐湖卤水比蒸发试验主要根据盐田工艺试验的要求进行了有关参数测定，具有一定的实际意义。冬季卤水比蒸发系数测定试验原料卤水在进一步蒸发过程中卤水化学组成的变化主要限于卤水的冷冻析硝阶段，比蒸发系数的变化基本上和卤水的镁离子呈线性关系，标准方程的计算适用的镁离子重量百分浓度范围为 2%～8%，大气相对湿度和卤水比蒸发系数的关系成正比关系，但这种影响就本地区的温度变化范围来说甚微，在具体计算中考虑用东台地区冬季平均相对湿度即可。

夏季卤水的比蒸发系数包括多种不同阶段的卤水，即经冷冻除硝后的石盐饱和阶段卤水、经冷冻除硝后的钾石盐饱和阶段卤水、经冷冻除硝后的光卤石饱和阶段卤水、夏季晶间原始卤水、夏季硫酸镁饱和卤水和冬季氯化镁饱和卤水兑卤卤水等的蒸发浓缩。但从数据的分析可知，在同一相对湿度条件下卤水的蒸发近似可由镁离子浓度确定。大气相对湿度和比蒸发系数

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2、东台吉乃尔盐湖夏季卤水蒸发系数曲线拟合的基本参数

序号	拟合比蒸发值 %	观测比蒸发值 %	相对湿度 %	镁离子浓度 Wt%
1	47.66	52.70	25	2.06
2	47.58	42.90	22	2.15
3	47.93	49.70	14	2.23
4	46.90	41.80	22	2.33
5	46.65	42.10	20	2.44
6	45.94	43.50	22	2.57
7	42.75	47.90	25	3.29
8	42.35	36.80	22	3.46
9	42.41	49.70	14	3.61
10	41.09	38.50	22	3.78
11	40.46	38.60	20	3.99
12	39.30	39.50	22	4.23
13	37.14	42.40	25	4.69
14	36.52	36.60	22	4.92
15	36.37	40.80	14	5.13
16	34.83	35.50	22	5.35
17	34.04	35.40	20	5.60
18	32.78	35.70	22	5.87
19	31.15	42.20	25	6.20
20	30.99	34.10	22	6.31
21	31.18	35.10	14	6.43
22	29.90	23.10	22	6.59
23	29.52	25.40	20	6.73
24	28.88	22.40	22	6.85
25	28.16	26.20	25	6.95
26	28.08	22.70	22	7.04
27	28.39	24.50	14	7.13
28	27.29	26.10	22	7.25
29	26.91	28.60	20	7.38
30	26.05	28.70	22	7.55

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

呈斜率为负的线性关系。同样，就东台吉乃尔盐湖湖区的大气相对湿度的变化范围来说，大气相对湿度可取夏季平均值即可。

由于在野外现场试验条件和手段的限制和环境条件的特殊性，观测数据比较困难，数据波动较大，只能通过一定的统计方法加以弥补，这对实验结果的准确有一定的影响。

以上的比蒸发系数拟合曲线的标准方程仅是小型试验的基本数学模型，在实际应用时应考虑引入与实际盐田相适应的面积校正系数。

参 考 文 献

〔1〕 锂矿盐湖卤水滩晒工艺基本研究——东台吉尔乃盐湖，一里坪盐湖卤水蒸发试验，刘铸唐等，盐湖研究所内部资料。

〔2〕 地面气象观测规范，中央气象局编，气象出版社，1974.6.

〔3〕 气象常用表(第一号)温度查算表，1974.6.

〔4〕 梁胜予，海湖盐与化工，1982.(4)：14～17.

〔5〕 王金福等，海湖盐与化工，1989.18(2)：24～29.

〔6〕 卤水和盐的分析方法，中国科学院青海盐湖研究所，科学出版社。

〔7〕 卤水比蒸发系数的数学模型——石盐析出阶段和光的出阶段，张军等，盐湖研究，1993，1(2)：23～27。

〔8〕 不比蒸发系数的数学模型——石盐析出阶段和光卤石析出阶段，张军等，盐湖研究，1993，1(2)：23～27。

〔9〕 Mrtin E·laborde. Determination of Brine Evaporation Rates in Solar Ponds as a Function of Magnesium chloride cocentration，Sixth International Symposium on Salt，1983，vol. 11.

The measurement of the relative evaporating ratio and the mathematical model

Zhang Jun　Liu Zhutang　Zhang Baoquan

(*Qinghai Institute of Salt Lake*，*Academia Sinica*，*Xining*，*Qinghai* 810008)

Abstract

Based on the real brine evaporation experiment of East Taigener salt lake during the summer and winter and the mathmatical analysis of all the data measured in the experiment，the paper develops a mathematical model of relative evaporating ratio，the model deals with two parameters that relate closely to the evaporation velocity of brine in diffeent crystallization stages：one is the concetration of the brine and the another is the relative moisture.

Keywords　East taigener salt—lake，Ratio of brine evaporation，Model

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net