

大布苏碱湖的形成演化环境^①

郑喜玉 吕亚平^②

(中国科学院青海盐湖研究所·西宁 810008)

摘要 根据野外现场考察和室内分析研究,首次论述了大布苏碱湖的概况,盐类矿物组合,卤水化学成分和水化学特征,研究了碳酸盐湖的形成条件和演化环境,提出了天然碱,主要是泡碱的形成背景和成碱机理。

关键词 大布苏碱湖 形成环境 脱硫细菌 成碱机理

大布苏碱湖,是东北平原北部松嫩冲积平原中的著名盐湖,盛产天然碱而闻名。该湖地处我国东北半干旱半湿润的沼泽草原地带,地质构造条件和自然地理环境,不同于新疆和青藏高原盐湖分布区,在半干旱沼泽草原地带具有明显的代表性。考察和研究该湖的形成条件和演化环境,对认识我国高纬度、低海拔沼泽草原地带盐湖的形成自然环境,特别是碳酸盐盐湖的形成环境和成碱背景,不仅拓宽了盐湖研究的领域和内容,而且对充分开发盐湖资源和改造盐碱土地方面,都有实际意义。

1、盐湖概况

大布苏碱湖,又名大麻苏泡、碱泡子、工农湖。位于吉林省西部,乾安县工农湖镇。地理座标:东经 123°00',北纬 44°48'。湖盆呈北西——南东向延伸,为不规则状、上大下小的“C”字形(图 1)。湖盆长 14km,宽 5.56—8.3km,湖水面积 34km²,湖面海拔 122m^[1]。

该湖盆属于封闭型的内流盆地,汇水面积 400km²,但附近无常年性地表河流,湖岸冲沟发育,主要依靠大气降水和泉水补给。湖水受气候影响明显,尤其是干湿季节和降雨前后,湖水波动较大。该湖湖表水分布不均匀,东部深而西北部较浅,夏季水大而冬季水小,是个受季节影响敏感的盐湖^[1]。

2、盐湖成分

盐湖成分,包括盐湖盐类矿物成分和盐湖卤水化学成分两大部分。

1、盐类矿物成分

盐类矿物,是盐湖卤水在干旱气候条件下,经蒸发、浓缩而自行结晶析出的蒸发盐类矿物。据考察统计,该湖盐类矿物有 11 种(表 1)。其中,碳酸盐类矿物 6 种,硫酸盐类矿物 4 种和氯化物盐类矿物 1 种,以碳酸盐类矿物中的泡碱和硫酸盐类矿物中的芒硝为主。

① 国家自然科学基金资助项目(N0:49272116)

② 参加野外考察研究的人员还有张明刚、胡金泉、梁青生、山发寿、韩廷月。对刘建华、徐昶、王中山的帮助,表示感谢。

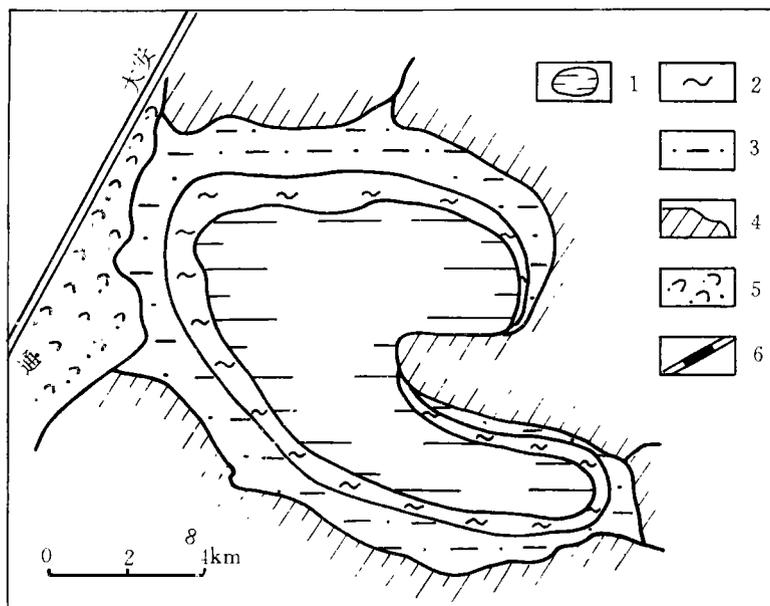


图 1 大布苏碱湖平面图

1、上湖水,下泡碱和芒硝薄层 2、黑色含砂淤泥 3、粉砂粘土 4、台地 5、沙垅、沙丘 6、铁路

表 1 大布苏碱湖沉积矿物

矿物名称	化学组成	沉积特征
方解石 Calcite	CaCO_3	湖盆阶地碎屑沉积中,呈分散状分布
白云石 Dolomite	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	分布于粉砂粘土碎屑沉积中,为次生矿物
水菱镁矿 Hydromagnesite	$\text{Mg}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	湖滨阶地含砂粘土中,呈结核状产出,不成层,往往形成石灰石团块
天然碱 Trona	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3$	产于湖相沉积中,同泡碱共生
泡碱 Natron	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	产于湖表水下,呈薄层状,为该湖主要碳酸盐沉积矿物
水碱 Thermonatrite	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	产于湖中沉积物中,同泡碱共生,不成层
石膏 Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	在湖盆阶地碎屑沉积物中,呈片状或粒状,分布零星不成层
硬石膏 Anhydrite	CaSO_4	同石膏共生,为石膏失水后的次生产物
芒硝 Mirabilite	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	为湖表卤水在低温情况下晶出的针状矿物,呈层状同泡碱共生,为该湖主要盐类沉积矿物
无水芒硝 Thenardite	Na_2SO_4	同芒硝共生,分布不均匀
石盐 Halite	NaCl	湖盆边缘,为季节性析出的少量矿物

2、盐湖卤水化学成分

该湖卤水主要是湖表卤水,分布于湖区东南部,最大水深 1m,一般是 0.3—0.5m。湖水呈浅灰色,比重 1.2370,pH 值 10,矿化度 113.59g/L,属于高矿化卤水。卤水化学成分中,Na、K、Mg、Ca、Cl、SO₄、HCO₃⁻、CO₃²⁻含量最高,占卤水化学成分总量的 99.9%,为主要化学成分(表 2)。从表 2 可知,该湖卤水主要化学成分中,阳离子 Na⁺和阴离子 HCO₃⁻、CO₃²⁻含量最高。其中,Na⁺含量占阳离子(Na⁺+Mg²⁺+K⁺+Ca²⁺)总量的 99.9%,而其余(K⁺+Mg²⁺+Ca²⁺)阳离子之和仅占阳离子总量的 0.1%。显然,Na⁺在阳离子组成中占主要地位。而阴离子 HCO₃⁻和 CO₃²⁻,在阴离子组成中占有明显优势。据计算,HCO₃⁻和 CO₃²⁻之和,占阴离子(Cl⁻+SO₄²⁻+HCO₃⁻+CO₃²⁻)总量的 78.05%,而 Cl⁻及 SO₄²⁻之和,仅占阴离子总量的 21.95%,可见 HCO₃⁻和 CO₃²⁻的含量,在阴离子组成中,占有绝对多数。由此可知,该湖卤水主要水化学成分中,阳离子 Na⁺和阴离子 HCO₃⁻及 CO₃²⁻的含量占明显多数,是影响卤水成盐演化过程中的主要成分。卤水的成盐演化方向,显然是以晶出 Na 的碳酸盐类沉积矿物,为主要成盐发展方向,而析出 Na 的硫酸盐类矿物或氯化物盐类矿物,则是次要的成盐作用方向。这种成盐过程和演化趋势,在该湖卤水大量析出 Na 的碳酸盐(主要是泡碱)和 Na 的硫酸盐(芒硝)沉积中,得到证实。

该湖卤水,除主要水化学成分外,还赋含有微量元素(表 2)。从表 2 中看出,微量元素的种类虽然不算少,但绝对含量却不高。据计算,微量元素含量之和,仅占盐湖化学成分总量的 0.1%,属于次要成分。微量元素含量虽然不多,但很重要,对认识盐湖的成盐背景和形成演化特征,都是很重要的。

表 2 大布苏碱湖及乌兰花碱孢子湖水化学成分

含量(mg/L) 湖名	项目	水 化 学 成 分							
		Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
大布苏碱湖		476561.53	436.40		28.70	100866.06	43794.20	6534.01	507315.74
乌兰花碱孢子		6819.04	46.64	20.51	49.77	5777.62	1045.0	3912.02	1599.90
含量(mg/L) 湖名	项目	水 化 学 成 分							
		B ₂ O ₃	Li	V	Cu	Ti	Sr	Ba	Zn
大布苏碱湖		167.70	2.11	0.8857	0.1462	0.7608	0.194	0.2545	0.099
乾安碱孢子		22.37	0.0039	0.0458	0.0042	0.0057	0.3014	0.0314	0.0269
含量(mg/L) 湖名	项目	水 化 学 成 分							
		Ni	Mn	Fe	Cr	Si	Al	P	Ag
大布苏碱湖		0.3429	0.1667	8.5698	0.091	8.594	0.9687	280.90	0.034
乌兰花碱孢子		0.1148	—	0.0355	—	0.1883	—	14.85	—
湖名		比重		pH		矿化度(g/L)		取样时间	
大布苏碱湖		1.2370		10		113.59		1994.6.25	
乾安碱孢子		1.0120		10		19.27		1994.6.25	

样品分析:吕亚平、张晓飞

盐湖化学类型,是根据湖水主要化学成分,采用 M. Г. 瓦良什科(M. Г. Валишко)关于盐湖的分类方法,经计算其分类系数分别为: $k_{n_1} = 33185.12$; $k_{n_2} = 33578.14$; $k_{n_3} > > 1$; $k_{n_4} > > 1$, 确定该湖水化学类型属于碳酸盐型盐湖。

3、盐湖形成演化环境

1、封闭或半封闭的古湖盆地

古湖盆地,是盐湖形成的地形基础。大布苏湖盆,是个封闭的内流盆地,形成时代为晚更新世末——全新世早期,但演化到盐湖发展阶段,则是全新世中晚期—现代。该湖盆地,虽然形成于晚更新世末—全新世早期,但在许多方面对早中更新世时期的古湖盆地,却有明显的继承性。据有关研究资料(孙广友,1990、裘善文,1990)表明^[2,3],早—中更新世时期,松嫩平原是一个统一的大型湖盆,并有静水环境下的厚层湖相粘土沉积。晚更新世时期,第四纪地壳运动明显加强,而导致松辽分水岭缓慢抬升,松嫩冲积、湖积平原沉降中心缩小,并向西迁移。在干冷气候影响下,湖泊面积不断收缩,并分割成许多小湖泊,标志着统一大湖解体,古松嫩湖泊已不复存在。晚更新世末—全新世初期,受干冷气候和强劲季风影响,残留湖盆遭受冲蚀、改造,并形成沙丘、沙垅等风蚀地形和丘间洼地。上述残留湖盆、风蚀洼地集中成湖,并逐渐演化成现今的盐碱湖泊(裘善文,1990)^[3]。例如,大布苏碱湖,湖盆边缘(保留有明显的湖滨降地,西岸平缓,东岸为陡崖,高出湖面 15m,可能是该湖高湖面平台沉积的遗迹。沉积时代,约 5000—6000aB. P.。

2、气候环境

全新世以来,大布苏湖区的气候环境,以干旱气候为主,干中有湿,干—湿交替的气候特征^[4]。根据沉积剖面 and 孢粉组合分析表明,全新世早期,岩性为粉细砂和粉砂粘土沉积,孢粉组合特征以蒿为主,藜、麻黄次之,表明当时属于半干旱—半湿润的过渡型气候环境。沉积物中虽然有一定盐分,但湖水依然属于未成盐发展阶段的咸水环境。沉积时代,约 9000—7000aB. P.。全新世中期,沉积岩性为粉砂粘土或砂质粘土。碎屑沉积中含有钙质结核(CaCO_3)和淡水螺壳(图 2)。孢粉组合特征,仍以蒿为主,藜、麻黄、草木次之,反映的气候环境则为温和—半干旱。沉积时代,为 5000—4800aB. P.。麻黄、草木属等耐旱植物花粉的增多,说明 5000—4800aB. P. 期间,依然是以半干旱气候环境为主;螺壳和 CaCO_3 结核的出现,表明湖水继续向咸化方向演化,演化过程并没有发展到成盐作用阶段。其后,湖相沉积中出现了黑色淤泥薄层,腐植质含量明显增多,表明半干旱环境中亦存在短暂的温湿气候,沉积时间 3800aB. P.。湖水虽然进一步咸化,但含盐量不高,依然属于未成盐发展阶段的咸水湖演化阶段。全新世晚期,干化现象增强,大布苏湖盆西岸沙化面积扩大,并出现了半固定沙丘。湖相沉积为粉细砂和粉砂质粘土夹薄层黑色淤泥,但粉细砂含量明显增加。孢粉组合含量减少,品种趋向单一,以蒿为主,耐干旱植物花粉增多,气候环境虽然有短期潮湿现象,但半干旱的气候特征始终没有改变。湖泊收缩,蒸发浓缩作用加强,湖水进一步咸化,湖边出现了季节性的碱、硝粉末,¹⁴C 年龄约 1100aB. P.。随着人类活动的影响,开垦和放牧力度加大,半干旱气候增强,沙化范围扩大,自然植被减少,环境更加恶化^[5]。湖水含盐量提高了,湖中出现了薄层或粉末状的芒硝和天然碱(实际是泡碱),有些就是含泥砂的芒硝和天然碱,俗称土硝、土咸。大布苏湖水开始进入盐(卤水)湖的形成演化阶段。

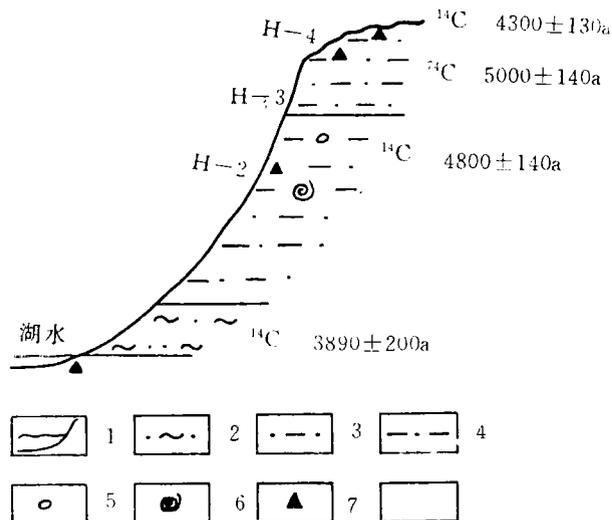


图2 大布苏湖盆阶地剖面

1 湖水 2 粉砂淤泥 3 粉砂粘土 4 含砂粘土 5 钙质结核 6 螺壳化石 7 取样位置 ^{14}C 年龄^①

3、成盐元素的来源

成盐元素的补给和富集,是形成盐湖和成盐作用的物质基础。大布苏湖盆位于东北平原北部,松辽隆起西部湖盆集中分布的低洼地带,有利于地表水、地下水和各种盐分的迁移和聚集。该湖盆成盐元素来源于湖盆及其边缘,各个时期不同类型的碎屑沉积物。主要是白垩系、第三系和第四系沉积岩系及荒漠、沼泽草原地表风化壳中的可溶盐分。例如,Na、K、Mg、Ca 等元

时代	孔深(m)	层厚(m)	柱状图	^{14}C aB. P.	主要岩性	气候特征
Q ₃	20	20	[柱状图: 桔黄色粉砂粘土]		桔黄色粉砂粘土	干冷 冷湿 干冷
Q ₂	40	10	[柱状图: 深灰色淤泥质粉砂粘土, 含有机质和贝壳]	7300 9000	深灰色淤泥质粉砂粘土, 含有机质和贝壳	温湿 冷湿
		15	[柱状图: 灰绿—深灰色淤泥质粉砂粘土]		灰绿—深灰色淤泥质粉砂粘土	干冷
Q ₁	60	27	[柱状图: 灰绿色淤泥质粉砂粘土]	9700	灰绿色淤泥质粉砂粘土	温和半湿润
	80		[柱状图: 浅灰色砂砾石和粉细砂]		浅灰色砂砾石和粉细砂	温凉半干旱 冷干
	100	12	[柱状图: 灰绿色砂砾岩、泥岩夹粉细砂]		灰绿色砂砾岩、泥岩夹粉细砂	温湿—暖干 温湿
N ₂	113	26	[柱状图: 灰绿色砂砾岩、泥岩夹粉细砂]			

图3 大布苏湖令字井钻孔剖面

(据夏玉梅等,1990 资料简化)

① ^{14}C 年龄测试:梁青生

素,随地表水或地下水搬运到湖盆,成为该湖成盐元素最原始、最经常的补给源。松嫩平原是燕山期及喜马拉雅运动以来形成的大型内陆断拗盆地,接受了来自大兴安岭的碎屑物源,形成巨厚的中—新生代沉积岩层。据研究资料(夏玉梅等,1990)^[6],大布苏钻孔剖面沉积岩性(图3),主要是粘土粉砂和粉砂质粘土,夹粉细砂或砂砾石薄层,沉积矿物为伊利石、蒙脱石、高岭石和少量绿泥石等粘土矿物及石英、长石等碎屑矿物。上述岩层中含有各种成盐元素(表3),尤其是K、Na的硅铝酸盐和Na、Mg、Ca的碳酸盐、硫酸盐、氯化物等盐分,在地表水、地下水影响下,对湖盆盐分的积累,有重要的补给作用。该湖盆附近为半干旱的沼泽草原区,赋含各种盐分的大气降水(表4)和地表水,形成了具有HCO₃⁻或HCO₃⁻-SO₄²⁻型潜水水文地球化学环境,为该湖碳酸盐成盐元素的迁移和富集,提供了丰富的物质来源^[4]。

表3 大布苏湖沉积岩系可溶盐含量

编号	主要岩性	化 学 成 分 (%)										
		Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	B	Li	Zn
H-1	含砂淤泥	5.22	0.01	0.01	0.12	4.43	1.76	1.62	1.33	4.31×10 ⁻⁴	—	—
H-2	粉砂粘土	0.94	0.03	0.01	0.21	0.69	0.68	0.43	0.71	1.04×10 ⁻³	—	1.67×10 ⁻⁵
H-3	粘土粉砂	0.15	0.01	0.03	0.01	0.06	0.12	0.02	0.31	2.42×10 ⁻⁴	—	—
H-4	含粘土粉砂	0.60	0.06	0.02	0.02	0.15	0.48	0.11	0.77	6.37×10 ⁻⁴	—	2.8×10 ⁻⁵

编号	主要岩性	化 学 成 分 (%)										
		Ni	Mn	Fe	Cr	Si	Al	V	Cu	Ti	Ba	Br
H-1	含砂淤泥	—	2.59×10 ⁻⁵	1.11×10 ⁻⁴	—	4.93×10 ⁻³	1.81×10 ⁻³	7.95×10 ⁻⁴	1.85×10 ⁻⁴	1.43×10 ⁻⁴	—	—
H-2	粉砂粘土	—	1.39×10 ⁻⁴	5.43×10 ⁻³	—	1.77×10 ⁻²	9.1×10 ⁻³	3.56×10 ⁻⁴	8.96×10 ⁻⁵	3.01×10 ⁻⁴	—	—
H-3	粘土粉砂	—	2.07×10 ⁻⁵	5.67×10 ⁻⁴	—	3.49×10 ⁻³	0.09×10 ⁻⁴	—	8.32×10 ⁻⁵	1.28×10 ⁻⁴	—	—
H-4	含粘土粉砂	1.19×10 ⁻⁵	2.08×10 ⁻⁴	7.08×10 ⁻³	—	2.77×10 ⁻²	1.37×10 ⁻²	1.21×10 ⁻⁴	1.62×10 ⁻⁴	5.22×10 ⁻⁴	2.76×10 ⁻⁵	—

注:取样位置见图2

分析者:吕亚平、张晓飞

表4 大布苏湖区大气降水化学成分

水 化 学 成 分 (mg/L)											
Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	CO ₃ ⁻²	HCO ₃	B ₂ O ₃	Li	V	Cu
347.85	2.40	28.20	34.87	520.82	37.86	—	177.22	2.4224	0.1048	0.0074	0.0257

水 化 学 成 分 (mg/L)											
Ti	Sr	Ba	Zn	Ni	Mn	Fe	Cr	Si	Al	P	Ag
0.0056	0.1694	0.0618	0.0245	0.0303	0.0022	0.0296	0.0910	5.019	0.0453	—	—

比重	pH	矿化度(g/L)	取样日期	分 析 者	
1.000	6	1157.26	1994.6.27	吕亚平	张晓凤

4. 成碱机理

大布苏湖盆及其附近属于半干旱沼泽草原地带,具有良好的HCO₃⁻和CO₃²⁻的水化学背

景,有利于碳酸盐盐湖的形成和天然碱,特别是泡碱的沉积^[4]。富含阴离子 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 和阳离子 Na^+ 的卤水,在干旱气候影响下, HCO_3^- 或 CO_3^{2-} 与 Na^+ 作用而生成 NaHCO_3 或 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 等盐类沉积,是该湖区普遍存在的成碱过程,即化合成碱。从乌兰花咸水泡和大布苏碱湖卤水的发展阶段,可以得出明确的认识:乌兰花咸水泡是大布苏碱湖形成演化的过去,而大布苏碱湖则是乌兰花咸水泡形成发展的未来。由此看到大布苏碱湖,由咸水湖逐渐发展到盐(碱)湖的形成演化的全过程。

碱湖形成和天然碱(主要是泡碱)沉积的另一途径,是通过微生物脱硫作用来完成。硫酸钠盐(主要芒硝)在细菌(脱硫细菌)参与下产生还原作用,分解成 Na^+ 与 SO_4^{2-} 离子,迅速同富含 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 离子的碳酸盐湖水反应,生成泡碱($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)和 H_2S ,即生物成碱作用。据 Ю·Л·尼古尔斯卡娅(1956)研究表明^[7],湖泊的硫酸盐营养环境,有利于细菌繁殖和活动,易于分解 Na_2SO_4 (芒硝)还原成 Na^+ 和 H_2S 。这种细菌称为脱硫细菌或叫硫酸盐还原细菌,多在海洋、湖泊、矿泉水、火山熔岩水和地质沉积物,如黑色淤泥中生存。脱硫细菌的繁殖和活动能力,决定于生活环境,如湖水含盐量、温度、压力和酸碱度等。有机酸和腐植质(腐植酸),是脱硫细菌所必需的营养物质,所以在芒硝或天然碱层顶底板黑色淤泥中,含有丰富的有机质和 H_2S ,并夹有芒硝或天然碱颗粒。湖水的盐度对细菌活动有明显控制作用, NaCl 浓度过高或过低, H_2S 含量过多,都能抑制细菌活动。硫酸盐层中的碳酸盐水化学环境,有利于生物成碱作用。大布苏湖水,具有 HCO_3^- 或 HCO_3^- - SO_4 水化学环境,硫酸盐(主要是芒硝)在这种水化学环境中,易于脱硫而形成天然碱(主要是泡碱),或者芒硝在饱和碳酸水溶液中,经脱硫细菌还原而生成泡碱沉淀。所以,在该湖碳酸盐类(泡碱为主)沉积中,总含有一些硫酸盐类(芒硝为主)沉积。

置换成碱作用(К. И. 卢卡含夫,1956)^[8],是碱湖形成和成碱作用的又一重要途径。硫酸钠(芒硝)水溶液与碳酸钙或石灰石(CaCO_3)作用,而形成碳酸盐类(主要是 Na_2CO_3)沉积,即为置换成碱。反应式为:



这种置换成碱过程,往往发生在荒漠草原或沼泽草原地带,石灰质粘土或钙质粘土(黄土型)沉积分布广泛的碳酸盐型盐湖。大布苏碱湖虽然具有这种成碱自然环境,湖相碎屑沉积中有石膏存在,湖盆阶地也发现了石灰质团块或钙质结核,但对这种成碱途径还没有开展模拟实验和充分的论证,所以对置换成碱作用过程的研究,还须要深入的考察、探索和完善。

5. 结论

大布苏碱湖,位于东北平原西部半干旱沼泽草原地带,具有高纬度、低海拔的分布特点。古湖盆地,为松嫩平原湖泊收缩,松辽隆起抬升后而残留的凹地,经冲蚀和风蚀作用而形成的汇水湖盆,形成时代为晚更新世末—全新世初期,演化到成盐作用发展阶段则是全新世晚期—现代。

该湖盐类沉积矿物有 11 种,其中碳酸盐矿物有 6 种,其余为硫酸盐和氯化物矿物。盐类矿物中,以泡碱为主,芒硝次之。卤水中含有近 30 种水化学成分,包括 8 种主要成分和 20 种微量元素。其中,阳离子 Na^+ 和阴离子 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 含量最高,是影响和决定卤水成盐演化方向及形成碳酸盐类沉积的主要元素。盐湖水化学类型,为碳酸盐型盐湖。

该湖区具有良好的 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 区域水文地球化学环境和有利的碳酸盐类盐湖形成背景。天然碱(主要是泡碱)的形成途径,构成三种模式:(1)化合成碱;(2)生物成碱;(3)置换成碱。

参考文献

- [1] 郑喜玉等,内蒙古盐湖,北京:科学出版社,1992.
- [2] 孙广友,松辽平原中部第四纪地壳运动与平原发育—兼论松辽分水岭的形成。中国东北平原第四纪自然环境形成与演化,哈尔滨:哈尔滨地图出版社,1990,2—23.
- [3] 裘善文,松嫩平原湖泊的成因及其环境变迁。中国东北平原第四纪自然环境形成与演化,哈尔滨地图出版社,1990,146—154.
- [4] 郑喜玉,海拉尔盆地盐湖的形成自然环境,盐湖研究. 1994,2(3):10—16.
- [5] 裘善文等,东北西部沙地吉土壤与全新世环境。中国全新世大暖期气候与环境,北京:海洋出版社,1992,153—160,1992.
- [6] 夏玉梅等,松嫩平原晚第三纪—更新世孢粉组合及古植被与古气候的研究。中国东北平原第四纪自然环境形成与演化,哈尔滨地图出版社,1990,12—23.
- [7] Ю. П. 尼古尔斯卡娅;倪绍祥译,库隆达草原湖泊和水中盐类形成过程地表盐分的迁移累积和平衡,北京:科学出版社,1961,121—143.
- [8] К. П. 卢卡合夫,陈静生译,苏联境内风化壳的地带性地球化学类型. 北京:科学出版社,1956,146—158.

Formation and Evolution Environment of Dabusu Alkaline Lake

Zheng Xiyu Lu Yaping

(Qinghai institute of salt lakes, academia sinica, Xining, 810008)

Abstract

Based on the field survey and lab analysis, first, this paper introduces general situation of Dabusu alkaline lake, salt mineral assemblages, chemical compositions of brine and hydro-chemical characteristics; discusses formation condition and evolution environment of carbonate lake; proposes formation background and alkaline—forming theory of Trona, in particular, Natron.

Kerywords Dabusu alkaline lake Formation environment Desulfurization bacterium Alkaline—forming theory