西藏盐湖物质成分的初步研究[*1]

郑喜玉　杨绍修

一、盐湖概况

西藏高原现代内陆盐湖数量多、分布广、海拔高、资源富，驰名国内外。尤以昆仑山脉以南，念青唐古拉山脉以西，冈底斯山脉以北的藏北(羌塘)高原，盐湖星罗棋布，是我国盐湖分布众多的地区(图1)。据统计全区约有湖泊2,000多个等，面积27,000多平方公里，占全区总面积2.25%[*2]。目前已经考证核实的盐湖有170余个，面积6,000多平方公里，占湖泊总面积的22.22%，其中面积大于50平方公里的盐湖有39个，占盐湖总数的22%，面积4100平方公里，占盐湖总面积68%。这些盐湖海拔高，多分布在4,500米左右，最高达到5,000米以上。最大的盐湖是昂拉仁错，面积560多平方公里，海拔4,689米；最高的较大盐湖为清澈湖，海拔5,103米，面积57平方公里；湖水最深的盐湖为错尼，水深58.7米，面积66.5平方公里，海拔4,902米。这些盐湖中，经过考察或做过地质工作的盐湖有63个，其中有些盐湖早已开采利用，积累了一些盐湖资料，为探索高原盐湖的形成、演化及其成盐规律奠定了基础，并为合理开发利用盐类资源，提供了科学依据。

西藏盐湖成盐期虽短，但成盐作用强烈，物质组成却比较复杂。据野外考察，三分之二的盐湖都演化到自析盐阶段，形成27种蒸发岩类(碳酸盐、硫酸盐、硼酸盐和氯化物盐)沉积；此外，还有赋含40余种元素的盐湖卤水(湖表卤水和晶间卤水)。尤其是钾、硼、铷、铯、锂等元素含量高，储量大。上述盐湖资源，如能开发利用则在工业、农业和国防等各部门，占有重要地位。

二、西藏盐湖卤水成分

西藏盐湖卤水按赋存状态分为湖表卤水和晶间卤水两大类。它们在各湖中的储存量很不一致，如噶尔昆沙湖湖表卤水已经干涸，仅有少量晶间卤水；而错尼湖表卤水又十分充沛，是西藏已知卤水最深的一个盐湖。但多数盐湖湖表卤水比较浅，一般为0.1～0.3

[*1]这是西藏盐湖考察集体科研成果。本文承蒙张彭熹、陈克造、于升松同志关怀指导，唐渊等同志审阅、修改，胡金泉同志清绘部分图件，谨此致谢。

[*2](1盐湖所1980西藏高原湖泊类型一览表。

主要参考资料

1. СлюсареваМН. 1969, Гидрогл-ауберит Новый Минерал из группы дный суцфатов Зап. Всес Минера Общ,98.1(1969), 56—62.
2. 西藏盐湖硼矿研究报告1974年，地质科学院地质矿产研究所 中国科学院西藏综合考察队
3. 西藏地热1979年 中国科学院青藏高原综合科学考察队
4. 我国产出的水钙芒硝，“矿物学报”1981,4(200—206)。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

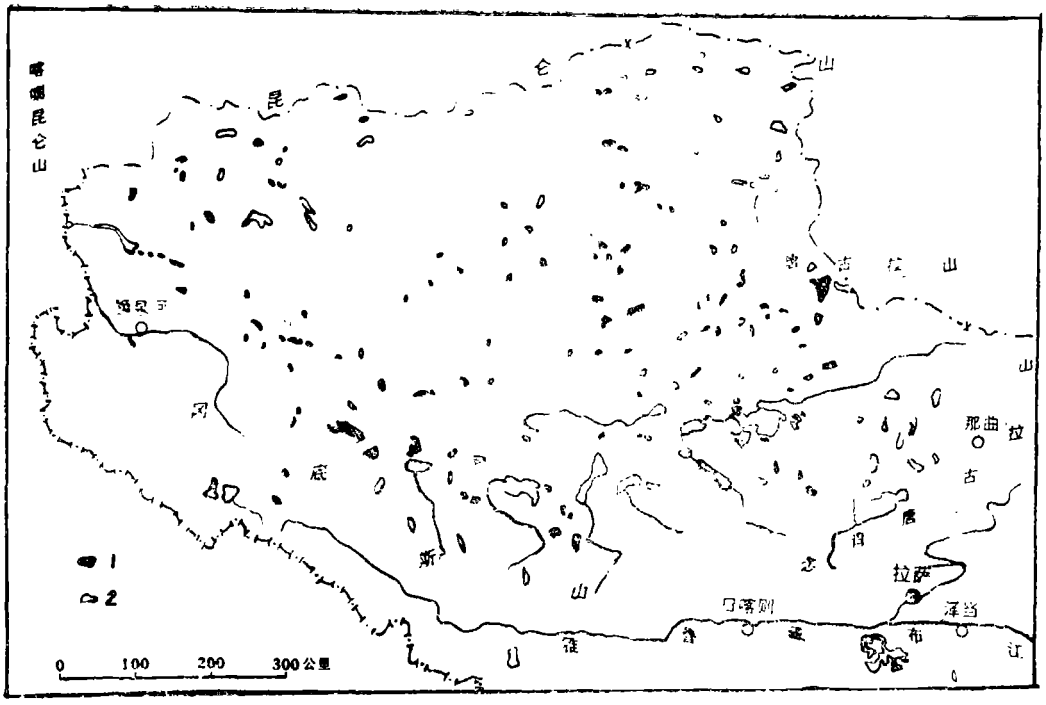


图1 西藏高原盐湖分布图

1 盐湖 2 咸水湖及淡水湖

米，常处于半干涸状态。上述卤水为无色、无嗅、透明度良好、具咸味或咸苦味，呈中、碱性，pH 值为 7～9.3，最大 10.5，比重 1.030～1.329，矿化度为50～350克/升[1)]，最高达365克/升。这些含盐卤水，在干燥气候条件下，经常处在饱和或过饱和状态，形成蒸发岩类沉积。

据分析，西藏盐湖卤水中除氢和氧而外，赋含近40种化学成分(表1)。这些成分在盐湖卤水中贫富不一，相差悬殊。如钠含量61,607毫克/升，而锡含量只有0.0044毫克/升，相差14×10^6倍。表1中阳离子Na^+、K^+、Mg^{++}、Ca^{++}和阴离子Cl^-、$SO^{=}_4$、HCO^-_3及$CO^{=}_3$含量最高，占卤水组成98%，为盐湖卤水的基本成分，是划分盐湖水型和决定成盐作用的主要因素。据 M.Г.瓦里亚什科分析[1]，这些基本成分对不同含盐量的天然水的化学成分所起的作用是有差异的，随着湖水矿化度的增高，$CO^{=}_3$(包括HCO^-_3)最早起主要作用。然后是$SO^{=}_4$；当矿化度很高时，Cl^-才起主要作用，并得出结论，主要阴离子元素在天然水中呈溶解状态的稳定性顺序为：

$$C\rightarrow S\rightarrow Cl$$

主要阳离子在天然水中首先起作用的是

1) 含盐量大于50克/升的湖泊，称为盐湖。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

表 1　　西藏盐湖湖表卤水平均组分(毫克/升)

水型/项目		Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Cl^-	SO^-_4	HCO^-_3
海洋水		10,500	380	400	1,350	19,000	2967	140
盐湖卤水	最大值	124,387	21,210	1,155	20,095	183,887	90,610	4,267
	最小值	16,985	768	0	5.1	3,219	2,332	0
	平均值	61,607	6,646	158.7	4,658	92,290	27,950	948
同海洋水比值		5.9	17.5	0.4	3.5	4.9	9.4	6.8

续表 1

CO^-_3	B^{+3}	Li^+	Br^-	I^-	Rb^+	Cs^+	U^{+6}	Th^{+4}	F^-	Sr^{++}	P^{+5}	Si^{+4}	Al^{+3}
140	4.6	0.17	65	0.06	0.12	0.0005	0.003	0.00005	1.3	8	0.07	3	0.01
6,653	1,439.2	2,900	242	0.6	23.13	18.3	1.5	0.072	441.8	42	12.9	11.6	0.12
0	31.7	0	0.3	0.0007	0.20	0	0	0	10.67	0	0	0	0.009
1192	541.8	320.4	62.51	0.159	5.42	1.94	0.162	0.0068	112.9	6.67	2.03	3.6	0.0549
8.5	117.8	1,885	0.96	2.65	45	3876	54	136	87	0.8	29	1.2	5.5

续表 1

水型/项目		As^{+3}	Pb^{++}	Fe^{+3}	Sn^{+4}	Cr^{+3}	Mn^{++}	Ni^{++}
海洋水		0.003	0.00003	0.01	0.0008	0.00025	0.002	0.002
盐湖卤水	最大值	13.2	0.22	0.85	0.016	0.034	0.153	0.07
	最小值	0	0.001	0.039	0	0.004	0.002	0.003
	平均值	1.72	0.031	0.188	0.0044	0.0166	0.0328	0.0101
同海洋水比值		573	1,033	19	5.5	332	16	5

续表 1

Mo^{++}	V^{+5}	Ti^{++}	Cu^{++}	Ag^+	Zn^{++}	Hg^{++}	NO^-_3	NO_2^-	资料来源
0.01	0.002	0.001	0.003	0.00004	0.01	0.00003			日本海洋学会志(理科年表)1977
0.16	0.018	0.02	0.13	0.067	0.75	0.4	13	1.94	中国科学院青海盐湖研究所 1976--1978
0.005	0.002	0.002	0.0008	0.0002	0.0003	/	0.1	0.024	
0.0389	0.006	0.006	0.0242	0.0085	0.15	0.0285	3.306	0.3	
4	3	6	8	212	15	950			

Ca^{++}，伴随矿化度的提高，相继占据主导地位的为Na^+和K^+，而随着矿化度的增加几乎不改变其相对作用，所以盐湖卤水随着矿化度的提高，其Mg^{++}含量相对增加就是这一缘故。

表 1 中除主要成分外，还有30余种稀有

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

和分散元素，含量少，仅占卤水组成2%。其中有些元素在地壳组成中本来就稀少或含量虽然不少，但该元素地球化学性状易于分散，如K^+、Rb^+等(表2)。可是这些元素很重要，对反映盐湖特征是有意义的。通过盐湖卤水和海洋水对比可知，除Ca^{++}和Br^-含量低于海洋水外，其它元素较海洋水含量高数倍至数百倍，甚致高千倍，例如Li^+、B^{+++}、K^+、Rb^+、Cs^+、U^{+6}、Th^{+4}等，说明上述元素在盐湖卤水中具有很高的背景值，形成了地球化学的集中。至于Ca^{++}含量低，是因为盐湖在形成演化过程中，相继与$CO^{--}(HCO^-_3)$及SO^{--}_4作用达到饱和，而生成$CaCO_3$或$CaSO_4$等盐类沉淀，不断降低卤水中Ca^{++}含量的缘故。Br^-含量低于海洋水，这是陆源盐湖成因的标志。

表2　　地壳中某些元素平均含量(据维诺格拉多夫1962)

元　素	Li^+	K^+	Rb^+	Cs^+	B^{+3}	As^{+3}	Si^{+4}	F^-	Br^-
(重量%)	0.0032	2.5	0.015	3.7×10^{-4}	0.0012	1.7×10^{-4}	29.0	0.066	2.1×10^{-5}

西藏盐湖湖表卤水含盐量不是恒定的，随着季节的不同而变化。由于地质和地理环境的差异，盐湖湖表卤水稀散元素含量也不一致，例如硼含量最高的盐湖为扎布耶茶卡，每公升卤水含硼高达2克，其次是茶拉卡、聂尔错含硼1克/升以上；扎仓茶卡、扎布耶茶卡、聂尔错含锂高，平均500毫克/升以上，最高1,200毫克/升。钾含量以扎布耶茶卡、聂尔错、朋彦错和扎仓茶卡为高，均在16克/升以上，推测已有含钾矿物析出；铷、铯含量以聂尔错为高，分别为22.96和22.72毫克/升，此外，还有班戈错的铀(1.5毫克/升)、查那错的钍(0.072毫克/升)、聂尔错的砷(13毫克/升)、龙木错的氟(403毫克/升)等，含量都是比较高的。就同一盐湖湖表卤水而言，元素的分布也是不均匀的。元素分布高值区多位在盐分补给(物源)的对岸，接近蒸发岩堆积而经常受晶间卤水影响的湖表卤水附近1)。例如扎仓茶卡(图2)，横座标表示晶间水到湖表水的平面位置，纵座标反映离子含量。2公里处是晶间卤水与湖表卤水交替带，为离子含量的高值区，由此向北随着湖水的加深，其离子含量又相对降低，说明元素含量(钙除外)与矿化度具有明显的正比关系。

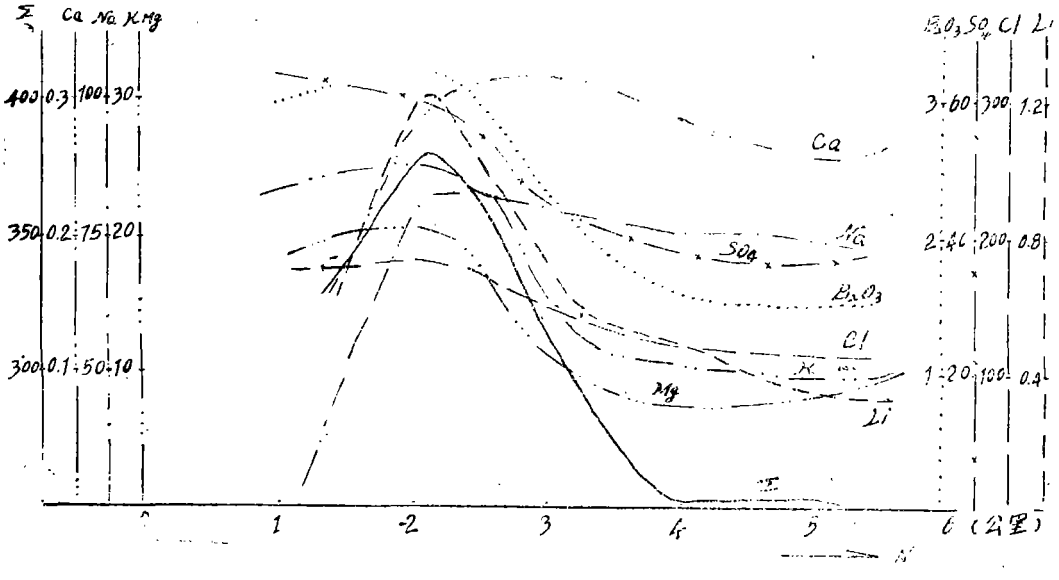


图2　扎仓茶卡Ⅱ湖Ⅱ$_4$—Ⅱ$_4$′线湖表卤水离子含量(克/升)曲线

1)郑喜玉、徐昶、李秉校1978〈西藏扎仓茶卡盐湖研究〉

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

表 3　　西藏盐湖晶间卤水化学成份(毫克/升)

离子成分		Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Cl^-	SO^-_4	HCO^-_3
海洋水		10500	380	400	1350	19000	2967	140
盐湖卤水	最大值	118529.3	39634	656	13957.5	194046	50698.9	25961
	最小值	11700	550	/	9.4	2804.75	3343.15	250
	平均值	57464	15892	153.8	3252.45	90434.25	17336.65	7282.8

续表 3

CO^-_3	B^{+3}	Li^+	Bv^-	I^-	Rb^+	Cs^+	U^{+6}	Th^{+4}	Si^{+4}	Sr^{++}	资料来源
140	4.6	0.17	65	0.06	0.12	0.0005	0.003	0.00005	3.00	8	同表1
33534.7	1610.7	1207	259.4	0.27	16.97	6.83	2.29	/	11.38	＜2	
/	328.27	61.47	38.43	0.008	2.89	＜0.05	0.016	/	/		
652.11	652.11	424.4	119	0.128	10.69	2.612	0.74	/	5.16		

晶间卤水受自然界因素影响小，比湖表卤水稳定，矿化度一般比湖表卤水高。晶间卤水和湖表卤水在一定季节存在互补关系。晶间卤水离子含量通常比湖表卤水含量高，例如扎布耶茶卡晶间卤水含硼2.4克/升，含钾24克/升；扎仓茶卡含锂和钾分别为1.2克/升和17克/升，铷和铯含量也比湖表卤水略有提高(表 3)。

盐湖卤水中离子含量多寡，是由许多因素决定的。诸如元素来源、迁移能力、富集条件等，其中元素特性和水介质条件是经常起作用的因素。盐湖卤水中的元素多为迁移能力强的卤化物、碱金属元素。影响元素迁移能力的内在因素是离子电位值(电价/离子半径)，据哥尔德施密特研究认为，离子电位值小(0.61～2.56)的离子，能进入水溶液中。其中Li^+、Na^+、K^+、Rb^+、Cs^+，离子半径大，不受水介质 pH 值影响，就能向湖中迁移；而Ca^{++}、Mg^{++}等离子在酸性和中性介质条件中，才易于搬运。离子电位值 9.7～45 的元素，如B^{+3}、As^{+3}等，以氧的络离子形式进入水溶液中迁移[2]。当然，影响元素迁移、富集的因素很多，费尔斯曼把这些因素归纳为内因(元素特性、内部结构)和外因(自然环境)综合作用。内因属于地球化学问题；外因包括温度、压力、浓度、pH 等。值得强调的是浓度对元素迁移、富集影响较大；浓度大，迁移能力强。柯尔仁斯基用公式：$M = D \cdot C$ 表示物质迁移能力[3]，D值为扩散系数是已知的[1]，C为元素浓度。如果知道元素浓度，根据公式就可预测该元素的迁移强度。

pH值对离子浓度低于0.1—0.001毫克/升的元素影响小，甚致没有影响[2]，所以具有不同 pH 值的湖水都可能含有微量的稀散元素。只有离子浓度大时，特别是形成盐类沉积时，pH值才起作用。

西藏盐湖卤水化学成分，同青藏高原特殊的地质构造环境有关，赋含Li^+、B^{+3}、Rb^+、Cs^+等元素的盐湖，多位在岩浆岩、火山岩及热水活动强烈的深大断裂附近。温泉或林立状观的碳酸岩泉华在盐湖周围极为常见。目前还有一些温泉水直接补给盐湖，如依布茶卡、才多茶卡、扎仓茶卡附近还有温泉补给。尤其是错尼湖水垂直剖面中有明显的"恒温层"(图 3)，说明湖底或湖侧存在高温潜

1)在温度20℃时，D值为0.25～2.5克/昼夜

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnk

表 4　　青藏高原主要盐湖矿物成分表

矿物成分 \ 盐湖类型及名称			水化学类型																										
			碳酸盐型						硫酸钠型						硫酸镁型							干盐湖		硫酸镁型			氯化物型
			恰卡茶卡	茶拉卡	扎布耶茶卡	朋彦错	郭加林	班戈湖	噶尔昆沙湖	拉果错	伊布茶卡	孔孔茶卡	戈木错	洞错	扎仓茶卡	聂尔错	查波错	玛尔盖茶卡	玛尔果茶卡	肖茶卡	康如茶卡	噶尔雅沙	巴南湖	大柴旦湖	达布逊、大浪滩	尕斯库勒湖	南霍布逊湖
氯化物	钾石盐	Sylvite	KCl																					●			
	光卤石	Carnallite	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$																					●	●		●
	水氯镁石	Bischofite	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$																								●
	水石盐	Hydrohalite	$NaCl \cdot 2H_2O$																						●		
	石盐	Halite	NaCl	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●		●	●	●	●	●			●	●	●	●
碳酸盐	方解石	Calcite	$CaCO_3$		●			●	●						○									○	○	○	
	文石	Aragonite	$CaCO_3$												●												
	水菱镁矿	Hydromagnesite	$3MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$					●	●						●												
	菱镁矿	Magnesite	$MgCO_3$		●			●	●						●												
	天然碱	Trona	$Na_3H(CO_3)_2 \cdot 2H_2O$						●																		
	苏打	Soda.Natron	$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$					●	●																		
	水碱	Thermoratrite	$Na_2CO_3 \cdot H_2O$					●	●																		
	水碳镁石	Nesquehonite	$MgCO_3 \cdot 3H_2O$						⊘																		
	氯碳酸钠石	Northupite	$MgCO_3 \cdot Na_2CO_3 \cdot NaCl$					●	●																		
	重碳酸钠石	Naheolite	$HNaCO_3$					●	●																		
	单斜钠钙石	Caylussite	$CaCO_3 \cdot Na_2CO_3 \cdot 5H_2O$	●	●		●																				
硫酸盐	石膏	Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$						●						●	●			●				●	●	●	●	
	四水泻盐	Leonharatite	$MgSO_4 \cdot 4H_2O$																						●		
	六水泻盐	Hexahydrite	$MgSO_4 \cdot 6H_2O$																					●	●	●	
	泻利盐	Epsomite	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$																●					●	●	●	
	白钠镁矾	Bloedite	$Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$																					●		●	
	钾盐镁矾	Kainite	$KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$																						●		
	软钾镁矾	Picromerite	$K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$																						●		

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

续表 4

矿物成分 \ 盐湖类型及名称			水化学类型：碳酸盐型						硫酸钠型						硫酸镁型							干盐湖	硫酸镁型			氯化物型
			恰卡茶卡	茶拉卡	札布耶茶卡	明彦错	郭加林	班戈湖	噶尔昆沙湖	拉果错	伊布茶卡	孔孔茶卡	戈木错	洞错	扎仓茶卡	聂尔错	查波错	玛尔盖茶卡	玛尔果茶卡	肖茶卡	康如茶卡	噶尔雅沙	巴南湖	大柴旦湖	达布逊、大浪滩	尕斯库勒湖	南霍布逊湖
硫酸盐	杂卤石	$K_2SO_4·MgSO_4·2CaSO_4$																						●		
	钾石膏	$K_2SO_4·CaSO_4·H_2O$													●									●		
	钾芒硝	$K_3Na(SO_4)_2$					●																			
	杂芒硝	$2MgCO·2Na_3CO_2Na_2SO_4 2H_2O$						⊘																		
	水钙芒硝	$5Na_2SO_4·3CaSO_4·6H_2O$													●				●		●			●		
	钙芒硝	$Na_2SO_4·CaSO_4$																						●		●
	无水芒硝	Na_2SO_4		●			●	●			●				●	●							●	●		●
	芒硝	$Na_2SO_4·10H_2O$	●	●	●	●	●	●	●		●			●	●	●				●				●		●
硼酸盐	钠硼解石	$NaCaB_5O_9·8H_2O$		●					●	●					⊖	●								●		
	板硼石	$Ca_2B_6O_{11}·13H_2O$													⊖											
	三方硼砂	$Na_2B_4O_7·5H_2O$		⊖			⊖	◐																		
	硼砂	$Na_2B_4O_7·10H_2O$	●	●	●	●	●	●							⊖							●		●		
	水碳硼石	$MgO·2CaO·B_2O_3CO_2.8H_2O$																						●		
	水方硼石	$CaMgB_6O_{11}·6H_2O$																						●		
	柱硼镁石	$MgB_2O_4·3H_2O$													⊘									◐		
	三方硼镁石	$MgB_6O_{10}·7.5H_2O$																						⊖		
	章氏硼镁石	$MgB_6O_{11}·9H_2O$																						●		
	多水硼镁石	$Mg_2B_4O_7·15H_2O$													●									◐		
	库水硼镁石	$Mg_2B_2O_{11}·15H_2O$		●											◐	●								●		
粘土	绿泥石			●			●	●			●	●		●	●				●	●	●		●	●	●	●
	伊利石			●			●	●			●	●		●	◐				●	●	●		●	◐	●	●
	蒙脱石			●							●	●			●					●			●	●	●	●

主要矿物：●原生　⊘次生　◐原生、次生兼有　⊘生成情况不明

次要矿物：●原生　⊖次生　◔原生、次生兼有　○生成情况不明

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

泉热源[1]。由此看来，强烈的天然热水循环，成为西藏盐湖卤水Li^+、B^{+3}等元素大量聚集的主要来源。

通过上述分析，结论如下：

1.西藏盐湖卤水组成，从宏观分析，表3所列原子序数为奇数的元素较偶数元素含量高，如Na^+比Mg^{++}高16倍；低价元素较高价元素含量高，如Na^+和Cl^-合计含量占卤水中离子总含量的77%，比Mg^{++}和SO^{--}_4合计含量高6倍。

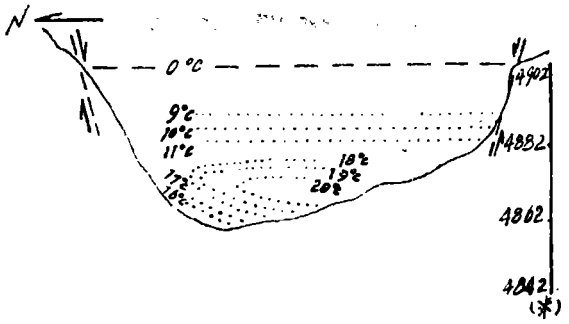


图3　错尼湖水垂直剖面

2.元素富集区位在盐类沉积区一侧；晶间卤水比湖表卤水离子含量高，如扎仓茶卡湖表卤水含Li800毫克/升，而晶间卤水高达1207毫克/升。

3.Li^+、B^{+3}含量高的盐湖，主要分布在三组区域构造线上，如东西—北西西向断裂带上，有班戈错、扎仓茶卡；北东—南西向断裂带上，有聂尔错、茶拉卡；北西—南东向断裂带上，有拉果错、扎布耶茶卡等。

4.天然热水循环是西藏盐湖Li^+、B^{+3}等元素大量聚集的主要来源，甚至是唯一来源[2]。

三、西藏盐湖的矿物成分

（一）盐湖矿物

根据西藏盐湖历年（1958—1961；1976和1978年）考察研究的蒸发岩矿物共27种（表4），其中氯化物1种（石盐）；碳酸盐矿物11种（方解石、文石、水菱镁矿、菱镁矿、天然碱、苏打、水碱、水碳镁石、氯碳酸钠石、重碳酸钠石和单斜钠钙石）；硫酸盐矿物8种（石膏、泻利盐*、钾石膏、钾芒硝、杂芒硝、水钙芒硝*、无水芒硝和芒硝）；硼酸盐矿物7种（钠硼解石、板硼石、三方硼砂、硼砂、柱硼镁石、多水硼镁石和库水硼镁石）。

粘土矿物以伊利石为主，绿泥石次之，蒙脱石含量很少[3]。

（二）关于盐类矿物的两种成因类型

国内外学者，通常按成因特征将盐类矿物分为原生（同生）和次生（后生）两大类。在实际工作中，区分这两类矿物对认识矿物的形成是有意义的。现结合实例进行讨论。

库水硼镁石：扎仓茶卡的库水硼镁石，呈自形—半自形晶体，粒径一般0.3～0.5毫米，集合体呈“砂糖状”，似层状产出，具有一定层位，其上下层位包含有砂、砾、粘土及具微细层理的碳酸盐。这些原生性标志说明它是湖相化学沉积物，为原生矿物。

柱硼镁石：扎仓茶卡分布广泛，往往与碳酸盐、粘土构成“硬壳”。在显微镜下可见其交代库水硼镁石现象（图4），说明它是次生的。

1）1976年和1978年两次考察实测资料。

2）朱梅湘、佟伟、由懋正1980西藏水热区的盐华及其地质意义青藏高原科学讨论会论文　第71页

3）徐昶1980青藏盐湖沉积物中粘土矿物　初步研究

* 为我所首次在西藏发现的矿物

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

钠硼解石：钠硼解石的形成问题尚有争论。A.A.伊万诺夫认为与白钠镁矾伴生的细球粒状钠硼解石“是大气水或凝结水作用于含分散状硼的泥质物质而形成的”。取自扎仓茶卡的样品，在镜下见到钠硼解石交代库水硼镁石和柱硼镁石现象(图4)，显然是次生的。关于原生的问题，1978年在拉果错湖滨砂层表面直接观察到钠硼解石呈细球粒状(粒径4毫米左右)析出。该湖湖水比重1.065，pH8.5，B_2O_3含量为2303毫克/升，水深约8厘米。上述虽然是原生性标志，但目前尚未查到含硼卤水析出钠硼解石的实验佐证。

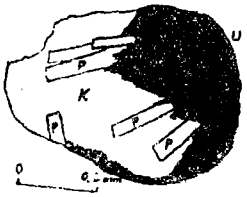


图4 显微镜下素描：柱硼镁石(P)穿插交代库水硼镁石(K)，两者又被钠硼解石(U)所交代

(三)不同类型盐湖特征矿物组合

碳酸盐型盐湖具有含钠的碳酸盐特征矿物组合：天然碱、苏打、水碱、氯碳酸钠石、重碳酸钠石以及单斜钠钙石。如果是含硼盐湖，其硼酸盐为含钠的硼酸盐—硼砂为主。

硫酸盐型盐湖具有含钙的硫酸盐特征矿物组合：水钙芒硝、钾石膏、石膏、钙芒硝。如果是含硼盐湖，则有典型的含镁硼酸盐—库水硼镁石和柱硼镁石。

西藏盐湖矿物与温泉矿物极为近似。据报导[4,5]，泉析各类盐华，在藏北盐湖蒸发岩中是常见的，说明西藏盐湖与温泉两种水体组分具有共同性来源。

通过水热活动区硫同位素分析，提供了温泉、火山和岩浆源之间的密切相关的证据。因此，就矿物成分而言，西藏盐湖(特别是含硼盐湖)与地热、火山作用有成因联系，是地壳下部重熔岩浆活动在地表不同形态的直接或间接的某种反映。

(四)沉积模式(以扎仓茶卡为例)

根据以上分析，恢复扎仓茶卡以往的沉积环境，以便探讨库水硼镁石的析出条件和分布状况。

约在两万年前的更新世，在扎仓茶卡断块陷落基础上形成第四纪早期湖盆(图5)，并有支流注入储积了淡水。稍后，温泉(或

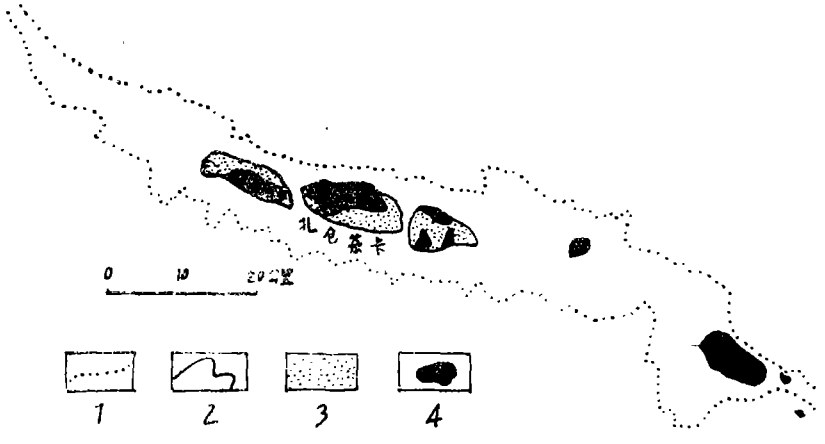


图5 扎仓茶卡湖盆变迁图 1.第四纪早期湖盆界线 2.现代湖盆界线 3.盐沉积 4.湖水

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

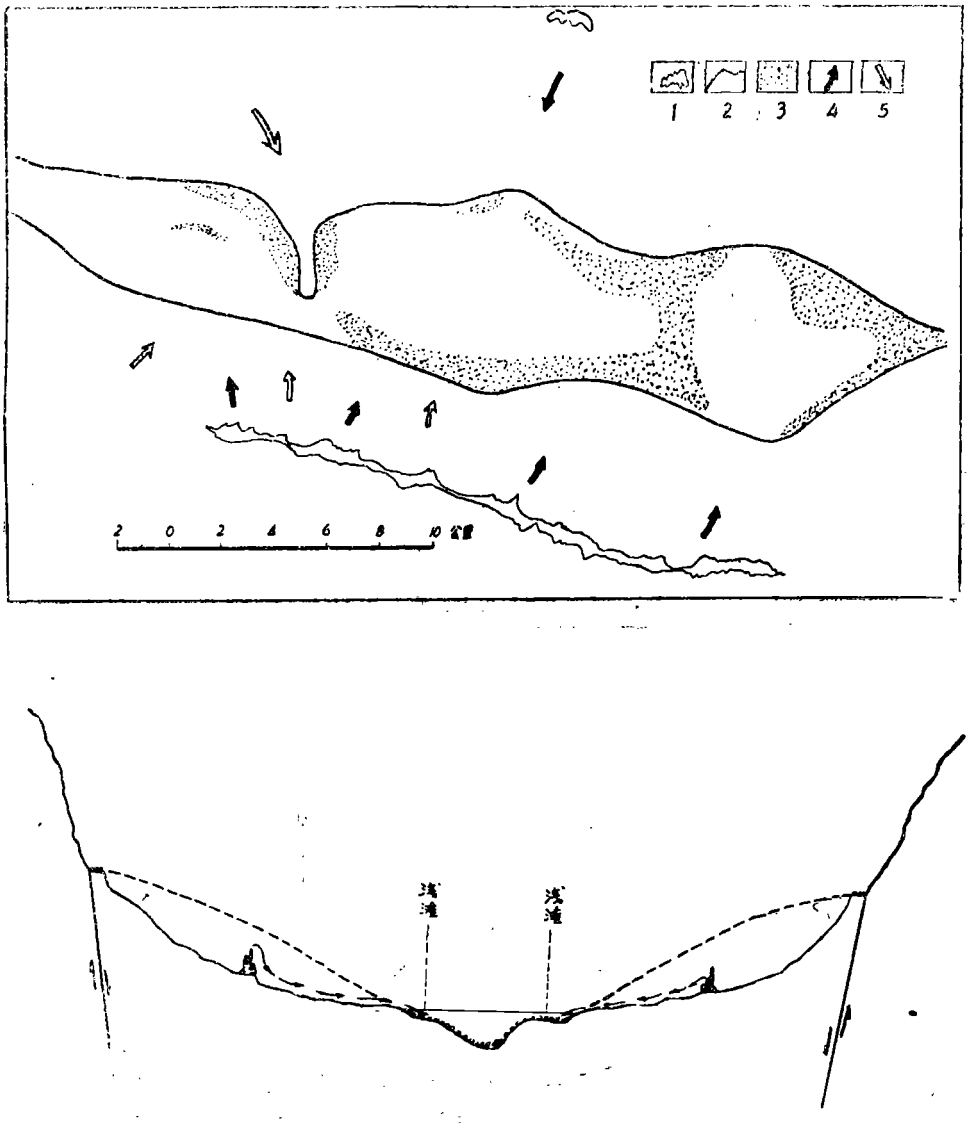


图6　扎仓茶卡全新世早期盐类沉积模式图

（上：平面图，下：剖面图）图例说明：1.温泉泉华。2.湖泊边界线3.湖中浅滩
4.温泉水补给方向，5.地表水补给方向

热泉、沸泉）沿湖岸南边（北岸亦有）发育，泉华林立壮观。泉水将锂、硼等元素带入湖中，湖水开始咸化，出现碳酸盐类沉积。

全新世早期，扎仓茶卡湖盆还是一个整体，但湖区地形起伏不平，有深陷区和浅滩区（图6），湖水矿化度达到盐湖阶段，此期沉积模式为在以机械为主的沉积作用下，湖中深陷区的碳酸盐粘土芒硝沉积相和在以化学为主的沉积作用下，湖滨浅滩区的库水硼镁石沉积相（图7）。

全新世晚期至现在，湖水退缩成为三个分隔的湖，盐类沉积物以芒硝石盐为主，构成现代盐湖相沉积（图8）。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

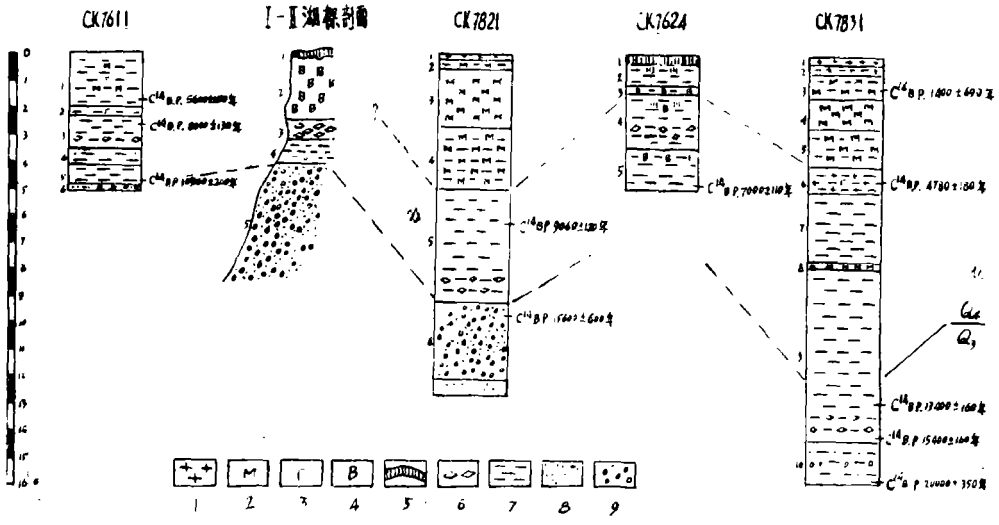


图7　扎仓茶卡盐类沉积对比图

图例说明：1.石盐2.芒硝3.石膏4.库水硼镁石5.柱硼镁石6.白色碳酸盐7.粘土8.砂9.砾石

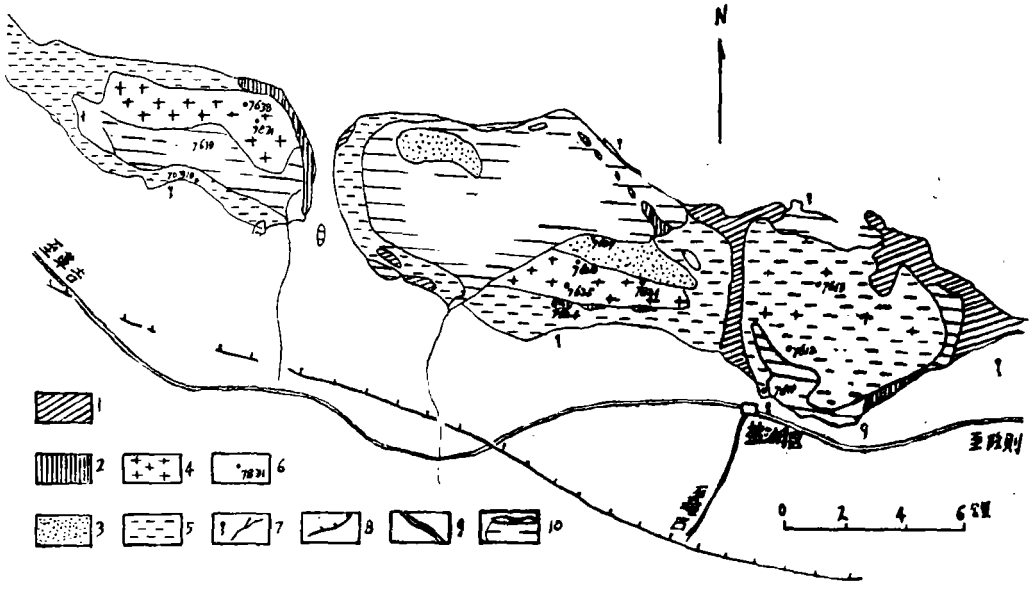


图8　扎仓茶卡盐类分布图

1.库水硼镁石2.柱硼镁石3.芒硝4.石盐5.粘土6.钻孔及编号7.泉及河流

8.泉华构成的湖泊阶地9.公路10.湖水

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnk

用下，湖滨浅滩的库水硼镁石沉积相。

四、结　语

（一）西藏盐湖卤水赋含40种化学成分，其含量（钙和溴除外）高于海洋水，构成B^{+3}、Li^{+}、Rb^{+}、Cs^{+}等元素的地球化学聚集区。

（二）该区盐湖蒸发岩类（碳酸湖、硫酸盐、硼酸盐和氯化物）矿物共27种，构成两类水化学类型盐湖的特征矿物组合。

（三）提出含硼盐湖分布在三组区域构造带上。且与水热活动、火山作用有成因联系，即温泉活动和火山作用为富硼盐湖中Li^{+}、B^{+3}、Rb^{+}、Cs^{+}等元素的物质源，甚至是含硼盐湖的唯一来源。

（四）通过扎仓茶卡盐湖形成演化的讨论，提出了全新世早　盐湖的沉积模式：在以机械为主的沉积作用下，湖中深陷区的碳酸盐粘土芒硝沉积相和在以化学为主的沉积作

主要参考文献

[1] M.Г.瓦里亚什科，《钾盐矿床形成的地球化学规律》，中国工业出版社，（1965）

[2] A.H.洛谢夫，《金属的水文地球化学找矿法》，地质出版社，（1958）

[3] 南京大学，《地球化学》，科学出版社，（1961）

[4] 地质科学院地质矿产研究所、中国科学院西藏综合考察队，《科学技术成果报告—西藏盐湖硼矿研究报告》，中国科学技术情报研究所，（1974）

[5] 佟伟等，《西藏的地热》（送审稿），科学出版社，（1979）

（上接第67页）

在冠醚环中盐冠醚络合物的形成是靠离子—偶极作用，这种作用是由于阳离子及负电场氧原子在冠醚环中对称排列的结果。

参考文献

[1] C. J. Pedersen, J. Amer. Chem. Soc., 89, 7017 (1967); 92, 386 (1970); 92, 391 (1970).

[2] R. M. Izatt, et al, J. Amer. Chem. Soc., 98 (24), 7626—30 (1976).

[3] S. G. A. Mclaughlin et al., 14th Annual Meeting of the Biophysical Society, Baltomore Md., Feb. 25—27, p. 96a, 1970.

[4] H. K. Frensdorff, J. Amer. Chem. Soc., 93, 600 (1971).

[5] N. Matsuura, et al., Bull. of the Chemical Society of Japan, 49 (5—8), 1246—1249 (1976), 50 (11), 3078 (1977).

[6] Joseph Jagur-Grodzinski, Bull. of the Chem. Society of Japan, 50 (11), 3077 (1977).

[7] H. P. Hopkins, J. Phys. Chem. 84 (3), 309—311 (1980).

[8] 黄子卿著，《物理化学》，高教出版社（1955）.

[9] 黄子卿著，《电解质溶液导论》，科学出版社.

注：王冠醚的提纯得到四川大学谢明贵老师的帮助，在此表示感谢。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk