

西藏盐湖及其水系中的痕量金属*

于昇松

(中国科学院盐湖研究所, 西宁 810008)

提要 于1978年采集了青藏高原26个盐湖、6条河流、10处泉水及3地盐湖区的大气降水的水样,以ZCP等离子光谱仪测定所采水样中Fe, Mn, Al, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr等痕量金属含量,结果表明,1.盐湖及河流、泉水和大气降水等水系中的痕量金属均高度富集,但以盐湖水的最大;盐湖水中各痕量金属富集程度不一,其顺序: $Pb > Mn > Cr > Fe > Zn > Cu > Al > Ni$ 。2.区域出露的岩性、气候、湖盆及水文等为盐湖水中富集痕量金属创造了有利条件。3.高痕量金属浓度的河流、泉水及大气降水是控制和影响盐湖水中痕量金属富集的主要的直接因素。4.盐湖水的矿化度、pH及水化学类型也影响着水中痕量金属的富集。

关键词 盐湖 痕量金属 西藏

青藏高原上的内陆盐湖、湖泊及其水系中痕量金属的研究,对保护该地生态环境、丰富环境科学中关于高原水系中痕量金属的内容以及研究高原盐湖的化学演化、形成和发

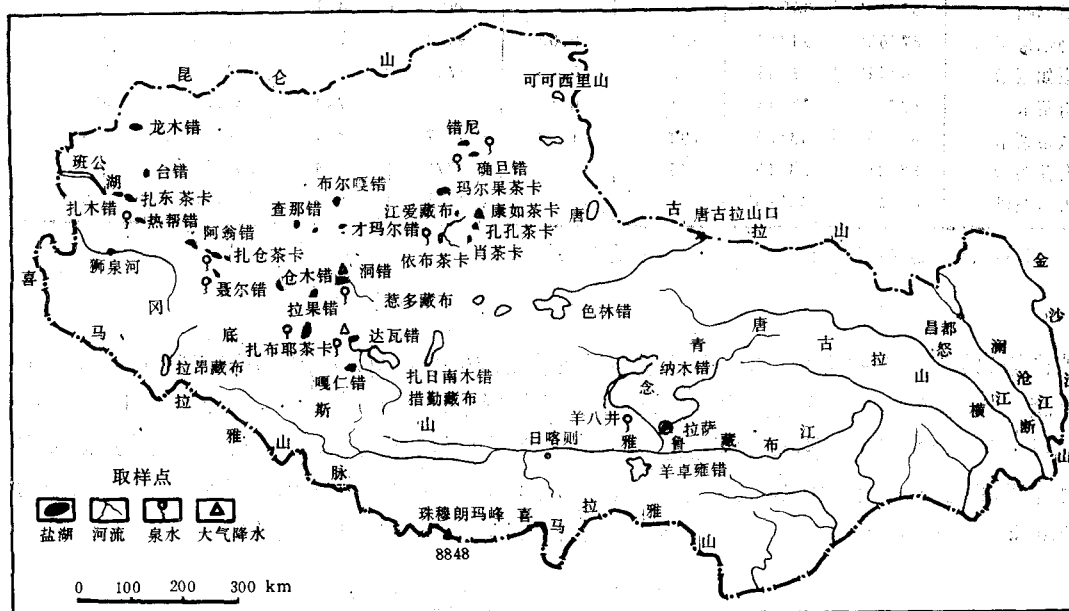


图1 西藏盐湖及水系采样点位置

Fig. 1 Sampling locations on salt lake and water systems in Xizang

* 王华安同志测定样品。
接受日期: 1991年8月15日。

表 1 西藏某些盐湖概况

Tab. 1 General situations of some salt lakes in Xizang

湖名	东 经	北 纬	面积 (km ²)	水 深 (m)	海拔高程 (m)	pH	总矿化度 (g/L)	水化学类型 ^{a)}
龙木错	80°30'	34°37'	97	1.0	5002	7.6	173.04	Mg
台 错	80°07'	33°07'	8	0.20	4504	8.9	15.05	C
扎木错	80°15'	33°32'	3		4300	8.2	63.12	Na
扎东错	80°20'	33°33'	4	0.30	4300	8.9	22.04	C
热邦错	80°34'	33°02'	27	0.30	4324	9.2	67.38	Na
阿翁错	81°44'	32°46'	55	1.20	4427	9.2	86.80	C
查那错	84°01'	33°18'	4		4543	7.6	329.35	Mg
扎仓茶卡 I	82°31'	32°33'	35.25	0.15	4400	7.9	340.58	Na
扎仓茶卡 II	82°23'	32°35'	60	1.20	4400	8.0	210.54	Na
扎仓茶卡 III	82°15'	32°35'	35	0.15	4400	7.5	307.90	Mg
聂尔错	82°12'	32°17'	33	0.50	4604	8.0	214.18	Na
仓木错	83°30'	32°10'	101		4370	8.8	13.54	Mg
才玛尔错	84°35'	33°33'	32		4580	8.8	190.64	C
查波错	84°12'	33°12'	32		4505	8.2	193.25	Na
拉果错	84°05'	32°02'	86		4490	7.4	91.29	Na
洞 错	84°44'	32°10'	84	1.50	4416	8.9	139.74	Na
达瓦错	84°58'	31°17'	111		4636	9.3	35.55	Na
嘎仁错	84°58'	30°47'	90		4850	7.4	277.65	Na
错尼东	87°15'	34°34'		58.7	4902	8.7	12.85	Mg
错尼西	87°13'	34°34'			4902	8.4	11.22	Mg
玛尔果茶卡	87°00'	33°50'	80	0.05	4830	7.3	322.58	Mg
康如茶卡	86°58'	33°33'	10	0.20	4766	7.0	322.44	Mg
肖茶卡	87°46'	33°05'	14	0.40		7.3	320.08	Mg
依布茶卡	86°45'	33°00'	100	1.50	4557	8.2	96.82	Na
孔孔茶卡	88°06'	33°10'	36		4775	7.4	333.32	Na
布尔嘎错	84°22'	33°40'	12		4608	7.9	135.36	Na

a) C系碳酸盐型, Na 系硫酸钠亚型, Mg 系硫酸镁亚型。

展趋势,具有一定的意义。本文报道了对西藏高原 26 个盐湖、6 条河流、10 处泉水及 3 地盐湖区大气降水中痕量金属的含量、分布、及其影响因素的研究结果。水样是 1978 年中国科学院西藏盐湖考察队采集的, 采样地区位于西藏的西北部(图 1)。这里的盐湖主要为硫酸盐型, 少量为碳酸盐型、无氯化物型; 它们的平均海拔为 4576m, 湖水面积为 47.89km², 水深为 0.62m, pH 值=8.2, 总矿化度为 166.4g/L (表 1)。

一、痕量金属的浓度分布

1. 盐湖

盐湖概况见表 1。各盐湖水中的痕量金属浓度列于表 2。由图 1、表 2 看出, 分布于班公错-兹格塘-怒江深大断裂带附近的盐湖, 其水中的痕量金属浓度较大, 如扎仓茶卡、聂尔错及洞错等湖。为了表明西藏盐湖水中的痕量金属的富集程度, 采用富集系数 K_f 表

表 2 西藏盐湖水中的痕量金属浓度^{a)} (mg/L)

Tab. 2 Trace element contents in salt lake waters of Xizang (mg/L)

湖 名	Al	Pb	Fe	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn
龙木错	0.010	0.0022	0.055	0.034	0.049	0.012	0.0066	0.060
台 错	0.033	0.220	0.165	0.0011	0.0098	0.0048	0.011	0.212
扎木错	0.027	0.110	0.039	0.015	0.0064	0.0032	0.0058	0.060
扎东错	0.022	0.270	0.077	0.049	0.006	0.0094	0.0082	0.060
热邦错	0.047	0.0056	0.137	0.031	0.0037	0.012	0.016	0.060
阿翁错	0.091	0.0062	0.102	0.0072	0.002	0.003	0.013	0.089
查那错	0.029	0.015	0.060	0.012	0.068	0.005	0.060	0.124
扎仓茶卡 I	0.110	0.220	0.850	0.021	0.027	0.019	0.067	0.342
扎仓茶卡 II	0.009	0.001	0.480	0.004	0.010	0.003	0.030	0.120
扎仓茶卡 III	0.110	0.018	0.460	0.006	0.027	0.003	0.065	0.150
聂尔错	0.275	0.003	0.047	0.007	0.087	0.007	0.103	0.060
仓木错	0.037	0.008	0.060	0.006	0.003	0.002	0.020	0.074
才玛尔茶卡	0.025	0.010	0.180	0.015	0.011	0.005	0.016	0.074
查波错	0.028	0.004	0.046	0.008	0.007	0.003	0.007	0.081
拉果错	0.020	0.011	0.052	0.007	0.003	0.004	0.016	0.052
洞 错	0.029	0.0033	0.212	0.0088	2.432	0.090	0.0096	0.033
达瓦错	0.006	0.012	0.300	0.008	0.004	0.004	0.021	0.410
嘎仁错	0.039	0.009	0.180	0.023	0.003	0.005	0.011	0.070
错尼东	0.032	0.003	0.058	0.010	0.006	0.002	0.005	0.250
错尼西	0.045	0.012	0.037	0.009	0.004	0.002	0.003	0.190
玛尔果茶卡	0.059	0.012	0.101	0.016	0.106	0.005	0.017	0.100
康如茶卡	0.120	0.046	0.094	0.005	0.153	0.010	0.043	0.730
肖茶卡	0.095	0.024	0.180	0.022	0.010	0.005	0.011	0.075
依布茶卡	0.070	0.008	0.300	0.010	0.005	0.005	0.037	0.640
孔孔茶卡	0.100	0.036	0.144	0.005	0.043	0.005	0.012	0.100
布尔嘎错	0.053	0.005	0.065	0.011	0.004	0.005	0.010	—

a) 1978年进藏野外考察时,用清洗过的聚乙烯瓶子采集了各水体样品,然后,王华安等同志在实验室将未过滤的水样用 ICP 等离子光谱仪测定。

示,

$$K_i = \frac{C_i/Cl_i}{C_w/Cl_w}$$

式中, C_i, C_w 分别为盐湖水和海洋水中某痕量金属的浓度 (mg/L); Cl_i, Cl_w 分别为盐湖水和海洋水中氯根的浓度 (mg/L)。计算的富集系数 K_i 列于表 4, 由 K_i 值不难看出, 西藏盐湖水中痕量金属富集程度不同, 顺序为: $Pb > Mn > Cr > Fe > Zn > Cu > Al > Ni$ 。

2. 水系 (河流、泉水及大气降水)

西藏水系中的痕量金属尽管没有盐湖水中的高, 但与世界河水比较, 除 Al 外, 均高出几倍至十几倍, Pb 高达几十至几百倍; 与比它们的总矿化度大得多的海洋水比较, 均高出几倍至几十倍, Pb 高达几百至几千倍 (表 3、表 5), 因此, 西藏水系中的痕量金属是极为富集的, 构成了高浓度的痕量金属体系。

表 3 西藏水系中的痕量金属浓度 (mg/L)

Tab. 3 Trace element contents in water systems of Xizang (mg/L)

水 系		Al	Pb	Fe	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	注入的湖泊
河 流	江爱藏布	0.077	0.005	0.092	0.011	0.004	—	0.003	0.040	依布茶卡
	绒玛藏布	0.026	0.003	0.100	0.004	0.002	0.011	0.013	0.180	依布茶卡
	那拉藏布	0.014	0.001	0.019	0.002	0.002	0.003	0.001	0.023	洞 错
	惹多藏布	0.017	0.002	0.018	0.001	0.002	0.002	0.003	0.018	洞 错
	措勤藏布	0.040	0.005	0.056	0.011	0.066	0.002	0.004	0.200	扎日南木错
	拉昂藏布	0.0085	0.310	0.047	0.011	0.001	0.013	0.0081	0.060	拉 昂 错
泉 水	错尼温泉	0.051	0.010	0.077	0.004	0.004	0.002	0.005	0.280	错 尼 湖
	确且南泉	0.086	0.006	0.087	0.007	0.015	0.004	0.012	0.19	确 且 错
	绒玛 III 泉	0.025	0.008	0.126	0.005	0.004	0.009	0.018	0.26	依布茶卡
	洞 错 泉	0.013	0.002	0.017	0.001	0.002	0.001	0.004	0.009	洞 错
	扎布错泉	0.012	0.004	0.140	0.003	0.001	0.001	0.010	0.019	扎 布 错
	聂尔错南泉	0.052	0.0041	0.026	0.0033	0.001	0.002	0.006	0.030	聂 尔 错
	达瓦错泉	0.019	0.004	0.024	0.003	0.002	0.001	0.040	0.018	达 瓦 错
	扎仓茶卡泉	0.016	0.004	0.021	0.002	0.002	0.001	0.010	0.060	扎仓茶卡 II
	热那错泉	0.016	0.0009	0.068	0.015	0.001	0.001	0.030	0.030	热 那 错
羊八井热泉	0.027	0.270	0.099	0.019	0.012	0.014	0.0052	0.122	热 水 湖	
大 气 降 水	措 哲	0.075	0.007	0.210	0.009	0.072	0.001	0.003	0.031	
	达 瓦 错	0.023	0.001	0.040	0.002	0.001	0.001	0.003	0.018	
	洞 错	0.022	0.003	0.024	0.001	0.012	0.001	0.005	0.037	

表 4 西藏盐湖水中痕量金属的富集系数

Tab. 4 Riched coefficients of trace elements in salt lake waters of Xizang

项目	海洋水		盐湖水		项目	海洋水		盐湖水	
	浓度	富集系数	浓度	富集系数		浓度	富集系数	浓度	富集系数
Cl (mg/L)	19000		92290		Mn (mg/L)	2×10^{-3}		0.119	
Al (mg/L)	0.01		0.059		Mn/Cl	1.05×10^{-7}		1.29×10^{-6}	
Al/Cl	5.3×10^{-7}		6.4×10^{-7}		K_{Mn}			12.3	
K_{Al}			1.21		Ni (mg/L)	2.0×10^{-3}		9×10^{-3}	
Pb (mg/L)	3.0×10^{-5}		0.041		Ni/Cl	1.05×10^{-7}		9.7×10^{-8}	
Pb/Cl	1.0×10^{-9}		4.44×10^{-7}		K_{Ni}			0.93	
K_{Pb}			444		Cu (mg/L)	3.0×10^{-3}		0.024	
Fe (mg/L)	0.01		0.172		Cu/Cl	1.57×10^{-7}		2.60×10^{-7}	
Fe/Cl	5.26×10^{-7}		1.86×10^{-6}		K_{Cu}			1.7	
K_{Fe}			3.54		Zn (mg/L)	0.01		0.169	
Cr (mg/L)	3.0×10^{-4}		0.014		Zn/Cl	5.26×10^{-7}		1.83×10^{-6}	
Cr/Cl	1.5×10^{-8}		1.5×10^{-7}		K_{Zn}			3.48	
K_{Cr}			10						

表 5 西藏水系中痕量金属的富集

Tab. 5 The enrichment of trace elements in water systems of Xizang

项 目		Cl	Al	Pb	Fe	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn
西藏水系	大气降水 (A)	6.27	0.04	0.004	0.091	0.004	0.028	0.001	0.004	0.03
	河水 (TR)	11.25	0.031	0.054	0.055	0.007	0.013	0.006	0.005	0.087
	泉水 (S)	179.65	0.029	0.031	0.069	0.006	0.004	0.004	0.014	0.102
世界河水 (WR)			0.05	0.0001	0.040	0.001	0.0082	0.0005	0.0015	0.03
海洋水 (W)		19000	0.01	0.00003	0.010	0.0003	0.002	0.002	0.003	0.01
富集倍数	A/WR		0.8	40	2.3	4.0	3.4	2.0	2.7	1
	TR/WR		0.6	540	1.4	7.0	1.6	12.0	3.3	2.9
	S/WR		0.6	310	1.7	6.0	0.5	8.0	9.3	3.4
	A/W		4.0	133	9.1	13.3	14.0	0.5	1.3	3.0
	TR/W		3.1	1800	5.1	23.3	6.5	3.0	1.7	8.7
	S/W		2.9	1033	6.9	3.3	2.0	2.0	4.7	29.4

二、影响盐湖水中痕量金属富集的因素

盐湖水中痕量金属的富集是多方面因素综合作用的结果,本文试图从以下方面探讨。

1. 蚀源区岩性

前人研究表明^[2],从酸性岩、中性岩到基性岩、超基性岩中的痕量金属 Fe, Mn, Ni, Cr, Al, Cu, Zn, 其含量有增高趋势(但 Cu, Zn, Al 含量在超基性岩中亦较低); Pb 含量变化与它们的相反(表 6)。西藏许多盐湖的蚀源区,除分布中、酸性花岗岩外,还出露基性火山岩(错尼湖)、基性侵入岩、超基性岩(洞错)及基性、中基性岩(扎东错、扎木错的南部)。这些基岩在自然条件下,遭受风化、淋滤,便构成了该区湖盆中富集痕量金属的极为有利的地球化学背景。

表 6 西藏不同岩石中痕量金属含量 (10^{-6})Tab. 6 Trace element contents in different type rocks in Xizang (10^{-6})

项 目	Cr	Mn	Fe(%)	Ni	Cu	Pb	Zn	Al(%)
超基性岩	3560	2500	9.43	650	10	0.2	56	4.5
基性岩	370	2100	8.56	230	87	1.9	100	9.1
中性岩	78	1500	3.61	80	35	9.3	69.9	8.9
酸性岩	25	800	2.96	20	10	22.7	48	8.6

2. 气候

本文所及盐湖区属寒冷的干旱-半干旱高原季风气候区。年最高气温在 23°C , 最低在 -36.8°C , 平均在 -0.9°C , 年温差达 22°C 。年降水量少, 仅在 $50-268.8\text{mm}$, 且集中于 6-9 月; 蒸发量高达 $2065.7-2300.0\text{mm}$, 是降水量的几倍至几十倍。地势高亢, 太阳辐射强烈, 年均辐射量达 $794.2 \times 10^3\text{J}/\text{cm}^2$; 日照时间长, 达 $3000-3200\text{h}/\text{a}$ 。如此干寒气候, 不仅加剧岩石风化, 而且造成天然水体极大蒸发、扩散, 为该区盐湖的成盐作用及富集痕量金属创造了有利的气候环境。

3. 湖盆

该区湖盆,一是以构造断陷型为主,多分布于深大断裂及次一级断裂附近;在这些地区发育着许多温泉、热泉和沸泉,水热活动强烈,这就为痕量金属含量较高的泉水补给盐湖创造了有利的水文因素。二是多为封闭型湖盆,进入盐湖中的元素不易被河流带走。

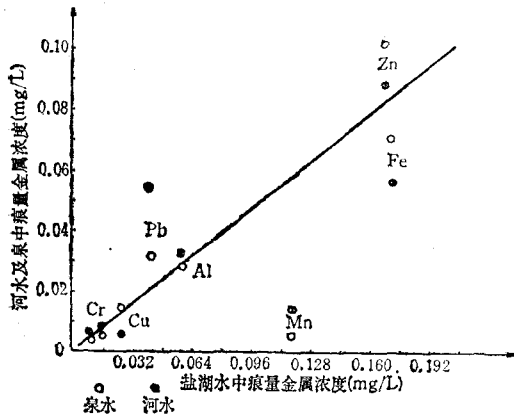


图2 西藏盐湖水中痕量金属浓度与河水、泉水间的相关性

Fig. 2 Relations of trace element contents among salt lake waters and rivers, springs in Xizang

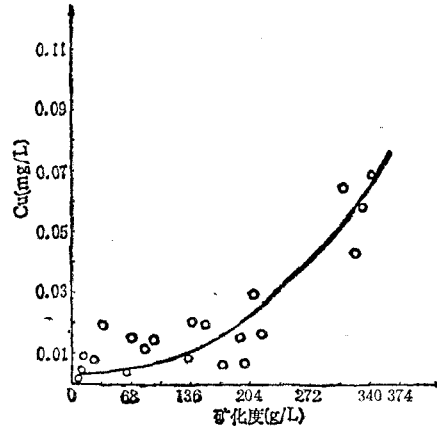


图3 盐湖水中 Cu 浓度随矿化度的变化

Fig. 3 The variations of Cu contents with the mineralizations in salt lake waters in Xizang

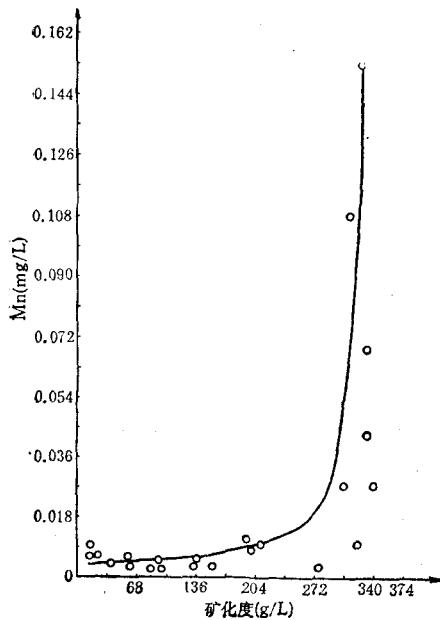


图4 西藏盐湖水中 Mn 浓度随矿化度的变化
Fig. 4 The variations of Mn contents with the mineralizations in salt lake waters in Xizang

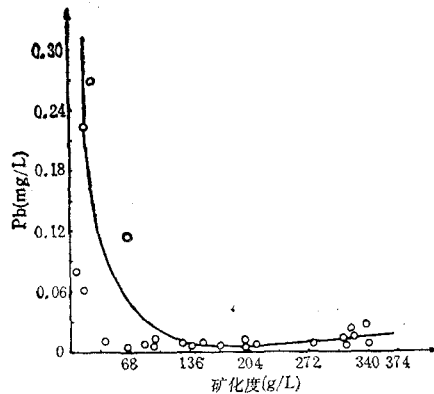


图5 西藏盐湖水中 Pb 浓度随矿化度的变化
Fig. 5 The variations of Pb contents with the mineralizations in salt lake waters in Xizang

4. 水文

该区河流以内流河为主, 最终归宿于盐湖或湖泊, 它们携带入湖的元素不再随水外泄; 这里的泉多, 达 600 处, 多温、热、沸泉, 且多出露于盐湖岸边。由图 2 可见, 这里河流、泉水及大气降水中 8 种痕量金属浓度与盐湖水的痕量金属浓度之间呈现线性相关。

5. 盐湖化学特征

(1) 矿化度 20 多个盐湖统计表明, 盐湖水中的痕量金属浓度随湖水矿化度的增加而增大(尤其 Cu, Mn), Pb 则相反(图 3—图 5)。这说明, 在西藏盐湖水中的成盐元素富集过程中, 也势必伴随着某些痕量金属的富集。

(2) pH 西藏盐湖水的 pH 值大部分在 7.5—9.3 间, 呈弱碱性, 水中的痕量金属, 除二价锰在 pH 为 8.2—9.3 间可能产生少量沉淀而引起湖水中 Mn 浓度降低外, 其他痕量金属浓度均不受湖水 pH 变化的影响(图 6)。

(3) 化学类型 26 个盐湖统计(表 7)看出, 硫酸盐型湖水中的痕量金属浓度较碳酸盐型的高(但 Pb, Cr 相反)。

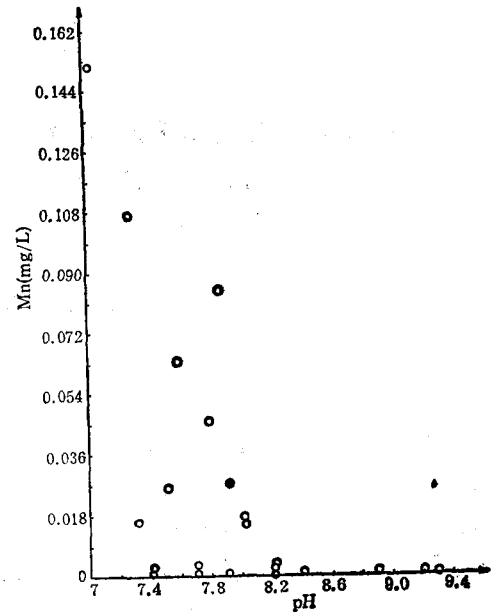


图 6 西藏盐湖水中 Mn 浓度随 pH 值的变化
Fig. 6 The variations of Mn contents with pH values in salt lake waters in Xizang

表 7 西藏盐湖水中痕量金属浓度与水化学类型间关系 (mg/L)

Tab. 7 Relations between trace elements and chemical types in salt lake waters in Xizang

项 目	碳酸盐型 (4)	硫酸钠亚型 (13)	硫酸镁亚型 (9)
Al	0.043	0.063	0.056
Pb	0.127	0.033	0.016
Fe	0.131	0.219	0.123
Cr	0.018	0.012	0.013
Mn	0.007	0.017	0.047
Ni	0.006	0.013	0.005
Cu	0.012	0.027	0.026
Zn	0.109	0.156	0.187

综上所述, 西藏的河流、泉水和大气降水是控制和影响盐湖水中痕量金属富集的主要的直接因素。

参 考 文 献

- [1] 于昇松等, 1981, 青藏高原盐湖的水化学特征, 海洋与湖沼, 12(6): 498—510。

- [2] 刘英俊等, 1984, 元素地球化学, 科学出版社, 65—112。
[3] 郑喜玉等, 1988, 西藏盐湖, 科学出版社, 18—21, 40—43。
[4] 张正斌等, 1984, 海洋化学, 上海科学技术出版社, 313—321。
[5] William, J. Green et al., 1986, Mn, Fe, Cu, and Cd distributions and residence times in closed basin Lake Vanda (Wright valley, Antarctica), *Hydrobiologia*, pp. 237—245.

TRACE ELEMENTS IN SALT LAKES AND WATER SYSTEMS IN XIZANG (TIBET) PLATEAU

Yu Shengsong

(*Institute of Salt Lakes, Academia Sinica, Xining 810008*)

ABSTRACT

Trace elements like Fe, Mn, Al, Cu, Pb, Zn, Ni and Cr in 26 salt lakes, 6 rivers, 10 springs and precipitation waters in 3 areas in the Xizang Plateau from 1978 were measured and discussed. The author noticed that: 1. Trace elements are highly enriched in salt lakes, rivers, springs and precipitation waters in this region, the highest one is in salt lake water. The enrichment level of trace elements in salt lake water is in the following sequence: $Pb > Mn > Cr > Fe > Zn > Cu > Al > Ni$. 2. The rock types, climate patterns, lake basin and hydrological conditions in this region are contributory to the enrichment of trace elements in salt lake waters. 3. High trace element content rivers, springs and precipitation waters are the main direct factors that control the enrichment of trace elements in salt lake waters. 4. The salinity, pH values and hydrochemical types of salt lake water also influence the enrichment of trace elements.

Key words Salt lake, Trace metal, Xizang.