

文章编号: 1009-3850(2007)03-0014-06

青藏高原东部长江河流溶质载荷主要离子地球化学研究

秦建华^{1,2}, 冉敬², 杜谷²

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要: 作者于 2000 年和 2002 年对青藏高原东部长江河流溶质载荷进行了较为系统的野外取样工作, 并对主要离子地球化学特征进行了分析研究。数据分析表明, 长江水系 TZ^+ 高于世界河流 1250^{Eq} 的平均值, 主要介于 $2000 \sim 3000^{Eq}$ 之间, 其次为 $1000 \sim 2000^{Eq}$ 。总体上, 高原东部长江水系 TZ^+ 可以与世界上其它造山带相比较。高原东部长江水系主要阴离子的相对丰度和分布表现出 $HCO_3^- > Si + Cl^- + SO_4^{2-}$, 河水富含 HCO_3^- ; 阳离子主要表现为 $Ca^{2+} > Mg^{2+} + Na^+ + K^+$, 表明河水富含 Ca 离子特征。河水中富含 HCO_3^- 和 Ca^{2+} , 说明高原东部长江水系流域盆地中碳酸盐岩(主要是灰岩)应是河流中主要离子的风化源岩。

关键词: 青藏高原东部; 长江; 河流溶质载荷; 主要离子; 地球化学

中图分类号: P592

文献标识码: A

长江在我国国民经济、生态环境保护和生活中占有重要的地位, 同时对全球海洋化学溶质载荷、悬浮载荷和全球地球化学循环也有着重要的影响。以往, 人们对青藏高原东部长江河流溶质载荷主要离子地球化学缺乏系统的野外数据采集和研究, 也主要集中在重庆以下及河口湾以上^[1~5], 赵继昌等^[6]对长江河源区进行了取样研究工作。

笔者于 2000 年和 2002 年对青藏高原东部长江河流溶质载荷主要离子地球化学进行了两次野外数据采集工作。本文重点介绍长江河流溶质载荷主要离子地球化学特征。

1 样品采集和测试

根据水系的分布, 结合地质环境背景, 主要考虑岩性的特征, 选取水系较大的河流, 尽量在河口之上取样, 并且取样点应选在河流的直道上, 还要考虑和尽量回避河道上人为工程的影响。野外取样时, 先用河水冲洗 11 的取样瓶及瓶盖各 3 次, 然后用取样瓶直接取水样, 并在野外现场测定河水水温、pH 值

和电导率。在野外采取的水样通常需在 24h 之内进行过滤处理, 以备后期的室内分析测试。其具体过滤方式为: 用 0.45 μ m 的滤纸进行抽滤, 将水样分别过滤两份: 一份体积为 250ml, 贮备在聚乙烯瓶中, 以备分析 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、Sr、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、碱度等项目; 另一份为 10ml, 贮备在聚乙烯瓶中, 加入 1ml 1:1HCl, 用于测 Si。

在室内, 对每份水样都进行 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、Si、Sr、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 测试。 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 采用火焰原子吸收分光光度法, 使用日本日立公司的日立 Z-5000 型原子吸收仪, 检测限为 0.01mg/l。Si 采用硅钼蓝分光光度法进行测定, 仪器香港天美公司 UV-VIS8500 型紫外可见分光光度计, 最低检测浓度为 0.1mg/l。 Cl^- 采用硝酸银容量法分析测试, 最低检测浓度为 0.1mg/l。 SO_4^{2-} 采用硫酸钡比浊法, 仪器香港天美公司 UV-VIS8500 型紫外可见分光光度计, 最低检测浓度为 1mg/l。 HCO_3^- 采用酸标准溶液滴定法测定水样中的碳酸氢根。Sr 采用火焰原子发射分光光度法, 使用日本日立公司

收稿日期: 2007-04-17

第一作者简介: 秦建华, 1964 年生, 研究员, 主要从事沉积学和河流地球化学研究。

资助项目: 国土资源部国际合作与科技司“青藏高原东部河水化学沉积地质学研究”。

的日立Z-5000型原子吸收仪,检测限为 $5\mu\text{g/l}$ 。

研究中共取溶质载荷样品 44 件,数据分析结果

2 长江河流溶质载荷主要离子地球化学

见表 1, 样品分布见图 1。

2.2 NICB 指数特征

长江各水系水体中, 主要元素总溶解阳离子与总溶解阴离子之间的电离平衡可用参数 NICB

2.1 溶质载荷主要离子总体特征

表 1 青藏高原东部长江河流溶质载荷主要离子分析结果

Table 1 Analytical results of major ions in the dissolved loads from the Changjiang River on eastern Qinghai Xizang Plateau

河流名称	样品编号	取样时间	水温/ $^{\circ}\text{C}$	pH	导电率/ μS	K/ μm	Na/ μm	Ca/ μm	Mg/ μm	Cl/ μm	SO_4^{2-} / μm	HCO_3^- / μm	Si/ μm	Sr/ μm
金沙江	CJ213	2000.5	12.4	7.85	45.9	7.0	33.9	337	34	2	51	392	85	0.3
	CJ214	2000.5	14.1	7.52	205	12.7	79.7	724	335	8	308	1539	85	1.7
	CJ215	2000.5	17.3	7.61	434	30.4	1063.3	932	530	1704	477	2147	85	4.4
	CJ236※	2000.6	15.2	7.84	445	14.8	588.3	1374	509	276	891	2143	152	5.2
	CJ237※	2000.6	15.7	7.94	479	24.8	1083.0	1064	379	1165	617	2111	144	4.9
	CJ238※	2000.6	19.1	8.12	1649	184.7	4697.6	4425	1042	9813	1249	2471	193	12.8
	CJ239※	2000.6	13.5	8.22	2870	315.3	19968.1	2791	3350	40389	4008	2242	119	28.8
	CJ0230	2002.5	14.2	8.78	127.2	11.7	132.0	510	264	14	17	1539	77	0.8
	CJ0231	2002.5	7.7	8.69	153.6	7.6	40.3	635	363	4	51	1819	68	1.5
	CJ0232	2002.5	14.8	8.67	160.8	8.3	58.1	758	270	12	69	1885	68	1.7
	CJ0233	2002.5	16.3	8.52	435	29.7	1170.4	1005	614	1791	377	2212	77	4.5
	CJ0234	2002.5	17.9	8.63	401	26.1	1093.6	1023	580	1659	274	2212	77	4.2
	CJ0235	2002.5	19.5	8.76	387	25.9	1014.2	972	577	1571	274	2278	87	4.0
雅砻江	CJ206	2000.5	17.4	7.74	173.6	13.8	79.4	646	350	70	86	1754	77	1.3
	CJ210	2000.5	20.6	8.2	87.2	7.9	52.9	308	171	4	120	978	104	0.5
	CJ211	2000.5	19.7	8	187.3	15.1	82.6	666	419	34	206	1303	91	1.6
	CJ212	2000.5	11.6	7.41	144.7	12.3	93.6	566	198	6	86	1342	97	0.9
	CJ0227	2002.5	15.6	8.68	194	12.3	117.5	847	620	14	137	2458	68	1.8
	CJ0228	2002.5	15.1	8.7	234	13.2	154.9	845	608	36	154	2540	68	2.0
	CJ0229	2002.5	14	8.55	93.2	10.8	55.2	368	230	7	51	1147	77	0.6
大流河	CJ0238	2002.5	17.6	8.69	196	19.1	163.0	831	484	72	17	2409	77	2.6
	CJ0236	2002.5	19.5	8.53	215	15.5	118.4	780	412	34	172	2147	77	1.7
	CJ201	2000.5	/	8.16	157	12.1	52.3	642	282	39	188	1565	77	1.4
	CJ209	2000.5	16.6	8.11	151.4	12.1	51.3	615	264	15	137	1565	49	1.5
	CJ0217	2002.5	9.4	8.35	125	7.0	62.9	1043	270	16	86	1434	68	1.7
	CJ0218	2002.5	7.5	8.49	176.2	5.3	46.8	691	388	6	69	1565	106	3.1
	CJ0219	2002.5	13.1	8.55	149.5	9.1	91.6	695	267	19	34	1688	77	2.3
	CJ0220	2002.5	14.1	8.56	152	6.6	62.0	600	338	15	17	1688	83	2.2
	CJ0221	2002.5	19.3	8.86	196	13.4	113.3	818	487	16	274	2442	87	2.0
	CJ0222	2002.5	13.9	8.66	149.5	9.1	86.2	622	285	16	188	1688	53	2.2
岷江	CJ0223	2002.5	14.6	8.65	173	13.6	44.5	680	378	13	137	1754	49	1.5
	CJ0224	2002.5	14	8.5	111.5	15.7	34.5	506	140	7	103	1173	41	0.8
	CJ0225	2002.5	16.6	8.68	161	12.7	105.8	651	279	18	86	1852	58	1.8
	CJ0226	2002.5	14.7	8.7	191	13.2	71.0	733	564	7	86	2212	58	1.7
	CJ0201	2002.5	16.8	8.57	181	14.0	63.6	776	403	30	172	2049	49	2.1
	CJ0202	2002.5	14.6	8.36	163	16.1	53.9	865	313	21	308	1565	77	1.9
	CJ0203	2002.5	16.1	8.4	199	12.5	71.0	807	462	26	86	2245	77	2.3
	CJ0204	2002.5	15	8.64	151	10.6	58.7	593	273	23	86	1590	87	1.7
	CJ0205	2002.5	16.1	8.83	265	14.4	88.7	1077	723	28	137	3212	96	3.0
	CJ0206	2002.5	14.8	8.84	286	13.0	82.3	1141	695	28	137	3474	58	3.3
CJ0207	2002.5	15.1	8.8	216	10.8	99.1	829	599	23	188	2802	91	2.5	
CJ0208	2002.5	8.7	8.57	250	12.1	80.7	1384	493	27	137	3556	87	2.9	
CJ0209	2002.5	7.3	8.22	346	10.8	44.5	1498	533	22	17	4015	77	3.9	
CJ0210	2002.5	6.8	8.55	198	12.3	97.5	945	316	22	34	2475	83	2.3	

注: 带※者为河源区样品

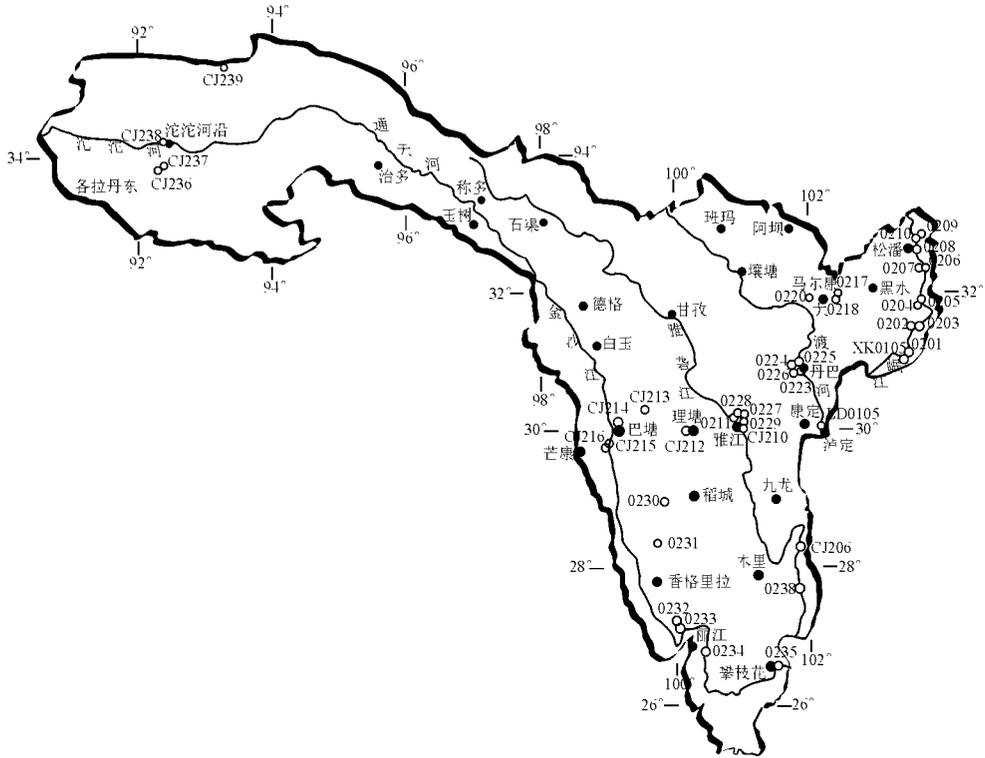


图1 青藏高原东部长江河流溶质载荷样品分布

Fig. 1 Sampling sites for the dissolved loads from the Changjiang River on eastern Qinghai-Xizang Plateau

(Normalized Inorganic Charge Balance)来反映。NICB代表了河水中标准化的非有机质电离平衡:

$$\text{NICB} = [\text{TZ}^+ - \text{TZ}^-] / \text{TZ}^+$$

其中: $\text{TZ}^+ = \text{Na}^+ + \text{K}^+ + 2\text{Mg}^{2+} + 2\text{Ca}^{2+}$;

$$\text{TZ}^- = \text{Cl}^- + \text{HCO}_3^- + 2\text{SO}_4^{2-}$$

NICB在0.05~-0.05之间,表示河水中主要元素离子间电离是平衡的,来自其它未测定离子的影响不明显;反之说明河水中存在着尚未测定的离子(如未分析的有机酸阴离子等),对河水中阴阳离子的电离平衡具有影响。

从图2可以看出,在所分析的44件样品中,有14件样品NICB指数落在了测试精度允许的标准范围 ± 0.05 之内,占样品总数的32%,而多数样品反映出河水中阴(TZ^-)、阳(TZ^+)离子电离是不平衡的。与其它造山带河流相比(如东西伯利亚Verkhoyansk和Chersky造山带),青藏高原长江水系水化学NICB < -0.05 的样品较多,共有21件,占样品总数的48%,其中NICB最低为-0.58(长江源区,样品CJ239, TZ^- 为51300 μEq)。说明在这些河流中存在着尚未分析的对河水电离平衡有影响的阳离子。同时,在所分析的44件样品中,有9件样品NICB $> +0.05$,占样品总数的20%,NICB最高值为+0.40(大渡河CJ0217, TZ^+ 为2696 μEq),与热带赤道黑水河

中(black rivers)NICB可达+1($\text{TZ}^+ < 100\mu\text{Eq}$)^[7]相比,研究区长江水系的NICB指数仍然偏低。河水NICB $> +0.05$,说明河流中存在着对电离平衡有影响的尚未分析的其它的阴离子(如有机酸阴离子)。研究区高原东部流域盆地内,高原和高山区地表广泛发育着草甸和泥碳层,泥碳层中的水由于泥碳层的分解可富含溶解有机质。

2.3 主要阳离子 TZ^+ 特征

在所分析的44件样品中, TZ^+ 小于1000 μEq 的仅有1件(金沙江, CJ213),占样品总数2%; TZ^+ 介于1000~2000 μEq 之间的有11件,占25%; 介于2000~3000 μEq 之间的有18件,占41%; TZ^+ 介于3000~4000 μEq 之间的有6件,占14%; TZ^+ 介于4000~5000 μEq 之间的有6件,占14%; 大于10000 μEq 的样品有2件(长江源区, CJ238、CJ239),占4.5%。所有样品中 TZ^+ 最高达32565 μEq (CJ239)。由此可以看出,长江水系 TZ^+ 主要介于2000~3000 μEq 之间,其次为1000~2000 μEq ,两者共占样品总数的66%; 小于5000 μEq 的有42件,占95%。Meybeck^[8]估计世界河流平均 TZ^+ 值为1250 μEq 。总体上,高原东部长江水系 TZ^+ 可以与世界上其它造山带相比较,如南美安第斯山的Orinoco河 TZ^+ 多数小于3000 μEq ; 北美科迪勒拉山系的Mackenzie和Yukon河, TZ^+ 通常小

于 $6000\mu\text{Eq}^{[9]}$; 东西伯利亚流径 Verkhoyansk 和 Chersky 造山带的河流, TZ^+ 通常小于 $1300\mu\text{Eq}$, 少数高达 $3100\mu\text{Eq}$ 。相反, 据 Edmond 等 (1995) 研究, 同样是 Orinoco 河, 流经地质构造较为稳定地区 Guayana 硅酸盐地盾的支流水系中, TZ^+ 就非常低, 通常小于 $600\mu\text{Eq}$; 而流经沉积台地区的西伯利亚河流 TZ^+ 值就较高, 多数小于 $6000\mu\text{Eq}^{[10]}$ 。

2.4 河水主要离子的分布特征

河水溶质载荷主要离子的相对丰度和分布特征, 可用阴离子和阳离子三角形图来表示。离子三角形图能够较好的揭示各种岩性风化对河水总溶质成分的相对贡献^[11]。长江水系主要阴离子和阳离子在三角形图上的分布特征见图 3。一般而言, 河水中的 HCO_3^- 主要来自于地表灰岩和硅酸盐的风化, SO_4^{2-} 来自于地表蒸发盐石膏或硫化物黄铁矿的风化。来自黄铁矿的风化在阴离子图中, 可从投点落于图中央部分进行判别。河水中的阳离子 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 除了主要来自于碳酸盐风化外, 也来自于 Ca 长石和含 Mg 硅酸盐矿物的风化, 如来自于辉石矿物的风化。(Na+K) 则主要来自于蒸发盐和钠长石的风化, 少量来自于钾长石的风化。据 Jing Zhang 等研究, 在阴离子三角图上, 若是硅酸盐岩石风化占

主要的河流, 图中表现为 $\text{Si} > \text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ 。从阴离子和阳离子三角形图中可以看出, 研究区长江各水系主要阴离子的相对丰度和分布表现出 $\text{HCO}_3^- > \text{Si} + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$, 河水富含 HCO_3^- 的特征; 阳离子主要表现为 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$, 表明河水富含 Ca 离子的分布特征。河水中富含 HCO_3^- 和 Ca^{2+} , 说明高原东部长江水系流域盆地中碳酸盐岩 (主要是灰岩) 应是河流中主要离子的风化源岩。

3 长江各次级流域溶质载荷主要离子特征

为便于研究对比, 按照河流发育的地质背景结合地形地貌和气候等因素, 将高原东部长江流域划分为 4 个次级流域分别进行研究, 即金沙江流域 (含河源区, 下同)、雅砻江流域、大渡河流域和岷江流域。

3.1 金沙江溶质载荷主要离子特征

在金沙江所分析的 13 件样品中, 主要离子电离平衡指数 NICB 在 ± 0.05 范围内的有 3 件, 占样品总数 23%; 河水中 NICB 最小值为 -0.58 (CJ239, 河源区样品) (图 2a)。从图 2a 可以看出, 多数样品 (8 件) $\text{NICB} < -0.05$, 仅有 2 件样品 $\text{NICB} > 0.05$, 占样品总

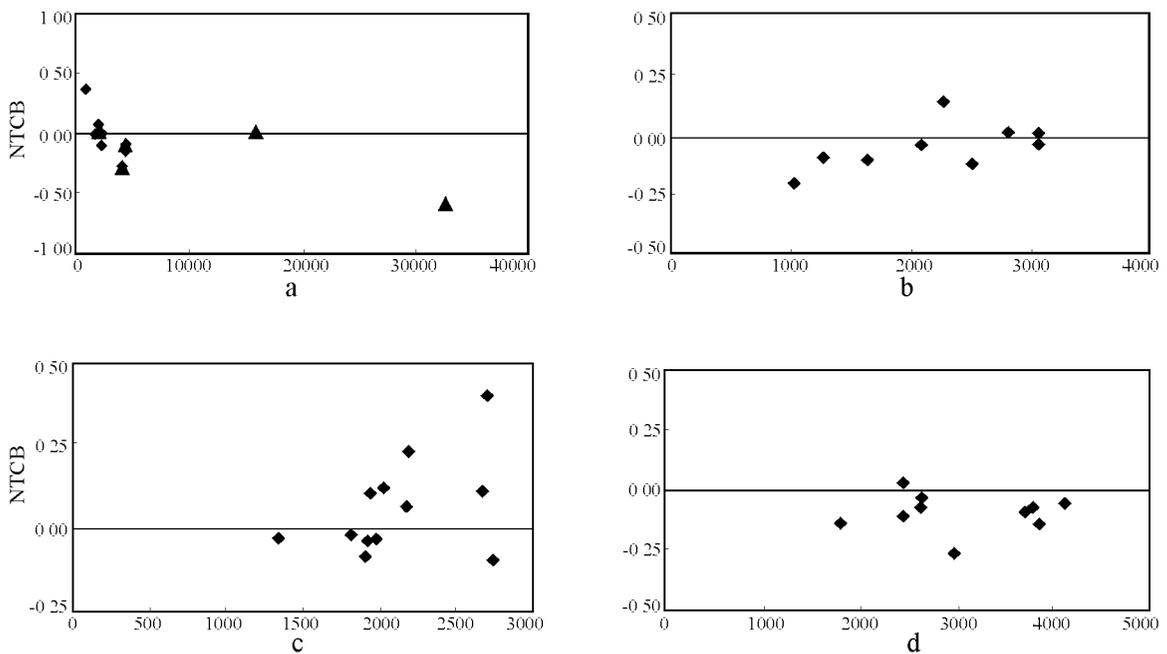


图 2 长江各水系溶质载荷主要离子 NICB 指数特征

a. 金沙江; b. 雅砻江; c. 大渡河; d. 岷江 (图 a 中 ▲ 代表河源区样品, 下同)

Fig. 2 NICB values for major ions in the dissolved loads from the Changjiang River on eastern Qinghai-Xizang Plateau

a. Jinsha River; b. Yalong River; c. Dadu River; d. Minjiang River (▲ in Fig. a represents the samples from river source areas; also the same as in other figures.)

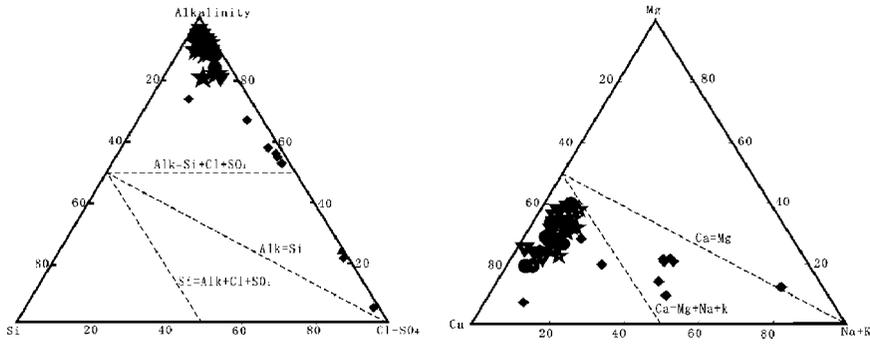


图3 青藏高原东部长江河流溶质载荷主要阴离子(A)和阳离子(B)三角形图

◆金沙江; 雅砻江; ▼岷江; ●大渡河

Fig. 3 Triangular diagrams for anions (A) and cations (B) in the dissolved loads from the Changjiang River on eastern Qinghai-Xizang Plateau

◆ Jinsha River; Yalong River; ▼ Minjiang River; ● Dadu River

数15%。在河源区4件样品中,除一件样品NICB为0.03位于测试精度范围内,其余3件样品均 < -0.05 ,说明河水中尚有未测定的对主要离子电离平衡有影响的阳离子存在。

河水中主要阳离子参数 TZ^+ ,从图2a中可以看出,多数样品小于 $5000\mu\text{Eq}$,其中:小于 $1000\mu\text{Eq}$ 有1件样品,占样品总数8%;1件样品介于 $1000\sim 2000\mu\text{Eq}$,占8%;介于 $2000\sim 3000\mu\text{Eq}$ 有3件样品,占23%;介于 $3000\sim 5000\mu\text{Eq}$ 有6件,占样品总数46%,此外,有2件样品(均为河源区) $TZ^+ > 10000\mu\text{Eq}$,分别为 $15817\mu\text{Eq}$ 和 $32565\mu\text{Eq}$ 。

在阴离子 $\text{HCO}_3^- - \text{Si} - (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ 三角图上(图3),多数样品落在 $\text{HCO}_3^- > \text{Si} + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ 范围之内,另有2件样品(均为河源区)明显的向 $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ 端点方向集中。在阳离子 $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ 三角图上,显示出向 Ca^{2+} 和 $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ 集中的趋势。说明流域盆地中碳酸盐岩和蒸发盐岩的风化对河水主要离子的影响是比较明显的,尤其是长江河源区(沱沱河、楚玛尔河)受蒸发盐岩风化的影响更为显著。

3.2 雅砻江、大渡河和岷江溶质载荷主要离子特征

1. 雅砻江

雅砻江主要离子电离平衡指数NICB在9件样品中(图2b),有4件样品落在 ± 0.05 测试精度范围内,占样品总数44%;NICB最小为 -0.20 ; < -0.05 的有4件,占44%,大于0.05有1件,占11%。说明河流中存在着对主要阴离子电离平衡有影响的阳离子。

河流主要阳离子参数 TZ^+ ,均大于 $1000\mu\text{Eq}$,但小于 $3500\mu\text{Eq}$,其中介于 $1000\sim 2000\mu\text{Eq}$ 有3件,占样

品总数的33%;介于 $2000\sim 3000\mu\text{Eq}$ 的有4件,占总数的44%;大于 $3000\mu\text{Eq}$ 的有2件,占总数的22%。

在阴离子 $\text{HCO}_3^- - \text{Si} - (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ 三角图上(图3),所有样品落在 $\text{HCO}_3^- > \text{Si} + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ 范围之内并集中在 HCO_3^- 端点附近。在阳离子 $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{Na}^+ + \text{K}^+$ 三角形图上,样品也表现出向Ca集中的趋势,投点都落在了 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$ 范围之内。

2. 大渡河

大渡河NICB的特征(图2c)表现为12件样品有4件落在 ± 0.05 测试精度范围内,占样品总数的33%;NICB最大为0.40;小于 -0.05 有2件,占17%;大于 $+0.05$ 有6件,占50%,说明河水中多数支流中存在着尚未测定的对主要阳离子电离平衡有影响的有机酸阴离子。

河流主要阳离子参数 TZ^+ 均小于 $3000\mu\text{Eq}$,但大于 $1000\mu\text{Eq}$,其中介于 $1000\sim 2000\mu\text{Eq}$ 的有6件,占样品总数50%,介于 $2000\sim 3000\mu\text{Eq}$ 有6件,占总数的50%。

在阴离子 $\text{HCO}_3^- - \text{Si} - (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ 三角图上(图3),样品均集中在Alk端点附近。在阳离子 $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ 三角图上,样品主要落在了 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$ 范围之内,并主要向 Ca^{2+} ,其次为向 Mg^{2+} 端点集中分布的趋势。

3. 岷江

岷江NICB(图2d)在10件样品中有3件样品落在 ± 0.05 测试精度范围之内,占样品总数的30%,NICB最低为 -0.26 ,有7件样品 < -0.05 ,占70%,说明河水中存在着尚未测试的对主要阴离子电离平衡有影响的阳离子。

河流主要阳离子参数 TZ^+ , 大于 $1000 \mu\text{Eq}$, 小于 $4500 \mu\text{Eq}$, 其中介于 $1000 \sim 2000 \mu\text{Eq}$ 有 1 件, 占 10% , 介于 $2000 \sim 3000 \mu\text{Eq}$ 的有 5 件, 占 50% , 介于 $3000 \sim 4000 \mu\text{Eq}$ 有 3 件, 占 30% , 1 件样品介于 $4000 \sim 4500 \mu\text{Eq}$, 占 10% 。

在阴离子 $\text{HCO}_3^- - \text{Si} - \text{SO}_4^{2-}$ 三角图上(图 3), 所有样品均落在 $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Si}$ 范围之内并集中分布在 HCO_3^- 端点附近。在阳离子 $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ 三角图上, 样品点也主要落在了 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$ 范围之内, 但除了向 Ca^{2+} 集中外, 也有向 Mg^{2+} 集中的趋势。

另外, 利用化学平衡计算软件 MINEQL⁺ ver. 3.01^[12] 对大渡河和岷江的方解石饱和指数 (Calcite saturation index, CSI) 进行了计算, 结果是所有样品的 $\text{CSI} > 0$, 表明河水为碳酸盐过饱和状态, 这与世界上其它的碳酸盐河流的情况是相同的。

鸣谢: 研究过程中, 曾与美国麻省理工学院 John. M. Edmond 教授, 韩国首尔国立大学 Youngsook Huh 博士进行过讨论, 得到了有益的指导和帮助。

参考文献:

- [1] 陈静生, 李远辉, 等. 我国河流的物理与化学侵蚀作用[J]. 科学通报, 1984, (15): 932—936.
- [2] 陈静生, 夏星辉, 等. 长江、黄河、松花江的 60—90 年代水质变

化趋势与社会经济发展的关系[J]. 环境科学学报, 1999, 19: 500—505.

- [3] CHEN J, WANG F et al. Major element chemistry of the Changjiang (Yangtze River) [J]. Chemical Geology, 2002, 187: 231—255.
- [4] 夏星辉, 张利田, 陈静生, 等. 岩性和气候条件对长江水系河水主要离子化学的影响[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2000, (2): 246—252.
- [5] JING ZHANG et al. Drainage basin weathering and major element transport of two large Chinese rivers (Huanghe and Changjiang) [J]. Journal of Geophysical Research, 1990, 95: 13277—13288.
- [6] 赵继昌, 耿冬青, 等. 长江河源区的河水主要元素与 Sr 同位素[J]. 水文地质与工程地质, 2003, (2): 89—93.
- [7] EDMOND JM, PALMER M R et al. The fluvial geochemistry and denudation rate of the Guayana shield in Venezuela, Colombia and Brazil [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1995, 59: 3301—3325.
- [8] MEYBECK M. Concentration des eaux fluvial en elements majeurs et apports en solution aux oceans [J]. Rev. Géologie Dynamique et Géographie Physique, 1979, 21: 215—246.
- [9] HUH Y, EDMOND JM. On the interpretation of the oceanic variations in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ as recorded in marine limestone [J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1998, 107: 293—305.
- [10] Huh Y et al. The fluvial geochemistry of the rivers of Eastern Siberian; II. Tributaries of the Lena, Omoloy, Yana, Indigirka, Kolyma and Anadyr draining the collisional/accretionary zone of the Verkhoyansk and Chersky ranges [J]. Geochim et Cosmo Acta, 1998, 53: 2053—2075.
- [11] HUH Y, EDMOND J M. The fluvial geochemistry of the rivers of Eastern Siberian; III. Tributaries of the Lena and Anabar draining the basement terrain of the Siberian Craton and Trans-Baikal Highlands [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1999, 63: 967—987.

Major ion geochemistry of the dissolved loads from the Changjiang River on eastern Qinghai-Xizang Plateau

QIN Jian-hua^{1, 2}, RAN Jing², DU Gu²

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

Abstract: The examination of major ion geochemistry is based on the field sampling of the dissolved loads from the Changjiang River on eastern Qinghai-Xizang Plateau in the years of 2000 and 2002. The analysis of the data has disclosed that the TZ^+ values for the Changjiang River are higher than the mean values ($1250 \mu\text{Eq}$) for all the rivers in the world, ranging mostly between 2000 and $3000 \mu\text{Eq}$ and subordinately between 1000 and $2000 \mu\text{Eq}$. By and large, the above-mentioned TZ^+ values may be compared with those for other orogenic belts in the world. The river water is characterized by enriched HCO_3^- $\text{HCO}_3^- > \text{Si} + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$, implying that the river water is rich in Ca^{2+} . The enrichment of HCO_3^- and Ca^{2+} in the river indicates that the carbonate rocks (especially limestone) should be interpreted as the weathered source rocks in the Changjiang drainage areas.

Key words: eastern Qinghai-Xizang Plateau; Changjiang River; dissolved load; major ion; geochemistry