

2008 年“5·12”地震后四川局部区域水体离子特征

刘伟龙¹, 邓伟¹, 王根绪¹, 周俊^{1,2}

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 2008 年四川“5·12”地震对人民生命和生活造成巨大的破坏。为对震后水环境的现状进行一个面上的调查, 2008 年 6 月对受地震影响四川局部地区的水取样分析。对 66 个水样中 8 大离子的分析结果表明, 水体中阳离子的含量特征均为 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$, 而阴离子平均含量依次为 $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{PO}_4^{3-}$ 。 Ca^{2+} 在水井中的含量最高, PO_4^{3-} 在水体中含量最低, 66 个采样点中有 16 个水样未检出 PO_4^{3-} 。井水中离子含量在所有采样区中最高。除 PO_4^{3-} 含量在河流中的含量最高外, 其余各离子在水井中的含量居 7 个分类采样区之首; 地裂缝渗出的水中 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Cl^- 仅次于井水含量居第二。在空间位置上水体中 Na/Ca 比值在 0.106 上下波动。

关键词: 汶川 5·12 地震; 四川; 水环境; 离子

中图分类号: P342.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0040-06

The Characters of Ion Concentration in Sichuan After Earthquake Occurred on 12th May, 2008

LIU Wei-long¹, DENG Wei¹, WANG Gen-xu¹, ZHOU Jun^{1,2}

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Science & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The earthquake occurred in Sichuan province on May 12, 2008 was China's most devastating earthquake since the 1976 Tangshan earthquake catastrophe. The most immediate concerns after the disaster are human casualties, injury and property destruction. Water environment problems induced by the earthquake for human health and economic development are one of the primary concerns before the reconstruction after the disaster. Water was sampled in the earthquake-affected area in June, 2008 for detecting the ion concentration. The results of 66 water samples show that the cations concentration character is $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$, while the anions' is $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{PO}_4^{3-}$. The highest concentration of Ca^{2+} is in the wells while the lowest concentration of PO_4^{3-} in all samples. PO_4^{3-} is not detected in the 16 of 66 samples. All ions except PO_4^{3-} concentration is the highest in the well. Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- in the ground fissures is higher than other regions except wells. The Na/Ca ratio fluctuates at 0.106 in the all sampling areas.

Key words: Wenchuan earthquake; Sichuan Province; water environment; ion

Ms 8.0 级的“5.12”地震是中国自 1976 年唐山地震以来破坏性最严重的一次地质灾害, 地震的重灾区主要沿龙门山地震断裂带集中分布。龙门山断裂带地表水系发育, 河网密布, 地震形成的滑坡、崩塌、以及错动, 将使原有的地表结构、表层岩土水力性质以及含水层结构和坡面水动力场发生显著变化^[1-2]。已有研究表明, 震后水体某些理化性质会发生强烈变化^[3-4], 有些变化将导致水源地污染并扩

散, 影响震区人民生存和生活^[5]。

震前和震后水环境的变化对揭示地球的内部结构和地壳构造运动具有一定的指示作用^[6-7]。为了揭示震后四川局部地区水环境变化及其未来一段时间内水环境可能受到的影响, 2008 年 6 月 20 日至 6 月 30 日, 对震区的水环境进行现场监测和采样分析, 从而为灾后水源地重建和水资源保护提供决策依据。

* 收稿日期: 2009-06-05

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2006CB403301); 中科院成都山地所灾后应急基金

作者简介: 刘伟龙(1976-), 男, 博士, 助研, 主要从事水环境研究。E-mail: wliu@imde.ac.cn

通信作者: 邓伟(1957-), 男, 博士, 研究员, 主要从事湿地水文与生态研究。E-mail: dengwei@imde.ac.cn

1 研究区域和分析方法

在灾区交通条件基本恢复的情况下 ,对四川省内受地震影响的一些区域进行了采样分析 ,共采集水样 66 个 ,具体采样点见图 1。选取的采样点分别为居民饮用井水 (样品数 7)、居民饮用未经处理的泉水 (样品数 13 个)、河流及支流补充水 (水样 38 个)、居民生活污水排放区水 (水样 2)、震后地裂缝渗漏水 (水样 2)、水库 (水样 2)、北川 (水样 2) 7 类。

采集水样及时送回中科院成都山地所实验室 ,使用 DIONEX ICS - 90 离子色谱仪和 GBC932 原子吸收仪测定水体中 K^{+} 、 Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} 、 NO_3^{-} 八大离子含量 ,每次分析均进行一次内外控标准样品的测定 ,分析测定的相对偏差在 1.0 % ~ 7.0 % 以内。

2 各类采样点水体离子含量

2.1 居民饮用山泉中离子含量

山泉均从居民区附近的山上通过 PVC 管连接到居民点 ,未经处理供居民饮用 (表 1)。山泉饮用水中阳离子平均含量特征为 $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^{+} > K^{+}$,由此可见居民饮用山泉碱化类型以钙 - 镁为

主。阴离子平均含量特征为 $SO_4^{2-} > NO_3^{-} > Cl^{-} > PO_4^{3-}$,表明山泉的酸化类型以硫酸型为主 ,其次是硝酸型和盐酸型。饮用泉水中的 PO_4^{3-} 离子较低 ,13 个样品中其中有 5 个样品未检出。其中位于漩口镇交通运输站旁边的居民点 5 # 采样点 ,除 PO_4^{3-} 外 ,各项指标均高出平均值 ,且单项离子含量也在所有采样点中居前列。

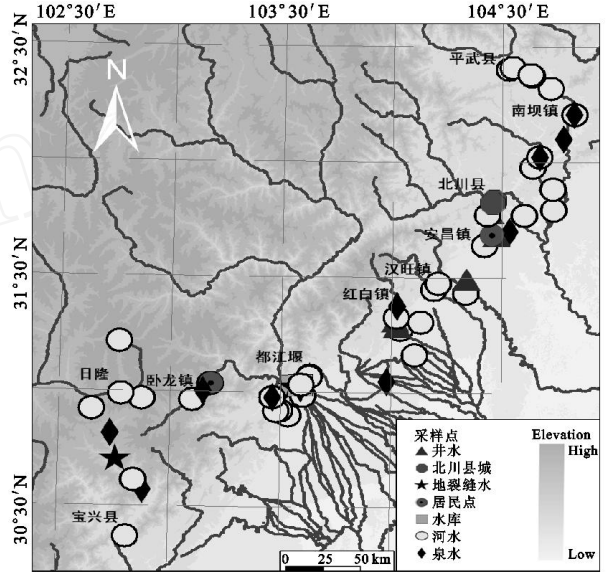


图 1 震后采样区域

表 1 未经处理直接饮用的山泉中离子含量								
mg/L								
编号	K^{+}	Na^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	NO_3^{-}
1	3.6900	2.7710	21.4000	1.6800	1.4708	7.8911	-	6.1193
2	0.5560	3.0630	32.0600	10.3500	1.2276	11.6821	0.0435	2.3774
3	0.9410	4.0330	36.0800	6.7700	1.3231	7.9994	-	1.5756
4	0.7270	1.8170	46.7800	4.4000	1.7636	19.6627	0.0800	22.8225
5	3.2480	9.0700	107.4500	20.3600	6.4096	75.1034	-	15.7633
6	1.9490	3.4740	33.3200	8.4300	0.7094	25.9356	-	2.7737
7	1.6650	5.8400	51.1600	14.6300	1.0910	22.9349	0.0514	15.4841
8	2.1460	4.0980	35.0500	9.0700	1.2241	27.9614	0.0594	3.5413
9	1.2490	5.3700	75.3200	19.3600	0.8288	36.3706	0.1094	5.8869
10	0.8280	4.2780	33.6800	5.9500	0.9699	16.0630	0.1908	3.2523
11	0.9080	7.6580	49.3800	9.1300	0.6267	11.8397	0.0634	1.5662
12	1.2060	5.1380	33.4100	18.3100	0.7583	25.8417	0.0554	4.9547
13	0.8560	1.6960	54.4100	34.3000	0.9758	29.7154	-	4.2839
平均值	1.5361	4.4851	46.8846	12.5185	1.4907	24.5385	0.0817	6.9539

注 : - 表示未检出 ,下同。

2.2 居民区井水中离子含量

井水长期与岩石、土壤接触 ,溶解了大量的无机盐 ,如 Ca^{2+} (钙离子)和 Mg^{2+} (镁离子 ,因此采样点水体中阴阳离子含量均较高 (表 2)。其中阳离子平均含量依次为 $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^{+} > K^{+}$,阴离子平均含量依次为 $SO_4^{2-} > NO_3^{-} > Cl^{-} > PO_4^{3-}$ 。井水中离子含量与山泉饮用水的离子特征一致。其中

15 # 采样点的 K^{+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^{-} 含量均 在所有采样点中最高。15 # 采样点是北川擂鼓镇临时居民安置点的饮用水井 ,井深约 1 m ,6 月 26 日采样时水体有明显臭味。江油香水乡公路边的居民水井中 Mg^{2+} 含量最高 ,达到 40.4 mg/L ,其他离子含量虽然较低 ,但据村民反映 ,“ 5 · 12 ”地震后也曾出现水体发臭现象 ,但当天采样时未见异常。

表 2 居民饮用井水中离子含量

编号	mg/L							
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₃
14	3.2720	9.3840	94.7600	40.4000	12.9016	88.1482	0.1181	51.5298
15	6.5840	16.4230	177.6900	10.4100	18.4521	189.5877	0.0966	69.9006
16	1.6900	15.0470	71.3620	21.6600	8.8036	34.2250	0.0716	6.7792
17	1.6300	4.6040	108.8100	20.9900	5.5666	83.1524	0.1051	14.7193
18	5.8420	18.1600	81.1000	15.9200	11.2345	114.3358	0.3844	9.0990
19	4.9420	55.4500	153.5500	20.8100	11.9525	74.4113	0.2817	42.1524
20	5.4800	18.7250	98.0700	18.0400	12.0309	74.9393	0.0966	43.4202
平均值	4.2057	19.6847	112.1917	21.1757	11.5631	94.1142	0.1649	33.9429

2.3 河流水体中离子含量

在途经的河流上共取样 37 个(表 3),其中,阳离子平均含量依次为 Ca²⁺ > Mg²⁺ > Na⁺ > K⁺,阴离子平均含量依次为 SO₄²⁻ > NO₃⁻ > Cl⁻ > PO₄³⁻。58 # 点位都江堰郊区岷江支流水样中 Ca²⁺、Cl⁻、NO₃⁻ 离子含量在所有样品中最高。10 个采样点中 PO₄³⁻ 未检出,检出的样点平均值含量略高于泉水和井水中的含量。37 # 采样点汉旺镇绵远河的 SO₄²⁻ 为 113.796 3 mg/L,在所有样点中最高。Mg²⁺ 最高值则出现在 27 # 流经日隆镇河流中。

2.4 其它水体中离子含量

由于地裂缝渗漏水(59 #、60 #)、居民点生活污水(61 #、62 #)、水库水(63 #、64 #)和北川县城水样(65 #、66 #)每类只有 2 个水样,因此放在同一表格中进行分析(表 4)。

其中 59 # 地裂缝位于跷碛大坝上游的宝兴县跷碛乡勒乐村夹果组靠近公路的后山上,该处地裂缝宽度为 0.3~0.8 cm,长度约 40 m,裂缝深约 1.0 m,据村民反映地震后水有异味,不能饮用。60 # 地裂缝位于紫坪铺水库库尾旁边的山坡上,虽然同为地裂缝后渗漏水,但紫坪铺水库水体中各个离子含量明显高于 59 # 跷碛大坝附近地裂缝水中离子含量。同为地裂缝水,但是二者相差较大。

61 # 是位于卧龙自然博物馆旁边的河流,由于河流旁安置大量的受灾居民,河流中产生了一些生活垃圾,居民区雨水也汇入此河中。62 # 采样点位于安县永安镇的老场口河中,该河流源头位于北川县曲山镇西边,该河流和 61 # 相似,人为活动影响明显。对比发现,两个位于居民点周围的采样点水体中离子含量相差较小。

63 # 水样采自紫坪铺水库中,与该点位相隔 200 m 的 60 # 地裂缝水相比,紫坪铺水库中离子含量均低于 60 #。64 # 水样采自岷江支流的一个水电站,该点 PO₄³⁻ 未检出,除 NO₃⁻ 外,其余各离子含量均低于紫坪铺水库水体离子含量。

由于北川县城受损非常严重,因此将 65 #、66 # 北川两个水样单独进行罗列对比,其中 65 # 为流经北川县城的湔江,66 # 为北川大酒店附近河流积水。但从数据上来看,二者差异并不明显。

3 分析与讨论

3.1 水样中离子含量规律

震后所采样的水体中阳离子的含量特征均为 Ca²⁺ > Mg²⁺ > Na⁺ > K⁺,而阴离子平均含量依次为 SO₄²⁻ > NO₃⁻ > Cl⁻ > PO₄³⁻(图 2)。Ca²⁺ 在井水中的含量最高,PO₄³⁻ 在水体中含量最低,66 个采样点中有 16 个水样未检出,这主要是由地下土壤岩层的物理化学组分决定的。同时采样区水热条件适合多种植物良好的生长,这样,有机质氧化分解产生的 CO₂ 为碳酸盐溶解创造了条件,使井水中的 Ca²⁺ 含量在水化学组成中处于绝对优势。地震形成的山体岩性破碎,使地下水通过入渗或者渗漏进一步与岩土作用,不同理化性状的地球化学生物作用进一步加强,可能会对地下水化学成分造成即时或者潜在影响,因此有待进一步研究。

3.2 不同区域水体离子组分比较

除 PO₄³⁻ 含量在河流中的含量最高外,其余各离子在井水中的含量居 7 个分类采样区之首(图 3)。一方面,由于井水本身属于地下水,在土壤和岩层的理化作用下,离子较地表水和降雨等要高;另一方面,由于受到地震产生的岩层断裂和构造运动,不同深层的水流发生相互换混合,可能造成井水中某些离子的异常。但由于缺乏震前相关数据的支持,井水中离子是增加还是降低,无法证实。已有的研究也由于类似原因,目前尚无定论,但就水体尤其是地下水中离子会有较大变化已为多数研究者所认同^[3,8]。

地裂缝渗出的水中 Ca²⁺、Na⁺、Cl⁻ 仅次于井水含量居第二。地裂缝渗出的水可能是由于地表水、壤中流和地下水混合作用下受到地壳压力作用形成地表径流,所以其成分更加复杂。

表 3 河流水中离子含量

								mg/L
编号	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₃
21	1.1400	1.6080	36.9000	14.5000	1.2174	32.8674	-	3.6898
22	0.6630	2.2980	34.8500	11.4000	1.2197	15.8683	-	3.0022
23	1.1960	1.2980	15.6300	2.0100	1.3317	10.9029	-	1.9418
24	0.5460	2.2760	31.3900	14.9400	1.1973	30.8604	-	2.8231
25	0.5910	3.0470	34.9300	11.4400	1.2265	22.2238	-	2.5476
26	0.8130	3.3080	34.0800	11.5800	1.2777	27.2500	-	2.8645
27	1.8610	8.6780	34.4800	31.4500	2.0438	29.7327	-	5.4732
28	1.1270	2.9140	40.0900	9.0100	1.6521	33.6840	-	3.9496
29	1.1790	4.9540	56.1620	5.7300	2.1299	29.6952	-	16.6786
30	1.1830	4.9860	58.1000	5.8900	2.1203	29.9744	0.0800	16.1437
31	1.1220	5.7170	54.5600	7.0500	1.8438	33.1582	0.0841	12.4393
32	2.0080	3.9290	44.0900	10.5900	1.9223	45.5403	0.0554	5.3189
33	0.6160	1.4550	42.1800	12.7500	0.7299	19.7301	-	20.2233
34	2.3500	10.0740	67.0100	17.4600	1.0343	17.5515	0.0800	2.9182
35	2.1710	4.5080	36.7700	9.0200	1.7311	30.3079	0.0882	5.1047
36	2.4800	6.5160	56.7200	14.6600	3.2877	89.0898	0.4613	6.1688
37	2.5770	12.6670	69.7300	25.3500	2.1360	52.9671	0.1138	6.6688
38	3.5480	8.4260	79.5100	16.7200	6.6958	105.4371	0.6765	9.2003
39	1.9700	4.6030	73.5400	18.2000	2.2363	113.7963	0.9238	5.5918
40	1.8680	8.0640	41.8600	18.0600	0.9471	32.3442	0.0554	5.4192
41	2.5130	5.2440	91.0000	21.0600	6.9157	71.0303	0.5098	11.2033
42	1.4590	4.2020	61.8500	12.3200	1.7139	71.6839	0.0676	9.5282
43	1.2510	3.3860	47.5400	11.8500	0.7099	40.2099	0.1401	3.8868
44	1.0570	4.4990	32.6800	9.0700	0.8335	28.5168	0.0594	4.0192
45	1.0870	4.7100	30.7500	9.3400	0.8189	27.2005	0.0757	4.9831
46	1.1690	4.2070	29.1500	4.3200	0.9456	18.9422	0.0634	6.0927
47	1.2150	3.2140	44.0600	12.0200	0.4741	37.2238	0.0882	3.2223
48	1.1000	3.0100	39.7700	11.5400	0.4366	29.7329	0.0554	3.3214
49	1.1370	2.8620	40.4700	12.1900	0.3550	29.5811	0.0554	4.0741
50	2.0840	4.3720	29.4700	12.0000	1.1747	25.3070	0.0594	4.8243
51	1.2930	3.8270	42.1900	14.3300	0.9007	43.6335	0.0676	3.9992
52	3.4720	14.4590	71.4300	19.2200	8.9075	51.1839	0.6336	4.9727
53	0.9630	2.8990	41.4100	11.8600	0.4240	30.1191	0.0435	3.7594
54	1.2100	3.2300	41.6400	12.4700	0.6160	29.1208	0.0554	3.7027
55	1.4560	4.6290	45.2500	12.1900	0.6747	59.2790	0.0757	4.7735
56	1.5340	5.3480	50.9100	10.4700	1.0780	33.9650	0.0882	6.1521
57	1.5830	3.4710	25.2500	3.8100	1.1481	18.5212	0.0800	3.9991
58	2.1060	7.7460	101.9500	11.2700	11.1481	42.4294	0.1009	21.0438
平均值	1.5447	4.9116	47.6145	12.6089	2.0330	39.2279	0.1764	6.4665

表 4 地裂缝水、居民点周围水、水库、北川县城内水体中离子含量

编号	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻
59	0.8040	3.2590	38.8300	2.1000	1.5872	25.7856	0.0514	2.5924
60	1.4540	9.0540	90.3900	21.8100	2.8075	44.2758	0.1094	-
平均值	1.1290	6.1565	64.6100	11.9550	2.1974	35.0307	0.0804	2.5924
61	1.6400	5.0960	49.1100	15.6800	2.0350	41.5164	0.0514	5.1694
62	1.4290	4.5480	60.1600	13.2800	1.1171	62.2445	0.1051	9.6424
平均值	1.5345	4.8220	54.6350	14.4800	1.5761	51.8805	0.0783	7.4059
63	2.1950	4.1670	33.2400	8.8800	1.8576	32.5149	0.0435	3.2161
64	1.6590	3.8250	28.0700	4.3000	1.1684	19.9346	-	4.2608
平均值	1.9270	3.9960	30.6550	6.5900	1.5130	26.2248	0.0435	3.7385
65	1.2740	4.0740	41.2400	12.2300	0.4088	40.6142	0.0676	3.4779
66	1.8450	4.7950	47.8700	12.1200	0.7720	49.5419	0.0966	4.0100
平均值	1.5595	4.4345	44.5550	12.1750	0.5904	45.0781	0.0821	3.7440

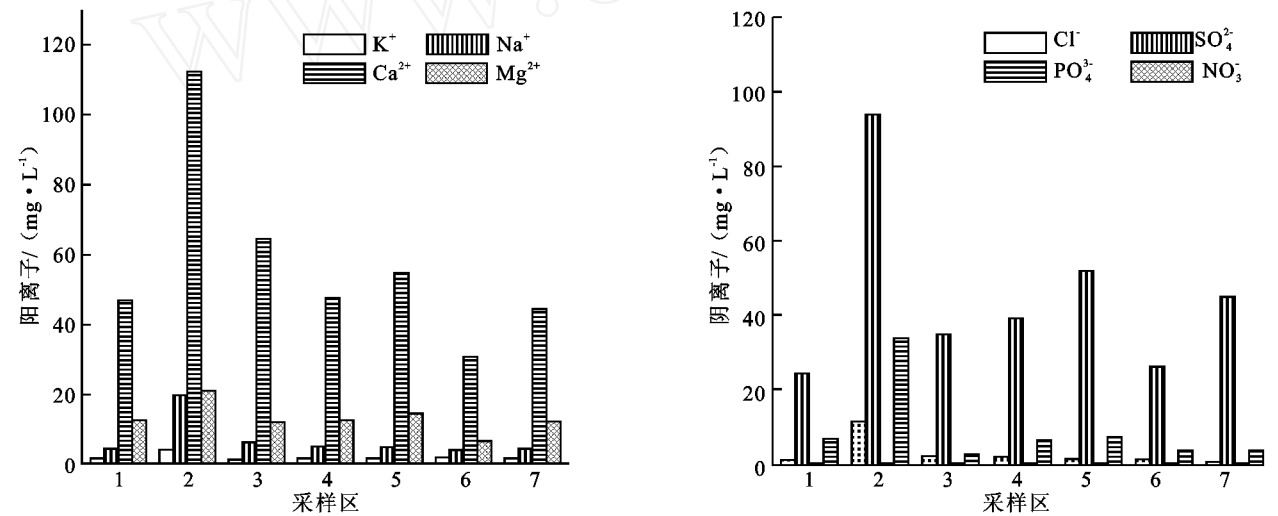


图 2 7 个采样区阴离子和阳离子含量对比

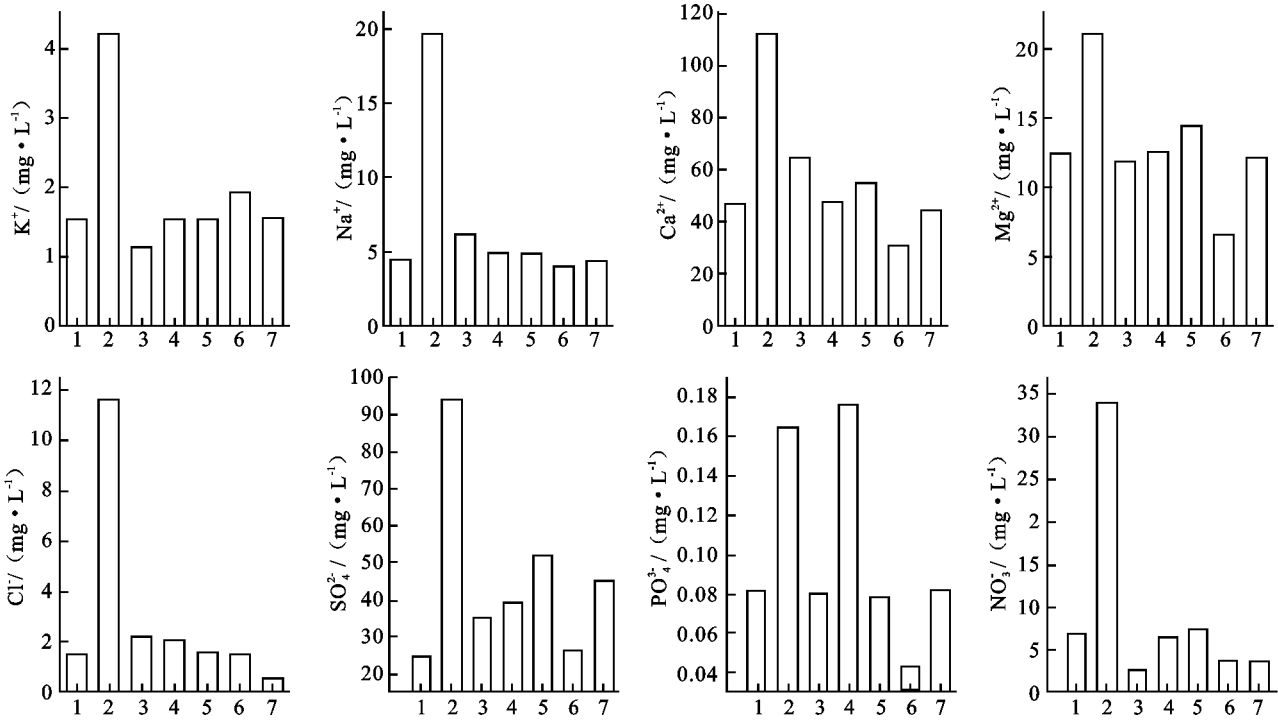


图 3 不同采样区离子含量对比

3.3 不同区域 Na/ Ca

Claesson Lillemor 对冰岛北部 Tjornes Fracture Zone (TFZ) 断裂带地震前后水体中离子研究发现,2002年9月16日5.8级地震发生后至7个月后4.1级地震来临期间 Na/ Ca 大幅下降,此后3个月又开始上升^[3]。由于缺乏震前采样点数据作为对比,无法对本次采样点 Na/ Ca 进行时间序列上的对比,但是,对水样的 Na/ Ca 进行回归拟合发现,其比值在0.106两侧徘徊,在空间位置上呈现锯齿状(saw-tooth)波动,地下水普遍要比其他采样点水的比值高(图4)。Claesson Lillemor 认为震后 Na/ Ca 变化是由于脉冲暖流体及其砂石中长石的交换造成的。但是这种解释是否具有足够的科学性,需要实验进一步证明。

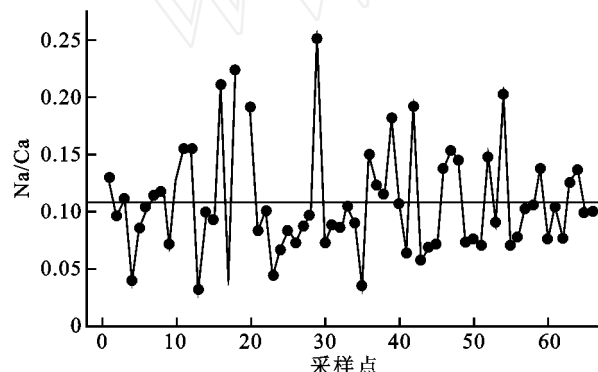


图4 66个采样点中 Na/ Ca

4 小结

由于地震后道路交通受损,在采样点的选择和布设上无法做到面面俱到。同时,地震的突发性和某些监测数据共享的缺乏,无法比较地震前后水环境在多大程度和哪个方面受到影响。“5·12”地震产生的次生灾害给灾区重建和人民生活形成巨大的威胁^[9],而水资源的保护与安全是生产生活的前提和保证。研究表明,震后较长一段时间内,水体理化性质将会在一个长期时间内处于不稳定状态^[10]。现在四川地区持续降雨和冬季部分水系结冰及来年解冻,将对原本已受到连续地震影响的脆弱地质结构形成进一步的影响,而未来的地质结构

变化将对水资源再分配和水体的理化性质变化形成潜在的影响,本次面上调查的数据,旨在为灾后重建和水源地保护提供基础数据。

参考文献:

- [1] 金继宇,苏鹤军,刘耀伟.与地震有关的水文及地球化学变化[J].国际地震动态,2006(7):41-50.
- [2] 王根绪,程根伟.地震灾区重建中有关水文与水环境问题的若干思考[J].山地学报,2008,26(4):385-389.
- [3] Liu C P, Bor H S. Effects of the 921 earthquake on the water quality in the upper stream at the Guandashi experimental forest[J]. Water Air Soil Pollution, 2007,179:19-27.
- [4] Claesson Lillemor, Skelton Alasdair, et al. Hydrogeochemical changes before and after a major earthquake [J]. Geology, 2004,32:641-644.
- [5] Takuro Furusawa, Norio Maki, Shingo Suzuki. Bacterial contamination of drinking water and nutritional quality of diet in the areas of the western Solomon Islands devastated by the April 2, 2007 earthquake tsunami[J]. Tropical Medicine and Health, 2008, 36: 65-74.
- [6] U Tsunogai, H Wakita. Precursory chemical changes in ground water; Kobe earthquake, Japan [J]. Science, 1995, 269:61-63.
- [7] Manga M, Brodsky E E. Seismic triggering of eruptions in the far field: Volcanoes and geysers[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2006, 34: 263-291.
- [8] Satake H, Murata M, Hayashi H. Chemical characteristics of groundwater around the Mozumbi - Suke-nobu fault and the implication for fault activity[J]. Geophysical Research Letters, 2002, 29: 1-4.
- [9] 谢洪,王士革,孔纪名.“5·12”汶川地震次生山地灾害的分布与特点[J].山地学报,2008,26(4):396-401.
- [10] Barberopoulou A, Qamar A, Pratt T L, et al. Long-Period Effects of the Denali Earthquake on Water Bodies in the Puget Lowland: Observations and Modeling[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2006, 96(2): 519-535.