

文章编号:1004-4574(2013)03-0168-10

# 汶川地震前后重灾区水源地水质变化特征对比分析

任斐鹏<sup>1</sup>, 胡波<sup>1</sup>, 张平仓<sup>1</sup>, 熊明彪<sup>2</sup>, 胡恒<sup>2</sup>

(1. 长江科学院 水土保持所, 湖北 武汉 430010; 2. 四川省水土保持生态环境监测总站, 四川 成都 610041)

**摘要:**利用2006-2011年间的水环境监测数据,采用小波分析和多参数对比分析的方法,对汶川地震前后重灾区水源地岷江的水质变化特征进行了对比分析。分析结果表明:(1)地震前后水体中 $\text{SO}_4^{2-}$ 、TH和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 周期的变化较明显, $\text{Cl}^-$ 、 $\text{F}^-$ 和Fe周期的变化不明显;(2)地震后水体中 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{F}^-$ 的震荡幅度有所减弱,TH和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的震荡幅度有所增强;(3)地震对不同水质指标的影响程度有所差异,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{F}^-$ 的影响主要是改变了变化程度,对 $\text{Cl}^-$ 和TH的影响则是改变了长期变化方向;(4)地震对水质的影响可分为短期和长期两种,其中短期影响持续1~3个月,长期影响则可延续1~2 a。究其原因,是由于地震的发生改变了相关物质源的数量和释放规律。

**关键词:**水源地;水质变化;汶川地震;小波分析

中图分类号:X832

文献标志码:A

## Comparative analysis of changes in water quality characteristics of water sources area before and after Wenchuan earthquake

REN Feipeng<sup>1</sup>, HU Bo<sup>1</sup>, ZHANG Pingcang<sup>1</sup>, XIONG Mingbiao<sup>2</sup>, HU Heng<sup>2</sup>

(1. Department of Soil and Water Conservation, Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China; 2. Ecological Environment Monitoring of Sichuan Province Soil and Water Conservation, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** To explore the characteristics change in water quality before and after Wenchuan Earthquake, a comparative analysis was made herein using wavelet analysis and multi-parameter comparison methods and with the aid of monthly monitoring data between 2006 and 2011. Results show that: (1) 3 water quality index cycle change is significant and 3 index change is not significant. The obviously changed indices are  $\text{SO}_4^{2-}$ , TH and  $\text{NH}_3\text{-N}$  while the not obviously changed indices are  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$  and Fe; (2) After the earthquake, the oscillation amplitude of indexes  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{F}^-$  slows down, but the oscillation amplitude of the indices TH and  $\text{NH}_3\text{-N}$  increases; (3) The earthquake affected different water quality indices in different degrees. The earthquake affects the  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{F}^-$  in long time change rate, while affects the  $\text{Cl}^-$  and TH by the long time change trend; (4) There are two types of earthquake effects on water quality, according to the different time lag effects. One type is the immediate influence, which affects the water quality indices  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$  and  $\text{NH}_3\text{-N}$ , from 1 to 3 months after the earthquake. The other type is the long time influence, which affects all the 5 water quality indices, and the influence can last 1 to 2 years. After the earthquake, the changed quantity and release rules of the relevant substances may be the cause of the change.

**Key words:** water source area; water quality change; Wenchuan earthquake; wavelet analysis

收稿日期:2012-08-29; 修回日期:2012-12-13

基金项目:“十二五”科技支撑计划项目(2012BAK10B04);水利部公益性行业科研经费项目(20091050;201304058);水利部科技推广计划项目(TG1112);长江科学院水土流失与面源污染调控创新团队(CKSF2012052/TB)

作者简介:任斐鹏(1982-),男,博士,主要从事流域水污染控制研究. E-mail:feipengren2006@mail.bnu.edu.cn

水源地的水质安全是保障饮用水安全的中心环节,水源地的水质状况不仅关系到供水区城乡居民的身体健康,而且关乎社会经济的正常运行<sup>[1]</sup>。特别是在重大自然灾害发生后,饮用水安全不仅是维持灾区社会安定的重要物质基础,而且也是灾难救助、灾后重建等的重要保障<sup>[2-3]</sup>。因此,加强地震前后水源地水质变化特征相关研究,不仅是认识地震对水环境的影响的重要理论依据,而且对于指导突发自然灾害中的水环境管理工作具有重要指导意义。

2008年5月12日汶川发生了里氏8级大地震,最大烈度达11度,灾区总面积约 $50 \times 10^4 \text{ km}^2$ <sup>[4]</sup>。地震不仅造成了灾区大量的生命财产损失,而且深刻地影响着灾区的地球化学背景、生产生活方式、生态环境背景等,从而对于灾区的水环境产生着复杂的影响<sup>[5-8]</sup>。地震后不久,灾区水源地的水质状况就引起了高度关注,并对重灾区映秀镇周边的水质状况开展了为期20余d的连续监测<sup>[2]</sup>。依据监测数据,研究人员对映秀镇及周边<sup>[2]</sup>、岷江水源区<sup>[9]</sup>、岷江上游<sup>[3]</sup>等从水污染的角度对重要水体进行了系统评价。这些研究多关注地震对于饮用水安全的影响,而有关地震前后水质指标的变化的对比研究相对较少。

目前,汶川地震发生已经4a时间,灾区的救助工作和恢复重建工作已经初步完成,相关的研究数据积累也更加丰富,从而使得在更长时间尺度上,研究地震对于重灾区水源地水环境影响成为可能。通过对比分析地震发生前后水源区的水质变化特点,以分析地震前后重灾区水源地水环境的变化,研究地震对水环境的影响,但是目前相关研究成果并不多见。基于此,本文以重灾区水源地岷江2006-2011年间的水环境观测数据为基础,采用小波分析和多参数对比分析的方法,开展地震前后水源区水质变化特征的对比分析研究,以期对相关研究和水环境管理提供参考。

## 1 研究区概况

汶川地震发生在四川盆地西部的龙门山断裂构造带上<sup>[10-11]</sup>。地震的重灾区覆盖了岷江、涪江、嘉陵江等长江上游区域,涉及都江堰市、什邡县、北川县、汶川县等21个县(市)<sup>[12-13]</sup>。重灾区地处我国地形、气候、植被、土壤以及生物多样性汇聚的一条重要的过渡交错带上,属北亚热带湿润季风气候区,气候的垂直分布特征明显;干湿两季分明,雨季降水丰富,干旱季节降水量较小<sup>[12]</sup>。

岷江作为重灾区的重要水源地,属长江上游的一级支流,干流全长735 km,其中上游段干流河道全长340 km,流域面积 $213 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,天然落差达3 009 m,水资源量丰富,平均流量 $496 \text{ m}^3/\text{s}$ ,多年平均径流总量 $148 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,是都江堰灌区农业、工业、城镇生活、生态用水的最主要水源区,也是成都市工业、环境和居民生活供水的主要水源,其供水量占到78%左右<sup>[9]</sup>。汶川地震十大重灾区中的汶川县、茂县、都江堰市等均属于岷江上游流域。因此,岷江作为重要的水源地,对研究地震对于水环境的影响具有重要参考意义。

## 2 研究数据与方法

### 2.1 数据的获取

本研究主要采用汶川水源地岷江水质监测站点2006-2011年之间的水质监测数据,监测频次为每月1次,监测时间为上午10时,所选水质指标包括氯化物( $\text{Cl}^-$ )、硫酸盐( $\text{SO}_4^{2-}$ )、总硬度(Total Hardness, TH)、氨氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ )、铁( $\text{Fe}$ )、氟化物( $\text{F}^-$ )等6个指标。水质指标的测定主要参照《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)<sup>[14]</sup>和《生活饮用水水源水质标准》(CJ3020-93)<sup>[15]</sup>相关国家和行业标准。具体 $\text{Cl}^-$ 采用硝酸汞滴定法测定, $\text{SO}_4^{2-}$ 采用重量法测定(GB 11899-89)、TH采用己二酸四乙酸二钠滴定法、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 采用纳氏试剂比色法测定、 $\text{Fe}$ 采用火焰原子吸收分光光度法测定、 $\text{F}^-$ 采用离子选择电极法测定。

### 2.2 研究方法

#### (1) 周期和频率分析方法

对于水质指标的变化周期和频率的分析选用小波分析的方法。小波分析是时间序列在频域上进行分析的有效方法,该方法已广泛应用于信号分析、气象变化检测和资源环境等相关领域。对满足一定条件的小波函数,时间序列 $f(t) \in L^2(R)$ 的小波变换为<sup>[16-17]</sup>:

$$w_f(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Psi_{ab}^*(t) dt = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Psi^* \left[ \frac{t-b}{a} \right] dt. \quad (1)$$

式(1)中: $w_f(a, b)$ 称为小波系数, $\Psi^*(t)$ 为 $\Psi(t)$ 的复共轭函数; $a > 0$ 为尺度因子,反映了小波的周期长度; $b$ 为时间因子,反映了在时间上的平移。从式(1)可以看出,通过小波变换可以得到时间序列在任一时刻的频率特征及在时间-频率上的变化特征。式(1)中的 $\Psi(t)$ 可以取不同的形式,本文中参考相关文献采用墨西哥帽小波进行变换,具体计算原理可参见文献[16]。经小波变换输出小波系数分布图和小波方差,其中小波系数分布图中小波系数中心值所对应的横坐标值为时间,而对应的纵坐标值即序列的变化周期。结合小波系数分布图和小波方差对地震前后水质指标的变化周期和频率进行分析。

### (2) 变化趋势和变化幅度分析方法

为了对地震前后不同水质指标的变化趋势进行对比,选用了一元线性回归模型, $y(x) = ax + b$ 分别对地震前后水质随时间变化进行回归分析,生产一元线性回归模型,通过模型参数的对比,研究地震前后水质变化趋势的变化。另外,对于水质指标震荡幅度的分析,主要分析水质的时间序列分布图分析得出。

基于以上所述,本研究中对水质指标的变化特征分析,主要从周期和频率变化、趋势变化和震荡幅度变化3个方面进行对比分析。其中数据处理采用 Matlab2009, Excel 2003, SPSS16.0 等统计分析软件,相关图表绘制采用 original8.0, DPSv7.05 等软件实现。

## 3 结果与讨论

### 3.1 地震前后氯化物( $\text{Cl}^-$ )变化特征

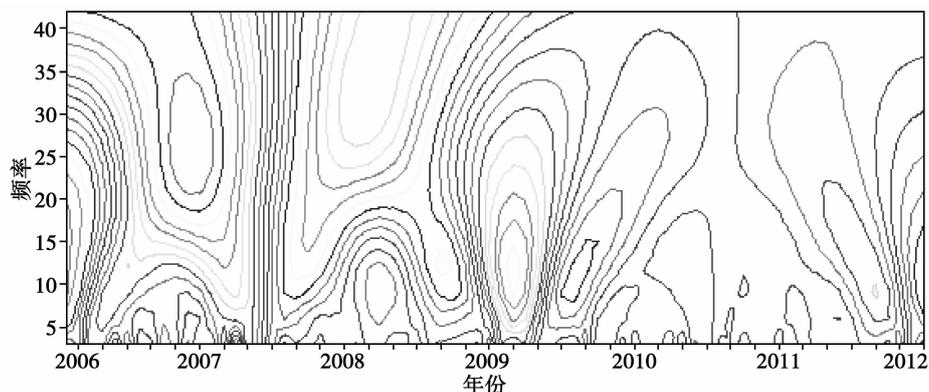


图1 2006-2011年汶川水源地岷江月均 $\text{Cl}^-$ 含量小波系数分布图

Fig. 1 Distribution of wavelet coefficients of monthly average  $\text{Cl}^-$  content in Minjiang River water source area during period of 2006-2011

可以看出地震前后 $\text{Cl}^-$ 有比较明显的变化(图1、图2)。首先,对地震前后 $\text{Cl}^-$ 的变化周期和频率进行对比(图1),可看出在2008年5月前, $\text{Cl}^-$ 的变化以2~5、10~13和25~30月的周期为主,中心周期分别为2、12和26月;2008年5月后,则以2~5、10~13月的变化周期为主,中心周期分别为2、14月;其次,对地震前后 $\text{Cl}^-$ 的变化趋势(图2)对比可以看出,2006-2008年间 $\text{Cl}^-$ 总体呈下降趋势,2009-2011年间 $\text{Cl}^-$ 总体呈上升趋势,趋势转变的时间点介于地震发生后的1~2个月间;此外,从地震前后 $\text{Cl}^-$ 的变化幅度来看,总体上地震后的震荡幅度小于震前,但是地震后的14个月出现一个强烈周期震荡过程,具体变动为震后的1~3月间,岷江水源地 $\text{Cl}^-$ 从12.70 mg/L突然下降到了6.10 mg/L,下降幅度51.97%;而在此后的4~8月间, $\text{Cl}^-$ 则出现持续上升,最高值为32.00 mg/L,短期上升幅度424.59%,到地震后的第9个月, $\text{Cl}^-$ 再次出现回落,这种影响一直持续到震后14~17个月左右。结果表明,地震对 $\text{Cl}^-$ 的变化周期和趋势均产生了一定的影响,特别是对于1~2 a左右短期内 $\text{Cl}^-$ 变化的影响最为明显。

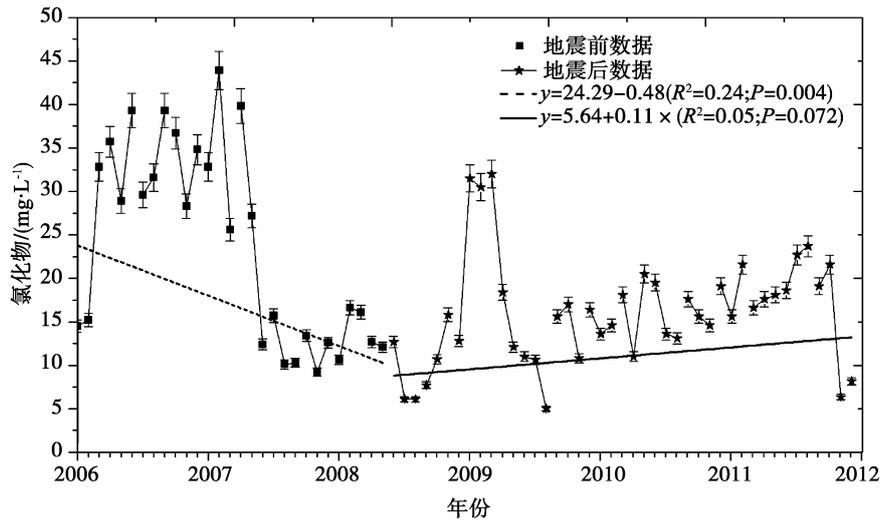


图 2 2006 - 2011 年汶川水源地岷江 Cl<sup>-</sup> 含量变化

Fig. 2 Change of Cl<sup>-</sup> content in Minjiang River water source area during period of 2006 - 2011

水体中 Cl<sup>-</sup> 的来源主要包括自然发生源和人为发生源两类。对于内陆河而言,自然发生源主要为水源流经氯化物地层和河道表面,人为发生源主要为工业废水和生活污水中的氯化物排放。结合分析结果,地震前后 Cl<sup>-</sup> 的变化周期有所改变,可能与地震的发生扰乱了 Cl<sup>-</sup> 自然发生源和人为发生源的正常周期有关。而地震后 Cl<sup>-</sup> 的变化趋势由震前的下降变为上升,则可能出于两个原因,一个是受地震影响自然发生源、人为发生源的 Cl<sup>-</sup> 在地表暴露,缓效释放;另外一种原因可能是地震后的灾区恢复重建、短期内产业结果调整等诱发的人为发生源增加。此外,对于震后短期内 Cl<sup>-</sup> 变化分析可以发现,在河道周边自然扰动加剧的情况下,1~3 个月内 Cl<sup>-</sup> 不升反降,表明地震后短期内 Cl<sup>-</sup> 降低的影响主要来源于人为发生源,即受到地震的影响,工厂的关闭和人类生活污水等排放量的突然减少,而在 1~2 a 左右 Cl<sup>-</sup> 的变化周期和幅度有明显的改变,则可能与地震对 Cl<sup>-</sup> 自然发生源和人为发生源的直接扰动有关。

### 3.2 地震前后总硬度 (TH) 变化特征

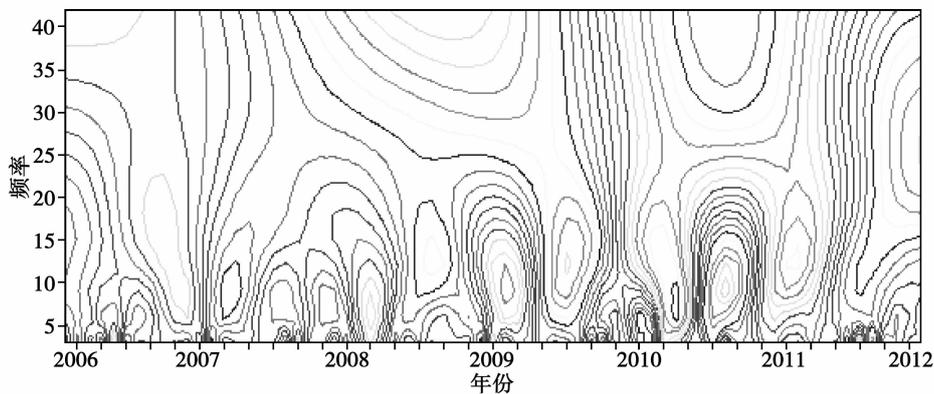


图 3 2006 - 2011 年汶川水源地岷江月均 TH 含量小波系数分布图

Fig. 3 Distribution of wavelet coefficients of monthly average TH content in Minjiang River water source area during period of 2006 - 2011

可以看出地震前后 TH 与 Cl<sup>-</sup> 有着较为相似的变化特征(图 3、图 4)。首先,从地震前后 TH 的变化周期和频率进行对比(图 3),可看出在 2008 年 5 月前,TH 的变化以 2~5 和 5~8 月的周期为主,中心周期分别为 3 和 6 月;2008 年 5 月后,则以 2~5、10~15 和 >40 月的变化周期为主,中心周期分别为 3、12 和 >42 月;其次,对地震前后 TH 的变化趋势对比(图 4),可以看出地震前 TH 总体呈下降趋势,地震后 TH 总体呈上升趋势;从地震后 TH 的变化幅度来看(图 4),地震发生后的 7~22 个月间发生了较大幅度的震荡上升过程,具体变化为地震发生后 7~8 个月间,TH 从 116 mg/L 增加到了 312 mg/L,而从第 23 个月起则转为震荡

下降。结果表明,从地震发生后的第 7 个月起开始对 TH 变化产生影响,主要表现为对 TH 的变化周期和趋势的改变。

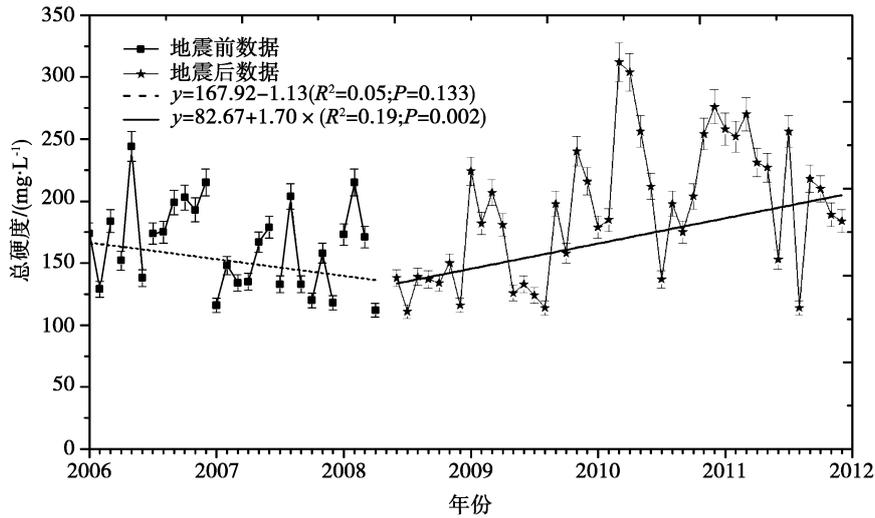


图 4 2006 - 2011 年汶川水源地岷江 TH 含量变化

Fig. 4 Change of TH content in Minjiang River water source area during period of 2006 - 2011

水体硬度主要是由于水中含有钙盐(Ca<sup>2+</sup>)和镁盐(Mg<sup>2+</sup>)造成的,这两种物质也存在着自然发生源和人为发生源两类。数据分析结果表明,地震发生 7 个月以后,TH 的变化周期、幅度和趋势均开始有所改变。结合地震发生后灾区的实际情况,地震导致大量的植被破坏、表土裸露、滑坡、泥石流和地下水层扰动等过程<sup>[18-21]</sup>,在较大程度上改变了水体和 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 等接触的概率和时间,这些可能是导致地震前后 TH 变化周期和趋势改变的主要原因。

### 3.3 地震前后氨氮(NH<sub>3</sub>\_N)变化特征

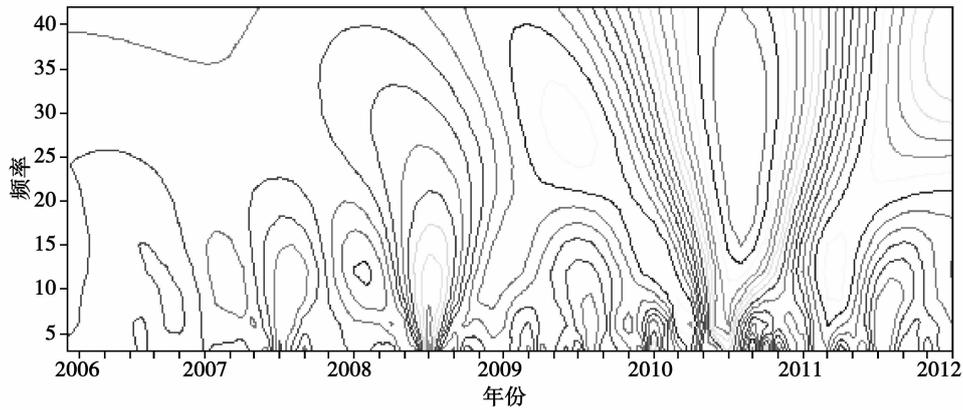


图 5 2006 - 2011 年汶川水源地岷江月均 NH<sub>3</sub>\_N 含量小波系数分布图

Fig. 5 Distribution of wavelet coefficients of monthly average NH<sub>3</sub>\_N content in Minjiang River water source area during period of 2006 - 2011

可以看出地震前后 NH<sub>3</sub>\_N 有明显的变化特征(图 5、图 6)。首先,从地震前后 NH<sub>3</sub>\_N 的变化周期和频率进行对比(图 3),可看出在 2008 年 5 月前,NH<sub>3</sub>\_N 的变化以 6 ~ 15 月的周期为主,中心周期为 12 月;2008 年 5 月后,则以 2 ~ 5,5 ~ 8 和 12 ~ 19 月的变化周期为主,中心周期分别为 3,6 和 16 月;其次,对地震前后 NH<sub>3</sub>\_N 的变化趋势进行对比(图 6),可以看出,地震前后 NH<sub>3</sub>\_N 的总体变化不大,但是存在阶段性的变化,表现为地震后 2009 年 2 月至 2010 年 9 月间,NH<sub>3</sub>\_N 表现为较长时间的震荡上升,之后表现为震荡回落;另外,对地震前后 NH<sub>3</sub>\_N 的波动幅度进行对比,可以发现地震后 NH<sub>3</sub>\_N 的波动幅度明显强于地震前,且在地震发生后的 1 个月,NH<sub>3</sub>\_N 即出现一个短暂峰值 0.85 mg/L。可以看出,地震对于 NH<sub>3</sub>\_N 的影响既包括长期影响,也包括短期影响,长期的影响表现为地震前后 NH<sub>3</sub>\_N 的变化周期和幅度的改变,短期影响的表现形

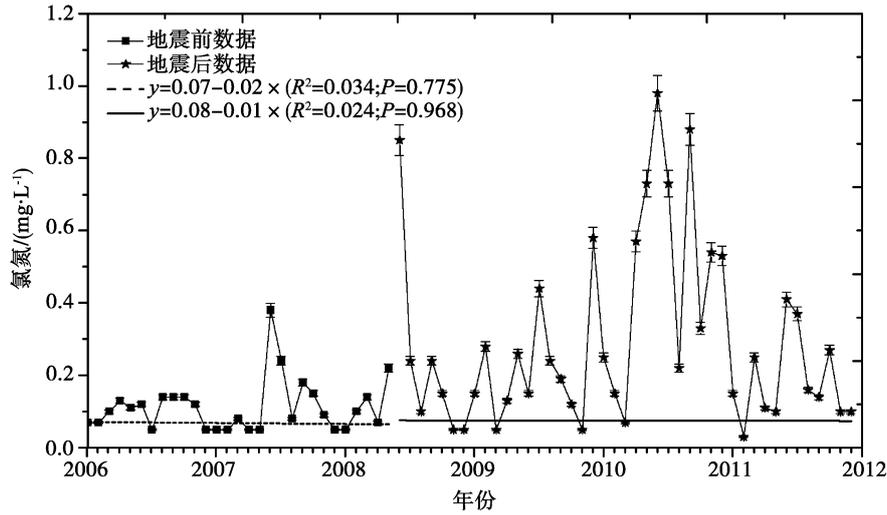


图 6 2006 - 2011 年汶川水源地岷江 NH<sub>3</sub>-N 含量变化

Fig. 6 Change of NH<sub>3</sub>-N content in Minjiang River water source area during period of 2006 - 2011

式为 NH<sub>3</sub>-N 值短期内的突然上升。

从分析结果可以看出,地震后 NH<sub>3</sub>-N 不仅变化的周期发生了改变,而且出现了大幅的震荡。水体中氨氮的来源主要为生活污水和工业废水(如焦化和合成氨工业)以及面源污染(主要包括农田施肥等通过地表径流进入河流、湖库等),另外一些生物的腐解也会释放大量的 NH<sub>3</sub>-N。根据前面分析结果,地震发生后第 2 个月, NH<sub>3</sub>-N 出现一个峰值。结合地震发生后灾区的情况,地震后的 1 个月内,大量的厂房倒塌污染物泄露、生物尸体腐烂等<sup>[2,22]</sup>可能是促使 NH<sub>3</sub>-N 短期内急剧上升的主要原因,这种影响是突发性的持续时间较为短暂;而在 2009 - 2010 年间, NH<sub>3</sub>-N 震荡上升,之后表现为震荡回落。可以反映出地震发生后灾区的恢复重建、工厂企业逐渐复产、人类活动逐渐加强等一个渐进的过程,但是当灾区重建接近尾声的时候, NH<sub>3</sub>-N 开始逐渐回落。同时,在此过程中也导致了 NH<sub>3</sub>-N 变化周期的改变。

### 3.4 地震前后硫酸盐(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)变化特征

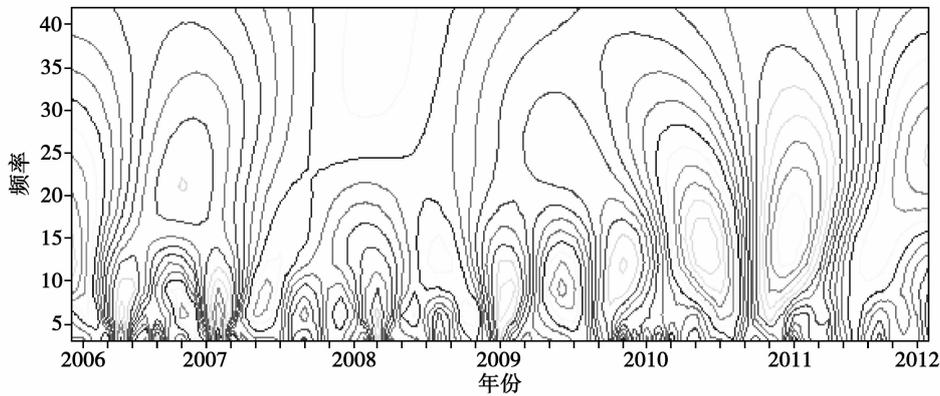


图 7 2006 - 2011 年汶川水源地岷江月均 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量小波系数分布图

Fig. 7 Distribution of wavelet coefficients of monthly average SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> content in Minjiang River water source area during period of 2006 - 2011

地震前后 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的变化特征有所改变(图 7、图 8)。首先,从地震前后 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的变化周期和频率进行对比(图 7),可看出在 2008 年 5 月前, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的变化分别以 0 ~ 5, 5 ~ 10 和 18 ~ 25 月的周期为主,中心周期分别为 3, 6 和 20 月;2008 年 5 月后,则以 10 ~ 20 月的变化周期为主,中心周期为 14 月;其次,对地震前后 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的变化趋势进行对比(图 8),可以看出,地震前后 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的变化趋势变化不大,仅是震后的上升速度有所增大;另外,对比地震前后 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的波动幅度,可以看出地震后的震荡幅度整体小于地震前。表明地震对于 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的震荡周期和幅度产生了一定的影响。

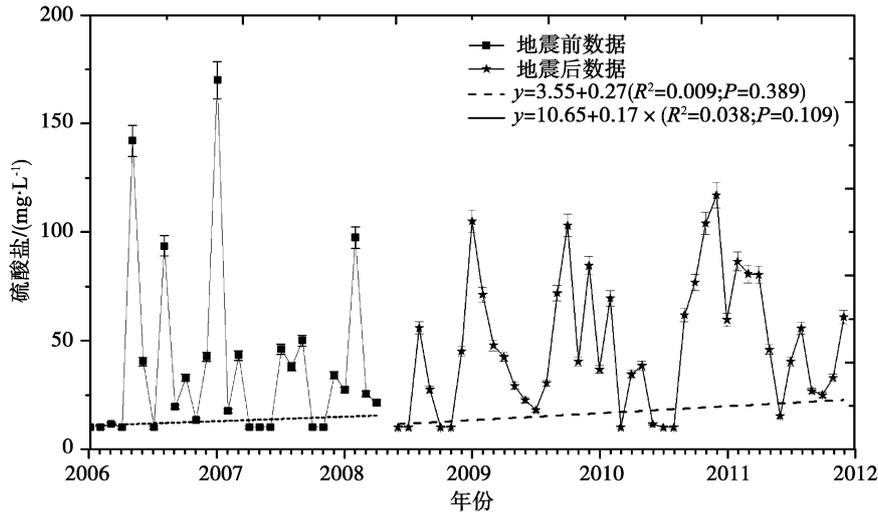


图 8 2006 - 2011 年汶川水源地岷江  $SO_4^{2-}$  含量变化

Fig. 8 Change of  $SO_4^{2-}$  content in Minjiang River water source area during period of 2006 - 2011

内陆水系中硫酸盐的自然来源主要包括岩石土壤中矿物组分的风化和溶淋,金属硫化物氧化等,人为发生源则主要包括生活污水、化肥、矿山废水、制革、纸张制造中使用硫酸盐或硫酸的工业废水等。结合分析结论, $SO_4^{2-}$  在地震发生后的 1 个月,没有出现突然上升,表面地震没有造成相关区域相关物质泄漏,但是在地震后,峰值减小、周期改变的可能因素则较为复杂。一方面地震前的峰值较大可能与自然源有关,也可能与相关的企业的周期性生产有关,而在地震后峰值减小、周期改变,则可能与地震发生后自然源的释放减小或者相关产业结构的调整等有关。但是从本研究的数据分析结果表明,地震发生后水源地  $SO_4^{2-}$  污染的风险有所减弱。

### 3.5 地震前后氟化物 ( $F^-$ ) 变化特征

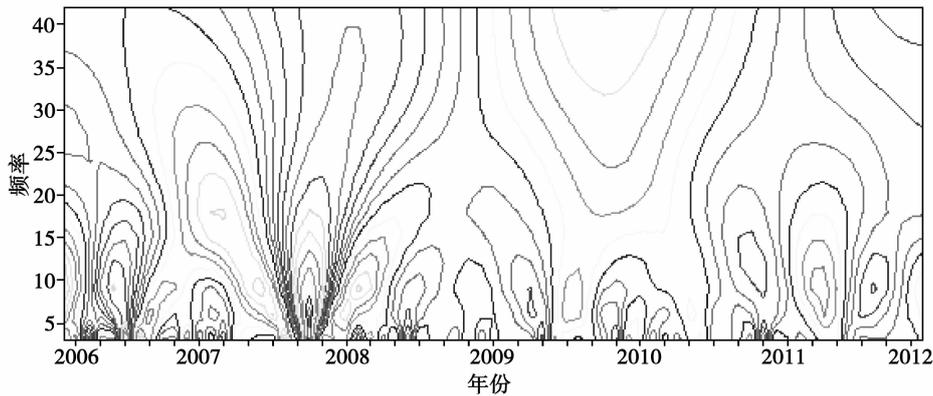


图 9 2006 - 2011 年汶川水源地岷江月均  $F^-$  含量小波系数分布图

Fig. 9 Distribution of wavelet coefficients of monthly average  $F^-$  content in Minjiang River water source area during period of 2006 - 2011

地震前后  $F^-$  的变化特征有所改变(图 9、图 10)。首先,从地震前后  $F^-$  的变化周期和频率进行对比(图 9),可看出在 2008 年 5 月前, $F^-$  的变化分别以 0~5, 5~8 和 13~17 月的周期为主,中心周期分别为 3, 6 和 14 月;2008 年 5 月后,则分别以 0~5, 5~8 和 13~19 月的周期为主,中心周期分别为 3, 6 和 15 月;其次,对地震前后  $F^-$  的变化趋势进行对比(图 8),可以看出,地震前后  $F^-$  的变化趋势变化不大,仅是震后的上升速度有所减小;另外,对比地震前后  $F^-$  的波动幅度,可以看出地震后的震荡幅度整体小于地震前。表明,地震对  $F^-$  的变化周期和趋势影响不大,但是地震前的震荡幅度大于地震后。

自然界中的  $F^-$  主要来源于火山爆发、高氟温泉、干旱土壤、含氟岩石的风化释放以及化石燃料的燃烧等。人为发生源主要来自氟产品的生产、磷肥厂、钢铁厂、冶铝厂等工业生产过程。结合分析结果,地震后的

第二个月, F<sup>-</sup>即出现一个峰值,表明地震的发生导致了相关 F<sup>-</sup>的集中释放,是泄露还是自然源的突然释放,还需要开展进一步的研究。但是结合地震后的 2~3 a 内,氟化物波动性减弱,整体水平下降的特点,有一种可能,即是在地震发生前的 1~2 a 时间内自然源 F<sup>-</sup>的异常。从数据的分析结果可以表明,地震后水源地 F<sup>-</sup>总体水平下降。

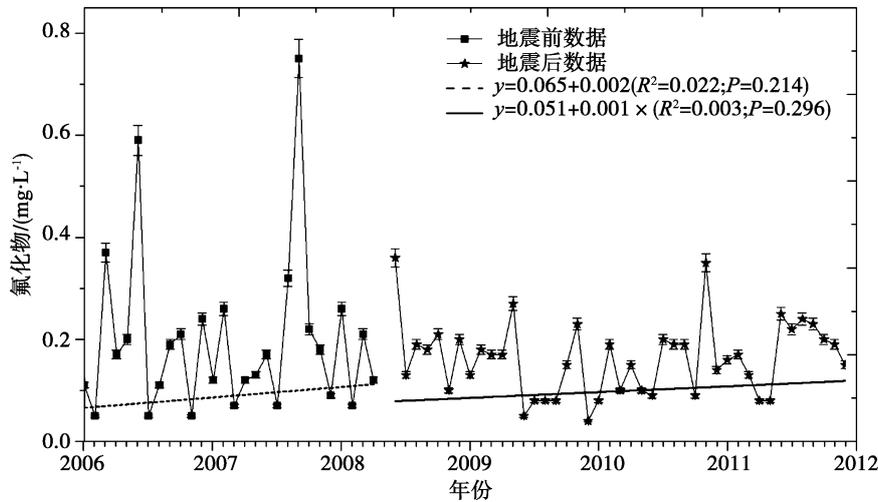


图 10 2006 - 2011 年汶川水源地岷江 F<sup>-</sup> 含量变化

Fig. 10 Change of F<sup>-</sup> content in Minjiang River water source area during period of 2006 - 2011

### 3.6 地震前后铁(Fe)变化特征

表 1、表 2 为重灾区汶川水源地 2006 - 2011 年 Fe 平均含量,通过分析可以看出 Fe 含量地震前后变化不明显,在变化周期、变化趋势和变化幅度上无明显规律性,其中汶川水源地观测点 Fe 含量在 2006 - 2011 年之间月监测结果多为 <0.03 mg/L,总体上没有发现灾区 Fe 含量的明显变化。

从分析结果来看,汶川岷江水源地地震前后水体中 Fe 的含量 <0.03 mg/L,变化不明显。考虑到 Fe 的来源一方面是流经地层和河道表面溶解,另一方面主要源自选矿、冶炼、炼铁、机械加工、工业电镀、酸洗废水等特殊工业。Fe 的含量没有发生重大波动,基本表明监测时段内,江水源区地水质未受到相关工业的污染;另外,也可以表面本次特大地震对于该区域水体中 Fe 的影响介于 0.03 mg/L 以内,即使有所影响,也比较微弱。

表 1 2006 - 2011 年汶川水源地岷江 Fe 含量变化

Table 1 Change of Fe content in Minjiang River water source area during 2006 - 2011

水质指标		年份						mg/L
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	
铁(Fe)	极大值	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.06	
	均值	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	

表 2 2006 - 2011 年汶川水源地岷江月均总铁含量 <0.03 频率变化

Table 2 Frequency change of month with Fe average total content <0.03 in Minjiang River water source area during 2006 - 2011

水质指标		年份						次
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	
铁(Fe)	<0.03 月份频率	12	12	12	12	12	11	
	>0.03 月份频率	0	0	0	0	0	1	

## 4 结论与展望

### 4.1 结论

利用 2006 - 2011 年间的多参数水环境监测数据,采用小波分析和多参数对比分析的方法,研究了汶川

地震前后水源地岷江的水质变化特征,根据分析结果主要得出了以下研究结论:

(1)地震对不同水质指标的变化周期影响有所差异。分析结果表明“5·12”汶川地震前后,水源地岷江水体中 $\text{SO}_4^{2-}$ 、TH和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 共3个指标周期的变化较明显,而 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{F}^-$ 和Fe共3个指标周期的变化则不明显;

(2)地震前后不同水质指标的震荡幅度改变有所差异。分析结果表明地震发生后,水源地岷江水体中 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{F}^-$ 共3个指标的震荡幅度有所减弱,而TH和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 共2个指标的震荡幅度则有所增强,Fe的震荡幅度则不明显;

(3)地震对不同水质指标的变化趋势影响有所差别。尽管在地震前后5种水质指标的总变化趋势都有所改变,但是在程度上却有所差异,其中 $\text{Cl}^-$ 和TH共2个指标在地震前后的变化最为剧烈,表现为变化趋势发生了方向性的改变;而 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{F}^-$ 共3个指标表现为总体增长速度有所下降,但是总变化方向没有发生改变;

(4)地震对水质影响的时滞效应具有指标类型上的差异。分析结果表明,地震对 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{F}^-$ 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 共3个指标存在2种不同时滞效应的影响,一种是在地震后第2个月即有所显现,这种影响持续时间多为1~3个月,影响时滞效应较短。另外一种,在地震发生后的1~2a时间内慢慢显现,这种影响时滞效应相对较长;而对 $\text{SO}_4^{2-}$ 和TH共2个指标,仅存在1~2a内慢慢显现的这种时滞效应的影响。

## 4.2 展望

(1)从本文的分析结果来看,在地震发生前的1~2a内,岷江水源区的 $\text{F}^-$ 和 $\text{SO}_4^{2-}$ 的变化比较活跃,出现了几个较大的峰值,而在地震结束后,这些指标的波动明显平息。从这个分析结果来看,地震前 $\text{F}^-$ 和 $\text{SO}_4^{2-}$ 峰值的异常,如果与地震前相关物质自然源的释放有关的话,那么地震前这些物质的变化,将对于运用相关地球化学指标开展地震预测具有重要意义;

(2)从地震后水质指标的变化来看,地震后的1~3个月内,即在灾害的救助过程中 $\text{F}^-$ 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 是有可能急剧上升的指标,而在地震后的1~2a内 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TH共3个指标是有可能升高的指标,这就要求相关部门在重大自然灾害发生后要加强对这些水质指标的监测;

(3)通过对地震前后6个主要水质指标值的对比分析,发现了一些地震前后不同水质指标的变化特征,但是对突变点的解释尚不充分,对于地震前后相关指标的变化驱动机制还不明确,这些都是需要在进一步深入研究中开展的工作。

## 参考文献:

- [1] 陈炼钢,陈敏建,丰华丽. 基于健康风险的水源地水质安全评价[J]. 水利学报, 2008, 39(2): 235-244.  
CHEN Liangang, CHEN Minjian, FENG Huali. Water Source quality safety evaluation based on health risk assessment [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(2): 235-244. (in Chinese)
- [2] 湛志强,聂志勇,马新华,等. “5·12”汶川地震震中映秀镇水质监测安全评价[J]. 军事医学科学院院刊, 2008, 32(4): 367-369.  
CHEN Zhiqiang, NIE Zhiyong, MA Xinhua, et al. Water quality monitoring and safety evaluation of Yingxiu Town, the epicenter of the “5·12” Wenchuan earthquake[J]. Bull Acad Mil Med Sci. 2008, 32(4): 367-369. (in Chinese)
- [3] 赵庆绪,侯宝灯,邢冰,等. 基于灰色关联分析的岷江上游流域震后水质综合评价[J]. 四川环境, 2012, 29(1): 61-64.  
ZHAO Qingxu, HOU Baodeng, XING Bing, et al. Comprehensive evaluation of water quality after earthquake for the upper reaches of minjiang river Basin Based on gray relational analysis[J]. Sichuan Environment, 2012, 29(1): 61-64.
- [4] 张春敏,王根绪. 汶川大地震灾害对区域生态系统的影响—以青川、平武和茂县为例[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 5833-5841.  
ZHANG ChunMin, WANG Genxu. Impacts of Wenchuan Earthquake disaster on ecosystem and its spatial pattern: case study of Qingchuan, Pingwu and Maoxian counties[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 5833-5841. (in Chinese)
- [5] 王根龙,张军慧,刘红帅. 汶川地震北川县城地质灾害调查与初步分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009(3): 47-52.  
WANG Genlong, ZHANG Junhui, LIU Hongshuai. Investigation and preliminary analysis of geologic disasters in Beichuan county induced by Wenchuan Earthquake[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2009(3): 47-52. (in Chinese)
- [6] 闵文彬,徐晓莉. 5·12汶川特大地震前后地面气温变化特征浅析[J]. 高原山地气象研究, 2008, 27(2): 42-46.  
MIN Wenbin, XU Xiaoli. Primary analysis of the variation of surface air temperature before and after Wenchuan Earthquake [J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2008, 27(2): 42-46. (in Chinese)
- [7] 唐川. 汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J]. 山地学报, 2010, 28(3): 341-349.  
TANG Chuan. Activity Tendency Prediction of rainfall induced landslides and debris flows in the Wenchuan Earthquake Areas [J]. Journal of Mountain Science, 2010, 28(3): 341-349. (in Chinese)

- [8] 曹叔尤,刘兴年,黄尔,等.地震背景下的川江流域泥沙与河床演变问题研究进展[J].四川大学学报:工程科学版,2009,41(3):28-36.  
CAO Shuyou, LIU Xingnian, HUANG, et al. Advances in studies of river sediment and fluvial processes of the upper—Yangtze River in earthquake background[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2009, 41(3): 28-36. (in Chinese)
- [9] 侯保灯,赵庆绪,王焱,等.基于集对分析模型的岷江上游流域震后水质综合评价[J].水利发电,2010,36(1):29-47.  
HOU Baodeng, ZHAO Qingxu, WANG Yan, et al. Water Quality evaluation in the upper reaches of Minjiang River after Wenchuan Earthquake based on set pair analysis model[J]. Water Power, 2010, 36(1): 29-47. (in Chinese)
- [10] Xie C D, Zhu Y Q, Lei X L, et al. Pattern of stress change and its effect on seismicity rate caused by Ms8.0 Wenchuan earthquake[J]. Sci China Earth Sci, 2010, doi: 10.1007/s11430-010-4025-9.
- [11] Shan B, Xiong X, Zheng Y, et al. Stress changes on major faults caused by Mw7.9 Wenchuan earthquake, May 12, 2008[J]. Sci China Ser D - Earth Sci, 2009, 52(5): 593-601, doi: 10.1007/s11430-009-0060-9.
- [12] 胡波,熊明彪,赵健,等.汶川地震前后重灾区水土流失变化特征初步分析[J].长江科学院院报,2010,27(11):62-66.  
HU Bo, XIONG Mingbiao, ZHAO Jian, et al. Preliminary Analysis of Soil and Water Loss Change before and after Wenchuan Earthquake[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(11): 62-66. (in Chinese)
- [13] 陈晓清,李智广,崔鹏,等.5·12汶川地震重灾区水土流失初步估算[J].山地学报,2009,29(1):122-127.  
CHEN Xiaqing, LI Zhiguang, CUI Peng, et al. Estimation of soil erosion caused by the 5.12 Wenchuan Earthquake[J]. Journal of Mountain Science, 2009, 29(1): 22-127. (in Chinese)
- [14] 国家环境保护总局. GB3838-2002 中华人民共和国国家标准-地表水环境质量标准[S]. 2002.  
State Environmental Protection Administration. GB3838-2002 Environmental quality standards for surface water[S]. 2002. (in Chinese)
- [15] 中华人民共和国卫生部. GB/T5750 国家生活饮用水卫生标准[S]. 北京:中国标准出版社,2007.  
Health of the People's Republic of China. GB/T5750 Sanitary standard for drinking water[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. (in Chinese)
- [16] 张利平,朱存稳,夏军.华北地区降水变化的多时间尺度分析[J].干旱区地理,2004,27(12):548-551.  
ZHANG Liping, NIU Cunwen, XIA Jun. Analysis on the Change of Precipitation in Multiple Temporal Scales in North China[J]. Arid Land Geography, 2004, 27(12): 548-551. (in Chinese)
- [17] 刘东,付强.基于小波变换的三江平原低湿地井灌区年降水序列变化趋势分析[J].地理科学,2008,28(3):380-384.  
LIU Dong, FU Qiang. Variation trend analysis of annual precipitation series based on wavelet transform in well irrigation area of low lying wetland in Sanjiang Plain[J]. Scientia Geographica Sinica, 2008, 28(3): 380-384. (in Chinese)
- [18] 杨成林,陈宁生,李战鲁.汶川地震次生泥石流形成模式与机理[J].自然灾害学报,2011,20(3):31-37.  
YANG Chenglin, CHEN Ningsheng, LI Zhanlu. Formation mode and mechanism for debris flow induced by Wenchuan earthquake[J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(3): 31-37. (in Chinese)
- [19] 崔鹏,韦方强,何思明,等.5·12汶川地震诱发的山地灾害及减灾措施[J].山地学报,2008,26(3):280-282.  
CUI Peng, WEI Fangqiang, He Siming, et al. Mountain disasters induced by the earthquake of May 12 in Wenchuan and the disasters mitigation [J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(3): 280-282. (in Chinese)
- [20] 王文杰,潘英姿,徐卫华,等.四川汶川地震对生态系统破坏及其生态影响分析[J].环境科学研究,2008,21(5):110-116.  
WANG Wenjie, PAN Yingzi, XU Weihua, et al. Analysis on ecosystem destroy and its ecological impact caused by earthquake in Wenchuan, Si-chuan Province[J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(5): 110-116. (in Chinese)
- [21] 徐卫华,欧阳志云,王学志,等.汶川地震重灾区生态保护重要性评价与对策[J].生态学报,2008,28(12):5820-5825.  
XU Weihua, OUYANG Zhiyun, WANG Xuezhizhi, et al. Assessment of ecological protection importance for ecological conservation in Wenchuan Earthquake hard-hit disaster areas[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 5820-5825. (in Chinese)
- [22] 王艳茹,王宝光,戴君武,等.“5·12”汶川大地震人员伤亡的时空分布特点[J].自然灾害学报,2009,18(6):52-56.  
WANG Yanru, WANG Baoguang, DAI Junwu, et al. Spatiotemporal distribution characteristics of casualties in great “5·12” Wenchuan earthquake[J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(6): 52-56. (in Chinese)