

水温突降-缓升型的响应机理 之冷水下渗学说的研究 ——以重庆北温泉水 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 对汶川地震的响应为例

肖 琼 沈立成 陈展图

(西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 地理科学学院, 重庆 400715)

提要:深井水温观测在中国已经开展了 20 多年,但目前对于水温响应机理的研究还不充分。而且利用温泉水对水温响应机理研究甚少。本文在 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震前后,即 2008 年 5 月 1 日至 7 月 4 日,对重庆北温泉水(距震中约 400 km)进行采样监测,发现泉水水温水量发生较大变化;震后水温下降了 1°C ;海拔相对较高的 BWQ-2、BWQ-3、BWQ-4 相继断流,监测点 BWQ-1 的水量增加了 15 L/s;与此同时,各泉点 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 浓度于地震当日成倍增长,随后逐渐减小,7 月 4 日时浓度与 5 月 1 日相当。重庆北温泉位于四川盆地东部边缘地带,受汶川地震强烈影响导致冷水下渗作用,海拔相对较高而温度较低的温泉水改道,并有其他来自裂隙或者地表的低温水汇入温泉含水层, Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 浓度的变化从水化学上印证了冷水下渗学说。

关键词:冷水下渗学说;水温水量;重庆北温泉; Fe^{3+} 、 Mn^{2+}

中图分类号: P315.72*3; P641.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)06-1405-08

近年来,国内外学者对地震引起地下流体同震响应的现象进行了大量的研究^[1-3],特别是水位对远场大震的同震响应(多表现为水震波)。近几年国内外学者又开始对远场大震引起水温的同震响应进行研究,水温突降-缓升型的响应机理主要有气体逸出说、井内水体热弥散说和冷水下渗说 3 种,而观测井水温震后效应是由于地震波作用导致井水含水层系统内水流状态的变化所致。鱼金子等^[4]研究了北京太平庄井水温的同震效应,并依据分析将水温的同震突降机制归因于井水气体的释放;石耀霖等^[5]在统计分析唐山矿井水温同震响应资料后提出了水温下降变化的热弥散模型,并给出了定量化的研究成果;刘耀炜等^[6]对远场大震引起水位振荡-水温下降现象的解释是,井孔含水层周边上层外源水随着振动效应的作用,加大了向下垂直运动的速率,低温

水快速混入观测含水层中,引起温度的快速下降。

地震引起温泉水水温水量变化在国内研究甚少,日本研究较多。Satoru Nishizawa, George Igarashi and Yuji Sano^[7]通过对 1995 年日本中部伊豆诸半岛东海岸群发式地震引起的温泉水中氨、 Cl^{-} 以及 SO_4^{2-} 的研究,提出地震微裂纹引起温泉水中氨的变化,而地震引起另一含高 Cl^{-} 和 SO_4^{2-} 的外源水进入温泉水中导致泉水水化学性质的变化。远场大震对与地下水的的影响十分剧烈,但证据不是很充分,本文将从水温水量的变化,以及微量元素 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 浓度的变化来诠释冷水下渗学说。

1 背景介绍

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分,四川东部龙门山构造带汶川附近发生了 8.0 级强烈地震。地震产

收稿日期:2009-03-02;改回日期:2009-08-19

基金项目:重庆市科委院士专项(CSTC2007BC7001)、国家自然科学基金(40672165)、重庆市科技项目(CSTC,2005AB7006)、教育部博士点基金(20050635001)、西南大学博士基金(SWUB2008013)共同资助。

作者简介:肖琼,女,1984年生,硕士,主要研究方向为第四纪地质学;E-mail:xiaoqiong-8423@163.com。

通讯作者:沈立成,西南大学副教授;E-mail:xqimei@swu.edu.cn。

生原因是印度板块与欧亚大陆碰撞及其向北的推挤,导致了亚洲大陆内部大规模的构造变形,造成了青藏高原的地壳缩短、地貌隆升和向东挤出。青藏高原在向东北方向运动的过程中,于四川盆地一带遭到华南活动地块的强烈阻挡,使得应力在龙门山推覆构造带上高度积累,以至于沿映秀—北川断裂突然发生错动,产生 8.0 级强烈地震。

重庆市位于四川盆地东部与中部的接壤地带,离汶川县城东南方向约 400 km。受汶川地震影响,重庆市地震烈度为 5 度。重庆市北温泉公园位于北碚区城北郊缙云山下,距重庆市区 52 km,距汶川震中约 452 km。北温泉泉点均自然出露在嘉陵江干流所深切的峡谷中,处于温塘峡不对称箱型背斜倾伏段,节理裂隙发育,同时发育有 F1、F2 小断层^[9],其含水地层包括雷口坡组(T₁)和嘉陵江组(T₂)碳酸盐岩(深埋地下,未出露地表)。在雷口坡组和嘉陵江组石灰岩之上的岩层是三叠系上统须家河组砂、页岩,为含水岩层的盖层,起着隔水、保温作用,相距北温泉泉点不远处出露侏罗纪红层。位于侏罗纪和三叠纪之间间隔一段重庆地区特有的侏罗纪底部常见粘土岩,起降式赤铁矿,又称之为“綦江段”^[10]。北温泉

的水温主要来自地热增温,水质可能与嘉陵江组和雷口坡组的石膏层及碳酸盐岩有关^[12-14]。北温泉景区内地震前各泉眼相对位置基本成两条平行线 BWQ-2,BWQ-3,BWQ-4,BWQ-5 位于上侧, BWQ-1,BWQ-6,BWQ-7 位于下侧,相对高差 20 m 左右。

本区属亚热带季风气候,年降雨量为 1087 mm,年均气温 18℃^[14]。

2 样品及分析方法

2.1 野外测定

2008 年 5 月 1 日至 7 月 4 日对北温泉 7 处泉点观测 5 次(断流泉点除外),泉点包括 BWQ-1(大游泳池)、BWQ-2(接引殿前 1 号)、BWQ-3(半月池)、BWQ-4(接引殿前 2 号)、BWQ-5(水井)、BWQ-6(水文站)、BWQ-7(乳花洞)。北温泉 7 个泉点位置和流量不同,BWQ-1 为主要水口,是北温泉旅游开发的水源地,也是本文水量水质的主要观测点,采用马歇尔槽和对应的明渠流量计计算水量,并同时使用流速仪对所测数据进行校正。马歇尔槽修建和水量监测由北温泉旅游开发公司完成。水位

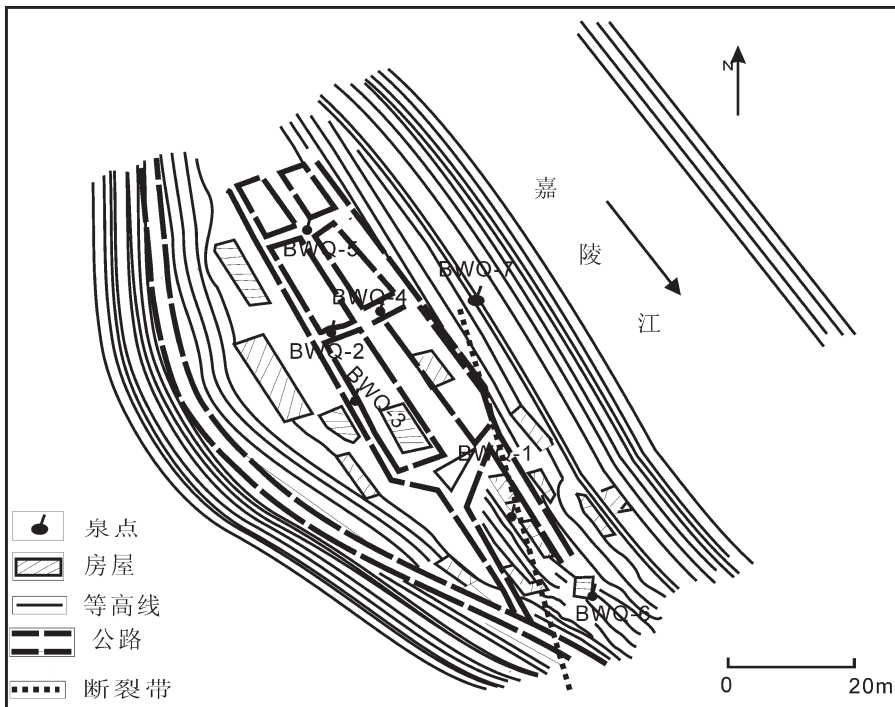


图 1 北温泉泉点分布示意图

Fig.1 Sketch map showing the distribution of springs in Beiqiwenquan

超过仪器量程时,人工测量水位并计算水量。

2.2 样品的采集和室内分析

使用洁净采样瓶取 50 mL 水样,并加入 HNO₃ 防止金属离子吸附,微量元素 Fe、Mn 的测定,采用 ICP-OES Optima 2100 DV 测定(0.001mg/L)。所有实验均在西南大学地理科学学院水化学分析实验室和同位素实验室完成。

3 冷水下渗学说

3.1 温度与水量变化印证冷水下渗学说

震前 BWQ-1 水位保持 30~32 cm,计算所得流量常年稳定在 2400 m³/d。地震后由于水位高度超过 33 cm,明渠流量计不能直接计算出水位高度,因此 5 月 12 日后人工进行水位测量计算。

图 2 显示了 2006 年 5 月到 7 月以及地震后两个月内 BWQ-1 的水温水量变化。5 月 12 日下午 2 点 28 分,震后 BWQ-1 水量增大到 19 L/s,达 42.797 L/s。随后水流量回落,5 月 16 日水流量为 39.526 L/s,至 6 月 13 日水流量趋于稳定,但相比震前仍增大 15 L/s 左右。同时,温度也发生相应变化:震前 BWQ-1 水温基本保持 36.5℃左右,5 月 12 日 BWQ-1 泉水温度下降到 34.9℃,然后慢慢回升,至 6 月 13 日稳定在 35.6℃,相比于震前水温降低 1℃。

BWQ-1 水量增加的同时,BWQ-6 水量明显增加,BWQ-2 温泉水消失,BWQ-4 断流,BWQ-3 断流(图 3),各泉点温度除 BWQ-7(位于洞内)均降低 1℃(图 4)。

图 5 显示,BWQ-1 温泉水水温和水量呈负相关性曲线,相关系数达-0.9798。因此水温和水量的变化可以用简单的两种水源的混合来解释^[9]。即震后 BWQ-1 可能有低温外源水汇入。BWQ-2、BWQ-3、BWQ-4 三泉点高程均为 262 m,并相继断流,而高程 240 m 的 BWQ-1 增加了约 15 L/s 的水流量,海拔 225 m 的 BWQ-6 温泉水也明显增加,水温均下降 1℃,说明北温泉含水层有外源水的汇入,且海拔 262 m 处的 BWQ-2、BWQ-3、BWQ-4 地震后改道,导致断流。导致 BWQ-1、BWQ-6 水量增加的原因除了上述的外源水的汇入还可能有高程相对较高温泉水改道的原因。

北温泉水温水量的变化印证了水温突降-缓升型的响应机理之冷水下渗学说。冷水下渗学说经常运用于解释远场大震对于井水温度的影响。该学说认为井孔含水层周边上层地下水随着振动效应的作用,加大了向下垂直运动的速率,低温水快速混入所观测的含水层中,引起温度的快速下降。刘耀炜等^[8]认为地下水温的同震变化,反应了地壳变形和地面

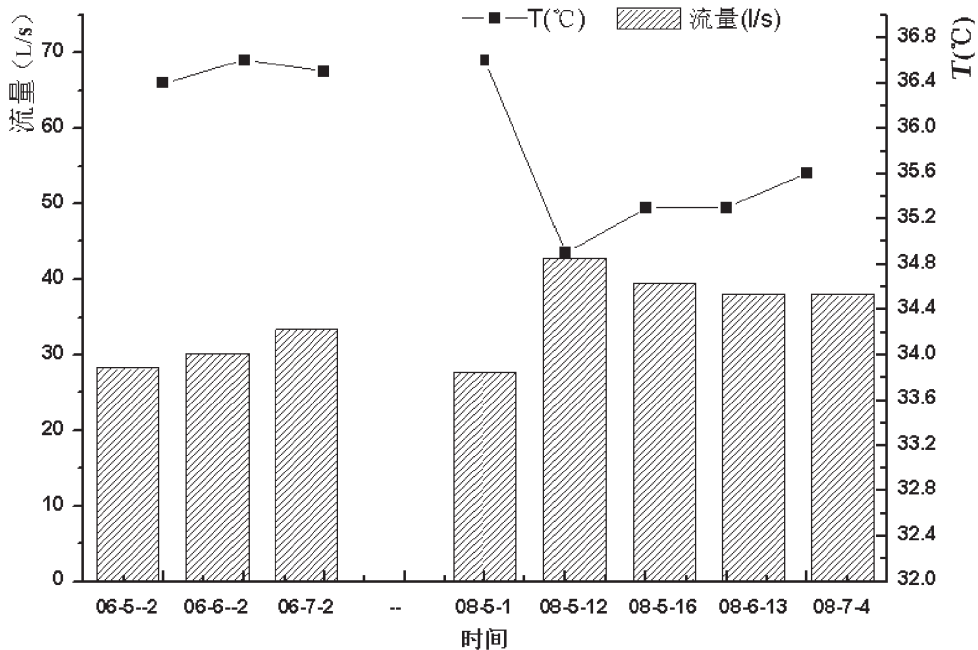


图 2 BWQ-1 温泉水水温流量的动态变化^[15]
Fig.2 Dynamic change of temperature and discharge of BWQ-1

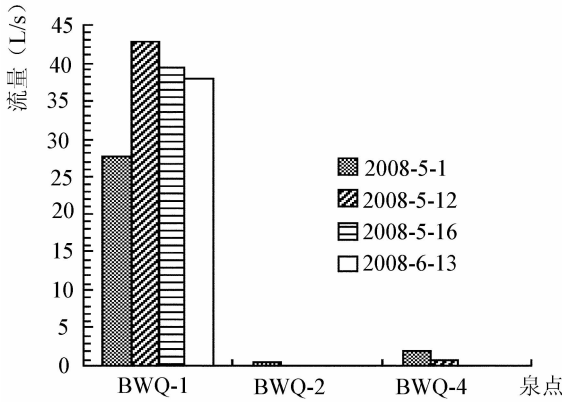


图3 部分泉点流量变化图
Fig.3 Discharge variation of some springs

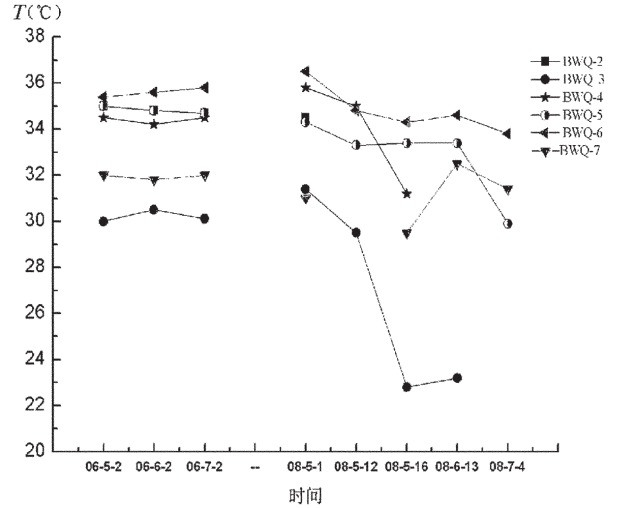


图4 重庆北温泉各泉点温度现场测定指标
Fig.4 In-situ temperature measurement indices of hot springs in Beiwenguan, Chongqing

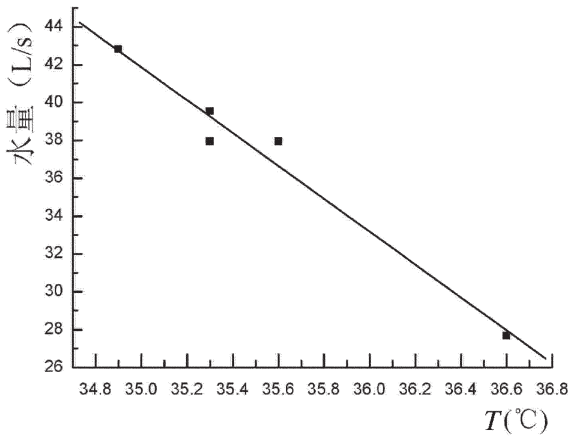


图5 震后流量温度相关关系图
Fig.5 Correlation between discharge and temperature of Beiwenguan after the earthquake

振动引起地下介质贮层变形、孔隙或裂隙的变化以及地下水垂向运移等,引起地下水温度场变化。北温泉水温的变化,正好印证了此说法。且在水温降低的

同时,水量增加,表明由于地震内力作用,引起了北温泉所在断裂带地壳的微变形,储存于裂隙中的水沿裂隙下渗,抑或上层温度相对较低的温泉水改道下渗,均进入含水层,并在海拔相对较低的泉眼处流出。

3.2 Fe³⁺、Mn²⁺对冷水下渗学说的补充

经水化学分析,北温泉水化学类型为SO₄-Ca型。pH值接近于中性。

因BWQ-2、BWQ-3、BWQ-4均已经断流,而BWQ-5位于一水井中,所以,本文用BWQ-1、BWQ-6、BWQ-7的实验数据来说明冷水下渗过程中Fe³⁺、Mn²⁺的同震响应。

表1为各泉点2008年5月1日到2008年9月5日的Fe³⁺、Mn²⁺变化情况。可见,各泉点Fe³⁺、Mn²⁺含量均比较低,震前Fe³⁺、Mn²⁺的浓度分别为0.05~0.15 mg/L和0.02~0.03 mg/L。5月12日下午地震

表1 北温泉群水中Fe³⁺、Mn²⁺浓度变化

Table 1 Concentration changes of Fe³⁺ and Mn²⁺ in Beiwenguan hot springs

	BWQ-1(大游泳池)		BWQ-6(水文站)		BWQ-7(乳花洞)	
	Fe ³⁺ (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)	Fe ³⁺ (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)	Fe ³⁺ (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)
2008-5-1	0.152	0.030	0.137	0.021	0.058	0.019
2008-5-12	2.114	0.114	2.216	0.191		
2008-5-16	0.884	0.059	0.053	0.034	1.148	0.072
2008-6-13	0.156	0.034	0.366	0.026	0.549	0.038
2008-7-4	0.019	0.035	0.043	0.025	0.065	0.012
2008-9-5	0.092	0.033	0.050	0.025	0.039	0.007

后,测得 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 的浓度分别为 2.00~2.21 mg/L 和 0.11~0.19 mg/L(洞中危险,未当场进行取样),之后 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 浓度又逐步降低,到 7 月 4 日,基本达到地震前的浓度;通过相关性分析发现,两种离子的变化正相关,相关系数 $r=0.9947$ (图 6)。

从图 7 可见,地震当天温泉水变浑浊,呈红色,很大程度上可能为温泉水中 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} 所致,这与所测温泉水中 Fe^{3+} 离子含量增多相对应。造成此现象的原因与北温泉所在地质背景和铁锰的物化特征有关。地壳中的铁质多分散在各种岩浆岩和沉积岩及第四纪地层中,锰的来源主要是岩石和矿物中锰的氧化物、硫化物、碳酸盐、硅酸盐等溶解提供^[17-18]。在重庆一带,侏罗系底部常见粘土岩,綦江式赤铁

矿,又称之为“綦江段”^[11]。距研究区几百米为侏罗系和三叠系的分界线,存在大量含有赤铁矿的粘土岩,同时嘉陵江边也有很厚的第四系。所以,存在于表层裂隙水中的铁锰离子含量比温泉含水层中高的多。地震后温泉水中铁锰离子浓度大幅度上升,后又慢慢回落,表明受地球内力影响,确上层裂隙水进入含水层,而后又因裂隙水后续补给不足而进入含水层水量减少,铁锰离子的浓度又恢复原来水平。

上述分析表明,冷水下渗过程中除了引起温度的降低,水量的变化,同时会带入不同的水质成分,引起水化学变化,从而对含水层的水质有所改变。

4 冷水下渗学说机理的探讨和补充

同震响应机理研究中,冷水下渗学说经常运用于解释远场大震对于井水温度的影响。该学说认为井孔含水层周边上层地下水随着振动效应的作用,加大了向下垂直运动的速率,低温水快速混入所观测的含水层中,引起温度的快速下降^[9]。

近 20 年来,随着高精度数字化水温水质自动记录仪的推广使用,远场大震引起的观测井水温响应机理和水化学特征变化机理的研究越来越多^[20-21]。刘耀炜等认为地下水温的同震变化,反应了地壳变形和地面振动引起地下介质贮层变形、孔隙或裂隙的变化以及地下水垂向运移等,引起地下水温度场变化。鱼金子等根据观测到的事实、异常特征与同震效应等提出了水动力学机制,即目前比较公认的冷水下渗作用过程。首先是在地球应力的作用下含水层变形和含水层内孔隙压力变化。然后引起了井(泉眼)

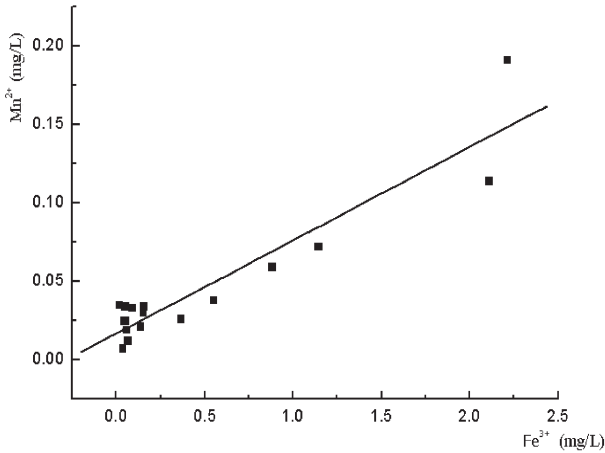


图 6 北温泉群 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 浓度相关关系

Fig.6 Correlation between Fe^{3+} and Mn^{2+} concentrations



图 7 BWQ-1 泉水 5 月 1 日和 5 月 12 日图片对比

Fig.7 Comparison of BWQ-1 spring between photo of May 1 and that of May 12

与含水层系统内水流变化而引起井水温度变化。

北温泉的同震响应过程,从事实上印证冷水下渗学说的正确性。在地震的强烈影响下,北温泉危岩带出现严重安全隐患,直接威胁 212 国道通行车辆安全^[2]。说明在地球应力作用下,含水层以及含水层上部岩石裂隙增多增大。随着海拔高度 252 m 处的 BWQ-2、BWQ-3、BWQ-4 温泉水断流,下层泉水增多,水温下降,表明泉眼和含水层系统在地震作用有明显的水流变化。

同时,Fe³⁺、Mn²⁺浓度变化是对冷水下渗学说的一个补充。远场大震导致岩石裂隙增多,孔隙增大,裂隙中含高 Fe³⁺、Mn²⁺浓度的水发生了短时间、短距离的运移,并进入含水层,破坏了原有的水化学平衡,导致含水层 Fe³⁺、Mn²⁺成数倍的增长。而一旦储存的裂隙水后续供应不足,下渗水量逐步减少,最后停止,又使得含水层中化学成分回复原来位置。由此说明,冷水下渗作用不仅仅是使得上层水随震动效应进入下层含水层,引起温度的下降,同时,在下降过程中,在物理和化学作用下,含水层离子会发生一定的变化。这种变化主要是下渗水的水化学特征引起的,归根结底是有特定的地质背景决定的。

由此可以对鱼金子等的冷水下渗学说机理进行补充,即受研究区地质背景影响,在地球内力作用下,含水层变形以及含水层内孔隙压力变化导致井(泉眼)-含水层系统内部水流发生变化,引起井水或者泉眼水水量水温的相应变化的同时,还将导致含水层水化学特征发生变化。

5 结 论

本文通过对汶川 8.0 级地震后北温泉水的同震响应现象的研究,得出以下结论:

(1)北温泉水水温水量对汶川地震的响应印证了远场大震引起的水温突降-缓升型响应机理中的冷水下渗学说。北温泉 7 个泉点中,海拔相对较高的 BWQ-2、BWQ-3、BWQ-4 三个泉点逐渐断流,泉点 BWQ-1 水量增大了 15L/s, BWQ-6 水量也有明显的增大。水量增大的同时,各泉点水温都下降 1℃。且水温和水量呈负相关。说明有外援水进入观测含水层。

(2)在水量和水温同震响应的同时,北温泉水 Fe³⁺、Mn²⁺浓度的变化对冷水下渗学说进行了完善和补充。地震当日 Fe²⁺、Mn²⁺浓度成倍增长,随后逐

渐减小,7月4日时浓度与5月1日相当。联系研究区地质背景,主要是上层水经裂隙流经砂泥岩裂隙溶蚀铁锰结核所致。

(3)在前人研究的基础上笔者重新诠释了冷水下渗学说的内容。受区域地质背景和环境因素的影响,在地球内力作用下,含水层变形以及含水层内孔隙压力变化导致井(泉眼)-含水层系统内部水流发生变化,引起井水或者泉眼水水量水温的相应变化的同时,还导致含水层水化学特征发生变化。

致谢:在成文过程中,笔者得到西南大学同位素实验室和水化学分析实验室老师和同学们的帮助,在此表示感谢!

参考文献(References):

- [1] 刘澜波,郑香媛,彭贵荣.地震波引起注里井水位振荡的初步分析[J].地震,1983(5):12-19.
Liu Lanbo, Zheng Xiangyuan, Peng Guirong. Preliminary analysis of seismic-induced oscillation of the water level in wall well[J]. Earthquake, 1983(5):12-19(in Chinese with English abstract).
- [2] 付子忠.地热动态观测与地热前兆[C]//地壳构造与地壳应力文集.1988,1:127.
Fu Zizhong. Observation of geothermal activities and geothermal precursory [C]//Collected Works of Crustal Structure and Crustal Stress.1988,1:127.
- [3] Iassonov P P, Beresnev I A. A model for enhanced fluid percolation in porous media by application of low frequency elastic waves [J]. J Geophys Res., 2003, 08 (B3), oi:10. 1029/ 2001JB000683.
- [4] Montgomery D R, Manga M. Streamflow and water well responses to earthquakes [J]. Science, 2003, 300 (27):2047-2049.
- [5] Wanghi yuen, Wang Chunggho, Manga Michael. Coseismic release of water from mountainins:evidence from the 1999 (Mw = 7. 5) Chi Chi, Taiwan, earthquake[J]. Geology, 2004, 32 (9):769-772.
- [6] 鱼金子,车用太,刘五洲.井水温度微动态形成的水动力学机制研究[J].地震,1997,17(4):389-396.
Yu Jinzi, Che Yongtai, Liu Wuzhou. Preliminary study on hydrodynamic mechanism of microbehavior of water temperature in well[J]. Earthquake, 1997, 17(4):389-396(in Chinese with English abstract).
- [7] 石耀霖,曹建玲,马丽,等.唐山井水温的同震变化及其物理解释[J].地震学报,2007,29(5):265-273.
Shi Yaolin, Cao Jianling, Ma Li, et al. Tele-seismic coseismic well temperature changes and their interpretation [J]. Acta Seismologica Sinica. 2007, 29 (5):265-273(in Chinese with English abstract).
- [8] 中国地震局监测预报司.2004年印度尼西亚苏门答腊 8.7 级大地震及其对中国大陆地区的影响[M].北京:地震出版社,2005:131-258.
Department of Monitoring and Prediction, CEA. The Influence on

- the Continental Seismicity in China by Sumatra M_S 8.9 Macroquake in 2004, in Indonesia [M]. Beijing:Seismological Press, 2005:131-258.
- [9] Satoru Nishizawa, George Igarashi, Yuji Sano. Radon, Cl⁻ and SO₄²⁻ anomalies in hot spring water associated with the 1995 earthquake swarm off the east coast of the Izu Peninsula, central Japan [J]. Applied Geochemistry, 1998, 13:89-94.
- [10] 胡克定. 重庆市北温泉危岩带特征与防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6 (3):57- 62.
Hu Keding. The characteristics of dangerous rock zone of Beiwenguan in Chongqing city and its control countermeasures[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1995, 6 (3):57-62(in Chinese with English abstract).
- [11] 重庆市水文地质调查队. 重庆市 1:5 万区域水文地质报告[R]. 2003.
The Hydrogeology Survey Team in Chongqing. The Report of 1:50000 Regional Hydrogeology in Chongqing [R]. 2003 (in Chinese).
- [12] 钱学溥. 重庆附近嘉陵江石灰岩喀斯特水文地质及温泉成因的探讨 [C]//水文地质工程地质论文集 (1). 北京:地质出版社, 1958:12- 83.
Qian Xuebo. The study of the hydrogeology of karst limestone area near Chongqing and the cause of hot spring [C]//Collected Works of Hydrogeology and Engineering Geology (1). Beijing: Geological Publishing House, 1958:12-83(in Chinese).
- [13] 罗云菊, 刘新荣, 刘东燕. 重庆南温泉背斜地下水可持续开发研究[J]. 重庆建筑大学学报, 2005, 27(6):39-43.
Luo Yunju, Liu Xinrong, Liu Dongyan. Research on sustainable exploration of the geothermal water in Nanwenguan anticline of Chongqing [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2005, 27 (6):39-43(in Chinese with English abstract).
- [14] 重庆市北碚区地方志编纂委员会. 北碚自然地理 [M]. 重庆:西南师范大学出版社, 1986:1- 145.
The Complication Committee of Local Chronicles in Chongqing Beibei. The Physical Geological of Beibei[M]. Chongqing:Southwest China Normal University Press, 1986:1-145(in Chinese).
- [15] 曹云. 重庆市北温泉景区温泉和钙华的地球化学研究[D]. 重庆:西南师范大学, 2007:32-33.
Cao Yun. Study on geochemical characteristics of warm spring water and travertine in North Springs of Chongqing [D]. Chongqing:Southwest China Normal University, 2007:32-33 (in Chinese with English abstract).
- [16] 章至洁, 韩宝平, 张月华. 水文地质学基础[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 1995.
Zhang Zhigu, Han Baoping, Zhang Yuehua. The Foundation of Hydrgeology [M]. Xuzhou:China University of Mining and Technology Press,1995(in Chinese with English abstract).
- [17] 沈照理. 水文地球化学基础(试用本) [M]. 武汉:武汉地质学院, 1995.
Shen Zhaoli. Basis of hydrogeochemistry [M]. Wuhan:Wuhan Institute of Geosciences, 1995(in Chinese).
- [18] 雷万荣, 唐春梅, 江凌云. 浅谈地下水中铁、锰质的迁移与富集规律[J]. 江西科学, 2006, 24(2):80-82.
Lei Wanrong, Tang Chunmei, Jiang Lingyun. Discussion on iron and manganese transport and concentrate in undergroundwater[J]. Jiangxi Science, 2006, 24(2):80-82(in Chinese with English abstract).
- [20] 杨竹转, 邓志辉, 陶京玲, 等. 北京塔院井数字化观测水温的同震效应研究[J]. 地震学报, 2007, 29(2):203-213.
Yang Zhuzhuan, Deng Zhihui, Tao Jingling, et al. Coseismic effects of water temperature based on digital observation from Tayuan well, Beijing [J]. Acta Seismologica Sinica, 2007, 29(2):203-213(in Chinese with English abstract).
- [21] 张素欣, 张子广, 张跃刚, 等. 2004 年 12 月 26 日印尼大地震河北省数字水位、地热记震能力分析[J]. 华北地震科学, 2005, 23 (3):27-30.
Zhang Suxin, Zhang Ziguang, Zhang Yaogang, et al. Study on the earthquake reflecting ability of digital water level and geothermals data with Indonesia strong earthquake[J]. North China Earthquake, Science, 2005, 23 (3):27-30(in Chinese with English abstract).
- [22] 北碚区北温泉危岩带应急抢险治理工程顺利完成. 重庆市政府公众信息网. <http://www.cq.gov.cn/zwgk/zfxx/108665.htm>. 2008 年 7 月 14 日.
The project of rushing to deal with an emergency work with the dangerous rock in Beiwenguan in Beibei region has been completed. Chongqing Government Public Net. <http://www.cq.gov.cn/zwgk/zfxx/108665.htm>. July 14th, 2008.

Researches on the cold water infiltration theory for the response mechanism of sudden drop–slow rise type of water temperature: a case study of Fe^{3+} , Mn^{2+} variation in Beiwenquan hot spring of Chongqing associated with the Wenchuan Earthquake

XIAO Qiong, SHEN Li–cheng, Chen–Zhantu

(Key Laboratory of Ecoenvironments in three Gorges Reservoir(Ministry of Education)

School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Water temperature observations in deep wells have been carried out in China for more than 20 years, but the researches on the mechanism of temperature response remain inadequate, and very few researchers have studied this mechanism for hot spring water. In this paper, the Beiwenquan hot spring of Chongqing was continuously monitored from May 1 to July 4, 2008. During the May 12 Ms 8.0 earthquake of 2008, the Beiwenquan hot spring about 400 km from the epicenter had a huge response to the earthquake. After the earthquake, three relatively high elevation springs were cut off, and the discharge of some other springs increased by nearly 50%. The concentration of Fe^{3+} and Mn^{2+} increased twofold on May 12 and then decreased gradually. On July 4, the concentration of Fe^{3+} and Mn^{2+} was the same as that on May 1. This is attributed to the active development of karst areas in the Jialingjiang River valley which has numerous fissures and cracks. Because of the earthquake, the higher elevation springs whose temperature was lower than that of other springs and surface water came from the fissures and infiltrated into the lower elevation springs. This process accelerated the vertical movement of the water and the mixing of different waters.

Key words: Wenchuan earthquake; Beiwenquan hot spring; chemical feature; discharge; Fe^{3+} , Mn^{2+}

About the first author: XIAO Qiong, female, born in 1984, master, mainly engages in the study of Quaternary geology; E–mail: xiaoqiong–8423@163.com.