

汶川地震是由水库蓄水引起的吗?

陈颢

中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

E-mail: yongchen@seis.ac.cn

收稿日期: 2009-03-07; 接受日期: 2009-03-08

《科学》(Science)杂志 2009 年 1 月 16 日的“本周新闻”发表了一篇报道, 题目是“四川大地震的人为诱因?”, 文中介绍了“紫坪铺水库可能诱发了四川汶川地震”的说法^[1]. 在汶川地震发生半年之后, 类似的报道(如英国 Telegraph 网站^[2]、美国的纽约时报^[3]等)在国外突然多了起来.

紫坪铺水库是四川岷江上的一座大型水利枢纽, 位于都江堰上游约 6 km 处, 距成都市约 60 km; 2001 年 3 月正式开工, 2005 年 9 月下闸蓄水, 2006 年全部建成. 紫坪铺水库总库容 11.12 亿立方米, 混凝土面板堆石坝最大坝高 156 m, 为国内仅有的几座同类型高坝之一. 紫坪铺水库距 2008 年 5 月 12 日汶川 8 级大地震震中的距离大约十几公里, 汶川地震是不是由紫坪铺水库的蓄水引起的?

由于水库蓄水而引发的库区附近地震活动性(地震的次数和地震的震级)的明显增高, 称为水库诱发地震, 或简称水库地震. 水库诱发地震研究最早始于 1931 年的希腊马拉松水库. 从那时起, 人们就意识到, 人类工程活动如注水和修建水库等均可诱发地震. 水库蓄水诱发的地震多为中小地震, 对水库不会产生大的破坏. 在全球约有 18 座水库诱发产生破坏性的水库地震, 诱发地震的最大震级为 6.4.

通过对国内外 100 多起水库诱发地震的统计和归纳, 水库诱发地震大致有以下 5 个特点:

(1) 水库地震的震中仅分布在水库及其周围, 一般位于水库及其附近 5 km 范围内, 震源深度大多在 5 km 内, 少有超过 10 km. 汶川地震, 无论是地震破裂的起始点(微观震中)还是地震破裂延伸方向的距离远远大于 5 km. 紫坪铺水库位于地震活动性很高的

地区. 在未建水库前, 从历史记录来看, 附近至少发生过 5 次较大的地震: 1657 年汶川 6½ 级地震, 距坝 30 km; 1748 年汶川 5½ 级地震, 距坝 30 km; 1787 年 12 月灌县 4¾ 级地震, 距坝 5 km; 1970 年 2 月大邑西 6.2 级地震, 距坝 55 km; 1970 年 3 月芦山长石坝 4.7 级地震, 距坝 51 km. 为了监测水库建设过程的地震活动情况, 蓄水前, 四川省地震局建设的紫坪铺水库数字遥测地震台网于 2004 年 8 月 16 日正式采集地震信息, 2005 年 6 月 27 日通过验收, 正式工作^[4]. 从四川省地震局水库地震研究所统计的紫坪铺库区多年地震活动性的资料可以看到, 紫坪铺水库蓄水以后, 水位虽有变化, 但是频度和震级都没有显著的变化. 所以从蓄水前后地震监测资料的对比来分析, 从 2005 年 10 月 1 日下闸蓄水到 2008 年 4 月的 2 年 7 个月时间内, 紫坪铺水库的库盆和临近地区的地震活动, 其发生的地域、地震的频度以及强度都处在本地区多年地震活动正常的变动范围以内. 在紫坪铺水库蓄水后并没有监测到水库及其附近地区地震活动性明显增强的现象.

(2) 水库诱发地震震级一般较小. 目前世界上已记录到的最大的水库诱发地震为 6.4 级, 于 1967 年 12 月发生在印度 Koyna 水库. 它发生于比较稳定的德干高原地区内. 主震的震中位置在大坝南 3 km. Koyna 水库坝高 103 m, 1962 年开始蓄水, 以后 3 年内发生了约 450 次地震. 从全球来看, 绝大多数水库诱发地震的震级小于里氏 5 级, 属于弱震或微震, 约占水库诱发地震总数的 80% 以上. 而 5.0~5.9 级的中等强度地震 10 例, 6.0~6.4 级强度地震仅 4 例, 分别是印度 Koyna 水库 6.4 级, 希腊 Kremasta 水库 6.2 级, 中

国新丰江水库 6.1 级, 赞比亚与津巴布韦交界处的 Kariba 水库 6.1 级(表 1). 汶川地震的震级为 8.0, 该地震释放的能量比历史上最大的水库地震的能量大 200 多倍.

(3) 水库诱发地震比例较小. 全世界已建大中型水库约有 1 万多座. 但已诱发水库地震的仅 101 座^[6], 它们仅占世界大坝会议已登记的 1 万多座大、中型水库总数的 1% 左右.

(4) 水库地震具有前震-主震-余震的系列特征. 水库地震一般发生于水库蓄水之初, 出现一些小地震(前震), 以后逐渐增多, 强度加大, 最大地震(主震)出现在蓄水首次达最高水位时间附近(从表 1 可以清楚地看到这个特征), 然后再逐渐减弱(余震). 所有的水库地震都具有这种前震-主震-余震特征, 目前尚未发现例外. 与此相反, 天然地震(此处指与蓄水无关的构造地震)绝大部分不具备前震-主震-余震序列特征, 全球地震统计表明, 具有前震的大地震占大地震总数的比例不到 10%^[7]. 2008 年汶川大地震既不是发生在紫坪铺水库蓄水的初期(2005 年蓄水), 也不是发生在水库较高水位的情况下(目前正值汛前, 正是水库水位较低的时段). 尤其重要的是, 汶川地震没有前震, 不属于前震-主震-余震的系列.

汶川地震与过去发生的水库地震, 从现象学的对比, 有明显的不同. 汶川大地震从震级大小、地震位置分布和地震序列等方面上都不符合水库诱发地震的基本特点.

(5) 汶川地震是断层逆冲运动造成的, 迄今尚未发现过逆冲型的水库地震.

上面从大多数水库地震的特点, 从现象学的角度, 与汶川地震进行了对比. 下面再从“蓄水”和“地震”两者关系进行力学分析.

地震是断层的突然运动造成的. 一般来说, 断层面都是倾斜的, 倾斜断层面上面的岩体叫做断层的上盘, 下面的则叫做下盘. 地震时, 断层面的运动大致有三种情况: 上盘与下盘发生相对水平运动, 这种断层称为走向滑动断层; 上盘向上、下盘向下运动, 这种断层称为逆断层或逆冲断层; 上盘向下、下盘向上, 这种断层称为正断层.

水库蓄水作为施加在地面的载荷, 在地下深处将会出现附加水平方向的拉力, 这个附加的拉力有助于走向滑动断层和正断层的运动, 所以水库诱发地震多是走向滑动或是正断层型的. 汶川地震断层面的运动属于逆冲断层, 只有在地下强大的水平方向压力(而非拉力)作用下, 才能出现上盘向上、下盘向下的逆冲断层型的断层运动^[8]. 逆冲型的断层在海洋的俯冲带很多, 但在大陆极为少见. 发生在大陆地区的汶川地震具有和海洋俯冲带地震一样的逆冲特点, 这是汶川地震和绝大多数大陆地震不同的地方, 也是研究汶川地震对于理解大陆动力学的重要意义^[9].

徐光宇等^[5]收集和分析了所有研究过的全球水库诱发地震的震源机制, 发现水库诱发地震震源机制主要为走向滑动型和正断型两种, 且前者多于后者, 至今尚未发现逆冲型的水库地震. 逆冲型的水库

表 1 世界一些主要的水库诱发地震表^[4,5]

水库(国家)	坝高/m	库容(10^8 m^3)	蓄水时间	初震时间	最大诱发地震时间	震级 M_s
Koyna(印度)	103	27.8	1962-06	1963-10	1967-12	6.4
新丰江(中国)	105	115	1959-10	1959-11	1962-03	6.1
Kinnarsani(印度)	61.8		1965	1965	1969-04	5.3
齐尔克依(前苏联)	233	27.8	1974-07		1974-12	5.1
Marathon(希腊)	63	0.4	1929-10	1931	1938	5.0
Kremasta(希腊)	165	47.5	1965-07	1965-12	1966-02	6.2
Monteynard(法国)	155	2.75	1962-04	1963-04	1963-04	5.0
铜街子(中国)	74	3	1992-04	1992-04	1994-12	5.5
Bajina Basta(南斯拉夫)	89	3.4	1967-06	1967-07	1967-07	5.0
Kariba(赞比亚)	123	1750	1958-12	1959-06	1963-09	6.1
Aswan(埃及)	111	1640	1968		1981-11	5.6
Orville(美国)	235	4.4	1967-11		1975-08	5.5
Volia Grande(巴西)	56	23	1973		1973	5.0

地震在《世界水库诱发地震研究文集》^[5]中有两处, 分别说明如下: 1967 年印度 Koyna 6.3 级诱发地震主震震源机制为走滑型的, 其后一些 4 级左右的余震有个别是逆冲型的; 1977 年美国南卡罗来纳的 Monticello 水库(4 亿立方米的中小水库)蓄水后发生的 2.6~2.8 级地震. 这些地震的震级很小, 将诱发的 2.8 级地震和蓄水之前的正常地震区别开来, 并不是一件容易的事情. 除以上两个特别的情况外, 世界上水库诱发的

地震(特别是主震)尚无逆冲型的例子.

水库蓄水和诱发地震是一个十分复杂的问题, 虽然已有许多的研究论文和报道^[10-13], 但相当多问题都需要不断深入的研究. 本文没有讨论水库蓄水和诱发地震的普遍情况, 而是讨论汶川地震和紫坪铺水库这一特定的问题. 我们的初步结论是: 从现象学和力学分析上, 汶川地震与一般的水库地震有很大的不同, 汶川地震不是蓄水引起的水库地震.

致谢 感谢倪四道、李宜晋和易桂喜等同志对本文提出的宝贵意见和给予的帮助.

参考文献

- 1 Richard A Kerr, Richard Stone. A human trigger for the great quake of Sichuan? *Science*, 2009, 323(5912): 322
- 2 Malcolm Moore. Chinese earthquake may have been man-made, say scientists. February 3, 2009. <http://www.telegraph.co.uk>
- 3 Sharon Lafraniere. Possible link between dam and China quake. *The New York Times*, February 5, 2009. <http://www.nytimes.com>
- 4 胡先明. 紫坪铺水库蓄水前天然地震活动. *四川地震*, 2007, 2: 16—21
- 5 徐光宇, 等, 编译. 世界水库诱发地震研究文集. 昆明: 云南科技出版社, 2006
- 6 丁原章. 水库和地震. 北京: 地震出版社, 1989
- 7 陈颢. 用震源机制一致性作为描述地震活动性的新参数. *地球物理学报*, 1978, 21(2): 21—43
- 8 陈颢, 黄庭芳. 岩石物理学. 北京: 北京大学出版社, 2001
- 9 Chen Yong, Li Li, Li Juan, et al. Wenchuan earthquake: Way of thinking is changed. *Episodes*, 2008, 31(4): 374—377
- 10 王墩, 姚运生, 薛军蓉, 等. 三峡水库重点监视区蓄水前后震源机制研究. *大地测量与地球动力学*, 2007, 27(5): 103—107
- 11 嵇少丞. 汶川大地震与紫坪铺水库有关吗? *南方周末*, 2009 年 2 月 11 日. <http://www.infzm.com/content/23528>
- 12 雷兴林, 马胜利, 闻学泽, 等. 地表水体对断层应力与地震时空分布影响的综合分析——以紫坪铺水库为例. *地震地质*, 2008, 30(4): 1046—1064
- 13 Amsel. 紫坪铺水库是“四川大地震的人为诱因”? *Science* 采访了个“大忽悠”. *新语丝*, 2009 年 1 月 29 日. <http://xys.xlogit.com/xys/ebooks/others/science/misc/wenchuan518.txt>